

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK AMAÇLI VE ÇOK KONUMLU AKTARMALI
TAŞIMA PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA
İLE OPTİMİZASYONU**

Endüstri Mühendisi Ali VARLI

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Nihan Ç. DEMİREL

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LOJİSTİK.....	2
2.1 Lojistiğin Tanımı	2
2.2 Lojistiğin Tarihçesi.....	5
2.3 Lojistik Faaliyetleri.....	6
2.3.1 Müşteri Hizmetleri.....	8
2.3.2 Ulaştırma ve Trafik Yönetimi	8
2.3.3 Envanter Yönetimi.....	8
2.3.4 Sipariş Yönetimi.....	8
2.3.5 Depolama	8
2.3.6 Talep Tahmini	9
2.3.7 Dokümantasyon	9
2.3.8 Tedarik	9
2.3.9 Koruyucu Ambalajlama	9
2.3.10 Malzeme Aktarılması.....	9
2.3.11 Bilgi Yönetimi.....	9
2.3.12 Yedek Parça ve Servis Desteği.....	9
2.3.13 Fabrika ve Depo Yeri Seçimi	10
2.3.14 Geri Dönen Malların Yönetimi	10
2.3.15 Hurda, Döküntü ve Artıkların Elden Çıkarılması.....	10
2.4 Lojistiğin Önemi ve Faydası	10
2.5 Lojistik Yönetimi.....	12
2.5.1 Fonksiyonel Entegrasyon Dönemi.....	12
2.5.2 İç Entegrasyon Dönemi.....	13
2.5.3 Dış Entegrasyon Dönemi	13
2.6 Lojistik Yönetiminin Amacı	14
2.7 Lojistik Yönetiminde Planlama.....	14
2.8 Fiziksel Dağıtım	15
2.9 Malzeme Taşıma.....	15

2.10	Depolama	16
2.11	Envanter Yönetimi.....	16
2.12	Taşımacılık.....	16
3.	TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ	17
3.1	Tedarik Zinciri Yönetiminin Fonksiyonları	19
3.2	Malzeme Yönetimi	21
3.2.1	Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP).....	21
3.2.2	Üretim Kaynak Planlaması (MRPII)	24
3.2.3	Dağıtım Gereksinimleri Planlaması (DRP) ve Dağıtım Kaynakları Planlaması (DRPII)	25
3.2.4	Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP).....	26
3.2.5	Kurumsal Kaynak Planlaması II (ERPII).....	27
3.3	Envanter Yönetimi.....	27
3.3.1	Envanter ile İlgili Terimler.....	28
3.3.1.1	Envanter Politikası.....	28
3.3.1.2	Hizmet Seviyesi.....	28
3.3.1.3	Ortalama Envanter	29
3.3.2	Envanter Taşıma Maliyeti	29
3.3.3	Envanter Planlama	30
3.3.3.1	Sipariş Zamanı.....	30
3.3.3.2	Sipariş Miktarı.....	30
3.4	Depolama	32
3.4.1	Depo Türleri	32
3.4.2	Depolanacak Malzeme Türleri	33
3.4.3	Depo Yerleşim Düzeni.....	33
3.4.4	Depo Büyüklüğü ve Konumu.....	34
3.4.5	Depo Aktarım Araçları	34
3.5	Tedarik Zinciri Yönetiminin Avantajları	35
3.6	Tedarik Zinciri Yönetiminin Dezavantajları	35
4.	GENETİK ALGORİTMALAR.....	37
4.1	Genetik Algoritmanın Tarihçesi.....	37
4.2	Genetik Algoritmanın Tanımı	37
4.3	Genetik Algoritmaların Çalışma Prensipleri.....	39
4.4	Genetik Algoritma Operatörlerine Genel Bakış.....	39
4.5	Seçim	42
4.5.1	Sıra-Bazlı Uygunluk Tayini	43
4.5.2	Çok-Amaçlı Sıralama	43
4.5.3	Rulet Tekerleği Seçimi	44
4.5.4	Stokastik Genel Örnekleme.....	45
4.5.5	Yerel Seçim	45
4.5.6	Budama Seçimi.....	47
4.5.7	Turnuva Seçimi	47
4.6	Rekombinasyon (Çaprazlama)	48
4.6.1	Tüm Gösterimler – Ayrık Rekombinasyon.....	48
4.6.2	Reel Değerli Rekombinasyon.....	49
4.6.2.1	Ara Rekombinasyon	49
4.6.2.2	Çizgi Rekombinasyonu	51
4.6.2.3	Genişletilmiş Çizgi Rekombinasyonu	52
4.6.3	İkili Değerli Rekombinasyon (Çaprazlama)	53

4.6.3.1	Tek Noktalı / Çift Noktalı / Çoklu Noktalı Çaprazlama	54
4.6.3.2	Düzenli Çaprazlama.....	55
4.6.3.3	Karışık Çaprazlama	56
4.6.3.4	Azaltılmış Vekilli Çaprazlama	57
4.7	Mutasyon.....	57
4.7.1	Reel Değerli Mutasyon	57
4.7.2	İkili Mutasyon	59
4.7.3	Uyarlanmış Adım Boyutlarıyla Reel Değerli Mutasyon	60
4.8	Yeniden Ekleme	62
4.8.1	Evrensel Yeniden Ekleme	63
4.8.2	Yerel Yeniden Ekleme	64
5.	ÇOK AMAÇLI ve ÇOK KONUMLU AKTARMALI TAŞIMA MODELİNİN GENETİK ALGORİTMA ile ÇÖZÜLMESİ.....	65
5.1	Çalışmanın Amacı ve Hedefler	65
5.2	Problem Tanımı ve Model Formülasyonu	66
5.2.1	Notasyon ve Varsayımlar.....	67
5.2.2	Maliyet Fonksiyonu	68
5.2.3	Doluluk Oranı Fonksiyonu.....	69
5.2.4	Gecikme Zaman Fonksiyonu	70
5.2.5	Kalitesizlik Fonksiyonu	70
5.2.6	Çözüm Metodu ve Optimallik.....	71
5.3	Çok Amaçlı Optimizasyon.....	71
5.3.1	SPEA2: Güç Pareto Evrimsel Algoritması	73
5.4	Sayısal Uygulama	75
5.5	Uygulamadan Elde Edilen Sonuçlar ve Değerlendirmeler	82
	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	83
	KAYNAKLAR.....	85
	EKLER.....	88
	Ek 1 Test probleminden elde edilen sayısal sonuçlar	89
	ÖZGEÇMİŞ.....	110

SİMGE LİSTESİ

a	Göreceli adım boyutun
A_t	t. arşiv
b	taşımadan kaynaklanan bozulma oranı (olasılığı)
C_i	Elde bulundurma maliyeti
c_i	i. mağazadaki birim sipariş maliyeti
C_o	Sipariş maliyeti
D	Talepler vektörü
D_i	i. mağazada gerçekleşmiş olan talep miktarı
EOQ	Ekonomik sipariş miktarı
$F(i)$	Uygunluk değeri
f_r	Kriterler
h_i	i. mağazada oluşan birim başına elde bulundurma maliyeti
I^-	Taşımadan önce karşılanmamış talebe sahip mağazalar kümesi
I^+	Taşımadan önce fazlalık envantere sahip mağazalar kümesi
k	Çaprazlama pozisyonu
L_{ij}	i. mağazadan j. mağazaya taşıma gecikme zamanı
l_{ij}	i. mağazadan j. mağazaya taşınan birim başına gecikme zamanı
n	Mağaza (depo/konum) sayısı
N	Popülasyondaki birey sayısı
N_A	Arşiv boyutu
$NAmaç$	Amaçlar
$Nvar$	Bireydeki değişken sayısı
p_j	j. mağazada oluşan birim başına ceza maliyeti
pm	Mutasyon olasılığı
P_t	t. popülasyon
r	Rekombinasyon menzili
R	Sipariş noktası
s	Rekombinasyon adımının yönünü
S	Sipariş miktar vektörü
SB	Seçim baskısı
Si	i. mağaza için sipariş miktarı
SS	Emniyet stoğu
T_G	Maksimum nesil sayısı

t	Nesil no
T	Ortalama performans çevrim zamanı
T_{ij}	i. mağazadan j. mağazaya taşınan miktar
Tur	Turnuva boyutu
U	Ürün birim maliyeti
w	Fazlalık envanterden kaynaklanan fire oranı (olasılığı)
τ_{ij}	i. mağazadan j. mağazaya birim taşıma maliyeti

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BI	Business Intelligence (İşletme Zekası)
CRM	Customer Relationship Management (Müşteri İlişkileri Yönetimi)
DRP	Dağıtım Kaynakları Planlaması
ERP	Kurumsal Kaynak Planlaması
ERP II	Kurumsal Kaynak Planlaması II
GA	Genetik Algoritma
GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
IPS	The Institute of Purchasing and Supply
JIT	Just-In-Time (Tam Zamanından Üretim)
MRP	Malzeme İhtiyaç Planlaması
MRP II	Üretim Kaynak Planlaması
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
SCM	Supply Chain Management
SPEA2	Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2
TZY	Tedarik Zinciri Yönetimi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1	Tedarik zinciri (Dobler ve Burt, 1996).....	17
Şekil 3.2	Tedarik zinciri prosesi (Başlıgil, 2002).	19
Şekil 3.3	Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları (Fox vd., 1993).	20
Şekil 3.4	Malzeme akışı (Barker,1989).	21
Şekil 3.5	Malzeme ihtiyaç planlaması (Acar,1997).	22
Şekil 3.6	Dağıtım ihtiyaç planlaması ve lojistik sistemi (Tanyaş, 1995).	26
Şekil 3.7	Yeni ERP anlayışı (Çiftçi, 2003).	27
Şekil 3.8	Ekonomik sipariş miktarı (Bowersox vd. , 2002)	31
Şekil 4.1	Genetik algoritma kullanarak problem çözme.	38
Şekil 4.2	Genetik algoritmanın çalışma yapısı.	40
Şekil 4.3	İki bireyin çaprazlanması.....	41
Şekil 4.4	Rulet tekerleği seçimi.	44
Şekil 4.5	Stokastik genel örnekleme.	45
Şekil 4.6	Lineer komşuluk: tam ve yarım yüzük.	46
Şekil 4.7	İki-boyutlu komşuluk: tam çarpı, yarım çarpı, tam yıldız, yarım yıldız.	46
Şekil 4.8	Ayrık rekombinasyondan sonra çocukların olası pozisyonları.....	48
Şekil 4.9	Ara rekombinasyonda çocuk ve ebeveyn alanlarının karşılaştırılması.	50
Şekil 4.10	Ara rekombinasyondan sonra çocukların olası alanı.....	51
Şekil 4.11	Çizgi rekombinasyonundan sonra çocukların olası pozisyonları.....	52
Şekil 4.12	Çizgi rekombinasyonundan sonra çocukların olası pozisyonları.....	53
Şekil 4.13	Tek noktalı çaprazlama.....	54
Şekil 4.14	Çok noktalı çaprazlama.	55
Şekil 4.15	İki boyutlu reel değişkenlerde mutasyonun etkisi.....	59
Şekil 4.16	Seçkin yeniden ekleme şeması.....	63
Şekil 5.1	Aktarmalı taşıma modeli.	66
Şekil 5.2	Pareto optimallik (Petrie vd., 1995).	72
Şekil 5.3	SPEA2 algoritması.	74
Şekil 5.4	Genetik algoritma optimizasyon programı.	75
Şekil 5.5	10 nesil için doluluk oranı-maliyet ve gecikme zamanı-maliyet grafiği.....	77
Şekil 5.6	10 nesil için gecikme zamanı-doluluk oranı ve maliyet-kalitesizlik grafiği.	77
Şekil 5.7	10 nesil için doluluk oranı-kalitesizlik ve gecikme zamanı-kalitesizlik grafiği.	78
Şekil 5.8	20 nesil için doluluk oranı-maliyet ve gecikme zamanı-maliyet grafiği.....	79

Şekil 5.9 20 nesil için gecikme zamanı-doluluk oranı ve maliyet-kalitesizlik grafiği.	79
Şekil 5.10 20 nesil için doluluk oranı-kalitesizlik ve gecikme zamanı-kalitesizlik grafiği. ...	80
Şekil 5.11 200 nüfus sayısı için doluluk oranı-maliyet ve gecikme zamanı-maliyet grafiği. .	80
Şekil 5.12 200 nüfus için gecikme zamanı-doluluk oranı ve maliyet-kalitesizlik grafiği.	81
Şekil 5.13 200 nüfus için doluluk oranı-kalitesizlik ve gecikme zamanı-kalitesizlik grafiği.	81
Şekil 5.14 Popülasyon boyutu-zaman grafiği.....	82

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Uygunluk değerleri ve seçilme olasılıkları.	44
Çizelge 4.2 Budama eşiği ile seçim yoğunluğu arasındaki ilişki.	47
Çizelge 4.3 Turnuva boyutu ile seçim yoğunluğu arasındaki ilişki (Blickle ve Thiele, 1995).48	
Çizelge 4.4 İkili mutasyon.....	59
Çizelge 4.5 İkili mutasyonun sonucu.....	60
Çizelge 5.1 Birim taşıma gecikme zamanları.....	76
Çizelge 5.2 Birim taşıma maliyetleri.	76
Çizelge Ek 1.1 100 nüfus ile 10 nesil çalıştırmayla elde edilen sayısal test sonuçları.	89
Çizelge Ek 1.2 100 nüfus ile 20 nesil çalıştırmayla elde edilen sayısal test sonuçları.	91
Çizelge Ek 1.3 100 nüfus ile 30 nesil çalıştırmayla elde edilen sayısal test sonuçları.	94
Çizelge Ek 1.4 200 nüfus ile 10 nesil çalıştırmayla elde edilen sayısal test sonuçları.	96
Çizelge Ek 1.5 300 nüfus ile 10 nesil çalıştırmayla elde edilen sayısal test sonuçları.	101

ÖNSÖZ

Küresel rekabetteki inanılmaz artış ve çekişme, işleyiş ve süreçleri, karşılaşılan problemleri daha ayrıntılı incelemeyi gerektirmekte ve kurulan modelleri gerçek hayattakilerle daha uygun bir hale getirmeye zorlamaktadır. Bu yüzden de karşımıza daha karmaşık ve birbirleriyle çelişen birden fazla amaca sahip problemler çıkmaktadır. Bu problemlere yeni amaçların ve yüzlerce kısıtın da eklenmeye devam edeceğini düşünürsek, genetik algoritma gibi gelişmekte olan arama metotlarına ihtiyaç duyacağımız kesindir.

Çalışmamızda da çok amaçlı taşıma problemlerinin optimizasyonunu ele alıp uygulama yönüne ağırlık vermeye çalıştık. Önerdiğimiz optimizasyon metodunu değerlendirmek ve etkinliğini ortaya koyabilmek için çok amaçlı aktarmalı bir taşıma problemini ele aldık. Problemin çözümü için bir genetik algoritma optimizasyon programı geliştirdik. Maliyet, doluluk oranı, gecikme zamanları yanında özellikle de kalite faktörünü göz önünde bulundurmak istedik.

Çalışmalarımız sırasında bizlerden yardımlarını esirgemeyen ve bize yol gösteren tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Nihan ÇETİN DEMİREL'e ve hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL'e teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Lojistik ve taşıma problemlerinin çözümünde genetik algoritmaların kullanımı son derece yaygınlaşmıştır. Özellikle çok amaçlı problemlerin optimizasyonunda genetik algoritmalar çok başarılı sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada, çok amaçlı ve çok konumlu bir aktarmalı taşıma probleminin maliyet, hizmet düzeyi, gecikme zamanları ve kalitesizlik amaçlarının aynı anda optimize edilmesi amaçlanmıştır. Aktarmalı taşıma problemleriyle ilgili yapılmış önceki çalışmalarda genellikle maliyet ve doluluk oranı üzerinde yoğunlaşmıştır. Ayrıca son zamanlarda buna gecikme zamanları da eklenmiştir. Ancak, hem üretici ve satıcılar hem de müşteriler açısından en önemli kriterlerden biri haline gelen kalite faktörü göz ardı edilmiştir. Bu yüzden çalışmamızda kalite amacının probleme entegre edilmesi bir gereklilik olarak görülmüştür. Bu sayede daha kapsamlı ve daha gerçekçi bir optimizasyon problemi elde edilmiştir. Problemin çözümü için “Güç Pareto Evrimsel Algoritması” (SPEA2) metoduna dayanan bir genetik algoritma önerilmiştir. Bu bize aralarından seçim yapabileceğimiz pareto optimal sonuçlar sunar. Çok amaçlı problemlerin çözümü için bu yaklaşım daha gerçekçi ve daha esnek bir çözüm sağlar. Farklı durumlar için en uygun çözüm seçilebilir. En iyi çözümler kümesinden bir karar vermek yalnızca tek bir çözüm üreten yöntemlerden daha avantajlıdır. Çünkü bu sayede karar vericiler için belli koşullarda daha önemli görülen amaçlar maksimum derecede tatmin edilirken, aynı zamanda daha az öneme sahip olanlar da göz ardı edilmemiş olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Aktarmalı taşıma problemi, çok amaçlı optimizasyon, genetik algoritma, güç pareto evrimsel algoritması, SPEA2, lojistik, tedarik zinciri.

ABSTRACT

Genetic algorithms became very popular on solving logistics and transportation problems. Genetic algorithms give very successful results, especially when dealing with multi-objective optimization problems. In this study, it is aimed to optimize cost, service level, lead times, and quality deficiency objectives of a multi-objective and multi-location transshipment problem at the same time. Preceding studies about transshipment problems deliberated mostly on cost and service level. Furthermore, lead times were added in recent studies. However, quality, which became the most important criterion for producers, retailers, and customers, was mostly disregarded. Therefore it became an obligation for us to integrate the quality objective to our problem. In this way, a more comprehensive and realistic optimization problem was achieved. We propose a genetic algorithm based on the “Strength Pareto Evolutionary Algorithm” (SPEA2) method to solve this problem. This gives us the opportunity to choose one from the pareto optimal solutions. This approach gives a more realistic and flexible solution to multi-objective optimization problems. In different circumstances, the most convenient solution can be choosen. It is more advantageous to make a decision from a set of best solutions than methods which produce only one solution. Because in this way, the objectives which seem more important for decision makers according to some conditions will be satisfied maximal, at the same time the less important ones will not be disregarded.

Keywords: Transshipment problem, multi-objective optimization, genetic algorithm, strength pareto evolutionary algorithm, SPEA2, logistics, supply chain.

1. GİRİŞ

Günümüzde lojistik kavramı ile çok fazla karşılaşmaktayız. Üretime hazırlık aşamasından müşteriye kadar, hatta geri dönüşüme kadar geniş bir süreci kapsayan lojistik, bu açıdan hem üretici ve perakendeci hem de müşteri için son derece önemli bir anlam kazanmıştır. Lojistiğin öneminin daha da iyi anlaşılmasıyla bu konuda yapılan çalışmalara ağırlık verilmiştir. Hizmet veya üretimin her aşamasında karşımıza çıkan lojistik ile ilgili yapılan çalışmalar tüm süreçleri etkileyecek ve bu yöndeki olumlu çabalar maliyet, kalite ve müşteri memnuniyetini arttıracaktır.

Lojistik içinde belki de en önemli unsurlardan biri olan tedarik zinciri ve taşıma, küresel rekabet ortamının farkında olan ve ayakta kalmak isteyen tüm firmaların üzerinde önemle durmaları gereken bir konudur. Bu yönde yapılacak küçük iyileştirmeler dahi çok büyük avantajlar ve yararlar sağlayacaktır.

Taşıma ile ilgili problemler incelendiğinde aslında çok karmaşık ve birbiri ile çelişkili amaçlara sahip olduklarını görebiliriz. Ancak bu yöndeki çalışmalarda daha ziyade maliyet faktörünü göz önünde bulundurulmuş ve gerçek hayatta karşılaşılan diğer unsurlar genellikle göz ardı edilmiştir. Özellikle kalite ve müşteri memnuniyeti gibi konular son derece önemli hale gelmiştir. Bunlar artık firmalar için birer kritik başarı faktörü haline gelmiş olup taşıma problemlerine dahil edilmeleri bir gereklilik olmuştur.

Son zamanlarda yaygınlaşan genetik algoritma gibi optimizasyon arama metotları geliştikçe daha gerçekçi ve daha esnek problem modelleri oluşturulup çözülebilme imkanı bulmuştur.

Sonraki bölümlerde lojistik ve tedarik zinciri kavramları üzerinde durulmuştur. Bu konularla ilgili ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Daha sonraki bölümde genetik algoritma ve genetik algoritmada kullanılan metotlar ve teknikler incelenmiştir. Uygulama bölümünde ise konuyla ilgili yapılmış örnek çalışmalar ve sayısal sonuçlar verilmiştir. Son olarak da sonuçlar ve bazı önerilere yer verilmiştir.

2. LOJİSTİK

Firmaların pazar yaratma çabaları, satışı arttırmaya yönelik stratejileri, rekabet politikaları içinde lojistik vazgeçilmez bir yer almaktadır. Tedarikçiden, lojistik operasyonlarını iyi modelleyen, lojistik ağ yapısını iyi kuran firmalar rekabetsel boyutta, müşteriye hızlı, düşük maliyetle ulaşma, müşteriye algılama, tedarikçilerle güçlü ilişkiler kurma gibi avantajlar sağlamaktadırlar. Unutulmaması gereken şey, ürün maliyetleri içinde %10–14 arasında direkt maliyet payına sahip olan, bunun haricinde endirekt olarak etkilediği süreçler de düşünüldüğünde yüksek oranlara ulaşan lojistik süreç maliyetleri dikkate alındığında firmaların kazanımları yüksek olmaktadır. Bazı yazarlar tarafından lojistiğin ürün maliyetinin %50'sini oluşturduğu öne sürülmüştür. Öyle ki, bir birimlik lojistik maliyetlerdeki iyileştirme, satışlara da iki birim artış şeklinde yansımaktadır.

2.1 Lojistiğin Tanımı

Lojistik, müşterilerin gereksinimlerini karşılamak üzere hammaddenin başlangıç noktasından, ürünün tüketildiği son noktaya kadar olan tedarik zinciri içindeki malzeme, hizmet ve bilgilerin, etkili ve verimli bir şekilde, her iki yöne doğru hareket etmesinin ve depolanmasının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesidir. Bu tanımda yer alan tedarik zinciri kavramı da; hammaddenin mamule dönüşmesi, müşteriye ulaştırılması ve son kullanıcılar tarafından tüketilmesi aşamalarını kapsayan ürün ve bilgi akışının tamamıdır.

Lojistik ürün, servis ve insan gibi kaynakların, ihtiyaç duyulan yerde ve istenen zamanda temin edilmesi için bir araç olarak tanımlanabilir. Herhangi bir pazarlama veya üretim organizasyonunun lojistik destek olmadan başarılması çok zordur. Lojistik, nakliye, envanter, depolama, malzeme idaresi ve ambalajlama bilgilerinin birleştirilmesini kapsar. Lojistik işletme sorumluluğu, hammaddenin coğrafik konumlanması, prosesin işletilmesi ve ihtiyaçların mümkün olan en düşük maliyetle karşılanarak işin bitirilmesidir (tr.wikipedia.org).

Lojistik kelimesinin Türk Dil Kurumu sözlüğüne göre anlamı, geri hizmet olarak verilmiştir. Genel olarak, lojistik mühendisliğin makina sistemlerinden ziyade insan sistemleri ile ilgilenen bir branşı olarak görülür.

Birleşik Krallık Lojistik Enstitüsü'ne göre lojistik, kaynağı zamanla ilişkili olarak yerleştirilerek; hareket ve stoklamada envanterin yönetilmesi, anlamıyla tanımlanmıştır.

Başka bir tanıma göre ise lojistik, doğru ürüne, doğru zamanda ve doğru miktarda, değişen

koşullara çabuk olarak uyum gösterebilecek tedarik zincirine sahip olmak diye tanımlanmıştır.

Ulusal Fiziksel Dağıtım Yönetimi Konseyi ise 1976 yılında lojistiği “bitmiş mamullerin üretim noktasından tüketim noktasına ulaştırılması ve envanter sürecinde hammadde akışının verimli olarak planlanması, uygulanması ve kontrolü amacı için, iki veya daha fazla faaliyetlerin entegrasyonudur diye tanımlanmıştır. Tanımda entegrasyonu söylenen faaliyetler ise:

- Müşteri hizmeti
- Talep tahmini
- Dağıtım iletişimleri
- Envanter kontrolü
- Malzeme taşıma
- Sipariş süreci
- Satış sonrası servis
- Fabrika ve depo seçimi
- Tedarik
- Ambalajlama
- Malzeme çekilmesi
- Fire ve hurdaların düzenlenmesi
- Trafik ve taşımadır.

Genel manada lojistik, teslim alma, depolama ve stok, paketleme, sevk etme, uluslar arası veya yerel nakliye ve bu işlemlerle ilgili bilgi işlemin entegrasyonunu içerir. Lojistik bir bütündür ve asla tek bir kavramı yalnız başına düşünülemez ve devamlı dinamik halde bulunur. Etkili bir lojistik için 7 doğru vardır.

- Doğru ürün
- Doğru miktar
- Doğru ortam
- Doğru yer
- Doğru zaman
- Doğru müşteri
- Doğru maliyet

Bu doğrulardan birinin yanlış işlemesi bütün emeğin boşa gitmesine yol açabilir. Mesela doğru ürünün doğru zaman da makul bir maliyetle doğru ortamda istenen miktarda doğru yerde yanlış müşteriye gitmesi hiçbir anlam ifade etmez. Harcanan bütün emek boşa gitmiştir. Aynı şekilde yanlış ürünün veya yanlış zamanda ulaşması da aynı şekilde emeğin çöpe gitmesi demektir ve diğer doğrular için de.



Şekil 2.1 Lojistik sistem (Timur,1988).

Lojistik kısaca, doğru zamanda doğru fiyatla, doğru miktara sahip olmak olarak tanımlanabilir. Ancak yukarıda belirtilen tüm doğruların aynı anda sağlanması etkin bir lojistik sistemi için şarttır.

Günümüzde lojistiğin öneminin artmasının nedenleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Taşıma uzaklıklarının ve maliyetlerinin artması
- Üretim teknolojilerinin pek çok alanda doyma noktasına ulaşması nedeni ile yöneticilerin maliyet düşürmek için lojistik alanına yönelmeleri
- Stok kontrolünde tam zamanında tedarik sistemlerinin yaygın biçimde kullanılması
- Mamul çeşitlerinin, gelişen ve değişen müşteri isteklerini karşılama zorunluluğu ile hızla artması
- Çevreyi koruma amacı ile kullanılmış malzemelerin yeniden kullanılmak üzere işlenmesi
- Bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ve haberleşme sistemlerinin gelişmesi
- Büyük uluslar arası üretim ve satış firmalarının çoğalması

Bunlar ve bunlar gibi nedenlerden dolayı günümüzde lojistik önem kazanmıştır. Lojistiğin sağladığı faydalar ise:

- Hammaddelerin temini veya bitirilen ürünlerin dünyada herhangi bir yere gönderimi sağlanır.
- Merkezci, yerel yönetim ile küresel işletme ve yönetim stratejisi benimsenir.
- Anında ve zamanında bilgi paylaşımı ile toplam tedarik zincirinin görülebilirliği sağlanır
- Bilginin sadece işletme dâhilinde değil endüstrinin genelinde yönetimi sağlanır
- Tedarik zinciri organizasyonunun, yüksek performans sağlayacak takımlar halinde yeniden organizasyonu sağlanır
- Tedarik zinciri ile bilişim sistemi oluşturulması ile maliyet ve ölçüm standartlarına ulaşılır (Başlıgil, 2002).

Lojistik yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı önem kazanmış ve yine yukarıda sözü edilen faydaları işletmelere sağlamıştır. Lojistiğin ana faaliyetleri ise şunlardır.

- Talep yönetimi
- Tedarik
- Nakliye (kara, hava, deniz, ray, boru)
- Kalite kontrol-gözetim
- Gümrük, sigorta
- Depolama
- Fasona gönderme fasondan aldırma
- Stok yönetimi
- Lojistik bilgi hizmetleri
- Yükleme optimizasyonu
- Yedek parça lojistiği
- Dağıtım
- Filo yönetimi
- İade işlemleri ve ters lojistik
- Üretim lojistiği-üretimde anında malzeme verme
- Hurda ve ıskartalarından elden çıkartılması
- Katma değerli işlemler
- Rota ve sevkıyat planlama

2.2 Lojistiğin Tarihçesi

Lojistik ilk defa askeri konularla ilgili problemlerde kullanılmıştır. 1905'de, ABD'li Binbaşı

Chauney B. Baker bir yazısında, lojistiği “Savaş sanatının, orduların hareketi ve gereksinimlerinin tedariki ile ilgili dalına lojistik denir” şeklinde ifade etmiştir.

Lojistik kelimesi asıl anlamda gündeme ikinci dünya savaşında gelmiştir. İkinci Dünya Savaşı sırasında silahlı kuvvetlerin ihtiyacı olan malzemelerin zamanında ve doğru yerde bulunabilmesi için lojistik modelleri ve sistem analizi yaklaşımı kullanılmıştır.

Lojistik, askerlerin ihtiyaçlarının kendileri tarafından karşılanması sürecinden, doğmuş bir konsepttir ve bu temelden yola çıkarak çok daha ileriye gitmiştir. Eski Yunan, Roma ve Bizans uygarlıklarında ihtiyaçların dağıtımı ve finanse edilmesinden sorumlu “Logistikas” denen bölümler ve subaylar bulunmaktaymış. Oxford Üniversitesi, sözlüğünde lojistik kelimesi; “Askerlik biliminin personel, teçhizat, malzeme taşıma, bakım ve sağlanması ile ilgili bir dalı” olarak tarif edilir. Bu anlamda “orduların erzak ve cephane desteğinin düşünülerek hareket ettirilmesi” olarak ön plana çıkan lojistik, artık askeri alanda sınırlı olmaktan çıktı. Sanayi devrimi, lojistiğin evriminde bir dönüm noktası olarak karşımıza çıkmaktadır.

Lojistik, 1950’lerden sonra iş hayatına uyum sağlamıştır. Dünya çapında tedarik, taşıma ve malzeme ihtiyacının artması bunun başlıca sebebidir.

Günümüzde ise lojistik kelimesi artık sadece askeri anlamda kullanılan bir kelime olmaktan çıkmış ve endüstrinin her sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. Bununla beraber lojistiğin anlamı değişmiş ve genişlik kazanmıştır.

90’lı yılların ortalarına kadar nakliyecilikle bir tutulan lojistik, uluslararası rekabetin ön planda olduğu, teknoloji ve varlıkların değer kazandığı, hızın her zamankinden önemli olduğu günümüz iş dünyasında, yepyeni bir boyuta taşındı. Satın alma, nakliye, gümrük, sigorta, depolama, tedarik, talep tahminleri, envanter yönetimi, lojistik bilgi sistemi, yedek parça desteği, dağıtım, iade işlemleri, etiketleme, fiyat-barkod, paketleme, müşteri taleplerine göre ürün hazırlama, rota planlaması ve araç optimizasyonu gibi pek çok karmaşık süreci içeren lojistik sektörü internet ve gelişen bilgi teknolojileri sayesinde bu süreçleri daha etkin ve verimli kılmaya başladı. Büyük lojistik firmaları, stok kontrolünden araç takibine, müşteriye online bilgi sağlamaktan e-ticaret uygulamalarına kadar birçok birimini elektronik ortama taşıyarak bilişim teknolojileri ile ciddi bir iş birliğine girdi.

2.3 Lojistik Faaliyetleri

İşletme lojistiği üç ana faaliyeti çerçevesinde incelenebilir; “tedarik lojistiği”, “materyal

yönetimi” ve “fiziksel dağıtım”. Tedarik lojistiği; hammadde, yardımcı malzeme vb. girdilerin tedarik kaynaklarından üretim noktalarına kadar akışıyla ilgilenirken, fiziksel dağıtım yönetimi, bitmiş ürünlerin, üretim noktalarından son alıcı veya tüketicilere kadar götürülmesiyle ilgili etkinlikleri kapsamaktadır. Fiziksel dağıtım sistemi, üreticileri dağıtım kanalı içerisinde yer alan toptancı ve perakendeciler ile birleştirirken “ürün elverişliliğini” hedefleyerek işletmenin rekabetçi üstünlüğünün önemli bir unsuru olmaya çalışmaktadır. Materyal yönetimi ise üretim noktası içerisinde gerçekleştirilen tüm lojistik faaliyetler ile ilgilenmektedir. Bu faaliyetler çoğunlukla hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünlerin işletme içindeki hareketleri, depolanması ve envanter yönetimi ile ilgilidir.

Artık üreticiler, devamlı müşterilerin sayısının, onlara götürülen hizmetle orantılı olduğunun bilincindedir. Lojistiğin önemi de burada ortaya çıkıyor. Alınan malı tam olarak, istenilen sürede, istenilen miktarda müşteriye ulaştırmak, üreticilerin yerine getirmesi gereken bir şart. Dolayısıyla artık şirketler, planlamalarını üretim değil, müşteri odaklı yapıyor.

Amaç, talep belirsizliğinden kaynaklanan fazla stokların, taşıma planındaki dengesizliğin ve ekstra masrafların önüne geçmek. Çözüm ise lojistik hizmetleriyle, tedarik zincirinde, kaynakların en etkin şekilde kullanılması. Özellikle dünya ekonomisinin bugün ulaştığı sürat ve rekabet ortamında var olabilmek için en önemli sektörlerden birinin “lojistik” olduğu ve olmaya devam edeceği bugün herkesin kabul ettiği bir gerçek.

Lojistik sektörü, ABD’de gayri safi milli hasılanın % 13’nü oluşturuyor. Türkiye’de ise bu pay henüz %2 (Bowersox vd., 1995).

Türk lojistik sektörü, bugüne kadar olduğu üzere sadece milli lojistik ihtiyaçlarına hizmet vermenin ötesinde, ülke ekonomisine çok ciddi ekonomik artı değer kazandıracak uluslararası boyutta bir potansiyele sahip.

Bugün Türk lojistik pazarı 4 milyar dolarlık bir büyüklüğe ulaşmış durumda. Hızlı bir artış göstermesi beklenen pazarın kısa sürede 6-7 milyar dolarlık bir büyüklüğe ulaşacağı tahmin ediliyor. (Bowersox vd., 1995).

Sektörden sektöre geçişse de ortalama olarak bir ürünün satış fiyatının yüzde 8 ile 14’ünün lojistik hizmetlerinin maliyetinden oluştuğu düşünülecek olursa, sektörün sanayi için önemi daha iyi anlaşılıyor. Üretim ve dağıtım zincirinin tüm halkaları lojistik kapsamına girdiği için lojistik global rekabette başarılı olmanın da en etkili yollarından biri olarak görülüyor (Bowersox vd., 1995).

Temel olarak 15 tane lojistik fonksiyonu ya da faaliyetini saymak mümkündür. Bu fonksiyonlar aşağıda kısa kısa açıklanmakla birlikte ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.3.1 Müşteri Hizmetleri

Lojistik fonksiyonlar çerçevesinde müşteri beklentilerinin belirlenmesini ve buna uygun standartların oluşturulmasını kapsar. Tam anlamıyla bir fonksiyon olmasa da, lojistik fonksiyonların bütününe gerçekleştirilmesinde büyük bir öneme sahiptir. “Müşterilerin taleplerinin tam zamanında karşılanması”, “hasarsız ürün sevkiyatı” müşteri hizmetine örnek olarak verilebilir.

2.3.2 Ulaştırma ve Trafik Yönetimi

Ulaştırma, lojistik fonksiyonlar içerisinde envanter ile birlikte en fazla maliyet unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Ürünlere “yer faydası” yaratan taşıma ve trafik yönetimi fonksiyonu, mod seçimi, araç rotalarının planlaması, ekipman seçimi ve navlun üniteleştirmesi (konsolidasyon) gibi çeşitli faaliyetleri içermektedir.

2.3.3 Envanter Yönetimi

Envanter bulundurma, ürünlere “zaman faydası” yaratarak “arz ve talep” arasındaki dengesizliklerin giderilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Envanter yönetimi, hammadde ve bitmiş ürün stoklanmasını, stoklama bölgelerinin sayısı, büyüklüğü ve yerleşimi hakkında karar verilmesini ve aynı zamanda tam zamanlı üretim sistemleri ile “itme ve çekme stratejilerini” içermektedir.

2.3.4 Sipariş Yönetimi

Sipariş alınması ve kaydedilmesi ile ilgili bütün faaliyetleri içerir. Ulaştırma ve envanter maliyetleri ile karşılaştırıldığında sipariş yönetimi maliyetlerinin büyük bir oran kapsamadığı görülmektedir.

2.3.5 Depolama

Depo, antrepo yerinin ve düzeninin belirlenmesi faaliyetlerini içerir. Depo yönetimi de önemli bir faaliyet olarak değerlendirilmektedir.

2.3.6 Talep Tahmini

Müşterilerin gelecekte talep edebilecekleri ürün ve/veya hizmet miktarının belirlenmesidir. Talep tahmini ile ilgili olarak gerek kalitatif gerek de kantitatif olmak üzere çeşitli teknikler kullanılmaktadır.

2.3.7 Dokümantasyon

Lojistik ve tedarik zinciri sürecinde gerçekleştirilen çeşitli aktivitelerle ilgili olarak gerçekleştirilen dokümantasyon akışını kapsamaktadır. Konşimento, fatura vb. dokümanlar örnek verilebilir.

2.3.8 Tedarik

Tedarik kaynağı seçimi, satın alma zamanı ve miktarının belirlenmesi faaliyetlerini içerir. Tedarik kaynaklarının kalitesinin yükseltilmesi ve bu bağlamda performans değerlendirmelerinin de yapılması çağdaş tedarik sürecinin bir unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.3.9 Koruyucu Ambalajlama

Bitmiş ürün ya da hammadde, malzemelerin depolanması, malzeme aktarılması esnasında korunması için paketleme ile ilgili faaliyetleri içerir. Konteynır ve paletler koruyucu ambalajlamanın en çok kullanılan örnekleridir.

2.3.10 Malzeme Aktarılması

Malzemelerin yüklenip boşaltılması için gerekli araçların belirlenmesi ve düzenin oluşturulması ile ilgili faaliyetleri içermektedir.

2.3.11 Bilgi Yönetimi

Bilginin toplanması ve analizi ile ilgili faaliyetleri içermektedir. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler “Lojistik Bilgi Sistemi”nin önemini arttırmıştır. Bilgi yönetimi, özellikle uluslararası boyutta lojistik etkinliğin en önemli unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir.

2.3.12 Yedek Parça ve Servis Desteği

Ürünün satışı sonrası müşterinin gereksinim duyduğu yedek parça ve servislerin tam zamanında ve eksiksiz bir biçimde yerine getirilmesi faaliyetlerini içermektedir.

2.3.13 Fabrika ve Depo Yeri Seçimi

Fabrika ve depo yeri seçimi lojistik maliyetlere önemli derecede etki etmektedir. Ticaretin globalleşmesi fabrika ve depo yeri seçimi kararlarını stratejik bir konuma getirmiştir.

2.3.14 Geri Dönen Malların Yönetimi

Tüketici iadeleri çerçevesinde gerçekleşen çeşitli faaliyetleri içermektedir. Aşıcı ve Tek, tersine dağıtımın nedenlerini

- 1) Tüketicilerin kusurlu, arızalı, beğenmedikleri, bozuk, yanlış v.b. malları geri iadeleri,
- 2) Garanti süresi içinde bakım, onarım, değiştirme v.b. amaçlarıyla malların geri gelmesi
- 3) Artıkların yeniden devreye sokulması
- 4) Piyasadan geçici veya temelli olarak çekilen toplanan malların geri dönüşü ve tekrar piyasaya sürülüşü olarak değerlendirmektedir.

2.3.15 Hurda, Döküntü ve Artıkların Elden Çıkarılması

Üretim ve dağıtım süreçleri sonucunda ortaya çıkan hurda, döküntü ve artıkların elden çıkarılması faaliyetlerini kapsar.

2.4 Lojistiğin Önemi ve Faydası

Yaşamakta olduğumuz çağ, bilgi teknolojilerinde çok hızlı gelişmelere sahne olmaktadır. Küreselleşme sürecinin altyapısını da bilgi teknolojilerindeki bu hızlı gelişmeler hazırlamıştır. Bugün Dünyanın çok farklı yörelerinde yaşayan milyonlarca birey ve kurum çok etkin ve süratli iletişim olanakları sayesinde ve özellikle İnternet aracılığıyla iletişim sayesinde milyonlarca birey ve kuruma kolayca ulaşarak, mal, hizmet ve bilgi alışverişi yapabilmektedir. Küreselleşme süreciyle yaşanan yoğun ve dinamik bilgi ortamı yepyeni bir ekonomik yapının da hızla gelişmesine neden olmuştur. "Yeni Ekonomi" adı verilen bu yeni yapıyı oluşturan kavramlar bilgi teknolojisi, sinerji ve yeni dinamiklerdir (Bowersox vd., 2002)

Bu yeni ekonomide hemen hemen her sektörde bir arz fazlası söz konusudur. Bu da yoğun bir rekabet yaşanmasına neden olmaktadır. Artık herkes aynı teknolojileri kullanabilmekte ve benzer kalitede ürünler üretebilmektedir. Bu yüzden de ürünün satışı sırasında müşteriler için çoğu zaman belirleyici unsur fiyatlar konusunda olmaktadır. Fiyat konusunda bir üstünlük sağlayabilmek için işletmeler kalitelerinden ödün vermeden müşterilerine bir kolaylık sağlamak zorundadırlar. İşte bu noktada lojistiğin önemi, yeni ekonomi pazarında

anlaşılmaktadır. Özellikle üretici şirketler başta olmak üzere, günümüz şirketleri ana faaliyetleri dışında kalan tedarik zinciri içindeki, tedarik, taşıma, depolama, malzeme aktarımı, paketleme, stok, dağıtım gibi birçok faaliyeti başka firmalara yaptırarak (outsourcing) kendi ana faaliyet konuları olan üretime daha fazla zaman ayırabilmektedirler.

Son yıllarda, küreselleşmenin ve zaman zaman yaşanan ekonomik krizlerin de etkisiyle, lojistik hizmetlere olan talep önemli derecede artmıştır. Lojistik sektörü, dünyada ve Türkiye'de, hızlı bir gelişme içinde olan az sayıda sektörden biridir. Bugün dünya ekonomisinde ülkelerin lojistik faaliyetler için yapmış oldukları harcamaların GSMH içindeki payı yüzde 1,5-2 civarındadır. Lojistik sektöründe dış kaynak kullanımı ise, ülkelerin gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak, yüzde 10 ile 30 arasında değişmektedir. Lojistik pazarı Avrupa'da yıllık yüzde 7-10, Kuzey Amerika'da yüzde 15, Asya'da ve Türkiye'de ise yüzde 20'lik bir büyüme hızına sahiptir. ABD'de lojistik sektörünün GSMH içindeki payı yüzde 12'dir. Türkiye'de ise bu pay yüzde 1,5 civarındadır. Halen Türkiye'de lojistik hizmetlerin yaklaşık yüzde 30'u lojistik hizmet sağlayıcı şirketler tarafından, yüzde 70'i ise şirketlerin kendi yapıları içindeki bölümler tarafından yapılmaktadır (Bowersox vd., 2002).

Lojistik yönetimiyle:

- Hammaddelerin temini veya bitirilen ürünlerin dünyada herhangi bir yere gönderimi sağlanır.
- Merkezci, yerel yönetim ile global işletme ve yönetim stratejisi benimsenir.
- Anında ve zamanında bilgi paylaşımı ile toplam tedarik zincirinin görülebilirliği sağlanır.
- Bilginin sadece işletme dahilinde değil endüstrinin genelinde yönetimi sağlanır.
- Tedarik zinciri organizasyonunun, yüksek performans sağlayacak takımlar halinde yeniden organizasyonu sağlanır.
- Tedarik zinciri ile bilişim sistemi oluşturulması ile maliyet ve ölçüm standartlarına ulaşılır.

Başlangıç noktası tüketici, uç noktası ise hammadde tedarikçileri olan bir yığın işletme yerine, bunların tamamını ifade eden tek bir firma görünümündeki lojistik; şirketlerin iç çalışmalarını en uygun ve basit bir şekle getirirken, aynı zamanda tüm tedarik zincirinin çalışmasını incelemekte ve çalışmaları iyileştirmek suretiyle de şirketlerin tüketiciye karşı yapmaları gerekenleri en uygun duruma getirme olanaklarını da sağlamaktadır.

Lojistik yönetimi; fiyat, kalite ve teknoloji gibi çıktıların geliştirilmesini ve uygulamaların uyumlu, bütünleşmiş ve yüksek performanslı olmalarını sağlar. Lojistik yönetimi uygulamaları; çok yönlü ve çok kullanışlı gelişim aktivitesi için temel oluşturur, uyumlu strateji, haberleşme liderliği ve iş süreci yönetimini geliştirirler. Müşteri/tedarikçi yoğunlaşmasını sağlar ve sanayinin vizyonunu ve araştırmasını en iyi uygulamalar içinde

birleştirir. Dolayısıyla lojistik yönetiminin beklenen yararları hammadde kaynaklarından son tüketiciye kadar bütün alanlarda ortaya çıkmaktadır. Lojistik yönetiminin gerçek etki derecesi; tedarik zincirinde yarattığı görüş yeteneğindedir.

Lojistiğin işletme içinde sağladığı faydalar ise üç başlık altında toplanabilir:

Geliştirilmiş Müşteri Hizmeti: Bu faktör, daha çok, işletmeler için başarı ile başarısızlık arasındaki fark anlamına gelmektedir. Bu yüzden, “doğru ürüne, doğru yerde ve doğru zamanda sahip olmak” müşteri memnuniyetinin sağlanması için en iyi yoldur.

Para Kazan / Maliyetleri Azalt: Bu faktör en geniş olarak, ürünün pazara çıkarılma maliyetinin azaltılması şeklinde tanımlanır. Başka bir ifadeyle, bu faktör, ürünün tedarik zincirine iletilmesi ile ilgili bütün maliyetleri kapsamaktadır ve genellikle daha çok zaman etkinliğine sahip olan bir tedarik zinciri ile sonuçlanmaktadır.

Peşin Paradan Yararlanma: Tedarik zinciri etkinliğine sahip olan işletmeler, para temin etme süresine göre diğer işletmelere nazaran %40-65’lik bir avantaja sahiptirler. Bu işletmeler diğer işletmelere göre paralarını 2-3 ay önceden temin ederler. Para ne kadar çabuk temin edilirse, hammaddelere ve operasyonlara o kadar çabuk yeni yatırım yapılır.

2.5 Lojistik Yönetimi

Lojistik yönetimini 3 kısımda inceleyebiliriz:

- 1) Fonksiyonel yönetim dönemi
- 2) İç entegrasyon dönemi
- 3) Dış entegrasyon dönemi

2.5.1 Fonksiyonel Entegrasyon Dönemi

1960’lar ve 70’lerde çoğu firma parçalanmış bir yönetim anlayışı yerine daha bütünleşik bir yönetim anlayışına adım atmışlardır. Parça dönemin satın alma, taşıma ve depolama gibi görece bireysel süreçleri malzeme yönetimi ve fiziksel dağıtım diye belli başlı yönetim şekline dönüştürülmüştür. Genel olarak bu 2’ye ayrılımda malzeme yönetimi; satın alma, hammadde, yarı mamul stoklarının kontrolü vb. içermekte iken, fiziksel dağıtım; genel olarak malzeme taşıma, depolama, stok kontrolü vb. daha çok müşteriye son ulaşılmayla ilgili bölümleri içinde barındırmakta idi.

60’lar başında ise lojistik düşüncesi bambaşka ufuklara açılmaya başladı. Müşteriye önem

daha çok ve belirgin hale geldi. Bu lojistik açısından bambaşka kapıların açılması anlamına gelmekteydi. O zaman ki ana amaç, lojistik yönetimi geliştirmek ve müşteriye en az maliyetle ulaşmaktı. 60'ların ortalarında ise yöneticiler üretimin ekonomideki tek ölçüt olmadığı düşüncesini anlamaya başladılar. Ürünlerin müşteriye ulaşmasında farklı bir sistemin veya organizasyonun oluşturulması zorunluluğu daha belirgin hale gelmişti.

70'lerin başından sonuna kadarki uzanan dönemde tam bir tedirginlik her alanda etkiliydi. 2.dünya savaşıdan bu süreye kadarki uzanan dönemde ucuz enerjinin bulunması kritik bir önem arz etmekteydi. Enerji alanında bulunan fazla açık petrole bağlı malzemelerde açığı maksimum yapmıştı. Bu dönemde ortaya çıkan grevler ve OPEC'in akaryakıtta koyduğu ambargo dünyayı yeni bir krizin eşiğine getirmişti. Bu kriz lojistik kavramının gelişimini de baltalamaya yetmişti.

70'lerin sonlarında lojistik terimi artık bütünleşik faaliyetlerin hepsini tanımlamanın genel bir ifadesi olarak kullanılıyordu.

2.5.2 İç Entegrasyon Dönemi

Bu dönemde bir önceki döneme göre daha keskin değişiklikler göze çarpmaktaydı. Taşımacılıktaki değişim, bilgisayar teknolojisindeki gelişim ve iletişim anlayışının farklı bir boyut kazanması bu değişikliklerin en belirginleri olarak ortaya çıkmaktaydı.

Taşımacılıktaki değişimdeki ana amaç verimi artırmaktı. Bu çalışmalar kısa sürede meyvesini vermeye başlıyor ve taşıma giderlerinde %50'lere varan bir azalma göze çarpıyordu. Bilgisayar dünyasında ki 70'lerde yaşanan gelişmeler 80'lerde göze çarpmaya başlıyor ve lojistik dünyasında üretim, destek ve tedarik üçgenindeki bilgi alışverişini önemli ölçüde artırıyordu. Bununla beraber lojistik kaynak planlamasında, birbiriyle ilişkili bölümler arasında alış verişin sağlanması, lojistik verimlilik açısından benzeri görülmemiş bir patlamaya sebep oluyordu. Yeni iletişim teknolojisi ise en önemli atılımı haberleşme araçlarında yaşıyordu. Uyduların dünya atmosferine ardı ardına fırlatılması iletişim dünyasında bir çığır açıyor ve iletişim inanılmaz kolaylaşıyor ve maliyetler belirgin şekilde düşüyordu.

2.5.3 Dış Entegrasyon Dönemi

Tedarik zinciri kavramı 90'larda lojistik kavramına bambaşka bir anlayış ve anlamlar kazandırdı. Bu anlayışla birlikte firmaların elde ettiği bütün değerler bir zincir haline geliyordu. Sonuç olarak maliyet düşüyor, kaynaklar daha verimli kullanılıyor ve rakiplere göre bir rekabet avantajı ortaya çıkıyordu. Bu anlayış lojistiğin her basamağına kendi alanında

maliyet düşürücü araştırmalar yapma yetkisi sağlıyordu.

Alınan riskin en minimum düzeye indirilmesi için gereksiz envanterin ve emniyet stokların azaltılması gerekiyordu. Bunun için JIT (just-in-time/tam zamanından üretim) ve DRP (dağıtım kaynakları planlaması) gibi yöntemler oluşturuldu. Bunun dışında depoların azaltılması, elle taşımanın kalkması gibi değişikliklerde bu anlayışa hizmet veriyordu. Bütün bu çalışmalar tedarik zincirinin daha etkin kullanılması için yapıldı.

2.6 Lojistik Yönetiminin Amacı

Lojistik yönetimin amacı Green (1991) tarafından külfetli maliyetleri azaltarak, lojistik kavramı vasıtasıyla daha iyi bir yönetimi, organizasyonu ve kaynakların en iyi şekilde kullanımını öngören en iyi yönetimin şeklinin ortaya çıkartılması olarak açıklanmıştır. Bu maliyetteki azaltmanın en önemli amacı (günümüzde en gündemde olan konu olan) müşteri tatminidir. Bu şekilde ortaya çıkan bir kavram olan “stratejik birleşme” kavramı üretici, tüketici, taşıma operasyonların en etkin şekilde kullanılma amacını içermektedir.

Bu stratejik birleşmeler özel bilgi sistemleriyle desteklenmekte ve müşteriye en uygun şekilde ulaşma üzerine kurulmuşlardır.

2.7 Lojistik Yönetiminde Planlama

Planlama yönetim fonksiyonlarının en önemlisi ve en temel olanıdır. Diğer yönetim fonksiyonlarının başarılı olması için başarılı planlama süreçlerinin varlığı esastır. Planlama ile neyin, niçin, nasıl, ne zaman, kim tarafından, hangi kaynak ve maliyetlerle yapılacağı belirlenir. Planlama karar adımlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1) Envanter yönetiminde ne kadar stok tutulacağı, ne kadarlık bir stok devir hızı öngörüldüğü, envanter değerlendirme yönteminin ne olacağı gibi kararlar,
- 2) Depo yeri seçiminde depo alanı, depo otomasyon düzeyi ve bunun için yapılacak yatırım düzeyi, depo personelinin sayısı gibi kararlar,
- 3) Hangi ülkelerde üretim yapılacağı, hangi ürün veya hammaddelerin nerelerden ithal edileceği, nelerin üretilip, nelerin satın alınacağı kararları,
- 4) Nasıl bir malzeme aktarımı veya ambalajlama yöntemi kullanılacağı, ambalajın şekli, büyüklüğü, dayanım ve koruma özelliği kararları,
- 5) Teslimat şekli kararları,
- 6) Lojistik organizasyonun yapısı kararları (Merkezi, merkezkaç yönetim gibi)
- 7) Kullanılması gereken bilgi işlem sistemlerinin ileride hedeflenen konuma ulaşmak üzere

planlanması kararları,

8) Bütçeleme ve nakit akışı kararları.

Lojistik faaliyetlerin planlanması aşamasında tüm planlama faaliyetlerinin başarılı için belli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunlardan başlıcaları şu şekilde sıralanabilir:

- Plan, açık, seçik ve belli bir amaca yönelik olmalıdır.
- Değişik uzmanlarca hazırlanan planların, bu uzmanlar arasında etkin bir haberleşme ile koordinasyonu sağlanmalıdır.
- Plan, işletmecinin iç ve dış koşullarına uyabilecek şekilde esnek olmalıdır.
- Planlama işletmenin çeşitli kademelerine yayılmalıdır.
- Plan, işletmenin benimsediği ilke ve standartlara uygun olmalıdır.
- Planlamada harcanacak zaman süresi de optimum düzeyde korunmaya çalışılmalıdır. Uluslararası lojistik faaliyetlerinin de beklenen değişimler doğrultusunda belli bir süreyi kapsamaması fakat yayılmamasına özen gösterilmelidir.
- Planların değişime karşı dirence neden olmaması için dönem dönem gözden geçirilmeleri gerekir.
- Planın uygulayıcı kimselerin girişim ve inisiyatif güçlerini köreltmesi, onları bir tür otomat durumuna getirmesi sakıncalı bir durumdur ve bu durumun oluşumuna izin verilmemelidir.

2.8 Fiziksel Dağıtım

Fiziksel dağıtım kavramı malların tüketicilerin istediği zamanda ve yerde hazır bulundurulmalarını açıklar. Fiziksel dağıtımın amaçları:

- Tüketicinin talebine her an cevap verebilecek hazırlıkta olma
- Sipariş alırken doğru bilgi alma, yanlışlıkları engelleme
- Zarar görmemiş malların dağıtımını sağlama
- Hızlı ve güvenilirli olma

Fiziksel dağıtımın yararları ise;

- Satışları artırır
- Dağıtım maliyetini düşürür
- Üretim ve tüketim arasındaki zaman ve yer farklarında uyum sağlar
- Fiyatları istikrarlı kılar
- Dağıtım kanalının seçimini etkiler.

2.9 Malzeme Taşıma

Ticari taşıma işlemi envanteri yerleştirme, düzenleme, gemiye yüklemeden önce paketleme için ürünlerin montaj alanına taşıma, yükleme taşıma ve müşteriye ulaştırmak için taşıma aracını yükleme faaliyetlerini kapsar. Malzeme taşıma veya ürünlerin fiziksel taşınması ise ticari taşıma ifadesine göre daha yaygın bir ifade olarak kullanılır. Genellikle işletme içi faaliyetlerin tanımlanmasında kullanılır.

2.10 Depolama

Depolar, müşterilerin siparişlerini zamanında karşılayabilmek için fabrikaların oluşturduğu depolardır. Depolama da uzun dönemli finansal planların oluşturulmasında önemli bir yere sahiptir.

Depolamayı gerektiren nedenler şu şekilde sıralanabilir:

- Üretilen malların üretim noktalarının uzak yerlerdeki talep noktalarına daha kolay ulaştırılabilmesi için
- Malların mevsimlik dalgalanmalarından doğan arz talep dengesizliklerinin önlenbilmesi için
- Fiyat ve mal arzındaki dalgalanmaların önlenbilmesi için
- Tüketim noktalarının arzuladıkları zamanda malları bulabilmeleri için yani mallara zaman faydası yaratmak için

2.11 Envanter Yönetimi

İşletme açısından stokların seviyesinin belirlenmesi son derece büyük önem taşır. Bunun belirlenememesi büyük zararlara neden olabilir. Stokların gereğinden fazla olması maliyetleri artırırken müşteri taleplerinin zamanında karşılanabilmesi için de elde gerekli stokun bulunmasında gereklidir. İşletmelerin stok bulundurma sebepleri ise şöyle özetlenebilir.

- Üretim ve dağıtımdaki gecikmelerin azaltılması
- Üretim planlarında, malzeme siparişlerinde ve bitmiş mallarda esnekliği sağlama
- Alıcıların, ürünleri, satın almak istedikleri yerde hazır bulunmasını sağlama
- Ekonomik partilerde satın alınan miktarlarda avantaj sağlama
- Enflasyona, grevlere karşı koruma sağlama
- İşçilere düzenli olarak iş olanağı sağlama

2.12 Taşımacılık

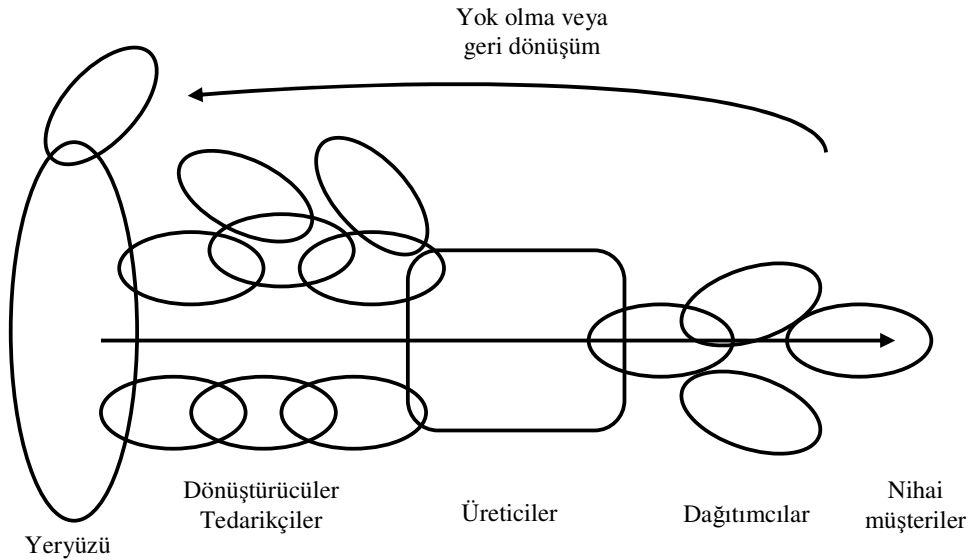
Taşımacılık (nakliye) müşteriye taşınacak ürünlerin fiziksel olarak müşteriye götürülmesi sırasında geçen süreç olarak ifade edilebilir. Taşımacılık günümüzde teknolojinin getirdiği kolaylıklarla pek çok kanaldan yapılabilmektedir. Bu kanallar denizyolu, havayolu, karayolu, demiryolu ve boru hatlarıdır. Ancak bu taşımacılık şekillerinin hız, maliyet vb. yönlerden farklılıkları bulunmaktadır.

3. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Tedarik zinciri yönetim sistemi; şirketin dışındaki tedarik faaliyetlerini yönetmesi ve bunlarla etkin sonuçlara ulaşması için şirketin iç kaynaklarını bir bütün halinde ele alan temel bir işletme sistemi olarak tanımlanmaktadır. Sınırlarının başlangıç noktasını tüketici ve uç noktasını hammadde temin ve tedarik edenler almaktadır. Merkezde ise üretim vardır. Tedarik zinciri müşteriler açısından bakıldığında bir ürün veya servis için talepleri yerine getirmek üzere üretimi, dağıtımı, pazarlamayı, lojistiği ve servis kademelerini de içine alan unsurların tamamıdır. Tedarik zinciri; başlangıcından son halkasına kadar yayılan işletmelerin bir parçası olarak tek bir işletmeyi görmenin sistem düzeyinde yaklaşımı olduğu açıkça görülmektedir.

Ürünler üretildikleri yerde tüketilmeleri için sunulmazlar. Bunun için de tüketilecekleri yerlere taşınmaları gerekir. Bu taşınma sırasında da ürün tipi, ürün miktarı veya teslim zamanı açısından bazı değişimler yaşanmaktadır. İşte bu değişimlerin artması sonucu bazı alternatif tedarik kanalları ortaya çıkmıştır. Ürünleri veya hizmetleri pazara ulaştıran araçlar dizisine tedarik zinciri adı verilir. Tedarik zinciri, ürün ve/veya hizmet pazarlama ve satış fonksiyonunu destekleyen dağıtım, depolama, satın alma, üretim, dış ticaret ve nakliye gibi faaliyetler dizisinden oluşmaktadır. Tedarik zincirinin yapısı firmaların ürünlerine, teknolojisine, stratejilerine ve hedeflerine göre farklılıklar gösterir.

Tipik bir tedarik zincirinde; hammadde tedarik edilir, malzeme üretilir, depolanır ve daha sonra perakende veya tüketicilere ulaştırılır.



Şekil 3.1 Tedarik zinciri (Dobler ve Burt, 1996).

Tedarik zinciri yönetimi hammaddecilerin, üreticilerin, depoların etkili bir şekilde bir araya getirilmesinde yararlanılan ve bu sayede üretim ile dağıtımın doğru miktarlarda, doğru zamanda, doğru yerde yapılmasını sağlayan, bu şekilde ihtiyaç duyulan miktarları sağlarken aynı zamanda sistem genelindeki maliyetlerin düşürülmesini temin eden yaklaşımların bir kümesidir (Levi, 2000).

Lojistik; müşteri ihtiyaçları doğrultusunda, kaynak noktasından tüketim noktasına kadar malzeme, hizmet ve bilgilerin akışı ve stoklanmasını, etken ve etkin bir şekilde planlama, uygulama ve kontrol sürecidir. Bu tanımı ile lojistik yönetimi tedarik zinciri içindeki bir kesitin yönetimini kapsamaktadır. Dolayısıyla tedarik zinciri yönetimi, zincirin tümüyle ele alınmasını, analizini ve yeniden tasarımını gerektirmektedir. Tedarik zinciri yönetimi yapabilecek bir şirket veya birimin, tüketici ihtiyaçları doğrultusunda tüm zincir boyunca yer alan birden fazla şirket arasında bilgi ve malzeme akışını planlaması, yürütmesi ve kontrolü gerekir.

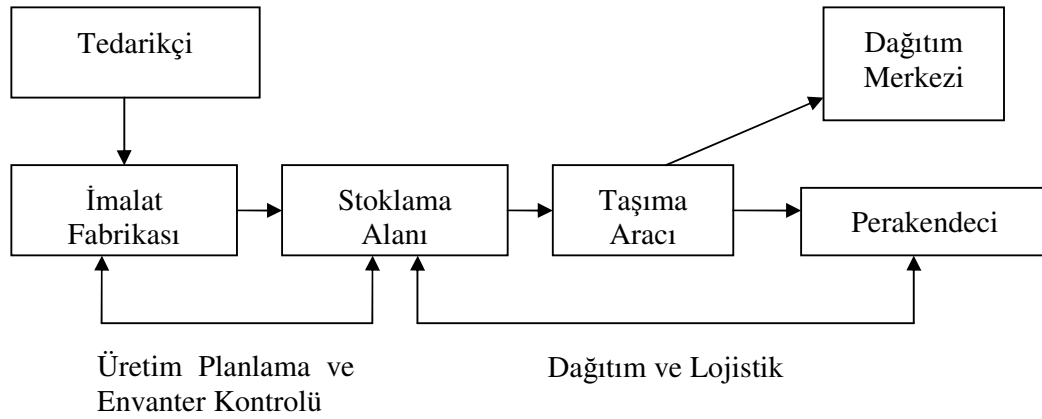
Günümüzde tüketicilerin istekleri her geçen saniyede değişebilmektedir. Bu da sunulan hizmetlerin çeşidinin sürekli artması gerektiğini gösterir. Ayrıca içinde bulunulan rekabet koşullarında ayakta kalabilmek için bu hizmetlerin daha hızlı, kaliteli ve düşük maliyetli olması gerekir.

Performans ölçütlerinin artık müşteri bazında belirlendiği bilinmektedir. Bu ölçütler işletmeleri yapılması gereken faaliyetler konusunda yönlendirir. Bu faaliyetler esneklik, kapasite, hız ve kaynakların verimli kullanılmasını gerektirir. Tedarik zincirinde bir takım kritik faktörler vardır ki bu faktörlerin ölçülmesi tedarik zinciri yönetiminde odaklanılan konulardan biridir. Ölçütler tedarikçilerden, müşteriye kadar tüm süreci ele alır ve aradaki entegrasyonu sağlar. Burada da tabii ki işletmelerin bütün faaliyetlerini yönlendiren unsurlar olan müşteri memnuniyeti ve maliyet minimizasyonu dikkate alınır. İşte tedarik zinciri yönetimindeki kritik başarı ölçütleri aşağıdaki gibidir:

- Doğru ürün
- Doğru miktar
- Doğru zaman
- Doğru yer
- Yüksek esneklik
- En az toplam maliyet
- En az çevrim süresi
- En az toplam stok düzeyi

Etkin lojistik faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde, tedarik zinciri yönetimi, Lojistik Kaynak

Planlaması için sistem analizi çalışmalarını gerçekleştirir ve en etkin tedarik zinciri modelini kurmaya çalışır. Lojistik Kaynak Planlaması, stratejik işletme planının gerçekleştirilmesi için planlama ve dağıtım ihtiyaçlarının tümünü içine alan, lojistik ihtiyaçlarla işletmenin tüm amaçlarını birleştirmeye önem veren kapalı çevrimli bir süreçtir. Tedarik zincir yönetimi, lojistik faaliyetleri geliştirmek için fabrika ve dağıtım merkezlerinin yerleşim ve kapasiteleri, taşıma yöntemleri, kaynak temini, müşteri ilişkileri ve sevkiyat güzergahları hakkında bilgileri içeren veri tabanına sahiptir. Sevkiyat planlama, taşıma ve araçların planlaması ile depolama faaliyetlerinin planlaması çalışmalarını kapsar.



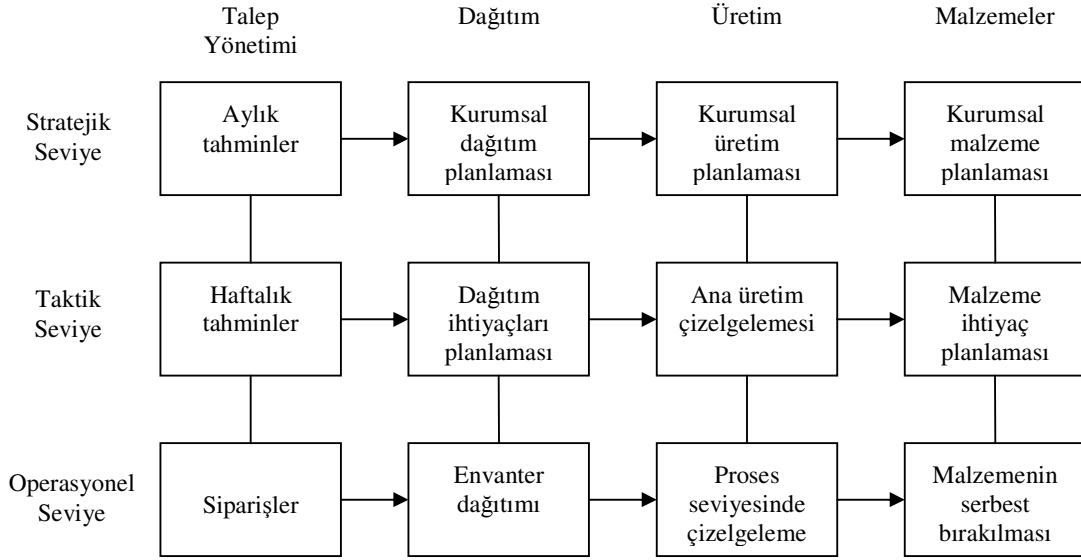
Şekil 3.2 Tedarik zinciri prosesi (Başlıgil, 2002).

İşletmelerde uzun vadede alınan lojistik kararlar, lokasyonlar, üretim kapasiteleri, stok düzeyleri ve taşıma sistemlerini içerir. Lokasyon belirleme kararları, sayı, kapasite ve tedarik zincirinin içindeki coğrafik yerleri belirleme faaliyetleridir. Fabrika, stok ve dağıtım merkezleri lokasyonları buna örnek olarak gösterilebilir. Üretim kararları, hangi ürünlerin nerede üretileceği, hangi tedarikçilerin kullanılacağı ve dağıtım merkezlerinin neresi olacağının belirlenmesidir. Stok kararları, tedarik zincirinin tüm safhalarındaki stok politika ve düzeylerinin belirlenmesidir. Taşıma kararları da hangi nakliye yöntemlerinin kullanılacağının belirlenmesidir. Taşımalar, fabrika ve depoların coğrafik yerlerinin belirlenmesinde etkili olur. Stok politikaları, tedarikçileri ve üretim yerlerini etkiler.

3.1 Tedarik Zinciri Yönetiminin Fonksiyonları

Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları üç seviyede çalışmaktadır: Stratejik seviye, taktik seviye ve operasyonel seviye (Şekil 3.3).

Her bir seviye, kararların alındığı sürenin periyodu ve bu periyot süresince alınan kararların sıklığı ile birbirinden ayrılmaktadır. Stratejik seviyede şu tür konular ele alınmaktadır: Üretimin nerede tahsis edileceği ve en iyi kaynak bulma stratejisinin ne olacağı. Taktik seviyede şu tür konular ele alınmaktadır: Tahmin yürütme, planlama, temin süresi kısa olan malzemelerin siparişi ve üretim ihtiyaçlarının karşılanması için fazla mesailerin çizelgelenip çizelgelenmeyeceği. Operasyonel seviyede ise şu tür konular ele alınmaktadır: Envanter dağıtımı, detaylı çizelgeleme ve bir makine bozulduğu zaman bir siparişin ne yapılacağı.



Şekil 3.3 Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları (Fox vd., 1993).

Tedarik zinciri yönetimi, ayrıca, müşteri ve tedarikçilerle de koordinasyonu gerektirir. Pazar dinamikleri bunu güçleştirmektedir. Müşteriler sık sık değişiklikler yapmakta veya siparişleri iptal etmektedir. Tedarikçiler yanlış malzemeleri sağlayabilmekte veya geç teslimat yapabilmektedir. Temin sürelerini ve envanteri minimize ederken pazarın dinamiklerine hızlı bir biçimde karşılık verecek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Yamak, 1999).

Pazarda olduğu gibi, üretimin tabanı da dinamik bir yapıdadır. Planlanmamış olayların gerçekleşmesi çizelgelenmiş faaliyetlerden sapmalara yol açabilir. Üretim kontrol sisteminin, planlı bir üretim için, üretim hedeflerini optimize edecek yöntemlerle bu olaylara cevap vermesi gereklidir. Olaylar bazı durumlarda, söz konusu kısımda kontrol altında olmayan problemlere yol açabilir. Üretim kontrol sistemi, faaliyetlerini planlama, satış ve pazarlama gibi daha üst seviyelerdeki fonksiyonlarla koordine etmelidir (Fox vd., 1993).

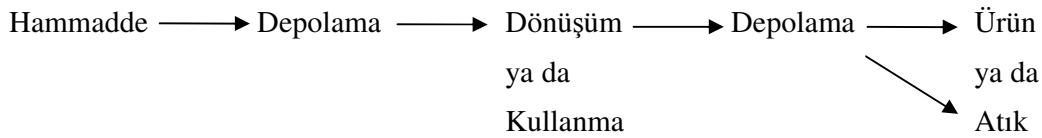
3.2 Malzeme Yönetimi

Malzeme yönetimi; hammadde akışı, süreç içerisindeki envanter ve hazır hale gelen ürünün pazara veya ambarlara ulaşımının bütün yönleri ile ilgilidir. Malzeme yönetiminin temel amaçları şu şekilde sıralanabilir:

- Stokları minimize etmek
- Dağıtım, transfer mesafesini minimize etmek
- Süreçteki malzemeleri minimize etmek
- Tek bir üretim hattının olmasını sağlamak
- Kullanılmayan malzeme kayıplarını, kırık, çalıntı ve hırsızlığı minimize etmektir.

Bilgisayar uygulamalarının gelişmesiyle malzeme yönetimi fonksiyonlarında büyük bir gelişim sağlanmıştır. Fakat asıl gelişme malzeme yönetiminin diğer üretim fonksiyonları ile bir bütün olarak ele alınması gerektiğinin anlaşılması ile gerçekleşti ki bu üretim fonksiyonları pazarlama, satış, imalat, mühendislik, finans ve personeldir.

Malzeme yönetimindeki fonksiyonel işlemler, işletmenin doğasına ve büyüklüğüne göre değişiklik gösterir. Fakat Şekil 3.4'te en basit haliyle malzeme akışı görülebilmektedir.



Şekil 3.4 Malzeme akışı (Barker,1989).

The Institute of Purchasing and Supply (IPS) ve British Production and Inventory Control Society birlikte çalışarak malzeme yönetimini aşağıdaki gibi tanımlamışlardır:

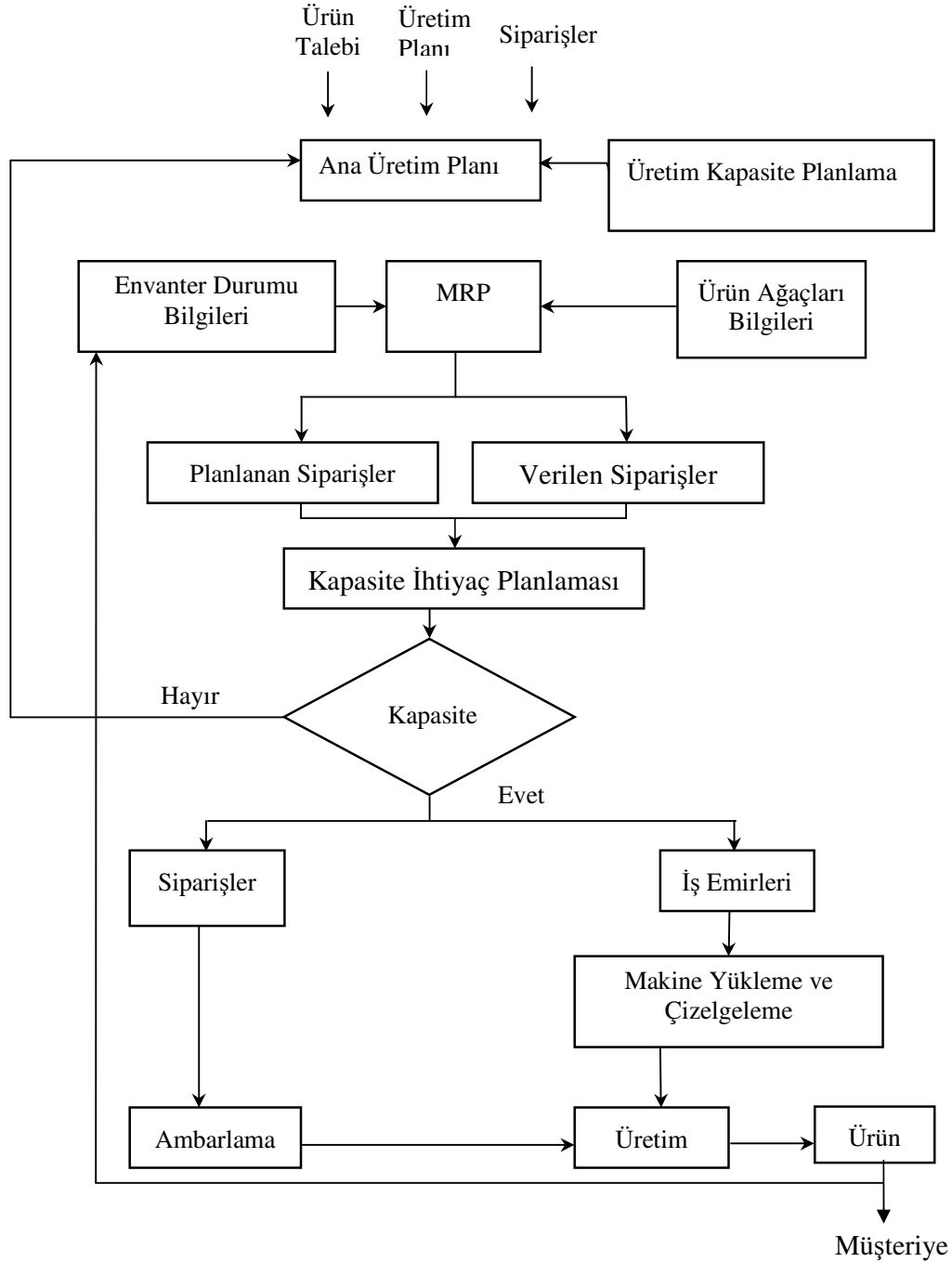
“Malzeme yönetimi, malzemenin, müşterinin talebinden müşteriye teslimine kadar olan süreçte sistematik bir şekilde planlamasını ve kontrolünü yapan organize bir yapıdır.”

Malzeme yönetimi planlama, satın alma, üretim ve envanter kontrol, depolama, malzeme aktarımı ve fiziksel dağıtımı içine alır. Amacı müşteri ihtiyaçlarını optimum bir performansla sağlarken aynı zamanda kaynakları doğru kullanarak ve maliyetleri en aza indirerek karlılığı sağlamaktır.

3.2.1 Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP)

Malzeme ihtiyaç planlaması üretilen ürünün tamamlanması için gerekli, ürün ağacı içindeki

parçaların programlanması ve satın alınması ile ilgilidir. Bu felsefe 60'ların sonlarında ABD'de imalatın hızla geliştiği bir dönemde kullanılmaya başlanmıştır. Büyüyen ekonominin getirdiği yoğun talep, üreticileri yüksek hacimli seri üretime yöneltmişti. Burada üreticilerin karşısına hedeflenen üretim miktarlarını gerçekleştirmeye yetecek hammadde ve malzeme tedarikinin sağlanması sorunun çıkmıştır.



Şekil 3.5 Malzeme ihtiyaç planlaması (Acar,1997).

Bu sorunun çözmek amacıyla işletmeler parçalara ilişkin bilgileri, ürün ağaçlarını, satış tahminlerini belirleyerek bilgisayarlarda veri tabanları oluşturmaya başladılar. Bilgisayarlar bu verileri eşleştirerek gerekli hammadde miktarını belirledi. Daha sonra da mevcut stoklara ve verilmiş siparişlere bakarak ısmarlanması gereken doğru miktardaki malzemeyi belirledi ve üreticiler için büyük bir sorun ortadan kalkmış oldu. İşte bilgisayarların kullandığı bu sistem Malzeme İhtiyaç Planlaması olarak adlandırıldı.

MRP'nin detaylı bir tanımı yapılacak olursa; envanter şişkinliğini azaltmayı ve üretim işlemi için gerekli uygun malzemenin sürekli olarak temin edilmesini sağlamayı amaçlayan bir uygulamadır.

MRP'de özellikle planlanmış üretim ve malın müşteriye dağıtımı için gerekli malzeme, ürün ve parçaların üretim faaliyetleri için sürekli hazır durumda bulundurulması; mümkün olan en düşük envanter seviyesini yakalamak ve bu durumun sürekliliğini sağlamak; üretim faaliyetlerinin, dağıtım operasyonunun ve satın alma işlemlerinin planlamasını yapmak konularına eğilinilir.

MRP'nin hangi alanlarda uygulanacağını belirlenmesi için iki tane kriter söz konusudur. Bu kriterler üretim ve de stoktur.

MRP yaklaşımı ortaya çıktığından beri birbirinden farklı pek çok imalat işletmesinde kullanılmıştır. Fakat bu işletmelerin bir ortak yanı vardır ki bu da tüm hammadde ve parça satın alımlarının, fabrikasyon işlemlerinin ve montaj faaliyetlerinin yer almış olduğu bir ana üretim programına sahip olmalarıdır.

Daha önceleri yalnızca karmaşık montaj işlemleri içeren imalat süreçlerinde kullanılan bu sistem artık basit yapılı ürünlerin üretimi ile uğraşan işletmelerde de kullanılmaktadır. Bu sistemi ilk kuranlar, yoğun fabrikasyon işlemleri gerektiren montaj türü imalat yapan metal sanayi işletmeleri olmuştur. Bu işletmeler çok sayıda işin aynı anda imalat sürecinde bulunduğu, siparişe göre çalışan işletmelerdir. Siparişe göre üretimde çok karmaşık üretim planlama ve stok kontrol sorunları oluşur. Bu yüzden bu tip üretimde MRP kullanmak kaçınılmazdır.

MRP'nin kullanıldığı bir başka üretim tipi de birden fazla çeşitte son ürünün stok için üretildiği, imalat süresinin uzun ve montaj faaliyetlerinin yoğun olduğu üretim süreçleridir.

MRP yaklaşımı satın alınan ya da imal edilen bağımlı talebe sahip her hangi bir kesikli stok malzemesine uygulanabilir. Kesikli stokta, işletme tarafından alınan hammadde veya her

hangi bir malzemenin işletmeye rutin aralılarla girişi yoktur. Üretim hattındaki ihtiyaç veya müşteri talebi doğrultusunda malzeme stoklanır. Bu stok malzemeleri; bir traktör gibi yüzlerce bileşenden oluşan büyük hacimli bir ürün olabileceği gibi, dolmakalem gibi küçük hacimli bir ürün de olabilir. Düşük maliyetli, küçük hacimli parçaların başlangıçta MRP sistemine alınması gereksizdir. Ancak sistem gelişip uygulama deneyimi kazanıldıkça bu malzemelerin sisteme alınması daha uygun olur. (Yamak, 2001)

MRP sistemi envanter yönetimini, üretim planlama ile birlikte düşünür. Ana üretim planlaması sonucu, planlama döneminde üretilecek ürün tipleri, üretim miktarları ve üretim zamanı belirlenir. Üretimin gerçekleştirilmesi ancak yeterli miktarda ve uygun zamanda üretim kaynaklarının bulunmasına bağlıdır. Malzeme ihtiyaç planlama sistemi, bu görevi yerine getiren bilgisayara dayalı üretim planlama ve kontrol sistemi elemanıdır.

3.2.2 Üretim Kaynak Planlaması (MRPII)

MRPII ABD'deki büyük üretim endüstrilerindeki imalat problemlerini çözebilmek için ortaya çıkan bir uygulamadır. Ekonomide ve tüketim eğilimlerinde ortaya çıkan gelişmeler, pazarın daha ağırlıklı biçimde müşteri tarafından belirlenir olmasına yol açtı. Bunun sonucunda da imalat firmalarında stoğa yönelik üretimden, siparişe yönelik üretim biçimine doğru bir kayma oldu. Siparişe yönelik üretim ürün çeşidinin artmasına neden olur. Malzeme ihtiyaç planlamasını açıklanırken bahsedilen malzeme ve hammadde tedariki sorununa kapasite kullanımı gereği, küçük miktarlarda da ekonomik üretim yapabilmek, etkin finansman yönetimi gibi sorunlar eklendi. Bu noktada ise MRP yetersiz kaldı.

MRP'de işletmenin üretim programını gerçekleştirecek kaynakların, pazarlama satış tahminlerinin ele alınmıyor olması bu sistemin sınırlı olduğunu gösterdi. Bu yüzden bir imalat firmasının tüm kaynaklarının etkin olarak planlanmasını sağlayan Üretim Kaynakları Planlaması yani MRPII sistemi oluşturuldu.

MRPII hemen hemen bütün mühendislik, finans, üretim, lojistik ve pazarlama faaliyetlerini içermektedir. Bu sistem, bir işletmenin hammaddeden üretime kadar bütün işlemlerini kontrol eden bir bilgisayar sistemidir.

Bir paket program olan MRPII sistemlerinde bulunan temel modüller şöyle özetlenebilir (Karacan, 2002):

- Satış tahminlerinin yapılması
- Satış siparişlerinin açılması ve takibi
- Ürün veri yönetimi(parça tanımlamaları, ürün ağaçları)

- Endüstri mühendisliği(iş merkezleri, operasyon planları-rotalar)
- Ana üretim programı oluşturulması
- Malzeme ihtiyaç planlama
- Kapasite ihtiyaç planlama
- Atölye üretim programı
- Satın alma ve fason takibi
- Envanter yönetimi(stok kontrol)
- Atölye veri takip sistemi(üretim ve ıskarta takibi)
- Verimlilik hesaplamaları
- Maliyetlendirme ve maliyet kontrol
- Sevkiyat planlama
- Satış sonrası müşteri hizmetleri
- Finansman yönetimi

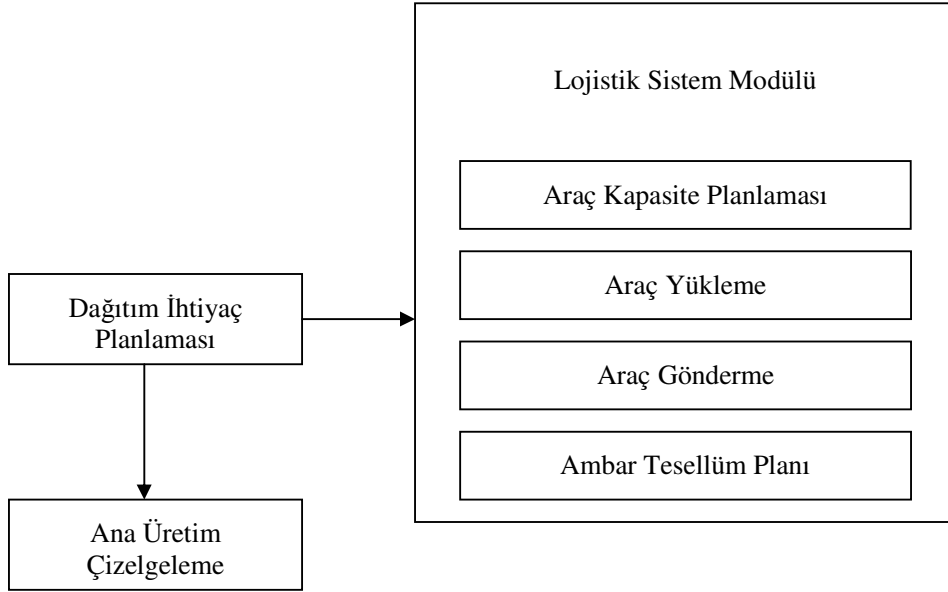
3.2.3 Dağıtım Gereksinimleri Planlaması (DRP) ve Dağıtım Kaynakları Planlaması (DRPII)

Dağıtım Gereksinimleri Planlaması ve Dağıtım Kaynakları Planlaması, temel olarak müşteri taleplerini lojistik ihtiyaçların karşılanması için başlangıç noktası olarak görmektedir. DRPII, DRP'nin genişletilmiş halidir. Ayrıca MRP uygulamalarının bir uzantısı konumundadırlar. Dağıtım ihtiyaçları, temel üretim planını, ürün ağaçlarını oluşturur. Ürün ağaçları da MRP tarafından kontrol edilir. Aslında DRP ve DRPII, MRP'nin işletmenin lojistik hareketlerine uygulanmış halidir.

DRP, MRP'nin dağıtım kanallarına ulaştırılmış halidir. MRP'de ürün ağaçları ürünün hammaddeden bitmiş haline gelinceye kadar olan yapısını gösterir. Dağıtım ağı da ürün ağacını bittiği yerde başlar.

DRP ve DRPII uygulamalarının kullanımı sonucunda işletmeler lojistik açıdan birçok fayda sağlarlar. İşte bu faydalar aşağıda görüldüğü gibidir:

- 1) Dağıtım merkezlerine ulaştırmada düşük maliyetler
- 2) Düşük stok seviyelerinde çalışabilme imkanı
- 3) Az stoklama nedeniyle daha az depolama hacimleri
- 4) Malzemelerin son kullanma tarihlerinin geçmesi gibi problemlerin daha etkin kontrol edilmesi
- 5) Geri iadelerin olmaması nedeniyle daha düşük dağıtım maliyetleri
- 6) Daha iyi koordinasyon ve dağıtım/üretim faaliyetleri arasında daha etkin ilişkinin kurulmasını, ihtiyaç duyulan ürünün doğru zamanda stokta bulunmasını sağlar.



Şekil 3.6 Dağıtım ihtiyaç planlaması ve lojistik sistemi (Tanyaş, 1995).

3.2.4 Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP)

Küreselleşmenin hızla arttığı yıllarda, buna paralel olarak çok uluslu firmalar da oldukça yaygınlaşmıştır. Bu firmalarda yoğun olarak yaşanan bir problem vardır. O da entegrasyon problemidir. Entegrasyonun sağlanabilmesi için faaliyetleri destekleyen bilginin ulaşılabilir hale getirilmesi gerekir. Bu noktada artık MRPII yeterli gelmemektedir. MRPII'yi de içine alan daha üst düzey bir bilgi entegrasyonu gerekmektedir. Bu entegrasyon Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) olarak adlandırılır.

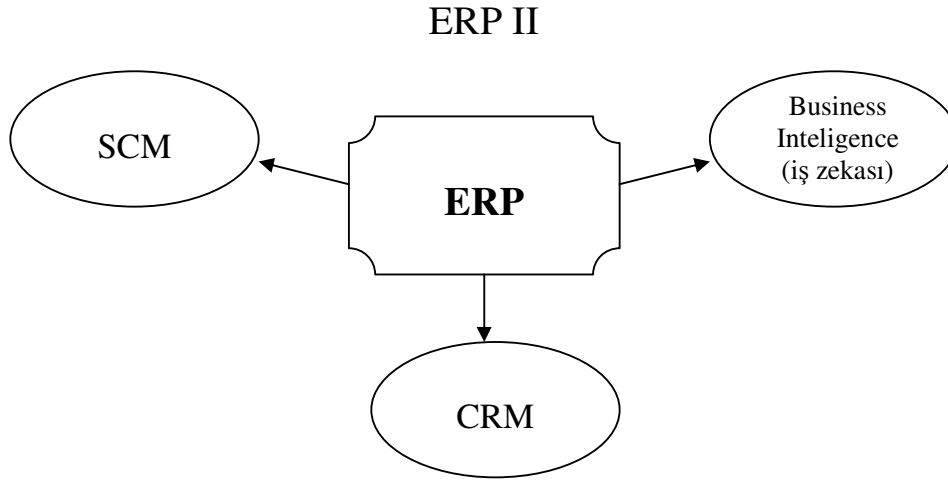
ERP'nin bir diğer özelliği, işletmenin coğrafi olarak farklı bölgelerde bulunan fabrikalarının, bunların tedarikçi firmalarının ve dağıtım merkezlerinin kaynaklarını eşgüdümlü olarak planlamasıdır. Bu çerçevede, hangi müşteriye ait hangi siparişin hangi dağıtım merkezinden karşılanması veya hangi fabrikada üretilmesi gerektiği, tüm fabrikaların malzeme ve hizmet ihtiyaçlarının nereden karşılanmasının uygun olacağı, fabrikaların elinde bulunan makine, malzeme, işgücü, enerji, bilgi vb. üretim ve dağıtım kaynaklarının nasıl eşgüdümlü ve ortaklaşa olarak kullanılabileceği belirlenmiş olmaktadır. Diğer bir deyişle, müşteriye ait siparişin en kısa sürede, istenen kalite ve maliyette karşılanabilmesi için tüm bağlı işletmelerin dağıtım, üretim ve tedarik kaynaklarının kapasite ve özellikleri aynı anda dikkate alınmaktadır.

3.2.5 Kurumsal Kaynak Planlaması II (ERP II)

ERP II'yi tedarik zinciri yönetimi (SCM: supply chain management), müşteri ilişkileri yönetimi (CRM: customer relationship management) ve işletme zekası (BI: business intelligence) kavramlarını bütünleştiren tam etkileşimli bir sistem olarak düşünebiliriz.

2000'li yılların başında özellikle internet ve çağrı merkezleri kanallarını kullanarak işletme dışı unsurlarla da bütünleşen ERP sistemleri, müşteri ilişkileri yönetimi (CRM), tedarik zinciri yönetimi (TZY) ve işletme zekası (BI) kavramlarını da kapsayarak ERP II kavramına genişlediler.

Yeni sınırı analiz edersek satış tarafında müşteriler, tedarik tarafında tedarikçiler ile en akıllı biçimde bütünleşmeyi görürüz. Bütünleşmede en dominant ortam olarak internet karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.7 Yeni ERP anlayışı (Çiftçi, 2003).

3.3 Envanter Yönetimi

Envanter konusunda verilecek kararlar tedarik zinciri yönetiminde büyük risk taşıyan ve etkili kararlardır. Eğer düzgün bir sınıflandırma yapılmazsa satışlar kaybedilebilir ya da müşterinin tatmin edilememesi gibi durumlar ortaya çıkabilir. Bununla birlikte, envanter planlama imalat için de kritik bir önem taşır. Malzeme ya da parça sıkıntısı bir üretim hattını kapatmayı ya da üretim programında bir değişiklik yapmayı gerektirebilir. Bu da fazladan maliyete ve potansiyel ürün sıkıntısına yol açabilir. Envanterin az olmasının yanında çok olması da bazı

sorunlara yol açar. Fazla stoklar maliyetleri arttırır, eklenen depolama maliyetleri, yatırılan sermaye, sigorta ve vergiler nedeniyle karlılık düşer. Bu yüzden envanter kaynak planlaması çok önemlidir.

Envanter politikası oluşturulurken, envanterin, imalat ve lojistik çevresindeki rolü çok iyi anlaşılmalıdır. Çünkü envanter yatırımları bir şirketin aktiflerinin büyük bir kısmını oluşturur. Yani envantere yapılacak yatırımın küçük bir yüzdeyle düşürülmesi bile karların iyileşmesinde çok önemli bir rol oynar.

3.3.1 Envanter ile İlgili Terimler

Envanter yönetimi politikası oluşturulurken, bazı envanter ilişkileri göz önüne alınmalıdır. Firmalar bu ilişkileri kullanarak ne zaman ve ne kadar sipariş verilmesi gerektiğini bulur ve buna bağlı olarak optimum envanter politikası oluşturmuş olurlar.

3.3.1.1 Envanter Politikası

Envanter politikası neyin, ne zaman ve ne miktarda satın alınacağı ya da üretileceğini gösteren bir sistemdir. Ayrıca coğrafi envanter konumlandırmasını da dikkate alarak karar vermeyi sağlar. Örnek vermek gerekirse, bazı firmalar envanteri üretim yerinde stoklamayı tercih eder, diğer firmalar ise pazara daha yakın olmak için envanteri coğrafi olarak dağıtarak konumlandırır. Envanter politikasının belirlenmesi, envanter yönetiminde en zor noktadır.

Envanter yönetimi uygulamasında iki tane yaklaşım söz konusudur. İlkinde envanter konumlandırıldıkları farklı noktalarda birbirlerinden bağımsız olarak yönetmektir. Diğer yaklaşımda ise merkezi bir yönetim söz konusudur. Bu yaklaşım çok etkili iletişim ve koordinasyon gerektirir. Bilgi teknolojilerini kullanabilme olanağı geliştikçe ve bütünleşik planlama sistemlerini kullanmaya geçildikçe daha fazla firma merkezileşmiş envanter planlamayı tercih etmektedir.

3.3.1.2 Hizmet Seviyesi

Hizmet seviyesi yönetim tarafından belirlenen hedef performanstır ve envanter yönetimindeki anahtar belirleyicilerdendir. Envanter performansının amaçlarını tanımlar. Hizmet seviyesinin bağlı olduğu bazı faktörler vardır. Bunlar satın alma için verilen sipariş ve nakliye faturasının ele geçmesi arasındaki zaman, yani performans çevrim zamanı, sipariş miktarı, müşteri tarafından karşılık bulan sipariş miktarı gibi faktörlerdir.

3.3.1.3 Ortalama Envanter

Ortalama envanter lojistik sistemde stoklanmış malzeme, tamamlayıcı parçalar, işlenen parçalar ve bitmiş mamullerden oluşur. Hedef envanter seviyesinin her tesis için tek tek hesaplanması gerekir. Performans çevrim zamanının başında envanter maksimum seviyede olur. Müşteriler, envanteri stok seviyesi minimuma inene kadar tüketir. Bu noktada stokların doldurulması için yeniden sipariş verilmesi gerekir ki stokların tamamen tükenmesi gibi bir durum yaşanmasın. Yeniden sipariş verilmesi gereken nokta, mevcut envanterin performans çevrim zamanı içinde, tahmin edilen talepten daha az ya da eşit olduğu stok seviyesidir. Ortalama envanter çevrimi ya da temel stok, sipariş miktarının yarısına eşit olmalıdır. Lojistik sistemdeki envanter yönetiminde önemli bir nokta emniyet stoklarıdır. Talep ve performans çevrim zamanı hakkındaki belirsizlikler yüzünden emniyet stokları bulundurulmalıdır. Bu stoklar yalnızca yeniden sipariş verme zamanlarında, beklenenden daha fazla talep olduğunda ya da performans çevrim zamanı beklenenden daha uzun sürdüğünde kullanılmalıdır. Buradan da anlaşılıyor ki ortalama envanter, sipariş miktarı ve emniyet stok miktarının toplamının yarısı kadardır.

3.3.2 Envanter Taşıma Maliyeti

Envanter taşıma maliyeti aslında envanteri elde bulundurma maliyetidir. Bu maliyetin belirlenmesinde dikkate alınması gereken envanterle ilgili masraflar vardır. Bunlar envantere yatırılan sermaye, sigorta, eskime payı, depolama ve vergilerdir.

Envanter yatırılacak olan uygun sermaye oldukça değişkendir. Bunun oranı şirket aktiflerinin %25'ine kadar çıkabilir. Envantere yapılan yatırım bağlayıcıdır yani parayı başka alanlarda kullanmayı engeller. Bu yüzden firmaların envantere yaptığı gereksiz yatırımlar ihtiyaç duyulan başka yatırımların eksik kalmasına neden olabilir.

Sigorta maliyeti ise belirlenen risk ya da daha önce zaman içinde olmuş kayıplara göre oluşturulur. Kolayca çalınabilen yüksek değerli ürünler ya da depolanması tehlikeli olan ürünler yüksek sigorta bedellerine neden olurlar. Ayrıca tesisin sahip olduğu güvenlik tedbirleri de sigorta masraflarının oluşmasında belirleyicidir. Tesis ne kadar güvenli olursa sigorta masrafları da o kadar düşük olur.

Eskime masrafları çoğunlukla ürünün depolanması esnasındaki bozulmalardan kaynaklanır. Bu daha çok ürünün tahmin edilen satış zamanında satılamamasından ve depoda yaşlanmasından kaynaklanır. Eskime ürünün modasının geçmesiyle de oluşabilir ve finansal

bir yük getirir.

Depolama maliyeti ise tesisin ürünü kullanmak yerine elde tutmasıyla oluşur. Envanter değerine doğrudan bir katkı sağlamadığı için ürün ihtiyacına göre depolama yapılmalıdır. İhtiyaç fazlası envanter tutma yüksek maliyetler getirir.

3.3.3 Envanter Planlama

Bu konudaki anahtar değişkenler ve prosedürler, sipariş zamanı, sipariş miktarı, envanter kontrol ve rehber envanter planlamadır. Sipariş zamanı talep ve zamanla ilgilidir. Ne kadar sipariş verileceği ise sipariş miktarı ile belirlenir.

3.3.3.1 Sipariş Zamanı

Yeniden sipariş verme miktarı için temel formül şöyledir:

$$R = D \times T \quad (3.1)$$

R: sipariş noktası (birim)

D: ortalama günlük talep (birim)

T: ortalama performans çevrim zamanı (gün)

Talep ve tedarik süresinin belirsiz olduğu durumlarda bu miktara emniyet stoğu da eklenmelidir. Emniyet stoğunun eklenmesiyle oluşan yeni formül ise şu şekilde oluşur:

$$R = D \times T + SS \quad (3.2)$$

R: sipariş noktası (birim)

D: ortalama günlük talep (birim)

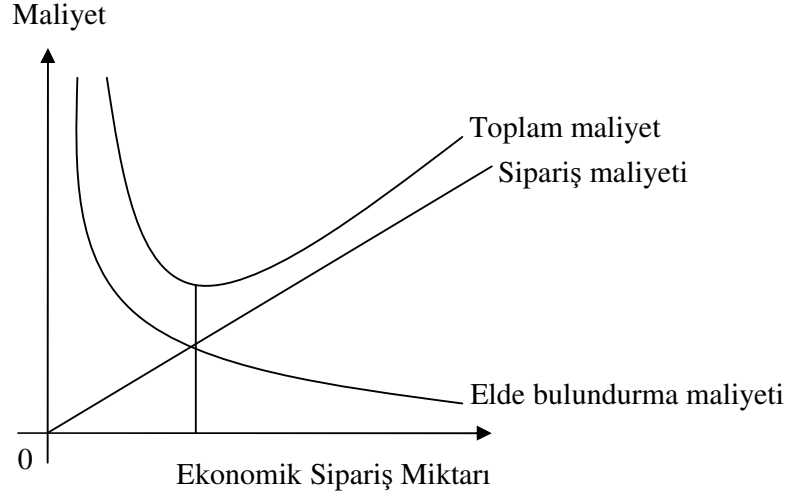
T: ortalama performans çevrim zamanı (gün)

SS: emniyet stoğu (birim)

3.3.3.2 Sipariş Miktarı

Burada unutulmaması gereken ortalama envanter seviyesi, sipariş miktarının yarısıdır. Bu yüzden sipariş miktarı arttıkça, ortalama envanter seviyesi de artar, yani oluşan maliyetler de artar. Fakat aynı zamanda sipariş miktarı arttıkça, planlanan dönemdeki sipariş sayısını da azaltır ki bu da toplamdaki sipariş verme maliyetini azaltır. Aşağıdaki şekilde sipariş ve

envanteri elde bulundurma maliyetinin minimum olduğu nokta, en küçük toplam maliyeti verir. Basit olarak amaç, toplam envanter maliyetini minimize edecek sipariş miktarını bulmaktır.



Şekil 3.8 Ekonomik sipariş miktarı (Bowersox vd. , 2002)

Ekonomik sipariş miktarı işte bu maliyetleri minimize eden değerdir. Bu değer belirlenmesinde yıl içindeki talep ve maliyetlerin dengeli olduğu kabul edilir. Bu değer basit bir formülle bulunur.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2C_o D}{C_i U}} \quad (3.3)$$

EOQ: ekonomik sipariş miktarı

C_o : sipariş maliyeti

C_i : elde bulundurma maliyeti

D: talep miktarı

U: ürün birim maliyeti

Bu değer hesaplanırken bazı önemli kabuller olduğu unutulmamalıdır. Bu kabuller şunlardır:

- 1) Bütün talep karşılanmıştır.
- 2) Talep oranı devamlı, sabit ve belirlidir.
- 3) Tedarik süresi sabit ve belirlidir.

- 4) Sipariş miktarı ve zamanından bağımsız olarak ürünün sabit bir fiyatı vardır.
- 5) Sonsuz bir planlama süresi mevcuttur.
- 6) Envanterdeki değişik ürünler arasında bir etkileşim yoktur.
- 7) Yolda hiçbir envanter yoktur.
- 8) Yatırılan sermayede bir limit yoktur.

3.4 Depolama

Satın alınan malzeme çoğu zaman anında işlenemez ya da kullanılamaz. Bu yüzden malzemelerin depolanmasına ihtiyaç duyulur. Ayrıca depolama emniyet için tutulan stoklar için de gereklidir. Depolama fonksiyonunda talep ve tedarik arasında bir denge kurulması gerekir. Fiziksel depolamada kaydedilen ve gerçekte bulunan stok seviyesi arasındaki fark en aza indirilmeye çalışılmalıdır. Fakat elde her zaman acil durumlarda kullanmaya yetecek kadar malzeme bulunmalıdır. Bunun kontrolünün sağlanabilmesi için de fiziksel depolama ve envanter yönetimi birlikte yürütülmelidir.

3.4.1 Depo Türleri

Pek çok depo türü bulunmakla birlikte temel birkaç çeşit depo aşağıda görülmektedir.

Genel Depo: Kamu ve özel sektörde en çok kullanılan ve kullanıcılara hizmet veren depo türüdür.

Üretim Deposu: Bir imalat çevresinde üretimi destekleyecek gerekli malzemeler bu depolarda tutulurlar. Burada stoklanan malzemeler satılabilir ürünler değildir.

Mühendislik Deposu: Bu tür depolar hizmet ve bakım için ihtiyaç duyulan malzemeleri depolar.

Tamamlanmış Ürün Deposu: Bu tür depolar adından da anlaşılacağı gibi bitmiş ürünlerin saklanması içindir. Müşteriye gitmeye hazır ürünler depolanır.

Alt-Depolar: Bu tür depolar kullanıcıların ya da müşterilerin coğrafi olarak yayılımına bağlı olarak kullanılırlar.

Kırtasiye Depoları: Bu depolar işletmelerin kırtasiye malzemesi ihtiyaçlarını sağlayacak şekilde kullanılan depolardır.

Özel Depolar: Bu tür depolar bazı özel malzemeler için kullanılırlar. Bir takım malzemeler

her türlü binaya ya da her türlü malzemenin yanında stoklanamazlar. Bu yüzden özel depolar kullanılırlar. Kimyasal çözeltiler, radyoaktif ürünler, patlayıcılar vb. ürünler bu tür depolarda saklanırlar.

3.4.2 Depolanacak Malzeme Türleri

Malzemeler son kullanıcılarına ya da ürün karakteristiklerine göre sınıflandırılabilirler. Fakat bütçeleme ve maliyet söz konusu olduğunda son kullanıcıya göre sınıflandırmak daha yararlı olacaktır.

Üretim Malzemeleri: Bu tür malzemelerin şekli, formu ya da karakteristikleri işlenerek değiştirilir. Malzeme satılabilir ürünün bir parçası olur. Bunlar çoğunlukla dışarıdan satın alınırlar.

Üretim Parçaları: Bunlar tamamlanmış parçalardır. Bu tür malzeme işlenmez fakat satılabilir ürünle birleştirilebilirler, ona monte edilebilirler. Bu tür parçalar dışarıdan satın alınabilir ya da işletme bünyesinde üretilebilirler.

İşlenmekte Olan Malzeme: İşlenmekte olan malzemeler üretim alt depolarında ya da üretim istasyonlarında tutulurlar. Üretim ve mühendislik ihtiyaç malzemeleri bu gruba girer.

Fabrika Donanım Malzemesi: Bu tür malzemeler genelde dışarıdan alınırlar ve ihtiyaç duyulana kadar emniyet amaçlı olarak depolanırlar.

Yedek Malzemeler: Bunlar işlem görmeyi bekleyen bitmiş parça ya da malzemelerdir.

Ambalaj Malzemesi: Bu malzemeler adından da anlaşıldığı gibi satılacak ürünün paketlenmesi için gerekli malzemelerdir.

Artık Malzemeler: Bunlar atılmayı bekleyen parçalardır, hurda malzemelerdir. Depolar bu tür malzemeyi atmaktan da sorumludur.

3.4.3 Depo Yerleşim Düzeni

Depo yerleşim düzeni önemli depolama kararlarından biridir. Kendi deposu olan, özel depolama sistemi kullanan işletmeler depolarının içinin nasıl olacağına karar vermek zorundadırlar. Depoda koridorların büyüklüğü, raf sistemleri, kullanılacak ekipman, deponun iç alan boyutu gibi değişkenlerin seçilmesi gerekir. Depo yerleşiminde uyulması gereken bazı kurullar vardır, daha doğrusu mümkün olduğu kadar takip edilmesi gereken kurallardır bunlar. Aşağıda bu kurallar görülmektedir:

- Tek katlı tesis kullanılmalıdır.
- Mallar düz hatlar halinde taşınmalıdır.
- Etkin aktarım araçları kullanılmalıdır.
- Etkili bir stok planı kullanılmalıdır.
- Koridor alanları minimize edilmelidir.
- Olabildiğince fazla yükseklik kullanılmalıdır.

Bunların haricinde yardımcı olabilecek başka yollar da vardır. Fonksiyonel olarak birbirine yakın ürünler gruplanarak yerleştirilmelidir. Çabuk hareket gören ürünler birbirine yakın yerleştirilmelidirler. Fiziksel olarak benzer özellikteki ürünler birbirlerine yakın olarak tutulmalıdırlar. Yarı mamul ve malzeme stokları ayrı yerlerde tutulmalıdırlar.

3.4.4 Depo Büyüklüğü ve Konumu

İşletmeler, genel depolarda kullandığı alanı ihtiyaca göre arttırabilecek ya da azaltabilecek konumda olmalıdırlar. İşletme, ayrıca arzu ettiği müşteri hizmet düzeyini en az lojistik maliyet ile elde edebilmelidir. Yüksek düzeyde müşteri hizmeti gerektiren ürünlerin depoları pazarın yakınında, hammaddelerin depoları üretim alanının yakınında konumlandırılmalıdır. Deponun tam yerinin belirlenmesinde nakliye seçenekleri, pazar ve diğer yerel karakteristikler önemli yer tutarlar. Uygulamaya geçildiği andan itibaren her hangi bir değişiklik yüksek maliyetler oluşturacağından depo yeri ve büyüklüğü kararı tüm faktörler değerlendirilerek büyük bir dikkatle verilmelidir.

Dünyanın her hangi bir yerinde depo kurma kararı verilirken pazar durumu, ücretler, vergi oranları, politik istikrar, enerji maliyetleri, kaynaklara yakınlık, gümrük vergi ve komisyonları, ithalat kotaları, iklim ve nakliye gibi kriterler kullanılır. Daha sonra şehir seçimi yapılır. Burada dikkat edilmesi gereken noktalar; şehrin trafik kapasitesi, genişleme imkanı, zeminin sağlamlığı, çevre korumaya ilişkin düzenlemeler, su ve kanalizasyon altyapısı, polis ve itfaiye koruması, serbest bölgeler vb. faktörlerdir.

3.4.5 Depo Aktarım Araçları

Günümüzde depolarda kullanılmak üzere pek çok araç geliştirilmiştir ve bunlar depolama işlemlerini oldukça kolaylaştırmaktadır.

Güçlendirilmiş Kamyonlar: Bu tür kamyonlar genellikle dizel motor ya da elektrikli motor ile güçlendirilmişlerdir. Bu araçlar yatay ya da düşey pozisyonda kullanılabilirler. Büyük depolarda bu kamyonlar manuel kamyonlarla yer değiştirmişlerdir.

Forklift Kamyonları: Bu kamyonlar da dizel, benzin ya da elektrikle çalıştırılmaktadır. Bu

kamyonların ilk üretilmesinden bu yana büyük değişimler geçirmişlerdir. Ayrıca bu tür araçlara bazı uzantılar ekleyerek malzeme taşınmasını kolaylaştırmak da mümkündür.

Vinçler: Vinçler hem depo içinde, hem de depo dışında kullanılması mümkün olan taşıyıcılardır.

Konveyörler: Konveyörler yüklerin paletlere yüklenmesinde kullanılırlar.

3.5 Tedarik Zinciri Yönetiminin Avantajları

Başlangıç noktası tüketici, uç noktası ise hammadde tedarikçileri olan bir yığın işletme yerine bunların tamamını ifade eden tek bir firma görünümündeki tedarik zinciri; şirketlerin iç çalışmalarını en uygun ve basit bir şekle getirir. Aynı zamanda tüm tedarik zincirinin çalışması incelenmekte ve çalışmaları iyileştirmek suretiyle de şirketlerin tüketiciye karşı yapmaları gerekenleri en uygun duruma getirme olanaklarını da sağlamaktır. TZY; fiyat, kalite ve teknoloji gibi çıktıların geliştirilmesini ve uygulamaların uyumlu, bütünleşmiş ve yüksek performanslı olmalarını sağlamaktadır. TZY uygulamaları; çok yönlü ve çok kullanışlı gelişim aktivitesi için temel oluşturur. Uyumlu strateji, haberleşme liderliği ve iş süreci yönetimini geliştirirler. Müşteri/tedarikçi yoğunlaşmasını sağlar ve sanayinin vizyonunu ve araştırmasını en iyi uygulamalar içinde birleştirir. Dolayısıyla TZY'in beklenen yararları hammadde kaynaklarından son tüketiciye kadar bütün alanlarda ortaya çıkmaktadır. TZY'in gerçek etki derecesi; tedarik zincirinde yarattığı görüş yeteneğindedir. Ekonomik hesaplamalar; TZY'in daha düşük stok, sevkiyat ile çalışan işletmeler için en iyi miktarlarda dengelemeler yapabilir.

NESİ Şirketi tarafından yapılan bir araştırma bütünleştirilmiş stok zinciri kapasitesi ile ilgili olarak TZY ile % 32'den fazla bir maliyet düşüşü, dağıtım performansının %50'nin üstünde artırılması, stok listelerinde % 95'den fazla azalma, stok dönüş hızının % 100'ün üstünde artırılması, müşteri memnuniyetinde % 5'in üzerinde artış sağlandığını ortaya çıkartmıştır. Aynı araştırmada bütünleştirilmiş tedarik zincirinin tipik çalışma kazanımları! dağıtım performansında % 16-28 arasında bir artış, stok miktarlarında %25-60 arasında bir düşüş, döngü süresinde % 30-50 arasında bir düzelme, tahminlerde % 25-80 arasında bir keskinlik, şirketin faaliyetlerinde % 10-16 arasında bir verimlilik artışı olarak karşımıza çıkmıştır.

3.6 Tedarik Zinciri Yönetiminin Dezavantajları

Üretim firmalarının tamamı TZY sistemlerine sahiptir. Ancak bunlardan birçoğu

geliştirilmemiş, karmaşık veya kontrol edilmez durumdadır. Benzer şekilde bazı firmalarda tam entegrasyonu ve birleşik fonksiyonel sistemi gerçekleştirememiştir. Rekabet pozisyonunun geliştirilmesi durumunda firmanın süreklilik içinde nerede olduğunun incelenmesine ihtiyaç vardır. TZY; bazen öncelikli aktiviteler nedeniyle çok zaman kaybına neden olur ve bu nedenle istenilen seviyede TZY uygulaması elde edilemez. Yanlış girişimler üzerine yoğunlaşma gereksiz masraflara sebep olur.

4. GENETİK ALGORİTMALAR

4.1 Genetik Algoritmanın Tarihçesi

Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland bu konuda ilk çalışmaları yapan kişidir. Mekanik öğrenme (machine learning) konusunda çalışan Holland, Darwin'in evrim kuramında etkilenecek canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşündü. Tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğini geliştirmek yerine böyle yapılarda oluşan bir topluluğun çoğalma, çiftleşme, mutasyon, vb. genetik süreçlerden geçerek başarılı (öğrenebilen) yeni bireyler oluşturabildiğini gördü. Araştırmalarını, arama ve optimumu bulma için, doğal seçme ve genetik evrimden yola çıkarak yapmıştır. İşlem boyunca, biyolojik sistemde bireyin bulunduğu çevreye uyum sağlayıp daha uygun hale gelmesi örnek alınarak, optimum bulma ve makine öğrenme problemlerinde, bilgisayar yazılımı modellenmiştir.

Çalışmalarının sonucunu açıkladığını kitabının 1975'te yayınlanmasından sonra geliştirdiği yöntemin adı Genetik Algoritmalar (ya da kısaca GA) olarak yerleşti. Ancak 1985 yılında Holland'ın öğrencisi olarak doktorasını veren David E. Goldberg adlı inşaat mühendisi 1989 da konusunda bir klasik sayılan kitabını yayınlayana dek genetik algoritmaların pek pratik yararı olmayan bir araştırma konusu olduğu düşünülüyordu. İlk olarak Hollanda' da makine öğrenme sistemlerine yardımcı olarak kullanılmış daha sonra De Jong Goldberg ve diğerleri tarafından analiz edilmiştir. Goldberg, GA'nın çok sayıda kollara ayrılmış gaz borularında, gaz akışını düzenlemek ve kontrol etmek için uygulamasını tanımlamıştır. Ayrıca kendisinin kullandığı makine öğrenmesi, nesne tanıma, görüntü işleme ve işlemsel arama gibi alanlarda kullanıldığını vurgulamıştır.

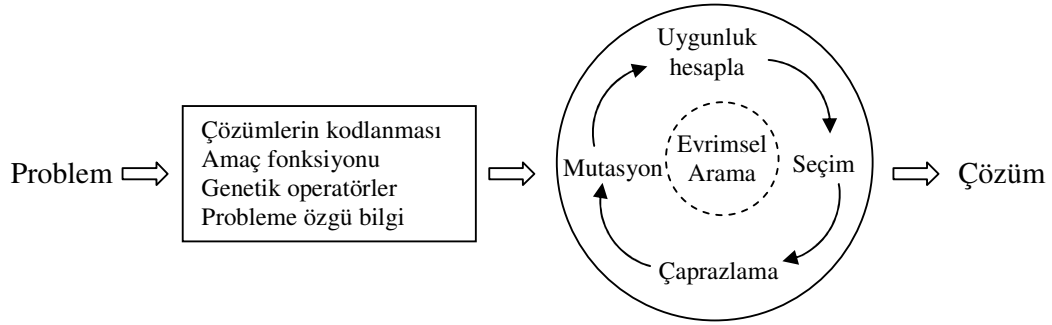
Goldberg'in gaz boru hatlarının denetimi üzerine yaptığı doktora tezi ona sadece 1985 National Science Foundation Genç Araştırmacı ödülünü kazandırmakla kalmadı, genetik algoritmaların pratik kullanımının da olabilirliğini kanıtladı. Ayrıca kitabında genetik algoritmalara dayalı tam 83 uygulamaya yer vererek GA'nın dünyanın her yerinde çeşitli konularda kullanılmakta olduğunu gösterdi.

4.2 Genetik Algoritmanın Tanımı

Genetik algoritmalar, doğal biyolojik evrim ve gelişimi örnek alan stokastik arama metotlarıdır. Genetik algoritmalar çözüme en uygun veya en yakın potansiyel çözümler içeren

popülasyonlar üzerinde çalışırlar. Her nesilde daha güçlü ve amaçlara daha uygun bireyler üretilerek sonuca gidilir. Doğada güçlü olan bireylerin hayatta kalma ve üreme şansları daha yüksektir. Bu prensipten yola çıkan genetik algoritma da bu prensibi takip ederek, yani daha iyi çözümler üreten bireyleri sonraki popülasyonlara taşıyarak en iyi çözümü bulmayı amaçlar.

Genetik algoritmalar doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. Bunun için “iyi”nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk (fitness) fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden birleştirme (recombination), değiştirme (mutation) gibi operatörleri kullanır. Genetik algoritmaların bir diğer önemli özelliği de bir grup çözümle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötülerini elenebilir.



Şekil 4.1 Genetik algoritma kullanarak problem çözme.

Genetik algoritmaları diğer algoritmalarından ayıran en önemli özelliklerden biri de seçmedir. Genetik algoritmalarda çözümün uygunluğu onun seçilme şansını artırır ancak bunu garanti etmez. Seçim de ilk grubun oluşturulması gibi rasgeledir ancak bu rasgele seçimde seçilme olasılıklarını çözümlerin uygunluğu belirler.

Genetik algoritmalar, klasik optimizasyon algoritmalarından dört temel noktada ayrılır (Oğuz ve Akbaş, 1997):

- 1) GA parametrelerin kendileri ile değil, parametre takımının kodlanmış bir haliyle uğraşırlar.
- 2) GA aramaya tek bir noktada değil, bir nokta ailesinden başlarlar. Dolayısıyla yerel bir optimuma takılmadan çalışabilirler.
- 3) GA amaç fonksiyonunun (objective function) türevlerini ve bir takım ek bilgileri değil, doğrudan amaç fonksiyonunun kendisini kullanırlar.
- 4) GA’da deterministik değil rastlantısal geçiş kuralları kullanılır.

4.3 Genetik Algoritmaların Çalışma Prensipleri

Genetik algoritmanın çalışmasını aşağıdaki adımlarla özetleyebiliriz (Oğuz ve Akbaş, 1997):

1. Adım: Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur. Çözüm grubuna biyolojideki benzerliği nedeniyle popülasyon, çözümlerin kodları da kromozom olarak adlandırılır. Bu adıma popülasyonda bulunan birey sayısını belirleyerek başlanır. Bu sayı için bir standart yoktur. Genel olarak önerilen 100-300 aralığında bir büyüklüktür. Büyüklük seçiminde yapılan işlemlerin karmaşıklığı ve aramanın derinliği önemlidir. Popülasyon bu işlemten sonra rasgele oluşturulur.

2. Adım: Her kromozomun ne kadar iyi olduğu bulunur. Kromozomların ne kadar iyi olduğunu bulan fonksiyona uygunluk fonksiyonu denir. Bu fonksiyon işletilerek kromozomların uygunluklarının bulunması ise hesaplama (evaluation) adı verilir. Bu fonksiyon genetik algoritmanın beynini oluşturmaktadır. GA'da probleme özel çalışan tek kısım bu fonksiyondur. Çoğu zaman GA'nın başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlı olmaktadır.

3. Adım: Bu kromozomları eşleyerek yeniden kopyalama ve değiştirme operatörleri uygulanır. Bu sayede yeni bir popülasyon oluşturulur. Kromozomların eşlenmesi kromozomların uygunluk değerlerine göre yapılır. Bu seçimi yapmak için rulet tekerleği seçimi, turnuva seçimi gibi seçme yöntemleri vardır.

4. Adım: Yeni kromozomlara yer açmak için eski kromozomlar ortadan kaldırılır. Eski kromozomlar çıkartılarak sabit büyüklükte bir popülasyon sağlanır.

5. Adım: Tüm kromozomların uygunlukları tekrar hesaplanır. Tüm kromozomlar yeniden hesaplanarak yeni popülasyonun başarısı bulunur.

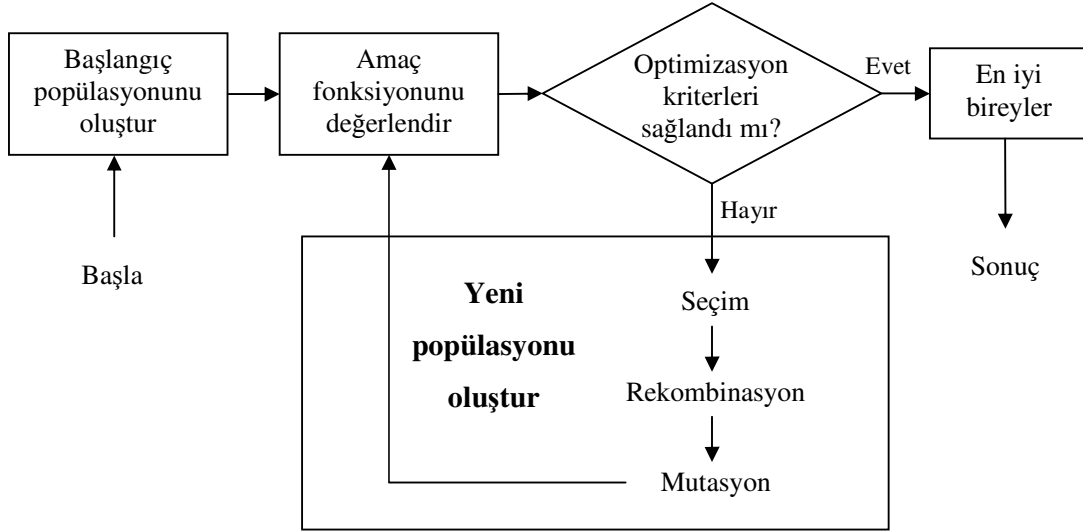
6. Adım: GA defalarca çalıştırılarak çok sayıda popülasyon oluşturulup hesaplanır. Eğer zaman dolmamışsa 3. adıma gidilir.

7. Adım: O ana kadar bulunan en iyi kromozom sonuçtur. Çünkü popülasyonların hesaplanmasında en iyi bireyler saklanmıştır.

4.4 Genetik Algoritma Operatörlerine Genel Bakış

Seçim: Seçimde çaprazlama için hangi bireylerin seçileceği belirlenir. Seçim, uygunluk değerini temel alarak, popülasyondan uygunluk değeri düşük olan bireylerin elenmesi ve

yerlerine uygunluk değerleri yüksek bireylerin kopyalarının konmasıdır. Uygunluk değeri; hangi bireyin sonraki topluluğa taşınacağını belirler. Bir dizinin uygunluk değeri, problemin amaç fonksiyonu değerine eşittir. Bir dizinin gücü uygunluk değerine bağlı olup iyi bir dizi, problemin yapısına göre maksimizasyon problemi ise yüksek, minimizasyon problemi ise düşük uygunluk değerine sahiptir.



Şekil 4.2 Genetik algoritmanın çalışma yapısı.

Seçim aşamasının önemi, topluluğun (population) boyutu ile ilişkilidir. Seçimde küçük topluluk boyutu ile çalışılması durumunda topluluk çeşitlendirmesinin olası iyi alternatiflerin oluşması için yetersiz kalması sorunu yaşanabilir. Bu sebeple seçimde, topluluktaki bireylerin çeşitlendirmesini daraltan bir yöntemin uygulanması iyi sonuç vermeyebilir (Back vd., 2000).

Çaprazlama (Rekombinasyon): Elenen ebeveynler arasındaki kromozomların yer değiştirilerek yeni bireylerin oluşturulmasıdır. Eşleşmiş ebeveynlerin ortaya çıkarmış oldukları çocuklar ebeveynlerinin karmaşık kromozomlarını taşırlar. Örneğin; 1. ebeveyn ‘abcde’ kromozomuna sahip olurken 2. ebeveyn ‘ABCDE’ kromozomuna sahip olsun; çocuğun taşıyabileceği kromozomlardan bir tanesi ‘abcDE’ olabilir. Örneğimizdeki ‘c’ ve ‘D’ kromozomlarının yeri çaprazlama noktasını gösterir.

Genetik algoritmada ikili kodlama kullanıldığında belirlenen çaprazlama noktasından kromozomlar değiştirilerek yeni bireyler elde edilir. Reel sayılar kullanıldığında ise önceden belirlenen bir algoritma kullanılarak yeni bireyler oluşturulur. Bu durumda çaprazlama değil rekombinasyon kelimesini kullanmak daha uygun olacaktır. Ancak çalışmamızda her iki

kelime de aynı anlamda kullanılacaktır.

Eşleşme havuzu seçildikten sonra, bu operatör devreye girmektedir. Bu operatör rastlantısal olarak eşleşme havuzundan kromozomları seçer. Kromozomların cinsiyeti, farklılığı veya benzerliği bu durumda önemli değildir. Sonra çaprazlama sayısı çaprazlama olasılığı'na göre yapılır.

Çaprazlama olasılığı (pc): Çaprazlama olasılığı çaprazlamanın hangi sıklıkta yapılacağını belirtir. Eğer hiç çaprazlama yapılmaz ise (çaprazlama olasılığı %0) yeni bireyler eski bireylerin aynısı olur ama bu yeni kuşağın eskisiyle aynı anlamına gelmez. Eğer bu oran %100 olursa yeni bireyler tamamıyla çaprazlama ile elde edilir. Çaprazlama eski bireylerden iyi taraflar alınarak elde edilen yeni bireylerin daha iyi olması umuduyla yapılır. Eğer çaprazlama yapılmayacaksa seçilen iki kromozom aynen gelecek jenerasyon için kopyalanır. Eğer çaprazlama uygulanacaksa, seçilen iki kromozom gelişigüzel bir noktadan kesilip iki kromozomum kesilen noktalarından itibaren genler yer değiştirir. Yer değiştiren bu kromozomlar potansiyel olarak yeni çocuk olmaya elverişlidir. Örneğin, 1000 ve 01110 zincirlerinin çaprazlama için seçildiğini kabul edelim. Gelişigüzel ayırtma noktası da 3 olsun. Bu durumda aşağıdaki çaprazlama durumu söz konusu olur.

$$\begin{array}{ccc} 100 | 00 & \longrightarrow & 100 | 10 \\ 011 | 10 & & 011 | 00 \end{array}$$

Şekil 4.3 İki bireyin çaprazlanması.

Çaprazlama sonunda yeni kromozomlar ise 10010 ve 01100 olacaktır. Çaprazlama işlemi yeni toplum büyüklüğü tamamlanıncaya kadar sürdürülür.

Mutasyon: Rekombinasyondan sonra bireyler çok küçük miktarlarda ve düşük bir olasılıkla değişime uğratılırlar. Bu değişim mutasyon olarak adlandırılır. Bazı iyi kromozomlar çaprazlama ve seçim aşamasında kaybedilmiş olabilir. Bu durumda yeni bireyin genlerinin rasgele değiştirilmesiyle kaybedilmiş iyi bir kromozom kurtarılabılır. Aşağıda orijinal bireylerdeki koyu ile gösterilmiş genler değişmiş bireyde yer değiştirmiştir.

Orijinal Birey 1100011**0**00011110

Değişmiş Birey 11000111**0**0011110

Mutasyon olasılığı (pm) mutasyonun hangi sıklıkta yapılacağını belirler. Mutasyon olmaz ise

yeni birey çaprazlama veya kopyalama sonrasında olduğu gibi kalır. Eğer mutasyon olur ise yeni bireyin bir kısmı değiştirilmiş olur. Eğer bu oran %100 olursa kuşak içindeki bireyler tamamen değişir, %0 olursa hiç değişmeden kalır.

Yeniden Üretim: Toplum içerisinde en uygun değerin bazı seçim operatörleri kullanılarak seçilmesidir. Bu operatör yardımıyla birey kromozomu gelecek jenerasyona katkı sağlaması için kopya edilir. Bu kopyalama işi kromozomun değerine bağlı olarak bulunan uygunluk fonksiyonu değerine göre yapılır. Her jenerasyonda, bu operatör iyi bireyleri seçerek eşleşme havuzuna atar ki, bu havuz gelecek jenerasyonu üretmek için kullanılır. Yeniden üretim işlemi seçim operatörleri yardımıyla yapılabilir. Bunlardan literatüre yaygın olarak kullanılanlar:

- 1) Rulet tekeri: Rulet seçiminde kromozomlar uyumluluk fonksiyonuna göre bir rulet etrafına gruplanır. Uygunluk fonksiyonu herhangi bir kritere uyan bireylerin seçilmesi için kullanılır. Bu rulet üzerinden rasgele bir birey seçilir. Daha büyük alana sahip bireyin seçilme şansı daha fazla olacaktır. Bu metot yardımıyla kromozomlar istatistiksel yöntemler kullanılarak uygunluk fonksiyonu değerlerinin toplam uygunluk fonksiyonuna oranları ölçüsünde seçilirler.
- 2) Turnuva seçimleri: Kural dahilinde iki kromozom toplum içerisinde seçilerek uygunluk fonksiyonu büyük olan kromozom eşleşme havuzuna gönderilir, diğeri ise havuzun içine tekrar bırakılır. Bu işleme yeni toplum büyüklüğü dolduruluncaya kadar devam edilir. Bu yöntemin avantajı herhangi bir kromozomun süreç sırasında kaybedilme olasılığı rulet tekeri seçim tekniğine göre daha azdır.

4.5 Seçim

Seçim operatörü yeni nesli oluşturacak bireylerin seçilmesini sağlar. İlk adım uygunluklarının belirlenmesidir. Seçim havuzundaki her bireyin kendi amaç fonksiyonuna ve diğer bütün bireylerin amaç değerlerine göre üreme olasılığı hesaplanır. Bu uygunluk değerleri daha sonra bireyleri seçmede kullanılır.

Bu bölümde farklı seçim tasarımlarını karşılaştırmak için kullanılan terimler aşağıda özetlenmiştir. Daha ayrıntılı bilgileri Baker, J.E. (1987) ile Blickle ve Thiele'nin (1995) çalışmalarında bulabilirsiniz.

Seçici baskı: En iyi bireyin diğer tüm bireylere göre olan seçilme olasılığıdır.

Eğilim: Bir bireyin normalize edilmiş uygunluk değeri ile beklenen üreme olasılığının farkıdır.

Yayılış: Bir bireyin çocuklarının sayısı için olası değerler aralığıdır.

Farklılaşma kaybı: seçim aşamasında bir popülasyondaki seçilmeyen bireylerin oranıdır.

Seçim yoğunluğu: Normalize edilmiş Gaussian dağılımına bir seçim metodu uygulandıktan sonra popülasyoun beklenen ortalama uygunluk değeridir.

Seçim varyansı: Normalize edilmiş Gaussian dağılımına bir seçim metodu uygulandıktan sonra popülasyoun uygunluk dağılımının beklenen varyansıdır.

4.5.1 Sıra-Bazlı Uygunluk Tayini

Sıra-bazlı uygunluk tayininde, popülasyondaki bireyler amaç değerlerine göre sıralanırlar. Her bireye tayin edilen uygunluk yalnızca o bireyin popülasyondaki sırasına bağlıdır, amaç değeri göz önünde bulundurulmaz.

Sıra-bazlı uygunluk tayini, orantılamadan kaynaklanan problemleri çözer. Örneğin çok küçük değerlerde, uygunlukların çok yakın olması ve seçici baskının çok az olduğu durumlarda etkilidir. Üreme alanı sınırlıdır, bu sayede gereğinden fazla çocuk oluşturulmamış olur. Sıralama düzenli bir derecelendirme oluşturur ve seçici baskının kontrolünü basit ve etkili bir yolla sağlar.

Sıra-bazlı uygunluk tayini, orantılı uygunluk tayinine göre daha kesin bir davranış biçimi sergiler (Whitley, 1989; Bäck ve Hoffmeister, 1991).

4.5.2 Çok-Amaçlı Sıralama

Orantısız ve sıra-bazlı uygunluk tayinleri ele alınırken bireylerin yalnızca tek amaç fonksiyon değerlerine sahip olduğu düşünülmüştür. Ancak gerçek yaşamdaki çoğu problemde bir bireyin kalitesini değerlendirmek için hesaba katılması gereken birçok kriter bulunmaktadır. Bir bireyin diğer birine olan üstünlüğüne karar verirken bu çeşitli kriterler temel alınarak bir karar verilebilir. Bu şekilde, tek-amaçlı problemlerde olduğu gibi çok-amaçlı bir sıralama gerçekleştirilebilir.

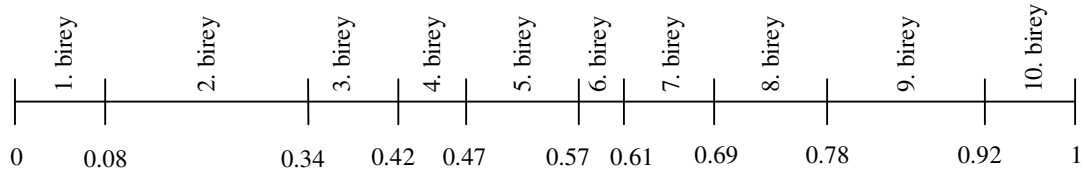
Çok-amaçlı uygunluk tayini ve bununla beraber çok-amaçlı optimizasyon, $N\text{Amaç } f_r, r = 1, \dots, N\text{Amaç}$ kriterlerinin eşzamanlı minimizasyonu olarak düşünülebilir. f_r değerleri, bireylerin (karar değişkenleri) değişkenlerine bağlı olan amaç fonksiyonu tarafından belirlenir.

Açıklayıcı bir örnek vermek gerekirse; ürünler üretilirken, üretim maliyetleri minimum tutulmalı ve aynı zamanda ürünler hızlı bir biçimde üretilmelidir. Üretim planlama sırasında çalışan makine sayısı ve tipi ile çalışan işçi sayısına bağlı olarak çok çeşitli çözümler geliştirilebilir. Amaç fonksiyonu tarafından belirlenen f_1 üretim maliyeti ve f_2 üretim zamanı kriterleri, her çözüm için bir değerlendirme kriteri olarak ortaya çıkmaktadır.

4.5.3 Rulet Tekerleği Seçimi

Stokastik örnekleme olarak da bilinen rulet tekerleği seçimi en basit seçim şemasıdır (Baker, 1987). Bu stokastik bir algoritmadır ve içerdiği teknik aşağıda açıklanmıştır:

Her bireyin uygunluk değeri bir çizgi boyunca çizildiğinde ilgili bireyin bütün çizgideki oranı uygunluk değerinin tüm bireylerin toplam uygunluk değerlerine olan oranlarını verir. Rastsal bir sayı üretildiğinde (0 ile elde edilen çizginin boyu aralığında) bu sayı hangi bireye denk geliyorsa o seçilmiş olur. Bu birey çizgiden çıkartılır ve işleme istenen sayıda birey seçilene kadar devam edilir. Bu teknik dilimleri uygunluk değerleriyle orantılı olan rulet tekerleğine benzetilebileceği için bu şekilde adlandırılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Rulet tekerleği seçimi.

Tablo 4.1’de 10 bireyin seçilme olasılıkları ve lineer sıralamaları gösterilmiştir. 2. birey %26 ile seçilme olasılığı en yüksek bireydir. 6. birey ise %4 seçilme olasılığı ile en düşük seçilme şansına sahiptir.

Çizelge 4.1 Uygunluk değerleri ve seçilme olasılıkları.

Birey	2	9	5	8	10	1	3	7	4	6
Uygunluk değeri	165	85	60	60	50	48	48	48	35	25
Seçilme olasılığı	0,26	0,14	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,04

0-1 aralığında rastsal sayılar ürettiğimizde, aşağıdaki değerlerin geldiğini varsayalım:

0.38, 0.23, 0.72 ve 0.51

Bu durumda seçilen bireyler; 3. birey, 2. birey, 8. birey ve 5. birey olacaktır.

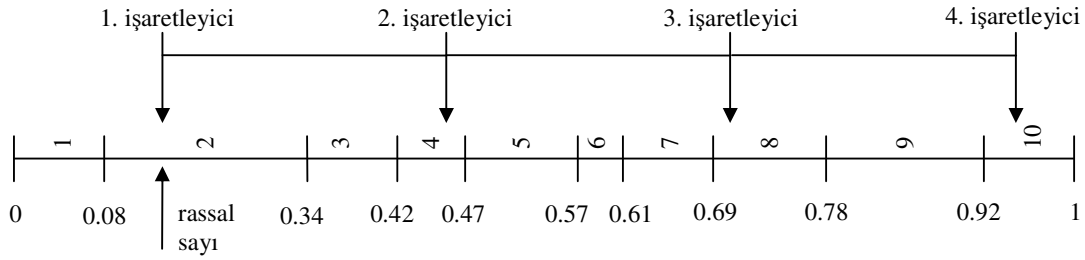
Rulet tekerleği seçim yöntemi sıfır eğilim sağlar, fakat minimum yayılımı garanti etmeyebilir.

Minimum yayılım için seçilen birey çıkartılarak işleme devam etme yoluna gidilebilir.

4.5.4 Stokastik Genel Örneklemeye

Stokastik genel örneklemeye sıfır eğilim ve minimum yayılışa sahiptir (Baker, 1987). Tıpkı rulet seçim yöntemindeki gibi bireyler uygunluk değerlerine göre bir çizgi boyunca çizilirler. Burada seçilecek birey sayısı kadar eşit aralıklara sahip işaretleyiciler çizginin üzerine koyulur. Eğer N adet birey seçilecekse, o zaman işaretleyiciler arasındaki mesafe $1/N$ olacaktır. İlk işaretleyicinin çizgi üzerindeki konumu $[0, 1/N]$ aralığında rastsal bir sayı ile belirlenir.

Örnek olarak 4 birey seçeceğimizi varsayalım. Bu durumda işaretleyiciler arasındaki mesafe $1/4 = 0.25$ olacaktır. Şekil 4.5'te bu seçim gösterilmiştir. Buna göre seçilen bireyler; 2. birey, 4. birey, 8. birey ve 10. bireydir.



Şekil 4.5 Stokastik genel örneklemeye.

4.5.5 Yerel Seçim

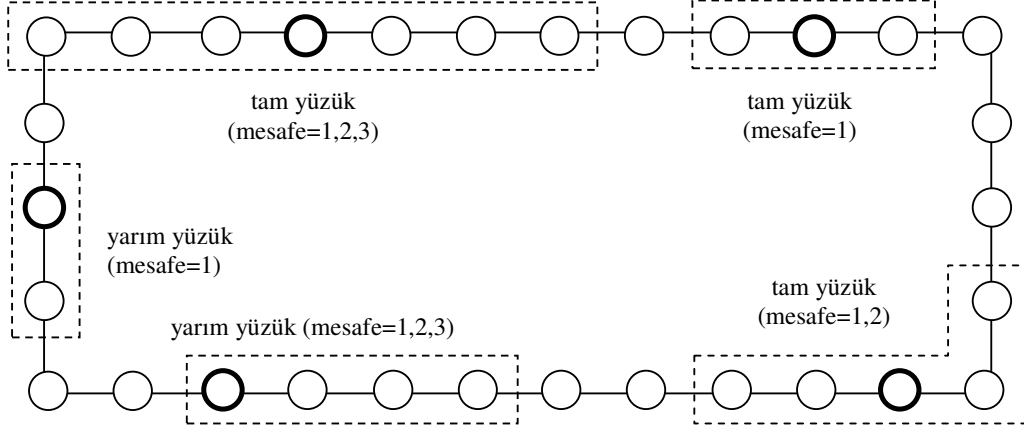
Yerel seçimde her birey yerel komşuluk denilen kısıtlanmış bir çevre içinde yer alır. Diğer seçim metodlarında seçim havuzu veya komşuluğu tüm popülasyonu veya alt popülasyonu kapsar. Bireyler yalnızca bu alandaki bireylerle etkileşim içindedirler. Komşuluk, popülasyonun yayıldığı yapıda tanımlanmıştır. Komşuluk potansiyel olarak çiftleşebilecek eşlerden oluşan grup olarak görülebilir.

İlk adım, eşleme popülasyonunun ilk yarısının rastsal olarak (veya stokastik genel örneklemeye, budama seçimi gibi diğer metodlardan biri kullanılarak) seçilmesidir. Her bir seçilecek birey için bir yerel komşuluk tanımlanır. Komşuluk içinden çiftleştirilecek eş seçilir (en iyi, uygunluk orantılı veya rastsal olarak).

Komşuluk yapısı aşağıdaki biçimlerde olabilir:

- Lineer
 - Tam yüzük, yarım yüzük (Şekil 4.6)

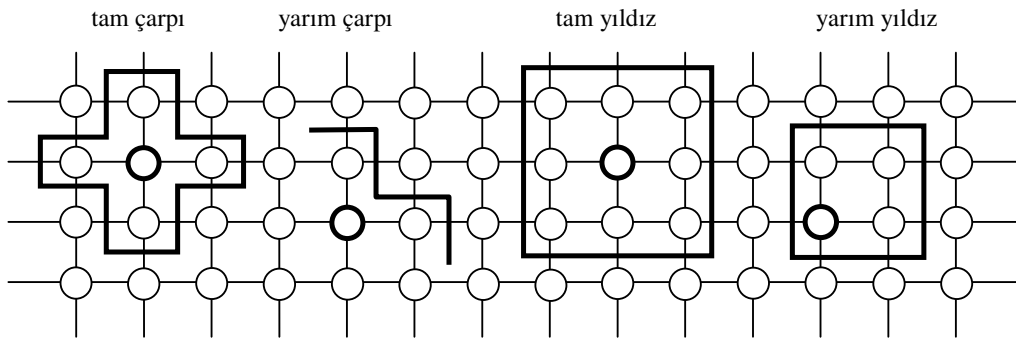
- İki boyutlu
 - Tam çarpı, yarım çarpı (Şekil 4.7)
 - Tam yıldız, yarım yıldız (Şekil 4.7)
- Üç boyutlu ve yukarıdaki yapıların birleşiminden oluşan daha karmaşık bir yapı.



Şekil 4.6 Lineer komşuluk: tam ve yarım yüzük.

Popülasyondaki bireyler arasında “mesafeye göre izolasyon” söz konusudur. Komşuluk küçüldükçe izolasyon mesafesi artmaktadır. Ancak, komşulukların üst üste gelmesinden dolayı, yeni varyantların çoğalması söz konusu olmaktadır. Bu tüm bireyler arasındaki bilginin değiş tokuş edilmesini sağlamaktadır.

Komşuluğun boyutu popülasyondaki bireyler arasındaki bilgi çoğalmasının hızını belirlemektedir, böylece popülasyondaki hızlı çoğalma veya yüksek farklılaşmaya karar verilmelidir. Genellikle daha yüksek bir değişkenlik istenir, böylece yerel bir minimumda sıkışma gibi problemler önlenmiş olur.



Şekil 4.7 İki-boyutlu komşuluk: tam çarpı, yarım çarpı, tam yıldız, yarım yıldız.

Voigt vd. (1991)'nin çalışmalarında benzer sonuçlara dikkat çekilmiştir: Küçük bir komşulukta yerel seçim, büyük komşuluktaki yerel seçimden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte, tüm popülasyonun birbirine bağlanması yine de sağlanmalıdır. Yerel seçim için 1 birimlik mesafe kullanarak yarım yıldızlı yapı ile iki-boyutlu komşuluk önerilmektedir. Ancak, eğer popülasyon daha büyükse (100 bireyden fazla) daha büyük bir mesafe ve/veya başka bir iki-boyutlu komşuluk kullanılmalıdır.

4.5.6 Budama Seçimi

Önceki bölümlerde doğal seçimi modelleyen seçim metotlarıyla karşılaştırıldığında, budama seçimi yapay bir metot olarak karşımıza çıkmaktadır. Büyük popülasyonlarda ve kitle seçimlerde kullanımı yaygındır.

Budama seçiminde bireyler uygunluklarına göre sıralanırlar. Yalnızca en iyi bireyler ebeveyn olarak seçilirler. Bu seçilen ebeveynler rastsal olarak çocuk oluşturlar. Budama seçimi için parametre “Trunc” budama eşiğidir. Trunc, ebeveyn olarak seçilecek popülasyonun oranını göstermektedir ve %50-%10 aralığından bir değer alır. Budama eşiğinin altındaki bireyler çocuk üretmezler. Seçim yoğunluğu terimi budama seçiminde sıkça kullanılır. Aşağıda her ikisi arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Budama eşiği ile seçim yoğunluğu arasındaki ilişki.

Budama eşiği	1%	10%	20%	40%	50%	80%
Seçim yoğunluğu	2.66	1.76	1.2	0.97	0.8	0.34

4.5.7 Turnuva Seçimi

Turnuva seçiminde (Goldberg ve Deb., 1991) popülasyondan *Tur* adet birey rasgele seçilir ve bu gruptaki en iyi birey ebeveyn olarak seçilir. Bu süreç istenen sayıda bireye ulaşılan kadar devam ettirilir. Seçilen ebeveynler rastsal olarak çocuk üretirler. Turnuva seçiminin parametresi turnuva boyutu *Tur*'dur. *Tur* 2 ile *N* (popülasyondaki birey sayısı) arasında değerler alır. Aşağıdaki çizelgede turnuva boyutu ile seçim yoğunluğu arasındaki ilişki gösterilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Turnuva boyutu ile seçim yoğunluğu arasındaki ilişki (Blickle ve Thiele, 1995).

Turnuva boyutu	1	2	3	5	10	30
Seçim yoğunluğu	0	0.56	0.85	1.15	1.53	2.04

4.6 Rekombinasyon (Çaprazlama)

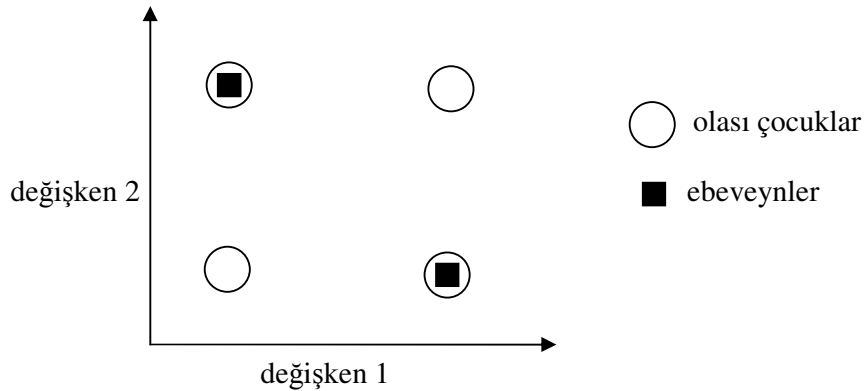
Rekombinasyon, iki veya daha fazla ebeveynin bilgilerinin birleştirilerek yeni bireylerin üretilmesidir. Bu ebeveynlerin değişken değerlerinin birleştirilmesiyle sağlanır. Değişkenlerin temsil edildikleri biçime göre farklı metotlar kullanılmalıdır. Rekombinasyon metotlarından bazıları ayrık rekombinasyon, reel değerli rekombinasyon, ikili değerli rekombinasyondur.

Ayrık rekombinasyon metodu, tüm değişken gösterimlerine uygulanabilmektedir. İkili değerli değişkenlerde kullanılan metotlar ayrık rekombinasyonun özel durumlarında oluşturulur. Bu metotların hepsi hem tamsayı hem de reel sayılı değişkenlere uygulanabilirler.

4.6.1 Tüm Gösterimler – Ayrık Rekombinasyon

Ayrık rekombinasyon bireyler arasında değişken değerlerinin değişimini gerçekleştirir. Her pozisyon için çocuğun oluşmasına katkıda bulunan ebeveyn eşit olasılıkla rastsal olarak seçilir (Mühlenbein ve Schlierkamp-Voosen, 1993).

Ayrık rekombinasyon ebeveynler tarafından tanımlanmış olan hiperküpte köşeler oluşturur. Aşağıdaki şekil ayrık rekombinasyonun geometrik etkilerini göstermektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Ayrık rekombinasyondan sonra çocukların olası pozisyonları.

$$Var_i^0 = Var_i^{P_1} \cdot a_i + Var_i^{P_2} \cdot (1 - a_i) i \in (1, 2, \dots, Nvar), \quad (4.1)$$

$a_i \in \{0, 1\}$ rastsal olarak, a_i yeni tanımlanmış her i için.

Aşağıda 3 değişkenli iki birey örnek olarak verilmiştir:

1. birey	8	12	47
2. birey	5	136	26

Her değişken için çocukların oluşumuna değişkeniyle katkıda bulunacak olan ebeveynin seçilmesi eşit olasılıkla ve rastsaldır.

1. örnek	2	1	2
2. örnek	1	1	2

Rekombinasyondan sonra yeni bireyler oluşturulmuş olur:

1. çocuk	5	12	26
2. çocuk	8	12	26

Ayrık rekombinasyon her türlü değişkene sahip bireylere uygulanabilir (ikili, tamsayı, reel).

4.6.2 Reel Değerli Rekombinasyon

Bu bölümdeki rekombinasyon metotları reel değerli değişkenlere sahip olan bireylere uygulanabilir.

4.6.2.1 Ara Rekombinasyon

Ara rekombinasyon yalnızca reel değişkenlere uygulanabilen bir metottur, ikili değişkenlere uygulanamaz (Mühlenbein ve Schlierkamp-Voosen, 1993). Burada çocukların değişken değerleri ebeveynlerin değişken değerlerinin etrafından ve arasından seçilirler.

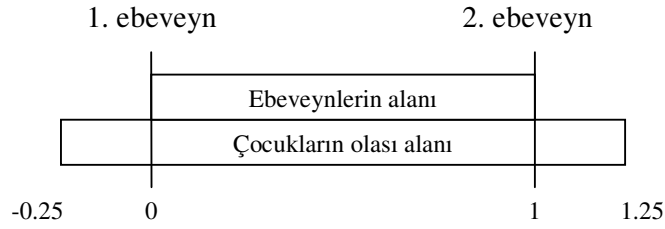
Çocuklar aşağıdaki kurala göre oluşturulurlar:

$$Var_i^0 = Var_i^{P_1} \cdot a_i + Var_i^{P_2} \cdot (1 - a_i) i \in (1, 2, \dots, Nvar), \quad (4.2)$$

$a_i \in [-d, 1+d]$ rastsal olarak, $d=0.25$, a_i her yeni i için.

Bu denklemdeki a her değişken için $[-d, 1+d]$ aralığından rastsal olarak yeniden seçilen boyutlandırma faktörüdür.

d parametresinin değeri olası çocuklar için alanın boyutunu ifade etmektedir. $d = 0$ değeri çocukların ebeveynlerin alanıyla aynı boyutta alana sahip olduğunu ifade eder. Bu metot ara (standart) rekombinasyon olarak adlandırılmaktadır. Çünkü çocukların çoğu değişkeni olası alanın sınırlarında oluşturulmazlar, değişkenlerin alanı nesil boyunca küçülür. Bu küçülme ara (standart) rekombinasyon kullanıldığında ortaya çıkar. Bu etki d için daha büyük bir değer kullanılarak engellenebilir. $d = 0.25$ değeri çocukların ebeveynler tarafından genişletilen alanla aynı alana sahip olacaklarını istatistiksel olarak garanti eder. Şekil 4.9 bu durumu göstermektedir.



Şekil 4.9 Ara rekombinasyonda çocuk ve ebeveyn alanlarının karşılaştırılması.

Aşağıdaki 3 değişkenli iki bireyi örnek olarak alacak olursak:

1. birey	8	12	47
2. birey	5	136	26

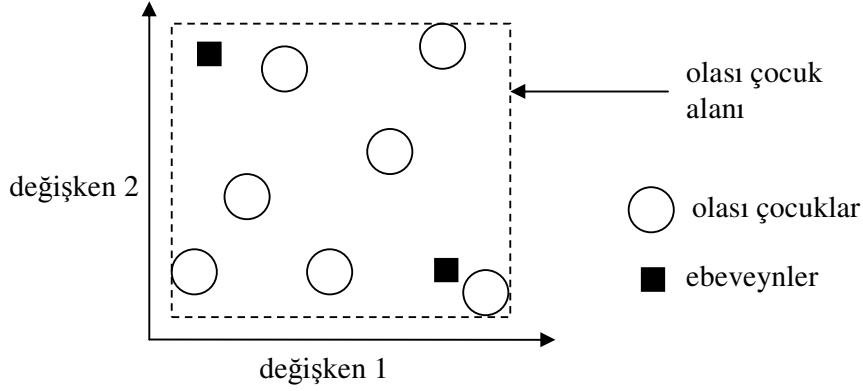
Bu örnek için seçilmiş olan a değerleri:

1. örnek	0.6	1.2	-0.3
2. örnek	0.2	0.8	0.4

Hesaplanan yeni bireyler aşağıdaki gibidir:

1. çocuk	6.2	160.8	53.3
2. çocuk	7.4	111.2	38.6

Ara rekombinasyon ebeveynler tarafından tanımlanandan daha büyük hiperküp içinde herhangi bir nokta oluşturabilir. Şekil 4.10 ara kombinasyondan sonra çocukların olası alanlarını göstermektedir.



Şekil 4.10 Ara rekombinasyondan sonra çocukların olası alanı.

4.6.2.2 Çizgi Rekombinasyonu

Çizgi rekombinasyonu ara kombinasyona benzerdir, ancak tüm değişkenlerin için yalnızca bir tek a kullanılır (Mühlenbein ve Schlierkamp-Voosen, 1993):

$$Var_i^0 = Var_i^{P_1} \cdot a_i + Var_i^{P_2} \cdot (1 - a_i) \quad i \in (1, 2, \dots, Nvar), \quad (4.3)$$

$a_i \in [-d, 1+d]$ rastsal olarak, $d=0.25$, a_i her özdeş i için.

d değeri için ara rekombinasyonda verilen ifadeler geçerlidir.

Aşağıda verilen 3 değişkenli iki bireyi örnek olarak alacak olursak:

1. birey	8	12	47
2. birey	5	136	26

Bu örnek için seçilmiş olan a değerleri:

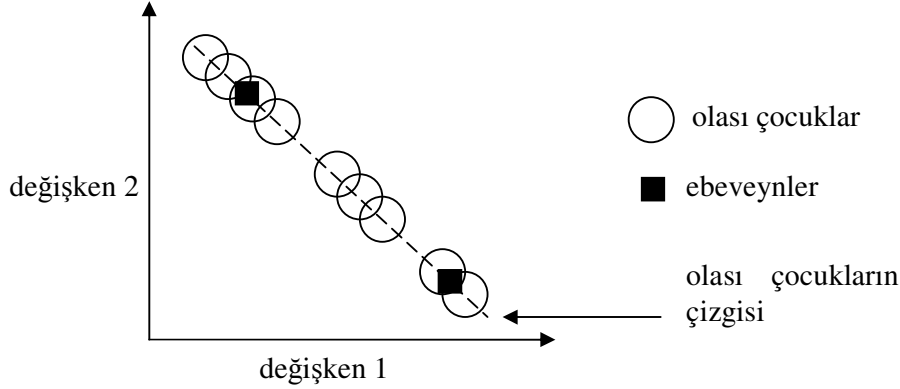
1. örnek	0.6
2. örnek	0.2

Hesaplanan yeni bireyler aşağıdaki gibidir:

1. çocuk	6.2	86.4	34.4
2. çocuk	7.4	36.8	42.8

Çizgi rekombinasyonu ebeveynler tarafından tanımlanan çizgide herhangi bir nokta oluşturabilir. Şekil 4.11 çizgi rekombinasyonundan sonra çocukların olası pozisyonlarını

göstermektedir.



Şekil 4.11 Çizgi rekombinasyonundan sonra çocukların olası pozisyonları.

4.6.2.3 Genişletilmiş Çizgi Rekombinasyonu

Genişletilmiş çizgi rekombinasyonu ebeveynlerin değişken değerleri tarafından tanımlanmış bir çizgi üzerinde çocukları oluşturur (Mühlenbein, 1994). Ancak, genişletilmiş çizgi rekombinasyonu ebeveynlerinin çizgileri arasında ve dışarısındaki küçük bir alanla sınırlandırılmamıştır. Ebeveynler yalnızca olası çocukların hangi çizgide oluşturulabileceğini tanımlar. Olası çocuklar için alanın boyutu, değişkenlerin sahaları tarafından tanımlanmıştır.

Bu olası alan içinde çocuklar rastsal olarak dağıtılmamıştır. Çocukların ebeveynlerine yakın yerlerde oluşturulma olasılığı yüksektir. Yalnızca düşük bir olasılıkla çocuklar ebeveynlerinden uzak bir yerde oluşturulurlar. Eğer ebeveynlerin uygunlukları elimizde bulunuyorsa, o zaman çocuklar daha ziyade iyi olan ebeveyn yönünde yaratılır (yönlendirilmiş genişletilmiş çizgi rekombinasyonu).

Çocuklar aşağıdaki kurala göre oluşturulurlar:

$$Var_i^0 = Var_i^{P_1} + s_i \cdot r_i \cdot a_i \cdot \frac{Var_i^{P_2} - Var_i^{P_1}}{\|Var^{P_1} - Var^{P_2}\|} \quad i \in (1, 2, \dots, Nvar), \quad (4.4)$$

$a_i = 2^{-ku}$, k : mutasyon kesinliği, $u \in [0, 1]$ rastsal olarak,

a_i tüm i 'ler için özdeş,

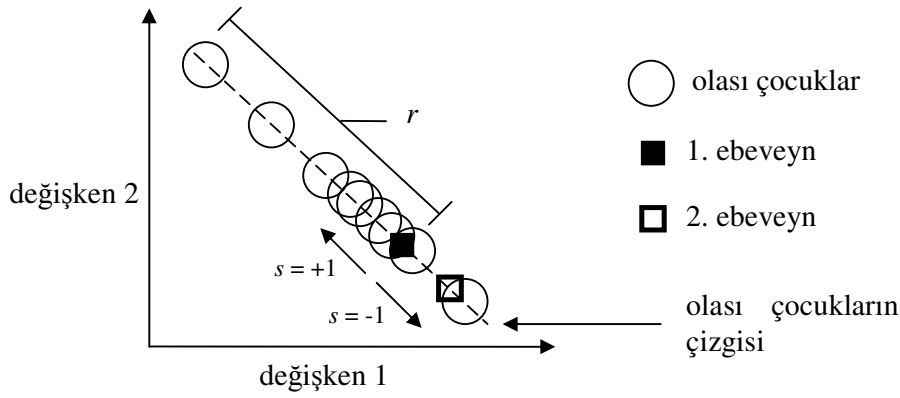
$r_i = r \cdot domainr$: rekombinasyon adım aralığı

$s_i \in \{-1, +1\}$, rastsal olarak: yönlendirilmemiş rekombinasyon,

$y > 0.5$ olasılığı ile +1: yönlendirilmiş rekombinasyon,

Çocukların oluşturulması reel değerli değişkenler için kullanılan mutasyon operatörüyle benzerlik gösterirler (Bölüm 4.7.1). a parametresi göreceli adım-boyutun, r parametresi maksimum adım-boyutunu ve s parametresi rekombinasyon adımının yönünü ifade eder.

k parametresi rekombinasyon adımlarının oluşturulması için kullanılan kesinliği ifade eder. Daha büyük bir k daha küçük adımlar üretir. k 'nın tüm değerleri için a 'nın maksimum değeri $a=1$ ($u=0$)'dir. a 'nın minimum değeri k 'ya bağlıdır ve $a=2-k$ ($u=1$)'dir. Kesinlik değeri için tipik değerler 4 ile 20 arasındaki alandır.



Şekil 4.12 Çizgi rekombinasyonundan sonra çocukların olası pozisyonları.

r (rekombinasyon menzili) parametresi için sağlam bir değer değişkeni sahasının %10'udur. Ancak, değişkenlerin tanımlanan sahalarına bağlı olarak veya özel durumlarda bu parametre ayarlanabilir. r için daha küçük bir değer seçildiğinde çocukların oluşturulması ebeveynlerin yakınlığında daha küçük bir alanla sınırlandırılabilir.

Eğer s parametresi (arama yönü) eşit olasılıkla -1 veya +1 olarak belirlenirse, kontrol altında olmayan bir rekombinasyon meydana gelecektir. Eğer $s=+1$ 'in olasılığı 0.5'ten büyükse, kontrol altında olan bir rekombinasyon oluşacaktır (çocuklar kötü olan ebeveyninden iyi olana doğru oluşturulurlar – ilk ebeveyn daha iyi olan ebeveyn olmalıdır).

Genişletilmiş çizgi rekombinasyonu yalnızca reel değişkenlere uygulanabilir (ikili veya tamsayıli değişkenlere değil).

4.6.3 İkili Değerli Rekombinasyon (Çaprazlama)

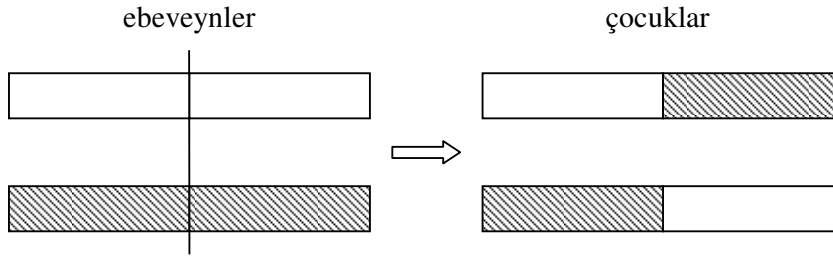
Bu bölümde ikili değişkenli bireyler için rekombinasyon metotları anlatılmaktadır. Genellikle,

bu metotlar “çaprazlama” olarak adlandırılırlar. Bu nedenle, metotlardan bahsederken “çaprazlama” ifadesi kullanılacaktır.

İkili değişkenlerin rekombinasyonu sırasında yalnızca bireylerin parçaları değiş tokuş edilir. Parçaların sayısına (çaprazlama noktalarının sayısı) bağlı olarak, değişkenlerin değiş tokuşundan önce bireyler bölünürler. Çaprazlama noktalarının sayısı metotları belirler.

4.6.3.1 Tek Noktalı / Çift Noktalı / Çoklu Noktalı Çaprazlama

Tek noktalı çaprazlamada bir çaprazlama pozisyonu $k_{[1, 2, \dots, Nvar-1]}$, $Nvar$: bireydeki değişken sayısı, rastsal olarak seçilir ve bireylerin değişkenleri bu noktadan değiş tokuş edilirler, sonra iki yeni çocuk elde edilir. Şekil 4.13 bu süreci tarif etmektedir.



Şekil 4.13 Tek noktalı çaprazlama.

Aşağıdaki örnekte 11 değişkenli iki adet birey verilmiştir:

1. birey 0 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0

2. birey 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1

Seçilen çaprazlama pozisyonu:

Çaprazlama pozisyonu 5

Çaprazlamadan sonra oluşan yeni bireyler:

1. çocuk 0 1 1 1 0 | 1 0 0 1 0 1

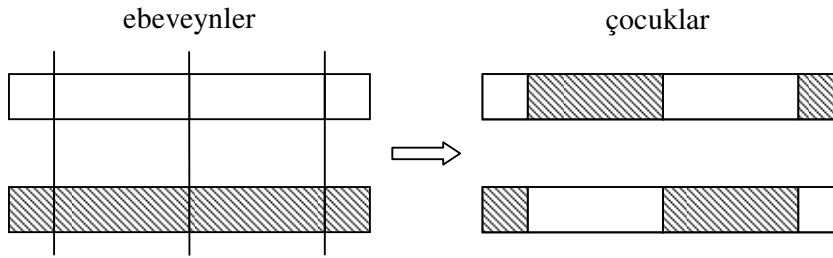
2. çocuk 1 0 1 0 1 | 0 1 1 0 1 0

İki noktalı çaprazlamada rastsal olarak iki çaprazlama pozisyonu seçilir ve çaprazlama bu noktalar etrafında olur. Sonra iki yeni çocuk elde edilir.

Tek noktalı ve iki noktalı çaprazlamalar, çok noktalı çaprazlamanın özel durumları olarak

düşünülebilir.

Çok noktalı çaprazlama için, m çaprazlama pozisyonları $k_i[1, 2, \dots, Nvar-1]$, $i=1:m$, $Nvar$: bir bireydeki değişken sayısı, bunlar aynı olmayacak şekilde rastsal olarak seçilir ve küçükten büyüğe doğru sıralanırlar. Sonra, birbirini takip eden çaprazlama noktalarından değişkenler değiş tokuş edilerek iki yeni çocuk oluşturulur. İlk değişken ile ilk çaprazlama noktası arasındaki kısım bireyler arasında değiş tokuş edilmezler. Şekil 4.14 bu süreci açıklamaktadır.



Şekil 4.14 Çok noktalı çaprazlama.

Aşağıdaki örnekte 11 değişkenli iki adet birey verilmiştir:

1. birey 0 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0

2. birey 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1

Seçilen çaprazlama pozisyonu:

Çaprazlama pozisyonları (m=3) 2, 6, 10

Çaprazlamadan sonra oluşan yeni bireyler:

1. çocuk 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1

2. çocuk 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0

Çok noktalı ve de çaprazlama operatörlerinin birçok çeşidinde yatan fikir, belirli bir bireyin performansına en çok katkıda bulunan kromozom parçalarının illa ki komşu dizilerde bulunması gerekmediğidir (Booker, 1987).

4.6.3.2 Düzenli Çaprazlama

Tek ve çok noktalı çaprazlama bir bireyin hangi noktasından çaprazlanacağını belirtir. Düzenli çaprazlama her hattı potansiyel bir çaprazlama noktası haline getirmek için bu şemayı

genel hale getirmektedir (Syswerda, 1989). Birey yapısıyla aynı uzunlukta olan bir çaprazlama maskesi rastsal olarak oluşturulur ve maskedeki parçaların denkliliği hangi ebeveynin hangi çocuğu hangi parça ile desteklediğini gösterir. Bu metot ayırık rekombinasyon ile aynıdır (bkz. Bölüm 4.6.2.1).

Aşağıdaki örnekte her biri 11 değişkenli iki adet birey verilmiştir:

1. birey 0 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0

2. birey 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1

Her değişken için çocuğun değişkenine katkıda bulunan ebeveynleri aynı olasılıkla rastsal olarak seçilir. Burada 1. çocuk, eğer ilgili maske parçasının değeri 1 ise 1. ebeveynin parçası, 0 ise 2. ebeveynin parçası alınarak oluşturulur. 2. çocuk genellikle maskenin tersi alınarak oluşturulur.

1. örnek 0 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0

2. örnek 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 1

Çaprazlamadan sonra yeni bireyler oluşur:

1. çocuk 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1

2. çocuk 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0

Düzenli çaprazlamanın, çok noktalı çaprazlama gibi, kullanılan ikili gösterimin uzunluğu ile ilişkili eğilimi ve verilen bir parametre kümesi için ayrıntılı kodlamayı azaltacağı iddia edilmektedir. Bu kısa dizgiler hakkında birey gösteriminde birey parçalarının belirginliğini kesin anlamaya ihtiyaç duymadan tek noktalı çaprazlamada eğilimini aşmada yardımcı olur. Spears ve De Jong (1991), parçaların değiş tokuşuna bir olasılık uygulayarak düzenli çaprazlamanın nasıl parametreleştirilebileceğini göstermiştir. Bu özel parametre rekombinasyon esnasında kullanılan gösterimin uzunluğu hakkında bir eğilimi açıklamadan aksamının miktarını kontrol etmede kullanılabilir.

4.6.3.3 Karışık Çaprazlama

Karışık çaprazlama düzenli çaprazlama ile ilişkilidir (Caruana vd., 1989). Tek bir çaprazlama noktası (tek noktalı çaprazlamadaki gibi) seçilir. Ancak değişkenler değiş tokuş edilmeden önce, her iki ebeveynde de rastsal olarak karıştırılırlar. Rekombinasyondan sonra, çocuklardaki değişkenler ters olarak geri karıştırılırlar. Bu çaprazlama her uygulandığında

değişkenler rastsal olarak yeniden atandıklarından pozisyonundan doğan eğilimi ortadan kaldırır.

4.6.3.4 Azaltılmış Vekilli Çaprazlama

Azaltılmış vekil operatörü mümkün olduğunca her zaman yeni bireylerin üretilmesi için çaprazlamayı zorunlu hale getirir (Booker, 1987). Bu çaprazlama noktalarının konumlarını sınırlayarak, yani gen değerlerinin değiştiği çaprazlama noktalarında uygulanır.

4.7 Mutasyon

Mutasyon ile bireyler rastsal olarak değiştirilirler. Bu değişimler (mutasyon adımları) genellikle küçüktür. Bireylerin değişkenlerine küçük bir olasılıkla (mutasyon olasılığı) uygulanırlar. Normalde, çocuklar rekombinasyonla oluşturulduktan sonra mutasyona uğratılırlar.

Mutasyon adımlarının ve mutasyon oranlarının tanımlanmasında iki yaklaşım söz konusudur:

- Her iki parametre de tüm genetik algoritma boyunda sabittir. Sonraki bölümlerde bununla ilgili örnekler verilmiştir.
- Bir veya her iki parametre önceki mutasyonlara bağlı olarak uyarlanır. Bununla ilgili örnekler “mutasyon adımlarının uyarlanması” bölümünde (4.7.3) verilmiştir.

4.7.1 Reel Değerli Mutasyon

Reel değerli mutasyon, değişkenlere küçük bir olasılıkla rastsal olarak oluşturulan değerlerin eklenmesidir. Bu nedenle, bir değişkenin mutasyon olasılığı ve her mutasyona uğratılan değişkenin değişim büyüklüğü (mutasyon adımı) belirlenmelidir.

Bir değişkenin mutasyona uğrama olasılığı değişken sayısı (boyutu) ile ters orantılıdır. Bir birey ne kadar çok değişkene sahipse, mutasyon olasılığı o kadar küçüktür. Mühlenbein ve Schlierkamp-Voosen (1993)’e göre birçok test fonksiyonu için $1/n$ (n : bir bireydeki değişken sayısı) oranındaki bir mutasyon oranı iyi sonuçlar vermiştir. Bu şu anlama gelir; mutasyon başına yalnızca birey başına bir değişken değişime/mutasyona uğrar. Bu nedenle, mutasyon oranı popülasyon oranından bağımsızdır.

Benzer sonuçlar Bäck’in (1993, 1996) çalışmalarında ikili değerli gösterimler için de bulunmuştur. Unimodal fonksiyonlar için mutasyon oranı $1/n$ en iyi çözümdü. Başlangıçta mutasyon oranındaki bir artış ile sonda mutasyon oranının $1/n$ ’e düşmesi aramada yalnızca belirsiz bir hızlanma sağlamıştır.

Mutasyon oranıyla ilgili tavsiyeler yalnızca ayrılabilir fonksiyonlar için geçerlidir. Ancak, gerçek hayattaki çoğu fonksiyon tamamen ayrılabilir değildir. Bu fonksiyonlar için mutasyon oranıyla ilgili bir öneri yapılamaz. Başka bir şey bilinmediği sürece, $1/n$ mutasyon oranı rahatlıkla önerilebilir.

Mutasyon adımının seçilmesi genellikle zordur. Optimal adım boyutu ele alınan probleme bağlıdır ve optimizasyon süreci boyunca değişkenlik gösterebilir. Küçük mutasyon adımlarının genellikle başarılı olduğu bilinir, özellikle de birey iyi adapte edilmiş ise. Ancak, daha büyük değişimler (daha büyük mutasyon adımları), başarılı oldukları zaman, iyi sonuçları daha çabuk elde ederler. Bu nedenle, iyi bir mutasyon operatörü çoğunlukla yüksek olasılıkta ve küçük adım boyutları veya küçük olasılıkta ve büyük adım boyutları üretmelidir.

Mühlenbein ve Schlierkamp-Voosen (1993) ile Mühlenbein (1994) çalışmalarında bu türde bir operatör önermişlerdir:

$$Var_i^{Mut} = Var_i + s_i \cdot r_i \cdot a_i, i \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ rastsal olarak,} \quad (4.5)$$

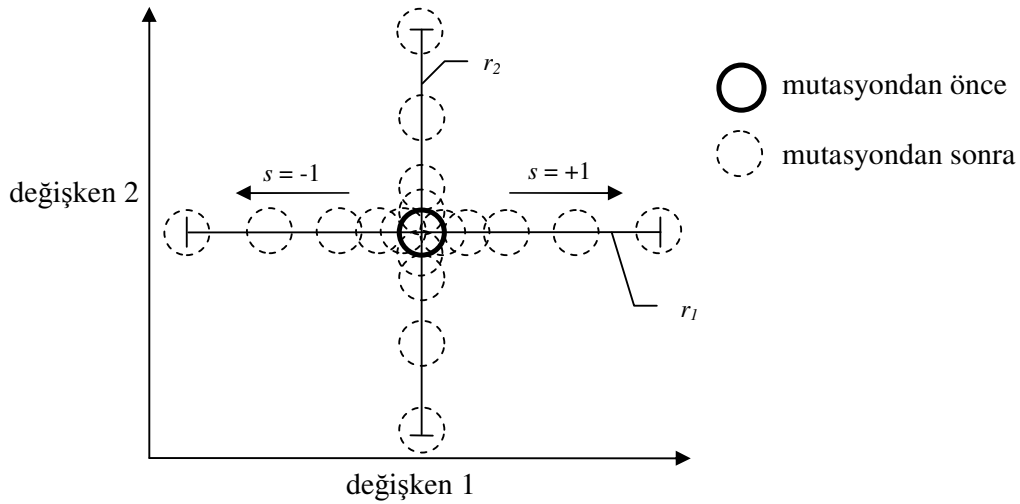
$$s_i \in \{-1, +1\} \text{ rastsal olarak}$$

$$r_i = r \cdot domain_i, r: \text{mutasyon aralığı (stadart: \%10),}$$

$$a_i = 2^{-u \cdot k}, u \in [0, 1] \text{ rastsal olarak, } k: \text{mutasyon kesinliği,}$$

Bu mutasyon algoritması bireylerin değişkenleri tarafından tanımlanmış hiperküp içindeki çoğu noktayı ve mutasyon aralığını (mutasyon aralığı r parametresinin değeri ve değişkenlerin alanı olarak ifade edilir) oluşturabilir. Çoğu mutasyona uğramış birey mutasyondan önce bireyin yakınında oluşturulacaktır. Yalnızca bazı mutasyona uğramış bireyler mutasyona uğramamış bireylerden uzakta olacaktır. Bu şu anlama gelmektedir; küçük adım boyutlarının olasılığı büyük adımdan daha fazladır. Aşağıdaki şekilde bu mutasyon operatörünün mutasyon sonuçlarını göstermektedir (Şekil 4.15).

k parametresi (mutasyon kesinliği) dolaylı olarak olası minimal adım boyutunu ve mutasyon aralığındaki mutasyon adımlarının dağılımını tanımlamaktadır. Göreceli en küçük mutasyon adımı 2^{-k} , en büyüğü $2^0=1$ 'dir. bu nedenle, mutasyon adımları $[r, r \cdot 2^{-k}]$ aralığında (r : mutasyon aralığı) oluşturulmaktadır. $k=16$ mutasyon kesinliği ile, en küçük olası mutasyon adımı $r \cdot 2^{-16}$ 'dır. Bu nedenle, bir bireyin değişkenleri optimuma bu kadar yakın ise, başka bir iyileştirme mümkün değildir. Mutasyon aralığı azaltılarak bunun üstesinden gelinebilir (evrimsel çalışmanın yeniden başlatılması veya çoklu stratejilerin kullanılması).



Şekil 4.15 İki boyutlu reel değişkenlerde mutasyonun etkisi.

Denklem (4.5)'teki mutasyon operatörünün parametreleri için tipik değerler şöyledir:

mutasyon kesinliği k : $k \in \{4, 5, \dots, 20\}$ (4.6)

mutasyon aralığı r : $r \in [0.1, 10^{-6}]$

Bu parametreler değiştirilerek çok farklı arama stratejileri tanımlanabilir.

4.7.2 İkili Mutasyon

İkili değerli bireyler için mutasyon değişken değerlerinin yer değiştirmesi anlamına gelmektedir. Çünkü her değişkenin yalnızca iki durumu bulunur. Bu nedenle, mutasyon adımının boyutu daima 1'dir. Her birey için değişecek olan değişken değeri seçilir (genellikle rastsal olarak). Aşağıdaki çizelge 4. değişkeni mutasyona uğratılan 11 değişkene sahip olan bir birey için ikili bir mutasyonu göstermektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 İkili mutasyon.

Mutasyondan önce	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
Mutasyondan sonra	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0

Yukarıdaki bireyin $[1, 10]$ aralığında reel bir sayıyı ifade ettiğini varsayarsak, mutasyonun etkisi gerçek kodlamaya bağlıdır. Çizelge 4.5'te bireyin ikili/gri ve aritmetik/logaritmik

kodlama için mutasyondan önceki ve sonraki sayılarını göstermektedir.

Çizelge 4.5 İkili mutasyonun sonucu.

boyutlama	lineer		logaritmik	
kodlama	ikili	gri	ikili	gri
mutasyondan önce	5.0537	4.2887	2.8211	2.3196
mutasyondan sonra	4.4910	3.3346	2.4428	1.8172

Ancak, reel değişkenleri ikili değişkenlere kodlamak artık gerekli değildir. Reel değişkenler için güçlü mutasyon operatörleri bulunmaktadır (Bölüm 4.7.1). Bu operatörlerin avantajları bazı yayınlarda gösterilmiştir (Davis, 1991; Michalewicz, 1994).

4.7.3 Uyarlanmış Adım Boyutlarıyla Reel Değerli Mutasyon

Reel değişkenli mutasyonlar için başarılı mutasyonların adım boyutları ve yönlerinin öğrenilmesi bunların uyarlanmasıyla mümkündür. Bu metotlar evrimsel stratejilerin (Schwefel, 1981; Rechenberg, 1994) ve evrimsel programlamanın (Fogel, 1995) birer parçasıdır.

Bu metotların geliştirilmiş halleri de yayınlanmıştır:

- n (değişken sayısı) adım boyutlarının uyarlanması (Ostermeier vd., 1993, 1994).
- n adım boyutlarının ve tek yönün uyarlanması (Hansen, 1995).
- n adım boyutlarının ve n yönün uyarlanması (Hansen, 1995).

Ek mutasyon adım boyutlarının ve yönlerinin tutulması için her bireye yeni değişkenler eklenir. Bu ek değişkenlerin sayısı değişken sayısı n ve kullanılan metoda bağlıdır. Her adım boyutu bir ek değişkene, bir yön n ek değişkene karşılık gelir. n adet yönün tutulması için n^2 ek değişkene ihtiyaç vardır.

Ayrıca, n adım boyutun uyarlanması için her bir birey için çoklu hesaplamalı n nesil gereklidir. n adım boyutları ve tek yönlü bu uyarlama $2n$ nesil, n yön için n^2 nesil gereklidir.

Gerekli olan ek alanlara ve uyarlama için gerekli zamana bakıldığında, yalnızca ilk iki metodun pratik uygulamalarda yararlı olabileceği görülecektir. Yalnızca bu metotlar kabul edilebilir maliyetlerle bir uyarlamayı sağlarlar. n yönlü uyarlama ancak küçük problemlerde

uygulanabilir.

Bu mutasyon operatörleri için kullanılan algoritmalar bu aşamada tanımlanmayacaktır. Uygulamada önemli görülen bazı açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Adım boyutlu mutasyon operatörleri diğer algoritmalarla karşılaştırıldıklarında evrimsel algoritma parametreleri için farklı ayarlamalara gereksinim duyarlar. Uyarlama operatörleri küçük bir popülasyon ile çalışırlar. Bu bireylerin her biri çok sayıda çocuk oluşturur. Yalnızca en iyi çocuklar popülasyona dahil edilirler. Tüm ebeveynler değiştirilir. Seçim baskısı 1'dir, çünkü tüm bireyler eşit sayıda çocuk üretirler. Rekombinasyon yapılmaz.

Sözü edilen parametreler için iyi değerler aşağıdaki gibidir:

- Popülasyon veya alt popülasyon başına 1 (1-3) birey,
- Birey başına 5 (3-10) çocuk => nesil aralığı = 5,
- En iyi çocuk ebeveynlerin yerine geçer => yeniden ekleme oranı = 1,
- Seçim baskısı yok => SB = 1,
- Rekombinasyon yok.

Bu mutasyon operatörleri kullanıldığında bir problem çözülmelidir: birey adım boyutlarının başlangıç değerleri. Özgün yayınlar doğrudan 1 değerini almaktadırlar. Bu değer yalnızca sınırlı miktardaki suni test fonksiyonları ve tüm değişkenlerin alanları eşit ise uygundur. Pratikteki kullanım için bireylerin başlangıç adım boyutları her bireyin alanına bağlı olarak tanımlanmalıdır. Ayrıca, başlangıç adım boyutlarının probleme özgü derecelendirmeleri mümkün olmalıdır. Bunu sağlamak için reel değerli mutasyon operatörüne benzer mutasyon aralık parametresi r kullanılabilir.

Uyarlanmış mutasyon operatörlerinin mutasyon aralıkları için tipik değerler şöyledir:

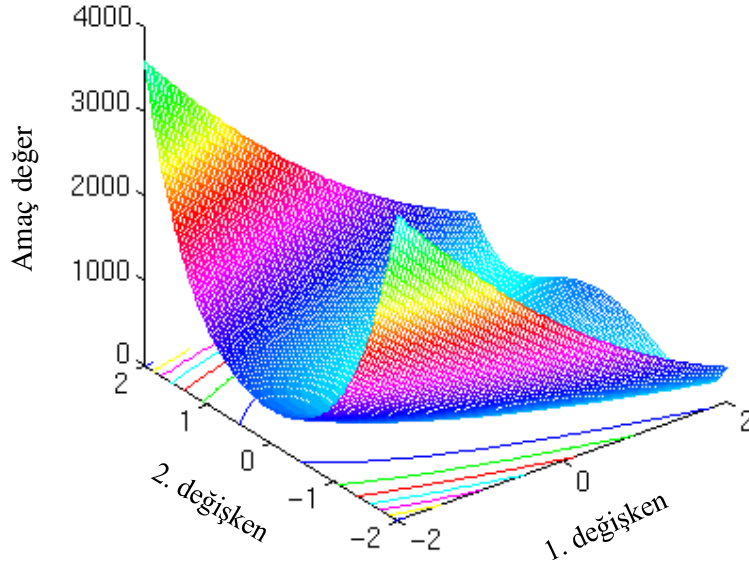
$$\text{mutasyon aralığı } r: r \in [10^{-3}, 10^{-7}] \quad (4.7)$$

Mutasyon aralığı yalnızca bir çalıştırmanın en başında adım boyutlarının başlangıcını belirler. Sonraki adım boyut uyarlamaları sırasında adım boyutları sınırlandırılmamıştır.

Mutasyon aralığı için daha büyük bir değer daha büyük başlangıç mutasyon adımları üretir. Çocuklar ebeveynlerinden oldukça uzakta oluşturulurlar. Bu nedenle, bir çalıştırmanın başlangıcında kaba bir arama gerçekleştirilir. Mutasyon aralığı için küçük bir değer başlangıçta ayrıntılı bir aramaya sebep olur. Her iki uç nokta arasında problemin el ile çözülmesinde en iyi yol seçilmelidir. Eğer arama çok kaba ise, hiçbir uyarlama gerçekleşmez. Eğer başlangıç adım yerleri çok küçük ise, arama olağandışı uzun sürer ve/veya arama sonraki küçük yerel minimumda sıkışır.

Uyarlanmış mutasyon operatörleri özellikle ilişkili değişkenli problemlerini çözümü için çok etkili olmalıdır. Adım boyutlarının ve yönlerinin uyarlanmasıyla değişkenler arasındaki ilişkiler öğrenilebilir. Bazı problemler (örneğin Rosenbrock fonksiyonu, Şekil 4.16) mutasyon operatörlerinin uyarlanmasıyla çok etkili bir şekilde çözülebilir.

Amaç fonksiyonu birçok minimal (maksimal) nokta içeriyorsa veya gürültülü ise, mutasyon operatörlerinin adaptasyonu oldukça zordur (veya yararsız).



Şekil 4.16 Rosenbrock fonksiyonu.

4.8 Yeniden Ekleme

Seçim ile çocuklar bir kez oluşturulduktan sonra, eksi popülasyondan bireylerin rekombinasyon ve mutasyonları, çocukların uygunluk değerleri belirlenebilir. Özgün popülasyondan daha az sayıda çocuk üretilmişse özgün popülasyon boyutuna ulaşmak için çocuklar eksi popülasyona yeniden eklenmelidirler. Benzer şekilde, her nesilde tüm çocuklar kullanılmayacaksa veya eksi popülasyon boyutundan daha fazla çocuk üretilmişse yeni popülasyonda hangi bireylerin var olacağına karar vermek için bir yeniden ekleme şeması kullanılmalıdır.

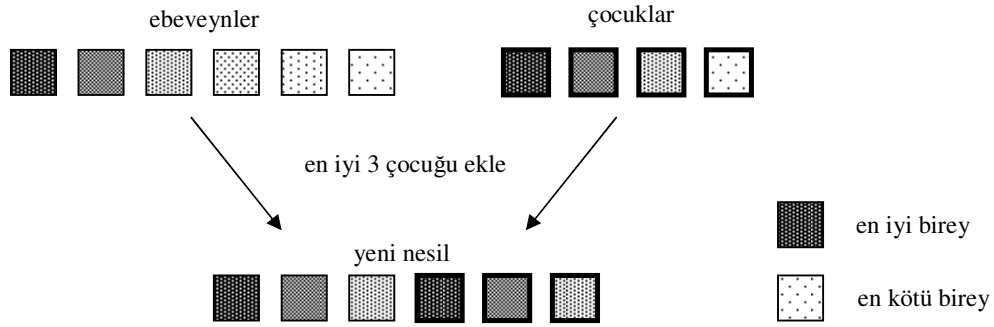
Kullanılan seçim metodu yeniden ekleme şemasını belirler: yerel seçim için yerel yeniden ekleme ve diğer tüm seçimler için evrensel yeniden ekleme.

4.8.1 Evrensel Yeniden Ekleme

Evrensel yeniden ekleme için farklı şemalar mevcuttur:

- Ebeveyn sayısı kadar çocuk oluştur ve tüm ebeveynleri çocuklarla değiştir (katıksız yeniden ekleme).
- Ebeveyn sayısından daha az çocuk oluştur ve rastsal olarak ebeveynleri değiştir (rastsal yeniden ekleme).
- Ebeveyn sayısından daha az çocuk oluştur ve en kötü ebeveynleri değiştir (seçkin yeniden ekleme).
- Yeniden ekleme için gerekli olandan daha fazla çocuk oluştur ve yalnızca en iyi olan çocukları yeniden ekle (uygunluk temelli yeniden ekleme).

Katıksız yeniden ekleme en basit şemadır. Her birey yalnızca bir nesil yaşar. Bu şema basit genetik algorithmada kullanılır. Ancak, iyi bireyler daha iyi olmayan çocuklarla değiştirilebildiğinden, iyi olan bilgiler kaybedilmiş olur.



Şekil 4.16 Seçkin yeniden ekleme şeması.

Seçkin ve uygunluk tabanlı yeniden eklemenin birleştirilmesiyle bu bilgi kaybı önlenmiş olur. Bu tavsiye edilen metottur. Her nesilde, belirlenen miktardaki en kötü ebeveynler aynı sayıdaki en iyi çocuklarla değiştirilirler (Şekil 4.16). Uygunluk tabanlı yeniden ekleme şeması yeniden eklemekten önce çocuklar arasında bir budama seçimi uygular. Diğer taraftan, en iyi bireyler birçok nesil boyunca yaşamış olurlar. Ancak, her nesilde bazı yeni bireyler eklenir. Ebeveynlerin daha iyi çocuklar tarafından değiştirilip değiştirilmediği kontrol edilmez.

Ebeveynler daha küçük uygunluğa sahip çocuklar tarafından değiştirilebildikleri için, popülasyonun ortalama uygunluğu azalabilir. Ancak, eklenen çocuklar aşırı kötü ise, sonraki nesilde yeni çocuklar ile değiştirilirler.

4.8.2 Yerel Yeniden Ekleme

Yerel seçimde bireyler sınırlandırılmış bir komşuluktan seçilirler (Bölüm 4.5.5). Çocukların yeniden eklenmesi de tam olarak aynı komşuluktan yapılır. Bu nedenle, bilginin yerelliği korunmuş olur.

Kullanılan komşuluk yapıları yerel seçimdeki ile aynıdır. Bir bireyin ebeveyni bu komşulukta ilk olarak seçilir.

Değiştirilecek ebeveynlerin seçimi ve yeniden eklenecek çocukların seçimi için aşağıdaki şemaların kullanılması mümkündür:

- Her bireyi ekle ve komşuluktaki bireyleri rastsal olarak değiştir.
- Her bireyi ekle ve komşuluktaki en zayıf bireyleri değiştir.
- Komşuluk içinde daha zayıf bireylerden daha uygun olan çocukları ekle ve komşuluktaki en zayıf bireyleri değiştir.
- Komşuluktaki en zayıf bireylerden daha uygun olan çocukları ekle ve ebeveynleri değiştir.
- Komşuluktaki en zayıf bireylerden daha uygun olan çocukları ekle ve komşuluktaki bireyleri rastsal olarak değiştir.
- Ebeveynden daha uygun olan çocukları ekle ve ebeveynleri değiştir.

5. ÇOK AMAÇLI ve ÇOK KONUMLU AKTARMALI TAŞIMA MODELİNİN GENETİK ALGORİTMA ile ÇÖZÜLMESİ

Bu bölümde çok amaçlı ve çok konumlu aktarmalı bir taşıma problemini ele alacağız. Aktarmalı taşıma, taşıma noktaları arasındaki maliyetleri minimize etmek ve hizmet düzeyini (doluluk oranını) maksimize etmeyi amaçlar. Ele aldığımız problemde maliyeti, gecikme zamanını, kalitesizliği minimize ederken hizmet düzeyini maksimize etmeyi amaçlıyoruz. Problemin optimizasyonu için “Güç Pareto Evrimsel Algoritması” (SPEA2) metodunu önermekteyiz. Bu bize pareto optimal sonuçlar vererek aralarından en uygununu seçmemize olanak verecektir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde bu yöntem daha gerçekçi çözümler üretecektir.

5.1 Çalışmanın Amacı ve Hedefler

Gerçek hayatta, genellikle birçok farklı değişkene sahip olan ve tek bir amaçtan ziyade birden çok amaca sahip olan optimizasyon problemleriyle karşılaşırız. Bu tür problemlerde, bazıları minimizasyon ve bazılarının da maksimizasyon olabildiği birden fazla amaç tatmin edilmek zorundadır. O yüzden bu problemlerin çözümü klasik problemlerden daha zor ve karmaşıktır.

Günümüzde, çok amaçlı problemlerin çözümünde genetik algoritmalar sıkça kullanılmaktadır. Özellikle lineer programlama ve matematiksel envanter modelleri gibi sıradan metotlarla çözülmesi imkansız veya çok güç olan problemlerde çok yararlı olmaktadır. Bununla beraber, genetik algoritma, özellikle diğer arama algoritmalarıyla karşılaştırıldığında kısa bir sürede çok iyi ve etkili sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmamızda, dört amaçlı aktarmalı bir taşıma problemini ele almaktayız: (a) maliyet, (b) doluluk oranı, (c) gecikme zamanları ve (d) kalitesizlik. Bu yönde yapılmış olan önceki çalışmalar genellikle maliyet ve doluluk oranı üzerinde durmaktadır. Ayrıca son zamanlarda yapılan yeni araştırmalar gecikme zamanlarını da ele almışlardır. Ancak, hem satıcılar hem de müşteriler açısından en önemli kriterlerden biri haline gelen kalite konusu göz ardı edilmiştir. Bu yüzden çalışmamızda kalite amacını problemimize entegre etmeyi bir gereklilik olarak gördük. Bu sayede daha uygun ve daha gerçekçi bir optimizasyon problemi elde etmiş olduk. Ayrıca çok amaçlı ve çok konumlu aktarmalı taşıma problemimizin optimizasyonu için literatürdeki en yeni çalışmalardan ve son gelişmelerden yararlanarak bu problem türü için kendi geliştirdiğimiz genetik algoritma metodunu kullandık.

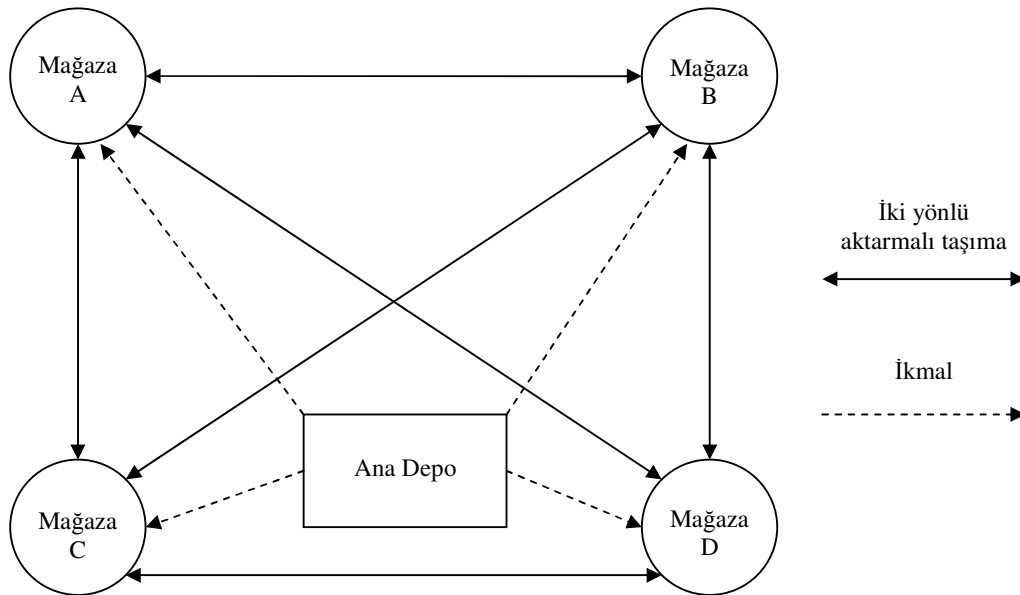
Yakın zamanlarda yapılan çalışmalar Güç Pareto Evrimsel Algoritmasının (SPEA2) çok

amaçlı optimizasyon problemlerinin çözülmesinde en etkili yöntem olduğunu ve genellikle diğerlerine üstünlük sağladığını göstermiştir. Çalışmamızda, kendi çok amaçlı problemimizde pareto optimallere ulaşmak için yeni geliştirmeler ve uyarlamalar eklediğimiz SPEA2 yöntemini kullandık.

Çalışmamızda, sırasıyla şu konular ele alınmıştır: Sonraki bölümde, aktarmalı taşıma problemlerinin tanımı ve notasyonu verilmiştir. Bölüm 6.3'te çok amaçlı genetik algoritma ve SPEA2 hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 6.4'te, problemin çözümünden elde edilen sonuçlar ele alınarak değerlendirilmiştir. Son olarak bölüm 6.5'te görüş ve sonuçlar aktarılmıştır.

5.2 Problemin Tanımı ve Model Formülasyonu

Talep parametreleri birbirinden farklı olabilen n adet mağaza veya depo konumuna sahip bir sistemi ele almaktayız. Mağazalar taleplerini karşılamak için periyodik olarak ürün sipariş etmek zorundadırlar. Mağazalar envanterlerini periyodik olarak gözden geçirip ürün tedarik ederler. Eğer mağazada stok azalır veya fazla stok bulunursa dengelemek için aktarmalı taşıma gerçekleştirilir (Şekil 5.1). Fazla talep durumlarında müşterilerin aktarmalı taşımanın gerçekleşmesini beklediğini varsayıyoruz. Bundan sonra “taşıma” dendiğinde aksi belirtilmedikçe aktarmalı taşıma anlaşılacaktır.



Şekil 5.1 Aktarmalı taşıma modeli.

Aktarmalı taşıma sonunda eğer bir mağazada halen karşılanmamış talep varsa bir ceza

maliyeti doğar. Diğer taraftan, eğer bir mağazada aktarmalı taşımadan sonra talep fazlası envanter varsa elde bulundurma maliyeti doğar. Elde bulundurma maliyeti düşük fiyattan satışı ve fabrikaya geri gönderme giderlerini kapsar.

Bir mağazadan diğerine taşıma deterministik bir gecikme zamanı ve taşıma maliyetine sebep olur. Buradaki gecikme zamanı dikkate alınması gereken bir değerdir. Gecikme zamanları, konumlar arasındaki uzaklığı, taşıma araçları, ürünün boyut ve ağırlığı gibi etmenlere bağlıdır.

Modelimizdeki diğer bir önemli etmen de kalitesizliktir. Kalitesizlik veya kalite eksikliği iki durumda söz konusu olur: (a) Eğer bir mağazada taşımadan sonra fazlalık envanter varsa, bu envanter sonraki periyoda aktarılır ve bu nedenle de eskime ve bozulma gerçekleşebilir. Bu da ürün kalitesinde azalmaya ve kalitesizliğe sebep olur. (b) Taşıma esnasında ürünün kırılması, bozulması veya hasar görme olasılığı vardır. Bu da kalitesizliğin artmasına sebep olur.

5.2.1 Notasyon ve Varsayımlar

Modelde amacımız maliyet, gecikme zamanı ve kalitesizliğin azaltılması ve doluluk oranının artırılmasıdır. Bu amaçları aynı anda sağlamak için kurduğumuz modelde aşağıdaki notasyonları kullanıyoruz:

n = mağaza (depo/konum) sayısı

S_i = i . mağaza için sipariş miktarı

S = sipariş miktar vektörü

D_i = i . mağazada gerçekleşmiş olan talep miktarı

D = talepler vektörü

c_i = i . mağazadaki birim sipariş maliyeti

h_i = i . mağazada oluşan birim başına elde bulundurma maliyeti

p_j = j . mağazada oluşan birim başına ceza maliyeti

w = fazlalık envanterden kaynaklanan fire oranı (olasılığı)

b = taşımadan kaynaklanan bozulma oranı (olasılığı)

τ_{ij} = i . mağazadan j . mağazaya birim taşıma maliyeti

T_{ij} = i . mağazadan j . mağazaya taşınan miktar

l_{ij} = i . mağazadan j . mağazaya taşınan birim başına gecikme zamanı

L_{ij} = i . mağazadan j . mağazaya taşıma gecikme zamanı

I^+ = taşımadan önce fazlalık envantere sahip mağazalar kümesi

I^- = taşımadan önce karşılanmamış talebe sahip mağazalar kümesi

Modelimizde yaptığımız varsayımlar aşağıdaki gibidir:

1. Varsayım: Her mağaza için önceden belirlenmiş ve sabit olan bir maksimum sipariş miktarı vardır.

2. Varsayım: Gecikme zamanları pozitif veya sıfırdır, aynı zamanda deterministiktir.

3. Varsayım: Toplam maliyet, taşıma kârı, elde bulundurma maliyeti ve ceza maliyetine bağlı olarak negatif veya pozitif değerler alabilir. Modelimizde toplam maliyet hesaplanırken sipariş maliyetleri her durumda sabit oldukları için toplam maliyete eklenmemiştir.

4. Varsayım: Fire ve bozulma olasılıkları başlangıçta belirlenmiş olup sabittir. Bu oranlar tüm mağazalar arasındaki taşımalarda eşit olarak alınmıştır.

5. Varsayım: Kalitesizlik etmenlerinin maliyet ve doluluk oranları fonksiyonları üzerinde bir etkisi yoktur. Taşıma ve fazlalık envanterden dolayı oluşan kayıp ve zararların ürünün maliyet ve satış miktarı üzerinde bir etkisi olmadığı varsayılmıştır.

5.2.2 Maliyet Fonksiyonu

$$C(S, D) = \sum_{i \in I^+} h_i (S_i - D_i) + \sum_{j \in I^-} p_j (D_j - S_j) - K(S, D) \quad (6.1)$$

Toplam maliyet amaç fonksiyonu üç ana kısımdan oluşur: (a) toplam elde bulundurma maliyeti, (b) toplam ceza maliyeti ve (c) toplam taşıma kârı. Modelimizde, maliyet fonksiyonunun minimizasyonu önemli bir amaçtır. Elde bulundurma ve ceza maliyetleri taşıma sürecinden önce oluşmaktadır. Daha sonra taşımaya bağlı olarak da toplam taşıma kârı ortaya çıkar.

i . mağaza ile j . mağaza arasındaki taşıma elde bulundurma maliyetini i . mağazada h_i kadar ve

ceza maliyetini j . mağazada p_j kadar azaltır. Ancak, toplam maliyet taşıma maliyetinden dolayı τ_{ij} tarafından arttırılır (Belgasmi vd., 2004).

Taşıma kâr fonksiyonu $K(S,D)$ 'den optimal taşıma miktarları T_{ij} 'leri bulmak için aşağıdaki lineer programlama modeli çözülmelidir:

$$K(S,D) = \max_{T_{ij}} \sum_{i \in I^+} \sum_{j \in I^-} (h_i + p_j - \tau_{ij}) T_{ij} \quad (6.2)$$

Şu kısıtlara göre

$$\sum_{j \in I^-} T_{ij} \leq S_i - D_i, \quad \forall i \in I^+ \quad (6.3)$$

$$\sum_{i \in I^+} T_{ij} \leq D_j - S_j, \quad \forall i \in I^- \quad (6.4)$$

$$T_{ij} \geq 0 \quad (6.5)$$

Denklem (6.3) ve (6.4)'teki kısıtlar, i 'den j 'ye olan toplam taşımının i . mağazada bulunan miktardan ve j . mağazadaki karşılanmamış talepten daha fazla olamayacağını belirtmektedir.

Burada sipariş maliyetlerini hesaba katmıyoruz, çünkü aynı talepler için eşit ve sabitler. Sipariş maliyeti, i . mağazada gerçekleşen talep ile i . mağazadaki birim sipariş maliyetinin çarpımına eşittir. Burada dikkat edilecek nokta sipariş miktarının değil, talep miktarının kullanılmasıdır. Bunun sebebi de taşımadan kaynaklanan farkın taşıma maliyetlerinin içerisinde bulunmasıdır. Daha fazla bilgi için Özdemir vd.'nin (2006) çalışmasına bakınız.

5.2.3 Doluluk Oranı Fonksiyonu

$$\beta^{AT}(S,D) = \frac{\sum_j \min(D_j, S_j + \sum_i T_{ij})}{\sum D_j} \quad (6.6)$$

Doluluk oranı taşımadan sonra her mağazadaki karşılanan talebe karşılık gelmektedir. Hizmet düzey amacı toplam doluluk oranını kapsar ve maksimize edilmeye çalışılmaktadır. Büyük miktarlarda sipariş verildiğinde doluluk oranı yüksek olacaktır, ancak elde bulundurma maliyetleri de artacaktır. Bu yüzden maliyet ile doluluk oranı arasındaki dengeyi tutturmak gerekecektir.

Doluluk oranı, eğer sipariş miktarı talepten az ise üzerine taşınan miktarlar da eklenerek, taşımadan sonraki son durum göz önüne alınarak hesaplanır. Yani taleplerin taşımalarından

sonraki karşılanma oranlarının ortalamasıdır. Tüm talepler tam olarak karşılanmış ise veya fazlalık envanter varsa doluluk oranı maksimum oran olan 1'e ulaşacaktır.

5.2.4 Gecikme Zaman Fonksiyonu

$$L(S, D) = \sum_{i,j} T_{ij} l_{ij} \quad , \forall i \in I^+, j \in I^- \quad (6.7)$$

Gecikme zamanı taşıma süreci nedeniyle oluşan toplam bekleme zamanını ifade eder. İkmal yaparak doluluk oranını maksimize ederken, gecikme zamanları artacaktır. Gecikme zamanları yalnızca karşılanmamış talebi olan mağazalar için geçerlidir. Modelimizde toplam gecikme zamanının minimizasyonuna çalışmaktayız.

5.2.5 Kalitesizlik Fonksiyonu

$$Q(S, D) = \sum_i (S_i - D_i)w + \sum_{i,j} (T_{ij})b \quad , \forall i \in I^+, j \in I^- \quad (6.8)$$

Kalite üreticiler, tedarikçiler ve müşteriler için çok önemli bir etmen haline geldi. Toplam Kalite Yönetimi, Kalite Yönetim Sistemleri (ISO), Altı Sigma gibi birçok farklı teknik ve kavram ürün ve hizmet kalitesini artırmak için geliştirilmiştir. Bu geliştirme halen çok hızlı bir şekilde sürmekte ve yeni metotlar ve kalite geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Artık her aşamada kalite aranan ve olmazsa olmaz bir nitelik haline gelmiştir. Hatta öyle ki, maliyetin bile önüne geçmiş durumdadır.

Denklem (6.8)'de eşitliğin sağındaki ilk hesaplama ortaya çıkan fazlalık envanter içinden bozulan miktarı, ikinci hesaplama ise taşımadan dolayı bozulan miktarı göstermektedir.

Modelimizde, fazlalık envanter oluştuğunda kalitesizlik ortaya çıkmaktadır. Fazlalık envanter bozulmaya ve kalite kayıplarına açıktır. Ayrıca taşıma sırasında da kalite azalmasına sebep olacak bozulma ve hasar görme olasılığı vardır. Yani, minimize edilmesi gereken kalitesizlik fonksiyonunu toplam fire ve bozulma miktarı olarak ifade edebiliriz.

Özetleyecek olursak, optimizasyon problemimizi aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz:

$$(P): \begin{cases} \min C(S) \\ \max \beta^{AT}(S) \\ \min L(S) \\ \min Q(S) \end{cases} \quad (6.9)$$

5.2.6 Çözüm Metodu ve Optimallik

Yukarıda tanımlanan çok konumlu aktarmalı taşıma problemimizin amaç fonksiyonları birlikte optimize edilmelidir. Birbirleriyle uyumsuzluk içinde olan amaçların bulunduğu bu tür problemleri lineer programlama gibi klasik matematiksel metotlarla çözemeyiz. En iyi sonuçları elde etmek için genetik algoritma metodunu kullanacağız. Diğer yandan, taşıma kâr fonksiyonu K 'nın (Denklemler 6.2) analitik bir çözümü bulunmaktadır ve kolaca bir lineer programlama metoduyla çözülebilir. K 'yı çözmek için simplex metodunu kullandık.

Çok amaçlı problemlerin doğası gereği bir tek optimal çözüm bulunmayabilir, buna karşın genellikle optimal çözümlerin bir kümesi bulunur. Literatürde çoklu amaçları birleştirerek tek bir amaç haline dönüştüren “ağırlıklandırılmış toplam metodu” ve “hedef programlama metodu” yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle bir tek çözüm bulmak mümkündür, ancak gerçek hayatta karşılaşılan problemler için bunlar yeterince gerçekçi çözümler üretmezler. Bu yüzden, en iyi sonuçları elde etmek için pareto optimalliğini kullanacağız. Çalışmamızda pareto optimal kümesini bulmak için “Güç Pareto Evrimsel Algoritması 2” (Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2/SPEA2). Çok amaçlı optimizasyon problemimizdeki kullanımı için sonraki bölümlerde bu konu daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır (Bölüm 6.2.8).

Çok amaçlı optimizasyon için iki yaklaşım bulunmaktadır (Belgasmı vd., 2004): klasik metotlar ve evrimsel metotlar. Klasik metotlar ayrı olan amaç fonksiyonlarını tek bir fonksiyona çevirirler. Örnek olarak ağırlıklandırılmış toplam metodu, ağırlıklandırılmış metrik metotlar, değer fonksiyon metodu ve hedef programlama metotları verilebilir. Bu metotların özgün problemi yetersiz bir şekilde modelleme, tek bir çözüm üretme ve tasarımcıya verilen seçenekleri sınırlandırma gibi dezavantajları vardır. Ancak, son birkaç yılda klasik olmayan, alışılmışın dışında arama algoritmaları ortaya çıkmıştır.

5.3 Çok Amaçlı Optimizasyon

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, her bir nesne kendisi bir çözüm olmak üzere bir vektör girişi olarak gösterilebilir, örneği:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (6.10)$$

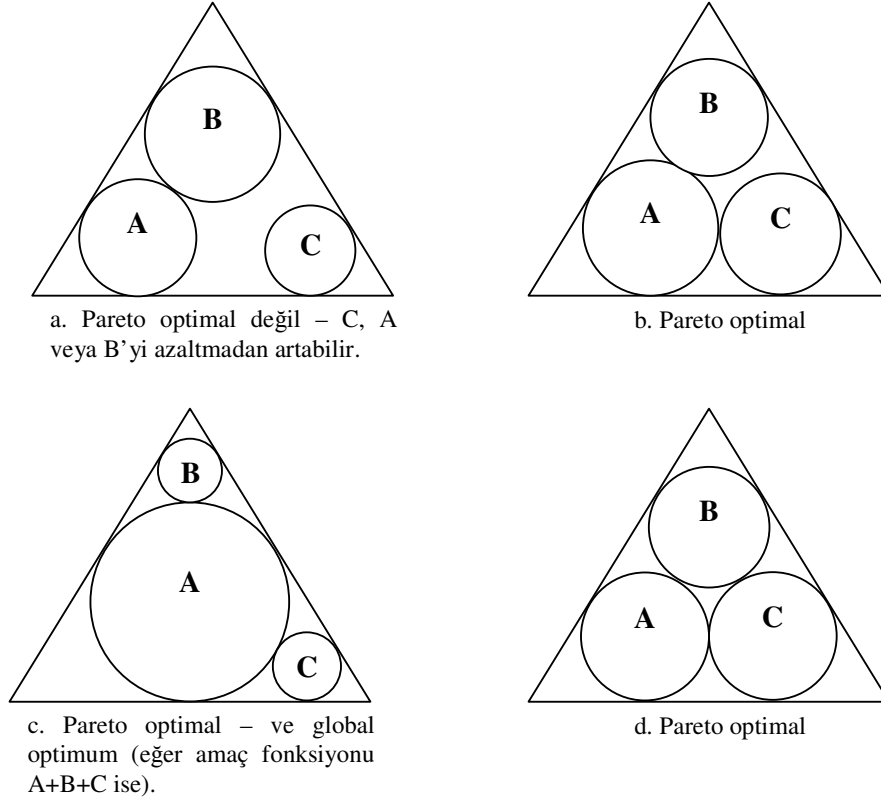
Denklem (6.10) n amaçlı bir optimizasyon problemi için tek bir çözümü göstermektedir.

$$X <_p Y \Leftrightarrow \forall i(x_i \leq y_i) \wedge \exists i(x_i < y_i) \quad (6.11)$$

Eğer denklem (6.11) göz önünde bulundurulursa verilen iki vektör için (X ve Y), $X <_p Y$ (X kısmen Y'den küçüktür veya X Y'yi domine eder) denilebilir.

Domine edilmemiş olan sonuçlar (Pareto-optimal kümesi) kümedeki diğer tüm çözümlerden daha iyi olarak düşünülür, çünkü tüm kriterleri göz önüne alındığında onlardan daha iyi çözümler bulunamaz. Bu süreç illa ki bir en iyi çözüm sunmayabileceği için, arama uzayını daha kolay yönlendirilebilen bir çözüm kümesine doğru sınırlandırır (Costelloe vd., 2000).

Çok amaçlı optimizasyon problemleri için en iyi yaklaşım en iyi çözüm kümesinin bulunmasıdır. Daha sonra bu küme üzerinden bir karar verilebilir. Çoğunlukla tüm amaçları optimize eden bir çözümler kümesi bulunmaz, ancak arama uzayında diğerlerinden daha iyi olan çözümler bulunmaktadır.



Şekil 5.2 Pareto optimallik (Petrie vd., 1995).

Pareto optimal çözümde bir taraf kötüleştirilmeden başka bir taraf iyileştirilemez. Şekil 5.2'de

Pareto optimallik ile ilgili dört geometrik örnek verilmiştir. Bu şekillerde, daireler alanları maksimize edildiğinde en iyi şekilde tatmin edilen amaçları ifade etmektedir. Buradaki kısıtlar dairelerin üçgeni aşamayacağını ve içine sığmaları gerektiğini göstermektedir.

5.3.1 SPEA2: Güç Pareto Evrimsel Algoritması

Farklı çalışmada birçok çok amaçlı evrimsel algoritma ele alınmıştır. SPEA'nın ardılı olan SPEA2 birçok test probleminde kullanılmış (örneğin Hiroyasu vd., 2005) ve diğer çok amaçlı evrimsel algoritmalarla karşılaştırıldığında çok iyi bir performans göstermiştir.

SPEA2'yi uygulamak için bir başlangıç popülasyonu ve boş bir dış küme (arşiv) kullanıyoruz. İlk aşamada popülasyonun uygunluk değerleri hesaplanır, sonra popülasyondaki her birey için güç değerleri aşağıdaki gibi atanır (Zitzler vd., 2001):

- Arşivdeki her birey i için bir güç değeri $S(i) \in [0; 1)$ atanır, bu aynı zamanda onun uygunluk değeri $F(i)$ 'yi gösterir. $S(i)$, amaç değerlerine bağlı olarak i 'ye eşit olan veya i tarafından domine edilen popülasyondaki birey sayısı j 'nin, popülasyon boyutu artı bire bölünmesidir.
- Popülasyonda birey j 'nin uygunluk değeri $F(j)$, j 'ye eşit olan veya j 'yi domine eden i tüm arşiv üyelerindeki $S(i)$ değerlerinin toplanmasıyla ve sonuna bir eklenmesiyle bulunur.

SPEA2'nin adımları aşağıda tanımlanmıştır:

Giriş: N = popülasyon boyutu, N_A = arşiv boyutu, T_G = maksimum nesil sayısı.

Çıkış: A = domine edilmemiş arşiv.

Adım 1: Bir başlangıç popülasyonu P_0 ve boş bir arşiv A_0 oluşturun. $t=0$ olarak belirleyin.

Adım 2: P_t ve A_t 'deki her bir birey için uygunluk değerlerini hesaplayın.

Adım 3: P_t ve A_t 'deki tüm domine edilmemiş bireyleri A_{t+1} 'e kopyalayın.

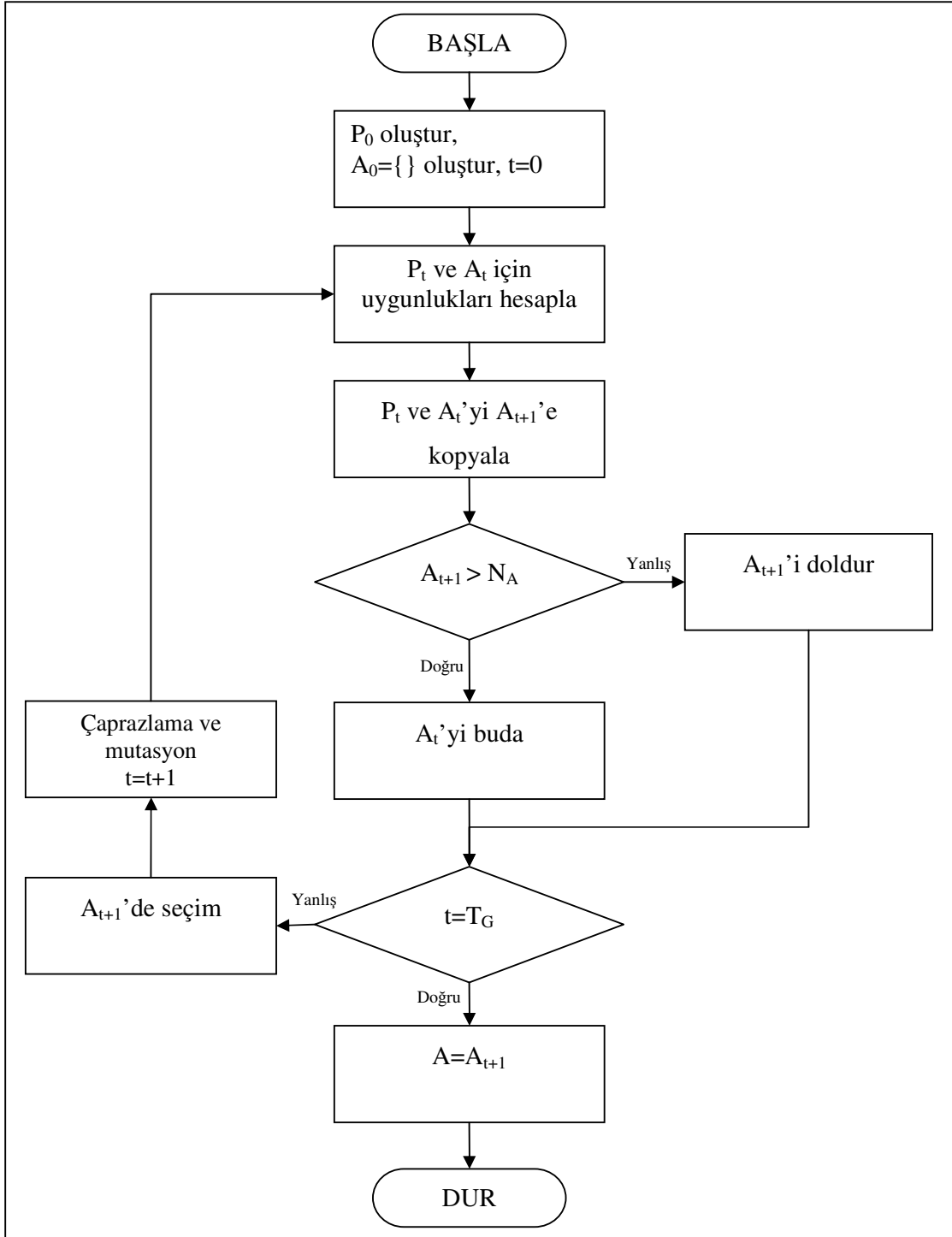
Adım 4: Eğer A_{t+1} 'in boyutu arşiv boyutu N_A 'yı geçerse budama operatörü kullanarak A_{t+1} 'i kısaltın.

Adım 5: Eğer A_{t+1} 'in boyutu arşiv boyutundan küçükse A_{t+1} 'i doldurmak için P_t ve A_t 'deki domine edilmiş bireyleri kullanın.

Adım 6: Eğer ($t = T_G$) ise veya kararlaştırılmış durdurma kriterine ulaşılmışsa $A = A_{t+1}$ olarak belirleyin ve durun.

Adım 7: Eşleşme havuzunu doldurmak için A_{t+1} 'de seçim uygulayın.

Adım 8: Eşleme havuzuna çaprazlama ve mutasyon uygula ve A_{t+1} 'i güncelle. $t=t+1$ olarak belirle ve Adım 2'ye git.



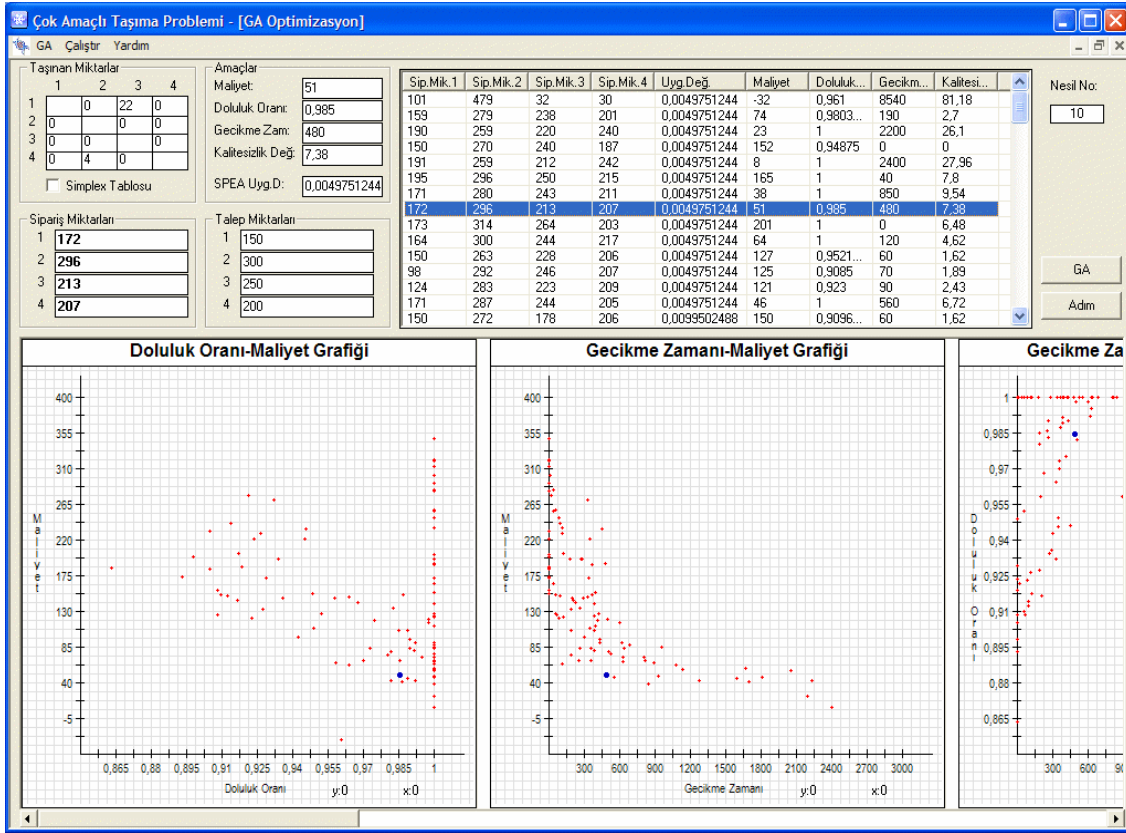
Şekil 5.3 SPEA2 algoritması.

Önceki ve yakın zamanda yapılmış çalışmalarda (örneğin Zitzler vd., 2001) farklılığı korumak

için birbirinin kopyası olan popülasyon bireyleri arşivden çıkartılmıştır. Biz kendi çalışmamızda farklı bir yaklaşım izledik. İlk olarak, kendisinin kopyasına sahip her birey mutasyona uğratılır, sonra da arşiv boyutumuz olması gereken arşiv boyutu N_A 'yı geçiyorsa uygunluk değerlerine göre budama uygulanır. Bu sayede, güçlü bireyler arşivde tutulmuş olur ve aramamız optimal alanlara doğru yönlendirilmiş olur. Bu şekilde farklılık da korunmuş olur. Ayrıca, iki bireyden 4 yeni çocuk oluşturmaktayız. Arşiv boyutumuz hiçbir zaman N_A 'dan küçük olamayacağı için de Adım 5'i atlayabiliriz.

5.4 Sayısal Uygulama

Bu bölümde, çok amaçlı ve çok konumlu aktarmalı taşıma problemimizin sayısal sonuçları analiz edilecektir. Önerdiğimiz optimizasyon metodunu değerlendirmek ve etkinliğini ortaya koyabilmek için 4 konumlu ve 4 amaçlı bir test problemini ele aldık. Problemin çözümü için yukarıda anlatılan yöntemleri kullanan bir genetik algoritma optimizasyon programı geliştirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Genetik algoritma optimizasyon programı.

Örneğimizde, farklı konumlarda 4 adet mağaza bulunmaktadır. Her mağazanın farklı talep miktarları bulunmakta ve ürünleri periyodik olarak sipariş etmektedirler. Problemimizle ilgili verilen parametreler aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 5.1 Birim taşıma gecikme zamanları.

	1	2	3	4
1	0	30	20	25
2	30	0	30	10
3	20	30	0	40
4	25	10	40	0

Çizelge 5.2 Birim taşıma maliyetleri.

	1	2	3	4
1	0	3	1	3
2	3	0	3	2
3	1	3	0	4
4	3	2	4	0

Birim elde bulundurma maliyetleri: $h_1 = 3, h_2 = 5, h_3 = 4, h_4 = 2$

Birim ceza maliyetleri: $p_1 = 2, p_2 = 3, p_3 = 1, p_4 = 4$

Talepler: $D_1 = 150, D_2 = 300, D_3 = 250, D_4 = 200$

Test problemi için aşağıdaki sabit parametreler kullanılmıştır:

Popülasyon boyutu: 100

Arşiv boyutu: 100

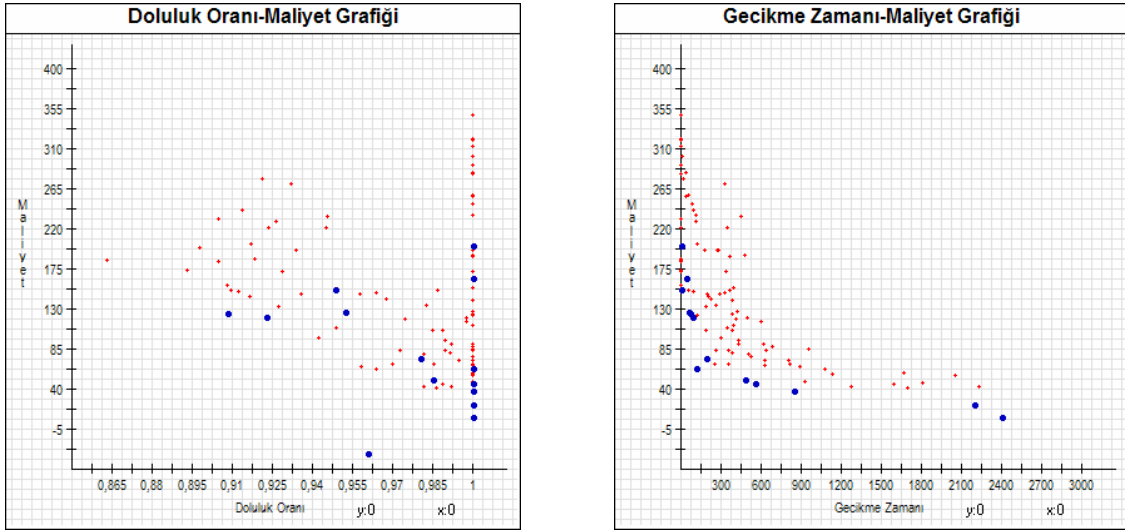
Mutasyon oranı: 0.05

Mutasyon adımı: 0.10

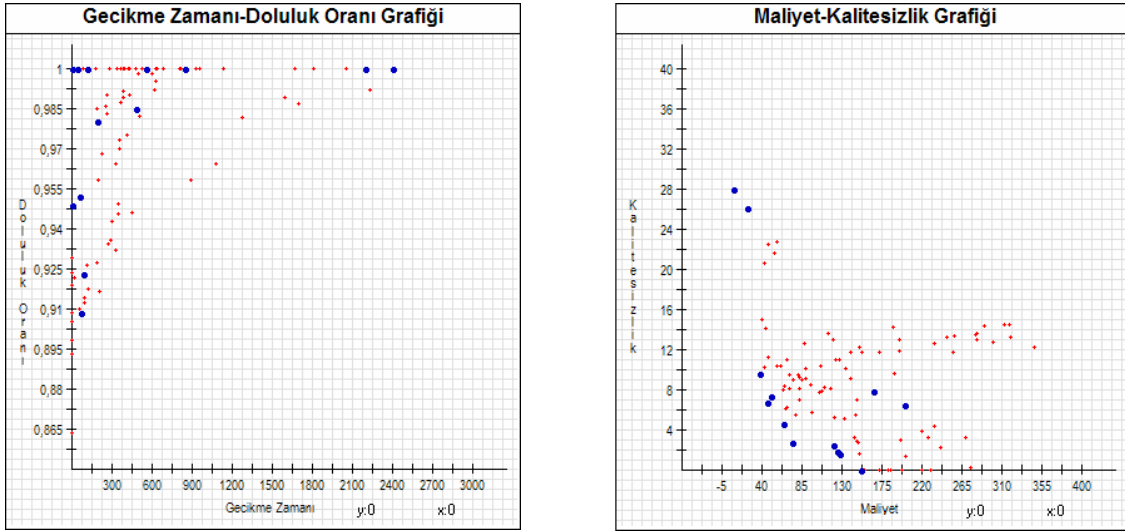
Nesil sayısı: 10

Maksimum talep sınırlaması: 500

Deneysel problemimizin grafiksel çözümleri aşağıda gösterilmiştir. Ayrıntılı sayısal sonuçlar için Ek 1'e bakınız. Grafiksel pareto cephelerini incelediğimizde, ikili amaçlar arasındaki ilişkileri görebiliriz.

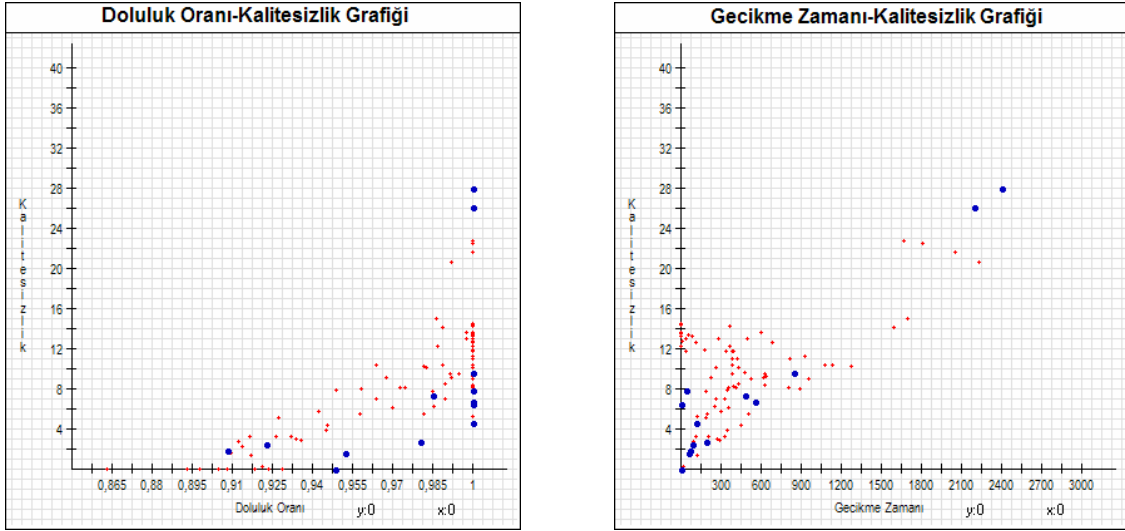


Şekil 5.5 10 nesil için doluluk oranı-maliyet ve gecikme zamanı-maliyet grafiği.



Şekil 5.6 10 nesil için gecikme zamanı-doluluk oranı ve maliyet-kalitesizlik grafiği.

Son nesil oluşturulduktan sonra, grafiklerde büyük noktalarla gösterilen 14 bireyin uygunlukları pareto optimal olarak bulunmuştur. Bu bireylerden her biri pareto optimal olduğundan 14 çözümden hiç biri, bir diğerini domine etmemektedir. Bu nedenle her tekil çözümün iyi bir çözüm olduğunu söyleyebiliriz. Karar verici artık pareto optimal çözümler kümesinden en uygun bulduğu çözümü seçebilir. Göreceli olarak bazı çözümler farklı durumlarda diğerlerine göre daha üstün olabilir. Örneğin, bir karar verici için belli bir durumda maliyet ve kalite, gecikme zamanı ve doluluk oranından daha önemli olabilir.



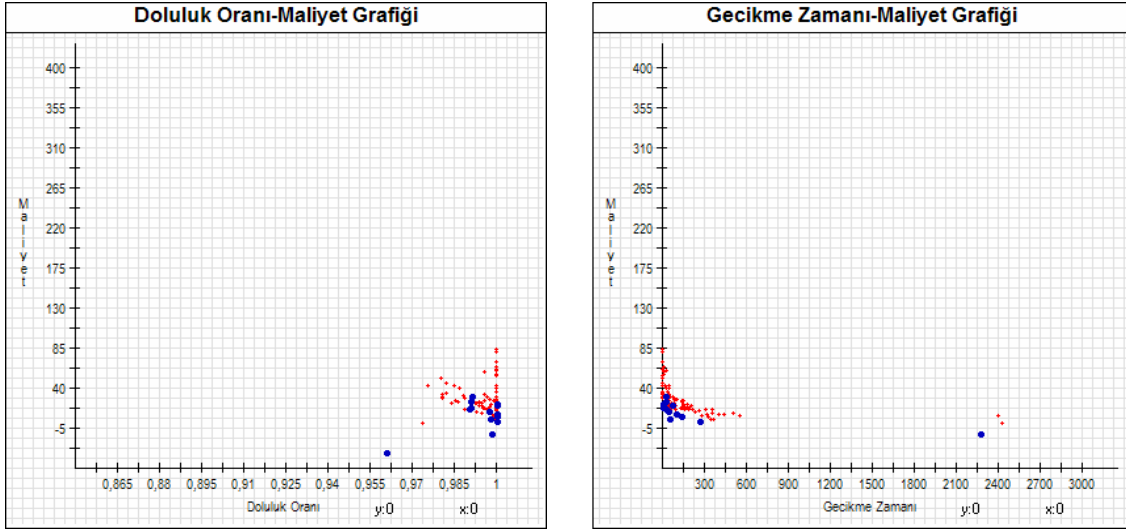
Şekil 5.7 10 nesil için doluluk oranı-kalitesizlik ve gecikme zamanı-kalitesizlik grafiği.

Bu durumda, gecikme zamanı minimize edilmemiş ve doluluk oranı da maksimize edilmemiş olmasına rağmen, minimum maliyet ve minimum kalitesizliğe sahip olan bir çözüm seçilir. Bu sayede, karar verici için daha önemli gördüğü amaçlar maksimum derecede tatmin edilirken, aynı zamanda daha az öneme sahip olanlar da göz ardı edilmemiş olacaktır.

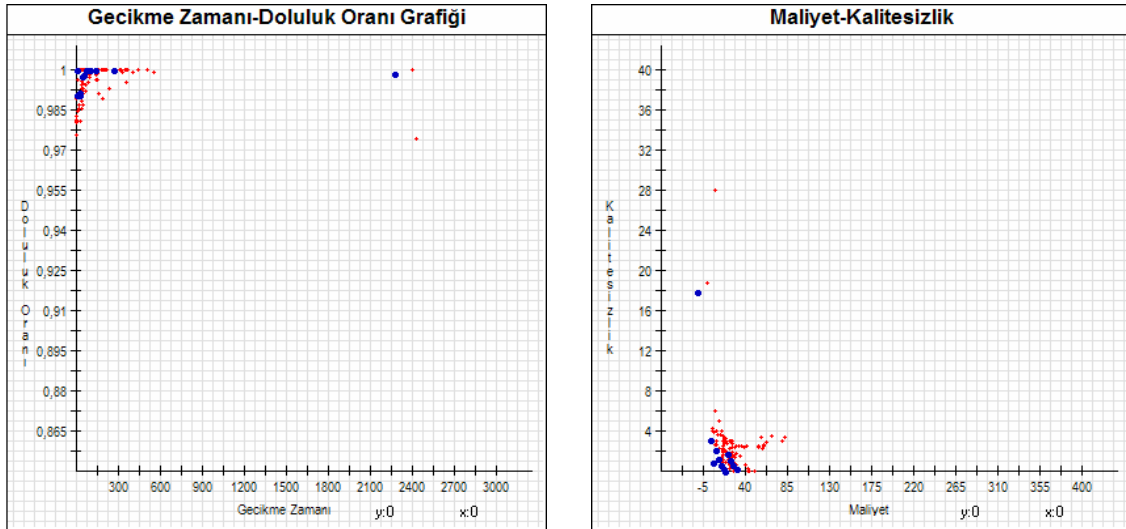
Pareto optimal sonuçlar incelendiğinde, (101, 479, 32, 30) sipariş miktarlarına sahip olan bireyin -32 ile en düşük maliyete, 0,961'lik ortalama bir doluluk oranına, 8540 ile oldukça yüksek bir gecikme zamanına ve 81,18 değeriyle en kötü kalitesizlik değerine sahip olduğunu görmekteyiz. (150, 270, 240, 187) bireyi ise 0 kalitesizlik değeri ile en iyi kaliteye ve 0 değeri ile en düşük gecikme zamanına sahiptir; fakat 127'lik bir maliyet ve 0,9522 ile diğerlerine oranla oldukça düşük bir doluluk oranına sahiptir. (173, 314, 264, 203) çözümü hem tam doluluk oranıyla (1) en iyi hizmet düzeyine hem de 0'lık gecikme zamanıyla öne çıkmaktadır. Ancak diğer taraftan, 201'lik maliyetle diğerlerine göre en yüksek maliyete sahiptir. Kalitesizlik değeri ise ortalama bir değer sayılabilecek 6,48'dir.

Optimizasyon işlemine 20. nesile kadar devam edildiğinde elde edilen sonuçların birbirine daha yakın alanlarda kümelenmeye başladığı görülecektir (Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10). Ayrıca pareto optimal sonuçlar 14'ten 13'e düşmüştür. İşleme 30. nesile kadar devam edildiğinde bu alanların daha da küçüldüğü görülmüştür. Bu aşamada sadece 3 pareto optimal sonuç elde edilmiştir. Bundan sonra devam edildiğinde optimal sonuçların bulunduğu alanların genişlemediğini, ancak pareto optimal sonuç sayısının 8'e kadar artmaya devam ettiği tespit edilmiştir. Ancak, çözümlerin birbirlerine çok yakın olmaması bunların arasından

seçim yaparken farklı alternatifleri değerlendirmek açısından daha sağlıklı olacaktır. Bu yüzden de 10 ile 20 nesil arasındaki çözümlerin bu problem için en uygun aralık olduğu söylenebilir.

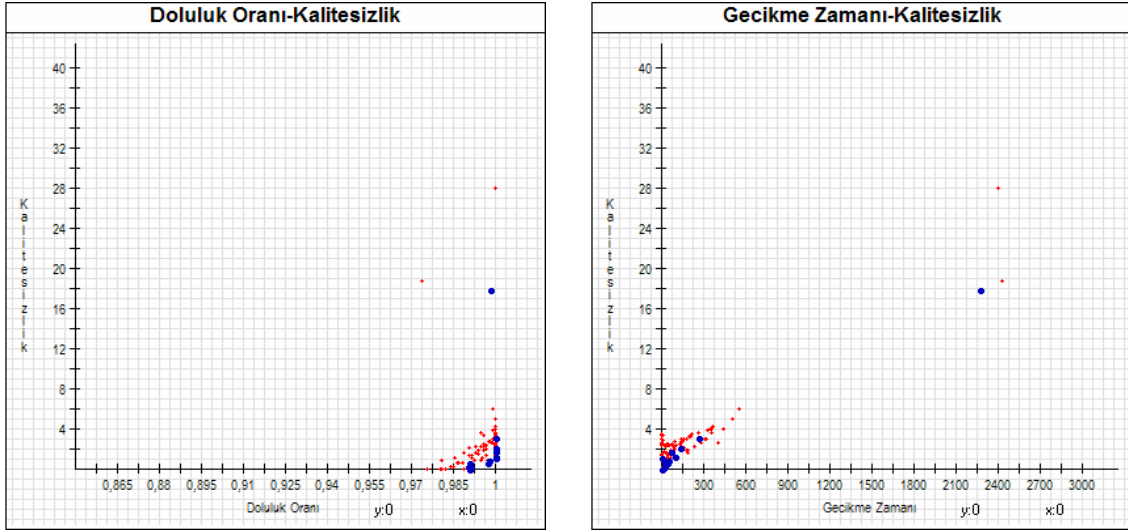


Şekil 5.8 20 nesil için doluluk oranı-maliyet ve gecikme zamanı-maliyet grafiği.



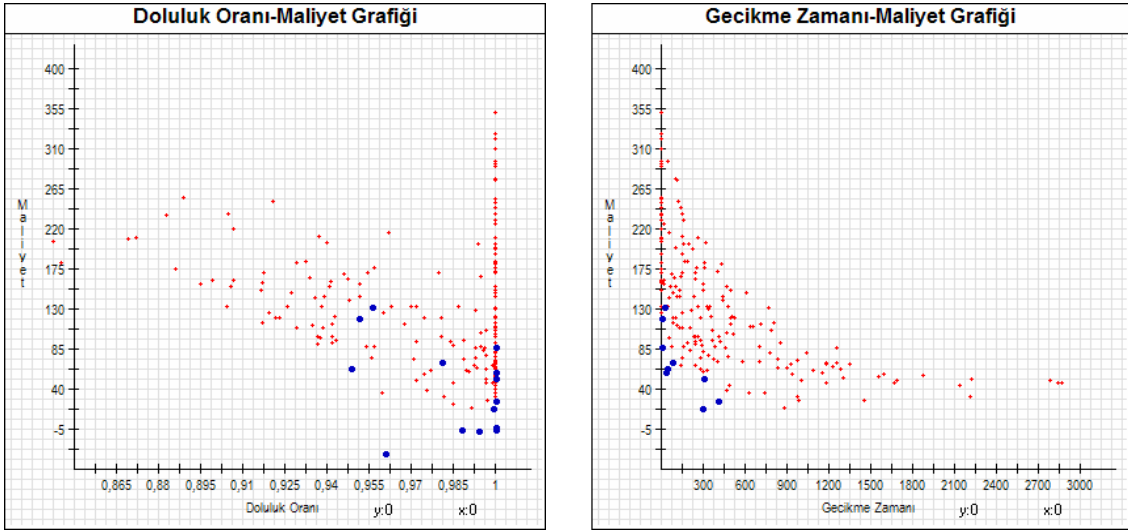
Şekil 5.9 20 nesil için gecikme zamanı-doluluk oranı ve maliyet-kalitesizlik grafiği.

Optimizasyonu etkileyen parametreler değiştirildiğinde farklı sonuçlar elde etmek mümkündür. Popülasyon boyutu, mutasyon oranı ve mutasyon adımı gibi parametreler değiştirilerek farklı sonuç kombinasyonları elde edilebilir. Aynı problem 100 yerine 200 nüfus sayısı ile çözüldüğünde farklı pareto optimal sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.10 20 nesil için doluluk oranı-kalitesizlik ve gecikme zamanı-kalitesizlik grafiği.

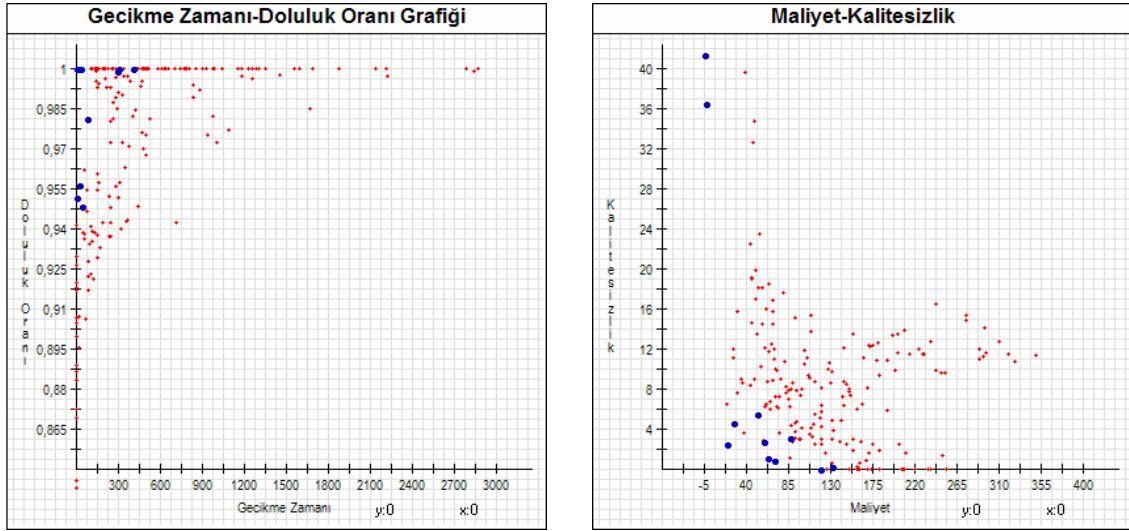
Aşağıdaki şekillerde aynı optimizasyon problemi 200 nüfus sayısı ve 10 nesil boyunca çalıştırılmıştır (Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13). Elde edilen sonuçlar 100 nüfus sayısı ile benzerlik göstermektedir. Yine 14 adet pareto optimal sonuç elde edilmiştir. Ancak programın çalışma süresi beklendiği şekilde nüfus sayısının artmasına bağlı olarak artmıştır.



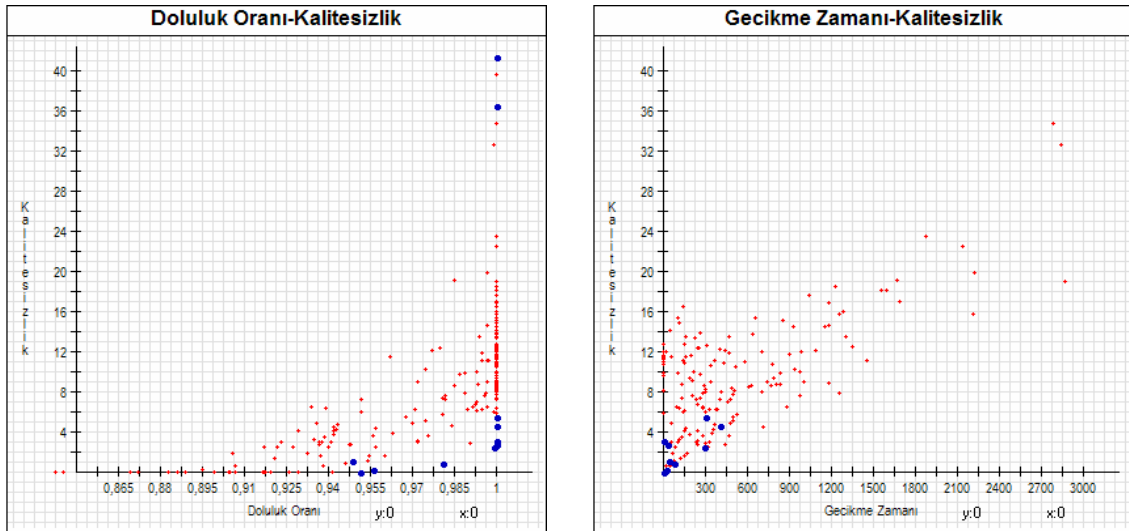
Şekil 5.11 200 nüfus sayısı için doluluk oranı-maliyet ve gecikme zamanı-maliyet grafiği.

Nüfus sayısı 300 olarak ve 10 nesil boyunca çalıştırıldığında bu kez 13 pareto optimal sonuç elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar 200 nüfus ile daha fazla benzerlik göstermektedir. Çalışma süresi ise yine bir miktar daha uzamıştır. Bundan sonra nüfus sayısının daha da artırılmasının hem çalışma süresini arttırdığı hem de daha az sayıda pareto optimal sonuç

verdiği için gereksiz olduğu söylenebilir. Bu açıdan 100 ile 200 nesil aralığı bu problem için en iyi aralık olarak değerlendirilebilir.

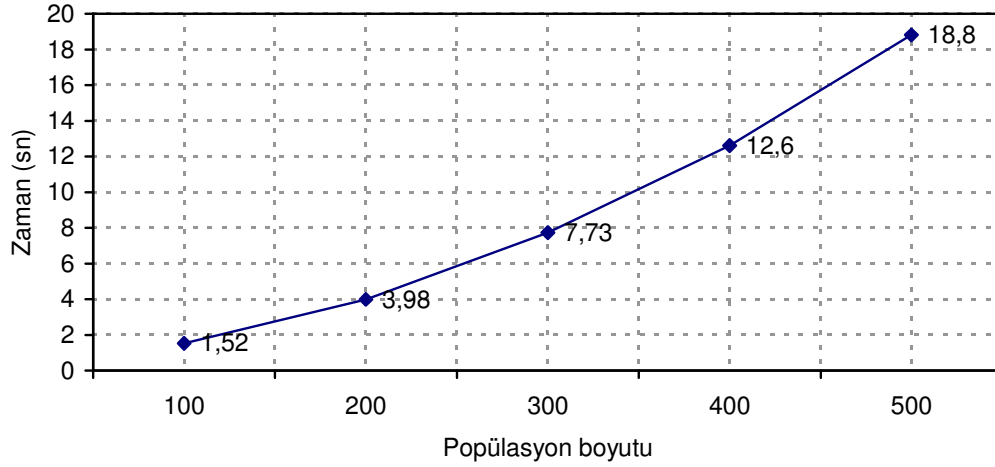


Şekil 5.12 200 nüfus için gecikme zamanı-doluluk oranı ve maliyet-kalitesizlik grafiği.



Şekil 5.13 200 nüfus için doluluk oranı-kalitesizlik ve gecikme zamanı-kalitesizlik grafiği.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde programın hangi parametrelerle çalıştırılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Burada göz önünde bulundurulması gereken en önemli kriter belli bir çalıştırma sonucunda elde edilen pareto optimal çözümlerin sayısıdır. Ayrıca bu çözümlerin birbirlerine olan uzaklıkları da alternatif çözümlerin farklılığı açısından önemlidir. Çözümler ile ilgili sayısal sonuçlar Ek 1, Ek 2, Ek 3, Ek 4 ve Ek 5'te verilmiştir. Şekil 5.14, 10 nesil için popülasyon boyutuna göre programın çalışma sürelerini göstermektedir.



Şekil 5.14 Popülasyon boyutu-zaman grafiği.

5.5 Uygulamadan Elde Edilen Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Tatmin edilmesi gereken dört amaca sahip çok amaçlı ve çok konumlu bir aktarmalı taşıma problemini ele aldık. Bu amaçlar maliyet, doluluk oranı, gecikme zamanı ve kalitesizliktir. Farklı konumlarda bulunan dört mağaza sezonluk bir ürün satmaktadır. Talepleri birbirinden farklı olabilir. Mağazalar, sezon başlamadan önce bahsedilen tüm amaçları birlikte optimize edecek ürün sipariş miktarına karar vermek zorundadır. Talepler gerçekleştikten sonra, maliyeti minimize ve doluluk oranını maksimize etmek için mağazalar arasında taşımalar gerçekleşir.

Sipariş miktarlarını belirleyerek bu çelişkili amaçları optimize etmek için genetik algoritma metodunu kullanmaktayız. Sözü edilen çok amaçlı problemi çözmek için uyarlamalarla yeniden yapılandırılmış olan SPEA2 algoritması kullanılmıştır. Oldukça kısa bir sürede 10 nesil üreterek pareto optimal çözümlere ulaşabildik. 100 çözüm arasından 14 popülasyon üyesi pareto optimal olarak bulunmuştur. Amaçların öncelikleri göz önünde bulundurularak, bu çözümler arasından bir karara varılmalıdır.

Aynı problem simülasyon yöntemiyle çözülmeye çalışıldığında, tahmini değerler elde edilmektedir. Simülasyon, genetik algoritma gibi bir optimum arama yöntemi olmadığı için çözümler optimal noktalara doğru çekilememektedir. Ancak simülasyon talep tahminlerinin öngörülmesinde kullanıldığında bize yardımcı olabilir. Bu nedenle, pareto optimal sonuçlar arasından karar vermek için önerilen yöntem genetik algoritma metodunun kullanılmasıdır.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Lojistik ve lojistik içersindeki en önemli unsurlardan biri olan taşımacılık alanlarındaki araştırmalar, son yıllarda küresel pazarların giderek artması, müşteri talep ve beklentilerinin sürekli büyümesi gibi nedenlerden dolayı büyük bir önem kazanmıştır. Sürekli artan rekabet koşullarında diğerlerinin önüne geçmek isteyen işletmeler dikkatlerini iş süreçlerinin etkinliği ve geliştirilmesi üzerine yoğunlaştırmalıdır. Bunu da hem stratejik hem de operasyonel alanlarda yapılacak optimizasyon çalışmalarıyla sağlayabilirler. Bu nedenle karşılaşılan karmaşık ve birçok yönden birbiriyle çelişen problemlerin çözümü için hangi teknik ve metotların kullanılması gerektiği ve bunların etkinliği araştırılarak ortaya konulmalıdır.

Taşıma konusunda planlama ve kontrolün işletme için önemi artık kavranmış durumdadır. Taşımanın maliyet, kalite, müşteri memnuniyeti, zamanındalık gibi işletme açısından hayati öneme sahip unsurlar üzerindeki payı oldukça büyüktür. Bu yüzden en iyi ve en etkili taşıma alternatiflerinin bulunması ve bunların arasından bir seçim yapılması gerekmektedir. Ancak birçok faktörün bir araya gelmesiyle çok karmaşık ve birbiriyle çelişen amaçlara sahip problemler ortaya çıkmaktadır. Bu gibi problemler çoğu zaman klasik yöntemlerle çözülememekte veya çözülmesi çok zor olmaktadır. Bu noktada karşımıza genetik algoritmalar çıkmaktadır.

Genetik algoritmalar, birçok alanda kullanılmakta, özellikle çok amaçlı problemlerin optimizasyonunda kısa sürelerde çok başarılı sonuçlar vermektedir. Lineer programlama ve matematiksel envanter modelleri gibi klasik yöntemlerle çözülmesi imkansız veya çok güç olan problemlerin çözümünde kullanılabilmektedir.

Çalışmamızda ele aldığımız çok amaçlı ve çok konumlu aktarmalı taşıma probleminde maliyet, gecikme zamanı ve kalitesizlik amaçlarını minimize ederken doluluk oranı amacını maksimize ederek optimal sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Aktarmalı taşıma problemleriyle ilgili literatürde yapılmış çalışmalar maliyetin minimizasyonu üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bazı çalışmalarda buna doluluk oranı ve gecikme zamanlarının da eklendiğini görmekteyiz. Ancak, hem üretici ve satıcılar hem de müşteriler açısından en önemli kriterlerden biri haline gelen kalite faktörü genellikle hesaba katılmamıştır. Kalite hem üreticiler hem de müşteriler için artık olmazsa olmaz bir unsur haline gelmiştir. Toplam Kalite Yönetimi, ISO Kalite Yönetim Sistemleri, Sıfır Hata, Altı Sigma gibi birçok metot bu gereklilikler nedeniyle ortaya çıkmıştır. Bu gibi teknikler halen gelişmekte ve yeni metodolojiler üretilmeye devam etmektedir. Kalite artık ürün ve hizmette aranan en önemli

unsur haline gelmiştir, hatta maliyetin bile önüne geçmiş durumdadır. Bu nedenle, çalışmamıza kalite amacını ekleyerek problem genişletilmiştir. Böylece daha gerçekçi bir optimizasyon problemi elde edilmiştir.

Problemin çözümü için “Güç Pareto Evrimsel Algoritması” (SPEA2) metoduna dayanan bir genetik algoritma çözümü önerilmiştir. Bu yöntem kullanılarak pareto optimal sonuçlar elde edilmiştir. Ağırlıklandırılmış toplam metodu ve hedef programlama metodu gibi teknikler kullanıldığında amaçlar birleştirilerek yalnızca tek bir sonuç elde edilebilmektedir. Bu da daha az gerçekçi ve indirgenmiş bir çözüm yöntemi olarak görülmektedir. Özellikle çok amaçlı problemlerde pareto optimal sonuçlar daha gerçekçi ve daha esnek bir çözüm sunmaktadır. Bir tek çözüm yerine en iyi çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi vererek farklı koşullar için en iyi çözümün seçilebilmesini sağlar.

Çok amaçlı taşıma problemini çözmek için uyarlamalarla yeniden yapılandırılmış olan SPEA2 algoritması kullanılarak oldukça kısa bir sürede 10 nesil üretilmiş ve pareto optimal çözümlere ulaşılmıştır. 100 çözüm arasından 14 popülasyon üyesi pareto optimal olarak bulunmuştur. Amaçların öncelikleri göz önünde bulundurularak, bu çözümler arasından bir karar verilebilir.

Elde edilen sonuçlar, önerilen genetik algoritma metodunun başarılı olduğunu ve kısa sürelerde oldukça iyi çözümler verdiğini ortaya koymaktadır. Çalışma, bu tür çok amaçlı taşıma problemleri veya buna benzer karmaşık ve dinamik optimizasyon problemleri için ortaya koyulan yöntem ve tekniklerin karar verme aşamasında gerekliliğini ve önemini göstermektedir. İleriki çalışmalarda, kullanılan genetik algoritma metodu daha da geliştirilebilir. Ayrıca yeni amaç ve kısıtlar araştırılarak problemin kapsamı genişletilebilir.

KAYNAKLAR

Acar, N., (1997), Malzeme İhtiyaç Planlaması, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları.

Bäck, T. ve Hoffmeister, F., (1991), Extended Selection Mechanisms in Genetic Algorithms, San Mateo, California, USA: Morgan Kaufmann Publishers.

Bäck, T., (1993), Optimal Mutation Rates in Genetic Search, San Mateo, California, USA, Morgan Kaufmann Publishers.

Bäck, T., (1996), Evolutionary Algorithms in Theory and Practice - Evolution Strategies, Evolutionary Programming, Genetic Algorithms. New York, Oxford, Oxford University Press.

Bäck, T., Fogel, D.B. ve Michalewicz, Z., (2000), Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Operators, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia.

Baker, J. E., (1987), Reducing Bias and Inefficiency in the Selection Algorithm, Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Mahwah, NJ, USA.

Barker, T., (1989), Essentials of Materials Management, McGrawHill Publishing.

Başlıgil, H., (2002) “Lojitek E-dergi”, Sayı 6.

Belgasmı, N., Saïd, L.B. ve Ghédıra, K., (2004), “Evolutionary Multiobjective Optimization Of The Multi-Location Transshipment Problem”, Operational Research, An International Journal, Vol.4, No.1.

Blickle, T. ve Thiele, L., (1995), “A Comparison of Selection Schemes used in Genetic Algorithms”, 2. Baskı, TIK Report No. 11, Computer Engineering and Communication Networks Lab (TIK), Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich, Switzerland.

Blickle, T. ve Thiele, L., (1995), “A Comparison of Selection Schemes used in Genetic Algorithms”, 2. Baskı, TIK Report No. 11, Computer Engineering and Communication Networks Lab (TIK), Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich, Switzerland.

Booker, L., (1987), Improving Search in Genetic Algorithms, San Mateo, California, USA: Morgan Kaufmann Publishers.

Bowersox, D.J., Closs, D.J. ve Stank, T.P., (1995), 21st Century Logistics: Making Supply Chain Integration a Reality. Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.

Bowersox, D.J., Closs, D.J. ve Cooper, MB., (2002), Supply Chain Logistics Management, McGrawHill Publishing.

Caruana, R. A., Eshelmann, L. A. ve Schaffer, J. D., (1989), Representation and Hidden Bias II: Eliminating Defining Length Bias in Genetic Search via Shuffle Crossover. In Sridharan, N. S. (ed.): Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, San Mateo, California, USA: Morgan Kaufmann Publishers.

Costelloe D., Mooney P. ve Winstanley A., (2000), Multi-Objective Optimization on Transportation Networks, Department of Computer Science, National University of Ireland Maynooth (NUIM), Co. Kildare. Ireland.

Çiftçi, Ö., (2003), Web Tabanlı Tedarik Zinciri Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.

- Davis, L. D., (1991), Handbook of Genetic Algorithms, Van Nostrand Reinhold.
- Dobler, D.W. ve Burt, D.N., (1996), Purchasing and Supply Management, 6. Baskı, New York, McGraw-Hill.
- Fogel, D. B., (1995), Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence, New York, IEEE Pres.
- Fox, S.M., Chionglo, F. J., ve Barbuceanu, M., (1993), The Integrated Supply Chain Management System, University of Toronto.
- Goldberg, D.E. ve Deb, K., (1991), A Comparative Analysis of Selection Schemes Used in Genetic Algorithms, San Mateo, California, USA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Green, L., (1991), Logistics Engineering, Wiley-Interscience.
- Hansen, N., Ostermeier, A. ve Gawelczyk, A., (1995), On the Adaptation of Arbitrary Mutation Distributions in Evolution Strategies: The Generating Set Adaptation, San Francisco, California, USA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Hiroyasu, T., Nakayama, S. ve Miki, M., (2005), "Multi-objective Optimisation in the Presence of Uncertainty", 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation.
- Karacan ,B., (2002), Lojistik Yönetimi Evrimi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yönetim ve Organizasyon Bilim Dalı, İstanbul.
- Levi, K., (2000), Designing and Managing the Supply Chain, McGrawHill Publishing.
- Michalewicz, Z., (1994), Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Second, Extended Edition, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag.
- Mühlenbein, H. ve Schlierkamp-Voosen, D., (1993), "Predictive Models for the Breeder Genetic Algorithm: I. Continuous Parameter Optimization, Evolutionary Computation", London.
- Mühlenbein, H., (1994), "The Breeder Genetic Algorithm - A Provable Optimal Search Algorithm and Its Application, Colloquium on Applications of Genetic Algorithms", IEE 94/067, London.
- Mühlenbein, H., (1994), "The Breeder Genetic Algorithm - A Provable Optimal Search Algorithm and Its Application. Colloquium on Applications of Genetic Algorithms", IEE 94/067, London.
- Oğuz, M. ve Akbaş, S., (1997), Genetik Algoritmalar, Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- Ostermeier, A., Gawelczyk, A. ve Hansen, N., (1993), "A Derandomized Approach to Self Adaptation of Evolution Strategies", Technical Report TR-93-003, TU Berlin.
- Ostermeier, A., Gawelczyk, A. ve Hansen, N., (1994), Step-size Adaptation Based on Non-local Use of Selection Information, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Özdemir, D., Yücesan, E. ve Herer, Y.T., (2006), "Multi-Location Transshipment Problem With Capacitated Production And Lost Sales", Proceedings of the Winter Simulation Conference.

Petrie C.J., Webster, T.A. ve Cutkosky, M.R., (1995), "Using Pareto Optimality to Coordinate Distributed Agents", Vol. 9, AIEDAM Special Issue on Conflict Management.

Rechenberg, I., (1994), Evolutionsstrategie 94. Stuttgart, Frommann-Holzboog.

Schwefel, H.-P., (1981), Numerical Optimization of Computer Models, Chichester, Wiley & Sons.

Spears, W.M. ve De Jong, K. A., (1991), On the Virtues of Parameterised Uniform Crossover, San Mateo, California, USA: Morgan Kaufmann Publishers.

Syswerda, G., (1989), Uniform Crossover in Genetic Algorithms, San Mateo, California, USA: Morgan Kaufmann Publishers.

Tanyaş, M., (1995), "Üretim ve Dağıtım Kaynakları Planlaması" , Mayıs, Otomasyon Dergisi.

Timur, N., (1988), Lojistik Sistem-Sanayi İşletmelerinde Lojistik Sistem Organizasyonu, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları.

tr.wikipedia.org

Voigt, H.M., Born, J. ve Santibanez-Koref, I., (1991), Modeling and Simulation of Distributed Evolutionary Search Processes for Function Optimization, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.

Whitley, D., (1989), The GENITOR Algorithm and Selection Pressure: Why Rank-Based Allocation of Reproductive Trials is Best, San Mateo, California, USA: Morgan Kaufmann Publishers.

Yamak, O., (2001), Üretim Yönetimi, Sinerji Yayınları.

Zitzler, E., Laumanns, M. ve Thiele, L., (2001), "SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm", TIK-Report 103.

EKLER

Ek 1 Test probleminden elde edilen sayısal sonuçlar

Ek 1 Test probleminden elde edilen sayısal sonuçlar

Çizelge Ek 1.1 100 nüfus ile 10 nesil çalıştırma ile elde edilen sayısal test sonuçları.

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
101	479	32	30	0,004975	-32	0,961	8540	81,18
159	279	238	201	0,004975	74	0,980333	190	2,7
190	259	220	240	0,004975	23	1	2200	26,1
150	270	240	187	0,004975	152	0,94875	0	0
191	259	212	242	0,004975	8	1	2400	27,96
195	296	250	215	0,004975	165	1	40	7,8
171	280	243	211	0,004975	38	1	850	9,54
172	296	213	207	0,004975	51	0,985	480	7,38
173	314	264	203	0,004975	201	1	0	6,48
164	300	244	217	0,004975	64	1	120	4,62
150	263	228	206	0,004975	127	0,952167	60	1,62
98	292	246	207	0,004975	125	0,9085	70	1,89
124	283	223	209	0,004975	121	0,923	90	2,43
171	287	244	205	0,004975	46	1	560	6,72
150	272	178	206	0,00995	150	0,909667	60	1,62
184	281	205	186	0,00995	45	0,989	1600	14,13
194	258	198	209	0,00995	43	0,992	2230	20,61
156	293	229	242	0,00995	105	0,985	190	7,71
154	266	240	231	0,00995	81	0,9915	390	9,45
226	317	258	201	0,00995	347	1	0	12,24
129	276	216	198	0,00995	156	0,9085	0	0
105	337	237	180	0,00995	41	0,986667	1700	14,94
153	275	237	220	0,00995	68	0,985833	260	6,21
114	325	235	192	0,00995	43	0,981667	1280	10,2
189	312	263	246	0,00995	321	1	0	13,2
132	279	249	182	0,00995	172	0,929	0	0
129	302	235	218	0,00995	79	0,982	510	5,4
150	287	260	245	0,00995	90	1	430	10,05
145	303	267	217	0,00995	122	1	125	5,19
193	299	274	238	0,00995	301	1	10	12,75
188	303	255	266	0,00995	281	1	0	13,44
145	286	240	234	0,00995	83	0,99	265	6,93
177	289	262	207	0,00995	111	1	400	8,22
167	298	203	210	0,00995	67	0,97	360	6,09
160	267	250	223	0,00995	76	1	530	8,91
104	278	249	210	0,014925	149	0,912333	100	2,7

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
165	303	234	251	0,014925	124	1	390	10,98
189	303	254	267	0,014925	282	1	0	13,56
190	264	231	235	0,014925	47	1	1810	22,5
139	284	240	237	0,014925	95	0,99	435	8,49
157	273	259	215	0,014925	66	1	630	8,37
174	283	260	200	0,014925	72	1	810	8,13
145	267	242	174	0,014925	221	0,923667	0	0
159	285	186	212	0,014925	97	0,9425	300	5,67
179	272	236	202	0,014925	57	1	1140	10,32
150	272	212	184	0,014925	186	0,918667	0	0
157	265	208	194	0,014925	147	0,935833	290	2,79
204	296	258	231	0,014925	256	1	40	11,76
158	291	271	270	0,014925	248	1	90	13,23
178	281	238	212	0,014925	48	1	930	11,25
132	283	242	232	0,0199	90	0,992	620	9,09
159	276	175	203	0,0199	144	0,9165	210	3,24
200	263	210	215	0,0199	55	1	2060	21,6
143	293	256	260	0,0199	127	1	425	10,92
145	276	237	266	0,0199	150	0,987	365	12,27
105	320	244	189	0,0199	65	0,958333	890	7,95
176	298	188	180	0,0199	62	0,964	1080	10,32
163	287	226	241	0,0199	106	0,989	390	10,38
206	290	238	214	0,0199	172	1	340	11,7
161	264	223	182	0,0199	196	0,93425	275	2,97
142	272	181	199	0,0199	173	0,893083	0	0
148	271	189	219	0,0199	133	0,927333	190	5,13
174	305	216	214	0,0199	72	0,995	630	9,51
151	228	249	185	0,0199	276	0,9215	25	0,27
146	251	239	220	0,0199	146	0,958167	200	5,4
150	267	190	194	0,0199	183	0,905	0	0
155	262	209	187	0,0199	202	0,917333	125	1,35
164	268	247	166	0,0199	221	0,945333	350	3,78
181	288	262	247	0,0199	235	1	120	12,6
189	296	269	245	0,0199	283	1	40	12,96
168	286	230	250	0,0199	120	0,998	500	12,96
191	290	246	240	0,0199	195	1	180	11,82
149	228	228	212	0,0199	228	0,926333	120	3,24
186	287	237	229	0,0199	140	1	390	11,7
187	304	252	276	0,0199	291	1	0	14,28

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
161	294	269	274	0,0199	257	1	60	13,38
180	280	246	214	0,0199	68	1	820	10,98
163	220	248	202	0,0199	234	0,945833	450	4,35
178	267	225	254	0,024876	58	1	1670	22,74
164	266	251	219	0,024876	83	1	640	9,18
211	304	253	252	0,024876	319	1	0	14,4
174	326	234	210	0,024876	190	1	480	9,6
147	285	218	253	0,024876	141	0,968	225	9,06
158	280	215	224	0,024876	83	0,973	360	8,04
186	291	236	254	0,024876	188	1	370	14,25
187	284	254	242	0,024876	195	1	280	12,96
188	303	262	268	0,024876	313	1	0	14,52
175	290	223	244	0,029851	115	0,998	600	13,53
201	288	236	214	0,029851	153	1	400	11,7
161	292	276	189	0,029851	85	1	955	8,94
161	295	222	253	0,029851	134	0,983	270	10,08
160	256	252	163	0,029851	270	0,932083	330	3,24
137	291	225	240	0,029851	118	0,975	415	8,1
159	283	190	224	0,029851	108	0,949	350	7,86
152	229	216	206	0,029851	241	0,913833	100	2,16
145	276	221	170	0,029851	231	0,905167	0	0
129	291	166	192	0,029851	185	0,8635	0	0
134	281	213	182	0,029851	198	0,898	0	0
161	282	256	244	0,029851	88	1	690	12,57
157	250	233	219	0,029851	148	0,964167	330	7,02

Çizelge Ek 1.2 100 nüfus ile 20 nesil çalıştırma ile elde edilen sayısal test sonuçları.

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
101	479	32	30	0,004975124	-32	0,961	8540	81,18
112	337	218	180	0,004975124	-11	0,998333333	2270	17,79
150	296	244	200	0,004975124	18	0,990666667	0	0
155	298	248	200	0,004975124	11	1	100	1,2
150	292	246	202	0,004975124	26	0,991	20	0,54
152	295	249	205	0,004975124	8	1	130	2,04
156	296	244	203	0,004975124	3	1	270	3,03
150	301	251	207	0,004975124	23	1	0	1,08
152	301	247	208	0,004975124	21	1	70	1,77

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
151	300	250	192	0,004975124	31	0,99125	25	0,27
151	295	250	201	0,004975124	14	0,9975	40	0,54
152	299	246	201	0,004975124	6	0,998	50	0,81
151	297	242	200	0,004975124	17	0,9905	20	0,27
149	294	249	204	0,009950249	17	0,995666667	40	1,08
153	300	252	206	0,009950249	29	1	0	1,32
154	301	248	206	0,009950249	22	1	70	1,77
147	295	255	194	0,009950249	10	0,99875	410	2,55
154	294	252	201	0,009950249	17	1	190	1,89
113	337	187	179	0,009950249	0	0,974	2430	18,69
142	301	249	198	0,009950249	23	0,984416667	10	0,27
150	296	246	197	0,009950249	28	0,988916667	0	0
156	306	242	195	0,009950249	5	1	350	3,99
159	296	240	203	0,009950249	7	0,999	330	3,84
157	297	242	198	0,009950249	8	0,999	280	2,64
158	294	243	200	0,009950249	10	1	320	2,91
152	297	256	200	0,009950249	27	1	90	1,41
148	301	251	209	0,009950249	20	1	100	1,92
152	294	250	201	0,014925373	17	0,9975	70	0,81
152	299	245	205	0,014925373	15	0,997	50	1,29
150	295	239	202	0,014925373	24	0,9865	20	0,54
150	301	254	207	0,014925373	35	1	0	1,44
158	298	246	193	0,014925373	16	1	315	2,91
147	298	244	196	0,014925373	34	0,982333333	0	0
150	295	235	200	0,014925373	30	0,980833333	0	0
150	300	245	190	0,014925373	45	0,9825	0	0
149	298	238	197	0,014925373	32	0,980916667	0	0
159	295	241	204	0,014925373	5	1	370	4,26
154	296	247	211	0,014925373	16	1	220	3,45
152	294	247	201	0,014925373	20	0,994833333	50	0,81
151	299	252	209	0,014925373	29	1	10	1,59
149	295	252	208	0,014925373	17	1	135	2,4
157	296	251	199	0,014925373	21	1	185	1,86
152	300	242	208	0,019900498	24	0,994	40	1,5
150	296	243	208	0,019900498	23	0,993	40	1,56
160	292	240	200	0,019900498	10	1	440	3,9
156	294	251	207	0,019900498	14	1	270	3,63
149	293	253	208	0,019900498	17	1	185	2,97
149	297	250	214	0,019900498	29	1	55	2,28
149	292	252	209	0,019900498	19	1	165	2,97
154	300	256	209	0,019900498	54	1	0	2,28

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
152	294	245	201	0,019900498	22	0,9928333333	50	0,81
156	296	237	200	0,019900498	13	0,993	240	2,22
152	298	252	208	0,024875622	30	1	20	1,74
148	304	235	199	0,024875622	16	0,989	190	1,53
151	296	246	193	0,024875622	43	0,985166667	25	0,27
153	296	244	205	0,024875622	16	0,997	100	2,01
158	302	252	209	0,024875622	60	1	0	2,52
191	259	212	242	0,024875622	8	1	2400	27,96
156	298	250	206	0,024875622	30	1	20	1,74
154	294	244	206	0,024875622	18	0,998	140	2,7
155	293	245	205	0,029850746	21	0,9983333333	150	2,7
163	299	252	204	0,029850746	55	1	10	2,43
152	295	253	209	0,029850746	18	1	200	3,18
161	294	242	202	0,029850746	15	1	360	3,96
146	292	239	200	0,029850746	43	0,975666667	0	0
150	302	255	215	0,029850746	60	1	0	2,64
150	295	247	213	0,034825871	29	0,997	50	2,31
147	297	250	212	0,034825871	27	1	105	2,34
153	295	242	201	0,034825871	22	0,991666667	70	1,08
162	291	237	205	0,034825871	8	0,999	560	5,94
153	300	254	222	0,034825871	69	1	0	3,48
154	300	248	214	0,034825871	36	1	40	2,46
150	299	246	227	0,034825871	58	0,996	10	3,39
149	299	263	203	0,034825871	59	1	35	2,22
150	307	244	193	0,034825871	20	0,994	70	1,89
157	297	250	209	0,034825871	39	1	30	2,37
157	300	234	199	0,034825871	16	0,991	165	2,04
148	296	247	192	0,034825871	51	0,9803333333	0	0
158	294	237	202	0,034825871	11	0,995	360	3,6
152	292	243	200	0,034825871	31	0,9883333333	40	0,54
156	302	259	208	0,034825871	80	1	0	3
148	296	235	203	0,034825871	28	0,9808333333	30	0,81
149	293	245	205	0,039800995	23	0,991666667	50	1,35
152	298	246	192	0,039800995	40	0,9868333333	50	0,54
167	302	252	207	0,039800995	83	1	0	3,36
146	295	243	204	0,039800995	26	0,9855	40	1,08
163	292	237	201	0,039800995	12	1	510	4,98
153	296	245	211	0,039800995	27	0,998	100	2,73
157	300	239	203	0,039800995	17	0,996	140	2,25
158	296	245	205	0,039800995	24	1	140	2,91
157	298	244	208	0,044776119	25	1	140	3

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
149	305	245	193	0,044776119	25	0,990833333	50	1,35
157	300	242	209	0,044776119	26	0,999	140	2,97
145	301	245	207	0,044776119	26	0,996	155	1,86
150	311	246	191	0,044776119	20	1	210	3,27
152	295	243	208	0,044776119	23	0,995	90	2,25
160	298	251	206	0,044776119	42	1	50	2,49
158	300	246	207	0,044776119	30	1	80	2,4
159	299	255	208	0,044776119	63	1	10	2,79
151	297	245	214	0,049751244	33	0,996	50	2,4

Çizelge Ek 1.3 100 nüfus ile 30 nesil çalıştırmayla elde edilen sayısal test sonuçları.

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
101	479	32	30	0,004975124	-32	0,961	8540	81,18
112	337	218	180	0,004975124	-11	0,998333333	2270	17,79
150	300	250	200	0,004975124	0	1	0	0
149	299	251	200	0,009950249	0	1	50	0,42
151	300	250	200	0,009950249	3	1	0	0,12
150	299	250	200	0,009950249	3	0,999166667	0	0
151	300	249	200	0,009950249	1	1	20	0,27
150	300	249	200	0,009950249	1	0,999	0	0
150	299	250	201	0,014925373	2	1	10	0,27
150	300	248	200	0,014925373	2	0,998	0	0
151	301	250	199	0,014925373	1	1	35	0,54
150	301	250	199	0,014925373	2	1	10	0,27
150	300	251	200	0,014925373	4	1	0	0,12
150	300	250	199	0,019900498	4	0,99875	0	0
150	301	250	200	0,019900498	5	1	0	0,12
113	337	187	179	0,019900498	0	0,974	2430	18,69
151	300	250	201	0,024875622	5	1	0	0,24
150	298	250	200	0,024875622	6	0,998333333	0	0
150	299	249	200	0,024875622	4	0,998166667	0	0
150	300	249	201	0,024875622	3	0,999	0	0,12
150	299	250	202	0,029850746	4	1	10	0,39
151	300	249	201	0,029850746	3	1	20	0,39
152	300	248	200	0,034825871	2	1	40	0,54
149	300	250	201	0,034825871	3	1	25	0,27
150	300	249	199	0,034825871	5	0,99775	0	0
152	300	250	200	0,034825871	6	1	0	0,24

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
151	300	250	199	0,034825871	3	1	25	0,27
151	299	250	201	0,034825871	2	1	40	0,54
150	300	251	201	0,034825871	6	1	0	0,24
151	299	249	200	0,039800995	4	0,999166667	20	0,27
151	299	250	200	0,039800995	3	1	30	0,27
150	299	248	200	0,039800995	5	0,997166667	0	0
150	300	250	203	0,039800995	6	1	0	0,36
150	301	250	201	0,039800995	7	1	0	0,24
150	299	250	199	0,039800995	7	0,997916667	0	0
150	299	249	201	0,039800995	3	0,999	10	0,27
150	298	250	202	0,044776119	4	1	20	0,54
150	298	250	201	0,044776119	5	0,999166667	10	0,27
151	301	250	200	0,044776119	8	1	0	0,24
152	300	248	199	0,044776119	2	1	65	0,69
149	299	250	201	0,049751244	3	1	35	0,42
150	300	251	199	0,049751244	4	1	40	0,27
152	298	249	202	0,049751244	2	1	100	1,23
150	300	250	198	0,049751244	8	0,9975	0	0
150	298	249	200	0,049751244	7	0,997333333	0	0
151	300	250	202	0,049751244	7	1	0	0,36
153	297	248	203	0,054726368	2	1	160	1,92
150	297	250	200	0,054726368	9	0,9975	0	0
151	300	249	202	0,054726368	5	1	20	0,51
150	299	251	201	0,059701493	6	1	10	0,39
152	300	250	201	0,059701493	8	1	0	0,36
150	299	251	199	0,059701493	3	1	70	0,42
150	299	250	203	0,064676617	6	1	10	0,51
150	299	249	199	0,064676617	8	0,996916667	0	0
150	299	245	200	0,069651741	8	0,994166667	0	0
150	301	250	202	0,069651741	9	1	0	0,36
150	299	249	202	0,069651741	5	0,999	10	0,39
153	300	250	200	0,069651741	9	1	0	0,36
150	298	250	199	0,069651741	10	0,997083333	0	0
151	300	249	199	0,069651741	4	0,999	25	0,27
151	300	250	203	0,074626866	9	1	0	0,48
150	300	249	198	0,074626866	9	0,9965	0	0
150	301	250	198	0,07960199	6	0,99875	10	0,27
152	300	251	200	0,07960199	10	1	0	0,36
150	296	250	200	0,07960199	12	0,996666667	0	0
150	299	250	198	0,07960199	11	0,996666667	0	0
151	299	249	202	0,07960199	5	1	30	0,66

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
151	301	250	201	0,07960199	10	1	0	0,36
151	299	248	200	0,084577114	5	0,998166667	20	0,27
152	300	250	199	0,084577114	6	1	25	0,39
152	298	249	201	0,084577114	3	1	90	0,96
150	297	249	200	0,084577114	10	0,9965	0	0
152	300	249	201	0,084577114	6	1	20	0,51
151	298	250	200	0,084577114	6	0,999166667	30	0,27
152	300	249	199	0,089552239	4	1	45	0,54
150	300	250	205	0,089552239	10	1	0	0,6
152	299	250	201	0,089552239	8	1	10	0,51
150	298	246	200	0,089552239	10	0,994333333	0	0
152	301	250	200	0,089552239	11	1	0	0,36
150	301	251	201	0,089552239	11	1	0	0,36
151	299	250	202	0,094527363	4	1	40	0,66
150	300	249	204	0,094527363	9	0,999	0	0,48
150	299	250	204	0,094527363	8	1	10	0,63
150	298	249	201	0,094527363	6	0,998166667	10	0,27
150	298	249	199	0,094527363	11	0,996083333	0	0
152	300	248	201	0,094527363	4	1	40	0,66
150	298	250	203	0,094527363	6	1	20	0,66
152	299	250	200	0,099502488	6	1	30	0,39
151	299	251	200	0,099502488	6	1	30	0,39
150	298	249	202	0,099502488	5	0,999	20	0,54
156	296	244	203	0,099502488	3	1	270	3,03
150	301	250	203	0,099502488	11	1	0	0,48
150	297	250	199	0,099502488	13	0,99625	0	0
152	299	249	200	0,099502488	4	1	50	0,54
153	300	249	200	0,099502488	7	1	20	0,51
150	300	250	197	0,099502488	12	0,99625	0	0
151	298	249	200	0,104477612	7	0,998333333	20	0,27
151	301	250	202	0,104477612	12	1	0	0,48
151	298	250	201	0,104477612	5	1	40	0,54
149	301	250	201	0,109452736	8	1	25	0,39

Çizelge Ek 1.4 200 nüfus ile 10 nesil çalıştırmayla elde edilen sayısal test sonuçları.

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
101	479	32	30	0,002493766	-32	0,961	8540	81,18
270	369	118	120	0,002493766	-6	0,988	5090	63,03

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
130	500	44	9	0,002493766	-7	0,994	8510	85,65
69	381	205	148	0,002493766	-3	1	4300	36,42
148	307	242	201	0,002493766	19	0,999	295	2,46
137	272	249	198	0,002493766	119	0,9515	0	0
148	304	203	195	0,002493766	63	0,948416667	40	1,08
89	239	323	253	0,002493766	-5	1	3580	41,37
151	295	244	172	0,002493766	132	0,956083333	25	0,27
154	305	249	212	0,002493766	59	1	30	2,67
153	287	248	192	0,002493766	70	0,980916667	75	0,81
145	304	253	223	0,002493766	52	1	305	5,4
163	306	252	205	0,002493766	87	1	0	3,12
138	304	257	206	0,002493766	27	1	410	4,59
152	272	250	222	0,004987531	62	0,996666667	280	6,48
168	276	237	219	0,004987531	27	1	990	11,94
156	288	239	179	0,004987531	125	0,96025	150	1,62
151	288	248	232	0,004987531	66	0,999	140	5,91
131	302	268	213	0,004987531	35	1	745	8,91
163	307	251	246	0,004987531	170	1	0	8,04
157	291	250	241	0,004987531	82	1	300	8,16
174	308	240	186	0,004987531	36	1	630	8,64
149	280	236	179	0,004987531	160	0,941416667	0	0
145	281	195	199	0,004987531	126	0,919583333	0	0
143	289	212	188	0,004987531	133	0,926166667	0	0
162	321	259	207	0,004987531	191	1	0	5,88
130	294	265	190	0,004987531	19	0,991666667	880	6,45
128	285	252	202	0,004987531	87	0,954166667	80	1,08
157	278	252	222	0,004987531	44	1	490	8,37
144	308	218	202	0,004987531	38	0,976	470	3,6
148	284	250	253	0,007481297	108	1	210	9,06
152	320	242	218	0,007481297	120	1	280	6,3
153	283	256	168	0,007481297	176	0,957083333	315	2,43
153	285	243	238	0,007481297	83	0,996	210	7,62
119	280	286	175	0,007481297	31	1	2220	15,72
141	294	206	211	0,007481297	75	0,956	285	3,57
151	296	187	217	0,007481297	97	0,938	60	2,91
138	291	247	168	0,007481297	182	0,9295	0	0
149	287	243	233	0,007481297	74	0,993	155	6,06
150	287	266	240	0,007481297	144	1	130	8,67
130	271	276	193	0,007481297	27	0,9975	1460	11,07
149	279	259	201	0,007481297	59	0,990833333	300	2,85
150	271	246	225	0,007481297	66	0,992666667	250	6,75

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
152	283	215	188	0,007481297	132	0,938333333	50	0,54
161	275	232	199	0,007481297	93	0,972166667	245	3,12
152	317	247	236	0,007481297	151	1	130	7,35
153	289	243	167	0,009975062	169	0,946333333	75	0,81
206	307	256	211	0,009975062	249	1	0	9,6
196	305	259	222	0,009975062	243	1	0	9,84
158	292	285	206	0,009975062	150	1	300	7,98
149	300	264	284	0,009975062	225	1	25	11,91
128	286	203	200	0,009975062	133	0,904666667	0	0
123	283	240	189	0,009975062	159	0,917083333	0	0
118	288	244	189	0,009975062	150	0,916916667	0	0
119	309	220	190	0,009975062	114	0,917083333	90	2,43
134	292	250	230	0,009975062	76	1	480	7,2
156	277	250	173	0,009975062	171	0,954583333	150	1,62
154	305	259	278	0,009975062	229	1	0	11,52
143	279	223	216	0,009975062	88	0,957166667	160	4,32
137	318	214	195	0,009975062	31	0,982	980	7,56
151	296	211	288	0,012468828	215	0,962	60	11,43
155	289	279	234	0,012468828	199	1	110	9,81
180	309	268	223	0,012468828	253	1	0	9,6
26	235	365	245	0,012468828	23	0,985	4700	52,95
123	284	246	184	0,012468828	170	0,917666667	0	0
141	298	187	209	0,012468828	90	0,937	245	2,73
144	282	240	222	0,012468828	60	0,99	330	6,24
156	278	241	234	0,012468828	77	0,997	340	9
188	291	245	205	0,012468828	99	1	420	8,01
160	278	247	238	0,012468828	70	1	580	11,01
157	283	254	178	0,012468828	132	0,972083333	335	2,97
143	281	192	209	0,012468828	120	0,922	90	2,43
157	300	238	277	0,014962594	166	0,995	140	11,13
167	298	246	175	0,014962594	93	0,984333333	425	4,59
143	302	185	211	0,014962594	98	0,937	235	2,91
146	291	192	215	0,014962594	92	0,942	190	3,75
202	266	201	214	0,014962594	44	1	2140	22,47
136	322	253	209	0,014962594	88	1	705	7,98
145	286	231	237	0,014962594	98	0,981	265	7,29
145	293	276	237	0,014962594	183	1	195	9,36
156	283	273	187	0,014962594	69	1	1180	8,88
196	273	208	204	0,014962594	50	1	1690	16,95
144	308	237	226	0,014962594	87	0,995	390	6,18
127	281	232	213	0,014962594	108	0,938666667	130	3,51

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
142	279	206	212	0,017456359	111	0,935166667	120	3,24
182	297	238	174	0,017456359	72	1	980	9,99
136	257	241	211	0,017456359	155	0,941	110	2,97
125	303	277	216	0,017456359	64	1	900	11,67
179	300	233	238	0,017456359	129	1	340	10,59
157	304	315	213	0,017456359	327	1	0	10,68
158	316	276	241	0,017456359	290	1	0	10,92
121	269	291	166	0,017456359	46	1	2870	19,02
71	212	344	212	0,017456359	39	1	4340	39,57
197	302	200	191	0,017456359	46	0,997	1185	14,58
166	302	203	211	0,017456359	73	0,971	380	6,18
145	302	194	175	0,017456359	162	0,906916667	20	0,54
149	287	272	251	0,017456359	191	1	155	10,86
174	290	272	195	0,017456359	150	1	500	7,77
180	280	252	243	0,017456359	176	1	260	12,3
162	277	254	235	0,017456359	70	1	710	11,97
185	274	227	207	0,017456359	52	1	1310	13,44
146	265	206	209	0,017456359	148	0,927666667	90	2,43
151	287	166	191	0,017456359	158	0,895166667	25	0,27
153	266	257	216	0,017456359	86	0,993333333	460	7,02
145	280	189	211	0,017456359	120	0,923166667	110	2,97
157	292	236	257	0,017456359	128	0,993	220	9,93
186	278	233	216	0,017456359	58	1	1160	14,49
164	284	235	179	0,019950125	133	0,962916667	350	3,78
167	264	247	221	0,019950125	81	1	780	10,71
155	298	184	239	0,019950125	144	0,939	120	6,33
150	302	184	236	0,019950125	142	0,936	60	4,86
168	267	252	234	0,019950125	68	1	930	14,43
188	323	210	189	0,019950125	53	1	1560	18,12
139	314	262	169	0,019950125	63	0,99375	840	8,67
152	275	233	236	0,019950125	89	0,985	290	8,61
165	308	284	236	0,019950125	293	1	0	11,16
88	261	328	238	0,019950125	49	1	2790	34,77
143	293	192	217	0,019950125	99	0,942	245	4,14
171	285	246	177	0,019950125	120	0,981	525	5,67
151	287	271	175	0,019950125	86	0,99625	1255	7,89
132	284	210	215	0,019950125	109	0,929166667	150	4,05
156	275	241	248	0,019950125	105	0,997	370	11,13
160	283	232	174	0,019950125	163	0,947833333	250	2,7
162	301	224	252	0,019950125	132	0,987	270	9,75
145	272	182	207	0,019950125	155	0,906166667	70	1,89

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
133	278	200	197	0,019950125	162	0,899583333	0	0
145	284	239	239	0,019950125	94	0,989	285	7,83
150	321	233	225	0,019950125	121	1	510	8,07
172	284	262	218	0,02244389	102	1	520	10,44
145	254	262	204	0,02244389	119	0,975	500	5,07
156	284	287	232	0,02244389	230	1	160	11,4
204	301	201	188	0,02244389	62	1	1290	15,9
143	277	232	223	0,02244389	71	0,982	405	7,26
130	253	282	224	0,02244389	57	1	1600	18,12
191	309	261	239	0,02244389	290	1	0	12
223	263	176	227	0,02244389	47	0,999	2840	32,55
132	290	240	164	0,02244389	220	0,906666667	0	0
134	296	258	172	0,02244389	140	0,948333333	440	2,76
171	293	201	185	0,02244389	49	0,972	1005	8,97
185	285	231	179	0,02244389	67	1	1355	12,45
181	295	194	193	0,02244389	56	0,975	945	10,17
145	302	252	296	0,024937656	197	1	225	13,35
143	294	202	244	0,024937656	143	0,952	235	7,23
212	281	193	217	0,024937656	55	1	1880	23,43
203	318	221	181	0,024937656	65	1	1235	18,42
189	311	265	232	0,024937656	296	1	0	11,64
184	307	287	218	0,024937656	321	1	0	11,52
187	325	275	207	0,024937656	350	1	0	11,28
149	285	163	190	0,024937656	174	0,886333333	0	0
195	279	190	214	0,024937656	46	0,985	1670	19,08
146	277	222	167	0,024937656	237	0,904916667	0	0
204	298	241	229	0,024937656	202	1	200	11,61
170	293	226	178	0,027431421	113	0,967666667	500	5,4
102	294	258	206	0,027431421	94	0,943333333	370	4,68
188	276	251	198	0,027431421	114	1	810	8,73
153	280	290	201	0,027431421	148	1	610	8,43
147	292	275	267	0,027431421	237	1	155	12,69
158	300	236	294	0,027431421	202	0,994	160	13,44
182	277	257	224	0,027431421	144	1	440	12,06
149	288	250	321	0,027431421	243	1	145	16,47
157	269	221	183	0,027431421	183	0,932666667	175	1,89
32	235	344	241	0,027431421	36	0,96	4240	46,2
183	288	262	264	0,027431421	275	1	120	14,88
162	289	268	284	0,027431421	276	1	110	15,33
156	250	239	186	0,027431421	211	0,937333333	150	1,62
160	250	243	204	0,027431421	132	0,97	480	4,83

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
177	267	248	236	0,027431421	68	1	1180	16,86
155	280	239	154	0,027431421	250	0,921083333	125	1,35
164	277	198	197	0,027431421	121	0,942833333	355	4,23
198	277	199	177	0,027431421	51	0,997	2225	19,86
116	292	262	187	0,029925187	112	0,942083333	720	4,44
190	285	243	192	0,029925187	106	1	790	9,3
152	302	180	245	0,029925187	164	0,934	100	6,48
193	278	227	214	0,029925187	69	1	1260	15,69
179	303	239	255	0,029925187	181	1	310	12,54
145	288	114	200	0,029925187	182	0,845666667	0	0
150	306	290	260	0,029925187	310	1	0	12,72
267	178	137	292	0,029925187	48	1	6690	73,38
141	238	258	198	0,029925187	204	0,94	320	2,46
144	278	160	190	0,029925187	208	0,869166667	0	0
112	281	214	190	0,029925187	209	0,872333333	0	0
163	278	251	255	0,032418953	110	1	640	13,68
162	277	233	243	0,032418953	103	0,995	470	11,85
192	289	260	223	0,032418953	172	1	410	12,15
167	295	278	266	0,032418953	295	1	50	14,07
128	291	147	192	0,032418953	206	0,842833333	0	0
6	236	396	239	0,032418953	49	1	5190	59,25
168	281	274	195	0,032418953	131	1	770	8,64
187	300	190	186	0,032418953	60	0,977	1090	12,09
146	241	201	195	0,032418953	254	0,888916667	0	0
158	252	222	214	0,032418953	158	0,951666667	300	5,94
135	272	205	181	0,032418953	235	0,882916667	0	0
185	301	238	263	0,034912718	209	1	270	13,83
168	278	245	251	0,034912718	92	1	860	15,03
156	258	247	258	0,034912718	110	1	660	15,33
155	285	225	273	0,034912718	171	0,98	250	12,36
164	254	242	248	0,034912718	80	1	1040	17,64
155	324	239	241	0,034912718	180	1	430	10,8
174	312	203	201	0,034912718	73	0,989	840	9,84
169	283	260	249	0,034912718	155	1	470	13,41

Çizelge Ek 1.5 300 nüfus ile 10 nesil çalıştırma ile elde edilen sayısal test sonuçları.

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
101	479	32	30	0,001663894	-32	0,961	8540	81,18

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
80	403	172	117	0,001663894	-30	1	5270	47,01
157	314	261	199	0,001663894	135	1	40	3,99
132	342	208	168	0,001663894	-6	1	2120	18,84
143	298	228	200	0,001663894	42	0,964666667	0	0
153	299	236	219	0,001663894	52	0,989	70	3,24
151	308	244	195	0,001663894	13	1	250	2,88
145	322	224	182	0,001663894	6	0,996	990	9,39
160	307	248	203	0,001663894	67	1	60	2,7
152	308	255	198	0,001663894	66	1	80	2,1
147	295	251	190	0,001663894	61	0,979583333	40	0,27
147	300	256	198	0,001663894	15	1	140	1,47
162	300	263	209	0,001663894	106	1	0	4,08
172	300	262	205	0,003327787	124	1	0	4,68
139	276	249	198	0,003327787	103	0,958166667	0	0
139	294	213	195	0,003327787	97	0,933416667	0	0
149	298	279	204	0,003327787	125	1	45	4,41
159	299	217	200	0,003327787	33	0,976	210	2,58
147	318	260	200	0,003327787	121	1	60	3,81
157	306	247	190	0,003327787	24	0,997	235	3,51
171	302	243	197	0,003327787	45	1	235	4,56
145	302	228	214	0,003327787	59	0,98	185	2,97
142	300	228	184	0,003327787	102	0,944666667	0	0
145	305	259	210	0,004991681	86	1	125	3,63
144	300	182	202	0,004991681	82	0,925333333	50	0,54
138	300	250	214	0,004991681	40	1	300	3,48
321	398	90	73	0,004991681	-3	1	7355	90,03
157	301	215	196	0,004991681	33	0,972	250	2,76
169	302	232	191	0,004991681	17	1	605	6,87
169	300	273	200	0,004991681	149	1	0	5,04
139	318	232	200	0,004991681	32	1	870	6,51
142	317	250	189	0,004991681	36	1	350	4,89
176	299	257	211	0,004991681	128	1	10	5,43
129	290	262	201	0,004991681	19	0,985	550	5,01
154	303	229	214	0,004991681	55	0,986	170	3,57
161	293	253	225	0,006655574	83	1	160	6,18
163	311	260	189	0,006655574	17	1	785	8,88
167	299	258	228	0,006655574	139	1	10	6,51
163	301	222	204	0,006655574	38	0,986	290	4,26
143	283	262	212	0,006655574	18	1	620	7,53
149	292	190	209	0,006655574	79	0,94	105	2,43
185	301	257	212	0,006655574	162	1	0	6,6

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
139	276	242	209	0,006655574	93	0,961166667	90	2,43
152	243	238	205	0,006655574	178	0,946666667	90	1,89
45	180	358	231	0,006655574	14	1	5650	53,28
168	294	218	204	0,006655574	28	0,986	580	6,84
170	294	243	212	0,006655574	70	1	200	5,79
137	302	221	205	0,006655574	64	0,959666667	185	1,89
140	298	234	180	0,006655574	122	0,940666667	0	0
147	303	214	182	0,006655574	108	0,94025	30	0,81
149	303	288	205	0,008319468	178	1	25	5,67
152	284	253	161	0,008319468	202	0,944166667	170	1,35
139	281	247	177	0,008319468	174	0,934083333	0	0
118	291	248	196	0,008319468	109	0,932166667	0	0
162	291	218	205	0,008319468	27	0,98	560	5,94
177	302	269	209	0,008319468	185	1	0	6,84
166	300	262	196	0,008319468	96	1	160	3,96
177	304	235	192	0,008319468	43	1	540	7,77
145	298	226	221	0,009983361	71	0,976	145	3,57
184	297	230	200	0,009983361	62	1	490	7,53
176	319	251	217	0,009983361	211	1	0	7,56
159	313	258	236	0,009983361	196	1	0	7,92
172	309	277	204	0,009983361	227	1	0	7,44
171	283	220	213	0,009983361	17	0,991	1060	11,73
130	298	252	219	0,009983361	57	1	535	5,97
128	312	277	178	0,009983361	18	1	1440	13,08
149	256	228	209	0,009983361	147	0,947166667	90	2,43
169	280	237	225	0,009983361	24	1	1030	13,08
140	305	204	188	0,009983361	104	0,928583333	50	1,35
179	303	242	187	0,009983361	65	1	515	7,44
148	310	207	192	0,009983361	35	0,967	440	4,2
134	307	213	198	0,009983361	77	0,943333333	230	2,19
178	299	254	193	0,009983361	99	1	205	5,04
173	294	223	210	0,011647255	47	0,996	520	8,31
148	318	240	205	0,011647255	82	1	350	4,56
128	281	255	185	0,011647255	161	0,935	200	1,35
154	275	239	171	0,011647255	198	0,936916667	100	1,08
157	307	263	246	0,011647255	200	1	0	8,76
145	287	197	212	0,011647255	90	0,937833333	120	3,24
126	275	245	196	0,011647255	144	0,929166667	0	0
150	277	197	200	0,011647255	122	0,927833333	0	0
152	300	247	273	0,011647255	149	0,999	40	9,3
164	306	238	218	0,011647255	66	1	420	7,26

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
172	302	217	207	0,011647255	51	0,991	500	7,32
158	296	217	218	0,013311148	69	0,975	200	4,92
161	303	236	229	0,013311148	78	1	310	7,26
167	317	244	186	0,013311148	82	1	320	7,08
174	302	245	220	0,013311148	106	1	160	6,57
155	291	253	235	0,013311148	70	1	330	7,71
150	298	265	177	0,013311148	90	0,99	660	4,35
159	287	211	188	0,013311148	117	0,946416667	225	2,43
139	281	234	215	0,013311148	80	0,962333333	150	4,05
189	291	213	204	0,013311148	39	1	1050	12,66
131	291	243	215	0,013311148	60	0,986333333	465	5,4
183	301	255	241	0,013311148	206	1	0	9,6
149	234	241	197	0,013311148	221	0,930583333	0	0
133	300	219	184	0,013311148	129	0,920666667	0	0
176	300	278	216	0,013311148	222	1	0	8,4
158	264	223	202	0,013311148	133	0,952666667	180	2,7
158	282	212	190	0,013311148	124	0,9445	200	2,16
177	293	249	227	0,013311148	133	1	90	7,68
162	272	239	218	0,013311148	44	1	760	9,75
129	273	250	213	0,013311148	110	0,953333333	130	3,51
189	264	209	212	0,013311148	29	0,998	1980	19,17
151	323	267	224	0,013311148	234	1	0	7,8
156	298	256	173	0,013311148	100	0,98125	450	3,54
154	299	235	258	0,014975042	131	0,989	90	8,19
175	318	249	197	0,014975042	154	1	60	5,76
155	287	237	243	0,014975042	99	0,992	230	8,46
145	294	269	221	0,014975042	123	1	185	6,45
149	285	208	216	0,014975042	75	0,958	175	4,32
214	326	178	168	0,014975042	20	0,992	2340	29,1
153	300	154	193	0,014975042	121	0,899	75	0,81
148	289	212	179	0,014975042	159	0,92325	0	0
113	288	243	197	0,014975042	129	0,917583333	0	0
147	278	220	184	0,014975042	166	0,926666667	0	0
133	313	214	187	0,014975042	96	0,935666667	130	3,51
158	262	226	197	0,014975042	138	0,952333333	235	2,61
163	306	294	202	0,014975042	249	1	0	7,8
122	301	267	216	0,014975042	56	1	770	9,18
131	303	264	189	0,014975042	62	0,981666667	310	4,59
134	301	239	171	0,014975042	157	0,927333333	10	0,27
187	264	219	214	0,014975042	35	1	1840	18,27
155	278	226	209	0,014975042	81	0,970166667	190	3,78

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
160	293	207	207	0,014975042	57	0,967	270	4,59
162	297	221	224	0,016638935	77	0,983	270	6,57
153	318	259	194	0,016638935	135	1	240	4,5
157	298	274	194	0,016638935	115	1	300	4,92
181	296	274	204	0,016638935	197	1	40	7,68
62	368	342	95	0,016638935	20	1	6120	56,4
183	295	233	206	0,016638935	77	1	390	7,98
174	300	256	187	0,016638935	72	1	565	6,45
143	271	246	229	0,016638935	69	0,996	465	8,88
147	297	144	205	0,016638935	119	0,894	105	1,5
149	296	181	188	0,016638935	131	0,911	0	0
150	292	254	259	0,016638935	118	1	200	9,36
159	309	202	193	0,016638935	45	0,97	520	5,91
177	265	225	244	0,016638935	38	1	1660	21,57
149	314	223	212	0,016638935	80	0,987	445	5,37
154	306	244	241	0,018302829	100	1	260	7,62
158	283	204	195	0,018302829	97	0,947833333	285	2,91
181	290	250	226	0,018302829	145	1	100	8,34
165	292	256	179	0,018302829	93	0,993333333	615	5,67
155	325	223	189	0,018302829	44	1	960	9,75
163	316	256	188	0,018302829	83	1	360	6,9
169	281	226	218	0,018302829	63	0,994166667	560	9,99
201	304	259	209	0,018302829	227	1	0	8,76
154	300	281	245	0,018302829	226	1	0	9,6
237	221	157	266	0,018302829	27	0,994	4770	53,16
174	310	233	202	0,018302829	62	1	640	8,37
158	262	218	192	0,018302829	170	0,936333333	200	2,16
159	300	204	229	0,018302829	104	0,963	180	5,91
186	311	200	187	0,018302829	28	0,986	1155	14,64
171	273	244	197	0,018302829	69	0,995	825	7,02
199	305	248	196	0,019966722	156	1	100	7,38
179	322	259	212	0,019966722	257	1	0	8,64
185	269	223	209	0,019966722	42	1	1560	15,33
131	276	207	200	0,019966722	153	0,905333333	0	0
344	418	87	22	0,019966722	20	1	8890	106,29
137	268	217	199	0,019966722	159	0,917416667	0	0
184	264	223	213	0,019966722	41	1	1690	16,74
181	270	209	208	0,019966722	33	0,99	1600	15,03
186	274	223	212	0,019966722	42	1	1440	15,51
180	304	240	180	0,019966722	62	1	740	9,18
154	306	209	210	0,021630616	73	0,969	260	3,9

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
154	306	281	196	0,021630616	166	1	160	5,52
128	302	213	210	0,021630616	95	0,945	310	3,24
154	312	219	179	0,021630616	87	0,96275	220	4,32
149	259	244	220	0,021630616	111	0,974833333	200	5,4
181	276	234	206	0,021630616	55	1	1100	11,34
132	287	195	208	0,021630616	122	0,910833333	80	2,16
149	289	161	192	0,021630616	156	0,890166667	0	0
193	264	201	214	0,021630616	35	0,994	2080	20,79
175	285	244	223	0,023294509	109	1	270	8,91
174	280	249	227	0,023294509	124	1	220	9,27
187	311	197	172	0,023294509	31	0,984	1550	17,16
191	267	199	216	0,023294509	35	0,99	1970	20,34
112	300	284	174	0,023294509	42	0,993333333	1720	13,08
191	290	213	205	0,023294509	44	1	1090	13,32
169	268	236	221	0,023294509	47	1	1060	12,9
157	294	193	214	0,023294509	85	0,95	200	4,47
178	299	236	226	0,023294509	108	1	290	8,73
152	309	216	220	0,024958403	92	0,977	310	5,37
118	298	255	217	0,024958403	76	0,983333333	545	6,24
138	261	221	208	0,024958403	162	0,925166667	80	2,16
136	272	212	210	0,024958403	140	0,923666667	100	2,7
184	304	254	253	0,024958403	244	1	0	11,4
139	281	234	170	0,024958403	215	0,912333333	0	0
152	303	300	222	0,024958403	265	1	0	9,24
182	292	251	230	0,024958403	156	1	110	8,91
146	325	263	215	0,024958403	211	1	100	6,96
124	292	237	210	0,024958403	75	0,960333333	330	3,9
132	302	208	211	0,024958403	93	0,948333333	335	3,51
178	278	245	201	0,026622296	73	1	770	7,68
174	292	225	226	0,026622296	77	0,999	560	10,8
159	264	253	171	0,026622296	215	0,94875	345	3,24
136	282	255	227	0,026622296	68	1	680	9,39
129	292	204	208	0,026622296	96	0,932333333	280	3,36
152	302	236	269	0,026622296	156	0,99	100	9,36
195	292	251	215	0,026622296	165	1	110	8,67
167	277	268	210	0,026622296	59	1	1150	12,15
143	274	193	210	0,026622296	139	0,918	100	2,7
139	313	248	152	0,026622296	190	0,935916667	130	3,51
147	273	199	191	0,026622296	174	0,91025	0	0
127	278	197	201	0,026622296	164	0,891166667	10	0,27
172	293	277	213	0,026622296	200	1	70	8,49

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
186	289	204	192	0,026622296	46	0,99	1250	12,57
143	278	248	238	0,026622296	85	0,998	395	8,91
164	316	282	216	0,026622296	282	1	0	9,36
177	279	249	204	0,026622296	75	1	690	7,62
166	278	229	198	0,026622296	87	0,976666667	370	4,62
178	276	243	202	0,02828619	68	1	880	8,55
163	263	240	198	0,02828619	91	0,98	640	5,31
178	298	290	209	0,02828619	262	1	20	9,54
146	297	121	204	0,02828619	141	0,871	130	1,53
131	289	186	192	0,02828619	167	0,885166667	0	0
186	296	278	204	0,02828619	228	1	40	8,76
201	300	238	201	0,02828619	131	1	240	8,04
148	308	207	216	0,02828619	93	0,965	290	4,38
170	295	246	253	0,02828619	158	1	130	10,11
152	296	116	206	0,02828619	146	0,868	80	1,86
176	298	277	230	0,02828619	246	1	20	10,26
166	310	272	239	0,02828619	264	1	0	10,44
148	274	277	213	0,02828619	63	1	950	10,95
173	288	203	198	0,02828619	47	0,976	870	8,31
182	281	227	180	0,02828619	50	1	1530	13,14
185	313	236	169	0,02828619	51	1	1185	14,46
157	259	252	210	0,029950083	113	0,981666667	370	5,13
191	269	195	217	0,029950083	38	0,986	1920	20,31
177	264	230	209	0,029950083	59	1	1300	12,72
123	287	199	209	0,029950083	135	0,900666667	90	2,43
150	244	225	215	0,029950083	178	0,940833333	150	4,05
138	267	208	205	0,029950083	160	0,914666667	50	1,35
128	248	242	197	0,029950083	220	0,90825	0	0
163	315	237	211	0,029950083	71	1	650	8,58
168	286	246	242	0,029950083	130	1	220	9,9
127	308	242	167	0,029950083	170	0,922416667	80	2,16
115	304	261	209	0,029950083	72	0,981666667	565	6,48
108	275	250	194	0,029950083	183	0,901666667	0	0
143	301	294	198	0,031613977	153	1	230	6,9
172	329	207	182	0,031613977	47	1	1490	16,47
205	262	196	214	0,031613977	43	1	2360	24,18
185	310	284	207	0,031613977	305	1	0	10,32
141	274	195	210	0,031613977	141	0,916666667	100	2,7
152	267	202	187	0,031613977	197	0,91075	50	0,54
139	283	217	173	0,031613977	214	0,90075	0	0
187	306	247	185	0,031613977	93	1	495	8,76

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
172	300	282	237	0,031613977	268	1	0	10,92
141	305	216	217	0,03327787	87	0,971	375	4,74
144	314	270	224	0,03327787	204	1	150	7,86
151	340	286	209	0,03327787	365	1	0	10,32
142	269	191	205	0,03327787	163	0,906	50	1,35
148	264	173	197	0,03327787	201	0,885916667	0	0
105	274	244	193	0,03327787	202	0,888583333	0	0
139	286	176	190	0,03327787	178	0,8835	0	0
148	263	222	175	0,03327787	243	0,906583333	0	0
153	308	205	214	0,03327787	89	0,966	300	4,65
133	330	217	203	0,03327787	62	0,997	1485	11,46
141	335	163	166	0,034941764	37	0,948	1660	15,9
180	272	189	224	0,034941764	37	0,969	1680	18,78
150	304	265	167	0,034941764	124	0,9825	640	5,13
194	313	185	176	0,034941764	39	0,979	1610	18,99
184	309	244	216	0,034941764	167	1	180	7,98
202	302	262	233	0,034941764	280	1	0	11,88
134	299	217	163	0,034941764	216	0,89325	0	0
149	327	256	251	0,034941764	262	1	25	10,23
176	303	290	222	0,034941764	297	1	0	10,92
152	260	244	245	0,034941764	96	0,996	440	11,94
166	309	300	212	0,034941764	317	1	0	10,44
171	350	218	153	0,036605657	45	1	1850	23,52
93	327	224	184	0,036605657	41	0,95	1750	13,59
191	290	205	168	0,036605657	45	0,996	1920	17,37
98	276	290	178	0,036605657	40	0,98	2400	17,7
192	305	249	187	0,036605657	114	1	395	8,49
157	252	226	181	0,036605657	237	0,921	175	1,89
139	295	139	189	0,036605657	192	0,85275	0	0
129	296	129	197	0,036605657	187	0,836916667	0	0
155	316	227	219	0,036605657	93	0,998	580	7,95
152	265	232	232	0,036605657	91	0,9815	360	9,18
167	281	246	179	0,036605657	128	0,975166667	425	4,59
122	308	272	185	0,038269551	78	0,98125	520	8,1
162	280	222	229	0,038269551	86	0,984	440	9,72
179	317	251	255	0,038269551	286	1	0	12,24
145	279	166	189	0,038269551	201	0,876416667	0	0
105	274	241	192	0,038269551	209	0,884333333	0	0
187	310	243	209	0,038269551	165	1	210	7,77
169	307	193	198	0,038269551	65	0,969	610	7,32
141	297	116	205	0,038269551	157	0,859333333	155	1,8

S₁	S₂	S₃	S₄	Uygunluk	Maliyet	Doluluk Oranı	Gecikme Zamanı	Kalitesizlik
185	310	254	186	0,038269551	85	1	610	10,08
137	294	215	164	0,038269551	223	0,893333333	0	0
209	308	252	193	0,038269551	196	1	150	9,63
195	305	234	193	0,038269551	93	1	545	10,2
139	305	213	165	0,038269551	189	0,907166667	50	1,35
166	303	247	269	0,038269551	186	1	150	11,46
143	266	177	203	0,038269551	186	0,8895	30	0,81
185	280	198	201	0,038269551	51	0,983	1310	12,72
128	295	288	205	0,039933444	91	1	615	9,96
153	288	193	237	0,039933444	131	0,946	180	7,05
155	314	221	222	0,039933444	101	0,99	520	7,77
197	270	203	187	0,039933444	47	1	2165	19,14

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	02.10.1981	
Doğum yeri	Baden/İsviçre	
Lise	1997-2001	Pertevniyal Lisesi Fen-Matematik Bölümü
Lisans	2001-2005	Yıldız Üniversitesi Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-devam ed.	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2002-2003	Dirikanlar Otomotiv San. Tic. ve Ltd. Şti.
2004-2005	Klas Prodüksiyon-Mavi Ofis
2005-2006	Marmara Ajans
2006-devam ed.	Çalık Holding