

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MÜŞTERİ ODAKLI BAKIM ONARIM FAALİYETLERİ
PERFORMANSININ DİNAMİK TAMİRCİ ROTALAMA
PROBLEMİ İLE MODELLEMESİ VE OPTİMİZASYONU**

Endüstri Yük. Müh. Arzum ÖZGEN

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

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi	: 19 Kasım 2008
Tez Danışmanı	: Yrd. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI (Yıldız Teknik Üniversitesi)
Jüri Üyeleri	: Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL (Yıldız Teknik Üniversitesi)
	: Prof. Dr. Füsün ÜLENGİN (Doğuş Üniversitesi)
	: Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ (Okan Üniversitesi)
	: Yrd. Doç. Dr. Bahadır GÜLSÜN (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İSTANBUL, 2008

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KISITLAR TEORİSİ	3
2.1 Düşünen Süreçler	4
2.1.1 Düşünen Süreçler (TP) ve 5 Uygulama Aracı	4
2.1.2 Finansal Bileşenler	5
2.1.3 Kısıt Sınıflandırması	5
2.2 Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT)	9
2.2.1 İstenmeyen Etkilerin (UDE) Belirlenmesi	9
2.2.2 Buharlaşma Bulutu (EC)	10
2.3 Çelişki Çözüm Diyagramlarının (CRD) Oluşturulması	12
2.4 Gelecek Gerçeklik Ağacının (FRT) Oluşturulması	16
2.4.1 Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT) Kullanım Yerleri	17
2.4.2 Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT) Süreç Adımları	18
2.5 Ön Koşul Ağacının (PRT) Oluşturulması	20
2.5.1 Ön Koşul Ağacı (PRT) Süreç Adımları	21
2.6 Dönüşüm Ağacının (TT) Oluşturulması	23
2.6.1 Dönüşüm Ağacı (TT) Sürecinin Genel Adımları	24
2.6.2 Düşünen Süreçler (TP) ile İlgili Literatürdeki Makalelerin İncelenmesi	27
2.6.3 Kısıtlar Teorisi Literatür İncelemesi	29
3. DÜŞÜNEN SÜREÇLER (TP) YARDIMI İLE PROBLEM ANALİZİ	48
3.1 Ele Alınan İstenmeyen Sonuçların (UDE) Yol Haritasına göre Analizi	48
3.1.1 İstenmeyen Sonuç (UDE) Betimlemeleri	48
3.1.2 Jenerik İstenmeyen Etkinin Belirlenmesi	56
3.1.3 Servis Bulutlarının Oluşturulması	57
3.1.4 Neden Sonuç Neden Ağaçlarının (CECT) Oluşturulması	65
3.1.5 Köprülerin Oluşturulması	71
3.2 Mevcut Gerçeklik Ağacının (CRT) Oluşturulması	78
3.3 Çelişki Çözüm Diyagramlarının (CRD) Oluşturulması	83
3.4 Gelecek Gerçeklik Ağaçlarının (FRT) Oluşturulması	87
3.5 Ön Koşul Ağaçlarının (PRT) Oluşturulması	93
3.6 Dönüşüm Ağaçlarının (TT) Oluşturulması	93

4.	PROBLEMİN TANIMI.....	96
4.1	Problem Sınıflandırması	98
4.1.1	Rotalama ve Hizmet Sıralaması için Prosedürlerin Karşılaştırılması	101
4.1.2	Dinamik Araç Rotalama Problemi	102
4.1.3	Statik ve Dinamik Araç Rotalama Probleminin Karşılaştırması	105
5.	ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	109
5.1	Araç Rotalama Problemi ile İlgili Literatür Araştırması	109
6.	GENETİK ALGORİTMA METODOLOJİSİ	139
6.1	Genetik Algoritmaların Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması	140
6.2	Temel Genetik Algoritma Kavramları.....	142
6.3	Genetik Algoritma'nın Çalışma İlkesi.....	147
6.4	Genetik Algoritma Parametreleri.....	149
6.4.1	Kodlama.....	149
6.4.2	Çaprazlama	151
6.4.3	Mutasyon	157
7.	ÖNERİLEN MODELİN TASARIMI	159
7.1	Problemin Tanımı	159
7.2	Problemin Varsayımları.....	161
7.3	Modelleme Zorlukları.....	162
7.4	Amaç Fonksiyonu.....	162
7.5	Problemin Karmaşıklığını Göstermek Üzere Sayısal Bir Örnek.....	163
7.5.1	Karar Değişkeni ve Parametreler.....	163
7.5.2	Sayısal Örnek.....	164
7.6	Sezgisel Yöntem Olarak Genetik Algoritmanın Seçilmesi	167
8.	ÖNERİLEN MODELİN ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN SEZGİSELLER ...	170
8.1	İlk Gelen İlk Servis Alır (FIFO) Sezgiseli.....	170
8.2	En Yakın Komşuluk (Nearest Neighbor-NN) Sezgiseli.....	182
8.3	Genetik Algoritma ile Sezgisel Yaklaşım	188
8.4	Duyarlılık Analizleri.....	196
9.	SONUÇLAR.....	202
	KAYNAKLAR.....	205
	EKLER	215
	Ek 1 FIFO, NN ve GA Algoritmaları Sahte Kodu	216
	Ek 2 İncelenen Problemin Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT).....	217
	Ek 3 İncelenen Problemin Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT)	218
	Ek 4 İncelenen Problemin Ön Koşul Ağacı (PRT)	219
	Ek 5 İncelenen Problemin Dönüşüm Ağacı (TT).....	220
	Ek 6 Normal Dağılıma Uyan Çağrı Frekansları	221
	Ek 7 Log-normal Dağılıma Uyan Tamir Frekansları	222
	ÖZGEÇMİŞ.....	223

SİMGE LİSTESİ

K	Araç filosu
Q	Araç kapasitesi

KISALTMA LİSTESİ

AA	Ara Amaç
ABC	Activity Based Costing (Faaliyete Dayalı Maliyetlendirme)
ABHC	Attribute Based Hill Climber (Davranış Temelli Tepe Tırmanışı)
ACO	Ant Colony Algorithm (Karıncı Koloni Algoritması)
ACS	Ant Colony System Algorithm (Karıncı Koloni Sistemi Algoritması)
Act	Action (Faaliyet)
AGESM	Active-Guided Evolution Strategies Metaheuristic (Aktif- Yönlendirmeli Evrimsel Stratejiler Meta Sezgiselleri)
AI	Artificial Intelligence (Yapay Zeka)
ALNS	Adaptive Local Neighborhood Search (Uyarlanabilir Yerel Komşuluk Araması)
ARP	Advanced Resources Planning (İleri Kaynak Planlaması)
ASM	Arcs-States Models (Yay Durum Modelleri)
ATSP	Asymmetric Traveling Salesman Problem (Asimetrik Gezgin Satıcı Problemi)
BLP	Bounded-Latency Problem (Sınırlandırılmış Gecikme Problemi)
BM	Buffer Management (Tampon Yönetimi)
BRH	Branch and Regret Heuristic (Dal ve Pişmanlık Sezgiseli)
CA	Cluster Analysis (Küme Analizi)
CARP	Capacitated Arc Routing Problem (Kapasitelendirilmiş Yay Rotalama Problemi)
CCR	Capacity Constraint Resources (Kapasite Kısıtlı Kaynaklar)
CECT	Cause Effect Cause Diagram (Neden Sonuç Neden Diyagramı)
CG	Column Generation (Kolon Üretme)
CHVRPSS	CVRP with Heterogeneous Fleet and Split Service Vehicle Routing Problem (Kapasitelendirilmiş Heterojen Filolu ve Bölümlendirilmiş Hizmetli Araç Rotalama Problemi)
CI	Cheapest Insertion (En Ucuz Ekleme)
CLRP	Capacitated Location Routing Problem (Kapasitelendirilmiş Yer Rotalama Problemi)
CPS	Constraint Production Scheduling (Kısıt Üretim Çizelgelemesi)
CRD	Conflict Resolution Diagram (Çatışma Çözüm Diyagramı)
CRT	Current Reality Tree (Mevcut Gerçeklik Ağacı)
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem (Kapasitelendirilmiş Araç Rotalama Problemi)
CVRPSD	Capacitated Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands (Stokastik Talepli Kapasitelendirilmiş Araç Rotalama Problemi)
CVRPTW	Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (Zaman Pencere Kapasitelendirilmiş Araç Rotalama Problemi)
DA	Deterministic Annealing (Deterministik Tavlama)
DARPTW	Dynamic Dial-a-Ride Problem with Time Window Constraints (Zaman Penceresi Kısıtlı Dinamik Ara-Sür Problemi)
DBR	Drum-Buffer-Rope (Trompet-Tampon-İp)
DCVRP	Distance-Constrained Capacitated Vehicle Routing Problems (Mesafe Kısıtlı Kapasitelendirilmiş Araç Rotalama Problemi)
DE	Desired Effect (İstenilen Etki)
DES	Discrete Event Simulation (Ayrık Zaman Simülasyonu)
DMPRP	Dynamic Multi Period Routing Problem (Dinamik Çok Dönemli Rotalama Problemi)
DSVRP	Dynamic and Stochastic Vehicle Routing Problem (Dinamik ve Stokastik Araç Rotalama Problemi)

DTRP	Dynamic Traveling Repairman Problem (Dinamik Gezgin Tamirci Problemi)
DVRP	Dynamic Vehicle Routing Problem (Dinamik Araç Rotalama Problemi)
DVRPTW	Dynamic Vehicle Routing Problem with Time Windows (Zaman Pencere Dinamik Araç Rotalama Problemi
E	Effect (Etki)
EA	Exact Algorithm (Kesin Algoritmalar)
EFBO	Enumeration-Followed-by-Optimization (Sıralamayı Takip Eden Optimizasyon)
ERP	Enterprise Resources Management (Kurumsal Kaynak Planlama)
FCFS	First Come First Serve (İlk Gelen İlk Hizmet Alır)
FP	Fitness Proportional (Kararlılık Durumu)
FRT	Future Reality Tree (Gelecek Gerçeklik Ağacı)
FSMVRP	Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem (Filo Büyüklüğü ve Karma Araç Rotalama Problemi)
GA	Genetic Algorithm (Genetik Algoritma)
GCH	Greedy Constructive Heuristics (Hırslı Yapıcı Sezgiseller)
GLS	Guided Local Search (Yönlendirilmiş Yerel Arama)
GP	Goal Programming (Amaç Programlama)
GUI	Graphical User Interface (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü)
GVRP	General Vehicle Routing Problem (Genel Araç Rotalama Problemi)
HGA	Hybrid Genetic Algorithm (Melez Genetik Algoritma)
HVRP	Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem (Heterojen Filolu Araç Rotalama Problemi)
IDD	Inventory Dolar per Day (Envanter \$/gün)
ILP	Integer Linear Programming (Tamsayılı Lineer Programlama)
ISA	Incremental Search Approach (Artan Arama Yaklaşımı)
ITSDVRP	Intelligent Transport Systems Based Deterministic Vehicle Routing Problems (Akıllı Taşıma Sistemleri Tabanlı Deterministik Araç Rotalama Problemleri)
İ	İhtiyaç
i-MST	i-Minimum Spanning Tree Problem (i-En az Genişleme Ağacı Problemi)
JIT	Just in Time (Tam Zamanında Üretim)
k-TRP	k-Traveling Repairman Problem (k-Gezgin Tamirci Problemi)
LCP	Livestock Collection Problem (Canlı Stok Toplama Problemi)
L-OLDARP	Latency Online Dial a Ride Problem (Gecikmeli Çevrimiçi Ara-Sür Problemi)
LP	Linear Programming (Lineer Programlama)
LSAVRPTW	Local Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Window Constraints (Zaman Penceresi Kısıtlı Araç Rotalama Problemi için Yerel Arama Algoritması)
MA	Memetic Algorithm (Memetik Algoritması)
MCVRP	Multi-Compartment Vehicle Routing Problem (Çok Bölümlü Araç Rotalama Problemi)
MDH	Myopic Dynamic Heuristic (Miyop Dinamik Sezgisel)
MDP	Markov Decision Process (Markov Karar Süreci)
MDVRP	Multi-Depot Vehicle Routing Problem (Çoklu Depolu Araç Rotalama Problemi)
MDVSP	Multi-Depot Vehicle Scheduling Problem (Çoklu Depolu Araç Çizelgeleme Problemi)
MIP	Mixed Integer Programming (Karmaşık Tamsayılı Programlama)
MOEA	Multi-objective Evolutionary Algorithm (Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma)
MRP	Manufacturing Resources Management (Üretim Kaynakları Planlaması)
MLT	Minimum Latency Problem (En Az Gecikme Problemi)
NN	Nearest Neighbor (En Yakın Komşu)

OLTRP	Online Traveling Repairman Problem (Çevrimiçi Gezgin Tamirci Problemi)
OSTP	Optimal Start Time Problem (Optimal Başlama Zamanı Problemi)
OVRP	Open Vehicle Routing Problem (Açık Araç Rotalama Problemi)
ÖK	Ön Koşul
PRG	Primary Response Group (Birincil Cevaplama Grubu)
PRT	PreRequisite Tree (Ön Koşul Ağacı)
PVRP	Periodic Vehicle Routing Problem (Periyodik Araç Rotalama Problemi)
RRA	Resource Reallocation Algorithm (Kaynak Ataması Algoritması)
RCESPP	Resource Constrained Elementary Shortest Path Problem (Kaynak Kısıtlı Temel En Kısa Yol Problemi)
RRTA	Record-to-Record Travel Algorithm (Kayıttan Kayıta Gezme Algoritması)
RSM	Route Simulation Method (Rota Simülasyon Metodu)
RTSVPPD	Real-Time Single Vehicle Problem with Pick and Delivery (Teslimat ve Toplamalı Gerçek Zamanlı Tek Araç Problemi)
RW	Roulette Wheel (Rulet Çemberi)
SA	Simulated Annealing (Benzetimli Tavlama)
SCM	Supply Chain Management (Tedarik Zinciri Yönetimi)
SCP	Set Covering Problem (Küme Kapsama Problemi)
SDVCSP	Single-Depot Vehicle and Crew Scheduling Problem in Urban Mass Transit Systems (Şehirli Kitle Ulaşım Sistemlerinde Tek Depolu Araç ve Mürettebat Çizelgeleme Problemi)
SDVRP	Site-Dependant Vehicle Routing Problem (Bölgeye Bağımlı Araç Rotalama Problemi)
SOS1	Special Ordered Sets of Type 1 (Özel Siparişler Kümesi Tip 1)
SpDVRP	Split Delivery Vehicle Routing Algorithm (Ayrık Teslimat Araç Rotalama Algoritması)
SPP	Set Partitioning Problem (Kümelere Ayırma Problemi)
SPPRC	Shortest Path Problem with Resource Constraints (Kaynak Kısıtlı En Kısa Yol Problemi)
SQM	Stochastic Queue Median (Stokastik Kuyruk Ortalaması)
STDSPP	Stochastic Time-Dependent Shortest Path Problem (Stokastik Zaman Bağımlı En Kısa Yol Problemi)
SVRP	Static Vehicle Routing Problem (Statik Araç Rotalama Problemi)
SVRPDSP	Single Vehicle Routing Problem with Deliveries and Selective Pickups (Teslimatlı ve Seçimli Toplamalı Tek Araçlı Rotalama Problemi)
SVRPPD	Single Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries (Teslimat ve Toplamalı Tek Araçlı Rotalama Problemi)
SVRPTW	Stochastic Vehicle Routing Problem with Time-Windows (Zaman Pencereli Stokastik Araç Rotalama Problemi)
T	Throughput (Çıktı)
TA	Throughput Accounting (Çıktı Muhasebesi)
TC	Traditional Accounting (Geleneksel Muhasebe)
TDD	Throughput Dolar per Day (Çıktı \$/gün)
TDVRP	The Time Dependent Vehicle Routing Problem (Zaman Bağımlı Araç Rotalama Problemi)
TDVRPSTW	Time-Dependent Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows (Kolay Zaman Pencereli Zaman Bağımlı Araç Rotalama Problemi)
TOC	Theory of Constraints (Kısıtlar Teorisi)
TRIZ	The Theory of Solving Inventor's Problems (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi)
TP	Thinking Processes (Düşünen Süreçler)

TRP	Traveling Repairman Problem (Gezgin Tamirci Problemi)
TSA	Tabu Search Algorithm (Tabu Arama Algoritması)
TSP	Traveling Salesman Problem (Gezgin Satıcı Problemi)
TSPPC	Traveling Salesman Problem without Precedence Constraints (Öncelik Kısıtı Olmayan Gezgin Satıcı Problemi)
TSPTT	Traveling Salesman Problem with Time Target (Zaman Hedefli Gezgin Satıcı Problemi)
TSPTW	Traveling Salesman Problem with Time Windows (Zaman Pencereci Gezgin Satıcı Problemi)
TT	Transition Tree (Dönüşüm Ağacı)
TW	Time Windows (Zaman Penceresi)
UDE	Undesirable Effect (İstenmeyen Etki)
VLSN	Very Large Scale Neighborhood Search Algorithm (Çok Büyük Ölçekli Komşuluk Arama Algoritması)
VNS	Variable Neighborhood Search (Değişken Komşuluk Araması)
VRP	Vehicle Routing Problem (Araç Rotalama Problemi)
VRPC	Vehicle Routing Problems with Cumulative Constraints (Kümülatif Kısıtlı Araç Rotalama Problemi)
VRPDC	Vehicle Routing Problem with Distribution and Collection (Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi)
VRPDP	Vehicle Routing Problem with Sequence-Constrained Delivery and Pick-up (Sıralama Kısıtlı Toplama ve Dağıtım Araç Rotalama Problemi)
VRPDT	Vehicle Routing Problem with Due Times (En Geç Bitiş Zamanlı Araç Rotalama Problemi)
VRPHTW	Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows (Zor Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi)
VRPmiTW	Vehicle Routing Problem with Multiple Interdependent Time Windows (Çoklu Bağımsız Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi)
VRPPD	Vehicle Routing Problem with Pick-up Delivery (Toplama ve Dağıtım Araç Rotalama Problemi)
VRPRB	Vehicle Routing Problem with Route Balancing (Rota Ayarlamalı Araç Rotalama Problemi)
VRPSD	Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand (Stokastik Talepli Araç Rotalama Problemi)
VRPSPD	Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up (Eş Zamanlı Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi)
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows (Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi)
VRPTWDT	Vehicle Routing Problem with Time Windows with Due Times (En Geç Bitiş Zamanlı Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi)
VSPRFTC	Vehicle Scheduling Problem with Route and Fueling Time Constraints (Rota ve Yakıt Yükleme Kısıtlı Araç Rotalama Problemi)
2LCVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem with Two-Dimensional Loading Constraints (İki Boyutlu Yükleme Kısıtlı Kapasitelendirilmiş Araç Rotalama Problemi)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kısıtlar teorisi araçları	3
Şekil 2.2 Düşünen süreçler yol haritası	8
Şekil 2.3 Bağlantı tipleri	9
Şekil 2.4 Varlıkların ağaça yerleştirilmesi örneği	10
Şekil 2.5 Anlaşmazlığın beşli ilişki grubu	12
Şekil 2.6 Amaca ulaşmak için gerekli ihtiyaçlar	13
Şekil 2.7 Düşünen süreçler akış şeması- çatışma çözüm diyagramı	14
Şekil 2.8 İhtiyaçlara ulaşmak için gerekli ön koşullar	15
Şekil 2.9 Çelişen ön koşullar	15
Şekil 2.10 Çelişki çözüm diyagramı (CRD)	16
Şekil 2.11 Gelecek gerçeklik ağacı (FRT) bileşenleri	17
Şekil 2.12 Düşünen süreçler akış şeması-gelecek gerçeklik ağacı	19
Şekil 2.13 Ön koşul ağacı diyagramında yer alan varlıklar	20
Şekil 2.14 Düşünen süreçler akış şeması-ön gereklilik ağacı	22
Şekil 2.15 Dönüşüm ağacının (TT) varlık tipleri	24
Şekil 2.16 Düşünen süreçler akış şeması-dönüşüm ağacı (TT)	26
Şekil 2.17 TOCICO'nun uygulamacıları için oluşturduğu sertifika süreci sınıflandırması	29
Şekil 3.1 Düşünen süreçler akış şeması mevcut gerçeklik ağacı (CRT)	51
Şekil 3.2 UDE'lerin oluşturulması	55
Şekil 3.3 UDE'nin buluta dönüştürülme mantığı	55
Şekil 3.4 Jenerik D'nin bulunması	56
Şekil 3.5 Jenerik D"ünün bulunması	56
Şekil 3.6 Servis bulutu#1	58
Şekil 3.7 Servis bulutu#2.1	59
Şekil 3.8 Servis bulutu#2.2	60
Şekil 3.9 Servis bulutu#2.3	61
Şekil 3.10 Servis bulutu#3.1	62
Şekil 3.11 Servis bulutu#3.2	63
Şekil 3.12 Jenerik servis bulutu	64
Şekil 3.13 Neden-sonuç-neden ağacı (CECT) UDE#1 için	65
Şekil 3.14 Neden-sonuç-neden ağacı UDE#2.1 için	66
Şekil 3.15 Neden-sonuç-neden ağacı UDE#2.2 için	67
Şekil 3.16 Neden-sonuç-neden ağacı UDE#2.3 için	68

Şekil 3.17 Neden-sonuç-neden ağacı UDE#3.1 için	69
Şekil 3.18 Neden-sonuç-neden ağacı UDE#3.2 için	70
Şekil 3.19 Köprü#1	71
Şekil 3.20 Köprü#2.1	72
Şekil 3.21 Köprü#2.2	73
Şekil 3.22 Köprü#2.3	74
Şekil 3.23 Köprü#3.1	75
Şekil 3.24 Köprü#3.2	76
Şekil 3.25 Jenerik köprü	77
Şekil 3.26 İncelenen problemin mevcut gerçeklik ağacı (CRT) (1. kısım)	79
Şekil 3.27 İncelenen problemin mevcut gerçeklik ağacı (CRT) (2. kısım)	80
Şekil 3.28 İncelenen problemin mevcut gerçeklik ağacı (CRT) (3. kısım)	81
Şekil 3.29 İncelenen problemin mevcut gerçeklik ağacı (CRT) (4. kısım)	82
Şekil 3.30 Çelişki çözüm diyagramı#1 (CRD)	84
Şekil 3.31 Çelişki çözüm diyagramı(CRD)#2.1	84
Şekil 3.32 Çelişki çözüm diyagramı(CRD)#2.2	85
Şekil 3.33 Çelişki çözüm diyagramı(CRD)#2.3	85
Şekil 3.34 Çelişki çözüm diyagramı(CRD)#3.1	86
Şekil 3.35 Çelişki çözüm diyagramı(CRD)#3.2	86
Şekil 3.36 İncelenen problemin gelecek gerçeklik ağacı (FRT) (1. kısım)	88
Şekil 3.37 İncelenen problemin gelecek gerçeklik ağacı (FRT) (2. kısım)	89
Şekil 3.38 İncelenen problemin gelecek gerçeklik ağacı (FRT) (3. kısım)	90
Şekil 3.39 İncelenen problemin gelecek gerçeklik ağacı (FRT) (4. kısım)	91
Şekil 3.40 İncelenen problemin gelecek gerçeklik ağacı (FRT) (5. kısım)	92
Şekil 3.41 İncelenen problemin dönüşüm ağacı (TT) (1. kısım)	94
Şekil 3.42 İncelenen problemin dönüşüm ağacı (TT) (2. kısım)	95
Şekil 4.1 Sekiz eski iki yeni istekli dinamik araç rotalama senaryosu	104
Şekil 6.1 Ondalık-ikili sistemler ve genetik algoritma (Şen, 2004)	144
Şekil 6.2 Genetik algoritmanın genel prensibi	148
Şekil 6.3 Genetik algoritma akış diyagramı (Baskak ve Erol, 2004)	150
Şekil 6.4 Ara birleşmeli çaprazlama karar uzayındaki durum	156
Şekil 6.5 Doğrusal birleşim üyeleri	157
Şekil 6.6 Mutasyon yöntemleri ve etkileri	158
Şekil 7.1 Sayısal örnek Lingo çözüm sonucu	166

Şekil 8.1 FIFO sezgiseli akış şeması	172
Şekil 8.2 FIFO sezgiselinde rassal olarak oluşturulmuş 50 lokasyonun haritası.....	175
Şekil 8.3 FIFO sezgiseli tamirci rotalaması (8 tamirci için).....	175
Şekil 8.4 NN sezgiseli tamirci rotalaması (8 eleman)	182
Şekil 8.5 NN sezgiseli akış şeması	183
Şekil 8.6 Çaprazlama	189
Şekil 8.7 Greedy çaprazlama	189
Şekil 8.8 Başlangıç parametreleri	191
Şekil 8.9 GA Algoritması haritası	196
Şekil 8.10 Çağrı 1 gecikme maliyetindeki artışın yarattığı değişimler	197
Şekil 8.11 Karşılanamayan çağrı 1 maliyetindeki artışın yarattığı değişim	198
Şekil 8.12 Karşılanamayan çağrı 2 maliyetindeki artışın yarattığı değişim	199
Şekil 8.13 Yolda geçen süre ve tamir süresi toplamı maliyetindeki artışın yarattığı değişim	200
Şekil 8.14 Yolda geçen süre ve tamir süresi toplamı maliyetindeki artışın yarattığı değişim	201

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Düşünen süreçler ve uygulama adımları	4
Çizelge 2.2 Düşünen süreç araçlarının kullanım yeri	5
Çizelge 2.3 Düşünen süreç araçlarının kullanım yerleri	7
Çizelge 2.4 Düşünen süreçler makale özetleri	27
Çizelge 2.5 Kısıtlar Teorisi literatür araştırması sınıflandırması	30
Çizelge 2.6 Tedarik zinciri yönetimi ile ilgili Kısıtlar Teorisi (TOC) 2000–2008 yılları arası literatür sınıflandırması	42
Çizelge 2.7 Finans ve ölçüm sistemleri ile ilgili Kısıtlar Teorisi (TOC) 2000–2008 yılları arası literatür sınıflandırması	43
Çizelge 2.8 Performans sistemleri ile ilgili Kısıtlar Teorisi (TOC) 2000–2008 yılları arası literatür sınıflandırması	43
Çizelge 2.9 Strateji ile ilgili Kısıtlar Teorisi (TOC) 2000–2008 yılları arası literatür sınıflandırması	44
Çizelge 2.10 Üretim planlama ile ilgili Kısıtlar Teorisi (TOC) 2000–2008 yılları arası literatür sınıflandırması	44
Çizelge 2.11 Kısıtlar Teorisi (TOC) çözüm yaklaşımları ile ilgili 2000–2008 yılları arası literatür incelemesi	45
Çizelge 3.1 İstenmeyen etki (UDE) ve buharlaşan bulut (EC) tablosu	52
Çizelge 3.2. Jenerik UDE ve jenerik buharlaşan bulut Tablosu	57
Çizelge 5.1 Araç rotalama problemi literatür incelemesi	130
Çizelge 6.1 Genetik algoritma yaklaşımı ile analitik yöntemin karşılaştırılması	141
Çizelge 6.2. Ondalık ve ikili sayı sistemlerinin karşılaştırılması	144
Çizelge 6.3 Permütasyon kodlamalı kromozom örnekleri	150
Çizelge 7.1 FIFO algoritmasında kullanılan çağrı geliş ve tamir süresi frekansları	161
Çizelge 8.1 Çağrı oluşturma yapısı	171
Çizelge 8.2 Çağrılar ve müşteri lokasyonlarının rassal olarak oluşması örneği	173
Çizelge 8.3 Gelen çağrıların müşteri temsilcilerine (tamirci) atanması	176
Çizelge 8.4 Müşteri Temsilcilerinin (tamircilerin) varış zamanı ve tamir süreleri	177
Çizelge 8.5 FIFO sezgiselinin göre performans ölçütleri	179
Çizelge 8.6 FIFO çağrı karşılama oranı	181
Çizelge 8.7 FIFO sezgiseli performans ölçütlerinin maliyet sonuçları	181
Çizelge 8.8 NN Sezgiseline göre performans ölçütleri	186
Çizelge 8.9 NN çağrı karşılama oranı	187

Çizelge 8.10 NN sezgiseli performans ölçütlerinin maliyet sonuçları	187
Çizelge 8.11 GA sezgiseline göre performans ölçütleri	193
Çizelge 8.12 GA sezgiseli çağrı karşılama oranı.....	194
Çizelge 8.13 GA sezgiseli performans ölçütlerinin maliyet sonuçları	194
Çizelge 8.14 FIFO, NN ve GA sezgiselleri için performans ölçütleri maliyet sonuçlarının karşılaştırılması.....	195

ÖNSÖZ

Günümüz iş dünyasındaki ticari ilişkiler ve rekabet koşulları, işletme devamlılığının başarılı ve karlı bir şekilde sürdürülebilmesini zorlaştırmaktadır. İşletme sahipleri, yöneticileri ve çalışanları, iş yapma şekillerini sürekli gözden geçirme ve ilgili maliyetleri kontrol altında tutma zorunluluğundadır. Benzer hizmetleri birçok firmanın eşdeğer şekilde verebilir hale gelmesi, rekabet kavramını işletmeler için daha da hissedilir kılmaktadır. Pazardaki pastadan işletmeye düşen dilimin azalması, iş hacminin de azalması anlamına gelmektedir. İşletme karlılığını korumanın geriye kalan tek yolu maliyetleri düşürmek ve istenen karlılığı sağlayacak seviyede tutmaktan geçmektedir. Bu, işletmelerin iş yapış şekillerini oluşturan süreçlerini, çok iyi tanımlarını gerektirir. İş süreçlerinin rekabet edebilir bir işletme özelliği kazanmadaki rolü büyüktür. Mevcut süreçlerin analiz edilip, gereksiz faaliyetlerin ortadan kaldırılması veya gerekli olanların hızlı ve doğru bir şekilde uygulamaya geçirilmesi önem kazanmaktadır. Bunun yanı sıra, süreçlerin performanslarının takip edilebilmesi için kritik performans göstergelerinin kurulması da bir diğer önemli faktör olarak gözlemlenmektedir. İşletmelerin mevcut durum analizlerini eski tecrübe ve deneyimlere dayandırdıkları ve bilimsel yöntemlere ağırlık vermedikleri gözlenmektedir. Bu çalışmada, ülkemizde artan bir eğilim yakalamış olan bilişim sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın alt problemlerinden biri ele alınmıştır. Bu sektörde faaliyet gösteren firmaların iş hacminin büyük kısmını, bakım onarım hizmetleri ile ilgili devlet ihaleleri oluşturmaktadır. Bakım onarım faaliyetlerinin, yerine getirilmesi için gerekli rotalama ve eleman kullanımı maliyetlerinin, incelenmesi ve iyileştirilmesi için bilimsel yöntemlerin kullanımı ve sonuçları gösterilmeye çalışılmıştır. Kullanılan yöntemler ve oluşturulan model özel sektörde kolayca uygulanabilir bir çalışma olmuştur.

Bu tez çalışmasında, bana her zaman yol gösteren, motive eden tez danışmanım, Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI'ya, çalışmalarımı düzenli takip ederek, ilerlememde bana bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Sayın Hocam Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL'e, yoğun programına rağmen çalışmalarına yön vermek için desteğini esirgemeyen ve aynı zamanda tez izleme komitemde bulunan Sayın Hocam Prof. Dr. Füsün ÜLENGİN'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamın şekillenmesinde bana vakit ayıran, fikirleri ile destek veren Değerli Hocam Prof. Dr. Mehmet Tanyaş hocama ayrıca teşekkür ederim. Çalışmamın bilgisayar kodlama kısmında bana yardımcı olan Sayın Mehmet Kahraman'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Doktora tez çalışması gibi zorlu bir çalışma döneminde manevi desteğini esirgemeyen eşim Doğan Özgen'e, sevgi ve desteklerini her zaman hissettiğim eşimin ailesine ve bugüne gelmemi sağlayan, emeklerini ödeyemeyeceğim, benim için çok değerli annem, babam ve kızkardeşlerime sonsuz sevgi ve teşekkürlerimle.

Ağustos, 2008

Endüstri Yüksek Müh. Arzum ÖZGEN

ÖZET

Kar ve maliyet optimizasyonu, işletmelerin yönetilebilmesi ve devamlılığı için en temel hedef olmayı sürdürmektedir. Bu nedenle işletmelerin mevcut yapılarını incelemeleri ve sürekli değişen iş dinamiklerine uyumlu hale getirmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada, bilişim firmalarının organizasyon yapılarındaki birimlerden birinin faaliyetleri incelenmiştir. Ele alınan problemlerin analizinde Düşünen Süreçlerden faydalanılmıştır. Düşünen Süreçler, Kısıtlar Teorisinin süreç analizinde kullanılan, problemin ortaya çıkarılmasına ve kök nedenlerine inilmesine imkân veren bir yöntemdir.

Analizi yapılan süreçler ve ele alınan problemler, gerçek bilişim firmalarının güncel problemleri olması itibarıyla, bilimsel yöntemlerin, firmaların problemlerinin çözümünde nasıl ele alınabileceğini gösteren nitelikte bir çalışma olmuştur.

Firmaların göz önüne alması gereken maliyet kalemlerinden biri taşımacılık maliyetleridir. Taşıma faaliyetlerinde rotalama; ürünlerin dağıtımı ve geri toplanmasında ve hizmet sektöründe, müşteri lokasyonunda gerçekleştirilecek tamir ve bakım faaliyetleri açısından önem arz etmektedir. Bu konuların çözümü için literatürde geleneksel araç rotalama problemi geniş yer bulmuştur. Bu çalışmaların çoğunluğu statik durum ve verilere dayalı olarak gerçekleştirilmiş olsa da günümüzde iletişim sektöründeki teknolojik gelişmeler sonucunda dinamik verilere dayalı çözümler de üretilmiştir.

Bu çalışmada, Kısıtlar Teorisi'nin (TP) Düşünen Süreçler (TP) yöntemi detaylı olarak açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, bir önceki bölümde detayları anlatılan Düşünen Süreçler'in (TP) çalışmada ele alınan problemlerin analizinde nasıl kullanıldığı gösterilmiştir. Dördüncü bölümde, araç rotalama probleminin statik ve dinamik yapıları tanıtılmış ve aralarındaki farklara değinilmiştir. Problemin çözümü için dinamik araç rotalama problemi (DVRP) kullanılmasının nedenleri irdelenmiştir. Araç rotalama probleminde “dinamik” kavramının önemi ve bu problem tipinin özellikleri verilmiş, dinamik araç rotalama probleminin statik araç rotalama ile farkları belirtilmiştir. Beşinci bölümde, geleneksel araç rotalama problemi (VRP) konusunda yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. Bu bölümde dinamik araç rotalama probleminin (DVRP) gelişimi ile geliştirilmiş algoritmalar konusunda bilgi verilmiştir. İncelenen çalışmalar, statik-dinamik yapıları bakımından ve problem çözümü için kullandıkları teknikler açısından ayrı ayrı gruplandırılmıştır. Altıncı bölümde geliştirilen sezgisel yöntemlerden birinde kullanılan Genetik Algoritma (GA) anlatılmıştır. Genetik Algoritmanın (GA) temel kavramları ve çalışma prensiplerine yer verilmiştir. Yedinci bölümde ele alınan problem için önerilen çözüm yaklaşımı anlatılmıştır. Sekizinci bölümde önerilen modelin çözümü için tasarlanmış üç sezgiselin sonuçları ve performansları verilmiştir. Geliştirilmiş üç sezgiselde de, zaman penceresi kısıtı ve önceliklendirme olguları göz önüne alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Kısıtlar teorisi, düşünen süreçler, dinamik tamirci rotalama problemi, en yakın komşu algoritması, genetik algoritma, zaman penceresi, en kısa yol problemi

ABSTRACT

Cost and profitability optimization is an essential issue that must be considered for firms management and survivability. For this aim, firms has to scrutiny their current structure and processes and change them to fit the business dynamics.

For this aim, the Thinking Processes of Theory of Constraints have been used for analysing the problems. Thinking Processes is one of the tools of Theory of Constraints that is used to expose the problem and to reach to roots of it.

Logistics and transportation costs are the main costs of the firm. Routing issues in logistics and transportation activities are important for pickup and delivery of products. It is also important in service sector, while performing repair and maintenance activities in customers' place. Vehicle routing problem has found a vast area of implementation related to these problems. Most of these studies are done base on the static data and reflects the static states. Improvements in communication technologies have given the opportunity to solve the dynamic type of these problems.

In this study, Thinking Processes of Theory of Constraints has defined in detail. In third part, usage of Thinking Processes in analyzing problem has described. The dynamic and static aspects of the vehicle routing problem have introduced and the differences between them has discussed in fourth part. In addition, studies in the literature about dynamic vehicle routing problem have reviewed. Answers for selection of dynamic vehicle routing problem as solution method has explained. In fifth part, traditional vehicle routing problem has summarized according to the applied problem area and the approaches have used for solution. In sixth part, Genetic algorithm is used for developing one of the heuristic methods has been explained in detail. In seventh part, the solution approach proposed for the problem has given. In eighth part, developed three heuristic algorithms are presented and their solution results are compared. These algorithms are developed in "Java™ Platform, Standard Edition 6". Time windows and precedence issues has considered in developed three heuristic algorithms.

Keywords: Theory of constraints, thinking processes, dynamic repairmen routing problem, nearest neighbor algorithm, genetic algorithm, time windows, shortest path method

1. GİRİŞ

Kısıtlar Teorisinin en temel mesajı; organizasyonun amacının aydınlatılması, bu amaca paralel olan ölçümlerin belirlenmesi, organizasyonun amacıyla ilişkili olarak, maksimum performansın gösterilmesini engelleyen küçük şeylerin, yönetilerek iyileştirilmesi olarak tarif edilebilir.

Yukarıda bahsedilen iyileştirmelerin nasıl yapılabileceği General Motors, Amerila savunma Bakanlığı gibi büyük firmaların yanı sıra birçok küçük firmanın da ilgisini çekmiştir. Kısıtlar Teorisinin yaratıcısı Goldratt, kendisi bir kısıt haline gelmemek amacıyla, bu firmalara kalıplaşmış öneriler getirmemiş, tam tersi her firmanın kendi kısıtlarını tespit edip, gerekli iyileştirmeleri yapmaları gerektiğini savunmuştur.

Birçok organizasyon için amaç, şimdi ve gelecekte daha büyük verimlilik ve sonuçta kârlılıktır. Amaç kârlılık olduğu için sistemin daha yüksek düzeyde kâr elde etmesini engelleyen kısıtlar ortadan kaldırılmalıdır. Her organizasyon kendi içerisinde bir sistemdir. Kısıtlar Teorisi de bu sistemi geliştirmek ve daha iyiye ulaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Ancak sistemin herhangi bir bölümünü geliştirmeden önce sistemin bütünsel amacı ve bu amacın üzerinde etkili olabilecek alt sistemler ile kararları tanımlanmalıdır.

Kısıtlar Teorisi, sistemin bileşenlerini ayrı ayrı incelemek yerine, sistemin tamamına odaklanmaktadır. Bu odaklanma sonucunda, sistemin kısıtları kesin olarak belirlenebilmektedir. Kısıtlar Teorisi, analiz yöntemi açısından bir soru cevap tekniğidir. Kısıtların bulunması için her bir faaliyetin neden ve sonucunun incelenmesi, bu soru-cevap tekniğine dayanır. Çözüm yöntemleri içinde, araştırmacının her faaliyetin nedenini ve sonucunu bulmasını sağlayan bir yapı oluşturulmaktadır.

Bu yapıya “Beş Odaklanma Adımı” denir (Dettmer, 1997): (1) Sistemin kısıtlarını belirleyin, sistemin performansını neyin sınırladığını, yani en zayıf halkayı bulun. (2) Sistemin kısıtlarının nasıl kırılacağına karar verin, (3) Yukarıdaki karar dışındaki herşeyi ikinci plana atın, ilk adımda belirlenen kısıta odaklanın, (4) Sistemin kısıtını ortadan kaldırın, (5) Eğer bir kısıt kırıldıysa, 1. adıma geri dönün ve bir sonraki kısıt için işleme yeniden başlayın.

Kısıtlar Teorisinde kısıtı bulup sistemi geliştirmek için bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler “Mantıksal Düşünme Araçları” olarak tanımlanır ve CRT (Current Reality Tree – Mevcut Gerçeklik Ağacı), CRD (Conflict Resolution Diagram – Çatışma Çözüm Diyagramı), FRT (Future Reality Tree – Gelecekteki Gerçeklik Ağacı), PRT (Prerequisite Tree – Ön

Koşul Ağacı), TT (Transition Tree – Dönüşüm Ağacı) olarak sıralanabilir (Dettmer, 1997). Bu yöntemlerin detayları ve ele alınan probleme nasıl uygulandıkları sırası ile ikinci ve üçüncü bölümlerde ele alınmıştır.

Araç rotalama problemi (VRP) konusunda son yıllarda geniş incelemeler yapılmıştır. Çalışmaların çoğu, rotalama planlarının hazırlanmasında, tüm bilgilerin bilindiği, statik ve deterministik durumları incelemiştir. Birçok gerçek hayat uygulamasında, dinamik bilgiler rotalama planları yapılırken paralel şekilde oluşabilmektedir. Bilgilerin dinamik şekilde olduğu bu problem tipinde müşteri özellikleri planlama aşamasında bilinmeyebilir. Müşteri lokasyonunda servisin ne zaman başlayacağı, coğrafik konumları ve talep miktarları gibi bilgiler, acil istekte bulunmuş olan müşteri bilgileri (zaman pencereli) bu tür problemde göz önüne alınması gereken müşteri özellikleridir. Bu tür problemlerin planlanması, deterministik problem türünden farklı olarak, planlama aşamasında iki tür zorluk yaratmaktadır. Bunlardan birincisi sürekli değişimin söz konusu olmasıdır. Diğer zorluk yaratan faktör ise planlamanın yapılması gereken zaman aralığının kısa olmasıdır. Hizmet ağını genişletmiş firmalar, müşteri talep/istekleri oluşuktan çok kısa bir süre sonra, bu talepleri karşılayabilmektedir.

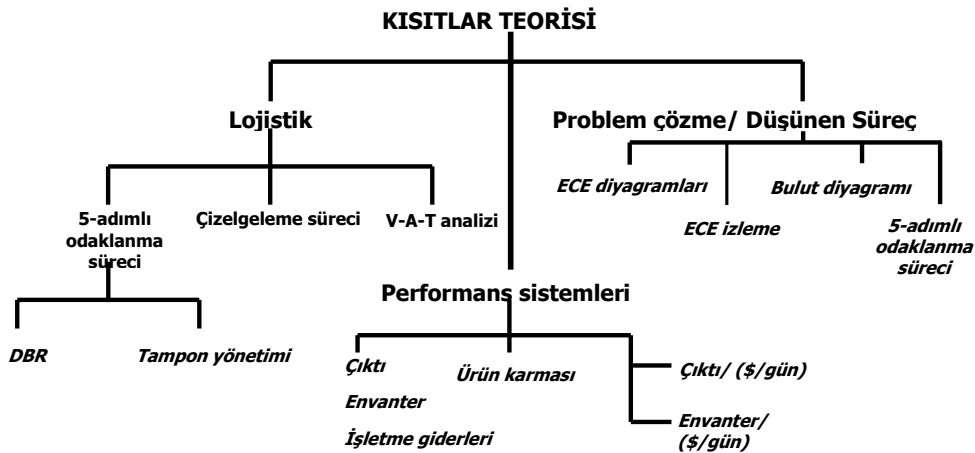
Bu çalışmada, bir bilişim firmasının müşterilerinin, bakım onarım faaliyetlerinin yürütülmesi sürecinin iyileştirilmesi amacıyla, dinamik araç rotalama probleminin (DVRP) bir çeşidi olan, Dinamik Tamirci Rotalama Problemi (DTRP) ele alınmıştır. Ayrıca literatürde dinamik araç rotalamayla ilgili çalışmalar incelenmiş, kullanılan yöntemler ve uygulandıkları problem türleri özetlenmiştir. Çalışmanın devamında, tamir-bakım faaliyetleri gerçekleştiren firmaların kullanabileceği bir yaklaşım, bakım-onarım faaliyetleri gerçekleştiren bir bilişim firması temel alınarak geliştirilmiştir. Buna göre, çok lokasyonlu bayi-şube ağına sahip bir bankanın bakım-onarım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde, firma ile yapılan sözleşmede belirlenmiş, öncelikli müdahale edilmesi gereken arıza tipleri de göz önüne alınarak, bir gün içerisinde oluşan arızaların minimum kaç elemanla çözülebileceği ve öncelikli arızalara müdahale performansları incelenmiştir. Bu problemin çözümü için, biri Genetik Algoritma ile geliştirilmiş üç sezgisel yöntem kullanılmıştır. Bu sezgisel yöntemlerden elde edilen sonuçlarla, hangisinin daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Üç farklı sezgisel, farklı tamirci sayıları ile çalıştırılmıştır. Ekibin günlük tamir performansları ve maliyetleri incelenmiş, birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Tüm bu sezgiseller “Java™ Platform, Standard Edition 6” platformunda kodlanmış, ayrı ayrı çalıştırılarak test edilmiştir.

2. KISITLAR TEORİSİ

Kısıtlar Teorisi, bir organizasyonun amaçlarına ulaşması için anahtar rol oynayan kısıtlarının belirlenmesi ve yönetilmesini vurgulayan bir yönetim felsefesidir. Herhangi bir sistemin performansının artırılması aşamasında, sistemin performansını en çok engelleyen unsurun bulunması, yönetilmesi ve ortadan kaldırılması konusunda oluşturulmuş yönetim felsefeleri, disiplinleri ve endüstrilere özel en iyi uygulamaları içeren bir teoridir. Kısıt Teorisi, sistemi bir zincir olarak düşünür ve her seferinde zincirin en zayıf halkasına (kısıta) ve onun bağlı olduğu sistem elemanlarına odaklanılmasını öngörür. Süreç iyileştirmede genel olarak kabul edilen iki varsayım vardır. Bunlar, i) Sistemi küçük parçalara bölerek iyileştirmek ve sonra iyileştirilmiş parçaları birleştirerek sistemin bütünü iyileştirmek, ii) Sistemin her kademesinin performansını en üstte tutarak, sistemin genel performansını en üst düzeyde tutmaktır. Kısıtlar Teorisi, tüme varım kuralı da denilebilecek bu varsayımların yanlış olduğunu savunur.

Kısıtlar Teorisinin ana fikri aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir:

- Her sistemin minimum bir kısıtı olmalıdır. Aksi takdirde kâr güden bir organizasyonun sınırsız kâr elde etmesi gerekmekte ve buna göre herhangi bir kısıt “bir sistemin amaçlarına ulaşma çabasından daha yüksek performans elde etmesini sınırlayan her şeye” denilebilmektedir.
- Kısıtların varlığı, iyileştirme fırsatlarının varlığını göstermektedir. Geleneksel görüşlerin aksine, Kısıtlar Teorisi kısıtlara pozitif açıdan yaklaşmaktadır. Kısıtlar, bir sistemin performansını belirlediği gibi sistemin kısıtlarının kademe kademe değerlendirilmesinde ve sistemin performansının iyileştirilmesinde önemli bir rol oynayacaktır.



Şekil 2.1 Kısıtlar teorisi araçları

2.1 Düşünen Süreçler

Her ilerleme (iyileşme) bir değişimdir. Ama her değişim bir ilerleme (iyileşme) değildir. Düşünen Süreçlerin (TP) amacı, insanlara, iyileştirme olarak da adlandırabilecekleri değişimleri yaratma ve uygulama için sistematik bir yaklaşım sağlamaktır. Düşünen Süreçler (TP) aşağıda verilen 3 temel sorunun cevaplanması için tasarlanmıştır: a) Neyi değiştirelim, b) Neye dönüştürelim, c) Değişime nasıl neden olalım.

2.1.1 Düşünen Süreçler (TP) ve 5 Uygulama Aracı

Gerçekte Kısıtlar Teorisinde (TOC) sadece iki Düşünen Süreç (TP) vardır. Bunlar; Yeterli Neden (Sufficient Cause- SC) ve Önemli Durum'dur (Necessary Condition-NC). Bu iki Düşünen Sürecin (Thinking Processes- TP) ise 5 uygulaması bulunmaktadır. Bunlar; Yeterli Neden (SC) için Mevcut Gerçeklik Ağacı (Current Reality Tree- CRT), Gelecek Gerçeklik Ağacı (Future Reality Tree- FRT), Dönüşüm Ağacıdır (Transition Tree). Önemli Durum (NC) için ise Buharlaşan Bulut (Evaporating Cloud- EC) ve Ön Koşul (Prerequisite Tree- PRT) Ağacıdır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Düşünen süreçler ve uygulama adımları

Yeterli Neden uygulama araçları (SC)	Önemli Durum uygulama araçları (NC)
Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT)	Buharlaşan Bulut (EC)
Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT)	Ön Koşul Ağacı (PRT)
Dönüşüm Ağacı (TT)	

Düşünen süreçler uygulama adımları sistem iyileştirme (geliştirme) için kullanılan -daha önce bahsi geçen- soruların cevaplanması için sistematik bir yaklaşım sağlar.

Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT), “neyi değiştirelim” sorusunu, Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT) ise “neye dönüştürelim” sorusunu cevaplar. Buharlaşan Bulut (EC) ise Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT) ve Gelecekteki Gerçeklik Ağacı (FRT) arasında paradigma dönüştürme aracı olarak kullanılır. Geçiş Ağacı (TT) “değişime nasıl neden olalım?” sorusunu cevaplar, Ön Koşul Ağacı (PT) ise Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT) ile Dönüşüm Ağacı (TT) arasında köprü vazifesi görür.

Bu 5 araç ilk kullandıkları zamandan beri değişim göstermişlerdir. Buna rağmen, bu düşünme süreçleri ve araçları zamana bağlı olmayan kavramlardır. Öğrenme kolaylığına sahip olmaları, büyük avantaj sağlamaktadır. Aynı zamanda, tüm bu araçlara ihtiyaç duyulmaması da

mümkündür. Zira bu araçlar en basit düşünme tekniklerinin temelini oluşturmaktadır.

Çizelge 2.2 Düşünen süreç araçlarının kullanım yeri

Araç	Ne zaman kullanılmalı?
CRT	Mevcut durumun tanımlanması
CCC EC	Gizli çatışmaların belirlenmesi ve çözülmesi
FRT NBT	İsteneni üreten faaliyetin üretilmesi Karar verilen faaliyetin negatif çıktıların tanımlanması
PRT	Engellerin ve onları aşmadaki en iyi yolların tanımlanması Başlıca temel taşların tamamlanması için gerek duyulan sıralamanın oluşturulması
TT	Bir takım faaliyetlerin uygulanması için adım adım direktiflerin oluşturulması
CLR	Yapının ve de ağaçların gözden geçirilmesini yöneten kuralların koyulması

2.1.2 Finansal Bileşenler

Kısıtlar Teorisi tarafından bir organizasyon için tanımlanmış olan temel finansal bileşenler aşağıdaki gibidir:

Çıktı (Throughput): sistemin satışlar sonucunda para oluşturmaya başladığı nokta. “Katma değer” kavramını açıklamak için kullanılan terim.

Envanter: sistemin çıktıya (throughput) dönüştürmek amacıyla harcadığı tüm para, satıcılara sistemimize girdi sağlamak için ödediğimiz para.

İşletme giderleri: sistemin envanteri çıktıya (throughput) dönüştürmek için harcadığı tüm para. İşletme giderleri -tüm maaş giderleri ve faiz giderleri, vergiler, kiralar ve sigorta gibi şirketin işletilebilmesi için harcanması gereken paradır. Bu paraya sistemin kendine harcadığı para olarak da bakılabilir.

2.1.3 Kısıt Sınıflandırması

Kısıt, bir sistemin amacına ulaşmada daha yüksek performans göstermesine engel olan her şey olarak tanımlanabilir.

Kısıtlar üç ana başlık altında toplanabilir. Fiziksel, politika ve paradigma. Bu üç kısıt herhangi bir sistemde herhangi bir anda var olabilir ve birbiriyle ilişkilidir. Paradigma kısıtı politika kısıtına, politika kısıtı da iyi yönetilmeyen ya da yanlış konumlandırılan fiziksel kısıta sebep olur.

Fiziksel kısıt:

Goldratt, Amaç (The Goal) kitabında fiziksel kısıtın yönetimine odaklanan beş adımlık bir iyileştirme sürecinden bahsetmektedir.

Beş odaklama adımı:

1. Sistem kısıtlarının tanımlanması ve de amaç üzerindeki etkilerine göre önceliklendirilmelerinin yapılması gerekir.
2. Sistem kısıtlarının nasıl ortaya çıkarılacağı kararının verilmesi. Sistem içerisindeki fiziksel kısıtların etkili çalışması için çizelgelenmesi gerekir. Aksayan politika kısıtlarının ise ortadan kaldırılması ya da değiştirilmesi gerekir.
3. Kısıtların tükettiği her şey kısıt olmayan diğer şeylerdir. Bunların kontrol altına alınması gerekir. Bu nedenle bunların kısıtın etkinliğini en çoklayacak şekilde ayarlanması gerekir.
4. Sistem kısıtı olan şeyleri arttırın. Böylece bu artış nedeniyle bir noktada kırılım gerçekleşecek ve bu kısıt artık kısıt olmaktan çıkacaktır. Bunun sonucunda sistem yeni bir kısıt ile karşılaşacaktır.
5. Eğer bir önceki adımda bir kısıt kırılabilirdiyse, birinci adıma geri dönmelidir ama sistemde yeni bir kısıt oluşumuna neden olmayacak şekilde hareket edilmelidir.

Politika ve paradigma kısıtları

Politikalar bir işletmenin iş yapış şekillerini yöneten kurallar ve ölçütlerdir. Politikalar fiziksel kısıtların yerini belirlerler ve nasıl yönetildiklerini ya da yönetilmediklerini gösterirler. Politikalar işletmenin hizmet verdiği pazarı tanımlar, satıcılardan nasıl alım yapıldığını belirlerler.

Politika Kısıtları (Yönetmelik Kısıt):

İşletmenin gelişmesine ve iyileşmesine izin vermeyen kural ve ölçütlerdir. Politikalar (yazılı veya sözlü) işletmedeki insanların oluşturduğu kavramlardır. Kurallar ve ölçütler, işletmelerde çalışanların daha rahat karar alabilmesi ve işletme için iyi sonuçlar getirecek faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi düşüncesi ile koyulur.

Paradigma Kısıtı (Davranışsal Kısıt):

Politikaları benimsememize, takip etmemize ve geliştirmemize sebep olan inanç ve varsayımlarımızdır. Eğer ele alınan politika kısıtları ise ki bunların tespiti zordur ve fonksiyonel alanların işbirliğini gerektirir, o zaman düşünen süreçlerden yardım alma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Eğer devam eden iyileştirme sürecinin etkin olmasını bekliyorsak aşağıdaki 3 soruya cevap vermemiz gerekir.

Çizelge 2.3 Düşünen süreç araçlarının kullanım yerleri

Jenerik Soru	Amaç	DS Araçları
Neyi değiştirelim?	Ana problemin yerini belirlemek	Temel anlaşmazlık bulutu (CCC) Mevcut Gerçeklik ağacı (CRT)
Neye dönüştürelim?	Basit ve pratik çözümler üretmek	Buharlaşan Bulutlar (EC) Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT)
Değişime nasıl neden olalım?	Uygun insanları bunu sağlayacak çözümler bulmaya ikna etmek	Ön Koşul Ağacı (PT) Dönüşüm Ağacı (TT)

- **İki ön koşul**

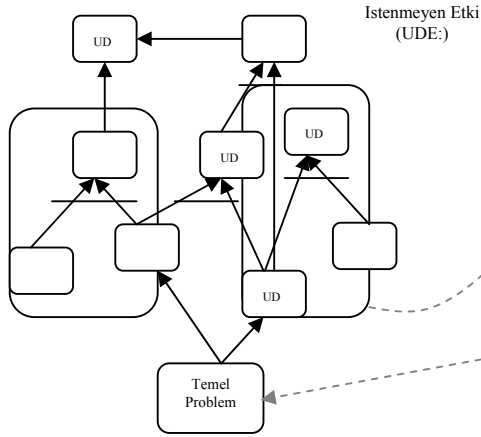
1. Sistem ve amacının tanımlanması,
2. Sistemin temel ölçülerinin belirlenmesi,

Organizasyonların yaşayan sistemler ile ilişkilendirilmesi çalışmasında organizasyonel gelişme için birbiriyle bağlantılı üç boyut olduğuna dikkat çekilmiştir. Çalışanların organizasyonun sakinleri ve geliştiricileri olduğu gerçeğinin farkında olarak Wheatley aşağıdaki üç boyutu önermiştir; a) amacın netleştirilmesi, b) ilişkilerin kalitesi, c) bilgi akışı.

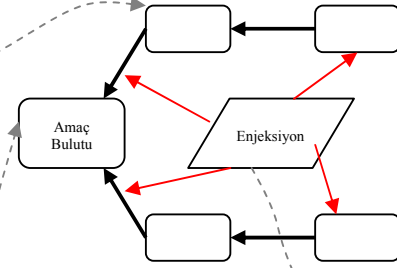
Eğer kişiler ortak amaçlarının netliğini birlikte arttıırırlarsa ilişkileri gelişir. İlişkileri gelişirse bilgi akışının gerçekleşebileceği kanalları çok daha fazla açarlar. Böylece ilişkiler gittikçe artacak ve amaç daha da net ve açık hale gelecektir.

Bu nedenle geliştirmeye çalıştığımız sistemin ne olduğunu, sistemin amacının ne olduğunu ve küresel ölçütlerin ne olduğunu net bir şekilde ortaya koymamız gerekir. Bu soruların cevaplanması, geliştirme çabalarında, sistem yaklaşımının ve odak noktasının kaybedilmemesini sağlar.

1. Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT):
(Mevcut Durum)
Sistemdeki problem nedir?

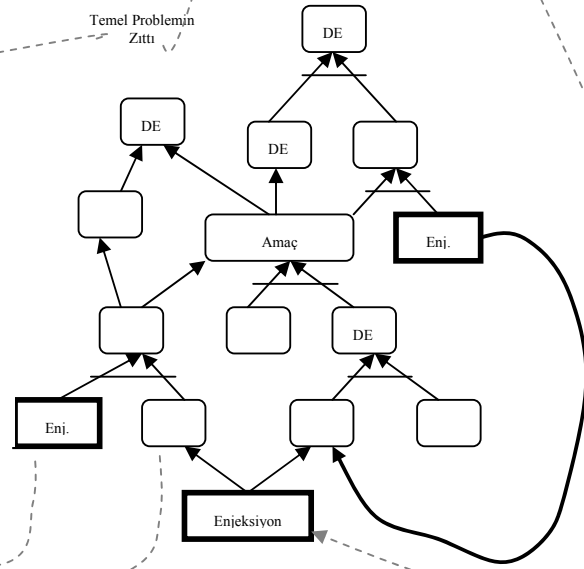


2. Buharlaşan Bulutlar (EC):
(Neye dönüştürelim?-I)
Sorunun çözülmesini ne engelliyor?

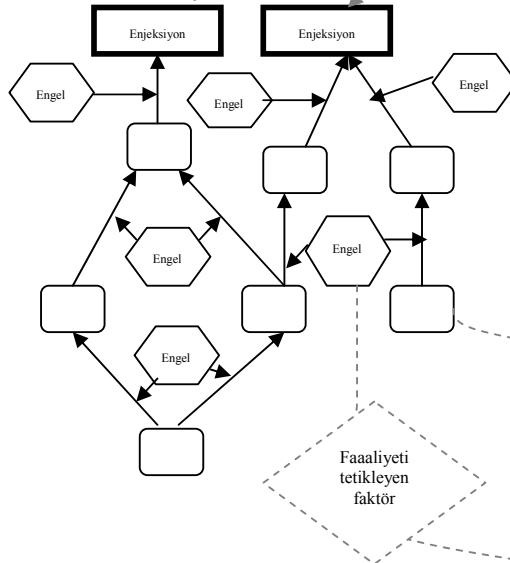


3. Gelecek Gerçeklik Ağacı:
(Neye dönüştürelim?-II)
(Future Reality Tree)
Enjeksiyon başka bir istenmeyen etkiye(UDE) neden olmadan tüm istenen etkilere ulaştıracak mı?

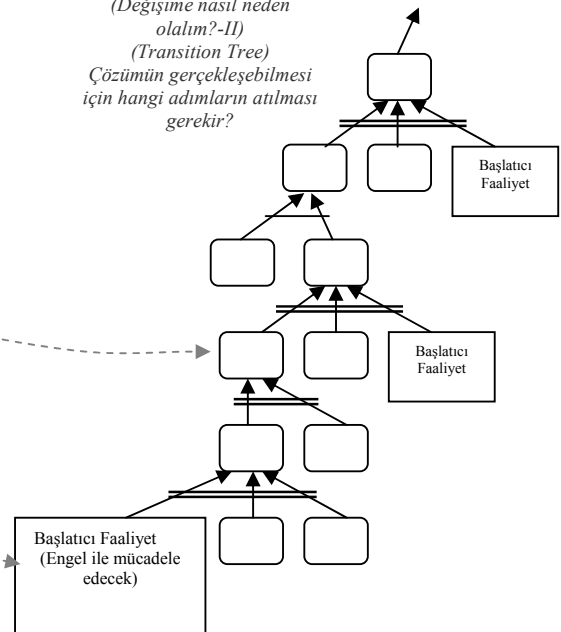
DE: istenen etki, UDE istenmeyen etkinin tersi



4. Önkoşul Ağacı:
(Değişime nasıl neden olalım?-I)
Enjeksiyonun uygulanmasına ne neden olmaktadır?



5. Dönüşüm Ağacı:
(Değişime nasıl neden olalım?-II)
(Transition Tree)
Çözümün gerçekleşebilmesi için hangi adımların atılması gerekir?



Şekil 2.2 Düşünen süreçler yol haritası

2.2 Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT)

2.2.1 İstenmeyen Etkilerin (UDE) Belirlenmesi

1. Yapılacak analizin kapsamının belirlenmesi:

Alan istediğiniz kadar geniş veya dar kapsamlı olabilir. Ama kapsamı sadece incelemek istediğiniz alanla sınırlandırmanız, çözüm bulmak ve uygulamak istediğiniz konuya odaklanmanızı kolaylaştıracaktır. Böylece gerçekliğinden şüphe etmediğiniz bir konuyla ilgilenmiş olursunuz. Sistemi, kısıtlarını amacını, varlık nedenini, başarı faktörlerini, oluşturacağınız gerçeklik ağacının size hangi konuda yardımcı olacağını, problem/güçlü yanlar/sistemin itici gücünü mü araştırdığınız gibi konuları irdelemeniz gerekir.

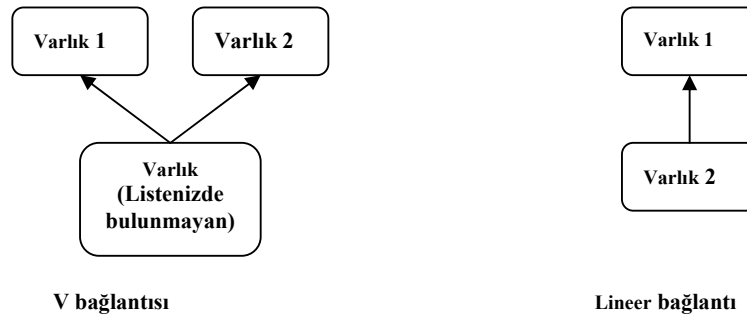
2. Varlıkların listelenmesi.

Bu liste size yapacağınız inceleme için başlama noktası sağlayacaktır. Daha sonra süreç içerisinde ilgili varlıkları ekleyebilirsiniz.

3. Bu varlıklar arasındaki neden-sonuç-neden ilişkisi diyagramının oluşturulması.

Listenizde yeterli neden ilişkisi içerisinde olmanın yanı sıra aşağıdaki iki koşulu sağlayan iki varlığı belirledikten sonra Şekil 2.3'teki gibi ilişki diyagramını oluşturun.

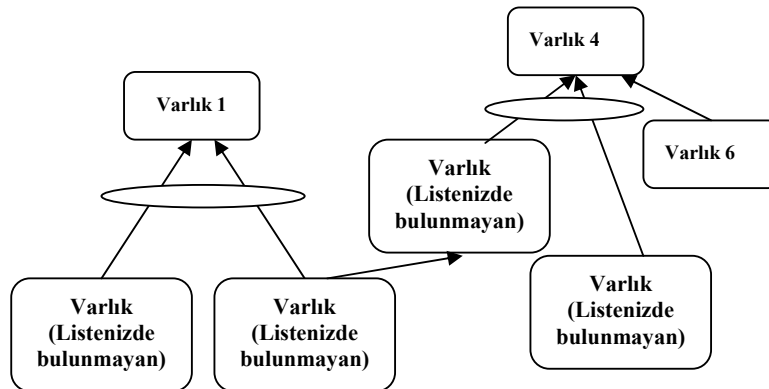
Belirlediğiniz her iki varlığa sebep olan genel bir nedeni gösteren “V bağlantısı” olarak adlandırılan ilişki.



Şekil 2.3 Bağlantı tipleri

Belirlediğiniz varlıklardan birinin diğerinin nedeni olduğu “lineer bağlantı” olarak adlandırılan ilişki.

İlk bağlantıyı sorgulama koşulları ile (legitimate reservation) inceledikten sonra diyagramınız Şekil 2.4'teki gibi bir hal alacaktır.



Şekil 2.4 Varlıkların ağaçta yerleştirilmesi örneği

Listenizdeki diğer varlıkları diyagramınızdakiler ile karşılaştırın. Listenizdeki tüm varlıklar diyagramınızla ilişkilene kadar bu çalışmaya devam edin.

4. Netlik ve tamlik açısından değerlendirme:

Eğer incelediğiniz konu, temel problemin belirlenmesi ise diyagramınızda yer almayan istenmeyen etkileri bulmaya çalışın. Eğer tam tersi, işletmenin güçlü noktaları bulunmak isteniyorsa, istenen etkiler üzerine çalışılmalıdır. Eğer sistemi, itici faktörleri üzerinde inceleme yapılıyorsa, iyi yanı sıra problemli etkiler üzerine çalışılmalıdır. Ayrıca diyagramınızda eksik noktaları tespit edip tamamlamaya çalışınız.

5. Temel nedenlerin belirlenmesi:

Diyagram tamamlandıktan sonra listenizde bulunan varlıkları takip ederek sisteme mükerrer girişleri tespit etmek ve bunlardan elimine edilebilecek ve birleştirilebilecekleri bulmak gerekmektedir.

2.2.2 Buharlaştırma Bulutu (EC)

Buharlaşma Bulutları (EC) düşünen süreçlerin en sık kullanılan aracıdır. Bunun nedeni kullanımı en kolay araç olması olabilir. Bulutun sadece beş varlığı vardır ve başlangıç noktasından nihai noktaya ulaşım çok kısa bir süre almaktadır. Bu araç

anlaşmazlıkların çözümlenmesinde kullanılmaktadır. Bulut bir anlaşmazlığı beşli bir ilişki grubu olarak görür (Şekil 2.5).

ok #1 varlık B' nin varlık A için gerekli bir durum olduğunu algılar.

ok #2 varlık C' nin de varlık A için gerekli bir durum olduğunu algılar.

ok #3 varlık D' nin varlık B için gerekli bir durum olduğunu algılar.

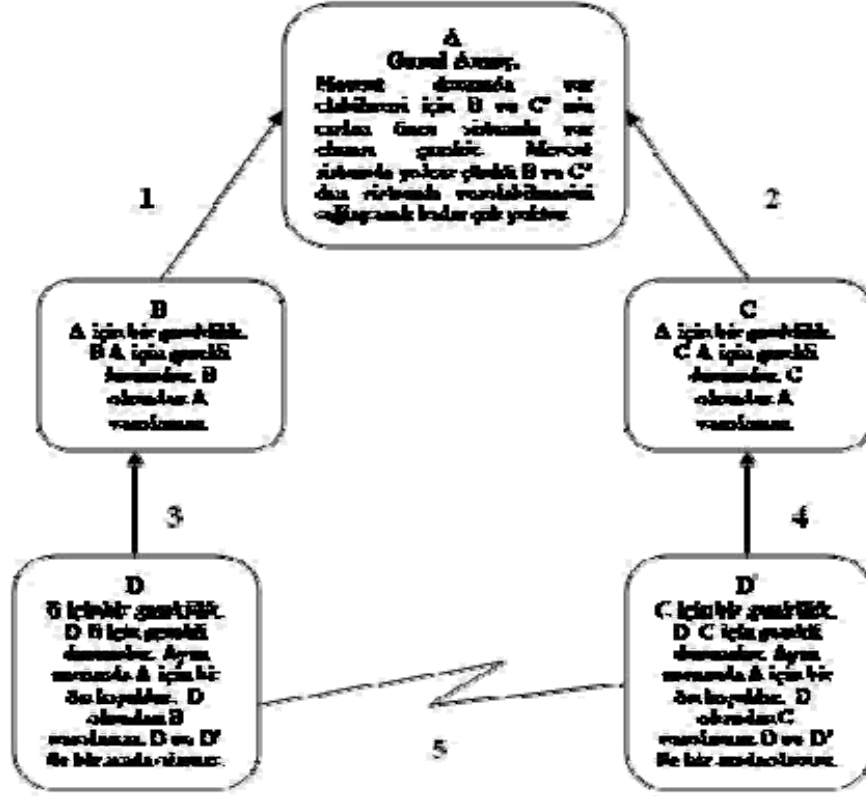
ok #4 varlık D'nin (bazen E olarak kullanılır) varlık C için gerekli bir durum olduğunu algılar.

ok #5 D ve D'nin birbiriyle çatışma olduğunu ve aynı sistem içerisinde var olamayacaklarını belirler.

Buharlaştırma Bulutu (Evaporating cloud) süreç adımları

EC sürecinin başlıca adımları aşağıdaki gibidir:

- Problemi açık bir şekilde ifade edin ve bulut diyagramını çizin.
- Gerekli durum düşünen prosesini uygulayarak her bir ok için varsayımları ortaya çıkarın ve potansiyel çözümleri belirleyin.
- Yerine getirmek için bir enjeksiyon seçin.



Şekil 2.5 Anlaşmazlığın beşli ilişkisi grubu
(Scheinkopf, 1999)

2.3 Çelişki Çözüm Diyagramlarının (CRD) Oluşturulması

Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD), bir çelişki durumunun tüm elemanlarını belirlemek ve göstermek amacıyla kullanılan bir yeterlilik durumudur. Diyagram sistemin amacını, amaca götüren, gerekli ama tam olarak yeterli olmayan gereksinimleri ve gereksinimleri memnun eden çelişkili ön koşulları içermektedir. Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD), geçerli kabul edilmiş varsayımların, sorgulanabilir olduklarını, gizli çelişkiyi tartışmaya sunarak, tekrar ortaya çıkarmaktadır. Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD) ile oluşturulan fikirler büyük ve karmaşık problemlerin çözümünde kullanılabilir. Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD), Düşünen Süreçler Akışındaki yeri, Şekil 2.14'te gösterilmiştir.

Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD) aşağıdaki amaçlara ulaşmaya çalışır;

- Çelişkinin gerçekten var olduğunu teyit edilmesi,
- Önemli bir problemin süregitmesine neden olan çelişkinin bulunması,

- Çelişkinin çözümlenmesi,
- Uzlaşmadan kaçınılması,
- Çelişkinin her iki tarafının lehine çözümler bulması,
- Problemlere yeni çözümler bulunması,
- Problemin neden var olduğunun derinlemesine açıklanması,
- İlişkileri çelişkili kılan ve problemlere neden olan varsayımların belirlenmesi (Dettmer, 1997).

Çelişki Çözüm Diyagramlarının (CRD) Elemanları:

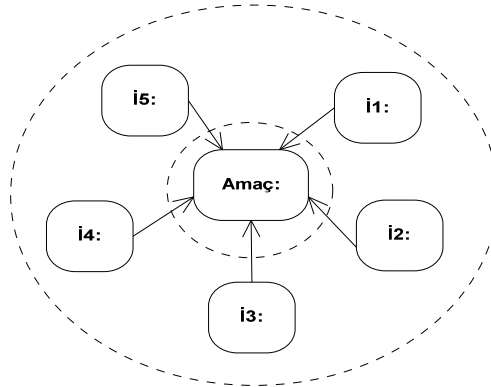
Tipik bir Çelişki Çözüm Diyagramı (CRD), yedi elemandan oluşmaktadır.

Amaç:

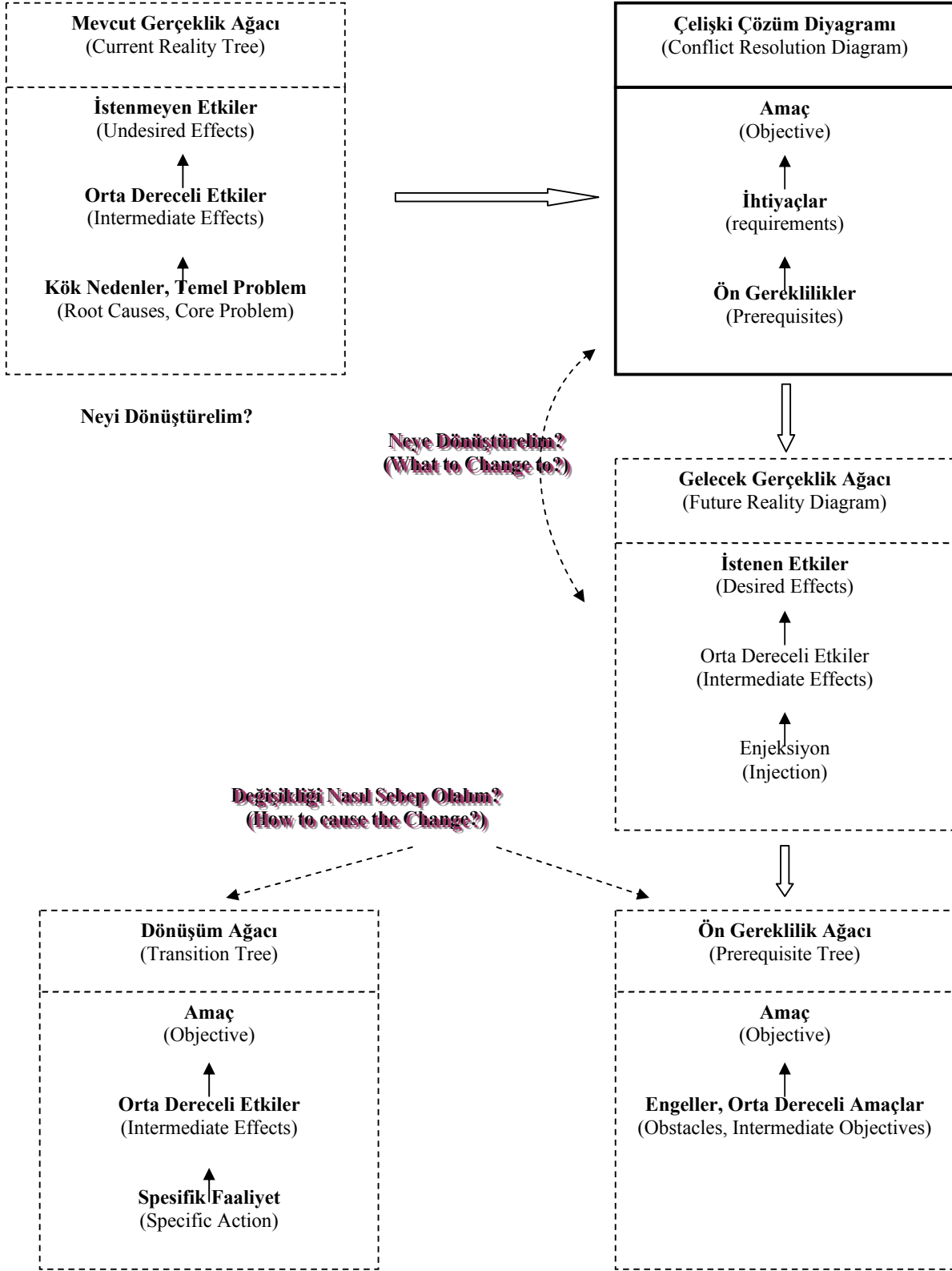
Bir Çelişki Çözüm Diyagramının (CRD) amacı, temelde genel bir amaçtır. Bir görüşmede, her iki taraf belirli konularda başarılı olabilir ama görüşüyor olmaları için temel bir neden vardır. Örneğin çalışan ve yönetim temelde başarılı bir firma isterler, çünkü bu her iki tarafında lehinedir. Yani ortak bir amaçları vardır.

İhtiyaçlar

Bir ihtiyaç (İ), amaca ulaşabilmek için tatmin edilmesi gereken, gerekli koşuldur. Her bir ihtiyaç amaca ulaşmak için gereklidir ama yeterli değildir. Bu ihtiyaçlardan fazlaca olabilir ve bu ihtiyaçlar arasında herhangi bir çelişki görülmeyebilir (Şekil 2.7).



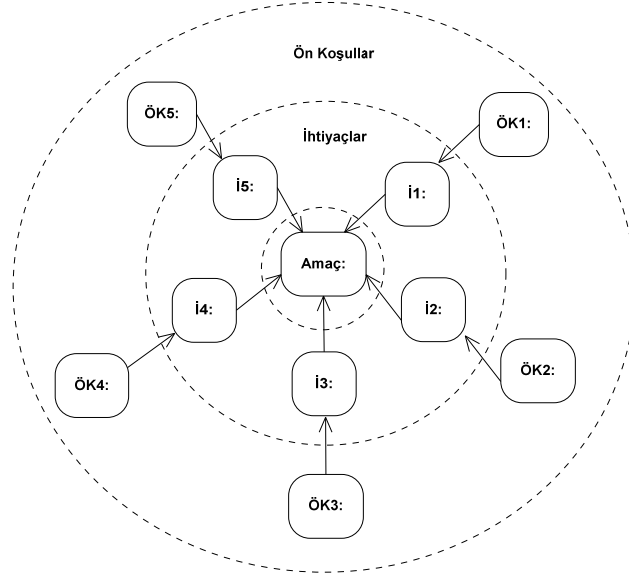
Şekil 2.6 Amaca ulaşmak için gerekli ihtiyaçlar
(Dettmer, 1997)



Şekil 2.7 Düşünen süreçler akış şeması- çatışma çözüm diyagramı (Dettmer, 1997)

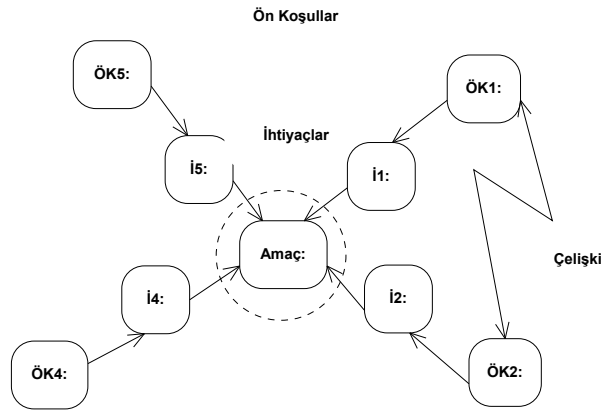
Ön Koşullar

Gerekli şartların veya ihtiyaçların tatmini bir takım faaliyetlerin gerçekleşmesini gerektirir. Bu spesifik faaliyet Ön Koşul (ÖK) olarak adlandırılır (Şekil 2.8). Çünkü ihtiyacın karşılanması için gerekli bir koşuldur.



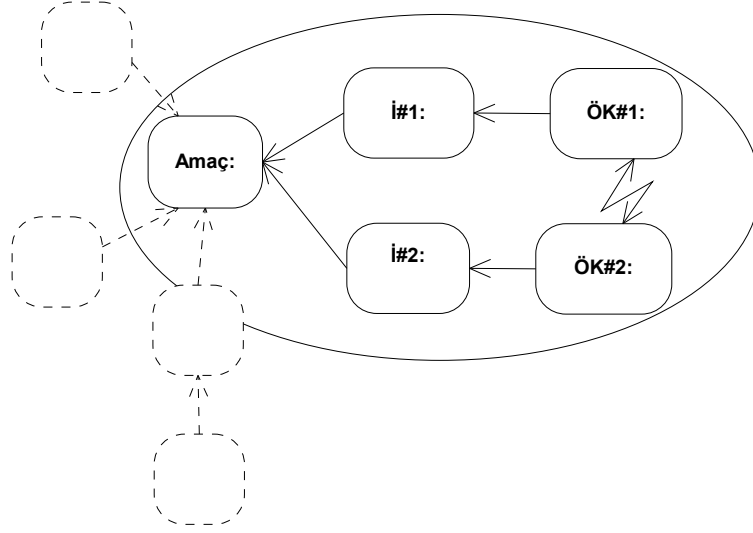
Şekil 2.8 İhtiyaçlara ulaşmak için gerekli ön koşullar
(Dettmer, 1997)

Çelişkiler genelde ön koşul aşamasında oluşurlar (Şekil 2.9). Tüm ön koşullar çelişmesede iki üç tanesi çelişebilir. Bu sayı, destekledikleri ihtiyaçların tatmini için, ilgili yapının kurulması açısından yeterlidir.



Şekil 2.9 Çelişen ön koşullar
(Dettmer, 1997)

Oluşturulan Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD) Şekil 2.9'daki bize bütünü gösteren çoklu ihtiyaç ve ön koşul ağından oluşmuş olabilir ama çözüme gidebilmek için Şekil 2.10'daki yapıya ihtiyaç duymaktayız.



Şekil 2.10 Çelişki çözüm diyagramı (CRD)
(Dettmer, 1997)

2.4 Gelecek Gerçeklik Ağacının (FRT) Oluşturulması

Adından da rahatlıkla anlaşılabilirdiği gibi Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT) geleceği ön görme amacıyla kullanılan bir araçtır. Geleceği öngörebilmek amacıyla her gün çeşitli tahminler yaparız. Bazen bu öngörüler çok da doğru ve tam olmamaktadır. Eğer bu konuda biraz daha düşünmeye vakit ayıracak olsak çok daha doğru ve tam öngörüler yapabilir hale gelebiliriz. Gelecek Gerçeklik Ağaçları (FRT) bize bu konuda yardımcı olan araçlardır ve içinde yer aldığımız sistemin değişimiyle ilgili olarak bize daha fazla şey öğrenme imkânı verir. Gelecek Gerçeklik Ağacının (FRT) Düşünen Süreçler akışındaki yeri Şekil 2.12'de verilmiştir.

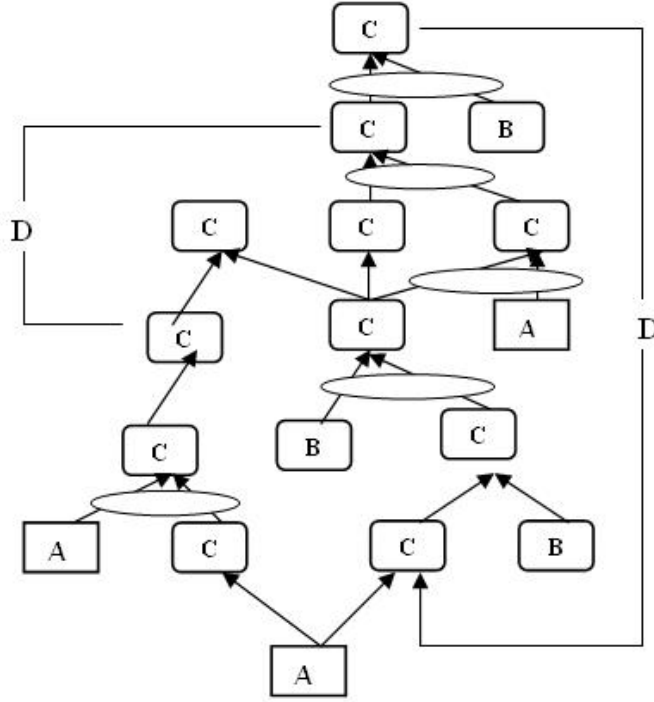
Gelecek gerçeklik diyagramları Şekil 2.11'de de gösterildiği gibi dört ayrı kısımdan oluşmaktadır.

A. Enjeksiyonlar: ağaca giriş yapan elemanlardır. Sistemin mevcut gerçekliğinde var olmayan elemanlardır. Diyagramdaki diğer varlıklardan köşeli yapıları ile ayrıştırılırlar.

B. Varlıklar: sistemin mevcut durumunda var olan şeylerdir. Gelecek gerçeklik diyagramında bu tür varlıklar genelde giriş noktasıdır ve ağacın gövdesinde bulunmaz.

C. Sistemde var olmayan varlıklar: sistemde var olan varlıklar enjeksiyonlar ile birleştğinde gelecekte sistemde var olacağı öngörülen varlıklar ortaya çıkar.

D. Pekiştirici döngüler: bu döngüler genelde gelecek gerçeklik sisteminde gelişmenin sürekli ve kuvvetlendirilmiş bir biçimde devamını sağlamak için vardır.



Şekil 2.11 Gelecek gerçeklik ağacı (FRT) bileşenleri
(Scheinkopf, 1999)

2.4.1 Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT) Kullanım Yerleri

Düşüncelerimizi neden-sonuç-neden ilişkileri çerçevesinde ilişkilendirmemiz gerektiğinde ve bu ilişkilendirmenin kaçınılmaz sonuçlarını bilmemiz gerektiğinde Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT) araç olarak kullanılmalıdır. Gelecek Gerçeklik Ağacının (FRT) genel uygulama alanları aşağıdaki gibidir:

- Değişim gerçekleştirmek için ne uygulamanız gerektiğine karar veremediyseniz,
- Uygulamadan önce bir fikrin potansiyel etkilerini incelemek istediğinizde,
- Fikrinizin ulaşabilirim dediği sonuca gerçekten ulaşıp ulaşamayacağını görmek istediğinizde,
- Tüm amaçlara ulaşılabilmesi için başlangıç fikrinin yanı sıra başka nelerin uygulanması gerektiğini anlamak için,
- Bir fikrin istenmeyen sonuçlara neden olabileceği düşünülüyor ise.

2.4.2 Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT) Süreç Adımları

1. ağacın temelini tanımlayınız.

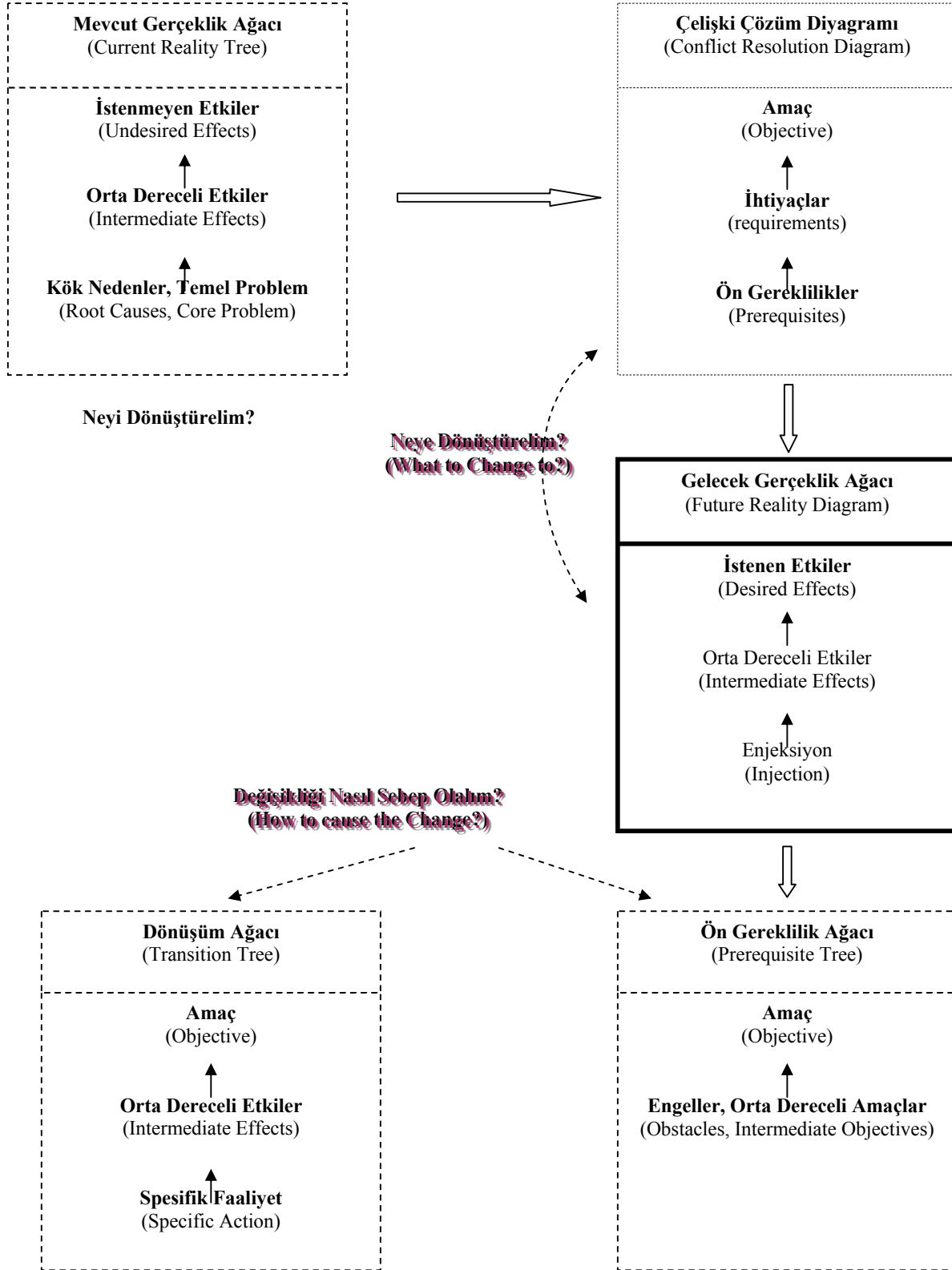
- enjeksiyonun tanımlanması (fikir).*
- enjeksiyonun amaçlarının tanımlanması.*
- enjeksiyonun potansiyel istenmeyen sonuçlarının belirlenmesi.*

2. neden-sonuç-neden ilişkilerinin tanımlanması.

- enjeksiyonun amaçlara ilişkilendirilmesi için yeterli neden düşüncesinin kullanılması.*
- enjeksiyonun istenmeyen sonuçlarının bulunması ve engellenmesi için yeterli neden düşüncesinin kullanılması.*

3. çözümün bulunması.

- ek etkilerin bulunması.*
- güçlendirici döngülerin eklenmesi.*



Şekil 2.12 Düşünen süreçler akış şeması-gelecek gerçeklik ağacı
(Dettmer, 1997)

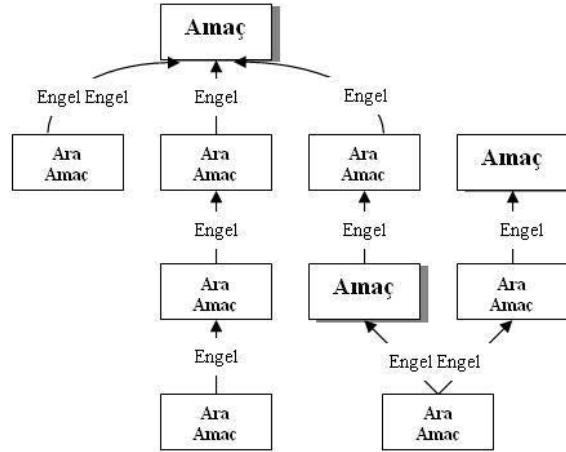
2.5 Ön Koşul Ağacının (PRT) Oluşturulması

Önkoşul Ağacı (PRT) amacımıza ulaşma yolunda karşımıza çıkacak engelleri belirlemede ve onları aşmada yardımcı olur. Ön Koşul Ağacının (PRT) Düşünen Süreçler akışındaki yeri Şekil 2.14’de verilmiştir.

Ön koşul ağacının bazı uygulama alanları aşağı gibidir:

- Proje planlama
- Uygulama planlama
- Kişisel gelişim planları
- İş süreçleri geliştirme ve tanımlama
- Pazarlama stratejileri
- Organizasyonel stratejiler

Ön Koşul Ağacı (PRT) amaçlara ulaşmada ihtiyaç duyulan gerekli durum ilişkilerini tanımlar. Diyagramda yer alan tüm varlıklar gerekli durum kuralları kapsamındadır ve aşağıdaki gibi adlandırılır (Şekil 2.13):



Şekil 2.13 Ön koşul ağacı diyagramında yer alan varlıklar
(Scheinkopf, 1999)

Amaç: amaçlar Ön Koşul Ağacının (PRT) hedeflerini tanımlayan varlıklardır. Bunlar ön koşul ağacındaki tüm varlıkların bir araya gelerek sistem için elde etmeye çalıştığı şeylerdir.

Ara amaç: nihai amaca ulaşma yolunda, varılması gereken ara hedefleri gösteren

varlıklardır. Her ara amaç, bir engelin üstesinden gelebilmek amacıyla gerekli durum haline gelerek diyagram içerisinde yerini alır.

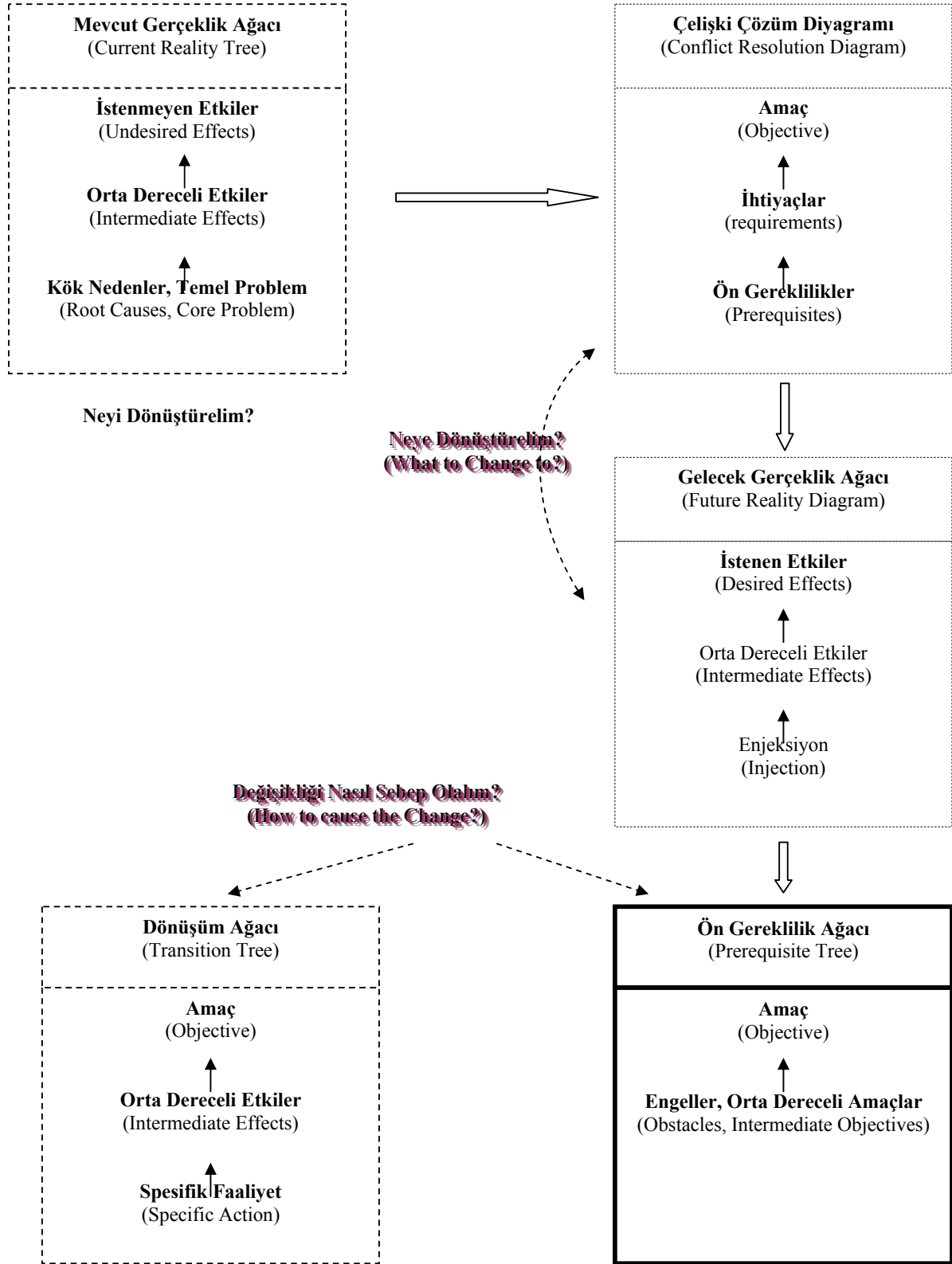
Engel: her bir ok ara amaç ve nihai amaçlar arasındaki gerekli durum ilişkisini tanımlar. Bu da, okun altındaki amaç ya da ara amacın okun ucundaki amacın var olabilmesi için sistem içerisinde var olabilmesi gerektiğini gösterir. Varsayımın arkasında var olan bağımlılık ise okun kendisi ile gösterilmektedir. Engel bir şekilde aşılmadığı sürece amaca ulaşamayacaktır. Engeller şimdiki gerçeklik içerisinde var olan varlıklar olarak ifade edilmektedirler.

Eğer bir işin nasıl yapılacağı hakkında hiç bir şüphemiz yoksa o zaman Ön Koşul Ağacına (PRT) ihtiyaç duymadan direkt faaliyetleri uygulamaya başlayabiliriz.

2.5.1 Ön Koşul Ağacı (PRT) Süreç Adımları

Ön Koşul Ağacı (PRT) sürecinin başlıca adımları şunlardır:

1. Ön koşul ağacının amacını belirleyin.
 - a. *Ön Koşul Ağacı için terimleri belirleyin.*
 - b. *Ön Koşul Ağacı için amaçları tanımlayın.*
2. Her bir amaca ulaşmada karşılaşılabilecek engelleri ve onları aşmak için gerekli olacak ara amaçları listeleyin.
 - a. *Her bir amaca ulaşmada karşılaşılan engelleri listeleyin.*
 - b. *Her bir engel için ara bir amaç belirleyin.*
3. Ara amaçların uygulama sırasını gösteren haritayı oluşturun.
 - a. *Birbiriyle zamansal bağı olan iki ara amacı belirleyin.*
 - b. *Aralarındaki ilişkiyi gerekli durum ilişkisi olarak diyagramlayın.*
 - c. *Diyagramladığınız ilişkiyi gerekli durum düşüncesi ile irdeleyin.*
 - d. *Diyagram içerisinde başka ara amaçlarla zaman ilişkisi olduğunu gördüğünüz başka bir ara amacı seçerek aynı incelemeyi gerçekleştiriniz.*
 - e. *Zamansal ilişkisi olduğunu düşündüğünüz tüm ara amaçları eleyerek amaçların birbiri ile ilişkisinin kalmamasını sağlayınız.*
 - f. *Geriye kalan varlık ve amaçları birbiri ile ilişkilendirerek biraraya getiriniz.*
 - g. *Eğer gerekli ise tüm giriş noktalarının uygulanabilir olduğunu kontrol ediniz.*
4. Uygulayın.



Şekil 2.14 Düşünen süreçler akış şeması-ön gereklilik ağacı (Dettmer, 1999)

2.6 Dönüşüm Ağacının (TT) Oluşturulması

Dönüşüm Ağacı (TT), faaliyet planı oluşturmak amacıyla kullanılan yeterli neden diyagramıdır. Geçiş Ağacı (TT) aşağıda detayları verilen dört tip varlıktan oluşmaktadır (Şekil 2.15):

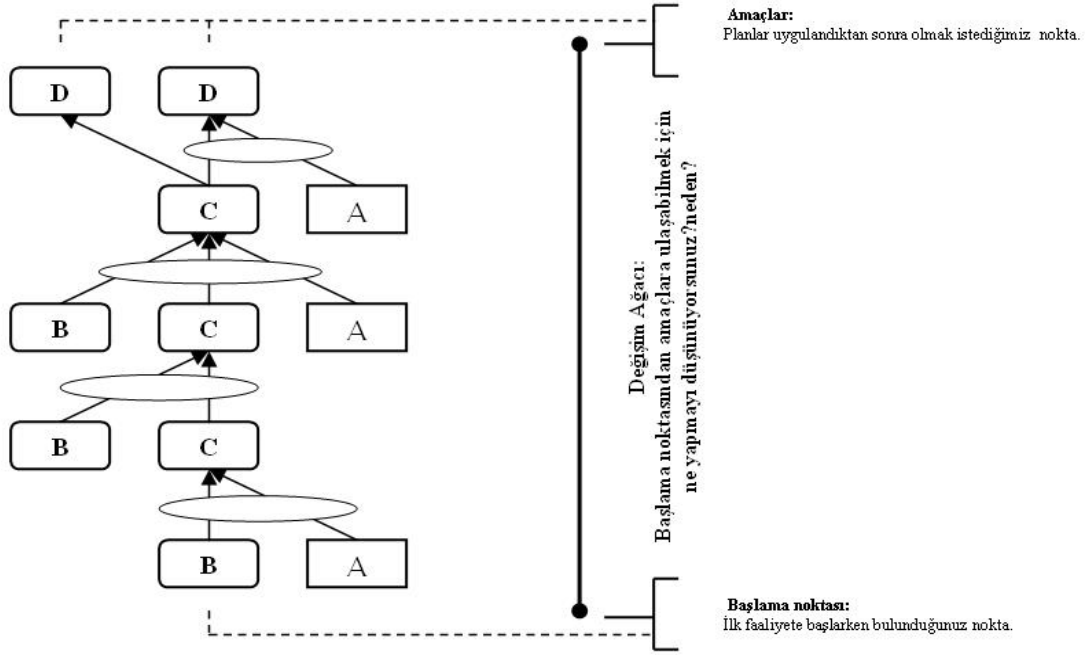
- A. Enjeksiyonlar birer faaliyettir. Planın yürütülebilmesi için yapılması gereken şeylerdir.
- B. Mevcut durumda var olan varlıklar ağaç içerisinde yer alırlar. Herhangi bir faaliyet planı oluşturulurken mevcut durumun çok iyi bir şekilde ortaya konmuş olması gerekir.
- C. Gelecekte var olacak varlıklar ise uygulanan faaliyetler ve bağlaçları ile biraraya getirilen şimdiki ve gelecekteki durumların biraraya gelmesinin sonucudur.
- D. Faaliyet planının amaçları faaliyetlerin uygulanması sonucunda ortaya çıkan durumlarla elde edilir.

Dönüşüm Ağacı (TT), şimdiki gerçeklik ağacındaki mevcut durumlardan gelecekte olmasını istediğimiz farklı durumları yaratacak süreci tasarlamak için kullanılır. Dönüşüm Ağacı (TT) ile belirli adımlar (faaliyetler) tanımlanarak mevcut gerçeklik (malzemeler) belirli bir gelecekteki gerçekliğe (amaçlar) dönüşüm yapılması sağlanır. Aynı zamanda bu dönüşümlerin ne olduğu da sözle ifade edilebilir hale getirilir. Dönüşüm Ağacını (TT) bir uygulama planı ya da yürütme planı oluşturmak istediğinizde ya da yapmak istediğiniz işle ilgili fikirleriniz varsa kullanabilirsiniz.

Bazı durumlarda atandığımız bir işle ilgili olarak ulaşmak istediğimiz amaca nasıl ulaşacağımız ile ilgili hiç bir fikrimiz olmayabilir. Böyle bir durumda Dönüşüm Ağacından (TT) önce Ön Koşul Ağacı (PRT) kullanılır. Ön Koşul Ağacı (PRT) amaca ulaşmamızda karşılaşacağımız engellerin belirlenmesi ve sözel hale getirilmesinde yardımcı olur.

Aşağıda Dönüşüm Ağaçlarının (TT) kullanıldığı yerlere örnekler verilmiştir:

- ✓ Bir konuşma, seminer ya da workshop akışının düzenlenmesi
- ✓ Bir müşteri ile yapılacak toplantının planlanması
- ✓ Stratejik planların uygulanması için yapılması gereken belirli faaliyetler ile ilgili alınması gereken kararlarda.



Şekil 2.15 Dönüşüm ağacının (TT) varlık tipleri
(Scheinkopf, 1999)

2.6.1 Dönüşüm Ağacı (TT) Sürecinin Genel Adımları

Dönüşüm Ağacının (TT) Düşünen Süreçler akışındaki yeri Şekil 2.16'da verilmiştir. Dönüşüm Ağacının (TT) genel adımlarını detaylandırmadan önce iki önemli noktaya değinmeliyiz.

- Varlıkları şimdiki zaman kipinde cümle halinde dile getiriniz.

Şimdiki zaman kipi sizin mevcut durumu algılamanızda kolaylık sağlayacağı gibi gelecek zaman kiplerinin diyagramınızı karmaşık ve kafa karıştırıcı bir hale getirmesini engelleyecektir.

- Belki, mümkün gibi çekinik ibareler kullanmaktan kaçınınız.

Belki gibi ibareleri kullanmak durumunda olduğunuzu hissettiğinizde nedensellik sorgulamasına gitmeniz gerektiğinin farkına varmalısınız. Böylece kullanacağınız enjeksiyonları ve kuracağınız varsayımları netleştirmeyi ve diyagramınızın güvenilir olmasını sağlayacaksınız.

Değişim ağacının genel adımları aşağıdaki gibidir:

1. Değişim ağacının kapsamını belirleyiniz.

Bu adımda ağacın başlangıç elemanlarını tanımlıyor olacaksınız.

- b. Değişim ağacı için terimlerin belirlenmesi.
- c. Değişim ağacının hedef(ler)ini belirleyin. Değişim ağacının hedef(ler)i genelde düşünen proseslerin diğer uygulama araçlarından gelmektedir. Bunlar:
 - Gelecek gerçeklik ağacından gelen enjeksiyonlar,
 - Ön koşul ağacından gelen orta amaçlardır.
- d. Başlangıç noktanızı sözel hale getirin.
- e. Sizi amaca ulaşma yönünde ilerletecek faaliyetlere karar verin.

2.Yeterli neden düşünme tekniğini kullanarak başlangıç faaliyetini amaçla ilişkilendirin.

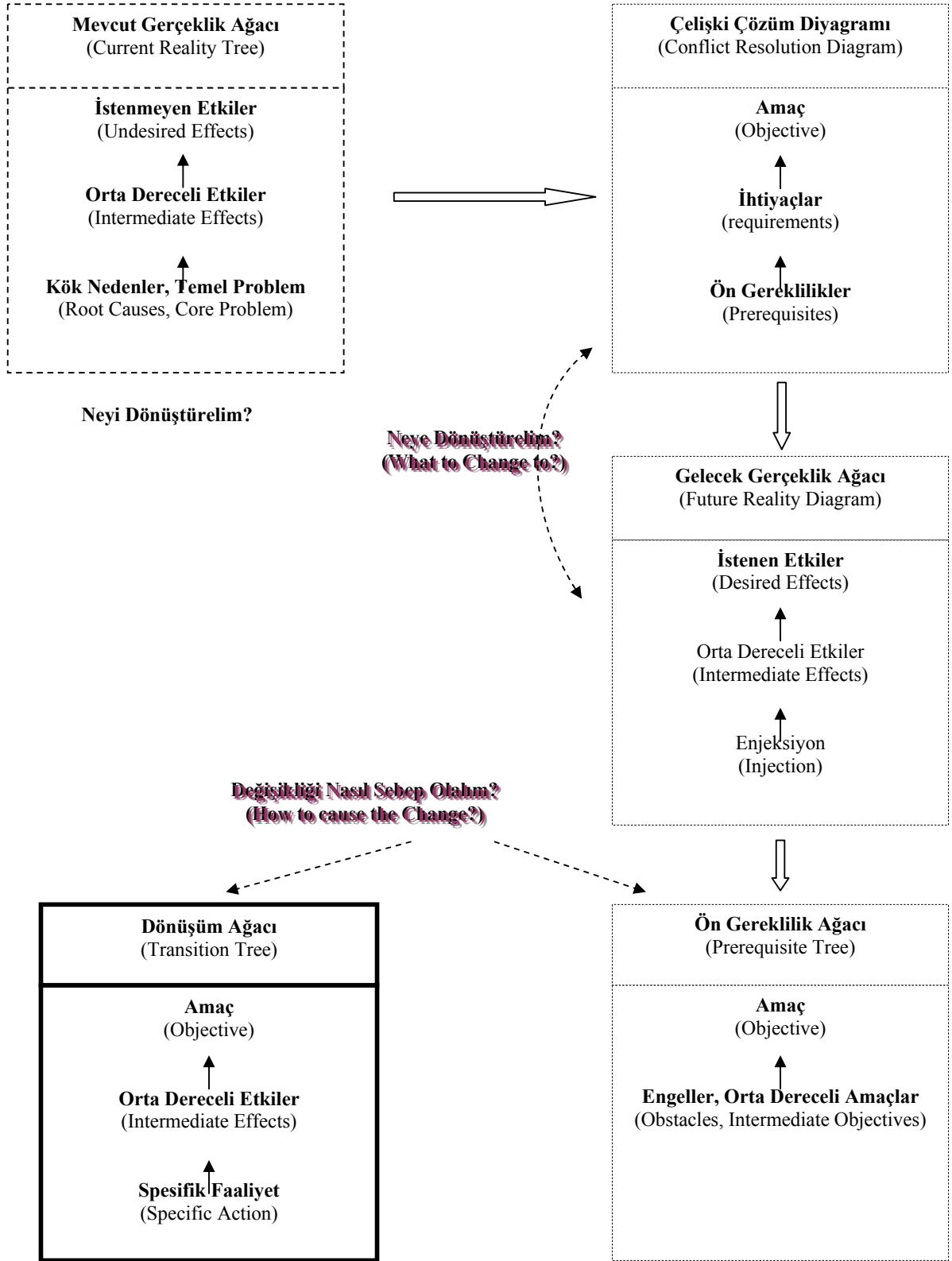
Bu adıma kadar tanımladığınız varlıklar bir faaliyet ve amaçlardır. Bu adımda tanımlayacağınız ek varlıklar ile bulunduğunuz noktayı (başlangıç noktası) bulunmak istediğiniz noktaya (amaç) bağlayacak ara faaliyet ve orta amaçları belirlemiş olacaksınız.

3.İstenmeyen sonuçları bulun ve engelleyin.

Bu adıma geldiğinizde başlangıç noktasından bitiş noktasına nasıl ulaşacağımızı anlatan bir değişim ağacınız vardır. Burada tüm adımları tekrar gözden geçirip sorgulayarak istenmeyen durumların tümünü ortaya koymanız ve bilhassa ortaya çıkmasını istemediğiniz durumları incelemeniz gerekir.

4.Planı uygulayın.

Bu adıma ulaşıldığında planda yer alan faaliyetlerin teker teker uygulanması gerekir. Eğer uygulanan bir adımdan sonra istenen sonuca ulaşılmazsa ilk önce faaliyetin etkisini göstermesi için yeterli zaman tanınmalı daha sonra eğer yine istenilen sonuca ulaşılamazsa yeni faaliyet adımları belirlenmelidir. Bu da yetersiz kalırsa değişim ağacı bulunan yeni başlangıç noktasından ileriye dönük olacak şekilde tekrar gözden geçirilmelidir.



Şekil 2.16 Düşünen süreçler akış şeması-dönüşüm ağacı (TT)

(Dettmer, 1999)

2.6.2 Düşünen Süreçler (TP) ile İlgili Literatürdeki Makalelerin İncelenmesi

Kısıtlar Teorisi (TOC) literatürü oldukça geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu bölümde, bu tezde kullanılmış olan Düşünen Süreçler (TP) ile ilgili yakın zamanlı literatür incelemelerine yer verilmiştir. İçerik olarak makalelerin özeti Çizelge 2.4’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.4 Düşünen süreçler makale özetleri

Year	Author	Thinking Processes		
		Stratejik Düşünen Süreçler	Düşünen Süreçler	Paradigma
2003	Chaudhari, Mukhopadhyay	✓		
2003	Reid, Koljonen		✓	✓
2003	Smith, Pretorius		✓	
2003	Scoggin, Segelhorst, Reid		✓	
2005	Davies vd.		✓	
2005	Walker, Cox		✓	
2006	Umble vd.		✓	

Chaudhari, Mukhopadhyay, (2003): Goldratt tarafından geliştirilen Kısıtlar Teorisi kavramının ilk etapta üretim çizelgeleme ve sonrasında finans ve ölçüm sistemleri, proje yönetimi, pazarlama ve satış, insan kaynakları yönetimi, stratejik yönetim gibi alanlarda uygulama bulmuştur. Bu uygulamaların mühendislik alanında yapıldığı görülmüştür. Kısıtlar Teorisinin (TOC) Düşünen Süreçler’i (TP), işletmelerin karşılaştığı en büyük problemlerden biri olan, problemi, problemin bulunduğu dinamik ortamdan izole bir şekilde ele almak ve bu şekilde çözüm üretmek yaklaşımına karşı ortaya çıkmıştır. Chaudhari bu çalışmada, Düşünen Süreçleri (TP), Hindistan’ın en büyük besi hayvanı yetiştirme çiftliklerinden birinde ele almış ve politika ve paradigma kısıtlarının iş yapış şeklini nasıl etkilediğini incelemiştir. Politika ve paradigma kısıtlarının aşılması sonrasında, çıktı (T) ve envanter ölçütlerinde önemli iyileştirmeler gözlenmiştir.

Smith, Pretorius, (2003): Maliyet Merkezleri ve kâr merkezleri için ölçüm ölçütlerinin etkileşimi, organizasyon kârlılığı üzerinde oluşturduğu etki Kısıtlar Teorisi’nin (TOC) Düşünen Süreçler’i (TP) ile gözden geçirilmiştir. Kâr merkezlerinin kârı artırması gerektiği ve maliyet merkezlerinin en azından maliyetlerini karşılaması gerektiği varsayımına dayanarak üç durum oluşturulmuştur. Bu durumlar, kar merkezleri ve maliyet merkezleri arasında dış kaynak kullanımı kararlarının tek başına alınması rekabet edebilirliğin azalmasına sebep

olabilir. Bir kâr merkezi tarafından gerçekleştirilecek maliyetlerin telafi çalışmaları ise işletmenin toplam karlılığını negatif etkileyebilir. Düşünen Süreçlerin mantık ağaçları bu negatif etkilerin yanlış ölçüm ölçütlerinden kaynaklandığını göstermektedir.

(*Scogin vd., 2003*): Çalışmada, düşünen süreçler (TP) araçlarının üretim firmasında uygulanması ele alınmıştır. Buna göre firmanın mevcut ürünlerinin, üretim çizelgesinde aksama olmaması için gerekli tasarımların yanı sıra gelecek ürün gereksinimlerini karşılayacak tasarımlar için uygulama gerçekleştirilmiştir. Firmanın mevcut sınırlı kapasitesi tasarım ve üretim faaliyetlerinin eş zamanlı yürütülmesini ve mevcut müşterilerin ürün teslim çizelgesine uyulmasına izin vermemektedir. Bu nedenle yönetim sadece müşterilerin mevcut taleplerine odaklanmıştır ve gelecekteki ürün tasarımlarına kapasite ayıramamaktadır. Bu çalışmada Düşünen Süreçler (TP), mevcut durumun analizi, temel çelişkinin oluşturulması, temel problemin belirlenmesi ve değişim planının uygulanması için kullanılmıştır.

(*Davies, J. vd., (2005)*): Bu çalışmada Mingers vd., (2003) Yöneylem Araştırması/ Yönetim Bilimleri için geliştirdikleri sınıflandırma çalışmalarına Kısıtlar Teorisi kavramını da dahil edecek bir yapı kurmuşlardır. Çalışma Kısıtlar Teorisi ve araçlarının geleneksel Yöneylem Araştırması/ Yönetim Bilimleri metodolojileri arasında nasıl konumlandırılması gerektiğini gösteren yararlı bir çalışma olmuştur. Ayrıca iki ana bilgi alanı arasında çoklu metodolojilerin gelişmesi için bir temel oluşturmuştur.

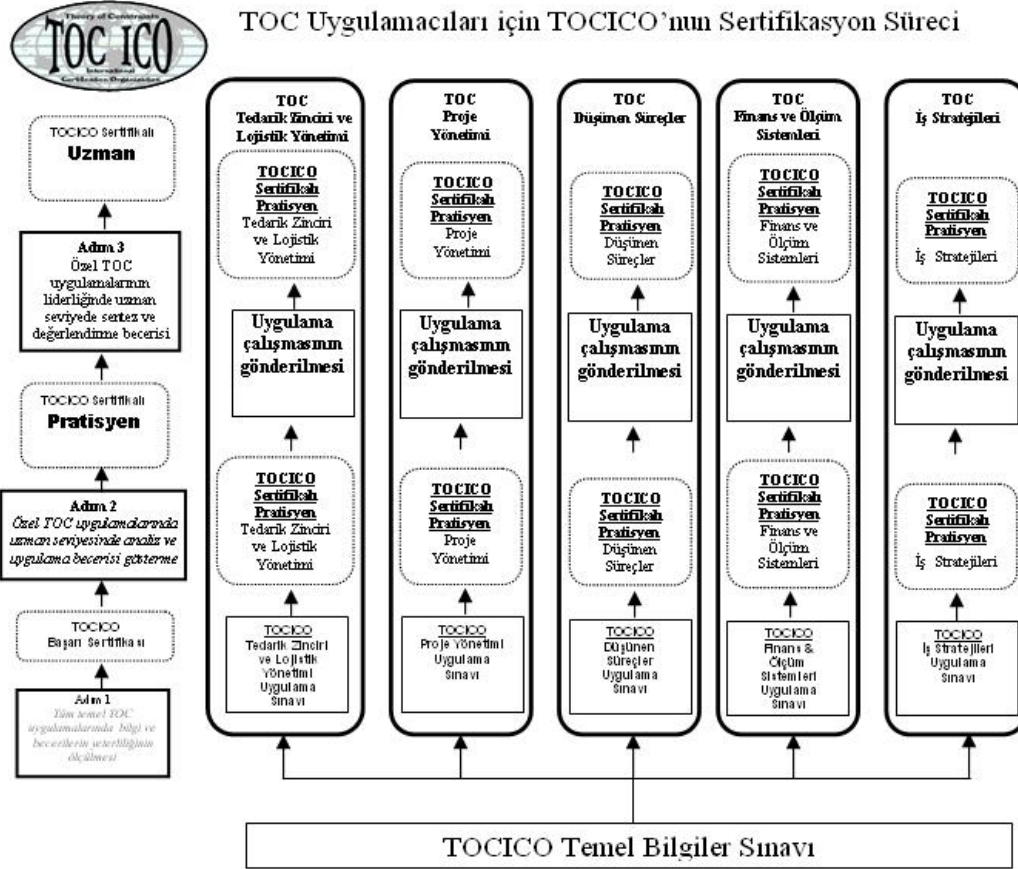
(*Walker, Cox, (2005)*): Makalede Kısıtlar Teorisinin Düşünen Süreçler araçlarından Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT), işletmede oluşan İstenmeyen Etkilerin (UDE) ve problemlerin kök nedenlerine inmek amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada problemin çözümüne yönelik yaklaşım yerine Mevcut Gerçeklik Ağacı'nın (CRT) nasıl kullanılacağı anlatılmıştır. Çalışma iyi tanımlanmamış problemlerin Düşünen Süreçler (TP) tarafından nasıl iyi yapılandırılabilceğini gösteren ilk çalışma niteliğindedir.

(*Umble vd., (2006)*): Çalışma, geleneksel olarak yönetilen tüm V bantlı fabrikalarda görülebilecek problemlere sahip, freze tezgahları üreten V bantlı bir Japon fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Yönetim, sistemin iyileştirilmesi için beş odaklanma adımını ve operasyonel stratejik araçlardan Trampet-Tampon-İp (DBR) ve tampon yönetimi yaklaşımlarını uygulamıştır. Sonrasında problemlerin çözümüne karşılaşılan başlıca engellerin tanımlanması ve çözümü için Düşünen Süreçler (TP) araçlarından Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT) ve Buharlaştıran Bulutlar (EC) kullanılmıştır. Çalışma, iyi tanımlanmamış bir temel problemin yıkıcı etkilerinin nasıl olabileceğini gösterdiği gibi,

uygulamanın yarı mamul, üretim temin süresi, zamanında teslim, verimli kapasite, ürün kalitesi, satış hacmi ve kârlılık üzerinde kayda değer iyileştirmeler sağladığı görülmüştür. Firma çalışma sonrasında Kısıtlar Teorisi'ni (TOC) üretim dışı fonksiyonlarda da kullanmaya başlamış ve Kısıtlar Teorisi'ni (TOC) şirket kültürü haline getirmiştir.

2.6.3 Kısıtlar Teorisi Literatür İncelemesi

TOCICO'nun TOC uygulamaları için yaptığı sınıflandırma Şekil 2.17'de gösterilmiştir. Buna göre literatür araştırması sınıflandırması bu yapıya göre gerçekleştirilmiştir. TOCICO sınıflandırmasına göre Kısıtlar Teorisi uygulamaları i) tedarik zinciri ve lojistik yönetimi, ii) proje yönetimi, iii) düşünen süreçler, iv) finans ve ölçüm sistemleri, v) iş stratejileri alanlarında yapılmaktadır. Bu çalışmada yapılan literatür incelemesi sırasında üretim planlama ile ilgili çalışmaların ayrı bir başlık olarak gösterilmesine karar verilmiştir.



Şekil 2.17 TOCICO'nun uygulamacıları için oluşturduğu sertifika süreci sınıflandırması

Çizelge 2.5 Kısıtlar Teorisi literatür araştırması sınıflandırması

No	Yıl	Yazar	Üretim Planlama	Tedarik Zinciri/ Lojistik	Proje Yönetimi	Düşünen Süreçler	Finans & Ölçümler	Performans Sistemleri	İş Stratejileri	Literatür İncelemesi
1	2002	Atwater, Chakravorty	✓	✓						
2	2003	Chang vd.	✓							
3	2003	Chaudhari, Mukhopadhyay	✓			✓		✓		
4	2003	Gupta, M.								✓
5	2003	Lea, Min					✓	✓		
6	2003	Pass, Ronen							✓	
7	2003	Reid, Koljonen				✓				
8	2003	Riezebos vd.	✓	✓				✓		
9	2003	Sale, Inman	✓					✓		
10	2003	Scoggin vd.				✓			✓	
11	2003	Smith, Pretorius				✓				
12	2003	Vandaele, De Boeck	✓							
13	2003	Yuan vd.		✓						
14	2003	Stratton, Mann		✓				✓	✓	
15	2003	Chua vd.	✓							
16	2004	Aryanezhad, Komijan	✓					✓		
17	2004	Atwater vd.	✓					✓		
18	2004	Davies vd.				✓				
19	2004	Ho, Li	✓					✓		
20	2004	Ioannou, Papadoyiannis	✓							
21	2004	Koksal, G.	✓							
22	2004	Lin vd.	✓							
23	2004	Louw, Page	✓	✓						
24	2004	Schaeffers vd.	✓	✓	✓			✓		
25	2004	Wuttipornpun, Yenradee	✓							
26	2005	Chakravorty, Atwater	✓							
27	2005	Ehie, Sheu						✓		
28	2005	Kirche vd.		✓			✓			
29	2005	Mishra vd.	✓					✓		
30	2005	Souren vd.	✓				✓			
31	2005	Steele vd.	✓	✓						
32	2005	Walker, Cox				✓				
33	2006	Al-Aomar, R.	✓		✓					
34	2006	Chakravorty, Atwater	✓							
35	2006	Koo vd.		✓						
36	2006	Mehra vd.	✓					✓		
37	2006	Singh vd.	✓							
38	2006	Sirikrai, Yenradee	✓	✓						
39	2006	TSENG, Wuz		✓				✓		
40	2006	Umble, Umble	✓							
41	2006	Umble vd.	✓			✓	✓			
42	2006	Wu, Yeh		✓						
43	2006	Chakravorty vd.		✓						
44	2007	Bhattacharya, Vasant	✓							
45	2007	Coman, Ronen				✓	✓		✓	
46	2007	Grosfeld-Nir vd.						✓		
47	2007	Ribeiro vd.	✓	✓						
48	2007	Tsai vd.						✓		
49	2007	Watson vd.	✓				✓		✓	

(Kee ve Schmidt, 2000): Faaliyete Dayalı Maliyetlendirme (ABC) ve Kısıtlar Teorisi (TOC) üretim ile ilgili kararların ekonomik sonuçlarının değerlendirilmesi için alternative paradigmlar sunmaktadırlar. Bu iki yöntemin uygulanması, üretim karmaları ile ilgili çelişkili kararlar doğurabilir. Bu çelişkinin çözümü için, kısa vadede Kısıtlar Teorisinin ve

uzun vadede Faaliyete Dayalı Maliyetlendirme (ABC) yaklaşımının kullanılması önerilmiştir. Bu çalışma, ABC ve Kısıtlar Teorisi'ni (TOC) kullanarak Faaliyete Dayalı Maliyetlendirmeyi üretim ile ilgili kararlarla bütünleştiren bir ürün karması seçimi modeli oluşturmuştur. Çalışma, Faaliyete Dayalı Maliyetlendirme (ABC) ve Kısıtlar Teorisi'nin (TOC) optimal ürün karması kararını sağladığı yerde, yönetimin iradesinin işgücü ve genel giderler üzerindeki etkisini göstermektedir. Aynı derecede, Faaliyete Dayalı Maliyetlendirme (ABC) ve Kısıtlar Teorisi'nin (TOC) farklı ekonomik şartlar altında optimale yakın ürün karmalarının elde edilmesini sağladığı gösterilmiştir. Çalışma, ürün karma kararları ile ilgili çok daha genel bir model geliştirmiş ve Faaliyete Dayalı Maliyetlendirme (ABC) ve Kısıtlar Teorisi'nin (TOC) bu modelin özel durumları olduğunu göstermiştir. Son olarak genel modelin Faaliyete Dayalı Maliyetlendirme (ABC) ve Kısıtlar Teorisi'nin (TOC) sağladığı bilginin eksikliklerini nasıl gidereceği tartışılmıştır.

(Kaihara, 2001): Günümüzde Tedarik Zinciri Yönetimi (SCM), işletmelerini operasyon ve stratejilerinde kayda değer iyileşmeler sağlayabilecekleri en iyi araç olarak görülmektedir. Tedarik Zinciri Yönetimi (SCM), genelde basit bir Kısıtlar Teorisi (TOC) kavramına dayanmaktadır ve her zaman ürün dağıtımında Pareto optimal çözümleri ile ilgili değildir. Pazar fiyat sistemleri, belirli şartlar altında, minimum iletişim giderlerine sebep olacak şekilde karar alma sistemini etkin bir şekilde dağıtan çok iyi anlaşılmış mekanizmalar oluşturduğundan beri, pazara yönelik programlama önerilmektedir. Çok kademeli yapıya sahip Tedarik Zinciri modeli üzerinde çeşitli simülasyon denemeleri, aracı anlaşmaları doğrultusunda ortaya çıkan pazar dinamiklerini açıklamaktadır. Karar mekanizmasının ekonomik prensipler doğrultusunda, dikkatli bir şekilde yapılandırılmasının, Tedarik Zinciri Yönetiminde, Pareto optimal kaynak tahsislerine imkan vereceği ve sistemin davranışlarını ekonomik şartlar açısından analiz edilebileceği onaylanmıştır.

(Atwater ve Chakravorty, 2002): Bu çalışmada, bir sistemin en çok kullanılan kaynağının kullanım kapasitesinde oluşacak değişikliklerin bir (DBR) sistemini nasıl etkileyeceğini gösteren bir simülasyon deneyinin sonuçları verilmiştir. Çalışma sonucunda birincil kısıtın kapasitesinin %100 kullanılmasının optimum olmadığı görülmüştür. Ayrıca en çok kullanılan ikinci kaynağın kullanım kapasitesinde yapılan küçük artırımların (DBR) sisteminde çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu çalışma ayrıca kapasite kullanımı ile ilgili olarak incelenmesi gereken başka konulara da yer vermiştir.

(Chang vd., 2003): Taiwan'da üretim gerçekleştiren iki farklı yarı iletken fabrika çeşidi, entegre cihazlar üreten fabrikalar ve döküm şeklinde üretim yapan fabrikalardır. Entegre cihaz

üreten fabrikaların çoğu stoka üretim yaparken, çıktı ve makine kullanımına odaklanmaktadır. Döküm fabrikaları ise siparişe göre üretim gerçekleştirmekte ve teslim tarihi ve çevrim süresi gibi kavramlara odaklanmaktadır. Farklı üretim teknolojilerinin varlığı stoka üretim ve siparişe göre üretim tekniklerinden oluşan hibrid bir yapıyı zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, hibrid bir üretim ortamında sezgisel bir üretim faaliyet kontrol modeli geliştirilmiştir. Önerilen bu modelde teslim tarihi ve çevrim süresi siparişe göre üretim için azaltılmış ve kesin bir sipariş planı ve dağıtım kontrolü oluşturulmuştur. Kesin çıkış planı siparişin çok erken veya çok geç çıkmasını engeller. Dağıtım kontrolü ise geç gelen siparişlerin zamanında teslim edilebilmesine imkân verir. Stoka üretim siparişlerinde ise, bitmiş ürün tampon seviyesini doldurmaya odaklanılması nedeniyle kesin bir çıkış planı ve dağıtım kontrolü önemini yitirmektedir. Bunun yerine önerilen metot, siparişe göre üretim siparişlerinin tamamlanmasından sonra geriye kalan kapasitenin, stoka üretim için kullanılmasını öngörmüştür.

(Gupta, 2003): Bu çalışmada TOC ile ilgili temel terimler ve kısa bir özgeçmiş bilgisi aktarılmıştır. Özellikle, üretim planlama ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

(Lea ve Min, 2003): Bu çalışmada yönetim muhasebe sistemleri ve üretim kontrol sistemlerinin üretim performansı üzerindeki etkisini, farklı zaman ufuklarında ERP sistemi ile bütünleşmiş bir ortamda inceleyen bir simülasyon sistemi kullanılmıştır. Özetle çalışma Faaliyetlere Dayalı Maliyetlendirmenin (ABC) daha yüksek kısa ve uzun vadeli karlılık elde ettiğini, daha iyi müşteri hizmeti sağladığını ve daha az yarı mamul stoku oluşturduğunu göstermiştir. Ayrıca Tam Zamanında Üretim (JIT) sisteminin de TOC'ü sağladığı görülmüştür. Diğer yandan zaman ufku ile yönetim muhasebe sistemleri ve üretim kontrol sistemlerinin ile kesişiminin üretim performansı üzerinde etkisi görülmemiştir. Belirsizlik gibi nedenlerle oluşan kısa vadeli sistem değişiklikleri modellenmiştir. Üretim sistemi ve yönetim muhasebe sistemlerini birleştiren bütünleşik bir ERP ortamında bu model simüle edilmiştir. Bu bütünleşme sonucunda gerçek zamanlı veriler ve mevcut üretim verileri yanı sıra, kısa vadeli dalgalanmalar en güncel üretim maliyetinin belirlenmesine izin vermektedir. İkincil olarak üretim performansı finansal (kısa ve uzun vadeli karlılık) ve finansal olmayan (sipariş karşılayabilme oranı ve yarı mamul stoku) uygun muhasebe ve iş yönetimi prensiplerine göre gerçekleştirilmiştir. ERP kullanıma geçtikten sonra ABC ve geleneksel maliyet (TC) sistemleri çıktı muhasebesinin (TA) görevini gerçekleştirebilmektedirler. Her ikisi de üretim süreçlerinin maliyetini ve üretim firmasının gider ve karlılığının izlenmesini TA'den daha iyi yapabilmektedir. Burada TA'nın düşük hammadde maliyetleri olan bir firma için uygun

olmadığı görülmüştür. Çalışma ayrıca kısa vadede belirsizlik altındaki dinamik bir üretim ortamında JIT sisteminin TOC sisteminden daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

(Pass ve Ronen, 2003): Çalışma ileri teknoloji endüstrisinin kısıtına göre yönetimine sistematik bir yaklaşım getirmeye çalışmıştır. Kısıtlar Teorisi metodolojisine göre, pazar kısıtlı bir ortamda pazarlama ve satış departmanları Ar-Ge departmanları ile birlikte kalıcı dar boğazlardır ve buna göre yönetilmelidirler. Çalışma, Kısıtlar Teorisinin 5 odaklanan Adımını (5 focusing steps) pazar kısıtını barındıracak şekilde değiştirmiştir. Stratejik karlılık ve taktik karlılık ile hissedarların karını arttırmayı mümkün kılmak için firmanın pazar içerisinde karlı siparişleri yakalamaya çalışması gerektiği, bunun için yönetimin odaklanma yöntemini nasıl kullanabileceği gösterilmiştir. Çalışma ayrıca, kritik olmayan alanlardaki maliyetlerin nasıl azaltılabileceği ile ilgili önerilerde bulunmuş ve temin süresini koruyan tamponlar oluşturulması gerektiğini belirtmiştir.

(Reid ve Koljonen, 2003): Goldratt, üretim yönetiminde maliyetlere göre yönetim ve çıktı'lara (T) göre yönetim paradigmaları arasında temel bir çatışma tanımlamıştır. Goldratt işlemlerin sadece Çıktı (T) paradigmasına göre yönetilmesi durumunda bu çatışmanın ortadan kaldırılabileceğini göstermiştir. Burada jenerik bir üretim sisteminde, her iki paradigmanın yönetilmesinden kaynaklanan çatışmayı gösteren bir Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT) oluşturulmuştur. Devamında, maliyet paradigmasından kaynaklanan sistemdeki kaosu ve istenmeyen etkilerin giderilmesinin etkisinin görülmesi için Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT) oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen çeşitli simülasyonlar altında sistemin öngörüldüğü gibi dengeli bir yapı gösterdiği görülmektedir. Ancak bu dengeli yapı, sistem içerisindeki dalgalanmalar yönetimin başa çıkabileceğinden büyük olması durumunda bozulabilir. Bundan sonra her iki paradigmayı yansıtan bir Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT) oluşturulmuştur. Bu ağaçta maliyet paradigmasından türetilmiş politikaların yerine Çıktı (T) paradigmasına ait politikaların girmesine izin verilmiştir.

(Riezebos vd., 2003): Bu çalışma Hollanda'daki küçük bir paketleme firmasının temin süresi performansının iyileştirilmesi ile ilgilenmektedir. Bu firma Kısıtlar Teorisi'nin bazı prensiplerini uygulamıştır. Bu uygulama sonrasında teslimat güvenilirliği ve karlılık artmış, temin süresi yeterince azalmıştır. Temin süresinde daha ileri iyileştirmeler için harekete geçildiğinde ise, uygulanan Kısıtlar Teorisi adımlarının yeterli olmadığı görülmüştür. İstenen temin süresi iyileştirmesi için mevcut sipariş kabul ve tampon yönetimi sistemi üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Bu amaçla iş yükü kontrol prensipleri devreye alınmıştır.

(Sale ve Inman, 2003): Bu çalışmada JIT, TOC gibi yönetim felsefelerini 3 yıldır uygulayan firmaların, uygulamayan firmalar ile kapsamlı bir ölçüt setine göre karşılaştırması yapılmıştır. Sadece TOC, sadece JIT, sadece her iki uygulamayı gerçekleştiren ve hiç birini uygulamayan firmaların performansları ve performanslarındaki değişim karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, en iyi performans ve iyileştirme sonuçlarının TOC uygulayan firmalara ait olduğunu göstermiştir. JIT geleneksel üretim ile karşılaştırıldığında daha üstün bir performans veya daha iyi bir performans değişimi göstermemiştir.

(Vandaele ve De Boeck, 2003): Üretim sistemlerinin stokastik yapısını algılayan İleri Kaynak Planlaması (ARP) MRP, ERP, JIT, Sonlu Kapasite Çizelgeleme gibi planlama ortamlarında kullanılabilen bir araçtır. Bu çalışmada, operasyonel bir sistemin talep, kapasite gibi parametreleri, temin süresi, kullanım, envanter gibi performans ölçümlerine dönüştürülmüştür. Buna göre temin süresi ele alınırken sadece ortalama değerler değil, standart sapma ve tüm dağılımın incelenmesi uygun olacaktır. ARP için ileri kuyruk ağları matematik bilgisi gerekmektedir.

(Yuan vd., 2003): Bir dağıtım sisteminin yönetiminde, doğru miktarda envanterin doğru zamanda doğru yerde olması gerekir. Buna göre, Kısıtlar Teorisi bir fabrikada merkezi bir depoda toplu envanter tamponları oluşturmak ve üretim modunu itmeden çekmeye dönüştürmek konusunda kullanılmıştır. Bulunan çözüm güçlü olmakla birlikte, optimal tampon envanter seviyesi bulunamamıştır. Kısıtlar Teorisinde (TOC) tampon doğru bir şekilde izlendiği sürece tampon büyüklüğünün bir önemi yoktur. Kısıtlar Teorisinin (TOC) ayrıca tampon yönetimi (BM) için geliştirdiği bir yaklaşım mevcuttur. Bu tampon yönetimi olurlu ve etkili olsa da yeterince dikkatli değildir. Bu çalışma Kısıtlar Teorisinin (TOC) Tampon Yönetimini (BM) kullanarak, tampon boyutunun ayarlanmak üzere izlenmesi için bir metot önermektedir. Önerilen metodun olurluluğu bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

(Stratton ve Mann, 2003): Bu çalışma, birbirine paralel ama aynı zamanda tamamen ayrı iki yaratıcı problem çözme teorisini bir araya getirmiştir. Bunların ilki makine mühendisliği alanında kullanılan Rus Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ) ve ikincisi üretim yönetiminde kullanılan Kısıtlar Teorisidir (TOC). Sistematik yenilik kavramı ise bu iki yaklaşımda kullanılan temel ortak prensiplerdir. Çalışma bu iki alanda yenilik ile çıkan takasların önemine odaklanmakta ve üretim stratejisi geliştirme ile ilgisini araştırmaktadır.

(Chua vd., 2003): Darboğaz işlemlerindeki kısıtların belirlenmesi ve ayıklanması, proje yönetimi faaliyetlerinin yürütülmesindeki belirsizlikleri azaltacaktır. Güvenilir bir iş akışı ve

artan bir verimlilik elde edebilmek için yapılan ileriye dönük planlamada kritik kısıtların azaltılması ve ortadan kaldırılmasının etkili olacağı bilinmektedir. Bu çalışmada, kısıt temelli bir planlama aracı olan Entegre Üretim Çizelgeleyicisi kullanılarak yalın inşaat prensipleri, TOC kullanılarak güvenilir bir planlama elde edilmesi açıklanmıştır. Kritik yol metodundan farklı olarak Entegre Üretim Çizelgeleyicisi kaynak tedariki ve bilgi değişimi ile ilgili iki ek kısıtın modellenmesini sağlar. Entegre Üretim Çizelgeleyicisi kritik kısıtların yönetimi ve üretimin belirsizliklerden korunması için 4 tampon tipini kullanır: çalışma, koruma, çekme ve izleme. Entegre Üretim Çizelgeleyicisi, yayılmış bir çizelgeleme sistemi üzerinde Internet kullanılarak uygulanmıştır. Proje üyeleri arasında aktif ve hızlı bir veri akışının mümkün olduğu şeffaf bir proje yönetimi ortamı oluşturmaya çalışmaktadır.

(Aryanezhad ve Komijan, 2004): Üretim sistemlerinde verilen en zor kararlardan biri ürün karmasının maksimum çıktıyı verecek şekilde belirlenmesidir. Kısıtlar Teorisi (TOC) altında bu optimum miktarın belirlenmesi için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise, geleneksel Kısıtlar Teorisi (TOC) algoritmasının, çoklu darboğaz probleminin aşılmasında yetersiz kaldığı, bir örnek üzerinde gösterilmiştir. Devamında, çok daha etkin ve optimuma yakın sonuç veren bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilmiş algoritmanın sonuçları, Tamsayılı Doğrusal Programlama (ILP) metodu ile karşılaştırılmıştır.

(Atwater vd., 2004): Üretim çıktılarının arttırılmaya çalışılması için yeni yollar aramak yöneticilerin sürekli araştırdığı yöntemlerden biridir. Bu serbest ürünlerin miktarının arttırılması ile mümkün olabilir. Serbest ürünler, operasyonların birincil kısıtının kapasitesini kullanmayan birimlerdir. Bu nedenle bunların çıktı miktarının arttırılması mümkün olabilir. Bu miktarın arttırılması, zamanında teslimat amacıyla bulundurulan koruyucu kapasitenin azalmasına ve teslimatlarda gecikmeye sebep olabilir. Çıktı miktarı arttırılmaya çalışılırken teslimat gecikmelerine sebep olmamak için serbest ürünlerin nasıl yönetilebileceği anlatılmaya çalışılmıştır.

(Ho ve Li, 2004): Üretim tesislerinde ve akademik araştırmalarda dağıtım kuralı ortalama akış hızı ve gecikme olarak, Kısıtlar Teorisi'nde (TOC) ise performans göstergesi olarak kullanılsalar da, her ikisi de üretim planında gerçekleşen sapmaları doğru bir şekilde ölçemez. Kısıtlar Teorisi (TOC), Çıktı \$/gün (TDD) ve Envanter \$/gün (IDD) bilgilerinin fabrikayı uygun aksiyomlar almak için ikna edeceğini savunmaktadır. Bu iki ölçütün birçok fabrikada kullanılan, anahtar performans göstergelerinin yerini alabileceğini söylemektedir. Bu çalışmadan önce TDD ve IDD'nin performanslarını ölçen bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bu çalışmada ise; i) TDD ve IDD'nin performans göstergesi olarak kullanılması durumunda

akış hızı ve gecikme konusunda daha iyi sonuç veren dağıtım kurallarının, TDD ve IDD bağlamında da iyi sonuç verip vermeyeceği? ii) TDD ve IDD'ye göre mevcut dağıtım kurallarını kapsayacak bir dağıtım kuralının olup olmadığının sorgulanması yapılmıştır. Bu sorulara istinaden, öncelikle bir TDD ve IDD tabanlı sezgisel dağıtım kuralı oluşturulmuştur. Sonrasında ise, 6 simülasyon çalışması ile sezgisel algoritmanın mevcut dağıtım kuralları ile karşılaştırması yapılmıştır. Çalışmada oluşturulan sezgisel algoritmanın sonuçlarının olurlu olduğu ve önceki dağıtım kurallarını kapsadığı görülmüştür.

(Ioannou ve Papadoyiannis, 2004): Çoğu projenin uygulanmasında teknik ve fonksiyonel problemlere neden olan ve projenin darboğazlarını oluşturan iki noktaya değinilmiştir. Bu iki nokta, her işletmeye özel ihtiyaçlara göre yazılan kod geliştirme ve sonrasında sistemin raporlama hizmetlerinin oluşturulması işleridir. Buna göre sistemin farklı süreçlerine göre kodlama işlemlerinin yapılabilmesi ve uygulama zamanı verimsizliklerinin ortadan kaldırılabilmesi için TOC yaklaşımı ile darboğazların giderilmesi anlatılmıştır.

(Köksal, 2004): Mevcut rekabetçi ortamda ürün ve süreçlerin kalitesinin sürekli geliştirilmesi gerekmektedir. Birçok kalite iyileştirme yaklaşımı kalite iyileştirme projelerinin seçiminde sınırlı sayıda faktörün değerlendirmesini yapmaktadır. Kısıtlar Teorisi (TOC) bazı araştırmacılar tarafından kalite iyileştirme projelerinin daha iyi seçilmesi için kullanılmıştır. Ama bu TOC-temelli yaklaşımlarda, ürün kalitesini ve uzun vadede satışlar üzerindeki etkilerini doğru bir şekilde ölçememektedir. Bu çalışma, kalitesizliğin ürün karması ve kalite iyileştirme projelerinin seçimindeki etkisini incelemektedir.

(Lin vd., 2004): Çalışmada, Entegre devre üretimi yapan bir firmadaki nihai kontrol noktasında, bağlantılı olmayan paralel makinelerdeki çoklu kısıt problemleri ele alınmıştır. Buna göre geniş bir ürün karması, değişken parti büyüklükleri, kontrol ekipmanlarının sınırlı kapasitesi bu kontrol tesisindeki işlemlerin karakteristiğini belirlemektedir. Bu çalışmada ayrık durum simülasyon modeli, kapasite kısıtlı çizelgeleme algoritmasının uygulanabilmesi için geliştirilmiştir.

(Louv ve Page, 2004): Bu çalışmada, Kısıtlar Teorisi ile (TOC) kontrol edilen üretim sistemindeki, zaman tamponlarının boyutlarının tahmini için, kuyruk ağ modeli yaklaşımı kullanılmıştır. Kuyruk ağ modeli yaklaşımı ortalama akış zamanı ve akış zamanının standart sapmasının tahmininde kullanılmaktadır. Bu iki verinin yanı sıra akış zamanlarının normal dağıldığı varsayımı ile nihai zaman tamponunun uzunluğu belirlenmeye çalışılmıştır. Kuyruk ağ modeli yaklaşımı, makine arızaları, parti hizmetleri, değişken transfer parti büyüklükleri

gibi faktörleri de göz önüne alarak, üretim ağlarının modellenmesini mümkün kılmaktadır. Her ürün için gerekli zaman tamponunun yeri ve büyüklüğünün tahmini için, kaynak verisi gibi üretim ağı bilgisi, ürün ağacı ve rotalama verileri kullanılmaktadır. Yapılan simülasyon sonucunda izlenen prosedürün, gerekli zaman tamponu uzunluğu için hızlı bir başlangıç tahmini yapmayı mümkün kıldığı görülmektedir.

(*Schaefers vd., 2004*): Kısıtlar Teorisi (TOC) temeline dayalı bir değişim mühendisliği projesinde temel ölçümler verilmiştir. Çalışmayı tetikleyen temel kısıt pazardır. Politika kısıtı, firmanın, yerel optimum sonucu verecek bir planlama ve çizelgeleme sürecini kısıtlamakta ve pazar kısıtının kullanılmasını engellemektedir. Çalışma, bu tür projelerin risk analizi ile ilgili bir incelemede bulunmaktadır.

(*Wuttipornpun ve Yenradee, 2004*): Çalışma montaj işlemlerinin, kapasite problemlerini, sonlu kapasiteli malzeme ihtiyaçları planlama sistemi ile çözmek üzere öneride bulunmaktadır. Geliştirilen bu yöntem, bazı işlerin bir makineden diğerine atanması sırasında makinelere ait var olan sonlu zamanları göz önüne almaktadır. Geliştirilen yaklaşım direksiyon mili üreten bir fabrikada denenmiştir. Çizelgeleme, yeni düzenlemeler ve ayarlamalar seçeneklerinin modelin performansı üzerindeki etkileri istatistiksel olarak incelenmiştir. Buna göre modelin uygulanması durumunda, bazı işlerin belirlenenden daha erken bitmesine izin verilmesi durumunda fazla mesaiye gerek kalmayacağı görülmüştür.

(*Chakravorty ve Atwater, 2005*): Kısıtlar Teorisi'nin (TOC) kullandığı çizelgeleme sistemi Trampet-Tampon-İp (DBR) olarak bilinmektedir. DBR sistemin birincil kaynak kısıtı için bir çizelgeleme geliştirir. Kısıtlar Teorisi'nde (TOC) sistemin birincil kaynak kısıtında işlem görmeyen ürünler serbest ürünler, olarak adlandırılırlar. Bu ürünler birincil kaynak kısıtını tüketmedikleri için Kısıtlar Teorisi (TOC) literatüründe incelenmemişlerdir. Bu çalışmada yapılan simülasyon ile DBR sisteminin serbest ürün seviyesindeki değişikliklerden etkilendiği görülmüştür.

(*Ehie ve Sheu, 2005*): Bu çalışmada Altı Sigma (AS) ve Kısıtlar Teorisi kavramlarının birleştirilmesinin üretim sistemi performansını nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Çalışma aks üretimi yapan bir işletmede yapılmış ve Kısıtlar Teorisi kavramının geniş çerçevede iyi etkiler bıraktığı gözlenmiştir.

(*Kirche vd., 2005*): Bu çalışmada bir sipariş yönetimi modeli geliştirilmiştir. Çalışmanın birinci amacı, firmanın talebin karşılanması için yeterli kaynaklara sahip olduğu varsayımına dayanarak, karlılığın arttırılmasıdır. Sipariş karlılığının değerlendirilmesi için Kısıtlar Teorisi

(TOC) ve Faaliyete Dayalı Maliyetlendirme (ABC) yaklaşımlarının etkinliği karşılaştırılmıştır. Bu sipariş yönetimi modeli kapasite ve tedarik zinciri kaynaklarının ilgili maliyetlerini ve karlılığını eş zamanlı olarak incelemek üzere, Karmaşık Tamsayılı Programlama (MIP) kullanmıştır. Doğru bir model kurulabilmesi için, maliyet yapılarının incelenmesi gerektiği görülmüştür. Direkt üretim maliyetlerinin, toplam üretim maliyetlerinin düşük bir kısmını oluşturduğu durumlarda Faaliyete Dayalı Maliyetlendirme (ABC) uygun bir yöntemdir. Diğer yandan direkt üretim maliyetlerinin büyük olduğu yerlerde Kısıtlar Teorisi (TOC) yaklaşımının uygun olacağı görülmüştür.

(Mishra vd., 2005): Kısıtlar Teorisi (TOC) geleneksel ve modern üretim fabrikalarındaki darboğazları göz önüne alarak, karı maksimize etmeyi hedeflemektedir. Kısıtlar Teorisi (TOC) uygulamalarının temel bileşenlerinden biri, üretilecek ürün miktarlarının sistem kısıtları dikkate alınarak belirlenmesidir. Bu tarz problemler, Kısıtlar Teorisi (TOC) ürün karma karar problemi olarak adlandırılmaktadır. Problemin çözümü, sezgisel teknikler ve yapay zekâ (AI) tabanlı optimizasyon araçları ile mümkündür. Bu çalışmada, Tabu-Benzetimli Tavlama (SA) melez algoritması önerilmiştir. Melez algoritma sonucunun tabu arama, SA, Kısıtlar Teorisi (TOC) sezgiseli, değiştirilmiş Kısıtlar Teorisi (TOC) sezgiseli ve Tamsayılı Doğrusal Programlama (ILP) temelli yaklaşımlardan daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

(Souren vd., 2005): Bu çalışmada, ürün karması kararları ile ilgili temel terimlerin incelenmesi ile Kısıtlar Teorisi (TOC) temelli yaklaşımın irdelenmesi amaçlanmıştır. Kısıtlar Teorisi (TOC) temelli yaklaşımın optimum sonuç veren ve vermeyen durumları açıklanmıştır. Kısıtlar Teorisi (TOC) temelli ürün karması kararlarının başarısız olabileceği durumlar ortaya konulmuştur.

(Steele vd., 2005): DBR üretim planlama ve kontrol amacıyla kullanılan ama MRP kadar denenmemiş bir yöntemdir. MRP sisteminden DBR sistemine geçiş yapan bir mil üretim fabrikasında simülasyon bazlı bir uygulama ile yöntemlerin performansı ölçülmüştür. Her yöntemin envanter politikalarının farklı olduğu bilinse de, uygulamada her yöntem için konu ile ilgili farklı işlem kuralları koyulabildiği görülmüştür. Bu simülasyon uygulaması, DBR'ın daha iyi performans sergilediğini göstermiştir.

(Al-Aomar, 2006): Bu çalışma, çoklu işlem kısıtları olan pilot bir otomotiv firmasındaki çoklu araç programları karmasının eş zamanlı çalışma çizelgesi için simülasyon bazlı bir uygulama içermektedir. Kapasite çizelgeleme ilişkisi nedeniyle önerilen yaklaşım kapasite

kısıtlı üretim çizelgeleme (CPS) olarak adlandırılmaktadır. Fabrikanın operasyonel kısıtları ve stokastik çalışma şartları altında etkin bir üretim kapasitesi belirlenmesi için ayrık olay simülasyon (DES) uygulaması yapılmıştır. Talep bazlı çizelgeleme kapasitesi ve fabrikanın etkin kapasitesi arasındaki potansiyel dengesizliklerin belirlenmesi için kapasite kısıtlı üretim çizelgeleme (CPS) göstergeleri tanımlanmıştır. Ayrıca kaynak atama algoritması (RRA) ile teslimat gecikmeleri, boşa geçen zaman, üretim zamanı ve gecikme gibi faktörlerin iyileştirilmesi ile üretim çizelgesinin etkinliği arttırılmaya çalışılmıştır.

(*Chakravorty ve Atwater, 2006*): Bu çalışmada, diğer Kısıtlar Teorisi (TOC) uygulamalarında görülen %100 darboğaz kullanımının gerçekte %100'den az olduğu gösterilmiştir. Optimum kullanım miktarının üzerine çıkma girişimlerinin iyi sonuç vermeyeceği, bir kapı üretim fabrikasında gösterilmiştir.

(*Koo vd., 2006*): Bu çalışmada, Kısıtlar Teorisine dayalı bir araç sevkiyat prosedürü oluşturulmuştur. Sevkiyat kararları, darboğaz oluşturan makinelerin maksimum seviyede kullanılmasına dayanarak oluşturulmuştur. Simülasyon çalışması ile mevcut sevkiyat prosedürleri ile geliştirilen prosedürlerin performans karşılaştırmaları farklı makine kullanımı, araç kullanımı ve yerel tampon kapasitesi gibi durumlara göre yapılmıştır.

(*Mehra vd., 2006*): Bu çalışmada, proses endüstrisinde üretimde iki parti büyüklüğünün azaltılmasının sonuçları simülasyon kullanılarak bulunmuştur. Simülasyon sonuçları daha sonra, beş Kısıtlar Teorisi (TOC) performans ölçütünün hesaplanması ve üç yığın boyutu arasında karşılaştırma yapılmak üzere kullanılmıştır. Sonuçlar, parti büyüklüklerindeki küçülmenin sürekli süreç üretimi yapan firmaların yanı sıra, parti tipi üretim yapan firmalarda da iyi sonuç verdiği görülmüştür.

(*Singh vd., 2006*): Kısıtlar Teorisi (TOC) geleneksel ve modern üretim fabrikalarındaki darboğazları göz önüne alarak karı maksimize etmeyi hedeflemektedir. Kısıtlar Teorisi (TOC) uygulamalarının temel bileşenlerinden biri, üretilecek çeşitli ürünlerin miktarlarının sistem kısıtlarının gözü önüne alınmasıdır. Bu tarz problemler Kısıtlar Teorisi (TOC) ürün karma karar problemi olarak adlandırılmaktadır. Problemin çözümü sezgisel teknikler ve yapay zekâ (AI) tabanlı optimizasyon araçları ile gerçek zamanlı optimum ve optimuma yakın sonuçların uygulanması ile mümkündür. Bu çalışmada ise, Psiko- Klonal adlı yeni bir algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmanın uygulama sonucunun tabu arama, SA, Kısıtlar Teorisi (TOC) sezgiseli, değiştirilmiş Kısıtlar Teorisi (TOC) sezgiseli ve Tamsayılı Doğrusal Programlama (ILP) temelli yaklaşımlardan daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

(Sirikrai ve Yenradee, 2006): DBR, Kısıtlar Teorisi (TOC) altında çizelgeleme mekanizmasıdır. DBR içerisindeki trampet ise kapasite kısıtlı kaynaklar (CCR) üzerinde üretim çizelgesidir ve tüm sistemin üretim hızını kontrol eder. İp ise sisteme gerekli malzemelerin salınmasını sağlar. Tampon ise CCR'ın istatistiksel dalgalanmalara karşı korunmasını sağlar. Buna göre paralel makine atölye ortamında etkin bir ip ve tampon belirlenmesi kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, yeni bir çizelgeleme metodu geliştirilmiştir ve değiştirilmiş DBR olarak adlandırılmıştır. Uygulamada, geriye dönük sonlu kapasite çizelgeleme tekniği kullanılmış DBR'daki ip mekanizması yerine, makine yükleme ve detaylı çizelgeleme detayları kullanılmıştır. Değiştirilmiş DBR çizelgelemesinin performansı, çeşitli işlem süreleri altında değerlendirilmiştir. Zaman tamponu olmayan değiştirilmiş DBR'ın, ortalama akış süresi açısından, normal DBR'dan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Gecikme, kısıt kaynağı kullanımı ve çıktı konusunda, benzer performanslar sergilemişlerdir.

(Tseng ve Wu, 2006): DBR çizelgeleme sisteminin kullanılabilmesi için, çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Bu yazılımların kurulabilmesi için karmaşık bir veritabanının oluşturulması gerekir. Bu nedenle de ilgili yazılımın kullanımı güçleşmektedir. Bu çalışmada kullanımı kolay bir DBR ve tampon yönetimi sistemi geliştirilmiştir. Buradaki “kullanımı kolay” kavramı sistemin gerektirdiği bilgi setinin minimum temel veri olmasıdır. Öncelikle basit bir veri setinin nasıl oluşturulacağı anlatılmış, sonrasında sistem yapısı ve tasarım metodolojisi açıklanmıştır. Prototip bir sistemde, yapının uygulanabilirliği ve etkinliği test edilmiştir.

(Umble ve Umble, 2006): Bu çalışmada, tampon yönetiminin (BM) üretim alanı dışında sağlık sektöründe nasıl uygulanabileceği konusu incelenmiştir. Tampon yönetimi (BM) sayesinde müşteri bekleme süreleri, ek kaynak kullanmaya gerek kalmadan azalmıştır. Hastaların tedavi sürelerinin kısalması, hem müşteri memnuniyetinin sağlanması hem de bir önceki faktöre faydalı olmuştur.

(Wu ve Yeh, 2006): DBR yönetim sistemi etkin bir şekilde çıktıyı arttırıcı, yarı mamul stokunu azaltıcı, çevrim zamanını kısaltıcı ve zamanında teslimat performansını arttırıcı bir etkiye sahiptir. Sürekli akışların söz konusu olduğu darboğazların bulunduğu üretim ortamlarında, DBR uygulaması zordur. Bu tip ortamlarda, trampet geliştirme metodunun olmaması temel bir sorundur. Bir partiye ait çeşitli darboğaz işlemleri trampetin çeşitli noktalarında görülebilir. Darboğaz işlemlerinin sırasının doğru şekilde belirlenmesi, birbirine yakın darboğaz işlemleri arasında yeterli zaman aralığının bırakılması, trampet geliştirme sürecinde özel bir metot gerektirmektedir. Bu çalışmada üretim ortamları için, çoklu girişli

darboğaz akışlarına sahip bir trampet geliştirme metodu uygulanmıştır.

(*Chakraborty vd., 2006*): Kısıtlı kaynaklar, işletmeleri bazı ürünleri dış kaynak kullanarak üretmeye yöneltmektedir. dış kaynak kullanım kararının verilebilmesi için geleneksel muhasebe, Kısıtlar Teorisi (TOC) ve genişletilmiş TOC uygulamaları karşılaştırılmıştır. Kısıtlar Teorisi (TOC) felsefesi ile yoğrulmuş az parametre sayısı ile doğrulanabilecek, doğrusal programlama kullanılmıştır.

(*Bhattacharya ve Vasant, 2007*): Kısıtlar Teorisi (TOC) kullanılarak sağlam ve güvenilir bir ürün karması kararı verilmesinde, tatmin seviyesi göz önüne alınması gereken faktörlerden biridir. Verilen kararın duyarlılığı, darboğazsız ve optimal ürün karmasına sahip bir çözüme odaklanmalıdır. Bu amaçla, karar vericinin tatmin seviyesini ve ürün karması kararının kesinlik derecesini bulmaya yarayan bir üyelik fonksiyonu tasarlanmıştır. Çoklu darboğaz problemlerinin Doğrusal Programlama (LP) ile ele alınışındaki verimsizliği gösterilmiştir. Geleneksel Doğrusal Programlama (LP) ve Bulanık LP (FLP) sonuçlarının karşılaştırması, FLP'nin Kısıtlar Teorisi'ndeki (TOC) avantajlarının gösterilmesi için verilmiştir.

(*Coman ve Ronen, 2007*): Bu çalışmada, ileri teknoloji sektöründeki kısıtların nerede olabileceği ve nasıl yerleştirilmeleri gerektiği konusuna odaklanılmıştır. Bu kısıtların sektör özelliği olarak çok sık yer değiştirdikleri ve bu değişikliğin aksatıcı etkileri olduğu bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

(*Grosfeld-Nir vd., 2007*): Bu çalışmada, Pareto şemalarıyla basit ve pratik bilgi aktarımına değinilmiş, göreceli frekansın hemen hemen uniform dağıldığı durumlarda verimli bilgi aktarımı yapılamayan durumların olduğu belirtilmiştir. Pareto şemalarının, ideal Pareto şemalarına yakınlığını ölçen bir analitik araç (indeks) oluşturulmaya çalışılmıştır.

(*Ribeiro vd., 2007*): Bu çalışmanın amacı kapasite kısıtlı bir kaynağın (CCR) bakımını ve beslediği makine/operasyon ve giriş tampon büyüklüğünü eş zamanlı olarak optimize etmektir. Kapasite kısıtlı kaynağın (CCR) bakımı, koşullara bağlı iken makine/operasyon girişi zaman temellidir. Burada optimizasyon Karmaşık Tamsayı Doğrusal Programlama modeli uygulanarak geliştirilmiştir.

(*Tsai vd., 2007*): Başarılı bir proje yönetimi için proje kapsamındaki faaliyetlerin durumunun bilinmesi önemlidir. Proje faaliyetlerinin durumu raporlandığında, projenin ilerleme durumu da ortaya çıkmış olur. Güncel bilgi girişlerinin eksik olması, sorunlara yol açabilmektedir. Bu amaçla bu çalışmada Kısıtlar Teorisi (TOC) ve Yalın Üretim felsefeleri bir araya getirilmeye çalışılmıştır. Bu model malzeme yönetimine uygulandığı zaman, sahada veri oluşturma ve

aktarmayı kötü etkileyen, önemsiz yan süreçlere sahip, senkronize olmayan işlemler görülmüştür. Önerilen model, sadece eş zamanlı veri toplama faaliyetleri yanı sıra faaliyet performanslarının iyileştirilmesi içinde bir mekanizma önermektedir.

(Watson vd., 2007): Kısıtlar Teorisi'nin (TOC) bir çizelgeleme yazılımından yola çıkarak yirmi beş yılda yönetim felsefesi haline gelmesi özetlenmektedir. Kısıtlar Teorisi'nin (TOC) uygulamacılar ve akademisyenler tarafından benimsenmesi, yaptığı katkıların yanı sıra, eksik noktalarının tespit edilmesi tarihsel gelişimi ile beraber ele alınmıştır.

Çizelge 2.6 Tedarik zinciri yönetimi ile ilgili Kısıtlar Teorisi (TOC) 2000–2008 yılları arası literatür sınıflandırması

No	Yıl	Yazar	Tedarik Zinciri /Lojistik		
			Sipariş Yönetimi Modeli	Trompet-Tampon-İp (DBR)	VAT Analizi
1	2002	Atwater, Chakravorty		✓	
2	2003	Riezebos vd.		✓	
3	2003	Yuan vd.		✓	
4	2003	Stratton, Mann		✓	
5	2003	Chua vd.		✓	
6	2004	Atwater vd.		✓	
7	2004	Ioannou, Papadoyiannis		✓	
8	2004	Louw, Page		✓	
9	2004	Schaeffers vd.		✓	
10	2004	Wuttipornpun, Yenradee	✓		
11	2005	Ehie, Sheu			✓
12	2005	Kirche vd.	✓		
13	2005	Steele vd.		✓	
14	2006	Koo vd.		✓	
15	2006	Sirikrai, Yenradee		✓	
16	2006	Tseng, Wuz		✓	
17	2006	Umble, Umble		✓	
18	2006	Umble vd.		✓	
19	2006	Wu, Yeh		✓	
20	2006	Chakravorty vd.			✓
21	2007	Grosfeld-Nir vd.			✓
22	2007	Ribeiro vd.		✓	

Çizelge 2.7 Finans ve ölçüm sistemleri ile ilgili Kısıtlar Teorisi (TOC) 2000–2008 yılları arası literatür sınıflandırması

No	Yıl	Yazar	Finans ve Ölçüm Sistemleri						
			Maliyet kullanımı	Boşluk Analizi	Marjın Testleri	Faaliyete Dayalı Maliyetlendirme	Geleneksel Maliyetlendirme	Çoklu Maliyetlendirme	Maliyet Atama
1	2003	Lea, Min				✓	✓	✓	
2	2003	Chua vd.		✓					
3	2004	Atwater vd.		✓					
4	2004	Ioannou, Papadoyiannis		✓					
5	2004	Wuttipornpun, Yenradee		✓					
6	2005	Ehie, Sheu		✓					
7	2005	Kirche vd.				✓			
8	2005	Souren vd.						✓	✓
9	2006	Koo vd.			✓				
10	2006	Umble vd.						✓	
11	2006	Chakraborty vd.					✓		
12	2007	Coman, Ronen	✓	✓	✓				
13	2007	Grosfeld-Nir vd.					✓		
14	2007	Watson vd.						✓	

Çizelge 2.8 Performans sistemleri ile ilgili Kısıtlar Teorisi (TOC) 2000–2008 yılları arası literatür sınıflandırması

No	Yıl	Yazar	Performans Sistemleri		
			Çıktı- Envanter – İşletme Giderleri	Finansal/finansal olmayan (kısa ve uzun dönemli karlılık, sipariş karşılama oranı ve ara ürün envanteri)	Temin süresi, maliyetleri, net kazanç, yatırım geri dönüşüm oranı
3	2003	Chaudhari, Mukhopadhyay	✓		
5	2003	Lea, Min		✓	
8	2003	Riezebos vd.			✓
9	2003	Sale, Inman		✓	
14	2003	Stratton, Mann	✓		
15	2003	Chua vd.			✓
16	2004	Aryanezhad, Komijan	✓		
17	2004	Atwater vd.		✓	
19	2004	Ho, Li	✓		
20	2004	Ioannou, Papadoyiannis	✓		
24	2004	Schaefer vd.	✓		✓
25	2004	Wuttipornpun, Yenradee			✓
27	2005	Ehie, Sheu		✓	
29	2005	Nishikant vd.	✓		
35	2006	Koo vd.	✓		
36	2006	Mehra vd.	✓		✓
39	2006	TSENG, Wuz	✓		
43	2006	Chakraborty vd.	✓		
46	2007	Grosfeld-Nir vd.		✓	
47	2007	Ribeiro vd.		✓	
48	2007	Tsai vd.	✓		

Çizelge 2.9 Strateji ile ilgili Kısıtlar Teorisi (TOC) 2000–2008 yılları arası literatür sınıflandırması

No	Yıl	Yazar	Business Strategy				
			Strategik & taktik kısıtları	Strategik ve taktik konumlandırma	Ürün tasarımı	Üretim stratejisi	Operasyonels stratejiler
6	2003	Pass, Ronen		✓			
10	2003	Scoggin vd.			✓		
14	2003	Stratton, Mann				✓	
45	2007	Coman, Ronen	✓				
49	2007	Watson vd.				✓	

Çizelge 2.10 Üretim planlama ile ilgili Kısıtlar Teorisi (TOC) 2000–2008 yılları arası literatür sınıflandırması

No	Year	Author	Production Planning														
			Kapasite kısıtlı Üretim Çizelgeleme	Üretim çizelgeleme	Atölye çizelgeleme ve sevkiyat çizelgeleme	Akış çizelgeleme	Ürün karması	Serbest ürünler	Kapasite kısıtları	Parti büyüklüğü	Kapasite kısıtlı kaynaklar	Toplu planlama	Atölye kontrolü	Atölye planlama	İş yükü kontrolü	Üretim faaliyetleri kontrolü	Kapsite kısıtlı üretim çizelgeleme
1	2002	Atwater, Chakravorty		✓													
2	2003	Chang vd.														✓	
3	2003	Chaudhari, Mukhopadhyay					✓										
4	2003	Riezebos vd.										✓		✓			
5	2003	Sale, Inman											✓				
6	2003	Vandaele, De Boeck							✓		✓						
7	2003	Chua vd.														✓	
8	2004	Aryanezhad, Komijan					✓										
9	2004	Atwater vd.								✓							
10	2004	Ho, Li			✓												
11	2004	Ioannou, Papadoyiannis												✓			
12	2004	Koksal, G.					✓										
13	2004	Lin vd.	✓				✓										
14	2004	Louw, Page								✓							
15	2004	Schaeffers vd.		✓										✓			
16	2004	Wuttipornpun, Yenradee			✓												
17	2005	Chakravorty, Atwater						✓									
18	2005	Ehie, Sheu													✓		
19	2005	Nishikant vd.					✓										
20	2005	Souren vd.					✓										
21	2005	Steele vd.		✓								✓					
22	2006	Al-Aomar, R.	✓														
23	2006	Chakravorty, Atwater							✓								
24	2006	Koo vd.								✓							
25	2006	Mehra vd.								✓							
26	2006	Singh vd.					✓										
27	2006	Sirikrai, Yenradee				✓											
28	2006	Chakraborty vd.	✓														
29	2007	Bhattacharya, Vasant					✓										
30	2007	Grosfeld-Nir vd.															
31	2007	Ribeiro vd.							✓								
32	2007	Watson vd.							✓							✓	

Çizelge 2.11 Kısıtlar Teorisi (TOC) çözüm yaklaşımları ile ilgili 2000–2008 yılları arası literatür incelemesi

No	Yıl	Yazar	TOC Araçları					Çözüm Yaklaşımı Metodu																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
			Trampet- Tampon- İp (DBR)	Beş Odaklanma Adımı	TOC Performans Ölçütleri Envanter- İşlem Maliyetleri -Çıktı	Darboğaz Problemi	Düşünen Süreçler	Yöneylem Araştırması					Simülasyon		Sezgisel			İstatistiksel					Diğer																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
								Kaynak Yeniden atama Algoritması	Doğrusal Programlama	Tamsayılı Doğrusal Programlama	Bulanık Doğrusal Programlama	Karmalık Tamsayılı Programlama	Kuyruk Ağ Analizi	Ayrık Durum Simülasyonu	Simülasyon	Sezgisel Üretim Faaliyetleri Kontrol Modeli	Yeni Araç Sevkiyat Sezgiseli	Tavlama ile Benzetim (Simulated Annealing)	Tabu Arama	MANOVA	ANOVA	Altı Sigma	Bonferroni İkili Karşılaştırmaları	DOE	Süreç Haritalama	SWOT Analizi	Literatür İncelemesi	Kalite İyileştirme	Bakım Yönetimi	Bilgi Sistemleri	Maslow'un İhtiyaçlar Hiyerarşisi (Psycho-Clonal)	JIT	Malzeme Yönetimi	MRP	Dağıtım Kaynakları Planlaması	Yalın Üretim	TKY/Kalite Kontrol Araçları Pareto/ Histogram/ Kontrol Listesi / Kontrol Şemaları/ Neden-Sonuç Diyagramları ve etki diyagramları/ Akış Şemaları / Sağlama Diyagramları																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	2002	Atwater ve Chakravorty	✓			✓																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									

[illegible]

[illegible]

3. DÜŞÜNEN SÜREÇLER (TP) YARDIMI İLE PROBLEM ANALİZİ

Düşünen Süreçler ile problem analizi yapılırken izlenen adımlar, Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Şekil 3.1’de ilk adımı gösterilen Mevcut Gerçeklik Ağacının oluşturulma adımları aşağıda açıklanmıştır.

3.1 Ele Alınan İstenmeyen Sonuçların (UDE) Yol Haritasına göre Analizi

3.1.1 İstenmeyen Sonuç (UDE) Betimlemeleri

İstenmeyen Etki 1(UDE-1):

Saha Hizmetleri Grubu işletme içerisindeki hizmet, bakım, onarım faaliyetlerini yürütmektedir. Bu faaliyetleri yürütürken kendi bünyesindeki farklı birimlerden destek almaktadır. Bu birimlerden biri de, Pre Response Group (PRG) dur. Bu grup çeşitli müşterilerden gelen arıza ve problem çağrılarını üstlenerek, bu problemleri telefonda çözümlmeye çalışmaktadır. Problem çözümlenemezse, saha elemanları yerinde çözüm bulmak üzere yönlendirilirler. Sahada çözüm maliyeti, telefonda çözüm maliyetinden çok daha yüksek olduğu için PRG grubunun telefonda çözüm oranı incelemeye alınmak istenmiş ve bu oranın artırılıp artırılamayacağı araştırılmak istenmiştir. Problemin özet ifadesi PRG çağrı çözümleme oran/sayısının istenilen seviyede olmamasıdır. Bu Saha Hizmetleri Grubunun, mevcut kaynakları daha etkin kullanması ve bu sayede dolaylı olarak zaman zaman sorun olarak karşımıza çıkan Hizmet Anlaşmasındaki (Service Level Agreement-SLA) (sözleşmelerde taahhüdün yerine getirilme sürelerinin limitleri) cezaların gerçekleşmesinin önlenmesi açısından stratejik önem taşıyan bir projedir. Diğer taraftan bu projede yapılan iyileştirme, grubun yaptığı yıllık yolculuğu da aynı oranda düşürerek, yolculuk yaparak çalışmasından kaynaklı risklerin en aza indirilmesi gibi dolaylı faydalar sağlayacaktır.

İstenmeyen Etki 2.1, 2.2 ve 2.3 (UDE#2.1, UDE#2.2 ve UDE#2.3):

Saha Hizmetleri departmanında Saha elemanları PRG bölümünün, bilgi yetersizliği veya telefonla çözümleyemediği arızaların giderilmesi için müşteri lokasyonuna yönlendirilmektedir. Saha elemanlarının çözümleyebildiği çağrı sayısı firma için yeterli değildir. Ayrıca elemanların müşterilere ulaşmak için harcadıkları toplam yol maliyetleri yüksektir. PRG birimi ile ilgili problem belirtilirken söylendiği gibi

öncelikli çağrılarının çözümünde oluşacak gecikmeler, maddi ceza getirmektedir. Gecikme sürelerinin azaltılması, bu birimin en büyük hedeflerindendir. Özetle, yol masraflarının yüksek olması, çağrı çözüm sayılarının yetersiz olması ve öncelikli çağrılarının gecikme süresinin yüksek olması bu birim ile ilgili şikayetleri oluşturmaktadır.

İstenmeyen Etki 3.1 (UDE#3.1):

Saha Hizmetleri Departmanında Yedek Parça Yönetimi Departmanı yönetiminde Firmanın garanti kapsamında arızalı ürünleri, satın alınan Tedarikçilerden değiştirilmektedir. Üretici garantisi kapsamındaki arızalı yedek parçaların, ilgili üreticilerden ücretsiz değişimi sürecinde yetersiz takip altyapısı ve süreçte yaşanan gecikmelerden dolayı maddi kayıp yaşanmaktadır. Temel hedef müşterilerde değişimi yapılan üretici garantisi kapsamındaki arızalı yedek parçaların, ilgili üreticilerden ücretsiz değişiminin sağlanması sürecindeki kayıpların önlenmesi ile operasyonel Yedek Parça maliyetlerinin düşürülmesidir.

Aynı zamanda yanlış tasnif sonucu garanti kapsamında üreticiler yerine garanti kapsamında olmayan ürünlerin tamirinin yapıldığı Destek Plaza onarım departmanına gönderilen arızalı yedek parçaların yarattığı gereksiz kaynak kullanımı ve maliyetlerin önlenmesi de bu proje kapsamında ölçülmemiş dolaylı bir getiri oluşturacaktır.

Aynı nedenden kaynaklanan başka bir sorunda süreçte yaşanan gecikmelerden dolayı Yedek Parça kritik seviyesini karşılamak için yapılan alımlardan ötürü Yedek Parça stok maliyetlerinin artışıdır.

İstenmeyen Etki 3.2 (UDE#3.2):

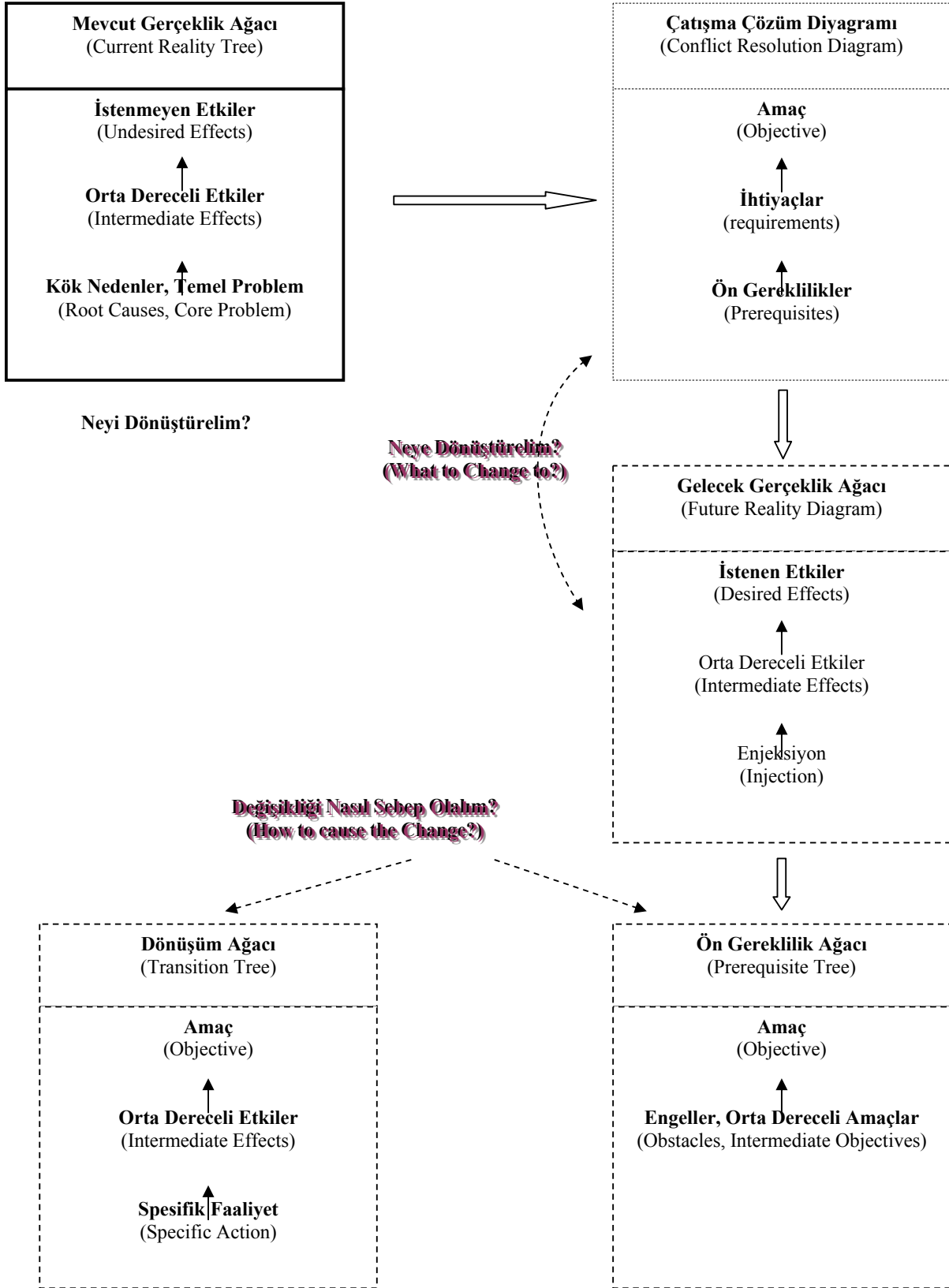
Saha Hizmetleri Grubu işletme içerisindeki hizmet, bakım, onarım faaliyetlerini yürütmektedir. Bu faaliyetleri yürütürken kendi bünyesindeki farklı birimlerden destek almaktadır. Bu birimlerden biride Destek Plaza birimidir. Destek Plaza'da arızalı ürünlerin onarımı yapılmaktadır. Bu onarım gerçekleştirilirken herhangi bir öncelik gözetilmemektedir. Yedek Parçanın en çok hangi ürünleri sarf ettiğinden bağımsız olarak tamir ve onarım faaliyetleri yürütülmektedir. Burada sıkıntı duyulan konu onarılabilecek ürünlerde karlılığın artırılmasıdır. Bu problem ele alınırken;

- Destek Plaza tarafından Yedek Parça için onarılan parçalarda arz-talep dengesi bozulmadan karlılığın artırılması,

- Düşük karlılığı ve önemli olmayan ürünlerin onarılmaması,
- Ekipman ve kaynağın verimli kullanılması,
- Onarılan parçalarda arz talebin dengelenmesi, hedeflenmiştir.

Yedek Parça stokları azaltılarak belirlenecek kritik seviyeye çekilecek ve stok maliyetleri azaltılacaktır. Yedek Parça için onarım yapılan ürün yelpazesinin (en fazla satın alınan ürünler için) genişletilmesi hedeflenmiştir. Yedek Parça satın alma ihtiyacı azaltılacak ve Destek Plaza'nın onarım karlılığı artacaktır. Yedek Parça sarfının incelenerek gerekli azaltmanın yapılması fırsat olarak değerlendirilmiştir. Çağrılara sarf edilen yedek parçanın azaltılması satın almayı azaltarak çağrı maliyetlerini düşürecektir.

İstenmeyen Etkiler (UDE) net bir şekilde sözel olarak ifade edildikten sonra, Buharlaşan Bulutlar (Evaporating Cloud-EC) oluşturulmaya başlanır. Bunun için istenmeyen etkinin kısa tanımının yanı sıra, hangi eylemden şikâyetçi olduğumuzu, şikâyet ettiğimiz durumun tam tersinin ne olduğu, şikâyetçi olduğumuz eylemi gerçekleştirirken hangi ihtiyacın karşılandığı, şikâyet ettiğimiz durumun tam tersinin gerçekleştirerek hangi ihtiyacın karşılanabileceği ve karşılanan bu ihtiyaçların, hangi amaca ulaşılmasını sağladığı incelenmektedir. Detayları yukarıda verilen istenmeyen etkiler için bu sorgulamalar yapılmış ve Çizelge 3.1'de ilgili detaylar oluşturulmuştur. Bu tablolar oluşturulduktan sonra Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterildiği gibi bu tablodaki bilgiler şematize edilerek Buharlaşan Bulutlar (EC) elde edilir. Buharlaşan bulutların (EC) nasıl elde edildiği bölüm 3.1.2'de açıklanmıştır.



Şekil 3.1 Düşünen süreçler akış şeması mevcut gerçeklik ağacı (CRT)

Çizelge 3.1 İstenmeyen etki (UDE) ve buharlaşan bulut (EC) tablosu

Bizi rahatsız eden...		Hangi eylemden şikâyetçisiniz?	D'nin zıttı olan veya D'ye tercih edilen eylem nedir?	D eylemini gerçekleştirerek hangi ihtiyacınızı karşılıyorsunuz? D'ye katlanma nedeniniz nedir?	D' eylemini gerçekleştirerek hangi ihtiyacınızı karşılayabilirsiniz? Veya D' eylemini gerçekleştirmeniz neye ulaşmanızı engelliyor?	B ve C başlığı altında belirtilen konular hangi amaca ulaşmanızı sağlıyor?
İstenmeyen Etki (UDE) Açıklama	UDE No	Eylemler/İstekler/Talepler D	Eylemler/İstekler/Talepler D'	Önemli İhtiyaç B	Önemli İhtiyaç C	Ortak Amaç A
Saha Hizmetleri Çağrı Merkezine Gelen Çağrılardan Çözümlenenlerin Sayısı Az	UDE# 1	Gelen Çağrılarının PRG'de Çözümleme Sayısı İstenenden Az	Gelen Çağrılarının PRG'de Çözümleme Sayısının Arttırılması	PRG Birimi Dışındaki Birimlerde Gerçekleşmesi Gereken İşlemlerin Yapılması	Mevcut Kaynakları Daha Etkin Kullanması, Öncelikli Çağrılarının Cezai Müeyyidelerinden Kaçınılması, Telefonda Çağrı Çözümleme Oranının Arttırılarak Sahada Çözüm Gerektiren Çağrı Sayısının Azaltılması, Sahada Çalışan Tamircilerin Araç Kazalarına Maruz Kalma Riskinin Azaltılması, Müşteri Memnuniyetinde Artış	PRG Biriminde Çözümlenen Çağrılarının Etkin Yönetimi

Çizelge 3.1 İstenmeyen Etki (UDE) ve buharlaşan bulut (EC) tablosu (devamı)

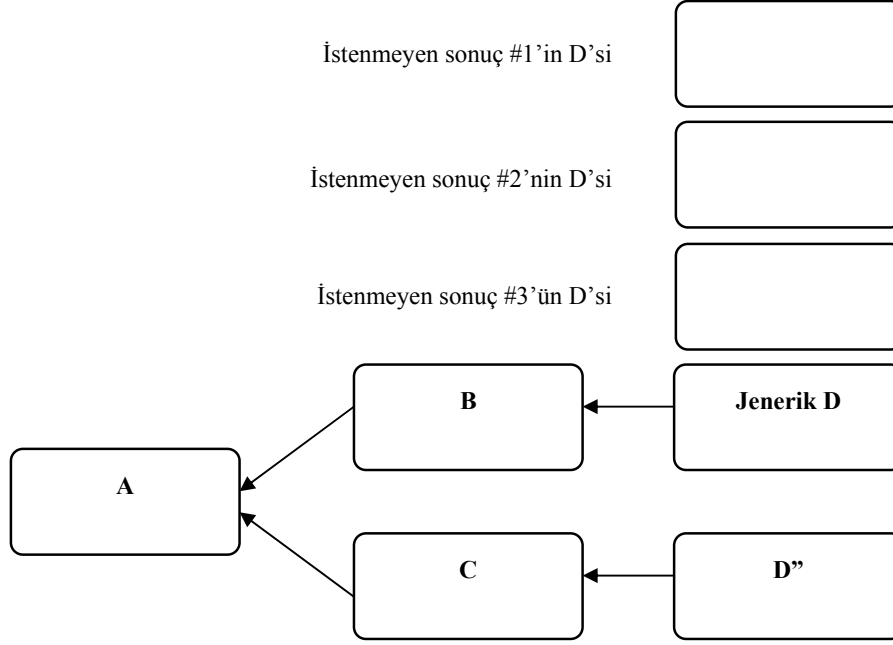
Bizi rahatsız eden...		Hangi eylemden şikâyetçisiniz?	D'nin zıttı olan veya D'ye tercih edilen eylem nedir?	D eylemini gerçekleştirerek hangi ihtiyacınızı karşılıyorsunuz? D'ye katlanma nedeniniz nedir?	D' eylemini gerçekleştirerek hangi ihtiyacınızı karşılayabilirsiniz? Veya D' eylemini gerçekleştirmeniz neye ulaşmanızı engelliyor?	B ve C başlığı altında belirtilen konular hangi amaca ulaşmanızı sağlıyor?
UDE Açıklama	UDE No	Eylemler/İstekler/Talepler D	Eylemler/İstekler/Talepler D'	Önemli İhtiyaç B	Önemli İhtiyaç C	Ortak Amaç A
Saha'ya Yönlendirilen Çağrıların Çözüm Verimliliği Düşük	UDE# 2.1	Sahaya Yönlendirilen Çağrıların Çözümünde Tamirciler Yetersiz Kalıyor	Sahaya Yönlendirilen Çağrıların Çözümünde Tamirciler Yetersiz Kalmıyor	Elimizdeki İşe Odaklanma ve Müşteriye Hızlı Cevap Verme	Müşteri Memnuniyeti Sağlanıyor, Öncelikli Çağrılar Cezai Müeyyideye Girmiyor, Mevcut Kaynakları Daha Etkin Kullanması,	PRG Biriminde Çözümlenen Çağrıların Etkin Yönetimi
Saha'ya Yönlendirilen Çağrıların Çözüm Verimliliği Düşük	UDE# 2.2	Saha'ya Yönlendirilen Öncelikli Çağrılar Zaman Penceresi Dâhilinde Çözümleyemediğimiz için Gecikme Süresi Yüksek	Saha'ya Yönlendirilen Öncelikli Çağrılar Zaman Penceresi Dâhilinde Çözümlüyoruz	Elimizdeki Kaynaklar ile Müşteri Memnuniyeti Sağlamak ve Öncelikli Çağrı Şartlarını Sağlamak	Saha'ya Yönlendirilen Çağrılardan Öncelikli Olanlar için Ceza Ödemiyoruz	Sahaya Yönlendirilen Çağrılar Zamanında Çözümlemesini Sağlıyoruz.
Saha'ya Yönlendirilen Çağrıların Çözüm Verimliliği Düşük	UDE# 2.3	Saha'ya Yönlendirilen Çağrıların Çözümü için Yolda Uzun Süre Geçiriyoruz	Saha'ya Yönlendirilen Çağrıların Çözümü için Yolda Makul Bir Süre Geçiriyoruz	Elimizdeki Kaynaklar ile Müşteriye Hızlı Cevap Vermek	Müşterilere Zamanında Ulaşabilmek, Çözümleyemediğimiz Çağrı Sayısını Azaltmak, Elimizdeki Kaynakların Verimli Kullanılması	Saha'ya Yönlendirilen Çağrıların Çözümü için Yol Maliyetlerinin Azaltılması

Çizelge 3.1 İstenmeyen Etki (UDE) ve buharlaşan bulut (EC) tablosu (devamı)

Bizi rahatsız eden...		Hangi eylemden şikâyetçisiniz?	D'nin zıttı olan veya D'ye tercih edilen eylem nedir?	D eylemini gerçekleştirerek hangi ihtiyacınızı karşıyorsunuz? D'ye katlanma nedeniniz nedir?	D' eylemini gerçekleştirerek hangi ihtiyacınızı karşılayabilirsiniz? Veya D' eylemini gerçekleştirmeniz neye ulaşmanızı engelliyor?	B ve C başlığı altında belirtilen konular hangi amaca ulaşmanızı sağlıyor?
UDE Açıklama	UDE No	Eylemler/İstekler/Talepler D	Eylemler/İstekler/Talepler D'	Önemli İhtiyaç B	Önemli İhtiyaç C	Ortak Amaç A
Arızalı veya Bozuk Ürünleri Değiştirdikten Sonra Garanti Kapsamında Olup Olmadıklarını Kontrol Eden Bir Mekanizmamız Yok. Bu Nedenle Garanti Kapsamından Faydalanıp Faydalanamayacağımızı Bilemiyoruz.	UDE# 3.1	Tedarikçiden Arızalı Ürünlerin Değiştirilmesini Talep Etmiyoruz	Tedarikçiden Arızalı Ürünlerin Değiştirilmesini Talep Ediyoruz	Elimizdeki İşe Odaklanma ve Müşteriye Hızlı Cevap Verme	Gereksiz Maliyetlerden Kaçınma	Tamir ve Hizmet Maliyetlerinin Etkin Yönetimi
Arızalı veya Bozuk Ürünleri Değiştirdikten Sonra Garanti Kapsamında Olup Olmadıklarını Kontrol Eden Bir Mekanizmamız Yok. Bu Nedenle Garanti Kapsamından Faydalanıp Faydalanamayacağımızı Bilemiyoruz.	UDE# 3.2	Garanti Kapsamında Değiştirilebilecek Ürünleri Tamir Ediyoruz	Garanti Kapsamında Değiştirilebilecek Ürünler Tamir Edilmiyor	Elimizdeki İşe Odaklanma ve Müşteriye Hızlı Cevap Verme	Kaynakların Etkin Kullanımı	Tamir ve Hizmet Maliyetlerinin Etkin Yönetimi

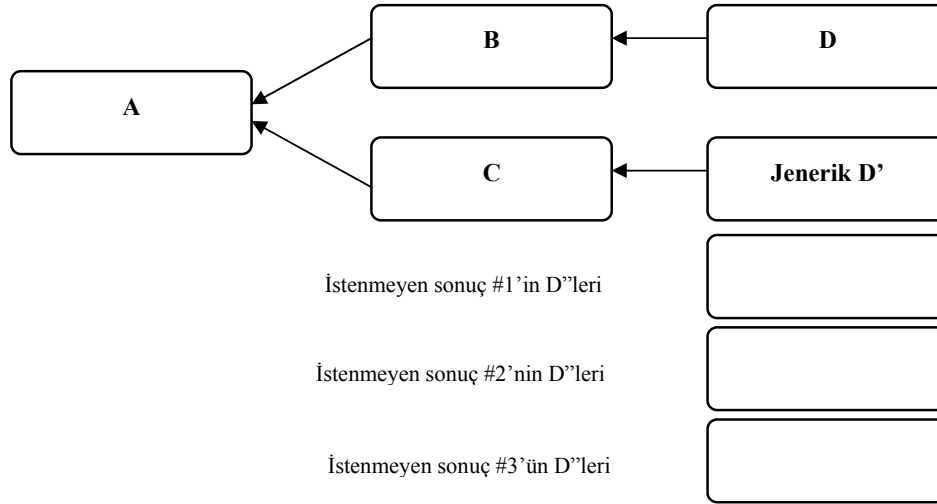
3.1.2 Jenerik İstenmeyen Etkinin Belirlenmesi

Oluşturduğunuz İstenmeyen Etki (UDE) şablonundaki tüm D'leri bir araya getirerek tümünü birden kapsayarak ifade edebilen **Jenerik** bir Bulutun oluşturulmasına Jenerik bir D'nin oluşturulması ile başlanır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Jenerik D'nin bulunması

Aynı şekilde oluşturduğunuz İstenmeyen Etki (UDE) şablonundaki tüm D''leri bir araya getirerek tümünün birden kapsayarak ifade edebilen Jenerik bir D' oluşturunuz (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Jenerik D''ünün bulunması

Aynı şekilde tüm amaçları ifade edecek tek bir Jenerik Amaç oluşturulur. Yine tüm B ve

C'leri kapsayacak ve tek bir cümlede ifade edecek Jenerik Bulut oluşturulur. Daha sonra oluşturulan Jenerik Bulut aşağıdaki mantık sorgusundan geçirilir;

Yatay oklar için;

“-e sahip olmak için (okun sonu) -e sahip olmalıyız (okun başı)”.

Çatışma oku için;

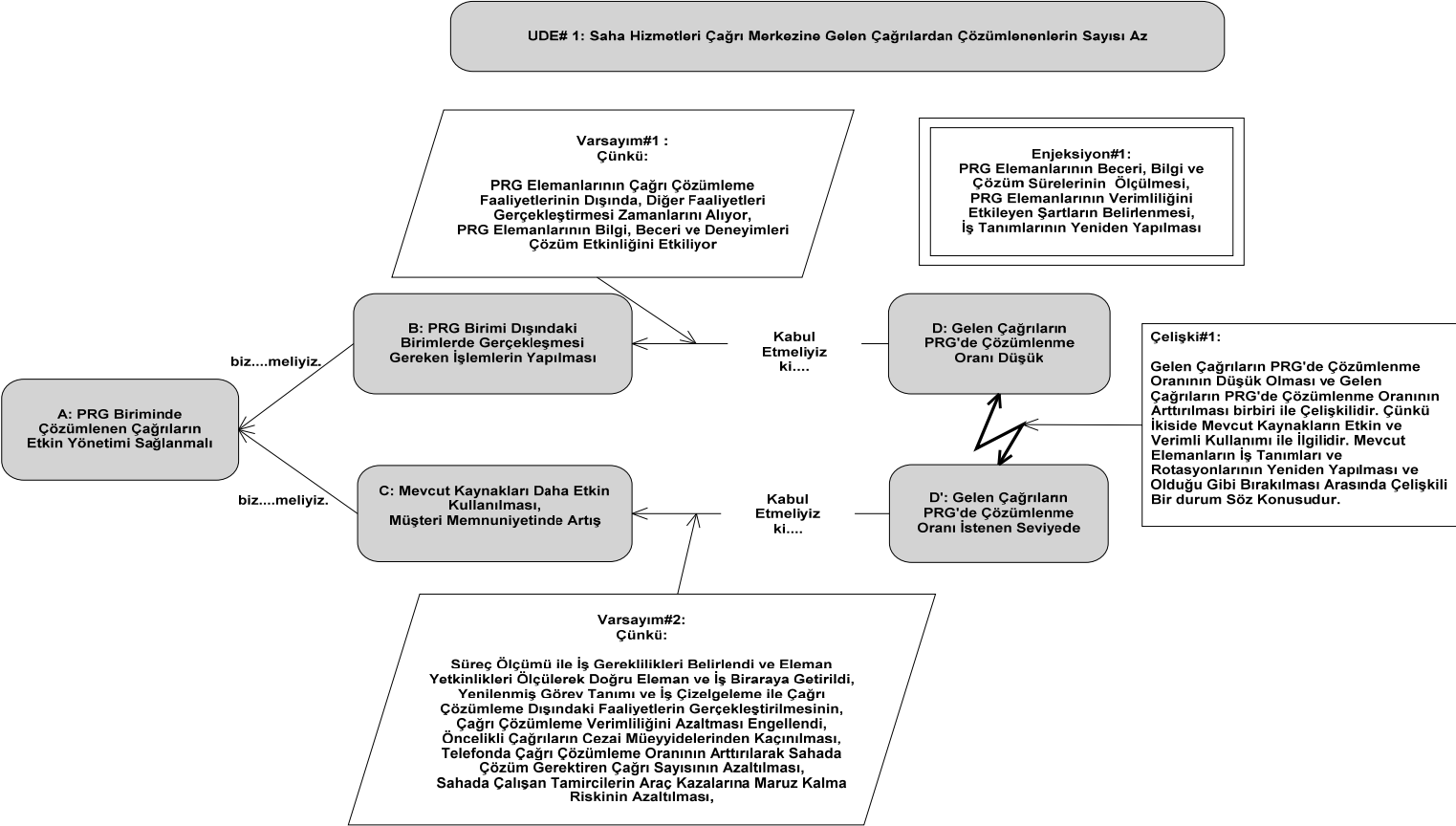
“D, D’ ile direkt çatışma halindedir”, cümlesi ile sorgulayınız.

Çizelge 3.2. Jenerik UDE ve jenerik buharlaşan bulut Tablosu

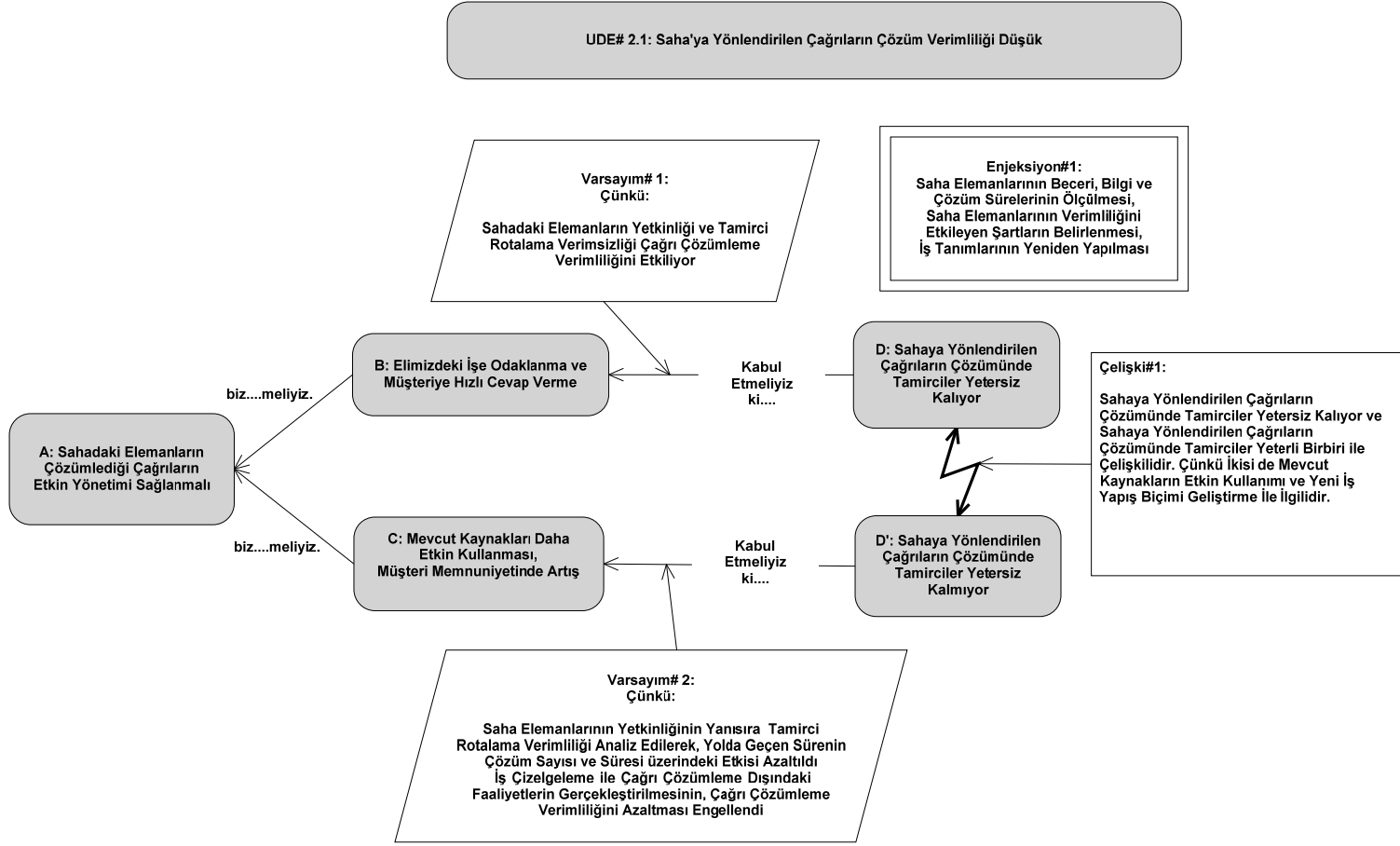
Bizi rahatsız eden...	Hangi eylemden şikâyetçisiniz?	D'nin zıttı olan veya D'ye tercih edilen eylem nedir?	D eylemini gerçekleştirerek hangi ihtiyacınızı karşılıyorsunuz? D'ye katlanma nedeniniz nedir?	D' eylemini gerçekleştirerek hangi ihtiyacınızı karşılayabilirsiniz? Veya D' eylemini gerçekleştirmeniz neye ulaşmanızı engelliyor?	B ve C başlığı altında belirtilen konular hangi amaca ulaşmanızı sağlıyor?
UDE Açıklama	Eylemler/İstekler/Talepler D	Eylemler/İstekler/Talepler D'	Önemli İhtiyaç B	Önemli İhtiyaç C	Ortak Amaç A
Jenerik UDE	Saha Hizmetleri Aktivitelerinin Geçici ve Anlık Çözümler ile Gerçekleştirilmesi	Saha Hizmetleri Faaliyetlerinin Gerçekleştirilmesinde Sistematiik Bir Yaklaşım Kullanılması	Müşteri Memnuniyeti Sağlamak ve İş Yürütmek	Kaynakların İsraf Edilmemesi, Etkin ve Verimli Kullanılması	Saha Hizmetleri Bakım ve Tamir Faaliyetlerinin Başarılı Şekilde Yönetilmesi

3.1.3 Servis Bulutlarının Oluşturulması

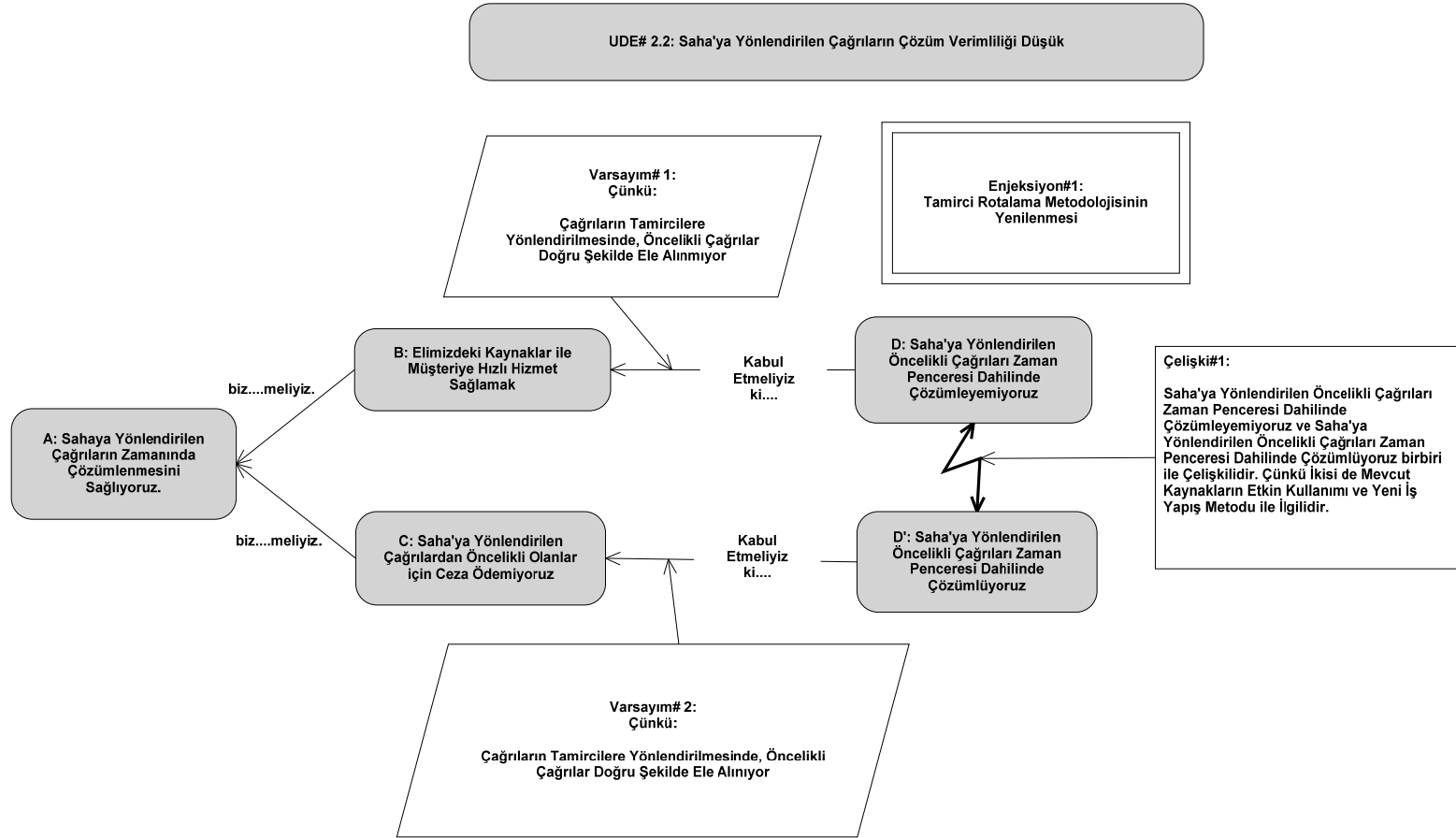
Buharlaşan bulutların (EC) hazırlanmasından sonra, aynı bulut üzerinde mantık sorgulaması gerçekleştiriliyor. Şikâyet edilen durum ve tam tersi arasındaki çelişki sorgulaması yapıldıktan sonra, bu iki kavramın karşıladığı ihtiyaçlarla olan ilişkilerinde geçerli olan varsayımlar belirleniyor. Her bir istenmeyen etki için oluşturulan Evaporatör bulutlar aynı yapıda inceleniyor (Şekil 3.6 ila Şekil 3.11) . Tüm istenmeyen etkileri ifade edecek bir jenerik buharlaşan bulut oluşturuluyor (Şekil 3.12).



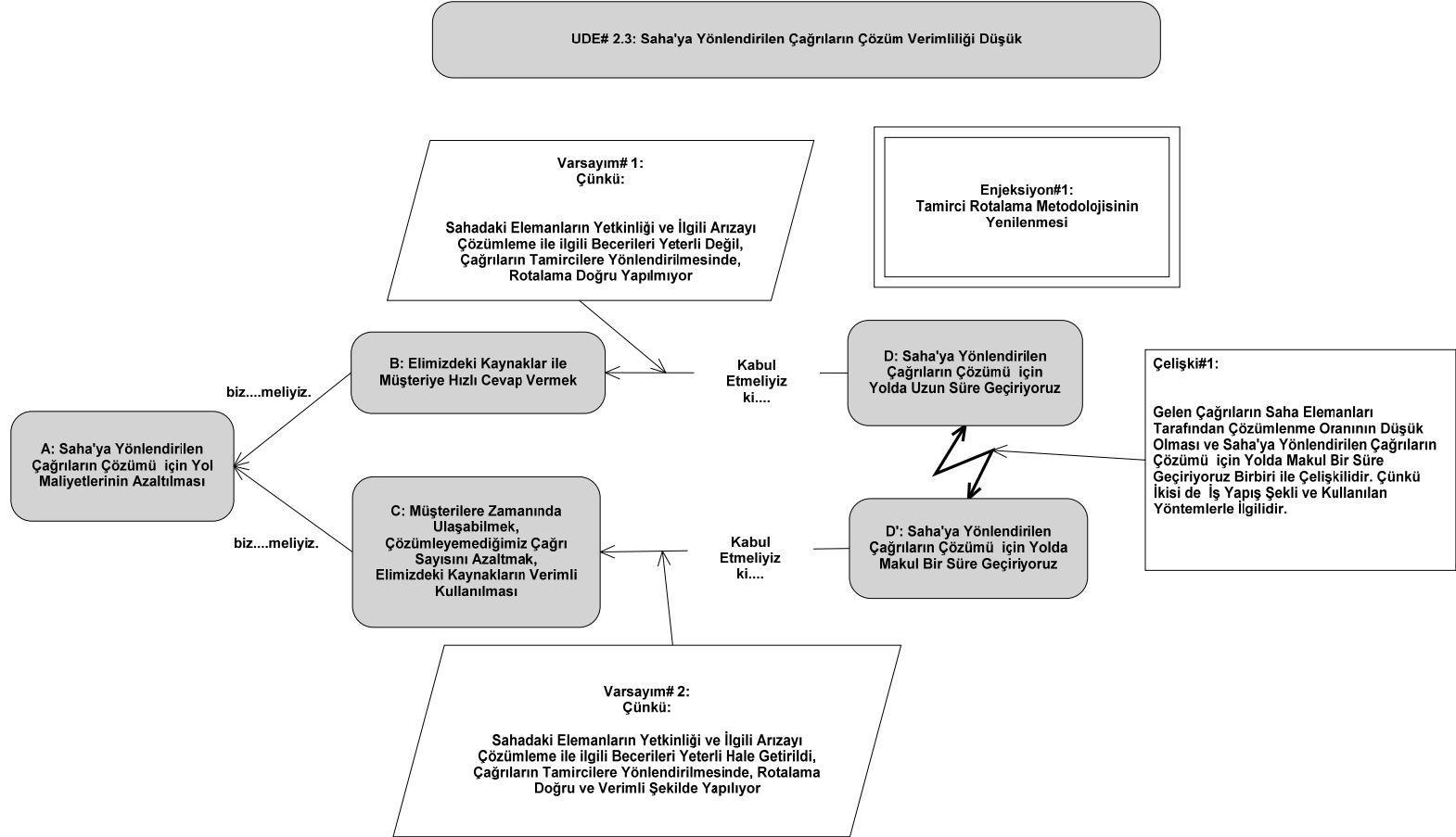
Şekil 3.6 Servis bulutu#1



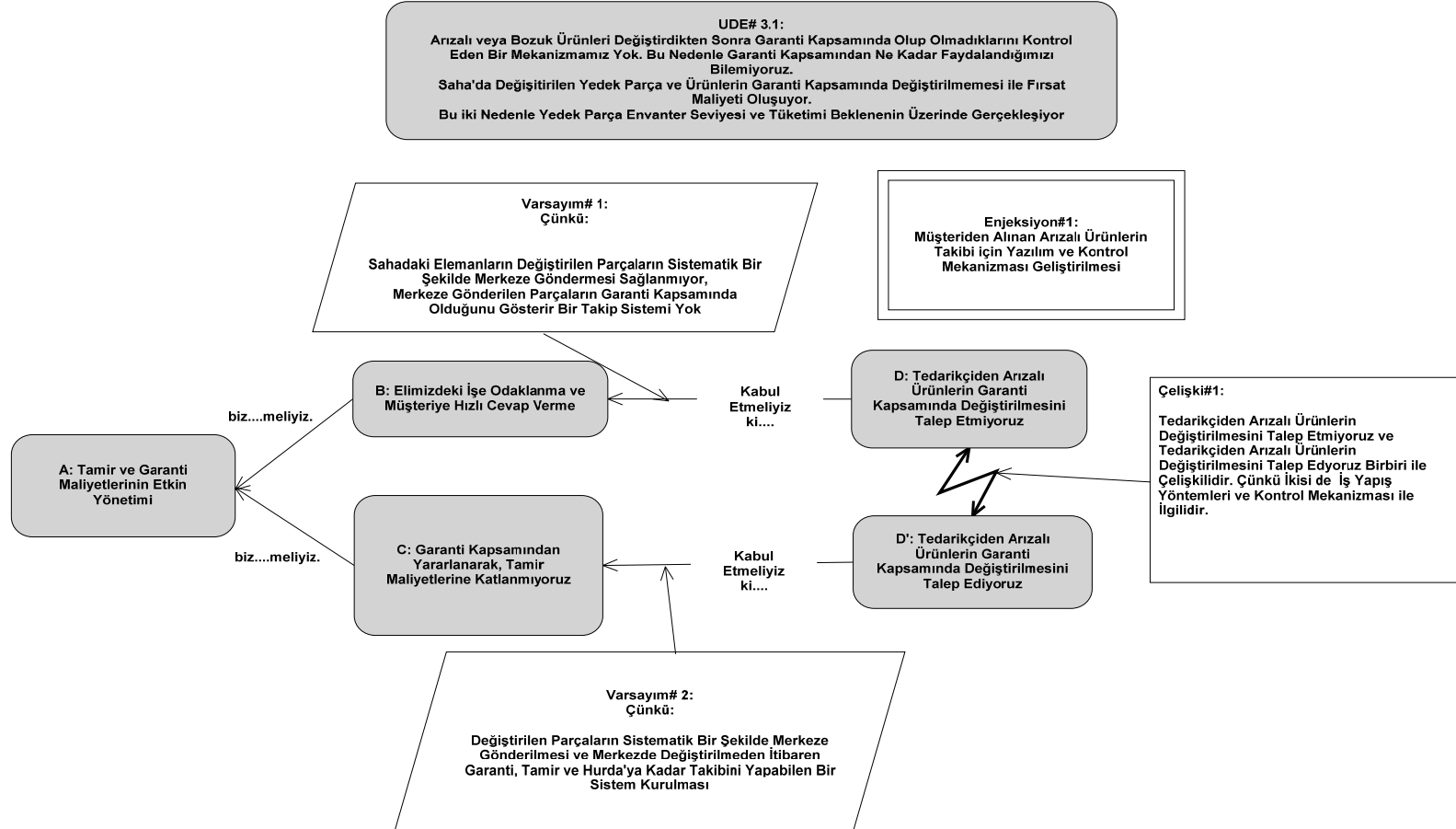
Şekil 3.7 Servis bulutu#2.1



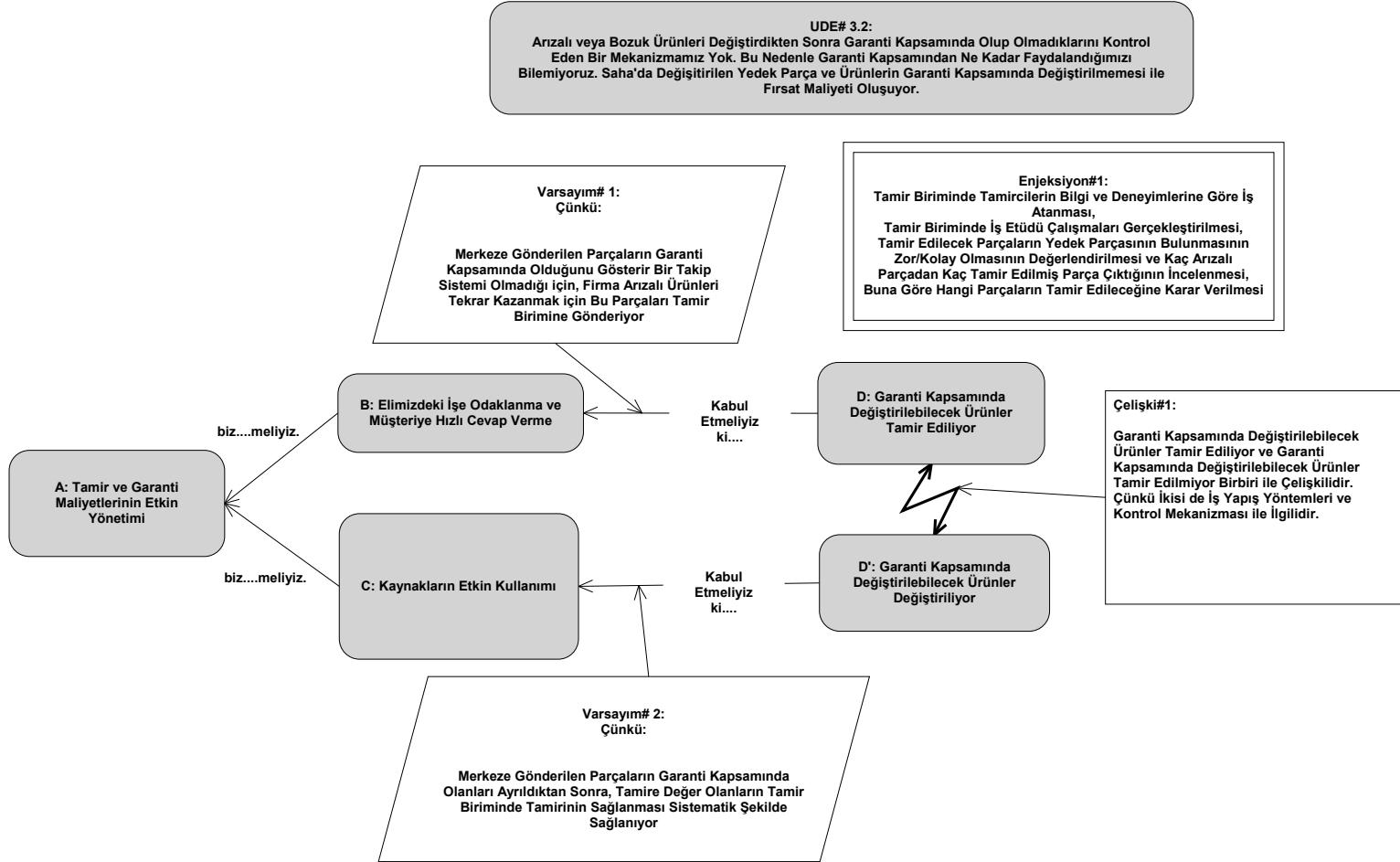
Şekil 3.8 Servis bulutu#2.2



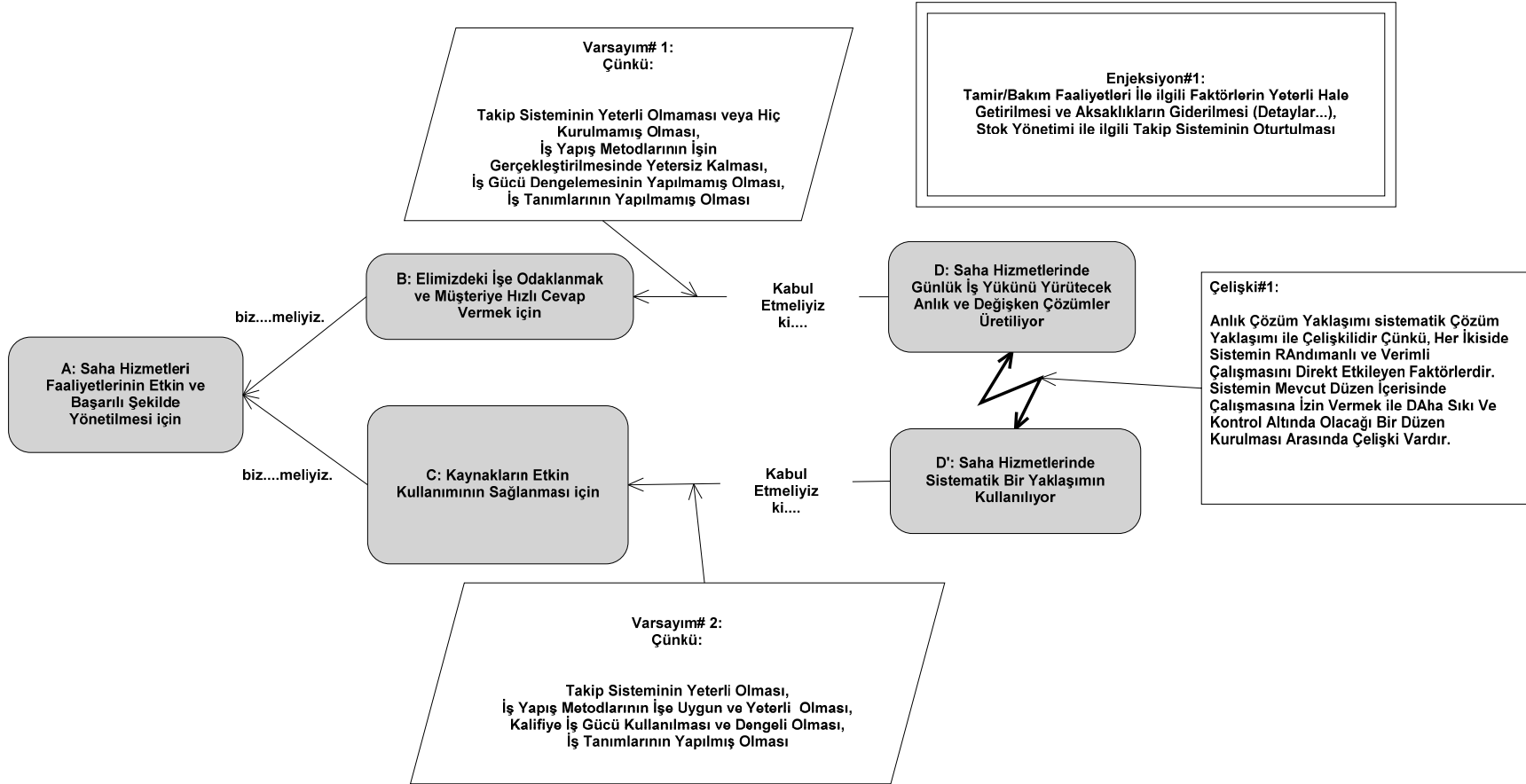
Şekil 3.9 Servis bulutu#2.3



Şekil 3.10 Servis bulutu#3.1



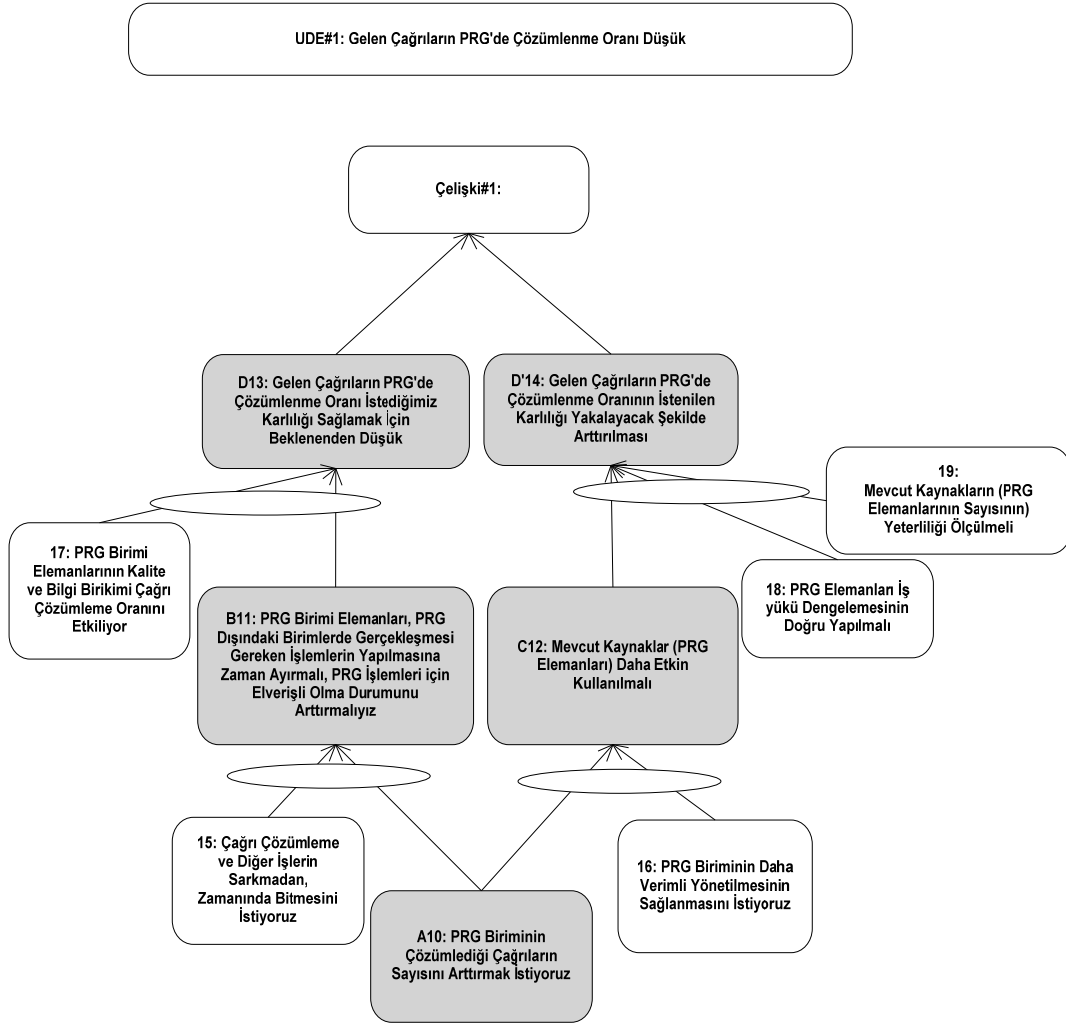
Şekil 3.11 Servis bulutu#3.2



Şekil 3.12 Jenerik servis bulutu

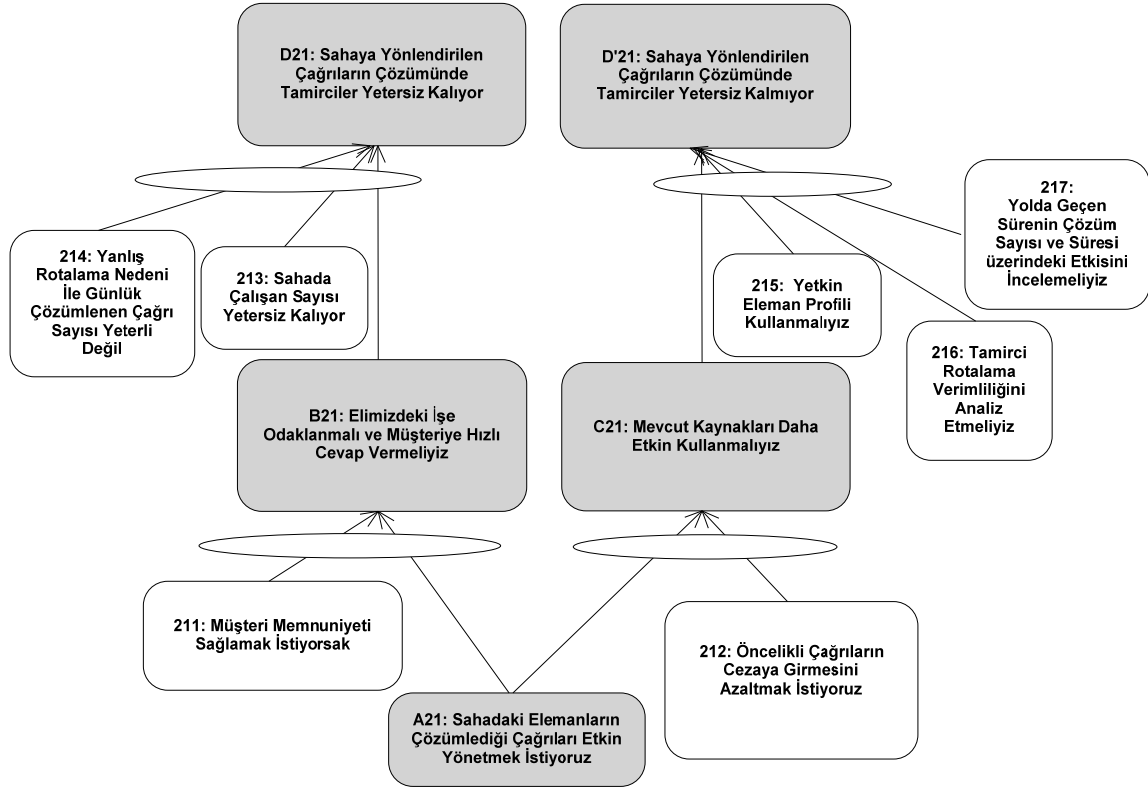
3.1.4 Neden Sonuç Neden Ağaçlarının (CECT) Oluşturulması

Evaporatör ağaçlar oluşturulduktan sonra, tanımlanan çelişkiler ve varsayımlar, mantıksal bir yapıya dönüştürülerek, Neden Sonuç Neden Ağaçlarının temelini oluşturacak şekilde 90 derece döndürülüyor. Şekil 3.13 ila Şekil 3.18 arasında bu yapıya dönüştürülmüş ağaçlar görülmektedir. Bir sonraki adımda, her ağacın şikâyet edilen faktörü ve tersi durumu, köprü diye adlandırılan yapıyı oluşturmak üzere kullanılmaktadır.



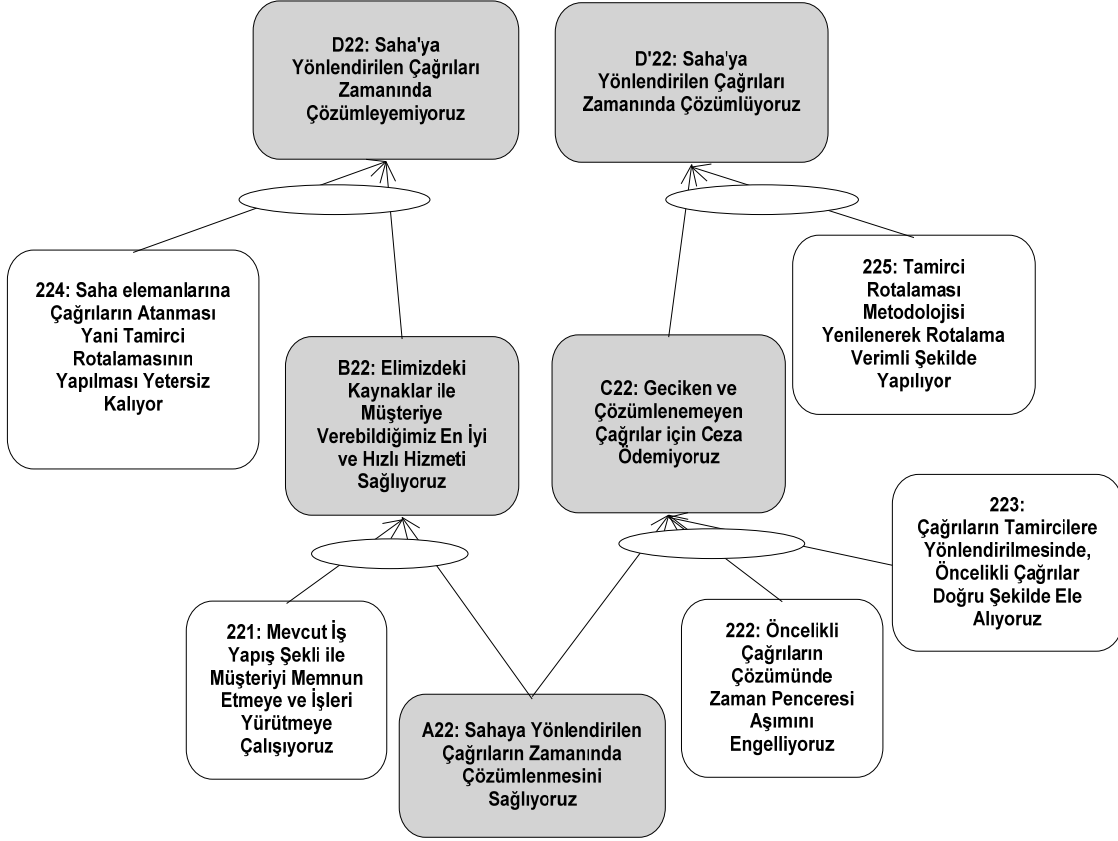
Şekil 3.13 Neden-sonuç-neden ağacı (CECT) UDE#1 için

UDE#2.1: Saha'ya Yönlendirilen Çağrılarının Çözümleme Oranı Düşük

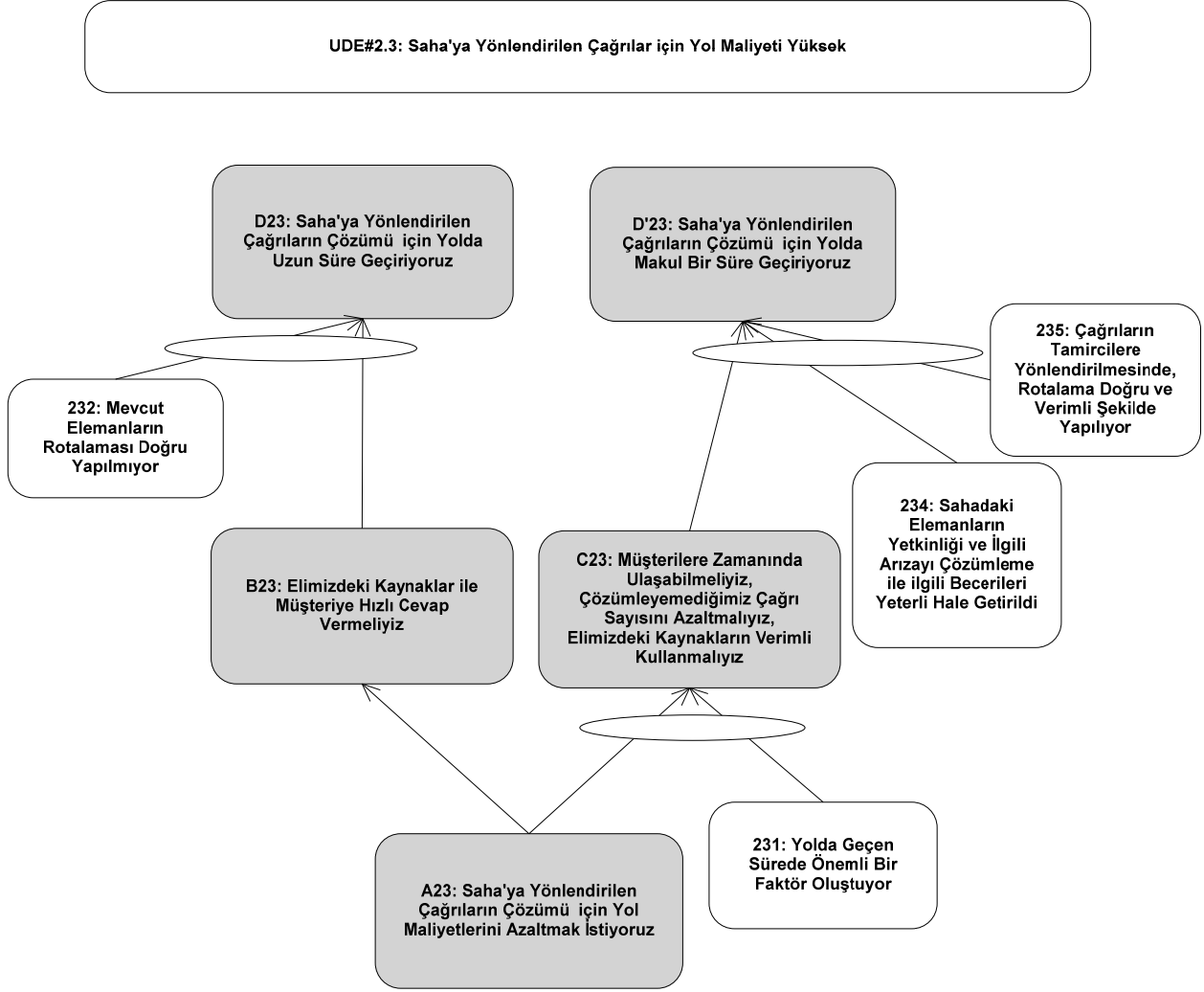


Şekil 3.14 Neden-sonuç-neden ağacı UDE#2.1 için

UDE#2.2: Saha'ya Yönlendirilen Çağrılardan Öncelikli Olanların Gecikme Süresi Yüksek

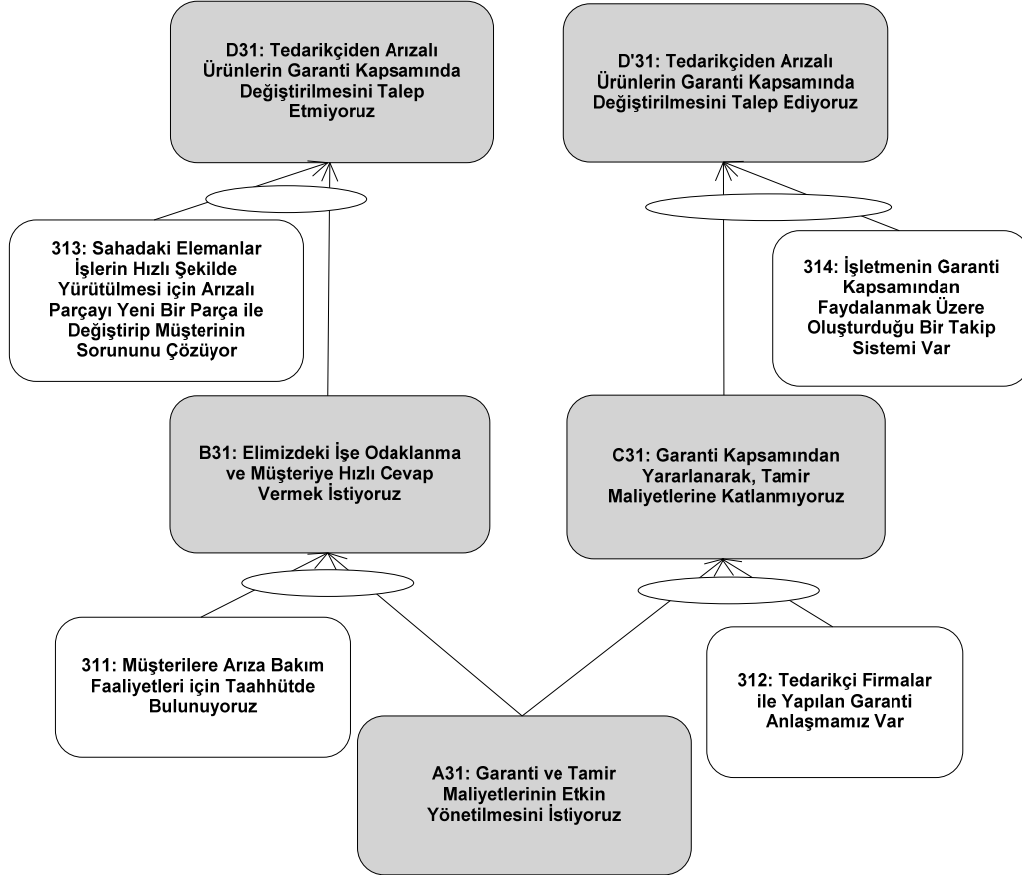


Şekil 3.15 Neden-sonuç-neden ağacı UDE#2.2 için

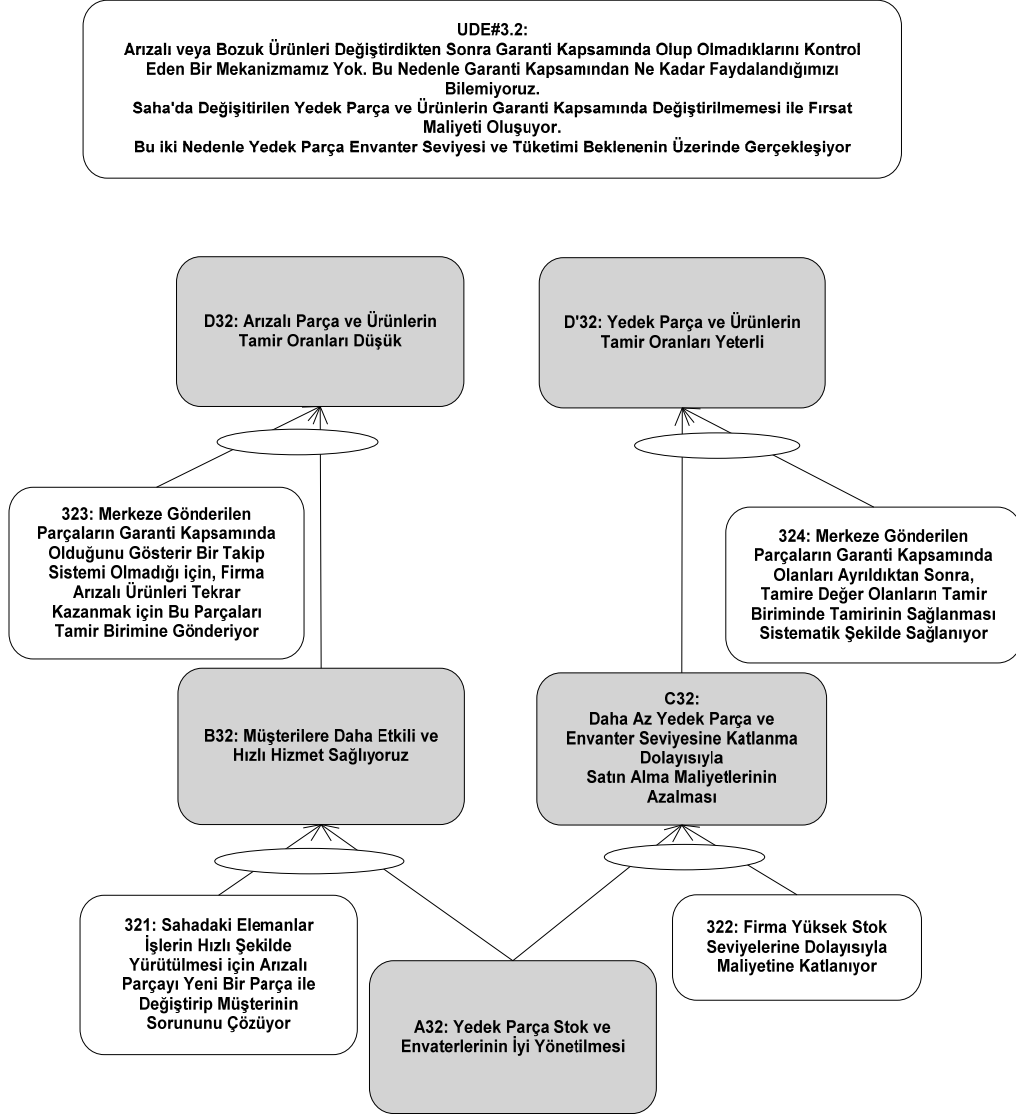


Şekil 3.16 Neden-sonuç-neden ağacı UDE#2.3 için

UDE#3.1:
 Arızalı veya Bozuk Ürünleri Değiştirdikten Sonra Garanti Kapsamında Olup Olmadıklarını Kontrol Eden Bir Mekanizmamız Yok. Bu Nedenle Garanti Kapsamından Ne Kadar Faydalandığımızı Bilemiyoruz.
 Saha'da Değiştirilen Yedek Parça ve Ürünlerin Garanti Kapsamında Değiştirilmemesi ile Fırsat Maliyeti Oluşuyor.
 Bu iki Nedenle Yedek Parça Envanter Seviyesi ve Tüketimi Beklenenin Üzerinde Gerçekleşiyor



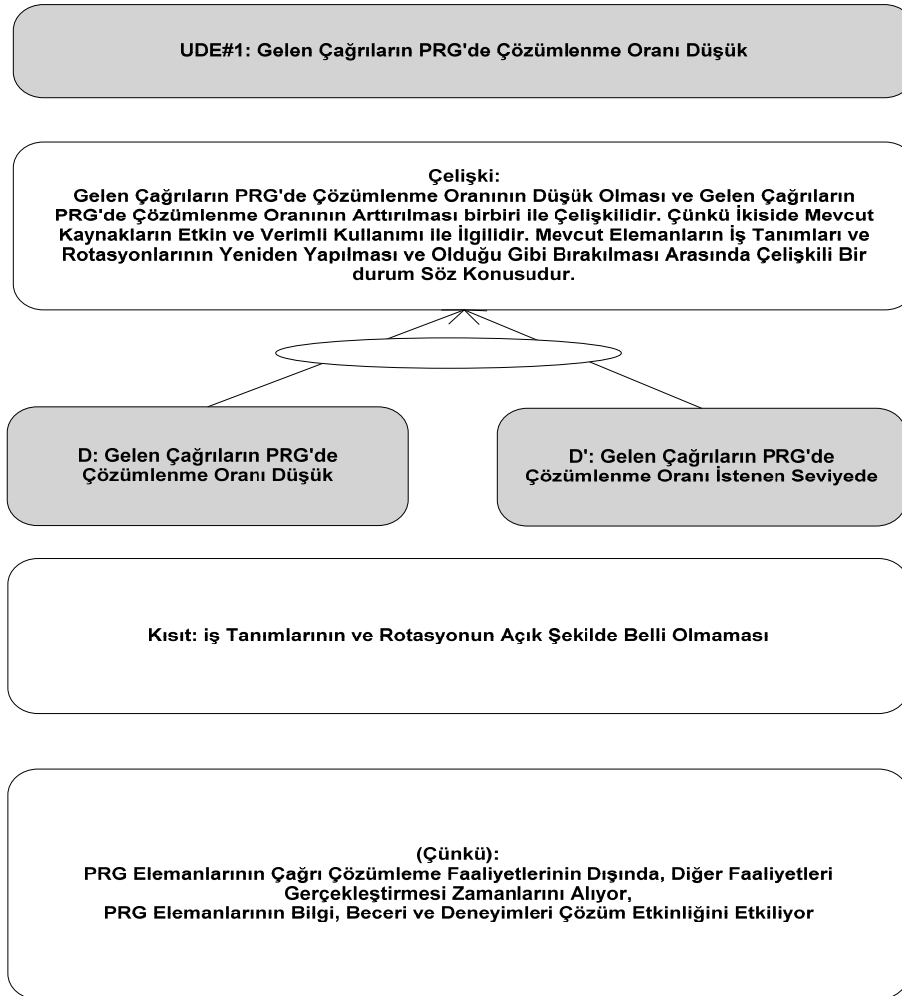
Şekil 3.17 Neden-sonuç-neden ağacı UDE#3.1 için



Şekil 3.18 Neden-sonuç-neden ağacı UDE#3.2 için

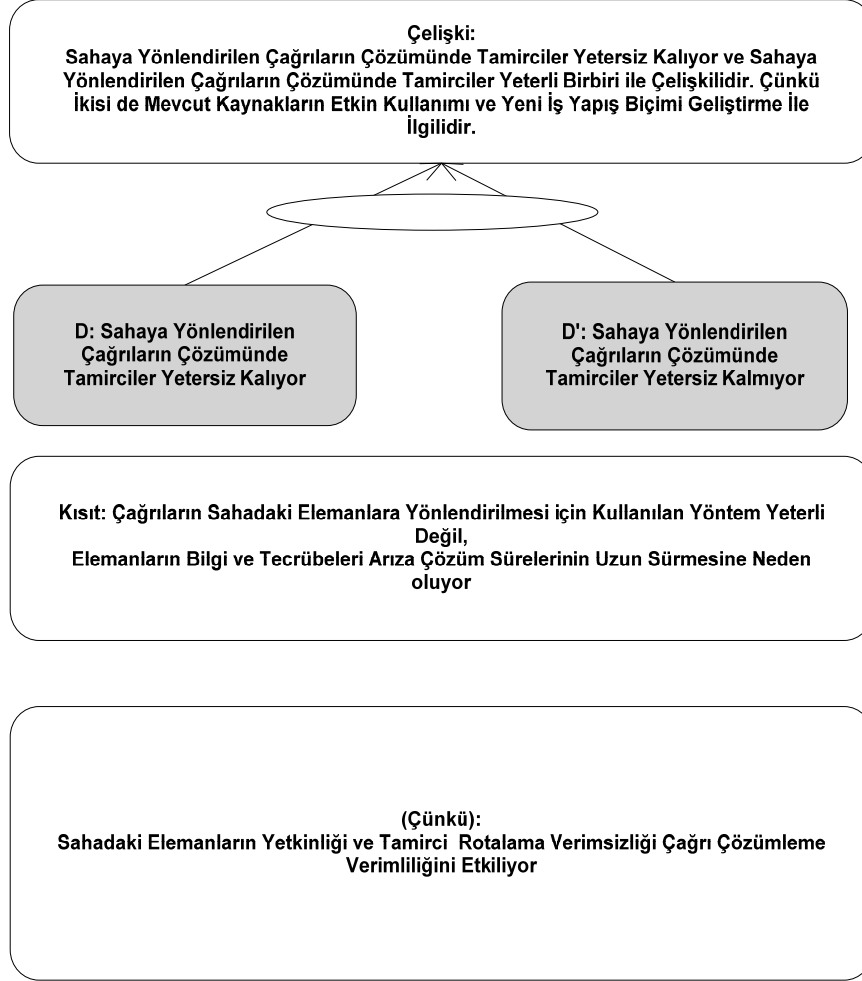
3.1.5 Köprülerin Oluşturulması

İstenmeyen Etkilerin (UDE) tanımlanması, bu etkilerin Servis Bulutları ile gösterilmesi ve Neden-Sonuç-Neden Ağaçlarının (CECT) oluşturulmasından sonra, D ve D' arasındaki çelişkinin daha iyi anlaşılabilmesi için köprü yapısındaki sorgulama gerçekleştiriyor. İki ihtiyacın bir araya gelmesinin nasıl bir çelişkiye sebep olduğu bu şema yardımı ile görülebiliyor. Çelişkiyi ayakta tutan nedenler, çelişkiyi ortadan kalılabilecek kurallar, ölçütler ve politikalar burada belirleniyor. Ele alınan problem için tanımlanan İstenmeyen Etkilerde (UDE) tespit edilen çelişkilerin analizi Şekil 3.19 ıla Şekil 3.24 arasında incelenmiştir. Tüm İstenmeyen Etkilerin (UDE) ortak ifadesi olan Jenerik İstenmeyen Etkideki (JUDE) çelişki, Jenerik Köprü Şekil 3.25'te incelenmiştir.



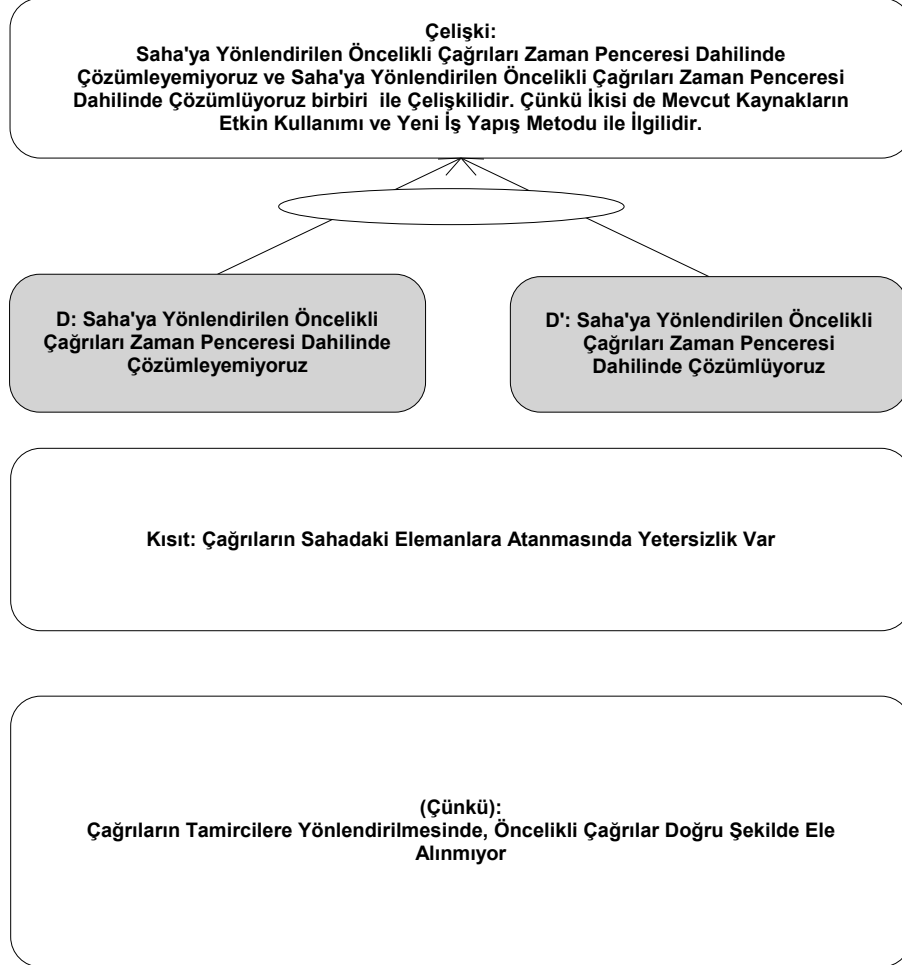
Şekil 3.19 Köprü#1

UDE#2.1: Saha'ya Yönlendirilen Çağrıların Çözümleme Oranı Düşük



Şekil 3.20 Köprü#2.1

UDE#2.2: Saha'ya Yönlendirilen Çağrılardan Öncelikli Olanların Gecikme Süresi Yüksek



Şekil 3.21 Köprü#2.2

UDE#2.3: Saha'ya Yönlendirilen Çağrılar için Yol Maliyeti Yüksek

Çelişki:
Gelen Çağrıların Saha Elemanları Tarafından Çözümleme Oranının Düşük Olması ve Saha'ya Yönlendirilen Çağrıların Çözümü için Yolda Makul Bir Süre Geçiriyoruz Birbiri ile Çelişkilidir. Çünkü İkisi de İş Yapış Şekli ve Kullanılan Yöntemlerle İlgilidir.

D: Saha'ya Yönlendirilen Çağrıların Çözümü için Yolda Uzun Süre Geçiriyoruz

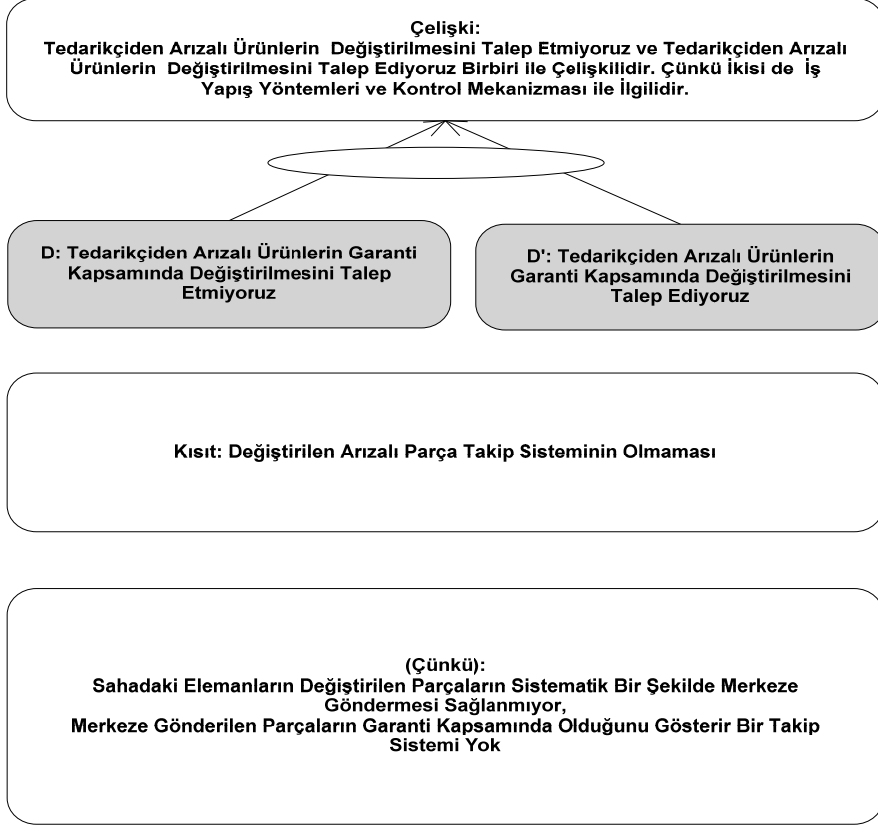
D': Saha'ya Yönlendirilen Çağrıların Çözümü için Yolda Makul Bir Süre Geçiriyoruz

Kısıt: Saha Elemanlarının Çağrılara Yönlendirilmesi Belirli Kısıtlar Gözetilmeden Gerçekleştiriliyor.

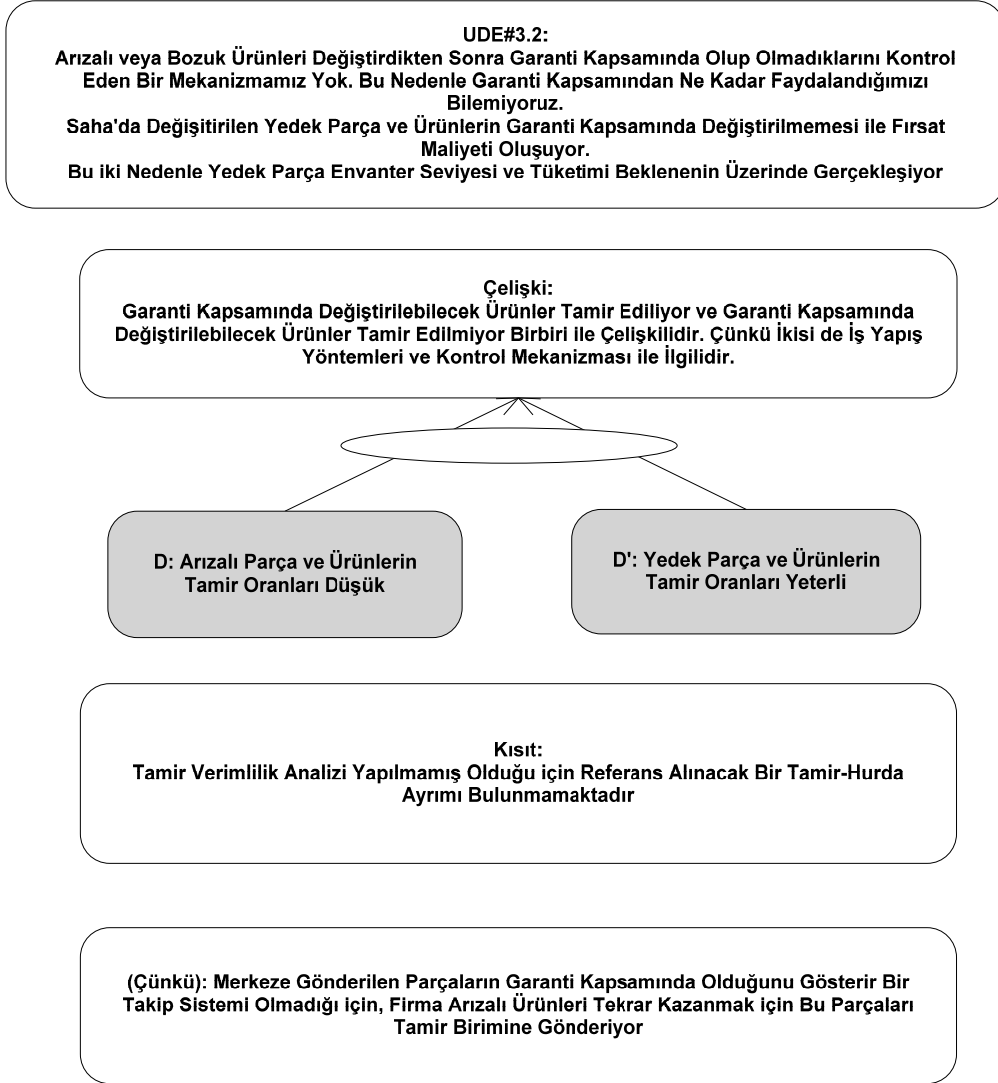
(Çünkü): Sahadaki Elemanların Yetkinliği ve İlgili Arızayı Çözümleme ile ilgili Becerileri Yeterli Değil, Çağrıların Tamircilere Yönlendirilmesinde, Rotalama Doğru Yapılmıyor

Şekil 3.22 Köprü#2.3

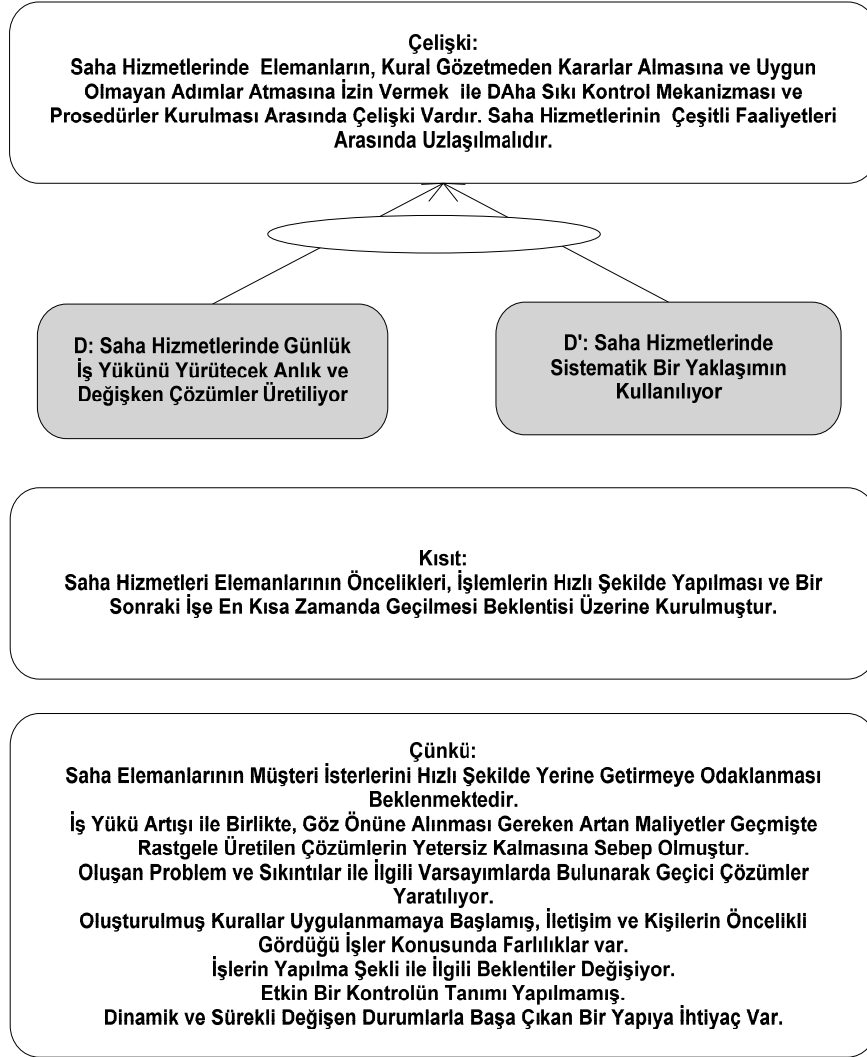
UDE#3.1:
Arızalı veya Bozuk Ürünleri Değiştirdikten Sonra Garanti Kapsamında Olup Olmadıklarını Kontrol Eden Bir Mekanizmamız Yok. Bu Nedenle Garanti Kapsamından Ne Kadar Faydalandığımızı Bilemiyoruz.
Saha'da Değiştirilen Yedek Parça ve Ürünlerin Garanti Kapsamında Değiştirilmemesi ile Fırsat Maliyeti Oluşuyor.
Bu iki Nedenle Yedek Parça Envanter Seviyesi ve Tüketimi Beklenenin Üzerinde Gerçekleşiyor



Şekil 3.23 Köprü#3.1



Şekil 3.24 Köprü#3.2



Şekil 3.25 Jenerik köprü

3.2 Mevcut Gerçeklik Ağacının (CRT) Oluşturulması

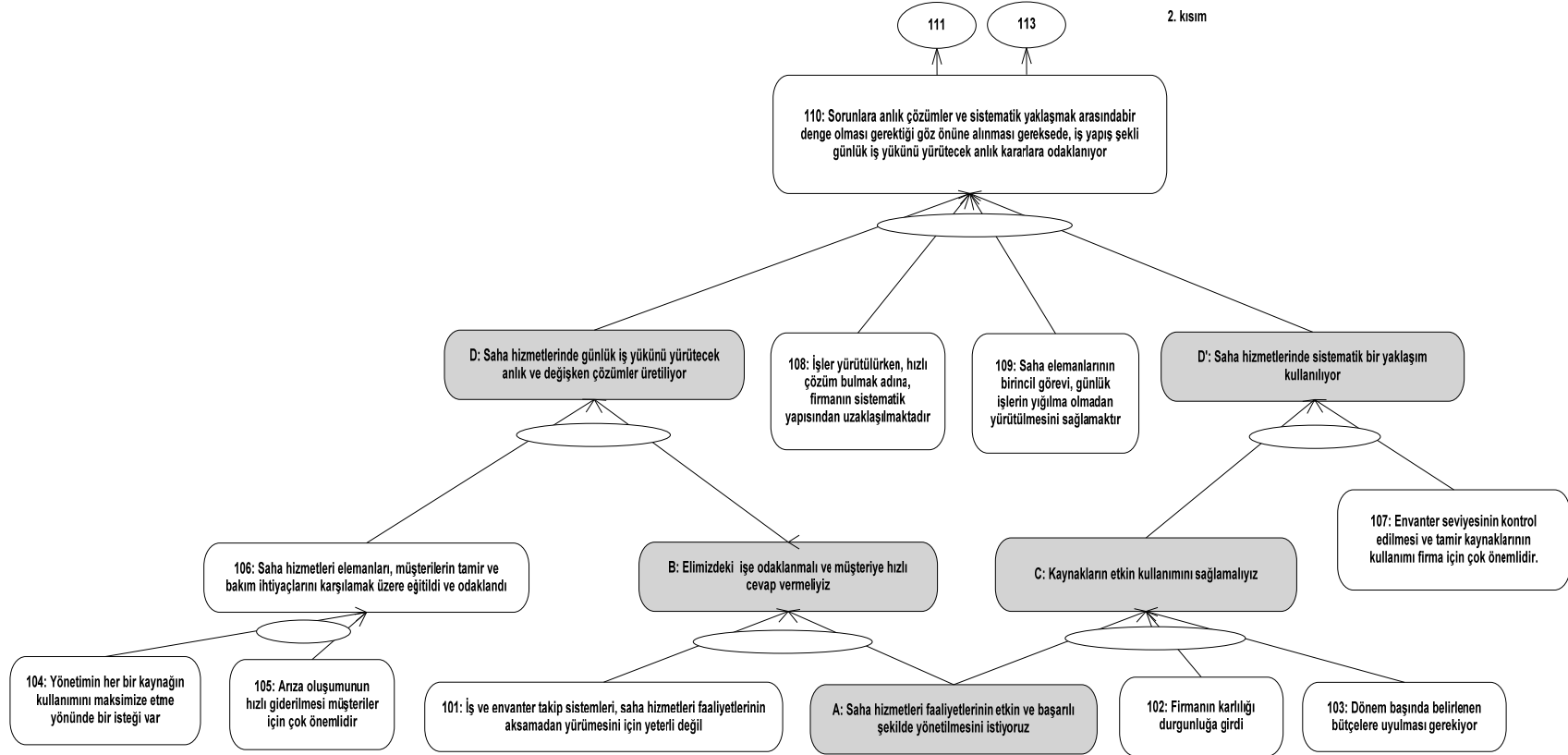
Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT), problem analiz aracıdır. CRT, varolan sistemdeki neden-sonuç ilişkisini arar. CRT süreci istenmeyen etkilerin gözlenmesiyle başlar ve sert mantık kuralları ile eğer-sonra formatındaki sistem modellerini kurar. Bu model, sistem hakkındaki sezgilerin gerçekliğinden emin olmak için mantıksal yapılarla insanlar tarafından incelenir. Daha sonra ana problemin keşfedilmesi için değerlendirilir. Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT), yapısındaki ilişkiye neden olan durumlar gerçekliği gözlemlemeye yönelten durumlardır. Ağacı inceleme ve geliştirme, soruna yabancı veya sistemdeki olumsuz duruma düşmüş karar verici için zordur, çünkü karar verici gerçeğin objektif gelişimini kabul etmek zorundadır. Ele alınan problem için oluşturulan Mevcut Gerçeklik Ağacının (CRT) tümü Ek 2’de gösterilmiştir. Bölümlendirilmiş hali Şekil 3.26 ila 3.29’de verilmiştir.

Problemi ifade eden istenmeyen etkiler sonucunda oluşturulmuş Jenerik Neden-Sonuç-Neden temele oturtulur. Eğer-sonra mantık sorgulaması gerçekleştirilerek, problem analizinin ilk aşamasında oluşturulmuş olan İstenmeyen Etki’lere ulaşana (UDE) kadar bu sorgu devam ettirilir. İstenmeyen etkilerin ilişkili olduğu düşünülenler birleştirilir. Mantıksal ilişki araştırma listesine göre ilişki kontrol edilerek yeterlilik şartını sağladığından emin olunur. Neden-sonuç ilişkisini netleştirmek için gereken eklemeler yapılır. Mantıklı bir sonuca ulaşana kadar bu işleme devam edilir.

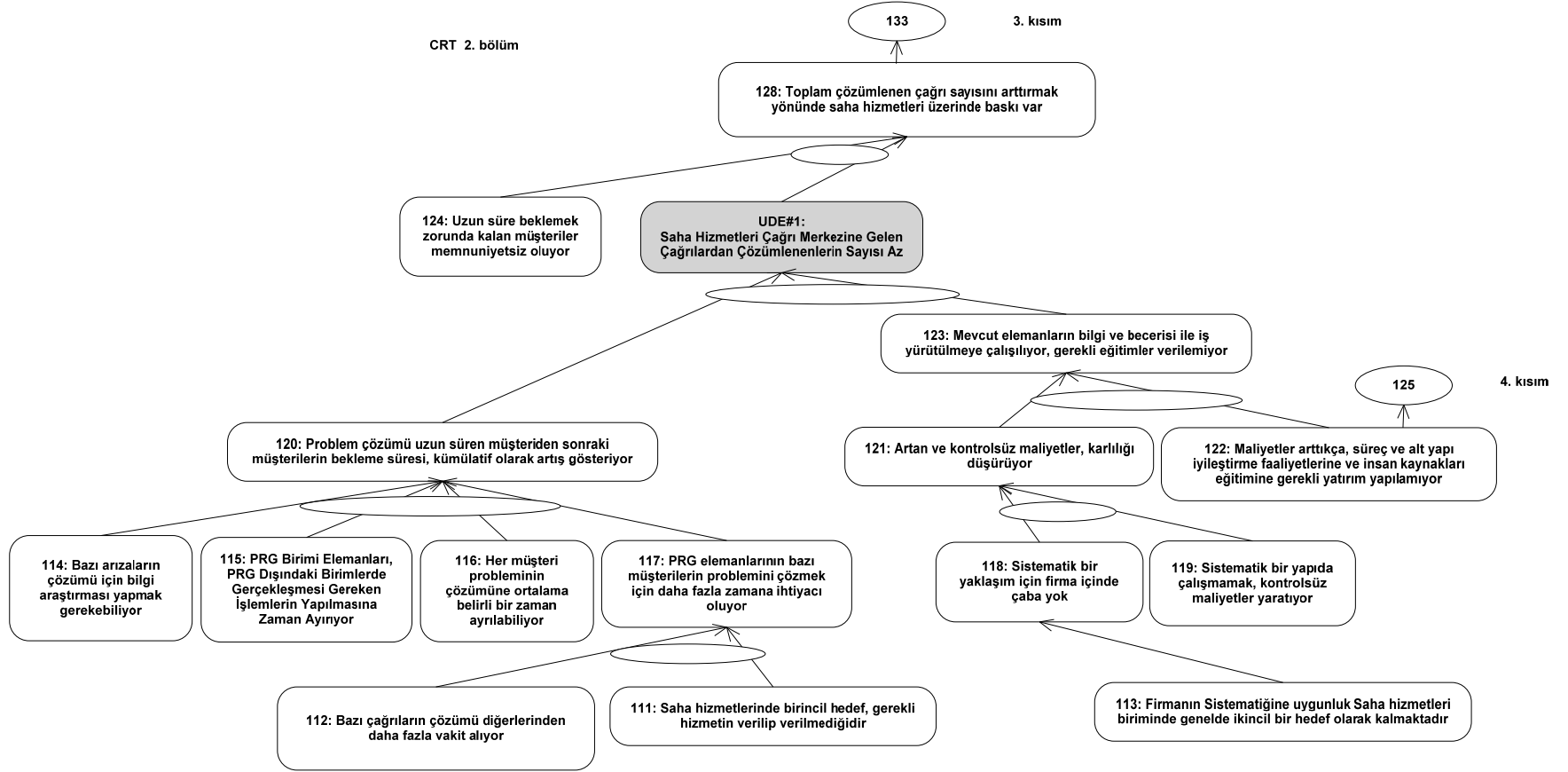
Bu adımda, Mevcut Gerçeklik Ağacının (CRT), sistemdeki problemlerin oluşmasına sebep olan gizli kök nedenlerin bulunmasına nasıl yardımcı olduğu görülmektedir. Bu ağaç sayesinde sistemimizdeki neleri değiştirmek istediğimizi görüyoruz. Bir sonraki adımda, neye dönüştürelim sorusunun cevabı aranacaktır. Bunun ilk adımını Çelişki Çözüm Ağacı (CRD) oluşturmaktadır.

CRT başlangıç bölümü

2. kısım

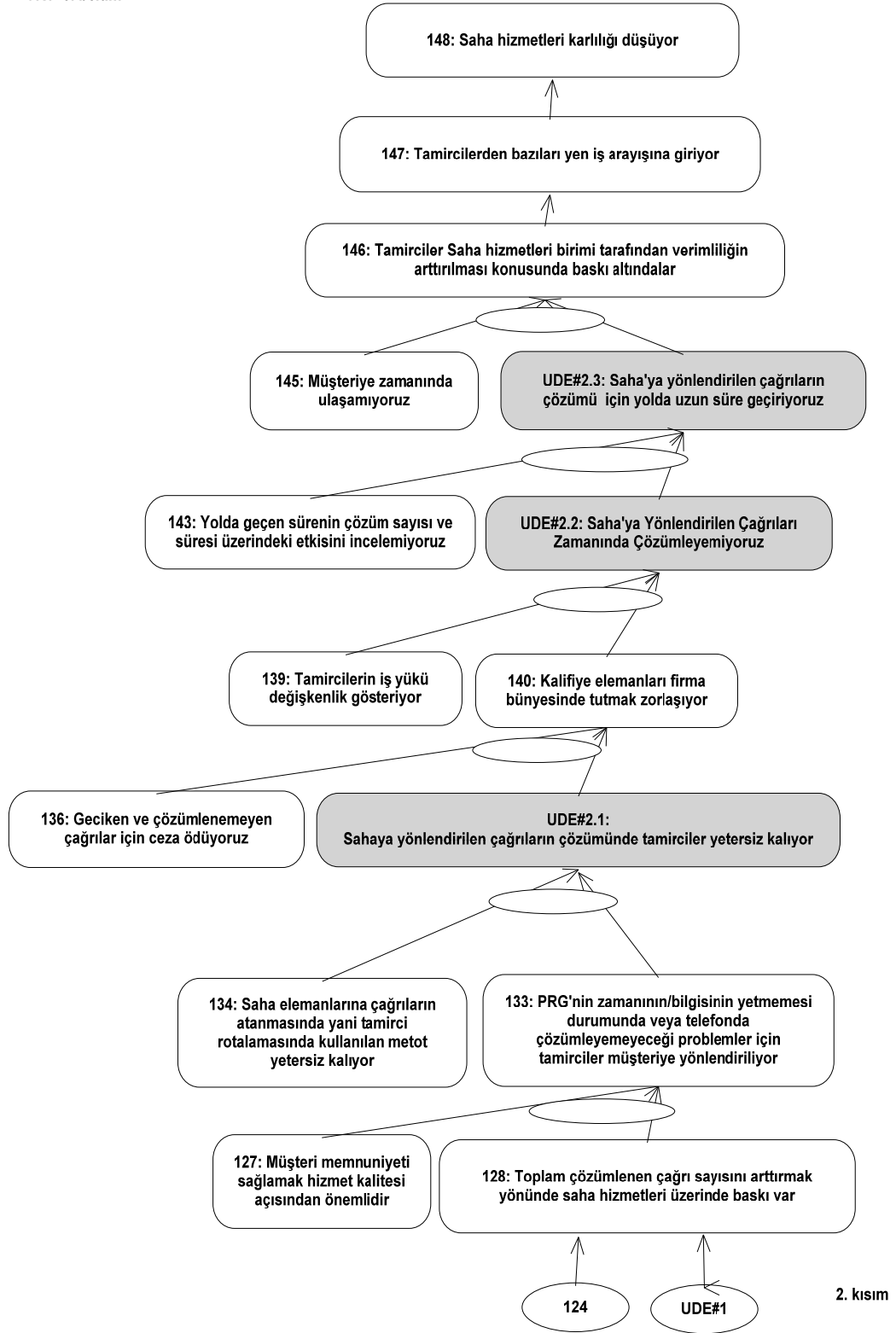


Şekil 3.26 İncelenen problemin mevcut gerçeklik ağacı (CRT) (1. kısım)



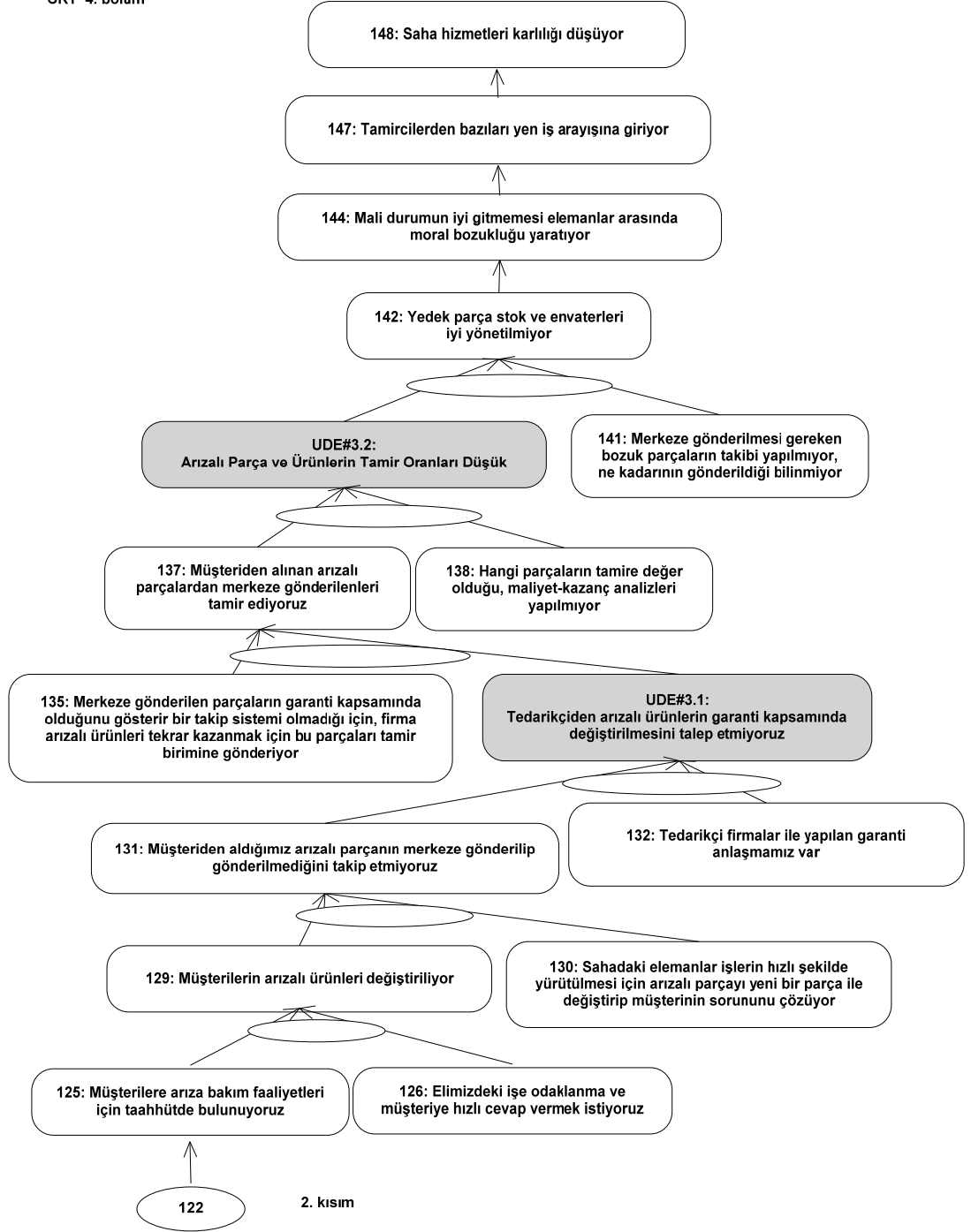
Şekil 3.27 İncelenen problemin mevcut gerçeklik ağacı (CRT) (2. kısım)

CRT 3. bölüm



Şekil 3.28 İncelenen problemin mevcut gerçeklik ağacı (CRT) (3. kısım)

CRT 4. bölüm

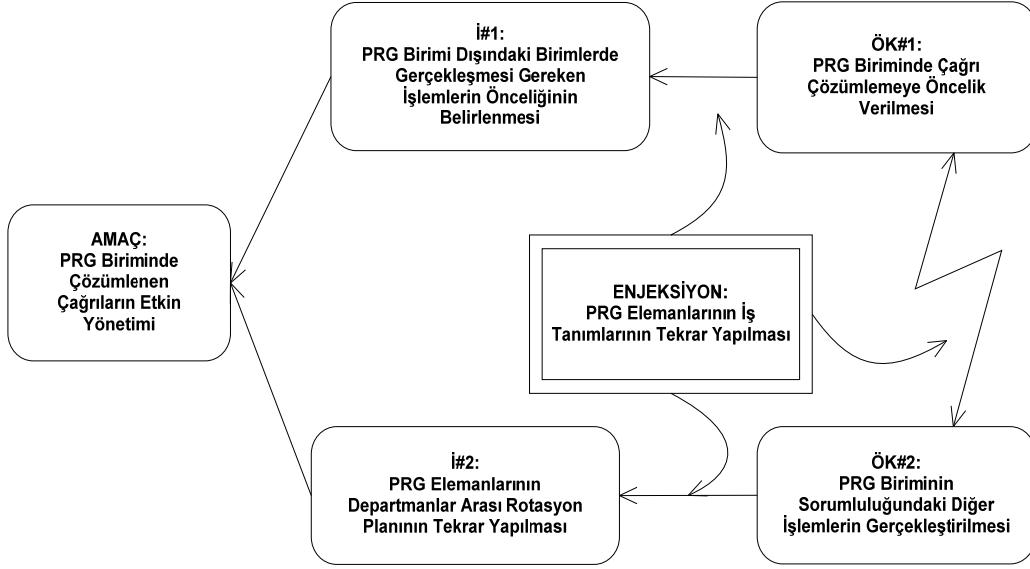


Şekil 3.29 İncelenen problemin mevcut gerçeklik ağacı (CRT) (4. kısım)

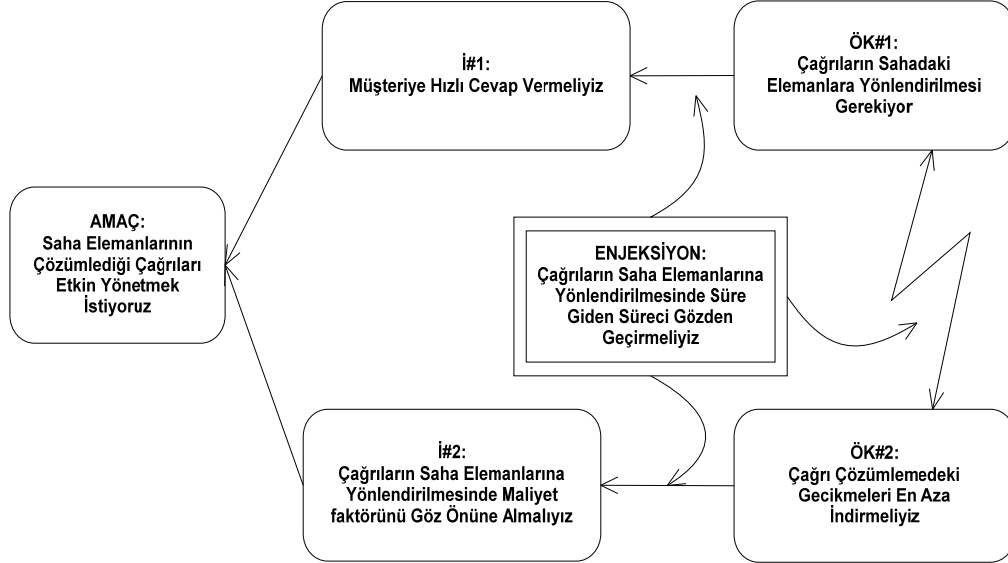
3.3 Çelişki Çözüm Diyagramlarının (CRD) Oluşturulması

Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD), bir çelişki durumunun tüm elemanlarını belirlemek ve göstermek amacıyla kullanılan bir yeterlilik durumudur. Diyagram sisteminin amacını, amaca götüren, gerekli ama tam olarak yeterli olmayan gereksinimleri ve gereksinimleri memnun eden çelişkili ön koşulları içermektedir. Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD), geçerli kabul edilmiş varsayımların, sorgulanabilir olduklarını, gizli çelişkiyi tartışmaya sunarak, tekrar ortaya çıkarmaktadır. Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD) ile oluşturulan fikirler büyük ve karmaşık problemlerin çözümünde kullanılabilir. Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD), Düşünen Süreçler Akışındaki yeri, Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

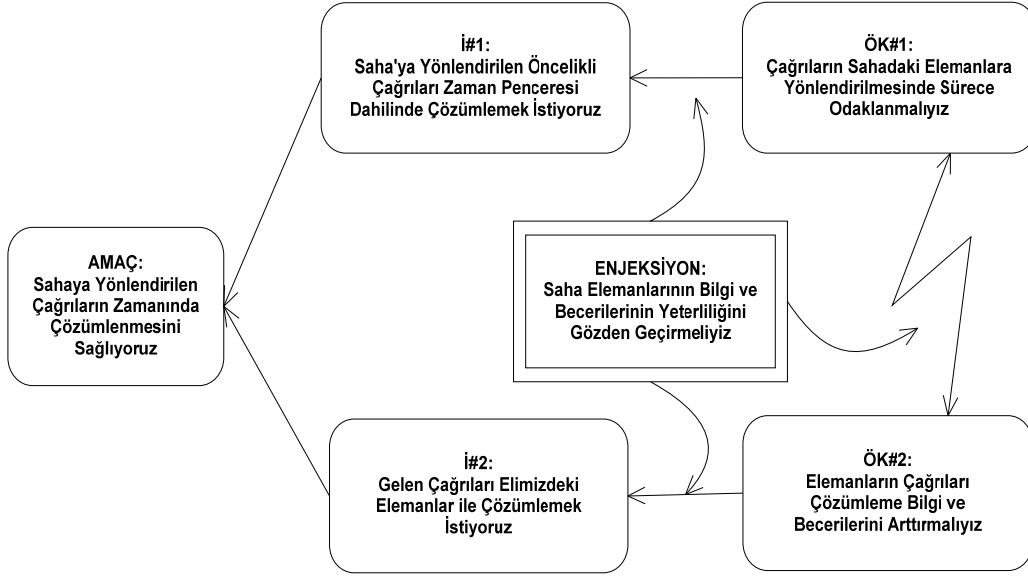
Oluşturulan Çelişki Çözüm Diyagramlarında (CRD), her bir problem ile ilişkili bir amaç tanımlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için gerekli iki ihtiyaç tanımlanmıştır. Bu ihtiyaçlar birbiri ile çalışmayabilir. Her iki ihtiyacı karşılamak için gerekli olan ön koşullar belirlenmiştir. Bu ön koşullar birbiri ile çelişebilir. Amaç, ihtiyaçlar ve ön koşullar belirlendikten sonra, “sahip olmak için”, ”-malıyız” sorgulaması ile aralarındaki ilişkinin doğru kurulup kurulmadığı incelenmelidir. Ele alınan problem için oluşturulan Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD), Şekil 3.30 ila 3.35’de gösterilmiştir.



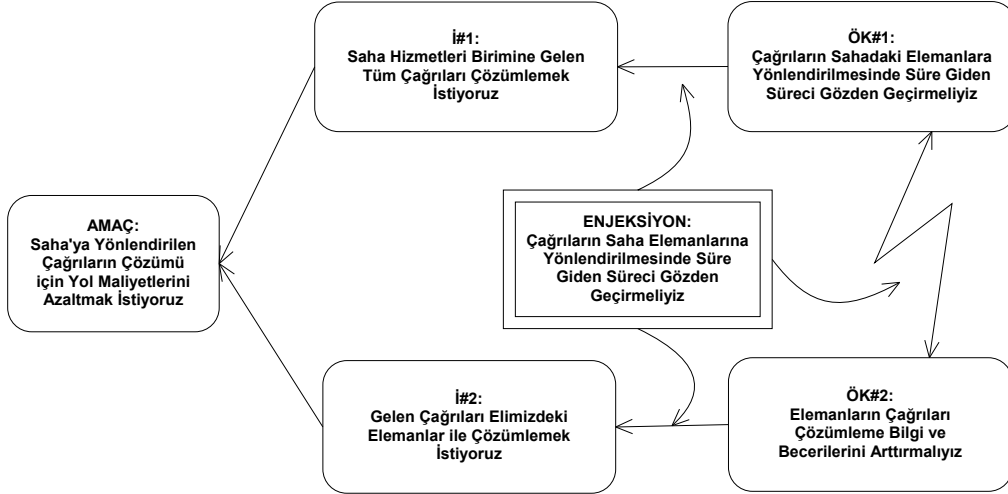
Şekil 3.30 Çelişki çözüm diyagramı#1 (CRD)



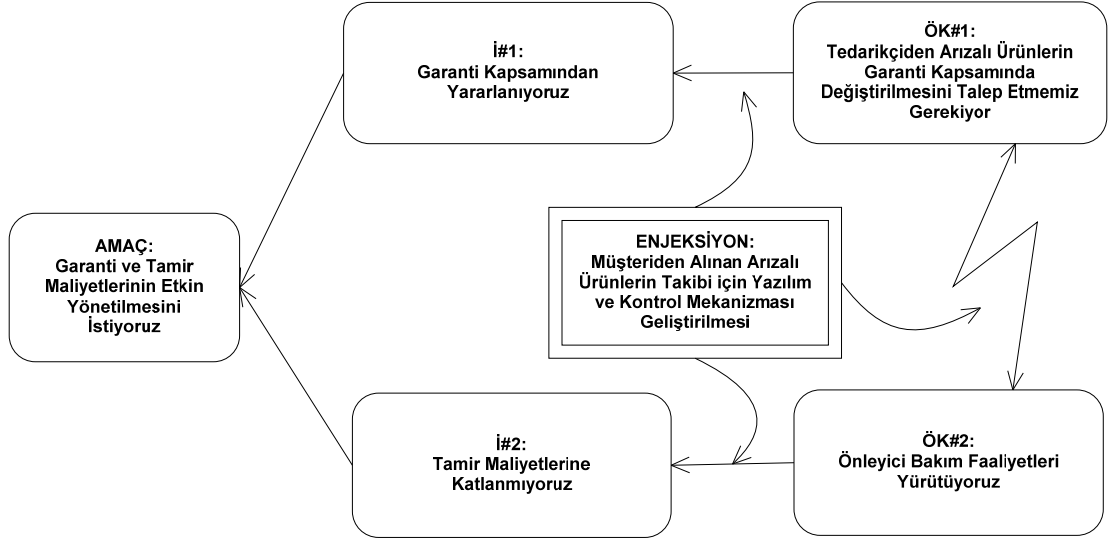
Şekil 3.31 Çelişki çözüm diyagramı(CRD)#2.1



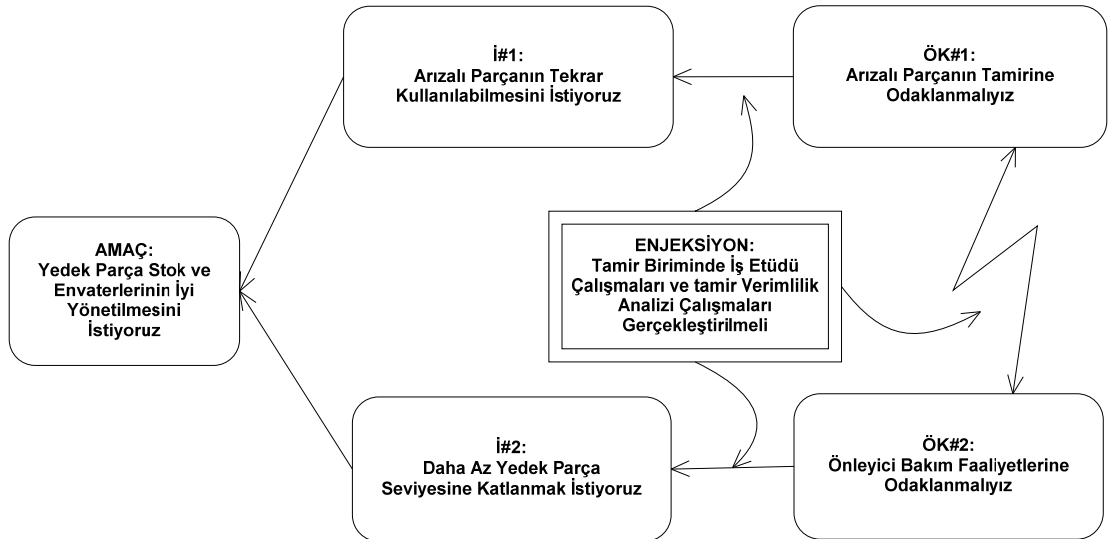
Şekil 3.32 Çelişki çözüm diyagramı(CRD)#2.2



Şekil 3.33 Çelişki çözüm diyagramı(CRD)#2.3



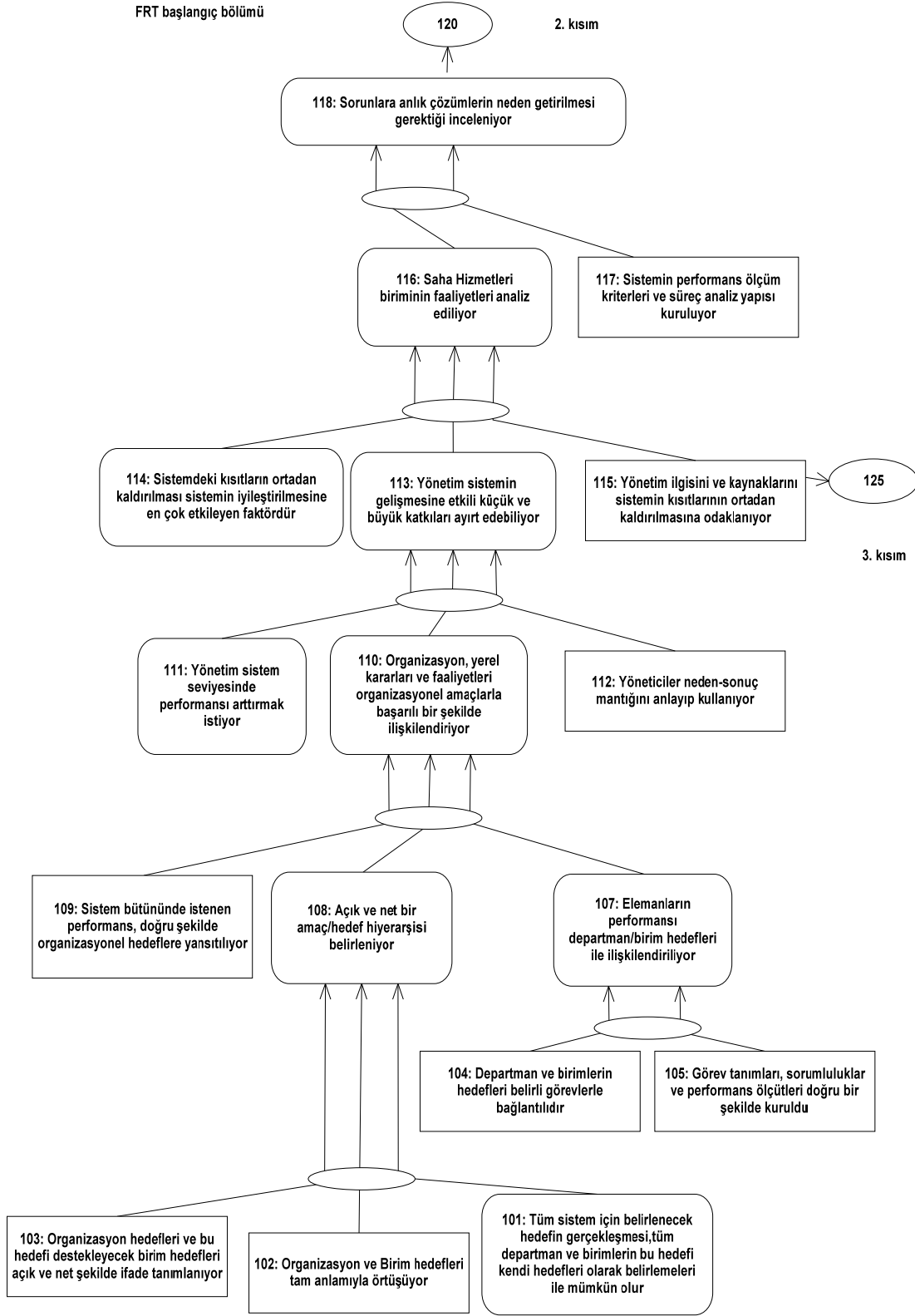
Şekil 3.34 Çelişki çözüm diyagramı(CRD)#3.1



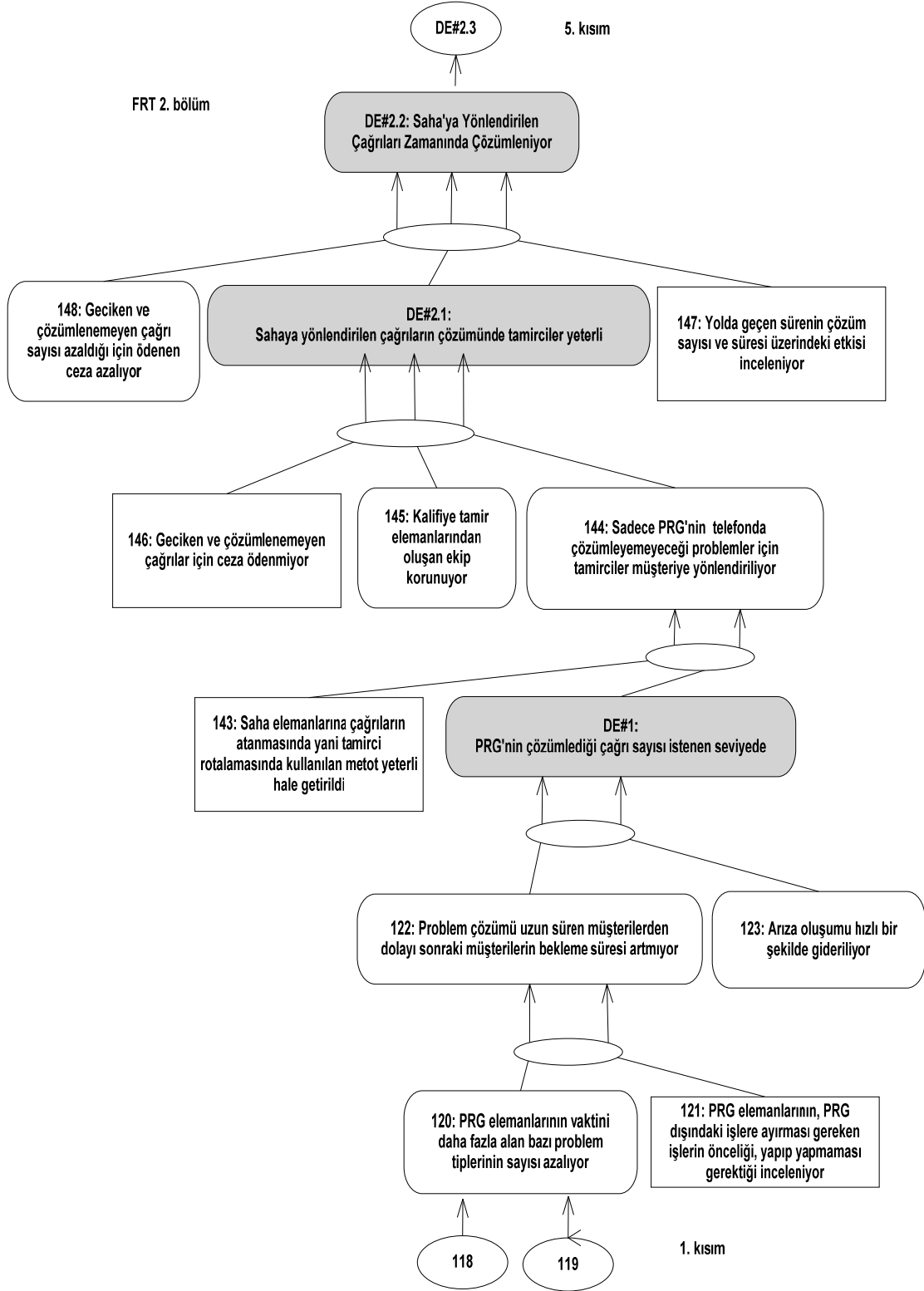
Şekil 3.35 Çelişki çözüm diyagramı(CRD)#3.2

3.4 Gelecek Gerçeklik Ağaçlarının (FRT) Oluşturulması

Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT), istenen etkiyi oluşturma aracıdır. Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT), “eğer-ne” çalışmasıdır. Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT), CRT’ den önemli bir noktada ayrılır. CRT istenmeyen etkilerin gözlenmesiyle başlarken, FRT istenen etki seçeneklerine nasıl ulaşılacağı düşüncesi ile başlar. Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT), uygulamaya başlamadan önce çözümün değerlendirilip geliştirilmesini ve çözümde nelerin eksik olduğunun fark edilmesini sağlar. İstenen etkilere neden olan yeterli ve gerekli bütün şartların tanımlanmasında başarısızlığa uğranıldığında, FRT eksikliği ortaya çıkarır. Gelecek Gerçeklik Ağacının (FRT), düşünen süreçler akış şeması içerisindeki yeri Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Gelecek Gerçeklik Ağacının (FRT) çizilebilmesi için, daha önceki adımlarda oluşturulmuş olan, Mevcut Gerçeklik Ağacı (FRT) ve Çelişki Çözüm Ağacından (CRD) yardım alınır. Mevcut Gerçeklik Ağacındaki (FRT) İstenmeyen Etkilerden (UDE) yola çıkarak, İstenen Etkiler (DE) belirlenir. Çelişki Çözüm Ağacından (CRD) ise tanımlanmış Enjeksiyonlar alınır. Mevcut gerçeklikler ve beklenen etkiler bir araya getirilerek, adım adım İstenen Etkilere nasıl ulaşılacağı gösterilir. Bütün İstenen Etkiler (DE) ağaçta yer alacak şekilde, amaca ulaşınca kadar, mevcut gerçeklikler ve beklenen etkiler eklenmeye devam edilir. Oluşturulan Gelecek Gerçeklik Ağacının (FRT) tamamı Ek 3’te gösterilmiştir. Şekil 3.36 ile Şekil 3.40 ise oluşturulan ağaç, daha iyi görülmesi amacıyla beş parçada gösterilmiştir.



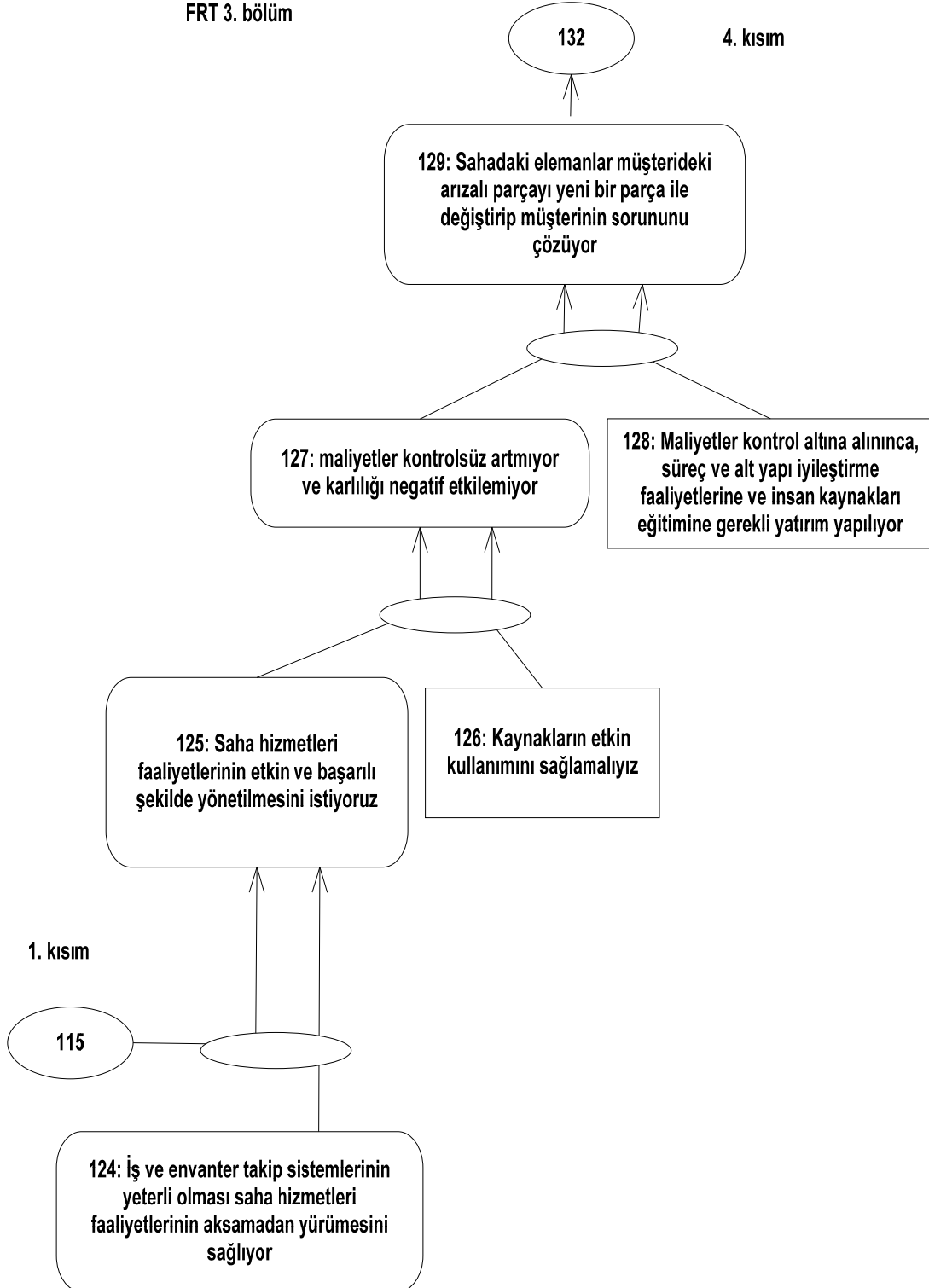
Şekil 3.36 İncelenen problemin gelecek gerçeklik ağacı (FRT) (1. kısım)



Şekil 3.37 İncelenen problemin gelecek gerçeklik ağacı (FRT) (2. kısım)

FRT 3. bölüm

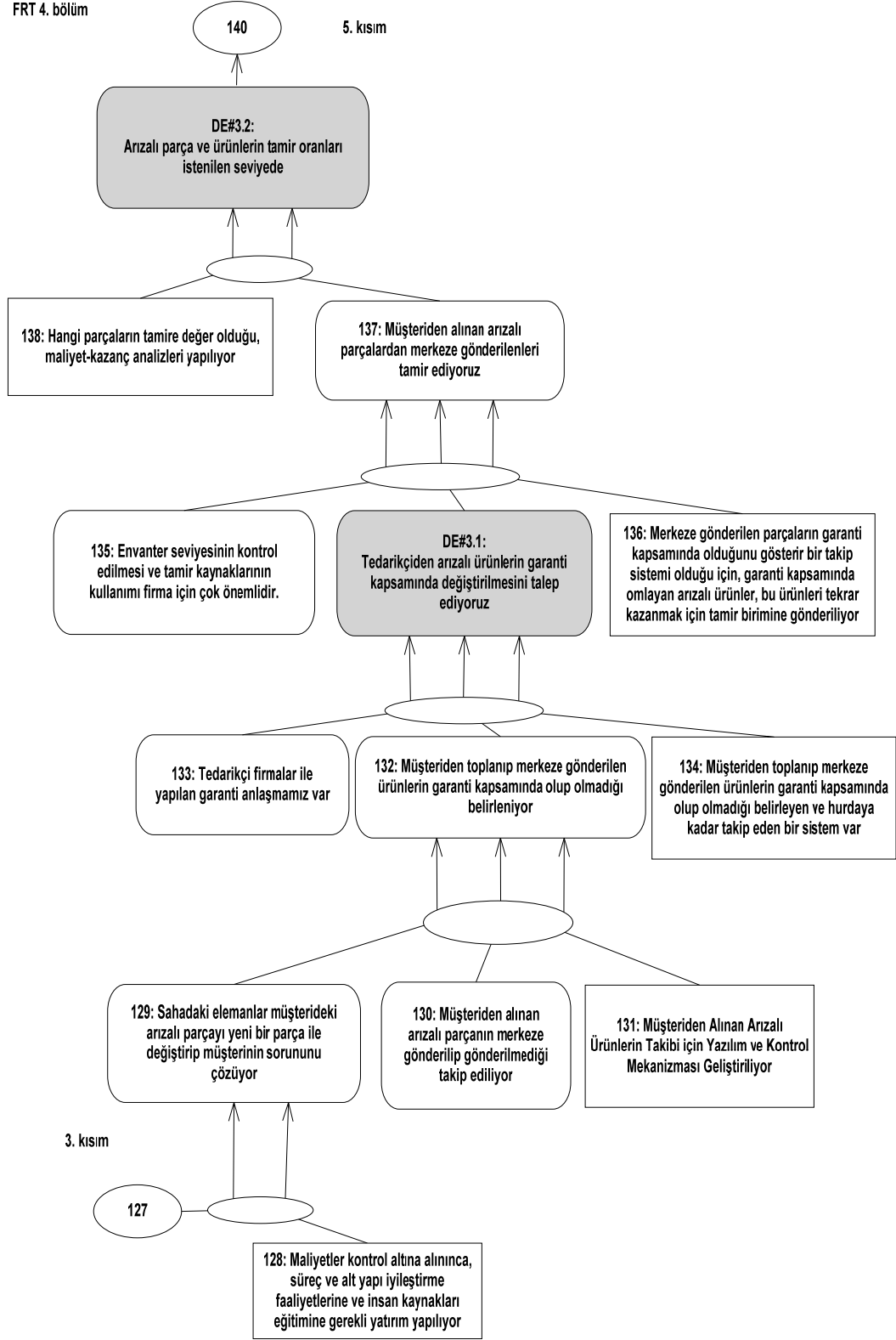
4. kısım



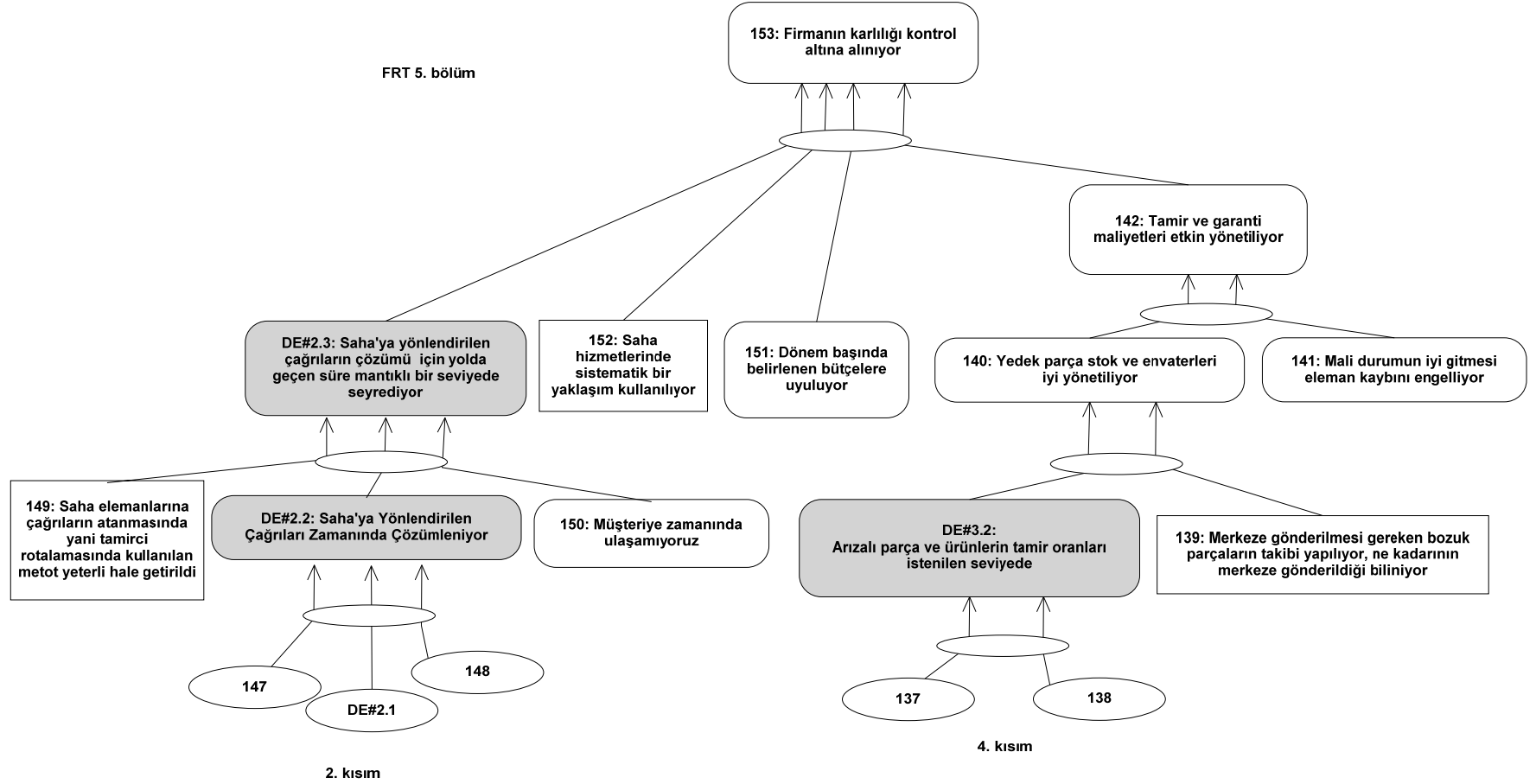
Şekil 3.38 İncelenen problemin gelecek gerçeklik ağacı (FRT) (3. kısım)

FRT 4. bölüm

5. kısım



Şekil 3.39 İncelenen problemin gelecek gerçeklik ağacı (FRT) (4. kısım)



Şekil 3.40 İncelenen problemin gelecek gerçeklik ağacı (FRT) (5. kısım)

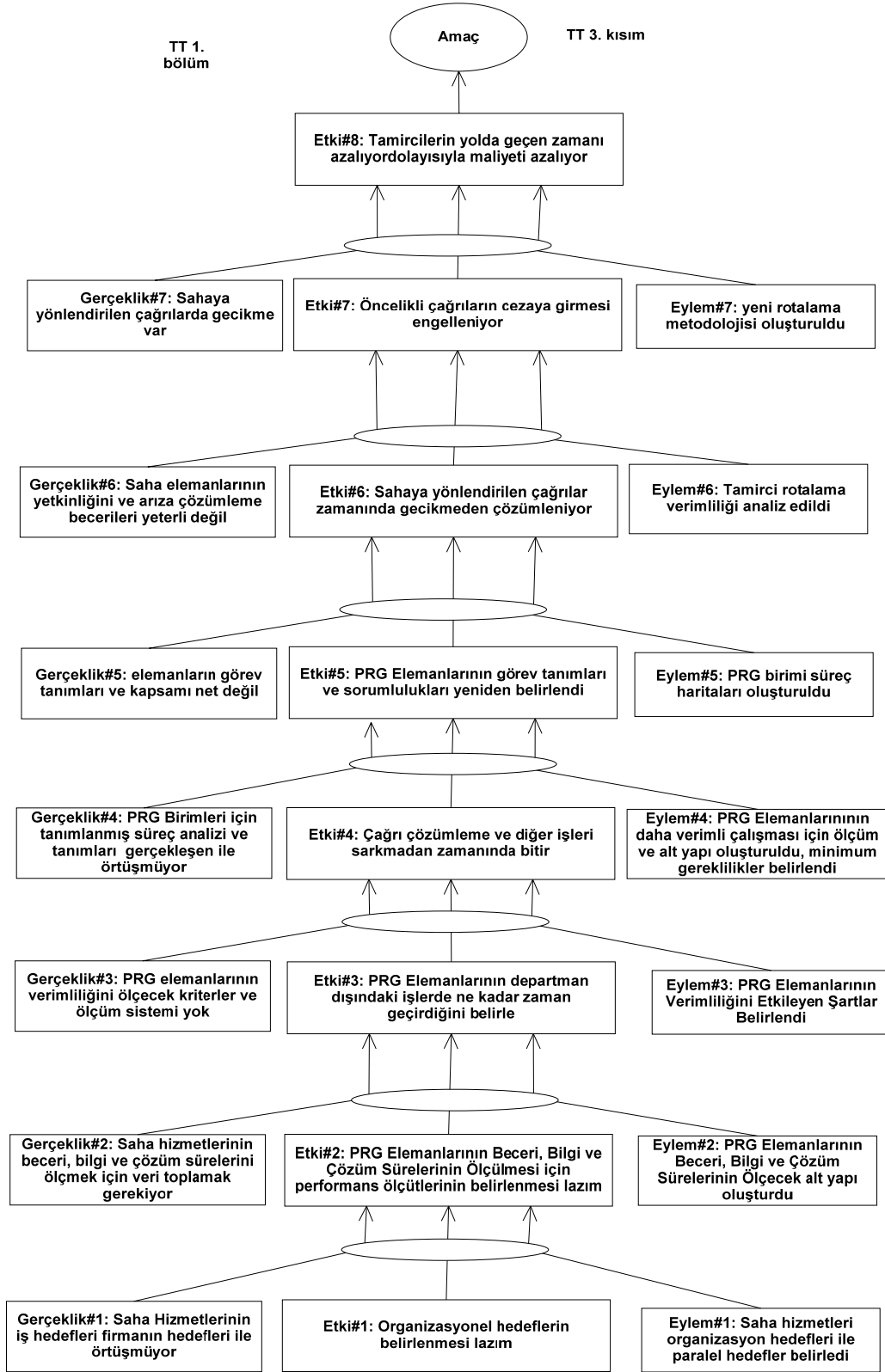
3.5 Ön Koşul Ağaçlarının (PRT) Oluşturulması

Ön Koşul Ağacının (PRT) Düşünen Süreçler akışı içerisindeki yeri, Şekil 2.14’te verilmiştir. Ön Koşul Ağacı (PRT), istenen eylem, amaç veya enjeksiyona ulaşmaya mani olan engelleri belirlemek için kullanılır. Üstesinde gelinmesi gereken durumların netlik kazanması, istenilen amaca ulaşmak için atılması gereken adımların belirlenmesi için bu ağaç yapısının kurgulanması gerekmektedir. Belirli bir amaca ulaşmak için atılması gereken adımlar belirsiz ise, karmaşık problemlerin çözümünde başlıca önemli olayları teşhis eden, Gelecek Gerçeklik Ağacı ile Dönüşüm ağacı arasındaki boşluğu doldurur. Bu amaçla, ara amaçlar ve onlara erişmekteki engeller listelenir. Bu amaç ve engeller birbiri ile eşleştirilerek ve zaman sırasına koyularak adım adım ana amaca ulaşacak şekilde sıralanır ve birbiri ile ilişkilendirilir. Gelecek Gerçeklik Ağacındaki (FRT) Enjeksiyonlar, Ön Koşul Ağacındaki Ara Amaçlar (AA) haline gelir. Problem analizi için oluşturulmuş Ön Koşul Ağacı (PRT) Ek 4’te gösterilmiştir.

3.6 Dönüşüm Ağaçlarının (TT) Oluşturulması

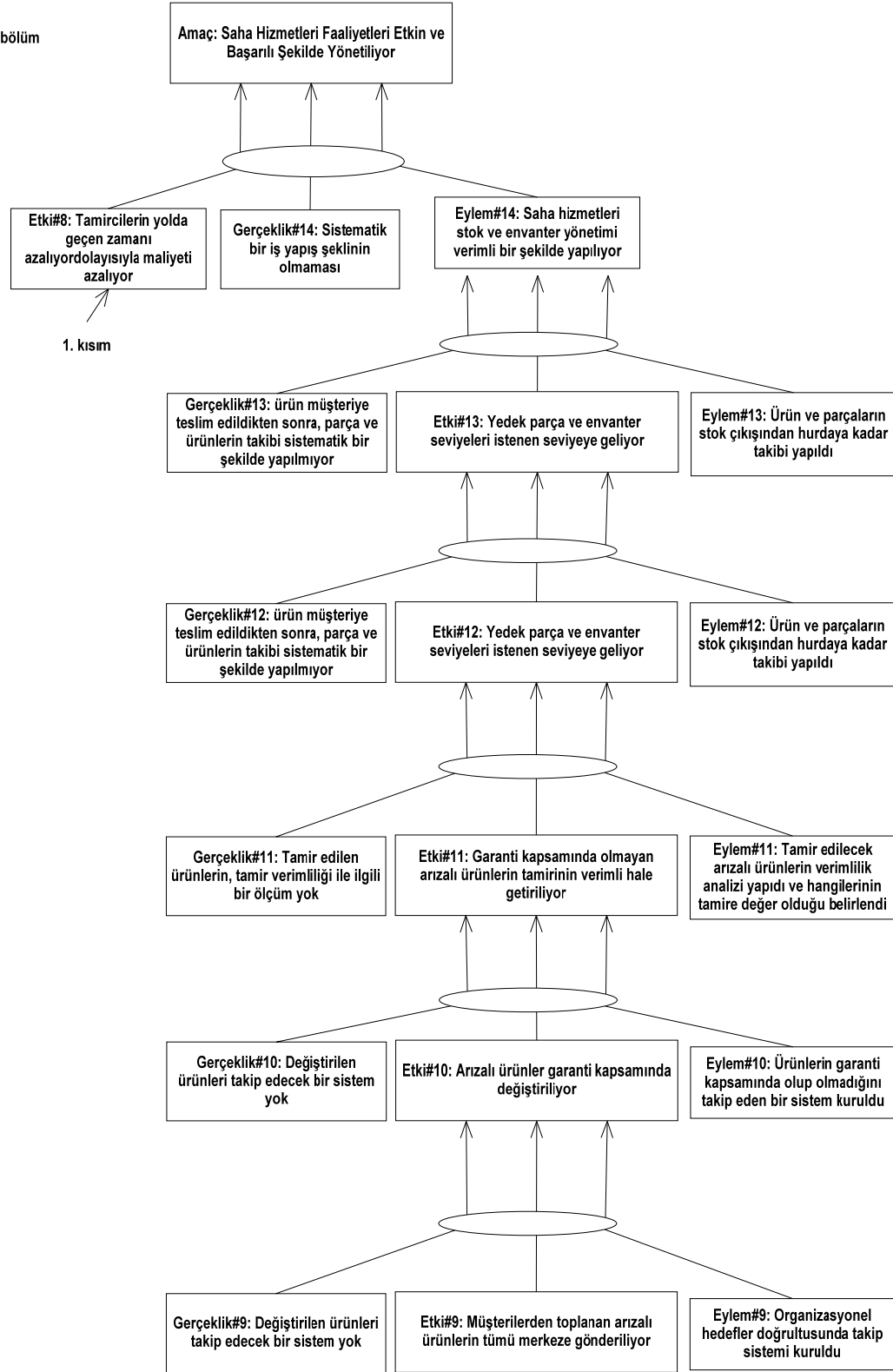
Dönüşüm Ağacı (TT), bir dönüşüm ya da eylem planının adım adım tasarlanmasını sağlayan neden-sonuç mantığı ile oluşturulan bir ağaçtır. Mevcut gerçeklikleri bir takım eylem adımları ile birleştiren ve beklenen etkileri adresleyen bir araçtır. Dönüşüm Ağacı (TT), bir önceki beklenen etkiyi takip eden spesifik eylemlerle bir araya getirerek yeni etkiler yaratan bir katkı sürecidir. Dönüşüm Ağacının (TT) Düşünen Süreçler akışı içerisindeki yeri, Şekil 2.16’da verilmiştir.

Problemin analizi için oluşturulan Dönüşüm Ağacının tamamı Ek 5’te verilmiştir. Daha kolay incelenmesi amacıyla aynı Ağaç iki parça halinde Şekil 3.41 ve Şekil 3.42’de incelenebilir. Dönüşüm Ağacı (TT) ve Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT) arasında benzerlikler vardır. Her ikisi de henüz olmayan gelecekteki gerçeklikler ile ilgilenmektedir. Her ikisinde de mevcut durumda yapılması gereken değişiklikler ele alınır. Her ikisinde mevcut gerçeklik ile başlar ve yeterlilik mantığına dayanır. Bu iki ağaç arasında önemli iki fark bulunmaktadır. Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT), bir eylem rotası amacıyla oluşturulan ve bu rotanın, nihai istenen etkiyi oluşturup oluşturmadığı ya da yan istenmeyen etkilere sebep olup olmadığının belirlenmesi amacı ile kullanılır. Dönüşüm Ağacı (TT) ise, yapılmasına karar verilen şeyin nasıl yapılacağı ve adım adım zaman sırasının belirlenmesidir.



Şekil 3.41 İncelenen problemin dönüşüm ağacı (TT) (1. kısım)

TT 2. bölüm



Şekil 3.42 İncelenen problemin dönüşüm ağacı (TT) (2. kısım)

4. PROBLEMİN TANIMI

Araç Rotalama Problemleri (VRP) hem özel hem de kamu sektöründe, lojistik yönetiminin temel konularından birini teşkil etmektedir. Bu problem, bir kullanıcı kümesi için ilgili kısıtlar da göz önüne alınarak, optimal araç rotasının belirlenmesinden oluşmaktadır. İlgili operasyonel kısıtlar; bir araç tarafından taşınan toplam talebin belirli bir kapasiteyi geçmediği, belirli bir rotanın tamamlanma süresinin öngörülen bir süreyi aşmadığı ve müşteriler tarafından belirlenen hizmet zamanı pencerelerine uyulduğunu göstermiştir. Uzun taşıma uzaklığı rotalamasında, araçlara genelde bir seferde tek görev verilirken, kısa mesafeli taşıma uzaklığında görevler kısa süreli ve bir tur görevler sıralamasından oluşmaktadır.

Gerçek zamanlı olarak çözülmesi gereken çeşitli önemli problemler mevcuttur. Gerçek zamanlı ve Dinamik Araç Rotalama Problemleri (DVRP) konusundaki araştırmaları tetikleyen başlıca konular şunlardır:

- ***Dinamik Filo Yönetimi***

Çeşitli büyük ölçekli operasyonlar, malların gerçek zamanlı dağıtımını gerçekleştirmek üzere araçların sevkياتını gerektirmektedir. Bu tür operasyonların optimizasyonu ile önemli kazançlar elde edilebilir (Brown ve Graves, 1981, Brown vd., 1987, Goetschalckx, 1988, Powell, 1986, 1990, Rego ve Roucairol, 1995, Savelsbergh ve Sol, 1998).

- ***Tedarikçi Yönetimindeki Dağıtım Sistemleri***

Tedarikçi yönetimindeki sistemlerde, dağıtım firmaları müşteri envanter seviyelerini tahmin ederek, emniyet stoğu tükenmeden ikmal etmektedirler. Bu tür problemlerde talepler önceden bilinmekte ve tüm müşteriler statik kabul edilmektedir. Talebin önceden bilinemeyeceği durumlarda müşterilerin küçük bir kısmı emniyet stoğunun altına inebilir ve acilen sevkيات yapılması gerekebilir (Campbell vd., 1998, Larsen, 2001).

- ***Kurtarma ve Tamir Hizmetleri Firmaları***

Bu tür hizmet veren firmaların da rotalama faaliyetlerini optimize etmeleri gerekmektedir (Madsen vd., 1995, Weintrub vd., 1999, Brotcorne vd., 2003).

- ***Gezgin Tamirci Problemi (TRP)***

Bir Banka ATM'nin arızalandığı ve teknik servis elemanı tarafından tamir edilmesi gereken bir durumu göz önüne alalım. Teknisyenin izleyeceği rota, uzaklığa veya arızanın önem

derecesine göre belirlenecektir. Bu problem genelde Dinamik Gezgin Satıcı Problemi (DTSP) olarak adlandırılmaktadır. Aynı şekilde evlerde meydana gelen elektrik kesintilerine müdahale etmek üzere gezen bir elektrikçi de benzer yapıda bir problem oluşturmaktadır.

- ***Kurye-Kargo Hizmetleri***

Kurye şirketleri, dünya çapında paket ve postaların müşterilerden toplanması ve yine belirli bir zaman kısıtı içerisinde, teslim edilmesi gereken yere ulaştırılmasına çalışmaktadır. Ulaştırılması gereken posta ve paketler sadece yerel değil aynı zamanda şehirlerarası/uluslar arası da olabilir. Müşterilerden toplanan posta ve paketler merkezlerde toplanmakta ve oradan dağıtılmaktadır. Gerçekleştirilen bu işlem statik rotalama problemi kapsamındadır. Teslimat işlemleri statik rotalama problemi yapısındadır. Çünkü adres bilgileri önceden bellidir. Toplama işleminde ise, bilgiler şoför ve araç yolda iken bildirildiği için, problem dinamik yapı kazanmaktadır.

- ***Mazot dağıtımı***

Bu özel durumda evlerinde ısınma için mazot kullanan müşterilerin ortalama tüketim miktarları göz önüne alınarak ne kadar süre sonra mazota ihtiyaçları olacağının hesaplanması ve buna göre dağıtım rotasına dâhil edilmeleri söz konusudur. Rota, önceden müşterilerin ihtiyaç durumlarına göre belirlenebildiği için, problem statik yapı göstermektedir. Ağır kış şartlarında, müşterilerin beklenenden daha önce mazota ihtiyaç duyması durumunda ise, problem dinamik yapı kazanacaktır. Problemin çözümü ile ilgili olarak ortaya çıkan başka bir problem ise, ortalama sarfiyat bilgisinin güvenilir bir bilgi olarak kabul edilmemesi ve müşteri talepleri ile ilgili, stokastik bir yapının göz önüne alınması gerekliliğidir. Bu da problemin çözümünü zorlaştırmaktadır.

- ***Taksi Servisleri***

Taksilerin yönetimi, bir başka günlük dinamik rotalama problemini oluşturmaktadır. Birçok taksi için dinamik müşteri yüzdesi çok yüksektir.

İletişim ve bilgi sistemlerindeki son gelişmeler, araç filolarının gerçek zamanlı olarak yönetilmesine imkân vermektedir. Coğrafik bilgi sistemleri (GIS), global konumlandırma sistemleri (GPS), trafik akış sensörleri ve cep telefonları, araç lokasyonları, yeni müşteri istekleri ve seyahat süreleri ile ilgili tahminler, gerçek zamanlı veriye ulaşımı kolaylaştırmaktadır. Bu veriler uygun şekilde kullanılırsa, rotalama ve dağıtım maliyetlerinin azaltılmasında ve hizmet seviyesinin geliştirilmesinde yardımcı olacaktır. Bu amaçla

taleplerde değişiklik oldukça veya yeni gelişmelere göre rotaların güncellenmesi gerekmektedir.

Son yıllarda, gerçek zamanlı algoritmaların hızlanmasını sağlayan ve kalitesini etkileyen üç gelişme olmuştur. Bunlardan birincisi, bilgisayar donanımında gerçekleşen gelişmeler ile hesaplama gücünün daha da artmış olmasıdır. İkincisi, hesaplama süresinin uzamasına sebep olsa da, etkisi çoğunlukla çözüm doğruluğu üzerinde olan, güçlü sezgisel yöntemlerin geliştirilmiş olmasıdır. Üçüncü önemli gelişme ise paralel hesaplama. Yani dinamik veri akışına bağlı olarak hesaplamaların kısa sürede güncellenmesi mümkün olmaktadır. Bu üç özelliğin bileşimi, dinamik bağlamda gerçek zamanlı çözümler üretebilen, yeni nesil güçlü algoritmaların oluşturulmasına imkân vermiştir.

4.1 Problem Sınıflandırması

Bir araç rotalama probleminin (VRP) girdi verisi (seyahat süreleri, talepler, vs.) zamana bağlı değil ise statik aksi durumda dinamiktir. Eğer bir araç rotalama probleminin (VRP) girdi verisi, araç rotaları belirlenirken biliniyorsa deterministik aksi durumda stokastiktir.

Statik Araç Rotalama Problemleri (SVRP): statik bir problem deterministik veya stokastik olabilir. Deterministik ve statik araç rotalama problemlerinde (VRP) (Toth ve Vigo, 2002) tüm veriler önceden bilinmekte ve zaman faktörü hesaba katılmamaktadır. Stokastik ve statik araç rotalama problemlerinde (VRP) araç rotaları, planlama ufkunun başında, veriler bilinmeden tasarlanır. Belirsizlik; hangi hizmet taleplerinin geldiğini, kullanıcı taleplerini, kullanıcı hizmet sürelerini veya seyahat sürelerini etkilemektedir. Girdi verisi belirsiz ise, tüm kısıtların tatmini mümkün olmayacaktır. Eğer belirsizlik kısıtları etkiliyorsa, ama amaç fonksiyonu deterministik ise, kısıtların belirli bir olasılık ile tatmin olması (chance constrained programming-şans kısıtlı programlama) gerekir. Belirsiz verilerle çözüm gerçekleştirilmekte, ikinci aşamada, tüm rassal değişkenlerin gerçekleşmesi bilindikten sonra düzeltici faaliyetler yapılmaktadır. Minimize edilen amaç, birinci aşamadaki maliyet artı tekrarlanması beklenen maliyettir.

Dinamik Araç Rotalama Problemleri (VRP): dinamik bir problem deterministik veya stokastik olabilir. Deterministik ve dinamik problemlerde, tüm veriler önceden bilinmektedir ve bazı bileşenler zamana bağlıdır. Örneğin, zaman pencereli araç rotalama problemi, bu kategorideki problemlere aittir. Benzer şekilde zamana bağlı seyahat süreli gezgin satıcı problemi (TSP) de deterministik ve dinamiktir. Bu problemde gezgin satıcı, tüm şehirlerden bir kez geçen, gün

içerisindeki seyahat hızı değişiklik gösteren en kısa turu bulmaya çalışmaktadır. Stokastik ve dinamik problemlerde (gerçek zamanlı rotalama ve sevkiyat problemleri olarak bilinmektedir) belirsiz veri stokastik süreçlerle gösterilmektedir. Örneğin, müşteri talepleri Poisson sürecine uyabilir. Belirsiz veri operasyon süresi boyunca kademeli olarak kendini gösteriyorsa rotalar önceden oluşturulamaz. Bunun yerine, kullanıcı istekleri, daha önceden yapılmış planlamaya göre hareket eden araçlara, yeni veri geldikçe atanır. Planda değişiklik yapılmasını gerektirecek durumlar şunlar olabilir: i)Yeni bir müşteri isteğinin gelmesi, ii) bir aracın bir varış yerine varması ve iii) seyahat sürelerinin güncellenmesi.

Her bir olayın, araç filo operatörü tarafından koyulmuş kurallara göre ele alınması gerekir. Kural olarak, yeni bir istek geldiğinde, aynı gün içerisinde hizmetin verilip verilemeyeceği, ertelenip ertelenmemesi veya red edilip edilmemesi gerektiği biri tarafından karara bağlanmalıdır. Eğer istek kabul edildiyse, araç rotası üzerinde geçici bir noktaya atamasının yapılması gerekir. Planlanan istek, durumda herhangi bir değişiklik olmadığı takdirde planlandığı gibi gerçekleştirilir. Aksi takdirde, aynı aracın rotasında farklı bir sıraya atanabilir veya farklı bir aracın rotasına aktarılabilir. Araç şoförlerinin sadece bir sonraki gidecekleri noktayı bilmesi gerekmektedir. Araç bir varış noktasına geldiğinde ve hizmet bitirdiğinde, bir sonraki varış noktası bildirilmektedir. Hareket halindeki bir aracın tam olarak nerede olduğunun tahmin edilmesinin zor olmasından dolayı, yeni atamaların yapılması kolay olmamaktadır. Günümüzde iletişim araçlarının gelişmiş olmasına dayanarak rota değişiklikleri ve yeni atamalar, fizibil bir seçenek oluşturuyor, maliyetleri düşürüp daha iyi bir servis seviyesi sağlıyor ise düşünülmelidir. Son olarak eğer bir aracın seyahat süresinin iyileştirilmiş bir tahmini yapılabiliyorsa, mevcut rotaların değiştirilmesi ve bir isteğin kabul edilmesi ve red edilmesi çözüm açısından faydalı olabilir. Ayrıca, beklenmeyen trafik sıkışıklığı durumunda, bazı müşterilere verilecek hizmette gecikmeler olabilir. Talep oranının düşük olduğu durumlarda, boşta bekleyen araçların, gelecekteki talepleri karşılamak üzere veya bahsi geçen trafik koşullarına göre yerinin değiştirilmesi faydalı olabilir.

Dinamik Araç Rotalama Problemleri'nin (DVRP) bazı kendine özgü özellikleri vardır. Bunlardan bir kısmı yukarıda anlatılmıştır. Diğer bazı özellikler ise aşağıda belirtilmiştir.

Hızlı cevaplama (yanıtlama): rota değişikliklerinin zamanında filo rotalarına aktarılabilmesi için, gerçek zamanlı rotalama ve sevkiyat algoritmalarının, hızlı çözüm sürelerine sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla iki tür yaklaşım kullanılabilir. Bunlardan birincisi ilk gelen ilk hizmet alır kuralıdır. İkincisi, çizelgelemedeki paralel makineler konusunda çalışan daha karmaşık algoritmalar. Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağı, amaca, dinamizm

derecesine ve talep oranına bağlıdır.

Red edilen veya ertelenen hizmetler: Bazı uygulamalarda, gecikmelere sebep olmamak ve istenmeyen maliyetlere yol açmamak için, bazı müşterilerin taleplerinin red edilmesi gerekebilir. Örneğin, belirli bir zaman penceresi dâhilinde hizmet verilemeyen çağrılar red edilmektedir. Zaman penceresi sınırlaması getirilmediği durumlarda, tercih edilmeyen lokasyonlu bazı müşteri istekleri belirsiz süreli olarak ertelenebilir. Bu olgu, sahte zaman penceresi kullanılarak veya amaç fonksiyonuna, lineer olmayan bir gecikme cezası ekleyerek engellenebilir.

Yığılma: eğer talep oranları belirli bir eşiği aşarsa, sistem doygunluk noktasına ulaşır ve taleplerin beklenen gecikme süresi sonsuzluğa doğru büyür.

Gerçek zamanlı bir rotalama algoritmasının tasarlanması büyük bir oranda problemin dinamikliği ile ilgilidir. Lund vd. (1996) ve Larsen (2001) bir problemin dinamiklik derecesini tanımlamışlardır. Planlama ufkunun $[0, T]$ aralığında olduğunu ve sonlu sayıda alt aralıklara ayrıldığını varsayalım. n_s ve n_d 'nin statik ve dinamik taleplerin sayısı olduğunu varsayalım. Bunun yanı sıra, $t_i \in [0, T]$, i hizmet talebinin oluştuğu anı gösteriyor olsun. Statik taleplerin $t_i=0$ anında geldiğini ve dinamik taleplerin ise $t_i \in [0, T]$ aralığında oluştuğunu varsayalım. Lund (1996) dinamizm derecesi δ 'ni şöyle tanımlamıştır:

$$\delta = \frac{n_d}{n_d + n_s} \quad (4.1)$$

Burada, δ değeri, 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bunun anlamı şudur; eğer δ , 0,3'e eşitse 10 müşteriden 3'ünün talebi dinamik olarak oluşmuştur. Larsen (2001) çalışmasında, hem dinamik talep oluşmasını hem de olasılıklı zaman pencerelerinin ikisini birden göz önüne alabilmek için Lund'un (1996) tanımlamasını genelleştirmiştir. Larsen'in (2001) yaptığı gözleme göre, belirli bir δ değeri için, öncelikli çağrılar belirlenen $[0, T]$ aralığının sonuna doğru gelirse, problem daha da dinamik olmaktadır. Bunun sonucunda aşağıdaki dinamizm ölçütünü tanımlamıştır:

$$\delta' = \frac{\sum_{i=1}^{n_s+n_d} t_i / T}{n_s + n_d} \quad (4.2)$$

δ' değeri, 0 ve 1 arasında değişmektedir. Eğer müşteri taleplerinin tümü önceden biliniyor ise 0 değerini alacaktır. Eğer talepler T anında oluşursa 1 değerini alacaktır. Larsen (2001) δ'

tanımını, hizmet zamanı ile ilgili zaman pencerelerini de gözönüne alarak, şu şekilde tanımlamıştır. a_i ve b_i değerlerinin sırası ile i müşterisinin hizmeti almaya hazır olduğu ve hizmeti alabileceğini belirttiği en geç zamanı göstersin ($t_i \leq a_i \leq b_i$). Böylece,

$$\delta'' = \frac{\sum_{i=1}^{n_s+n_d} [T - (b_i - t_i)] / T}{n_s + n_d} \quad (4.3)$$

δ'' değerinin de 0 ve 1 arasında değiştiği söylenebilir. Eğer hiç bir zaman penceresi koşulu koyulmazsa ($a_i=t_i$ ve $b_i=T$) o zaman $\delta' = \delta''$ olacaktır.

Daha önce bahsettiğimiz problem tiplerini dinamizm derecesine gruplayacak olursak, tedarikçi bazlı dağıtım sistemlerinin (yakıt dağıtımı gibi) zayıf bir dinamizme sahip olduğu söylenebilir. Uzun mesafeli kurye hizmetleri ve aygıt tamir hizmetleri firmaları orta derecede dinamizme sahiptirler. Acil servis hizmetleri ve taksi duraklarının verdiği hizmetler ise daha da dinamik bir yapıya sahiptir.

Gerçek zamanlı rotalama problemlerinde, optimize edilmeye çalışılan amaç, genelde farklı ölçülerin birleşimidir. Larsen (2001) zayıf dinamikliğe sahip sistemlerde, amacın rotalama maliyetlerini minimize etmek olduğunu söylemiştir. Diğer taraftan, güçlü dinamizme sahip bir sistemin işletilmesinde, beklenen yanıt (tepki) süresinin minimize edilmesi istenir. Burada belirtilen beklenen süre, müşteri talebinin oluşması ile o müşteriye verilecek hizmetin başlaması arasında geçen süredir. Göz önüne alınan bir başka anlamlı ölçüt ise çıktı optimizasyonudur. Yani belirli bir süre içerisinde, hizmet verilen müşteri sayısının artırılmasıdır.

Daha iyi sevkiyat ve rotalama kararlarının alınabilmesi, eski verilere dayanarak yapılacak veri tahminlerinin kullanılması ile mümkün olacaktır. Bazı çalışmalarda (Bertsimas ve Van Ryzin, 1991, 1993, Swihart ve Papastavrou, 1999, Papastavrou, 1996) taleplerin uniform olarak, öklityen bir bölgede yerleşmiş müşterilerden, Poisson dağılımına uygun olarak geldiği kabul edilmiştir. Toplama ve teslimat problemlerinde, teslimat noktalarının toplama noktalarından bağımsız olduğu kabulü yapıldığı görülmüştür.

4.1.1 Rotalama ve Hizmet Sıralaması için Prosedürlerin Karşılaştırılması

Bir rotalama ve sevkiyat algoritmasının değerlendirilmesi, belirli varsayımlar sağlanıyorsa analitik olarak gerçekleştirilebilir. Bu algoritmaların değerlendirilmesinde, kesikli zaman simülasyonu kullanılabilir. Dinamik bir rotalama probleminin performans değerlendirmesi

için diğer bir yöntem ise, planlamanın meydana geldiği zamandaki tüm verilerin mevcut olduğu kabul edilerek, algoritmanın buna karşılık gelen statik veriler ile çalıştırılmasıdır. Statik ve dinamik çözüm sonuçlarının karşılaştırılması ile bilginin değeri karar ağaçlarında olduğu gibi karşılaştırılabilir. Bu tür bir değerlendirme Mitrović-Minić (2004) tarafından uygulanmıştır.

Rotalama politikaları, isteklerin araçlara sevk edilmesi ve rotalanması için, tekrarlı olarak uygulanan basit kurallardır (Bertsimas, 1993, Papastavrou, 1996). Gezgin Satıcı Probleminin dinamik ve stokastik bir şekli olan, Dinamik Gezgin Tamirci Problemi (DTRP) için çeşitli politikalar önerilmiştir (Bertsimas, 1993). Benzer şekilde, dinamik ve stokastik yapıdaki kapasitelendirilmiş Araç Rotalama Problemi (CVRP) içinde bazı politikalar incelenmiştir. Swihart (1999), Bertsimas'ın (1991) çalışmalarını Gerçek Zamanlı Tek Araçlı Toplama ve Sevkiyat Problemi (RTSVPPD) halinde genelleştirmiştir. Buna göre, Dinamik Araç Rotalama Problemleri'nde (DTRP) amaç olarak, aracın toplam katettiği mesafe yerine, talebin sistem içerisindeki toplam bekleme zamanının minimize edilmesi önerilmiştir.

Rotalama ve hizmet sıralaması için kullanılan prosedürler üç ana kategoride incelenmektedir. Bunlar; basit prosedürler, klasik ekleme prosedürleri ve meta sezgisellerdir. Dinamik Araç Rotalama Problemleri (DTRP) için ise, bazı klasik politikalar şunlardır.

- i) İlk gelen ilk hizmet alır: müşterilerden gelen talepler, talep sırasına göre karşılanır.
- ii) Stokastik Kuyruk ortası (SQM) politikası: bu politika “ilk gelen ilk hizmet alır” politikasının bir versiyonudur. Bu politikada araç, hizmet bölgesinin stokastik ortasında konumlanır. Bir çağrı geldiğinde araç orta noktadan müşteriye gider. Hizmet tamamlandığında tekrar orta noktaya geri döner.
- iii) En yakın komşuluk politikası (NN): bu politikada ise bir müşterinin hizmeti tamamlandığında, araç en yakın hizmet almamış müşteriye yönelir.
- iv) Gezgin Satıcı Problemi (TSP): Talepler kümelendirilir. Küme belirlenen sayıya ulaştığında, Gezgin Satıcı Problemi (TSP) çözülür. Daha sonra optimal Gezgin Satıcı Problemi (TSP) çözümüne göre taleplere hizmet verilir.

4.1.2 Dinamik Araç Rotalama Problemi

Psaraftis (1988) tarafından Statik Araç Rotalama Problemi (VRP) ve Dinamik Araç Rotalama Problemi şöyle tanımlanmıştır; “*Kesin bir formülasyon sonucunda elde edilen çıktı, gerçek*

zamanda oluşmayan verilere dayanarak hesaplandysa ve önceden planlanmış rotalar ise ve bu rotalar yeniden optimize edilmediyse problem statik özelliklere sahiptir". "Çıktılar, gerçek zamanda oluşan verilerin bir fonksiyonu olarak, rotaların nasıl oluşması gerektiğini gösteren bir politika ise" problem dinamik özellikli olarak adlandırılabilir.

Yukarıda, Psaraftis tarafından yapılan tanımda, zaman boyutu araç rotalama probleminin (VRP) sınıflandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. İlgili bilginin, planlamacıya ne zaman verildiği dinamik ve statik araç rotalama probleminde ayrım sağlamaktadır. Buna göre, statik araç rotalama probleminde; i) Rotalama süreci başlamadan önce ilgili tüm bilginin planlamacı tarafından bilindiği varsayılır, ii) Rotalarla ilgili bilgi, rotalama gerçekleştirildikten sonra değişmez. Bilgi, müşterilere ait tüm özellikleri kapsamaktadır. Bunlar müşterilerin coğrafik konumu, müşteri yerindeki hizmet süresi ve her müşteriden gelen talep miktarı gibi bilgilerdir. Ayrıca aracın müşteriler arasındaki mesafeyi ne kadar sürede kat ettiği de planlamacının bilmesi gereken bilgiler arasındadır.

Statik araç rotalama problemine karşılık, dinamik araç rotalama probleminde, rotalarla ilgili bilgi rotalama gerçekleştirildikten sonra değişmez.

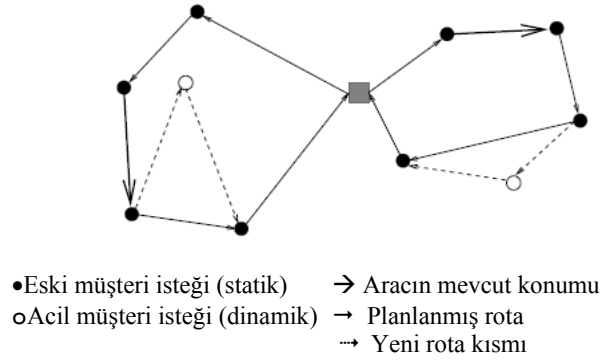
Açıkçası Dinamik Araç Rotalama Problemi'nin (DVRP) geleneksel statik araç rotalama problemi ile karşılaştırıldığında çok daha zengin bir problem olduğu görülmektedir. Eğer araç rotalama problemi (VRP) sınıfı $P(VRP)$ ile gösterilir ve Dinamik Araç Rotalama Problemi (DVRP) sınıfı $P(DVRP)$ ile gösterilirse, $P(VRP) \subset P(DVRP)$ dir.

Dinamik Araç Rotalama Problemi (DVRP) acil istekleri, eğer mümkünse öncelikli cevaplaması gereken, gerçek zamanlı çalışan, çevrimiçi algoritmalarıdır. Geleneksel statik Araç Rotalama Problemleri NP-hard iken, gerçek boyuttaki problemlere, mantıklı bir hesaplama zamanında, optimum çözüm bulmak her zaman mümkün değildir. Bu da Dinamik Araç Rotalama Problemi'nin (DVRP) de NP-hard problemler sınıfına dâhil olduğunu gösterir. Statik araç rotalama problemlerinde, yeni bir acil istek geldiği zaman problem baştan tekrar çözülmelidir. Psaraftis (1980) p_i mevcut probleminin x_i çözümüne, geçici çözüm olarak yaklaşır. Geçici çözüm, mevcut girdi setine karşılık gelmektedir. Eğer bu çözümün uygulanmasında herhangi bir yeni istek gelmezse, geçici rota optimal olarak kabul edilir.

Şekil 4.1'de basit bir dinamik araç rotalama durumu gösterilmiştir. Örnekte, kapasite sınırı olmayan iki araç, hem eski hem de acil istekleri zaman kısıtı olmadan karşılamak durumundadır. Eski istekli müşteriler, siyah noktalarla ve acil istekli müşteriler ise beyaz

noktalarla gösterilmiştir. Kesintisiz çizgiler iki araç, için depodan ayrılmadan önce belirlenmiş olan rotaları göstermektedir. İki kalın çizgi ise dinamik isteklerin geldiği anda, araçların hangi noktada olduklarını göstermektedir. İdeal olarak acil müşterilerin, önceden planlanan rotalara, ziyaret edilmemiş müşterilerin sırası değişmeden ve minimum gecikme ile eklenmesi gerekir. Bu Şekil 4.1’de, sağ taraftaki rota üzerinde gösterilmiştir. Gerçekte ise yeni müşterinin mevcut plana eklenmesi çok daha karmaşık bir iştir ve ziyaret edilmemiş müşterilerin olduğu rotanın yeniden planlanmasını gerektirir. Bu durum da Şekil 4.1’de sol taraftaki rota üzerinde gösterilmiştir. Burada yeni müşterilerin isteklerinin dikkate alınması daha büyük bir tur atılmasını gerektirmiştir.

Genelde, rotalama problemi ne kadar karmaşık ise, yeni dinamik müşterilerin rotaya eklenmesi de o kadar karmaşık olacaktır. Örneğin, zaman kısıtlı bir rotalama problemine yeni müşterilerin eklenmesi, zaman kısıtı olmayan bir probleme eklenmesinden çok daha zordur.



Şekil 4.1 Sekiz eski iki yeni istekli dinamik araç rotalama senaryosu

Çevrimiçi bir rotalama sisteminde, bazı müşterilerin rotaya eklenmesi fizibil sonuç vermiyorsa, o müşterilerin istekleri göz ardı edilebilir. Bu tarz durumlarda, müşterilerin göz ardı edilmesi, ertesi gün verilecek hizmetlere dâhil edilmelerini gerektirir. Kurye sistemleri gibi uzun mesafeler söz konusu olan problemlerde, göz ardı edilen müşteri başka bir hizmet sağlayıcıya (firmaya) yönlendirilebilmektedir.

Dinamik araç rotalama sistemlerinin incelenmesinde, genelde gerçek veri yerine rassal olarak oluşturulmuş veriler kullanılmaktadır. Bunun iki temel nedeni vardır. Birincisi, rassal olarak oluşturulmuş verilerin kullanılması, beklenmeyen durumların ortaya çıkarılması için ortam yaratılmasına imkân verir. İkincisi, gerçek hayattaki dinamik araç rotalama problemlerinin büyük bir çoğunluğu, belirli bir rotalama probleminin detaylı analizi için gerekli tüm verilere sahip değildir. Örneğin yeni bir acil istek geldiğinde, araçların coğrafik konum bilgisi, gerçek

hayattaki problemlerden birini teşkil etmektedir.

Eğer rassal olarak oluşturulmuş veri kullanılmaya karar verilirse, birkaç önemli konuya dikkat edilmelidir. Bunlardan birincisi, acil müşteri isteklerinin geliş zamanının oluşturulması için kullanılacak yöntemin seçimidir. Bu verinin oluşturulmasında en çok kullanılan yöntemlerden biri Poisson dağılımıdır. Geliş oranı parametresi genelde λ ile gösterilir ve bu sistemdeki yoğunluğu gösterir. Birçok karmaşık sistemde, farklı stokastik dağılımların bir arada kullanılması ile farklı senaryolar oluşturabilir.

Modelin oluşturulmasındaki diğer önemli bir madde, müşterilerin taleplerini niteleyen ve müşterilerin lokasyonunda, talebin gerçekleştirilmesi için gerekli hizmet süresini belirleyen dağılımlardır. Bu amaçla Uniform ve Gaussian dağılımların yanı sıra, sabit sayılar da kullanılmaktadır. Sabit sayılar uygun olmakla beraber gerçekçi değildir. Yine uzun mesafeler arası hizmet veren kurye şirketlerini düşünecek olursak, müşteri mahallinde hizmet süresi geniş bir yelpazede birçok faktöre dayanmaktadır. Örneğin araç otoparkının bulunması, hizmetin verileceği binaların fiziksel yerleşimi ve paketin teslim alınma sürecinin kendisi, örneğin kuryenin paketin teslimini çok beklemesinin gerekip gerekmediği gibi faktörler göz önüne alınmalıdır.

Göz önüne alınması gereken bir diğer faktör ise sistemin reaksiyon süresidir. Bu süre, müşteri talebinin alınmasından itibaren, hizmetin verilebileceği en geç fizibil zaman aralığının sonuna kadar ki süreyi tanımlamaktadır. Her müşterinin reaksiyon zamanı, o müşteriye verilecek hizmetin aciliyetinin bir göstergesidir. Bir sistemin tüm reaksiyon zamanı, sistemin dinamikliği ile ilgilidir. Genelde sistem ne kadar dinamik ise, hızlı reaksiyon göstermesi o kadar zor ve maliyetli hale gelmektedir. Bu nedenle, bir sistemin dinamik yapısı, farklı senaryolar için alınacak kararları desteklemek üzere uygun modellerin ve algoritmaların seçimini gerektirir.

4.1.3 Statik ve Dinamik Araç Rotalama Probleminin Karşılaştırması

Burada geleneksel statik ve dinamik araç rotalama problemi arasındaki farklara değinilecektir.

Psaraftis (1988 ve 1995) iki problem tipi arasındaki farklılıkları on iki madde olarak listelemiştir. Bu on iki madde aşağıda özetlenmiştir.

- *Zaman boyutu önemlidir.*

Statik rotalama probleminde, zaman boyutu önemli değildir. Dinamik yapıda ise zaman

önemli bir faktördür. Planlamacının herhangi bir anda, tüm araçların nerede olduğunu ve yeni bir hizmet talebi geldiğinde bunu bilmesi gerekir.

- *Problem açık uçlu olabilir.*

Süreç genelde, statik bir problemde zamansal olarak sınırlanmıştır. Rotalar depoda başlar ve depoda sonlanır. Dinamik bir yapıda ise süreç sınırlandırılmamıştır. Rotalar yerine izlenmesi gereken yollar söz konusudur.

- *Gelecek ile ilgili bilgi belirsizdir veya hiç bilinmemektedir.*

Statik bir problemde tüm bilgilerin aynı kalitede bilindiği varsayılmaktadır. Gerçek zamanlı bir dinamik rotalama probleminde ise gelecek asla kesin olarak bilinmez. En iyi ihtimalle gelecek ile ilgili ihtimaller bilinmektedir.

- *Yakın zamanlı olaylar çok daha önemlidir.*

Bilgi kalitesinin hep aynı seviyede olması ve verilerin güncel olmaması nedeniyle statik rotalama probleminde tüm talepler aynı ağırlığa sahiptir. Dinamik bir yapıda ise araçları, uzun vadeli ihtiyaçlara göre bağlamak akıllıca değildir. Dinamik bir rotalama problemi ile uğraşırken planlamacı yakın zamanlı taleplerle ilgilenmelidir.

- *Bilgi güncelleme mekanizmaları önemlidir.*

Dinamik araç rotalama problemi için, hemen hemen gerekli tüm bilgiler, işlemin yapıldığı gün içerisinde değişecektir. Bu nedenle, bilgi güncelleme mekanizmalarının, çözüm yöntemi ile bütünleştirilmesi önemlidir. Doğal olarak, statik yapı söz konusu olduğunda, bilgi güncelleme mekanizmalarının eksikliği kaçınılmazdır.

- *Yeniden sıralama ve yeniden atama kararlarına imkân tanınmalıdır.*

Dinamik rotalamada, yeni girdi, planlamacı tarafından verilmiş kararların optimallik özelliğini kaybetmesine sebep olabilir. Bu da planlamacıyı, yeni duruma uygun olarak araçları yeniden rotalama veya yeniden atama durumunda bırakabilir.

- *Hızlı hesaplama zamanları gerekmektedir.*

Statik yapıda planlamacı yüksek kaliteli bir çözüm sonucu için uzun süre bekleme lüksüne sahip olabilir. Dinamik yapıda ise bu mümkün değildir. Çünkü planlamacının mevcut probleme ait çözümü, mümkün olan en kısa sürede bulması gerekmektedir. Çalışma süresi

kısıtı, yeniden rotalama ve yeniden atamaların, genelde yerel iyileştirme sezgiselleri olan “ekleme yöntemi” veya “k- yer değiştirme” yöntemleri ile yapılmasını gerektirir.

- *Belirsiz erteleme mekanizmaları gereklidir.*

Belirsiz erteleme, belirli bir talebin, diğer taleplere göre uygun olmayan coğrafik karakteristikleri nedeniyle, belirsiz bir süre ertelenebilmesi ihtimali anlamına gelmektedir. Bu problem aşırı beklemeyi cezalandıran, doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonu veya zaman aralığı kullanılarak giderilebilir.

- *Amaç fonksiyonu farklı olabilir.*

Toplam gezilen mesafenin minimizasyonu veya planın geneldeki toplam süresi gibi geleneksel statik amaçlar, sürecin açık uçlu olması nedeniyle dinamik yapı içerisinde anlamsız olabilir. Eğer gelecekteki girdiler hakkında bilgi yoksa sadece bilinen faktörlerin optimizasyonuna çalışılması mantıklıdır. Bazı sistemlerde, yukarıda bahsedilen belirsiz ertelemeleri ortadan kaldırmak için, doğrusal olmayan amaç fonksiyonları kullanılmaktadır.

- *Zaman kısıtları farklı olabilir.*

En geç toplama zamanları gibi zaman kısıtları, dinamik rotalama problemi içerisinde statik yapıya göre daha esnektir. Bu nedenle zaman kısıtına uyulamayan acil bir talebi karşılamama kararı, zaman kısıtının aşılmasından daha az caziptir.

- *Araç filo büyüklüğünde değişiklik daha az esnektir.*

Statik yapıda, rotaların çizilmesi ile algoritmanın uygulanması arasındaki zaman boşluğu, araç filosunda ayarlamalar yapmaya imkân vermektedir. Bununla birlikte dinamik yapıda planlamacının araçları yedekleme şansı yoktur ve bu nedenle hizmet kalitesinde yetersizlik söz konusu olabilir.

- *Kuyruk faktörleri önemli olabilir.*

Eğer müşteri talebi belirli bir oranı geçerse, sistemde tıkanıklık olabilir ve algoritmanın anlamsız sonuçlar üretmesine neden olabilir. Gerçi araç rotalama ve kuyruk teorisi iyi incelenmiş iki ayrı teori olsalar da, bu iki teorinin birleştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar yetersizdir.

Psaraftis (1995) ayrıca araç rotalama problemi için gerekli verileri biçimlendiren bilginin karakteristik özelliklerini de sınıflandırmıştır;

- *Bilginin evrimi.* Statik yapıda bilgi değişmez ve güncellenmez. Dinamik yapıda ise zaman ilerledikçe bilgi oluşur.
- *Bilginin kalitesi.* Sistemdeki verileri, 1) kesin olarak bilinebilir (deterministik), 2) belirsizlikle bilinebilir (tahminler), 3) önceden tanımlanmış olasılık dağılımlarına uyabilir (olasılıklı) olarak sınıflandırmak mümkündür. Genelde dinamik yapı içerisinde, bilginin kalitesi yakın zamanlı olaylar için yüksek, uzak tarihli olaylar için düşüktür.
- *Bilginin ulaşılabilirliği.* Bilgi yerel veya küresel olabilir. Yerel bilgiye verilecek örneklerden biri, petrol dağıtımı yapan araç şoförünün mevcut müşterinin ihtiyaç duyduğu petrol miktarını bildiği durumdur. Global bilgi sistemi ise, planlamacının tüm müşterilerin petrol tankerlerindeki petrol miktarını bilmesi durumudur. Bilgi teknolojilerindeki hızlı gelişmeler bilgiye erişimi kolaylaştırmaktadır.
- *Bilginin işlenmesi.* Merkezileştirilmiş bir sistemde, tüm bilgiler merkezi bir birim tarafından toplanmakta ve işlenmektedir. Merkezi olmayan bir sistemde, bilginin bir kısmı araç şoförü tarafından işlenebilir.

Bir problem, bir model ve modelin uygulanmasında dinamizm şöyle ayırt edilebilir;

- Bir problemin parametrelerinden biri veya daha fazlası, zamanın bir fonksiyonu ise dinamiktir. Bu, sürekli değişen, dinamik verilere sahip bir problem veya verileri önceden bilinen ve zamana bağlı problemler için de geçerlidir.
- Bir model, eğer açıkça zaman içerisinde kesişen faaliyetleri içeriyorsa dinamiktir. Burada, deterministik dinamik modeller ve stokastik modeller arasındaki ayrımın yapılması gerekmektedir.
- Eğer probleme ait model, yeni bilgiler geldikçe baştan çözülüyor ise dinamiktir. Sonuç olarak, dinamik uygulamalar içerisindeki modellerin çözümü çok büyük hesaplama kaynakları gerektirmektedir.

5. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Bu bölümde, dinamik araç rotalama problemi ve ilgili konuları kapsayan çalışmalar irdelenmiştir. Son 20–25 yıl içerisinde stokastik veya dinamik araç rotalama problemi ile ilgili konularda yayınlanan çalışma sayısı artmıştır. Genelde, dinamik araç rotalama problemi ile ilgili literatür farklı uygulama ve metodolojileri kapsamaktadır. Doğal olarak ele alınan dinamik ve statik yapıdaki araç rotalama problemlerinin tüm yönlerine, bu özetle yer verilememiştir. Ele alınan çalışmalar 2000–2008 arasındaki yayınlardır ve bu çalışmalarda metodolojilerin özetlenmesine çalışılmıştır.

Bu bölüm sırasıyla şu şekilde düzenlenmiştir. Birinci bölümde, konu ile ilgili yapılmış bazı çalışmalara değinilmiştir. Devamında sırasıyla öncelik bazlı optimizasyon, olasılıksal Gezgin Satıcı Problemi (TSP) yaklaşımları ele alınmıştır. Daha sonra, araç rotalama probleminin (VRP) dinamik ve stokastik yapıları ile ilgili en önemli çalışmaların kronolojik değerlendirmesi verilmiştir.

5.1 Araç Rotalama Problemi ile İlgili Literatür Araştırması

2008 yılına kadar çeşitli dergilerde dinamik ve stokastik araç rotalama problemi (VRP) başlığıyla yayınlanan çalışmalara değinilmiş, sonrasında çalışmaların detaylı sınıflandırılması yapılmıştır.

(*Psaraftis, 1980*), Araç rotalama probleminin (VRP) dinamik versiyonlarını ilk inceleyen bilim adamları arasındadır. Çalışmalarında dinamik araç rotalama probleminin (DVRP) mevcut ve gelecek durumunu ortaya koymuştur.

(*Bertsimas ve Simchi-Levi, 1996*), Bilinen algoritmaların işleyişini değerlendiren deterministik-statik ve dinamik-stokastik araç rotalama problemleri sınıflandırması yapılmıştır. Bertsimas ve Simchi-Levi araç rotalama problemlerinin analitik incelemesinin algoritmik yapılara yeni bakış açıları getireceğini ve klasik algoritmaların performans analizlerini mümkün kılacağını, araç rotalama problemlerini envanter kontrolü gibi konularla birleştiren çalışmaların daha iyi anlaşılmasını sağlayacağını savunmuştur. Yazarlar, güçlü bir bilgisayar hesaplama aracına sahip olunmayan durumlarda, öncelik bazlı optimizasyonun çekici bir seçenek olduğunu belirtmişlerdir.

(*Bertsimas ve van Ryzin, 1989*): Bu çalışmada, dinamik araç rotalama probleminin (DVRP) alt konularından dinamik Gezgin Tamirci Problemi (DTRP) için jenerik bir matematiksel

model geliştirilmiştir. Model stokastik ve dinamik olarak değişken bir ortamda, hizmet bekleme sürelerinin minimizasyonunun sağlanması amacı ile geliştirilmiştir. Bu da modelin, toplam seyahat süresini, statik ve deterministik bir ortamda minimize etmeye çalışan geleneksel araç rotalama problemlerinden ayrılmasını sağlamıştır. Çalışmanın potansiyel uygulama alanları tamir, envanter, acil hizmetler ve çizelgeleme modelleridir. Dinamik Gezgin Tamirci Probleminde (DTRP) gelen her talebe, sabit hızla hareket eden bir araç tarafından hizmet verilmesi gerekir. Problem, bir talebin sistem içerisinde geçirdiği toplam sürenin minimize edilmesi için, bir kural oluşturulmasıdır. Yazarlar, bu amaçla dinamik Gezgin Tamirci Problemi (DTRP) için çeşitli kurallar geliştirmiş ve davranışlarını gözlemlemiştir. Bu çalışmada, kuyruk teorisi, geometrik olasılık, kombinatoriyal optimizasyon ve simulasyon gibi yaklaşımlar kullanılarak yoğun ve yoğun olmayan trafik için optimal bir kural geliştirilmiştir.

(*Simonetti ve Balas, 1995*): Gezgin Satıcı Probleminde (TSP), dinamik programlama yaklaşımının uygulanması incelenmektedir. Belirli, öncelikli kısıtlı ve zaman pencereli (TW) bir çok problem bu sınıfta incelenmiştir. Prosedürün en ilginç yanı, herhangi bir problemin durumu bilinmeden önce, yardımcı bir yapının kurulmuş olması ve bunun da çözüm için gerekli çabayı azaltmasıdır.

(*Krumke, 2000*): Gezgin Tamirci Problemi (TRP), Gezgin Satıcı Probleminin (TSP) en ünlü biçimidir. Gezgin Tamirci Problemi (TRP) için, amaç toplam gecikmeyi minimize etmektir. Bu da gezilen şehirlerin tamamlanma sürelerinin ağırlıklandırılmış toplamıdır. Bir şehrin tamamlanma süresi, o şehire varılmadan önceki toplam süre olarak ifade edilir. Çevrimiçi Gezgin Tamirci Problemi (OLTRP), tamirci seyahat halinde iken, bir sonraki şehir bilgisinin çevrimiçi olarak geldiği problemlerdir. Rekabet analizleri kullanılarak, algoritmaların performansları analiz edilmiştir. Bu analizde çevrimiçi bir algoritmanın maliyeti, optimal çevrimdışı bir algoritmanınki ile karşılaştırılmıştır. Optimal çevrimdışı bir algoritma, tüm hizmet sırasını önceden bilmekte ve minimum maliyet ile ilgili hizmeti gerçekleştirebilmektedir. Bu çalışmada, herhangi bir matris tabanında çalışabilen, deterministik bir algoritma elde edebilmek için, çevrimiçi çizelgeleme tekniklerinin nasıl kullanılması gerektiği incelenmiştir.

(*Balas ve Simonetti, 2001*): Bu çalışmada, yazarlar dinamik programlama algoritmasını uygulamışlardır. Ayrıca, çizelgeleme ve araç rotalamada sıkça kullanılan bir model olan, zaman pencereli Gezgin Satıcı Problemi (TSPTW) uygulamaları ve hesaplama deneyimlerini tartışmışlardır. Ayrıca, tam zamanında çizelgeleme problemlerinde uygulanabilir, hedef

zamanlı Gezgin Satıcı Problemini (TSPTT) tanıtmışlardır. Öncelik kısıtlaması olmayan Gezgin Satıcı Problemi (TSP) için, üssel boyutlu ve komşulukta, doğrusal zamanda yerel bir optimum bulan, sezgisel bir algoritma kullanmışlardır.

(*Fakcharoenphol vd., 2003*): k- Gezgin Tamirci Problemi (k-TRP), metrik Gezgin Tamirci Probleminin genelleştirilmiş bir versiyonudur. Bu problem, ayrıca minimum gecikme problemi (MLT) olarak da bilinir. Bu genelleştirme için yazarlar 8.497 α -tahmin algoritması vermişlerdir. Burada α , en küçük maliyet köklü yol ağacı probleminin (i-MST) bulunmasında elde edilebilecek en iyi tahmin faktörünü göstermektedir.

(*Krumke, 2003*): Gezgin Tamirci Probleminde (TRP), matris tabanlı bir uzayda bulunan, şehirlerarası seyahat tamamlanma süresinin, ağırlıklı ortalamasının minimizasyonu için gerekli turun bulunması gerekir. Bu çalışmada, çevrimiçi çizelgeleme tekniklerinden faydalanılarak, genel matris tabanlı uzayda çevrimiçi Gezgin Tamirci problemi (OLTRP) için, rekabet edebilen orana sahip deterministik bir algoritma geliştirilmiştir. Rasgele hale getirilmiş bir algoritma kullanımı, bizi sürüş-çevir problemi (dial a ride) (L-OLDARP) genelleştirmesine ulaştırır. Bu problemde, nesnelerin bir sunucu tarafından toplanması ve dağıtılması gerekmektedir. Bu çalışmada, sürüş-çevir problemi (L-OLDARP) için geliştirilen algoritmalar ilk rekabet edebilen algoritmalarlardır.

(*Sindhuchao vd., 2005*): Bu çalışmada, ürün tedarik sisteminde, envanter ve taşıma kararlarının koordinasyonu için matematik programlama yaklaşımı geliştirilmiştir. Özellikle coğrafik olarak yayılmış tedarikçilerden ve bu tedarikçilerden gelen ürünleri stoklayan bir merkezi depodan oluşan bir sistem gözönüne alınmıştır. Merkezi depo sabit ve deterministik özelliklere sahip taleplere cevap vermektedir. Depodan sevkiyatların yapılmasında kullanılan araç filosunun kapasitesi sınırlıdır ve bir frekans kısıtını sağlaması gerekmektedir. Uzun dönemli ortalama envanter ve taşıma maliyetlerini minimize etme problemi, kümelenendirme problemi olarak ele alınmıştır. Toplam maliyetler için bir alt sınır belirleyebilmek amacıyla, sütun ekleme yaklaşımı kullanılmıştır. Parçaların araçlara optimal bir şekilde atanması için, dal-fiyat algoritması geliştirilmiştir. Probleme optimuma yakın çözümler bulabilmek amacıyla yapıcı hırslı sezgiseller (GCH), büyük ölçekli komşuluk arama algoritması (VLSN) önerilmiştir.

(*Coslovich vd., 2006*): Bu çalışmada, zaman pencereli dinamik sürüş-çevir problemi (DARPTW) ele alınmıştır. Aracın her duruşunda, planlanmamış hizmet talepleri gelmekte ve gerçek zamanlı olarak bu talebin kabul veya red kararı verilmektedir. Bu problem için rota

değişikliğine dayalı, iki aşamalı ekleme algoritması geliştirilmiştir. İlk aşamada araç arka arkaya iki nokta arasında çevrim dışı olarak hareket ettiğinde, mevcut rotaya uygun fizibil komşuluk yaratılmaya çalışılır. İkinci aşamada ise, çevrim içi bir ortamda her hizmet talebi geldiğinde, eğer mümkünse yeni talep rota değiştirilerek eklenir.

(Gendreau vd., 2006): Gerçek zamanlı toplama ve dağıtım lokasyonlu yeni taleplerin geldiği, planlanmış araç rotalarının optimize edilmesi için komşu arama sezgiseli ele alınmıştır. Bu çerçevede, komşuluk yapısında bazı taleplerin çıkarılmasına dayalı yeni çözümler aranmıştır. Sayısal örnekler, gerçek zamanlı uygulamalarda bu prosedürlerin sonuçlarının faydalarını göstermiştir.

(Hashimoto vd., 2006): Bu çalışmada, esnek zaman pencereli ve esnek seyahat süresi kısıtlarına sahip standart araç rotalama problemi genelleştirilmiştir. Burada bahsedilen her iki kısıtta, maliyet fonksiyonu olarak ele alınmıştır ve problem genelleştirilmiştir. Bu algorithmada, araçların rotalarının belirlenebilmesi için yerel arama yöntemi kullanılmıştır. Her bir aracın rotası belirlendikten sonra, her bir müşteride optimal servis başlama zamanının belirlenmesi gerekmektedir. Bu alt problemde, maliyet fonksiyonları genel olunca problemin NP-hard olduğu görülmüştür. Zaman penceresi maliyet fonksiyonları dışbükey değilken ve seyahat süreleri maliyet fonksiyonları dışbükeyken problem dinamik programlama ile çözülebilir. Bu durum, geliştirilen tekrarlı yerel arama algoritması ile ele alınmıştır. Hesaplama sonuçları, karşılaştırma örnekleri ile açıklanmış ve önerilen genelleştirmenin faydaları belirtilmiştir.

(Righini ve Salani, 2006): Kapasite ve zaman pencereleri gibi ek kısıtlı araç rotalama problemleri, kolon ekleme ve dal-fiyat algoritması yardımıyla çözülmektedir. Fiyatlandırma alt probleminde, (maliyetlerin yaylar, ödüllerin köşelerde gösterildiği bir çizge üzerinde) minimum maliyet kısıtlı yolun hesaplanması gerekir. Bu tür bir problemin çözümünde, dinamik programlama yaklaşımı kullanılır. Bu çalışmada dinamik programlama algoritmasının, sınırlandırılmış çift yönlü arama ile iyileştirilebileceği ve elde edilen ilerlemenin etkinliğinin nasıl değerlendirilebileceği gösterilmiştir. Bu çalışmada, kapasitelendirilmiş araç rotalama problemleri (CVRP), dağıtım-toplama gerektiren araç rotalama problemleri (VRPPD) ve zaman pencereli kapasitelendirilmiş araç rotalama problemleri (CVRPTW), birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

(Alegre vd., 2007): Bu çalışmada, periyodik araç rotalama probleminin (PVRP) özel bir durumu için çözüm prosedürü geliştirilmiştir. Hammaddelerin, coğrafik olarak farklı yerlere

dağılmış noktalardan toplanması gerekmektedir. Bu toplama, periyodik olarak çizelgelenmiş zamanlarda gerçekleştirilmektedir. Problem, her bir tedarikçi lokasyonuna toplama çizelgesinin atanması ve toplam taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi için günlük rotaların belirlenmesini içermektedir. Çalışmanın amacı, daha uzun planlama dönemi içeren PVRP örneklerini ele alan bir prosedürün geliştirilmesidir.

(*Alshamrani vd., 2007*): Bir dönem içerisinde, merkezi bir işleme noktasından ürünlerin müşterilere dağıtıldığı ve yine bu noktalardan merkez noktaya geri dönüşün bir sonraki dönemde gerçekleşebildiği tersine lojistik problemi ele alınmıştır. Dağıtımından sonra toplanmayan her bir kutu için, müşteri memnuniyetsizliği ve işletme maliyetleri nedeniyle bir ceza maliyeti oluşur. Problem, planlamacının, her noktada alınacak kap sayısını belirlerken, çoklu durma noktalarının da belirlenmesini gerçekleştirecek bir dinamik lojistik planlama problemidir. Bu inceleme, planlama dönemindeki durma sayı ve sürelerinin olasılıklı olarak bilindiği, rota tasarımı ve toplama stratejilerinin eş zamanlı geliştirildiği bir çalışmadır. Bu amaçla sezgisel bir prosedür oluşturulmuştur.

(*Alvarenga vd., 2007*): Bu çalışmada, zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPTW) için, seyahat mesafelerini ana amaç olarak alan, Genetik Algoritma (GA) ve küme bölümlendirme formülasyonu kullanılarak geliştirilmiş sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Önerilen sezgisel yaklaşımın, daha önceki sezgisellerden minimum seyahat mesafesi açısından çok daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

(*Angelelli vd., 2007*): Bu çalışmada, dinamik çok dönemli rotalama problemi ele alınmıştır. Her dönem başlangıcında, o dönem içerisinde veya bir sonraki dönemde yerine getirilmesi gereken siparişler oluşmaktadır. Buna göre, her dönem hizmet verilmesi gereken ve verilecek hizmetlerin ötelenmesi gereken müşteriler belirlenmektedir. Hizmet verilmeye karar verildikten sonra, optimal rota oluşturulur ve uygulanır. Burada amaç, planlama dönemi içerisinde toplam seyahat mesafesini minimize etmektir. Hangi müşterilere hizmet verileceği kararı, ardışık iki dönem içerisinde müşterilerin incelenmesi ile alınmaktadır. Müşterilerin gelecekteki talepleri ile ilgili bilgi mevcut değildir. Bu çalışmada, yukarıda belirtilen problemin çözümü için basit algoritmalar geliştirilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır.

(*Azi vd., 2007*): Bu makalede, zaman pencereli bir müşteri setine hizmet verebilmek için bir aracın birkaç tur gerçekleştirdiği kesin bir algoritma (EA) anlatılmıştır. Hızlı tüketim ürünlerinin evlere dağıtımı sırasında, bir çalışma günü içerisinde en kısa rotalarla çalışma zorunluluğu bu çalışmanın kaynağı olmuştur. Kaynak kısıtları olan temel en kısa yol

problemine dayalı bir metot, problemin çözümünde kullanılmıştır. Bu metodun ilk kısmında, olurlu (fizibil) rotalar oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise, bazı rotalar seçilerek günlük araç rotalarını belirleyecek şekilde arka arkaya dizilmiştir. Öklidyen problemler için yapılan hesaplamaların sonuçları, klasik zaman pencereli araç rotalama problemleri örneklerinin karşılaştırmasından türetilmiştir.

(Bae vd., 2007): Bu çalışma geliştirilmiş Genetik Algoritma ve grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) programlamaya dayalı çoklu depo tedarik sistemi için, bütünleşik araç rotalama problemi geliştirme üzerine kullanılmıştır. Çözümü kolaylaştırmak amacıyla, üç aşamalı çoklu tedarik merkezi problemi, tekli tedarik merkezi problemine dönüştürülmüştür. Çözüm için geliştirilmiş Genetik Algoritma kullanan sezgisel metod, bütünleşik araç rotalama problemi modeli için geliştirilmiştir. Geliştirilen model, dağıtım rotalama problemlerinin çözümü için faydalıdır.

(Barreto vd., 2007): Çalışmada, iki aşamalı ayırık tesis rotalama problemi ele alınmıştır. Bu sistem kapasite sınırı olan dağıtım merkezleri ve sipariş vermiş olan müşteriler topluluğundan oluşmaktadır. Ele alınan problemde, hangi dağıtım merkezlerinin ve dağıtım rotalarının kullanılacağı belirlenmeye çalışılmıştır. Dağıtımı gerçekleştiren araçların kapasitesi, sınırlandırılmıştır. Homojen bir araç filosu, tekil bir ürün taşımakta ve her bir müşteri tek bir defa ziyaret edilmektedir. Bu amaçla hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan kümeleme teknikleri ardışık bir sezgisel algoritma ile bütünleştirilmiştir.

(Berger vd., 2007): Keşif uçuşu yapan bir uçağın sensörlerinin dinamik bir ortamda bilinen ve bilinmeyen hedeflerin tespiti için geliştirilen zaman pencereli dinamik araç rotalama probleminin çözümünde, yeni bir hibrit Genetik Algoritma yaklaşımı önerilmiştir. Bu bağlamda, bir hedefin ziyaret edilmesi, şüpheli hedefin aranması, algılanması, yenilerinin bulunması ve onaylanması gibi alt görevlerden oluşabilir. Burada amaç toplam seyahat süresinin ve kısıt ihlalinin minimize edilmesidir.

(Calvete vd., 2007): Bir çok dağıtım probleminde, her müşteriye hizmet verilmesi gereken zaman aralığının tanımlanmasını gerektiren sıkı zaman penceresinin yanı sıra, işçi ve araç kapasitelerinin doğru kullanımı gibi yönetimin gözetmesi gereken çoklu amaçları vardır. Bu tür problemlerin modellenmesi için, bu çalışmada amaç programlama kullanılmıştır. Modelin çözümü için olurlu (fizibil) rotaları hesaplayıp, onlar arasından en iyileri seçen optimizasyon yaklaşımı önerilmiştir. Çalışmanın sonuçları, yaklaşımın orta ölçekli teslimat problemleri için yeterli olduğunu göstermiştir.

(Choi ve Tcha, 2007): Farklı araç kapasitelerine, sabit ve değişken maliyetlere sahip heterojen bir araç filosunda araç rotalama problemi ele alınmıştır. Çözüm için, şimdiye kadar sadece zaman pencereli araç rotalama problemlerinde başarılı olmuş, sütun ekleme (CG) yaklaşımı kullanılmıştır. Kolon ekleme tekniği ile çözülen bir lineer programlama genişletmesi ile sıkı bir tam sayı programlama modeli sunulmuştur. Olurlu (fizibil) kolonların etkin biçimde oluşturulabilmesi için, biraz değişikliklerle, klasik araç rotalama problemi için geliştirilen bir kaç dinamik programlama planı taklit edilmiştir. Elde edilen sıkı alt sınırlar ile dal-sınır prosedürü, tamsayı bir çözüm bulmak üzere kullanılmıştır. Geliştiren yaklaşımın çözüm zamanı ve çözüm kalitesi açısından mevcut algoritmalarından üstün olduğu görülmüştür.

(Christiansen ve Lysgaard, 2007): Bu çalışma stokastik talepli kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (CVRPSD) için, yeni bir kesin algoritma sunmuştur. CVRPSD küme bölümlendirme problemi olarak formüle edilebilir. Kolon geliştirme alt probleminin, dinamik programlama ile çözülebildiği görülmüştür.

(Claassen ve Hendriks, 2007): Bu çalışmada, süt toplama problemine yöneylem araştırması yaklaşımı geliştirilmiştir. Problemin kendine özgü detayları nedeniyle, kısa ve orta vadeli planlama yaklaşımı kullanılmıştır. Önerilen karar destek sistemi, istikrarlı süt toplama planlarına imkân vermekle beraber, araç rotalama problemi için etkin bir başlama noktası da sunmaktadır. Çalışma sonucunda, özel siparişler kümeleri tip 1 (SOS1) yönteminin hesaplama avantajının ek model koşulları ile sınırlı olduğu görülmüştür.

(Derigs ve Kaiser, 2007): Davranış tabanlı tepe tırmanıcı (ABHC), genel tabu arama prensibinin bir türüdür. Kalite ve etkinlik açısından kombinatoriyal optimizasyon problemlerinden; gezgin satıcı problemi ve kuadratik atama problemi ile ve diğer yerel arama sezgiselleri ile rekabet etmektedir. ABHC, tamamen parametrelerden özgürdür ve mantığı çözüm davranışlarına göre çözüm uzayını bölümlendirme kavramına dayanmaktadır. Bu çalışmada ABHC sezgiselinin, genel araç rotalama problemlerinde etkinliği incelenmiştir.

(Desaulniers, 2007): Bu makalede, ikili amaç fonksiyonu içeren, alt problemin kaynak kısıtlı en kısa yol problemi olduğu ve kolon genişletme ile çözülebilen araç rotalama ve mürettebat çizelgeleme problemleri ele alınmıştır. Bu tür problemler genelde, birincil amacın minimizasyonunun garantilenmesi için, büyük bir sabit maliyet içeren tek kademeli amaç fonksiyonu ile modellenmişlerdir. Bu çalışmada, sabit maliyet değerinin çözüm zamanı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Öncelikle, sabit maliyet değeri büyüdüğünde, çözüm süresinin de arttığı görülmüştür. Buna göre, kolon ekleme ile uyumlu dinamik bir sabit maliyet

prosedürü geliştirilmiş, sabit maliyet göreceli olarak küçük bir değerden başlatılarak optimallik elde edilene kadar bu değer arttırılmıştır. Elde edilen optimalliğin doğrulanması için, kaynak kısıtlı en kısa yol problemi çözülmüştür. Geliştirilen bu yöntemle, çözüm zamanının %50 azaltılabildiği görülmüştür. Kolon ekleme ise araç rotalama ve mürettebat çizelgeleme problemlerinin çeşitli tiplerinde kullanılmaktadır. Bu tür problemlerin amaç fonksiyonu, genelde iki aşamadan oluşmaktadır. Örneğin, kullanılan kaynak sayısı azaltılmaya çalışılırken, diğer aşamada operasyonel maliyetler minimize edilmeye çalışılır. İki aşamalı amaç fonksiyonlarının modellenmesi için genelde, tek bir amaç fonksiyonunu büyük bir sabit maliyet katsayısı ile çarpıp diğer amaç fonksiyonu ile toplama yöntemi kullanılmaktadır. Önerilen prosedür optimalliği garantileyerek, amaç fonksiyonları arasındaki hiyerarşiyi gözeterek ve çözüm zamanını kısaltarak yukarıda anlatılan yöntemin yarattığı sıkıntıları ortadan kaldırmaktadır.

(*Du vd., 2007*): Süt dağıtım problemi için, yedi modülden oluşan gerçek zamanlı bir sistem geliştirilmiştir. İnceleme sonuçları, sistemin bir başlangıç dağıtım modülüne ve iç rota iyileştirme modülüne sahip olması gerektiğini göstermiştir. Ayrıca, başlangıç araç dağıtım için Best Fit algoritması ve iç rota iyileştirme için iki değişim algoritması önerilmiştir.

(*Fuellerer vd., 2007*): Bu çalışmada, dağıtım lojistiğindeki iki önemli problemin birleşimi olan, iki boyutlu yüklemeli araç rotalama problemi ele alınmıştır. Bu problem, müşterilerin taleplerini karşılamak üzere malın araçlara yüklenmesi ve ardışık rotanın belirlenmesi işlemlerini birleştirir. Problemin yükleme kısmı, çeşitli sezgiseller ile çözülebilirken tamamında optimizasyonun sağlanması için karınca algoritması (ACO) kullanılmıştır. Geliştirilen yaklaşım, küçük ölçekli problemlerde birden fazla optimal çözüm üretirken, büyük ölçekli problemlerde daha önceki sezgiselleri teyit etmektedir. Parça rotasyonu ve geç yükleme gibi çeşitli yükleme kısıtları ile başa çıkabilme esnekliği sayesinde, çok daha esnek yükleme konfigürasyonları ile potansiyel tasarrufları görme imkânı sağlar. Bu çalışmada, karınca algoritması, tamamen farklı iki sezgisel ölçütü birleştirme imkânı vermiştir.

(*Ganesh ve Narendran, 2007*): Bu makale, teslimat ve toplama sıra kısıtlı araç rotalama problemini (VRPDP) ele almıştır. Yakın düğümleri kümeleyen, çok aşamalı yapısal sezgisel kullanılarak, araç bir rota boyunca yönlendirilir. Araçlar, genelleştirilmiş atama prosedürü ile bölümlendirilir. Yoğun bir son arama için, Genetik Algoritma kullanılmıştır.

(*Goel ve Gruhn, 2007*): Bu çalışmada, gerçek hayattaki çeşitli karmaşıklıkları içeren araç rotalama problemi ele alınmıştır. Genel araç rotalama problemi (GVRP) yük kabul etme ve

genelleştirilmiş araç rotalama probleminin birleşimidir. Gerçek hayattaki kısıtlamalar, zaman penceresi kısıtlamaları, farklı seyahat sürelerine sahip heterojen bir araç filosu, seyahat maliyetleri ve kapasite, çok boyutlu kapasite kısıtları, sipariş/araç uyum kısıtları, çoklu toplama gerektiren siparişler, teslimat ve hizmet yerleri, araçlar için farklı başlama ve bitiş noktaları ve araçlar için rota kısıtlarından oluşmaktadır. GVRP çok kısıtlıdır ve arama uzayı özelliğinden dolayı birçok çözüme sahip olabilir. Bu da tek bir komşuluk yapısı ile bir çözümden diğerine gidilememesine neden olur. Bu nedenle arama süresince komşuluk yapısının değiştiği tekrarlı geliştirme yaklaşımları önerilmiştir.

(*Gribkovskaia vd., 2007*): Toplama ve dağıtım tekli araç rotalama problemi (SVRPPD), toplama ve dağıtım taleplerinin müşteri lokasyonlarına bağlı olduğu bir çizge üzerinde tanımlanır. Problem Q kapasiteli bir araç için, minimum rotalama maliyeti tasarımını içermektedir. Her müşteri toplama ve dağıtım işlemi birleşimi için, sadece bir kere ve eğer bu iki işlem ayrı ayrı gerçekleştiriliyorsa iki kere ziyaret edilebilir. Bu çalışmada SVRPPD için, karmaşık tamsayılı lineer programlama (ILP) modeli önerilmiştir. Hamiltonian, çift yol ve kement (Laso) gibi bilinen çözüm şekillerini kapsayan, genel bir çözüm kavramı sunulmuştur. Tabu arama sezgiseli gibi klasik geliştirme sezgiselleri, geliştirilmiş ve denenmiştir. Çözüm sonuçlarından, en iyi sezgisellerin Hamiltonian olmayan ve bazı durumlarda bir müşterinin iki kere ziyaret edildiği durumlarda elde edildiği görülmüştür.

(*Hanshar ve Ombuki-Berman, 2007*): Bir çok kombinatorial optimizasyon problemi, statik problem olarak formüle edilmiştir. Uygulamada ise, bir çok problem dinamik ve değişkendir ve bir çok karar tüm tasarım verisi bilinmeden alınmalıdır. Örneğin, dinamik araç rotalama probleminde (DVRP), zaman içerisinde yeni müşteri siparişleri oluşmaktadır ve mevcut çözüm uygulanırken rotaların yeniden düzenlenmesi gerekir. Bu çalışma, kullanılan DVRP modeli için çözümler yaratan Genetik Algoritma metodolojisini sunmaktadır. Önerilen GA, seyahat maliyetlerinin minimize edilmesinde uygulanan tabu arama ve karınca algoritmalarından daha iyi sonuç göstermiştir.

(*Haugland vd., 2007*): Bu makalede, stokastik talepli araç rotalama problemi için bölge tasarımını ele almıştır. Özellikle, bölgeler belirlenirken taleplerin belirsiz olması ve bölümlendirme kararları alındıktan sonra taleplerin belli olmasına dikkat edilmiştir. Tabu arama ve çoklu başlangıçlı sezgiseller geliştirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

(*Hemmelmayr vd., 2007*): Bu çalışma, zaman penceresiz periyodik araç rotalama problemi (PVRP) için yeni bir sezgisel geliştirmiştir. PVRP, klasik araç rotalama problemini bir kaç

günden oluşan bir planlama zaman aralığına genişletmiştir. Her müşteriye, zaman aralığı içerisinde esnek ziyaret günlerinde belirli ziyaretlerin yapılması gerekmektedir. Böylece, müşteriler için belirli günlerin seçilmesi ve günlük VRP'nin çözülmesi gerekmektedir. Çözüm için, değişken komşuluk araması (VNS) kullanılmıştır.

(*Ho vd., 2007*): VRP formülasyonlarında genelde tek depo vardır. Bu sınırlamanın çözümü için, bu çalışmada çoklu depolu araç rotalama problemi (MDVRP) üzerinde durulmuştur. Problemin çözümü için, iki hibrit Genetik Algoritma (HGA) geliştirilmiştir. HGA1'de başlangıç çözümü rassal olarak oluşturulmuştur. HGA2'de ise Clarke ve Wright tasarruf metodu ve en yakın komşu sezgiseli kullanılmıştır. Toplam teslimat süresi açısından HGA2'nin HGA1'den daha iyi olduğu görülmüştür.

(*Hoff vd., 2007*): Bu çalışmada, toplama ve dağıtım araç rotalama problemi (VRPPD) ele alınmıştır. Araç kapasitesi belirli bir değere kadar boşalmadan, toplama işlemi başlatılmayacak şekilde çalışılmaktadır. Bu müşterilerin yeniden ziyaret edilmesi gerekeceği için, kement biçimli çözümlere neden olmaktadır. Ayrıca geleneksel problem, müşterilerin iki kere; iki farklı turda veya bir turun farklı zamanlarında ziyaret edilmesine izin vererek genel bir çözüm imkânı vermektedir. Bu çalışma, kement çözümler üretebilen bir tabu arama algoritması geliştirmiştir. Her müşterinin kopyalanması ve genişletilmiş bir müşteri kümesi üzerinde, Hamiltonian çözümünün geliştirilmesi ile genel bir çözüm elde edilebilir. Bu çözüm, diğer şekilsel çözümlere göre daha iyi maliyet sonuçları vermekle beraber, hesaplama zamanı açısından daha kötüdür.

(*Hsu vd., 2007*): Bu çalışma, dayanıksız gıda dağıtım sürecindeki rassallığı göz önüne alarak, optimal teslimat rotaları, yükleme, filo dağıtımı ve bir dağıtım merkezinden teslimatların yapılması için ayrılma zamanlarını hesaplayan, zaman pencereli stokastik araç rotalama problemini incelemiştir. Burada amaç, sadece dağıtım yapan araçların sabit maliyetlerini minimize etmek değil zaman penceresi ihlalleri için ayrıca taşıma, envanter, enerji ve ceza maliyetlerini de minimize etmektir. Ayrıca gün içerisinde, zamana bağımlı seyahat ve zamana göre değişen sıcaklık kavramları tartışılmıştır. Buna göre, matematiksel programlama modelindeki kısıtlar ve amaç fonksiyonu değiştirilmiştir. Geliştirilen algoritmaların çözümünde, envanter ve enerji maliyetlerinin toplam teslimat maliyetleri içerisinde kayda değer payı olduğu görülmüştür. Geliştirilen zaman pencereli stokastik araç rotalama problemi (SVRPTW) modelinin geleneksel zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPTW) modellerinden daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

(Huang vd., 2007): Araç rotalamada, dinamik gerçek zamanlı taşıma ağlarında optimal bir rota bulmak, gerçekten kiritik bir problemdir. Mevcut yaklaşımlar, zaman içerisinde değişen trafik şartları ve mobil aracın konumu gibi, karmaşık konuların yönetiminde yetersiz kalmaktadır. Bu makalede, hayat boyu planlama A^* algoritmasının bir türü olan, A^* algoritması kullanan ve yeni sezgiseller içeren artan arama yaklaşımı (ISA) önerilmiştir. Ayrıca dinamik arama sürecini hızlandırmak için, bir elips kullanarak gereksiz düğümlerin ayrılması önerilmiştir. Önerilen algoritma, hareket halindeki araç ile gitmesi gereken arasındaki en kısa maliyet yolunu, sürekli dinamik trafik şartlarına adapte ederek bulmaya çalışmaktadır. Çalışma sonucunda, A^* algoritmasına ile geliştirilen algoritmaların çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

(Hvattum vd., 2007): Bu çalışmada, dinamik ve stokastik araç rotalama problemleri için dal-pişmanlık sezgiseli anlatılmıştır. Geliştirilen yöntem, bir taşımacılık firmasındaki gerçek problem için geliştirilmiştir. Sezgisel çözüm boyunca stokastik bilgi kullanmıştır. Yeni metodun, sadece dinamik yaklaşıma dayalı önceki sezgisellerden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Geliştirilen algoritmanın, stokastik müşteri, stokastik talep ve her ikisini içeren problemlere uygun olduğu görülmüştür.

(Ibaraki vd., 2007): Zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPTW) için tekrarlı yerel arama algoritması geliştirilmiştir. Zaman penceresi kısıtı, her bir müşteri için ceza fonksiyonu olarak ele alınmış, dışbükey ve parçalı lineer olduğu kabul edilmiştir. Aracın ziyaret etmesi gereken müşteri grubu için, toplam ceza maliyetini minimize edecek servise başlama optimal zamanının belirlenmesinde, dinamik programlama kullanılmıştır. Bu dinamik programlama (DP) algoritması, çeşitli komşuluklarda çözümlerin değerlendirilmesi için tekrarlı yerel arama algoritması ile birleştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın, müşteri sayısının çok olduğu örneklerde iyi sonuç verdiği görülmüştür.

(Jeon vd., 2007): Çalışmanın amacı, heterojen araçlar, çift gezi ve çoklu depo gibi kavramları gözeterek hibrit Genetik Algoritma (HGA) ile araç rotalama problemine en iyi çözümün bulunmasıdır. Teslimat miktarı ve alt tur giderme (subtour elimination) gibi kavramları içeren, yeni sayısal formülasyonlu matematiksel programlama modeli önermektedir. Çalışma ayrıca, başlangıç çözümünün oluşturulması için bir hibrit Genetik Algoritma (HGA), üç farklı sezgisel süreç ve yerel çözümden kaçınmak amacıyla bir yüzer mutasyon oranı önermektedir. Önerilen hibrit Genetik Algoritma (HGA) genel Genetik Algoritma sonuçları ile karşılaştırılmaktadır.

(Jothi ve Raghavachari, 2007): k-gezgin tamirci problemi üzerine yapılmış önceki

çalışmalarda, müşteride geçen tamir süresi, gecikme hesaplamalarında sıfır olarak alınmıştır. Bu çalışmada ise, her bir müşterinin kendine göre tamir süresi içerdiği varsayılarak, problem genelleştirilmiştir. Bu amaçla sabit sayılı tamirci sayısı için $(\beta+2)$ -tahmin algoritması sunulmuştur. Burada β , sıfır tamir süreli k-gezgın tamirci problemi için elde edilebilecek en iyi tahmin oranını göstermektedir. Keyfi bir k değeri için ise, $(32\beta+12)$ tahmin oranı bulunmuştur. Tüm müşterilerin tamir süresi aynı olduğunda, tahmin algoritması daha iyi bir oran elde etmiştir. Bu çalışmada ayrıca, sınırlandırılmış gecikme problemi ele alınmıştır. Gecikme sınırı koşulu altında, tüm müşterilerin gecikmesinin bu sınırı aşmayacak şekilde olması istenmiştir. Bu amaçla, müşterilerin tümüne hizmet verebilecek kaç tamirciye ihtiyaç olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

(Kytöjoki vd., 2007): Bu çalışmada, kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (CVRP) için etkili bir değişken komşuluk arama (VNS) sezgiseli geliştirilmiştir. Amaç, bilinen taleplere sahip, coğrafik olarak dağılmış müşterilere hizmet edecek, kapasitelendirilmiş araçlar filosu için en az maliyet rotalarının tasarlanmasıdır. Değişken komşuluk arama (VNS) prosedürü, standart iyileştirme sezgisellerine rehberlik etmesi amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, yerel minimumdan kaçınabilmek için yönlendirilmiş yerel arama meta-sezgiseli kullanılmıştır. Geliştirilmiş özüm metodu, gerçek hayattaki büyük ölçekli araç rotalama problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir. Metodun 20.000 müşterili problemlere kadar, hızlı ve etkin çözümler sunduğu görölmüştür.

(Lewis vd., 2007): Araç rotalama problemi için, tur bölümlendirme ve sonsuz bir araç sayısının var olduğunu varsaymaktadır. Araç sayısı sabit ise, sezgiselin ürettiği çözümler olurlu (fizibil) değildir. Sezgiselin bu durumda da olurlu (fizibil) olabilmesi için gerekli değişiklikler yapılmış ve değiştirilmiş sezgiselin bulacağı çözümler için, en kötü durum senaryo analizi gerçekleştirilmiştir.

(Li vd., 2007a): Heterojen filolu araç rotalama probleminde (HVRP), müşterilere hizmet için farklı tiplerde araç kullanılabilir. Araç tipleri kapasite, sabit maliyet ve değişken maliyet bağlamında değişiklik gösterebilir. Bu çalışmada, her tipteki araç sayısının eşit ve sabit sayıda olduğu kabul edilmiştir. Standart araç rotalama problemi için, kayıttan kayıta seyahat algoritmasının (RRTA) değişik bir biçimi, heterojen bir filo göz önüne alınarak, 200–360 müşteri için geliştirilmiştir.

(Li vd., 2007b): Açık araç rotalama probleminde (OVRP), bir araç son müşteriye hizmet verdikten sonra depoya geri dönmez. Günümüzde karşılaşılan OVRP uygulaması paket ve

gazete dağıtımı olarak gösterilebilir. Kendi araçları ile dağıtımı gerçekleştiren sözleşmeli personel, teslimat sonrasında depoya dönmezler. Son beş yıl içerisinde tabu arama, deterministik tavlama (DA) ve büyük komşuluk arama yöntemleri, OVRP'ye uygulanmıştır. Bu çalışmada ise, kayıttan kayıta seyahat algoritmasının (RRTA) değişik bir biçimi, standart araç rotalama probleminde, açık rotaların ele alınması için kullanılmış ve 200–480 düğümlü problemler için hesaplama sonuçları verilmiştir.

(Mautor ve Naudin, 2007): Bu makale, kapasitelendirilmiş zaman pencereli araç rotalama problemine daha öncede uygulanmış yay-durum (arc-state) modellerini (ASM) incelemiştir. Bu modellerde değişkenler, araçların bir yay üzerinde hareket ederken ki durumlarıdır (kaynak miktarları). Problemin (LP) genişletmesi, problemi kesin olarak çözebilen ve dal-sınır algoritmasına gömülebilen, bir alt sınır sağlar. Modelin pseudo-polynomial değişken ve kısıt sayısından dolayı, kolon ve satır ekleme kullanılmıştır. Genelde dal-sınır algoritmasında, dal-sınır ağacının boyutunu olabildiğince küçültmek için alt sınırın çok etkin olması gerekir. Önerilen modellerden biri, değişkenlerdeki durumlardan bir kaynağın çıkartıldığı, yay-durum modelinin genişletilmesine dayanmaktadır. Solomon karşılaştırma örneklerinde gösterildiği gibi, modelin çalıştırılması sonucunda sınır kalitesi azalsa da, küresel çözüm süresi çok iyileşmiştir.

(Mester ve Bräysy, 2007): Bu çalışmada kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi için aktif-yönlendirmeli değerlendirme stratejileri (A-GESM) meta sezgiselinin uyarlaması sunulmuştur. Uygulanan meta sezgisel çok iyi bilinen yönlendirilmiş yerel aramanın (GLS) kuvvetli yönlerini ve değerlendirme stratejileri meta sezgiselini tekrarlı iki aşamalı bir prosedürle birleştirmiştir.

(Mourgaya ve Vanderbeck, 2007): Periyodik araç rotalama problemi (PVRP), her zaman periyodunda rotaları optimize ederken belirli bir hizmet seviyesini tutturmak amacıyla müşterilerin belirli bir zaman diliminde ziyaretinin planlanması olarak tanımlanabilir. Taktik planlama modeli, dikkati ziyaretlerin çizelgelenmesi ve araçlara atanmasına vermekte, sıralama kararlarını operasyonel modele bırakmaktadır. Amaç iki kısımdan oluşmaktadır; i) rotaların sınırlandırılmış bir bölgede uzmanlaşması isteğiyle rotaların bölgesel yoğunluğunun optimize edilmesi ve ii) araçlar arasında iş yükünün eşit olarak dağıtılmasıdır. Yaklaşık çözümler kısaltılmış bir kolon genişletme prosedürünü takip eden yuvarlama sezgiseli ile geliştirilmiştir. Bu matematiksel programlama tabanlı prosedür, 50–80 müşterili beş günlük iş gününe yayılı bir çok PVRP problemi örneği ile başa çıkabilmektedir.

(Pisinger ve Ropke, 2007): Bu çalışmada, araç rotalama probleminin beş farklı versiyonunu çözümleyebilen birleştirilmiş bir sezgisel yöntem sunulmuştur. Bu beş değişik versiyon: i) zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPTW), ii) kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (CVRP), iii) çoklu depo araç rotalama problemi (MDVRP), iv) yer bağımlı araç rotalama problemi (SDVRP) ve v) açık araç rotalama problemidir (OVRP). Tüm bu versiyonlar, zengin bir toplama-dağıtım modeline dönüştürülmüş ve uyarlanmış geniş bir komşuluk arama (ALNS) yapısı kullanılarak çözülmüştür. Bu ALNS yapısında uyarlayıcı bir katman kullanılmıştır. Bu katman, aramayı yoğunlaştırmak ve değiştirmek için bir grup ekleme ve çıkarma sezgiseli arasından uygun olanı seçmektedir. Geliştirilen algoritmanın, bilinen 486 karşılaştırma testi arasından 183 tanesi için en iyi çözümü bulduğu görülmüştür.

(Sheu, 2007): Bu çalışmada, çeşitli müşteri taleplerine hızlı cevap verebilmek için, bütünleşik bir müşteri gruplama tabanlı lojistik dağıtım metodolojisi sunulmuştur. Sunulan metodolojinin üç ana mekanizması; i) bulanık kümeleme tekniği yardımı ile rotalama öncesi müşteri sınıflandırması, ii) müşteri grubuna bağlı teslimat hizmet önceliğinin belirlenmesi, iii) çok amaçlı optimizasyon programlama metodu kullanılarak ürün teslimatlarının rotalanmasıdır. Birinci aşamada, müşteri sınıflandırma öncelikle müşteri taleplerinin çeşitli özelliklerine göre gerçekleştirilir ve klasik araç rotalama probleminde olduğu gibi coğrafik özellikler göz önüne alınmaz. Önerilen yöntemle lojistik dağıtım sistemlerinin %20'den fazla geliştirilebileceği görülmüştür.

(Tagmouti vd., 2007): Bu çalışma, kapasite sınırları ve zamana bağlı hizmet maliyetleri olan bir yay-rotalama problemini incelemiştir. Burada verilen problem, ilk önce yay rotalama problemini eş değer bir düğüm rotalama problemine dönüştürmektedir. Sonrasında düğüm rotalama probleminin çözümü için kolon genişletme yaklaşımı kullanılmıştır. Ana problem klasik bir grup kapsama problemi (SCP) iken, alt problemler kaynak kısıtlı zaman bağımlı en kısa yol problemidir.

(Tan vd., 2007): Bu çalışma, sınırlı kapasiteli araçların, merkezi bir depodan coğrafi bir bölgeye dağılmış müşterilere rotalanması ile ilgilidir. Burada gerçek talep miktarı, araç müşteriye vardığında belli olmaktadır. Bu stokastik talepli araç rotalama probleminin (VRPSD) çözümü, seyahat mesafesi, şoför maaşı ve araç sayılarının minimizasyonunu amaçlar. Aynı zamanda, zaman penceresi ve araç kapasitesi gibi kısıtları da göz önüne alarak, araç rotalarının optimizasyonunu hedefler. Bu makalede, bu tür çok amaçlı ve çok modlu kombinatoriyal optimizasyon problemlerin çözümü için, stokastik talepli araç rotalama problemi (VRPSD) özellikli algoritmayı işin içine katan ve bir rota simülasyonu metodu ile

çözümlerin uygunluğunu test eden çok amaçlı evrimsel bir algoritma önerilmiştir. Maliyet karşılaştırmaları ile VRPSD çözümlerinin kalitesi değerlendirilmiştir. Problemin stokastik yapısına uygun ve alternatif çözümler üreten bir algoritma olduğu görülmüştür.

(*Tavakkoli Moghaddam vd., 2007*): Kapasitelendirilmiş araç rotalama probleminde, her bir düğümün talebinin, heterojen sabit bir araç filosunda, ayrı araçlarca paylaşarak karşılandığı bir yapı ele alınmıştır. Amaç filo maliyetinin ve toplam seyahat edilen mesafenin minimize edilmesidir. Filo maliyeti, kullanılan toplam araç sayısına ve kullanılmayan kapasiteye bağlıdır. Uygulamada bir çok durumda, bilhassa toplu taşımada, bir talep noktasından geçen ayrı araçlar olabilir. Böylece, paylaştırılmış hizmetler sayesinde, kullanılan araç sayısı azaltılarak kullanılan kapasite artırılabilir. Bu amaçla, bölünmüş hizmetli ve heterojen filolu (CHVRPSS) için karmaşık tamsayılı lineer model sunulmuştur. Bu model benzetimli tavlama yöntemi ile çözülmüştür.

(*Thomas ve White III, 2007*): Mobil iletişim teknolojileri, kamyon şoförlerinin değişen trafik durumlarından haberdar olmalarını sağlamaktadır. Bilinen bir noktadan, bilinen bir hedefe gitmekte olan tek bir aracın bu tür bir iletişim teçhizatına sahip olduğu ve belirli yolların tıkanıklığından haberdar olabildiği varsayılmıştır. Tıkanıklık süresinin bir fonksiyonu olarak, tıkalı yolun ne zaman açılacağı ve daha az maliyetli bir şekilde nasıl katedilebileceği bilinmektedir. Markov karar süreci kullanılarak, araç yolda iken oluşacak tıkanmaları da göz önüne alan, bir noktadan diğerine gitmek için toplam maliyeti minimize eden rotanın oluşturulması modellenmiş ve analiz edilmiştir.

(*Wang ve Shen, 2007*): Elektrikli otobüs çizelgeleme problemi, rota ve yakıt aktarma süresi kısıtlı bir araç rotalama problemi (VSPRFTC) olarak düşünülebilir. Her bir araç şarjı olduğu sürece seyahat edebilecektir ve minimum şarj süresinin sağlanması gerekir. VSPRFTC probleminin çözümü için, çoklu karınca algoritması sunulmuştur. Bu çalışmada sunulan VSPRFTC, çoklu hiyerarşik bir amaç fonksiyonunu minimize etmeye çalışmaktadır. Birinci amaç, tur sayısını minimize etmek, ikinci amaç ise aracın boş gezme süresini minimize etmektir. Yakıt aktarma kısıtı ile başa çıkabilmek için, iki bölümlü grafik model ve gerekli araç sayısını minimize etmek amacıyla bir şebeke sistemi ile iletişim sağlayan optimizasyon modeli geliştirilmiştir.

(*Yi ve Özdamar, 2007*): Bu makalede, lojistik desteklerin koordinasyonu için ve felaket durumlarında insanların tahliye edilmesi işlemleri için, bütünleşik yerleşim dağılım modeli anlatılmıştır. Acil durumlarda lojistik planlaması, gerekli eşyaların dağıtım merkezlerine

ulaştırılmasını, yaralı insanların tahliyesini ve acil noktalara transferlerini gerektirir. Gerekli analizler ile acil noktalarının nereye kurulması gerektiği, gerekli tıbbi personelin nerelerde konumlanması gerektiği gibi kararların önceden alınmış olması gerekir. Böylece acil noktaları arasında tıbbi personel ataması yapılabilir. Önerilen model, karmaşık tamsayılı çoklu eşya akış ağı modelidir. Modelin çözülebilirliği İstanbul'da olabilecek olası bir deprem senaryosu üzerinde denenmiştir.

(Zachariadis vd., 2007a): İki boyutlu yükleme kısıtı altında kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (2LCVRP) için bir meta sezgisel geliştirilmiştir. 2LCVRP, müşteri taleplerinin iki boyutlu dikdögen şeklinde ağırlıklandırılmış birimler olarak biçimlendirildiği, kapasitelendirilmiş araç rotalama probleminin genelleştirilmiş bir halidir. Problemin amacı, müşteri taleplerini karşılamak üzere, bir depoda başlayan ve biten, minimum maliyetli rotaların oluşturulmasıdır. Taşınan birimlerin, araçların yükleme alanlarına uygun olarak paketlenmiş olması gerekmektedir. Bu amaçla tabu arama ve yönlendirilmiş yerel arama mantığı kullanan bir meta sezgisel algoritma önerilmiştir. Problemin yükleme ile ilgili kısımları, paketleme sezgiselleri ile ele alınmıştır. Arama sürecinin hızlandırılması için, aranan komşuluklar azaltılmış ve yükleme fizibilite bilgisini kayıt etmek üzere bir hafıza yapısı göz önüne alınmıştır. Algoritma ile ilgili parametrelerin ayarlanabilmesi için, denemeler yapılmıştır. Önerilen meta sezgisel algoritmanın etkinliği, karşılaştırma örneklerinde denenmiş ve yeni en iyi çözümler elde edilmiştir.

(Zachariadis vd., 2007b): Eş zamanlı teslimat ve toplama hizmeti talep eden müşterileri göz önüne alan araç rotalama problemi (VRPSPD) ele alınmıştır. Problemin amacı, hem teslimat hemde toplama taleplerini karşılamak isteyen, optimal rota setinin belirlenmesidir. Tabu arama ve yönlendirilmiş yerel arama meta sezgiselleri kullanılarak, hibrit bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Yerel optimumdan kaçınılarak, çözüm alanlarında yoğunlaşan, geniş bir arama uzayının taranması için bu hibrit yöntem tasarlanmıştır. Algoritma 50–400 müşterili örnekler üzerinde denenmiş ve yüksek kaliteli çözümler elde edilmiştir.

(Brandao, 2008): Filo boyutu ve karma araç rotalama problemi (FSMVRP), coğrafik olarak dağılmış müşterilere, araç tiplerinin sayısı, her bir tipte kaç araç olduğunun belirlenmesi ve hangi araçla hangi müşteriye, hangi sırada hizmet verilmesi konularında, toplam maliyetin minimizasyonu için yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada tabu arama yöntemi kullanılmıştır.

(Doerner vd., 2008): Bu çalışmada, çabuk bozulan gıdaların toplanması için geliştirilmiş yeni bir araç rotalama probleminin çeşitli çözüm prosedürleri incelenmiştir. Bu problem, çoklu

birbirine bağımlı zaman pencereleri (VRPmiTW) olarak bilinmektedir. Çözüm için, Dal-sınır algoritması tabanlı algoritmalar gibi, çeşitli sezgisel prosedürler geliştirilmiştir. Maliyetlerde beklenen azalmayı sağlamanın yanı sıra, optimuma yakın çözümler bulunduğu görülmüştür.

(Donati vd., 2008): Zamana bağlı araç rotalama problemi, sabit kapasiteli bir araç filosunun seyahat süreleri zamana bağımlı iken optimal bir şekilde rotalamadan oluşmaktadır. Her bir yayı katetmek için harcanan zaman, seyahate başlanan düğümdeki güne bağlıdır. Optimizasyon metodu, iki hiyerarşik amacı minimize eden çözümden oluşmaktadır. Bu amaçlar; tur sayısı ve toplam seyahat zamanıdır. Toplam seyahat süresi, zaman uzayının uygun alt uzaylara bölünmesi ile çözülmüştür. Yeni zamana bağlı yerel arama prosedürleri tanıtılmıştır. Bu çalışma, gerçekçi bir optimizasyon elde etmek için, şehir içi yol-trafik durumunun göz ardı edilmemesi gerektiğini belirtmektedir. Yoğun trafik şartlarına sahip yollarda, sıkı zaman penceresi kısıtı altında, klasik rotalama problemi için uygun çözüm üretilmediği görülmüştür. Zaman fonksiyonuna bağlı modelde, müşteri çiftleri arasındaki yolların hesaplanabilmesi için, istikrarlı bir en kısa yol algoritması geliştirilmiştir.

(El Fallahi vd., 2008): Araçların bölmelere ayrıldığı ve her bir bölmede tek bir ürün çeşidinin taşınabildiği, her müşterinin birden fazla çeşit ürün talep edebildiği bir araç rotalama problemi ele alınmıştır. Her bir müşterinin bir ürüne talebi, tek bir araçla tek seferde karşılanmalıdır. Farklı ürünlere olan talepler ise ayrı araçlarla karşılanabilir. Bu amaçla, aşamalı bir memetik algoritma (MA) ve tabu arama metodu kullanılmıştır. Bu algoritmalar, klasik araç rotalama problemi (VRP) örneklerine bölme eklenerek değerlendirilmiştir.

(Fleszar vd., 2008): Açık araç rotalama probleminde (OVRP), amaç araç sayısını minimize etmek, sonrasında da toplam seyahat mesafesini (süresini) minimize etmektir. Her rota, bir depoda başlayıp bir müşteride bitmektedir. Her müşterinin, tek bir seferde, depoya geri dönülmeden ziyaret edildiği bir rota izlenmektedir. Her müşteri talebinin, tam olarak tek bir araç tarafından karşılanması gerekmektedir. Her bir araç tarafından verilen toplam hizmetin, araç kapasitesini geçmemesi gerekir. Ayrıca problemin bir çeşidinde, her bir aracın seyahat süresinin, bir süre sınırı aşmaması gerekir. Etkin bir değişken komşuluk arama (VNS) sezgiseli, problemin çözümü için kullanılmıştır. Komşuluklar, rotalar arasında geri dönebilme ve rotalar arasında değişen bölümlere dayanmaktadır.

(Godinho vd., 2008): Bu çalışmada birim talepli asimetrik kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (CVRP) için iki tip model ele alınmıştır. Bunlar, belirli bir yayı kateden yol sayısının, belirli bir kapasiteyi geçmeyeceğini garantileyen kapasitelendirilmiş modeller ve

herhangi bir rota uzunluğunun, belirlenmiş değerden uzun olmayacağını garantileyen, hop-indeksli modellerdir. Rota uzunluğunu kısıtlayan modeller, depodan herhangi bir k düğümüne kadar olan yolu kısıtlayan ve herhangi bir k düğümünden geçen bir çevrimin uzunluğunu kısıtlayan modeller olarak ikiye ayrılmaktadır. Oluşturulan modellere, asimetrik gezgin satıcı problemi (ATSP) uygulanmış ve denenmiştir.

(Gribkovskaia vd., 2008): Seçici toplama ve dağıtımli tek araçlı rotalama problemi (SVRPDSP) ile, teslimat ve toplamalı tek araçlı rotalama problemi (SVRPPD) arasındaki fark tüm toplama taleplerinin tatmin edilmesinin gerekmemesidir. SVRPDSP’de her düğümle ilgili bir toplama kazancı söz konusudur ve toplama talebi ancak karlı ise gerçekleştirilir. Bir rotanın net maliyeti, rotalama maliyetlerinin toplamından, toplam kazanç çıkarılarak bulunur. Amaç, her bir müşteriyi ziyaret eden, tüm teslimatları gerçekleştiren ve toplama taleplerinin uygun olanlarını yerine getiren, minimum net maliyetli araç rotasının belirlenmesidir. SVRPDSP için, karmaşık tamsayılı lineer programlama formülasyonu önerilmiştir. Problemin çözümü için Tabu arama sezgiseli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçların optimale yakın olduğu görülmüştür.

(Hashimoto vd., 2008): Seyahat zamanları ve seyahat maliyetlerinin zamandan bağımsız fonksiyonlar olmasına izin verilerek, zaman pencereli standart araç rotalama problemi (TDVRPSTW) geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu algorithmada, araç rotalarının belirlenmesi için yerel arama kullanılmıştır. Bir komşuluk çözümü değerlendirildiğinde, her bir rota için optimal zaman çizelgesinin hesaplanması gerekmektedir. Bu alt problem, yerel arama algoritması ile yardımlaşan dinamik programlama ile çözülebilir. Kullanılan yerel aramanın komşuluğu 2-opt, çapraz değişim ve Or-opt olarak adlandırılan standart komşulukların kısmi değişikliğinden oluşmuştur. Ayrıca, çözümün gelişme şansını azaltmamaları için, komşuluklar içindeki arama uzayını kısıtlayan, bir filtreleme metodu önerilmiştir.

(Jin vd., 2008): Yüksek talepli araç rotalama problemlerinin bölümlendirilmesi için, kolon genişletme yaklaşımı sunulmuştur. Kolonlar, rota ve teslimat miktarı bilgilerini içermektedir. Fiyatlandırma ile ilgili alt problemler, limitli sınırlı arama algoritması ile çözülmüştür. Fizibil çözümler, her bir rotanın, bir defa sabitlenmesinin tekrarlanması ile elde edilmiştir. Sayısal sonuçlar, literatürden daha iyi sonuç vermiştir.

(Jozefowicz vd., 2008): Bu makalede, rotalar arası dengenin ve rota uzunluklarının minimize edildiği, iki amaçlı bir araç rotalama problemi ele alınmıştır. Klasik çok amaçlı operatörler kullanan, bir evrimsel algorithmaya dayalı meta-sezgisel metod önerilmiştir. Aramanın

çeşitlendirilmesi için iki mekanizma eklenmiştir; birincisi seçici bir mekanizma ikincisi ise seçici mekanizmayı göz önüne alacak, paralel bir modeldir.

(Kallehauge, 2008): Son otuz yılda, zaman pencereli araç rotalama problemi için geliştirilmiş kesin metodlar, bu çalışmada incelenmiştir. Zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPTW) için geliştirilen kesin algoritmalar, gezgin satıcı probleminin (TSP) mirasıdır. Buna göre TSP'nin formülasyonu ve kesin çözümü, yay formülasyonu, yay-düğüm formülasyonu, genişleyen ağaç formülasyonu ve yol formülasyonu ile ele alınmıştır. VRPTW için kesin algoritmalar, iki ana hatta gelişme göstermişlerdir. Biri genel ayrışma yaklaşımı ve VRPTW ile ilgili kesin dual problemlerin çözümü diğeri ise VRPTW'nun çok yönlü yapısının analizi ile ilgilidir.

(Kang vd., 2008): Bu çalışmada, vadesi gelmiş araç rotalama problemi (VRPDT) ele alınmıştır. Araçların vadesi geldiği anda müşterileri ziyaret ettiği ve bu süre geçirildiği anda, bir ceza maliyetinin öngörüldüğü varsayılmıştır. Amaç, araçların ağırlıklı toplam seyahat sürelerinin ve müşterilerin alacağı hizmetteki gecikmenin minimize edilmesidir. Bu amaçla, karmaşık sayı programlama formülasyonu ve tabu aramaya dayalı bir sezgisel önerilmiştir. Komşuluk yaratmak için, rota değiştirme (saptırma) ve rota geliştirme metodları kullanılmıştır. Geliştirilen modelin performansı, literatürdeki veri setlerine uygulanarak literatür sonuçları ile karşılaştırılmış, çözüm ve çözüm zamanı açısından, daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

(Kek vd., 2008): Bu makale, iki mesafe kısıtlı kapasitelendirilmiş araç rotalama problemini (DCVRP) ele almıştır. Burada başlama ve bitiş noktalarının esnek şekilde atanmasının, potansiyel faydaları incelenmiştir. Birinci problem, ekstra hizmet ve seyahat süresi kısıtlı, geleneksel simetrik DCVRP'nin bir uzantısı olan sabit DCVRP'dir. Burada, araç sayısının minimize edilmesi, simetrik ve asimetrik problemlerin tümüne uygulanması hedeflenmiştir. İkinci problem ise, başlama ve bitiş noktalarını esnek olarak atamayı mümkün kılan ve sabit DCVRP'nin gevşetilmesi olan esnek DCVRP'dir. Bu farklılık araçlara, depolardan başlama ve bitirme esnekliği yanı sıra, aralarda herhangi bir depoya yükleme için uğrama imkânı sunmaktadır. Her iki model için ağ modelleri, tam sayılı programlama formülasyonları ve çözüm algoritmaları geliştirilmiş ve sunulmuştur.

(Lin vd., 2008): Bu çalışmada, kapasitelendirilmiş araç rotalama probleminin (CVRP) çözümü için benzetimli tavlama ve tabu arama algoritmalarından, hibrit bir algoritma geliştirilmiş ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

(*Oppen ve Lzkketangen, 2008*): Bu çalışmada, kesimevine taşınan canlı hayvanların taşıma problemi ele alınmıştır. Araçtaki canlıların, sağlığını ilgilendiren bir takım kısıtların, göz önüne alınması gerekmektedir. Bu kısıtlar, hayvanların araçta seyahat edebilme süresi ve hangi çeşit hayvanların beraber taşınabileceği ile ilgilidir. Bu problem, karmaşık ve büyük olmasına rağmen, sezgisel olarak çözülebileceği gösterilmiştir. Çözüm için tabu arama yöntemi kullanılmıştır.

(*Van Woensel vd., 2008*): Potansiyel trafik sıkışıklığını göz önüne alan, dinamik seyahat süreli bir araç rotalama problemi ele alınmıştır. Trafik sıkışıklığı bileşeni, kuyruk teorisine dayanarak ele alınmıştır. Seyahat sürelerinin elde edilmesi için, bir model oluşturulmuştur. Kuyruk modeli diğer yaklaşımlar ile karşılaştırılmış, potansiyel faydaları anlatılmıştır. Ayrıca, bir rotanın, dağıtım merkezinden başlama zamanının, optimizasyonu değerlendirilmiştir. Yapılan incelemede zamandan bağımsız çözümlerin, sıkışık trafik koşullarında, gerçekçi olmadığı görülmüştür.

Yukarıda incelenen çalışmaların çoğu, araç rotalama probleminin farklı tip ve türlerini içermektedir. Bahsi geçen çalışmalarda rotalama problemlerinin en iyi bilinen örneği olan Gezgin Satıcı Problemine (TSP), değinildiği görülmektedir. Bu rotalama problemleri, gerçek durumların modellenmesi için, çözüm maliyetinin minimize edilmesi amacıyla oluşturulmaktadır. Gerçek hayat problemlerinin çoğunun tek maliyet faktörüne bağlı olmadığı, hatta bazı amaçların maliyet faktöründen bağımsız olduğu durumlar da mevcuttur. İş yükünün dengelenmesi, müşteri memnuniyetini etkileyen iş performansının artırılması gibi konular, maliyet dışı amaç fonksiyonuna örnek olarak gösterilebilirler. Bir rotalama problemi; ağ, talep, filo, maliyetler bileşenlerinden oluşmaktadır. İncelenen çalışmalarda oluşturulan ağların, simetrik, asimetrik veya her ikisini de içerecek şekilde biçimlendirildiği görülmektedir. Bu ağların, araç tarafından kat edilme maliyeti olacağı gibi, her bir ağa ilişkin zaman penceresi kısıtının olduğu durumlar da gözlenmektedir. Rotalama bileşenlerinden talebin, genelde stokastik olduğu görülmektedir. Genelde talep, dağıtım problemlerinde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca toplama-dağıtım problemlerinde de talep edilen miktarın öncelikle bir noktadan alınması ve daha sonra talebin geldiği noktaya teslim edilmesi gerektiği görülmektedir. Filo bileşeni incelendiğinde, heterojen veya homojen özellikte olabileceği görülmektedir. Tek bir araçtan veya bir çok araçtan oluşabilir. Araç filosunun kapasite, zaman/mesafe gibi sınırlamaları olabilir. Bazı çalışmalarda, filo kelimesi araç için kullanılsa da, bu terim araç yerini alan kavramı açıklamak içinde kullanılmaktadır. Maliyet bileşeni genelde, araçlar için sabit olmakla beraber kat edilen mesafe ve kullanılan zaman

bazında değişkenlik göstermektedir. Zaman penceresi ihlallerinde de ceza maliyeti oluşabilir. Amaç bileşenleri incelendiğinde, çoklu ve çeşitli olabileceği görölmektedir. Ayrıca tek bir dönem veya çoklu dönemi kapsayacak şekilde tasarlanabilir. En çok görülen amaç fonksiyonları, toplam gezilen mesafeyi, toplam süreyi, toplam tur sayısını, toplam filo büyüklüğünü minimize eden, kalite, servis ve karlılığı maksimize eden fonksiyonlardır. En uzun turun minimizasyonu, turların dengelenmesi, turların coğrafik kümelenmesi gibi konularda ele alınmıştır. Araçlar tarafından ziyaret edilmesi gereken noktalar ve aralarındaki yollar açısından incelendiğinde, tüm noktalara gidilip gidilmediği, zaman penceresi ihlallerinin olup olmadığı da incelenen konular arasındadır. Amaç fonksiyonlarının çözümünde farklı yaklaşımlar gözlemlenmektedir. Bunlar; i) karar vericinin farklı amaçlar arasında tercih yapması gereken, ii) karar vericinin kararını problem çözmeye aşamasında vermesi gereken ve iii) karar vericinin alternatif çözümler yarattıktan sonra aralarında seçim yaptığı yaklaşımlardır. Oluşturulan modellerin çözümü için, Genetik Algoritma, tabu arama, benzetimli tavlama, karınca algoritması gibi sezgisel algoritmalarından faydalandığı görölmüştür. Bunun yanı sıra modellerin çözümü için komşuluk algoritmaları; 2-opt, çapraz değiştirme, or-opt metodları, değişken ve geniş komşuluk aramaları, en yakın komşuluk ve zaman yönlendirmeli en yakın komşuluk gibi sezgisellerde kullanılmıştır. Bunun yanı sıra tam sayılı programlama, dal sınır algoritması, matematiksel programlama, dinamik programlama, lagrange gevşetmesi, kolon ekleme gibi yöntemlerin de kullanıldığı görölmektedir.

Bu tezde amaç fonksiyonu olarak yolda geçen süre ve tamir sürelerinin minimizasyonu amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Oluşturulan algoritmalar basit prosedürel sezgisellerden ve Genetik Algoritmadan faydalanmıştır. Bakım onarım faaliyetlerini gerçekleştirecek tamirciler, müşteri lokasyonlarından gelen rassal talepleri karşılamak üzere bu algoritmalara göre rotalanmaktadır. Tamir süreleri, gelen servis çağırısı tipine göre oluşmaktadır. Algoritma sonucunda farklı tamirci sayılarına göre toplam sürenin nasıl oluştuğu ve toplam maliyete nasıl yansıdığı incelenmiştir.

Çizelge 5.1 Araç rotalama problemi literatür incelemesi

No	Yıl	Yazar	Araç Rotalama Problem Türü	Çözüm Yaklaşımı Metodu
1	1989	Bertsimas ve Van Ryzin	Dinamik gezgin tamirci problemi(DTRP)	İlk gelen ilk hizmet alır (FCFS) Stokastik kuyruk ortalaması (SQM) Bölümlendirme En yakın komşuluk kuralları
2	1995	Simonetti ve Balas	Gezgin satıcı problemi (TSP) — Zaman pencereci gezgin satıcı problemi (TSPTT)	Dinamik programlama
3	2000	Krumke	Çevrimiçi gezgin tamirci problemi (OLTRP)	Rekabet analizi — c-rekabet — hırsli-aralık algoritması
4	2001	Balas ve Simonetti	Gezgin satıcı problemi (TSP) — Zaman pencereci gezgin satıcı problemi (TSPTW) — Öncelik kısıtlaması olmayan gezgin satıcı problemi (TSPPC)	Dinamik programlama (DP)
5	2003	Fakcharoenphol vd.	k- gezgin tamirci problemi (k-TRP)	Tahmin algoritmaları
6	2003	Krumke vd.	Çevrimiçi gezgin tamirci problemi (OLTRP) Gecikme çevrim içi çevir sürüş problemi (L-OLDARP)	Rekabet analizi — c-rekabet — hırsli-aralık algoritması
7	2005	Sindhuchao vd.	Gezgin satıcı problemi (TSP)	Yapıcı hırsli sezgiseller (GCH) Çok geniş ölçekli komşuluk arama algoritması (VLSN) Dal-fiyat algoritması Kolon ekleme ile lineer programlama (LP) genişletmesi
8	2006	Coslovich vd.	Zaman pencereci dinamik çevir sürüş problemi (DARPTW)	Ekleme algoritması

Çizelge 5.1 Araç rotalama problemi literatür incelemesi

No	Yıl	Yazar	Araç Rotalama Problem Türü	Çözüm Yaklaşımı Metodu
				OR-opt sezgiseli
9	2006	Gendreau vd.	Dinamik araç rotalama ve sevkiyat problemleri (DVRP)	Komşuluk arama sezgiselleri — çıkartma zinciri komşuluğu — tabu arama
10	2006	Hashimoto vd	Sıkı zaman pencereli kısıtlı araç rotalama problemi (VRPHTW)	Optimal başlama zamanı problemi (OSTP) Dinamik programlama algoritması Tekrarlı yerel arama algoritması
11	2006	Righini ve Salani	Kaynak kısıtlı temel en kısa yol problemi (RCESPP) — kapasitelendirilmiş araç rotalama problemleri (CVRP), — dağıtım ve toplama gerektiren araç rotalama problemleri (VRPDC), — zaman pencereli kapasitelendirilmiş araç rotalama problemleri (CVRPTW)	Sınırlandırılmış çift yönlü dinamik programlama
13	2007	Alegre vd.	Peryodik araç rotalama problemi (PVRP)	Dağılma arama (SS)
14	2007	Alshamrani vd.	Tersine lojistik	Dönüş problemi —Markov karar süreci (MDP) —stokastik dinamik programlama modeli —ağırlıklandırılmış seviyelendirme sezgiseli — simpleks arama metodu — biçimsel arama modeli Değiştirilmiş OR-opt algoritması Ayrıştırma algoritması
15	2007	Alvarenga vd.	Zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPTW)	Gruplara bölme problemi (SPP) Genetik Algoritma Kolon ekleme sezgiseli

Çizelge 5.1 Araç rotalama problemi literatür incelemesi

No	Yıl	Yazar	Araç Rotalama Problem Türü	Çözüm Yaklaşımı Metodu
16	2007	Angelelli vd.	Dinamik çoklu peryod rotalama problemi (DMPRP)	Gezgin satıcı problemi Çevrim içi algoritmalar
17	2007	Azi vd.	Zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPTW)	Matematik programlama En kısa yol algoritması FDGG algoritması
18	2007	Bae vd.	Araç rotalama problemi	Genetik Algoritma GUI programlama
19	2007	Barreto vd.	Kapasitelendirilmiş yerleşim rotalama problemi (CLRP)	Küme analizi (CA)
20	2007	Berger vd.	Zaman pencereli dinamik araç rotalama problemi (DVRPTW)	Hibrit Genetik Algoritma (HGA)
21	2007	Calvete vd.	Zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPTW)	Amaç programlama (GP) EFBO yaklaşımı (EFBO)
22	2007	Choi ve Tcha	Heterojen bir araç filosunda araç rotalama problemi (HVRP)	Kolon ekleme Tamsayılı programlama modeli Lineer programlama genişletmesi Dinamik programlama Dal-sınır algoritmaları
23	2007	Christiansen ve Lysgaard	Stokastik talepli kapasitelendirilmiş araç rotalama problemleri (CVRPSD)	Gruplara bölme problemi (SPP) Kolon ekleme Dinamik programlama
24	2007	Claassen ve Hendriks	Peryodik araç rotalama	OR tabanlı yaklaşımlar Karmaşık tamsayılı programlama SOS1

Çizelge 5.1 Araç rotalama problemi literatür incelemesi

No	Yıl	Yazar	Araç Rotalama Problem Türü	Çözüm Yaklaşımı Metodu
25	2007	Derigs ve Kaiser	Araç rotalama problemi	Davranış temelli tepe tırmanışı (ABHC)
26	2007	Desaulniers	Kentsel toplu taşıma sistemlerinde tek depolu araç ve mürettebat çizelgeleme problemi (SDVCSP) Çoklu depo araç çizelgeleme problemi (MDVSP)	Lineer genişletme, kolon ekleme Sezgisel dal sınır algoritması Kaynak kısıtlı en kısa yol problemi (SPPRC) Dinamik programlama
27	2007	Du vd.	Dinamik araç rotalama problemi (DVRP) — gerçek zamanlı araç sevketme sistemi	Best Fit algoritması 2-değişim algoritması
28	2007	Fuellerer vd.	İki boyutlu yüklemeli kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (2L-CVRP)	Karınca algoritması (ACO)
29	2007	Ganesh ve Narendran	Teslimat ve toplama sıra kısıtlı araç rotalama problemini (VRPDP)	Shrinkwrap algoritması Genelleştirilmiş atama prosedürü Genetik Algoritma
30	2007	Godinho vd.	Kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (CVRP), Asimetrik gezgin satıcı problemi (ATSP)	Lineer programlama genişletme sınırı
31	2007	Goel ve Gruhn	Genel araç rotalama problemi (GVRP)	Değişken komşuluk arama Geniş komşuluk arama
32	2007	Gribkovskaia vd.	Toplama ve dağıtımli tekli araç rotalama problemi (SVRPPD)	Karmaşık tamsayılı lineer programlama modeli (MIP) Tabu arama sezgiseli En yakın komşuluk prosedürü
33	2007	Hanshar ve Ombuki-Berman	Dinamik araç rotalama problemi (DVRP)	Genetik Algoritma Tabu arama
34	2007	Haugland vd.	Stokastik araç rotalama problemi	Tabu arama Stokastik bölge problemi için çoklu başlama sezgiselleri

Çizelge 5.1 Araç rotalama problemi literatür incelemesi

No	Yıl	Yazar	Araç Rotalama Problem Türü	Çözüm Yaklaşımı Metodu
35	2007	Hemmelmayr vd.	Zaman penceresiz periyodik araç rotalama problemi	Değişken komşuluk arama (VNS)
36	2007	Ho vd.	Çok depolu araç rotalama problemi (MDVRP)	Hibrit Genetik Algoritmalar Clarke and Wright tasarruf metodu En yakın komşuluk sezgiseli
37	2007	Hoff vd.	Toplama ve dağıtımli araç rotalama problemi (VRPPD)	Tabu arama sezgiseli
38	2007	Hsu vd.	Zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPTW)	Zaman yönlendirmeli en yakın komşuluk sezgiseli
39	2007	Huang vd.	Dinamik gerçek zamanlı taşıma ağıları	A* algoritmasına dayalı dinamik en kısa yol algoritması Minimum sınırlı dikdörtgen kısıtlı arama
40	2007	Hvattum vd.	Dinamik ve stokastik araç rotalama problemi (DSVRP)	Dal- pişmanlık sezgiseli (BRH) Miyopik dinamik sezgisel (MDH)
41	2007	Ibaraki vd.	Zaman penceresi kısıtlı araç rotalama problemleri için yerel arama algoritması (LSAVRPTW)	Dinamik programlama (DP)
42	2007	Jeon vd.	Araç rotalama problemi (VRP)	Matematiksel programlama Hibrit Genetik Algoritma (HGA)
43	2007	Jothi ve Raghavachari	Dinamik araç rotalama problemi (DVRP)	k- gezgin tamirci problemi (k-TRP) Sınırlandırılmış gecikmeli problem (BLP)
44	2007	Kytöjoki vd.	Kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (CVRP)	Etkin değişken komşuluk arama sezgiseli Yönlendirilmiş yerel arama meta sezgiseli
45	2007	Lewis ve Sexton	Kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (CVRP)	HRK&S sezgisel algoritması Değiştirilmiş tur ölme sezgisel algoritması
46	2007a	Li vd.	Heterojen filo araç rotalama problemi (HVRP)	Kayıttan kayıta gezme algoritması

Çizelge 5.1 Araç rotalama problemi literatür incelemesi

No	Yıl	Yazar	Araç Rotalama Problem Türü	Çözüm Yaklaşımı Metodu
	2007b	Li vd.	Açık araç rotalama problemi (OVRP)	Kayıttan kayıta gezme algoritması
47	2007	Mautor ve Naudin	Yay durum modelleri (ASM) —kümülatif kısıtlı araç rotalama problemleri (VRPC) —grup kapsama modeli	Dinamik programlama Lineer programlama genişletmesi Dal sınır algoritması Kolon genişletme algoritması Satır genişletme algoritması
48	2007	Mester ve Bräysy	Kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (CVRP)	Aktif yönlendirmeli evrim stratejileri meta sezgiseli (AGESM)
49	2007	Mourgaya ve Vanderbeck	Peryodik araç rotalama problemi (PVRP)	Kolon ekleme ile lineer programlama genişletmesi
50	2007	Pisinger ve Ropke	Zaman pencereci araç rotalama problemi (VRPTW) Kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (CVRP) Çoklu depo araç rotalama problemi (MDVRP) Yer bağımlı araç rotalama problemi (SDVRP) Açık araç rotalama problemi (OVRP)	Uyarlanmış geniş komşuluk arama (ALNS)
51	2007	Sheu	Akıllı taşıma sistemleri temelli deterministik araç rotalama problemleri (ITSDVRP)	Bulanık kümelendirme dağıtım Rotalandırma öncesi müşteri sınıflandırma Yolda ürün dağıtımı
52	2007	Tagmouti vd.	Kapasitelendirilmiş yay rotalama problemi (CARP)	Düğüm rotalama problemi Kolon genişletme yaklaşımı Kaynak kısıtlı zamana bağlı en kısa yol alt problemleri Zaman pencereci araç rotalama problemleri (VRPTW)

Çizelge 5.1 Araç rotalama problemi literatür incelemesi

No	Yıl	Yazar	Araç Rotalama Problem Türü	Çözüm Yaklaşımı Metodu
53	2007	Tan vd.	Stokastik talepli araç rotalama problemi (VRPSD)	Çok amaçlı evrimsel algoritma (MOEA) — yerel arama sezgiselleri — pareto optimalitesi — rota simülasyon metodu (RSM)
54	2007	Tavakkoli-Moghaddam vd.	Kapasitelendirilmiş heterojen filolu ve bölümlendirilmiş hizmetli araç rotalama problemi (CHVRPSS)	Karmaşık tamsayılı lineer modeli (MIP) Benzetimli tavlama metodu (SA) Dal sınır algoritması
55	2007	Thomas ve White III	Stokastik zamana bağlı en kısa yol problemi (STDSPP)	Markov karar süreci Dinamik en kısa yol problemi
56	2007	Wang ve Shen	Rotalama ve yakıt aktarma zaman kısıtlı araç çizelgeleme problemi (VSPRFTC)	Gezgin satıcı problemi (TSP) Karınca algoritması (ACA) İki parçalı grafik modeli Ford–Fulkerson algoritması
57	2007	Yi ve Ozdamar	Dinamik araç rotalama problemi	Bütünleşik kapasitelendirilmiş yerleşim rotalama problemi (ICLRP) Karmaşık tamsayılı çoklu ürün ağ akışı modeli Pseudo polinomial algoritma
58	2007a	Zachariadis vd.	İki boyutlu yükleme kısıtlı kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (2L-CVRP)	Tabu arama Yönlendirilmiş yerel arama
59	2007b	Zachariadis vd.	Eşzamanlı dağıtım ve toplama hizmetlerinin gerektiren müşterileri göz önüne alan araç rotalama problemi tipi (VRPSPD)	Tabu arama Yönlendirilmiş yerel arama

Çizelge 5.1 Araç rotalama problemi literatür incelemesi

No	Yıl	Yazar	Araç Rotalama Problem Türü	Çözüm Yaklaşımı Metodu
60	2008	Brandao	Filo büyüklüğü ve karma araç rotalama problemi (FSMVRP)	Tabu arama En yakın komşuluk En yakın komşuluğa ekleme Gezgin satıcı problemi
61	2008	Doerner vd.	Çoklu bağımsız zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPmiTW)	Dal sınır temelli algoritma
62	2008	Donati vd.	Zaman bağımlı araç rotalama problemi (TDVRP)	Zaman bağımlı modellerin formülasyon ve gözden geçirilmesi Çoklu karınca algoritması Dayanıklı en kısa yol algoritması
63	2008	El Fallahi vd.	Çoklu bölmeli araç rotalama problemi (MCVRP) Bölümlendirilmiş teslimatlı araç rotalama problemi (SpDVRP)	Yolları birbirine tekrar bağlayan optimizasyon öncesi aşamalı bir memetik algoritma (MA) Tabu arama metodu
64	2008	Fleszar vd.	Çevrim içi araç rotalama problemi	Değişken komşuluk arama sezgiseli
65	2008	Gribkovskaia vd.	Seçici toplama ve dağıtımli tekli araç rotalama problemi (SVRPDSP)	Karmaşık tamsayılı lineer programlama (MIP) Tabu arama sezgiseli (TSA) En yakın komşuluk (NN) En ucuz ekleme (CI)
66	2008	Hashimoto ve Yagiura	Esnek zaman pencereli zamana bağımlı araç rotalama problemi (TDVRPSTW)	Dinamik programlama Yerel arama algoritması Komşuluk algoritmaları —2-opt —çapraz değiştirme —Or-opt

Çizelge 5.1 Araç rotalama problemi literatür incelemesi

No	Yıl	Yazar	Araç Rotalama Problem Türü	Çözüm Yaklaşımı Metodu
67	2008	Jin vd.	Bölümlendirilmiş teslimatlı araç rotalama problemi (SpDVRP)	Kolon ekleme Sınır algoritması ile sınırlı arama
68	2008	Jozefowicz vd.	Rota Dengelemeli Araç Rotalama Problemleri için Evrimsel bir Algoritma	Rota dengeleme problemleri için araç rotalama problemi VRPRB (routing problem with route balancing) Çok amaçlı evrimsel algoritma (MOEA)
69	2008	Kallehauge	Zaman pencereli araç rotalama problemi (VRPTW)	Gezgin satıcı probleminin yol formülasyonuna dayalı kesin algoritmalar; — yay formülasyonu — yay-düğüm formülasyonu — genişleyen ağaç formülasyonu — patika formülasyonu
70	2008	Kang vd.	Vadesi gelmiş zaman pencereli araç rotalama problemleri (VRPTWDT)	Karmaşık tamsayı programlama (MIP) Tabu arama temelli sezgisel Komşuluk yaratma için rota değiştirme ve rota geliştirme metodu
71	2008	Kek vd.	Mesafe kısıtlı kapasitelendirilmiş araç rotalama problemleri; —DCVRP sabit —DCVRP esnek	Ağ modelleri Karmaşık tamsayı programlama (MIP) Formülasyon ve çözüm algoritmaları Tek düğümlü dal sınır algoritmaları
72	2008	Lin vd.	Kapasitelendirilmiş araç rotalama problemi (CVRP)	Yerel arama ile birleştirilmiş hibrit bir benzetimli tavlama ve tabu arama algoritması
73	2008	Oppen ve Lzkketangen	Canlı hayvan toplama problemi (LCP)	Tabu arama
74	2008	Van Woensel vd.	Dinamik araç rotalama problemi	Kuyruk teorisi

6. GENETİK ALGORİTMA METODOLOJİSİ

Genetik Algoritma, yapay zekânın gittikçe genişleyen bir kolu olan, evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır. Adından da anlaşıldığı üzere, evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçası olan Genetik Algoritma, Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. Herhangi bir problemin, Genetik Algoritma ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirmek suretiyle yapılmaktadır.

Evrimsel hesaplama ilk olarak 1960'larda, I. Rechenberg tarafından "Evrimsel Stratejileri (Evolutions Strategie)" isimli eserinde tanıtılmıştır. Onun fikri, daha sonra başka araştırmacıların da ilgisini çekmiş ve geliştirilmiştir. John Holland, evrim sürecinin bir bilgisayara anlatılarak, çözüm yöntemlerinin öğretilbileceğini düşünmüştür. Genetik Algoritma, böylece John Holland tarafından, bu düşüncenin bir sonucu olarak bulunmuştur. Onun öğrencileri ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş ve bu sayede Holland'ın kitabı "Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon (Adaption in Natural and Artificial Systems)" 1975 yılında yayınlanmıştır.

1992 yılında John Koza, Genetik Algoritmayı kullanarak, çeşitli görevleri yerine getiren programlar geliştirmiştir. Bu metoda genetik programlama adını vermiştir. Genetik Algoritma, geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkânsız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Çok genel anlamda, Genetik Algoritmanın üç uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar deneysel çalışmalarda optimizasyon, pratik endüstriyel uygulamalar ve sınıflandırma sistemleridir.

Mühendislik problemlerinde, optimizasyon amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle mekanizma tasarımında, çok iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir (Konuralp vd., 1998). Bunlardan başka otomatik programlama, öğrenme kabiliyetli makinalar, ekonomi, çevrebilim, planlama, üretim hattı yerleşimi gibi alanlarda da uygulanmaktadır. Ayrıca dijital resim işleme tekniğinde de çokça uygulama alanı bulmuştur (Mansfield, 1990 ve Gizolme, 1998).

Bu problemlerin hemen hemen hepsi, çok geniş bir çözüm alanının taranmasını gerektirmektedir. Bu çözüm alanının geleneksel yöntemlerle taranması çok uzun sürmekte, Genetik Algoritmayla ise kısa bir sürede kabul edilebilir bir sonuç alınabilmektedir.

Algoritma, belirli tek bir problemi çözecek davranışın, varolan veya sonradan tanımlanan veri modeline dayandırılarak adım adım ortaya konulması ve bunun bilgisayar ortamında herhangi bir programlama diliyle kodlanmasıdır (Çölesen, 2002).

Günümüzde çözülmesi zor ya da olanaksız olan çok sayıda problem vardır. Bu problemlerin çözülmesinde geliştirilmiş bir matematiksel fonksiyon olmadığı gibi olası çözümlerin hesaplanması ve en iyi çözümün seçilmesi de çok zaman almaktadır. Olası tüm çözümlerin değil de, salt bazı seçilmiş çözümlerin denenmesi yöntemiyle, beklenen optimum sonucun elde edilmesini sağlayacak algoritmalar araştırılmış ve pek çok yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemlerden biri de Genetik Algoritmadır.

Genetik Algoritma, rassal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan, bir arama tekniğidir. Bir veri grubu içinde, özel bir veriyi bulmak için kullanılır (Goldberg, 1989). Genetik Algoritma doğada geçerli olan, en iyinin yaşaması kuralına dayanarak, sürekli iyileşen çözümler üretir. Bunun için, “iyi”nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden kopyalama, değiştirme gibi operatörleri kullanır. Genetik Algoritma’nın diğer önemli özelliği de, bir grup çözümle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötülerini elenebilir.

6.1 Genetik Algoritmaların Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

Genetik Algoritma ile diğer geleneksel yöntemler arasındaki farklar şunlardır (Şen, 2004):

1. Karar değişkenlerini genetik sayı sistemine göre kodlayarak (ikili sayı sistemine dönüştürerek) kullanır. Bu sayı sisteminde, karar değişkenlerinin genleri topluca, karar uzayında bir noktayı temsil eder.
2. Bir nokta yerine aynı anda noktalar topluluğundan hareket edilir. Bu topluluğun Genetik Algoritma evrimi ile gelişmesi sonucunda, en iyi çözüme ulaşılır. Bu evrim sırasında sistem yerel en iyiye takılmaz.
3. Evrim sırasında, karar değişkenlerinin belirttiği noktalardaki hedef fonksiyonu değerleri kullanılır. Türev ve integral işlemlerine gerek olmadığından başlangıç ve sınır şartları ile bazı klasik kabullerin yapılmasına gerek yoktur.
4. Evrim işlemleri belirlilik değil, belirsizlik (rasgelelik, ihtimal) kurallarına dayanır. Seçim işlemleri ihtimal ilkeleri ışığı altında yapılır.

Genetik Algoritmaların klasik yöntemlerden farkları şunlardır (Eiben ve Smith, 2003):

1. Gelişmesi sırasında karar uzayında o zamana kadar mevcut olan bilgilerden yararlanarak en iyi çözüme ulaşmaya çalışır.

2. Yapısında saklı paralel hesaplama yöntemine sahiptir. Bu sayede aynı zamanda birçok noktadan hareketle çözüm uzayındaki en iyi noktaya doğru adım adım gelişerek yaklaşırlar.
3. Rasgele bir algoritmadır. Sonuçlarına ulaşmak için ihtimal ilkelerinden yararlanır. Buna göre çalışmalar sırasında bir rasgele sayı üreticisine gerek vardır.
4. Birçok çözüm adayı üzerinde, eş zamanlı olarak işleyişlerinin sürdürürler. Bu süreç esnasında komşu ve önceki noktalardan topladığı bilgiler ve rasgele işlemler sayesinde daha da iyi çözümlere doğru ilerleyen bir mekanizmaya sahiptir.

Genetik Algoritma, geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya olanaksız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır ve çokça işlem gücü gerektirmektedir. Ancak problemin nasıl çözüleceğinin ya da nasıl hızlıca çözüleceğinin bilinmesini gerektirmeme avantajını da kullanıcıya sunmaktadır (Goldberg, 1989). Genetik Algoritma ile klasik analitik yöntemler arasındaki fark, Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Genetik algoritma yaklaşımı ile analitik yöntemin karşılaştırılması

Özellik	Analitik – Spesifik Yöntem	Genetik Yaklaşım
Hız	Çözüme bağlı, genelde iyi	Orta, çözüme yakın
Performans	Çözüme bağlı	Neredeyse mükemmel
Problemi Bilme	Gerekir	Gerekmez
Gerekli İnsan Emegi	Birkaç dakikada başlar, uzayabilir	Birkaç gün
Uygulanabilirlik	Düşük (Çoğu problemin kullanılabilir matematiksel parametreleri olmaz ya da hesaplanamaz niteliktedir.	Genel uygulanabilirlik
Adımlar	Çözüm değildir (hesaplama işlemi bitene kadar beklenmelidir)	Çözümdür (hesaplama işlemi istenilen zamanda kesilebilir, en son kalanlar iyi çözümdür ve bunların en iyisi, bulunan en iyi çözümdür)

Günümüzde, rasgele aramaların kullanımı artmaktadır. Bu tip aramalar, en iyilemenin daha iyi yapılması amacını sağlamakta daha başarılıdır. İnsanların bilgisayarlardan genel beklentisi mükemmellik olduğu için, bu tip aramalar başarısız görülebilir. Genetik Algoritma, klasik yöntemlerin çok uzun zamanda yapacakları işlemleri kısa bir zamanda çok net olmasa da yeterli bir doğrulukla yapabilir. Bir Genetik Algoritma programını birkaç kez çalıştırarak (bir önceki bulunan sonucu da popülasyona ekleyerek) en uygun çözümü bulmak olanaklı olabilmektedir (Baskak ve Erol, 2004).

Genetik Algoritmanın en uygun olduğu problemler, geleneksel yöntemler ile çözümü olanaklı olamayan ya da çözüm süresi problemin büyüklüğü ile üstel orantılı olarak artanlardır. Konuyla ilgili çalışmalar incelendiğinde, araştırma alanı geniş ve karmaşık ise, konuyla ilgili bilgi az veya eldeki bilgi araştırma alanını daraltmada yeterli değilse, matematiksel analiz elde edilemiyorsa veya geleneksel araştırma metodları ile başarısız olunmuş veya iyi sonuç alınamamışsa Genetik Algoritmadan faydalanıldığı görülmüştür.

Genetik Algoritma ile bir sorunu çözmeye çalışırken birbirini takip eden aşağıdaki beş aşamanın ön hazırlık olarak tamamlanması gereklidir.

1. Sorunun ne olduğuna ait etraflı ve ayrıntılı ön bilgilere, sözel ve özellikle de sayısal verilere mümkün olduğu kadar ulaşmaya çalışmak,
2. Genetik Algoritma ile çözümlenmesi beklenen sorun ile ilgili olabilecek değişkenlerin kromozom yapılarına karar vermek ve veri hazırlığında bulunmak,
3. Karar değişkenlerinden kromozomlara geçmek için gerekli olabilecek tüm alt yapıyı hazırlamak,
4. Sorunla ilgili hedef fonksiyonun karar değişkenlerine bağlı olarak, analitik ifadesini tespit etmek,
5. Hedef fonksiyonundan, herbir karar takımına (kromozom) karşı gelecek derecelerinin hesaplanmasına yarayacak dönüşümü belirlemek.

Hazırlık çalışmaları sırasında, incelenecek olayla ilgili ne kadar sözel ve sayısal veri bulunabilirse toplanarak, bunların herşeyden önce akıl, mantık ve basit klasik yöntemlerle aralarında ilişki ve ne tür mantık kurallarının bulunduğu belirlenmeye çalışılmalıdır (Şen, 2004).

6.2 Temel Genetik Algoritma Kavramları

Genetik Algoritma ile ilgili temel kavramlar aşağıda kısaca anlatılmaktadır:

i) Gen: Kalıtsal molekülde bulunan ve organizmanın karakterlerinin tayininde rol oynayan kalıtsal birimlere denir. Yapay sistemlerde gen, kendi başına anlamlı bilgi taşıyan en küçük birim olarak alınır.

ii)Kromozom (Birey): Birden fazla genin biraraya gelerek oluşturduğu diziye denir. Kromozomlar, alternatif aday çözümleri gösterirler.

iii) Popülasyon: Kromozomlardan oluşan topluluğa denir. Popülasyon, geçerli alternatif çözüm kümesidir. Popülasyondaki birey sayısı (kromozom) genelde sabit tutulur. GA'da

popülasyondaki birey sayısı ile ilgili genel bir kural yoktur. Popülasyondaki kromozom sayısı arttıkça çözüme ulaşma süresi (iterasyon sayısı) azalır.

iv) İki Tabanlı Sayı Sistemleri:

Ondalık sayı sistemine asırlarca alışmış olan insan, Boolean Aritmetiğinin sadece 0 ve 1 rakamlarından meydana gelen iki tabanlı sayı sistemini başlangıçta gereksiz olarak görmüştür. Hâlbuki ondalık sayı sistemiyle karşılaştırıldığında ikili sayı sisteminin faydaları da vardır. Bunlar (Şen, 2004):

1. Ondalık sayı sisteminde ezberlenmesi gerekli 36 kurala karşılık bu sayı sisteminde hiçbir kural yoktur. Burada çarpım kurallarından bahsedildiğinde ikili sistemde belki 2 tane kural vardır. Bunlar:

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

kurallarıdır. Ancak bunlar ezber gerektirmediği için kural yoktur denilebilir.

2. İşlem yapmak için kâğıt ve kaleme gerek yoktur sadece işlem sonucunu yazmak için bunlara gerek vardır.
3. Ondalık sayı sistemindeki 4 kapsamlı aritmetik işlem karşısında ikili sayı sisteminde çok kolayca yapılabilen sadece toplama ve çarpma işlemleri vardır.

İki tabanlı sayı sistemlerinin, ondalık sayı sistemlerine göre bazı sakıncaları da vardır. İki tabanlı sayı sistemleri pek pratik değildir. Diğer bir sorun insan alışkanlığından kaynaklanmaktadır. İnsan ondalık sayı sistemine alıştığı için, alışkanlığını değiştirerek ikili sisteme geçmeyi bir güçlük olarak görür ve bu geçişi bir türlü yapmak istemez. Hâlbuki düz mantık dediğimiz kurallarda ikili düzen vardır. Bir şey hep tersi ile tamamlanır. Buna pek çok örnek verilebilir. Örneğin: artı-eksi (artı değil), güzel-çirkin (güzel değil) vb. İnsan tüm düşüncelerini basit olarak bu iki seçeneğe göre ayarlar. Zaten klasik mantık işlemleri de iki tanedir. Bunlar “ve” ile “veya” olarak bilinir (Şen,2004). Tabi bunların bir de “değil”leri vardır.

Ondalık ve iki tabanlı sayı sistemleri arasındaki dönüşümler GA yöntemlerini teşkil etmektedir. Ondalık sayı sistemindeki 10 tane rakamın ikili sayı sistemindeki karşılıkları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Ondalık ve ikili sayı sistemlerinin karşılaştırılması

Ondalık Rakam	İkili rakam
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

İnsan, ikili sayı sistemi ile işlerini yapmaya alışık değildir. Bilgisayarlar ise, ikili sayı sistemine göre işlemleri yapacak biçimde tasarlanmıştır. Buna göre, dış dünya sayılabilecek ve ondalık sisteme alışık insanlar ile iç dünya diyebileceğimiz ikili sisteme göre çalışan bilgisayarlar arasındaki alışverişi sağlayacak bir birimin bulunması gerekir. Buna ondalıktan ikili sayı sistemine veya aksi yönde tercüme yapan birim anlamına gelen “dönüştürücü” adı verilir.

İlk aşamada bilgisayarlar insanın verdiği ondalık sayıları ikili sisteme dönüştürür. Bunun sonrasında, ikili sisteme göre gerekli aritmetik ve matematik işlemleri yaparak, bulduğu sonuçları, ondalık dünyasının anlayacağı biçime sokarak, çıktı verir (Şekil 6.1). İşte, böyle bir dönüştürücü sistem Genetik Algoritma için de gereklidir. Bu nedenle bilgisayarlar, Genetik Algoritma çözümlmeleri için daha uyumlu ve etkilidir.



Şekil 6.1 Ondalık-ikili sistemler ve genetik algoritma (Şen, 2004)

v) Seçim Yöntemi:

Yeni popülasyonun oluşturulmasında kaç bireyin seçileceği ve hangi bireylerin eşleşme için seçileceği, seçim fonksiyonuyla sağlanır. Seçim operatörü, yapay bir seleksiyondur (Goldberg, 1989). Seçim yöntemi, algoritmanın başarısı açısından önemlidir. Ebeveynler, uygunluk değerlerine göre eşleşmek üzere seçilirler. Bunun için kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir:

1. Rulet-çemberi (RW) seçim yöntemi
2. Rank Seçim Yöntemi
3. Kararlı Hal (FP) Seçim Yöntemi

Seçim yönteminde genellikle rulet çemberi yöntemi kullanılır. Varolan popülasyondaki en uygun kromozomlar rulet çemberi üzerine yerleştirilir, çember popülasyondaki dizi sayısı kadar döndürülerek çaprazlanacak bireyler elde edilir. Bu yöntemler hakkında kısa açıklamalar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Rulet-Çemberi (RW) Seçim Tekniği:

Seçim yöntemleri içinde en basit ve en kolay uygulanabilir nitelikteki yöntem, rulet-çemberi yöntemidir. Rulet-çemberi yöntemi stokastik bir yöntemdir ve şu tekniği içermektedir; Tüm fertler bir çizgi üzerinde birbirine bitişik bölümler şeklinde dizilirler. Bununla birlikte her bir ferde ilişkin bölümün uzunluğu, onun uygunluk değeri kadar olur. Rasgele sayı üretilir ve rasgele sayı hangi bölüm içine denk gelirse, o bölümün ait olduğu fert seçilir. İşlem, eşleşecek popülasyonun gerekli adedine ulaşıncaya dek sürdürülür. Bu teknik, üzerinde bölümleri olan rulet-çemberine benzediği için bu şekilde adlandırılmıştır. Bu teknikte, ebeveynler uygunluk değerlerine göre seçilirler. Kromozomlar ne kadar iyiye, seçilme şansları o kadar yüksektir. Bir kromozom birden fazla seçilebilir.

Rank Seçim Yöntemi:

Yukarıdaki seçim eğer uygunluklar çok fazla değişiyorsa bazı sorunlara yol açacaktır. Örneğin en iyi kromozom uygunluğu, tüm rulet tekerleğinin %90'ı ise diğer kromozomların seçilme şansları çok az olacaktır. Rank seçimi önce popülasyonu sıralar ve daha sonra her kromozom, uygunluğu bu sıralamadan sonra alır. En kötüsü 1 uygunluğunu alacak, ikinci en kötü 2 ve en iyisi N uygunluk değerini alacaktır. N de popülasyondaki kromozom sayısıdır. Bu yöntemde her kromozomun seçilme hakkı olacaktır, ama yöntem daha yavaş çalışır, çünkü en iyi kromozomlar diğerlerinden fazla değişiklik göstermez.

Kararlı Hal (FP) Seçim Yöntemi:

“Yerine Geçme Yöntemleri” olarak da adlandırılabilirler. Bu, ebeveynleri seçmek için kısmi bir yöntem değildir. Bu seçimin ana düşüncesi, kromozomların büyük kısmının bir sonraki nesilde hayatta kalmak zorunda olmasıdır. O zaman Genetik Algoritma şu şekilde çalışır; Yeni çocuklar oluşturmak için her nesilde güzel ve iyi uygunluklu birkaç kromozom seçilir. Sonra kötü ve düşük uygunluklu bazı kromozomlar atılır ve yeni çocuk onun yerine yerleştirilir. Popülasyonun geri kalan kısmı yeni nesilde hayattadır. Yani kısaca bu yöntemde

alt popülasyon oluşturulduktan sonra uygunluklar hesaplanır, en kötü kromozomlar yerlerini başlangıç popülasyonundaki en iyi kromozomlara bırakır (Eiben ve Smith, 2003).

vi) Sayısal Dönüştürücü:

İki tabanlı sayı sistemi ile çalışmaya karar verilmesi halinde karar değişkenlerinin insan tarafından anlaşılabilen ondalık sayıların, Genetik Algoritma, tarafından anlaşılan ikili sayı sistemine veya bunun aksini temin etmeye yarayacak bir dönüştürücünün işin başında düşünülmesi gereklidir. Bu insan ile Genetik Algoritma programı arasındaki anlaşmayı sağlayacak sayısal bir tercüme işlemcisidir (Eiben ve Smith, 2003).

vii) Hedef Fonksiyonu:

Bu fonksiyon, karar değişkenlerinin ondalık sistemde, ortaklaşa olarak, karar uzayında aldıkları değerlere karşı gelen, hedef değerdir. Basit en iyileme sorunlarında, hedef fonksiyonlarının karar değişkenleri, ondalık sayılar olmasına karşın, çok hedefli en iyileme sorunlarında birer vektör olabilir. Hedef fonksiyonu değerlerinin, aynı karar değişkenleri için bile olsa, uygunluk dereceleri ile aynı şey demek olmadığı unutulmamalıdır. Hedef fonksiyonunda n tane hedef değeri hesaplanır. Bu n değer bir sütun matrisi olarak (5.1)'deki gibi gösterilebilir. Burada her satır bir kromozoma aittir.

$$T = \begin{pmatrix} k_{1,1} \\ k_{2,1} \\ k_{3,1} \\ \vdots \\ k_{n,1} \end{pmatrix} \quad (6.1)$$

viii) Uygunluk Fonksiyonu:

Uygunluk değerleri, hedef fonksiyondan bir ölçekleme veya rütbeleme (en büyükten en küçüğe doğru sıralama) işlemi ile elde edilir. Her üyenin sadece bir tane uygunluk derecesi olacağına göre bunlar (6.2)'de gösterilen bir sütun matrisi ile temsil edilirler. Matris ile temsil edilen hedef değerleri eksi işaretli değerler olmasına karşılık uygunluk dereceleri her zaman artı işaretli sayılardır (Şen, 2004).

$$D = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix} \quad (6.2)$$

Uygunluk fonksiyonu Genetik Algoritmanın yapısında en temel yeri oluşturmaktadır. Bu fonksiyon ile kromozom içindeki bilgiler çözülerek sayısal bir değer elde edilir, bir başka deyişle kromozomun sisteme uygulanması durumunda sistemin vereceği çıktı bulunur. Uygunluk fonksiyonu, GA uygulamalarında yön tayin edici, stratejik ve çok önemli bir pozisyonda bulunduğundan, belirlenmesi uzun emek ve uzun zihinsel çaba gerektirmektedir (Baskak ve Erol, 2004).

6.3 Genetik Algoritma'nın Çalışma İlkesi

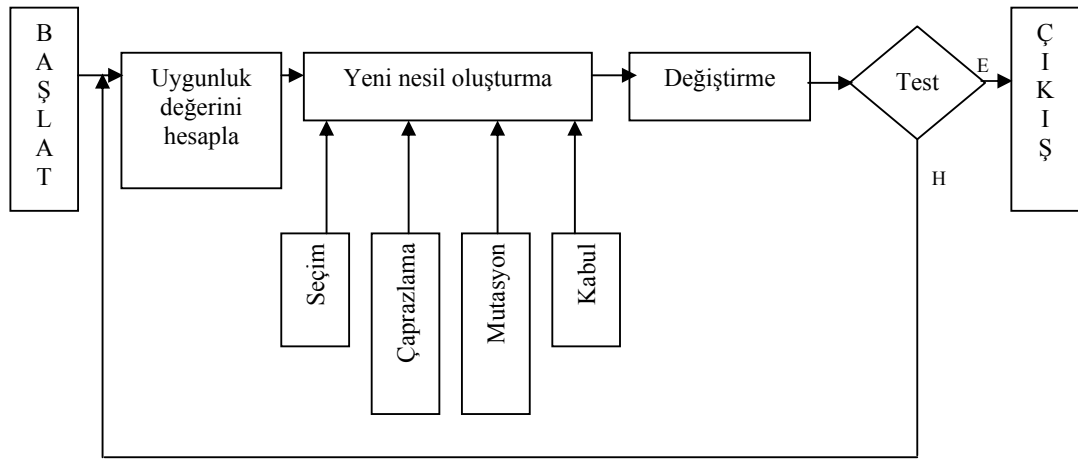
Genetik Algoritma, doğal seçim ilkesine dayanan, sayısal bir optimizasyon yöntemidir. Çözüm dizilerinden oluşan bir başlangıç nesliyle, çaprazlama ve mutasyon gibi doğal seçim operatörlerini kullanmaktadır. Şekil 6.2'deki akış şemasında genel prensipleri verilmiştir. Öncelikle ele alınan problem için, bir rasgele n kromozomlu popülasyon oluşturulur. Daha sonra, popülasyondaki her bir kromozom için $f(x)$ uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Yeni bir popülasyon oluşuncaya kadar seleksiyon, çaprazlama, mutasyon adımları tekrar edilir. Bu adımların detaylı açıklamaları bir sonraki bölümde yer almaktadır.

Yeni popülasyon kabul edildikten sonra, oluşturulan yeni popülasyon eskileriyle yer değiştirilir. Hedeflenen uygunluk değerine ulaşıldığında program durdurulur ve popülasyondaki en iyi çözüm alınır. Genetik Algoritmelerde kromozomlarla bir başlangıç popülasyonu rasgele oluşturulur. Burada popülasyon genişliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Büyük popülasyonlarda, çözüm uzayı iyi örneklendiği için aramanın etkinliği artmakta, fakat buna bağlı olarak da arama süresi uzamaktadır. Küçük popülasyonlarda ise, çözüm uzayını yeterli örnekleyememe ve zamansız yakınsama oluşabilmektedir.

Genetik Algoritmanın her çevriminde, yığındaki dizilerin bir değerlendirme fonksiyonu yardımıyla uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk fonksiyonu, kromozomları problemin parametreleri haline getirmekte ve bunlara göre hesaplama yapmaktadır. Genellikle Genetik Algoritmaların başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlıdır.

Genel anlamıyla Genetik Algoritma, bir araştırma konusu olup model haline getirilmiş neden-sonuç işleminin tersine rasgele örnekleme olgusu altında modellenmiştir (Şekil 6.2). Kontrol

edilerek onaylanan bilgi, organizma olarak adlandırılan aday çözümler içerisinde saklanmıştır. Organizmalar popülasyon olarak adlandırılıp grup halinde yer almışlardır.



Şekil 6.2 Genetik algoritmanın genel prensibi
(Bolat vd., 2004)

Bir problemin Genetik Algoritma ile çözümünde izlenecek işlem adımları aşağıda verilmektedir (Croce vd., 1995):

1. Kullanıcının önceden tanımladığı kurallara göre genellikle rassal bir çözüm grubu seçilir veya kullanıcı kendisi ilk çözüm grubunu belirleyebilir. İlk çözüm grubuna başlangıç popülasyonu denir.
2. Her bir kromozom için bir uygunluk değeri hesaplanır; bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir. Popülasyonda yer alan en iyi uygunluk değerine sahip olan birey (kromozom), bir sonraki yeni nesile (popülasyon) doğrudan değiştirilmeden aktarılır. Yani elitizm yapılır.
3. İki grup dizi (kromozom), belirli bir seçim yöntemine göre (uygunluk değerlerine göre hesaplanmış olasılık değerlerine göre) rassal olarak seçilirler.
4. Seçilen iki kromozom için rassal olarak genetik operatörler kullanılarak çaprazlama işlemi gerçekleştirilir. Sonuçta yeni popülasyonda yer alacak iki yeni birey (kromozom) oluşur. Çaprazlama, yeni popülasyonda yer alacak birey sayısına ulaşılan dek sürer.
5. Yeni popülasyondaki bireyler, rassal olarak mutasyon işleminden geçerler.
6. Önceden belirlenen nesil sayısı boyunca yukarıdaki işlemler sürdürülür. Eğer en büyük nesil sayısına ulaşılmamışsa 2. adıma dönülür. İterasyon, en büyük nesil sayısına ulaşıncaya kadar devam eder. Uygunluk değeri en yüksek olan kromozom (çözüm) seçilir.

Genetik Algoritma, popülasyon adını verdiğimiz bir çözüm kümesi (kromozom grubu) ile başlar. Bir popülasyondan alınan çözümler, diğer bir popülasyonun oluşturulmasında

kullanılırlar. Bu durumda yeni popülasyonun bir öncekinden daha iyi (bulmaya çalıştığımız en uygun sonuca daha yakın) olması umulur. Yeni çözümler oluşturmak için diğer popülasyondan alınan çözümler, problemin uygunluk ölçütüne göre belirlenir. Buradaki uygunluk, en uygun çözüme ne kadar yakın olunduğu şeklinde düşünülebilir. Bu işlem belli bir koşul (en iyi çözümün bulunması) sağlanana dek sürer. Şekil 6.3’de ilgili akış şeması gösterilmektedir.

GA bireylerin uygunluk ve iyiliklerine göre ayrılıp fark edilmesine gerek duyar. Bu sayede üstün ve başarılı olanlar bir sonraki neslin bireylerini oluşturur. Çaprazlama, iki kromozomun biraraya gelerek genetik bilgi değişimi yapmasıdır. Mutasyon ise bir kromozomun taşıdığı genetik bilgide bir nedene bağlı olmaksızın değişme olmasıdır. Mutasyon aramada kısır döngüye girilmemesini sağlamak, toplulukta çözümü olmayan birbirine benzer bireylerden kurtulmak ve yeni alt optimal çözümler bulunmasını sağlamak için kullanılır (Holland, 1975).

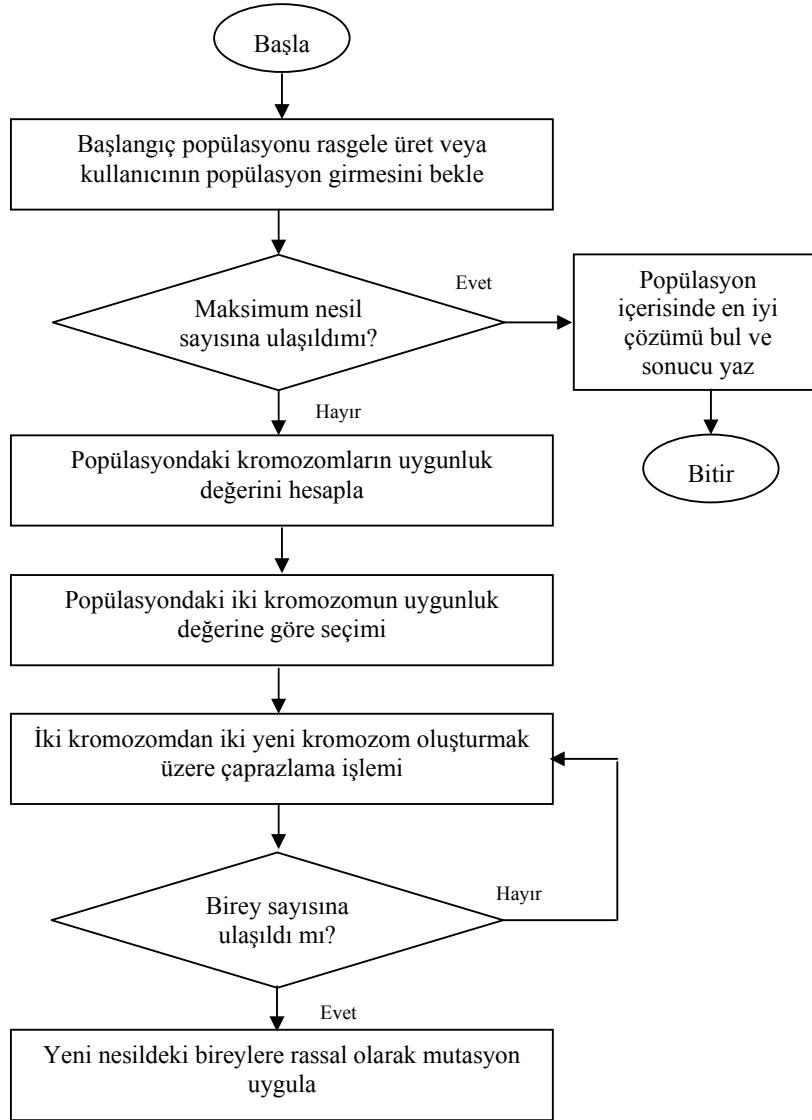
6.4 Genetik Algoritma Parametreleri

6.4.1 Kodlama

Genetik Algoritmada bağımsız parametrelerin kromozomlar içinde kodlanması gerekmektedir. Genetik Algoritma bir probleme uygulanmadan önce verinin nasıl kodlanacağını ve olanaklı çözümler kümesinden örnek çözümlerin bilinmesi gerekir. Kodlama planı Genetik Algoritmanın önemli bir kısmını oluşturur. Çünkü bu plan, bilginin çerçevesini şiddetle sınırlayabilir. Probleme özgü, bir kromozomsal gösterimle temsil edilir. Kuracağımız genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için kromozomların kodlamasının doğru yapılması gerekmektedir. Genetik Algoritmaları uygulayacağımız sistemle ilgili uygun kodlama türünün seçilmesi gerekmektedir. Genetik Algoritmalarda kullanılan kodlama tipleri şunlardır:

i) İkili Kodlama:

En yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Sayılar ikilik sisteme göre sıfır ve birden oluşmaktadır. Yani her kromozom bir ikili string’e sahiptir (0 ve 1). Bu string’deki her bit, çözümün belli karakteristiğini temsil eder veya tüm string bir sayıyı temsil eder.



Şekil 6.3 Genetik algoritma akış diyagramı (Baskak ve Erol, 2004)

ii) Permütasyon Kodlama:

Sıralama ve düzenleme problemlerinde kullanılır. Her kromozom dizideki bir sırayı temsil eden sayılardan oluşmaktadır. Yani her kromozom, sayıları bir sırada temsil eden bir sayılar string'idir. Permütasyon kodlama, gezgin satıcı ve çizelgeleme problemleri için kullanışlıdır (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3 Permütasyon kodlamalı kromozom örnekleri

Kromozom A	1 5 3 2 6 4 7 9 8
Kromozom B	8 5 6 7 2 3 1 4 9

iii) Değer Kodlama:

Gerçek sayılar gibi karmaşık değerlerin kullanıldığı problemlerde, ikili kodlama zor olduğu için doğrudan değer kodlanması kullanılabilir.

iv) Ağaç Kodlama:

Bu yöntem, Genetik Algoritma gibi gelişen, değişen programlar veya ifadeler için kullanılır. Ağaç kodlamada her kromozom, bazı nesnelerin (örneğin fonksiyonlar ya da programlama dilindeki komutlar gibi) ağacıdır.

6.4.2 Çaprazlama

Çaprazlama oranı, fertlerin eşleştiklerinde çaprazlama yapıp yapmayacaklarına ilişkin olasılığı ifade eden orandır. Eğer eşleşme sonucunda çaprazlama da olursa, yeni ve genellikle ebeveynlerinden farklı bireyler elde edilmiş olur. Eğer çaprazlama gerçekleşmezse, bu takdirde ebeveynlerinin kopyası olan yeni fertler oluşur.

Eşlerin bir araya gelerek birleşmesi ile yeni ürünler ortaya çıkmasına Genetik Algoritmanın çaprazlama aşaması denir. Burada ilk olarak Genetik Algoritmada hedef yüzeyi araştırılır. Buna Genetik Algoritma halen kromozom değerleri kullandığı için keşif aşaması denir. Kromozom sayısı aynı kalmak şartı ile Genetik Algoritma, en iyileme çözümüne yaklaşım gösterir.

Çözüm araması sırasında, çözüme aday olan iki farklı karar uzayı noktası arasında yaptığı bir çaprazlama ile öncekilerden daha iyi, yani en iyi çözüme daha yakın olabilecek, iki tane yeni çözüm noktası (karar noktası) ortaya çıkarılır. Bu iki yeni çözüm noktası önceki noktalardan kalıtmalı olarak doğar. Böylece çözüm toplumundaki karar noktaları daha iyiye doğru evrimleşecek biçimde yeni bir toplum meydana getirir. Burada iki çözüm noktasının sayısal değerleri, bazı haneleri aralarında çaprazlama yaparak, yeni çözüm noktalarının ortaya çıkmasına sebep olurlar. Bu da biyolojik organizmaların DNA'larındaki çaprazlamaya benzer olarak gerçekleştirilir. Kromozomların uygunluklarının daha da artırılabilmesi için ayrıca rakam değişimi (mutasyon) gibi bir başka seçenek de mevcuttur.

Çaprazlama kromozomların genlerini birbirleriyle değiştirmelerini sağlayan bir işlemdir. Önce çaprazlamaya tabi tutulacak kromozom eşleri rasgele seçilir. Daha sonra bu kromozom eşlerinin hangi genlerden itibaren kesileceği yine rasgele seçim ile belirlenir. Kesilen genler kromozom eşleri arasında değiştirilir. Burada amaç eldeki toplumdan farklı toplumlar

(nesiller) elde etmektir. Bu işlemde çaprazlanacak kromozom eşleri ve bunların hangi genlerden itibaren çaprazlanacağı rasgele olarak belirlenir. Bu konudaki değişik işlemler aşağıdaki yöntemlerle yapılır (Eiben ve Smith, 2004).

i) Tek Kesimli Çaprazlama:

Burada eşleşen iki kromozom ikiz doğurarak kromozom sayısının aynı kalmasını sağlar. Öncelikle iki kromozomun ilk ve son rakamları arasında bir yerde rasgele olarak çapraz geçiş noktası tespit edilir. Bir kromozomun çapraz geçiş noktasının solunda bulunan hanelerdeki tüm rakamlar olduğu gibi diğer kromozom ile yer değiştirilir. Önce ilk iki esas kromozomdan birindeki çapraz noktanın solundaki tüm haneler, yeni çocuğun kromozomuna geçer. Benzer şekilde, diğer kromozomunun çapraz geçiş noktasının solundakiler de, diğer yeni doğacak kromozoma geçer. Bundan sonra, birinci esas kromozom çapraz geçiş noktasının sağındaki haneler, ikinci yeni doğanın önceki hanelerinin sağına geçer. Böylece, ilk yeni doğanın kromozomu tamamlanmıştır. Benzer olarak, ikinci esas kromozomun çapraz geçiş noktası sağındaki haneler de, birinci yeni doğanın sağına yerleşir. Böylece, yeni doğan iki kromozom kısmi olarak öncekilerin hanelerini ihtiva eder. Esas kromozomlar toplam olarak $N_{kötü}$ tane yeni doğuşa sebep olmalıdır ki toplum büyüklüğü sabit kalsın ($N_{top} = \text{sabit}$). Buna basit veya tek çapraz geçiş noktalı doğumlar adı verilir. Bu işlemde kromozomlar rasgele bir yerinden kesilir ve sonra ilgili genler ile yer değiştirilir. Okların sağ taraflarında her kromozomun temsil ettiği ondalık sayısal değerleri gösterilmiştir.

$$\begin{array}{ccccccc}
 \downarrow 1 \uparrow & \downarrow 0 \uparrow & \downarrow 0 \uparrow & / & 1 & 0 & 1 & 1 & \longrightarrow & 75 \\
 \downarrow 1 \uparrow & \downarrow 1 \uparrow & \downarrow 1 \uparrow & / & 0 & 1 & 0 & 0 & \longrightarrow & 116
 \end{array}$$

Yukarıdaki kromozom ikilisi 3. haneden hemen sonra kesilmiş ve koyu genler yer değiştirilerek yeni kromozomlar elde edilmiştir. Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı üzere her bir kromozoma bir sayı karşılık gelir ve kromozomlardaki genlerden bir tanesinin bile değişmesi ile bu sayılar da değişir. Oluşan yeni kromozomlar:

$$\begin{array}{ccccccc}
 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & \longrightarrow & 123 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \longrightarrow & 68
 \end{array}$$

Tek kesimli çaprazlama ile birbirinden farklı sadece iki yeni kromozom elde edilebilir.

ii) Çift Kesimli Çaprazlama:

Öncekine benzer işlem, kesimin kromozom boyunca iki yerde yapılması ile aynen tekrarlanır.

$$\begin{array}{ccccccccccc} 1 & / & \downarrow 0 \uparrow & \downarrow 0 \uparrow & \downarrow 1 \uparrow & \downarrow 0 \uparrow & / & 1 & 1 & \longrightarrow & 75 \\ 1 & & \downarrow 1 \uparrow & \downarrow 1 \uparrow & \downarrow 0 \uparrow & \downarrow 1 \uparrow & & 0 & 0 & \longrightarrow & 116 \end{array}$$

Burada kromozom eşleri iki farklı yerden kesilerek çaprazlama uygulanır. Koyu renkli genler çaprazlanmıştır.

$$\begin{array}{ccccccccccc} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & \longrightarrow & 119 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \longrightarrow & 72 \end{array}$$

Görüleceği üzere bu kez de yeni şekil alan kromozomlar sonucunda temsil ettikleri sayılar yine değişmiştir. İki noktalı çaprazlamada her kromozom üç parçaya bölünür. Bu parçalardan karşılıklı her ikisinin çaprazlama yer değiştirmesi ile birbirinden farklı 6 tane yeni kromozom elde edilir.

Aşağıdaki örnekte iki noktalı çaprazlamaya maruz bırakılan kromozomlarda düz, *italik* ve **koyu** kısımlar olmak üzere üç parça gösterilmiştir.

0000101110**00110**

0011111000**01001**

Çaprazlamanın sırası ile düz, *italik* ve **koyu** parçalar arasında yapılması ile birbirinden farklı kromozomlar düz kısımlar arasında,

0010101110**00110**

0001111000**01001**

İtalik kısımlar arasında,

0001111000**00110**

0010101110**01001**

ve son olarak da **koyu** kısımlar arasında

0000101110**01001**

0011111000**00110**

Şeklinde olmak üzere 6 tanedir. Yeni kromozomların tümünün kullanılması gerekli değildir.

Bu seçimde düz, *italik* veya **koyu** parçaların değiştirilmesinden 6 yeni kromozomdan istenilen kadarı rasgele seçimi ile topluma katılabilir.

iii) Çok Kesimli Çaprazlama:

Kromozomların çapraz olarak ikiden daha fazla yerden rasgele kesilerek genlerin yer değiştirilmesi ile sağlanır.

$$\begin{array}{ccccccc}
 1 & / & \downarrow 0 \uparrow & \downarrow 0 \uparrow & / & 1 & 0 & / & \downarrow 1 \uparrow & / & 1 & \longrightarrow & 75 \\
 1 & / & \downarrow 1 \uparrow & \downarrow 1 \uparrow & / & 0 & 1 & / & \downarrow 0 \uparrow & / & 0 & \longrightarrow & 116
 \end{array}$$

Bu çaprazlama sonucunda yeni kromozom ve sayılar şöyledir:

$$\begin{array}{ccccccc}
 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & \longrightarrow & 121 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & \longrightarrow & 70
 \end{array}$$

Burada da karşılıklı parçalar arasında çaprazlama ile çok sayıda yeni kromozom elde edilir. Eğer n parça sayısını gösteriyorsa n^2 kadar yeni kromozom elde edilebilir.

iv) Tekdüze (Uniform) Çaprazlama

Bu işlemin aslı rasgele hanelerin iki kromozom arasında yer değiştirmesi ile olur.

$$\begin{array}{ccccccc}
 1 & \downarrow 0 \uparrow & 0 & \downarrow 1 \uparrow & 0 & 1 & \downarrow 1 \uparrow & \longrightarrow & 75 \\
 1 & \downarrow 1 \uparrow & 1 & \downarrow 0 \uparrow & 1 & 0 & \downarrow 0 \uparrow & \longrightarrow & 116
 \end{array}$$

Burada her hane için yazı tura atılır. Örneğin yazı gelirse çaprazlama yapılsın, tura gelirse çaprazlama yapılmamasın kuralına uyulur. Koyu renkli genler için yazı geldiğinden bu genler için çaprazlama uygulanarak kromozomların yeni şekilleri şöyle olur:

$$\begin{array}{ccccccc}
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \longrightarrow & 98 \\
 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & \longrightarrow & 93
 \end{array}$$

Tek düze çaprazlamada ilk iki kromozom hanelerine rasgele bakılır. Rasgele olan hane belirlendikten sonra karşılıklı olarak rakamlar değiştirilir. Bunun için önce rasgele bir altlık teşkil edilir. Bu altlık rasgele olarak 0 ve 1'leri ihtiva eden ve başlangıç kromozomları uzunluğunda olan bir dizidir. Altlıkta bir haneye karşı gelen rakam 0 ise, buna karşı gelen kromozom hanesindeki rakam birinci kromozoma geçirilir. Altlıktaki rakam 1 ise buna karşı gelen kromozomdaki rakam ikinci yeni kromozoma geçirilir. Buna şöyle bir örnek verilebilir:

00101011000110

01111100001100

Altık 00110110001110

00111101001100

01101010000110

Tekdüze çaprazlama aşağıda verilen altık için, bir kesimli çaprazlama olur.

Altık 00000011111111

Benzer olarak iki noktalı çaprazlamaya sebep olabilecek altıkta

Altık 00000011110000

şeklindedir. Buradan da tekdüze çaprazlamanın, tekli, ikili ve diğer çaprazlamaların bir genelmesi olduğu anlaşılır. Yapılan çok sayıdaki araştırmada tekdüze çaprazlamanın tekli veya ikili çaprazlamadan daha etkin olduğu görülmüştür. Aslında daha özel olarak iki noktalı çaprazlamanın da tek noktalıdan daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır.

Çoklu çaprazlamada sadece rasgele seçilmiş olan haneler arasında karşılıklı yer değiştirmeler yapılmıştır. Hâlbuki tekdüze çaprazlama işleminde her hane çaprazlamaya aynı derecede açık bırakılır.

Tekdüze çaprazlama ile yeni kromozomların iki ara kromozomun 1 rakamları yerine ilk kromozomdan karşı gelen değerler alınarak teşkil edilir. İkinci yeni kromozomun teşkili de ara kromozomun 1'lerine ikinci kromozomun rakamları, 0'larına da birinci kromozomdaki rakamlar alınarak yapılır.

v) Tersleme:

Önceki işlemlerden tamamen farklı olan tersleme, kromozomun soldan sağa okunacak yerde, sağdan sola doğru gen dizisi ile okunması durumunda ortaya çıkan kromozomdur. Burada da önceki kromozomun temsil ettiği sayıdan tamamen farklı bir sayı elde edilir. Örneğin:

1 1 0 0 0 1 0 —————> 98

gibi bir kromozom tersine çevrilirse aşağıdaki yeni kromozom elde edilir.

0 1 0 0 0 1 1 —————> 35

vi) Karıştırmalı Çaprazlama:

Bunlardan birincisi tek noktalı çaprazlamada kromozomların ilk kısımları aralarında aynı sıra dâhilinde rakamlarla değiştirilecek yerde rakamlar tamamen bağımsız ve tekdüze bir rasgele

sayı üreticisi ile yeni baştan 0 veya 1 rakamları ile doldurulur ama esas kromozomların ikinci kısımları aynen kalırsa buna karıştırılmalı çaprazlama denir. Böylece yeni kromozomların başlangıç kısımları birbirinden tamamen bağımsızdır. Örneğin:

$$\begin{array}{ccc|ccc} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & \longrightarrow & 75 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & \longrightarrow & 116 \end{array}$$

kromozomlarının karıştırılmalı çaprazlaması sonucunda,

$$\begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & \longrightarrow & 43 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & \longrightarrow & 84 \end{array}$$

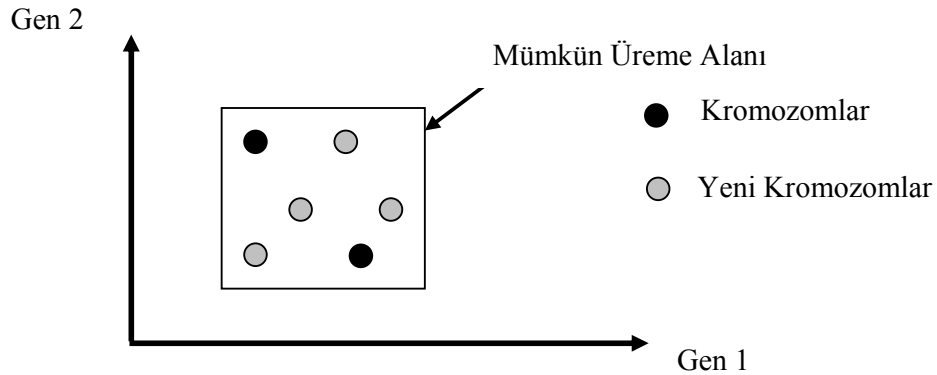
elde edilir.

vii) Ara Birleşmeli Çaprazlama:

Eğer bir kromozoma yakın başka kromozomlar üretilmek isteniyorsa bu takdirde iki kromozomdan uygun kısımların alınarak aşağıdaki denkleme göre bir araya getirilmesi ile yeni ve istenen türde kromozomlar üretilebilir. İki ana kromozom K_1 ve K_2 ise bunların bir α aracılığı ile karıştırılması sonucunda yeni üye,

$$K_y = K_1 \alpha (K_2 - K_1) \quad (6.3)$$

şeklinde elde edilir. Yapılan çalışmalara göre $-0,25 < \alpha < 1,25$ arasında rasgele bir sayı olarak seçilmelidir. Birleştirme esnasında, denklem her iki kromozomun karşılıklı genleri için uygulanırken, α değeri yeniden rasgele olarak seçilmelidir. Geometrik olarak bu şekilde üretilen yeni kromozomların, karar uzayındaki konumları, ana kromozomlardan fazla uzakta olamaz (Şekil 6.4). Bu yakınlıklar α değerine göre değişir.



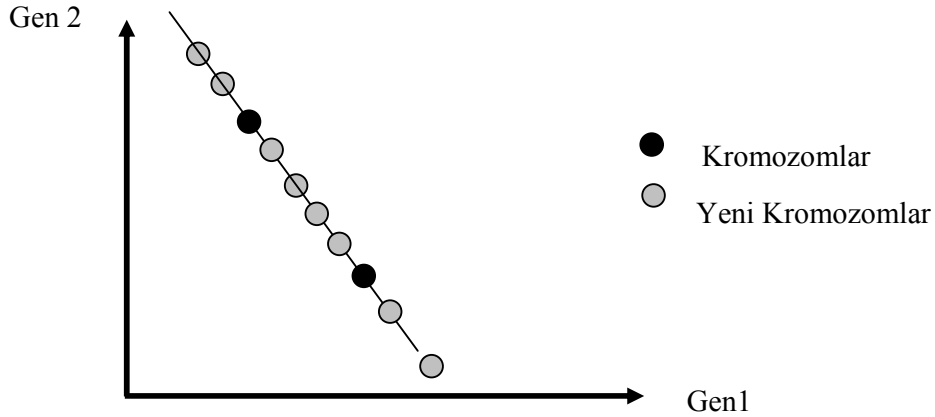
Şekil 6.4 Ara birleşmeli çaprazlama karar uzayındaki durum

viii) Doğrusal Birleşmeli Çaprazlama:

Bu önceki çaprazlamaya benzer. Ama tüm birleşme durumları sabit bir α değerinin kullanılması ile elde edilir. Şekil 6.5’de gösterildiği üzere, ilk kromozomları karar uzayında birleştiren doğrunun üzerinde, yeni kromozomlar elde edilir. Bu doğru denklemi,

$$K_y = K_1 + \alpha(K_2 - K_1) \quad (6.4)$$

Şeklinde ifade edilir.



Şekil 6.5 Doğrusal birleşim üyeleri

6.4.3 Mutasyon

Mutasyon oranı, tıpkı çaprazlama oranında olduğu gibi, mutasyonun olasılığını ifade eden bir orandır. Yine rasgele yöntemlerle, kromozomun mutasyona uğrayıp uğramayacağı belirlenir ve buna göre mutasyon gerçekleştirilir. Mutasyon oranı genellikle çok düşük (0,01) olduğundan, mutasyon işlemi fertlerde az görülür.

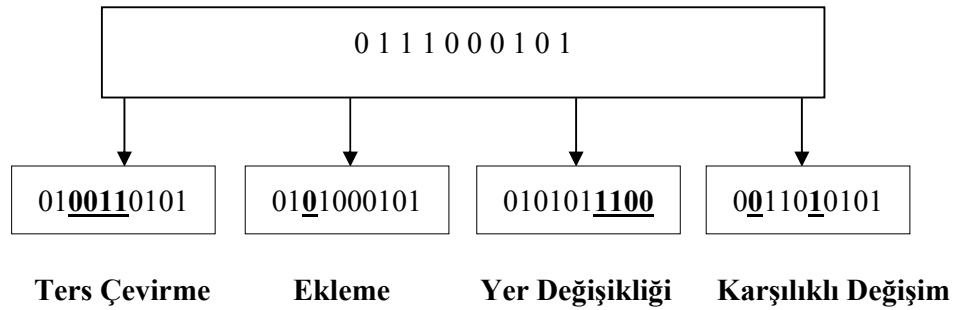
Genetik Algoritmada önemli rol oynayan süreçlerden biri de mutasyon operatörüdür. Yapay sistemlerde mutasyon işlemi, kromozomlarda ani olarak oluşan değişimlerdir. Mutasyon sırasında kromozomdaki gen sayısı değişmez, sabit kalır. Mutasyon işlemi bir tek kromozom üzerinde yapılır. Mutasyon oranına göre, mutasyona uğratılacak sayıdaki diziler popülasyondan rassal olarak seçilir ve belirlenen mutasyon yöntemine göre değişime uğratılır.

Genetik Algoritmada bir diğer operatör olan mutasyon oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önlemek ve sonuca daha hızlı ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır (Ebian ve Smith, 2004).

Örneğin, ikili bir kodlamanın kullanıldığı bir dizide mutasyon operatörü ile rasgele olarak seçilen eleman değeri 1 ise 0 veya 0 ise 1 olarak değiştirilerek yeni bir dizi elde edilir. Mutasyon operatörü olarak, ele alınan problemin yapısına göre en uygun olan aşağıdakilerden biri seçilir.

- Ters Çevirme
- Ekleme
- Yer Değişikliği
- Karşılıklı Değişim

Mutasyon operatörlerinin uygulamaları Şekil 6.6’da görülmektedir. Şekilde altı çizili olarak verilen eleman değerleri, mutasyona uğramış elemanları göstermektedir. Ters çevirmede, kromozomdan rasgele iki pozisyon seçilir ve iki ucu arasında ters çevrilir. Eklemede ise rasgele bir eleman seçilir ve rasgele bir yere yerleştirilir. Yer değişikliği mutasyonunda, rasgele bir alt dizi seçilir ve rasgele bir yere yerleştirilir. Karşılıklı değişim mutasyonunda, rasgele seçilen iki genin yerleri değiştirilir.



Şekil 6.6 Mutasyon yöntemleri ve etkileri
(Bolat vd., 2004)

7. ÖNERİLEN MODELİN TASARIMI

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde temel motivasyon,

- Literatürde, Araç Rotalama Problemleri uygulamalarının bulunmasına rağmen, tamirci rotalama problemine ait uygulamaların az olması,
- Literatürdeki Tamirci Rotalama Problemlerinin çözümünde çoğunlukla statik verinin kullanılmış olması,
- Tamirci Rotalama Probleminin işletme dinamiklerini göz önüne alan bir çalışmanın yapılmamış olmasıdır.

Araç Rotalama Problemi açısından, incelendiğinde,

i) Dinamik araç rotalama problemi (DVRP), ii) araç ve kapasite değil, tamirci rotalaması ile ilgili faktörleri göz önüne alması, iii) basit sezgiseller ve Genetik Algoritma (GA) ile yazılmış yöntemlerden faydalanması ve iv) mevcut durum analizi ve iyileştirme önerileri getirmesi açısından çalışma özgün bir yapı sergilemektedir.

Geliştirilen model, bir bilişim firmasının bankaların şubelerinde yapacağı bakım-onarım faaliyetlerinin maliyetlerini minimize etmek üzere geliştirilmiştir. Firmanın verdiği hizmetlerin performansının izlenebilmesi, optimum sayıda eleman çalıştırılması için performans metrikleri belirlenmiştir. Bu performans ölçütlerinin izlenebilmesi için basit prosedürel sezgiseller ve Genetik Algoritma ile sezgisel yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Ele alınan problemin, klasik araç rotalama probleminden önemli bir farkı vardır. Araç rotalama problemlerinde, rotalama yapılırken bir aracın bir müşteri/şehire maksimum bir kere uğraması, en önemli kısıttır. İncelenen tamirci rotalama probleminde ise, her müşteriden gün içerisinde birden fazla talep gelebilir ve tamircinin rotalamasında bu göz önüne alınmalıdır.

7.1 Problemin Tanımı

Bilişim firmasının anlaşmalı bankaların şubelerine verdiği bakım-onarım hizmetleri yukarıda belirtilen arıza (çağrı) tipleri ve istatistiksel dağılım özelliklerine göre gerçekleşmektedir. Bu amaçla, firmanın belirli sayıda müşteri temsilcisini, firmasında istihdam etmiş olması ve günlük oluşan arızaların giderilmesi için, bu uzman portföyünü doğru şekilde, arıza olan müşteri lokasyonlarına yönlendirmesi gerekmektedir. Bu yönlendirme gerçekleştirilirken, öncelikli arıza tiplerinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Öncelikli arıza tipinin temel

özelliği, arıza bildirildikten sonra, müşteri tarafından belirlenmiş sürede müşteri temsilcisinin müdahale etme zorunluluğu olmasıdır. Bu zaman penceresinin aşılması durumunda, ceza maliyeti oluşacaktır.

Firmanın, gelecek yıllarda bankaya, bakım- onarım faaliyetleri için vereceği teklifte, projenin karlılığını koruyabilmesi için gelen arızalara bağlı olarak mevcut performansını ölçmesi ve buna göre maliyet hesaplarını takip etmesi gerekmektedir. Firmanın bakım-onarım faaliyetlerini gerçekleştirmek amacıyla katlanması gereken maliyet kalemleri ve takip etmesi gereken performans ölçütleri belirtilmiştir.

Firmanın ortaya koyduğu bu problem dinamik yapısı nedeniyle matematiksel olarak ifade edilmeye müsait değildir. Modelleme aşamasında karşılaşılan zorluklar aşağıda belirtilmiştir.

- Müşteri temsilcilerinin başlangıç noktası olarak alınan ofisten çağrılar oluştuğu yola çıkmaları gerekmektedir.
- Merkez ofisten müşteri temsilcilerine çağrı bildirilene kadar arızasını giderdikleri müşteride kalmaları gerekmektedir.
- Arıza tipine göre, merkez ofisten verilen karar doğrultusunda, bildirilen bir sonraki müşteri lokasyonuna yol almaları gerekmektedir.
- Arızanın giderilmesi için müşteride geçirecekleri süre lognormal dağılıma uygun olarak arıza tipine göre değişim göstermektedir.
- Yukarıda belirtilen tüm faktörlerin zaman eğrisine bağlı olarak, birim zaman göz önüne alınarak yapılmasının gerekmesi, modellemeyi zorlaştırmaktadır.
- Yukarıda belirtilen faktörler göz önünde bulundurularak, müşteri temsilcisinin yolda geçirdiği toplam süre ve arıza giderimi için harcanan toplam sürenin minimizasyonuna çalışılmaktadır. Çizelge 7.1’de belirtilmiş diğer faktörlerin de maliyet oluşturduğu düşünülürse, bu faktörler matematiksel modele yansıtamamıştır.
- Problem için oluşturulan çağrıların ataması sadece tek bir gün için gerçekleştirilmiş ve gün sonunda atanamayan çağrılar bir sonraki koşuma dâhil edilmemiştir.

Çizelge 7.1 FIFO algoritmasında kullanılan çağrı geliş ve tamir süresi frekansları
(50 koordinat için)

<u>Çağrı 1</u>	<u>Sn</u>
Ortalama Hizmet Süresi	300
Hizmet Süresi Standart Sapması	30
Ortalama Çağrı Geliş Frekansı	1800
Çağrı Geliş Frekansı Standart Sapması	200
Maksimum Zaman Penceresi	1000

<u>Çağrı 2</u>	<u>Sn</u>
Ortalama Hizmet Zamanı	1500
Hizmet Zamanı Standart Sapması	200
Ortalama Çağrı Geliş Frekansı	4500
Çağrı Geliş Frekansı Standart Sapması	200
Maksimum Zaman Penceresi	0

7.2 Problemin Varsayımları

- Bilişim firmasının müşterisi olan bankanın şubelerindeki bakım-onarım faaliyetlerini gerçekleştirmek amacıyla, çağrı merkezine gelen arıza kayıtlarını (çağrı) gün içerisinde çözümlenmesi gerekmektedir.
- Çözüm amacıyla araç rotalama problemi yöntemlerinden, tamirci rotalama problemi ele alınarak müşteri temsilcileri (tamirci) arızanın olduğu müşteri lokasyonuna yönlendirilmektedir.
- Bu rotalama çağrılarının oluşmaya başladığı andan itibaren dinamik bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Müşteri temsilcisi (tamirci), bir sonraki gideceği yeri bir müşteri lokasyonuna varıp oradaki arızayı giderdikten sonra öğrenmektedir.
- Müşteri temsilcisinin gelen çağrılara yönlendirilmesi için her algoritmada kendine göre bir sıralama yapılmaktadır. Bunlar, ilgili algoritmanın izahı sırasında belirtilecektir.
- Çağrı merkezine bildirilen arızalar, sınıflandırılmıştır. Firmanın banka ile yapmış olduğu anlaşma çerçevesinde, öncelikli arıza ve normal arıza olarak iki tip arıza (çağrı türü) tanımlanmıştır. Öncelikli arıza olarak adlandırılan arızanın (çağrı türü) özelliği, çağrı merkezine bildirildiği andan itibaren, firma ile gerçekleştirilmiş olan anlaşmada belirtilmiş süre içerisinde bu arızanın giderilmesi (çağrının sonuçlandırılması) anlamına gelmektedir.
- Çağrı merkezine gelen bu tip arızaların hangi dağılıma uyduğu incelendiğinde, normal dağılım özelliğine sahip olduğu görülmüştür (Ek 6). Bu dağılımlar, firmanın aylık verilerinin, Minitab Release 13 versiyonu kullanılarak incelenmesi ile elde edilmiştir.

- Çağrılarının müşteri lokasyonunda giderilmesi için gerçekleştirilen tamir faaliyetlerinin süresinin ise lognormal dağılıma uyduğu görülmüştür (Ek 7). Bu dağılımlar, firmanın aylık verilerinin, Minitab Release 13 versiyonu kullanılarak incelenmesi ile elde edilmiştir.
- Geliştirilen üç algoritmanın çözümlerinde, farklı müşteri temsilcisi (tamirci) sayısına göre alternatif sonuçlar elde edilmiştir. Bakım-onarım faaliyetleri için kullanılan elemanların her iki türdeki arıza (çağrı) tipini çözümleyebildiği varsayılmıştır.
- Tamircilerin şehirler arasında, 50 km/saat hızla hareket ettikleri varsayılmıştır.
- Tamirciler, bir sonraki çağrı lokasyonu onlara bildirilinceye kadar, bir önceki lokasyonda bekledikleri varsayılmıştır.
- Yukarıda belirtilen arıza tipleri ve farklı müşteri temsilcisi sayılarına göre geliştirilen sezgisel yöntemlerin performansı karşılaştırılmıştır.

7.3 Modelleme Zorlukları

Problemin dinamik yapısı nedeniyle, analitik model ile ifade edilmeye müsait değildir. Modelleme aşamasında karşılaşılan zorluklar aşağıda belirtilmiştir.

- Tamircilerin başlangıç noktası olarak alınan ofisten çağrılar oluşukça yola çıkmaları gerekmektedir.
- Merkez ofisten tamircilere çağrı bildirilene kadar arızasını giderdikleri müşteride kalmaları gerekmektedir.
- Arıza tipine göre, merkez ofisten verilen karar doğrultusunda, bildirilen bir sonraki müşteri lokasyonuna yol almaları gerekmektedir.
- Problemdeki tamirci atamalarının zaman içerisinde dinamik olması ve sürekli değişim, modelin karşılaştığı en önemli zorluklardan biridir.

7.4 Amaç Fonksiyonu

Yukarıda tanımlı yapılam probleme geliştirilen model sonucunda aşağıda formülize edilmiş olan toplam maliyet minimize edilmeye çalışılmaktadır. Geliştirilen sezgisel yöntemler ile edilen sonuçlar, belirli performans ölçütleri elde etmek için kullanılmaktadır. Bu performans ölçütleri çağrı 1 için toplam gecikme süresi, karşılanamayan çağrı 1 sayısı, karşılanamayan

çağrı 2 sayısı, yolda ve tamirde geçen süre toplamı, tamircinin boşta bekleme süresidir. Bu performans ölçütleri belirlendikten sonra her biri kendisi için belirlenmiş olan maliyet katsayıları ile çarpılarak toplam maliyet elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}
 \text{Toplam Maliyet} = & \text{Gecikme Süresi (Çağrı 1)}(sn) * \text{Gecikme maliyeti (Çağrı 1) (YTL)} + \\
 & \text{Karşılanamayan Çağrı 1 sayısı (adet)} * \text{Ceza maliyeti (Çağrı 1) (YTL)} + \\
 & \text{Karşılanamayan Çağrı 2 sayısı(adet)} * \text{Ceza maliyeti (Çağrı 2) (YTL)} + \\
 & \text{Yolda geçen süre}(sn) + \text{Tamir süresi}(sn) * \text{Yolda geçen süre maliyeti(YTL)} + \\
 & \text{Tamircinin Boşta Bekleme Süresi (sn)} * \text{Boşta Bekleme Maliyeti (YTL)} \quad (7.1)
 \end{aligned}$$

7.5 Problemin Karmaşıklığını Göstermek Üzere Sayısal Bir Örnek

Yukarıda tanımlı yapılam problem ve ilgili varsayımlarının analitik bir modele taşınması mümkün olmamıştır. Ele alınan problemin zorluğunu belirtmek amacıyla, problemin bazı kısıtlarını yansıtabilen küçük bir analitik model oluşturulmuştur. Buna göre, toplam yolda geçen süreyi ve tamir süresini minimize etmeye çalışan bir model Formül 7.1’de verilmiştir.

Bu formülde k elemanla, i adet şehirden gelebilecek, p tipli problemlerin m döneminde çözümlenmesi sonucunda oluşan tamir ve yolda geçen sürelerin minimizasyonu sağlanmaya çalışılmıştır.

$$\min z = \sum_{m=1}^t \sum_{i=1}^a \sum_{p=1}^e \sum_{k=1}^c X_{mipk} + \sum_{m=1}^t \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c Y_{mijk} \quad (7.2)$$

7.5.1 Karar Değişkeni ve Parametreler

Formül 7.1’de kullanılan karar değişkenleri X_{mipk} ; m anında i lokasyonunda p tipli problemi k elemanı ile çözüme değişkeni ve Y_{mijk} ; m anında i lokasyonundan j lokasyonuna giden k elemanı değişkenidir. Burada oluşturulan modelde bu iki değişken (0,1) değerleri almaktadır. Burada dönem, bir birim ile gösterilmiştir.

$$\mathbf{m}: \text{dönem} \quad (m=1, 2, \dots, t) \quad (7.3)$$

$$\mathbf{i \text{ ve } j}: \text{lokasyon} \quad (i=1, 2, \dots, a) \quad (j=1, 2, \dots, b) \quad (7.4)$$

$$\mathbf{p}: \text{problem tipi} \quad (p=1, 2, \dots, e) \quad (7.5)$$

$$\mathbf{k}: \text{servis elemanı (tamirci)} \quad (k=1, 2, \dots, c) \quad (7.6)$$

7.5.2 Sayısal Örnek

Bu örnekte, 4 birim zaman içerisinde 3 farklı müşteri lokasyonundan gelen arıza çağrısı, 2 tip arıza tipi ve 2 müşteri temsilcisi (tamirci) olduğu varsayılmıştır.

Buna göre oluşturulan ilgili model Formül 7.7’de verilmiştir. Talebin geldiği dönem Formül 7.8 ile 7.11’de belirtilmiştir. Örnekte, p iki problem tipini göstermektedir. Buna göre Formül 7.8’de 2. dönemde, 1. şehirden, 2 nolu problem tipine hangi elemanın gönderileceğini göstermektedir. Formül (7.9 ise Formül 7.8’de gelen talebin birsonraki dönem yani 3. dönemde de devam edeceğini göstermektedir. Bir sonraki talep Formül 7.10’da verilmiştir. 2. dönemde, 2 nolu şehirden 2 nolu probleme hangi elemanın atanacağı göstermektedir. Bu talep bir birim zamanı kapsamaktadır. Çünkü ilk talepteki gibi ikinci bir kısıt devamı yoktur. Bu sayısal örneğin son talep kısıtı Formül 7.11 ile gösterilmiştir. 4. dönemde oluşan ve bir dönem süren, 3. nolu şehirde, 1 nolu problemin oluştuğunu gösteren bir kısıttır.

Problemin dinamik olması, modele zaman eğrisinin girmesine sebep olmuştur. Burada m zaman kavramını göstermeye çalışmaktadır. Bir sonraki kısıt olan talep noktalarına eleman gönderilmesinde, dikkat edilmesi gereken unsur, problemin 4 zaman birimini kapsadığıdır. Bir önceki talep kısıtında, her talebin zamanı ve ne kadar sürdüğü belirtilmiştir. Oluşturulan basit örnekte, elemanların şehirlerarasında 1 birim zamanda seyahat edebildiği varsayılmıştır. Buna göre 2. dönemde oluşacak taleplere vaktinde ulaşabilmek amacıyla, tamircilerin başlangıç noktasından sıfır anında yola çıkmaları ve 1 anında yolda olmaları gerekmektedir. Benzer şekilde, 4. zaman biriminde oluşan probleme ulaşabilmek için tamircilerin 3. zaman biriminde yolda olması gerekmektedir. Yolda olma kısıtları Formül 7.12, 7.13 ve 7.14’de gösterilmiştir.

2. dönemde 1 nolu şehirden gelen çağrının 3. dönemde de devam edeceği 7.8 ve 7.9’da gösterilmişti. Elemanın aynı şehirde aynı üzerinde çalışmaya devam etmesini sağlamak üzere, Formül 7.15 ile 7.20 kısıtlarına ihtiyaç vardır.

Problemin Lingo programında çözümü için Formül 7.21 ile 7.22 arasındaki kısıtlar, binary ve negatif olmama kısıtı olarak belirtilmiştir. İlgili model ve sonuçları aşağıda ve Şekil 7.1’de verilmiştir. Buna göre;

!amaç fonksiyonu;

$$\min = X_{2121} + X_{2122} + X_{2211} + X_{2212} + X_{3121} + X_{4311} + X_{4312} + Y_{1011} + Y_{1012} + Y_{1021} + Y_{1022} + Y_{3131} + Y_{3132} + Y_{3231} + Y_{3232}; \quad (7.7)$$

!talep (dönemi, lokasyonu ve süresi);

$$X2121+X2122=1; \quad (7.8)$$

$$X3121+X3122=1; \quad (7.9)$$

$$X2211+X2212=1; \quad (7.10)$$

$$X4311+X4312=1; \quad (7.11)$$

!talep noktasına bir önceki dönem eleman gönderilmesi;

$$Y1011+Y1012=1; \quad (7.12)$$

$$Y1021+Y1022=1; \quad (7.13)$$

$$Y3231+Y3232=1; \quad (7.14)$$

!bir önceki dönem vardığı şehirde bir sonraki dönem çalışması;

$$Y1011=X2111+X2121; \quad (7.15)$$

$$Y1021=X2211+X2221; \quad (7.16)$$

$$Y1012=X2112+X2122; \quad (7.17)$$

$$Y1022=X2212+X2222; \quad (7.18)$$

$$Y3231=X4311+X4321; \quad (7.19)$$

$$Y3232=X4312+X4322; \quad (7.20)$$

!binary değişkenler kısıtı;

$$\begin{aligned} &@BIN(X2121); @BIN(X2122); @BIN(X3121); @BIN(X3122); @BIN(X2211); \\ &@BIN(X2212); @BIN(X4311); @BIN(X3412); @BIN(Y1011); @BIN(Y1012); \\ &@BIN(Y1021); @BIN(Y1022); @BIN(Y3131); @BIN(Y3132); @BIN(Y3231); \\ &@BIN(Y3232); @BIN(X4311); @BIN(X4312); @BIN(X4311); @BIN(X4312); \end{aligned} \quad (7.21)$$

!negatif olmama kısıtı;

$$\begin{aligned} &X2121 \geq 0; X2122 \geq 0; X3121 \geq 0; X3122 \geq 0; X2211 \geq 0; \\ &X2212 \geq 0; X4311 \geq 0; X3412 \geq 0; Y1011 \geq 0; Y1012 \geq 0; \\ &Y1021 \geq 0; Y1022 \geq 0; Y3131 \geq 0; Y3132 \geq 0; Y3231 \geq 0; \\ &Y3232 \geq 0; X4311 \geq 0; X4312 \geq 0; X4311 \geq 0; \end{aligned} \quad (7.22)$$

End;

Yukarıdaki modelin lingo'da çözüm sonucu Şekil 7.1'de verilmiştir. Buna göre talep gelmiş olan X2122 ve X3122, X2212 ve X4312 tamir sürelerini ve Y1012, Y1022 ve Y3232 yolda geçen süreleri göstermektedir. Her bir atama bir birimi gösterdiği için toplam tamir ve yolda geçen süre 8 birim zaman olarak sonuçlanmıştır.

Global optimal solution found.	
Objective value:	8.000000
Extended solver steps:	0
Total solver iterations:	0
Variable	Value
X2121	0.000000
X2122	1.000000
X2211	0.000000
X2212	1.000000
X3121	0.000000
X3122	1.000000
X4311	0.000000
X4312	1.000000
Y1011	0.000000
Y1012	1.000000
Y1021	0.000000
Y1022	1.000000
Y3131	0.000000
Y3132	0.000000
Y3231	0.000000
Y3232	1.000000
X2111	0.000000
X2221	0.000000
X2112	0.000000
X2222	0.000000
X4321	0.000000
X4322	0.000000

Şekil 7.1 Sayısal örnek Lingo çözüm sonucu

Oluşturulan bu basit problem, 2 problem tipli, 2 tamircili olarak ele alınmıştır ve incelediğimiz problemin varsayım ve kısıtlarının geleneksel model ile ifade edilemeyeceğini göstermek üzere oluşturulmuştur. Problemin zorluğunu yansıtan faktörlerin en önemlisi m dönem kavramının bir birimlik zaman ile ifade edilmiş olmasıdır. Yolda geçen zamanın farklı şehirler için farklı birim süreler olması durumunda veya tamir sürelerinin değişmesi durumunda modellemek mümkün olmamaktadır.

7.6 Sezgisel Yöntem Olarak Genetik Algoritmanın Seçilmesi

Metasezgiseller, orijinal tanımına göre, çözüm uzayını araştırmaya yönelik sezgisel bir strateji belirleyen genel bir arama yapısıdır. Yunanca meta- yüksek seviyede ve heuristic- arama anlamındaki kelimelerden oluşmaktadır. Bir metasezgisel, farklı tipteki problemleri göreceli olarak minimum değişikliklerle ele alıp çözmeye imkân tanır. Bu yapı, karmaşık çözüm uzaylarında lokal optimumdan kaçma stratejilerini kapsadığı gibi, yerel değişiklikler ile mevcut çözümün başka çözümlere dönüştürülmesi stratejilerini de içerir. Metasezgiseller 1980'lerde ortaya çıkmış ve araştırmacılar tarafından ilgi görmüştür. Öncesinde, bazı karmaşık problemlerin çözümü için özel sezgisel yapılar oluşturulmuştur. Günümüzde metasezgiseller, karmaşık, iyi tanımlanamamış, iç içe geçmiş yapıdaki problemlerin çözümünde seçim metodu olarak kullanılmaktadır. Mevcut bir metasezgiselin, ele alınan probleme uyarlanması, sil baştan yaratılmasından daha kolay olacaktır. Ayrıca, iyi bir metasezgisel uygulaması, kabul edilebilir hesaplama süreleri dâhilinde, optimale yakın sonuçlar bulunmasıdır. Güçlü bilgisayar sistemleri ve paralel platformlarda metasezgiseller, zor cevap zamanı gereksinimi olan gerçek zamanlı problemlere bile uygulanabilmektedir.

Evrimsel algoritmalar, metasezgisellerin alt grubudur. Evrimsel algoritmalar, doğal seleksiyona dayalı evrim teorisini baz almaktadır. Bir çözüm popülasyonu korunmakta ve evrim geçirmesine izin verilmektedir. Evrimsel algoritmalar, üç tipte incelenebilir; i) genetik algoritmalar, ii) evrimsel programlama, iii) evrimsel stratejiler. Bu iç tipin arkasındaki temel düşünce aynıdır. Basit bir evrimsel algoritmanın yapısı aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- 1) başlangıç çözüm popülasyonunun oluşturulması,
- 2) iki ebeveyn çözümün popülasyondan seçilmesi,
- 3) yeni çözümün oluşturulması için operatörlerin seçilmesi,
- 4) yeni çözüm popülasyondaki en kötü üyeden daha iyi ise, yeni çözümün, kötü üye ile değiştirilmesi,
- 5) bu döngünün bitiş ölçütü sağlanana kadar tekrar edilmesi.

Genetik algoritmalar, doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer bir şekilde çalışan arama ve eniyileme yöntemidir. Karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre bütünsel en iyi çözümü arar. Genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Çözüm kümesindeki çözümler birbirinden tamamen bağımsızdır. Her biri çok boyutlu uzay üzerinde bir vektördür.

Genetik algoritmalar problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Diğer eniyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme genetik algoritma terminolojisinde nüfus adını alır. Nüfuslar vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Nüfustaki bireyler evrimsel süreç içinde genetik algoritma işlemcileri tarafından belirlenirler.

Problemin bireyler içindeki gösterimi problemden probleme değişiklik gösterir. Genetik algoritmaların problemin çözümündeki başarısına karar vermedeki en önemli faktör, problemin çözümünü temsil eden bireylerin gösterimidir. Nüfus içindeki her bireyin problem için çözüm olup olmayacağına karar veren bir uygunluk fonksiyonu vardır. Uygunluk fonksiyonundan dönen değere göre yüksek değere sahip olan bireylere, nüfustaki diğer bireyler ile çoğalmaları için fırsat verilir. Bu bireyler çaprazlama işlemi sonunda çocuk adı verilen yeni bireyler üretirler. Çocuk kendisini meydana getiren ebeveynlerin (anne, baba) özelliklerini taşır. Yeni bireyler üretilirken düşük uygunluk değerine sahip bireyler daha az seçileceğinden bu bireyler bir süre sonra nüfus dışında bırakılırlar. Yeni nüfus, bir önceki nüfusta yer alan uygunluğu yüksek bireylerin bir araya gelip çoğalmalarıyla oluşur. Aynı zamanda bu nüfus önceki nüfusun uygunluğu yüksek bireylerinin sahip olduğu özelliklerin büyük bir kısmını içerir. Böylelikle, pek çok nesil aracılığıyla iyi özellikler nüfus içersinde yayılırlar ve genetik işlemler aracılığıyla da diğer iyi özelliklerle birleşirler. Uygunluk değeri yüksek olan ne kadar çok birey bir araya gelip, yeni bireyler oluştursa arama uzayı içerisinde o kadar iyi bir çalışma alanı elde edilir.

Genetik algoritmalar, diğer eniyileme yöntemleri kullanılırken büyük zorluklarla karşılaşılın, oldukça büyük arama uzayına sahip problemlerin çözümünde başarı göstermektedir. Bir problemin bütünsel en iyi çözümünü bulmak için garanti vermezler. Ancak problemlere makul bir süre içinde, kabul edilebilir, iyi çözümler bulurlar. Genetik algoritmaların asıl amacı, hiçbir çözüm tekniği bulunmayan problemlere çözüm aramaktır. Kendilerine has çözüm teknikleri olan özel problemlerin çözümü için mutlak sonucun hızı ve kesinliği açısından genetik algoritmalar kullanılmazlar. Genetik algoritmalar ancak;

- Arama uzayının büyük ve karmaşık olduğu,
- Mevcut bilgiyle sınırlı arama uzayında çözümün zor olduğu,
- Problemin belirli bir matematiksel modelle ifade edilemediği,

- Geleneksel eniyileme yöntemlerinden istenen sonucun alınmadığı alanlarda etkili ve kullanışlıdır.

Genetik algoritmalar parametre ve sistem tanılama, kontrol sistemleri, robot uygulamaları, görüntü ve ses tanıma, mühendislik tasarımları, planlama, yapay zekâ uygulamaları, uzman sistemler, fonksiyon ve kombinasyonel eniyileme problemleri ağ tasarım problemleri, yol bulma problemleri, sosyal ve ekonomik planlama problemleri için diğer en iyileme yöntemlerinin yanında başarılı sonuçlar vermektedir.

Genetik algoritmaların diğer yöntemlerden farklılığı aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Genetik algoritmalar problemlerin çözümünü parametrelerin değerleriyle değil, kodlarıyla arar. Parametreler kodlanabildiği sürece çözüm üretilebilir. Bu sebeple genetik algoritmalar ne yaptığı konusunda bilgi içermez, nasıl yaptığını bilir.
- Genetik algoritmalar aramaya tek bir noktadan değil, noktalar kümesinden başlar. Bu nedenle çoğunlukla yerel en iyi çözümde sıkışıp kalmazlar.
- Genetik algoritmalar türev yerine uygunluk fonksiyonunun değerini kullanır. Bu değerın kullanılması ayrıca yardımcı bir bilginin kullanılmasını gerektirmez.
- Genetik algoritmalar gerekirci kuralları değil olasılıksal kuralları kullanır.

Bu çalışmada kullanılan Genetik algoritma mantığı bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

8. ÖNERİLEN MODELİN ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN SEZGİSELLER

Yukarıdaki varsayımlar ve ölçütler doğrultusunda üç algoritma geliştirilmiş ve bunların performansları incelenmiştir. İlk gelen ilk servis alır (FIFO), en yakın komşuluk araması (NN) ve Genetik Algoritma (GA) seziselleri için, 100*100 kartezyen koordinat sisteminde 50 rassal koordinat belirlenmiştir (Çizelge 7.1). Bilişim firmasına gelen çağrılar analiz edildiğinde, çağrıları normal dağılıma uyduğu gözlenmiştir. Modelde rassal olarak oluşturulacak çağrılarda normal dağılıma göre oluşturulmuştur. Müşteri temsilcisinin, biri öncelikli olmak üzere iki tip çağrıyı çözümlemesi gerekmektedir. Çağrılar ve çağrı tipleri, belirtilen dağılımlara uygun olarak, bilgisayar programı tarafından, her çalıştırmada yeniden rassal olarak oluşturulmuştur.

İlgili kısıtlar altında kaç müşteri temsilcisi kullanıldığında maliyet optimizasyonu sağlandığı gözlenmiştir. Uygulama 1 ile 15 müşteri temsilcisi (tamirci) sayıları için tekrarlanmıştır. 8 ve 15 müşteri temsilcisi (tamirci) sayısı kullanılarak elde edilen sonuçların, kırılma noktası oluşturduğu görülmüştür. 8 müşteri temsilcisinden (tamirci) daha az sayı kullanıldığı ölçümlerde, çağrı karşılama oranlarının istenenden hayli düşük sonuçlandığı görülmüştür. Ayrıca çözüm sonuçlarında 12 müşteri temsilcisinden (tamirci) sonraki sayılarda, çağrı karşılama oranları ve toplam maliyet konusunda çok cüzi bir iyileşme görülmektedir. Bu nedenle ilgili çözümler verilirken 8 ile 15 müşteri temsilcisine (tamirci) ait sonuçlar üzerinden performansların ve maliyetlerin nasıl değiştiği gösterilmiştir.

8.1 İlk Gelen İlk Servis Alır (FIFO) Sezgiseli

Gelen çağrılar, FIFO sezgiselinde, çağrı merkezine geliş sırasına göre müşteri temsilcilerine yönlendirilmektedir. Gelen çağrılar arasında öncelikli çağrı tipi varsa, sırada bekleyen diğer çağrı tipleri askıya alınıp, müşteri temsilcisi (tamirci) öncelikli çağrıya gönderilmektedir.

Çağrılar, Çizelge 7.1’de verilen veriler doğrultusunda bilgisayar programı tarafından, rassal olarak üretilmişlerdir. Çağrıların normal dağılım özelliği gösterdiği göz önüne alınmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi, öncelikli çağrılar ve normal çağrılar olmak üzere iki tip çağrı oluşturulmaktadır. Öncelikli çağrı tipi olan çağrı 1, zaman penceresi kısıtına sahiptir. Yani çağrı 1’in oluştuğu andan itibaren 1000 saniye içerisinde çözülmesi gerekmektedir. Çağrı 1’in oluşma frekansı 1800 saniyede birdir. Standart sapması ise 200 saniyedir. Çağrı 1’in çözülme süresi yani tamir zamanı 300 saniye ve standart sapması 30 saniyedir. Zaman penceresi olmayan ve normal çağrı tipi olan, çağrı 2’nin oluşma frekansı ise 4500 saniye,

standart sapması 200 saniyedir. Çağrı 2'nin çözülme süresi yani tamir zamanı 1500 saniye, standart sapması 200 saniyedir. İlgili değerler Çizelge 7.1 de gösterilmiştir. Çağrılar oluşturulması ile ilgili yapı Çizelge 8.1'de verilmiştir. Bu verilere dayanarak programın rassal olarak oluşturduğu çağrılar ve çağrılar hangi lokasyondan geldiği Çizelge 8.2'de gösterilmiştir. Rassal olarak oluşan çağrı lokasyonları ve tamircilerin rotalama sonucu Şekil 8.2 ve Şekil 8.3'de gösterilmiştir. Gelen çağrılar müşteri temsilcilerine (tamirci) atanması Çizelge 8.3'te gösterilmiştir. İlk sezgisel olan FIFO sezgiselinde, müşteri temsilcileri öncelikli çağrı olmadığı sürece ilk oluşan çağrıya yönlendirilmektedir. Öncelikli çağrının olduğu durumda zaman penceresi kısıtını ihlal etmeyecek şekilde sıralama yaparak müşteri temsilcilerini (tamirci) yönlendirmektedir. FIFO sezgiseli akış şeması Şekil 8.1'de verilmiştir. Çizelge 8.3'te ayrıca her bir çağrının müşteri temsilcisine atanana kadar ne kadar beklediği görülmektedir. Çizelge 8.4'te müşteri temsilcilerinin (tamirci) atandıkları müşteri lokasyonuna ne zaman vardıkları ve tamir süresinin ne zaman bittiği bilgisi görülmektedir. Müşteri temsilcisinin hangi çağrı tipine atandığı ve bu çağrının hangi lokasyondan geldiği bilgisi Çizelge 8.3'ten, çağrının geldiği noktaya varış ve buradaki tamirin bitiş zamanı ise Çizelge 8.4'ten takip edilebilmektedir.

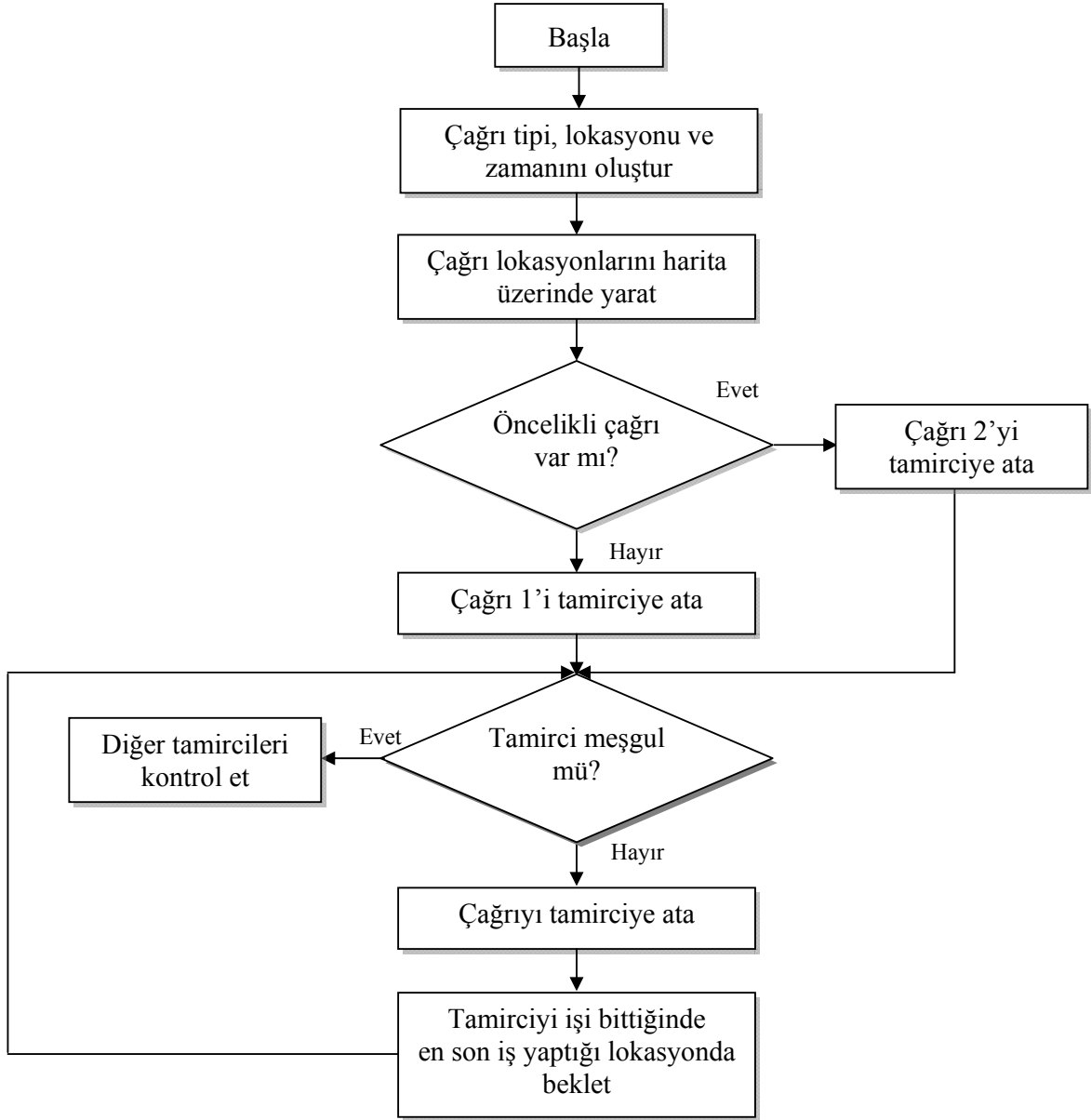
Çizelge 8.1 Çağrı oluşturma yapısı

ServiceGenerator.java:

```
for each serviceTypes [ ]
start
create serviceType
end for each
```

ServiceType.java:

```
repaint the map
while (time>8:00 AND time<18:00)
start
if (a new service call can be created)
start
create a service call request
sleep for a frequency period time
repaint the map
continue
endif
sleep for one second
end while
```



Şekil 8.1 FIFO sezgiseli akış şeması

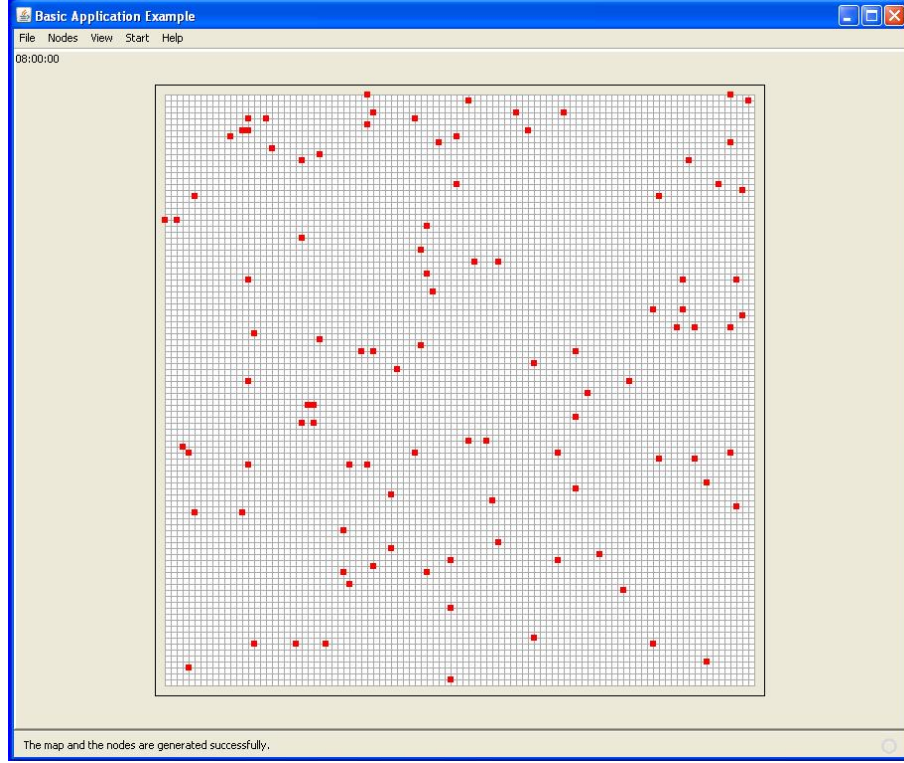
Çizelge 8.2 Çağrılar ve müşteri lokasyonlarının rassal olarak oluşması örneği
(FIFO sezgiseli 50 koordinat için- 1 koşum)

Saat	Çağrı Tipi				Koordinat	
					x	y
08:00:54	Çağrı2	request	from	node	61	3
08:01:18	Çağrı1	request	from	node	96	53
08:10:48	Çağrı2	request	from	node	88	29
08:20:18	Çağrı2	request	from	node	28	72
08:29:56	Çağrı2	request	from	node	67	1
08:39:50	Çağrı2	request	from	node	48	88
08:49:44	Çağrı2	request	from	node	6	14
08:52:28	Çağrı1	request	from	node	65	74
09:01:19	Çağrı2	request	from	node	87	23
09:11:05	Çağrı2	request	from	node	0	26
09:21:46	Çağrı2	request	from	node	66	58
09:31:24	Çağrı2	request	from	node	2	49
09:41:41	Çağrı2	request	from	node	68	51
09:43:15	Çağrı1	request	from	node	29	5
09:51:35	Çağrı2	request	from	node	43	3
10:01:13	Çağrı2	request	from	node	74	14
10:10:36	Çağrı2	request	from	node	45	36
10:20:29	Çağrı2	request	from	node	7	91
10:30:39	Çağrı1	request	from	node	44	2
10:30:39	Çağrı2	request	from	node	1	74
10:40:09	Çağrı2	request	from	node	27	93
10:50:26	Çağrı2	request	from	node	22	93
11:00:04	Çağrı2	request	from	node	87	23
11:10:06	Çağrı2	request	from	node	28	72
11:20:23	Çağrı2	request	from	node	29	5
11:21:41	Çağrı1	request	from	node	28	29
11:30:40	Çağrı2	request	from	node	34	21
11:40:50	Çağrı2	request	from	node	61	3
11:50:28	Çağrı2	request	from	node	89	96
12:00:21	Çağrı2	request	from	node	83	23
12:10:31	Çağrı2	request	from	node	0	26
12:10:39	Çağrı1	request	from	node	9	26
12:20:17	Çağrı2	request	from	node	96	53
12:30:26	Çağrı2	request	from	node	43	3
12:40:28	Çağrı2	request	from	node	14	91
12:50:14	Çağrı2	request	from	node	31	95
13:00:07	Çağrı2	request	from	node	27	93
13:01:10	Çağrı1	request	from	node	18	56
13:09:38	Çağrı2	request	from	node	65	74
13:19:31	Çağrı2	request	from	node	93	8
13:30:12	Çağrı2	request	from	node	82	5
13:39:50	Çağrı2	request	from	node	61	3

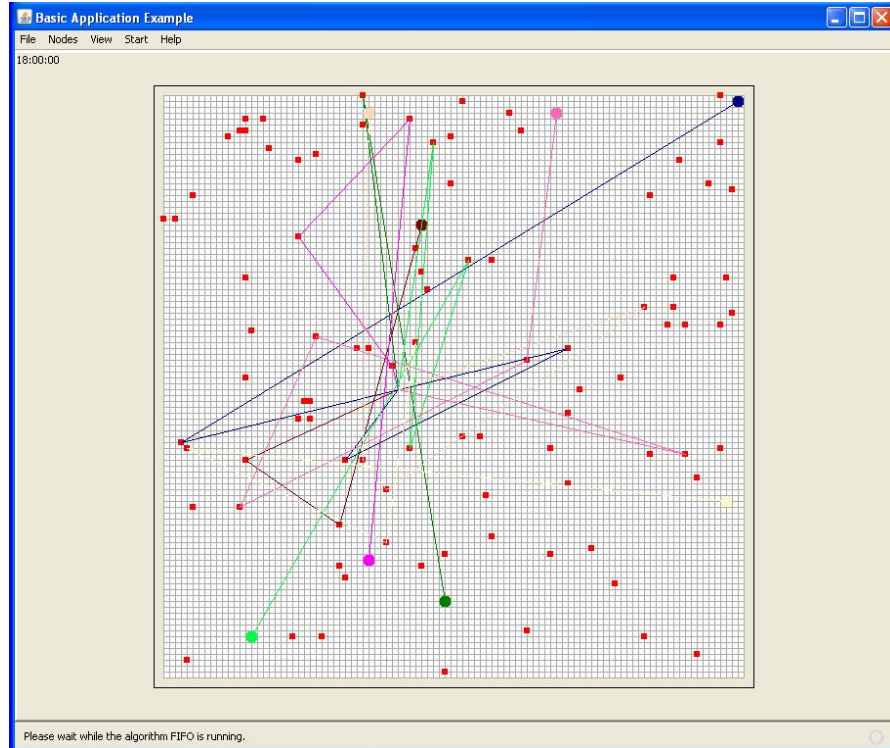
Çizelge 8.2 Çağrılar ve müşteri lokasyonlarının rassal olarak oluşması örneği

(FIFO sezgiseli 50 koordinat için- 1 koşum) (devamı)

Saat	Çağrı Tipi					Koordinat	
						x	y
13:49:28	Çağrı2	request	from	node		34	21
13:49:52	Çağrı1	request	from	node		6	45
13:59:14	Çağrı2	request	from	node		45	36
14:08:29	Çağrı2	request	from	node		1	74
14:17:51	Çağrı2	request	from	node		16	78
14:27:53	Çağrı2	request	from	node		74	2
14:38:02	Çağrı2	request	from	node		18	56
14:38:10	Çağrı1	request	from	node		31	95
14:47:41	Çağrı2	request	from	node		44	2
14:57:34	Çağrı2	request	from	node		67	1
15:06:57	Çağrı2	request	from	node		89	96
15:16:35	Çağrı2	request	from	node		0	33
15:26:13	Çağrı2	request	from	node		66	58
15:29:44	Çağrı1	request	from	node		88	29
15:35:28	Çağrı2	request	from	node		77	78
15:45:37	Çağrı2	request	from	node		82	5
15:55:46	Çağrı2	request	from	node		77	11
16:05:48	Çağrı2	request	from	node		87	23
16:15:50	Çağrı2	request	from	node		2	49
16:17:47	Çağrı1	request	from	node		42	99
16:25:59	Çağrı2	request	from	node		48	88
16:36:32	Çağrı2	request	from	node		6	45
16:46:26	Çağrı2	request	from	node		30	99
16:56:51	Çağrı2	request	from	node		88	29
17:06:29	Çağrı2	request	from	node		22	93
17:08:10	Çağrı1	request	from	node		74	14
17:16:22	Çağrı2	request	from	node		66	58
17:25:45	Çağrı2	request	from	node		1	74
17:35:46	Çağrı2	request	from	node		82	2
17:45:32	Çağrı2	request	from	node		45	36
17:55:34	Çağrı2	request	from	node		18	56
17:58:26	Çağrı1	request	from	node		67	51



Şekil 8.2 FIFO sezgiselinde rassal olarak oluşturulmuş 50 lokasyonun haritası



Şekil 8.3 FIFO sezgiseli tamirci rotalaması (8 tamirci için)

Çizelge 8.3 Gelen çağrıların müşteri temsilcilerine (tamirci) atanması

Saat	Tamirci		Çağrı tipi		(x,y) koordinatı							atanana kadar bekleme süresi	
08:00:54	Consultant12	selected	Çağrı2	at	node	61,3	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
08:10:48	Consultant8	selected	Çağrı1	at	node	96,53	which	is	waited	in	queue	for	570,5 secs.
08:10:48	Consultant2	selected	Çağrı2	at	node	88,29	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
08:20:18	Consultant1	selected	Çağrı2	at	node	28,72	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
08:30:04	Consultant6	selected	Çağrı2	at	node	67,01	which	is	waited	in	queue	for	8 secs.
08:39:50	Consultant10	selected	Çağrı2	at	node	48,88	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
08:49:44	Consultant4	selected	Çağrı2	at	node	6,14	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
09:01:19	Consultant5	selected	Çağrı1	at	node	65,74	which	is	waited	in	queue	for	531 secs.
09:01:19	Consultant9	selected	Çağrı2	at	node	87,23	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
09:11:05	Consultant3	selected	Çağrı2	at	node	0,26	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
09:21:54	Consultant8	selected	Çağrı2	at	node	66,58	which	is	waited	in	queue	for	8 secs.
09:31:24	Consultant7	selected	Çağrı2	at	node	2,49	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
09:41:41	Consultant11	selected	Çağrı2	at	node	68,51	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
09:51:35	Consultant12	selected	Çağrı1	at	node	29,5	which	is	waited	in	queue	for	500 secs.
09:51:35	Consultant2	selected	Çağrı2	at	node	43,3	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
10:01:13	Consultant1	selected	Çağrı2	at	node	74,14	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
10:10:43	Consultant6	selected	Çağrı2	at	node	45,36	which	is	waited	in	queue	for	7,5 secs.
10:20:29	Consultant4	selected	Çağrı2	at	node	7,91	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
10:30:39	Consultant10	selected	Çağrı1	at	node	44,02	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
10:30:39	Consultant5	selected	Çağrı2	at	node	1,74	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
15:16:35	Consultant6	selected	Çağrı2	at	node	0,33	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
15:26:13	Consultant4	selected	Çağrı2	at	node	66,58	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
15:35:36	Consultant9	selected	Çağrı1	at	node	88,29	which	is	waited	in	queue	for	352 secs.
15:35:36	Consultant1	selected	Çağrı2	at	node	77,78	which	is	waited	in	queue	for	8 secs.
15:45:37	Consultant12	selected	Çağrı2	at	node	82,5	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
15:55:46	Consultant7	selected	Çağrı2	at	node	77,11	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
16:05:48	Consultant3	selected	Çağrı2	at	node	87,23	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
16:15:50	Consultant2	selected	Çağrı2	at	node	2,49	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
16:25:59	Consultant11	selected	Çağrı1	at	node	42,99	which	is	waited	in	queue	for	492 secs.
16:25:59	Consultant8	selected	Çağrı2	at	node	48,88	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
16:36:32	Consultant9	selected	Çağrı2	at	node	6,45	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
16:46:26	Consultant6	selected	Çağrı2	at	node	30,99	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
16:56:51	Consultant4	selected	Çağrı2	at	node	88,29	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
17:06:29	Consultant5	selected	Çağrı2	at	node	22,93	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
17:16:22	Consultant1	selected	Çağrı1	at	node	74,14	which	is	waited	in	queue	for	492 secs.
17:16:22	Consultant10	selected	Çağrı2	at	node	66,58	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
17:25:45	Consultant12	selected	Çağrı2	at	node	1,74	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
17:35:46	Consultant7	selected	Çağrı2	at	node	82,2	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
17:45:32	Consultant11	selected	Çağrı2	at	node	45,36	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.
17:55:34	Consultant2	selected	Çağrı2	at	node	18,56	which	is	waited	in	queue	for	0 secs.

Çizelge 8.4 Müşteri Temsilcilerinin (tamircilerin) varış zamanı ve tamir süreleri

08:08:59	Consultant12	is	arrived	from	0	to	61,3	took	489,44	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant12	on	road	489,44	secs.
08:21:52	Consultant2	is	arrived	from	0	to	88,29	took	667,12	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant2	on	road	667,12	secs.
08:23:57	Consultant8	is	arrived	from	0	to	96,53	took	789,54	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant8	on	road	789,54	secs.
08:29:41	Consultant1	is	arrived	from	0	to	28,72	took	556,22	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant1	on	road	556,22	secs.
08:38:01	Consultant6	is	arrived	from	0	to	67,01	took	482,45	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant6	on	road	482,45	secs.
08:51:33	Consultant4	is	arrived	from	0	to	6,14	took	109,67	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant4	on	road	109,67	secs.
08:51:57	Consultant10	is	arrived	from	0	to	48,88	took	721,73	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant10	on	road	721,73	secs.
09:12:16	Consultant9	is	arrived	from	0	to	87,23	took	647,92	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant9	on	road	647,92	secs.
09:13:10	Consultant5	is	arrived	from	0	to	65,74	took	709,15	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant5	on	road	709,15	secs.
09:13:49	Consultant8	finished	the	job	at	node	96,53	took	2.996,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant8	on	service	2.996,00	secs.
09:14:13	Consultant3	is	arrived	from	0	to	0,26	took	187,2	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant3	on	road	187,2	secs.
09:25:32	Consultant8	is	arrived	from	96,53	to	66,58	took	218,98	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant8	on	road	1.008,52	secs.
09:34:47	Consultant12	finished	the	job	at	node	61,3	took	5.140,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant12	on	service	5.140,00	secs.
09:37:16	Consultant7	is	arrived	from	0	to	2,49	took	353,09	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant7	on	road	353,09	secs.
09:45:20	Consultant2	finished	the	job	at	node	88,29	took	5.005,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant2	on	service	5.005,00	secs.
09:52:14	Consultant1	finished	the	job	at	node	28,72	took	4.942,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant1	on	service	4.942,00	secs.
09:52:14	Consultant11	is	arrived	from	0	to	68,51	took	612	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant11	on	road	612	secs.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
17:32:23	Consultant7	finished	the	job	at	node	77,11	took	5.140,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant7	on	service	23.115,00	secs.
17:35:54	Consultant12	is	arrived	from	82,5	to	1,74	took	608,26	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant12	on	road	3.207,43	secs.
17:37:05	Consultant7	is	arrived	from	77,11	to	82,2	took	74,13	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant7	on	road	1.821,89	secs.
17:40:04	Consultant3	finished	the	job	at	node	87,23	took	5.108,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant3	on	service	24.766,00	secs.
17:50:14	Consultant2	finished	the	job	at	node	2,49	took	5.094,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant2	on	service	28.161,00	secs.
17:53:06	Consultant11	is	arrived	from	42,99	to	45,36	took	454,11	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant11	on	road	2.030,53	secs.
17:57:39	Consultant2	is	arrived	from	2,49	to	18,56	took	125,74	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant2	on	road	2.882,20	secs.
18:01:49	Consultant8	finished	the	job	at	node	48,88	took	5.118,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant8	on	service	28.454,00	secs.
18:07:09	Consultant9	finished	the	job	at	node	6,45	took	4.840,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant9	on	service	28.015,00	secs.
18:14:27	Consultant1	finished	the	job	at	node	74,14	took	3.016,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant1	on	service	26.099,00	secs.
18:20:18	Consultant6	finished	the	job	at	node	30,99	took	5.081,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant6	on	service	29.947,00	secs.
18:23:34	Consultant4	finished	the	job	at	node	88,29	took	4.941,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant4	on	service	29.860,00	secs.
18:36:04	Consultant5	finished	the	job	at	node	22,93	took	4.885,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant5	on	service	25.851,00	secs.
18:48:02	Consultant10	finished	the	job	at	node	66,58	took	5.088,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant10	on	service	27.970,00	secs.
18:59:46	Consultant12	finished	the	job	at	node	1,74	took	5.029,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant12	on	service	33.377,00	secs.
19:00:25	Consultant7	finished	the	job	at	node	82,2	took	4.999,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant7	on	service	28.114,00	secs.
19:14:05	Consultant11	finished	the	job	at	node	45,36	took	4.863,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant11	on	service	26.154,00	secs.
19:19:17	Consultant2	finished	the	job	at	node	18,56	took	4.896,00	secs.	Total	time	consumed	by	Consultant2	on	service	33.057,00	secs.

FIFO sezgiseli farklı müşteri temsilcisi (tamirci) sayıları için 50'şer kere çalıştırılmıştır. Çizelge 8.5'da 8 ila 15 müşteri temsilcisi (tamirci) adetleri ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. FIFO Sezgiseli, her müşteri temsilcisi (tamirci) için 50'şer kere çalıştırılmış ve elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Sezgiselin her çalıştırmada rassal olarak oluşturduğu çağrı sayılarının ortalaması, toplam çağrı sayısı başlığı altında verilmiştir. Çağrı 1 ve çağrı 2 sayısı (ort) başlıkları, 50 çalıştırma için, her bir çağrı tipinden ortalama kaç tane üretildiğini göstermektedir. Karşılana çağrı 1 ve karşılana çağrı 2 başlıkları ise, rassal olarak oluşturulmuş bu çağrılar, ortalama kaç tanesinin müşteri temsilcileri (tamirci) tarafından çözümlenebildiğini göstermektedir. Karşılana çağrı 1 ve karşılana çağrı 2 oranları ise, bu çağrılar çözümlenme oranını göstermektedir. Karşılana çağrı sayısının, rassal olarak oluşmuş olan toplam çağrı sayısına oranı ile hesaplanmıştır (örneğin karşılana çağrı 1/ çağrı 1 sayısı (ort)). Rassal olarak oluşturulan çağrılar tümüne, mevcut müşteri temsilcisi (tamirci) sayısı ile hizmet vermek mümkün olmadığı için, gün sonunda çözümsüz çağrılar kalmaktadır. Bu çağrılar sayısı, karşılana çağrı 1 (ort) ve karşılana çağrı 2 (ort) başlığı altında belirtilmiş ve 50 koşum çalıştırma sonucunun ortalaması olarak ifade edilmiştir. Karşılana çağrı toplam çağrı sayısı başlığı altında ise, her iki çağrı tipinden toplamda çözümsüz kalan çağrı sayıları verilmiştir.

Çağrı 1'in zaman penceresi kısıtına sahip olduğu dikkate alınırsa, bu zaman penceresinin ne kadar ihlal edildiği de sezgiselin farklı müşteri temsilcisi (tamirci) sayılarına göre çalıştırılması sırasında, bizim için bir performans ölçütü olarak ortaya çıkacaktır. Sezgisel yaklaşımların esas oluşturulma amacı olan müşteri temsilcilerinin (tamirci) yolda ve tamirde geçen toplam sürelerinin ortalaması da son satırda verilmiştir. Çağrı 1 ve çağrı 2 karşılana çağrı oranlarının, 11 ve 12 müşteri temsilcisi (tamirci) kullanılan durumda, sırası ile (0,95-1,00) ve (0,97-1,00) değerlerini aldığı ve zaman penceresiz çağrılarının tümünün çözümlenebildiği görülmektedir. Zaman penceresinin ihlal edildiği toplam sürenin de eleman sayısı arttıkça azaldığı görülmektedir. 8 müşteri temsilcisi (tamirci) kullanıldığı durumda elde edilen sonuçlar, yukarıda açıklanan ve Çizelge 8.5'te gösterilen performans ölçütleri açısından, bilhassa karşılana çağrı 1 oranı ve karşılana çağrı 2 oranı açısından istenilenin çok çok altında kaldığı için bu değerler tabloda verilmemiştir. Yine tabloda 13, 14 ve 15 müşteri temsilcisi (tamirci) için elde edilen değerlerin 12 müşteri temsilcisi (tamirci) için elde edilen sonuca çok yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle, çözüm performansı ve maliyet sonucu açısından 12 müşteri temsilcisi (tamirci) sayısı en ideal çözüm olarak görülebilir.

Çizelge 8.5 FIFO sezgiselinin göre performans ölçütleri

Eleman sayısı	8	9	10	11	12	13	14	15
Toplam Çağrı Sayısı (ort.)	72,90	74,20	74,00	72,50	74,10	74,00	74,10	74,00
Çağrı 1 Sayısı (ort.)	12,70	13,00	12,90	12,70	12,90	13,00	13,10	13,00
Çağrı 2 Sayısı (ort.)	60,20	61,20	61,10	59,80	61,20	61,00	61,00	61,00
Karşılanan Çağrı 1 Sayısı (ort.)	12,30	12,80	12,30	12,10	12,50	12,70	12,80	12,80
Karşılanan Çağrı 2 Sayısı (ort.)	47,00	54,40	59,40	59,80	61,20	60,90	60,90	61,00
Karşılanan Çağrı 1 Oranı	0,97	0,98	0,95	0,95	0,97	0,98	0,98	0,98
Karşılanan Çağrı 2 Oranı	0,78	0,89	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Karşılanamayan Çağrı 1 Sayısı (ort.)	0,50	0,30	0,60	0,60	0,40	0,30	0,30	0,20
Karşılanamayan Çağrı 2 Sayısı (ort.)	13,20	6,70	1,70	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00
Karşılanamayan Toplam Çağrı Sayısı (ort.)	13,70	7,00	2,30	0,60	0,40	0,40	0,40	0,20
Çağrı 1 (öncelikli çağrı) Gecikme Süresi (sn)	452,40	383,80	286,34	174,00	120,67	115,43	114,21	112,67
Yolda Geçen Süre ve Tamir Süresi Toplamı (sn)	284.483,83	329.929,51	354.765,86	363.811,63	364.300,97	364.978,12	365.602,38	366.100,42
Tamirci Bekleme Süresi (sn)	72,90	74,20	74,00	72,50	74,10	74,00	74,10	74,00

Bu performans ölçütlerinin tek başına düşünülmemesi ve maliyet ölçütü de göz önüne alınarak incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yukarıda belirtilen ve performans ölçütü olarak adlandırabileceğimiz ölçütlerin, toplam maliyete nasıl etki ettikleri incelenmiştir. Yolda geçen sürenin ve tamir süresi toplamının maliyeti, çağrı 1 gecikme süresinin (zaman penceresini aşan toplam sürenin) yarattığı maliyet, çağrı 1 ve çağrı 2'nin karşılanamayan kısmının yarattığı maliyet ve tamirci bekleme süresi maliyeti, toplam maliyete yansıtılmıştır. Bu maliyetler, FIFO sezgisel yaklaşımının performansının incelendiği farklı müşteri temsilcisi (tamirci) sayıları için hesaplanmıştır. Hangi müşteri temsilcisi (tamirci) sayısının, optimum olduğuna karar verirken, sadece maliyet boyutunu göz önüne almak yeterli olmayacaktır. Maliyet ölçütü ile birlikte müşteri memnuniyetini en çok etkileyen ölçüt olan çağrı karşılama oranlarının da beraber göz önüne alınması gerekmektedir (Çizelge 8.6). Maliyet ölçütü ile ilgili sonuçlar Çizelge 8.7'de belirtilmiştir.

Zaman penceresi ihlali sonucunda oluşan gecikme süresi ile ilgili maliyet, gecikme süresinin %1'i olarak belirlenmiştir. Gün sonunda hizmet verilemeyen çağrı 1 ve çağrı 2 sayıları da maliyet oluşturan kalemler arasındadır. Zaman penceresi kısıtı bulunan çağrı 1 çağrılarının karşılanamayanlarının maliyeti, normal çağrı özelliğine sahip çağrı 2 çağrılarının karşılanamayanlarının maliyetinden daha yüksektir. Buna göre karşılanmayan çağrı 1'lerin maliyeti 450 ytl, karşılanamayan çağrı 2'lerin maliyeti 100 ytl olarak belirlenmiştir. Yolda geçen süre ve tamir süreleri toplamının 0,035 ytl olarak belirlenmiştir. Sırası ile 8 ile 15 müşteri temsilcisi (tamirci) toplam maliyetleri incelendiğinde, 12 müşteri temsilcisi (tamirci) çalıştırma durumunda, toplam maliyetin ve çağrı karşılama oranlarının en ideal sonucu verdiği görülmektedir. Ayrıca Çizelge 8.6'daki çağrı karşılama oranları incelendiğinde 12 müşteri ile ideal bir karşılama oranı elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 8.6 FIFO çağrı karşılama oranı

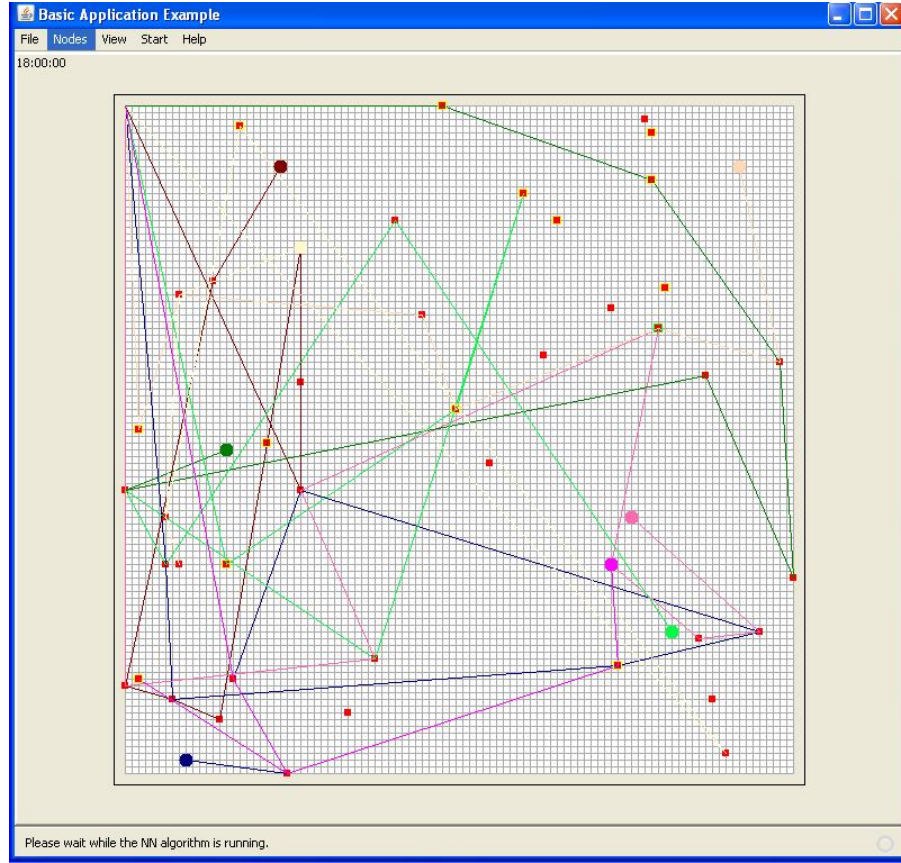
Müşteri Temsilcisi (tamirci) Sayısı	Karşılanan Çağrı 1 Oranı	Karşılanan Çağrı 2 Oranı
8	0,97	0,78
9	0,98	0,89
10	0,95	0,97
11	0,95	1,00
12	0,97	1,00
13	0,98	1,00
14	0,98	1,00
15	0,98	1,00

Çizelge 8.7 FIFO sezgisel performans ölçütlerinin maliyet sonuçları

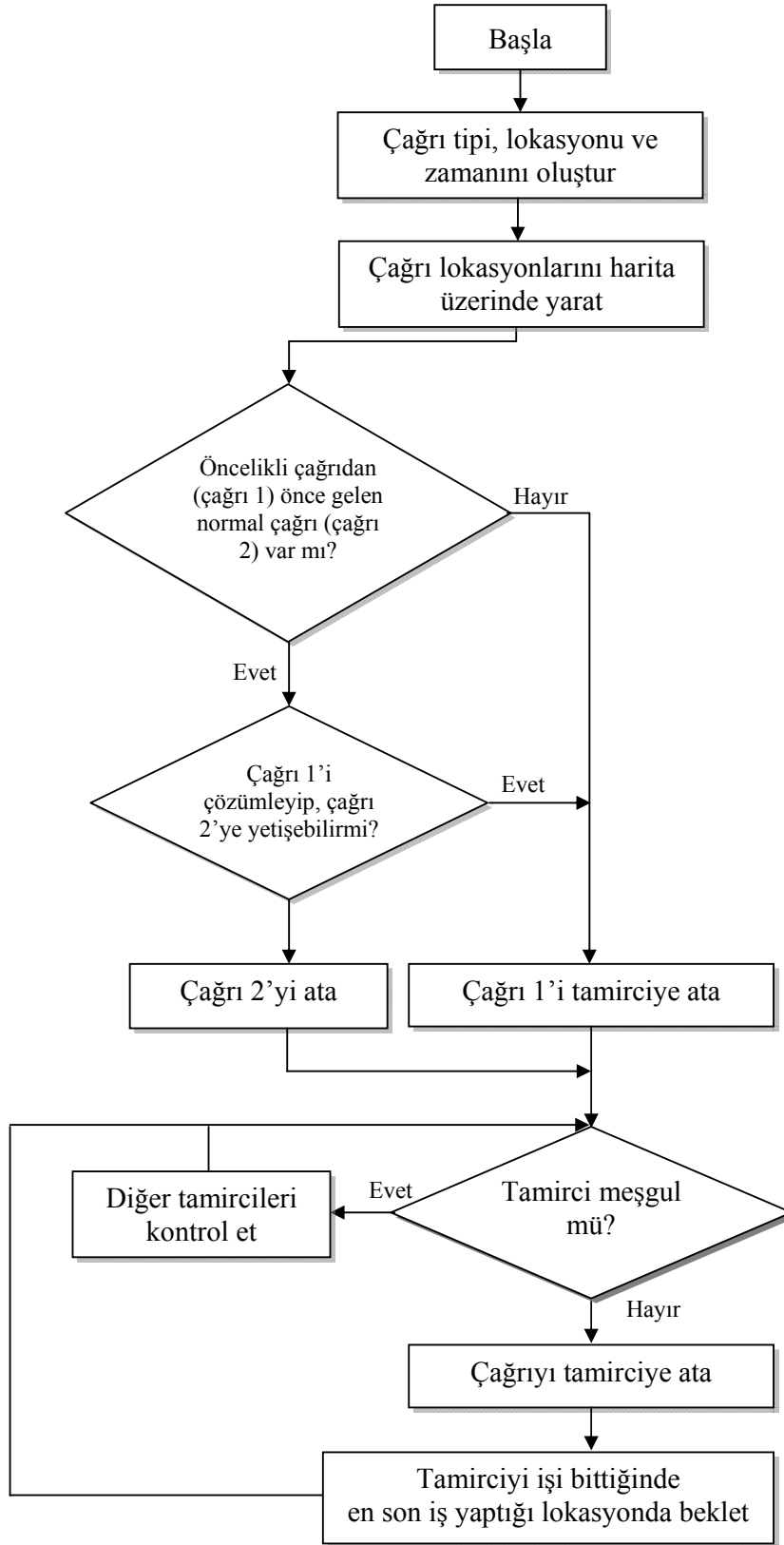
Müşteri Temsilcisi (tamirci) Sayısı (adet)	Gecikme Süresi (Çağrı1) (sn)	*	Gecikme Maliyeti (YTL)	+	Hizmet Verilemeyen Çağrı 1 Sayısı	*	Gecikme Maliyeti (YTL)	+	Hizmet Verilemeyen Çağrı 2 Sayısı	*	Gecikme Maliyeti (YTL)	+	(Yolda Geçen Süre + İşçilik Süresi) (sn)	*	Maliyet (YTL)	+	Tamirci Bekleme Süresi (sn)	*	Bekleme Maliyeti (YTL)	+	Toplam Maliyet (YTL)
8	452,40		45,24		0,50		450,00		13,20		100,00		284.483,84		0,035		0,00		0,02		31.968,51
9	383,80		38,38		0,30		450,00		6,70		100,00		329.929,51		0,035		23,00		0,02		27.083,24
10	286,34		28,63		0,60		450,00		1,70		100,00		354.765,86		0,035		1.000,00		0,02		21.075,86
11	174,00		17,40		0,60		450,00		0,00		100,00		363.811,63		0,035		23.071,00		0,02		16.492,43
12	120,67		12,07		0,40		450,00		0,00		100,00		364.300,97		0,035		51.730,00		0,02		15.421,26
13	115,43		11,54		0,30		450,00		0,10		100,00		368.422,60		0,035		52.657,00		0,02		15.425,34
14	113,67		11,37		0,30		450,00		0,10		100,00		373.766,21		0,035		52.938,00		0,02		15.577,66
15	108,29		10,83		0,20		450,00		0,00		100,00		375784,13		0,035		53.152,00		0,02		15.478,16

8.2 En Yakın Komşuluk (Nearest Neighbor-NN) Sezgiseli

Çağrı merkezine gelen çağrılar, En Yakın Komşuluk (NN) sezgiseline göre müşteri temsilcilerine (tamirci) yönlendirilebilir. Bu sezgisele göre, gelen ilk çağrı geliş sırasına göre müşteri temsilcilerine (tamirci) yapılmaktadır. Sonraki çağrılar ise, müşteri temsilcisinin (tamirci) bulunduğu yere en yakın yerden gelen çağrıya öncelik verilerek yönlendirilmektedir. NN sezgiselinde de öncelikli çağrı (zaman pencereli çağrı) varsa, sırada bekleyen normal çağrılardan, en yakındakine gittikten sonra, öncelikli çağrının zaman penceresine yetişilip yetişilmeyeceği sorgulanır. Buna göre direkt öncelikli çağrıya gitme veya en yakın normal çağrıdan sonra öncelikli çağrıya gitme kararı verilir. NN sezgiseli akış diyagramı Şekil 8.5'te verilmiştir. Bu sezgiselde de, diğer sezgisel sonuçları ile karşılaştırma imkanı sağlanması için Çizelge 7.1'de verilen çağrı oluşma ve tamir süresi frekansları kullanılmıştır. Bu veriler doğrultusunda, programın oluşturduğu rassal müşteri lokasyonları ve müşteri temsilcilerinin (tamirci) rotalama haritası, Şekil 8.4'te verilmiştir. En Yakın Komşuluk sezgiseli sonuçları Çizelge 8.8'da verilmiştir.



Şekil 8.4 NN sezgiseli tamirci rotalaması (8 eleman)



Şekil 8.5 NN sezgiseli akış şeması

En yakın komşuluk (NN) sezgiseli de yine farklı müşteri temsilcisi (tamirci) sayıları için 50'şer kere çalıştırılmıştır. Çizelge 8.8'da 8 ila 15 müşteri temsilcisi (tamirci) ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. NN Sezgiseli, her müşteri temsilcisi (tamirci) için 50'şer kere çalıştırılmış ve elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Sezgiselin her çalıştırmada rassal olarak oluşturduğu çağrı sayılarının ortalaması, toplam çağrı sayısı başlığı altında verilmiştir. Çağrı 1 ve çağrı 2 sayısı (ort) başlıkları, 50 çalıştırma için, her bir çağrı tipinden ortalama kaç tane üretildiğini göstermektedir. Karşılana çağrı 1 ve karşılana çağrı 2 başlıkları ise, rassal olarak oluşturulmuş bu çağrıların, ortalama kaç tanesinin müşteri temsilcileri (tamirci) tarafından çözümlenebildiğini göstermektedir. Karşılana çağrı 1 ve çağrı 2 oranı ise, bu çağrıların çözümlenme oranını göstermektedir. Karşılana çağrı sayısının, rassal olarak oluşmuş olan toplam çağrı sayısına oranı ile hesaplanmıştır (örneğin karşılana çağrı 1/ çağrı 1 sayısı (ort)). Rassal olarak oluşturulan çağrıların tümüne, mevcut müşteri temsilcisi (tamirci) sayısı ile hizmet vermek mümkün olmadığı için, gün sonunda çözümsüz çağrılar kalmaktadır. Bu çağrıların sayısı, karşılana çağrı 1 sayısı (ort) ve karşılana çağrı 2 sayısı (ort) başlığı altında belirtilmiş ve koşum sonucunun ortalaması olarak ifade edilmiştir. Karşılana olmayan toplam çağrı sayısı başlığı altında ise, her iki çağrı tipinden toplamda çözümsüz kalan çağrı sayıları verilmiştir.

FIFO sezgiselinde olduğu gibi, NN sezgiselinde de çağrı 1'in zaman penceresi özelliği bulunmaktadır. Yine farklı müşteri temsilcisi (tamirci) sayılarına göre, zaman penceresi ihlalleri görülmektedir. NN sezgiselinde zaman penceresi ihlalleri incelendiğinde, müşteri temsilcisi (tamirci) sayısı arttıkça, zaman penceresi ihlal süresinin azaldığı görülmektedir. Yine FIFO sezgiselinde olduğu gibi, müşteri temsilcilerinin (tamirci) yolda ve tamirde geçen toplam sürelerinin ortalaması, son satırda verilmiştir. Yolda geçen sürenin toplamda gidilen müşteri sayısının artmasından kaynaklandığını söyleyebiliriz. Çağrı 1 ve çağrı 2 karşılana çağrı oranları, 11 ve 12 adet müşteri temsilcisi (tamirci) kullanıldığı durumda sırası ile (0,96-0,98) ve (0,98-1,00) değerlerini almaktadır. Zaman penceresinin ihlal edildiği toplam sürenin, 11 ve 12 adet müşteri temsilcisi (tamirci) kullanıldığında en aza indiği görülmektedir. FIFO sezgiselinde olduğu gibi, bu performans ölçütlerinin maliyet boyutu incelenmiş ve toplam maliyet belirlenmiştir. Yolda geçen süre ve tamir süresi toplamı maliyeti, zaman penceresini aşan toplam sürenin yarattığı maliyet, çağrı 1 ve çağrı 2'nin karşılana olmayan kısmının yarattığı maliyet ve tamirci bekleme süresi maliyeti, toplam maliyeti oluşturmuştur. 8 müşteri temsilcisi (tamirci) kullanıldığı durumda elde edilen sonuçlar, yukarıda açıklanan ve Çizelge 8.5'te gösterilen performans ölçütleri açısından, bilhassa karşılana çağrı 1 oranı ve

karşılanaan çağrı 2 oranı açısından istenilenin çok çok altında kaldığı için bu değerler tabloda verilmemiştir. Yine tabloda, 13, 14 ve 15 müşteri temsilcisi (tamirci) için elde edilen değerlerin 12 müşteri temsilcisi (tamirci) için elde edilen sonuca çok yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle, çözüm performansı ve maliyet sonucu açısından 12 müşteri temsilcisi (tamirci) sayısı en ideal çözüm olarak görülebilir.

Çizelge 8.8’de verilen müşteri temsilcisi (tamirci) performans ölçütleri yardımıyla, 8 ila 15 müşteri temsilcisi (tamirci) için toplam maliyetler oluşturulmuştur. Bu maliyet bilgileri Çizelge 8.10’da verilmiştir. Maliyet faktörünün yanı sıra, çağrı karşılama oranları da dikkate alınmıştır. NN sezgiseline ait çağrı karşılama oranları Çizelge 8.9’da gösterilmiştir.

NN sezgiselinin, FIFO sezgiseli ile karşılaştırmasının yapılabilmesi amacıyla, birim maliyet aynı alınmıştır. Buna göre, sırası ile zaman penceresi ihlali sonucunda oluşan gecikme süresi ile ilgili maliyet, toplam gecikme süresinin %1’i, karşılanamayan çağrı 1 ve karşılanamayan çağrı 2 maliyetleri sırası ile 450 ytl ve 100 ytl alınmıştır. Yolda geçen süre ve tamir süreleri toplamının birim maliyeti 0,035 ytl olarak belirlenmiştir. Tamirci bekleme süresi ile ilgili birim maliyet 0.02 ytl olarak alınmıştır. 12 müşteri temsilcisi (tamirci) çalıştırılan durumda, maksimum çağrı çözümleme oranına ve minimum toplam maliyet değerine ulaşıldığı görülmüştür. NN sezgiseli ile farklı müşteri temsilcisi (tamirci) sayıları çalıştırılarak, elde edilen toplam maliyetler arasında, 12 müşteri temsilcisi (tamirci) çalıştırılarak elde edilen 28.962,46 ytl minimum maliyet olmuştur. 12 müşteri temsilcisi (tamirci) çalıştırıldığı durumda oluşturulan çağrı 1 ve çağrı 2 çözüm oranı da istenen düzeyin üzerindedir. Maliyet faktörü ile bir arada düşünüldüğünde tatminkâr bir sonuç vermektedir. 13, 14 ve 15 müşteri temsilcisi (tamirci) çalıştırıldığı durumda elde edilen maliyet sonuçları, 12 müşteri temsilcisinin oluşturduğu maliyetten daha az olsa da elde edilen iyileştirme 13 ila 15 müşteri temsilcisi (tamirci) maliyetine katlanmaya değer değildir.

Çizelge 8.8 NN Sezgiseline göre performans ölçütleri

Eleman sayısı	8	9	10	11	12	13	14	15
Toplam Çağrı Sayısı (ort.)	73,80	74,00	73,00	74,00	73,75	74,00	73,75	74,00
Çağrı 1 Sayısı (ort.)	12,90	13,00	12,50	13,00	12,75	13,00	12,75	13,00
Çağrı 2 Sayısı (ort.)	60,90	61,00	60,50	61,00	61,00	61,00	61,00	61,00
Karşılanan Çağrı 1 Sayısı (ort.)	12,30	13,00	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Karşılanan Çağrı 2 Sayısı (ort.)	48,20	55,50	59,50	60,00	60,75	61,00	60,75	60,00
Karşılanan Çağrı 1 Oranı	0,95	1,00	1,00	0,96	0,98	0,96	0,98	0,96
Karşılanan Çağrı 2 Oranı	0,79	0,91	0,98	0,98	1,00	1,00	1,00	0,98
Karşılanamayan Çağrı 1 Sayısı (ort.)	0,60	0,00	0,00	0,50	0,25	0,50	0,25	0,50
Karşılanamayan Çağrı 2 Sayısı (ort.)	12,70	5,50	1,00	1,00	0,25	0,00	0,25	1,00
Karşılanamayan Toplam Çağrı Sayısı (ort.)	13,30	5,50	1,00	1,50	0,50	0,50	0,50	1,50
Çağrı 1 (öncelikli çağrı) Gecikme Süresi (sn)	823,70	450,44	407,67	401,50	386,54	375,34	350,21	324,87
Yolda Geçen Süre ve Tamir Süresi Toplamı (sn)	288.915,10	335.586,57	389.872,56	365.052,58	363.595,96	360.331,24	358.978,23	356.154,78
Tamirci Bekleme Süresi (sn)	8,00	164,00	858,00	25.407,00	57.889,00	58.211,00	58.598,00	60.102,00

Çizelge 8.9 NN çağrı karşılama oranı

Müşteri temsilcisi (tamirci) sayısı	Karşılana Çağrı 1 oranı	Karşılana Çağrı 2 oranı
8	0,95	0,79
9	1,00	0,91
10	1,00	0,98
11	0,96	0,98
12	0,98	1,00
13	0,96	1,00
14	0,98	1,00
15	0,96	0,98

Çizelge 8.10 NN sezgiseli performans ölçütlerinin maliyet sonuçları

Müşteri Temsilcisi (tamirci) Sayısı (adet)	Gecikme Süresi (Çağrı 1) (sn)	*	Gecikme Maliyeti (YTL)	+	Karşılana -mayan Çağrı 1 Sayısı	*	Karşılaya- mama Maliyeti (YTL)	+	Karşılana- mayan Çağrı 2 Sayısı	*	Karşıla- yamama Maliyeti (YTL)	+	Yolda Geçen Süre + İşçilik Süresi (sn)	*	Maliyet (YTL)	+	Tamirci Bekleme Süresi (sn)	*	Bekleme Maliyeti (YTL)	+	Toplam Maliyet (YTL)
8	823,70		82,37		0,60		450,00		12,70		100,00		288.915,10		0,035		8,00		0,02		79.500,36
9	450,44		45,04		0,00		450,00		5,50		100,00		335.586,57		0,035		164,00		0,02		32.588,43
10	407,67		40,77		0,00		450,00		1,00		100,00		389.872,56		0,035		858,00		0,02		30.382,18
11	401,50		40,15		0,50		450,00		1,00		100,00		365.052,58		0,035		25.407,00		0,02		29.730,21
12	386,54		38,65		0,25		450,00		0,25		100,00		363.595,96		0,035		57.889,00		0,02		28.962,46
13	383,34		38,33		0,50		450,00		0,00		100,00		360.331,24		0,035		58.211,00		0,02		28.695,77
14	379,21		37,92		0,25		450,00		0,25		100,00		362.278,23		0,035		58.598,00		0,02		28.369,22
15	374,87		37,49		0,50		450,00		1,00		100,00		363.854,78		0,035		61.102,00		0,02		28.334,71

8.3 Genetik Algoritma ile Sezgisel Yaklaşım

Genetik Algoritma yaklaşımına göre geliştirilen sezgiselde, yine rassal olarak 50 koordinat oluşturulmuştur. Sezgisel yöntem 8 ila 15 müşteri temsilcisi (tamirci) için koşulmuştur. Çizelge 7.1’de verilen çağrı geliş süreleri ve tamir sürelerine bağlı olarak sezgisel çalıştırılmıştır. İlgili sonuçlar Çizelge 8.11’de verilmiştir. Geliştirilen GA algoritmasının “JavaTM Platform, Standard Edition 6” platformunda kodlanmış programın gelen akış şeması Şekil 8.7’te verilmiştir.

Çağrı merkezine gelen çağrılar, yarım saat boyunca biriktirilmektedir (bu rakam değiştirilebilir şekilde kodlanmıştır). Bu süre içerisinde gelen çağrılar, geliş sırasına göre sıralanmaktadır. Sıralanan çağrılara rassal olarak eleman ataması yapılmaktadır. Atanan elemanlardan oluşan kromozoma, kromozom düzeltilmesi yapılmaktadır. Bu düzeltmede, öncelikle çağrının öncelikli (çağrı 1) ya da normal çağrı (çağrı 2) olmasına bakılmaktadır. Çağrının öncelikli olması durumunda, atanan elemanın zaman penceresi dahilinde, o çağrıyı çözüp çözemeyeceği kontrol edilir. Atanan eleman bu koşulu sağlamıyor ise diğer elemanlardan bu koşul sağlanana kadar kontrole devam edilir. Eğer hiç bir eleman zaman penceresi dâhilinde çözümleyemiyorsa, en az gecikmeyi sağlayan eleman atanır. Bu kontrol ve kromozom düzeltilmesi her mutasyon ve çaprazlama sonrasında yapılır.

Popülasyon olarak adlandırılan rassal bir grup rota yaratılır. En iyi iki rota (**parent**), iki yeni rota (**child**) vermek üzere seçilir ve bunlar kombine edilir. Bu yeni rotaların seçilen iki rotadan daha iyi bir sonuç vermesi beklenir (toplam sürenin minimizasyonu). Küçük zaman aralıklarında rassal seçilen bazı çocuk (child) rotalar mutasyona uğratılır. Bu, popülasyonun birbiriyle aynı rotaları içermesini engellemek içindir. Yeni oluşturulan rotalar (child) popülasyondaki en kötü rotanın yerine konulur. Böylece popülasyonun boyutu sabit kalır. İstenilen amaca ulaşına dek rota üretilmeye devam edilir.

Genetik Algoritmanın prensibi, popülasyondaki en iyilerin hayatlarını devam ettirmeleridir. Genetik Algoritmada 2 karmaşık nokta vardır. Bunlar, rotayı şifrelemek (encode) ve çaprazlama işlemleridir.

Standart GA’da şifreleme bir numara dizisinden yapılırken, çaprazlamada ebeveynlerin genlerinden rassal bir nokta seçilerek, bu noktalardan itibaren genlerin yer değiştirilmesiyle yapılır (Şekil 8.6).

Ebeveyn 1	F A B E C G D
Ebeveyn 2	D E A C G B F
Çocuk 1	F A B C G B F
Çocuk 2	D E A E C G D

Şekil 8.6 Çaprazlama

Ele alınan problemde durum, salt iki dizinin kombine edilmesinden ibaret değildir. Çaprazlama, iki ebeveyndeki bağlantıları alıp oluşacak iki çocuğa geçirir. Her çocuk için geçerli olmayan bir rota (düz bir rota yerine kopuk kopuk güzergâhlar) yaratma olasılığı mevcuttur (Yukarıdaki örnekte Çocuk1 rotası D ve E şehirlerine uğramamaktadır). Bu tür bağlantıların oluşturulması engellenmelidir. Aralardaki kopukluklara rassal seçilen şehirler yerleştirilir. Çaprazlama tamamıyla rassal olmadığından bu, Greedy Çaprazlaması olarak kabul edilir (Şekil 8.7).

Müşteri lokasyonu	İlk bağlantı	İkinci bağlantı
A	F	B
B	A	E
C	E	G
D	G	F
E	B	C
F	D	A
G	C	D

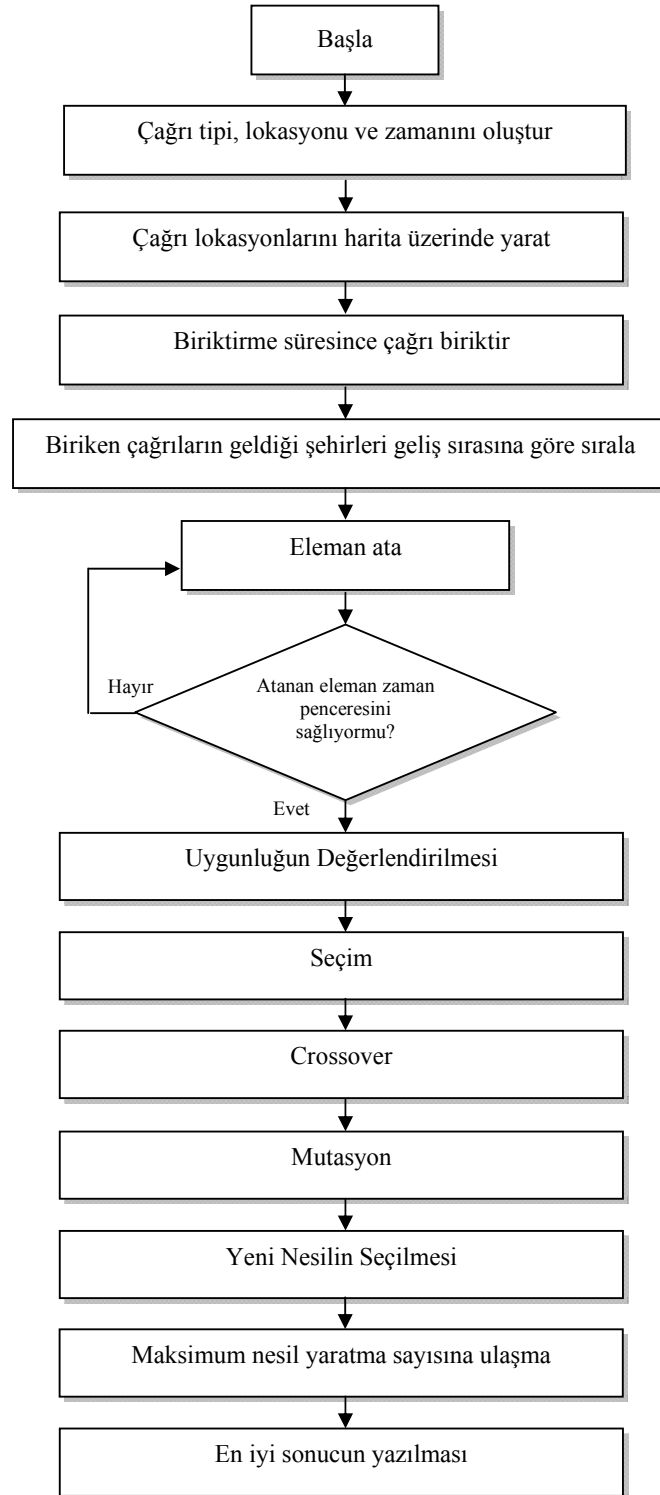
Şekil 8.7 Greedy çaprazlama

Bir müddet sonra çözüm kümesindeki bütün popülasyonun aynı olması olasıdır. Fakat ideal olanı bu değildir. Çünkü popülasyonun çeşit bakımından zenginliği, bizi çözüme yaklaştıran bir etkidir. Bunu engellemenin iki yolu vardır. Birincisi, başlangıç popülasyonunu o kadar büyük seçeriz ki çözüm kümesi aynı oluncaya kadar zaten çözümü bulmuş oluruz. İkincisi ise rassal seçilen çocuk rotaların rassal olarak benzersiz bir rota oluşturmak üzere değiştirilmesidir, yani mutasyondur.

Genetik algoritma akış şeması Şekil 8.9'da gösterilmiştir.

Ayrıca GA, başlangıçta popülasyonu oluştururken rotalarının tamamen rassal olmadığı bir yöntemi de kullanabilir. Buna Greedy Initial Population adı verilir. Bunda GA, birbirine yakın şehirler arasında bağlantı kurmayı tercih eder. Fakat bu belirli bir rassal faktörle yapılır. Aksi takdirde aynı harita için oluşturulan başlangıç popülasyonları her çalıştırma için aynı olurdu.

Şekil 8.9 Genetik algoritma akış şeması



GA'yı kontrol eden parametreler şunlardır:

- **Popülasyon Büyüklüğü:** GA başlarken popülasyondaki rassal rotalardan oluşan güzergâhların sayısı popülasyon büyüklüğünü oluşturur. Popülasyon büyüklüğü arttıkça, çözümün bulunma süresi de artar. Büyüklük, en iyi çözümün bulunma ihtimalini de arttırır.
- **Komşuluk/Grup Büyüklüğü:** Her nesilde bu rota sayısı popülasyonda rastgele seçilir. En iyi iki rota ebeveyn olur. En kötü iki rota bu ebeveynlerin çocuklarıyla yer değiştirir. Grup büyüklüğü için belirlenen sayının büyüklüğü arttıkça, gerçekten iyi rotaların ebeyn olarak seçilmesinde rol oynarken, birçok rotanın hiç ebeveyn olamamasına neden olabilir. Bu sayı büyüdükçe algoritma daha hızlı çalışır. Bunun yanında en iyi rotayı bulamama ihtimali de artar.
- **Mutasyon İhtimali:** Her çocuğun çaprazlamadan sonra uğrama ihtimali olan mutasyon ihtimali. Bir rotanın mutasyona uğraması, o rota içinde seçilen rassal bir şehrin başka bir şehirle yer değiştirmesi şeklinde olur.
- **Komşu Şehir Sayısı:** Başlangıç popülasyonu oluşturulması aşamasında Greedy Başlangıç Popülasyonu'nun gereği olarak rotaların oluşturulması sırasında birbirine yakın şehirler güzergah oluşturur. Bu sayı kadar şehir birbirine yakın varsayılır.
- **Komşuluk İhtimali:** Bir önceki parametrenin gerçekleşme ihtimalidir. Bir şehir başka bir şehre “yakın şehir” olarak atanacakken uygulanan rassallık faktörüdür.
- **Maksimum Nesil Sayısı:** GA' nın tamamlanması için gereken çaprazlama sayısıdır.

Başlangıç parametreleri aşağıdaki gibidir (Şekil 8.8):

Parametre	Başlangıç Değeri
Popülasyon Büyüklüğü	10000
Grup Büyüklüğü	5
Mutasyon İhtimali	3 %
Komşu Şehir Sayısı	5
Komşuluk İhtimali	90 %

Şekil 8.8 Başlangıç parametreleri

GA algoritması da, 8 ila 15 adet müşteri temsilcisi (tamirci) sayıları için, 50'şer koşum çalıştırılmıştır. Çizelge 8.11'de elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu çizelgede, sezgiselin her koşumunda elde edilen toplam çağrı sayılarının ortalaması, çağrı 1 ve çağrı 2 tiplerinden ortalama kaçar adet üretildiği, bu çağrı türlerinin kaçar tanesinin karşılanabildiği

gösterilmiştir. Karşılana çağrı 1 ve çağrı 2 oranları da çizelgeye işlenmiştir. Daha önce belirtildiği gibi bu oran, karşılana çağrı sayısının, rassal olarak oluşmuş olan toplam çağrı sayısına oranı ile hesaplanmıştır (karşılana çağrı 1 sayısı / çağrı 1 sayısı (ort)). Gün sonunda çözümsüz kalan yani karşılanamayan çağrı 1 ve çağrı 2'lerin sayısı (ort) yanı sıra, zaman penceresi ihlalinden doğan toplam gecikme süresi de belirtilmiştir. Çizelge 8.13'te performans ölçütlerinin maliyetleri verilmiştir. Maliyet ile birlikte göz önüne alınması gereken çağrı karşılama oranları da Çizelge 8.12'de gösterilmiştir.

8 müşteri temsilcisi (tamirci) kullanıldığı durumda elde edilen sonuçlar, yukarıda açıklanan ve Çizelge 8.11'de gösterilen performans ölçütleri açısından, bilhassa karşılana çağrı 1 oranı ve karşılana çağrı 2 oranı açısından istenilenin çok çok altında kaldığı için bu değerler tabloda verilmemiştir. Yine tabloda 13, 14 ve 15 müşteri temsilcisi (tamirci) için elde edilen değerlerin 12 müşteri temsilcisi (tamirci) için elde edilen sonuca çok yakın olduğu görülmektedir. Bu sezgisel sonucunda da, 12 adet müşteri temsilcisi (tamirci) çalıştırılan durumda, en ideal sonucun elde edildiği görülmektedir. Ek 1'de üç sezgiselin sahte kodu verilmiştir.

Çizelge 8.11 GA sezgiseline göre performans ölçütleri

Eleman sayısı	8	9	10	11	12	13	14	15
Toplam Çağrı Sayısı (ort.)	73,80	73,60	73,80	73,80	73,60	74,00	73,90	74,00
Çağrı 1 Sayısı (ort.)	12,60	12,60	12,80	12,80	13,00	12,90	13,00	13,00
Çağrı 2 Sayısı (ort.)	61,20	61,00	61,00	61,00	60,60	61,10	60,90	61,00
Karşılanaan Çağrı 1 Sayısı (ort.)	12,10	12,10	12,40	12,40	12,70	12,60	12,80	12,80
Karşılanaan Çağrı 2 Sayısı (ort.)	48,70	53,90	59,00	60,10	60,60	61,10	60,80	61,00
Karşılanaan Çağrı 1 Oranı	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
Karşılanaan Çağrı 2 Oranı	0,80	0,88	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
Karşılanamayan Çağrı 1 Sayısı (ort.)	0,50	0,50	0,40	0,40	0,30	0,30	0,20	0,20
Karşılanamayan Çağrı 2 Sayısı (ort.)	12,50	7,10	2,00	0,90	0,00	0,00	0,10	0,00
Karşılanamayan Toplam Çağrı Sayısı (ort.)	13,00	7,60	2,40	1,30	0,30	0,30	0,30	0,20
Çağrı 1 (öncelikli çağrı) Gecikme Süresi (sn)	654,90	390,10	323,20	319,60	171,50	150,40	145,50	142,20
Yolda Geçen Süre ve Tamir Süresi Toplamı (sn)	164.423,59	193.609,23	232.620,27	240.751,85	243.799,86	245.345,00	246.382,57	247.979,33
Tamir Bekleme Süresi (sn)	0,00	8,00	27.631,00	22.219,00	38.650,00	39.125,00	40.228,00	40.976,00

Çizelge 8.12 GA sezgiseli çağrı karşılama oranı

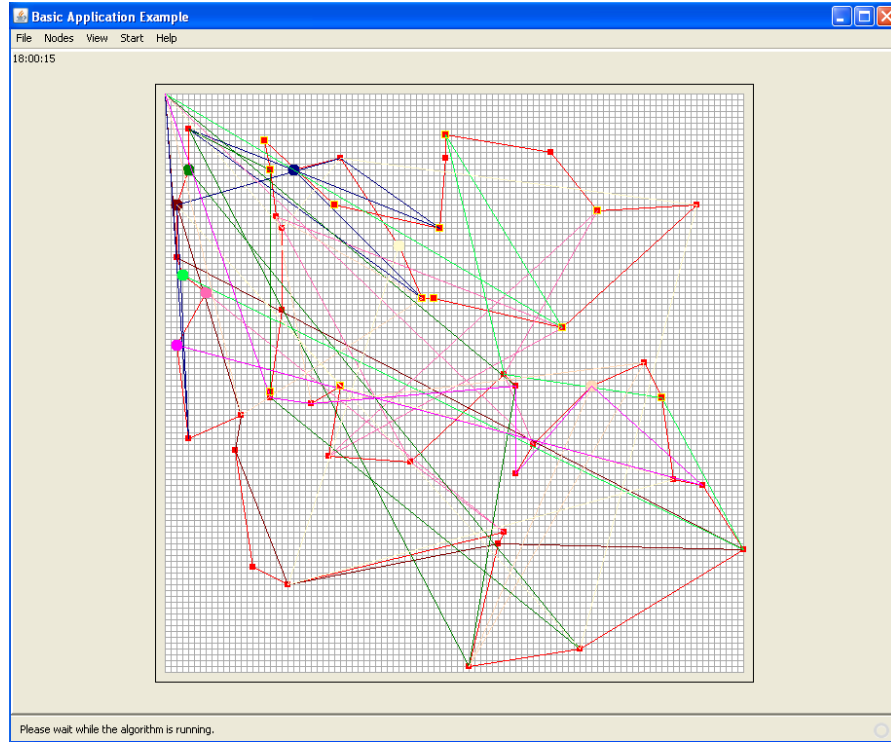
Müşteri temsilcisi (Tamirci) Sayısı	Karşılanan Çağrı 1 Oranı	Karşılanan Çağrı 2 Oranı
8	0,96	0,80
9	0,96	0,88
10	0,97	0,97
11	0,97	0,99
12	0,98	1,00
13	0,98	1,00
14	0,98	1,00
15	0,98	1,00

Çizelge 8.13 GA sezgiseli performans ölçütlerinin maliyet sonuçları

Müşteri Temsilcisi (tamirci) Sayısı (adet)	Gecikme Süresi (Çağrı 1) (sn)	*	Gecikme Maliyeti (YTL)	+	Karşılana- mayan Çağrı 1 Sayısı	*	Karşılama- mama Maliyeti (YTL)	+	Karşılana- mayan Çağrı 2 Sayısı	*	Karşıla- yamama Maliyeti (YTL)	+	Yolda Geçen Süre + İşçilik Süresi (sn)	*	Maliyet (YTL)	+	Tamirci Bekleme Süresi (sn)	*	Bekleme Maliyeti (YTL)	Toplam Maliyet (YTL)
8	654,90		65,49		0,50		450,00		12,50		100,00		164.423,59		0,035		0,00		0,02	50.119,23
9	390,10		39,01		0,50		450,00		7,10		100,00		193.609,23		0,035		8,00		0,02	22.929,28
10	323,20		32,32		0,40		450,00		2,00		100,00		232.620,27		0,035		27.631,00		0,02	18.967,53
11	319,60		31,96		0,40		450,00		0,90		100,00		240.751,85		0,035		22.219,00		0,02	19.355,11
12	171,50		17,15		0,30		450,00		0,00		100,00		243.799,86		0,035		38.650,00		0,02	12.382,22
13	150,40		15,04		0,30		450,00		0,00		100,00		245.345,00		0,035		39.125,00		0,02	11.766,59
14	145,50		14,55		0,20		450,00		0,10		100,00		246.382,57		0,035		40.228,00		0,02	11.644,97
15	142,20		14,22		0,20		450,00		0,00		100,00		247.979,33		0,035		40.976,00		0,02	11.610,88

Çizelge 8.14 FIFO, NN ve GA sezgiselleri için performans ölçütleri maliyet sonuçlarının karşılaştırılması

Müşteri Temsilcisi Sayısı (adet)	Çözümlenen Çağrı 1 Oranı			Çözümlenen Çağrı 2 Oranı			Toplam Maliyet (YTL)		
	FIFO	NN	GA	FIFO	NN	GA	FIFO	NN	GA
8	0,97	0,95	0,96	0,78	0,79	0,80	31.968,51	79.500,36	50.119,23
9	0,98	1,00	0,96	0,89	0,91	0,88	27.083,24	32.588,43	22.929,28
10	0,95	1,00	0,97	0,97	0,98	0,97	21.075,86	30.382,18	18.967,53
11	0,95	0,96	0,97	1,00	0,98	0,99	16.492,43	29.730,21	19.355,11
12	0,97	0,98	0,98	1,00	1,00	1,00	15.421,26	28.962,46	12.382,22
13	0,98	0,96	0,98	1,00	1,00	1,00	15.425,34	28.695,77	11.766,59
14	0,98	0,98	0,98	1,00	1,00	1,00	15.577,66	28.369,22	11.644,97
15	0,98	0,96	0,98	1,00	0,98	1,00	15.478,16	28.334,71	11.610,88

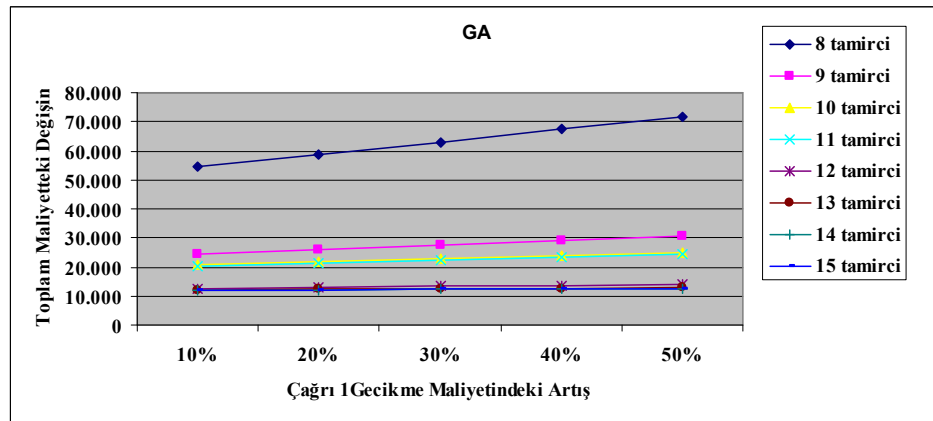
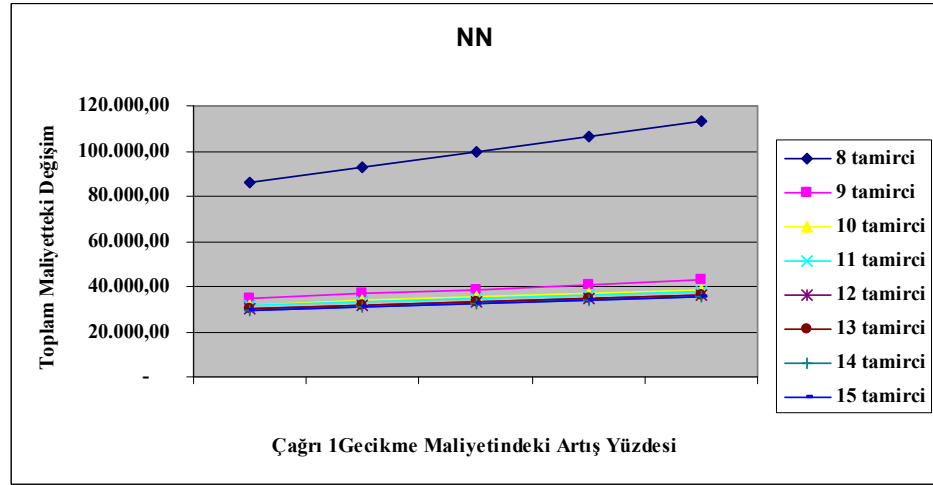
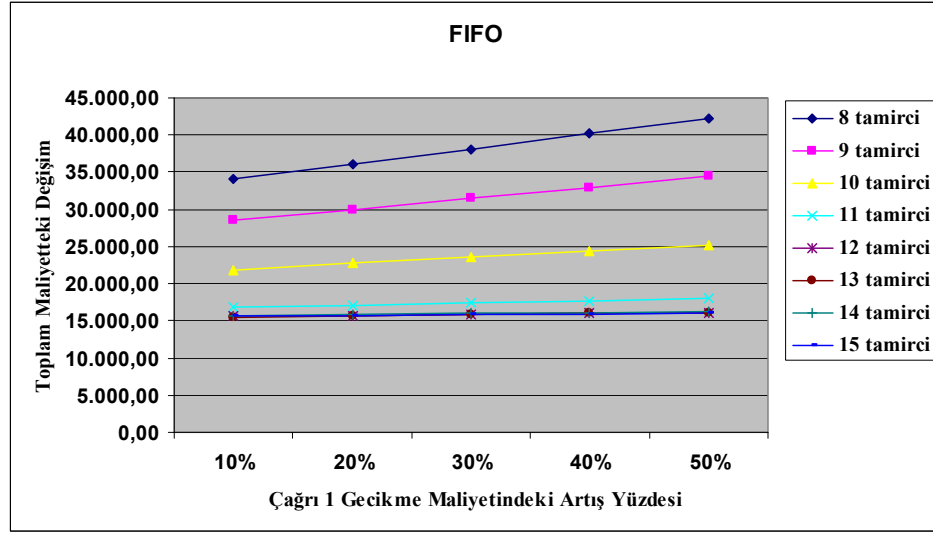


Şekil 8.9 GA Algoritması haritası
50 koordinatlı, 8 müşteri temsilcili (tamirci), 1000 popülasyon,
1.000.000 nesilli çözüm haritası

8.4 Duyarlılık Analizleri

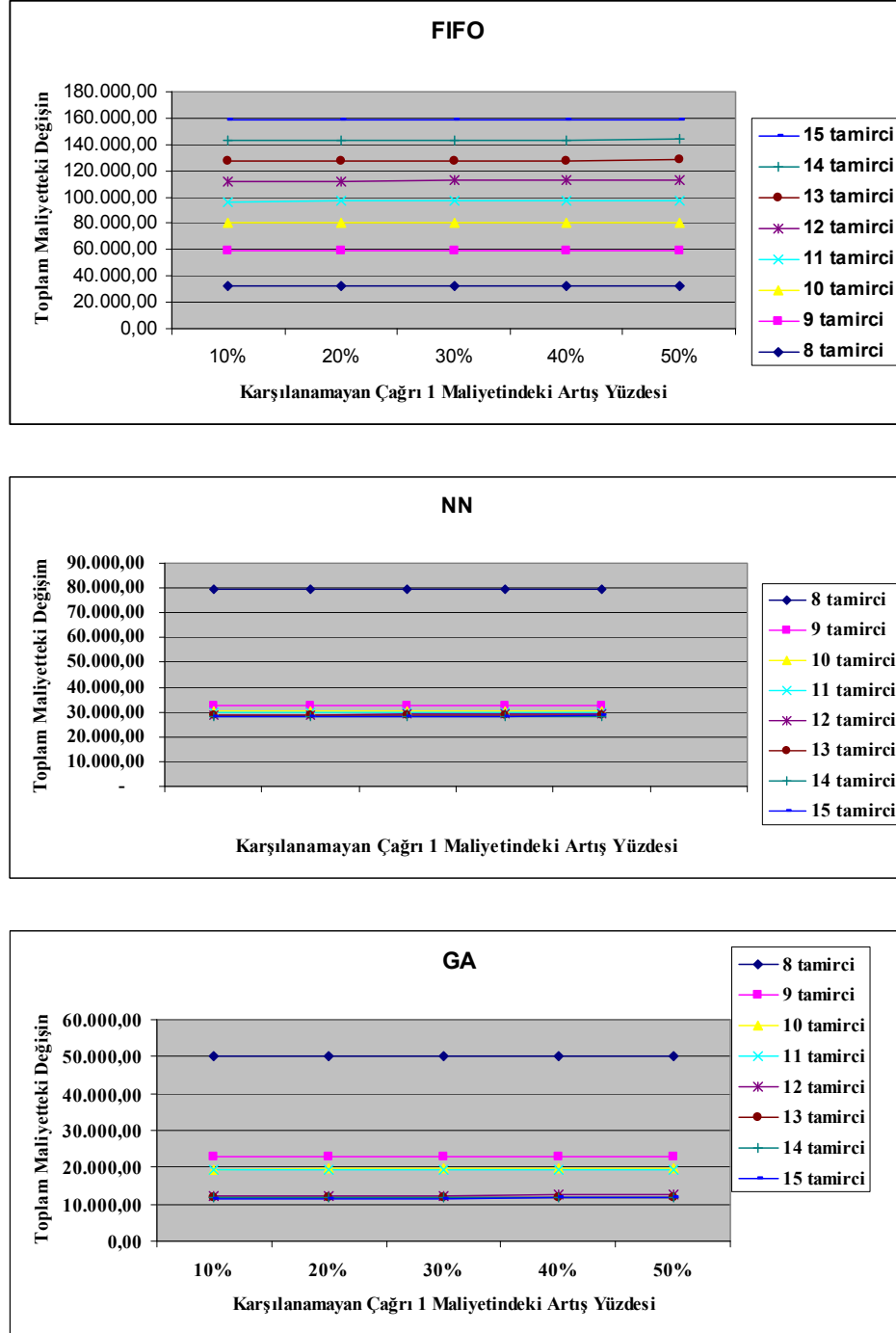
Uygulama bölümünde söylendiği gibi, toplam maliyet, yolda geçen süre ve tamir süresi toplamının maliyeti, çağrı 1 gecikme süresinin (zaman penceresini aşan toplam sürenin) yarattığı maliyet, karşılanamayan çağrı 1 ve çağrı 2'nin yarattığı maliyet ve tamirci bekleme süresi maliyetinden oluşmaktadır. Toplam maliyet bileşenlerinden her birinin, birim maliyet ağırlığının, %10 ila %50 arasında değişmesi durumunda, sonuçların duyarlılığı incelenmiştir. Her bir sezgiselin 8 ila 15 müşteri temsilcisi (tamirci) için çalıştırılarak elde edilen maliyetlerin sonucu, bu ağırlık değişimine göre tekrar hesaplanmıştır.

Şekil 8.10'da görüldüğü gibi 8 ila 10 tamirci için çağrı 1 gecikme birim maliyetindeki artış yükselen bir grafik oluşturmakta iken, 13 ila 15 tamirci için birim maliyetteki artış cüzi bir yükselmeye sebep olmaktadır. Ayrıca çözümde önerilen 12 tamirci sayısının ideal maliyet değerini verdiği ve eleman sayısı arttırıldığında maliyette cüzi bir iyileşme sağlandığı bu grafikte de görülebilmektedir.



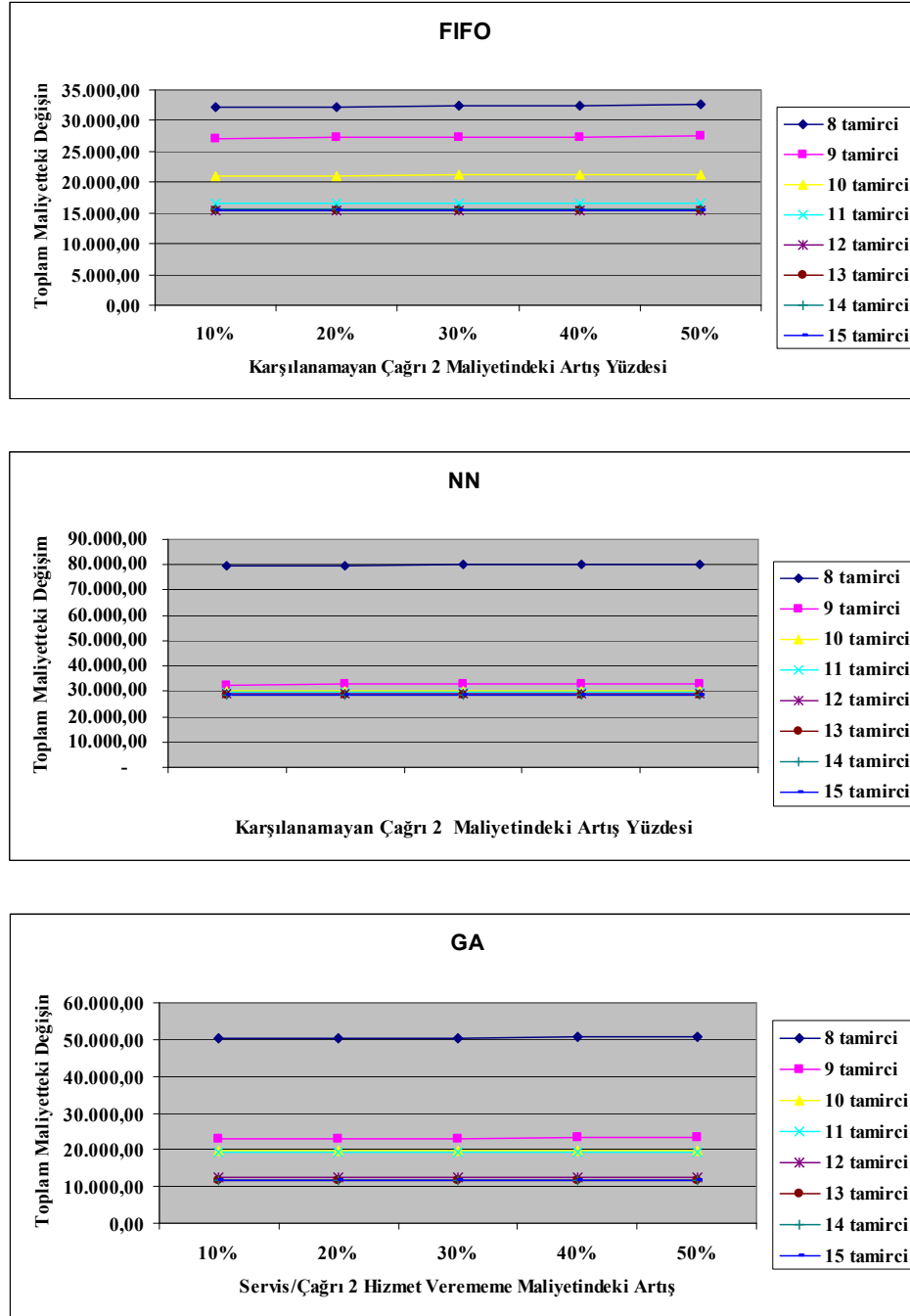
Şekil 8.10 Çağrı 1 gecikme maliyetindeki artışın yarattığı değişimler

Şekil 8.11’da, karşılanamayan çağrı 1 maliyetindeki artışın yarattığı değişim incelenmiştir. bu birim maliyetteki değişimin toplam maliyet üzerindeki etkisi, eleman sayısı kaç olursa olsun çok büyük değildir.



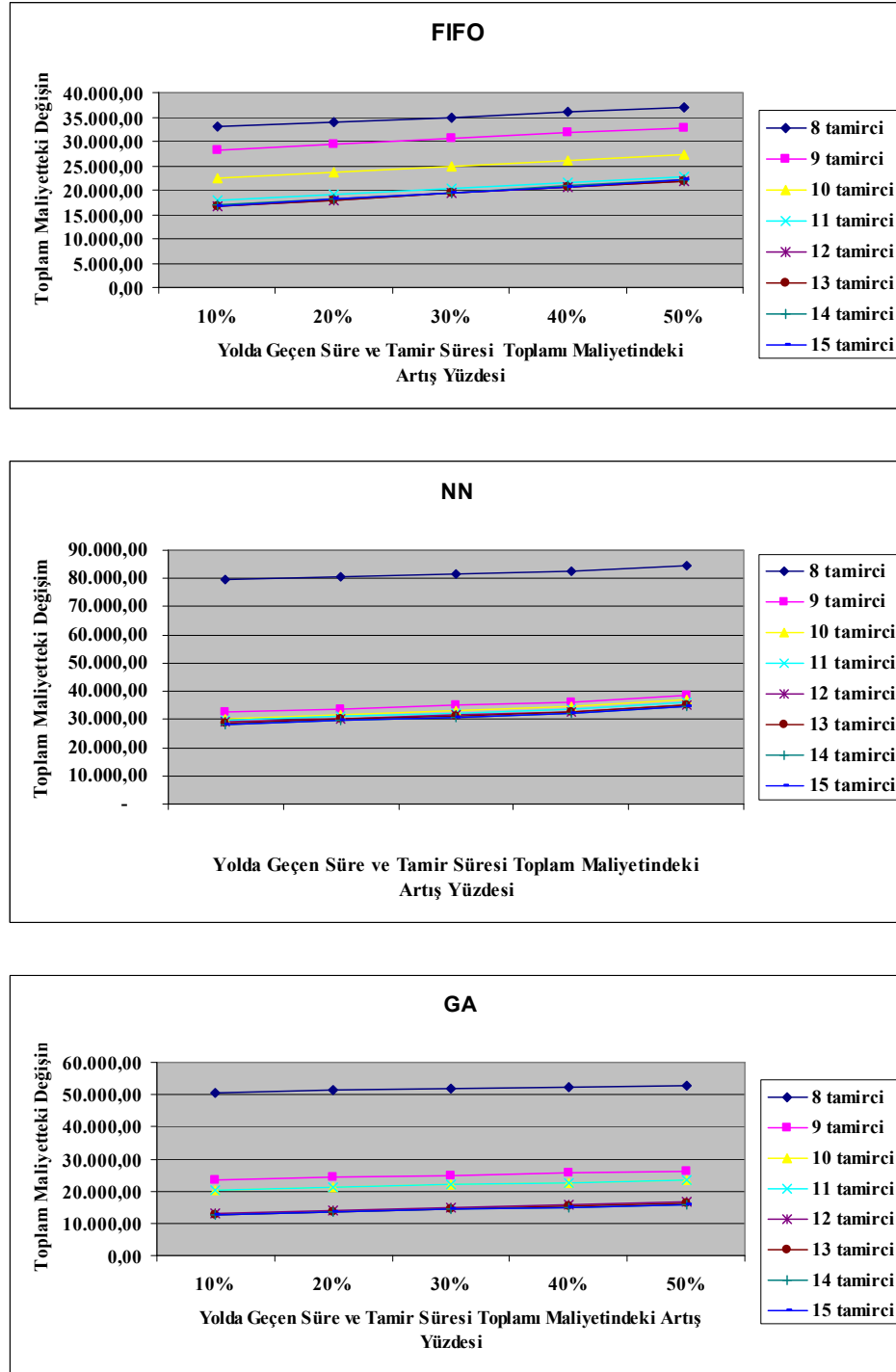
Şekil 8.11 Karşılanamayan çağrı 1 maliyetindeki artışın yarattığı değişim

Şekil 8.12’de, karşılanamayan çağrı 2 maliyetindeki artışın yarattığı değişim incelenmiştir. Bu birim maliyetteki değişimin toplam maliyet üzerindeki etkisi, eleman sayısı kaç olursa olsun çok büyük değildir.



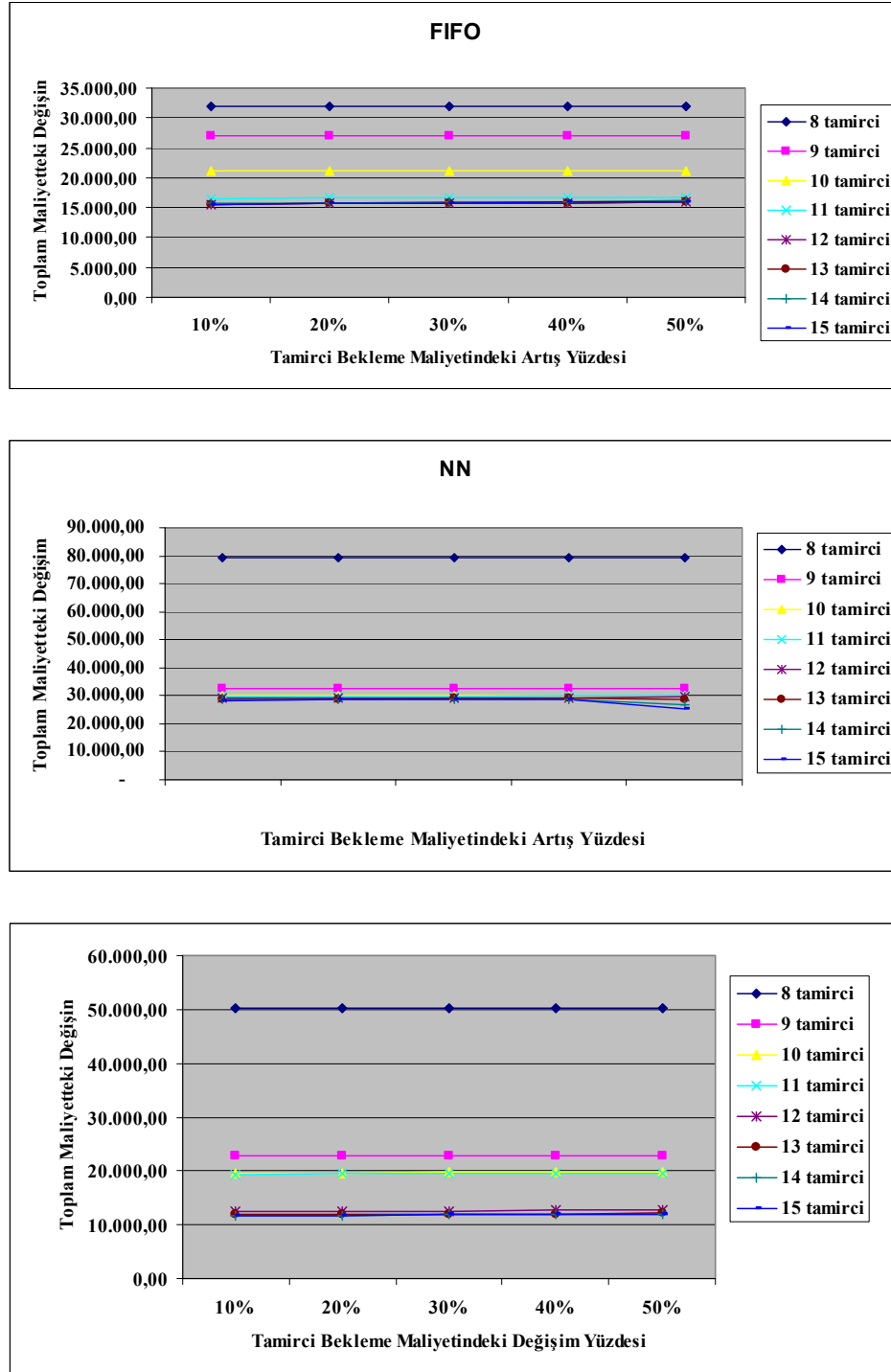
Şekil 8.12 Karşılanamayan çağrı 2 maliyetindeki artışın yarattığı değişim

Şekil 8.13’de yolda geçen süre ve tamir süresi toplamı maliyetindeki değişim gösterilmiştir. Çağrı 1 gecikme maliyetindeki artıştan sonra en fazla maliyet değişimine neden olan birim maliyet budur.



Şekil 8.13 Yolda geçen süre ve tamir süresi toplamı maliyetindeki artışın yarattığı değişim

Duyarlılık analizi yapılan en son maliyet birimi, tamirci bekleme süresi birim maliyetidir. Bu maliyette yapılacak değişiklikler, toplam maliyet üzerinde büyük farklılık yaratmamaktadır (Şekil 8.14).



Şekil 8.14 Yolda geçen süre ve tamir süresi toplamı maliyetindeki artışın yarattığı değişim

9. SONUÇLAR

Bu çalışmada bilişim firmalarının temel faaliyetlerini yöneten hizmet biriminin süreçleri ele alınmıştır. Mevcut durum analizi ve problemleri noktaların analizi, Kısıtlar Teorisinin (ToC) Düşünen Süreçler (TP) metodu ile gerçekleştirilmiştir. Firmanın problemleri faaliyetleri, en çok şikâyet edilen konular maddelenmiştir. Bu şikâyetler (istenmeyen sonuç veya etkiler) bir bulut diyagramı şeklinde ifade edilirken, neden şikâyet edildiği, şikâyet edilen konuya neden katlanıldığı, şikâyet edilen konunun tam tersi durumun ne olacağı ve geçerli olması durumunda ne sağlayacağı gibi konular karar vericiler tarafından belirlenmiş şematize edilmiştir. Şikâyet edilen konular sonucunda ne elde ettiğimiz, amacımızın ne olduğu da belirlenen faktörler arasındadır. Mevcut durum analizinin yapıldığı Mevcut Durum Ağacının (CRT) oluşturulabilmesi için Jenerik İstenmeyen Etki (UDE) belirlenmiştir. Her bir istenmeyen durum için Neden-Sonuç-Neden Ağaçları (CECT) oluşturulmuştur. Kök neden ve enjeksiyonların bulunabilmesi için Köprü ve Çelişki Çözüm Diyagramları (CRD) oluşturulmuştur. Köprü ile iki ihtiyaç arasındaki çelişkinin nedenleri ve nasıl ortadan kaldırılabileceği gibi konular irdelenir. Çelişki Çözüm Diyagramlarında (CRD) ise Buharlaşan Bulutu (EC) oluşturan her bir bileşenin nedeni sorgulanır. Ayrıca bu bileşenlerin kendi arasındaki ilişkiler eğer-sonra mantığı ile sorgulanır.

Yapılan incelemede özetle, Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT) sayesinde, durum analizi yapılmıştır. Ön koşul Ağacında (PRT), ara amaçlar ve onlara ulaşmada karşılaştığımız engeller belirlenmiştir. Gelecekte olmasını istediğimiz durum Gelecek Gerçeklik Ağacında (FRT) gösterilmiştir. Yapılması gereken eylem ve oluşacak sonuç arasındaki ilişki Mevcut Gerçeklik Ağacında (FRT) belirlenmiştir. Dönüşüm Ağacı (TT) ile olmasını istediğimiz duruma nasıl ulaşacağımız incelenmiştir.

Çalışmanın ana konusu, bilişim firmasının bakım onarım faaliyetleri veren birimi saha hizmetleri departmanında verimlilik ve karlılık konuları ile ilgili temel şikâyetler belirlenmiştir. Bu şikâyetler istenmeyen etki (UDE) tablolarında detaylı incelendikten sonra Buharlaşan Bulut (EC) şemalarında görsel hale getirilmiştir. Sırası ile yukarıda belirtilen adımlar ile tanımlanmış altı istenmeyen etki Kısıtlar Teorisinin Düşünen Süreçler araçları ile incelenmiş ve irdelenmiştir. Bu şikâyetlerin üç temel başlık altında özetlenebileceği görülmüştür. Bu şikâyetlerin, i) araç rotalama için kullanılan metodolojideki sıkıntılar, ii) telefonda çağrı çözümleme departmanındaki (PRG) süreç ve görev tanımı sıkıntısı ve iii) ürün stoğundan çıkıp müşteriye giden ürünün, bakım onarım faaliyetleri sırasında takip edilememesinden kaynaklandığı görülmüştür. Çalışmanın devamında, Araç Rotalama

Problemi için kullanılan metodoloji ile ilgili problem ele alınmıştır. Araç Rotalama Problemi ile ilgili literatür incelendiğinde çalışmaların çoğunda statik yaklaşımın ele alındığı ve oluşturulan modellerin bu tip veriye dayandığı gözlenmiştir. Günümüzde iletişim ve haber alma alanında meydana gelen gelişmeler, dinamik veriye ulaşımı kolaylaştıran unsurlar olarak belirtilebilir. Dinamizm derecesinin yanı sıra, öncelikli müdahale gerektiren ve zaman penceresi kısıtına sahip taleplerle başa çıkmayı gerektirmektedir.

İncelenen problem için geliştirilen çözümler, eleman ihtiyacının ve problemleri çözebilme kapasitesinin nasıl değiştiğini görmeyi sağlamıştır. Buna göre birinci sezgiselde ilk bildirilen arızaya, hemen müdahale edilirken öncelikli çağrının gelmesi durumunda, öncelikli çağrıya zaman penceresi dâhilinde müdahale edilip edilemeyeceği sorgulanmaktadır. İkinci sezgiselde yine aynı sorgulama gerçekleştirilmektedir. Yalnız ilk bildirilen arıza tipine öncelik verilmesi yerine, bildirilen ilk arıza itibari ile bildirim yapan lokasyonların birbirine en yakın olanlarına öncelik vererek problemin giderilmesine çalışılmaktadır. Bu iki yöntem dışında Genetik Algoritma yaklaşımı ile hazırlanan üçüncü sezgiselde de yine çağrı gelen şehirlere eleman atanmasında, öncelikli çağrının zaman penceresinin aşılmaması çabasının yanı sıra, toplam katedilen mesafenin minimize edilmesi gözetilmiştir.

Geliştirilen her üç sezgisel 8 ila 15 tamirci sayısı için, biri öncelikli olmak üzere iki arıza tipine göre çözümlenmiştir. Her sezgiselde 50 müşteriden birden fazla kere talep gelebileceği varsayılmıştır. Her sezgisel için ilgili maliyetler ve arıza giderim performansları ölçülmüştür. Bu senaryo analizine göre en iyi sonuç, her üç sezgiselde de 12 eleman çalıştırılması olarak bulunmuştur. Üç sezgiselin maliyet karşılaştırması yapıldığında ise, genetik algoritma ile geliştirilen sezgiselin, diğer sezgisellere göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Geliştirilen sezgiseller, çağrı tipleri, frekansları, müşteri sayısı, tamirci sayıları değiştirilerek farklı senaryo analizlerine imkan verecek şekilde tasarlanmıştır. Müşteriden gelen talep doğrultusunda, müşteriye giderek hizmet veren firmaların ihtiyaçlarına hizmet edebilecek bir rotalama metodolojisi olması itibari ile pek çok farklı sektörün kullanabileceği bir model olmuştur. Bu çalışmada bilişim firmasının verdiği bakım onarım faaliyetlerinin iyileştirilmesi incelenmiştir. kurgulanan yapı baz istasyon bakım ve onarımı, beyaz eşya servis hizmetleri gibi farklı sektörlerde de uygulama yeri bulacaktır.

Daha sonraki çalışmalarda, tamircilere de uzmanlık özelliği atayarak, tamir çağrılarına belirli elemanların gönderilebilmesi durumunda sonucun nasıl değişeceği gibi senaryo analizleri gerçekleştirilebilir. Yapılan çalışmada, gün içerisindeki çağrılarının çözümlenme performansı

incelenmiştir. Bir sonraki güne sarkma durumunda performansın nasıl değişeceğinin gözlenebileceği yapı incelenebilir. Rassal olarak oluşturulan müşteri lokasyonları bilgisi, kümelendirme gerçekleştirilerek bölümlere ayrılabilir. Gerçek müşteri lokasyonu bilgisi kullanılabilir. Ayrılan her bölüme belirli sayıda eleman atanarak performansın nasıl değişeceği izlenebilir. Çalışmada sadece, amaç fonksiyonu olarak yolda geçen süre ve tamir sürelerinin minimizasyonu belirlenmiştir. Tamircilerin ve müşterilerin bekleme sürelerinin minimizasyonu da amaç fonksiyonuna katılarak sonuç incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Alegre, J., Laguna, M. ve Pacheco, J., (2007), "Optimizing the Periodic Pick-Up of Raw Materials for a Manufacturer of Auto Parts", *European Journal of Operational Research* 179: 736–746.
- Alshamrani, A., Mathur, K. ve Ballou, R. H., (2007), "Reverse Logistics: Simultaneous Design of Delivery Routes and Returns Strategies", *Computers & Operations Research* 34: 595–619.
- Alvarenga, G.B., Mateus, G. R. ve Tomi, G., (2007), "A Genetic and Set Partitioning Two-Phase Approach for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Computers & Operations Research* 34: 1561–1584.
- Angelelli, E, Speranza, M. G. ve Savelsbergh, M. W. P., (2007), "Competitive Analysis for Dynamic Multiperiod Uncapacitated Routing Problems", *Networks* 49 (4): 308-317.
- Aryanezhad, M. B. ve Komijan, A. R., (2004), "An Improved Algorithm for Optimizing Product Mix Under the Theory of Constraints", *International Journal of Production Research* 42 (20): 4221 – 4233.
- Atwater, J. B., Stephens, A. A. ve Chakravorty, S. S., (2004), "Impact of Scheduling Free Goods on the Throughput Performance of a Manufacturing Operation", *International Journal of Production Research* 42 (23): 4849 – 4869.
- Atwater, J.B ve Chakravorty S.S., (2002), "A Study of the Utilization of Capacity Constrained Resources in Drum-Buffer-Rope Systems", *Production and Operations Management* 11 (2): 259-273.
- Azi, N., Gendreau, M. ve Potvin, J. Y., (2007), "An Exact Algorithm for a Single-Vehicle Routing Problem with Time Windows and Multiple Routes", *European Journal of Operational Research* 178: 755–766.
- Bae, S. T., Hwang, H. S., Cho, G. S. ve Goan, M. J., (2007), "Integrated GA-VRP Solver for Multi-Depot System", *Computers & Industrial Engineering* 53: 233–240.
- Balas, E. ve Simonetti, N., (2001), "Linear Time Dynamic-Programming Algorithms for New Classes of Restricted TSPs: a Computational Study", *INFORMS Journal on Computing* 13 (1): 56-75.
- Barreto, S., Ferreira, C., Paixao, J. ve Santos, B. S., (2007), "Using Clustering Analysis in a Capacitated Location-Routing Problem", *European Journal of Operational Research* 179: 968–977.
- Baskak, M. ve Vural, E., (2004), "Sipariş Tipi Atölyelerde İş Sıralama Problemi İçin Bir Genetik Algoritma Uygulaması", *YA/EM 2004-Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXIV Ulusal Kongresi*, 15-18 Haziran 2004, Gaziantep-Adana.
- Berger J, Barkaoui M ve Bräysy O., (2001), "A Parallel Hybrid Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Working paper, Defense Research Establishment Valcartier, Canada*.
- Berger, J., Barkaoui, M. ve Boukhtouta, A., (2007), "A Hybrid Genetic Approach for Airborne Sensor Vehicle Routing in Real-Time Reconnaissance Missions", *Aerospace Science and Technology* 11: 317–326.

- Bertsimas, D. ve Van Ryzin, G. J., (1991), "A Stochastic and Dynamic Vehicle Routing Problem in the Euclidean Plane", *Operations Research*, 39: 601-615.
- Bertsimas, D. ve Van Ryzin, G. J., (1993), "Stochastic and Dynamic Vehicle Routing Problem in the Euclidean Plane with Multiple Capacitated Vehicles", *Operations Research* 41: 60-76.
- Bertsimas, D. ve Van Ryzin, G., (1989), "Dynamic traveling repairman problem (DTRP)", MIT Sloan School Working Paper No. 3036-89-MS, Cambridge.
- Bertsimas, D.J. ve Simchi-Levi, D., (1996), "A New Generation of Vehicle Routing Research: Robust Algorithms, Addressing Uncertainty", *Operations Research*, 44 (2): 286-304.
- Bhattacharya, A. ve Vasant, P., (2007), "Soft-Sensing of Level of Satisfaction in TOC Product-Mix Decision Heuristic Using Robust Fuzzy-LP", *European Journal of Operational Research*, 177: 55–70.
- Bolat B., Erol O. ve Imrak E., (2004), "Genetic Algorithms in Engineering Applications and the Function of Operators", *Mühendislik ve Fen Bilimleri Sigma Dergisi*, 4: 264-270.
- Brandao, J., (2008), "A Deterministic Tabu Search Algorithm for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem", *European Journal of Operational Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 22 November 2007.
- Brotcorne, L., Laporte G. ve Semet, F., (2003), "Ambulance Location and Relocation Models", *European Journal of Operational Research*, 147 (3): 451–463.
- Brown, G. G. ve Graves, G.W., (1981), "Real-time Dispatch of Petroleum Tank Trucks", *Management Science*, 27: 19-32.
- Brown, G. G., Ellis, C., Graves, G. W. ve Ronen, D., (1987), "Real-time, Wide Area Dispatching of Mobil Tank Trucks, *Interfaces*, 17(1): 107-120.
- Calvete, H. I., Gale', C., Oliveros, M. J. ve Sanchez-Valverde, B., (2007), "A Goal Programming Approach to Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows", *European Journal of Operational Research*, 177: 1720–1733.
- Campbell, A., Clarke, L., Kleywegt, A. ve Savelsbergh, M., (1998), "The Inventory Routing Problem", *Fleet Management and Logistics*, Kluwer, Boston.
- Chakraborty, P. S., Majumder, G. ve Sarkar B., (2006), "An Approach to Manage Constraint Resource and Outsourcing Decision", *Journal of Scientific and Industrial Research*, 65 (8): 625-631.
- Chakravorty, S. S. ve Atwater, J. B., (2005), "The Impact of Free Goods on the Performance of Drum-Buffer-Rope Scheduling Systems", *International Journal of Production Economics*, 95: 347–357.
- Chakravorty, S. S. ve Atwater, J. B., (2006), "Bottleneck Management: Theory and Practice", *Production Planning and Control*, 17 (5): 441 – 447.
- Chaudhari, C. V. ve Mukhopadhyay, S. K., (2003), "Application of Theory of Constraints in an Integrated Poultry Industry", *International Journal of Production Research*, 41 (4): 799–817.
- Choi, E. ve Tcha, D. W., (2007), "A Column Generation Approach to the Heterogeneous

Fleet Vehicle Routing Problem”, *Computers & Operations Research*, 34: 2080–2095.

Christiansen, C. H. ve Lysgaard, J., (2007), “A Branch-And-Price Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands”, *Operations Research Letters*, 35: 773-781.

Chua D. K. H., Shen, L.J. ve Bok S. H., (2003), “Constraint-Based Planning with Integrated Production Scheduler over Internet”, *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 129 (3): 293-301.

Chung, S. H., Lee, A. H. ve Pearn, W. L., (2005), “Product Mix Optimization for Semiconductor Manufacturing Based on AHP and ANP Analysis”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25: 1144-1156.

Claassen, G.D.H. ve Hendriks, T. H. B., (2007), “An Application of Special Ordered Sets to a Periodic Milk Collection Problem”, *European Journal of Operational Research*, 180: 754-769.

Coman, A. ve Ronen, B., (2007), “Managing Strategic and Tactical Constraints in the Hi-Tech Industry”, *International Journal of Production Research*, 45(4): 779-788.

Coslovich, L., Pesenti, R. ve Ukovich, W., (2006), “A Two-Phase Insertion Technique of Unexpected Customers For a Dynamic Dial-a-Ride Problem”, *European Journal of Operational Research*, 175: 1605-1615.

Croce, F.D., Tadei, R. ve Volta, G., (1995), “A Genetic Algorithm for the Job-Shop Problem”, *Computers and Operations Research*, 22 (1): 15-24.

Çölesen, R., (2002), “Veri Yapıları ve Algoritmalar”, Papatya Yayıncılık, İstanbul.

Davies, J., Mabin V. J. ve Balderstone, S.J., (2005), “The Theory of Constraints: a Methodology Apart? A Comparison with Selected OR/MS Methodologies”, *OMEGA*, 33: 506–524.

Derigs, U. ve Kaiser, R., (2007), “Applying the Attribute Based Hill Climber Heuristic to the Vehicle Routing Problem”, *European Journal of Operational Research*, 177: 719–732.

Desaulniers, G., (2007), “Managing Large Fixed Costs in Vehicle Routing and Crew Scheduling Problems Solved by Column Generation”, *Computers & Operations Research*, 34: 1221–1239.

Dettmer, H. W., (1997), “Goldratts Theory of Constraints: a System Approach to Continuous Improvement”, ASQC Quality Pres, Milwaukee, Wisconsin.

Doerner, K. F., Gronalt, M., Hartl, R. F., Kiechle, G. ve Reimann, M., (2008), “Exact and Heuristic Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Multiple Interdependent Time Windows”, *Computers & Operations Research*, 35: 3034 – 3048.

Donati, A. V., Montemanni, R., Casagrande, N., Rizzoli, A. E. ve Gambardella, L. M., (2008), “Time Dependent Vehicle Routing Problem with a Multi Ant Colony System”, *European Journal of Operational Research*, 185: 1174–1191.

Du, T., Wang, F.K. ve Lu, P. Y., (2007), “A Real-Time Vehicle-Dispatching System for Consolidating Milk Runs”, *Transportation Research Part E*, 43: 565–577.

Ehie, I. ve Sheu, C., (2004), “Integrating Six Sigma and Theory of Constraints for Continuous

Improvement: a Case Study”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16 (5): 542-553.

Eiben, A. E. ve Smith, J. E., (2003), “Introduction to Evolutionary Computing”, Springer Verlag Berlin Heidelberg.

El Fallahi, A., Prins, C. ve Calvo, R. W., (2008), “A Memetic Algorithm and a Tabu Search for the Multi-Compartment Vehicle Routing Problem”, *Computers & Operations Research*, 35: 1725 – 1741.

Fakcharoenphol, J., Harrelson, C. ve Rao, S., (2003), “The k-Traveling Repairman Problem”, *Symposium on Discrete Algorithms Archive Proceedings of the Fourteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, 12-14 January, 2003, Baltimore/ USA, 655 - 664.

Fleszar, K, Osman, I. H. ve Hindi, K. S., (2008), “A Variable Neighbourhood Search Algorithm for the Open Vehicle Routing Problem”, *European Journal of Operational Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 22 November 2007.

Fuellerer, G., Doerner, K. F., Hartl, R. F. ve Iori M., (2007), “Ant Colony Optimization for the Two-Dimensional Loading Vehicle Routing Problem”, *Computers & Operations Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 30 October 2007.

Ganesh, K. ve Narendran, T.T., (2007), “CLOVES: A Cluster-And-Search Heuristic to Solve the Vehicle Routing Problem with Delivery and Pick-Up”, *European Journal of Operational Research*, 178: 699–717.

Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J. Y. ve Seguin, R., (2006), “Neighborhood Search Heuristics for a Dynamic Vehicle Dispatching Problem with Pick-Ups and Deliveries”, *Transportation Research Part C*, 14: 157–174.

Gizolme, O. ve Thollon, F., (1998), “Shape Optimization of Synchronous Machine Rotor”, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 9 (3): 263-275.

Godinho, M. T., Gouveia, L. ve Magnanti, T. L., (2008), “Combined Route Capacity and Route Length Models for Unit Demand Vehicle Routing Problems”, *Discrete Optimization*, 5: 350–372.

Goel, A. ve Gruhn, V., (2007), “A General Vehicle Routing Problem”, *European Journal of Operational Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 16 February 2007.

Goetschalckx, M., (1988), “A Decision Support System for Dynamic Truck Dispatching”, *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 14: 34-42.

Goldberg, D. E., (1989), “Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning”, Addison-Wesley Publishing Company, USA.

Gribkovskaia, I., Halskau sr., O., Laporte, G. ve Vlcek, M., (2007), “General Solutions to The Single Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries”, *European Journal of Operational Research*, 180: 568–584.

Gribkovskaia, I., Laporte, G. ve Shyshou, A., (2008), “The Single Vehicle Routing Problem with Deliveries and Selective Pickups”, *Computers & Operations Research*, Volume, 35 (9): 2908-2924.

Gupta, M. , (2003), “Constraints Management-Recent Advances and Practices”, *International Journal of Production Research*, 41 (4): 647 – 659.

- Hanshar, F. T. ve Ombuki-Berman, B. M., (2007), "Dynamic Vehicle Routing Using Genetic Algorithms", *Applied Intelligence*, 27: 89–99.
- Hashimoto, H., Ibaraki, T., Imahori, S. ve Yagiura, M., (2006), "The Vehicle Routing Problem with Flexible Time Windows and Traveling Times", *Discrete Applied Mathematics*, 154: 2271 – 2290.
- Hashimoto, H., Yagiura, M. ve Ibaraki, T., (2008), "An Iterated Local Search Algorithm for the Time-Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Discrete Optimization*, 5: 434–456.
- Haugland, D., Ho, S. C. ve Laporte, G., (2007), "Designing Delivery Districts for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands", *European Journal of Operational Research*, 180: 997–1010.
- Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F. ve Hartl, R. F., (2007), "A Variable Neighborhood Search Heuristic for Periodic Routing Problems", *European Journal of Operational Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 13 November 2007.
- Ho, W., Ho, G. T. S., Ji, P. ve Lau, H. C.W., (2007), "A Hybrid Genetic Algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, In Press, Corrected Proof, Available online 17 August 2007.
- Hoff, A., Gribkovskaia, I., Laporte, G. ve Løkketangen, A., (2007), "Lasso Solution Strategies for the Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries", *European Journal of Operational Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 22 October 2007.
- Holland, J. H., (1975), "Adaptation in Natural and Artificial Systems", MIT Press Cambridge, MA, USA.
- Homberger J. ve Gehring H., (1999), "Two Evolutionary Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 37: 297–318.
- Hsu, C. I., Hung, S. F. ve Li, H. C., (2007), "Vehicle Routing Problem with Time-Windows for Perishable Food Delivery", *Journal of Food Engineering*, 80: 465–475.
- Huang, B., Wu, Q. ve Zhan, F. B., (2007), "A Shortest Path Algorithm with Novel Heuristics for Dynamic Transportation Networks", *International Journal of Geographical Information Science*, 21 (6): 625–644.
- Hvattum, L. M., Løkketangen, A. ve Laporte, G., (2007), "A Branch-and-Regret Heuristic for Stochastic and Dynamic Vehicle Routing Problems", *Networks*, 49 (4): 330-340.
- Ibaraki, T., Imahorib, S., Nonobe, K., Sobue, K., Uno, T. ve Yagiura, M., (2007), "An Iterated Local Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Convex Time Penalty Functions", *Discrete Applied Mathematics*, In Press, Corrected Proof, Available online 22 May 2007.
- Ioannou, G. ve Papadoyiannis, C., (2004), "Theory of Constraints-Based Methodology for Effective ERP Implementations", *International Journal of Production Research*, 42 (23): 4927-4954.
- Jeon, G., Leep, H. R. ve Shim, J. Y., (2007), "A Vehicle Routing Problem Solved by Using a Hybrid Genetic Algorithm", *Computers & Industrial Engineering*, 53: 680–692.

- Jin, M., Liu, K. ve Eksioglu, B., (2008), "A Column Generation Approach for the Split Delivery Vehicle Routing Problem", *Operations Research Letters*, 36 (2): 265-270.
- Jothi, R. ve Raghavachari, B., (2007), "Approximating the K-Traveling Repairman Problem with Repair times", *Journal of Discrete Algorithms*, 5: 293–303.
- Jozefowicz, N., Semet, F. ve Talbi, E., (2008), "An Evolutionary Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Route Balancing", *European Journal of Operational Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 3 December 2007.
- Kallehauge, B., (2008), "Formulations and Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Computers & Operations Research*, 35: 2307 – 2330.
- Kang, K. H., Lee, B. K., Lee, Y. H. ve Lee, Y. H., (2008), "A Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Due Times", *Computers & Industrial Engineering*, 54 (3): 421-431.
- Kee, R. ve Schmidt, C., (2000), "A Comparative Analysis of utilizing Activity Based Costing and the Theory of Constraints for Making Product Mix Decisions", *International Journal of Production Economics*, 63: 1-17.
- Kek, A. G. H., Cheu, R. L. ve Meng, Q., (2008), "Distance-Constrained Capacitated Vehicle Routing Problems with Flexible Assignment of Start and End Depots", *Mathematical and Computer Modelling*, 47: 140–152.
- Kirche, E. T., Kadipaşaoğlu, S. N. ve Khumawala, B. M., (2005), "Maximizing Supply Chain Profits with Effective Order Management: Integration of Activity-Based Costing and Theory of Constraints with Mixed-Integer Modeling", *International Journal of Production Research*, 43 (7): 1297 – 1311.
- Konuralp, M. S., Işık A. H. ve Taçgın, E., (1998), "Salınan Kol-Kızak Mekanizmaların Kinematik Sentezini Genetik Algoritma Tekniğini Kullanarak Gerçekleştiren Bir Prototip Yazılım", 8. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 9-11 Eylül 1998.
- Koza, J. R., (1992), "Genetic Programming: on the Programming of Computers by Means of Natural Selection", MIT Press, Cambridge, USA.
- Köksal, G., (2004), "Selecting Quality Improvement Projects and Product Mix Together in Manufacturing: an Improvement of a Theory of Constraints-Based Approach by Incorporating Quality Loss", *International Journal of Production Research*, 42 (23): 5009 – 5029.
- Krumke, S. O., (2000), "News from the Online Traveling Repairman", *Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin*, Mart, 2000, Berlin.
- Krumke, S. O., Pape, W. E., Poensgen, D. ve Stougie, L., (2003), "News from the Traveling Repairman", *Theoretical Computer Science*, 295: 279–294.
- Kytöjoki, J., Nuortio, T., Bräysy, O. ve Gendreau, M., (2007), "An Efficient Variable Neighborhood Search Heuristic for Very Large Scale Vehicle Routing Problems", *Computers & Operations Research*, 34: 2743 – 2757.
- Larsen, A., (2001), "The Dynamic Vehicle Routing Problem", Ph.D. Thesis, Institute of Mathematical Modelling, Technical University of Denmark.
- Lea, B. R. ve Min, H., (2003), "Selection of Management Accounting Systems in Just-In-Time and Theory of Constraints-Based Manufacturing", *International Journal of Production Research*, 41(13): 2879-2910.

- Lewis, H. F. ve Sexton, T. R., (2007), "On The Tour Partitioning Heuristic for the Unit Demand Capacitated Vehicle Routing Problem", *Operations Research Letters*, 35: 374 – 378.
- Li, F., Golden, B. ve Wasil, E., (2007a), "A Record-To-Record Travel Algorithm for Solving the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem", *Computers & Operations Research*, 34: 2734 – 2742.
- Li, F., Golden, B. ve Wasil, E., (2007b), "The Open Vehicle Routing Problem: Algorithms, Large-Scale Test Problems, and Computational Results", *Computers & Operations Research*, 34: 2918 – 2930.
- Lin, S. W., Lee, Z. J., Ying, K. C. ve Lee, C. Y., (2008), "Applying Hybrid Meta-Heuristics for Capacitated Vehicle Routing Problem", *Expert Systems with Applications*, In Press, Corrected Proof, Available online 15 December 2007.
- Louw, L. ve Page, D. C., (2004), "Queuing Network Analysis Approach for Estimating the Sizes of the Time Buffers in Theory of Constraints-Controlled Production Systems", *International Journal of Production Research*, 42 (6): 1207 – 1226.
- Lund, K., Madsen, O. B. G. ve Rygaard, J. M., (1996), "Vehicle Routing Problems with Varying Degrees of Dynamism", Institute of Mathematical Modelling, Technical University of Denmark.
- Madsen, O. B. G., Tosti, K. Ve Vaelds, J., (1995), "A Heuristic Method for Dispatching Repairmen", *Annals of Operations Research*, 61: 213-226.
- Mansfield, R.A., (1990), "Genetic Algorithms", University of Wales, College of Cardiff, England.
- Mautor, T. ve Naudin, E., (2007), "Arcs-States Models for the Vehicle Routing Problem with Time Windows and Related Problems", *Computers & Operations Research*, 34: 1061–1084.
- Mester, D. ve Bräysy, O., (2007), "Active-Guided Evolution Strategies for Large-Scale Capacitated Vehicle Routing Problems", *Computers & Operations Research*, 34: 2964-2975.
- Mitrović-Minić, S., Krishnamurti, R. ve Laporte, G., (2004), "Double-Horizon Based Heuristics for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows", *Transportation Research B*, 38: 669-685.
- Mourgaya, M. ve Vanderbeck, F., (2007), "Column Generation Based Heuristic for Tactical Planning in Multi-Period Vehicle Routing", *European Journal of Operational Research*, 183: 1028–1041.
- Oppen, J. ve Lzkketangen, A., (2008), "A Tabu Search Approach for the Livestock Collection Problem", *Computers & Operations Research*, 35 (10): 3213-3229.
- Papastavrou, J., (1996), "A Stochastic and Dynamic Routing Policy Using Branching Processes with State Dependent Immigration", *European Journal of Operational Research*, 95: 167-177.
- Pass, S. ve Ronen, B., (2003), "Management by the Market Constraint in the Hi-Tech Industry", *International Journal of Production Research*, 41(4): 713-724.
- Pisinger, D. ve Ropke, S., (2007), "A General Heuristic for Vehicle Routing Problems", *Computers & Operations Research*, 34: 2403-2435.
- Powell, W. B., (1986), "A Stochastic Model of the Dynamic Vehicle Allocation Problem",

Transportation Science, 20: 117-129.

Powell, W. B., (1990), "Real-time Optimization for Truckload Motor Carriers", *OR/MS Today*, 18: 28-33.

Psaraftis, H. N., (1980), "A Dynamic Programming Solution to the Single Many to Many Immediate Request Dial a ride Problem", *Transportation Science*, 14: 130-154.

Psaraftis, H. N., (1988), "Vehicle Routing: Methods and Studies", Elsevier Science Publishers B. V., North Holland.

Psaraftis, H. N., (1995), "Dynamic Vehicle Routing: Status and Prospect", *Annals of Operations Research*, 61:143-164.

Rego, C. ve Roucairol, C., (1995), "Using Tabu Search for Solving a Dynamic Multi-terminal Truck Dispatching Problem", *European Journal of Operational Research*, 83: 411-429.

Righini, G. ve Salani, M., (2006), "Symmetry Helps: Bounded Bi-Directional Dynamic Programming for the Elementary Shortest Path Problem with Resource Constraints", *Discrete Optimization*, 3: 255-273.

Rochat Y ve Taillard ED., (1995), "Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for Vehicle Routing", *Journal of Heuristics*, 1:147-67.

Sale, M. L. ve Inman, R. A., (2003), "Survey-based Comparison of Performance and Change in Performance of Firms Using Traditional Manufacturing, JIT and TOC", *International Journal of Production Research*, 41(4): 829-844.

Savelsbergh, M.W.P. ve Sol, M., (1998), "Drive: Dynamic Routing of Independent Vehicles", *Operations Research*, 46: 474-490.

Schaefers, J., Aggoune, R., Becker, F. ve Fabbri, R., (2004), "TOC-Based Planning and Scheduling Model", *International Journal of Production Research*, 42 (13): 2639 – 2649.

Scoggin, J. M., Segelhorst, R. J. ve Reid, R. A., (2003), "Applying the TOC Thinking Process in Manufacturing: a Case Study", *International Journal of Production Research*, 41 (4): 767-797.

Sheu, J. B., (2007), "A Hybrid Fuzzy-Optimization Approach to Customer Grouping-Based Logistics Distribution Operations", *Applied Mathematical Modelling*, 31: 1048-1066.

Simonetti, N. ve Balas, E., (1996), "Implementation of a Linear Time Algorithm for Certain Generalized Traveling Salesman Problems", *IPCO V. Conference Proceedings*, 3-5 June, 1995, Vancouver.

Sindhuchao, S., Romeijn, H. E., Akcali, E. ve Boondiskulchok, R., (2005), "An Integrated Inventory-Routing System for Multi-item Joint Replenishment with Limited Vehicle Capacity", *Journal of Global Optimization*, 32: 93-118.

Singh, R. K., Prakash, Kumar, S., ve Tiwari, M. K., (2006), "Psycho-Clonal Based Approach to Solve a TOC Product Mix Decision Problem", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29: 1194-1202.

Sirikrai, V. ve Yenradee, P., (2006), "Modified Drum-Buffer-Rope Scheduling Mechanism for a Non-Identical Parallel Machine Flow Shop with Processing-Time Variation", *International Journal of Production Research*, 44(17): 3509-3531.

- Smith, M. ve Pretorius, P., (2003), "Application of the TOC Thinking Processes to Challenging Assumptions of Profit and Cost Centre Performance Measurement", *International Journal of Production Research*, 41(4): 819-828.
- Solomon M M., (1987), "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints", *Operations Research*, 35: 54-65.
- Souren, R., Ahn, H. ve Schmitz, C., (2005), "Optimal Product Mix Decisions Based on the Theory of Constraints? Exposing Rarely Emphasized Premises of Throughput Accounting", *International Journal of Production Research*, 43 (2): 361-374.
- Steele, D. C., Philipoom, P. R., Malhotra, M. K. ve Fry, T. D., (2005), "Comparisons between Drum-Buffer-Rope and Material Requirements Planning: a Case Study", *International Journal of Production Research*, 43 (15): 3181-3208.
- Stratton, R. ve Mann, D., (2003), "Systematic Innovation and the Underlying Principles behind TRIZ and TOC", *Journal of Materials Processing Technology*, 139: 120-126.
- Swihart, M. R. ve Papastavrou, J. D., (1999), "A Stochastic and Dynamic Model for the Single-Vehicle Pick-up and Delivery Problem", *European Journal of Operational Research*, 114: 447-464.
- Şen, Z., (2004), "Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri", Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Tagmouti, M., Gendreau, M. ve Potvin, J. Y., (2007), "Arc Routing Problems with Time-Dependent Service Costs", *European Journal of Operational Research*, 181: 30-39.
- Tan, K.C., Cheong, C.Y. ve Goh, C.K., (2007), "Solving Multiobjective Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand Via Evolutionary Computation", *European Journal of Operational Research*, 177: 813-839.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N., Kah, M. M. O. ve Rabbani, M., (2007), "A New Capacitated Vehicle Routing Problem with Split Service for Minimizing Fleet Cost by Simulated Annealing", *Journal of the Franklin Institute*, 344: 406-425.
- Thomas, B. W. ve White III, C. C., (2007), "The Dynamic Shortest Path Problem with Anticipation", *European Journal of Operational Research*, 176: 836-854.
- Toth, P. ve Vigo D., (2002), "The Vehicle Routing Problem", *SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*, Philadelphia.
- Tseng, M. F. ve Wu, H. H., (2006), "The Study of an Easy-to-Use DBR and BM System", *International Journal of Production Research*, 44 (8): 1449-1478.
- Umble, M., Umble, E. J. ve Murakami, S., (2006), "Implementing Theory of Constraints in a Traditional Japanese Manufacturing Environment: The Case of Hitachi Tool Engineering", *European Journal of Operational Research*, 44 (10): 1863-1880.
- Umble, M. ve Umble, E. J., (2006), "Utilizing Buffer Management to Improve Performance in a Healthcare Environment", *European Journal of Operational Research*, 174: 1060-1075.
- Van Woensel, T., Kerbache, L., Peremans, H. ve Vandaele N., (2008), "Vehicle routing with Dynamic Travel Times: a Queueing Approach", *European Journal of Operational Research*, 186: 990-1007.

- Walker, E. D. ve Cox, J. F., (2005), "Addressing Ill Structured Problems Using TP", *Management Decision*, 44 (1): 137-154.
- Wang, H. ve Shen, J., (2007), "Heuristic Approaches for Solving Transit Vehicle Scheduling Problem with Route and Fueling Time Constraints", *Applied Mathematics and Computation*, 190: 1237-1249.
- Watson, K. J., Blackstone, J. H. ve Gardiner, S. C., (2007), "The evolution of a management philosophy: The theory of constraints", *Journal of Operations Management*, 25: 387-402.
- Weintraub, A., Aboud, J., Fernandez, C., Laporte, G ve Ramirez, E, (1999), "An Emergency Vehicle Dispatching System for an Electric Utility in Chile", *Journal of Operational research Society*, 50: 690-696.
- Wu, H. H. ve Yeh, M. L., (2006), "A DBR Scheduling Method for Manufacturing Environments with Bottleneck Re-Entrant Flows", *International Journal of Production Research*, 44 (5): 883 – 902.
- Wuttipornpun, T. ve Yenradee, P., (2004), "Development of Finite Capacity Material Requirement Planning System for Assembly Operations", *Production Planning and Control*, 15 (5): 534 – 549.
- Yi, W. ve Ozdamar, L., (2007), "A Dynamic Logistics Coordination Model for Evacuation and Support in Disaster Response Activities", *European Journal of Operational Research*, 179: 1177–1193.
- Yuan, K. J., Chang, S. H. ve Li, R. K., (2003), "Enhancement of Theory of Constraints Replenishment Using a Novel Generic Buffer Management Procedure", *International Journal of Production Research*, 41 (4): 725 – 740.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D. ve Kiranoudis, C. T., (2007a), "A Guided Tabu Search for the Vehicle Routing Problem with Two-Dimensional Loading Constraints", *European Journal of Operational Research*, In Press, Corrected Proof, Available online 21 November 2007.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D. ve Kiranoudis, C. T., (2007b), "A Hybrid Metaheuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-Up Service", *Expert Systems with Applications*, In Press, Corrected Proof, Available online 7 November 2007.

EKLER

Ek 1 FIFO, NN ve GA Algoritmaları Sahte Kodu

Ek 1 FIFO, NN ve GA Algoritmaları Sahte Kodu

```

repaint the map
while (time>8:00 AND time<18:00)
    if (there is a node made service call)
        set consultant as busy
        select node to go according to selected algorithm
        if (there is no node selected)
            set consultant free
            sleep for one second
            continue
        endif
        mark the selected node as service call responded
        calculate timeToGo for the selected node
        sleep for timeToGo seconds
        set consultant node as same with the service call come from
        sleep for estimatedServiceTime seconds
        set consultant as free
    endif
    sleep for one second
end while

selectNodeToGo()
start
    if(algorithm == FIFO)
        selectionWithFIFO()
    if(algorithm == NEAREST_NEIGHBOUR)
        selectionWithNN()
    if(algorithm == GA)
        selectionWithGA()
    if(algorithm == GA_WithDataSet)
        selectionWithGA ()
    end
selectionWithFIFO()
start
    normalService = null
    slaService = null
    normalService = normalServiceQueue.firstElement()
    slaService = slaServiceQueue.firstElement()
    if(slaService is before normalService)
        return slaService
    if(can catch slaService)
        return normalService
    return slaService
end
selectionWithNN()
start
    normalService = null
    slaService = null
    normalService = normalServiceQueue.nearestElement()
    slaService = slaServiceQueue.nearestElement()
    if(slaService is closer than normalService)
        return slaService
    if(can catch slaService)
        return normalService
    return slaService
end
selectionWithGA()
start
    normalService = null
    slaService = null
    normalService = normalServiceQueue.nexttElement()
    slaService = slaServiceQueue.nextElement()

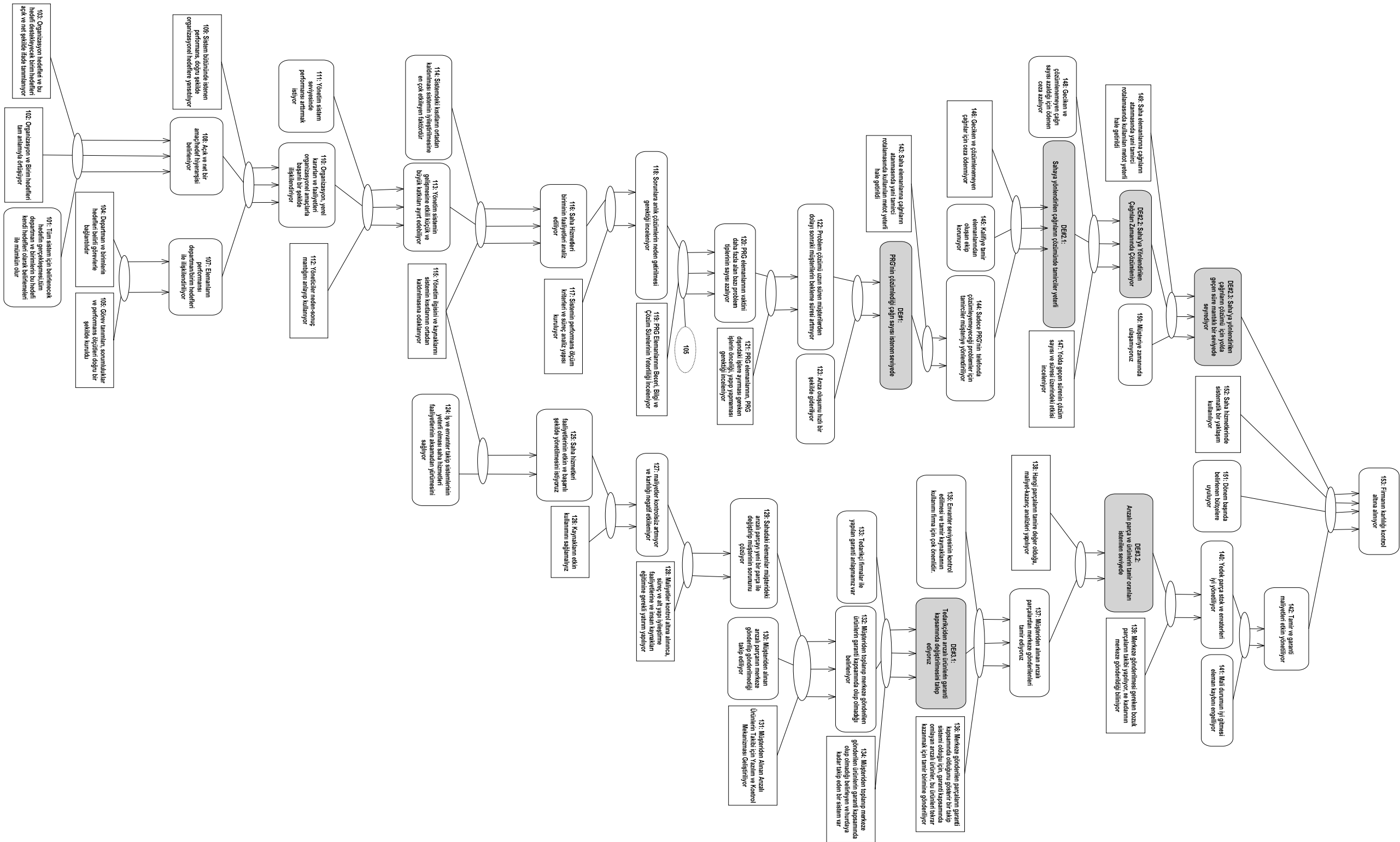
    if(slaService is on path normalService)
        return slaService
    if(can catch slaService)
        return normalService
    return slaService
end

```

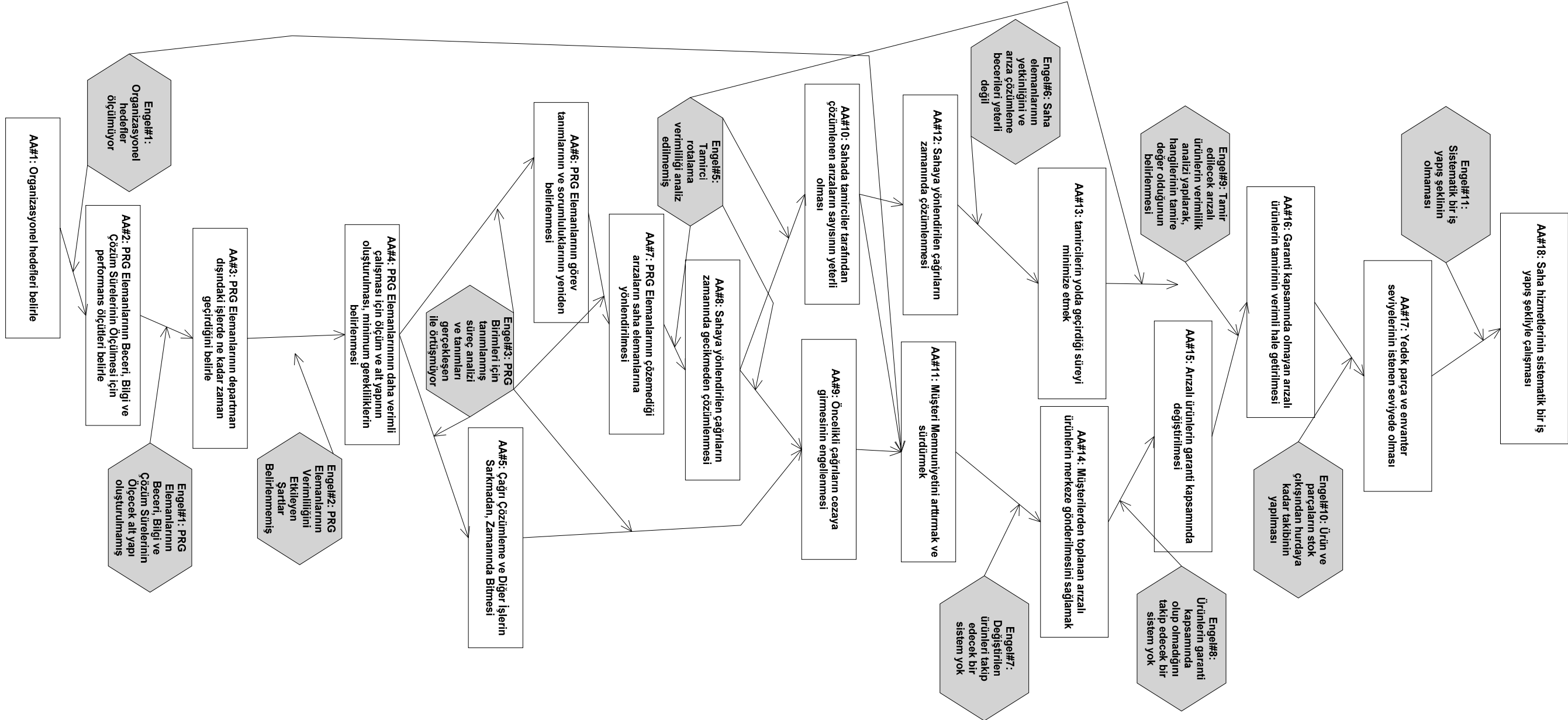
Ek 2 İncelenen Problemin Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT)



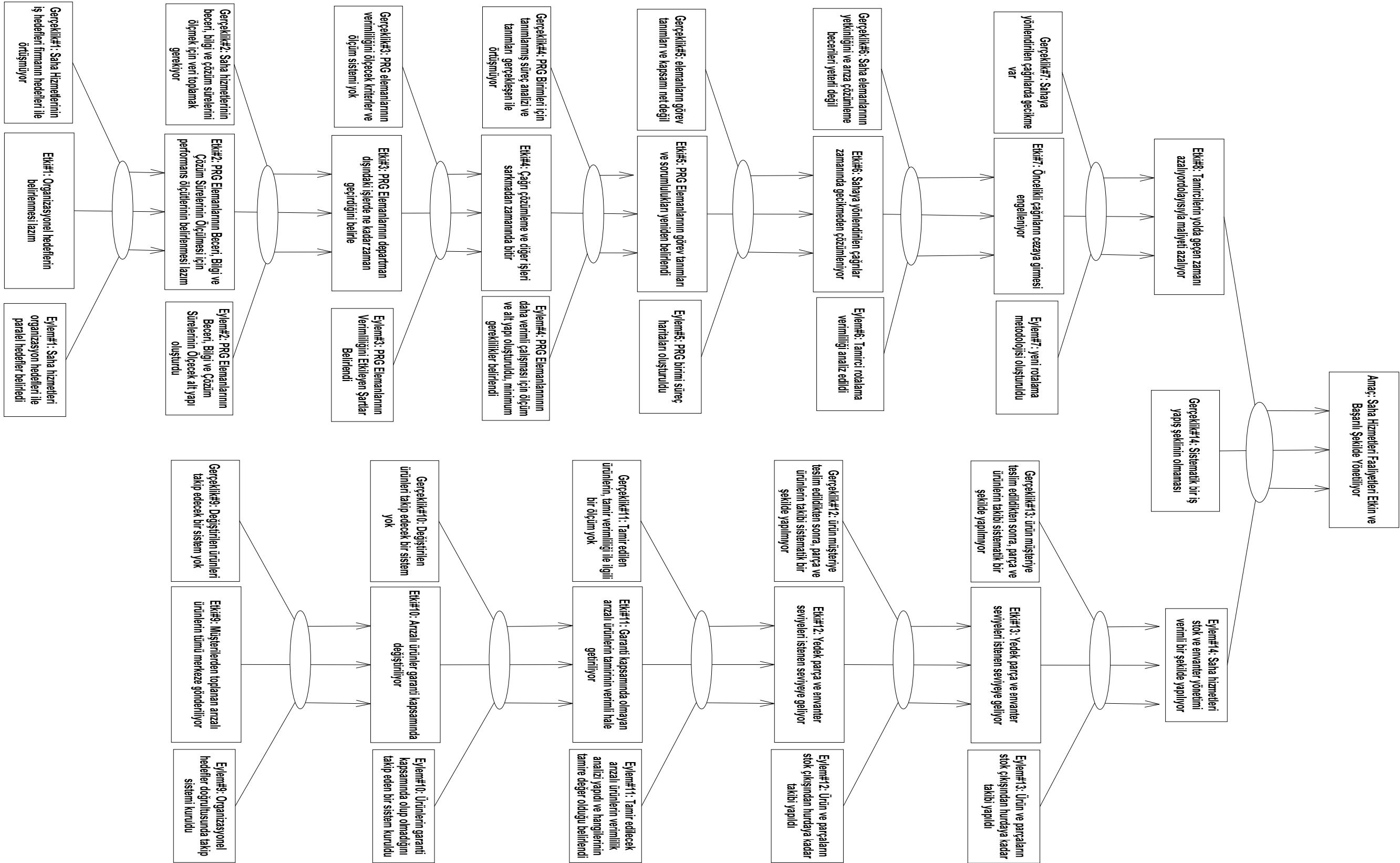
Ek 3 İncelenen Problemin Gelecek Gerçeklik Ağacı (FRT)



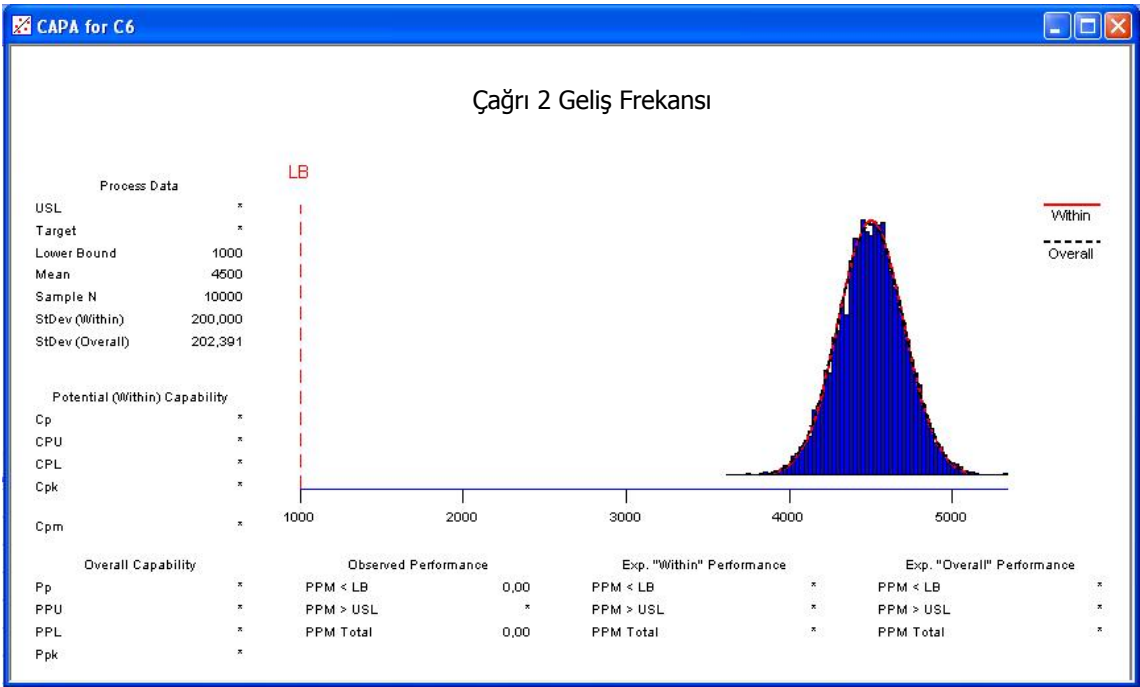
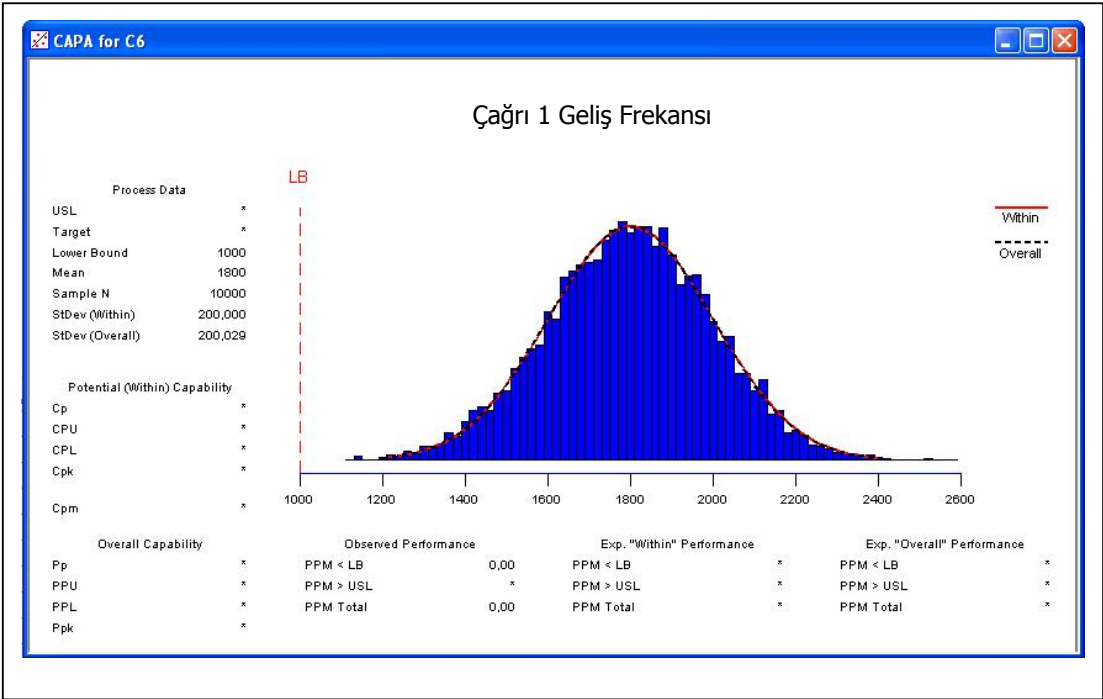
Ek 4 İncelenen Problemin Ön Koşul Ağacı (PRT)



Ek 5 İncelenen Problemin Dönüşüm Ağacı (TT)

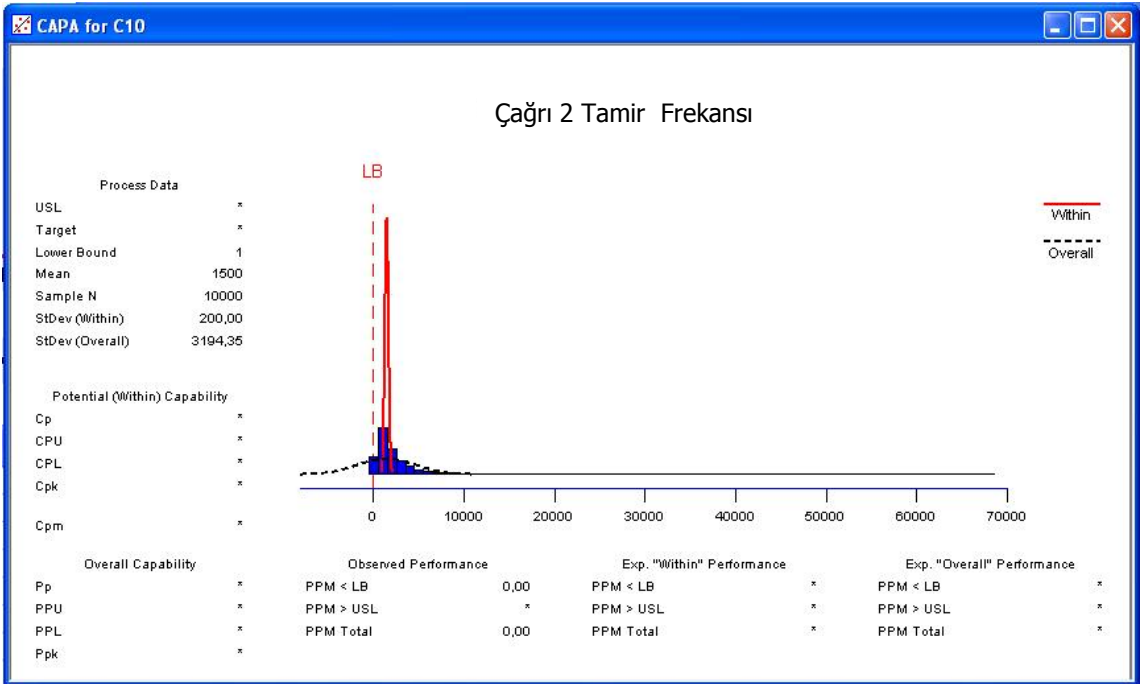
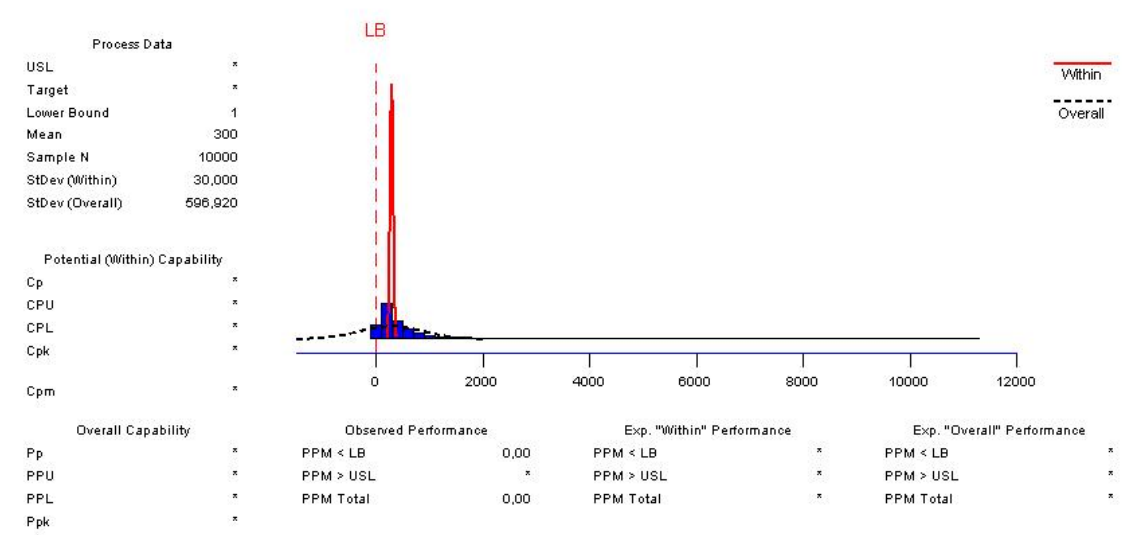


Ek 6 Normal Dağılıma Uyan Çağrı Frekansları



Ek 7 Log-normal Dağılıma Uyan Tamir Frekansları

Çağrı 1 Tamir Frekansı



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	05.01.1978	
Doğum yeri	Tebriz	
Lise	1993–1995	Etiler Lisesi
Lisans	1996–2000	Yıldız Üniversitesi Makine Mühendisliği Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2000–2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora	2002–2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

1999–2000	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğrenci Asistan
2000-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi
2003-2006	KoçSistem Bilgi ve İletişim A.Ş. Sistem Analisti
2006-devam ediyor	Okan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi