

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR FİRMANIN ZAMAN PENCERELİ BELİRLİ TALEPLİ ARAÇ
ROTALAMA PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK
ÇÖZÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Begüm AKSAKAL

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR FİRMANIN ZAMAN PENCERELİ BELİRLİ TALEPLİ ARAÇ
ROTALAMA PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK
ÇÖZÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Begüm AKSAKAL
(507101125)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. Şeyda SERDAR ASAN

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507101125 numaralı Yüksek Öğrencisi **Begüm AKSAKAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BİR FİRMANIN ZAMAN PENCERELİ BELİRLİ TALEPLİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK ÇÖZÜLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Şeyda Serdar ASAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Öğr. Gör. Dr. Seda UĞURLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Hazırlamış olduğum yüksek lisans tezimde, firmaların ürün ya da hizmetlerinin müşterilere en az maliyetle ve hızlı ulaşmasını sağlayacak, rekabet avantajı kazandıracak, tedarik zinciri etkinliğine katkı sağlayacak Araç Rotası Planlama konuları üzerinde durdum.

Günümüz koşullarında lojistiğin kazandığı önem ve stratejik değeri farkederek işletmeler maliyetlerinde kazancı, Araç Rotası Planlamalarında uyguladıkları teknik ve iyileştirmelerden elde etmektedirler. En kısa yol, en verimli kapasite kullanımı Araç Rotalamanın üzerinde durduğu ana kazanç noktalarıdır.

Tezimin hazırlanması sırasında vermiş olduğu destek ve yapmış olduğu yardımlardan dolayı danışman hocam Y. Doç. Dr. Şeyda Serdar Asan'a, uygulama çalışmam sırasında benden desteğini esirgemeyen iş arkadaşlarıma ve maddi manevi her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2014

Begüm Aksakal
(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. LOJİSTİK VE LOJİSTİK YÖNETİMİ	3
2.1 Lojistik Tanımı	3
2.2 Lojistikte Süreçler	5
2.3 Lojistik Yönetimi	5
2.4 Lojistikte Ulaştırma.....	8
3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ.....	9
3.1 Araç Rotalama Problemi Türleri	14
3.1.1 Kapalı ve açık uçlu araç rotalama problemleri	14
3.1.2 Simetrik ve asimetrik yollu araç rotalama problemleri.....	15
3.1.3 Zaman kısıtlı belirli talepli araç rotalama problemleri.....	15
3.1.4 Zaman kısıtlı belirsiz talepli araç rotalama problemleri	15
3.1.5 Kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri	16
3.1.6 Tek Depolu, dağıtım ve toplamalı, belirli talepli araç rotalama problemleri	16
3.1.7 Tek depolu belirli talepli zaman pencereci araç rotalama problemleri.....	17
3.1.8 Çok depolu araç rotalama problemleri.....	17
4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ İÇİN ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI .	19
4.1 Araç Rotalama Problemleri İçin Optimal Çözüm Yaklaşımları	19
4.1.1 Dal - sınır yöntemi	20
4.1.2 Kesim düzlemi yöntemi	20
4.1.3 Dal - kesme yöntemi	20
4.1.4 Dinamik programlama	21
4.2 Araç Rotalama Problemleri İçin Sezgisel Çözüm Yaklaşımları	22
4.2.1 Rota oluşturma yöntemleri.....	23
Kazançlar (tasarruf) yöntemi.....	23
Yerleştirme yöntemi.....	24
En yakın komşu yöntemi.....	24
4.2.2 İki aşamalı yöntemler.....	25
Önce kümeleme - sonra rotalama yöntemi.....	25
Önce rotalama - sonra kümeleme yöntemi.....	29
4.3 Araç Rotalama Problemleri İçin Metasezgisel Yaklaşımlar	29
4.3.1 Tabu arama yöntemi.....	30
4.3.2 Tavlama benzetimi yöntemi.....	33

4.3.3 Karınca kolonileri.....	35
4.3.4 Genetik algoritmalar.....	40
4.4 ARP Çözüm Yöntemlerinin Genel Değerlendirmesi ve Problemde Kullanılan Yöntemin Seçilme Nedenleri	42
4.5 Araç Rotalama Problemlerinin Uygulama Alanları	44
5. PROBLEMİN VE ÇÖZÜMDE KULLANILAN MODELİN TANIMI.....	47
5.1 Problemin Tanımı.....	47
5.2 Problemin Çözümünde Kullanılan Genetik Algoritma Modelinin Tanımı.....	50
5.2.1 Genetik algoritma kavramları.....	51
5.2.2 Genetik algoritma aşamaları.....	52
5.3 Sayısal Sonuçlar	57
5.3.1 Genetik algoritmanın performansı	60
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
EKLER.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

ARP	: Araç Rotası Planlama
GA	: Genetik Algoritma
GSP	: Gezgin Satıcı Problemi
KA	: Karınca Algoritması
SA	: Süpürme Algoritması
TA	: Tabu Arama
TB	: Tavlama Benzetimi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Lojistiğin Gelişimi (Ross,2002)	4
Çizelge 3.1 : Araç rotalamanın kısa bir tarihçesi (Tanyaş, 2002)	9
Çizelge 3.2 : ARP türlerinin ilgi alanları (Geloğulları, 2001)	14
Çizelge 4.1 : ARP Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Cordeau ve diğ., 2002)44	44
Çizelge 5.1 : Koşum Sonuçları	58
Çizelge 5.2 : Performans Sonuçları	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Fiziksel Dağıtım Süreci (Akın, 2002)	7
Şekil 4.1 : Süpürme Algoritması (Kocaoğlu, 2003)	27
Şekil 4.2 : Süpürme Algoritması Uygulanması (Ropke, 2005)	27
Şekil 4.3 : Karıncaların izlediği yol	36
Şekil 4.4 : Karıncaların bir engelle karşılaşması	36
Şekil 4.5 : Engelle karşılaşan karıncaların seçimi	36
Şekil 4.6 : Karıncaların en kısa yolu bulmaları (Dalkılıç ve Türkmen, 2003)	36
Şekil 4.7 : Evrimsel Algoritma Çevrimi (Biethahn ve Nissen, 1995)	41
Şekil 4.8 : Genetik Algoritma Akış Diyagramı (Osman ve Kelly, 1996).....	42
Şekil 5.1 : GA Model Akışı	50
Şekil 5.2 : Allel-Gen-Kromozom İlişkisi.....	51
Şekil 5.3 : Rulet Çemberi – Birey seçilme olasılıkları	54
Şekil 5.4 : Sıralamalı Seçim – Birey seçilme olasılıkları	55
Şekil 5.5 : 5 farklı koşumun iterasyon sayısı-toplam mesafe grafiği	57
Şekil 5.6 : Şirketin kullanmakta olduğu mevcut rota	58
Şekil 5.7 : En iyi çözümün oluşturduğu rota	59

BİR FİRMANIN ZAMAN PENCERELİ BELİRLİ TALEPLİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK ÇÖZÜLMESİ

ÖZET

Gelişen ve rekabetçi koşullara uyum sağlamak zorunda olan şirketler, bu süreçteki en belirleyici faktör olan müşteri memnuniyetinin artırılması konusuna daha fazla önem vermek durumunda kalmışlardır. Şirketler var olan başarılarını sürdürülebilir kılmak ve müşteriler tarafından her zaman tercih edilir olmak için, müşterinin sesini dinlemenin ve taleplerine kısa sürede yanıt verme esnekliğine sahip olmanın önemini kavramışlardır. Şirketler sürdürülebilir başarıya sahip olma hedeflerine ulaşabilmek için; en az maliyet, en iyi müşteri ilişkileri stratejisini benimsemek durumundadırlar. Tedarik Zincirinin son halkası, ürünün/hizmetin müşteriye ulaştığı son aşaması dağıtımdır. Lojistik ve dağıtımın en önemli konularından biri olan Araç Rotalama Problemi ile müşterinin varlığı, kapasite, zaman, mesafe gibi bir takım kısıtlar çerçevesinde araçların müşterilere atanması gerçekleştirilerek lojistik maliyetlerini önemli ölçüde azaltmak ve buna bağlı olarak da firmalara rekabet üstünlüğü getirmek amaçlanmaktadır. Dağıtım aşamasında araçların gideceği en kısa yolu belirleme ve müşterilere en kısa sürede hizmet etme ve bunları gerçekleştirirken diğer kısıtları da göz önünde bulundurma Araç Rotalama Problemleri'nin şirketlere sağladığı en büyük yararlarıdır. Büyük lojistik ağlara sahip olan firmaların rotalama problemleri kesin en iyileme yöntemleri ile çözülmeye çalışıldığında bu işlem uzun sürmektedir ve bahsedilen yöntemleri kullanmak verimli olmayacaktır. Bu nedenle en iyiye yakın çözümü veren, hız ve esneklik konusunda büyük avantaj sağlayan, günümüzde birçok farklı çalışma alanlarında kullanılan sezgisel ve/veya metasezgisel yöntemlerin uygulanması tercih edilmektedir.

Yapılan bu çalışmada Araç Rotalama Problemleri'nin çeşitleri tanıtılmış, ARP'lerin literatürde kullanılmakta olan çözüm yöntemleri anlatılmış, söz konusu firmadaki ARP modellenmiş, bu modele uygun algoritma oluşturulmuş ve şirketin gerçek verileri kullanılarak problem en iyi çözüme yakın bir sonuca ulaşılmıştır. Çalışmada bahsedilen özellikler dikkate alınarak problem çözümünde Genetik Algoritma'nın kullanılmasına karar verilmiştir. Metasezgisel bir yaklaşım olan Genetik Algoritma'da yeni bir birey kodlama çeşidi olan rassal sayılı kodlama kullanılarak modelin daha etkin ve hızlı olması sağlanmıştır. Bu çalışma ile Araç Rotalama Problemlerini ele alan diğer modellerle karşılaştırılabilir bir model ortaya koymak ve bu modelin bir firmada uygulanarak avantaj ve dezavantajlarını belirtmek amaçlanmıştır.

SOLVING VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS AND SPECIFIC DEMANDS OF A COMPANY BY USING GENETIC ALGORITHM

SUMMARY

The companies have to adapt to the competitive conditions that evolving steadily. Customer satisfaction has become the most decisive factor in this process and this has forced the companies give extra attention to the customer satisfaction. In order to have a sustainable success, companies have to adopt minimum cost, best customer relations strategies. In the supply chain, one of the most important issues of logistics and distribution which is the last process that product or service reaches to customers has become an area that companies pay more attention. While faster delivery and more customer reachability cause more customer satisfaction, companies should also consider and decrease their operational costs. The aim of these companies is to provide quality and speed service and minimizing the costs as well. The cost of routing vehicles represents an important component of many transportation and distribution costs in a logistics system. The typical vehicle routing problem involves in designing a set of minimum-cost routes for a fleet of vehicle. Vehicle routing problems have various extensions such as time windows, multiple vehicles, backhauls, simultaneous delivery and pick-up, etc.

The objectives of all these problems are to design optimal routes minimizing total distance traveled, minimizing number of vehicles, etc that satisfy corresponding constraints. In this study, a genetic algorithm based heuristic that can be used to solve various vehicle routing problems is proposed. The objective function minimizes the total distance traveled by all vehicles. Solving vehicle routing problems with the precise optimization methods of the companies which have the largest logistic network will take longer, the method will not be efficient to use. Therefore heuristic and meta heuristic methods which gives the nearly the best solution are preferred.

In this study, types of studies have been introduced in the Vehicle Routing Problem, solution methods have been described and vehicle routing problem of the company modeled and the results with actual data has been reached. Firstly it has been mentioned that vehicle routing problems are combinatorial problems. Vehicle Routing Problem types are shaped depending on time and capacity constraints, the vehicle fleet type, number of warehouse, road symmetry etc. Nowadays, Vehicle Routing Problem has many application areas in the manufacturing and service sector. The most well known of these are; waste collection, disabled people's transport, transportation and logistic applications, ring services, determining school vehicles routes, distribution and collection problems, airplane routing problems, materials picking in the stock field problems, newspaper, water, mail delivery problems, travel scheduling, material flow system design, in factory finished / semi-finished goods transportation system, electronic circuit design etc.

Vehicle Routing Problem is divided into several classes according to various constraints. Each additional constraint differentiates each vehicle routing problem. Therefore, only some specific criterias are taken into account to classify vehicle routing problems. If we give examples of these parameters; objective function, fleet size, fleet type, number of warehouses, structure of demand, total time or distance constraints, the time window, precedence relations, vehicle capacity, graphene structure.

Over the past 40 years, several studies have been carried out to investigate heuristic approach that can get results close to the optimal results. Wide variety optimization criterias are available in Vehicle Routing Problem literature. The most common ones, the route number, the total route length, route duration, customer satisfaction, load balancing can be listed. The most widely used criterias in Vehicle Routing Problem objective function are route number and total route distance. In the Vehicle Routing Problem solution, both heuristic and optimal methods can be used. In the 1960's and 1970's it is focused on vehicle routing problems investigation, route building, route development and two-stage heuristic. In the 1980's, mathematical programming based heuristics have been developed. This heuristic requires more computational effort but produces high quality results. By the end of 1980's, Vehicle Routing Problems nearly 50-customers have been started to be solved. In the 1990's, general-purpose meta-heuristics have been applied on vehicle routing problem that is focus of research.

As described, these heuristic approaches are divided into two classes as classic and meta-heuristic. Classic heuristics approaches are generally targeted approach to be able to get results in a short time. Clark Wright Savings Algorithm, Sweep Algorithm and Fisher & Jaikum are some of the classic heuristic approaches. In the recent years, studies have focused on meta-heuristic approaches, and for this meta-heuristic approaches the main criteria is proximity to the optimal solution. Meta-heuristic approach focuses on two principles: local search and population search. For local search, Simulated Annealing and Tabu Search can be listed as two major meta-heuristic approaches. Genetic Algorithm and Adaptive Memory Procedure Algorithm can be said as the two main population search algorithm.

The problem was modeled with genetic algorithm, which is one of the meta-heuristic methods, random key representation is a new approach for individual coding in genetic algorithm that improves efficiency. Instead of producing a single solution, genetic algorithm generates a solution set that consists of different solutions. Thus, many points can be evaluated at the same time in the search space and the probability of achieving holistic solution increases. Meta-heuristic approaches, according to the classical ones, despite spending more time are better getting high quality results. When comparing this approaches, the four primary features are discussed; clarity, speed, simplicity and flexibility.

In this thesis the examined problem is NP-hard. Because of the problem is hard and has a big size, it has been assumed that process takes a long time if classic heuristic is used. In addition, time and demand constraints are expected to be provided. It has been requested an algorithm that provides this flexibility. With genetic algorithm, we can use auxiliary algorithm that consider our constraints. It also allows to create a hybrid algorithm with several classic heuristics. Also compared with other meta-heuristics; good speed and lower probability of being stopped at local best solution, genetic algorithm has been considered appropriate.

Considering the mentioned features in this study, it was decided to use the genetic algorithm to solve the vehicle routing problem. Studies and generated algorithms in the literature are compared with the best solution until that time. The most widely used data set for Vehicle Routing Problem is Solomon data set. The developed approach is coded in C++ and tested on the well-known 56 benchmark instances of Solomon (1987).

With this study, it is aimed to create a comparable model which is based on vehicle routing problems and to apply in a company's logistic network intended to indicate the advantages and disadvantages. The proposed genetic algorithm provides decision maker the opportunity of evaluating alternative distribution plans, as well as saving cost and time. The algorithm is proven to give good results when compared to the best known results in the literature.

1. GİRİŞ

Günümüzde firmaları ayakta tutan ve rakiplerine göre öne geçiren en önemli noktalardan biri firmanın kurduğu tedarik zincirinin ve bu zincirin etkinliğidir. Tedarik Zinciri; tedarikçilerden fabrikalara ham madde ve ihtiyaç olan girdilerin taşınmasından, fabrikalardaki girdilerin ürünlere çevrilmesine, ürünlerin çeşitli depo ve ambarlara taşınmasından ürünlerin nihai müşteriye teslimatına kadar tüm prosesleri kapsar. Bu prosesler Tedarik Zinciri içerisinde lojistik sistemi oluşturan proseslerdir. Firmalar günümüz rekabetçi çevresinde müşteri odaklılığı koruyarak tutunabilmek için tedarik zincirlerine ve tedarik zincirleri içerisinde lojistik sistemlerine her zaman olduğundan daha çok önem vermek zorundadırlar.

Bu lojistik sistemin içerisinde, dağıtım maliyetlerini azaltmak ve müşterilere sunulan servisin kalitesini arttırmak için en kısa zamanı ya da mesafeyi verecek olan, bir aracın şebeke içerisinde izleyeceği en uygun rotayı bulmak önemli bir hal almıştır.

Genellikle depodan başlayarak tüm müşterilere en kısa zaman ve en düşük maliyet ile ulaşmasını sağlayan rotayı çizme problemi olan Araç Rotalama Problemi için bir çok metod optimum rotayı belirlemek için kullanılmıştır. Fakat uzun yıllardan beri çalışmalar yapılmış olmasına rağmen her türlü duruma uyarlanabilecek optimum bir matematiksel formül geliştirilememiştir. Sezgisel ve metasezgisel metotlar bu açıdan matematiksel modellerin yetersiz kaldığı durumlarda algoritmaların geliştirilmesine katkı sağlamaları açısından önem taşımaktadırlar.

Yaptığım çalışmada lojistik kavramı, lojistik ile ulaştırma ilişkileri, Araç Rotalama Problemleri'nin niteliği, çeşitleri ve çözüm tekniklerinden genel bilgiler verdim. Son bölümde ise bir firmanın zaman pencereli belirli talepli araç rotalama probleminin genetik algoritma ile çözümüne yer verdim.

2. LOJİSTİK VE LOJİSTİK YÖNETİMİ

2.1 Lojistik Tanımı

Lojistiğin günümüzde kabul gören en geçerli tanımı, Lojistik Yönetim Konseyi (The Council of Logistics Management-CLM), yeni adı ile Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri (Supply Chain Management Professionals-CSCMP) tarafından yapılmıştır. Bu tanıma göre lojistik; müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere ürünlerin üretildiği veya kaynaklandığı noktadan, son kullanımının bulunduğu tüketim noktasına kadar olan tedarik zinciri içindeki malzemelerin, servis hizmetlerinin ve bilgi akışının etkin ve verimli bir şekilde iki yöne doğru hareketinin ve depolanmasının, planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesidir (Akın,2002). Rekabet ve sürdürülebilirlikte olmazsa olmaz denilen lojistik anlayışı içerisinde müşteri isteklerinin karşılanması en üst boyutta yer almaktadır. Lojistik için en ünlü tanım göz önünde tutulursa yedi D'den meydana geldiği görülür; Bunlar doğru ürün, doğru miktarda ve doğru durumda, doğru yerde,doğru zamanda, doğru müşteri için, doğru fiyattır.

Modern anlamda lojistik ise, fiziksel dağıtım, imalat desteği tedarik faaliyetlerine yöneltilen planlama, dağıtım, denetim, finans ve insan kaynakları sürecine yol göstermede başlı başına mantıksal bir fonksiyondur (Akcan, 2003).

Ballou (1999) da lojistiği; müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla, hammaddelerin işlenmekte olan parçaların, son ürünlerin ve bunlara ilişkin bilgilerin kaynaktan tüketileceği noktaya etkin ve ekonomik bir şekilde akışının ve gerektiğinde depolanmasının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi süreci olarak tanımlanır.

Lojistiğin gelişimi aşamaları Çizelge 2.1 de görüldüğü gibi izlenmiştir.

Çizelge 2.1 : Lojistiğin Gelişimi (Ross,2002)

AŞAMALAR	YÖNETİM MERKEZİ	ÖRGÜTSEL TASARIM
<u>1960 Yılları</u>		
Depolama ve Ulaştırma	Satış pazarlama, Depolama, Stok Denetimi, Ulaştırma Etkinliği,	Dağınık lojistik faaliyetler Lojistik faaliyetler arasında zayıf bağlantı Düşük lojistik yönetimi otoritesi işletme başarısını destekler.
<u>1980 Yılları</u>		
Toplam Maliyet Yönetimi	Lojistiğin merkezileştirilmesi Toplam maliyet yönetimi Süreç optimizasyonu Rekabetçi bir avantaj olarak lojistik	Merkezileşmiş lojistik faaliyetler Büyüyen lojistik yönetimi otoritesi Bilgisayar uygulamaları
<u>1990 Yılları</u>		
Entegre Lojistik Yönetimi	Lojistik planlama Tedarik zinciri stratejileri İşletme faaliyetleri ile bütünleşme Süreç kanalları ile bütünleşme	Lojistik faaliyetlerde genişleme Tedarik zinciri planlama Toplam kalite yönetimi için destek Lojistik yönetim faaliyetleri
<u>2000 Yılları</u>		
Tedarik Zinciri Yönetimi	Stratejik tedarik zinciri görüşü Extranet teknoloji kullanımı Kanal güçlerini ortak bir kuvvet aracı kullanmak için tedarik zinciri TQM göstergelerinde işbirliği yapmak	Ticari ortaklık Sanal örgüt Talepteki değişimler Benchmarking ve yeniden yapılanma
<u>2000 Yılı ve Sonrası</u>		
E-Tedarik Zinciri Yönetimi	SCM kavramına internetin uygulanması Düşük maliyetli anında veri tabanı paylaşımı Elektronik bilgi SCM senkronizasyonu	Tedarik zinciri ağı ile ticaret ortaklığı yapmak .com, -e eklentisi vb. piyasa değişiklikleri (e-ticaret) Örgütsel çeviklik ve ölçülebilirlik

2.2 Lojistikte Süreçler

Müşterinin ihtiyaçları ve isteğine uygun bir şekilde üretim noktasından tüketim noktasına, hammadde, yarı mamul, son mamul ve ilgili bilginin verimli ve etkili şekilde akışı ve depolanması hizmetinin içinde yer aldığı sürece “lojistik süreç” denir.

Lojistik süreçlerde ürüne katılan temel 3 değer;

Konum: Ürünlerin müşteri açısından daha düşük değerli olduğu yerlerden, daha yüksek değerli olduğu yerlere taşınması ve bu sayede konum değerinin artırılmasıdır. Bu işlem, taşıma maliyetlerini de kapsamaktadır.

Zaman: Ürünlere ihtiyaç oluncaya kadar bunların depolanması ve tüm süreçlerin daha verimli yapılması ile gerçekleşmektedir. Bu işlem, envanter bulundurma maliyetlerini de kapsamaktadır.

Yapı: Ürünlerin istenilen miktarlarda ve özelliklerde düzenlenerek, bunlara sipariş değeri eklenmesidir.

2.3 Lojistik Yönetimi

Lojistik Yönetimi ise lojistik süreçleri içerisinde çift yönlü mal, hizmet ve bilgi akışı faaliyetleridir. Tedarikçiden üreticiye kadar olan lojistik faaliyetleri Tedarik Lojistiği, üretim içinde yer alan lojistik faaliyetleri Üretim Lojistiği ve üreticiden son kullanıcıya kadar olan lojistik faaliyetleri de Dağıtım Lojistiği adı altında incelenebilir.

Lojistik Yönetim Konseyi tanımı doğrultusunda, aşağıda lojistik yönetim sürecinde bir ürünü başlangıç noktasından satış noktasına kadar olan faaliyetleri belirtmiştir;

1. Müşteri hizmetleri
2. Sipariş süreci
3. Dağıtım kanalları
4. Envanter kontrol
5. Talep tahmini
6. Dağıtım
7. Ambarlama / depolama
8. Fabrika ve depo yeri seçimi
9. Malzeme yönetimi

10. Tedarik
11. Malzeme ve hizmet desteği
12. Paketleme
13. Artık parça yönetimi
14. Geri dönen kaynakların işlenmesi (Yıldıztekin, 2003).

Lojistik yönetimini kullanan bir işletmenin en önem verdiği konulardan biri müşteri istekleri ile paralel doğrultuda hareket ederek müşteri memnuniyetini yüksek tutmaktır. Bu yüzden lojistik yönetimi kapsamı içinde müşteri hizmetleri faaliyetlerine dikkat edilmelidir. Bu bağlamda, bir ön çalışma ile müşteri hizmetlerinin nasıl olması gerektiği, (firma ile uyum sağlayan, en uygun maliyetli ve müşteri merkezli felsefe ile) incelenir. Bütün lojistik yönetim faaliyetlerinde müşteri hizmetleri konusunda yapılan çalışmalar bağlayıcı bir güçtür. İşletmenin pazardaki başarısını sağlamak için gerekli olan müşteri memnuniyetinin sağlanması, müşteri hizmetleri bölümünün başlıca görevidir. Lojistik yönetimini kullanan bir işletmenin her birimi müşterinin almak istediği malı; doğru ürünü, doğru yerde, doğru durumda, doğru fiyatta ve doğru zamanda olacak şekilde planlamalıdır. Bu tip müşteri hizmetleri, bütünleşmiş lojistik yönetimin başarılı bir uygulaması ile müşteri memnuniyetinin gerekli seviyede tutulmasını sağlar. (Ölçer ve Önüt, 2002).

Lojistik hizmetlerinde hizmet düzeyi birbirine bağımlı dört grup faktörle açıklanır;

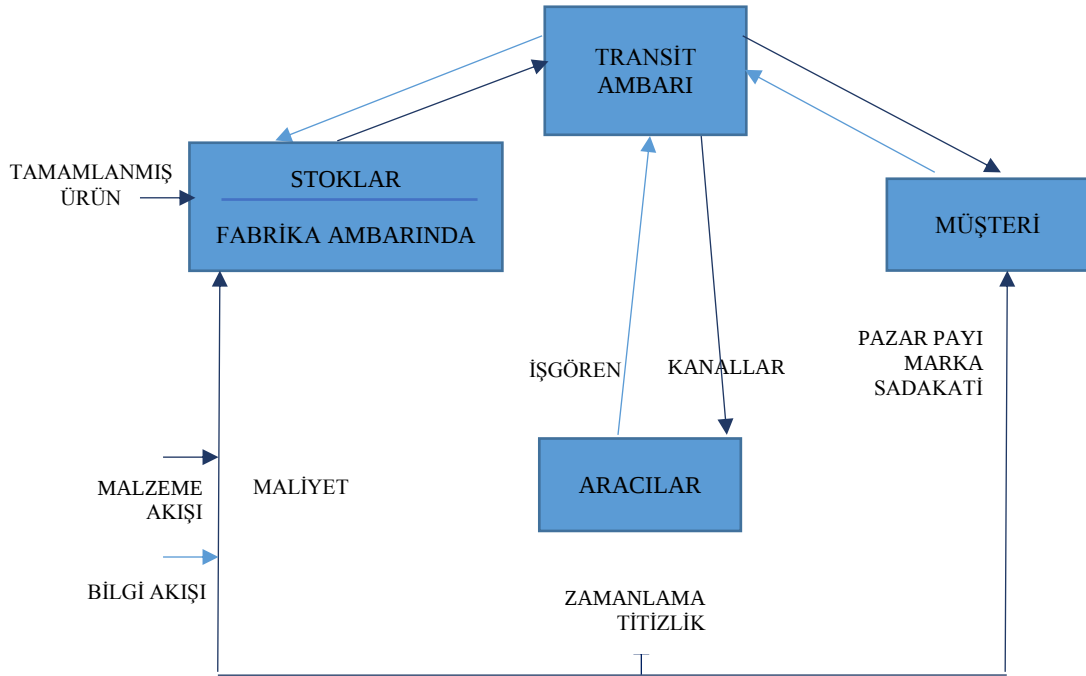
1. Sipariş dönemi zamanı ve hız
2. Güvenilirlik (tutarlılık, her zaman aynı ve sürekli servis, doğruluk, varan malların kalitesi)
3. İletişim (beklentiler, normlardan sapmalar, siparişle ilgili uyarılar, geri bildirim, sipariştten faturaya bilgi akışı vb.)
4. Kolaylık (sipariş vermede, bilgi akışında, tarifelerde, sipariş iptallerinde, şikayet edebilmede vb.) (Sağlam, 2003).

Müşteri sipariş ilişkilerinden oluşan siparişlerinde lojistik açıdan en önemli olay müşteri siparişlerinin yerinde ve zamanında müşteriyi memnun edecek bir sonuçla teslim edilmesidir.

Sipariş işlerinin bir lojistik faaliyet olması sebebiyle sipariş işlerinde bir takım değişiklikler yapılabilir. Bu durum, ek masraflar getirmekle birlikte fiziksel dağıtım masraflarını azaltır.

Eğer, firma sipariş işlerini bir lojistik faaliyet olarak ele alsa ve telefon, bilgisayarlar vasıtasıyla müşteri ilişkilerini yönlendirse sipariş işleri için gerekli olan süre yarı yarıya indirilebilir. Bu da firmaya daha ucuz taşıma vasıtası kullanma imkanı sağlar. Bu sebeple sipariş işleri faaliyetleri lojistik açısından büyük önem taşır.

1960'lı ve 1970'li yılların başlarında Fiziksel Dağıtım Yönetimi hızla benimsenmiş ve yayılmış bir lojistik kavramdı. Ve günümüzün tedarik zinciri yönetimi ile lojistik yönetiminin temellerini oluşturmaktaydı. Fiziksel Dağıtım Yönetimi üretim veya ticaret ile elde edilen malların üreticiden tüketiciye taşınmasını içeren faaliyetler dizisidir. Günümüzde de lojistik ve tedarik zinciri yönetiminin temel işlevi olsa da süreçler Fiziksel Dağıtım yönetimi çağına göre oldukça karmaşıktır. Şekil 2.1'de döneme ait fiziksel dağıtım süreci genel hatlarla gösterilmiştir (Akın, 2002).



Şekil 2.1 : Fiziksel Dağıtım Süreci (Akın, 2002)

Dağıtım türü seçimi problemi dağıtım türlerinin kapasitelerini, maliyetlerini, elleçleme gereksinimlerini, ve mesafelerini hesaba katarak yükü en iyi ulaştırma türünü seçerek ulaştırmaya odaklanmıştır.

Ulaştırma türünün seçiminde bazı faktörler önemlidir; hizmetin sıklığı, hız nakliye süresi, nakliye süresi değişkenliği, maliyet, uygunluk, güvenlik, emniyet ve müşteri hizmetleri. Faktör analizi, ağırlıklı faktör analizi, ve analitik hiyerarşi süreci de ulaştırma türü seçiminde kullanılabilir. Birden fazla ulaştırma türü devreye girdiğinde problem karmaşık bir hal alır ve aktarma maliyetleri de önem kazanır.

Aktarma maliyetleri, aktarma noktası ve aktarma noktasına getiren ve götüren ulaştırma şekillerine bağlı olarak değiştiğinde karmaşıklık daha fazla artmaktadır. Nakliye süresi ulaştırma türüne de bağlı olduğu için ulaştırma türü seçimi kararları ulaşımdaki envanter maliyetini kaynaktaki ve tüm tüketim merkezlerindeki envanterleri de etkilemektedir. Hızlı ulaştırma türü düşük envantere ihtiyaç duymaktadır (Yıldırım, 2003).

2.4 Lojistikte Ulaştırma

Lojistik kavramı ile yakından ilişkili kavramlardan birisi ise ulaştırma. Ulaştırma insanların veya malların bir yerden başka bir yere nakledilmesidir. Zaten İngilizce ‘Transport’ kelimesinin kökenine bakılırsa, Latince ‘trans’ ve ‘portare’ kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Yani karşıdan karşıya taşıma anlamına gelmektedir.

Taşıma hizmetinin uyumu, aynı yerleşim yerleri arasında mal hareket akışının zaman bakımından ayarlanmasını ifade eder. Taşıma işlevinin şu üç faktörünün lojistik sistemle çok yakın ilgisi bulunduğu her zaman göz önünde tutulmalıdır. Bunlardan ilki, tesis yerleşim yeri seçiminin, taşıma seçeneklerinin dağılımını sınırlayan ve tamamlanması gereken aktarma çabalarını saptayan bir zinciri ya da yapıyı oluşturmuş olmasıdır. İkincisi, taşımanın toplam maliyetinin, iki yerleşim yeri arasındaki mal hareketlerini yerine getiren taşıyıcının talep ettiği nakliye bedelinden daha fazlasını kapsamasıdır. Üçüncüsü ise, verilen hizmet dağınık ve tutarsızsa lojistik sistem içinde taşıma kapasitesini tamamlamaya yönelik bütün çabaların boşa gidebileceğidir.

3. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Ulaştırma, taşıma ve dağıtım konularında üzerinde durulan ilk problemlerden biri Gezgin Satıcı Problemi (GSP) dir. GSP'nin kökeni, 1880'lerde Sir William R. Hamilton tarafından bulunan, "İkosalan Oyunu"na dayanmaktadır (Biggs ve diğ. 1976). Bu oyunda amaç, 20 noktadan oluşan bir İcosahedron'un tüm noktalarını bir kez ziyaret edecek bir yol bulmaktır. Bulunan bu yola Hamilton Turu adı verilir. GSP probleminde 1 hareketli vardır, eğer birden fazla (m) hareketli varsa, bu problem m-GSP olarak tanımlanır. m-GSP probleminde hareketliler araçlar ise bu probleme özel olarak Araç Rotalama Problemi (ARP) adı verilir.

Çizelge 3.1 : Araç rotalamanın kısa bir tarihçesi (Tanyaş, 2002)

1950'ler	ARP tamsayı programlama olarak formüle edilmiş ve 10-20 müşterili küçük problemler çözülmüştür.
1960'lar	Rota kurma sezgiselleri sunulmuş ve 30-100 müşterili problemler çözülmüştür.
1970'ler	İki fazlı sezgiseller, interaktif (insan-makina) sezgiseller geliştirilmiş, yaklaşık 50 müşterili problemler optimal metotlarla çözülebilir hale gelmiştir.
1980'ler	Matematiksel programlama esaslı prosedürler literatüre sunulmuştur. Etkileşimli (interaktif: insan-makina) sezgiseller geliştirilmiştir. Optimal yöntemler kullanılarak yaklaşık 50 müşteriye sahip olan bazı problemler çözülmüştür.
1990'lar	Araç rotalama problemlerine metasezgiseller uygulanmıştır. 50 – 100 müşteriye sahip bazı problemler optimal olarak çözülmüştür.

Günümüzde hizmet ve üretim sektöründe ARP'nin birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar arasından en çok bilinenleri atık toplama, engelli insanların taşınması, ulaşım ve lojistik uygulamaları, dağıtım ve toplama problemleri, ring taşımacılığı, okul taşıt güzergâhlarının belirlenmesi, uçak rotalama problemleri, stok alanındaki malzeme toplama problemleri, gazete, su, posta vs dağıtım problemleri, şehirlerarasında yapılacak seyahatlerin çizelgelemesi, malzeme akış sistemi tasarımı, fabrika içi mamul / yarı mamul taşıma sistemi, elektronik devre tasarımı vb gibidir. Varsayımlar ve kısıtlara göre ARP'nin çeşitli türleri vardır. (Keçeci, 2008).

Araç rotalama problemi bir yol ağı üzerinden araçlar yardımıyla yapılan bir mal taşımacılığıdır. Bu açıdan bakıldığında gerçek hayatta bu problemin bazı bileşenlerinden söz edilebilir.

Bu bileşenler aşağıda verilmiştir (Paolucci, 2005).

- Yol ağı,
- Müşteriler,
- Araçlar,
- Depolar,
- Sürücüler,
- Operasyonel kısıtlar,
- Amaçlar...

Yol Ağı:

ARP’de yol ağı bir serim ile gösterilir. Serimlerde düğümler ve ayrıtlar vardır. ARP’de yollar, serimdeki ayrıtlara; duraklar (müşteriler) ise serimdeki düğümlere karşılık gelmektedir. Yol ağını temsil eden serimler yönlü, yönsüz veya hem yönlü hem yönsüz karışımı ayrıtlardan oluşabilir.

Müşteriler:

ARP’de müşteriler hizmet bekleyen, yani depodan belirli miktarda mal talep eden veya depoya belirli miktarda mal arz eden birimlerdir. Bir serimde müşteriler, düğümler ile temsil edilirler.

Araçlar:

ARP’de hareketliler araçlardır. Kaç tane hareketli varsa o kadar tur olmalıdır. Araçların bir veya birden fazla depoda olduğu düşünülür. Her aracın bir taşıma kapasitesi vardır. Taşıma kapasitesi ağırlık cinsinden olabileceği gibi hacim cinsinden de olabilir. Ayrıca her aracın taşıma kapasitesi aynı olabileceği gibi kimi problemlerde farklı taşıma kapasitesine sahip araçlarda kullanılabilir.

Sürücüler:

Sürücüler ARP’lerde doğrudan dikkate alınmasa da dolaylı olarak göz önünde bulundurulmak zorundadır. Gerçek hayat uygulamalarında sendikal ve sözleşme şartları modellere yansıtılmalıdır.

Yasalarda sürücülerin çalışma periyotları, vardiyaları, fazla mesai şartları ve vermesi gereken dinlenme araları belirtildiğinden, oluşturulan dağıtım planlarının bu düzenlemelere göre yapılması zorunluluğu vardır.

Depolar:

ARP'de depolar, çeşitli veya benzer tipte araçların bulundukları ve dağıtım planının merkezini oluşturan birimlerdir.

Verilecek kararlar, yapılacak planlar, araçların depodan çıkarak hangi noktalara uğrayıp geri tekrar depoya dönmesi gerektiği fikrine dayanır. Tek depo olabileceği gibi kimi problemlerde, birden fazla deponun da olması muhtemeldir.

Kısıtlar:

ARP'de kısıtlar yapılan taşımacılığın doğası ve gereklerine, verilen taşımacılık hizmetinin kalitesine ve sürücülerin çalışma sözleşmelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ancak genel olarak bir ARP'de kısıtlar, iki sınıfta toplanır. İlki yerel kısıtlardır ve tek bir tur için geçerli olan kısıtlardır. İkincisi ise bütünsel kısıtlardır ve bütün turlar için geçerli olan kısıtlardır.

Yerel kısıtlar ile; araç kapasitesinin aşılmaması, verilmesi durumunda azami tur uzunluğunun veya tur süresinin aşılmaması, verilmesi durumunda turdaki müşterilere belirli zaman pencerelerinde uğranılması, taşımacılık hizmetinin tipine göre yalnızca toplama, yalnızca dağıtım veya her ikisinin birden yapılması, müşteriler arasındaki öncüllük ilişkisi (topla ve dağıt veya önce dağıt sonra topla) sağlanır. Bütünsel kısıtlar ile; araç sayısı kadar turun olması, verilmesi durumunda araç veya depo için azami tur sayısının aşılmaması, sürücüler arasında iş yükünün dengelenmesi, çalışma periyotlarının ve vardiyaların, turlar arasında belirli bir asgari zaman aralığı olacak şekilde düzenlemesi sağlanır.

Amaçlar:

Yöneylem araştırması alanındaki her eniyileme probleminde olduğu gibi ARP'de de birçok farklı amaç fonksiyonu eniyilenmeye çalışılır. Bu amaçlardan bazılarını örnek olarak aşağıdakiler verilebilir:

- Taşıma maliyetleri ve taşımada kullanılan araçların sabit maliyetleri toplamını enküçükleme,
- Araç ve/veya sürücü sayısını enküçükleme,

- Tur sürelerini, mesafelerini, maliyetlerini dengelenmek,
- Tamamen veya kısmen hizmet verilemeyen müşteriler için katlanılması gereken ceza toplamını enküçüklemek,
- Toplam mesafeyi enküçüklemek,
- Toplam süreyi enküçüklemek.

ARP’de yukarıda verilen amaç fonksiyonlarından birisi eniyilenmeye çalışılabileceği gibi birbiriyle çelişir nitelikte birkaç amaç fonksiyonu da eniyilenmeye çalışılabilir (Murata ve diğ., 2005). Bu durumda çok amaçlı bir karar problemine dönüşen ARP için, farklı çok amaçlı karar problemi çözüm yöntemlerinden yararlanılabilir (Calvete ve diğ., 2007).

ARP de her müşteriye bir kez uğranıldığı ve her rotada bir araç bulunduğu düşünülerek rotalar kümesi oluşturulur. Bu kümede, bütün operasyonel kısıtlar sağlanır ve taşıma maliyetleri minimize edilmeye çalışılır.

ARP çözüm bölgesi $G(V,E)$ grafinin kenarları ile sınırlanan kombinasyonel bir problemidir.

Klasik bir ARP modelinin formülasyonu:

$G = (V, E)$ bir grafi,

$V = \{V_0, V_1, \dots, V_n\}$ bir nokta kümesini ve

$E = \{(v_i, v_j): v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ bir kenar kümesini gösterebilir.

Bir kenar kümesi ise, V kümesinde V_0 merkez depoyu, diğer n sayıda nokta ise müşterileri ifade etmektedir. Her müşteri pozitif bir q_i talebine sahiptir ve her biri C kapasiteli m araçtan oluşan bir araç filosu depoda bulunmaktadır.

Literatürde bu kapasite kısıtının yer almadığı problemlere Çoklu Gezgin Satıcı Problemi adı verilmektedir. ARP’de temel amaç tüm müşterilere hizmet götürmek için her aracın gideceği güzergahı çizmek, diğer bir deyişle m adet rota belirlemektir. Kuşkusuz bunu yaparken de kısıtlara uyularak maliyetin minimize edilmesi arzulanmaktadır.

Tek depolu klasik bir ARP’nin doğrusal modeli aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

M : Araç sayısı

N : Müşteri sayısı

d_{ij} : Nokta i ve nokta j arasındaki mesafe

q_i : Müşteri i 'nin talep miktarı

$$X_{ijk}: \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{eğer } k \text{ nolu araç } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına hareket ederse} \\ 0, \text{aksi takdirde} \end{array} \right\}$$

$$\text{Amaç Foksiyonu: } \min Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, j \neq i}^N \sum_{k=1}^M d_{ij} X_{ijk} \quad (3.1)$$

Şu kısıtlara göre:

$$i = 0 \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = M \quad (3.2)$$

$$i \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} = 1 \quad (3.3)$$

$$j \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{i=0, i \neq j}^N X_{ijk} = 1 \quad (3.4)$$

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=1}^N X_{i0k} \leq 1 \quad (3.5)$$

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq C \quad (3.6)$$

Amaç fonksiyonu (3.1) toplam kat edilecek mesafenin yani maliyetin minimize edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. (3.2) nolu kısıt denklemi işletme biriminden çıkacak araç sayısının M adet olduğunu, (3.3) ve (3.4) kısıt denklemleri bir müşterinin mutlaka bir araç tarafından ziyaret edilmesi ile müşteriye gelen ve müşteriden çıkan yollardan sadece bir tanesinin kullanılmasının zorunlu olduğunu (3.5) nolu kısıt denklemi bir aracın ancak bir defa işletme biriminden çıkacağı dolayısıyla rotalamada bir defa kullanılacağını (3.6) nolu kısıt denklemi ise araçlara yüklemelerin araç kapasite değeri C 'yi geçmemesini belirtmektedir.

Bazı problemlerde araç sayısı kısıtı olarak en fazla M tane aracın kullanılması gerektiği yer almaktadır. Bu durumda (3.2) nolu denklemde eşitlik ifadesi yerine küçük eşit ifadesi yer alacaktır. Modelde yer alan temel kısıtlar olan (3.3) ve (3.4) nolu denklemler rotaların sürekliliğini sağlaması açısından önemlidir (Cordeau, 2004).

3.1 Araç Rotalama Problemi Türleri

ARP çeşitli kısıtlara göre birçok sınıfa ayrılmaktadır. Her bir ek kısıt için her araç rotalama problemi farklılaşmaktadır. Bundan dolayı araç rotalama problem sınıflarını oluşturmak için yalnızca belirli bazı kriterler göz önüne alınmıştır.

Çizelge 3.2 : ARP türlerinin ilgi alanları (Geloğulları, 2001)

<i>Parametre</i>	<i>İlgi Alanı</i>
Amaç Fonksiyonu	Mesafeyi veya zamanı veya araç sayısını minimize etmek
Filo Boyutu	Tek araç veya birden fazla araç
Filo Tipi	Homojen veya heterojen filo
Depo Sayısı	Tek depo veya birden fazla depo
Talep Yapısı	Deterministik talep veya stokastik talep
Toplam zaman veya mesafe kısıtı	Kısıtın olma veya olmaması durumu
Zaman penceresi	Kısıtın olma veya olmaması durumu
Öncelik ilişkileri	Kısıtın olma veya olmaması durumu
Araç kapasitesi	Kısıtın olma veya olmaması durumu
Graf yapısı	Doğrudan veya dolaylı Simetrik veya asimetrik

3.1.1 Kapalı ve açık uçlu araç rotalama problemleri

Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemleri (KUARP): Bu problemlerde rotalar tek bir merkezden başlar yine aynı merkezde son bulurlar. Depodan çıkan araçların yine aynı depo ya dönmeleri belirli kısıtlar kullanılarak sağlanmaktadır. Literatürde bulunan Araç Rotalama Problemlerinin büyük bir kısmı Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemleridir.

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{j=1}^N X_{0jk} = \sum_{i=1}^N X_{i0k} \leq 1 \quad (3.7)$$

0 nolu nokta işletme birimini yani depoyu temsil ettiği için bu noktadan çıkan aracın mutlaka bu noktaya dönmesi, (3.7) numaralı denklemde aynı araç için bu nokta ile başlayıp bu noktada biten X karar değişkenlerinin değerleri birbirine eşitlenerek sağlanmaktadır. Literatürdeki araştırmalar çoğunlukla KUARP ile yapılmaktadır (Erol, 2006).

Açık Uçlu Araç Rotalama Problemleri (AUARP): Bu tip problemlerde rotaların başladıkları noktalarda bitmesi zorunluluğu yoktur.

Bu durumu sağlamak içinde ayrıca bir kısıta ihtiyaç duyulmamaktadır. Sonuç zaten açık uçlu rotalar doğuracaktır. Fakat rotaların kesin olarak bir müşteride sona ermesini sağlayan kısıt denklemi aşağıda yer almaktadır:

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{j=1}^N X_{0jk} + \sum_{i=1}^N X_{i0k} = 1 \quad (3.8)$$

Bu denklemle bir aracın 0 nolu nokta (işletme birimi) ile başlayan veya biten ilgili X değişkenlerinden ancak biri bir değerini alabilir ve böylece aracın sadece işletme biriminden çıkması, oraya tekrar dönmemesi garantilenmiş olmaktadır (Erol, 2006).

3.1.2 Simetrik ve asimetrik yollu araç rotalama problemleri

Simetrik Yollu Araç Rotalama Problemleri:

Genellikle bir noktadan diğerine olan gidiş dönüş mesafesi birbirine eşittir ($d_{ij}=d_{ji}$). Literatürde böyle problemler Simetrik Araç Rotalama Problemleri olarak belirtilmektedir.

Asimetrik Yollu Araç Rotalama Problemleri:

Bazı durumlarda ARP’de yer alan y ve z noktaları için y noktasından z noktasına gitmek için gerekli olan mesafe, z’den y noktasına olan mesafeye eşit olamayabilir ($d_{yz} \neq d_{zy}$). Bu tip KUARP’de araçların ilk olarak hangi müşteriye gideceği önem kazanmakta, bu da rotanın dönüş yönünü saptayarak rota mesafesinin hesaplanmasını belirlemektedir. Bu tip problemlere Asimetrik Yollu Araç Rotalama Problemleri (AYARP) denmektedir.

3.1.3 Zaman kısıtlı belirli talepli araç rotalama problemleri

Belirli talepli zaman kısıtlı araç rotalama problemleri, normal araç rotalama problemlerin maksimum rota zamanı ve belirli talep kısıtlarının eklenmiş halidir. Problem, araçlardan oluşan bir filosu merkezi bir depodan çeşitli talep noktalarına minimum maliyetle ulaşmasını ve geri dönmesini sağlayan rotaların bulunmasıdır. Araçların belirli bir yük kapasiteleri mevcuttur ve bir turun maksimum tamamlanma süresi kısıtla belirlenmiştir.

3.1.4 Zaman kısıtlı belirsiz talepli araç rotalama problemleri

Bu sınıfın klasik araç rotalama probleminden farkı taleplerin kesin olarak bilinmemesidir.

Fakat talepler belirli bir olasılık dağılımı yardımıyla tahmin edilmektedir. Talep belirsiz araç rotalama probleminin temel özellikleri olarak şunlar söylenebilir: (Chan, 2001)

- Müşteri talepleri, bilinen bir olasılık dağılımıyla birlikte rastsal bir değişken olarak kabul edilir.
- Gerçek talep bilgisine ulaşılmadan önce araç rotaları belirlenmektedir.
- Amaç toplam maliyetin minimizasyonudur, fakat başka maliyetler de buna eklenebilmektedir.

3.1.5 Kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP) bir veya daha fazla sayıda işletme birimi (depo) bulunan bir işletmenin talepleri belli n adet müşterisine ulaşabilmesi için yükleme kapasiteleri kısıtlı araçların rota planlaması problemidir. Literatürde klasik ARP ile KKARP bir olarak tutulup, genellikle tüm ARP uygulamalarında kapasite kısıtı bulunmaktadır. KKARP’de bir rotada yer alan müşterilerin toplam talebi araç kapasitesi C’yi geçmemelidir. ARP modelinde bu kısıt (3.6) numaralı denklemde gösterilmektedir.

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq C \quad (3.6)$$

3.1.6 Tek Depolu, dağıtım ve toplamalı, belirli talepli araç rotalama problemleri

Bu tip bir problemde hem belirli noktalara dağıtım söz konusudur, hem de belirli noktalardan mamul toplanması ve merkezi depoya taşınması söz konusudur. İleri tip müşteriler ve geri tip müşteriler olmak üzere iki tip müşteri mevcuttur. Depodan ayrılan özdeş araçlar önce talep noktalarına yani ileri tip müşterilere uğrayarak talepleri karşılarlar ve daha sonra da geri tip müşterilerden mamuller toplanarak merkezi depoya taşınırlar. Her araç yalnızca bir rota gerçekleştirir. Her rota için geri tip ve ileri tip müşterilerin toplam yükü, araç kapasitesini geçemez. Amaç toplam yolculuk mesafesini minimize etmektir. Bu tür problemlere örnek olarak sebze meyve endüstrisi verilebilir. Bu durumda, süper marketler ve dükkânlar ileri tip müşteriler ve market tedarikçileri de geri tip müşteriler olarak adlandırılabilir (Toth, 1996).

3.1.7 Tek depolu belirli talepli zaman pencereleli araç rotalama problemleri

Araç rotalama probleminin özel bir durumu olan zaman pencereleli araç rotalama problemi, en erken ve en geç servis zamanları içeren bir karmaşıklığa sahiptir. Bu problemde istenilen, her müşterinin bir araca atanması ve her aracın ziyaret edeceği müşteri kümesinin sınırlandırılmasıdır. Bunu yaparken, araç kapasite kısıtlarına ve zaman pencereleri kısıtlarına bağlı kalınmalıdır ve amaç maliyetin minimizasyonu olmalıdır (Tung, 2000).

Burada zaman penceresinin anlamı şöyle ifade edilebilir. Eğer bir araç bir müşteriye erken ulaşırsa zaman penceresi açılana dek bekleyecektir. Tersi bir durum olduğunda yani zaman penceresinin kapanış zamanından sonra geldiyse ise teslimatı yapamamış olacaktır. Bu problemde klasik araç rotalama parametrelerine ek olarak; t_{ij} = i müşterisinden j müşterisine yolculuk zamanı, s_i : i müşterisinde servis zamanı, e_i : teslimatın en erken başlama zamanı ve u_i : teslimatın en geç başlama zamanı parametreleri mevcuttur (Fisher, 1997).

3.1.8 Çok depolu araç rotalama problemleri

Çok sayıda müşteriye hizmet götürecek birden fazla kaynak noktası bulunduğunda, her kaynağa atanacak müşteriler ile bu müşteriler arasındaki en uygun rotanın bulunması problemi ile karşılaşilmektedir. Bu problem genelde birden fazla tedarikçi, fabrika ya da deponun aynı ürünü bir den fazla müşteriye ulaştırma çabası şeklinde günümüzde uygulama alanı bulmaktadır. Şu haliyle bile çözülmesi zor olan bu problem, her kaynaktan çıkacak olan ürün sayısının toplam müşteri talebi ile sınırlandırılması halinde oldukça kompleks bir hal almaktadır. Bu tip problemler genellikle doğrusal programlama algoritmaları içindeki “Transportasyon Metodu” ile çözülmektedir (Ballou, 1999).

Bu problemde birden çok sayıda depoya dağıtılmış m adet taşıt burada depolanmış olan ürünleri istem noktalarına dağıtmaktadır. Buna göre her taşıt öyle bir güzergâh izlemelidir ki toplam kat edilen mesafe azalırken tüm istemler karşılanmış ve taşıtlar depolarına dönmüş olmalıdır. Depolarda bulunan m adet araç, her rotadaki toplam talebi karşılamak zorundadır. Rotalama kararı her aracın, hangi rotayı izlemesi gerektiğini belirleme işlemini içinde barındırır. Bu belirleme, toplam uzaklığın minimizasyonu, taleplerin karşılanması, her hedefin yalnızca bir defa ziyaret edilmesi, araçların depolara geri dönmesi gibi kriterler dikkate alınarak yapılır.

4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ İÇİN ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

ARP literatüründe çok çeşitli optimizasyon kriterleri mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanları, rota sayısı, toplam rota uzunluğu, rota süresi, müşteri memnuniyeti, yük dengeleme şeklinde sıralanabilir. Bu kriterlerden rota sayısı ve toplam rota uzunluğu ARP amaç fonksiyonunda en yaygın olarak kullanılanıdır. ARP'nin çözümünde hem sezgisel hem de optimum metotlar kullanılabilir.

1960'larda ve 1970'lerde araç rotalama problemlerinin araştırılması rota kurma, rota geliştirme ve iki aşamalı sezgiseller üzerine odaklanmıştır. 1980'lerde matematik programlama esaslı sezgiseller geliştirilmiştir. Bu sezgiseller daha fazla hesaplama çabasına gereksinim duymakta ancak oldukça yüksek kaliteli sonuçlar üretmektedir. 1980'lerin sonuna gelindiğinde yaklaşık 50 müşterisi olan problemler optimal olarak çözülmeye başlanmıştır. 1990'larda araştırma odağı araç rotalama problemlerine genel amaçlı metaheüristikler uygulamaya alınmıştır. Bu meta-sezgiseller benzetimde tavlama, genetik algoritmalar, sinir ağıları ve tabu arama metotlarını içermektedir. Bu metotların bazıları tanınmış problem kümelerine doğruluğı yüksek çözümler üretmişlerdir (Şeker, 2007).

4.1 Araç Rotalama Problemleri İçin Optimal Çözüm Yaklaşımları

Araç rotalama problemleri karma tamsayılı modellerle ifade edilmektedir. Ancak günümüzde tamsayılı modelleri, doğrusal programlamada kullanılan simpleks yöntemi gibi verimli çözebilecek yöntemler mevcut değildir. Çözüm için genellikle şu yöntemler kullanılır;

- Dal-Sınır
- Kesim Düzlemi

Bu teknikler genel olarak karma tamsayılı veya tamsayılı modeller için kullanılabilecekleri gibi, özel düzlemlerle araç rotalama problemleri için daha etkin hale getirilebilirler (Toth, 2002).

Kesin yöntemler ile optimum sonuçlar bulunmaktadır. Ancak özellikle büyük ölçekli problemlerin çözümünde çözüm zamanı çok uzun olabilmektedir. Kesin yöntemler matematiksel programlama tabanlı yöntemler olup, ortak özellikleri optimum sonuç vermeleridir.

Tamsayılı model olarak formüle edilen araç rotalama probleminin çözümü için dal-sınır (Branch and Bound), kesme düzlemi (Cutting Plane) ve dal-kesme (Branch and Cut) yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca dinamik programlama, lagrangian ayrıştırma, ağaç arama ve sütun yaratma (column generation) kesin çözüm yöntemleri arasında yer almaktadır (Şeker, 2007).

4.1.1 Dal - sınır yöntemi

Bu yöntem, tamsayı düğümlerinde alt ve üst sınırlar kullanılarak çözüm kümesini tarayan bir yöntemdir. Herhangi bir iterasyonda, bulunan düğümün alt ve üst sınırına bakılarak ve o düğümden dallanma yapıp yapılamayacağına karar verilir. Problemler, dallanma yapmak üzere alt problemlere ayrılırlar. Herhangi bir alt problemde, alt sınır bulmak için lineer programlama gevşetmesi çözülür. Lineer programlama gevşetmesi, değişkenler üzerindeki tamsayılı kısıtların kaldırılması ile elde edilmektedir. Üst sınır, problemde o ana kadar elde edilmiş en iyi çözümdür.

Eğer düğümden elde edilen değer üst sınırdan daha iyi ise üst sınır değeri güncellenir. Üst sınır güncellendiğinde, alt sınırın üst sınıra eşit veya daha büyük olan alt problemler dallanma kümesinden iptal edilir ve dallanma yapılmaz. Diğer alt problemler için dallanma yapılarak elde edilen yeni düğümler dallanma kümesine eklenir. (Toth, 2002).

4.1.2 Kesim düzlemi yöntemi

Dal sınır Algoritmasındaki gibi, Kesme Düzlemi algoritması da sürekli bir doğrusal programlama probleminin optimum çözümüyle başlar. Ancak bu yöntemde dallanma ve sınırlamadan çok, kesme adı verilen özel kısıtlar ardı ardına oluşturularak çözüm uzayının düzenlenmesine gidilir (Taha, 2005).

4.1.3 Dal - kesme yöntemi

Dal-kesme yöntemi tamsayılı programlama problemleri için oldukça etkili bir yöntemdir.

Bu yöntem kesme düzlemi algoritması ve dal-sınır yöntemlerinin bir birleşimidir. Dal-kesme yöntemi de diğer tamsayılı programlama algoritmalarıyla (Dal-sınır, Kesme düzlemi) benzer olarak tamsayılı programlama probleminin, doğrusal programlama ile yapılacak çözümü ile başlar.

Genel bir tamsayılı programlama problemini sadece kesme düzlemi yaklaşımı ile verimli olarak çözebilmek mümkün değildir, alternatif optimum çözümleri bulmak için dallandırma yapmak da ayrıca gereklidir. Dal-sınır yaklaşımı, kesme düzlemi algoritmasının uygulanması ile oldukça hızlandırılabilir.

4.1.4 Dinamik programlama

Dinamik programlama, bir dizi karar verme işlemini optimize eden bir matematik işlemleri bütünüdür. Temelde, dinamik programlama, problem çözümüne, problemin veya problemin bir kısmının parçalara bölünmesi ve bu parçaların çözülerek, bu çözümlerin depolanması şeklinde bir problem çözüm yaklaşımı sunmaktadır. Bu çözümler, ihtiyaç duyulduğunda, yemden çözmek yerine, yeniden canlandırılmak suretiyle problemin genel çözümüne eklenerek, nihai çözüme ulaşılmaktadır.

Dinamik programlama, sistem analizi alanında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve çok aşamalı karar verme problemlerinde optimal bir silsileye karar vermede kullanılabilir. Dinamik programlama, özellikle karar aşamasının zaman periyodunda silsile halinde olan problemlere çok uygundur. Periyotlar birbirine öyle bir bağla bağlıdır ki bir zaman döneminde alınan kararlar sonraki karar verme aşamalarını etkilemektedir. Problem, alt problemlere bölünür ve her bir alt problem için optimal bir çözüm bulunur, n sayıda karar verme aşamalarına sahip bir problem, n sayıda ve her biri tek bir karar değişkenine sahip, problemlere bölünür. Hesaplama süresi, bir problem içindeki değişkenler sayısınca eksponensiyal olarak büyürken, alt problemler sayısınca doğrusal olarak büyür.

Bir problemin tümü sistem ve alt problemler de basamak olarak düşünülebilir. Dinamik programlamada basamaklar, genellikle, bir zaman aralığını temsil eder. Bir sistemin her bir basamağında, problemin çözüm aşamalarına karşılık gelen birden fazla durum vardır. Durumlar, tamamlanmamış çözümleri karakterize eder. Karar verici, her bir basamakta, o basamak için en iyi sonucu veren kararı vermelidir. Bir karar, sistemi bir durumdan diğerine taşır. Bir sistemi bir durumdan diğerine taşıyan her bir aşamaya basamak denir.

Dinamik programlama genellikle geriye doğru, yani son durumdan ilk duruma doğru, bir işlemler silsilesi şeklinde uygulanır. Bu geriye doğru endükleme tekniği, son durumdan, bir önceki basamağın durumlarına doğru yapılır (Çetin, 2005).

4.2 Araç Rotalama Problemleri İçin Sezgisel Çözüm Yaklaşımları

ARP hizmet sunulan müşteri sayısı ve coğrafi alan olarak büyük ölçekli bir problemdir. Müşteri sayısı arttıkça alternatif rota sayısı artmakta ve hesaplama zorlaşmaktadır. Bu nedenle ARP çözümünde sezgisel algoritmalar ön plana çıkmaktadır.

Sezgisel yöntemler arama uzayında oldukça kısıtlı bir alanda tarama yapmalarına rağmen oldukça kısa bir sürede iyiye yakın çözümler üretmektedirler. Bunun yanında sezgisel teknikler genelde hızlı bir şekilde uygun bir ilk çözüm bularak bu çözümü iyileştirmeye çalışırlar. ARP için geliştirilen sezgisel yöntemlerin bir çoğu simetrik yollu KKARP için geliştirilmişlerdir.

Algoritma belirli bir problemi çözecek davranışın var olan veya sonradan tamamlanan veri modeline dayandırılarak adım adım ortaya koymak ve bunu bilgisayar ortamında herhangi bir programlama diliyle kodlamaktır. Algoritma mekanik davranan kişiye ve makineye bir takım verilerden yola çıkarak ve sonlu sayıda aşamalardan geçerek belli bir problemi çözme imkanı veren, çok kesin komutlar bütününde oluşmaktadır. Bir algoritmanın çalışmasındaki mutlak zorunluluk, her türlü belirsizlikten arınmış olmasıdır. ARP tipi problemlerin çözümünde genellikle sezgisel yöntemler kullanılır. Ancak bir problem için geçersiz olan sezgisel yaklaşım diğeri için başarılı sonuçlar verebilir.

Feigenbaum ve Fieldman'a göre sezgisellik, problemin durum uzayı çok büyük olduğunda çözümün aranmasını kesin bir biçimde sınırlayan kural, strateji, hile ve diğer etmenlerin kullanımıdır. Dolayısıyla sezgisellik problem karmaşıklık içerdiğinde çözüm için yolun bulunmasındaki yardımcı anahtardır. Sezgisel yaklaşımların temel adımları aşağıdaki gibidir:

- Mümkün olabilecek durumların içinde herhangi birinin ele alınması
- Ele alınmış duruma mümkün gidişler uygulayarak durumun değiştirilmesi
- Durumun değerlendirilmesi
- Gereksiz durumların atılması

- Eğer sonuca ulaşılmışsa çözümün tamamlanması, aksi halde yeni değerler ele alınarak işlemlerin tekrarlanması.

Sezgisel algoritmalar belli bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için çeşitli alternatif hareketlerden etkili olana karar vermek amacıyla tanımlanan kriterler veya bilgisayar metotlarıdır. Bu tür algoritmalar yakınsama özelliğine sahiptir ama kesin çözümü garanti etmezler ve sadece kesin çözümün yakınındaki bir çözümü garanti edebilirler (Erol, 2006).

Sezgisel yaklaşımlarının başlıkları aşağıdaki gibidir;

- Rota Oluşturma Yöntemleri;

1) Kazançlar (Tasarruf) Yöntemi

2) Yerleştirme Yöntemi

3) En Yakın Komşu Yöntemi

- İki Aşamalı Yöntemler

1) Önce Kümeleme - Sonra Rotalama Yöntemi

2) Önce Rotalama - Sonra Kümeleme Yöntemi

4.2.1 Rota oluşturma yöntemleri

Rota oluşturmak için geliştirilmiş yöntemlerden en çok kullanılanları alt başlık olarak açıklanmıştır;

Kazançlar (tasarruf) yöntemi

Bu yöntem literatürde Clarke Wright Tasarruf Yöntemi olarak da geçmektedir. Kazançlar yöntemine göre oluşturulmuş yaklaşımlarda, çözüm oluşturulurken sondan bir önceki adımı da kapsayan her adımda, mevcut durum alternatif bir durumla karşılaştırılır.

Karşılaştırmaya tabi tutulan alternatif durumda en fazla kazancı sağlama veya mevcut yapıda olmayan fakat daha düşük maliyetli bir talebi içermesi özellikleri aranır. Bu yöntemin çözüm adımları aşağıdaki gibidir: (Ballou, 1999)

Adım 1: Tüm talep yerlerine, merkezden birer araç tahsis edilebileceği varsayılır. Talebin bölünebilir olduğu durumlar için taşınması gereken yük miktarı maksimum kapasiteyi aşarsa yalnızca aşan kısmı dikkate alınır ve yükün tam kısmı için talep yerine bir kamyon tahsis edilir.

Adım 2: Talep yerlerinin birbirinden uzaklıkları (d) belirlenerek bir mesafe matrisi oluşturulur.

Adım 3: Bu adımda ise mesafeler matrisinden yararlanılarak kazançlar matrisi hazırlanır. Kazançlar matrisindeki en sol sütun, talep yerlerine veya yerlerinden taşınacak yük miktarlarını, bu sütunun hemen yanındaki sütun (P_0) merkez ile talep yerleri ($P_1, \dots, P_n$) arasındaki T_{0y} , daha sonraki sütunlar ise talep yerlerinin kendi aralarındaki S_{yz} , T_{yz} , d_{yz} değerlerini içerir. Kazanç değerlerini bulmak için kullanılacak formül şöyledir:

$$S_{y,z} = d_{0,y} + d_{0,z} - d_{y,z}$$

Clarke ve Wright Algoritması en çok bilinen ARP sezgisellerden biridir. 1964'te Clarke ve Wright tarafından geliştirilmiştir ve araç sayısının (bu bir karar değişkenidir) belirli olmadığı problemlere uygulanır ve hem yönlendirilmiş hem de yönlendirilmemiş problemler için eşit derecede iyi sonuçlar verir.

Clarke ve Wright'ın geliştirdiği tasarruf algoritması araç rotalamada yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Araçların uğrak noktaları (n) küçük değerlerde ise, tasarruf metodu manuel çözüm yapmak için fizibil olabilir.

Adım 4: Rotalama işlemlerini yapabilmek için T değerleri kullanılarak kazançlar matrisine yazılır. T değerleri bir talep merkezinin bir rotaya atanıp atanmadığını belirtir.

Yerleştirme yöntemi

Yerleştirme yönteminde yerleştirme maliyetleri kullanılarak müşterilere araçlar atanmakta ve rotalar oluşturulmaktadır. Araç rotalama problemleri için kabul görmüş birkaç yerleştirme yöntemi olmasına rağmen çalışma sonuçları bu algoritmalar en iyi yöntemlerle kıyaslanabilecek düzeyde olmadığını göstermektedir (Taşkın, 2003).

En yakın komşu yöntemi

En yakın komşu yöntemi, noktaları birer birer ekleyen bir yöntemdir. Her seferinde son eklenen noktaya en yakın nokta seçilir. En yakın komşu yöntemi seri ve paralel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Seri en yakın komşu yönteminde, her seferinde bir tek rotaya durak eklenmektedir. Diğer seri yöntemlerde olduğu gibi kapasite kullanımı yüksektir, ancak rota dağılımı yeteri kadar iyi değildir.

Paralel en yakın komşu yönteminde ise, her seferinde tek rota yerine birden çok rota oluşturulmaktadır. Eklenecek durak ilgili kriterlere göre mevcut rotalardan birine eklenir (Bredam, 2002).

4.2.2 İki aşamalı yöntemler

Bu metotların birinci aşamasında, düğümler araçlara kapasiteyi aşmayacak şekilde atanır. İkinci aşamada ise her bir araç için sezgisel yöntemler kullanılarak rota oluşturulur.

Önce kümeleme - sonra rotalama yöntemi

Bu yöntemde öncelikle talep merkezleri gruplara ayrılır daha sonra her küme için minimum maliyetli rotalar oluşturulur. Bu yaklaşımlara örnek olarak süpürme algoritması ve genelleştirilmiş atama yöntemi gösterilebilir. Süpürme algoritması, 250 düğüme kadar etkin çözüm sağlamaktadır.

Süpürme yönteminin adımları aşağıdaki gibidir:

1. Bir harita üzerinde depo (orjin noktası) ile müşteri noktalarının (varış noktaları) yeri doğru şekilde tespit edilir.
2. Herhangi bir araç belirlenir.
3. Bu araç göz önüne alınarak araç kapasitesine uygun yükleme yapılır. Öncelikle depodan herhangi bir noktaya gidilir. Eğer gidilen noktadaki talep miktarı aracın kapasitesini aşmıyorsa saat yönünde ya da ters yönde ikinci bir noktaya gidilir. Bu ikinci noktanın talep miktarı toplam miktara eklenir. Bu toplam miktar eğer aracın kapasitesini aşmıyorsa üçüncü bir noktaya gidilir, aksi halde araç depoya geri döndürülür.
4. Birinci araç depoya geri döndükten sonra ikinci araç için rota hazırlanır. İkinci aracın rotası birinci aracın en son uğradığı noktadan başlar. Ve 3. adımdaki gibi devam edilir. Bu işlem şebeke içerisindeki tüm noktalar (müşteriler) rotaya katılincaya kadar sürer.
5. Tüm noktalar rotalandıktan sonra belirlenen rotalar uygun bir şekilde optimize edilir.

a) Süpürme algoritması

Süpürme yöntemi ilk önce şebeke içerisindeki müşterileri araçlara atayan ve daha sonra gezgin satıcı yöntemiyle araçları rotalayan iki aşamalı bir metottur. Süpürme yöntemi depoyu orijin noktası olarak kabul eder ve depodan başlayarak müşteri noktalarına rassal olarak ulaşmaya çalışır. Öncelikle olarak bir i noktasına ya da müşterisine gidilir. Daha sonra aracın kapasitesi doluncaya kadar $i+1$, $i+2$, ... noktalarına gidilir ve aracın kapasitesi dolduğunda tekrar depoya geri dönülür. Bu işlem tüm müşteriler bir rotaya atanıncaya kadar ya da tüm araçlar kullanılıncaya kadar devam eder. Son olarak gezgin satıcı yöntemiyle rotalar optimize edilir (Şeker, 2007). Algoritma adımları şu şekildedir;

- 1. Adım:** (Rota sıfırlama) Kullanılmamış k aracı seçilir.
- 2. Adım:** (Rota yapma) En küçük açığa sahip rotalanmamış kenardan başlayarak araç kapasitesini veya maksimum rota uzunluğunu aşmayacak şekilde noktalar k aracına atanır. Eğer rotalanmamış noktalar kaldıysa 1. Adıma dönülür.
- 3. Adım:** (Rota Optimizasyonu) (tam veya yaklaşık olarak) TSP ile çözülerek ayrı ayrı her aracın rotası optimize edilir.

b) Fisher ve Jaikumar atama tabanlı algoritması

Fisher ve Jaikumar 1981 yılında araç sayısı sabit K sayısı olan kapasite kısıtlı ARP için bir grupta örneği sunmuşlardır. Yaklaşımlarında; ilk olarak müşteri sayısı seçilir ve kalan her i müşteri için i müşterisini k müşterisi ile rotalamak için sezgisel maliyet dik hesaplanır. Daha sonra Genelleştirilmiş Atama Problemi (GAP) tarafsız dik kullanılarak çözülür. Bu kapasite kısıtını karşılayan K grup oluşturur. Her grup optimumluk için TSP çözerek rotalanır (Ropke, 2005).

Fisher ve Jaikumar Algoritması grupları şekillendirmek için geometrik metot yerine Genelleştirilmiş Atama Problemini (GAP) uygular (Laporte ve Semet, 1999). Fisher ve Jaikumar Algoritmasının çözüm adımları şöyledir; (Marinakis, 2001)

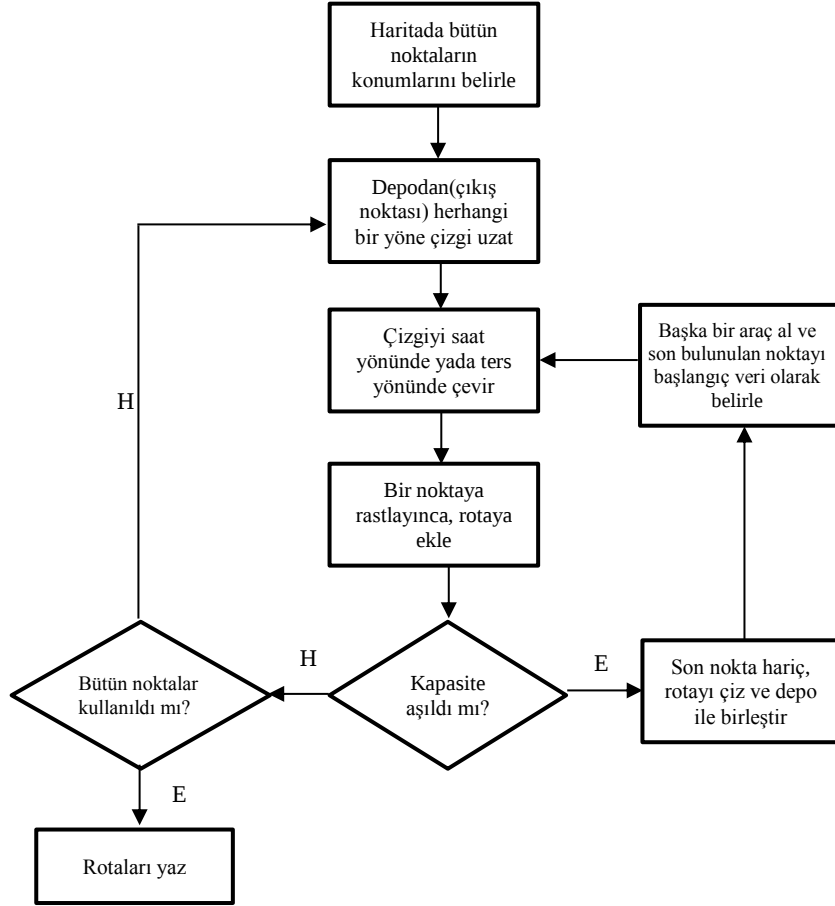
1. Safha

1. Adım: Grupların çekirdeğini oluşturacak m müşteri seçilir ve her birine bir araç ayrılır.
2. Adım: Her i müşterisi ve her k grubu için, grubun çekirdeği ile ilgili olarak bir yerleştirme maliyeti dik hesaplanır.

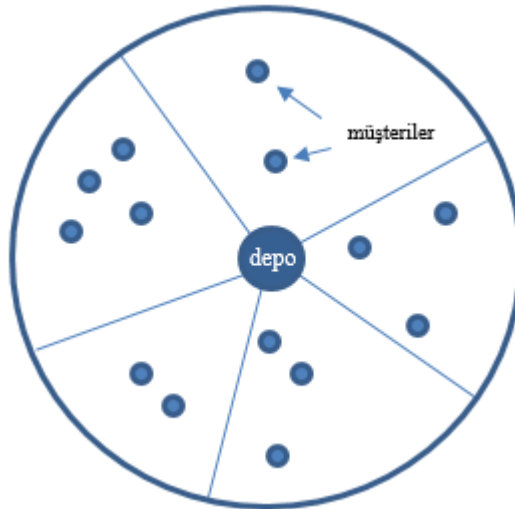
3. Adım: Grupları elde etmek için uygun GAP çözülür.

2. Safha

4. Adım: GAP ile gösterilen gruplardaki müşteri kümeleri için TSP çözülür.



Şekil 4.1 : Süpürme Algoritması (Kocaoğlu, 2003)



Şekil 4.2 : Süpürme Algoritması Uygulanması (Ropke, 2005)

Şekil 4.2 ‘de dairedeki her parça bir araç tarafından hizmet edilmektedir.

c) Bramel ve Simchi-Levi lokasyon tabanlı algoritması

Bramel ve Simchi-Levi 1995 yılında kapasite kısıtlı yerleştirme problemi çözerek belirlenmiş müşteriler ve ikinci basamakta geriye kalan köşelerin adım adım kendi bölüştürülmüş rotalarına eklendiği bir iki aşamalı sezgisel tanımlamıştır.

Yazarlar ilk olarak toplayıcı olarak isimlendirilen m çekirdeği n müşteri yerleri arasına yerleştirmeyi ve böylece toplayıcıya atanan toplam talebin Q kapasite kısıtını aşmayacağını temin ederken müşterilerin kendine en yakın çekirdeğe olan toplam uzaklıklarını minimize etmeyi önermişlerdir. Araç rotaları her basamakta en az yerleştirme maliyetine sahip rotaya atanmış müşterinin eklenmesiyle oluşturulur. Yazarlar kendi algoritmalarının asimptotik olarak optimum olduğunu ama deneysel performansın en iyi metotlarla rekabet edemediğini göstermişlerdir (Laporte ve Semet, 1999)

d) Kısıtlanmış (budanmış) dal-sınır yöntemi

Christodes, Mingozzi ve Toth 1979 yılında Budanmış Dal ve Sınır Algoritmasını önermişlerdir. Bu prosedürdeki araştırma ağacı araç rotası olarak birçok seviye içerir ve her seviye bir fizibil araç rotaları kümesi ve egemen olunamayan araç rotaları kümesi içerir. Araştırma ağacı her seviyede bir tek dallanmadan oluşur, tüm dallanmalardan ama rota seçim adımında bir tanesi çıkartıldığından itibaren. Fakat, kısıtlı ağaç her seviyede bir kaç umut verici rota korunarak yapılabilir (Laporte ve Semet, 1999).

Bu yöntemde, tüm olası dallanma olanakları kullanılmaz. Dallanma, sezgisel kural(lar) marifeti ile daraltılır ve böylece birerleme ağacının çok daha az sayıda düğüm içermesi ve daha kısa sürede bir sonuca ulaşılması sağlanır. Ulaşılan sonucun en iyi olması garantisi yoktur; iyi bir çözüm elde edilmeye çalışılır (Ulusoy, 2002).

e) Taç yaprağı algoritmaları

Sweep (süpürme) algoritmasının bir uzantısı olarak düşünülebilir. Burada taç yaprakları denilen birçok rota oluşturulur ve alt problem kümesi çözülerek bir seçim yapılır (Laporte ve Semet, 1999).

Minimize et $\sum_{k \in S} d_k x_k$

Şu kısıtlara göre,

$$\sum_{k \in S} a_{ik} x_k = 1 \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$x_k = 1 \text{ veya } 0 \quad (k \in S)$$

I rotalar kümesi olmak üzere, sadece ve sadece k çözüme ait olduğunda $x_k = 1$ olur. a_{ik} , i nin k rotasına ait olması durumunda 1'e eşit olan ikili sistemdeki parametredir. d_k ise k taç yaprağının maliyetidir. Bu formülasyon ilk olarak Balinski ve Quandt tarafından 1964 yılında önerilmiştir ama $|S|$ büyük olduğunda pratik olmamaktadır (Laporte ve diğerleri, 2000).

Önce rotalama - sonra kümeleme yöntemi

İlk olarak bütün talep merkezlerini içeren, genellikle uygun çözüm alanı dışında, büyük bir rota veya döngü oluşturulur. Bir sonraki adımda bu rota daha küçük ve uygun çözüm alanını sağlayan rotalara bölünür.

4.3 Araç Rotalama Problemleri İçin Metasezgisel Yaklaşımlar

Bütünleşik eniyileme problemleri çözüm yaklaşımlarından birisi, problemin bütün mümkün çözümlerinin sıralanması ve en iyi olanın çözüm olarak belirlenmesidir. Teorik olarak bir problemi bu şekilde tamamen bu sıralama yaklaşımıyla çözmek mümkündür. Ancak pratikte çözüm uzayının çok büyük boyutlu olması bunu genellikle mümkün kılmamaktadır.

Bu nedenle günümüzde yeni çözüm şekillerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu tekniklere örnek olarak; yasaklı arama, genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritmalarını gösterebiliriz. Bu algoritmaların kullanımının son yıllarda artış gösterdiği görülmektedir. Bu yaklaşımların ortak özelliği, en iyi yerine genellikle en iyiye yakın çözüme ve göreceli olarak daha kolay ulaşımı sağlamalarıdır. (Tüfekçier, 2008)

1990'larda araştırma odağı araç rotalama problemlerine genel amaçlı metahöristikler uygulamaya kaymıştır. Bu meta-sezgiseller benzetimdeki tavlama, genetik algoritmalar, sinir ağları ve tabu arama metotlarını içermektedir.

Bu metotların bazıları tanınmış problem kümelerine doğruluğu yüksek çözümler üretmişlerdir (Tanyaş, 2002).

Metasezgisel yöntemler çözüm uzayında etkili bir şekilde arama yapmak için, farklı yapılardaki alt kademe sezgisel algoritmaların zekice birleştirilmesi ile oluşturulmuş iteratif problem çözme prosedürleridir. Bu yöntemler her iterasyonda bir çözümden veya çözüm koleksiyonundan yola çıkarak yeni çözümler üretirler. Çoğu metasezgisel yaklaşım çözüm uzayında stokastik fakat bilinçli bir şekilde arama yapar (Erol, 2006).

Bölgesel optimizasyon problemleri yöntemleri olan klasik sezgisel yöntemlerde çözüm uzayında arama, belirlenen komşuluk yapısı ile daha iyi bir komşu çözüm bulunamadığı durumlarda sonlandırılmaktadır. Bu sebeple yöntemler lokal minimum noktalarda takılmakta ve arama stratejisi kör bir şekilde uygulanmaktadır.

Metasezgisel yöntemler ise lokal minimum noktalardan kurtulmak için daha kötü çözümlerin de kabul edildiği global optimizasyon yöntemleridir. Bu yöntemlerin dezavantajı algoritma içinde bir durdurma kriterinin bulunmayışı, yani algoritmanın ne zaman duracağını bilmemesidir (Breedam, 2001).

Bahsedeceğimiz metasezgisel algoritmalar;

- Tabu Arama Yöntemi
- Tavlama Benzetimi
- Karıncı Kolonileri
- Genetik Algoritmalarıdır

4.3.1 Tabu arama yöntemi

Tabu Arama tekniğine ait ilk çalışmalar Glover (1986, 1989, 1990) a aittir. Teknik genel zeki problem çözme eğilimlerinden kaynaklanmaktadır ve zekice problem çözme prensiplerini ortaya çıkarmaya çalışır. Dolayısıyla TA nın yapay zeka ve optimizasyon alanlarının birleştiren kavramlara dayandığı söylenebilir. TA yönteminin özü olurluluk yada yerel optimallik sınırlarını aşmak için tasarlanan prosedürlere dayanır. TA yerel optimalliğin ötesindeki çözüm uzayını keşfetmek için yerel bir sezgisel arama prosedürüne kılavuzluk eden bir metasezgidir. TA bu kılavuzluğu, hafızasında aramanın hikayesini tutarak, yani bazı adaylara "yasak" koyarak, aramayı sınırlandırması ve yerel optimallikten kurtarmasıyla yerine getirmektedir.

Bununla beraber, Brucker (1995)'e göre, genel TA çerçevesi, belli bir algoritmayı zorlamaktan ziyade, çözüm prosedürlerinin tasarımı için üst düzey bir serbestliğe izin vererek yeni taktiklerin keşfedilmesini sağlar. Laguna ve Glover (1996)'ya göre de, TA çok çeşitli is problemlerinin çözümü için bir kapı açan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu yenilikçi yaklaşım muhtemelen şeffaf ve tabii bir usa sahiptir; onun amacı hafızanın zekice kullanımını uyarlamaktır.

TA'nın işleyişi basitçe şöyledir: Bir başlangıç seçimi ele alınır, bu seçimin komşuları bir komşuluk yapısıyla belirlenir, bir amaç fonksiyonuna göre komşular değerlendirilir, değerlendirilen komşu tabu listesinde yoksa yada aspirasyon kriterini tatmin ediyorsa bu çözüm şimdiye kadar bulunan en iyi çözümle karşılaştırılır ve tabu listesine eklenir, eğer çözüm en iyi çözümden daha iyi ise sonraki arama için yeni başlangıç çözümü olarak alınır. Bu işlem bir durdurma kriteri karşılanıncaya kadar tekrarlanır (Cedimoğlu ve Geyik, 2001).

Tabu arama herhangi bir başlangıç çözümü ile aramaya başlamakta ve komşu kümesindeki eniyi amaç fonksiyon değerine sahip ve tabu olmayan çözümü yeni çözüm olarak dikkate almaktadır. Bu işlemler seçilen bir durdurma koşulu gerçekleşinceye kadar devam etmekte, arama boyunca karşılaşılan en iyi çözüm Tabu arama metodunun bulduğu sonuç olmaktadır.

Çevrimi önlemek ve aramayı farklı bölgelere yönlendirmek amacıyla tabu olarak sınıflandırılan çözümler tabu listelerine kaydedilmektedir. Bu listeler en son hareketin listenin başına eklenmesi ve en eski hareketin listeden çıkarılması prensibine göre yönetilirler. Tabu listesine kaydedilen hareketlerin tabu süresi boyunca yeniden kullanılmasına izin verilmemektedir. Ancak, o ana kadar bulunan en iyi çözümden daha iyi bir çözüm üreten bir tabu hareketi ile karşılaşılsa bu harekete izin verilir. Bu kriter literatürde en yaygın kullanılan tabu yıkma kriteri olarak bilinmekte ve istek kriteri olarak adlandırılmaktadır. Tabu listeleri, tabu aramanın kısa dönemli belleğini oluşturur. Bir çok başarılı tabu arama uygulaması ise kısa dönem belleğin yanı sıra, hareketlerin sıklık bilgilerini tutan uzun dönemli bellek kullanmaktadır. Sıklık bilgileri aramanın belli bölgelerde yoğunlaşmasını engellemek ve yayılmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Genel olarak, tabu arama esaslı algoritmalar bu tür metasezgisellerin tabanını oluşturan bazı ortak bileşenleri bir araya getirmektedir.

Bu bileşenler komşuluk tanımını, kısa dönemli bellek, uzun dönemli bellek ve bir istek kriterini içermektedir. Bu standart bileşenlere ek olarak, stratejik osilasyon gibi daha dikkat gerektiren uyarlanabilir programlama teknikleri de mevcuttur (Tanyaş, 2002).

Adım 1: Bir başlangıç çözümü seç, onu mevcut çözüm ve en iyi çözüm olarak kaydet.

Adım 2: Mevcut çözümün komşularını bir komşuluk yapısıyla üret.

-Tabu olmayan veya tabu olsa bile aspirasyon ölçütünü sağlayan bir komşu çözüm seç ve onu yeni çözüm olarak taşı.

-Mevcut çözümünden yeni çözüme taşıma özelliğini tabu listesine ekleyerek listeyi güncelle.

-Eğer yeni çözüm o ana kadarki en iyi çözümünden daha iyi ise onu yeni en iyi çözüm olarak kaydet.

Adım3: Bir durdurma ölçütü sağlanıncaya kadar Adım 2'yi tekrarla aşamalarından oluşmaktadır.

Bunların işleyiş şekli aşağıda sırasıyla verilmektedir.

Başlangıç çözümünün oluşturulması: En genel şekilde başlangıç çözümü rassal olarak elde edilir. Ancak, farklı problemler için geliştirilmiş olan bir sezgisel algoritmadan yararlanarak da başlangıç çözümünün elde edilmesi mümkündür (Güden ve diğerleri, 2005).

Hareket mekanizması: Mevcut bir çözümde yapılan bir değişiklik ile yeni çözümün elde edilmesi hareket mekanizmasıyla gerçekleştirilir. Hareket mekanizmasındaki olası hareketler, mevcut çözümün komşularını oluşturur. Hareket mekanizması algoritmanın etkinliği açısından önemli olduğu için problemin yapısına bağlı olarak uygun bir şekilde seçilmelidir.

Aday liste stratejileri: TA algoritması yapılması mümkün olan, tabu olmayan ve amaç fonksiyonunun değeri açısından en iyi sonucu veren hareketlerin seçilmesi kuralına dayalı olarak çalışır. Aday liste stratejileri mümkün hareket listeleridir. Bu listelerden hareketler belirli stratejilere göre seçilir.

Hafıza: TA algoritmasının temel elemanlarından birisi de hafızadır. Arama boyunca ortaya çıkan durumlar, H hafızasına kaydedilir. Bu hafıza kısa dönemli hafıza olarak adlandırılır.

Yapılmasına izin verilmeyen hareketler "tabu" olarak adlandırılır ve esnek hafıza içinde "tabu listesi" adı altında kaydedilirler. Bu hareketler belli bir süre sonra tabu listesinden çıkarılır ve yapılmasına izin verilir.

Tabu yıkma kriterleri: Tabu yıkma kriterleri, tabunun ortadan kalkabileceği durumları ifade etmektedir.

En genel tabu yıkma kriteri, mevcut durumdan daha iyi bir sonuç verecek tabu hareketinin yapılmasına izin verilmesidir. Bu kriterin kullanılması TA algoritmasının etkinliğini arttırmaktadır. Ayrıca, eğer tüm mümkün hareketler tabu ise bu hareketlerden tabu süresinin bitmesine en yakın olan bir tabu hareketine izin verilir.

Durdurma koşulu: TA algoritması, bir veya birden fazla durdurma koşulunu sağlayıncaya kadar aramasını sürdürmektedir (Güden ve diğerleri, 2005).

4.3.2 Tavlama benzetimi yöntemi

Benzetimli Tavlama metasezgiselinin (BT) prensibi katıların fiziki tavlama presesinden çıkarılmıştır. Kirckpatrick ve arkadaşları 1983 yılında ve Cerny 1985 yılında kombinatoryal problemler için BT kullanımını önerdiler. Bunların çalışmaları Metropolis ve arkadaşlarının 1953 yılındaki “İstatiksel Matematik” içinde yer alan araştırmalarına dayanmaktadır (Van Breedam, 2001).

Tavlama terimi fiziksel olarak, ısı banyosundaki bir katının yüksek enerji durumlarından başlayarak daha düşük enerji durumlarının elde edilme sürecini temsil etmektedir. Bu süreç çok genel olarak iki işlemden oluşmaktadır; (Güden ve diğerleri, 2005)

- Isı banyosunun başlangıç sıcaklığının katının eriyebileceği bir değere kadar yükseltilmesi.
- Katılar düşük enerjili durumda, yani düşük sıcaklıkta daha karardır. Yani katıların parçacıkları düşük sıcaklıklarda daha düzenlidir. Bundan dolayı katının parçacıkları kendini düzenleyene kadar ısı banyosunun sıcaklığının giderek azaltılması.

Eniyileme problemleriyle Tavlama Benzetimi (TB) arasındaki benzerlikler aşağıdaki gibi gösterilebilir (Güden ve diğerleri, 2005):

- Katının farklı fiziksel durumları problemdeki mümkün çözümlere,
- Sistemin enerjisi amaç fonksiyonuna,

- Bir durumun enerjisi bir çözümün amaç fonksiyonu değerine,
- Yarı kararlı durum yerel en iyi çözüme,
- Yer durumu genel en iyi çözüme karşılık gelir.

Katıların tavlama sürecinde geçirdiği durumları benzetebilmek için Metropolis ve diğ. (1953) tarafından "Metropolis Algoritması" geliştirilmiştir.

Algoritmada i durumunda bulunan katının enerjisi E_i iken, bir sonraki j durumuna geçen katının enerjisi E_j 'dir. Eğer j durumundaki enerji i durumundaki enerjiden küçük veya eşitse, j durumu yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir. Aksi takdirde j durumu (3.5) nolu formüle göre elde edilen olasılık değeri ile kabul edilir. Bu olasılık değeri "Metropolis Kriteri" olarak anılır. Burada k_B fiziksel tavlama sürecinde "Boltzman Sabiti" olarak bilinen fiziksel bir sabiti ifade eder.

$$\exp \left[\frac{E_i - E_j}{k_B * T} \right] \quad (3.5)$$

TB algoritmasının amacı, tüm mümkün çözüm noktalarının bir alt kümesinde (S) tanımlanmış bir $f(x)$ fonksiyonunu eniyileyecek bir x çözümü bulmaktır. TB algoritması rassal olarak seçilen bir başlangıç çözümüyle aramaya başlar. Bundan sonra uygun bir mekanizma ile bu çözüme komşu bir çözüm seçilir ve $f(x)$ 'de meydana gelen değişim hesaplanır. Eğer değişim istenilen yönde ise komşu çözüm mevcut çözüm olarak alınır. Eğer istenen yönde bir değişim sağlanmamışsa, TB algoritması bu çözümü "Metropolis Kriteri" ile elde edilen olasılık değeri ile kabul eder. Amaç fonksiyonunda ters yönde bir değişim yaratan bir çözümün belli olasılık değeri ile kabulü, TB algoritmasının yerel en iyi noktalardan kurtulmasını sağlamaktadır.

Yukarıdaki olasılık değerine göre T değeri yüksek olduğunda amaç fonksiyonunda meydana gelen artışların çoğu kabul edilecektir. T değeri azaldıkça kabul edilme oranı da azalacaktır. Bu nedenle TB algoritmasında yerel noktalara takılmamak için başlangıç sıcaklık değeri yüksek seçilerek yavaş yavaş azaltma yoluna gidilmektedir (Güden ve diğerleri, 2005)

Osman'ın 1993 yılında yaptığı BT uygulaması hem daha anlaşılması zordur hem de daha başarılıdır. Bu algoritma daha iyi bir çözümünden başlar, deneme fazında algoritmanın bazı parametreleri ayarlanmıştır. Zengin çözüm komşulukları keşfedilir ve soğutma çizelgesi daha karmaşıktır.

Algoritmanın komşuluk yapısı seçilen iki rota p ve q arasında değişim üretim mekanizması kullanır (Gendreau, Laporte ve Potvin, 1999).

4.3.3 Karınca kolonileri

Günümüzde biyolojik yapılardan esinlenerek oluşturulan sistemler önem kazanmaktadır. Doğadaki bazı sosyal sistemler sınırlı yetenekli basit bireyler tarafından oluşturulmalarına rağmen kolektif zeka davranışları sergilerler. Problemlere uyarlanan zeki çözümler bu bireylerin kendi içindeki organizasyonları ve dolaylı iletişimlerinden ortaya çıkar. Karıncaların kolektif davranışının taklidi olan Karınca Algoritmaları son zamanlarda geliştirilen popülasyon tabanlı yaklaşımlardan biridir.

Karıncalar tek başlarına basit yeteneklere sahip olmalarına rağmen, koloninin bütünü yüksek bir yapıdadır; kendilerinden çok büyük cisimleri taşımak, köprüler oluşturmak veya yuva ile yiyecek arasındaki en kısa yolu bulmak gibi karmaşık işlemlere karşı zeki çözümler üretirler (Nabiyev, 2005). Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) hesapsal optimizasyon problemlerine çözümler bulmak için yapay karıncaları kullanan meta-sezgisel bir tekniktir. KKO gerçek karıncaların davranışları üzerine kuruludur.

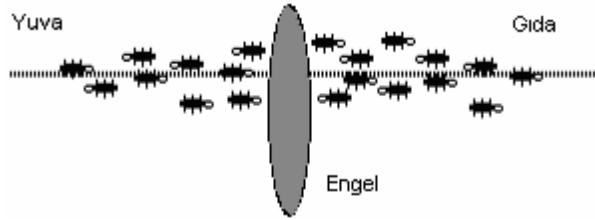
Karınca kolonileri, besin kaynaklarından yuvalarına doğru ya da tam tersi şekilde yürürken toprağa, yol üzerinde iz oluşturmak için feromon denilen maddeler bırakırlar. Karıncalar feromonu koklayabilirler ve yollarını bulurken seçim yapmak durumunda kaldıklarında yoğun feromon konsantrasyonu bulunan yolları seçerler. Feromon izi karıncaların besin kaynaklarına (veya yuvalarına) geri dönüş yolunu bulmalarına olanak tanır. Aynı zamanda yuvadaki bazı karıncalar tarafından bulunan besin kaynaklarının diğer karıncalar tarafından bulunmasına olanak tanır. Bir karınca bir yolu takip ettiği zaman yola bırakılan feromon miktarı çözümün kalitesiyle orantılıdır. Bir karınca iki veya daha fazla yol arasından seçim yapması gerektiğinde, geniş miktar feromonlu yol(lar) karınca tarafından yüksek seçilme olasılığına sahiptir (Yılmaz,2008).

Karıncalar yiyecek bulmak için düz bir yolda ilerlerken(Şekil 4.3), gıdaya giden yolda herhangi bir engel meydana geldiğinde (Şekil 4.4), bu engelin hemen önündeki karınca devam edemez ve yeni gidiş yönü için bir tercih yapmak zorunda kalır. Bu konumda, karıncanın yeni yön seçeneklerinin seçilme olasılıkları eşittir.

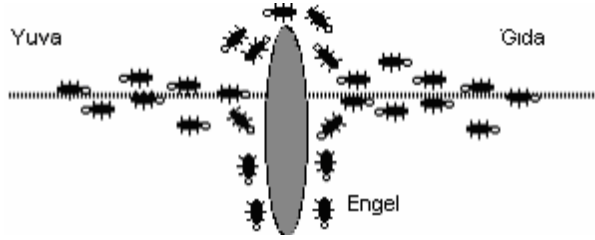
Açıklamak gerekirse, eğer karınca sağ ve sol yönlerinden bir tanesini seçebiliyorsa, bu yönlerin seçilme şansları eşittir. Karınca yaptığı seçime göre yoluna devam eder ve kendi yolunu çizer (Şekil 4.5). Feromon miktarına bağlı olarak tercih edilen yol en kısa yol olacaktır bu gerçekleştikçe diğer yolların tercihi bitecek ve en kısa yol bulunmuş olacaktır. (Şekil 4.6)



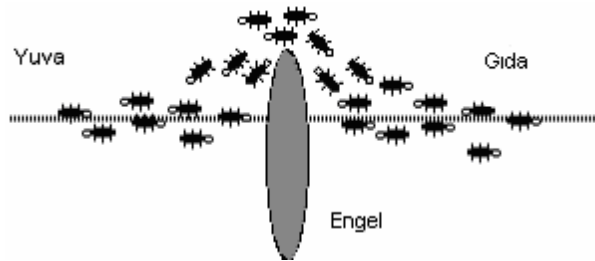
Şekil 4.3 : Karıncaların izlediği yol



Şekil 4.4 : Karıncaların bir engelle karşılaşması



Şekil 4.5 : Engelle karşılaşan karıncaların seçimi



Şekil 4.6 : Karıncaların en kısa yolu bulmaları (Dalkılıç ve Türkmen, 2003)

Algoritmada kullanılan karınca sayısı genellikle problemde bulunan düğüm sayısına eşit olarak alınır. Çözüm prosesinin verimliliğinde feromonlar arasındaki iletişimin önemi ve m karınca sayısının etkisini değerlendirmek için yürütülen deneyler sonucu bir çok karıncanın haberleşme sisteminin kullanımında etkili olduğu elde edilmiştir.

n tane karınca arasında haberleşme olduğunda, olmaması durumuna göre daha efektif bir arama yapılmıştır. Haberleşen karıncalar durumunda sinerjik etkinin maksimuma ulaştığı $m = n$ verilen bir “en iyi noktası” vardır (Dorigo, Maniezzo ve Colorni, 1996).

Yapay karıncalar:

Her ne kadar algoritma önerilirken gerçek karıncalardan ilham alınsa da algoritmanın icrasında kullanılan yapay karıncalar gerçek karıncalardan bazı bakımlardan farklılıklar gösterir: (Sarıkoc, 2004)

1. Yapay karıncalar hafıza özelliğine sahiptir. Tabu listesi adı verilen hafıza sayesinde yapay karıncalar hangi şehirlere daha önce uğradıklarını bilir. GSP problemleri çözülürken uğranan bir şehir tabu listesine alınır ve o şehre bir daha uğranmaz.
2. Gerçek karıncalar neredeyse kör oldukları halde yapay karıncalar görme yeteneğine sahiptir. Çünkü yapay karıncalar seçebilecekleri bir sonraki şehrin koordinatları ve uzaklığı hakkında matematiksel bilgiye sahiptir.
3. Yapay karıncalar gerçek karıncalardan farklı olarak ayırık bir araştırma uzayında bulunur. Gerçek karınca yuvasına yiyecek ararken sürekli bir araştırma uzayı oları yeryüzü üzerinde sonsuz sayıda noktadan ve yoldan geçebilir. Oysa yapay karıncalar, hafıza ve zaman kısıtlaması gibi temel nedenlerle sınırlı sayıda ayırık veri kümesinden oluşan araştırma uzayında çözüm aramakta kullanılır.
4. Yapay karıncalar ayırık zamanlı bir ortamda yaşarlar. Sistemde her yapay karınca ayrı ayrı zaman aralıklarında adım adım sırayla yol alır.

Karınca Algoritmalarının temel özellikleri: (Sarıkoc, 2004)

Zeki davranış biçimi: Zekâ tam olarak tarifi yapılamayan bir kavramdır. Fakat temelde kabul gören tanım şudur; *zekâ üstün özellikli* bir arama yöntemidir. İnsanların karşılarına çıkan problemlere karşı çok geniş bir araştırma uzayında çok az bir deneme ile makul bir zaman içinde yeterince iyi çözümler ürettiği olması *zeki davranış biçimi* olarak kabul edilir. Buradan hareketle insanların zeki olarak kabul ettiği davranış biçimini gösteren algoritmalara *zeki algoritmalar* denir. Yukarıdaki tanıma göre tek başına bir karıncanın zeki davranış biçimi göstermediği açıktır.

Fakat koloni bir bütün olarak karşısına çıkan engellere adaptif yapıda ve doğru yönde kararlarla tepki vererek çok kombinasyonla bir güzergâh problemini çözebilmektedir. İşte bu yüzden gerçek karınca kolonisini model alan karınca algoritmasının yapay zeka vasfı taşıdığı söylenebilir.

Kombinasyonel Optimizasyon: Bazı problemler için çok geniş bir araştırma uzayı söz konusudur ve bu problemlerin kesin çözümünü bulmak mümkün değildir. Bu nedenle makul bir zamanda yeterince iyi bir çözüm bulabilmek amaçlanır. Problem kısıtlamaları çerçevesinde bulunabilen en iyi çözüme optimum çözüm adı verilir. Fakat optimum çözümün kesin olarak en iyi çözüm olduğu garanti edilemez.

Doğadaki karıncalar yuva ile yiyecek kaynağı arasında güzergah oluşturabilecek sayısız yol kombinasyonu arasından optimum çözüm olarak ifade edilebilecek bir çözüm bulabilirler. Bu yönüyle bakıldığında karıncalardan esinlenerek yapıları karınca algoritmasının kombinasyonel bir optimizasyon algoritması olduğu açıktır.

Sezgisel ve Olasılık Tabanlı: Bir engelle karşılaşan gerçek karıncalara bakıldığında hepsinin feromonun en yoğun olduğu yerden geçmediği, az bir kısmının da istisnai olarak feromonun az olduğu yolu seçtikleri gözlenmiştir. Karıncaların tercihi tamamen feromon yoğunluğu olduğu tarafa geçişi mümkün kılan bir kesinlikte değildir. Bunun yerine karıncaların, feromonun daha yoğun olduğu yerlere daha büyük bir olasılıkla geçtiğini kabul etmek isabetli bir tercih olacaktır. Bu yönüyle karıncaların davranışı olasılık tabanlıdır. Fakat tek bir karıncanın olasılık tabanlı tercihi dağınık yapıda grup davranışını, bir başka deyişle koloninin doğru yola yönlendirilmesini sağlamaktadır. Burada yönlendirici oları unsur feromon bulgusudur. Bu nedenle karıncaların grup olarak davranışı doğru çözüme yakınsayan nitelikte sezgiseldir.

Adaptif Yapı: Güzergâhı engelle bozulan bir karınca, o engeli hangi taraftan aşacağına dair bölgesel veya bütün bir güzergâhı nasıl tamamlayacağına dair küresel bir bilgiye sahip değildir. Engelin hangi taraftan yolu uzattığını da başlangıçta bilemez. Fakat engeli kısa yoldan aşan tarafta birim uzunluk başına düşen feromon yoğunluğunun fazlalığı karıncalar için yol gösterici olacaktır. Dolayısıyla sonraki karıncalar için kısa taraf daha çok tercih edilecektir.

Buradan açıkça anlaşılmaktadır ki; gerçek karıncalar için çevrede meydana gelen değişimlere doğru yönde adaptasyon sağlamada feromon salgısıyla birlikte mesafe bilgisi dolaylı olarak etkili olmaktadır.

Pozitif Geri besleme: Karıncaların geçtikleri yollara bıraktıkları feromon maddesi pozitif geri besleme bilgisi sağlamaktadır. Bu bilgi sonraki karıncalar için o yolun seçilebilirliğini artırmaktadır.

Negatif Geri besleme: Doğada karıncaların geçtikleri yerlere bıraktıkları feromon maddesi zamanla dış etkenler nedeniyle azalmakta ve sürekli olarak buharlaşmak suretiyle uçmaktadır. Bu nedenle güzergâhı uzattığı için kullanılmayan bir yolun seçilebilirliği gittikçe azalmakta ve sonunda ortadan kalkmaktadır.

Bu yönüyle feromonun buharlaşarak uçuşması sonraki karıncalar için kötü olan yolun seçilme ihtimalini azaltan ve ortadan kaldıran negatif bir geri besleme bilgisi olarak vazife görür. Bu durum insan beyninde kullanılmayan bilgilerin hafızadan atılması (unutmak) ve çok kullanılan bilgilere erişimin hızlanması (çabucak hatırlamak) olayına benzetilebilir.

Etkileşim: Yaşam çevresinde iz bırakmak suretiyle gerçekleştirilen iletişim türüne etkileşim denir. Koloni bireyleri arasındaki etkileşim rastgele olan birey davranışını doğru çözüme yakınsayan bir koloni davranışına dönüştürür. Karıncalar arasındaki etkileşim maddesi salgıladıkları feromondur, etkileşim aracı ise koku alma duyularıdır.

Kapasiteli Araç Rotalama Problemi İçin Önerilen Karınca Sistemi

Her v_i lokasyonu için $V - \{v_i\}$ değerini, üye listelerini bulmak amacıyla, artan d_{ij} uzaklığına göre sıralarız. Kapasiteli araç rotalama problemi için önerilen karınca sistemi aşağıda sematize edilmiştir:

1.Çözümü başlat

2.Imax iterasyonları için şunları yap:

- Tüm karıncalar için formülden ve üye listelerinden yararlanarak yeni çözüm üret.
- Tüm araç rotalarını 2-opt sezgiselini kullanarak geliştir.
- Feromon izlerini, yollarını güncelle.

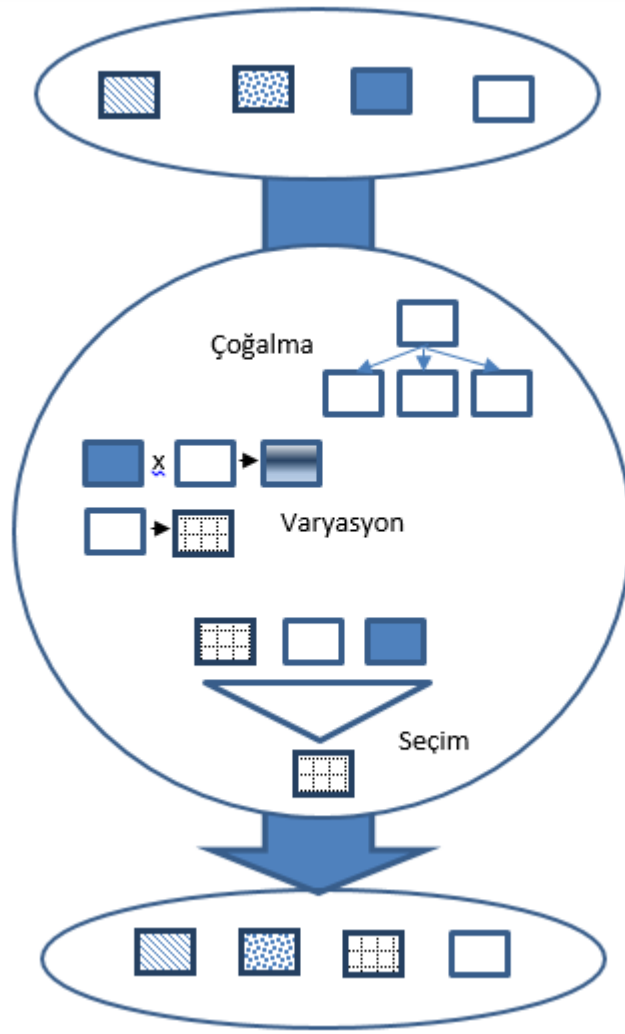
4.3.4 Genetik algoritmalar

Genetik algoritma (GA), doğadaki evrim mekanizmasını örnek alan bir arama metodudur ve bir veri grubundan özel bir veriyi bulmak için kullanılır (Lawrence, 1990). GA, araştırma ve optimizasyon algoritmaları olup, canlılardaki doğal gelişim prensibine dayanmaktadırlar. GA çözüm uzayındaki her noktayı, kromozom adı verilen bir dizi ile kodlar. Her kuşakta, GA, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak yeni bir popülasyon oluşturur. Birkaç kuşak sonunda, popülasyon daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir (Jang, 1997). GA'lar; genetik programlama, evrim stratejileri ve evrimsel programlama ile birlikte evrimsel algoritmaları oluşturur. Evrimsel algoritmaların ortak özelliği bir popülasyon yaklaşımını benimsemeleri ve evrim teorisinin çoğalma, varyasyon ve seçim ilkelerini bu popülasyon üzerinde uygulayarak yeni kuşaklar oluşturmalarıdır.

En uygunun hayatta kalması kuralıyla gittikçe daha istenen özelliklere sahip bireylere ulaşılır. Bir evrimsel algoritmanın genel akışı Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. (Biethahn ve Nissen, 1995).

GA'nın çalışma şekli özetle şöyledir; Algoritmanın başlangıcı, rassal çözümler kümesinden oluşan “popülasyon” adı verilen bir kümedir. Popülasyondaki her çözüm, arama uzayındaki bir noktayı temsil eder ve kromozom adını alır. Kromozomlar evrim geçirdiği adıma üreme denir. Her üremede kromozomlar bazı uygunluk ölçüleri ile değerlendirilir. Kromozomlar ne kadar uygunsa o kadar büyük olasılıkla, üreme için gerekli olan çaprazlama ve mutasyon gibi genetik işlemlere tabi tutulmak için seçilecektir. Çaprazlama aşamasında iki kromozom arasında bazı bölgeler yer değiştirerek yeni kromozomlar elde edilir ve oluşan yeni çözümlere “çocuk” denir. Bu işlem daha iyi çözümler elde etmek için uygulanır.

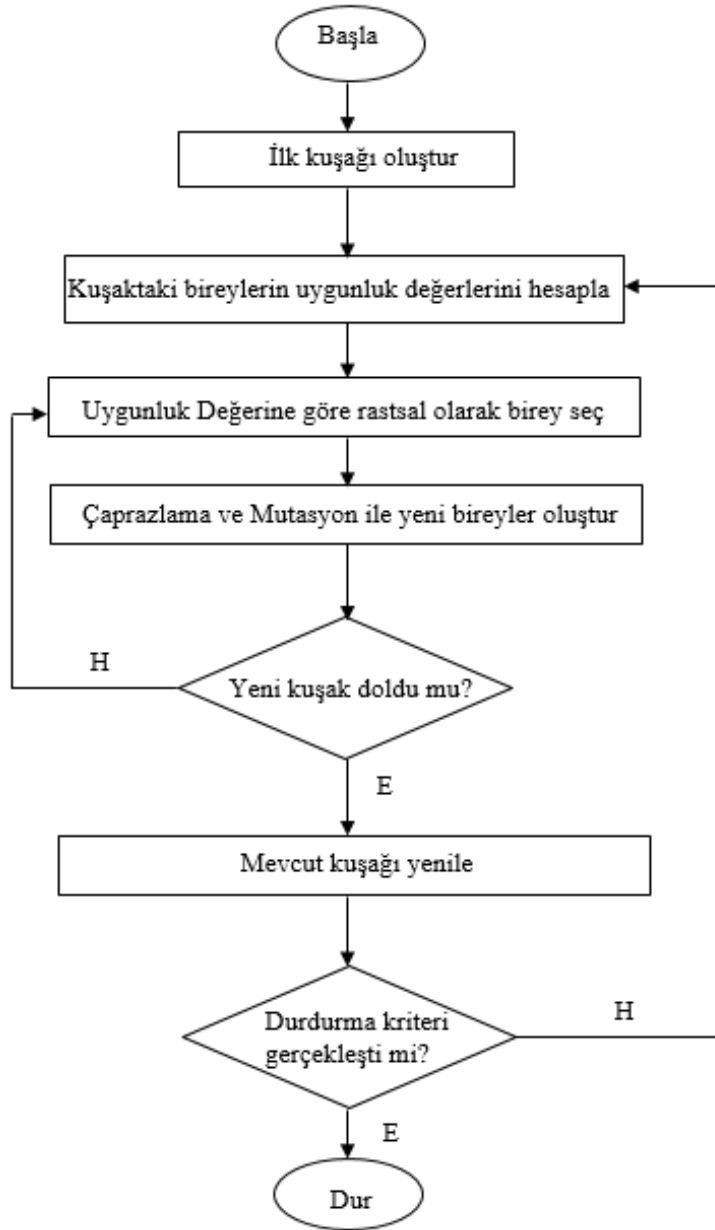
Mutasyon ile ise; yerel en iyi çözümlere takılmamak için popülasyon içerisindeki çeşitlilik korunmaktadır. Her adımda popülasyon büyüklüğü sabit kalacağından; üreme için uygunluklarına göre seçilecek ebeveynler ya da çocuklar haricinde kalan çözümler popülasyondan atılacaktır. Önceden belirlenmiş sayıda üreme sonrasında algoritma en iyi kromozoma yakınsayacaktır, belki en iyi çözümü ya da en iyiye yakın çözümü geri döndürecek (Ho, Ho, Ji ve Lau, 2008).



Şekil 4.7 : Evrimsel Algoritma Çevrimi (Biethahn ve Nissen, 1995)

GA kullanılarak bir problem çözülecekse algoritmanın ne zaman sonlanacağına kullanıcı karar vermektedir. GA'nın belli bir sonlanma kriteri yoktur. Şekil 4.8 de bahsedilen durdurma kriteri olarak, sonucun yeterince iyi olması veya yakınsamanın sağlanması kriterleri kullanılabilir.

GA'nın temel fikri seçici baskılar altında evrim geçiren aday çözümlerden oluşan bir popülasyonu korumaktır. Dolayısıyla GA, yukarıda anlatılan diğer meta-sezgisel yaklaşımlardan (TB, TA) farklı olarak, yerel aramanın bir tek çözüm üzerinde değil bir çözüm kümesi üzerindeki özellikleri değiştirerek yeni çözümler üreten sınıfına giren yöntemlerdir. Son yıllarda GA, GSP ve kuadratik atama problemi gibi zor en iyileme problemlerinin çok fazla sınıfında ve başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu yöntemin başarısı basit oluşuna, kolay uygulanabilir oluşuna ve esnek oluşuna bağlıdır (Ho, Ho, Ji ve Lau, 2008).



Şekil 4.8 : Genetik Algoritma Akış Diyagramı (Osman ve Kelly, 1996)

Bu tez çalışmasının son kısmı olan uygulama bölümünde; bir firmanın araç rotalama probleminin çözümünde; daha kısa sürede en uygun çözüme yakın sonuç verdiği içinGA kullanılacak olup, algoritma daha detaylı anlatılacaktır.

4.4 ARP Çözüm Yöntemlerinin Genel Değerlendirmesi ve Problemde Kullanılan Yöntemin Seçilme Nedenleri

Araç rotalama problemleri kombinasyonel problemlerdir ve sadece küçük örnekleri kabul edilebilir bir zaman içerisinde ARP optimal sonucu verecek şekilde çözülebilmektedir.

40 yılı aşkın süredir, optimal sonuca yakın sonuçlar alabilecek sezgisel yaklaşımların araştırılması üzerine bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu sezgisel yaklaşımlar klasik ve meta olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Klasik sezgisel yaklaşımlar daha çok kısa sürede sonuç alabilmeye odaklanmış yaklaşımlardır. Clarke Wright Tasarruf Algoritması, Süpürme Algoritması ve Fisher&Jaikumar Algoritması klasik sezgisel yaklaşımlardan bazılarıdır. Son yıllarda, çalışmalar meta sezgisel yaklaşımlar üzerinde yoğunlaşmıştır ve bu yaklaşımlar için optimale yakınlık esas ölçüdür. Meta sezgisel yaklaşımlar iki ilke üzerine odaklanmaktadır: yerel arama ve popülasyon arama. Yerel arama için tavlama benzetimi (simulated annealing) ve tabu arama (tabu search) iki önemli sezgisel yaklaşım olarak sıralanabilir.

Genetik arama (genetic search) ve uyarlanabilen hafıza prosedürü (adaptive memory procedure) popülasyon aramadaki iki ana algoritma olarak söylenebilir. Genetik algoritma problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilebilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Meta sezgisel yaklaşımlar klasik olanlara göre daha çok zaman harcamasına rağmen yüksek kalitede sonuç alma adına daha yetkindirler. Netlik, hız, basitlik ve esneklik bu yaklaşımların karşılaştırılmasında kullanılan dört ana özellik olarak sıralanmaktadır (Cordeau ve diğerleri, 2002). Yapılan çalışmalar sonucu bu sezgisel yaklaşımlar arasındaki karşılaştırma Çizelge 4.1 deki gibi özetlenebilir.

Problem için genetik algoritmanın seçilme nedenleri;

Tez çalışmasında incelenen problemin NP-zor oluşu ve problem boyutunun da büyük olması sebebiyle klasik sezgisellerde işlemin çok uzun süreceği düşünülmüştür. Ayrıca zaman ve talep kısıtlarının sağlanmasına yanıt verecek bir algoritma seçmemiz gerekeceğinden esneklik açısından da bize kolaylık sağlayacak bir algoritma seçilmek istenmiştir. Genetik algoritma bizim kısıtlarımızı dikkate alacak yardımcı algoritmayı kullanabileceğimiz, birçok klasik sezgisellerle melez bir algoritma oluşturmaya imkân veren algoritma çeşididir.

Ayrıca diğer meta sezgiseller ile karşılaştırıldığında hız konusunda ve yerel en iyi çözüme takılma ihtimallerinin daha düşük olması sebebiyle de Genetik Algoritma kullanmak uygun görülmüştür. Modellemede GA kullanılacak olup, algoritma daha detaylı anlatılacaktır.

Çizelge 4.1 : ARP Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Cordeau ve diğ., 2002)

<i>Klasik Sezgiseller</i>	<i>Doğruya Yakınlık</i>	<i>Hız</i>	<i>Basitlik</i>	<i>Esneklik</i>
Clarke and Wright	Düşük	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük
Two-matching based methods	Yüksek	Çok Düşük	Düşük	Düşük
Sweep	Düşük	Orta-Yüksek	Yüksek	Düşük
1-Petal	Düşük	Yüksek	Orta	Orta
2-Petal	Orta	Orta	Orta	Orta
Fisher and Jaikumar (FJ)	Değerl. zor	Orta	Düşük	Düşük
Location based FJ by Bramel and Simchi-Levi	Orta	Düşük	Düşük	Düşük
<i>Meta Sezgiseller</i>	<i>Doğruya Yakınlık</i>	<i>Hız</i>	<i>Basitlik</i>	<i>Esneklik</i>
Tabu Route	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
Taillard	Çok Yüksek	Düşük	Orta-Düşük	Yüksek
Adaptive Memory	Çok Yüksek	Düşük	Orta-Düşük	Yüksek
Granular Tabu Search	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
Unified Tabu Search Alg.	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek

4.5 Araç Rotalama Problemlerinin Uygulama Alanları

Günümüzde birçok endüstride araç rotalama problemleri yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır. Yani işletmeler mal ve hizmet dağıtım fonksiyonunu etkin bir şekilde yerine getirmek amacıyla araç rotalama modelinden yararlanmaktadırlar. Araç rotalama modeli kapsamına giren faaliyetlerin bir kısmı şöyle belirtilebilir: (Geloğulları, 2001).

- Satış sonrası servis hizmetlerinden yararlanmak isteyen müşterilerin gereksinimlerinin karşılanması için servis araçlarının gönderilmesinde, telefonla çağrılan taksilerde, toplu taşıma sisteminde, eve teslim hizmetlerinde araç rotalama problemlerinden yararlanılmaktadır.
- Öğrencilerin evlerinden okula gidişleri ve okullarından evlerine dönüşleri için kullanılan servis araçlarının, öğrencileri toplarken ve dağıtırken nasıl bir rota izleyeceklerinin belirlenmesinde araç rotalama problemleri kullanılmaktadır.

Servis aracı gidiş ve dönüş olmak üzere aynı rotayı iki defa kat edecektir. Bunu yaparken öğrencilerin serviste kalma süresi ve taşıma maliyetini minimum kılmak temel amaç olacaktır.

- Çöp toplama araçlarının rotalanmasında da rotalama problemi etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Çöp arabaları bir şehir içerisinde oluşturulan rotadaki her cadde üzerinde hareket edebilecek şekilde tahsis edilirler.
- Araç rotalama problemlerinin bir diğer uygulama alanı paket dağıtımında görülmektedir.

Bunun en güzel örneğini; şehir içi ve şehir dışı kargolar oluşturmaktadır. Dağıtımda gidilecek mesafeyi ve taşıma maliyetim minimum kılmak amaçlanacaktır.

- Bir başka uygulama alanı toplu yiyecek ve içecek dağıtan araçların izleyeceği rotanın belirlenmesinde karşımıza çıkmaktadır. Birden fazla işyerine öğle yemeği dağıtacak olan bir aracın veya marketlere içecek dağıtan araçların takip edeceği rotaların belirlenmesinde araç rotalama problemleri kullanılabilmektedir.
- Araç rotalama problemleri birçok fabrikada kullanılan otomatik güdümlü araçların (Automated Guided Vehicles / AGV's), üretim istasyonları arasında etkin bir şekilde hareket etmelerini sağlamak amacıyla da kullanılabilmektedir.

5. PROBLEMİN VE ÇÖZÜMDE KULLANILAN MODELİN TANIMI

5.1 Problemin Tanımı

Bu bölümde, otomotiv camları üretimi yapan bir tedarikçi firmanın yalın üretim sistemi uygulayan müşterilerine ait depolara gerçekleştirmekte olan dağıtım incelenmiş olup, mevcut araç rotalama uygulamasında değişikliğe gidilmek istenmesi sebebiyle sezgisel bir algoritma kullanılarak yeniden bir rotalama çalışması yapılmıştır. Bu firma hammaddesini kendi kuruluşuna bağlı grup şirketinden sağlamakta olup aşağıdaki çeşitlerde otomobil camları üretmektedir.

- Lamine Ön, Arka ve Yan Cam
- UV filmlili Lamine Cam
- Gizli Rezistanslı Isıtmalı Lamine Cam
- Silecek Bölgesi Isıtmalı Lamine Ön Cam
- Akustik Lamine Cam
- Kurşun Geçirmez Lamine Cam
- Ayna Camı
- Temperli Kapı, Kelebek, Arka Camı
- Temperli İş Makinesi ve Traktör Camı
- Temperli Boşaltmalı Camlar

Trakya Lüleburgaz'da bulunan fabrika ana depo olarak kullanılmakta olup, 50 müşterisine bu depodan hizmet etmektedir. Bu araç rotalama problemi dağıtım esnasında geri toplama da gerçekleştirdiği için kapalı çevrim olarak ele alınacaktır. Müşteri kitlesi otomobil üreticileri olan bu firmada Araç Rotası Planlama uygulaması gerçekleştirilmemiş ve bu konuda hiçbir iyileştirme yapılmamıştır. Araç kullanım verimliliği ve kat edilen yol uzunlukları adına herhangi bir optimizasyon çalışması yapılmamıştır. Ancak, araçların bilimsel olmayan yolla oluşturulmuş rotaları mevcuttur. Problem oluşturulurken, bir depo ve 50 talep noktası (müşteri) dikkate alınmıştır. Konumlar (x,y) koordinatları ile belirlenmiş ve sabittir. Uzaklık; birbirlerine olan öklid uzaklık olarak belirlenir, süre olarak kullanıldığında ise zaman birimi olarak ele alınır. Şirketin dağıtım ve toplamada kullandığı toplam 15 adet aynı kapasitede ($100m^3$) aracı bulunmaktadır.

Müşteri verileri Ek A.1’de verilmiştir. Bu problem çözümünde müşterilere teslimatın sağlanabileceği zaman aralığı ve araçların kapasite kısıtı sağlanacak şekilde en az toplam mesafe ile tüm müşterilere hizmet verilmesi amaçlanmaktadır. Problem çözümünde kaç adet araç kullanılacağı ve hangi müşterilerin hangi sırayla hangi araca atanmış olduğu bilgisi elde edilecektir. Problemimizin yapısı kapalı uçlu zaman pencereli belirli talepli araç rotalama problemidir.

Çalışmada incelenen Araç Rotalama Probleminin matematiksel modelini aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz;

J: Müşteri noktaları kümesi

J_0 : Depo dahil tüm noktalar kümesi

V: Araç kümesi

C: Araç kapasitesi

t_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki yolculuk süresi

s_i : Servis süresi

Z_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki yolculuk süresiyle servis zamanının toplamı ($Z_{ij}=s_i+t_{ij}$)

W_{iv} : i düğümünde v aracı ile servise başlama zamanı

V_{iv} : i düğümüne v aracı ile varış zamanı

T_i : i düğümünde bekleme zamanı

D_j : j noktasının depodan talep ettiği malzeme miktarı

n: Dağıtım yapılacak nokta sayısı

P_j : j noktasından depoya geri gönderilecek malzeme miktarı

d_{ij} : i ve j noktaları arasındaki mesafe

M: Büyük bir sayı

a_i : i düğümünde servise en erken başlama zamanı

b_i : i düğümüne en son servis zamanı

l_v' : Depodan ayrılırken v’inci aracın yükü

l_{vj} : j noktasından ayrılırken v aracının yükü

π_j : Alt tur oluşturmasını engelleyen değişken

$$X_{ijk}: \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{eğer } k \text{ nolu araç } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına hareket ederse} \\ 0, \text{aksi takdirde} \end{array} \right\}$$

$$\text{Amaç Foksiyonu: } \min Z = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J_0} \sum_{v \in V} T_i x_{ijv} \quad (5.1)$$

Şu kısıtlara göre:

$$\sum_{i \in J_0} \sum_{v \in V} x_{ijv} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (5.2)$$

$$\sum_{i \in J_0} x_{isv} = \sum_{j \in J_0} x_{sjv} \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (5.3)$$

$$l_v' = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J_0} D_j x_{ijv} \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (5.4)$$

$$l_{vj} \geq l_v' - D_j + P_j - M(1 - x_{ojv}) \quad v = 1, 2, \dots, V; j = 1, 2, \dots, J \quad (5.5)$$

$$l_{vj} \geq l_i - D_j + P_j - M(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv}) \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, J \quad (5.6)$$

$$l_v' \leq C_v \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (5.7)$$

$$l_{vj} \leq C_v \quad v = 1, 2, \dots, V; j = 1, 2, \dots, J \quad (5.8)$$

$$\pi_j \geq \pi_i + 1 - n(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv}) \quad j = 1, 2, \dots, J; i = 1, 2, \dots, J \quad (5.9)$$

$$W_{iv} - W_{jv} + M_{xijv} \leq M - Z_{ij} \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (5.10)$$

$$a_j \sum_i x_{ijv} \leq W_{jv} \leq b_j \sum_i x_{ijv} \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (5.11)$$

$$V_{jv} \leq W_{iv} + Z_{ij}x_{ijv} + M(1 - x_{ijv}) \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (5.12)$$

$$V_{iv} \leq M - (M - Z_{0i})x_{0iv} \quad j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (5.13)$$

$$W_{iv} \geq Z_{0i} - (1 - x_{0iv})M \quad j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (5.14)$$

$$V_{iv} \leq W_{iv} \quad i = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (5.15)$$

$$T_j = \sum_v (W_{jv} - V_{jv}) \quad j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (5.16)$$

$$\pi_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (5.17)$$

$$x_{ijv} \in \{0, 1\} \quad j = 1, 2, \dots, J; i = 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (5.18)$$

$$d_{ij} = d_{ji} \quad (5.19)$$

Modelde (5.1) nolu eşitlik; toplam beklemeyi minimize eden amaç fonksiyonudur. (5.2) nolu kısıt; bütün noktalara bir defa gidilmesini sağlar. Varılan noktayı aynı araçla terk etmeyi sağlayan (5.3) nolu kısıttır. Araçların başlangıçtaki yükleri (5.4), ilk noktadan sonra araç yükleri (5.5), rota boyunca noktalardan sonraki araç yükleri (5.6) nolu kısıtlarla sınırlandırılmıştır. İlk noktadan sonraki ve rota boyunca araç kapasitesi (5.7,5.8) nolu kısıtlarla kontrol edilmektedir. (5.9) nolu kısıt alt tur oluşmasını engeller. (5.10) nolu kısıt rota üzerindeki tüm düğümlerde servise başlama zamanını belirler, (5.11) nolu kısıt servise başlama zamanının istenilen zaman penceresi arasında olmasını sağlar.

(5.12,5.13) nolu kısıtlar sırasıyla rota üzerindeki herhangi bir düğüme ve rota üzerindeki ilk düğüme varış zamanını belirler. (5.14) nolu kısıt rota üzerindeki ilk düğüme servise başlama zamanını belirler, (5.15) nolu kısıt her düğüme servisin düğüme vardıktan sonra başlamasını garanti eder, (5.16) nolu kısıt beklemleri hesaplar. (5.17,5.18) nolu kısıtlar ise işaret kısıtlarıdır. (5.19) nolu kısıt problemin simetrik ARP olduğunu belirtir.

5.2 Problemin Çözümünde Kullanılan Genetik Algoritma Modelinin Tanımı

Bu bölümde Genetik Algoritma daha detaylı işlenecek ve bu algoritma içerisinde yer alan yardımcı algoritmanın da tanımı yapılacaktır.



Şekil 5.1 : GA Model Akışı

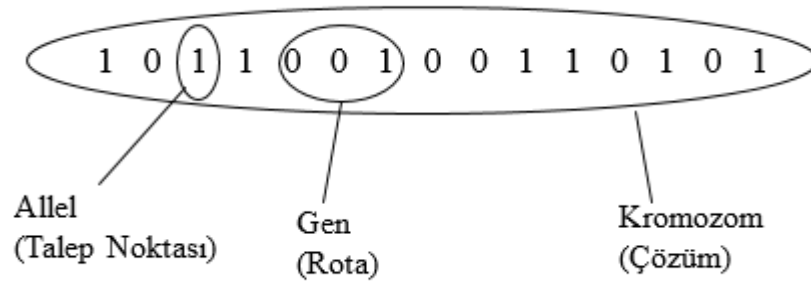
5.2.1 Genetik algoritma kavramları

Genotip ve Fenotip: Genetiğe göre her birey genotipe (kalıtsal yapı) ve bu kalıtsal (genetik) özellikler sonucu oluşan fenotipe (kalıtımla oluşan dış görünüm) sahiptir. Bir bireyin genotipi o bireyin fenotipini şifreler. Üreme sırasında çocuk ebeveynlerinden (hem anne hem baba) genotipi miras alır. Dolayısıyla bireylerin gelişimi fenotip seviyesinde gerçekleşirken, genetik operatörler genotip seviyesinde gerçekleşmektedir.

Allel: Bir kromozomdaki en küçük birimlerdir. Doğada ise alleller XY gibi iki tane sembolden oluşmaktadır. Genetik algoritma uygulamalarında ise çoğunlukla tek sembol ile ifade edilir. (0 ya da 1 değerini alabilmektedir.)

Gen: Bir kromozom (birey) içerisindeki belirli bir fenotip özelliği temsil eden allel ya da alleller dizisidir. Yani, bir bireyin dış fenotipik bir özelliği bir ya da birden fazla allelin bir araya gelmesiyle oluşan genlerle temsil edilmektedir.

Kromozom: GA'da bir çözümü temsil eden, belirli uzunluktaki ve bireyin tüm genetik bilgisini içeren alleller dizisidir. En iyileme probleminde tüm olası çözümler bir kromozom ile temsil edilmektedir. Doğada birden fazla kromozom olmasına karşılık, çoğu GA uygulamasında bir kromozom kullanılmaktadır.



Şekil 5.2 : Allel-Gen-Kromozom İlişkisi

Popülasyon: Çözüm uzayındaki belirli sayıda noktanın oluşturduğu çözüm kümesidir, yani belirli sayıda kromozomdan oluşmaktadır. GA'nın başında bu çözümler rassal olarak belirlenmektedir ve genellikle bu kümenin büyüklüğü algoritma boyunca sabit tutulmaktadır. Algoritmanın başında belirlenmesi gereken en önemli nokta bu popülasyonun büyüklüğünün ne kadar olacağı ve hangi bireylerin üreme için seçileceğidir. Sözkonusu çözüm kümesinin büyüklüğü algoritmanın etkili ve verimli bir şekilde çalışmasına yönelik olarak belirlenmelidir.

Küçük boyutta popülasyon GA'nın aynı anda çözüm uzayının farklı yerlerini araması özelliğini etkin kılmayacak, çok büyük olması ise algoritmanın hızlı çalışmasını engelleyerek verimliliğini azaltacaktır.

5.2.2 Genetik algoritma aşamaları

Aşama 1: Genetik Kodlama

Problemin aday bir çözümü olan bir bireyin gen yapısının nasıl kodlanacağı, sözkonusu gen yapısı ile deşifre edilmiş yapısı arasındaki eşleştirmenin nasıl yapılacağı belirlenmesi, herhangi bir evrim algoritmasının ilk aşamasını oluşturmaktadır. Belirlenen kodlama ile en iyileme probleminin olası tüm olurlu çözümlerinin şifrelenebilmesi ve çaprazlama, mutasyon (dönüşüm) gibi genetik operatörlerin, bu kodlama ile yapılmış bireylere uygulanabilir olması gerekmektedir. Genetik kodlamadaki en ufak değişiklikler bile algoritmanın performansını büyük ölçüde etkileyebilmektedir.

En yaygın olan Genetik Kodlama çeşitleri; ikili kodlama, gri kodlama, tamsayı kodlama, gerçek sayılı kodlama, permütasyon kodlama, rassal sayılı kodlama, düzensiz kodlama, direk kodlama ve harf kodlamadır (Rothlauf, 2002).

Kombinatorik en iyileme problemlerinde çaprazlama sonrasında ortaya çıkabilecek olursuz çocukların önüne geçebilmek adına bu tez çalışmasında Rassal Kodlama kullanılacaktır. Çizelgeleme ve en iyileme problemleri için rassal sayı kodlamalı genetik algoritma yaklaşımı literatüre ilk olarak Bean tarafından kazandırılmıştır. (0,1) aralığındaki rassal sayıların kullanıldığı bu kodlamada önce her allel için atanan sözkonusu rassal sayılar sıralandıktan sonra permütasyon gösterimi elde edilmektedir. Örneğin tez çalışmasında 50 adet müşteri noktası için, başlangıç çözüm kümesi N adet bireyden oluştuğunu düşünürsek başlangıçta $50 \times N$ adet farklı rassal sayıya ihtiyaç duymaktayız. Bir kromozom ile örnek gösterecek olursak;

1	2	3	...	49	50
1020034	463	27508	...	321	58990

Bu örnek bireyin, amaç fonksiyonunun hesaplanması amacıyla yardımcı algoritma içerisinde kullanılacak sırası, rassal sayıların azalan şeklinde sıralanmasıyla aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

1	2	3	...	49	50
37	16	28	...	41	9

Aşama 2: Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Rassal Sayı Kodlama yöntemiyle N=600 birey içerecek bir başlangıç çözüm kümesi (başlangıç popülasyonu) oluşturulmuştur. Bu başlangıç kümesi aşağıdaki gibi olacaktır;

	1	2	3	...	49	50
1	1020034	463	27508	...	321	58990
2	84	4164539	2534	...	5456812	75
...	...	...	...	...	...	...
600	630087	145	590122	...	1156	65768

Aşama 3: Uygunluk Değerlerinin Hesaplanması

Uygunluk değerlerinin hesaplanması fonksiyonu, Genetik Algoritma'da problem ile algoritma arasında bağlantı sağlar. Bu fonksiyon daha iyi bireyler hayatta daha büyük şansla kalmasını ve yeniden üremelerini sağlamaktadır. Dolayısıyla uygunluk değerlendirme fonksiyonu tanımlamak çok önemlidir. Bu fonksiyon sayesinde olurlu olmayan çözümlerin dikkate alınmaması gerekmektedir. En iyileme probleminde tanımlanacak amaç fonksiyonu bu görevi görecek. Kodlanmış birey algoritma sırasında deşifre edilerek belirlenen amaç fonksiyonuna sokulur ve amaç fonksiyon değeri elde edilir.

Tez çalışmasında ise yardımcı algoritma ile herhangi bir müşteri sırası için olurlu bir çözüm elde edilecek, yani rotalar belirlenip toplam mesafe hesaplanacaktır. (Amaç fonksiyonu)

Yardımcı Algoritma: Araç kapasite kısıtı, müşteri son tarih kısıtı ve depo son tarih kısıtlarına bakarak, herhangi bir rotaya atanmamış araç kalmayana kadar ya da aktif edilebilecek araç bitene kadar atamaya devam eder. Ve ayrıca bu rotalar için uygunluk değerlerini hesaplar.

Aşama 4: Seçim Operatörü

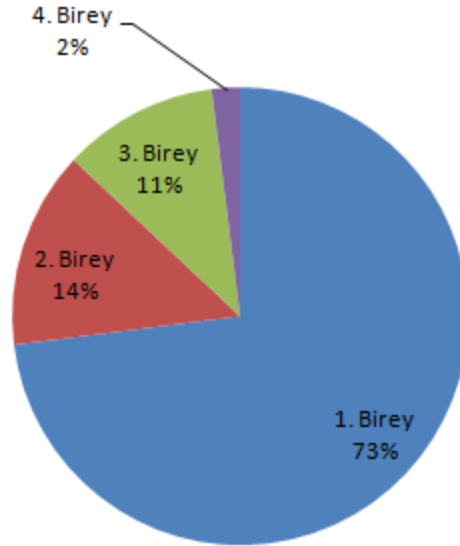
Bu aşama yeniden üreme işleminin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Bu operatör ile algortmadaki bireylerin çeşitliliği artacak ve çözüm uzayında bulunan diğer bölgeler de aranabilecektir. En sık kullanılan seçim yöntemleri; rulet çemberi seçim, turnuva seçim ve sıralamalı seçim yöntemleridir. Anlatımlar örnek üzerinden yapılacaktır.

Seçilecek bireyler ve Uygunlukları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

Birey	Uygunluk Değeri
1.Birey	73
2.Birey	14
3.Birey	11
4.Birey	2

Rulet emberi (roulette wheel selection) seçim yöntemi:

Bu seçim yönteminde bireyler uygunluk değerinde göre belirli olasılık değerinde sahiptirler. Bu olasılıklar, her bir bireyin uygunluk değerinin toplam uygunluk değerine oranlanması ile elde edilir. Bu yöntem ile bireylerin seçilme olasılıkları aşağıdaki gibi olacaktır;



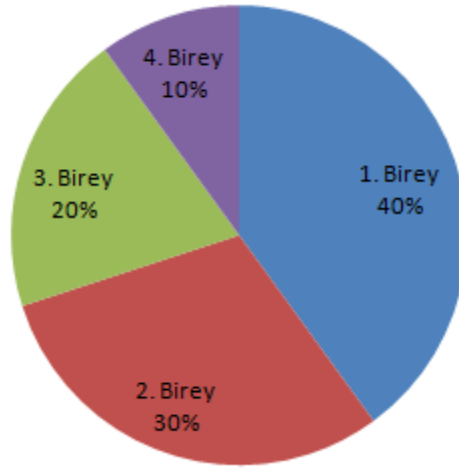
şekil 5.3 : Rulet emberi – Birey seçilme olasılıkları

Turnuva seçim (tournament selection) yöntemi;

Bu yöntemde popülasyondan rassal olarak belirli sayıda (k) birey seçilir ve kendi aralarında uygunluklarına göre turnuvaya sokulur. İçlerinden uygunluk değeri yüksek olan ebeveyn olarak seçilir. Bu işlem popülasyon büyüklüğü kadar tekrarlanır. Burada k değerinin büyük olması yüksek uygunluktaki bireylerin ebeveynleri oluşturmasına, küçük olması ise kötü bireylerin çok fazla yeniden üreme için seçilmesine neden olacaktır. rnek olarak poplasyonumuzdan rastgele iki birey seçelim: **4. birey** ve **2. birey** olsun. Bu bireyler kendi aralarında turnuvaya sokulduğunda çaprazlanacak bireylerden biri seçilmiş olur: **2. birey**.

Sıralamalı seçim (rank selection) yöntemi;

Sıralamalı Seçim Yöntemi de Uygunlukla Orantılı Seçim'den uyarlanmış bir yöntemdir. Rulet yönteminde eğer bireyin uygunluğu çok büyük bir değerdayse (Örneğin %95 gibi) diğer bireylerin seçilme şansı azalacaktır. Bu durum sıralı seçim yöntemi kullanılarak önlenabilir. Sıralama ile seçilme olasılığı arasındaki ilişki keyfi olarak yapılabilir, toplam olasılık 1 olacak şekilde doğrusal ya da üssel olarak azalan şeklinde olabilir. Örnek olarak verilen bireylerin bu seçim yöntemine göre seçilme olasılıkları aşağıdaki gibi olacaktır:



Şekil 5.4 : Sıralamalı Seçim – Birey seçilme olasılıkları

Yukarıdaki seçim yöntemlerinin farklı özellikleri vardır. Örnek olarak rulet tekeri seçim yönteminin diğer seçim yöntemlerine göre gen havuzundaki çeşitliliği azaltacağı söylenebilir. Bireylerin doğrudan uygunluklarına göre seçilme olasılığına sahip olmasından dolayı popülasyonda en iyi bireylerin benzerlerinin sayısı fazla olacaktır ki bu da lokal en iyilere takılma riskini artırır.

Aşama 5: Yeniden Üreme

Ebeveynlerin (seçilen bireylerin) bir sonraki nesli (yeni çözümleri) üretmesi için uygulanan temel genetik işlemler çaprazlama ve mutasyondur.

Aşama 5.1: Çaprazlama

Doğal popülasyonlardaki çaprazlamaya karşılık gelen ve genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli parametrelerden biri olan çaprazlama operatörü sonrasında elde edilen çocuklar ebeveynlerinin genetik özelliklerini taşırlar.

Çaprazlama çeşitleri şunlardır; tek noktalı çaprazlama, iki noktalı çaprazlama, düzenli çaprazlama, kısmi planlı çaprazlama, sıralı çaprazlama, pozisyon bazlı çaprazlama, dairesel çaprazlama ve sezgisel olarak geliştirilen diğer yöntemler.

Bu tez çalışmasında bir maske (gen sayısı kadar rassal sayılardan oluşturulmuş bir dizi) aracılığıyla daha önceden belirlenmiş çaprazlama oranından büyük olan hücreler çaprazlanacaktır. (Çalışmada çaprazlama oranı 0,65 olarak belirlenmiştir.) Örnek ile açıklanacak olursa;

	1	2	3	...	49	50
Ebeveyn 1	1020034	463	27508	...	321	58990
Ebeveyn 2	84	4164539	2534	...	5456812	75
Maske	0,75	0,13	0,88	...	0,67	0,24
Çocuk 1	84	463	2534	...	5456812	58990
Çocuk 2	1020034	4164539	27508	...	321	75

Çaprazlama sonrasında çözüm kümesi kadar yeni birey elde edilir. Bu çocukların da amaç fonksiyon değerleri yardımcı algoritma algoritma ile hesaplanır. Amaç fonksiyon değerleri sıranan toplam $2N$ tane birey (ebeveynler ve çocuklar) içerisinde ilk N tanesi yeni popülasyon için seçilir. Elitizm ile de en iyi bireyler korunmaktadır. Yeniden üremeye geçmeden önce bu kümenin bireylerinin bir kısmı mutasyona uğrar.

Aşama 5.2: Mutasyon (Dönüşüm) Operatörü

Popülasyon içerisindeki çeşitliliğin artırılmasının hedeflendiği bu aşamada, iki tane farklı oran bulunmaktadır. Birincisi ilk çaprazlama sonrası elde edilen bireylerin ne kadarının mutasyona uğrayacağı, ikincisi ise bu seçilen bireyin allellerinin ne kadarının değiştirileceğidir. Bizim çalışmamızda oranlar sırasıyla; 0,75 ve 0,03 olarak belirlenmiştir. Çaprazlamadaki maske mantığı burada da geçerlidir, maskedeki rassal sayı dönüşüm oranından büyük ise (0,03) ilgili bireyin geninin yerine yeni bir rassal sayı üretilir. Elde edilen popülasyonla algoritmaya devam edilir.

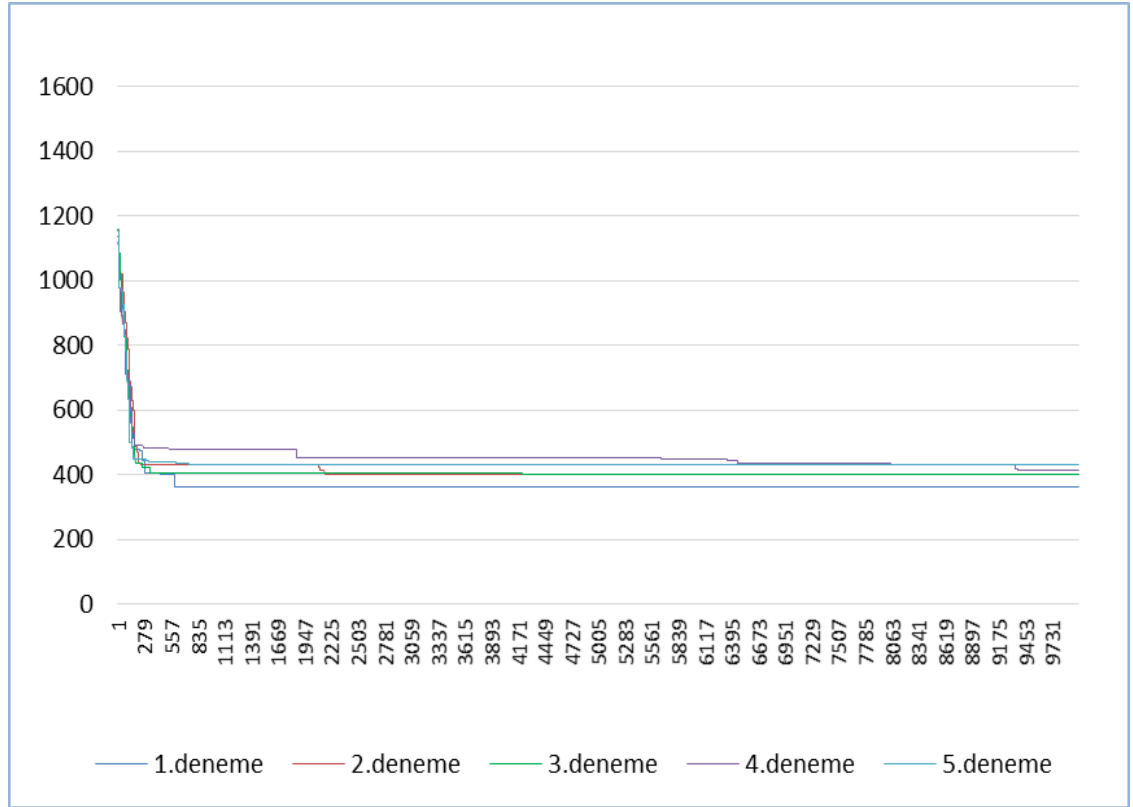
Aşama 6: Bitirme Koşulu

Algoritma 10.000 adım sonrasında sonlandırılacaktır.

5.3 Sayısal Sonuçlar

Model C++ programlama dili kullanılarak yazılmıştır ve Intel(R) Core(TM) i3CPU M 350 @ 2.27 GHz işlemciye ve 2.00 GB RAM özelliğine sahip bir bilgisayarda koşturulmuştur. Her bir koşum yaklaşık 110 dk sürmüştür. Farklı parametreler ve popülasyon büyüklükleri için algoritma 10.000 iterasyon koşturulacak şekilde çeşitli denemeler yapılmıştır. En iyi sonuçların elde edildiği parametre değerleri şu şekildedir: popülasyon büyüklüğü 600, çaprazlama oranı 0.65, mutasyon oranları 0.75 ve 0.03'tür.

Birbirinden farklı 5 koşumun adım sayısı arttıkça toplam mesafenin nasıl değiştiğini veren grafiği aşağıda Şekil 5.5'de ve özet bilgileri Çizelge 5.1'de verilmiştir (Denemeler uygunluk değerleri azalan sıraya göre olacak şekilde listelenmiştir). Ayrıca bu 5 denemeye ait en iyi çözüm çıktı dosyasına da Ek A.2'den ulaşabilirsiniz.



Şekil 5.5 : 5 farklı koşumun iterasyon sayısı-toplam mesafe grafiği

Bu sonuçlardan en iyisi, şirketin mevcut uygulamasına karşılık %20 oranında iyileştirme getirmektedir. Elde edilen sonuca göre aktif araç sayısı yani toplam rota sayısı 5'tir. Ve toplam mesafe 363,13 uzaklık birimidir. Şirketin kullanmakta olduğu rotada ise toplam mesafe 456,5 uzaklık birimdir ve toplam araç sayısı 7'dir.

Çizelge 5.1 : Koşum Sonuçları

	Toplam Mesafe	Kullanılan Araç Sayısı	Mevcut Rota Mesafesinin İyileştirilme Oranı(%)
1.Deneme	363,13	5	20%
2.Deneme	399,31	6	13%
3.Deneme	404,44	6	11%
4.Deneme	413,49	6	9%
5.Deneme	432,58	6	5%

Şirketin kullanmakta olduğu mevcut rota aşağıdaki gibidir;

Rota 1 43 - 42 - 44 - 46 - 45 - 48 - 50 - 49 - 47

Rota 2 31 - 35 - 37 - 38 - 39 - 36 - 34 - 22

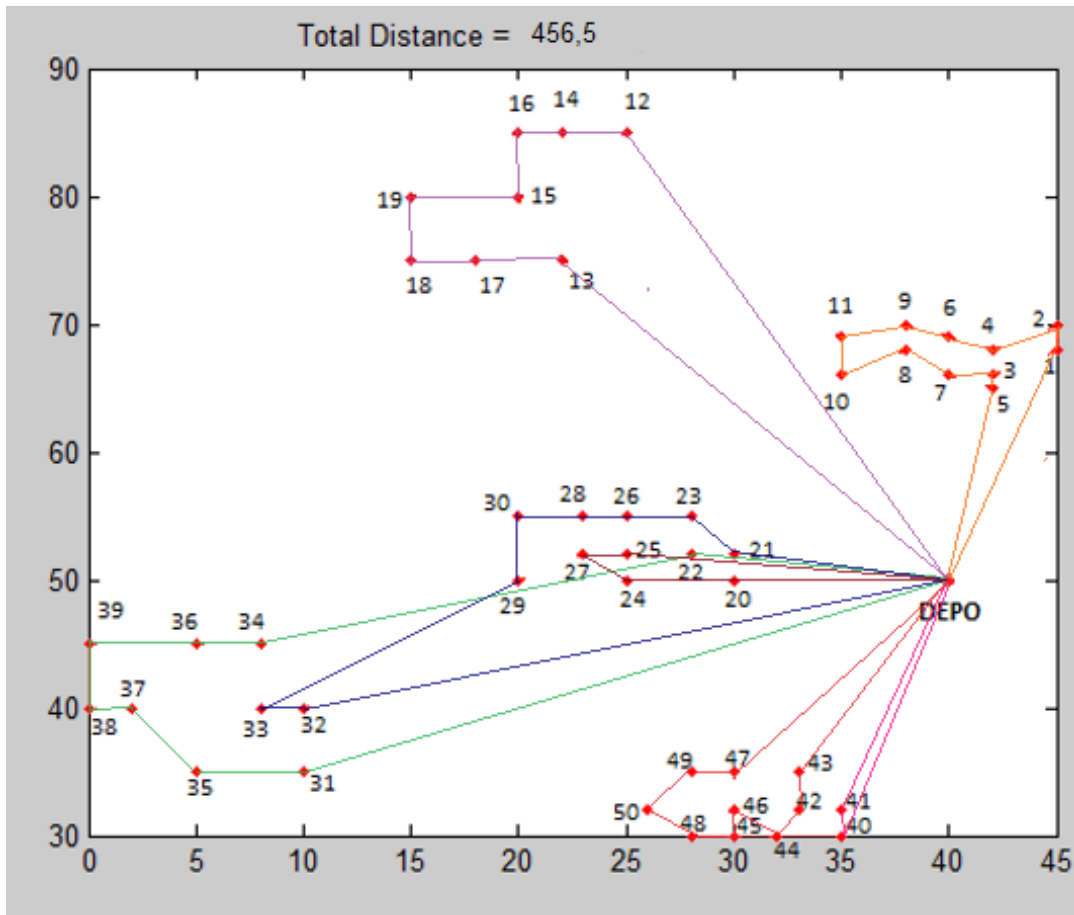
Rota 3 32 - 33 - 29 - 30 - 28 - 26 - 23 - 21

Rota 4 5 - 3 - 7 - 8 - 10 - 11 - 9 - 6 - 4 - 2 - 1

Rota 5 13 - 17 - 18 - 19 - 15 - 14 - 12

Rota 6 41 - 40

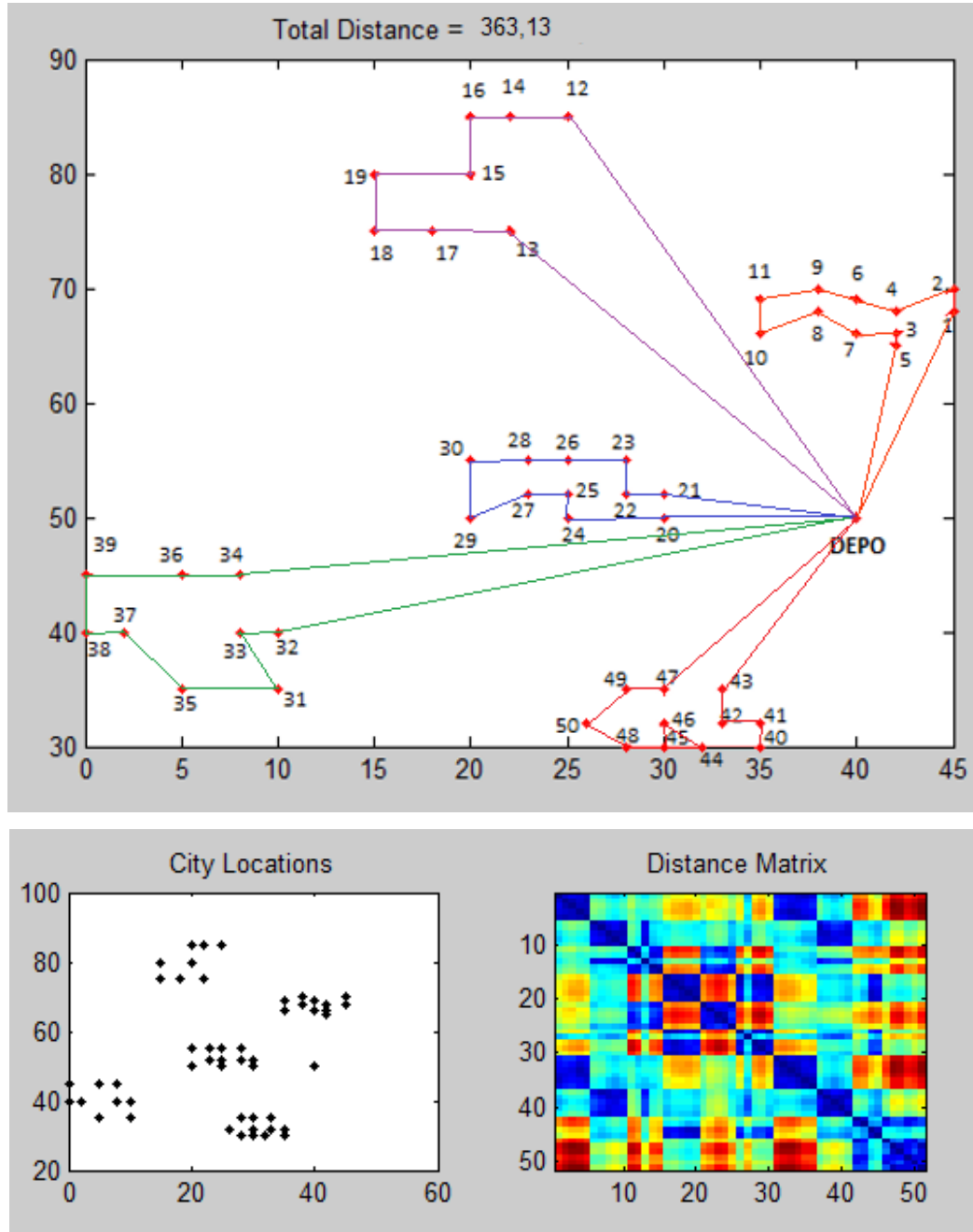
Rota 7 20 - 24 - 27 - 25



Şekil 5.6 : Şirketin kullanmakta olduğu mevcut rota

Çalışmada elde edilen ve en iyi çözümün oluşturduğu rota çizimi Şekil 5.7’de verilmiştir ve rotalar diğer sayfada belirtilmiştir;

Rota 1 43 - 42 - 41 - 40 - 44 - 46 - 45 - 48 - 50 - 49 - 47
Rota 2 5 - 3 - 7 - 8 - 10 - 11 - 9 - 6 - 4 - 2 - 1
Rota 3 13 - 17 - 18 - 19 - 15 - 16 - 14 - 12
Rota 4 32 - 33 - 31 - 35 - 37 - 38 - 39 - 36 - 34
Rota 5 20 - 24 - 25 - 27 - 29 - 30 - 28 - 26 - 23 - 22 - 21



Şekil 5.7 : En iyi çözümün oluşturduğu rota

5.3.1 Genetik algoritmanın performansı

Literatürde yapılan çalışmalar ve elde edilen algoritmalar, o zamana kadar oluşturulmuş diğer problem çözümleri ile karşılaştırılır ve standart veri seti üzerinden mevcut olan en iyi çözümden sapma oranına göre performansı kontrol edilir. Araç rotalama problemleri için ise en çok kullanılan veri seti Solomon veri setleridir. (Solomon, 1987).

Modellenmiş olan Genetik Algoritmanın performansını ölçmek ve benzer problemler için modellenmiş diğer algoritmalarla karşılaştırmak için algoritma, Solomon veri setlerinden C109 kodlu set üzerinde çalıştırılmıştır. (Url-4) Bu veri seti kullanılırken; tez çalışmasındaki müşteri sayısı ile aynı olacak şekilde yani 50 müşteri almaya dikkat edilmiştir. Algoritma sonucunun, bu problem setinin literatürdeki en iyi çözümünden sapma oranı yaklaşık %7.24'tür.

Elde edilen sonuca göre aktif araç sayısı yani toplam rota sayısı 5'tir. Ve toplam mesafe 388.67 uzaklık birimidir. En iyi (optimum) çözümde ise toplam mesafe 362.4 uzaklık birimdir ve toplam araç sayısı 5'tir. Çalışmada elde edilen ve en iyi çözüme en yakın çözümün optimum çözüm ile karşılaştırması aşağıdaki Çizelge 5.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 : Performans Sonuçları

	Toplam Mesafe	Kullanılan Araç Sayısı	En iyi Çözümünden Sapma Oranı(%)
En iyi Çözüm	362,4	5	-
Algoritma Çözümü	388,67	5	7,24%

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişen teknoloji ve bununla birlikte değişen koşullar, günümüz şirketlerinin kendilerini sürekli geliştirmelerini ve stratejik karar alırken birçok konuda hassas davranmalarını zorunlu kılmaktadır. Kendilerini sürekli geliştirmeyi hedef alan firmalar bu hızlı değişimlere ayak uydurabilmek için esnek ve hızlı karar verebilmeye ihtiyaç duyarlar. Şirketler; müşteri memnuniyeti konusuna azami önem verirken, kendi iç verimliliklerini de göz önünde bulundurmak ve süreçlerini daha etkin ve verimli kılacak çalışmaları yapmak durumundadırlar. Özellikle lojistiğin önemli bir parçası olan ve dolayısıyla tedarik zincirine etki eden araç rotalama bu açıdan önem kazanan bir konu olmuştur ve birçok akademik araştırmaya da konu olmuştur. ARP lerin büyük ölçekli olması ve gerçek hayattaki koşulları sağlamak durumunda olması nedeniyle en iyiye yakın çözümü veren sezgiseller geliştirilmektedir. Metasezgiseller içerisinde; arama uzayında aynı anda birçok noktayı değerlendirilebilmesi ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığının yüksek olması ayrıca yerel en iyi çözüme takılma ihtimalinin de daha düşük olması sebebiyle Genetik Algoritma kullanılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada bir firmanın yapısı incelenerek, Genetik Algoritma ile modellenmesi ve dağıtım maliyetlerinde iyileştirme yapılması amaçlanmıştır.

Şirketin mevcut bir rota planı var olup, bu rotayı geliştirecek, maliyetleri düşürecek ve bu planlama için harcanan işgücünü azaltacak bir yönteme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada şirketin araç rotalamaproblemi incelenmiş olup, tanımlanan tüm ARP çözüm yöntemleri içerisinde en uygun olduğu düşünülen ve son kullanıcıya da kullanım kolaylığı sağlayan Genetik Algoritma kullanılmıştır. Şirketin mevcut rota maliyeti (uzunluk birim) %20 iyileştirilmiş ve ayrıca dağıtımda kullanılan araç sayısı da 7 den 5 e indirilerek, bundan sonraki planlamalarda da kullanılabilecek bir model oluşturulup çözüme ulaşılmıştır.

Söz konusu model en iyi çözümü elde edememektedir fakat hızlı bir modeldir. Şirketin mevcut parametreleri (müşteri ürün kabul zaman aralıkları, müşteri talep miktarları, koordinat verileri v.b.) değişse dahi bu değişime hızlı uyum sağlayabilecek bir model oluşturulmuştur.

Modelde klasik sezgiseller ya da ARP çözümü için kullanılmış kesin yöntemlerden faydalanılmamıştır. Daha önceden Rassal Sayı Kodlamalı Genetik Algoritma'nın etkinliğinin herhangi bir firmaya ait ARP problem üzerinde incelenmemiş olması, çalışmanın ana motivasyonlarından biridir.

Genetik Algoritma modeline yapısal olarak bakacak olursak; göç(immigration) gibi operatörlerin ilave edilmesi bu modelin performansını etkileyebilecektir. Ya da başlangıç popülasyonunun oluşturulması aşamasında Süpürme Algoritması, Clarke-Wright Tasarruf Algoritması gibi klasik sezgisellerden faydalanılması önerilebilir. Çünkü başlangıç popülasyonunun uygunluk değerinin yüksek olması hem daha iyi bir çözüme ulaşılmasını hem de daha kısa süre içerisinde çözüme ulaşmayı sağlar.

Modelin şirkete uygulanması tarafından bakacak olursak; araçların kapasitelerini daha az kullanarak, daha uzun mesafe kateden bir rotadan, araçların kapasitelerini daha verimli kullanmayı amaçlayan ve en az maliyet ile her bir müşteriye istediği zaman aralıkları içerisinde hizmet veren bir rotalama sistemine geçilmiştir. Model içerisinde belirtilmemiş olsa da müşteriye teslim edilen ürün sırasında ayrıca müşteriden geri tahta paletler toplanmaktadır. Bu geri toplanan paletler küçük hacme sahip oldukları için (teslim edilen üründen her zaman daha az m^3 hacme sahiptirler) geri toplama işlemleri model içerisine dâhil edilmemiştir. Uygulama konusunda öneri olarak; problem yapısı geri toplamalı dağıtım modeli oluşturmaya elverişli bir problem incelenebilir ve model bu şekilde geliştirilebilir.

Bu çalışma ile şirketlerin zaman pencereli belirli talepli araç rotalama problemlerine genetik algoritma kullanarak çözüm bulabilecek; şirketlere zaman ve esneklik kazandıracak bir model ortaya koymak amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akcan, S.** (2003). *Lojistik Bilisimi Sistemlerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Uzman Sistem*, Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Akın, B.** (2002). *Lojistik Yönetimi Evrimi*, Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ballou, R.** (1999). *Business Logistics Management, Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain*, Prentice Hall, USA.
- Belle, J. V., Valckenaers, P., Berghe, G. V., Cattrysse, D.** (2013). *A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows*, Computers & Industrial Engineering, Volume 66, Issue 4, Sf. 818-826.
- Biethahn, J. ve Nissen, V.** (1995). *An Introduction to Evolutionary Algorithms. Evolutionary Algorithms in Management Applications*, Sf. 3-43, USA.
- Biggs, N.L., Llyod, E. K. ve Wilson, R. J.** (1976). *GraphTheory 1736–1936*, Clarendon Press, Oxford.
- Breedam, A. V.** (2002). *A Parametric Analysis Of Heuristics For The Vehicle Routing Problem With Side - Constraints*, European Journal Of Operational Research vol:137, issue:2, Sf. 348-370.
- Calvette, H. I., Gale, C., Oliveros, M. J. Ve Valverde, B. S.** (2007). *A goal Programming Approach to Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows*, European Journal of Operational Research, 177 (3), 1720–1733.
- Cedimoğlu, İ. H. ve Geyik, F.** (2001). *Komşuluk Arama Yöntemleriyle Atölye Tipi Çizelgeleme İçin Kullanılan Komşuluk Yapıları*, YA/EM Ulusal Kongresi, 4-6 Temmuz.
- Chan, Y. ve Carter, W. B.** (1988). *A Multiple-Depot, Multiple Vehicle, Location-Routing Problem with Stochasticaly Processed Demands*, Computers & Operations Research, vol. 28, Sf. 803–826. University of Arkansas. USA.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G. ve Sormany, J. S.** (2004). *New Heuristics for the Vehicle Routing Problem*, Les Chairs du Gerad.
- Çetin, E.** (2005). *Dinamik Programlama ile Sınır Tenörü Optimizasyonu*, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, Sf. 139-143.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. ve Colorni, A.** (1991). *The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process*, Technical Report TR91-016, Politecnico di Milano.

- Erol, V.** (2006). *Araç Rotalama Problemleri için Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sistem Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Kütüphanesi, İstanbul.
- Fisher, M., Jörnsten, K., Madsen, O.** (1997). *Vehicle Routing with Time Windows: Two Optimization Algorithms*, Operations Research, vol: 45, No:3, Sf. 488-492.
- Geloğulları, C. A.** (2001). *An Exact Algorithm For The Vehicle Routing Problems With Backhauls*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Güden, H., Vakvak, B. ve Özkan, B. E., Altıparmak, F., Dengiz, B.** (2005). *Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Benzetim Eniyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması*, Endüstri Mühendisliği Dergisi Cilt 16, Sayı 1, Sf. 2-15.
- Ho, W., Ho, G. T. S., Ji, P. ve Lau, H. C. W.** (2008). *A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Sayı 21, Basım 4, Sf. 548-557.
- Jang, J. S. R.** (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, Chapter 7: Derivative-Free Optimization, Prentice-Hall, s. 173-196, USA.
- Keçeci, B.** (2008). *Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi için tamsayılı karar modelleri*, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara.
- Kocaoğlu, B.** (2003). *Üçüncü Parti Lojistik Yönetim Sistemlerinde Dağıtım Planlanması Faaliyetleri ve Türkiye'deki Firmaların Uygulamada Karşılaştığı Sorunların Analizi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Laporte, G. ve Semet, F.** (1999). *Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem*, Les Cahiers du GERAD, G-98- 54, Canada.
- Lotfi, M. M., Tavakkoli-Moghaddam R.** (2013). *A genetic algorithm using priority-based encoding with new operators for fixed charge transportation problems*, Applied Soft Computing, Volume 13, Issue 5, Sf. 2711-2726.
- Marinakis, Y.** (2001). *Heuristic Solutions of Vehicle Routing Problems in Supply Chain Management*, DSS Laboratory, Department of Production Engineering and Management, Technical University of Crete, Greece.
- Murata, T. ve Hai, R.** (2005). *Multi objective Vehicle Routing Problem Using Two-Fold EMO Algorithms to Enhance Solution Similarity on Non-Dominated Solutions*, ISBN:978-3-540-24983-2, Sf. 885-896.
- Nabiyev, V. V.** (2003). *Yapay Zeka: Problemler, Yöntemler, Algoritma*, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Nossack, J., Pesch, E.** (2013). *A truck scheduling problem arising in intermodal container transportation*, European Journal of Operational Research, Volume 230, Issue 3, Sf. 666-680.

- Osman, I. H. ve Kelly, J. P.**(1996). *Meta-Heuristic: An Overview, Metaheuristics: Theory & Applications*, Sf. 1-23. Kluwer Academic Publishers. Boston London Dordrecht.
- Ölçer, C. ve Önüt, S.** (2002). *Lojistik Sektöründe İnsan Kaynakları Yönetimi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Paolucci, M.** (2005). *Vehicle Routing Problems*, ICCS.
- Potvin, J. Y., Duhamel, C., Guertin, F.** (1996). *A Genetic Algorithm for Vehicle Routing with Backhauling*, *Applied Intelligence* 6, 345-355, Kluwer Academic Publisher, Hollanda.
- Ropke, S.** (2005). *Heuristic and Exact Algorithms for Vehicle Routing Problems*, University of Copenhagen, Department of Computer Science, Doktora Tezi, Danimarka.
- Ross, D. F.** (2002). *Introduction to E-Supply Chain Management*, CRC Pres LLC, Sf. 6.
- Rothlauf, F.** (2002). *Representations for Genetic and Evolutionary Algorithms*, Physica-Verlag.
- Sağlam, S.** (2003). *Lojistik Yönetiminde Dış Kaynak Kullanımı ve Türkiye’de bir Uygulaması*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Sarıkoç, F.** (2004). *Paralel Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması ve Test Problemlerindeki Performansının İncelenmesi*, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Solomon, M.** (1987). *Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints*, *Operations Research* 35, 254-265.
- Şeker, Ş.** (2007). *Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Taha, H.** (2005). *Araç Operations Research And Introduction*, Copyright by Prentice Hall. Simon&Schuster A Viacom Company.
- Tanyaş, M.** (2002). *Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi*, Lojistik Tedarik Zinciri Yönetimi Seminer Notu, Kocaeli.
- Taşkın, Ç.** (2003). *Araç Rotalama Problemlerinde Genetik Algoritmanın Yaklaşımı ve Bir Uygulama*, Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Toth, P., Bianco, L.** (1996). *Advanced Method In Transportation Analysis*, John Wiley&Sons Inc.
- Tung, D., Pinnoi, A.** (2000). *Vehicle Routing-Scheduling For Waste Collection In Hanoi*, *European Journal of Operational Research*.
- Tüfekçier, H.** (2008). *İki Amaçlı Açık Araç Rotalama Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Ulusoy, G.** (2002). *Proje Planlamada Kaynak Kısıtlı Çizelgeleme*, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul.

- Yıldırım, Ü.** (2003). *Lojistik ve Ulaştırma Tasarım ve Planlama*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Anabilim Dalı Ulaştırma Programı, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Kütüphanesi, İstanbul.
- Yıldıztekin, A.** (2003). *Hizmet Üreten (3PL) Kuruluşlar ile Hizmet Alan Kuruluşlar Arasındaki İlişkiler*, Lojistik Derneği Toplantı Notları, İstanbul.
- Yılmaz, Ş.** (2008). *Çok Depolu Araç Rotalama Probleminin Karınca Kolonisi Optimizasyonu İle Modellenmesi ve Bir Çözüm Önerisi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Zhang, Q., Manier, H., Manier, M.-A.** (2012). *A genetic algorithm with tabu search procedure for flexible job shop scheduling with transportation constraints and bounded processing times*, Computers & Operations Research, V.39, Issue.7, Sf.1713-1723, İstanbul.
- Url-1** <<http://www.cscmp.org>>, alındığı tarih: 20.03.2014.
- Url-2** <<http://en.wikipedia.org/wiki/Transport>>, alındığı tarih: 23.01.2014.
- Url-3** <<http://www.bernabe.dorronsoro.es/vrp/>>, alındığı tarih: 10.04.2014.
- Url-4** <<http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm>>, alındığı tarih: 03.05.2014

EKLER

EK A.1: Veri tablosu

EK A.2: 5 farklı koşumun en iyi çözüm sonuçları

EK A.1**Çizelge A.1 :Veri tablosu**

Müşteri Numarası	X Koordinatı	Y Koordinatı	Talep Miktarı(m ³)	Hazır O. Zamanı	Son Tarih	Servis Süresi
0	40	50	0	0	1236	0
1	45	68	5	912	967	90
2	45	70	15	825	870	90
3	42	66	5	65	146	90
4	42	68	5	727	782	90
5	42	65	5	15	67	90
6	40	69	10	621	702	90
7	40	66	10	170	225	90
8	38	68	10	255	324	90
9	38	70	5	534	605	90
10	35	66	5	357	410	90
11	35	69	5	448	505	90
12	25	85	10	652	721	90
13	22	75	15	30	92	90
14	22	85	5	567	620	90
15	20	80	20	384	429	90
16	20	85	20	475	528	90
17	18	75	10	99	148	90
18	15	75	10	179	254	90
19	15	80	5	278	345	90
20	30	50	5	10	73	90
21	30	52	10	914	965	90
22	28	52	10	812	883	90
23	28	55	5	732	777	90
24	25	50	5	65	144	90
25	25	52	20	169	224	90
26	25	55	5	622	701	90
27	23	52	5	261	316	90
28	23	55	10	546	593	90
29	20	50	5	358	405	90
30	20	55	5	449	504	90
31	10	35	10	200	237	90
32	10	40	15	31	100	90
33	8	40	20	87	158	90
34	8	45	10	751	816	90
35	5	35	5	283	344	90
36	5	45	5	665	716	90
37	2	40	10	383	434	90
38	0	40	15	479	522	90
39	0	45	10	567	624	90
40	35	30	5	264	321	90
41	35	32	5	166	235	90
42	33	32	10	68	149	90
43	33	35	5	16	80	90
44	32	30	5	359	412	90
45	30	30	5	541	600	90
46	30	32	15	448	509	90
47	30	35	5	1054	1127	90
48	28	30	5	632	693	90
49	28	35	5	1001	1066	90
50	26	32	5	815	880	90

EK A.2

Çizelge A.2 :5 farklı koşumun en iyi çözüm sonuçları

1.Deneme En İyi Çözüm	2.Deneme En İyi Çözüm	3.Deneme En İyi Çözüm	4.Deneme En İyi Çözüm	5.Deneme En İyi Çözüm
<i>"Müşteri No"; "Araç No"; "Müşterinin Araçta Bulunduğu Sıra"</i>				
1; 2; 11	1; 2; 11	1; 3; 11	1; 2; 11	1; 3; 11
2; 2; 10	2; 2; 10	2; 3; 10	2; 2; 10	2; 3; 10
3; 2; 2	3; 2; 2	3; 3; 2	3; 2; 2	3; 3; 2
4; 2; 9	4; 2; 9	4; 3; 9	4; 2; 9	4; 3; 9
5; 2; 1	5; 2; 1	5; 3; 1	5; 2; 1	5; 3; 1
6; 2; 8	6; 2; 8	6; 3; 8	6; 2; 8	6; 3; 8
7; 2; 3	7; 2; 3	7; 3; 3	7; 2; 3	7; 3; 3
8; 2; 4	8; 2; 4	8; 3; 4	8; 2; 4	8; 3; 4
9; 2; 7	9; 2; 7	9; 3; 7	9; 2; 7	9; 3; 7
10; 2; 5	10; 2; 5	10; 3; 5	10; 2; 5	10; 3; 5
11; 2; 6	11; 2; 6	11; 3; 6	11; 2; 6	11; 3; 6
12; 3; 8	12; 3; 8	12; 4; 8	12; 4; 8	12; 2; 7
13; 3; 1	13; 3; 1	13; 4; 1	13; 4; 1	13; 4; 1
14; 3; 7	14; 3; 7	14; 4; 7	14; 4; 7	14; 2; 6
15; 3; 5	15; 3; 5	15; 4; 5	15; 4; 5	15; 2; 4
16; 3; 6	16; 3; 6	16; 4; 6	16; 4; 6	16; 2; 5
17; 3; 2	17; 3; 2	17; 4; 2	17; 4; 2	17; 2; 1
18; 3; 3	18; 3; 3	18; 4; 3	18; 4; 3	18; 2; 2
19; 3; 4	19; 3; 4	19; 4; 4	19; 4; 4	19; 2; 3
20; 5; 1	20; 4; 1	20; 5; 1	20; 5; 1	20; 6; 1
21; 5; 11	21; 4; 11	21; 5; 11	21; 5; 10	21; 2; 9
22; 5; 10	22; 4; 10	22; 5; 10	22; 6; 6	22; 2; 8
23; 5; 9	23; 4; 9	23; 5; 9	23; 5; 9	23; 4; 5
24; 5; 2	24; 4; 2	24; 5; 2	24; 5; 2	24; 6; 2
25; 5; 3	25; 4; 3	25; 5; 3	25; 5; 3	25; 6; 3
26; 5; 8	26; 4; 8	26; 5; 8	26; 5; 8	26; 4; 4
27; 5; 4	27; 4; 4	27; 5; 4	27; 5; 4	27; 6; 4
28; 5; 7	28; 4; 7	28; 5; 7	28; 5; 7	28; 4; 3
29; 5; 5	29; 4; 5	29; 5; 5	29; 5; 5	29; 6; 5
30; 5; 6	30; 4; 6	30; 5; 6	30; 5; 6	30; 4; 2
31; 4; 3	31; 5; 3	31; 2; 3	31; 3; 3	31; 5; 3
32; 4; 1	32; 5; 1	32; 2; 1	32; 3; 1	32; 5; 1
33; 4; 2	33; 5; 2	33; 2; 2	33; 3; 2	33; 5; 2
34; 4; 9	34; 5; 9	34; 2; 9	34; 3; 9	34; 5; 9
35; 4; 4	35; 5; 4	35; 2; 4	35; 3; 4	35; 5; 4
36; 4; 8	36; 5; 8	36; 2; 8	36; 3; 8	36; 5; 8
37; 4; 5	37; 5; 5	37; 2; 5	37; 3; 5	37; 5; 5
38; 4; 6	38; 5; 6	38; 2; 6	38; 3; 6	38; 5; 6
39; 4; 7	39; 5; 7	39; 2; 7	39; 3; 7	39; 5; 7
40; 1; 4	40; 1; 3	40; 6; 4	40; 6; 3	40; 1; 4
41; 1; 3	41; 6; 1	41; 6; 3	41; 6; 2	41; 1; 3
42; 1; 2	42; 1; 2	42; 6; 2	42; 1; 1	42; 1; 2
43; 1; 1	43; 1; 1	43; 6; 1	43; 6; 1	43; 1; 1
44; 1; 5	44; 1; 4	44; 6; 5	44; 6; 4	44; 1; 5
45; 1; 7	45; 1; 6	45; 1; 2	45; 1; 2	45; 1; 7
46; 1; 6	46; 1; 5	46; 1; 1	46; 6; 5	46; 1; 6
47; 1; 11	47; 1; 10	47; 1; 6	47; 1; 6	47; 1; 11
48; 1; 8	48; 1; 7	48; 1; 3	48; 1; 3	48; 1; 8
49; 1; 10	49; 1; 9	49; 1; 5	49; 1; 5	49; 1; 10
50; 1; 9	50; 1; 8	50; 1; 4	50; 1; 4	50; 1; 9

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Begüm AKSAKAL

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul 23.05.1988

Lisans: İstanbul Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği