



**OTOBÜS TOPLU TAŞIMACILIĞINDA HAT OPTİMİZASYON
YAKLAŞIMLARI: ÇAYYOLU HATTI UYGULAMASI**

Ahmet COŞKUNSU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TRAFİK PLANLAMASI VE UYGULAMASI ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Ahmet COŞKUNSU tarafından hazırlanan “OTOBÜS TOPLU TAŞIMACILIĞINDA HAT OPTİMİZASYON YAKLAŞIMLARI: ÇAYYOLU HATTI UYGULAMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Trafik Planlaması ve Uygulaması Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ebru Vesile ÖCALIR AKÜNAL

Şehir ve Bölge Planlama Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Serpil EROL

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Hediye TÜYDEŞ YAMAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 10/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ahmet COŞKUNSU

10/09/2019

OTOBÜS TOPLU TAŞIMACILIĞINDA HAT OPTİMİZASYON YAKLAŞIMLARI:
ÇAYYOLU HATTI UYGULAMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet COŞKUNSU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Kentsel ulaşım sistemleri, trafik katılımcılarını taşımak için uyum içinde birlikte çalışan ve insanlar, taşıtlar, yollar, köprüler, kaldırımlar, nehirler, demiryolları, metro hatları ve trafik sinyalleri gibi birçok parçadan oluşan sistemlerdir. Günümüzde ulaşım planlarının kentiçi ulaşımı planlarken yapmaya çalıştığı iş aslında bu sistemin katılımcılarını bir yerden diğerine taşımak için en verimli, güvenli, uygun maliyetli ve doğal çevreyi koruyacak uygun çözümü(leri) bulmaya çalışmaktır. Bu arayış, ulaşım planlama (ve uygulama) sürecinde “optimizasyon” aşaması olarak ortaya çıkmaktadır. Optimizasyon, bir ulaşım sisteminde seçilen belirleyicilerin istenen hedeflere ulaşabilmeleri için bir “amaç fonksiyonu”nun politika araçları kullanarak en iyileştirilmesidir. Optimizasyon tekniklerinin ulaşım planlamada kullanımı çok da eskiye gitmemektedir. Bununla beraber daha önce akla gelmeyen çözüm önerilerinin de değerlendirmeye alınması, bunların etkilerinin diğer önerilerle karşılaştırılmasını sağlamak ya da en iyi stratejinin belirlenmesi için daha kapsayıcı ve kabul edilebilir bir yol olması gibi avantajlar, kısa sürede bir çok optimizasyon tekniğinin ulaşım planlama uygulamalarına taşınmasına yol açmıştır. Bu çalışmada, literatür taraması ile optimizasyon tekniklerinin bir özeti çıkarılacaktır. Bu tekniklerden, özellikle belirli ulaşım problemlerinin çözümünde kullanılabilecek yaygın tekniklerden seçilen üç yöntem, bunların birbirlerine göre üstünlükleri ve örtüşükleri alanlar, uygulamadan örnekler verilerek açıklanacaktır.

Bilim Kodu : 80211

Anahtar Kelimeler : Optimizasyon Teknikleri, Hat Optimizasyonu, Ulaşım Planlaması

Sayfa Adedi : 135

Danışman : Prof. Dr. Ebru Vesile ÖCALIR AKÜNAL

ROUTE OPTIMIZATION APPROACHES IN BUS PUBLIC TRANSPORTATION:
ÇAYYOLU ROUTES APPLICATION

(M. Sc. Thesis)

Ahmet COŞKUNSU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

Urban transport systems are systems that work together to transport traffic participants and are composed of many components that work together in harmony such as people, vehicles, roads, bridges, sidewalks, rivers, railways, metro lines and traffic signals. Today, what the transport planners are trying to do when planning urban transport is actually searching the most efficient, safe, cost effective and appropriate solution (s) to protect the natural environment in order to move the participants of this system from one place to another. This quest emerges as the “optimization” stage in the transportation planning (and practice) process. Optimization is the maximizing an “objective function” by using policy tools to ensure that selected indicators in a transport system reach to the desired targets. The use of optimization techniques in transportation planning does not go far back. However, advantages such as consideration of previously proposed solutions, comparison of their effects with other proposals or being a more inclusive and acceptable way to determine the best strategy have led to the implementation of many optimization techniques in transportation planning applications in a short time. In this study, a summary of optimization techniques will be prepared with literature review. The three methods selected among the common techniques that can be used to solve certain transportation problems, their advantages and overlap areas, will be explained with examples from the application.

Science Code : 80211

Key Words : Optimization Techniques, Line Optimization, Transportation Planning

Page Number : 135

Supervisor : Prof. Dr. Ebru Vesile ÖCALIR AKÜNAL

TEŞEKKÜR

Tezimin her aşamasında bilgi, görüş ve desteğini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Ebru Vesile ÖCALIR AKÜNAL' a, değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Serpil EROL'a ve Doç. Dr. Hediye TÜYDEŞ YAMAN'a, çalışma esnasında gerekli verilerin elde edilmesinde ve yorumlanmasındaki katkılarından dolayı Ankara Büyükşehir Belediyesi'ne, Ego Genel Müdürlüğü'ne ve personeline, her aşamada desteğini eksik etmeyen mesai arkadaşlarıma, ayrıca sonsuz hoşgörüsüyle eşim Sümeyye ERKALAN COŞKUNSU' ya ve bu süreçte moral kaynağım biricik kızım Zeynep COŞKUNSU' ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI: ULAŞIM PLANLAMASINDA KULLANILAN OPTİMİZASYON YAKLAŞIM VE TEKNİKLERİ ..	7
2.1. Optimizasyonun Tanımı.....	7
2.2. Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması	8
2.3. Optimizasyon Teknikleri.....	9
2.3.1. Matematiksel programlama teknikleri	11
2.3.2. Stokastik süreç teknikleri	11
2.3.3. İstatistiksel yöntemler	11
2.3.4. Yapay zekâ (YZ) ile optimizasyon teknikleri	11
2.4. Simülasyon Programları.....	12
2.4.1. Ptv Visum.....	12
2.4.2. Emme	13
2.4.3. Cube	13
2.4.2. Transcad	13
2.5. Ara Değerlendirme.....	14

3. METODOLOJİ.....	15
3.1. Uzman Görüşü Yöntemi	16
3.1.1. Hat planlama sürecinde izlenen adımlar	18
3.2. Hedef Programlama	21
3.2.1. Çok amaçlı programlama	21
3.2.2. Çok amaçlı doğrusal programlamanın çözüm yöntemleri	21
3.2.3. Hedef programlama.....	22
3.3. Simülasyon Destekli Optimizasyon: Ptv Visum	25
3.3.1. Talep tahmin modeli	27
3.3.2. Yolculuk üretim-çekim modeli	29
3.3.3. Yolculuk dağıtım modeli	30
3.5. Değerlendirme.....	33
4. OTOBÜS HATLARININ OPTİMİZASYONU İÇİN BİR ÖRNEK ALAN UYGULAMASI: ANKARA ÇAYYOLU 123 NO'LU YAŞAMKENT HATTI.....	35
4.1. Optimizasyon Probleminin Tanımı	35
4.2. Örnek Alanın Seçim Gerekçeleri	38
4.3. Uzman Görüşü: Örnek Alandaki Yetkililerin İzlediği Prosedür	47
4.4. Doğrusal Hedef Programlama.....	48
4.5. Simülasyon Destekli Optimizasyon: Ptv Visum Ulaşım Modeli	54
5. DEĞERLENDİRME	61
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	71
EKLER	77
EK-1. Hazır yazılımlar: PTV-Visum	78

Sayfa

EK-2. Optimizasyon ile ilgili algoritmalar	97
ÖZGEÇMİŞ	135

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması	9
Çizelge 2.2. Optimizasyon için kullanılan yöneylem araştırması teknikleri	10
Çizelge 3.1. Model atama yöntemleri	31
Çizelge 4.1. 123 Yaşamkent-Kızılay hattı durak numaraları ve isimleri.....	40
Çizelge 4.2. Mevcut durum ile model sonucunun karşılaştırılması.....	48
Çizelge 4.3. Mevcut durum ile model sonucunun karşılaştırılması.....	51
Çizelge 4.4. Modelden elde edilen günlere göre ortalama yolcu sayıları	53
Çizelge 4.5. 123 Yaşamkent-Kızılay hattına ilişkin performans verileri.....	56
Çizelge 4.6. Güzergahların performans verileri.....	57
Çizelge 5.1. Öneri güzergahların performans verileri	63
Çizelge 5.2. Seçilen optimizasyon tekniklerin göstergelere etkisi	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Ortak yol şebekesi ve transit tasarım problemi.....	18
Şekil 3.2. Otobüs hatlarının uzman görüşü yöntemi ile optimizasyonu şeması	20
Şekil 3.3. Talep analizi akış çizelgesi	28
Şekil 3.4. Yolculukların amaç ve saatlere göre gün içindeki dağılımı	30
Şekil 4.1. Problemin kısıtları	37
Şekil 4.2. 123 nolu hat sabah zirve saati indi-bindi yolcu sayıları ve durakları	41
Şekil 4.3. 123 nolu hat öğlen zirve saati indi-bindi yolcu sayıları ve durakları	43
Şekil 4.4. 123 nolu hat akşam zirve saati indi-bindi yolcu sayıları ve durakları	45
Şekil 4.5. Matlab yazılımı modelinde toplu taşıma hattının çalışma prensibi.....	52

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Visum durak kontrollerinin yapılması.....	32
Resim 4.1. Model ana ekranı görüntüsü.....	50
Resim 4.2. Duraklara göre indi-bindi sayıları.....	51
Resim 4.3. Yolcuların duraklara hangi dakikalarda geldikleri görüntüsü	53

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Visum yazılımında zonlar üzerinde yolculuk atamaları ekranı	27
Harita 4.1. 123 Yaşamkent-Kızılay hattı sabah zirve saati	42
Harita 4.2. 123 Yaşamkent-Kızılay hattı öğlen zirve saati	44
Harita 4.3. 123 Yaşamkent-Kızılay hattı akşam zirve saati.....	46
Harita 4.4. 123 Yaşamkent-Kızılay hattının toplu taşıma atamaları.....	55
Harita 4.5. 123 Yaşamkent-Kızılay hattının ulaşım modeli verileri.....	57
Harita 4.6. Öneri minimum sefer uzunluğu	59
Harita 4.7. Öneri maksimum yolcu sayısı.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

dk	Dakika
km	Kilometre
m	Metre
sn	Saniye

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABC	Yapay arı kolonisi
AID	Otomatik etkileşim belirleme
AOGA	Alternatif hedef genetik algoritma
AUAP	Ankara ulaşım ana planı
B-S	Başlangıç-son
CO	Karbonmonoksit
DGA	Diferansiyel gelişim algoritması
DP	Doğrusal Programlama
GA	Genetik algoritma
GP	Geometrik programlama
HP	Hedef programlama
LP	Lineer programlama
O-D	Başlangıç-son
TAZ	Trafik analiz zone
TNDFSP	Çok amaçlı ulaşım ağı tasarımı ve frekans ayarlama problemi
TP	Transfer ücreti
UKOME	Ulaşım koordinasyon merkezi
YBA	Yapay bağışıklık algoritması
YZ	Yapay zekâ

1. GİRİŞ

Bir kentin dokusunun şekillenmesi ile kent içi ulaşım hizmetlerinin örgütlenmesi karşılıklı etkileşim içinde bulunmaktadır. Aksi halde kent içi toplu ulaşım sistemi cazipliğini yitirerek özel araç yolculuklarının tercih edildiği bir kent karşımıza çıkacaktır. Kentin belirli yönlerde doğru gelişmesi, bu bölgelere ulaşım hizmetlerinin gitmesini zorunlu kılmaktadır. Gelişen bu ulaşım aksları ise, etrafında birçok kentsel arazi kullanımının yer alması sürecini hızlandırmaktadır. Bir kentin gelişme süreci içerisinde, bu iki yönlü ilişkiden hangisinin ağır basacağı, büyük ölçüde, o ülkedeki ekonomik birikim süreci ile ilişkili olarak, kent içi ulaşım sektörüne ve yapılaşma sektörüne ne türde ve ne miktarda ekonomik girdi sağlandığı ile belirlenir.

Ulaşım türlerinin daha etkin şekilde kullanılabilmesi için, teknik özellikleri farklı olan türlerinin (Metro, Hafif Metro, Hafif Raylı Sistem-HRS, Otobüs, vs.) kentsel bölgelerde hizmet verirken birbirleri arasında entegrasyonun sağlanması, sistemlerin daha verimli bir şekilde çalışmasına olanak sağlarken, ulaşımın hizmet kalitesinin de yükseltilmesi ve yolcuların sistemler ya da türler arasındaki transferden en az etkilenmesine imkan sağlar. Günümüzün sürdürülebilir ulaşım planlaması yaklaşımında, kent merkezindeki raylı sistem istasyonları ile otobüs sistemi ve yaya bölgeleri ile bütünleştirilerek, etkin ve konforlu bir toplu taşıma hizmeti sağlanarak özel oto kullanımı kısıtlanmaktadır. Konut alanlarında ise istasyon çevrelerinde yeterli otobüs aktarma alanları, bisiklet park yerleri ve otopark olanakları ile sistemler arası bütünleşme desteklenmektedir. Bu amaçla raylı sistem projeleri hazırlanırken aktarma yapılacak istasyonlar belirlenmektedir. İstasyon çevrelerinde yaya bağlantıları, otobüs aktarma alanları ve çevre noktalarda özel araç park alanları ve diğer hizmetler için yeterli büyüklükte alan ayrılarak, aktarma olanakları istasyonlarla bütünleştirilmiş olarak çözülmektedir.

Kentsel ulaşım sistemleri, trafik katılımcılarını taşımak için uyum içinde birlikte çalışan ve insanlar, taşıtlar, yollar, köprüler, kaldırımlar, nehirler, demiryolları, metro hatları ve trafik sinyalleri gibi birçok parçadan oluşan sistemlerdir. Günümüzde ulaşım planlarının kentiçi ulaşımı planlarken yapmaya çalıştığı iş aslında bu sistemin katılımcılarını bir yerden diğerine taşımak için en verimli, güvenli, uygun maliyetli ve doğal çevreyi koruyacak uygun çözümü(leri) bulmaya çalışmaktır. Bu arayış, ulaşım planlama (ve

uygulama) sürecinde “optimizasyon” aşaması olarak ortaya çıkmaktadır. Optimizasyon, bir ulaşım sisteminde seçilen belirleyicilerin istenen hedeflere ulaşabilmeleri için bir “amaç fonksiyonu”nun politika araçları kullanarak en iyileştirilmesidir. Optimizasyon tekniklerinin ulaşım planlamada kullanımı çok da eskiye gitmemektedir. Bununla beraber daha önce akla gelmeyen çözüm önerilerinin de değerlendirmeye alınması, bunların etkilerinin diğer önerilerle karşılaştırılmasını sağlamak ya da en iyi stratejinin belirlenmesi için daha kapsayıcı ve kabul edilebilir bir yol olması gibi avantajlar, kısa sürede birçok optimizasyon tekniğinin ulaşım planlama uygulamalarına taşınmasına yol açmıştır.

Bu çalışmada optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan yöneylem araştırması tekniklerinden tez çalışmasında sırasıyla uzman görüşü yöntemi, Hedef Programlama ve PTV-Visum talep tahmin modeli yazılımı ile hat optimizasyonu yapılmaya çalışılmıştır.

Öncelikle örnek alanda yerel yönetimlerde uygulanan ve uzman görüşü olarak adlandırdığımız yöntem ile bir çalışma yapılarak belirlenen optimizasyon probleminin yanıtı aranmıştır. Yapılan çalışmada her bir durakta binen yolcular hesaba katılırken inen yolcular problemin karmaşıklığını artırdığından hesaba katılmaması en belirgin kısıtların başında gelmektedir. Bu yüzden hedef programlama yöntemi ile ikinci bir uygulama yapılmıştır. İkinci bir yöntem olan hedef programlama yönteminde ise toplu taşıma hattı parametreleri ile birlikte Matlab yazılımında kodlanarak gerçeğe yakın bir model oluşturulmuştur. Birinci yöntemden ayrıldığı nokta ise her bir durakta araçtan inen yolcularında hesaba katılması olmuştur. Hedef programlama tekniği, duraklarda indi-bindi sayıları, hattın sefer aralığı, araç kapasiteleri gibi verilerin hesaplanmasına imkan sağlarken hattın rotasına ve durakların yerlerine ilişkin bir takım düzenlemelere imkan sağlamamaktadır. Bu sebepten bu kısıtları da ortadan kaldıran bir yöntem olarak seçilen bilgisayarlı simulasyon yöntemlerinden olan Ptv Visum yazılımı ile üçüncü bir optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Ptv Visum ulaşım modeli ile yapılan uygulamada, hattın rotasına yönelik öneriler geliştirilmiştir. Ptv Visum yazılımı ile hattın sefer aralıklarına ilişkin analizler de yapılabilmektedir. Ancak bu yöntemde de bazı kısıtlarla karşılaşmıştır. Sefer aralıklarına ilişkin analiz yapılabilmesi için yazılımın ihtiyacı olan parametrelerin eksikliği nedeniyle, bu yöntemde sadece hattın güzergâhına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Verilerin eksikliği de bu yöntemde karşılaşılan en önemli kısıtlardandır.

Amaç; bir kent için ana sorunlarından birisi olan ulaşım probleminin temel unsurları da toplu taşıma sistemi ile arazi kullanımı arasındaki ilişkidir. Bu çalışmanın amacı, kentiçi toplu taşıma sisteminin önemli bir bileşeni olan otobüs taşımacılığı için hat planlaması yapılırken optimizasyonun nasıl sağlanacağını araştırılmasıdır.

Yöntem; çalışmada öncelikle literatür taraması ile;

- Toplu taşıma sistemlerinin sorunlarına çözüm olarak kullanılmış optimizasyon yaklaşımları ve teknikleri araştırılmıştır.

Literatürdeki bu optimizasyon teknikleri karşılaştırılarak;

- Örnek alan çalışmasında kullanılacak yaklaşım ve tekniklerin seçimi için bir değerlendirme yapılmış,
- İncelenen optimizasyon yaklaşım tekniklerinden üçü (uzman görüşü yöntemi, hedef programlama tekniği ve hazır ulaşım paket programlama yazılımları içinde PTV-Visum) seçilmiştir.

Örnek alan çalışması için seçilen Ankara'daki bir otobüs hattında;

- Veri toplanmış,
- Bu hat ile ilgili optimizasyon problemine konu olabilecek bir sorun tanımlanmış,
- Aynı soruna yönelik olarak seçilen üç farklı optimizasyon yaklaşım ve yöntemi ile çözümler üretilmiştir.

Değerlendirme aşamasında;

- Seçilen hat ile ilgili optimizasyon yaklaşım ve yöntemleri sınanmış,
- Önerilen model ile hattın mevcut durumu arasında değerlendirme ve kıyaslama yapılmış,
- Sonuçlar karşılaştırılarak örnek soruna yanıt vermede üç yaklaşım ve tekniğin başarısı karşılaştırılarak tablo halinde sunulmuştur.

Sonuç ve Öneriler aşamasında ise;

- İzlenen yöntemin başlangıçta tanımlanan amacı tanımlamakta ne kadar başarılı olduğu tartışılmış,
- Tezdeki sınırlılıklar vurgulanmış,
- Toplu taşıma hatlarındaki optimizasyon ile ilgili öneriler geliştirilmiş,
- Bundan sonra bu konuda çalışmak isteyen araştırmacılara yol gösterecek araştırma önerileri sıralanmıştır.

Örnek Alan Çalışması

Çalışmada uygulama alanı olarak Ankara seçilmiştir. Ankara, ülkemizde nüfusun en hızlı arttığı kentlerden biri olmasının yanında, ulaşım sorunlarının çözümü noktasında da en çok çalışmaların ve uygulamaların yapıldığı kentlerin başında gelmektedir. Buna örnek olarak 1970'lerin sonunda otobüs özel yolu uygulaması, toplu taşımada ekspres hat uygulamaları, 1990'ların sonunda metro ve hafif raylı sistem uygulamaları, tek yön ve katlı kavşak uygulamaları, yeşil dalga sinyalizasyon uygulamaları, halen devam eden raylı sistem yatırımları başlıca örneklerdendir. Türkiye'nin özellikle nüfusu büyük kentlerde, kentin gelişimi ve ulaşım sisteminin gelişimi için yapılacak yatırımların, hedefe yönelik ve mümkün olduğunca büyük yararlar sağlayacak biçimde olması gerekir. Nüfusu büyük kentlerde hareketliliğinde fazla olması sebebiyle yapılacak yatırımların isabetsiz olması hem büyük bir mali yük getirecek, hem de ulaşım ağı tasarım problemlerinin artmasına neden olacaktır. Çeşitli ekonomik ve toplumsal etkinlikler arasındaki ilişkilerin kurulmasını için oluşan kentsel hareketlilik sorunu, kentlerin büyümesi ve nüfusun kentleşme beraberinde artmasından dolayı, alınan yanlış kararlar neticesinde bir soruna dönüşmüştür.

Ankara, özel araç sayısı bakımından, 1000 kişiye düşen 269 adet otomobil sayısı ile Türkiye genelinde ilk sırada bulunmaktadır. Ankara'yı sırası ile 214 adet otomobil ile Muğla, 210 adet otomobil ile Antalya izlemektedir. Türkiye geneli 1000 kişiye düşen otomobil sayısı ise ortalama 152 adet düzeyindedir. Ankara'da yolculukların türel dağılımında ise, otomobil %39 oranı ile ilk sırada gelmektedir. Toplu taşımının türel dağılımdaki payı %56,1 iken, EGO otobüslerinin genel dağılımdaki payı da %11,4 olarak gerçekleşmiştir [1].

Ankara kentinin özel araç sahipliliği oranı ile yolculuk türel dağılımı birlikte değerlendirildiğinde, ulaşım maliyetlerini artıran özel araç oranının büyük bir potansiyel olduğu görülmektedir. Buna karşılık kamunun verdiği toplu taşım hizmetinin kalitesi, bu büyük potansiyel olan özel araç yolcularının toplu taşımaya yönlendirilmesi noktasında büyük önem arz etmektedir. Özellikle yolculuk türü seçiminde önemli bir kriter olan yolculuk maliyeti, yolcuların hangi ulaşım türünü seçeceği hususunda etkili bir rol oynamaktadır. Yolculuk maliyeti ise, seyahat süresi, ücretlendirme, bekleme süresi, duraklara erişim mesafesi gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında, kamu

eliyle yürütülen toplu taşıma hizmetinin maliyetini etkileyen; sefer sıklığı, sefer uzunluğu ve bekleme süresi gibi bazı göstergeleri üzerinde optimum değeri bulma çalışması yapılacaktır.

Yapılacak optimizasyon çalışmasında öncelikli olarak toplu taşıma sistemleri problemlerine çözüm olarak kullanılan optimizasyon yaklaşımları ve teknikleri ile literatürdeki diğer optimizasyon teknikleri de araştırılmıştır. Bu teknikler birbiri ile kıyaslanarak çalışmada kullanılan teknikler ve yaklaşımların seçimi için bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme içerisinde, izlenen yöntemlerin tezdeki sınırlılıklar çerçevesinde başlangıçta tanımlanan amacı tanımlamakta ne kadar başarılı olduğu tartışılmıştır. Seçilen yaklaşım ve teknikler sayesinde toplu taşıma hattının optimizasyonu konusunda öneriler geliştirilmiştir. Sonuç olarak bu konuda çalışma yapmak isteyen araştırmacıların yolunu aydınlatacak araştırma önerileri sıralanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI: ULAŞIM PLANLAMASINDA KULLANILAN OPTİMİZASYON YAKLAŞIM VE TEKNİKLERİ

2.1. Optimizasyonun Tanımı

Bir işin yapılması esnasında en iyi yolun seçilmesi fikri oldukça eskidir. Ancak asıl gelişmeler 18. yüzyılda Newton, Leibnitz, Cauchy ve Langrange'nin genel matematik alanındaki çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. Özellikle Newton ve Leibnitz tarafından geliştirilen Calculus, optimizasyon teorisinin tarihsel gelişiminde önemli bir adım olmuştur. Söz konusu çalışmalar optimizasyon teorisinin gelişiminde dönüm noktası konumundadır. Ancak gerçek hayatta genel matematik, optimizasyon problemlerinin çözümünde yeterince güçlü bir araç değildir [2].

1950'lerden sonra özellikle bilgisayarların da gelişmesi ile yeni sayısal optimizasyon teknikleri geliştirilmiştir. Yeni sayısal optimizasyon tekniklerinin gelişiminde etkili olan faktörlerin başında hızlı bilgisayarlar gelmektedir. Hızlı bilgisayarların ardından ise minimum veya maksimumu elde etmede sayısal tekniklerin gelişimine matematiksel analizin uygulanması gelmektedir [2].

Optimizasyon en basit tanımı ile mevcut kısıtlı kaynakları en optimum biçimde kullanmak şeklinde tanımlanabilir [3].

Bir tasarım problemi sorununun çözümüne getirilebilecek en iyi sonucun elde edilmesi işi olarak da tanımlanan optimizasyon özetle “en iyi sonuçları içeren işlemler topluluğudur” [4].

Diğer bir tanımla optimizasyon; verilen şartlar altında en iyi olan sonucun elde edilmesi işidir. Mühendislik bilgisi gerektiren herhangi bir sistemin planlanmasından işletmesine ve bakımına kadar olan aşamalarında mühendisler birçok idari ve teknolojik kararlar almak zorundadırlar. Bu süreçte alınacak kararların nihai hedefi; ya yakalanmak istenilen karı maksimuma çıkarmak ya da gerekli çabayı minimuma indirmektir. Reel hayattaki istenilen kar ya da gereken çaba, karar değişkeninin bir fonksiyonu olarak ifade edilebildiğinden, optimizasyon; bir fonksiyonun minimum ya da maksimum değerlerini sağlayan şartların

bulunması süreci olarak ifade edilebilir. Optimizasyon problemlerinin tamamını etkili bir şekilde çözen tek bir yöntem yoktur. Genellikle ayrılmaz bir parçası olduğu yöneylem araştırması içerisinde çalışılan matematiksel programlama teknikleri olarak adlandırılan yöntemler, optimumu (en iyiyi) araştıran yöntemlerdirler. Aynı zamanda en iyi çözümlerin bulunması ve bilimsel yöntemlerin karar verme problemlerine uygulanması ile ilgilenen yöneylem araştırmaları matematiğin bir branşı olarak da tanımlanabilmektedirler [2].

2.2. Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması

Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan birçok optimizasyon algoritması bulunmaktadır. Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bu algoritmalarından hangisinin kullanılacağı, optimizasyon problemin türüne göre değişecektir. Bu nedenle, bir tasarım probleminin optimum çözüme kavuşturulmasında gerekli yöntemin seçimi için, optimizasyon probleminin türünün belirlenmesi önemlidir. Optimizasyon problemlerine ilişkin literatürde bulunan başlıca sınıflandırmalar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Optimizasyon problemlerinin sınıflandırmasında $f(x)$ fonksiyonunda x ile ilgili herhangi bir sınırlamanın olmadığı optimizasyon probleminin maksimizasyonu veya minimizasyonuna sınırlamasız optimizasyon, x ile ilgili bir sınırlamanın bulunduğu problemleri ise sınırlamalı optimizasyon problemi olarak nitelendirilir [5].

Karaboğa’ya göre optimizasyon problemlerinde yapılan diğer bir sınıflandırma ise sınırlamalarla ilgili fonksiyonlarının ve amaç fonksiyonunun lineer (doğrusal) olup olmama durumuna göre yapılan sınıflandırmadır. Lineer amaç ve sınırlama fonksiyonlarına sahip olan optimizasyon problemleri lineer programlama problemi adı verilir. Amaç fonksiyonunun ve sınırlamalarla ilgili fonksiyonlarının herhangi biri nonlinear (doğrusal olmayan) olması durumunda optimizasyon problemi nonlinear programlama problemi olarak adlandırılır. Değişkenlerinin negatif olmayan tamsayı değerler alması durumunda lineer programlama problemine tamsayı programlama problemi adı verilir. Değişkenlerinin negatif olmayan tamsayı değerler almaması durumunda ise tamsayı olmayan programlama problemi olarak adlandırılır. Diğer bir sınıflandırma şekli ise ayırık objelerin optimal şekilde düzenlenerek, gruplara ayrılarak sıralanması ya da seçilmesi problemi ayırık optimizasyon, tasarım değişkenlerinin

değerlerinin sürekli değerler olması durumunda ise problemler sürekli optimizasyon problemi olarak adlandırılır. Lineer sınırlama ve karesel amaç fonksiyonlarına sahip optimizasyon problemleri de karesel programlama problemi olarak isimlendirilir [6].

Çizelge 2.1. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması [7]

Karakteristik	Özellik	Sınıflandırma
Tasarım değişkenleri (sayı)	Bir	Tek değişkenli
	Birden fazla	Çok değişkenli
Tasarım değişkenleri (tür)	Sürekli	Sürekli
	Tamsayı	Tamsayı programlama problemi
	Hem sürekli hem tamsayı	Karışık tamsayı
Hedef ve kısıtlayıcı fonksiyonlar	Doğrusal fonksiyon	Doğrusal
	Kareli fonksiyon	Karesel
	Doğrusal olmayan fonksiyon	Doğrusal olmayan
Problem formülasyonu	Herhangi bir sınırlama var	Sınırlamalı optimizasyon
	Sınırlama yok	Sınırlamasız optimizasyon

2.3. Optimizasyon Teknikleri

Optimizasyon problemlerinin tamamını etkili bir şekilde çözen tek bir yöntem yoktur. Genellikle ayrılmaz bir parçası olduğu yöneylem araştırması içerisinde çalışılan matematiksel programlama teknikleri olarak adlandırılan yöntemler, optimumu araştıran yöntemlerdir. Aynı zamanda optimizasyon, en iyi çözümlerin bulunması ve bilimsel yöntemlerin karar verme problemlerine uygulanması ile ilgilenen yöneylem araştırmaları matematiğin bir branşı olarak da tanımlanabilmektedirler [2].

Bir optimizasyon ya da bir matematiksel programlama problemi aşağıdaki

$p_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m$, şartlarına göre

$$z = f(x)$$

$$\text{fonksiyonunu minimize eden } x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

kümesinin çözümünün bulunması işleminden oluşur [2].

Optimizasyon problemlerinin çözümüne yönelik pek çok teknik mevcuttur. Belirli kriterlere göre sınıflandırılan optimizasyon problemlerinin çözümünde de farklı yöneylem araştırması teknikleri kullanılmaktadır. Kullanılan bu teknikler de belirli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Optimizasyon için kullanılan yöneylem araştırması tekniklerinin sınıflandırılması Çizelge 2.2.'de gösterildiği gibidir [2,6,8,9].

Çizelge 2.2. Optimizasyon için kullanılan yöneylem araştırması teknikleri [2,6,8,9]

I. Matematiksel programlama teknikleri	II. Stokastik süreç teknikleri	III. İstatistiksel teknikler	IV. Yapay zeka optimizasyon teknikleri
a. Varyasyon hesaplamaları	a. İstatistiksel karar teorisi	a. Regresyon analizi	a. Genetik algoritma
b. Doğrusal Olmayan programlama	b. Markow süreçleri	b. Kümeleme analizi	b. Tavlama benzetim (ısıtıl işlem) algoritması
c. Doğrusal programlama	c. Kuyruk teorisi	c. Deney düzenleme	c. Tabu arama tekniği
d. Kareli programlama	d. Yenilenme teorisi	d. Diskriminant analizi	d. Karınca koloni algoritması
e. Geometrik programlama	e. Benzetim metodu	e. Faktör analizi	e. Diferansiyel gelişim algoritması
f. Dinamik programlama	f. Güvenilirlik teorisi		f. Yapay bağışıklık algoritması
g. Tamsayı programlama			g. Parçacık sürü optimizasyonu
h. Stokastik programlama			h. Yapay arı kolonisi algoritması
i. Ayrılabilir programlama			
j. Network programlama			
k. Oyunlar teorisi			
l. Çok amaçlı programlama			

Çizelge 2.2.' de görüldüğü gibi verilen şartlar altında çok değişkenli fonksiyonların optimumunu bulmada kullanılan teknik olan matematiksel programlama tekniği başlığı altında aynı zamanda optimizasyon probleminin çözümüne dair birçok yöntem bulunmaktadır. Ayrıca yapay zekâ yöntemleri başlığı altında literatürde yaygın bir şekilde kullanılan birçok optimizasyon teknikleri mevcuttur.

2.3.1. Matematiksel programlama teknikleri

Optimizasyon probleminde kullanılan çözüm tekniklerinden olan Matematiksel programlama teknikleri, çok değişkenli fonksiyonların minimumunu verilen kısıtlar altında bulmada en yararlı yöntemlerdir. Çizelge 2.2.'de görüldüğü üzere Matematiksel Programlama Teknikleri başlığı altında optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan birçok teknik mevcuttur. Bunlardan bazıları ilerleyen bölümlerde incelenecektir.

2.3.2. Stokastik süreç teknikleri

Stokastik süreç teknikleri; bir model belirsizlik durumları veya olasılık kavramlarına yer veriyorsa kullanılmaktadır. Stokastik süreç tekniklerine örnek olarak; istatistiksel karar teorisi, Markow süreçleri, kuyruk teorisi, yenilenme teorisi, benzetim metodu ve güvenilirlik teorisidir.

2.3.3. İstatistiksel yöntemler

İstatistiksel teknikler, sezgisel hükümlere değil, rakamlara dayanan kararlar verilmesini gerektiren durumlarda kullanılır. Başlıcaları; regresyon analizi, kümeleme analizi, deney düzenleme, diskriminant analizi ve faktör analizidir.

2.3.4. Yapay zekâ (YZ) ile optimizasyon teknikleri

Yapay Zeka (YZ); insana özgü anlama, düşünme, yorumlama, öğrenme ve kavrama gibi bir takım kapasitelerin bilgisayarlı sistemler aracılığıyla taklit edilmesi suretiyle problemlerin çözümünde kullanılması olarak tanımlanabilir.

Yapay zeka optimizasyon teknikleri, bilgisayar ve robot gibi insan yapımı araçlar kullanarak insanlar ve hayvanlar gibi doğal sistemleri taklit eder. Bilginin bilgisayar hafızasında depolanabilmesi ve bu bilgiden otomatik olarak çıkarımlar yapılabilmesi amacıyla bilginin nasıl temsil edilebileceğini araştırır.

Yz birbirini tamamlayan iki bakış açısı ile incelenebilir:

Bunlardan birincisi, Bilgisayarlı sistemlerin bir modeli ya da teoriyi test etmek için oluşturma aracı olarak kullanıldığı, zekanın çalışma biçimlerine yönelik incelenmesini kapsamaktadır. Bu bakış açısı tanımaya dair bir tür yöntem ortaya koyar [10].

İkincisi, bilgisayarı, genellikle insanın zeka yapısına özgü kapasitelerle donatmak üzere sarf edilen çabalarla ilgili olan bakış açısıdır; kavrama, bilgilerin edinilmesi, yorumlama, algılama (görme, işitme), düşünme, karar verme vs. daha sıkça karşılaşılan, bu ikinci bakış açısıdır. Bu bakış açısı bir bilgisayar programı vasıtasıyla zekice tutumları yarıştırmaktan oluşur, bununla birlikte insanın söz konusu işleyişinin aynısını yansıtmaz [10].

Başlıca yapay zeka optimizasyon teknikleri; genetik algoritma, tavlama benzetim (ısı işlem) algoritması, tabu arama, karınca koloni algoritması, diferansiyel gelişim algoritması, yapay bağışıklık algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve yapay arı kolonisi algoritmasıdır.

2.4. Simülasyon Programları

Ulaşım planlamasında yolculuk talebinin modellenmesi için genel kabul görmüş dört yazılım kullanılmaktadır:

- PTV-Visum, PTV Grup, Almanya (<http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-visum/>)
- EMME, INRO, Kanada (<https://www.inrosoftware.com/en/products/emme/>)
- CUBE Voyager, Citilabs, ABD (http://www.citilabs.com/citilabs_products/cube-voyager/)
- TransCAD, Citilabs, ABD (<http://www.caliper.com/tcovu.htm>)

2.4.1. Ptv Visum

Toplu taşıma hatlarının planlanması, ağ ve talep modellenmesi, muhtemel trafik akımı analizi, ulaşım stratejileri ve çözümlerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılan yazılımdır. Günümüzde birçok alanda kullanılan bu yazılım, ülkemizde özellikle ulaşım ana planlarında, ulaşım modeli oluşturulmasında kullanılmaktadır. 2038 hedefli Ankara Ulaşım

Ana Planında da Ptv Visum yazılımından faydalanılmıştır. Örnek alan ile ilgili modelin daha önce bu yazılım kullanılarak hazırlanmış olması ve Ankara Büyükşehir Belediyesi'nin elindeki yazılımın Visum olması sebebiyle, bu tez çalışmasında optimizasyon probleminin çözümü için Visum seçilmiştir.

2.4.2. Emme

Ulaşım modelleme ve planlama yazılımı olan EMME, ulaşım ve trafik verilerinin toplanması ile ulaşım ağının modellemesi ve planlaması projelerinde kullanılmaktadır. Günümüzde, ulaşım-trafik planlama ve tasarımı üzerine yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır. Kentsel, bölgesel ve ulusal ulaşım tahmini için, benzersiz genişletilebilir, hızlı ve erişilebilir multimodal ağ ve talep modelleme aracıdır. Transit güzergahlarındaki değişiklikler, sıklık, hizmet kalitesi, ücret entegrasyonu, transit araçlarda ve istasyonlardaki kalabalıklaşma, artan sefer süresi, yürüme/erişilebilirlik, park et devam et gibi transit sistemi tasarımı ve transit servis planlamasındaki birçok konu üzerine çalışma yapılabilmektedir.

2.4.3. Cube

Cube, ulaşım planlaması, mühendislik ve arazi kullanımı ile ilgili tüm yönleri kapsayan modelleme yazılımıdır. Yazılım, her türden modeli oluşturulmasına ve kalibre edilmesine olanak sağlar.

2.4.2. Transcad

Bir coğrafi bilgi sistemleri yazılımı olan Transcad Caliper firması tarafından hem kamu hem de özel sektörlerin kullanımına yönelik olarak 1988 yılında geliştirildi. TransCAD yazılımı; ulaşım planlama, yönetimi, lojistik gibi ulaşım alanındaki uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir. Ulaşım ana planlarında Transcad programından faydalanılmaktadır. İstanbul Ulaşım Ana Planı bunlardan birisidir.

2.5. Ara Değerlendirme

Literatürde optimizasyon problemlerinin çözümü için pek çok yöntem mevcuttur. Önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi, optimizasyon problemlerinin hepsini etkili bir şekilde çözen tek bir yöntem yoktur. Farklı optimizasyon problemleri için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler seçilirken optimizasyon probleminin türü önemlidir. Probleme daha yakından baktığımızda hangi tür bir problemle uğraştığımızın yanında, hangi parametrelerin de optimize edileceği, optimizasyon tekniğinin seçiminde rol oynamaktadır.

Seçilen üç yaklaşımın ve yöntemin herbirini temsilen:

1. Uzman görüşü yöntemi: Örnek alandaki yetkililerin izlediği prosedür,
2. Algoritmalar: Hedef programlama
3. Hazır yazılımlar: PTV-Visum,

yöntemleri örnek alan çalışmasında optimizasyon probleminin çözümü için seçilmişlerdir.

3. METODOLOJİ

Bu bölümde optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan yöneylem araştırması teknikleri içerisinde tez çalışmasında seçilen yöntem ve yaklaşımlar ele alınmıştır. Çalışmada, seçilen yöntem olan Hedef Programlama ve seçilen yaklaşımlar olan PTV-Visum ulaşım yazılımı ve uzman görüşü yöntemi ele alınacaktır. Literatürdeki yöneylem araştırması teknikleri ile ulaşım planlamasında kullanılan diğer yöntem ve yaklaşımlar hakkında detaylı bilgiler “Ekler” bölümünde verilecektir.

Birinci aşamada, çalışmaya konu olan toplu taşıma hattı üzerinde öncelikle yerel yönetimlerde uygulanan ve uzman görüşü olarak adlandırdığımız yöntem ile bir çalışma yapılmıştır. Kurum yetkilisi ile yapılan yüz yüze görüşmede belirlenen optimizasyon probleminin yanıtı aranmıştır. Yapılan çalışmada araç kapasitesi kısıt olarak belirlenmiş ve her bir aracın duraktan yolcusunu alarak hareket ettiği varsayılmıştır. Kapasitesi 82 kişi olan araçlarda, her bir durakta binen yolcular hesaba katılırken inen yolcular problemin karmaşıklığını artırdığından hesaba katılmamıştır. Bu yöntem hesaplamada karmaşıklığı artırması nedeniyle her bir durağa göre inen yolcuların hesaba katılmayışı gibi bazı kabullerle sınırlıdır. Bunun üzerine hedef programlama yöntemi ile çalışma yapılmıştır.

İkinci aşama olarak hedef programlama tekniği ile yapılan çalışmada, toplu taşıma hattının çalışan sistemi hat üzerindeki tüm toplu taşıma yolcu sayısı ile birlikte Matlab yazılımında kodlanarak gerçeğe uygun bir model oluşturulmuştur. Uzman görüşünden ayrıldığı nokta ise araçtan inen yolcularında hesaba katılması olmuştur. Kurulan modelin hesaplamada kolaylık sağlamasıyla, toplu taşıma hattının duraklara göre binen-inen yolcu sayısı gibi birçok verinin hesaba katılmasına olanak sağlamaktadır. Daha fazla yolcuya hizmet verirken ihtiyaç duyulan sefer sayısı ile sefer aralığının ne olacağı gibi parametrelerinin gerçeğe daha yakın hesaplanmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla hattın modele girilen verilerle çalıştırıldığında, model ile gerçeğin birbirine daha fazla örtüşmesini imkan sağlar. İnen yolcuların hesaba katılmasıyla 82 kişi olan tek seferde taşınan ortalama yolcu sayısı 101 kişiye çıkmaktadır. Bu durum işletme maliyetini doğrudan etkileyecektir. Hedef programlama yöntemi, hattın sefer aralığı, duraklarda indi-bindi sayıları, araç kapasiteleri gibi değerlerinin hesaplanmasına olanak sağlarken hattın güzergahına ve durak yerlerine yönelik birtakım düzenlemelere olanak sağlamamaktadır. Bu yüzden bu kısıtları da ortadan

kaldıran üçüncü yöntem olarak seçilen bilgisayarlı simülasyon (Ptv Visum ulaşım modeli) ile optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Üçüncü aşama olan ve 2013 yılı Ankara Ulaşım Ana Planı verileri üzerine kurulan Ptv Visum ulaşım modeli ile yapılan çalışmada, bu kez hattın güzergahına yönelik öneriler hazırlanmıştır. Ulaşım modelindeki toplu taşıma atamalarından gelen yolcu sayıları ile, mevcut güzergâh ve oluşturulan her bir öneri güzergahın üzerindeki toplam toplu taşıma yolcu yükü hesaplanabilmektedir. Ptv Visum ulaşım modelinin bu özelliği güzergahın karlılığı hakkında ipuçları vermektedir. Ayrıca Ptv Visum yazılımı ile hattın sefer aralıklarına ilişkin analizler de yapılabilmektedir. Ancak sefer aralıklarına ilişkin analiz yapılabilmesi için yazılımın ihtiyacı olan parametrelerin eksikliği nedeniyle, bu yöntemde sadece hattın güzergâhına yönelik bir çalışma yapılmıştır.

Ptv Visum ulaşım modeli ilk yönteme kıyasla hattın güzergahına yönelik iyileştirmeler yapmaya olanak sağlamasıyla birlikte hattın erişebilirliğini artırmaktadır. Daha fazla yolcuya ulaşma imkânı sağlanmasıyla işletme maliyetlerine olumlu katkı sağlayabilir. Öte yandan ikinci yöntem ile sefer aralığının hesaplanmasına yönelik daha gerçekçi yaklaşımı, daha uygulanabilir bir model ortaya koymaktadır. Buradan hareketle üç yönteminde birbirine göre üstünlüğü olduğundan, her üç yöntemin de hala geçerliliği olduğunu ve birbirlerini tamamlayıcı nitelikte olduğunu söylenebilir.

Birbirinden bağımsız üç aşamada da kullanılan ve toplam yolcu talebi olan 915 kişi, 2013 Ulaşım Anan Planında hattın güzergahı üzerinde çeşitli teknikler yardımıyla yapılan sayımlardan elde edilen toplu taşıma yolcu sayısının 07:00-08:00 aralığındaki karşılığı konumundadır. Bu sayıya servis araçları ve özel şirket servis araçları dahil olmayıp, diğer tüm toplu taşıma yolcuları dahildir. Bu üç teknikle hazırlanan çalışmaya ilişkin elde edilen sonuçlar ilerleyen bölümlerde detaylıca incelenecektir.

3.1. Uzman Görüşü Yöntemi

Hatların planlanması konusu, toplu taşıma araçlarından minimum gayret sonucunda maksimum verimin alınabilmesi için dikkate alınması gereken konuların başında gelmektedir. Bu konuda yerel yönetimler ilgili kanun gereği hat planlamasını yapmak ve bölge halkına ulaşım hizmetini vermekle görevli kuruluşlardır. Bu noktada yerel

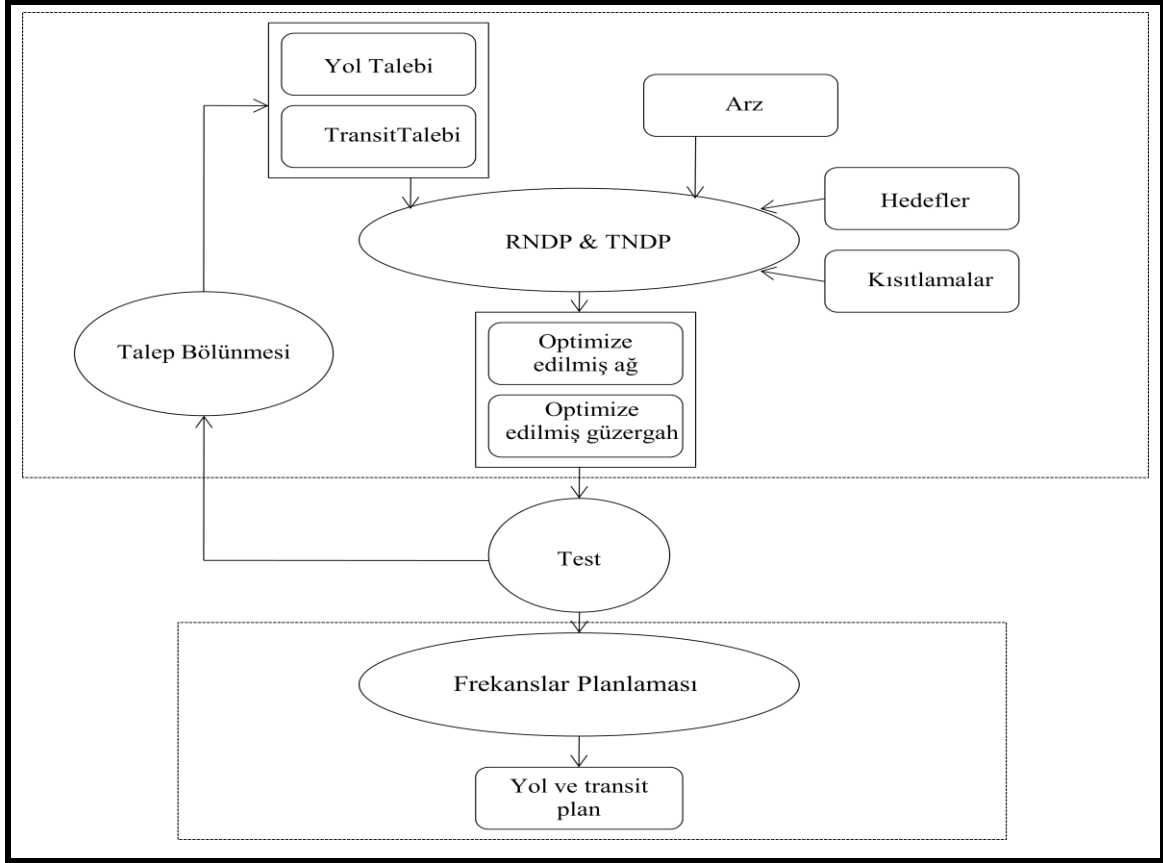
yönetimlerin kendilerine görev edinmesi gereken iki önemli konu vardır. Bu iki konudan birisi yolculuk memnuniyetinin artırılarak toplu taşımanın özendirilmesi, diğeri ise bu memnuniyetin sağlanması esnasında başta yenilenemeyen enerji kaynakları olmak üzere ülke kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasıdır. Nihayetinde enerji kaynakları verimli bir şekilde kullanılması ile CO salınımı da en aza indirgenerek hava kalitesine olan etkinin en aza inmesi sağlanacaktır. Hat planlaması sürecinde bu amaçların gerçekleştirilmesine etki edecek birçok faktör vardır. Bu faktörlerin, amaçlarla birlikte tek bir süzgeçten geçirilmesi gerekir. Bu süzgeç göz önüne alınacak öncelik olarak tanımlanabilir.

Toplu taşıma hatlarının bu önceliklerin ana başlıkları:

- Zaman çizelgesi tabanlı atama,
- Sefer sayısı tabanlı atama,
- Taşıma sistemi tabanlı atama,

şeklinde sıralanabilir [7].

Sefer sayısının düzenlenmesi; maliyet yönetimini de dikkate alarak, transit hatlarındaki akışkanlığın maksimizasyonuna dayanır. Tasarım değişkenleri olarak; yol ağı tasarım problemlerinde yol düzeni (topoloji) ve kavşakların düzenlemesi (bağlantı kapasitesi); transit ağı tasarım problemlerinde transit güzergâhlar (topoloji) ve frekans (güzergah kapasitesi) bulunmaktadır. Algoritma açısından; yol ağı ve transit güzergah topolojisinin tasarlandığı birinci aşama ve otobüslerin sefer sıklıkları ile güzergah planlamasının tasarlandığı ikinci aşama olmak üzere iki ana aşama göz önüne alınabilir.



Şekil 3.1. Ortak yol şebekesi ve transit tasarım problemi [19].

3.1.1. Hat planlama sürecinde izlenen adımlar

Hat planlama süreci; yeni bir hattın kurulması, halihazırda olan bir hattın verimliliğinin artırılması, hattın güzergahının yeniden revizyon edilmesi, hatta ki yolculuk sayısına bağlı olarak uygun araç kapasitenin tespit edilmesi, uygun sefer aralıklarının tespiti gibi bir çok konuyu içermektedir. Bunların yanında, bazı şehirlerimizde olduğu gibi hatlarda özel işletmecilik yapan kişi ya da kurumların kar - zarar durumunun da dikkate alınması gerekmektedir.

Türkiye’de Büyükşehir Belediyelerinde toplu taşıma hatlarının güzergâhlarının planlanmasına ilişkin kaynak; vatandaşlardan gelen talep ve şikâyetler (dilekçe, mail, telefon vb.) ile Belediye teknik personelinin yaptığı yerinde gözlem ve istatistikî veriler oluşturmaktadır.

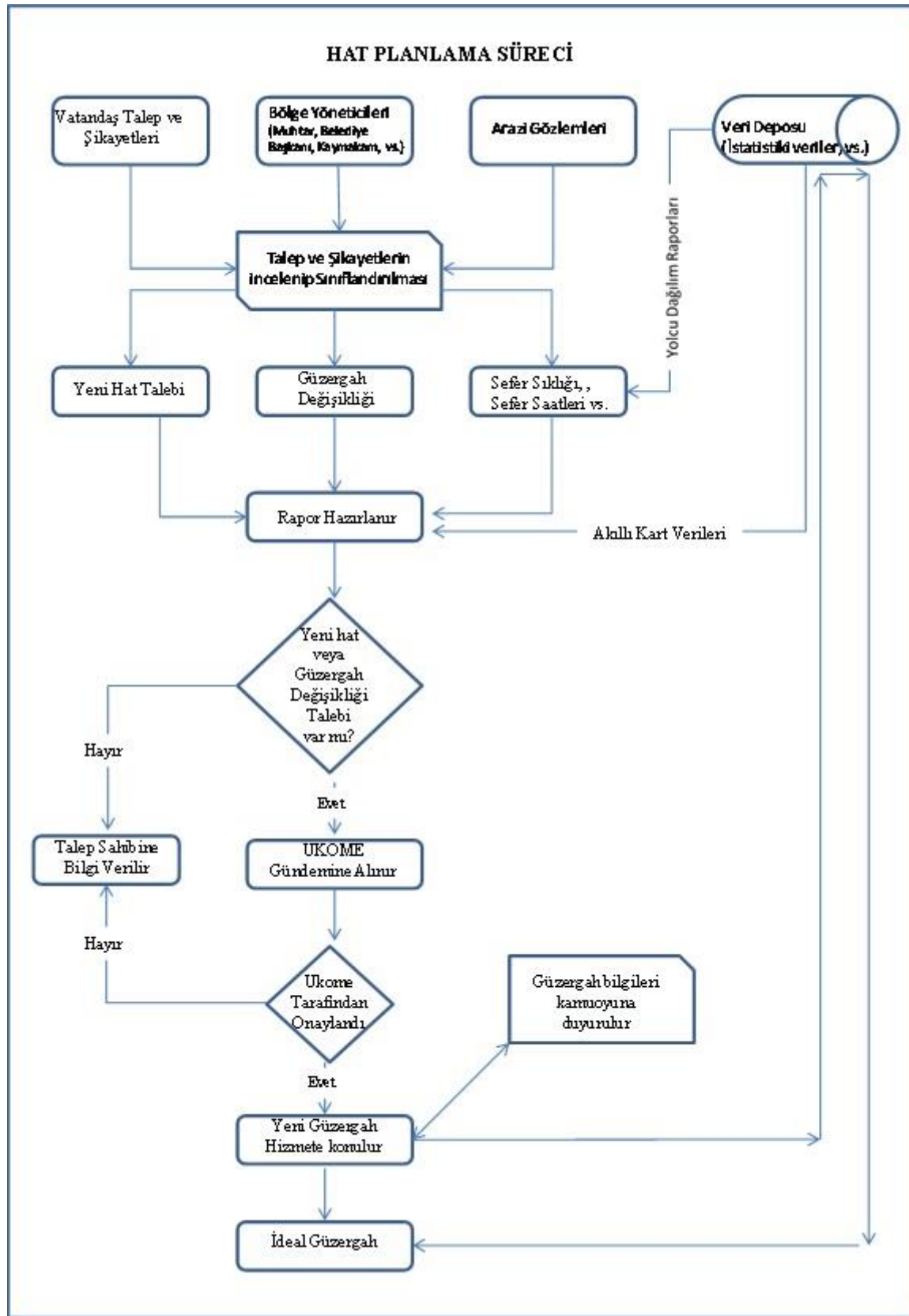
İlgili birime iletilen bu verilerin analizin sonucunda toplu taşıma hatlarına ilişkin konular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Hali hazırdaki hattın sefer süresine ilişkin talepler
- Hali hazırdaki hattın zaman aralığı, sefer sıklığına ilişkin talep ve şikâyetler,
- Hali hazırdaki hattın güzergâhının değişikliğine ilişkin talepler,
- Yeni bir hattın kurulmasına ilişkin talepler,
- Özel toplu taşıma işleticileri tarafından hattın kar-zararına ilişkin talep ve şikâyetler.

Belediye'ye gelen talepler değerlendirmeye tabi tutularak talebe ilişkin bir rapor hazırlanarak, talebi değerlendirecek birim olan UKOME kuruluna sunulur. Hazırlanan bu rapora yapılacak düzenlemeye ilişkin çeşitli göstergeler eklenir. Bunlar; düzenleme yapılacak bölgenin nüfusu yoğunluğu, yolculuk üretim ve çekim merkezleri, güzergahın uzunluğu ve altyapısı ve yolcu sayıları olabilmektedir.

Hazırlanan raporda söz konusu talep ve şikâyetin eki olarak UKOME Kurulu'nun gündemine sunulur. Sunulan talebin UKOME Kurulu üyelerinin onaylamasının ardından karara bağlanmasıyla yeni bir hattın kurulması, mevcut hattın güzergâh değişikliği ya da güzergaha ilişkin diğer talepler gerçekleşmiş olur.

UKOME kurulunda değerlendirilen talep ve şikâyetler doğrultusunda toplu taşıma hattına ilişkin değişikliklerin onaylanması halinde, kamuoyuna gerekli duyurular yapılır. Toplu taşıma hattına ilişkin yapılan değişiklik uygulamaya konulduktan sonra bir süre test edilir. Yapılan gözlemler ve revize hattın gelen istatistikî veriler sonrası gerekli iyileştirmeler yapılarak ideal güzergâha erişilmiş olur. Hat planlama sürecinde izlenen yolun son adımı olarak, UKOME kurulunun talebi onayladığı ya da reddettiği her iki durumda da talep ya da şikâyet sahibine bilgi verilerek süreç tamamlanmış olur. Yerel yönetimlerin hat planlama sürecinde izlediği genel adımlar Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Otobüs hatlarının uzman görüşü yöntemi ile optimizasyonu şeması

3.2. Hedef Programlama

Doğrusal programlamanın (DP) daha fonksiyonel bir şekli olan hedef programlama (HP), çok amaçlı doğrusal programlama çözümlemelerinde kullanılan en yaygın tekniklerden biridir.

3.2.1. Çok amaçlı programlama

İki veya daha fazla amaç işlevini optimale erişirme problemiyle ilgilenen çok amaçlı programlama probleminin klasik tek amaçlı programlama problemlerinden ayıran özelliği ise ilgili amaç işlevlerinin ifade edilme şeklidir [12].

Çok amaçlı programlama ile problemlerin çözümünde direkt olarak uzlaşma çözümünü bulmaya çalışmak veya ilk olarak baskın küme üretilerek, üretilen baskın küme içerisinde seçilen çözümü belirlemek şeklinde iki temel yaklaşımdan söz edilebilir.

3.2.2. Çok amaçlı doğrusal programlamanın çözüm yöntemleri

Çok amaçlı karar verme modellerinin çözümü için geliştirilen birçok teknik bulunmaktadır.

Bu tekniklerin başlıcaları;

- Hedef Programlama
- Çok Amaçlı Simpleks Tekniği
- Ardışık Optimizasyon Tekniği

şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmada, uygulama bölümünde tercih edilen Hedef Programlama yönteminden bahsedilecektir.

3.2.3. Hedef programlama

Hedef programlama; aynı anda birden çok, farklı ölçekli hedefler saptanarak ve belirlenen sınırlar altında bu söz konusu hedeflere ulaşmaya çalışırken, doğrusal programlama yöntemi ile tek hedef ve ölçekle ifade edilen sorunların çözümü yapılabilmektedir [13].

Hedef Programlama modelinde, karar vericinin her bir amaç için problemlerin çözümünde kullanılacak ve ulaşılmasını istediği bir hedef değer belirlenmesi istenir [14]. Ardından hedeflerin her biri için başarı fonksiyonu formüle edilerek, bu başarı fonksiyonlarındaki sapmayı minimuma indireyecek bir çözüm aranır [15].

Modelin çözümü ile problem çözümünden bir minimum ya da maksimum sonuca ulaşılmaz. Bu yöntem ile amaçlar ile belirlenen hedeflerden sapmalar minimuma indirgenmeye çalışılır. Problemin çözümünde bir amaç sağlanırken diğer amaçtan uzaklaşılabilecektir [16].

Modelin önemli bir avantajı karar verme sürecinde fazla sayıda amaç ve hedefi birleştirmelerine müsaade etmesidir. Diğer bir artısı ise hesaplamalar sırasında, Doğrusal Programlama problemleri çözümünde kullanılan simpleks tekniğinin kullanılabilmesini ve bu şekilde hesaplamaların hızlı ve sonuçların etkili olmasının sağlanmasıdır. Hedef Programlama modelinin teknik üstünlüklerinden birisi de hedeflerin hiçbirisi gerçekleşebilir olmasa da, her zaman bir çözüm vermesidir [16].

Hedef Programlama eksisi ise, karar vericilerin amaç kümesine ilişkin hedefler ve bu hedeflere yönelik öncelikler verilebildiği durumda kullanıldığında, çözümleme sonucunun karar vericiler tarafından tatmin edici bulunmasını her zaman temin edememesidir [16].

Hedef Programlama modeli çok amaçlı karar verme metotları içerisinde en fazla uygulama alanına sahip olan ve gerçek hayata uyarlanabilirliği açısından çok etkin bir yöntemdir. Son yıllarda birçok alanda ortaya çıkan sorunların çözümünde bu yöntemden yararlanılmaktadır [16].

Bu yöntemden faydalanılan alanlar; Ulaştırma Problemleri, İşgücü Planlaması, Üretim Planlaması, Enerji Planlaması, Montaj hattı dengeleme, Pazarlama, Kaynak Planlaması,

Toplam Kalite Yönetimi, Finansal Planlama, Proje Seçimi ve Yönetimi, Portföy Seçimi, Beslenme Problemleri, Performans Değerlendirme, Yatırım Planlaması, Tarımsal Üretim ve Yönetim, İş Değerlendirme, şeklinde sıralanabilir.

Genel hedef programlama modeli

Hedef Programlama modeli, öncelik ve ağırlıkları da dikkate alarak, yönetimin her bir hedefi için önceden belirlemiş olduğu hedef parametrelerine nasıl varacağını araştıran bir yöntemdir. Karar vericiler, hangi hedefin diğerlerine göre daha öncelikli olduğuna karar verirler [17].

Model, yapısal olarak, bütün sapmaların toplamını en aza indirgeyen bir teknik olmasından ziyade, mümkün olduğu kadar daha yüksek öncelikli sapmaları en aza indirgeyen bir tekniktir.

Amaçların ağırlıklarını ve öncelik düzeylerini net bir şekilde ifade edecek olan Hedef Programlamanın genel matematiksel formülasyonunu oluşturmada önce öncelik düzeyi kavramı açıklanmalıdır. Öncelik düzeyi ifadesinin anlamı; hedefin hangi aşamada minimuma indirgeneceği belirlemektedir.

Eğer $\forall_j$ için $P_j \ggg P_{j+1}$ ise; P_j düzeyi P_{j+1} seviyesinden öncelikli olmaktadır. Bunun anlamı $w.P_{j+1} > P_j$ yazılabilen ne kadar büyük olsa da bir w değeri, bulunamaz. Soldan sağa doğru azalmak üzere önceliklerin önem düzeyleri;

$$P_1 \ggg P_2 \ggg \dots \ggg P_k$$

şeklinde belirtilebilir. Sapma parametreleri (d_t^-, d_t^+) çözümün sonucundan gelecek değerleri, hedef değerlere ulaşıp ulaşılamadığını, şayet ulaşamamış ise hedeften ne derecede bir sapma olduğunu verir. d_t^- , f_t ile G_t arasındaki alttan olan farkı, d_t^+ ise f_t ile G_t arasındaki üstten farkı göstermektedir. Bu açıklamaların ışığında genel bir Hedef Programlama modelinin matematiksel formülasyonu aşağıdaki görüldüğü gibi yapılabilir [18].

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{Amaç Fonksiyonu} \\
 &\min \left[P_1 w_1 (\underline{d}^- + \underline{d}^+), P_2 w_2 (\underline{d}^- + \underline{d}^+), \dots, P_k w_k (\underline{d}^- + \underline{d}^+) \right] \\
 &\text{Mutlak Kısıtlar} \\
 &g_i(x) \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 &\text{Hedef Kısıtları} \\
 &f_t(x) + d_t^- - d_t^+ = G_t, \quad t = 1, 2, \dots, s \\
 &\text{Sabit Koşullar} \\
 &d_t^-, d_t^+ \geq 0, \quad \forall t \\
 &x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

w_i : Başarı fonksiyonu

d_t : Sapma parametresi

g_i : Kısıt

f_i : Hedef fonksiyonu

Burada $w_i (\underline{d}^- + \underline{d}^+)$, $(i=1, 2, \dots, k)$ başarı fonksiyonları şeklinde adlandırılır. Başarı fonksiyonlarının ağırlıkları burada w_i ile gösterilmektedir.

Genel Hedef Programlama modelini oluşturan fonksiyonların tamamının doğrusal olması ve doğrusal programlamanın şartlarının sağlanması halinde Doğrusal Hedef Programlama söz konusu olur. Amaç fonksiyonu, hedef ve mutlak sınırlamalarının tamamının lineer olduğu çok amaçlı Doğrusal Hedef Programlama modelinin matematiksel formülasyonu da aşağıdaki gibi yazılabilir [16] :

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{Amaç Fonksiyonu} \\
 &\min[P_1 w_1(\underline{d}^- + \underline{d}^+), P_2 w_2(\underline{d}^- + \underline{d}^+), \dots, P_k w_k(\underline{d}^- + \underline{d}^+)] \\
 &f_t(\underline{x}) + d_t^- - d_t^+ = G_t, t = 1, 2, \dots, s \\
 &d_j^- + d_j^+ \geq 0, \forall j
 \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

$w_i(\underline{d}^- + \underline{d}^+)$: Başarı fonksiyonu

$f_t(\underline{x}) + d_t^- - d_t^+ = G_t$: Hedef kısıtları

Lineer olan $w_i(\underline{d}^- + \underline{d}^+)$ fonksiyonları başarı fonksiyonları şeklinde isimlendirilir. $g_i(x) \leq b_i$ ifadesi mutlak kısıtları, $f_t(x) + d_t^- - d_t^+ = G_t$ ifadesi de hedef kısıtlarını ifade etmektedir.

Tez çalışmasında seçilen yöntem olan hedef programlama modeli, belirtildiği gibi, yapısı itibariyle tüm sapmaların toplamını minimuma erdiren bir yöntem olmasından ziyade, mümkün olduğunca daha yüksek öncelikli sapmaları minimuma erdiren bir tekniktir. Literatürde de aynı tip problemlerde başarı ile uygulanan bu yöntem, çalışmamızda yüksek öncelikli parametrenin (sefer sıklığı) optimizasyonu olmasından ötürü tercih edilmiştir.

3.3. Simülasyon Destekli Optimizasyon: Ptv Visum

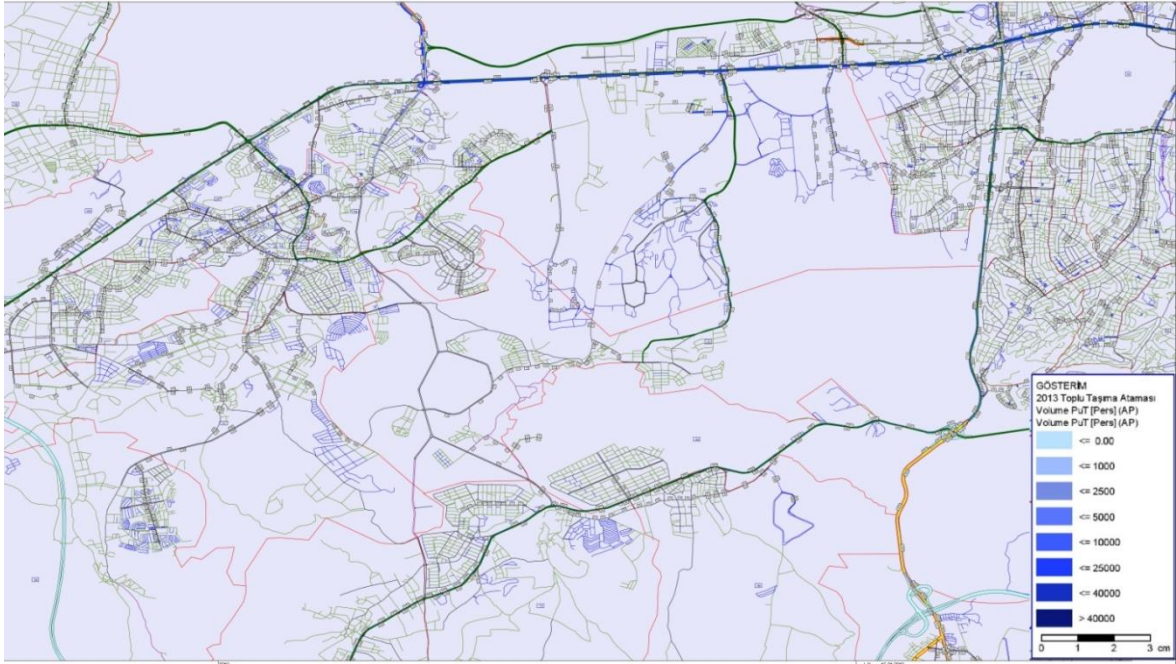
Bu bölümde Ptv Visum ulaşım modelinin nasıl oluşturulduğu, modelin ihtiyacı olan verilerin neler olduğu, modelin aşamaları ile birlikte değerlendirilecektir. Örnek model olan 2038 hedefli Ankara Ulaşım Ana Planı Ulaşım Modelinin aşamaları ana hatlarıyla anlatılacaktır. Ulaşım modelinin oluşturulması esnasında faydalanan hesaplama algoritmaları, atama türleri ve modelin detaylı bilgileri “Ekler” bölümünde verilecektir.

Ptv Visum ulaşım modeli önceki bölümlerde değinildiği gibi dört başlık altında incelenen simülasyon destekli optimizasyon çeşitlerinden birisidir. Bu modelin aşamalarını özetleyecek olursak; ilk başta alanın çeşitli sayım teknikleri ile yolculuk talebi çıkarılarak bir talep tahmin modeli oluşturulur. Ardından yolculuk talebinin üretim ve çekim merkezlerini ortaya koyan bir yolculuk üretim çekim modeli oluşturulur. Buna bağlı yolculuk dağıtım modeli ile ağıın modellenmesiyle altlık hazır hale gelmektedir. Yolculuk

dağıtım modeli ile zonlar arasında yolculuk üretim ve çekimlerin nasıl dağıtılacağı ve ulaşım türüne göre atamalar belirlenir. Yolculuk dağıtım modeli oluşturulduktan sonra çeşitli atama yöntemleri ile ağ modellenir. Daha sonra modele toplu taşıma hattının güzergahı eklenerek, durakları ve güzergahın çeşitli istatistiksel verileri de eklenir. Burada değinilecek bir önemli nokta ise, daha önce kısıtlayıcı olarak karşımıza çıktığını belirttiğimiz veri eksikliğidir. Ptv Visum ulaşım modelinde karşılaşılan kısıt, tam da bu noktada, güzergahın çeşitli istatistiksel verileri eklenirken birtakım verilerin eksik girilmesidir. Bunun neticesinde bu yöntemle sadece güzergaha ilişkin analizler yapılacak, sefer aralığına ilişkin düzenlemeler yapılamayacaktır.

Ankara'nın yolculuk türel dağılım grafiği incelendiğinde, daha maliyetli bir ulaşım türü olan özel araç kullanımı başlangıç-bitiş noktaları arasında daha hızlı ve kısa bir sürede ulaşımı sağladığından türel dağılımda en büyük pay sahibi olmaktadır. Toplu taşıma araçları içerisinde raylı sistem araçlarının varış noktasına daha kısa bir sürede ulaşmakta ve birim zamanda daha hızlı mesafe almaktadırlar. Lastik tekerlekli toplu taşıma araçlarının hareket halindeki sürelerine indi-bindi esnasındaki bekleme süreleri de eklenmesiyle birlikte toplam seyahat süresinin arttığı görülmektedir. Bu noktada, artan şehir içi trafiğinin daha rahat bir hale getirilmesi için mevcut toplu taşıma ağının optimize edilmesi, yapılması gerekenlerin başında gelmektedir.

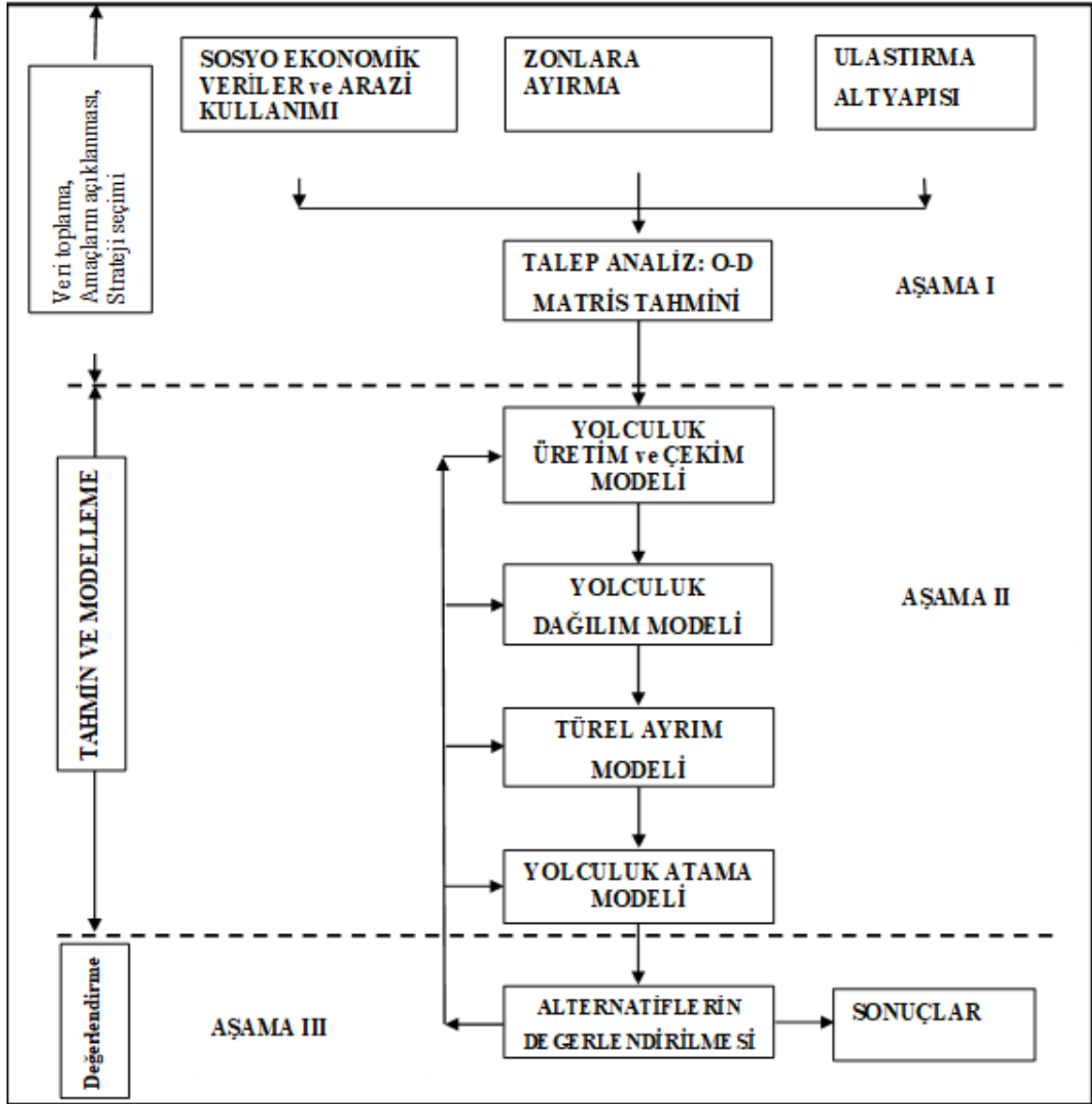
Ptv Visum yolculuk talep tahmin yazılımında, modele girdi olacak verilerinin toplanması, değerlendirilmesi amacıyla Ankara kentinin 266 adet Trafik Analiz Zonuna (TAZ) ayrılmış olup çalışma konusu alan olan Çayyolu bölgesi ise yaklaşık olarak 20 adet zon kapsamaktadır. Seçilen toplu taşıma hattının bu zonlar içerisinde kalan kısmına yönelik bir optimizasyon çalışması yapılmış, nasıl daha kısa sürede seferin tamamlanarak yolcu ve işletme maliyetlerinin azaltılarak optimum bir güzergâh ve çalışma çizelgesi yapılabileceğinin yolları aranmıştır.



Harita 3.1. Visum yazılımında zonlar üzerinde yolculuk atamaları ekranı [19]

3.3.1. Talep tahmin modeli

Yolculuk talep tahmin modeli ile yerleşim biriminin mevcut ulaşım durumunun tespit edilerek, gelecek projeksiyonların tahmin edilmesini sağlanmaktadır. Bu modele ulaşım aksları gösteren sayım verileri, hane halkı anketleri ile birlikte belirlenmiş kesitlerde kordon-perde sayımları ile kaynak sağlanır. Mevcut durumun tespiti sonrası yapılan benzetim metodu ile gelecekte oluşacak durumun ortaya koyan bir talep modeli oluşturulmaktadır. Gelecekteki ulaşım sisteminin özelliklerinin tahmininde kullanılacak modelin kurulması ve 2013 yılı değerlerine göre oluşturulması esnasında takip edilen adımlar Şekil 3.3'deki akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Talep analizi akış çizelgesi

Hanehalkı yolculuk anketleri ve mevcut ulaşım verilerinin analizi tamamlandıktan sonra “4 Aşamalı Yolculuk Talep Modeli” olarak bilinen ulaşım talep tahmini Ptv Visum programı kullanılarak ulaşım talep modeli geliştirilmiştir. Bu modelin aşamaları;

- Yolculukların zonlara göre üretim ve çekimleri,
- Trafik analiz bölgeleri bazında amaçlarına göre yolculukların dağıtımı,
- Yolculukların türel ayrımı,
- Ulaşım türlerine göre yolculukların karayolu ve toplu taşıma ağına atanmasını

kapsamaktadır.

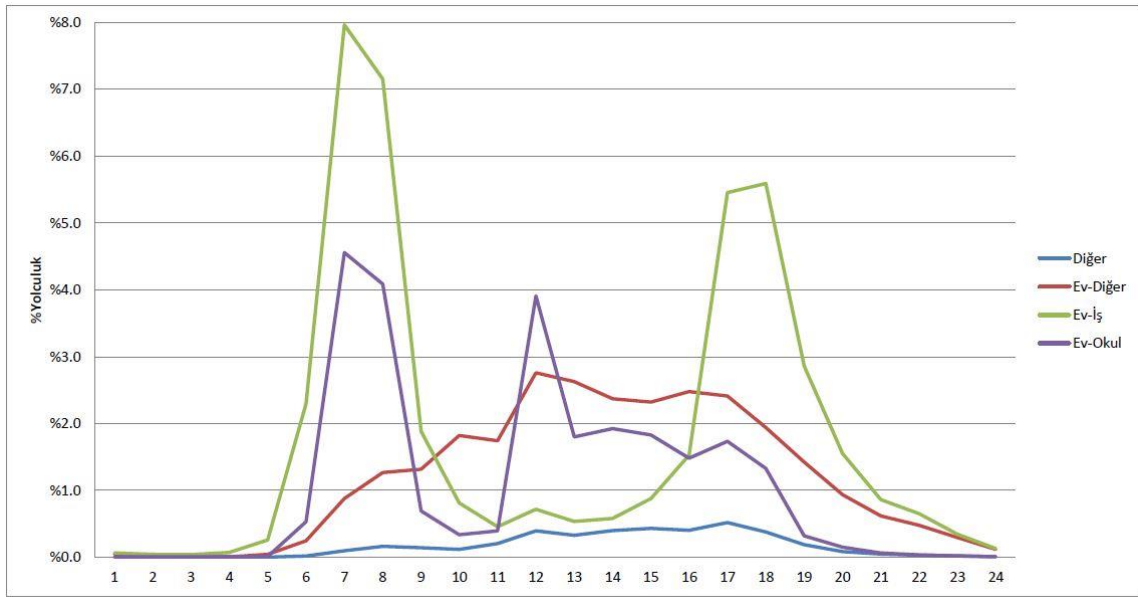
3.3.2. Yolculuk üretim-çekim modeli

Trafik zonlarda üretilen yolculuk değerinin hesaplanması, belirli bir bölgede üretilen ve çekilen yolculuğun toplam miktarının tahmininde yardımcı olmaktadır. Yolculuğun üretimi, bir sonraki aşamada gerçeğe en uygun değerlere benzer olmasını sağlamaktadır. Ayrıca yolculuk üretimi, çalışma bölgesinde üretilen toplam yolculuk sayısı gibi değerlerin kontrolünü de sağlamaktadır. Modelde, çalışma bölgesinin sosyo-ekonomik durumu ve bölgede üretilen yolculuk sayısı ile arazi kullanımı arasındaki ilişkiden faydalanılmaktadır. Diğer bir ifadeyle seyahat üretimi bölgenin mevcut yolculuk çekimi veya sosyo-ekonomik göstergelerinden (araç sahipliliği, gelir düzeyi, vb.) etkilenir. Seyahat üretimi, trafik zonlarının ürettiği veya çektiği seyahat miktarını belirlemektedir. Seyahat üretiminin güncel değerleri, ulaşım planlamasının üretim-çekim adımında ağırlıklandırılmış yolculuklardan üretilerek ulaşım modelleme programına aktarılmıştır [19].

Ulaşım modelleme programında ilgili talep katmanına yolculuk amaçlarına göre (Ev-İş, Ev-Okul, Ev-Diğer ve Ev bazlı olmayan (diğer) yolculukları) üretim-çekimlerin dağılımlarının hazırlanması sırasında hane halkı verilerinin gerçek nüfusa oranlanması ile elde edilen üretim-çekim değerleri girilmiştir. Bu verilerden, bir sonraki aşama olan yolculuk dağıtım aşamasında, ana yolculuk amaçlarının türlere ayrılmamış Başlangıç-Son (B-S) matrislerinin oluşturulmasında faydalanılacaktır [19].

Veri tabanından alınan zondaki hane halkının örneklem nüfusu ile bu yolculuk sayısının birbirine oranlanmasıyla kişi bazlı yolculuk oranları hesaplanmıştır. Zonun toplam yolculuğunun toplam hane halkı sayısına oranlanmasıyla Hane halkı yolculuk oranı hesaplanmıştır. Genişletilmiş yolculuklar bulunurken, her zonun toplam nüfus ile örneklem nüfusunun birbirine oranlanmasıyla her bir zon için ağırlık değerleri tespit edilmiştir. Büyütülmüş üretim-çekim matrisleri de bu değerlerle yolculukların ağırlıklandırılmasıyla oluşturulmuştur.

Yolculuk amaçlarına ve gün içerisindeki saatlere göre yolculukların dağılımı Şekil 3.4.'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi ağırlıklı olarak Ev-İş yolculukları büyük bir kısmı oluşturmaktadır ve bu yolculukların sabah pik saati 07:00-08:00 aralığı, akşam pik saati ise 17:00-19:00 aralığında gerçekleşmiştir [19].



Şekil 3.4. Yolculukların amaç ve saatlere göre gün içindeki dağılımı [19]

Yolculuk başlangıç ve bitiş mahallelerini ifade eden C3 ve C6 alanları, Üretim - Çekim değerlerinin hesaplanmasına kaynak sağlamaktadır. Söz konusu mahalle kodları ile başlangıç ve bitiş zon bilgileri ortaya konulmuştur.

3.3.3. Yolculuk dağıtım modeli

Zonlar arasında üretim ve çekimlerin nasıl dağıtılacağını gösteren mesafe-dağıtım fonksiyonlarının parametrelerinin tespiti için modelleme programında çift kısıtlı yerçekimi yolculuk dağıtım modeli çalıştırılmış ve modele ait fonksiyon eğrileri çizilmiştir. En kısa mesafeli, en kısa süreli, genelleştirilmiş maliyet ve geometrik uzaklıklar için sürtünme matrisleri oluşturulmuştur. Burada “en kısa süre”; özel araçlar ve toplu taşıma için ayrı ayrı ulaşım ağ modelinden özel araç atamasının denge durumuna ilişkin yol gecikme süreleriyle hesaplanmıştır. En kısa mesafe ise özel otomobil ve toplu taşıma ve için ayrı ayrı ulaşım ağı modelinden en kısa mesafeler Dijkstra’nın algoritmasıyla hesaplanmıştır [19].

Ağın modellenmesi

Yolculuk atama modeli kısaca zonlar arasındaki farklı türden yolcular ile varış noktasına giden alternatif rotalardan hangisini yolun tercih edileceği ile ilgilenilmektedir. Başlangıç

ve varış noktaları arasındaki alternatifler arasından sıklıkla en kısa süreli olanı ya da en kısa mesafeye sahip olanı tercih edilmektedir.

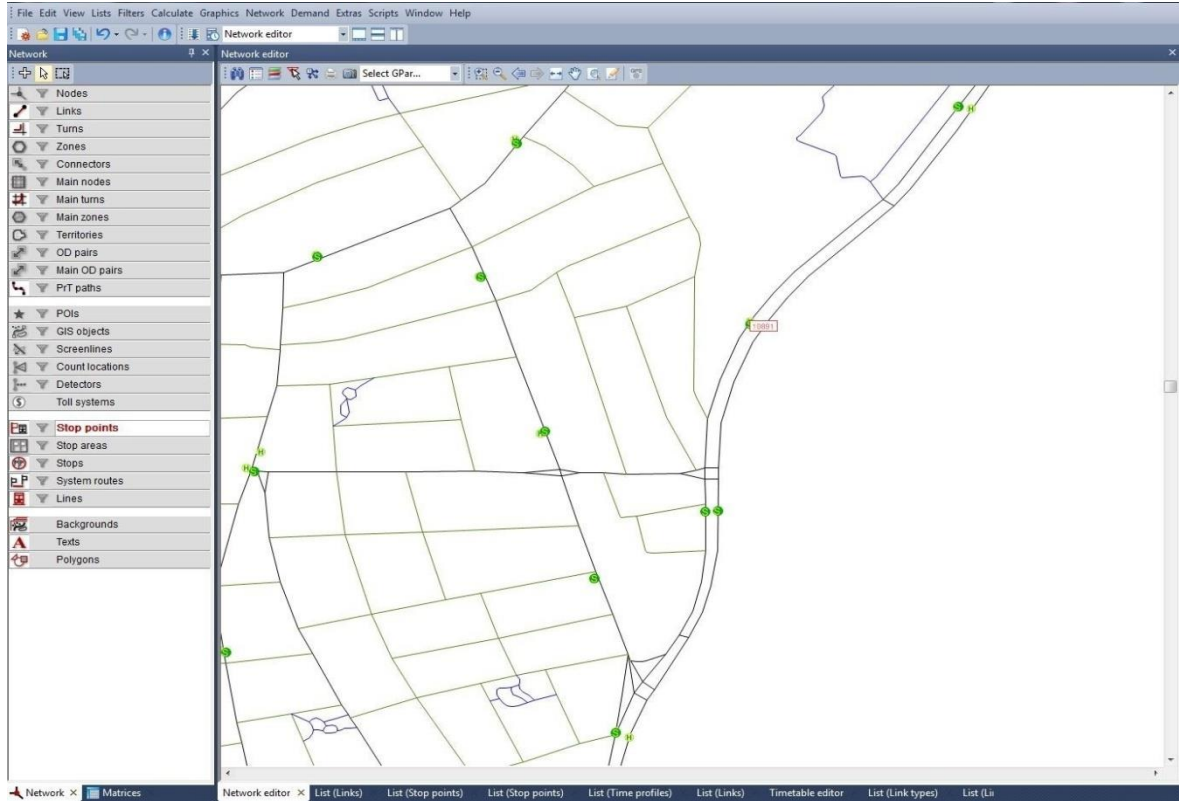
Başlangıç ve varış noktaları arasında var olan birkaç alternatif güzergâh arasından, seyahat süresi açısından en kısa süreli olanı (diğer bir ifadeyle minimum dirençlisi) ya da en kısa mesafeye sahip olan rotanın (ya hep ya hiç ataması) seçilmesi sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Bu yöntemler tercih edildiğinde trafik yükünün tamamı bu yol üzerine yüklenir. Çizelge 3.7’de görüldüğü gibi talep analizinde kullanılan, uzunluğun dışında genelleştirilmiş maliyet, sıkışıklık fonksiyonlarının dikkate alındığı denge atamaları ile talebe göre değişken gecikme de sık tercih edilen atama yöntemlerindendir. Talep analizinin ilk üç adımında elde edilen veriler, kullanılacak olan atama modelin belirlendikten sonra mevcut yol ağına atanır. Kullanılan modeller aşağıda gibi dört ayrı grupta incelenebilir:

Çizelge 3.1. Model atama yöntemleri

Kapasite sınırsız		Kapasite sınırlı
Deterministik	Ya hep ya hiç ataması	Kullanıcı dengesi ataması
Olasılıksal	Stokastik atama	Stokastik kullanıcı dengesi ataması

Hatların ve durakların oluşturulması

Durak verisi nokta (node) olarak alınmış olup, doğrudan sisteme nokta (node) olarak transfer edilmiştir. Yol ağının tam üzerinde değil ancak yakınında konumlanan bu noktalar (node), durak noktasına dönüştürülerek mevcut yol ağı ile ilişkilendirilmiştir.



Resim 3.1. Visum durak kontrollerinin yapılması [19]

Araç yolculuklarının oluşturulması

Sahadan toplanan verilerin çeşitli birimlerce işlenebilmesi, görselleştirilmesi, veri analizlerinin yapılması, trafik talep tahmin modelinin kurulmasındaki yolculuk matrislerinin oluşturulması, istatistiki değerlendirmelerin yapılması, coğrafi bilgi sistemleri ile verilerin görselleştirilmesi işlemleri için anketlerin bir veri tabanına kaydedilmesi gerekmektedir. Daha sonra, kaydedilen bu verilerin her bir çalışma ekibinin ihtiyaç duyduğu veri formatlarında filtrelenerek kullanımına sunulması gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı hanehalkı anketlerini, trafik sayım ve taşıt doluluk etüdlerini, hız gecikme etüdlerini ve toplu taşıma yolculuklarında indi-bindi etüdlerini bir veri tabanına aktarmak için AUAP veri giriş otomasyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan otomasyonun en büyük özelliği internet tabanlı olmasıdır. Bu sayede zamana ve mekâna bağımlı olmadan veri giriş operatörleri sistemi kullanabilmektedir. AUAP veri giriş otomasyonu, PHP internet programlama dili ile geliştirilmiş veri tabanı olarak MySQL kullanılmıştır [19].

3.5. Değerlendirme

Çalışmada, otobüs taşımacılığında hat planlaması esnasında kullanılabilecek optimizasyon teknik ve yaklaşımları üç temel başlıkta değerlendirilmiştir: Algoritmalar, uzman görüşü yöntemi ve hazır yazılımlar. Örnek alanda üç yaklaşımı temsilen bir yöntem ve yazılım seçilmiştir. Uzman görüşü yöntemi için örnek alandaki yetkililerin izlediği prosedür, algoritmalar için hedef programlama ve hazır yazılımlar için PTV Visum kullanılarak örnek problemin optimizasyonunun aşamaları her bir yöntemde nasıl gerçekleştirildiği araştırılmıştır. Bir sonraki bölümde seçilen yöntemlerin her birinde uygulama yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.

4. OTOBÜS HATLARININ OPTİMİZASYONU İÇİN BİR ÖRNEK ALAN UYGULAMASI: ANKARA ÇAYYOLU 123 NO'LU YAŞAMKENT HATTI

Toplu taşıma işletmecilerinin en önemli endişe kaynaklarından ve işlerinden birisi ulaşım maliyetleri hesabı yapmak ve bu maliyetleri kontrol altında tutmak olmuştur. Artan maliyetler göz önünde bulundurulduğunda, ulaşım firmalarının kendileri için yeterli mali kaynak sağlayacak bir maliyet yapısına sahip olmalarının gerekliliği daha önemli bir hal almaktadır [20].

Kent içi toplu taşıma sisteminin en önemli unsurlarından biri olan otobüs taşımacılığı sisteminin temel özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [21].

- Otobüs taşımacılığı Kent içi karayolu ağını kullanan bir sistemdir.
- Yol hakkı bakımından, otobüsler genellikle diğer taşıtlarla ortak yol kullanılır. Özel bir durum olarak, özel otobüs yolu uygulamasında bazı engellerle diğer trafikten ayrılabilir. Böyle durumda otobüsler sadece kavşak vb. kesişme noktalarında diğer trafikle beraber hareket ederler.
- Otobüsler yüksek kapasiteli araçlardan oluşan bir filo ağına sahiptir.
- Otobüs sistemi kapıdan kapıya ulaştırma özelliği olmayan bir sistemdir.

4.1. Optimizasyon Probleminin Tanımı

Ankara Çayyolu 123 No'lu Yaşamkent-Kızılay Hattı Çayyolu Hareket Noktası ile Ümitköy Üst Geçit durakları arasında işletilmektedir. Hattın uzunluğu yaklaşık 74 km olup, hattın sefer süresi yaklaşık 102 dk olarak gerçekleşmektedir. Özellikle sabah zirve saatlerde, farklı güzergahlardan da eş zamanlı olarak gelen toplu taşıma araçlarının oluşturduğu yoğunluğun bölge trafiği üzerinde olumsuz etkiler yaptığı, bu durumun aynı zamanda konforun düşmesi sebebiyle de toplu taşıma kullanımına olumsuz yansıdığı gözlemlenmektedir.

Optimizasyon problemi:

Performans verileri değerlendirilerek, verilen kısıtlar altında sabah pik saati olan 07:00-08:00 arasında sefer optimizasyonu nasıl sağlanır?

Bu bölümde kısıtlar;

- Araç kapasite kısıtı : 82
- Minimum yolcu kısıtı: 35 (Araç başına min. yolcu)
- Maksimum talep kısıtı: 915 (Toplam)
- Durakta maksimum bekleme kısıtı: 10 dk
- Duraklara göre inen yolcuların bilinmediği

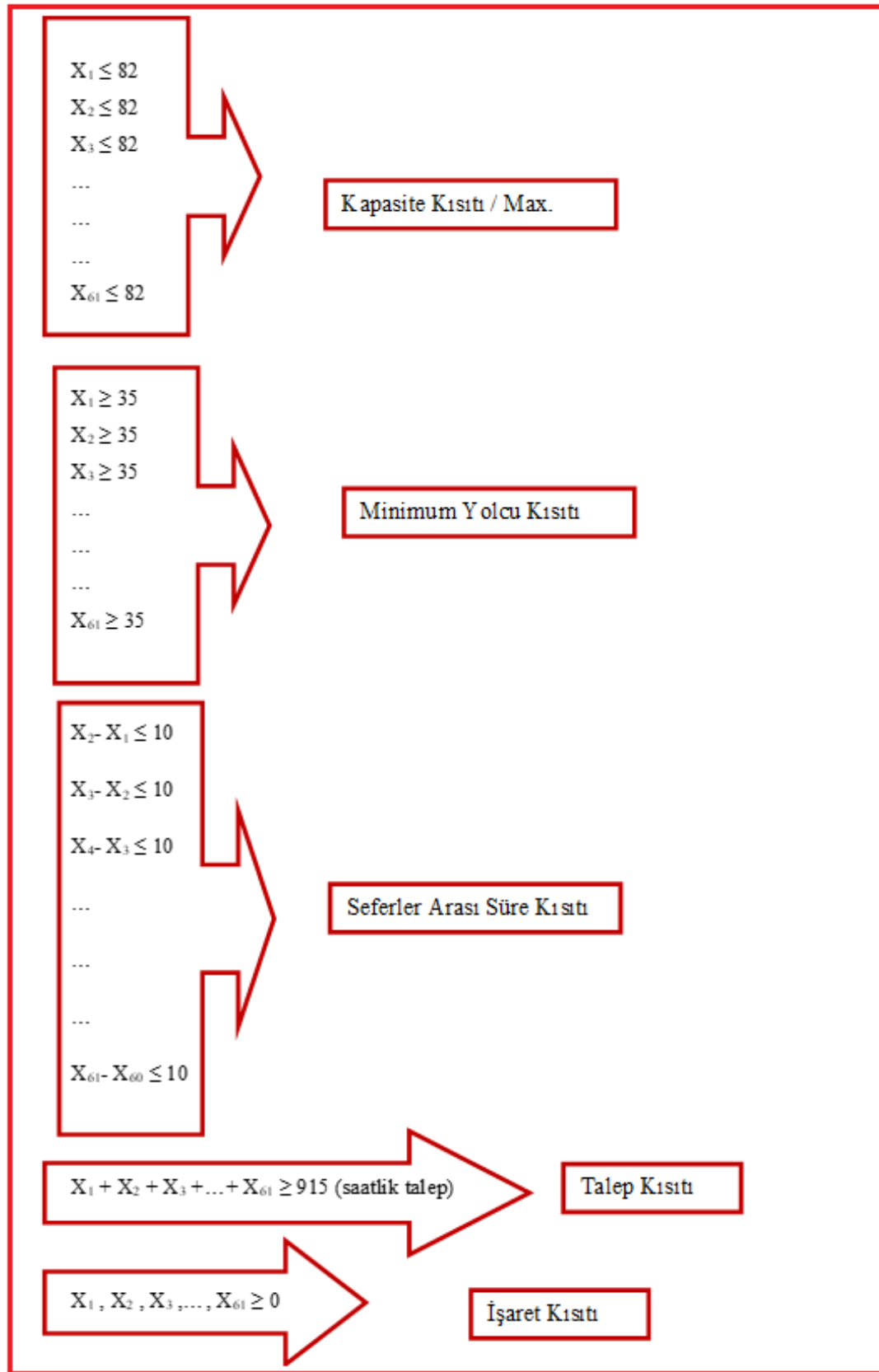
olarak kabul edilmiştir.

Burada her bir sefer x olmak üzere;

$\text{Min } Z = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{61}$ (amaç fonksiyonu)

şeklinde ifade edilebilir.

Kısıtlar, şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Problemin kısıtları

4.2. Örnek Alanın Seçim Gerekçeleri

Giriş bölümünde de belirtildiği gibi 1000 kişiye düşen 265 adet özel araç sayısı ile Ankara, ortalaması 152 adet olan Türkiye genelinde ilk sırada bulunmaktadır. İstatistiksel verilere bakıldığında, şehir içi trafik sıkışıklığını en fazla artıran ulaşım türlerinden birisi olan özel araç kullanımı, özellikle de Ankara için büyük tehdit oluşturmaktadır. Toplu taşıma hizmetinde yaşanacak olası bir kalite düşüşü, yolcunun toplu taşımadan vazgeçerek, diğer ulaşım türlerine yönelmesine neden olacaktır. Bu muhtemel ulaşım türlerinin başında da özel araç kullanımı gelmektedir. Dolayısıyla Ankara kentinde toplu taşıma hizmeti üzerinde yapılacak en ufak bir iyileşme dahi sonuç verecektir.

Ayrıca, Ankara kenti kişi başına düşen günlük yolculuk bakımından da ülke genelinde kişi başına düşen 1.3 adet yolculuk sayısı ile ilk sıralardadır. Artan özel araç ve artan yolculuk talebi toplu taşıma hizmetinin kalitesini daha önemli hale getirmektedir. Toplu taşıma hizmetinin kalitesinde olası bir düşme, toplu taşımaya olan talebin diğer ulaşım türlerine kayması ihtimalini doğuracaktır. Yolculuk talebinin, yolcu taşıma kapasitesi daha düşük olan diğer türlere kayması durumunda, trafik sıkışıklığını artıracığı gibi tüm ulaşım türlerinin maliyetini de artıracaktır. Bu durumda tez çalışmamızın amacı olan “maliyetin minimizasyonu” önem kazanmaktadır.

123 Yaşamkent-Kızılay hattı, başlangıç noktası Çayyolu hareket noktası olan ve bölgeyi Ankara Kent Merkezine bağlayan ana arterlerden olan Dumlupınar Bulvarı (Eskişehir Yolu) üzerinden Kızılay’a ulaşmakta olup, sefer sayısı ortalama olarak hafta içi 42, cumartesi günleri 35 ve pazar günleri de 32 şeklinde gerçekleşmektedir. 74 km uzunluğundaki hattın sefer süresi yaklaşık 102 dakikadır. Minimum sefer aralığı sabah pik saatte 10 dk olarak gerçekleşmektedir. Toplam 142 duraktan oluşan 123 Yaşamkent-Kızılay hattı, Prof. Dr. Ahmet Taner Kışlalı Mahallesi Alacaatlı Caddesi ile 2855. Sokak arasında bulunan Çayyolu hareket noktası (10376 nolu durak), güzergahın başlangıç noktası konumundadır. Ayrıca binen-inen yolcu yoğunluğunun arttığı düğüm olan 71 nolu (12231) Meşrutiyet Caddesi durağına, hareket memurluğu tarafından başlangıç noktası bu durak olacak şekilde hafta içi günlük 3 adet ek servis verilmektedir [22, 23].

Saha çalışmasına konu olan 123 Yaşamkent-Kızılay hattına ait 01/05/2013 – çarşamba günü pik saat verilerine bakıldığında; toplam 303 yolcunun taşındığı, ortalama sefer

süresinin 115 dk olduğu ve ortalama sefer zaman aralıklarının da 17 dk olduğu görülmektedir. Gün içerisinde toplam 41 sefer yapan hattın günlük ortalama sefer zaman aralığı yaklaşık 23 dk ve sefer başına taşınan günlük ortalama yolcu sayısı ise yaklaşık 54 kişi olarak gerçekleşmektedir. Hattın pik saatte 115 dk olan ortalama sefer süresi yolcu memnuniyeti açısından, yaklaşık 78 km olan hat uzunluğu da işletme maliyetleri açısından olumsuz bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır [23].

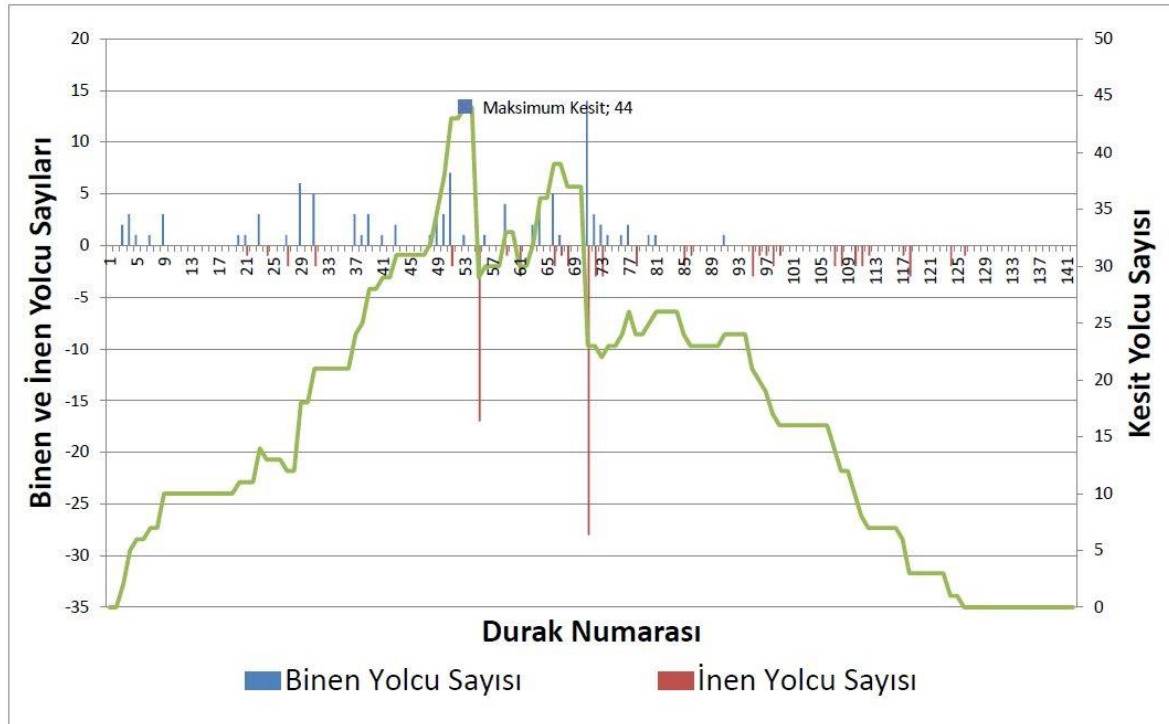
Hattın güzergahı, Çayyolu bölgesinin birçok noktasına diğer toplu taşıma hatlarına kıyasla daha fazla ulaşabilmektedir. Dolayısıyla erişebilirlik açısından daha iyi bir konumdadır. Hattın araştırmaya konu edilmesinin sebeplerinden birisi olan bu durum, avantajlarının yanı sıra birtakım dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Erişebilirlik düzeyi artırıldıkça doğru orantılı olarak artacak olan yolculuk süresi, yolculuk memnuniyetine doğrudan etki edecektir. Bu durum taşınan yolcu sayısını azaltıcı yönde etkileyebilmektedir. 2013 yılı Ankara Ulaşım Ana Planı kapsamında yapılan hanehalkı anket verilerine göre yolcu memnuniyetini etkileyen en önemli göstergelerden birisi toplam seyahat süresi olmuştur [24].

Çizelge 4.1. 123 Yaşamkent-Kızılay hattı durak numaraları ve isimleri [8]

Sıra	Durak No	Durak Adı	Sıra	Durak No	Durak Adı
1	10376	Çayyolu Hareket Noktası	72	11640	Mithatpaşa Caddesi
2	10346	Metiş Villaları	73	11599	Necatibey
3	10350	Uludağ Kebap	74	11571	Çankaya Polis Karakolu
4	10348	Yenimahalle Belediyesi	75	12104	TSE
5	10293	Empa İller Sitesi	76	11098	D.S.İ
6	10294	Burcu Sitesi	77	10964	Milli Kütüphane
7	10295	Cumhuriyet Parkı	78	10979	Turizm Bakanlığı
8	10291	Vadikent Konut Sitesi	79	10975	Hazine Müsteşarlığı
9	10289	Arcadium	80	10797	Armada
10	10287	Park Durağı	81	10786	M.T.A.
11	10284	Köşk Cami	82	10746	Balgat Yurdu
12	10211	Oyak 5 Sitesi	83	51240	Bayındırlık Ve İskan Müdürlüğü
13	10247	Konut 2 Durağı	84	51238	CEPA
14	10248	ASKİ Durağı	85	51231	Diyanet İşleri Başk
15	12630	Türyap	86	51227	Vakıf Milli Güvenlik Kr Br.
16	10234	Çarşı Durağı	87	51224	Afet İşleri Gen.Müd.
17	10236	Ana Okul Durağı	88	51223	Tarım Köy İşleri Bak
18	10250	Serpmeevler	89	51222	Türkiye Atom Enerjisi
19	10134	Onur Sitesi	90	51200	Hacettepe Üniversitesi Yol Ayrımı
20	10132	Yonca Evleri	91	51197	Ümitköy Köprüsü
21	10133	Perge Konutları	92	51196	Ümitköy Köprü Altı
22	10131	Yeni Anadolu Sahil Sitesi	93	51191	386. Sokak Paraleli
23	10130	Yonca Evler 3 Sitesi	94	51190	Dynamic Spor Center
24	10141	İşköy Sitesi	95	51189	Eskişehir Yolu Ankaralılar Caddesi Kesişimi
25	10128	Ataşehir Sitesi	96	51187	TOKİ Konutları
26	10119	Borseim Sitesi	97	51186	Eskişehir Yolu Bağlıca Yolu Ayrımı
27	10110	Altunbilekler Önü	98	50885	Depolama Tesisi
28	10109	Yaşamkent Büfe	99	50884	Eskişehir Yolu 2629.Cadde Kesişimi
29	10127	Çarşı Durağı	100	50888	Konutkent Mevki
30	10181	Cami Durağı	101	50886	Başkent Üniversitesi Kampüs Yolu
31	10158	Ata Bilge Sitesi	102	50887	Başkent Üniversitesi Kampüs Yolu (2)
32	10157	Vadi Evleri	103	50863	Venüskent 1.Durak
33	10106	Gümüşpark Evler	104	50860	Venüskent 2.Durak
34	12581	Akıncı Çınar Evleri	105	50862	Venüskent 3.Durak
35	10117	Başkent Sitesi	106	50871	Venüskent 4.Durak
36	10105	Karevler Sitesi	107	10147	Çarşı Durağı
37	10107	Tarz Evler Sitesi	108	10108	Pelit Yaşamkent Sitesi
38	10111	Bahçeşehir Sitesi	109	10114	Tarz Evler Sitesi
38	10144	Çarşı Durağı	110	10113	Sedef Evleri
40	50859	Venüskent 4.Durak	111	10120	Başkent Sitesi
41	50858	Venüskent 3.Durak	112	12649	Akıncı Çınar Evleri
42	50864	Venüskent 2.Durak	113	10112	Gümüşpark Evler
43	50861	Venüskent 1.Durak	114	10173	Vadi Evleri
44	50857	Başkent Üniversitesi Kampüs Yolu(2)	115	10172	Ata Bilge Sitesi
45	51322	Başkent Üniversitesi Kampüs Yolu	116	10180	Cami Durağı
46	10209	Hayal Park Evleri	117	10139	Çarşı Durağı
47	10200	Konutkent Kavşağı	118	10116	Yaşamkent Büfe
48	10196	Yeşilkent Sitesi	119	10115	Altunbilekler Önü
49	10322	Mesa Plaza	120	10118	Borseim Sitesi
50	10330	Prestij Toki Konutları	121	10140	Ataşehir Sitesi
51	10446	Gordion Alışveriş Merkezi	122	10129	İşköy Sitesi
52	10447	Ağaçlı Petrol	123	10142	Yonca Evler 3 Sitesi
53	10445	Sosyete Pazarı	124	10138	Yeni Anadolu Sahil Sitesi
54	10452	Ümitkent	125	10137	Perge Konutları
55	10456	Ümitköy Üst Geçit	126	10136	Yonca Evleri
56	10488	Beysukent Köprüsü	127	10135	Onur Sitesi
57	10713	Tarım Bakanlığı 2 Nolu Kapı	128	10235	Serpmeevler
58	10714	Tarım Bakanlığı 1 Nolu Kapı	129	10249	Ana Okul Durağı
59	10715	Gıda Tarım Ve Hayvancılık Bakanlığı	130	12631	Çarşı Durağı
60	10716	Danıştay	131	10237	Türyap
61	10719	Afet Ve Acil Durum Yönetim Başk.	132	10239	ASKİ Durağı
62	10721	Bilkent Köprüsü	133	10241	Konut 2 Durağı
63	10743	ODTÜ	134	10210	Oyak 5 Sitesi
64	10745	Şap Enstitüsü	135	10285	Başak 2 Sitesi
65	10785	M.T.A.	136	10288	Altan Günalp Durağı
66	12626	Bayındır Hastanesi	137	10290	Arcadium
67	10973	Sayıştay	138	10292	Mutlu Sitesi
68	10989	Enerji Bakanlığı	139	10303	Cumhuriyet Parkı
69	11093	Kara Kuvvetleri Komutanlığı	140	10304	Burcu Sitesi
70	12101	Karayolları Genel Müdürlüğü	141	10305	Empa İller Sitesi
71	12231	Meşrutiyet Caddesi	142	10358	Yenimahalle Belediyesi

Yaşamkent-Kızılay Hattı Nolu Hattı Sabah Zirve Saati

123 Yaşamkent-Kızılay hattının sabah pik saat sayımlarına göre en fazla binen yolcusunun 71 nolu (12231) Meşrutiyet Caddesi durağında olduğu gözlenmektedir. Binen yolcu sayısının arttığı diğer duraklar ise sırasıyla 51 nolu (10446) Gordion Alışveriş Merkezi ile 29 nolu (10127) Çarşı Durağı duraklardır. İnen yolculara bakıldığında ise, en fazla inen yolcunun yine 71 nolu (12231) Meşrutiyet Caddesi durağında olduğu, ardından sırasıyla 55 nolu (10456) Ümitköy Üst Geçit ve 73 nolu (11599) Necatibey duraklarında olduğu tespit edilmiştir. En fazla yolcu yoğunluğunun olduğu durak ise, 44 kişi ile maksimum kesitin olduğu 53 nolu (10445) Sosyete Pazarı durağında gerçekleşmektedir [11].



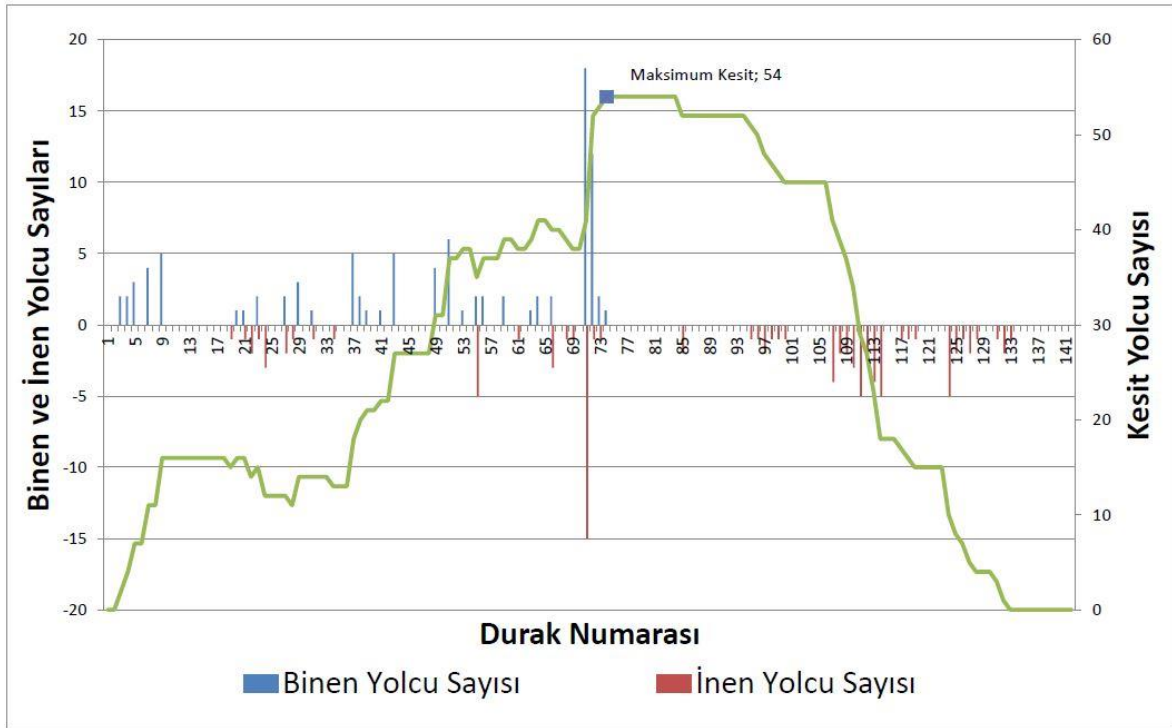
Şekil 4.2. 123 nolu hat sabah zirve saati indi-bindi yolcu sayıları ve durakları [11]



Harita 4.1. 123 Yaşamkent-Kızılay hattı nolu hattı sabah zirve saati [11]

123 Yaşamkent-Kızılay hattı nolu hattı öğle zirve saati

123 Yaşamkent- Kızılay hattının öğle zirve saati yolcu sayım durumlarına bakıldığında göre en fazla binen yolcunun 71 nolu (12231) Meşrutiyet Caddesi durağında ortaya çıktığı gözlenmektedir. Binen yolcu sayısının zirve yaptığı diğer duraklar ise sırasıyla 72 nolu (11640) Mithatpaşa Caddesi durağı ve 51 nolu (10446) Gordion Alışveriş Merkezi durağıdır. İnen yolcu durumlarına bakıldığında ise, en fazla inen yolcunun 71 nolu (12231) Meşrutiyet Caddesi durağında olduğu, ardından sırasıyla 55 nolu (10456) Ümitköy Üst Geçit durağı ve 111 nolu (10120) Başkent Sitesi durağında olduğu tespit edilmiştir. Yolcu yoğunluğunun en fazla olduğu durak ise 54 kişi ile maksimum kesitin olduğu 74 nolu (11571) Çankaya Polis Karakolu durağı olarak ortaya çıkmıştır [11].



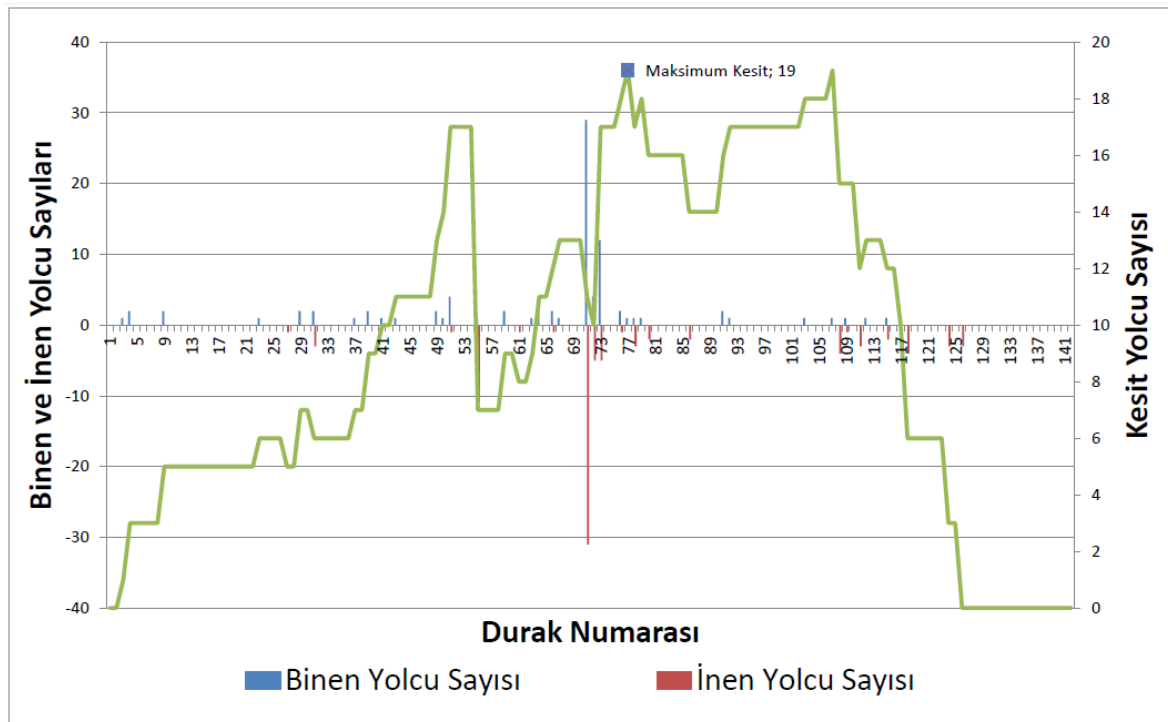
Şekil 4.3. 123 nolu hat öğlen zirve saati indi-bindi yolcu sayıları ve durakları [11]



Harita 4.2. 123 Yaşamkent-Kızılay hattı öğle zirve saati [11]

123 Yaşamkent-Kızılay Hattı Nolu Hattı Akşam Zirve Saati

Akşam zirve saati yolcu sayım durumlarına bakıldığında 123 Yaşamkent-Kızılay hattında en fazla binen yolcu sayısına 71 nolu (12231) Meşrutiyet Caddesi durağında ulaşıldığı görülmektedir. Binen yolcuların yoğunlaştığı diğer duraklar ise sırasıyla 73 nolu (11599) Necatibey durağı ve 51 nolu (10446) Gordion Alışveriş Merkezi durağı şeklinde ortaya çıkmaktadır. İnen yolcularda ise, en fazla yolcu inişinin 71 nolu (12231) Meşrutiyet Caddesi durağı ile ardından sırasıyla gelen 55 nolu (10456) Ümitköy Üst Geçit ve 73 nolu (11599) Necatibey durakları olduğu tespit edilmiştir. Yolcu yoğunluğunun en fazla olduğu durak ise 19 kişi ile maksimum kesitin olduğu 77 nolu (10964) Milli Kütüphane durağı olarak gerçekleşmektedir [11].



Şekil 4.4. 123 nolu hat akşam zirve saati indi-bindi yolcu sayıları ve durakları [11]



Harita 4.3. 123 Yaşamkent-Kızılay hattı akşam zirve saati [11]

4.3. Uzman Görüşü: Örnek Alandaki Yetkililerin İzlediği Prosedür

Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde toplu taşıma hat planlaması ile ilgili çalışmalar, EGO Genel Müdürlüğü'ne bağlı Ulaşım Dairesi Başkanlığı-Ulaşım Planlama ve Koordinasyon Şube Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir.

Bu aşamada, örnek problemin yanıtı, ilgili yetkili (Ankara Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Ulaşım Planlama ve Koordinasyon Şube Müdürü Şehir Plancısı Fuat Vural) ile yüz yüze görüşme yöntemi ile aranmıştır. 29.08.2019 tarihli görüşmede problemin çözümü şu şekildedir:

- Verilen bu kısıtlar altında otobüslerin 102 dk sonra ilk durağa dönecekleri varsayılmıştır. Maliyeti minimize eden maksimum kapasite kullanılmak suretiyle, doğru orantı ile 915 yolcunun 12 (11,15 adet) seferde taşınabileceği sonucuna ulaşılmıştır.
- Bu doğrultuda saat 07:00-08:00 aralığında oluşan 915 kişilik yolculuk talebinin 12 adet sefer ile ve 5 dk sefer aralığı ile gerçekleşmesi öngörülmüştür.
- Burada gerekli olan filo sayısı 102 dk toplam sefer süresi ile birlikte değerlendirildiğinde $12 \text{ araç} + \%10 \times \text{Sefer Sayısı}$ (Muhtemel gecikme) olarak karşımıza çıkmaktadır.

123 Nolu hattın pik saatte bir turu tamamlayabilmesi için minimum 14 adet otobüs sahip olması gerekmektedir.

Değerlendirme

Sefer başına ortalama 59 yolcu ile seçilen zaman aralığında 5 adet sefer gerçekleştiren ve bu seferlerde yaklaşık 315 yolcu taşıyan 123 nolu hattın, güzergahı üzerindeki toplam 915 kişilik yolculuk talebini karşılayabilmesi için maliyeti minimize eden bir yaklaşım sergilenmiştir. Bu bağlamda otobüslerin tam kapasite ile hareket edeceği varsayılarak her durakta inen yolcular hesaba katılmayarak, yaklaşık 12 adet sefer ile çalışması öngörülmüştür. Her bir sefer başına taşınan yaklaşık 76 yolcu, hattın halihazırda taşıdığı sefer başına ortalama 59 yolcuya göre maliyeti düşürmektedir. Ancak burada sefer aralığı hesaplanırken hattın sadece binen yolcularının hesaplanırken ise inen yolcularının göz ardı edilmesi bazı olumsuzlukları doğurmaktadır. Aslında her bir otobüsün kapasitesinin

üzerinde yolcu taşıdığı gibi görünen, ancak inen yolcuların da hesaba katılmasıyla kapasiteyi en optimum düzeyde kullanan ve maliyeti gerçek anlamda minimize eden bir sonuca ulaşılabilmektedir.

Çizelge 3.2.'de uzman görüşü yöntemi ile yapılan çalışma ile hattın mevcut performans verilerinin karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Mevcut durum ile model sonucunun karşılaştırılması

	Mevcut Sefer	Model Sefer
Min. Sefer Aralığı	4 dk.	5 dk.
Ortalama Durakta Bekleme Süresi	15.75 dk.	5 dk.
Sefer Sayısı	5	12
Sefer Başına Ortalama Yolcu Sayısı	96 kişi	76 kişi
Taşınan Yolcu Sayısı	484 kişi	915 kişi

4.4. Doğrusal Hedef Programlama

Doğrusal hedef programlama ile çalışmaya konu olan bölgede bulunan 123 Nolu otobüs hattının sefer sıklığı, otobüs kapasiteleri, hat sefer süreleri, otobüs filo büyüklüğü ve yolcu talepleri doğrultusunda incelenerek, doğrusal hedef programlama yöntemi ile optimum sefer sıklık verilerinin elde edilmesini amaçlayan bir uygulama çalışması yapılmıştır.

İncelenen otobüs ağına ait optimum sefer sıklığını veren doğrusal HP modeli, karar değişkenleri, sistem ve hedef sınırlamaları, amaç fonksiyonu ve başarı fonksiyonları tespit edilerek kurulmuş ve Matlab programı vasıtasıyla çözülmüştür.

Modelin karar değişkenleri, Çayyolu Hareket Noktası ile Ümitköy Üst Geçit duraklarından geçen toplam 140 durağı bulunan 123 Nolu hatta ait, sabah 07:00-08:00 saatleri arasındaki sefer sayıları olarak kabul edilmiştir.

Modelde sistem kısıtları tespit edilirken, hattın sefer sıklığının ve otobüslerin taşıma kapasitesinin, hattaki yolcu talebini karşılaması esas alınmıştır. Bir başka deyişle, mevcutta kullanılan otobüs filosunun, belirlenecek olan sefer sıklık değerlerinde çalışarak, hattaki yolcuların tamamına hizmet verebilmesi modelin sistem kısıtı olarak kabul edilmiştir.

Burada sistem kısıtları;

$S_1, S_2, \dots, S_i$: Hatlar için sefer sıklık değerlerini,

$K_1, K_2, \dots, K_i$: Her hatta kullanılan otobüs tipinin kapasite değerlerini

$T_1, T_2, \dots, T_i$: Her hatta bulunan yolcu talep değerlerini göstermek üzere,

$$S_i * K_i \geq T_i$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.

Modelde hedef kısıtları ise, kapasite hedef kısıtı ve süre hedef kısıtı olarak belirlenmiştir. Süre hedef kısıtlı belirlenirken, ele alınan 08:00-09:00 saatleri arasındaki zaman aralığı olan 120 dakikalık süre içerisinde filo çalışan otobüs sayısının, hattın bir sefer tamamlayabilmesi için gereken süre olan 102 dk ve hattaki sefer sıklık değeri ile karşılanabilmesi baz alınmıştır. Literatürde, bu tip çalışmalarda böyle bir durum söz konusudur [16].

Süre Hedef Kısıtı için formülasyon;

$$\sum_{i=1}^1 t_i X_i + d_1^+ + d_1^- = T * B$$

şeklinde olup, burada:

t_i : Hattın sefer süresi

B : Mevcut otobüs sayısı

X_i : i hattı için yapılması gerekli sefer sayısı

T : Toplam zaman aralığı (60 dk.)

ifade etmektedir.

Kapasite Hedef Kısıtı için ise farklı bir yaklaşımla aşağıdaki gibi bir bağıntı elde edilmiştir;

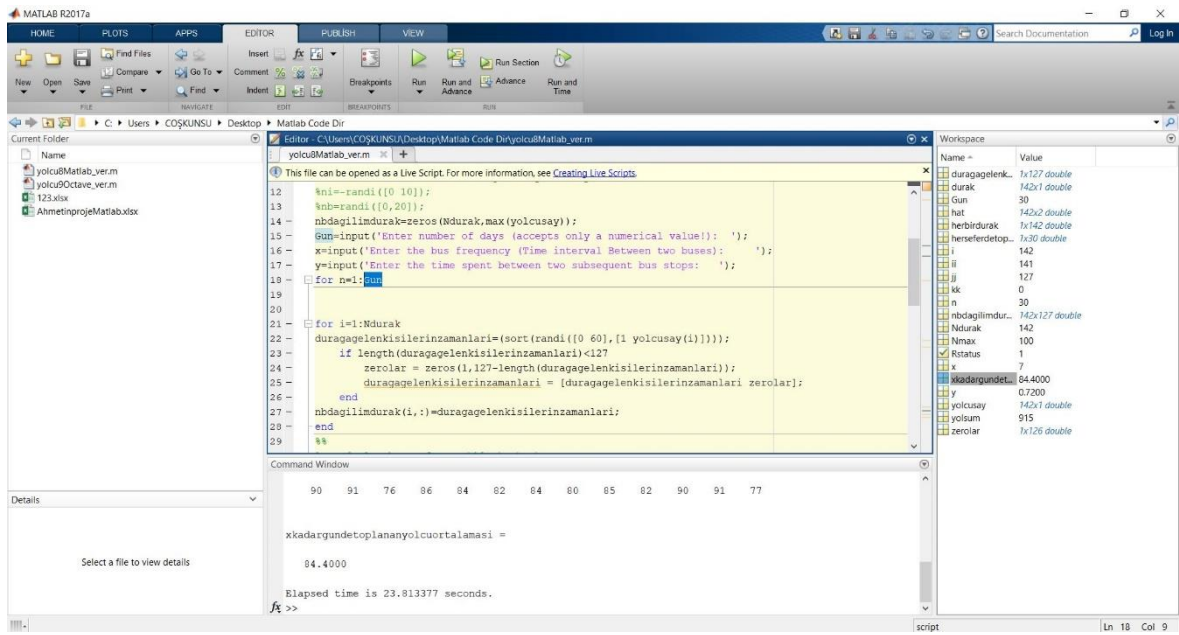
Oluşturulan HP modelinde başarı fonksiyonlarında pozitif sapma değişkenleri (d_t^+) ilgili kısıtın kapasite fazlalığını ifade ettiğinden, sadece negatif sapma değişkenleri (d_t^-)

kullanılmıştır. Kapasite hedef kısıtı için (d_2^+) fazla kapasite değerini; süre hedef kısıtı için de (d_1^+) süre fazlası değerini; göstermektedir. Başarı fonksiyonlarında bulunan (d_2^-) daha ne kadar yolcu taşınabileceğini, (d_1^-) ise daha ne kadar zaman seyahat edilebileceğini göstermektedir.

Amaç fonksiyonu oluşturulurken, geliştirilen modelde süre ve kapasite hedef kısıtlarının öncelikleri eşit kabul edilmiştir. Aşağıdaki formülde iki kısıta ait negatif sapma toplamının minimizasyonu olan amaç fonksiyonu gösterilmektedir.

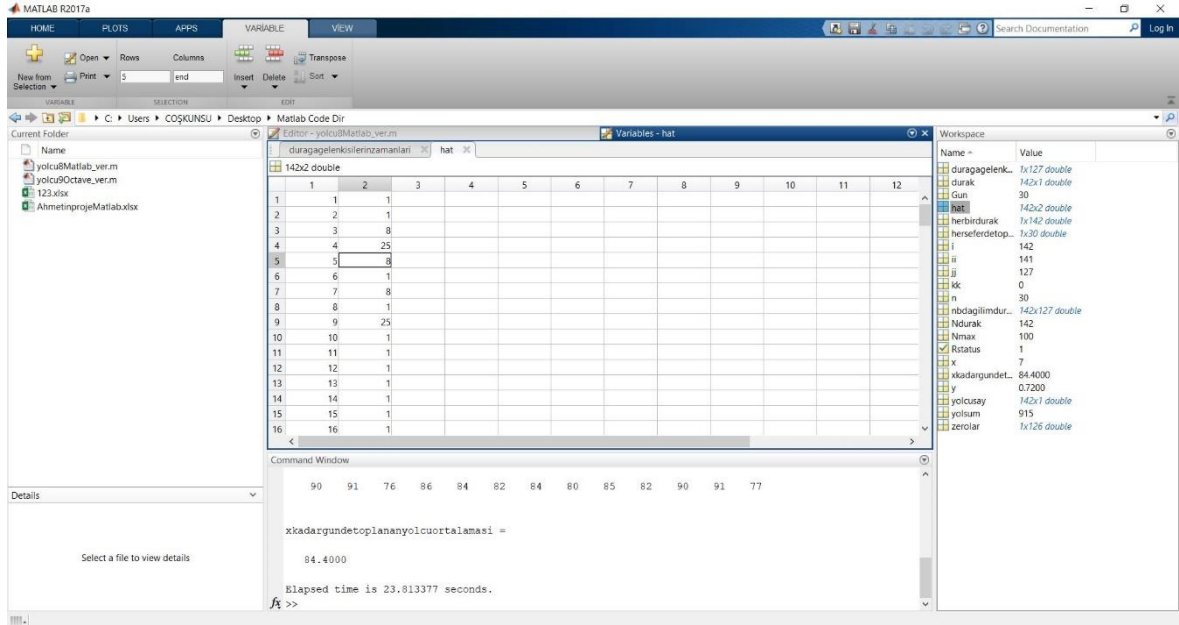
$$\min S = (d_1^- + d_2^-)$$

Verilen kısıtlar ve amaçlar doğrultusunda ortaya konulan model Matlab programı ile çözülmüştür. Resim 4.1.' de Matlab programı çözüm ekranı verilmiştir.



Resim 4.1. Model ana ekranı görüntüsü

2013 yılı mayıs ayına ait duraklarda binen ve inen yolcu sayıları modele girilmiş ve tez çalışmasında inen yolcular da dikkate alınmıştır. Böylece 82 olan otobüs kapasitesi, inen yolcuların da dikkate alınmasıyla otobüs başına 101 kişiye ulaşmış ve ortalama taşınan yolcu sayısı 84.4 kişi olmuştur.



Resim 4.2. Duraklara göre indi-bindi sayıları

Modelin sonuçları:

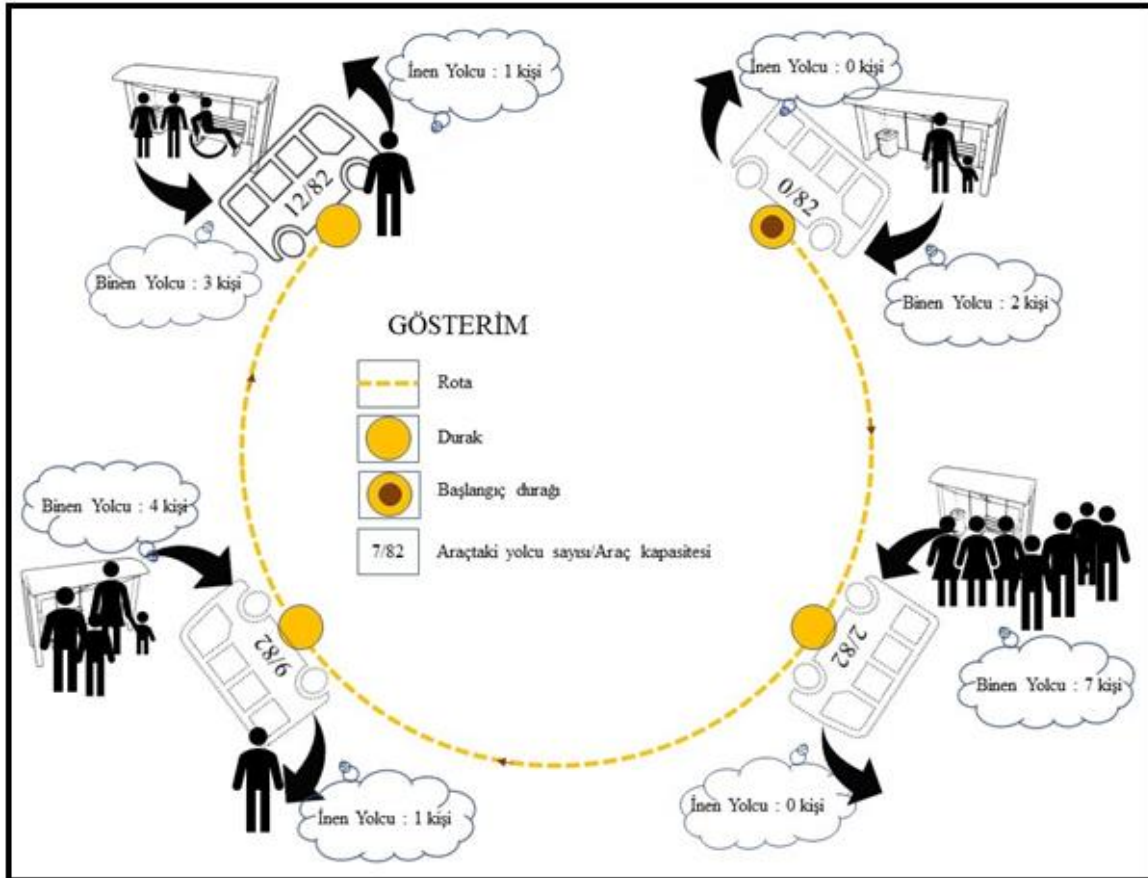
Ankara ili, Çayyolu bölgesi toplu taşıma ağı içerisinde çalışmakta olan ve 140 adet duraktan geçen 123 nolu hattın sabah 07:00-08:00 saat aralığında, yolculuk talebi, sefer aralığı, filo büyüklüğü, otobüs kapasiteleri, hat sefer süreleri ve duraklar arası sefer süreleri parametreleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Doğrusal programlama yöntemiyle optimal sefer sıklık değerlerinin hesaplanmasına yönelik geliştirilen model ile elde edilen sefer sıklık değerleri ve taşınan yolcu sayıları ile mevcut durumdaki sefer sıklık değerleri ve taşınan yolcu sayıları karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.3.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Mevcut durum ile model sonucunun karşılaştırılması

	Mevcut Sefer	Model Sefer
Min. Sefer aralığı	4 dk.	7 dk.
Ortalama durakta bekleme süresi	15.75 dk.	7 dk.
Sefer sayısı	5	9
Sefer başına ortalama yolcu sayısı	96 kişi	101 kişi
Taşınan yolcu sayısı	484 kişi	915 kişi

123 nolu hat geliştirilen model ile sabah 07:00-08:00 saat aralığında 30 gün çalıştırılmış ve Çizelge 4.3.' de ki veriler elde edilmiştir. 30 gün çalışan 123 nolu otobüs hattının sefer aralığı 7 dk, ortalama sefer başına taşınan yolcu sayısı 101 kişi ve seçilen zaman aralığında gerçekleşen sefer sayısı da 9 adet olmuştur. Bu süreçte sabah 07:00-08:00 saat aralığında 123 nolu hat toplam 915 yolcu taşımıştır. 82 kişi olan otobüs kapasitesi, inen yolcuların da dikkate alınmasıyla otobüs başına 101 kişiye ulaşmış ve böylece ortalama taşınan yolcu sayısı 84,4 kişi olmuştur.

Çalışmaya konu olan 123 nolu hattının her bir durakta inen ve binen yolcuları bilinmektedir. Maliyeti minimize edebilmek için araç kapasitelerini maksimum seviyede kullanmak gerekmektedir. Duraklardaki indi bindi sayıları ile araç kapasitesi birlikte değerlendirilerek Matlab yazılımında oluşturulan modelin şematik gösterimi şekil 3.5.'deki gibidir.

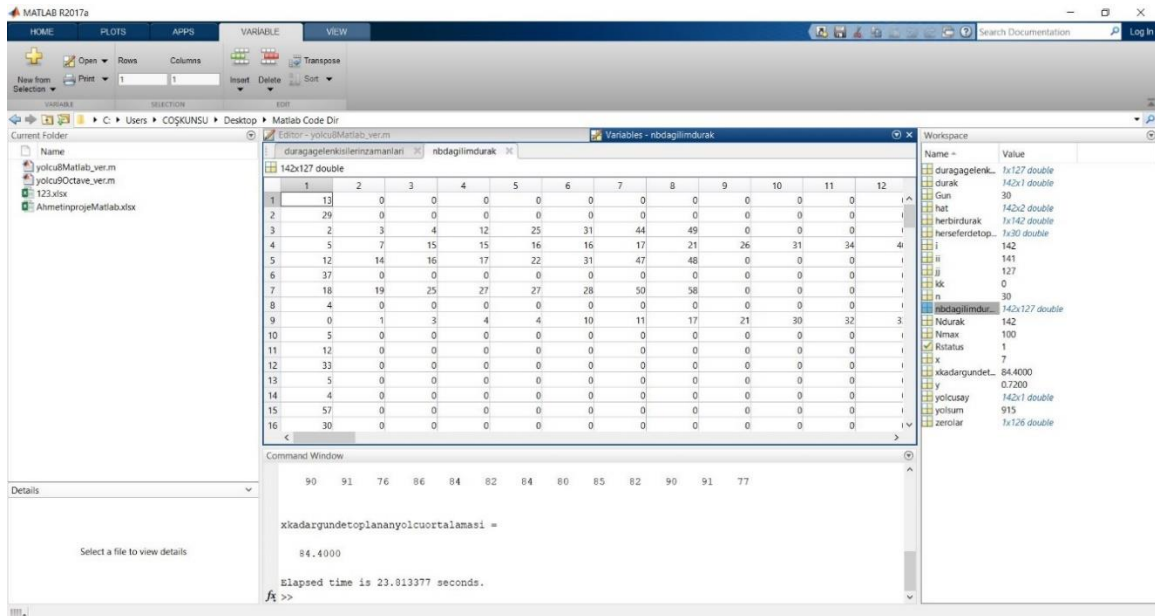


Şekil 4.5. Matlab yazılımı modelinde toplu taşıma hattının çalışma prensibi

Çizelge 4.4. Modelden elde edilen günlere göre ortalama yolcu sayıları

Gün	Yolcu Sayısı	Gün	Yolcu Sayısı	Gün	Yolcu Sayısı
1.	102	11.	88	21.	86
2.	71	12.	85	22.	84
3.	104	13.	88	23.	82
4.	78	14.	86	24.	84
5.	76	15.	88	25.	80
6.	80	16.	80	26.	85
7.	76	17.	80	27.	82
8.	85	18.	90	28.	90
9.	82	19.	91	29.	91
10.	85	20.	76	30.	77

07:00-08:00 aralığında oluşan yolculuk talebinde, inen ve binen yolcu sayısı belli olan bir durağa, yolcuların kaçınıcı dakikalarda indi-bindi yaptıkları model tarafından rasgele atanmıştır. Örneğin 07:00-08:00 aralığında 1 yolcusu bulunan 1 nolu durağa yolcu 13. dakikada, 8 yolcusu olan 3. durağa ise yolcular; 2., 3., 12., 25., 31., 44. ve 49. dakikalarda gelmiştir. Atamaları yazılım tarafından rasgele yapılan, duraklara yolcuların kaçınıcı dakikalarda indi-bindi yaptıkları model ekranı resim 3.3. de gösterilmektedir.



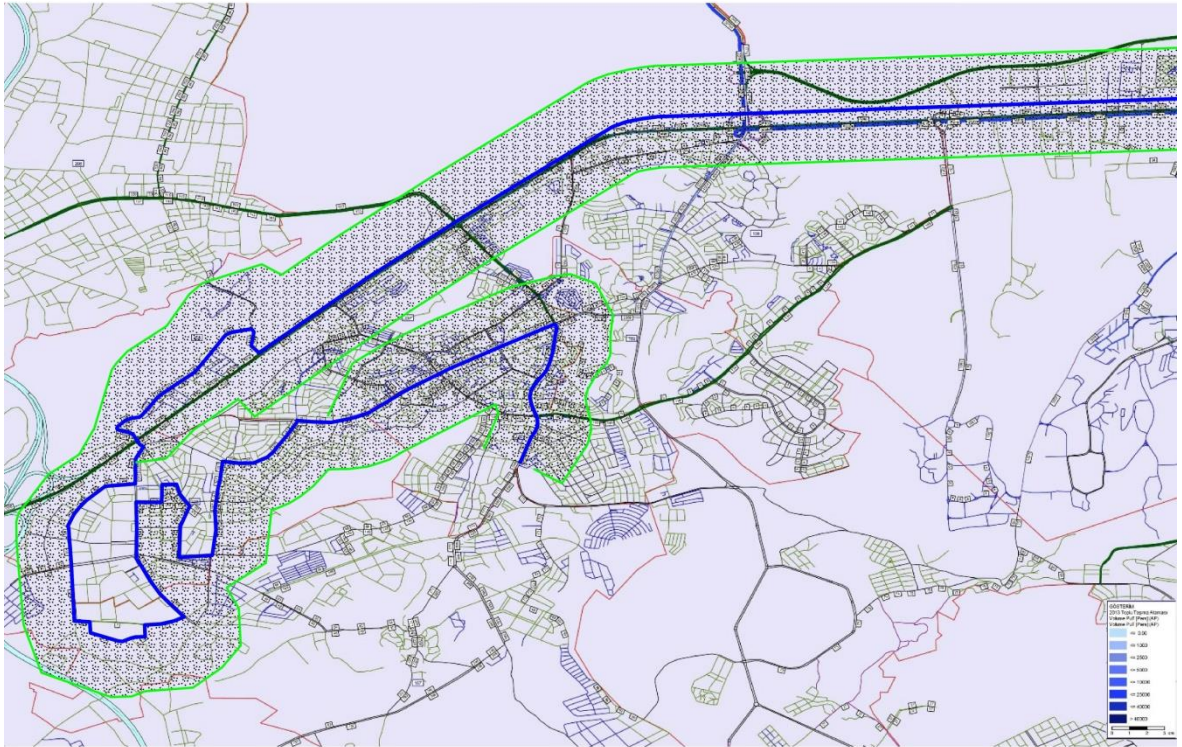
Resim 4.3. Yolcuların duraklara hangi dakikalarda geldikleri görüntüsü

Değerlendirme

Hedef programlama yöntemi ile Matlab yazılımı yardımıyla; 140 duraktan oluşan Çayyolu bölgesinde hizmet veren 123 nolu hattın belirli kısıtlar altında modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sefer sonuçlarına göre hedef programlama yöntemi ile seçilen 97 dk sefer aralığında mevcut duruma göre daha fazla sefer yapılmıştır. Ancak toplam yolcu sayısının artması ve km başına düşen fert sayısının artması maliyetin minimize edilmesine katkı sağlamaktadır.

4.5. Simülasyon Destekli Optimizasyon: Ptv Visum Ulaşım Modeli

2038 hedefli Ankara Ulaşım Ana Planında PTV Visum yazımında kurulan Ulaşım Ana Planı modeline, Ankara'nın 266 analiz zonunda ve çeşitli tekniklerden yararlanılarak yapılan sayımlar neticesinde elde edilen yolculuk atamaları girilmiştir. 2013 yılı verilerinden oluşan modelde, Çayyolu bölgesinde alana dahil olan zonlar üzerinden toplu taşıma bazlı atamalarda bölgede üretilen yolculuk sayılarına model yardımıyla ulaşılabilmektedir. Çalışmaya konu olan Çayyolu bölgesinde 123 numaralı hattın güzergahı üzerindeki yolculuk üretim sayıları Ulaşım Ana Planında kurulan model yardımıyla çıkarılmıştır.



Harita 4.4. 123 Yaşamkent-Kızılay hattının toplu taşıma atamaları

Ancak PTV Visum yazılımı ile kurulan modelde, sefer aralıklarının parametrelerinde eksiklikler olması nedeniyle tez çalışmasında incelenen diğer iki yöntem; “Doğrusal Programlama ve Geleneksel Planlama” dan farklı olarak, sefer süresi ve sefer aralıklarına ilişkin kesin sonuçlara ulaşılamamaktadır. “Headway Calculation” bölümünde anlatıldığı gibi PTV Visum yazılımında sefer sürelerine ilişkin analizler yapılabilmektedir. Toplu taşıma hattının zaman çizelgesine yönelik analizler ve öneriler sunulmasını sağlayan bu bölümle ilgili modeldeki veri eksikliği nedeniyle net bir sonuca ulaşılamamaktadır.

123 Yaşamkent-Kızılay hattının toplu taşıma atamalarının hesaplanması

123 numaralı hattın rotası üzerindeki toplu taşıma yolculuk üretim sayıları ulaşım modeli yardımıyla çıkarılmıştır. Bu çalışmada yayaların duraklara konforlu bir şekilde erişmeleri için yürümeleri gereken azami mesafe 400-600 m kabul edilerek hat güzergahının etki alanı oluşturulmuştur. Söz konusu hattın rotası üzerinde, yaya olarak maksimum erişim mesafesi kabul edilen 400-600 m genişliğinde bir bant oluşturulmuştur. Bu bant üzerinde 123 numaralı hattın rotası üzerinde, ulaşım modelinde toplu taşıma atamaları üzerinden yapılan hesaplamada, doğrudan hizmet verebileceği günlük yolculuk üretimi 5283 kişi olarak gerçekleşmektedir. Üretilen bu yolculuk değerinin seçili zaman aralığı olan 07:00-

08:00 arasındaki 915 kişilik kısmı, diğer tekniklerde de yolculuk talebi olarak kullanılmıştır. Özetle 07:00-08:00 aralığında çeşitli tekniklerle yapılan sayımlar neticesinde PTV Visum ulaşım modeline girilen bölgedeki toplu taşıma yolcu sayısı 915 kişidir. Söz konusu 915 kişi maksimum yolculuk talebi olarak kabul edilmiştir.

123 numaralı hattın güzergahı üzerinde toplam yolculuk üretimi ortalama 5283 kişi olarak gerçekleşirken, hattın günlük taşıdığı yolcu sayısı 2205 kişi olarak gerçekleşmektedir. Başka bir deyişle, çalışmaya konu edilen 123 nolu hat, etki alanı içerisinde günlük üretilen yolculuk sayısının yaklaşık %41' ine hizmet vermektedir. Çalışma alanında ulaşım sisteminin en önemli elemanı konumunda bulunan toplu taşıma hattı, tüm bu yolculara günlük 41 sefer ile hizmet vermektedir. Çalışma konusu toplu taşıma hattında sefer başına düşen ortalama yolcu sayısı yaklaşık 54 kişi iken, sefer başına düşen ortalama arındırılmış yolcu sayısı yaklaşık 59 kişi olmaktadır. Hizmet süresi içerisinde ortalama frekansı yaklaşık 24 dakika olarak gerçekleştirmektedir. Sabah pik saatinde (07:00-08:00) ortalama frekans yaklaşık 18 dakika, öğlen pik saatinde (12:00-13:00) ortalama frekans yaklaşık 16 dakika ve akşam pik saatinde (17:00-18:00) ortalama frekans yaklaşık 30 dakika olarak gerçekleşmektedir. 123 Yaşamkent-Kızılay Hattına ilişkin performans verileri çizelge 4.5.'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. 123 Yaşamkent-Kızılay hattına ilişkin performans verileri

Hat Uzunluğu	Ort. Sefer Süresi	Ort. Günlük Sefer Sayısı	Ort. Frekans	Taşıyan Yolcu sayısı	Sefer Başına Ort. Yolcu Sayısı	Etki Alanı Yolcu Sayısı	Sabah Pik Saati Ort. Fr.	Öğlen Pik Saati Ort. Fr.	Akşam Pik Saati Ort. Fr.
74 km	102 dk	41	24 dk	2205 kişi	54 kişi	5283 kişi	18 dk	16 dk	30 dk

123 numaralı hattın rotası üzerinde bulunan, ulaşım modelindeki yolcu atamalarından gelen günlük yolcu üretimi ve hatta ilişkin diğer veriler resim gösterilmektedir.

Minimum sefer uzunluğuna ilişkin getirilen öneri rotanın mevcut rotaya göre erişebildiği yolcu sayısı azalmaktadır. Öte yandan güzergâh uzunluğu ciddi anlamda düşmektedir. Hazırlanan diğer öneri güzergahta ise sefer uzunluğunda bir miktar azalma olurken erişilen yolcu sayısında da bir miktar artış olmaktadır.

Önceliklerin ne olduğu belirlendiği takdirde hazırlanan güzergahların hangisinden daha iyi bir sonuç alınabileceği ortaya daha net bir şekilde konulabilir. Önceliğin yolcu memnuniyeti olması durumunda toplu taşıma hattında en çok yolcunun taşındığı rotanın seçimi daha doğru olacaktır.

Öte yandan maliyetin minimizasyonuna göre hareket edilirse, rotanın en kısa olduğu güzergâh seçimi işletmenin karlılığını artırabilmektedir. Minimum rota uzunluğu, araç filosunun daha verimli kullanılmasına olanak sağlayacaktır. Her bir aracın seferini daha kısa sürede bitirmesi sefer sıklığının artırılmasına olanak sağlayabilir. Bu durum yolcunun durakta bekleme süresine etki edecektir. Azalan bekleme süresi yolcu memnuniyetine olumlu katkı sağlamaktadır.

123 Yaşamkent-Kızılay hattına ulaşım modelinden getirilen öneriler

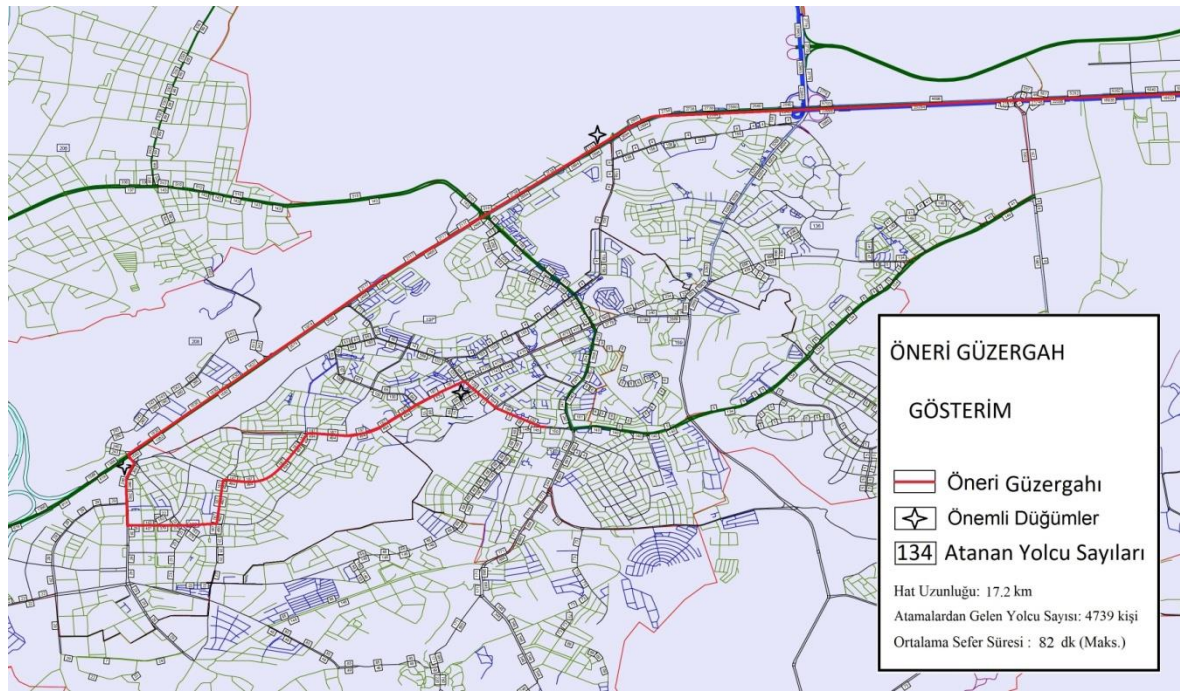
Ulaşım Ana Planı modelinden gelen atamalar neticesinde öneri hazırlanırken öncelik olarak belirlenen “maliyetin minimizasyonu” kriteri göz önünde bulundurulacaktır. Bu açıdan değerlendirilerek toplu taşıma hattının sefer uzunluğu, taşınan yolcu sayısı, sefer süresi gibi parametrelerinin optimal düzeye getirilmesi amaçlanmıştır. Ulaşım modelinde toplu taşıma hattının güzergahında yapılacak değişimler neticesinde toplu taşıma hattının sözü edilen parametrelerine ne gibi etkiler edeceği incelenecektir.

Belirlenen rota üzerindeki toplu taşıma atamalarından gelen yolcu yükü yazılım tarafından hesaplanabilmektedir. Toplu taşıma hattının güzergahının bölgede hizmet veren diğer hatlara göre daha uzun olması bir yandan erişebilirliği artırırken diğer taraftan hat uzunluğu arttığı için maliyeti de artırmaktadır. Toplu taşıma hattının yaklaşık 102 dk olan ortalama sefer süresini azaltmak ve aynı zamanda da yolcu sayısını artırmak amaçlanmıştır.

Modelden getirilen öneriler, 74 km hat uzunluğuna sahip olan 123 Yaşamkent-Kızılay hattının hizmet verdiği, yolculuk üretiminin en çok olduğu Ümitköy Üst Geçit durağı ile

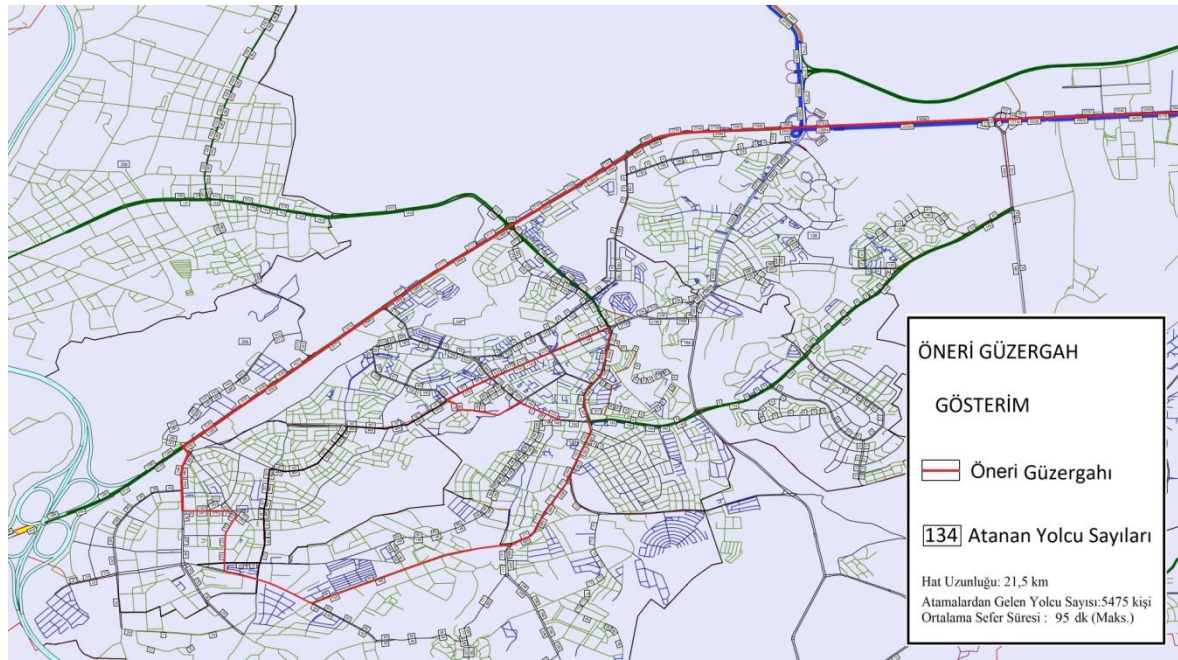
Çayyolu hareket noktası arasında kalan kısmını kapsamaktadır. 25 km uzunluğa sahip olan toplu taşıma hattının bu kısmı 55 durağı kapsamaktadır. Bu kısımda km başına düşen yolcu sayısı 211 kişi olmaktadır.

Öncelikle taşınan yolcu sayısının maksimizasyonu da gözetilerek, toplu taşıma hattının hat uzunluğunu minimuma indirecek bir öneri hazırlanmıştır. Hazırlanan öneri güzergahın çalışma alanı içerisinde kalan kısmının hat uzunluğu 17.2 km, hattın toplam sefer süresi ise yaklaşık 82 dk olarak gerçekleşmektedir. Toplu taşıma hattının seçilen güzergahı üzerindeki yolcu sayısı 4739 kişi olmaktadır. Km başına düşen yolcu sayısı yaklaşık 275 kişi olmaktadır.



Harita 4.6. Öneri minimum sefer uzunluğu

Hazırlanan diğer öneri güzergahın çalışma alanı içerisinde kalan kısmının hat uzunluğu 21,5 km, hattın toplam sefer süresi ise yaklaşık 95 dk olarak gerçekleşmektedir. Toplu taşıma hattının seçilen güzergahı üzerindeki yolcu sayısı 5475 kişi olmaktadır. Erişilebilirliğin yani en fazla yolcuya erişmenin ön planda tutulduğu öneri güzergahta Km başına düşen yolcu sayısı yaklaşık 254 kişi olmaktadır.



Harita 4.7. Öneri maksimum yolcu sayısı

Değerlendirme

PTV Visum Ulaşım Modelinde tez çalışmasına konu olan Çayyolu 123 nolu Yaşamkent hattının Ulaşım Ana Planına işlenen 2013 yılı verileri kullanılarak hattın güzergahı üzerindeki yolcu üretimi yeniden hesaplanmıştır. Ayrıca rota boyunca, yolcuların duraklara maksimum erişim mesafesi kabul edilen alanda (400-600 metre genişliğinde) oluşturulan bant ile hattın hizmet alanı tanımlanmıştır. Visum ulaşım yazılımı, oluşturulan bu bant ile hattın rotasının iyileştirilmesine ilişkin çeşitli ipuçları vermektedir. Yapılan iyileştirmeler neticesinde hattın sefer uzunluğunun kısaltılabildiği, km başına daha fazla yolcu taşıdığı ancak toplamda taşınan yolcu sayısının azaldığı tespit edilmiştir.

5. DEĞERLENDİRME

Bu bölümde kullanıcı - işletmeci memnuniyeti ve maliyetine etki eden göstergeler belirlenmiş ve seçilen optimizasyon tekniklerinin bu göstergelere etkileri ortaya konulmuştur. Toplu taşıma hatlarının optimize edilesi sürecinde çeşitli parametreler (Sefer Aralığı, Bekleme Süresi, Hat Uzunluğu, Zaman Çizelgesi, Toplam Sefer Süresi, Yürüme Mesafesi, Bilet Ücreti- Bilet Çeşitliliği, vs.) esas alınmaktadır. Seçili üç yöntemle veri eksikliğinden kaynaklı olarak aynı parametrelere müdahale etmek mümkün olmamıştır. Ancak ortak bir payda olarak belirlenen kullanıcı - işletmeci memnuniyeti ve maliyetine etkileri değerlendirilmiştir.

Literatürde bulunan optimizasyon tekniklerinin incelenerek toplu taşıma hattı üzerinde uygulanması sayesinde bilimin bir yöntemi olan bu teknikler, bilimin yeni bir alanda uygulanmıştır

İlk etapta, önceliklerin tespit edilmesi ve buna göre parametrelerin belirlenmesi gerekir. Tespit edilen önceliğe göre esas alınacak parametreler optimum hale getirilecektir. Optimum hale getirilen parametrelerin ise etki ettiği göstergeler değerlendirilecektir. Örnek olarak maliyetlerin en aza indirgenmesi odaklı bir yaklaşım seçilebilir. Maliyetleri en aza indireyecek transfer sayısı, hat uzunluğu, sefer aralığı gibi parametreler tespit edilir. Bu parametrelerin optimize edilmesi üzerinden problemin çözümüne gidilmektedir. Sonuç olarak da optimize edilen parametrelerin memnuniyeti etkileyen göstergelere etkileri incelenecektir.

Geleneksel planlama anlayışı ile yapılan çalışmada kurum yetkilisinin görüşleri doğrultusunda toplu taşıma hattının sefer aralıkları düzenlenmiştir. Araçların maksimum kapasitesi olan 82 yolcu ile 1 turu tamamlayacakları varsayılarak, hattın 12 seferle hizmet vereceği kabul edilmiştir. Araç filosu ise, 12 adet servise çıkan ve buna, çeşitli aksamalar durumunda hizmete konulacak olan filonun %15'i kadar ilave araç şeklide olmak üzere toplam 14 araç olarak tespit edilmiştir.

Doğrusal Programlama tekniği ile Matlab yazılımında 140 duraktan oluşan 123 numaralı hattın belirlenen kısıtlar altında modeli oluşturulmuştur. Seçilen sefer aralıklarında her

duraktan binen ve inen yolcularında bilindiği, seçilen saat içinde yolcuların hangi dakikalarda durağa geldiğinin yazılım tarafından rastgele belirlendiği bir model oluşturulmuştur. Maksimum talebin karşılanması esas alınarak maliyetin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

PTV Visum Talep Tahmin Modelinde ise çalışma konusu hattın Ankara Ulaşım Ana Planındaki 2013 verileri ile hattın rotası üzerindeki yolcu üretimi hesaplanmıştır. Ayrıca güzergâh boyunca, duraklara maksimum yürüme mesafesi olarak kabul edilen 400-600 metre genişliğinde, hattın hizmet alanını tanımlayan bir bölge oluşturulmuştur. Visum Ulaşım Modeli, oluşturulan bu bant ile hattın güzergâhının iyileştirilmesine ilişkin çeşitli ipuçları vermektedir. Modele girilen toplu taşıma yolcu atama verileri ile rota üzerindeki yolcu yükü yazılım tarafından hesaplanabilmektedir. Ayrıca önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi tez çalışması için bir sınırlayıcı olarak, yazılımda yapılması mümkün olan sefer aralıkları üzerinde yapılabilen çeşitli analizler, model üzerindeki verilerin eksikliğinden kaynaklı olarak bu tez çalışmasında yapılamamaktadır.

Seçili yöntemler üzerinden yapılacak optimizasyon çalışmasında, bahsedildiği gibi veri eksikliğinden kaynaklı olarak, toplu taşıma hattının aynı parametresi üzerinde çalışmak mümkün olmamaktadır. Ancak burada veri eksikliği nedeniyle farklı parametreler üzerinde çalışabilen üç tekniği yorumlayabilmek için ortak bir amaca etkilerinin ne şekilde olduğu üzerinden hareket etmek doğru olacaktır. Üç yöntemin, yolcu-işletme maliyeti ve memnuniyetine etkilerinin ne olduğu, optimizasyon çalışmasının ne kadar başarılı olduğu hakkında ipucu vermektedir. Her bir teknik ile yapılan uygulamada yorumlamak için ortak bir payda olabilecek km başına ya da servis başına yolcu sayısı gibi veriler ışığında bir değerlendirme yapılabilmektedir. Ancak şunu unutmamak gerekir, kısıtlar değiştiğinde her bir yöntem ile elde edilecek sonuçlar da değişebilmektedir.

Geleneksel Planlama, PTV Visum Talep Tahmin Modeli ve Doğrusal Programlama teknikleri kullanılarak 123 nolu hat üzerine yapılan örnek uygulamalara ilişkin elde edilen sonuçlar çizelge 3.12.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Öneri güzergâhların performans verileri

	Mevcut Durum	1.Aşama Uzman Görüş Yöntemi	2.Aşama Hedef Programlama Tekniği	3.Aşama PTV Visum Talep Tahmin Yazılımı
Hat Uzunluğu	74 km	74 km	74 km	66 km
Sefer Süresi	102 dk	102 dk	102 dk	90 dk
Sefer Sayısı	4	12	9	13
Sefer Aralığı	14 dk	5 dk	7 dk	5 dk
Erişilen Yolcu Sayısı	382 kişi	915 kişi	915 kişi	1040 kişi
Km Başına Yolcu Sayısı	1,28 kişi	1 kişi	1,36 kişi	1.2 kişi
Sefer Başına Yolcu Sayısı	95 kişi	76 kişi	101 kişi	80 kişi

Tercih edilen önceliklerin ve bu önceliklerin optimize edilmesi sürecinde tercih edilen yöntemler önemlidir. Her yöntem kendi içerisinde farklı parametrelerin üzerinde çalışabilmektedir. Dolayısıyla hem kullanıcı hem de işletmeci açısından; tercih edilen yöntemler olumlu ya da olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Kullanıcı açısından olumlu etkileri olan bir yöntemin işletme açısından olumsuz etkileri olabilmektedir.

Tez çalışmasının önceki bölümlerinde de ifade edildiği gibi hat optimizasyonu çalışması ile maliyetin minimize edilmesi ile kullanıcı maliyetinin maksimize edilmesi ile kullanıcı ve işletmeci memnuniyetinin maksimize edilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmada kullanıcı ve işletmeci memnuniyetini etkileyen göstergeler;

- Konfor
- Seyahat Hızı
- Fiyatlandırma ve Maliyetler
- Verimlilik
- Çekicilik
- Ulaşılabilirlik
- Transit Yönelimli Kalkınma
- Seyahat Süresi

olarak kabul edilmiştir.

Geleneksel Planlama, PTV Visum Ulaşım Modeli ve Doğrusal Programlama tekniğinin bu göstergelere etkileri incelenmiş ve çizelge 3.13'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.2. Seçilen optimizasyon tekniklerin göstergelere etkisi

Gösterge	1.Aşama Uzman Görüş Yöntemi	2.Aşama Hedef Programlama	3.Aşama PTV Visum Talep Tahmin
Konfor: -Araç Başına Düşen Yolcu Sayısı	✓	✓	✓
Seyahat Hızı: -Ortalama Araç Hızı	-	-	✓
Fiyatlandırma ve Maliyetler: -Fert Başına Servis km'si -Günlük Servis Saatleri -Genel İşletme Giderleri	X	✓	-
Verimlilik: -Türler arası transferlerin ve multimodal bağlantıların yakınlığı.	-	-	✓
Çekicilik: -İstasyonların ve durakların çekiciliği, -Rota Erişilebilirliği	-	-	X
Ulaşılabilirlik: -Toplu taşıma istasyonlarından uzaklık ve varış noktalarına durma, - Ulaşım Sistemi hizmet alanlarında yürünebilirlik	-	-	✓
Transit Yönelimli Kalkınma: - İstasyonlara 500 m mesafedeki kalite-geliştirme yoğunluğu - Ulaşım Ağı hizmet alanlarında yürüme kalitesi, - Transit istasyonlara 500 metre mesafedeki konut durumu	-	-	✓
Seyahat Süresi: - Araç İçi Yolculuk Süresi, - Toplam Seyahat Süresi - Durakta Bekleme Süresi	✓	✓	✓
İşaretleme →	Olumlu Katkı: ✓	Nötr: -	Olumsuz Katkı: X

Çizelge 3.13.'de, belirlenen göstergelere seçili yöntemlerin etkisinin ne olduğu belirlenmiştir. Göstergelerin alt başlıklarından en az birini iyileştiren tekniği olumlu,

kötüleştiren tekniğin olumsuz, herhangi bir etki yaratmayan tekniğin de nötr etki yaptığı kabul edilmiştir.

Geleneksel planlama anlayışıyla 123 No'lu hat üzerinde yapılan çalışmada, hattın performans verileri incelendiğinde, amacın işletme maliyetlerini minimize etmek olduğu görülmektedir. Ancak sefer başına düşen 78 yolcu sayısı diğer tekniklerle yapılan çalışmalardaki yolcu sayılarının altında kalmaktadır. Yolcu konforu düşünüldüğünde ön plana çıkan bu yöntem, gelecekteki yolcu talebinin tespiti ve hattın etki alanındaki yolcu sayısının tespiti noktasında eksik kalması sebebiyle, hesaplanan sefer aralıklarının gerçekte uygulanması ve başarılı olmasına gölge düşürmektedir. Yapılan optimizasyon çalışmasında verilerin hesaplanmasında bir kabulden ziyade bilimsel çalışmalarla elde edilmiş olması, PTV Visum Ulaşım Modelinin ve Doğrusal Programlama yönteminin gerçeğe uygunluk noktasında bir adım öne çıkmasını sağlamaktadır.

Seçilen teknikler tez çalışmamızın amacı olan maliyetin minimizasyonu noktasında değerlendirildiğinde Doğrusal Programlama tekniğinin sefer aralığının hesaplanmasında kolaylık sağlaması ve duraklarda inen-binen yolcularında hesaba katılmasıyla daha gerçekçi bir sonuç vermektedir. Aslında seçilen tekniklerin her birisinin hattı optimize etmek için farklı parametrelere ihtiyaç duyması ve bu parametrelere ilişkin eksik verilerin bulunması, teknikler üzerinde net bir karşılaştırma yapmamıza engel olmaktadır. Visum yazılımı ortamında oluşturulan model verilerinden faydalanılarak hazırlanabilecek olan alternatif güzergahlarla, daha fazla sayıda yolcuya erişebilen ve daha kısa mesafede turunu tamamlayan sonuç elde edilebilmektedir. Ancak elde edilen sonuçlara göre bir değerlendirme yapıldığında doğrusal programlama ile yapılan sefer sıklığının hesaplanması modelinde hem bir araç ile taşınan yolcu sayısının en fazla olduğu, hem de fert başına servis km'sinin en düşük olduğu yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Görüldüğü üzere aynı şartlar altında değerlendirme yapılsa dahi, optimize edilen hattın parametrelerinde, her bir yöntemin ön plana çıktığı parametreler olduğu gibi geride kaldığı parametreler de olmaktadır. Geleneksel yöntemde sefer sayısının doğrusal programlaya göre daha az sayıda olması maliyeti daha minimize etmektedir. Ancak diğer taraftan doğrusal programlama ile kurulan modelde sefer başına düşen yolcu sayısının daha fazla olması, doğrusal programlama yöntemini daha cazip kılmaktadır. Öte yandan Visum Ulaşım Modeli ile yapılan çalışmada güzergaha ilişkin yapılan analizler neticesinde ortaya

konulan öneri hat, sefer uzunluğunu kısalttığı için karlılığı artırmaktadır. Bunun yanında geleneksel yöntem ile oluşturulan ve Visum Ulaşım Modelinin önerdiği güzergaha göre daha uzun olan mevcut hattın daha fazla yolculuk talebini karşılaması ise bu yöntemi daha cazip hale getirmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ulaşım araçlarının daha etkili şekilde kullanılabilmesi için, farklı ulaşım türlerinin (Hafif Raylı Sistem-HRS, Metro, Otobüs, Hafif Metro, vs.) kentsel alanda hizmet verirken birbirleri ile entegrasyonun sağlanması, sistemin kendi içinde daha verimli bir şekilde çalışmasına imkân sağlarken, ulaşım sisteminin hizmet kalitesini de yükselterek yolcuların türler ya da sistemler arasındaki aktarmalardan minimum düzeyde etkilenmesine olanak sağlar. Günümüzün sürdürülebilir ulaşım planlaması yaklaşımında, kent merkezindeki raylı sistem istasyonları ile otobüs sistemi ve yaya bölgeleri ile bütünleştirilerek, etkin ve konforlu bir toplu taşıma hizmeti sağlanarak özel oto kullanımı kısıtlanmaktadır. Konut alanlarında ise istasyon çevrelerinde yeterli otobüs aktarma alanları, bisiklet park yerleri ve otopark olanakları ile sistemler arası bütünleşme desteklenmektedir. Bu amaçla raylı sistem projeleri hazırlanırken aktarma yapılacak istasyonlar belirlenmektedir. İstasyon çevrelerinde yaya bağlantıları, otobüs aktarma alanları ve çevre noktalarda özel araç park alanları ve diğer hizmetler için yeterli büyüklükte alan ayrılarak, aktarma olanakları istasyonlarla bütünleştirilmiş olarak çözülmektedir.

Kentsel ulaşım sistemleri, trafik katılımcılarını taşımak için uyum içinde birlikte çalışan ve insanlar, taşıtlar, yollar, köprüler, kaldırımlar, nehirler, demiryolları, metro hatları ve trafik sinyalleri gibi birçok parçadan oluşan sistemlerdir. Günümüzde ulaşım planlarının kentiçi ulaşımı planlarken yapmaya çalıştığı iş aslında bu sistemin katılımcılarını bir yerden diğerine taşımak için en verimli, güvenli, uygun maliyetli ve doğal çevreyi koruyacak uygun çözüm(leri) bulmaya çalışmaktır. Bu arayış, ulaşım planlama (ve uygulama) sürecinde “optimizasyon” aşaması olarak ortaya çıkmaktadır. Optimizasyon, bir ulaşım sisteminde seçilen belirleyicilerin istenen hedeflere ulaşabilmeleri için bir “amaç fonksiyonu”nun politika araçları kullanarak en iyileştirilmesidir. Optimizasyon tekniklerinin ulaşım planlamada kullanımı çok da eskiye gitmemektedir. Bununla beraber daha önce akla gelmeyen çözüm önerilerinin de değerlendirmeye alınması, bunların etkilerinin diğer önerilerle karşılaştırılmasını sağlamak ya da en iyi stratejinin belirlenmesi için daha kapsayıcı ve kabul edilebilir bir yol olması gibi avantajlar, kısa sürede birçok optimizasyon tekniğinin ulaşım planlama uygulamalarına taşınmasına yol açmıştır.

Bu çalışmada, kentiçi toplu ulaşım sisteminin temel bileşenlerinden olan otobüs taşımacılığında, hattın planlaması yapılırken optimizasyonun nasıl sağlanacağını araştırmıştır.

Otobüs taşımacılığı için hat planlaması yapılırken kullanılabilecek optimizasyon teknikleri bir Literatür taraması ile ortaya konulmuş ve örnek alanda seçilen Ankara ili, Çayyolu ilçesi, 123 Yaşamkent hattında, seçilen üç optimizasyon tekniği yardımıyla optimizasyonun nasıl sağlanacağı üzerinde çalışılmıştır.

Optimizasyon problemi, literatürün de yardımıyla “Performans verileri değerlendirilerek, verilen kısıtlar altında sabah pik saati olan 07:00-09:00 arasında sefer optimizasyonu nasıl sağlanır?” şeklinde tanımlanmıştır.

Optimizasyon problemlerinin tamamını etkili bir şekilde çözen tek bir teknik yoktur, ancak sorunun niteliğine göre farklı yöntemler kullanılabilmektedir. Çalışmada, otobüs taşımacılığında hat planlaması esnasında kullanılabilecek optimizasyon teknik ve yaklaşımları üç temel başlıkta değerlendirilmiştir: Algoritmalar, uzman görüşü yöntemi ve hazır yazılımlar. Örnek alanda üç yaklaşımı temsilen bir yöntem ve yazılım seçilmiştir. Uzman görüşü yöntemi için örnek alandaki yetkililerin izlediği prosedür, algoritmalar için hedef programlama ve hazır yazılımlar için PTV-Visum kullanılarak örnek problemin optimizasyonu araştırılmıştır.

Çalışma sırasında; araç kapasitesi, işletme zararı açısından minimum yolcu kısıtı, maksimum talep kısıtı, yolcu memnuniyeti açısından durakta maksimum bekleme kısıtı sınırlılıklar olarak karşılaşılmıştır.

Sonuç olarak; bu yöntemlerin her biri problemin çözümü için birbirinden farklı ancak makul çözümler getirmiştir. Farklı tekniklerin getirdiği çözümler arasında benzerlikler bulunmakta ancak tek bir doğru çözümden söz edilememektedir. Ptv Visum ulaşım modeli ilk yönteme kıyasla hattın güzergahına yönelik iyileştirmeler yapmaya olanak sağlamasıyla birlikte hattın erişebilirliğini artırmaktadır. Diğer iki yönteme kıyasla daha fazla yolcuya ulaşma imkânı sağlanmasıyla işletme maliyetlerine olumlu katkı sağlayabilir. Öte yandan hedef programlama yöntemiyle hesaplanan sefer aralığı, daha gerçekçi yaklaşımı ile daha

uygulanabilir bir model ortaya koymaktadır. Bunların neticesinde her bir yönteminde birbirine göre üstünlüğü bulunması sebebiyle her bir yöntemin de hala geçerliliği olduğunu ve birbirlerini tamamlayıcı nitelikte olduğunu söyleyebiliriz.

Karar vericilerin, herhangi bir problemin optimum çözümünü ararken ellerindeki seçenekleri çoğaltmak, iyi çözülmemiş hatlarda ortaya çıkabilecek sorunları önceden bertaraf etmek açısından önemlidir. Birbirinden farklı çözüm alternatiflerini değerlendirip çok ölçütlü bir değerlendirmenin ardından karar vermeleri, gerekirse birden çok tekniğin kullanıldığı çözüm alternatifleri yaratmaları en sağlıklı kararı vermeleri için gereklidir.

Öneriler

Aynı şartlar altında değerlendirme yapılsa dahi, optimize edilen hattın parametrelerinde, her bir yöntemin ön planda olduğu parametreler olduğu gibi geride planda kaldığı parametreler de olmaktadır. Bu yüzden birden fazla yöntemden yararlanmak daha doğru olacaktır.

Literatür bize her optimizasyon problemine her tekniği uygulamanın doğru olmayacağını söylemektedir. Optimizasyon tekniği, optimizasyon probleminin türüne göre seçilmelidir.

Her optimizasyon problemine her tekniği uygulamanın doğru olmayacağı gibi, tespit edilen optimizasyon problemine uygulanabilir tekniklerin de ihtiyaç duyduğu parametrelerin elde olup olmadığının kontrolü sağlanmalıdır.

Bundan sonra bu konuda çalışmak isteyen araştırmacılar için öneriler

Bu konuda araştırmacıların daha iyi bir sonuca ulaşabilmeleri için tek bir yöntemi kullanmaktan ziyade her yöntemi kullanarak bunlardan elde edilecek ortak bir sonuca göre hareket etmeleri tavsiye edilir. Öncelikle optimizasyon probleminin tespit edilmesi, ardından bu konuda kapsamlı bir literatür taraması yapılması, problem teşkil eden parametrelere yönelik ihtiyaç duyulan tüm verilerin elde edilmesi ve son olarak da birkaç tekniğin kullanılarak elde edilecek ortak sonucun araştırmacı tarafından yorumlanması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. Haber bültenleri. URL: http://www.tuik.gov.tr/PreTabloArama.do?metod=search&araType=hb_x, Son Erişim Tarihi: 05.06.2019.
2. Bal, H. (1995). *Optimizasyon teknikleri*. Ankara: Gazi Üniversitesi Yayınları, 4-35.
3. Bunday, B.D. (1984). *Basic optimization methods*. London: Edward Arnold Ltd, 1-136.
4. Rao, S.S. (1978). *Optimization theory and applications* (Second Edition). USA: Michigan University Halsted Press, 1-711.
5. İnternet: Kaymaz, İ. Optimizasyon Teknikleri. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dersnotu.tk%2Ftag%2Foptimizasyon-teknikleri-ders-notlari-doc-dr-irfan-kaymaz&date=2019-05-09>. Son Erişim Tarihi: 09-05-2019.
6. Karaboğa, D. (2004). *Yapay zeka optimizasyon algoritmaları*. Ankara: Nobel Akademik Yayınları, 15-244
7. İnternet: PTV Group. Ptv Visum URL: http://cgi.ptvgroup.com/cgi-bin/en/traffic/visum_download.pl?ENC=XM%2F7k%2FR%2B1r%2BDVUTIQo9cYolSLCxalXjt1Byhlisdc0xicarjOAF%2FEqg%2FLDc3qtStgMMido%2F651rg%0ASUDBFNHa4mGuiDJhdqdbFWrxhllFzntj7xZe0nvk0C2I3bOKCTm%0A Son Erişim Tarihi: 01-05-2014.
8. Carlos, A., Coello, C. (2000). An updated survey of ga-based multiobjective optimization techniques. *Laboratorio Nacional de Informática Avanzada ACM Computing Surveys*, 32(2).
9. Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M. (2003). *Mühendislikte yapay zeka uygulamaları-I.Yapay sinir ağları*. Kayseri: Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık, 4-21.
10. Haton J.P., Haton. M.C. (1989). *L'intelligence artificielle*. Presses Universitaires De France, 1-127.
11. Gazi Üniversitesi Ulaşım Ana Planı Ofisi. (2014). *Ankara ulaşım ana planı toplu taşıma indi bindi etüdü kitabı*. Ankara: Gazi Üniversitesi, 63-69.
12. Haines, Y.Y., Hall, W.A., Freedman, H.T. (1975). *Multi objective optlmization in water resources systems - the surrogate worth trade-off method*. Amsterdam: EJsevier Scientific Publishing Company, 1-199.
13. Levin, I. R. (1989). *Quantiative approaches to management*. New York: McGraw Hill Publishing Company, 1-794.
14. Rardini, R. L. (2000). *Optimization in operations research*. USA: Prentice Hall Inc, 1-1184.
15. Hillier, F. S., Lierberman, G. J. (1995). *Introduction to mathematical programming*. USA: McGraw-Hill, 1-716.

16. Alp, S. (2008). Doğrusal hedef programlama yönteminin otobüsle kent içi toplu taşıma sisteminde kullanılması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 73-91.
17. Levin, R. I., Rubin, D. S., Stinson, J. P., Gardner, E. S. Jr. (1992). *Quantitative approaches to management* (Eight Edition). USA: McGraw-Hill, 1-920.
18. Lee, S. M. (1973). Goal programming for decision analysis of multiple objectives. *Sloan Management Review*, 14(2), 11-24.
19. Gazi Üniversitesi Ulaşım Ana Planı Ofisi (2014). *Ulaşım modeli ve kalibrasyonu kitabı*. Ankara: Ulaşım Ana Planı Proje Ofisi, 77, 88, 95-128.
20. Ergülen, A. (2003). Gıda ürünlerinin kara yolu ile taşınmasında maliyet minimizasyonu: bir tamsayılı doğrusal programlama uygulaması. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(2), 207-236.
21. Keskin, A. (1992). *Toplu Taşıma Sistemleri*. İstanbul: İTÜ Kütüphanesi, 1-111.
22. İnternet: Ego Genel Müdürlüğü (2019). Kurum içi istatistikler. <https://https://www.ego.gov.tr/tr/sayfa/61/istatistikler> Son Erişim Tarihi: 15.08.2019.
23. Gazi Üniversitesi Ulaşım Ana Planı Ofisi. (2014). *Ankara ulaşım ana hanehalkı araştırması sonuçları kitabı*. Ankara: Ulaşım Ana Planı Proje Ofisi, 99-237.
24. İnternet: Ego Genel Müdürlüğü (2019). Otobüs Hizmetleri. URL: <https://www.ego.gov.tr/tr/sayfa/1074/otobus>, Son Erişim Tarihi: 05.08.2019.
25. İnternet: Sasane, A. (September, 2004). Calculus of variations and optimal control. URL: <https://epdf.tips/calculus-of-variations-amp-optimal-control.html>, Son Erişim Tarihi: 20.12.2018.
26. Gökhan, G. (1978). *Varyasyonlar hesabı*. İstanbul: İstanbul Devlet Mim. ve Müh. Akademisi Yayınları, 1-168.
27. Öztürk, A. (2005). *Yöneylem araştırması* (Onuncu Baskı). Ankara: Ekin Kitabevi, 35.
28. Trueman, R.E. (1981). *Quantitative methods for decision making in business*. New York: The Dryden Press, 1-512.
29. Bazaraa, M., Jarvis. J.J., Sherali.H.D. (1990). *Linear programming and network flows*. New York: John Willey&Sons Inc, 7.
30. Boyd. S., Kim. S.J., Vandenberghe. L., Hassibi. A. (2007). A tutorial on geometric programming. *Optimization and Engineering*, 67–127.
31. Taha, H.A., (2010). *Yöneylem araştırması* (Çev. Alp Baray ve Şakir Esnaf) (Altıncı Baskı). İstanbul: Literatür Yayınevi. (Eserin orijinali 1917’de yayımlandı), 1-900.
32. Bazaraa, M.S., Sherali, H.D., Shetty, C.M., (2006). *Nonlinear programming theory and algorithms* (Third Edition). USA: John Wiley Sons Inc. Publication, 1-872.
33. Topaloglou. N. (2004). *A stochastic programming framework for international portfolio management*. Doctoral dissertation, University Of Cyprus.

34. Dantzig, G. (1955). Linear programming under uncertainty. *Management Science*, 197-206.
35. Mitra, S. (2006). *Scenario generation for stochastic programming*. Optirisk systems, White Paper Series, 5-34.
36. İnternet: Uygun, Özer. Yöneylem Araştırması. Sakarya Üniv. Müh. Fakültesi. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fuygun.sakarya.edu.tr%2Ftr%2Fduyuru%2Fgoster%2F31670%2Fyoneylem-arastirmasi-3-ders-notlari&date=2019-05-13>. Son Erişim Tarihi: 13.01.2019.
37. Çubukçu, H.A. (2016). *Oyun teorisi ve bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
38. Cohon, J.L., Church, R.L., Sheer, D.P. (1979). Generating multiobjective trade-offs: an algorithm for bicriterion problems. *Water Resources Research*, 1001-1010.
39. Demirkollu, M. (2017). *Hedef programlama yöntemi ile otobüs sefer sayılarının tespit edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
40. Zeleny, M. (1982). Multiple criteria decision making. *McGraw-Hill*, 215-280.
41. Sarımeşeli, M. (2004). *İktisadi modeller teori & uygulama*. Ankara: Gazi Büro Kitapevi, 204.
42. İnternet: Toklu, B. Hedef Programlamaya Giriş Hedef Programlama Modellerinin Çözümü. URL: <https://docplayer.biz.tr/59846534-Bolum-i-hedef-programlama-prof-dr-bilal-toklu-hedef-programlamaya-giris-hedef-programlama-modellerinin-cozumu.html> Son Erişim Tarihi: 13.03.2019.
43. Jones, D. F., ve Tamiz, M. (1992). *Goal programming in the period 1990-2000 in multiple criteria optimization state of the art annotated bibliografic surveys*. France: Kluwer, 129-170.
44. Steuer, R. E. (1986). *Multiple criteria optimization: theory, computation and application*. Canada: John Wiley & Sons Inc, 1-568.
45. Ignizio, J. P. (1985). *Introduction to linear goal programming* (Second Edition). USA: Duxbury Press, 1-96.
46. Evren, R., Ülengin, F. (1992). *Yönetimde çok amaçlı karar verme*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1-248.
47. İhan, İ. (1982). *Donatının yenilenmesi ve tesadüfi bozulma problemine markov zincirleri uygulanması*. Doçentlik Tezi, Bursa İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi, Bursa.
48. Eroğlu, A. (1986). *Tahmin metodu olarak markov zincirleri ve işgücü hareketliliğine uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
49. Sezen, H.K. (2004). *Yöneylem araştırması-sayımlama yöntemler*. Bursa: Ekin Kitabevi, 212.
50. Genel, H. (2004). *Genetik algoritmalarla portföy optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

51. İnternet: Aydın, İ. Benzetim ve Modelleme Ders Notları. Fırat Üniversitesi. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.firat.edu.tr%2Faiaydin%2FIntroduction_to_simulation_and_modeling_lecture_1.pdf&date=2019-05-13. Son Erişim Tarihi: 12.12.2018.
52. Yıldız, İ. (1998). *Kümeleme analizi, kümeleme analizine matematiksel programlama yaklaşımı ve bir uygulama*. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
53. İnternet: Mendenhall, W. Introduction to Probability and Statistics. URL: https://books.google.com.tr/books?id=BlxwBAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=tr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false, Son Erişim Tarihi: 21.12.2014.
54. İnternet: Schmidt, M. Understanding and Using Statistics. URL: https://books.google.com.tr/books?id=SHJwBAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=tr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false, Son Erişim Tarihi: 21.12.2014.
55. Demir, L. (2004). *İstatistiksel deney tasarımı yöntemi ve bir tekstil işletmesinde uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
56. Cangül, O. (2006). *Diskriminant analizi ve bir uygulama denemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
57. Montgomery, D.C. (1991). *Design and analysis of experiments by Douglas montgomery* (Third Edition). USA: John Wiley Sons Inc. Publication, 1-752.
58. Terzi, Ü. (2009). *Gezgin satıcı problemi için diferansiyel gelişim algoritması tabanlı bir metasezgisel önerisi*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
59. Çalışkan, F., Yüksel, H., Dayık, M. (2016). Genetik Algoritmaların Tasarım Sürecinde Kullanılması. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 6(2), 21-27.
60. İnternet: ÇUNKAŞ, M. Genetik Algoritmalar ve Uygulamaları. Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.horozerk.com%2Fwp-content%2Fuploads%2Fgenetic.pdf&date=2019-05-12>. Son Erişim Tarihi: 12.05.2019.
61. Arbex, R.O. Cunha, C.B. (2005). Efficient transit network design and frequencies setting multi-objective optimization by alternating objective genetic algorithm. *Transport Research Part B. University of São Paulo Cidade Universitária Department of Transportation Engineering*, 355-376.
62. Reeves, C. (1993). *Modern heuristic methods for combinatorial problems*. Blackwell Scientific Publications, 320-328.
63. Painton, L. A., Campbell, J. E. (1995). Genetic algorithms in optimization of system reliability. *IEEE Transactions on Reliability*, 172-178.
64. Michalewicz, Z., Fogel, D. B. (2004). *How To Solve It: Modern Heuristics* (Second Edition). Springer Press, 117-121.

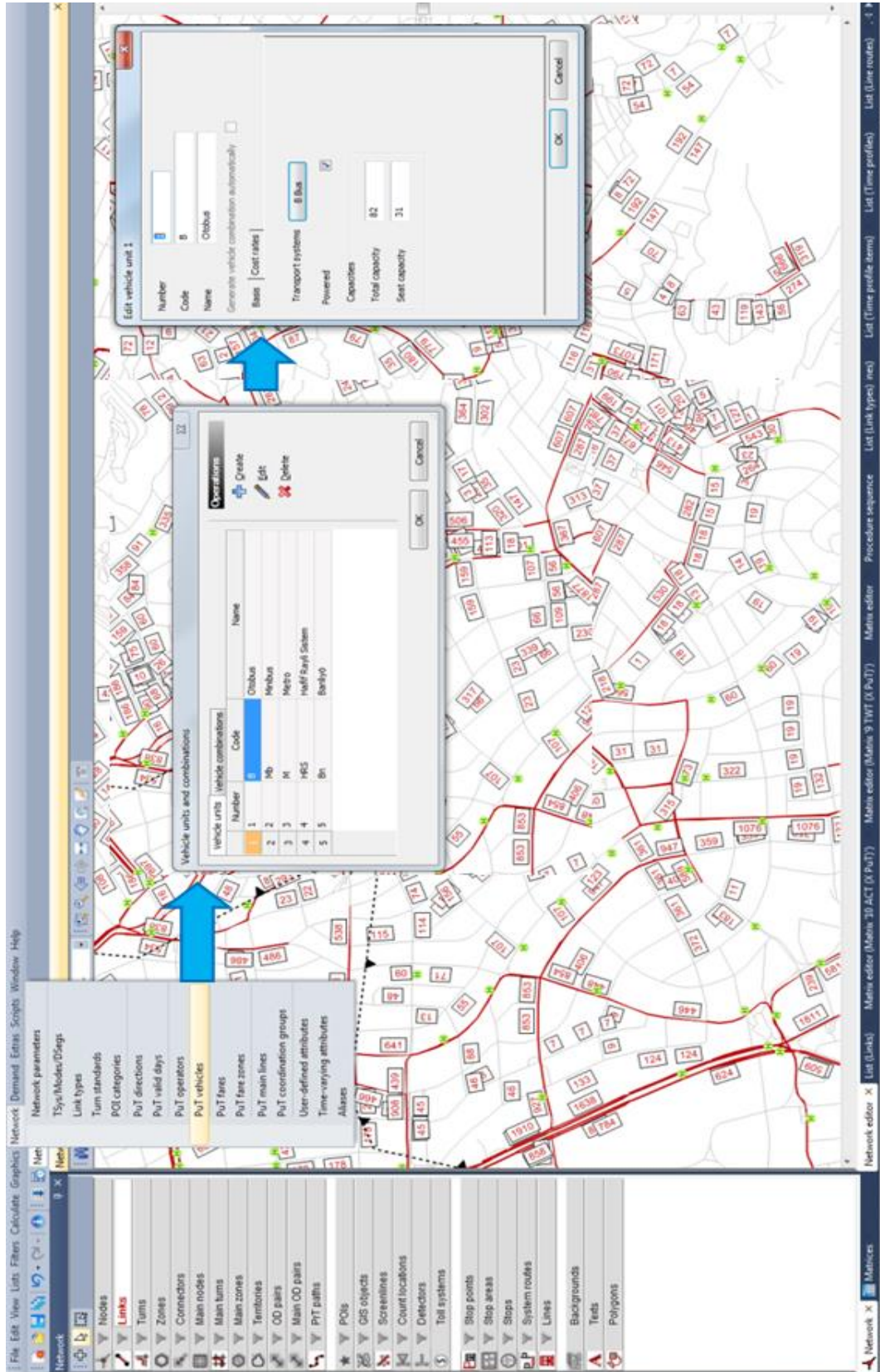
65. Grefenstette, J.J. (1986). Optimisation of Control Parameters for Genetic Algorithms. *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, 122-128.
66. Man, K.F., Tang, K.S., Kwong, S. (1996). Genetic algorithms: concepts and applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 519-533.
67. De Jong, K.A. (1975). *Analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems*. (Doctoral dissertation, University of Michigan).
68. Altan, M.S. (2010). *Genetik algoritma yöntemiyle termoelektrik modüllerin optimizasyonu*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara.
69. Glover, F. (1990). Tabu search-part II, *ORSA Journal on Computing* 1, (2), 4-32.
70. İnternet: Glover, F. (1993). A user's guide to tabu search. *Annals of Operations Research*. URL: https://www.researchgate.net/publication/226178849_A_Users_Guide_to_Tabu_Search . Son Erişim Tarihi: 11.12.2018.
71. Topbaş, M.A. (1993). *Çelik ve Isıl İşlemler*. İstanbul: Prestij Basın Yayın ve Hizmetleri, 1-199.
72. Ortaç, E. (2017). *Diferansiyel gelişim algoritması tabanlı önerilmeli beton köprü kirişlerinin optimum tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
73. Hillier, F.S., Lieberman, G.J. (1995). *Introduction to Operations Research*. San Francisco: McGraw-Hill Higher Education, 1-1088.
74. Nasaroui, O., Dasgupta, D., Gonzales, F. (2002). The Promise and Challenges of Artificial Immune System Based Web Usage Mining: Preliminary Results. *Workshop on Web Analytics at Second SIAM International Conference on Data mining*. Arlington, 11-13.
75. De Castro, L. N., Von Zuben F. J. (2000). The clonal selection algorithm with engineering applications, proceedings of GECCO'00, *Workshop on Artificial Immune Systems and Their Applications*. Las Vegas, 36-37.
76. Engin, O., Döyen, A. (2004). Artificial Immune Systems and Applications in Industrial Problems. *G.U. Journal of Science*. 17(1), 71-84.
77. Clerc, M., Kennedy, J. (2002). The particle swarm explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 58-73.
78. İnternet: Omran, M.G.H., Clerc, M. (2011). URL: <http://www.particleswarm.info/S>. Son Erişim Tarihi: Kasım 2016).
79. Cipriani, E., Gemma, A., Nigro, M., (2014). A road network design model for large-scale urban network. *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*. Varşova, 139-151.

80. Akay, B. (2009). *Nümerik optimizasyon problemlerinde yapay arı kolonisi (artificial bee colony) algoritmasının performans analizi*. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
81. Küçüksille, E. U., Tokmak, M., (2011). Yapay arı kolonisi algoritması kullanarak otomatik ders çizelgeleme. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 203-210.

EKLER

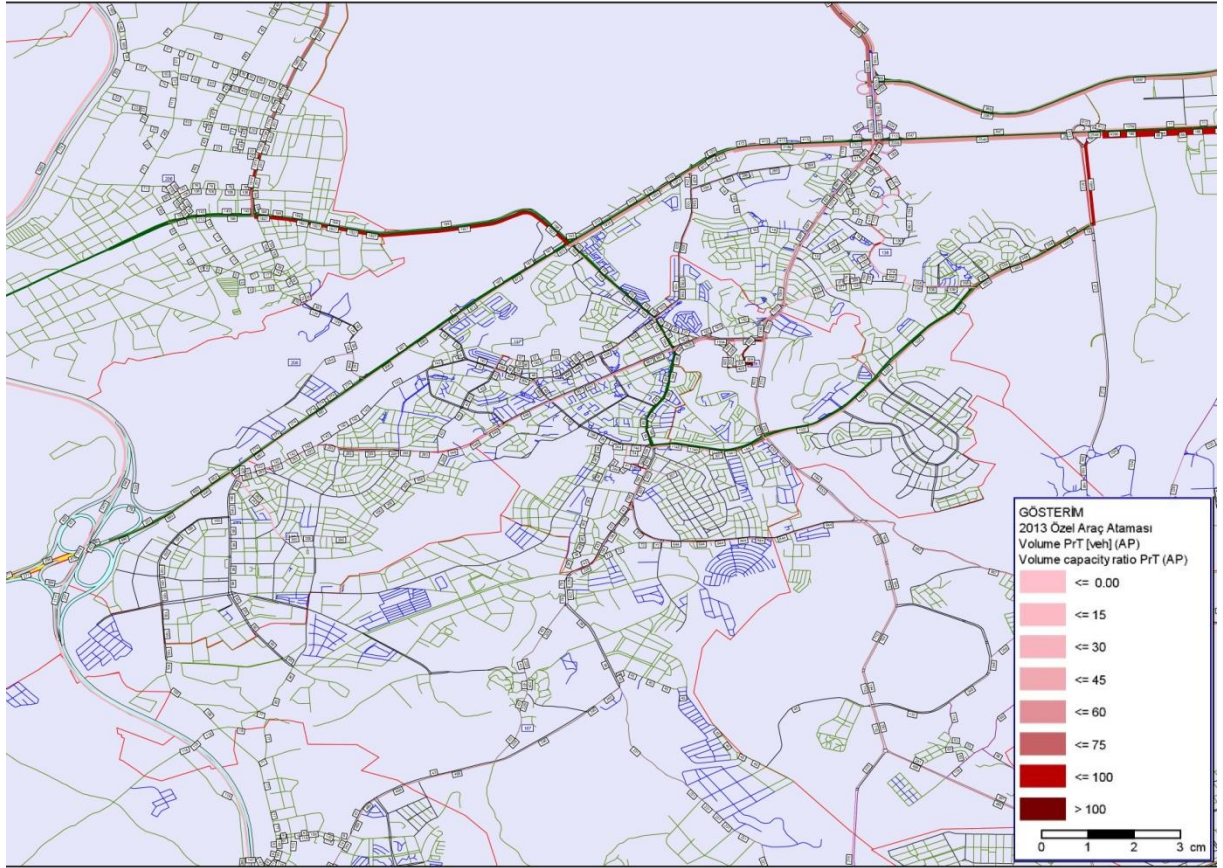
(Ekler Tezin arka kapağında CD ortamında verilmiştir.)

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum



Resim 1.1. Visum yazılımında zonlara girilen yolcu kapasitesi giriş ekranı [19]

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum



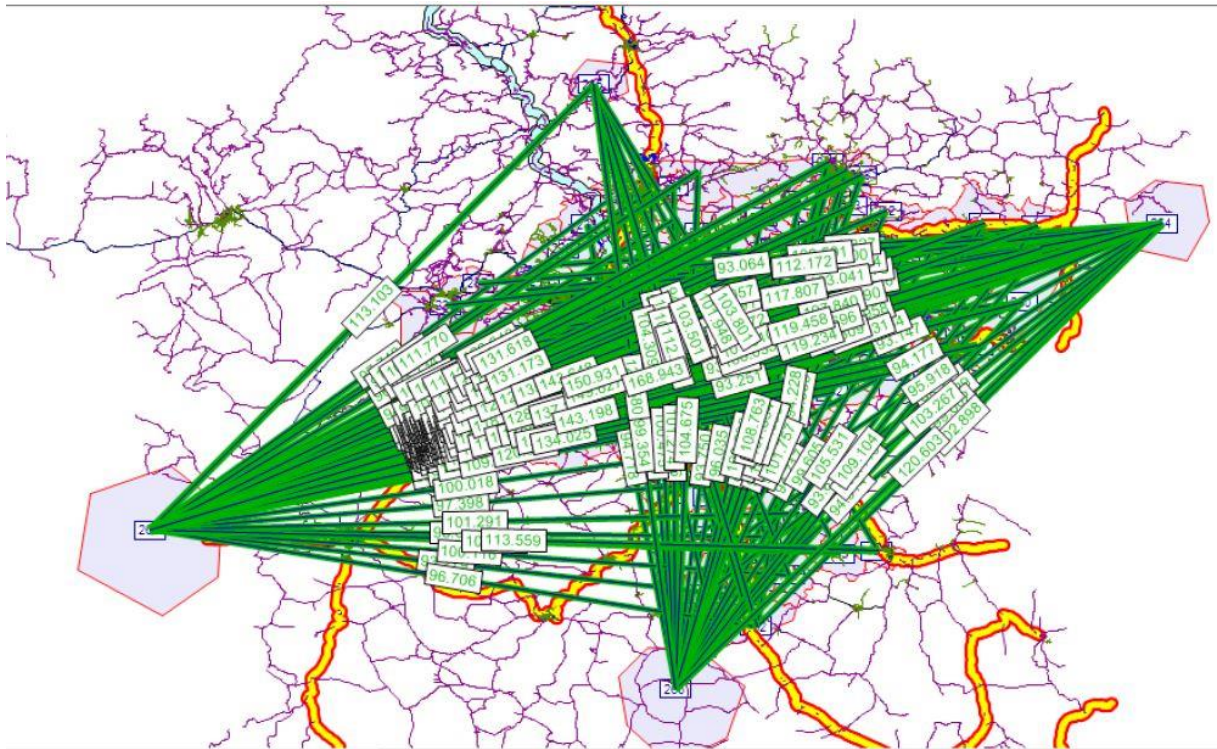
Harita 1.2. Yolculuk amaçlara göre ayrılmış üretim çekim matrisleri görüntüsü [19]

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Resim 1.2. Visum yazılımı yolculuk amacına göre üretim çekim matrisleri görüntüsü [19]

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Anketlerden gelen üretim ve çekim verileri, ilgili zonlara ait nüfus/örneklem oranında artırılarak, zonların ait üretim ve çekim değerleri tespit edilmiştir. Bunun yanında gelecekteki durumun tahmin edilebilmesi için eğitim durumu, hanehalkı geliri, öğrenci sayıları, zon nüfusu, ve ortalama yolcu-km değeri gibi parametreler yardımıyla zonların üretim-çekim değerleri modellenmiştir.



Şekil 1.1. Zonlar arası yolculuk üretim-çekimleri

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Çizelge 1.1. Zonlar arası yolculuk üretim-çekimleri [19].

	1130	1157	1167	1231	1260	1302	1427	1723	1744	1745	1745	1746	1747	1815	1872	1922	2034	3001	3002	3003	3004	Genel Toplam
1130	281.599,73	79,21	91,70	85.819,74	6.472,64	5.270,02	109,27	40.212,70	2.563,59	73.178,66	73.178,66	61.059,15	15.088,07	4.655,92	3.489,18	14.452,22	11.122,35	270,14	96,02	174,87	261,46	606.457,14
1157	110,22			516,16				508,51	0,00	905,32	905,32	100,41	1.791,22	88,27		306,97	124,02					4.460,10
1167	142,43			514,23	0,00			387,46	130,48	444,24	444,24	100,05	134,08			23,37						1.876,35
1231	86.283,34	546,74	528,58	868.246,77	4.337,51	3.621,73		176.535,14	24.877,69	14.554,12	14.554,12	128.796,78	45.331,68	2.814,05	2.887,10	80.041,55	9.731,26	808,13	215,27	338,26	756,11	1.583.107,19
1260	7.029,41	37,53	0,00	4.409,41	53.208,07	75,65		2.302,05	188,43	3.229,56	3.229,56	1.865,46	869,10	207,63	3.108,50	775,28	2.679,12	37,53	65,84		148,18	80.311,82
1302	5.666,71			3.280,00	75,65	28.154,99		1.210,03	174,72	15.76,92	15.76,92	4.588,31	648,85	24,43	73,83	224,77	120,80			55,98	112,70	45.988,68
1427	109,27							57,59		238,40	238,40		114,72	20,87	0,00	37,33						578,19
1723	40.614,23	482,65	420,24	176.740,26	2.188,59	1.518,36	57,59	538.484,79	8.415,01	76.391,55	76.391,55	30.228,21	36.209,91	37.811,56	3.161,78	56.213,05	4.568,53	508,32	143,63	496,48	891,84	982.352,43
1744	2.380,21	0,00	127,81	25.011,17	220,27	136,60		8.165,56	70.386,19	4.743,66	4.743,66	8.839,49	1.858,50	260,04	127,27	1.994,26	551,38	42,38	127,43	58,27	10,74	115.224,68
1745	73.503,92	793,18	444,24	145.311,00	3.348,58	1.289,60	238,40	76.866,95	5.024,54	500.019,03	500.019,03	24.833,39	10.333,67	1.883,55	2.655,52	10.683,84	10.022,24	491,57	81,19	262,83	1061,81	869.574,74
1746	61.754,26	32,25	102,73	129.615,63	2.185,73	4.652,10		30.504,20	8.592,33	24.423,67	24.423,67	295.789,39	13.248,89	1.257,21	1.887,47	6.190,05	2.204,21	405,93	80,63	121,66	896,95	584.687,57
1747	14.797,02	1.865,69	134,08	46.246,21	816,22	648,85	114,72	35.966,26	2.054,65	9.726,82	9.726,82	13.702,97	343.954,85	4.698,79	1.552,94	42.800,15	1.551,61	197,37	157,59	129,58	661,87	522.687,72
1815	4.737,47	88,27		2.791,29	207,63	24,43	20,87	3.823,67	260,04	1.917,92	1.917,92	1.253,26	4.620,63	35.763,56	0,00	5.648,08	831,59					62.041,60
1872	3.560,29			2.842,45	2.958,39	55,98	0,00	3.021,79	69,01	2.650,86	2.650,86	1.972,91	1.472,46	0,00	12.397,17	2.185,48	1.824,85	143,32		0,00		35.207,47
1922	13.688,13	349,89	23,37	79.763,94	775,28	171,32	90,78	56.582,36	2.060,42	9.896,98	9.896,98	6.388,24	43.236,47	5.447,80	2.545,42	255.362,56	1.240,73	293,66	0,00	335,60	241,55	478.776,40
2034	11.334,49	124,02		9.647,89	2.601,83	162,14		4.460,27	520,64	10.155,04	10.155,04	2.127,60	1.509,57	828,80	1.866,19	1.207,42	80.172,11	165,36	41,34	183,86	206,70	127.521,99
3001	215,07			772,96	37,53			688,26		462,08	462,08	356,21	506,90		143,32	290,62	165,36					3.638,31
3002	149,49			511,40	65,84			161,16	429,75	81,19	81,19	37,08	160,89			0,00	41,34		18,22			1.656,36
3003	148,77			134,07		55,98		627,86	58,27	291,09	291,09	168,50	196,29			322,69	165,36					2.168,88
3004	332,42			875,74	89,00	112,70		1.139,21		763,80	763,80	953,90	788,79		0,00	99,59	248,05				42,38	5.445,58
Genel Toplam	608.533,53	4.399,44	1.872,74	1.583.940,61	79.663,83	45.950,43	631,64	982.538,56	122.874,49	867.063,77	867.063,77	583.811,66	53.090,45	61.765,37	35.948,23	479.174,51	127.571,62	3.423,73	1.027,15	2.857,37	5.202,30	6.128.941,09

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Yolculuk Dağıtım Modeli

PTV Visum 64 Bit 12.52-07 - Network: A1AP_260ask_Telimver - [Matrix editor (Matrix 18 TTC (C Car))]

File Edit View Lists Filters Calculate Graphics Network Demand Extras Scripts Window Help Matrix editor

Matrices

Matrix editor (Matrix 18) x

Matrix editor (Matrix 18 TTC (C Car))

266 x 266

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
	SINELIK	5443.61	5500.04	6008.06	5399.38	5517.97	5597.54	5510.63	5577.69	5556.86	5487.24	5403.78	5456.86	5517.54	5473.19	5836.92	5821.29	5478.53	5495.61	5741.52	5500.78	5523.19		
1	BASMEVLERİ	7554.02	0.00	1.76	5.82	2.51	2.55	4.09	4.11	4.89	5.61	5.48	5.16	2.41	3.84	4.66	5.53	4.66	4.13	4.76	5.52	5.55	5.74	
2	GULHANE	7363.77	2.13	0.00	5.27	3.06	4.00	3.58	4.57	5.53	6.25	6.11	5.39	2.64	4.08	5.09	5.63	6.96	5.08	6.05	7.80	6.31	6.38	
3	ETLIK	7743.23	5.13	4.77	0.00	4.01	5.56	6.46	5.02	6.48	7.20	6.80	5.36	3.08	4.00	4.57	4.92	9.97	9.10	7.35	7.13	8.88	7.26	7.33
4	CEKELI	7442.23	2.35	3.81	6.62	1.72	0.00	2.23	3.28	3.95	4.33	4.41	2.63	3.67	4.81	6.75	7.39	6.02	3.13	2.90	4.65	3.69	4.08	
5	TEPEBAŞI	7948.18	2.50	3.81	6.62	1.72	0.00	2.23	3.28	3.95	4.33	4.41	2.63	3.67	4.81	6.75	7.39	6.02	3.13	2.90	4.65	3.69	4.08	
6	SENLİK	8945.42	9.16	10.47	12.97	7.68	7.60	0.00	7.82	7.80	7.82	8.31	8.55	8.77	9.14	9.78	12.89	13.33	11.61	7.49	6.66	8.41	7.34	7.41
7	KUSÇAGIZ	7823.36	4.96	6.17	7.28	2.79	4.51	4.04	0.00	2.76	3.99	3.34	2.80	3.45	2.90	3.58	6.72	10.38	9.14	5.21	4.71	5.79	4.11	4.18
8	PINARBAŞI	7609.41	4.54	5.85	7.60	2.55	3.47	2.68	1.81	0.00	1.83	1.98	2.12	3.66	3.14	3.77	6.91	9.50	7.78	3.85	2.98	3.99	2.31	2.32
9	UYANIS	7625.45	5.43	6.74	8.83	3.53	4.10	3.30	3.24	1.90	0.00	1.44	2.57	4.65	4.41	5.04	9.48	7.76	3.63	2.51	3.51	1.83	1.25	1.55
10	UFUKTEPE	7609.69	5.43	6.74	8.12	3.44	4.05	4.06	2.70	2.21	1.58	0.00	1.81	4.55	3.64	4.27	6.71	10.85	9.13	5.00	3.89	4.89	3.21	2.53
11	ATAPARK	7605.76	4.87	5.80	6.48	2.98	4.53	3.93	1.94	2.19	2.56	1.60	0.00	3.08	2.00	2.63	5.59	10.29	9.04	5.10	4.49	5.49	3.82	3.62
12	INCIRLI	7394.88	2.57	2.91	4.30	1.04	2.58	3.48	2.10	3.51	4.23	4.09	2.53	0.00	1.61	2.75	4.23	7.41	6.54	4.38	4.15	5.50	4.29	4.36
13	ESERTEPE	7483.54	4.04	4.60	5.14	2.36	3.90	4.51	1.87	3.23	4.42	4.36	2.02	1.89	0.00	1.28	4.42	9.11	8.24	5.68	5.18	6.26	4.59	4.66
14	YAYLA	7954.32	6.88	7.40	7.19	5.21	6.75	6.70	4.17	5.42	6.60	5.65	4.21	4.74	2.98	0.00	4.82	11.96	11.09	7.87	7.37	8.45	6.77	6.85
15	SEHIT KUBILAY	7352.83	6.01	5.79	5.42	4.68	6.23	7.13	5.10	6.35	7.17	6.21	5.14	3.75	3.76	2.45	0.00	10.85	9.88	8.02	7.80	9.39	7.71	7.78
16	AYDINLIKMEVLER	7067.64	4.14	4.39	8.90	5.47	4.99	5.39	6.84	6.69	6.47	7.49	7.93	5.49	6.93	8.07	9.30	0.00	3.64	3.46	4.62	5.25	5.41	5.92
17	SUBAYEVLERI	7227.67	3.11	3.37	7.88	4.44	3.96	4.59	6.03	5.88	5.71	6.73	7.13	4.47	5.91	7.05	8.31	3.37	0.00	2.96	4.15	5.43	4.94	5.45
18	HASKOY	7675.33	4.60	5.51	8.93	3.90	3.60	2.93	4.95	4.23	3.99	5.01	5.68	4.81	5.95	6.90	8.93	6.48	4.76	0.00	2.15	3.43	2.93	3.44
19	BAĞLARBAŞI	7594.93	5.05	6.23	8.85	3.62	3.48	2.47	3.97	3.04	2.53	3.74	4.41	4.70	5.28	5.92	8.82	7.96	6.23	2.41	0.00	1.88	1.29	1.86
20	AKTEPE	7908.45	7.37	8.29	11.18	5.87	5.96	4.95	5.59	4.61	4.10	5.31	5.98	6.99	6.92	7.55	10.69	9.16	7.54	3.97	2.62	0.00	2.45	3.11
21	ADNAN MENDERES	7985.74	5.65	6.96	9.05	3.75	4.31	3.37	3.47	2.48	1.98	3.18	3.85	4.86	4.79	5.42	8.96	8.85	7.14	3.32	1.45	1.96	0.00	1.01
22	KOSK	7610.00	5.67	6.96	9.07	3.77	4.34	3.49	2.48	1.93	3.18	3.85	4.86	4.79	5.42	8.96	8.85	7.14	3.32	1.45	1.96	0.00	1.01	
23	OYACIK	7765.10	8.38	9.69	10.85	6.39	7.80	7.01	5.65	5.26	4.47	3.58	4.49	7.45	6.37	7.00	8.36	13.52	11.98	7.85	6.66	7.35	5.77	4.98
24	YUKSELTEPE	7497.55	7.80	7.62	7.21	6.48	8.02	8.12	5.59	6.65	6.68	5.72	4.89	5.54	4.44	3.45	2.59	12.64	11.78	9.29	8.79	9.88	8.20	7.74
25	CIĞDEMTEPE	7551.10	8.69	8.47	8.10	7.36	8.91	9.67	7.14	8.39	8.53	7.57	6.56	6.43	5.86	4.54	3.00	13.53	12.66	10.70	10.34	11.43	9.75	9.59
26	ALINPARK	7115.81	4.80	5.06	9.32	4.33	3.98	4.20	5.64	5.50	5.28	6.28	7.43	9.37	9.37	1.86	4.00	2.26	3.43	4.06	4.22	4.73	4.73	4.73
27	DOĞU	7359.45	6.02	6.93	10.35	5.27	5.02	4.12	6.14	5.39	5.12	6.18	6.85	6.28	7.33	8.09	10.40	4.39	5.04	2.62	3.06	3.46	3.76	4.42
28	YEŞİLOZ	7530.40	5.45	6.37	9.78	4.70	4.45	3.55	5.07	4.08	3.58	4.78	5.65	5.77	6.39	7.03	9.90	5.94	5.33	2.05	1.92	1.73	2.03	2.69
29	ULUBEY	7154.45	6.13	6.38	10.63	5.64	5.29	5.51	6.95	6.81	6.59	7.60	8.05	6.55	7.59	8.74	10.67	2.86	5.31	3.57	4.74	5.52	5.52	6.03
30	GÜNEŞEVLER	7271.71	5.72	6.64	10.05	5.07	4.72	4.94	6.38	6.23	6.01	7.03	7.48	5.98	7.02	8.16	10.10	3.21	4.74	3.00	4.17	4.65	4.95	5.46
31	UNIVERSİTELER	7929.35	16.33	15.90	18.82	17.82	17.79	19.23	18.33	20.24	20.35	20.87	20.15	17.40	18.83	18.63	17.11	17.72	17.29	17.97	18.91	20.48	19.69	20.20
32	MUSTAFA KEMAL	7628.83	14.07	13.65	16.56	15.56	15.53	16.97	17.07	17.98	18.09	18.61	17.90	15.14	16.58	16.37	14.90	15.46	15.04	15.72	16.85	18.22	17.43	17.94
33	SOGUTOZU	6897.26	10.01	9.59	12.50	11.50	11.48	12.91	13.01	13.92	14.03	14.55	13.84	11.08	12.52	12.42	10.90	11.40	10.98	11.66	12.59	14.16	13.38	13.88
34	TEKNİKOKULLAR	6779.78	7.20	6.78	9.69	8.69	8.66	10.10	10.20	11.11	11.22	11.74	11.02	8.27	9.70	9.85	9.09	8.59	8.16	8.84	9.78	11.35	10.56	11.07
35	ENEK	6864.15	8.34	7.91	10.83	9.83	9.79	11.09	11.34	12.24	12.22	12.88	12.16	9.41	10.84	10.98	10.23	9.50	9.16	9.84	10.77	12.34	11.56	12.07
36	BAĞÇELEMLER	6592.05	7.23	6.81	9.72	8.72	8.26	9.56	10.23	10.71	10.68	11.36	11.06	8.30	9.74	9.88	9.13	7.97	7.63	8.31	9.24	10.81	10.03	10.54
37	YÜCETEPE	7097.19	8.91	8.61	11.93	10.24	9.76	11.06	11.84	12.21	12.18	12.86	12.86	10.11	11.54	12.88	11.33	9.47	9.13	9.81	10.74	12.31	11.53	12.04
38	BAKANLIKAR	7019.08	10.07	9.78	13.13	11.40	10.92	12.22	13.04	13.37	13.34	14.02	14.03	11.28	12.71	13.44	12.69	9.96	9.73	10.97	11.90	12.91	12.69	13.20
39	ÇUKURIMBAR	7438.90	10.23	9.81	12.72	11.72	11.69	13.13	13.23	14.14	14.25	14.77	14.05	11.30	12.74	12.88	12.13	11.62	11.19	11.87	12.81	14.38	13.59	14.10
40	ÇİĞDEM	7436.90	12.67	12.25	15.16	14.16	14.13	15.57	15.67	16.98	16.69	17.21	16.49	13.74	15.18	15.32	14.57	14.06	13.64	14.32	15.25	16.82	16.03	16.54
41	KEKİL PINARI	12605.69	33.24	32.81	35.73	34.73	34.70	36.24	37.16	36.24	37.16	38.70	37.78	37.06	34.31	35.88	35.13	34.62	34.20	34.88	38.82	37.39	36.60	37.11
42	BALĞAT	6846.61	9.40	8.98	11.89	10.89	10.86	12.16	12.40	13.30	13.28	13.94	13.23	10.47	11.91	12.05	11.30	10.56	10.22	10.90	11.84	13.41	12.62	13.13
43	GAZI	6820.00	8.60	8.18	8.85	9.12	10.07	11.51	9.61	10.96	11.16	11.20	9.77	8.21	8.38	8.17	6.65	10.94	10.52	11.20	12.13	13.70	12.33	12.40
44	CAMLIÇA	7002.06	8.34	7.92	8.43	8.72	9.80	11.17	9.19	10.56	11.14	10.78	9.95	7.79	7.96	7.75	6.23	12.33	11.46	11.37	11.84	13.59	11.91	11.98
45	MACUN	7504.84	11.56	11.13	11.42	11.72	13.02	14.16	12.18	13.55	14.11	13.22	12.34	10.78	10.66	9.88	7.82	15.55	14.68	14.59	14.83	16.98	14.90	14.62
46	OSTİM	7458.85	11.22	10.69	10.58	10.50	12.04	12.94	10.91	11.62	11.58	10.68	9.97	9.96	9.57	8.26	6.20	15.99	15.12	13.84	13.61	14.45	12.88	12.09
47	TURGUTÖZAL	8210.97	15.87	16.14	15.80	14.08	15.62	15.02	13.05	13.28	13.23	12.34	11.62	13.73	12.22	12.17	11.13	20.95	20.08	16.19	15.42	16.10	14.53	13.74
48	ÇAKIRLAR ÖRTLİĞİ	9674.07	22.71	23.28	22.98	20.92	22.46	21.85	19.89	20.11	20.07	19.37	18.46	20.57	19.06	19.00	17.97	27.79	26.92	23.03	22.26	22.94	21.36	20.58
49	KARDELEN	7879.10	14.81	14.29	13.95	13.62	15.17	15.74	13.77	14.00	13.95	13.06	12.65	12.69	11.38	9.32	19.55	18.69	16.91	16.1				

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Resim 1.3.'de gösterilmiş olan sürtünme matrisleri, maliyet matrisleri (skimming matrices) fayda (utility, negatif değerli) ya da ters fayda (disutility) matrisleri olarak da tanımlanmaktadır.

Toplu taşıma ve özel otomobil fayda maliyeti hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmıştır [16]:

$$U_c = \sum_L C_{KM} \cdot L + C_T \sum_t t + \sum_{Gecis U_i} \ddot{U}cret + Otopark \quad (3.1.)$$

$$U_{TT} = \sum_{Hat} Bilet \ddot{U}creti + C_T \sum_t (t_{acc} + 2t_w + t_{ivt} + t_{egv}) + Konforsuzluk TL \quad (3.2.)$$

Ağın modellenmesi

Çizelge 1.3. Model atama yöntemleri

Kapasite Sınırsız		Kapasite Sınırlı
Deterministik	Ya Hep Ya Hiç Ataması	Kullanıcı Dengesi Ataması
Olasılıksal	Stokastik Atama	Stokastik Kullanıcı Dengesi Ataması

Türel dağılımdakine benzer fonksiyonlar kullanılmıştır. Yol seçiminde sabitler tür içinde aynı olduğundan dikkate alınmamıştır:

$$U_{TT} = K_{TL/dk} [a_1 \sum_{i \in Hat Linkler} t_{Araçici(i)} + a_2 \sum_{i \in Yürüme Linkler} t_{Yürüme(i)} + a_3 t_{ilkbekleme} + a_4 \sum_{i \in Aktarma} t_{Bekleme/transfer(i)}] + \sum_{i \in Kulhatlar} F_{(i)}$$

$$U_{OTO} = \sum_{i \in Yol Linkler} (K_{Yakut/Km} L_{(i)} + K_{TL/dk} t_{araçici(i)})$$

Ya hep ya hiç ataması

Genellikle raylı sistem akslarının belirlenmesinde kullanılan bu atama algoritmasında kapasite limitleri önemsenmemektedir. Stratejik olarak talep yolları üzerinde hangi aksların olduğunu belirginleştirerek oluşturmakta olan bu atamada yolcular en kısa mesafe veya süreli yollar üzerine atanmaktadır.

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Stokastik atama

Özellikle toplu taşıma atamasında kullanılmaktadır. Ya hep ya hiç atamasının aksine stokastik atamada kapasite sınırlarını dikkat alınmaktadır. Toplu taşıma atamasında kullanılan stokastik atama, araç içi sıkışıklığı ve yolculuk sürelerini maliyetlendiren bir atama algoritmasıdır. “Ya hep ya hiç” atamasının akslarının çevresinde paralel akslara yayılan akımların atandığı bir ağı sonuçlarında görülebilir. Bu modelde beta katsayısının -1 olarak alındığı Logit fonksiyonu, teorik olarak arka planda değişik akslarda değişik rotalarla yapılan yol tercihlerini olasılıklandırarak akslara göre kullanım oranlarının dağıtımını belirlemektedir.

Kullanıcı dengesi ataması

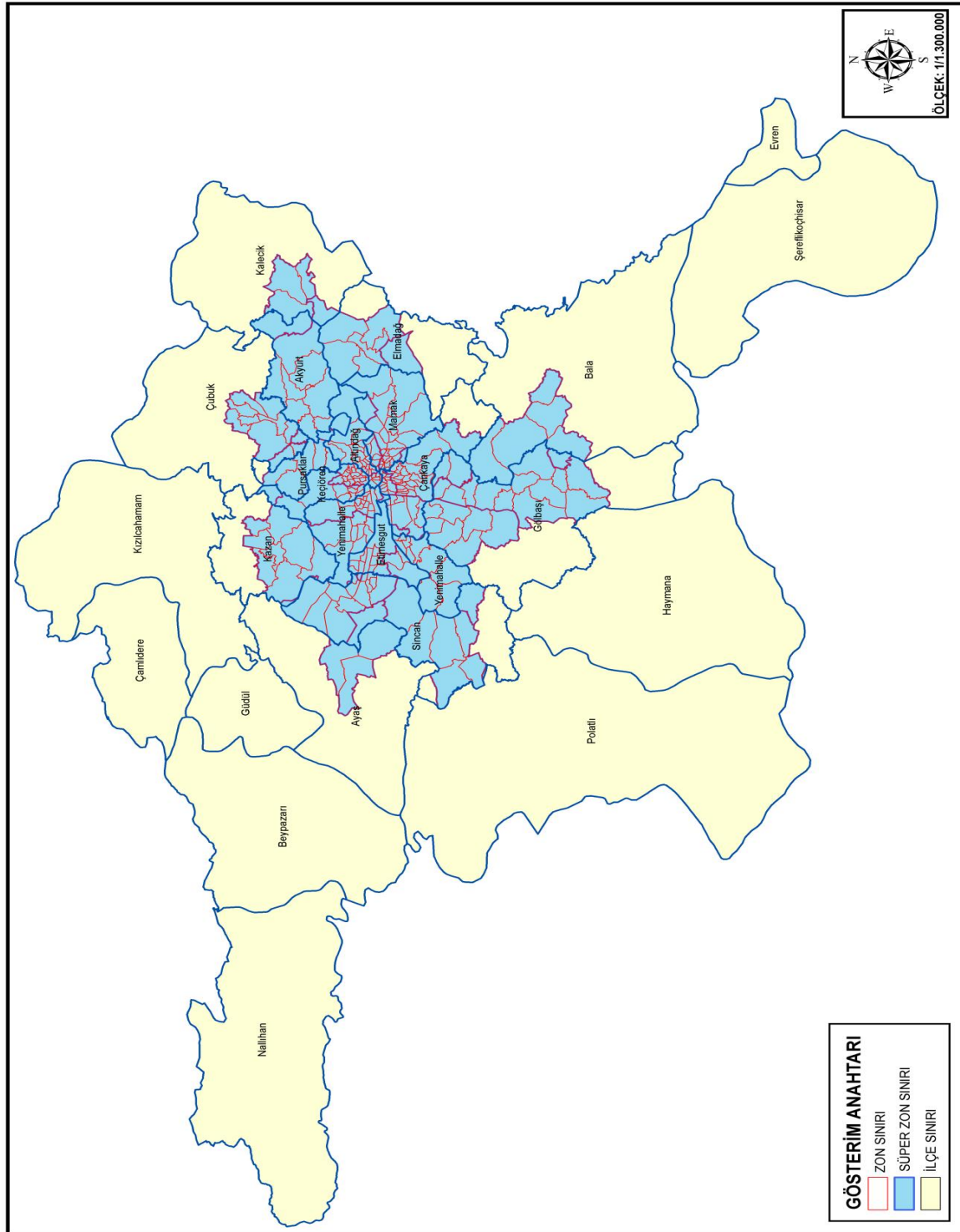
Özel araç atamalarında en yaygın kullanılan yöntem olan Kullanıcı Dengesi Atamasında, Wardrop (1952)’un 1. prensibine göre kullanıcılar, kullanıcı maliyeti en düşük olan yolları seçerler. Wardrop (1952)’a göre bu durum “özel araçlar tercih ettikleri yol seçimlerinin yolculuk maliyetleri, kullanılmayan güzergahlara göre eşit ve daha küçüktür” şeklinde ifade edilmektedir. Özel araç atamasında kullanılan yolların zamansal maliyetleri, BPR yada benzeri gecikme fonksiyonu kullanılarak hacim/kapasite oranında arttırılmaktadır. Bu şekilde ilk başlarda elverişli görülmeyen, diğer yolların maliyetlerin artmasıyla birlikte seçilmeyen yollar verimli hale gelerek kullanılabilir.

Zonların oluşturulması

Modele girdi olacak verilerinin toplanması, değerlendirilmesi amacıyla Ankara kentinin anlamlı coğrafi birimlere bölünmesi gerektiğinden, çalışma alanı, yolculuk üreten ya da çeken birer coğrafi planlama bölgeleri olarak belirlenen 266 adet Trafik Analiz Zonuna (TAZ) ayrılmıştır. Üst bölgelerden oluşan süperzonlar model uygulamasında kullanılmamış olup, Modelin işletimi bu zonlar üzerinden yapılmıştır. Mahallerin konumu, yol ağı ile ilişkisi, nüfus yoğunluğu, kentteki yolculukların başlangıç, bitiş verileri ile kentin demografik ve sosyo-ekonomik özellikleri açısından benzer nitelikte olan mahalleler birleştirilerek, ulaşım modellemesinde kullanılacak TAZ sınırları belirlenmiştir.

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Buna göre, çalışma kapsamında olan 699 mahalleden seçilen 613 mahalle 258 TAZ olarak sınıflanmıştır. Bu 258 trafik analiz zonunun her biri genellikle bir, iki ya da üç mahalleden oluşmaktadır [19].



Harita 1.2. İlçe süperzon taz mahalle sınırları [19]

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Toplu taşıma modeli

Bu modelde Ankara toplu taşıma şebekesine ait araç türleri; EGO otobüsleri, Özel Halk Otobüsleri, Midibüsler, Minibüsler, Metro, Hafif Metro ve Banliyö olarak oluşturulmuştur. Bu şekilde toplu taşıma şebekesi belirlenmiş zonlar arasında yaygın olarak oluşturulmuştur. Duraklarda bekleme süresi (dwell time), kapasite, ücret ve sefer araları (headway) değerleri hat bazında girilmiştir. Aktarma noktalarında yürüme süreleri girilerek hatlar arası transfer süreleri belirlenmiştir. Bunlar Ulaşım modelleme programına aktarılarak (Resim 6.6), toplu taşıma işletme süreleri olarak modele girmiştir [19].

Count	LineName	Name	DirectionCode	Length	Link Run Time	NumServiceTripsUncoupled(AH)
1	0-A	DENİZCİLER-MAMAK-KAYAŞ-ZERDALİTEPE	>	28.540km	23min 33s	
2	0-B	ULUS-ABDİNPASA-EĞE	>	22.044km	16min 54s	
3	0-C	ULUS-06-İNÖNÜ	>	33.809km	26min 23s	
4	1-A	AYVALI-Ş.KUBILAY, KURTINI	>	27.998km	21min 27s	
5	1-B	ESERTEPE	>	17.587km	13min 31s	
6	1-C	ESERTEPE-AŞAĞI EĞLENCE-KAZIM KARABEKİR-SİHHİYE	>	23.809km	18min 20s	
7	1-D	ETLİK-YAYLA	>	27.749km	21min 24s	
8	1-E	ETLİK-YAYLA-SİHHİYE	>	33.815km	26min 8s	
9	1-F	KARDEŞLER KOOP.	>	22.253km	17min 13s	
10	1-G	KARDEŞLER KOOP.	>	15.941km	12min 24s	
11	1-H	KURTINI- AYVALI	>	16.987km	13min 4s	
12	1-J	OVACIK-AŞAĞI EĞLENCE-KAZIM KARABEKİR-SİHHİYE	>	28.153km	21min 46s	
13	1-I	OVACIK	>	22.087km	17min 2s	
14	10-A	BENTDERESİ-DEREBOYU	>	18.268km	15min	
15	10-B	BENTDERESİ-KARŞIYAKA	>	17.305km	12min 43s	
16	10-C	DENİZCİLER-SAMANPAZARI-KARŞIYAKA	>	16.690km	12min 10s	
17	10-D	SİHHİYE-SAMANPAZARI-DIKIMEVİ-AKDERE	>	27.021km	20min 44s	
18	104	GOLBAŞI-AKÖPRÜ	>	46.117km	34min 39s	
19	105	GOLBAŞI-AŞTI (ESKPRE	>	38.988km	28min 32s	
20	108	GOLBAŞI-HAYMANA YOL	>	45.179km	34min 33s	
21	108	GÜVENPARK - BİLKENT	>	38.887km	36min	
22	11-A	2. CAD.	>	29.987km	23min 54s	
23	11-B	4. CAD.	>	29.677km	23min 34s	
24	11-C	8. CAD.-YENİYOL	>	27.202km	20min 14s	
25	11-D	BENTDERESİ-OTOBAN-ORTAKÖY	>	32.512km	25min 31s	
26	11-E	BOĞAZIÇI	>	22.701km	18min	
27	11-F	BOĞAZIÇI-SİTELER	>	13.672km	11min 26s	
28	11-G	DENİZCİLER-KIBRIS KOYU	>	38.282km	30min 18s	
29	11-H	DENİZCİLER-TEPECİK-KÖSTENCE	>	23.441km	17min 10s	
30	11-I	DENİZCİLER-YEŞİLBAYIR	>	29.087km	23min 21s	
31	11-K	DENİZCİLER-ZERDALİTEPE	>	28.555km	23min 22s	
32	11-L	DENİZCİLER-ŞAHAPGÖRLER	>	30.085km	26min 38s	
33	11-M	KAYAŞ-SİTELER	>	20.090km	17min 18s	
34	11-N	KUTLUDÜĞÜN-OTOBAN	>	41.288km	36min 17s	
35	11-O	TÜRBE-ESKİYOL	>	26.744km	19min 54s	
36	11-P	TÜRBE-ESKİYOL	>	34.012km	25min 45s	
37	11-R	ZERDALİTEPE-SİHHİYE	>	30.777km	24min 58s	
38	11-I	DENİZCİLER-TEPECİK-ÇOBANÇEŞME	>	22.971km	17min 11s	
39	112	KIZILAY-GAZİOSMANPA	>	11.717km	9min 44s	
40	113	OPERA-BİRLİK MAH.	>	20.157km	15min 13s	
41	114	KIRKKONAKLAR-ULUS	>	25.368km	21min 4s	
42	114-3	KIRKKONAKLAR-ŞENYU	>	41.160km	33min 25s	
43	115	OPERA-BİRLİK MAHALLE	>	19.045km	14min 19s	
44	117	ODTU-DİKMEN_G	>	12.798km	10min 40s	
45	118	TÜRKKONUT	>	58.191km	48min 52s	
46	119	KONUTKENT - KIZILAY	>	49.169km	40min 25s	
47	12-A	ALTIŞEVLER	>	12.635km	9min 19s	
48	12-B	BAHÇELER ÜSTÜ-TOKİ	>	12.527km	9min 38s	
49	12-C	KARAPÜRÇEK	>	30.757km	22min 59s	
50	12-D	KARAPÜRÇEK-ESKİYOL	>	38.378km	29min 5s	
51	12-E	SİTELER-SİHHİYE-KARAPÜRÇEK	>	35.021km	26min 17s	
52	12-F	SİTELER-SİHHİYE-TÜRBE YOLU	>	30.997km	23min 11s	
53	12-G	SİTELER-SİHHİYE-YENİYOL-8. CAD.	>	31.770km	23min 59s	

Resim 1.3. İşletme süreleri (ulaşım modelleme görüntüsü) [19]

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Ulaşım sistemi temelli atama

Taşıma arzının modellenmesi, yalnızca belirli bir çalışma sistematığına sahip temel bir ağın güzergahını göz önünde bulundurur. Temel ağ aşağıdaki bağlantı gruplarını kavrayabilir:

- Bağlantı ağının tüm karayolu ve demiryolu bağlantıları,
- Yalnızca toplu taşımanın kullandığı bağlantılar
- Yalnızca çalışmakta olan toplu taşıma tarafından kullanılan bağlantılar

Bu temel ağın bağlantılarından optimum yol aranması için temel olan bir grafik oluşturulur. Tek tek hatlar ayırt edilmediğinden, ilgili aktarma süreleriyle aktama durakları aramaya dahil edilemez.

Bununla birlikte, farklı ulaşım sistemleri arasındaki geçiş sürelerini dahil etmek mümkündür (örneğin, otobüs ve tren arasındaki ulaşım sistemi değişikliklerinde transfer süre kayıpları).

Taşıma sistemi bazlı atama, bir toplu taşıma sistemi için kullanılabilen bağlantılar ve dönüşlerin yanı sıra, toplu taşıma için bir başlangıç bağlantısı ve bir varış noktası bağlantısından oluşan her bir başlangıç bölgesi ve varış bölgesi çifti için tam bir rota hesaplar. Transferler, rota aramasında zaman kaybı şeklinde sayılan taşıma sistemi değişmesidir [7]:

- Bağlantılar için, t-PuTSys kabul edilir
- Bir taşıma sistemi değişikliği sadece seçilen düğümlerde gerçekleşebilir.
- Bir taşıma sistemi değişikliğinin gerekli olduğu düğümlerde, transfer süresi kaybına TP atanır.
- $TP = \text{düşüme özgü zaman kaybı} + \text{transfer başına kayıp}$
- Bağlantılar arasında toplu taşıma sistemi için bir dönüşe izin verilmeyen düğümlerde, yasaklanmış dönüşleri dikkate al seçeneği etkinse, TP zaman kaybına eklenir.

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Ulaştırma sistemi bazlı atamaların değerlendirilmesi

Taşıma sistemi bazlı atama aşağıdaki özellikler ile tanımlanır [7]:

- Zaman çizelgesi (servis frekansı, transfer bekleme süreleri) dikkate alınmaz.
- Bir taşıma sistemi içinde sık transferlerden kaynaklanan gerçekçi olmayan rota seçimi.
- Paralel çalışan ancak farklı çalışma sürelerine (örneğin otobüs 1 ve otobüs 2) sahip olan aynı taşıma sisteminin hatları yalnızca ortalama bir çalışma süresi ile gösterilebilir.
- Toplu taşıma hatlarının kısa seferleri varsa yolculuk süresi veya sürüş süresi tahmin edilebilir.
- Transfer sayısı, transfer bekleme süresi ve servis sıklığı hesaplanamıyor.

Yeni bir toplu taşıma hattı ağının ilk taslağı için taşıma sistemlerine dayalı atama prosedürü önerilir. Prosedür, seyahat talebi ile yüklenen en kısa rotaları (gerekli minimum süre) hesaplar. Elde edilen hacim akışları, yolcuların "istenen hat ağını" temsil eder. Zaman çizelgesi bazlı atama ve sefer bazlı atamadan kaynaklanan hacimler, taşıma sistemi bazlı atama tarafından hesaplanan sonuçlardan önemli ölçüde farklı olacaktır. Hiçbir koşul altında ne zaman çizelgesi bazlı ne de sefer bazlı bir hesaplamanın taşıma sistemi bazlı prosedürle değiştirilmesi gerekmemektedir [7].

Sefer aralığı bazlı atama

Sefer bazlı atama prosedüründe her bir hat, hattın güzergahı, hattın durakları arasındaki çalışma zamanları ve toplam yol mesafesi ile açıklanır. Aslında, bu bilgiyi içeren zaman profilidir ve sefer bazlı prosedür bu model düzeyinde çalışır. İlerleyen bölümlerde, term line kolaylık sağlaması açısından kullanılmıştır. Bu, bireysel araç yolculuklarının zaman çizelgesinin dikkate alınmadığını vurgulamaktadır. Transfer bekleme süreleri genellikle evrensel olarak kabul edilir; bu, farklı hatların kalkışlarının birbirinden bağımsız olduğu anlamına gelir. Genel bir standart olarak, bir zaman çizelgesi koordinasyonu dikkate alınmaz [7].

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Sefer bazlı atama prosedürü, üç çalıştırma adımı içerir;

1. Sefer hesaplama
2. Güzergâh arama ve güzergah seçimi
3. Rota yükleme

Arama ve seçim kombinasyonunda, sefer bazlı prosedür zaman çizelgesi bazlı atamadan farklıdır. Bu ikinci adımda, iki trafik bölgesi arasındaki olası yollar tespit edilir ve aynı anda aralarında bir dağılım belirlenir. Yollar bağlantıları temsil etmez, ancak hesaplama zaman ekseninde yapılmadığından rotaları sadece seyahat zamanları ve seferleri ile ilgilidir. Üçüncü adımda, aramada bulunan yollar talep matrisinden gelen talep ile yüklenir ve (eğer istenirse) bellekte saklanır [7].

Sefer bazlı atamaların değerlendirilmesi

Sefer bazlı yöntem, aşağıdaki özelliklerle nitelendirilir [7]:

- Prosedür, zaman çizelgesine dayalı atamada olduğu gibi, sadece optimum rotaları değil, aynı zamanda yeterince iyi olanları da belirler. Ancak, transfer bekleme süresi burada sadece küresel olarak giriliyor.
- Zaman çizelgesinin koordinasyonu ancak koordinasyon açıkça modellenmişse dikkate alınır.
- Tüm hatların kısa seferleri varsa, transferlerin sayısı, yolculuk süresi ve sürüş süresi yeterli doğrulukla tahmin edilebilir.
- Çeşitli seçim modellerinin bant genişliği, prosedürü, analiz edilen ağda sağlanan mevcut yolcu bilgilerini tam olarak yansıtacak şekilde yapılandırabilmenin büyük avantajını sunar. Buna göre, yolcu bilgi sistemlerine yatırım yaparak elde edilebilecek faydaların bir tahminini yapmak için farklı modeller uygulanabilir.
- Zaman çizelgesi temelli yöntem ile karşılaştırıldığında, sefer temelli prosedür çoğu toplu taşıma ağı için hesaplama süresinde önemli bir azalma olduğunu gösterir. Birçok hattın sadece bir yolculuktan oluştuğu ağlarda, zaman tasarrufu düşüktür.

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

- Genel olarak karayoluna dayalı prosedür, zaman çizelgesinin koordinasyonunu dikkate almadığından, prosedür, özellikle mevcut durum henüz kesin tarifelerinin bulunmadığı senaryolarla karşılaştırılacaksa, kentsel alanlarda toplu taşıma planlaması için uygundur. Bu prosedür, kırsal alanlardaki toplu taşıma arz planlaması için veya uzun mesafeli taşımacılık için uygun değildir, çünkü bu durumlarda uzun mesafeler meydana gelir ve bağlantılar sağlamak temel bir planlama görevidir.
- Sefer bazlı prosedür kullanılarak, direnç hesaplamasında bilet ücretleri dikkate alınabilir. Bu amaçla, tam kapsamlı Visum ücret modeli sağlanır. Ücret modelinin karmaşıklığından dolayı, bir atamada ücretleri dikkate almak gerekli hesaplama süresini artırabilir. Daha az karmaşık ücret yapılarında, ücret noktalarını kullanan değişken tercih edilmelidir. Ücretin tüm yol için değil, bir atama sırasında yol başına hesaplandığını unutulmamalıdır.

Sefer aralığının hesaplanması

Bir hattın sefer aralığı üç farklı yolla tanımlanabilir [7]:

- Bir zaman profili özelliğinden (genellikle kullanıcı tanımlı),
- Zaman çizelgesine göre ortalama sefer aralığından,
- Zaman çizelgesine göre ortalama bekleme süresinden

Üç yöntemin her biri zaman aralığına göre ayrı ayrı uygulanabilir. Bu şekilde toplu taşıma arzı atama periyodu içinde değiştirilebilir, örneğin; sabah pik saat boyunca artan talep nedeniyle toplu taşıma arzı artabilir [7].

Zaman profili niteliğinden sefer aralığının hesaplanması

En basit durumda, doğrudan ilgili zaman profilinin bir öz niteliği olarak sefer aralığı girilir. Bir zaman çizelgesinin talimatları daha sonradan gerekli olmayabilir. Var olan zaman çizelgesi görmezden gelinir [7].

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Zaman çizelgesine göre ortalama sefer aralığından

Visum, zaman profilinin zaman çizelgesinden sefer aralığını kendiliğinden hesaplayabilir. Bu amaçla, kalkış sayısı n atama zaman aralığı içindeki her bir zaman aralığı için $I = [a, b)$ belirlenir. Sefer aralığı basit olarak sonuçlanır [7].

$$\tau^{a, b} = \frac{b - a}{n}$$

Kısa yollara ve yeterince geniş zaman aralıklarına sahip transit ağlarda, bu basitleştirilmiş yaklaşım kabul edilebilir. Bununla birlikte, genel olarak konuşursak, bu yaklaşım iki nedenden dolayı sorunludur [7].

Bir taraftan, tanımlama bireysel gidişlerin mesafe sınırları arasındaki yer değiştirmelerine karşı çok hassastır. Sonuçta bu devamsızlıklara sebep olur. Bir toplu taşıma hattının gerçek sefer aralığı, talep zaman aralığının uzunluğunu tam bölen değilse bu sorun her zaman ortaya çıkar. Örneğin, 40 dakikalık bir sürüş mesafesi ve zaman aralığı $I = [06:00 \text{ a.m.}, 07:00 \text{ a.m.})$ olan bir hat için, belirli kalkış saatleri için farklı yollar hesaplanır [7].

Çizelge 1.4. Zaman çizelgesine göre ortalama yoldan sefer aralığı hesaplamasına yönelik örnek

Kalkış Zamanı	Zaman Aralığındaki Yolculuk	Hesaplanan Sefer Süresi
05:55 a.m., 06:35 a.m., 07:15 a.m., ...	1	60 dk
06:05 a.m., 06:45 a.m., 07:25 a.m., ...	2	30 dk

Öte yandan, bu yaklaşım aşağıdaki gerçeği yansıtamaz: Rastgele gelen yolcu için zaman aralığı boyunca eşit bir şekilde yayılan yolculuklar, genellikle biriken yolculuklardan daha az bekleme süresi anlamına gelir. Dolayısıyla aşağıdaki üçüncü tanım, sefer tabanlı prosedür için varsayılan ayar olarak kullanılır [7].

Zaman çizelgesine göre ortalama bekleme süresinden

$[a, b)$ Zaman aralığında bir sonraki kalkış için hatta rastgele erişim durumunda hattın zaman aralığı $\tau^{a, b}$, beklenen bekleme süresinin iki katı olarak tanımlanır [7].

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

$F_l = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $l = [a, b)$ aralığında hattın kalkış zamanları kümesidir. b zamanından sonraki ilk ayrılma x' olarak gösterilir. Böyle bir ayrılışın olması gerekmediğinden veya daha sonra gerçekleşebileceğinden, ayrıca zaman çizelgesinin l 'deki periyodik devamından kaynaklanan sonuç da $x'' = x_1 + (b - a)$ 'da dikkate alınır [7].

Ardından, sefer aşağıdaki şekilde tanımlanır.

Burada geçerli olan; $\Delta_0 = (x_1 - a)^2$, $\Delta_i = (x_{i+1} - x_i)^2$ ve $\Delta_n = (x_{n+1} - x_n)^2 - (x_{n+1} - b)^2$ ve kalan $i \in \{1, \dots, n-1\}$. Δ_i her durumda bir alt aralıkta beklenen bekleme süresidir.

Şimdi örneğe tekrar bakılırsa 40 dakikalık aralık ve $l = [06:00, 07:00)$ aralığı ile, çok daha dengeli bir görüntü elde edilir.

Çizelge 1.5. Zaman çizelgesinden ort. bekleme süresinden sefer aralığı hesaplaması örnek [7]

Kalkış Zamanı	Zaman Aralığındaki Yolculuk	Hesaplanan Sefer Süresi
05:55 a.m., 06:35 a.m., 07:15 a.m., ...	1	43 dk 20 sn
06:05 a.m., 06:45 a.m., 07:25 a.m., ...	2	33 dk 20 sn

İlk satırdaki örneği kullanarak, hesaplama aşağıdaki gibi kısaca açıklanabilir. Bu durumda $n = 1$, $x_1 = 06:35$ a.m. ve $x_2 = 07:15$ a.m. geçerlidir.

Timetable-based assignment

Toplu taşıma hatlarının tüm hizmetleri kesin kalkış ve varış zamanları ile dikkate alındığında, zamana dayalı araştırma yöntemi olarak adlandırılır.

Bir hat ağı planı ve ayrıntılı bir zaman çizelgesi analiz edildiğinde Toplu taşıma arzı için mevcut olduğunda, sefer bazlı yöntemler, ödevler ve göstergelerin hesaplanması için uygundur. Zaman çizelgesinin koordinasyonunu hesaba katarlar ve böylece gösterge verisi hesaplamasının çok kesin sonuçlar almasını sağlarlar. Zaman çizelgesi bazlı yöntem, her bir OD çifti için bağlantıları hesaplar.

EK-1 (devam) Hazır yazılımlar: PTV-Visum

Aramada, yolcuların zaman çizelgesi bilgisine sahip olduğu ve ilk toplu taşıma hattındaki kalkışa göre erişim zamanlarını seçtikleri varsayılmaktadır. Arama sırasında kullanıcı, arama direnci aracılığıyla farklı şekillerde bulunan bağlantı türlerini etkileyebilir. Bağlantı araması için, bir yandan alternatiflerin sayısı ile diğer yandan hafıza ve hesaplama süresi gereklilikleri arasındaki farklı uyumsuzlukları temsil eden iki değişken sunulmaktadır. Bağlantıların ön elemesi sırasında, arama algoritması tarafından sağlanan bağlantılar, bazılarının önemli derecede düşük kalitede olup olmadıklarına ve dolayısıyla silinebileceklerine ilişkin genel kriterler ile yeniden analiz edilir. Seçim sırasında talep, yukarıda açıklanan modellerden birine dayanarak kalan alternatiflere dağıtılır. Gerekirse bağlantıların bağımsızlığı dikkate alınabilir [7].

Tarife bazlı atamaların değerlendirilmesi

Tarife bazlı atamalar aşağıdaki özelliklerle karakterize edilir [7]:

- Yöntem, Branch&Bound seçeneğini kullanarak, tüm analiz süresi boyunca uygun olan bütün bağlantıları hesaplar. Bu aynı zamanda kalkış zamanı için farklı empedanslara sahip birkaç bağlantının hesaplanmasını da içerir. Bir monokriter en kısa yol araması durumunda, her bir kalkış zamanı için sadece bir bağlantı hesaplanır, çünkü bu hafıza ve hesaplama zamanı gereksinimlerini azaltır. Araştırma, arama empedansı tanımından etkilenebilir.
- Branch&Bound araması, örneğin tüm gün veya birkaç saat gibi bir dönemin analizine uygundur. Belirli bir Saatte bir arama yaparken, en kısa yol araması önerilir.
- Güncel transfer bekleme süresi ve dolayısıyla zaman çizelgesinin koordinasyonu dikkate alınır.
- Analiz edilen zaman aralığındaki tüm göstergeler hesaplanabilir.
- Bağlantı seçimi için karar modeli, yolcuların gerçek karar davranışlarını gerçekçi bir şekilde modellemektedir. Çünkü bir yolcu genellikle toplu taşıma tedariki hakkında bazı bilgilere sahiptir (bağlantı araması) ve daha sonra sunulan bağlantılardan seçimini yapar (bağlantı tercihi).

EK-2. Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

I. Matematiksel programlama teknikleri

Optimizasyon probleminde kullanılan çözüm tekniklerinden olan Matematiksel programlama teknikleri, çok değişkenli fonksiyonların minimumunu verilen kısıtlar altında bulmada en yararlı yöntemlerdir. Çizelge 2.2.'de görüldüğü üzere Matematiksel Programlama Teknikleri başlığı altında optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan birçok teknik mevcuttur. Bunlardan bazıları ilerleyen bölümlerde incelenecektir.

Matematiksel programlama teknikleri, çok değişkenli fonksiyonların minimumunu verilen kısıtlar altında bulmada en yararlı yöntemlerdir. Yaygın matematiksel programlama tekniklerinden bazıları; klasik analiz, varyasyon hesaplamaları, doğrusal olmayan programlama, doğrusal programlama, kareli programlama, geometrik programlama, dinamik programlama, tamsayılı programlama, stokastik programlama, ayrılabilir programlama, network programlama, oyunlar teorisi, çok amaçlı programlama ve stokastik süreç teknikleridir.

a) Varyasyon hesaplamaları

İlk prensibi P.Fermat tarafından ortaya atılan optimizasyonun alt bir başlığı olan Varyasyon Hesabı, optimal kontrol sistemlerinde temeli oluşturmaktadır [25].

Varyasyonlar hesabında; bir ya da birden fazla değişkenlere bağlı olan fonksiyonların ekstremumu değerlerinin bulunduğu diferansiyel denklemleri hesabında, fonksiyonelleri ekstremum yapan fonksiyonlar bulunur.

1687 yılında Newton ve 1696 yılında Jacques ve Jean Bernoulli kardeşler, varyasyon hesabının ilk problemlerinden olan izoperimetri problemi ve Brachistochrone problemlerinin çözümü ile uğraşmışlardır. Daha sonra Euler (1707 – 1783) in bu konudaki esas çalışmaları ile varyasyon hesabı, kendine has inceleme metotları olan, matematiğin bağımsız bir çalışma alanı haline gelmiştir [26].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

b) Doğrusal olmayan programlama

Kısıtsız optimizasyon; $f(x)$ fonksiyonunda x ile ilgili herhangi bir kısıtlamanın bulunmaksızın optimizasyon probleminin maksimum veya minimum değerinin araştırılması ile uğraşır. Ceza fonksiyonları ve lagrange çarpanları gibi birçok optimizasyon algoritması sınırlı problemleri, sınırsız problemlere dönüştürerek çözer.

Bir diğer grup yöntemleri de belirli bir yön bulup, bu yön boyunca çözümler araştıran yöntemlerdir. Bu dizi araması değişkenler üzerinde minimum ve maksimum sınırların olduğu basit kısıtlı veya kısıtsız tek değişkenli bir fonksiyon uç noktasını bulmaya eşdeğerdir. Sonuç itibariyle kısıtsız optimizasyon yöntemlerinin birçoğu kısıtlı problemlerin çözümünde de etkili bir şekilde uygulanabilmektedir [25].

Optimizasyon problemlerin birçoğunda amaç fonksiyonu ve kısıtlar için doğrusallık varsayımı her zaman geçerli olmayabilir. Yani problemlerde amaç fonksiyonu ya da kısıtların herhangi biri doğrusal olmayabilir. Amaç fonksiyonu ya da kısıtları doğrusal olmayan bir fonksiyonda optimal değer belirlendiği problemlerinin çözüm tekniğine “Doğrusal Olmayan Programlama” adı verilir.

c) Doğrusal programlama

Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıları karar değişkenlerinin lineer fonksiyonu biçimindeki problemlerin çözümüyle uğraşan bir çözüm tekniğidir. Doğrusal Programlama çözüm teknikleri; Ulaşım Planlaması, Üretim Planlaması, Endüstriyel Planlama gibi birçok alanda etkin bir biçimde kullanılırlar [2].

Amaç fonksiyonu ile kısıtların doğrusal olduğu matematiksel bir çözüm olan doğrusal programlama problemleri en iyi (optimal) biçimde çözümün sağlanması problemi ile ilgilidir. Doğrusal programlama optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan olmaktadır [27].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Değişkenlere ve sınırlayıcılara bağlı kalarak amaç fonksiyonunu optimuma (maksimum veya minimum) ulaştırmaya çalışan doğrusal programlama, eldeki optimallik ölçütüne bağlı kalmak suretiyle sınırlı kaynakların en iyi şekilde dağıtımını sağlayan kesin(deterministe) matematiksel bir tekniktir [28].

Doğrusal programlama problemi genel olarak:

$$\text{En Uygun(Optimal)} \quad Z = \sum_{j=1}^n C_j x_j, \quad X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$$

$$\text{Kısıtlar} \quad a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n (\leq = \geq) b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\text{Doğal Kısıtlar} \quad x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

şeklinde tanımlanır [29].

Optimal (maksimum veya minimum) yapılması istenilen Z fonksiyonu, doğrusal(lineer) fonksiyonel yapısında çok değişkenli bir fonksiyondur ve bu fonksiyon amaç fonksiyonu olarak adlandırılır [30].

Optimizasyon (en iyileme) iki yolla gerçekleştirilir:

- Amaç fonksiyonu değerinin maksimizasyonu (En büyüklenmesi)
- Amaç fonksiyonu değerinin minimizasyonu (En küçüklenmesi)

d) Kareli programlama

Kareli programlama modeli eşitlik 3.1.'deki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} \text{Max (Min)} \quad f(x) &= c x + X^T D X \\ A X &\leq P_0, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Burada

$$\begin{aligned} x &= (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \\ C &= (c_1, c_2, \dots, c_n)^T \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} P_0 &= (b_1, b_2, \dots, b_m)^T \\ A &= \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ d_{n1} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

olarak tanımlanır [2].

XD^T , D matrisi simetrik olan kareli bir formdur. D matrisi, problem minimum ise pozitif tanımlı, maksimum olduğunda ise negatif tanımlı, varsayılır. Yukarıdaki problemin çözümü Kuhn-Tucker gerek şartları uygulanarak elde edilir. $F(x)$ konveks (konkav) ve çözüm uzayıda konveks olduğundan bu şartlar mutlak optimum için yeterli olur. Kareli programlama problemi maksimum durumu içi ele alınacaktır [2].

e) Geometrik programlama

Geometrik programlama doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan oldukça ilgi çekici bir teknik olup, Duffin ve Zener tarafından 1964 yılında geliştirilmiştir. Geometrik programlama problemi dualını dikkate alarak çözmektedir. Dual ile çalışmak basit hesaplamalarından dolayı daha avantajlıdır [2].

Geometrik programlama (GP) ve doğrusal programlama (LP- linear programming) teknikleri arasında bir ilişki kuracak olursak; LP, GP'ye göre kısıtların ve maliyet işlevinin daha fazla sınırlandırıldığı (sadece lineer) bir düzene sahiptir. Bu düzen ilk bakışta katı ve yeterince sınırlayıcı şekilde görülebilir. Ancak problemlerinin çözümünün oldukça kolay ve güvenilir olan LP, mühendislikte birçok alanda sıklıkla başvurulmuş bir yöntem olmaktadır. GP ile LP arasındaki bu ilişki her iki tekniğin de dışbükey optimizasyonun birer sınıfı olmalarındandır [30].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

f) Dinamik programlama

Program; yapılacak bir işin bölümlerini ve her bölümün zamanını gösteren maddelerin bütünüdür. Programlama kelimesi ise; bir işin programını yapmaktır. Bununla birlikte programlamanın konumuzdaki anlamı biraz farklıdır. Burada programlamadan kastedilen; matematiksel yöntemlerden yararlanarak, mevcut sınırlayıcı koşullar altında problemlerle ilgili en iyi çözümün elde edilmeye çalışılmasıdır.

Dinamik programlama, problemi aşamalar halinde çözer ve her bir aşamada en uygun çözümü bulmaya çalışır. Farklı aşamalardaki hesaplamalar, sonuçta optimum bir çözümün elde edildiği yinelenen hesaplamalarla ilişkilendirilerek elde edilir [31].

g) Tamsayılı programlama teknikleri

Değişkenlerinin tamamının tamsayı olması istenilen optimizasyon problemleri “*tamsayılı programlama*” problemi olarak adlandırılmaktadır.

Aslında tamsayılı programlama tekniği, doğrusal programlama tekniğinin bir uzantısıdır. Doğrusal programlamada oluşabilecek olan gerçekçi olmayan sonuçların tamsayılı programlama tekniği ile ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Sonuçlarının tamsayı çıkmaması problemi, doğrusal programlama modellerinin gerçek hayatta tasarım problemlerine uygunluğunu bozulmasına neden olmaktadır. Mesela bir üretim problemi sonuçlarında 1,2 cep telefonu, 3.6 kamera şeklinde kesirli çıkması gibi gerçekten uzak olmaktadır. Akla gelen ilk yöntem bu sonuçların tamsayıya yuvarlanması olabilmektedir; ancak böyle bir yolun takip edilmesi, problemin çözümünü optimallikten uzaklaştırmaktadır. İşte bu noktada tamsayılı programlama tekniği, problemin kısıtlarını göz önünde bulundurarak sonucun tamsayı kalmasını sağlamaktadır [32].

Tamsayı değerli değişkenler içeren modeller çoğunlukla büyük ölçekli planlama modelleridir. Örneğin üretim problemleri, gezgin satıcı problemleri, sırt çantası, hat dengeleme vb. problemler tamsayılı programlamaya göre modellenebilir [7].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

h) Stokastik programlama

Optimizasyon problemlerinde belirsizliğin modellenmesi, modelin en önemli basamağını durumundadır. Belirsizlik ne denli etkili bir şekilde ortaya konulursa, ortaya çıkan modelde gerçek yaşamla o denli uyum içindedir. Belirsiz parametreler kesikli rastgele değişkenler ile tanımlanması durumunda stokastik programlama uygulanabilir. Stokastik programlama bu tür modellerin çözümünde kullanılan en etkin yöntemlerden birisidir [33].

Stokastik programlama literatüründe, özellikle 1950’lerden sonra birçok çalışma yapılmıştır. Belirsizliğin modellenmesini gündeme getiren Dantzig ve takip eden süreçte yine Madansky ile birlikte belirsizliğin modellenmesi ile ilgili çalışmaları stokastik programlama tekniklerine olan ilgiyi başlatmıştır [34]. Stokastik programlamanın sınıflandırmasına ilişkin literatürde; Olasılık (İhtimal) Kısıtlı Problemler, Telâfili (Recourse) Problemler, Dağılım Problemleri üç ana başlığa yer verilmiştir [35].

i) Ayrılabilir programlama

Yöneylem araştırmaları kapsamında ele alınan başlıklardan doğrusal olmayan programlama tekniğinin uzantılarından birisi olan ve doğrusal olmayan problemlerin çözümüyle uğraşan “ayrılabilir programlama” modeli, amaç fonksiyonu ve kısıtlar kümesinin ayrılabilir durumda olduğu konveks programlamaların özel bir durumu olarak tanımlanabilir.

Doğrusal olmayan programlama problemlerinin birçoğu eşitlik 2.4.’de gösterildiği gibidir [36].

$$\text{Maksimum/Minimum } Z = \sum_{i=1}^n f_i(x_i) \quad (2.4.)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{i=n} g_i^j(x_i) \leq b_j \quad j=1,2,\dots,m$$

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

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

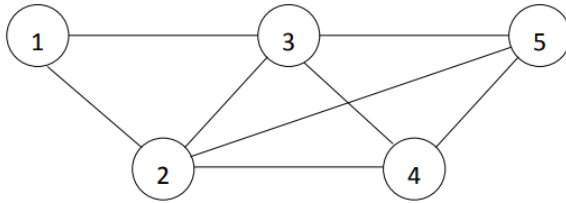
j) Network programlama

Doğrusal programlama ile de çözülebilen ancak ağ modelleri ile çözülmesi daha etkili olan; bina, araç, uçak, gemi vs. yapımı, en kısa yol, hat, boru, kablo döşeme ile borulardan, yollardan, kablolardan maksimum akış vs. optimizasyon problemleri gibi ağ olarak modellenip çözülebilecek çeşitli problemlere rastlamak mümkündür. Ağ, aralarında bağlantılar ile birbirlerine bağlanmış düğümlerden oluşurlar.

(N, A) ile ifade edilen şebekede N düğümler, A ise bağlantılar kümesini gösterir [37] :

$$N = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$A = \{(1, 3), (1, 2), (2, 3), (2, 4), (2, 5), (3, 4), (3, 5), (4, 5)\}$$



Şekil 2.1. Ağ modeli

k) Oyunlar teorisi

1944 yılında ilk kez John von Neumann tarafından “Oyun Teorisi ve Ekonomik Davranış” adlı kitabında yayınlanan ve aslında geçmişi Babillere kadar uzanmakta olan oyun teorisi, bir bireyin başarısının diğer bireyler tarafından alınacak olan kararlara bağlı olması durumunda kullanılan bir matematiksel hesaplamalarla karar verme yöntemidir. İlk başlarda çözüm, bir bireyin başarısının diğer bireylerin kaybını ifade eden türde oyun türlerinde aramıştır. Fakat oyunlar teorisinde yaşanan ilerlemeyle diğer oyun türlerine yönelik de çözüm yöntemleri geliştirilerek teorinin kullanımı oldukça yayılmıştır. Oyunlar teorisinin en önemli özelliği ise oyuncuların kararları ile diğer oyuncularının kararlarının ilişkili olmasıdır [38].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Oyuncular, karar alıcılar ve aldıkları kararlar ile birbirlerini etkileyenler olarak tanımlanabilir. Bir oyunda rasyonel kararlar almak koşuluyla optimum katkıyı sağlayabilmek için en iyiyi yaptıkları kabul edilen en az iki oyuncunun olması gereklidir. Oyuncuların kendilerine maksimum faydayı sağlayacak olanlarını seçtikleri stratejiler olarak ifade edilebilen farklı seçenekleri vardır. Oyunların sonucunda kayıp, kazanç ya da geri çekilme olabilir. Matematik içerikli bir araç olması sebebiyle oyunlar teorisi, herhangi bir etkileşimli karar alma durumunda kullanılabilirler. Oyunlar teorisinin uygulama alanı; Kuramsal Ekonomi, Şebekeler (Networks), Siyaset Bilimi, Askeri Uygulamalar, Denetim ve Biyoloji bilimlerini kapsamaktadır [38].

1) Çok amaçlı programlama

İki veya daha fazla amaç işlevini optimaile erişirme problemiyle ilgilenen çok amaçlı programlama probleminin klasik tek amaçlı programlama problemlerinden ayıran özelliği ise ilgili amaç işlevlerinin ifade edilme şeklidir. Çok amaçlı programlama ile problemlerin çözümünde direkt olarak uzlaşma çözümünü bulmaya çalışmak veya ilk olarak baskın küme üretilerek, üretilen baskın küme içerisinde seçilen çözümü belirlemek şeklinde iki temel yaklaşımdan söz edilebilir [12].

Çok amaçlı problemin çözümüne yönelik teknikler:

- Çözüm üretme yöntemleri
- Tercihlerin önceden açıklanmasına dayanan yöntemler
- Tercihlerin tekrarlamalı şekilde açıklanmasına dayanan (etkileşimli) teknikler

şeklinde üç temel gruba ayrılabilir [12].

Çok amaçlı karar verme

Tek kriterli karar verme metodunda, karakterize edilen tek bir amaç fonksiyonunun optimizasyonudur. Doğrusal olmayan ya da doğrusal programlama teknikleri sadece tek bir amaç fonksiyonunun minimizasyonu veya maksimizasyonunu kısıtlayıcı kümesine bağlı olarak gerçekleştirirler [39].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Çevremizi tek boyutlu kabul ederek her şeyi her şeyi tek bir kritere göre gittikçe zorlaştırmaktadır. Amaçların karşılaştırılarak seçim kriterlerine göre sıralanması değerlendirme sürecinin bir aşamasıdır. Sadece basit, açık ve alışılmış durumlarda tek bir amaç kriteri tümüyle geçerli olabilir [40].

Karar vericilerin gündelik yaşamda birden fazla amacı aynı anda gerçekleştirmek istemeleri nedeniyle gerçek hayattaki problemleri, optimize edilecek amaç fonksiyonu sayısının genellikle 1'den daha fazla olduğu çok amaçlı karar verme metotları sayesinde çözülebilmektedir. Amaç fonksiyonu sayısının artırılarak gündelik yaşamdaki problemlerin daha gerçekçi şekilde ele alınarak bu sorunlara çözüm üretme gayreti “çok amaçlı karar verme” tekniğinin ortaya çıkmasının sebebi olmuştur [39].

Çok Amaçlı Karar Verme tekniği, matematiksel sınırlar yardımıyla belirlenen sınırsız sayıdaki alternatifleri kapsayan hedef problemleri için kullanılır. Bu hedefler bazen birbirleriyle benzer olurken bazen de birbiri ile çatışma halinde de olabilir [41].

Çok Amaçlı Karar Verme tekniği, bazı sınırlamaları olan, birbiri ile çelişen ya da birbiri ile paralellik gösteren, karar verici tarafından optimize edilmesi istenilen birçok hedefi memnuniyet verici düzeyde gerçekleştirmeyi arzulamaları durumunda, problemlere çözüm üretmeye çalışan çözüm grubunu oluşturan bir model niteliğindedir.

Çok amaçlı doğrusal programlamanın çözüm yöntemleri

Çok amaçlı karar verme modellerinin çözümü için geliştirilen birçok teknik bulunmaktadır.

Bu tekniklerin başlıcaları;

- Hedef Programlama
- Çok Amaçlı Simpleks Tekniği
- Ardışık Optimizasyon Tekniği

şeklinde sıralanabilir.

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Bu çalışmada, uygulama bölümünde tercih edilen Hedef Programlama yönteminden bahsedilecektir.

Hedef programlama

Doğrusal programlamanın (DP) daha fonksiyonel bir şekli olan hedef programlama (HP), çok amaçlı doğrusal programlama çözümlerinde kullanılan en yaygın tekniklerden biridir. Hedef programlama; aynı anda birden çok, farklı ölçekli hedefler saptanarak ve belirlenen sınırlar altında bu söz konusu hedeflere ulaşmaya çalışırken, doğrusal programlama yöntemi ile tek hedef ve ölçekle ifade edilen sorunların çözümü yapılabilmektedir [13]. HP çok amaçlı en iyilemenin en eski dalıdır. Birçok problemin çözümünde kullanılmıştır. Hedef programlamanın genel amacı; değerleri net olarak tespit edilen iki veya daha çok amacın, hedef değerlerinden olan sapmalarının minimizasyonudur. [42].

Sağladığı en önemli avantajlardan birisi, birden fazla hedef kümesinin çözümünün aynı anda gerçekleştirebilmek olan HP, çok amaçlı karar verme problemlerini çözmek için karar vericiye tatminkâr bir çözüm topluluğu bulmayı sağlayan önemli bir yöntemdir. HP, verilen sınırlayıcılar altında hedef kriterini doğrudan minimum ya da maksimum kılmaktan çok amaçların kendi içerisindeki sapmaları minimum kılmaya amaçlamaktadır [43].

1970'lerin ortasından günümüze etkili bir şekilde kullanılmaya başlanan Hedef Programlama (HP) modelinin geçmişi 1950'lere dayanmaktadır. Hedef Programlamanın hakkında ilk bilgiler, 1955 yılında Charnes, Ferguson ve Cooper tarafından yapılan çalışmaya dayanmaktadır. HP'nin çözüm algoritması da 1961 yılında Cooper ve Charnes tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra algoritma 1965 yılında Ijiri, 1972 yılında Lee ve 1976 yılında Ignizio tarafından geliştirilmiştir. Bu gelişimin adımları sırasında, öncelikle model genel yapısı ortaya konularak, ardından amaç fonksiyonunda öncelik kavramları üzerinde durulmuş ve sonrasında da önceliklerin ağırlıkları ortaya konulmuştur. Ardından Ignizio ve Lee'nin çalışmalarına dayanan ilerlemeler olmuştur. Schniederjans, Tamiz ve Romeo'nun yaptığı uygulamalarda Hedef Programlamanın birçok alanda etkili olarak uygulanabilir olduğu ortaya konulmuştur [44].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

İngilizcesi “goal programming” olan teknik Türkçe’ye “amaç programlama” ya da “hedef programlama” olarak çevrilir. Ignizio amacı (objective), “karar vericinin arzuladığı genel bir ifadenin yansıması” şeklinde ifade ederken hedefi (goal), “arzulanan bir düzey ile belirlenmiş bir amaç” olarak ifade etmektedir [16].

Hedef Programlama tekniği, DP tekniğinin daha fonksiyonel bir çeşididir. Doğrusal Programlama, eldeki kısıtlı kaynakların optimum dağılımını tespit etmek için kullanılan matematiksel bir yöntemdir [17]. DP ile sadece tek bir hedef ve tek bir ölçekte ifade edilebilen sorunların çözümü yapılabilmektedir. HP’da ise birden fazla, farklı ölçekli amaçlar saptanarak belirlenen kısıtlar altında bu amaçlara ulaşmaya çalışılır [17]. Hedef Programlama modelinde, hedef, istenen bir düzey ile tespit edilmiş bir amacı, amaç ise karar vericinin arzuladığı genel bir ifadenin yansıması şeklinde ifade edilebilir [45].

Hedef programlamanın kavramları;

- Amaçlar, ölçütlerin karar vericinin istekleri doğrultusunda yönlendirilmiş şekli olarak tanımlanabilir [46].
- Hedefler, amacın daha da somut bir hale gelerek belirli değerlere dönüşmüş şekilleri olarak ifade edilebilir [46].
- Karar değişkenleri, Hedef Programlamada, karar vericiler değeri belirlemek istediği bilinmeyen parametrelerdir [45]. Karar değişkenleri, Doğrusal Programlama problemlerinde belirtilen değişkenlerin aynısıdır [27].
- Sapma değişkenleri, hedeflerin altında ya da üstünde elde edilen çalışmaların miktarını belirleyen değişkenlerdir [27].
- Sistem kısıtları, eldeki kıt kaynakları ifade eden bu kısıtlar, teknolojik, yapısal ya da sistem sınırlayıcıları probleme yönelik geliştirilen ve Hedef Programlama modellerinde de tam olarak sağlanması gereken ve hiçbir sapmaya izin verilmeyen sınırlayıcılardır [27].
- Hedef Kısıtları, karar vericilerin arzu ettiği ya da gerekli gördüğü hedefler, Hedef Programlamaya, hedef sınırlayıcılar olarak aktarılır. Bu sınırlayıcılar sistem sınırlayıcılarına göre daha esnek yapıdadır [16].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

- Başarı Fonksiyonları, Hedef Programlamada her bir amaç için belirlenmiş olan hedeften olası sapmaları minimize eden fonksiyonlara başarı fonksiyonları denilir [16].
- Amaç fonksiyonu, Hedef Programlama modelinde kullanılan başarı fonksiyonlarının tümü, belirli bir öncelik düzeyi ve ağırlığa göre toplam şeklinde ifade edilmesiyle oluşturulur [16].

II. Stokastik süreç teknikleri

Optimizasyon yöntemlerinde bir diğeri olan Stokastik süreç teknikleri; bir optimizasyon problemi modelinde belirsizlik durumları veya olasılık kavramlarına yer veriyorsa kullanılmaktadır. Stokastik süreç teknikleri genel olarak; istatistiksel karar teorisi, Markow süreçleri, kuyruk teorisi, yenilenme teorisi, benzetim metodu ve güvenilirlik teorisi olmak üzere 6 başlık altında incelenebilir.

a) İstatistiksel karar teorisi

Sir Ronald A. Fisher, Jerzy Neyman, Egon S. Pearson, John von Neumann ve Abraham Wald'in tarafından istatistikteki ilk adımları atılan karar teorisi, istatistiği belirsizlik altında karar verme açısından İstatistikî Karar Teorisi'nin kurucusu olarak bilinen Abraham Wald tarafından 1939 yılında yayınlanan “İstatistikî Tahmin ve Hipotezlerin Testine Katkıları” adlı makalede ele alınmıştır. Söz konusu makalede hipotezlerin testi ve tahminlerle ilgili klâsik istatistik teorilerini, genelleştirmeye çalışan Wald, Karar Teorisini bu teorilerin ortak bir matematiksel yapı üzerine yerleştirmeyi başararak ardından Oyunlar Teorisi ile ortak yapısal bağlantılar kurulmuştur [47].

Bir problemde iki hareketten birinin kesinlikle seçilmesi gerekiyorsa, bu durum bir hipotez testi durumudur. Bir karar probleminde, istatistikçinin eldeki mevcut hareketlerden birini seçme zorunluluğu vardır. Bir hareketin seçilmesi için eldeki daranın nasıl kullanılacağını gösterir, strateji veya karar fonksiyonu da denilen umulan sonuçlarının maliyetine göre değerlendirildiği bir plâna ihtiyaç vardır [47].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Karar teorisi esaslarını sade bir örnekle açıklamak gerekirse; A ve B şeklinde ifade edilen iki toplumdan birine ait olabilecek bir kafatası bir arkeolog tarafından ortaya çıkarılmıştır. Kesinlikle A olduğu tespit edilen kafatası, oldukça masraflı ve kapsamlı bir araştırma faaliyetini gerektirmektedir. B olduğu tespit edilen kafatası hiçbir araştırmayı gerektirmemektedir. Bu arkeolog a_1 , a_2 , ve a_3 şeklinde üç yoldan birini takip etmeyi plânlamaktadır. a_1 hareketi kapsamlı bir araştırmayı, a_2 hareketi daha az bir araştırmayı, a_3 hareketi ise araştırma faaliyetini bırakmayı göstermektedir. Kafatasının A ya da B toplumuna ait olması olanaklarına tabiat durumu (olayı) denir ve sırası ile q_1 ile q_2 şeklinde belirtilir. Arkeoloğun büyük oranda iç gözleminden sonra sonuçlara değerler tayin ettiğini farz edelim. Optimum hareketin ve tabiat olayı kombinezonunun zararını sıfırla göstermek ve bu optimum kombinezonla diğer kombinezonları kıyaslamak alışılan bir yoldur. Bu yöntemle zararların hiçbirisinin negatif çıkmaması gibi bir kolaylık da sağlanmış olur. Buna göre, optimum kombinezon q_1 ve a_1 olup bunlarda zarar sıfırdır. Burada, zararların fiilî faydalar yerine kullanılma sebebinin tamamen rastgele bir tercih olduğunu söylemek gerekir. Bu durumun karar verme problemi üzerinde hiçbir etki olmadığını da söylemek gerekir [47].

b) Markov süreçleri

Markov zincirleri metodu, şartlı olasılıkları ihtiva eden olayların rastgele bir süreç içerisinde incelenmesinin başarılı bir yöntemidir. Markov zincirleri metodu ile bir sistemin şimdiki zamanda ya da geçmişte gerçekleşmiş olan durum ihtimallerinden faydalanarak, gelecekteki dönemlerde durum ihtimalleri belirlenebilmektedir [48].

Rastgele davranışlar gösteren bir sistemin; geçmişteki davranışlarının ışığında, gelecekteki davranışlarının gelişimini bir olasılık limiti kapsamında ifade edebilmek, bir noktaya kadar belirsizliklerden kurtularak onun hakkında bir fikir sahibi olmayı mümkün kılar. Sistemin davranışlarının markov zinciri yöntemiyle başarılı bir şekilde modellenmesi sonucunda sağlıklı bilgilerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir [49].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

c) Kuyruk teorisi

Kuyruk teorisi çeşitli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılması çalışmaları çok eski yıllara uzamaktadır. Kuyruk teorisi servis hatlarının kapasite planlama uygulaması ile ilgili Johannsen tarafından yazılan ve 1907 yılında yayınlanan “Waiting Times and Number of Calls” isimli eser, daha sonra 1909 yılında telefon Danimarkalı Mühendis Karl Erlang’ın 1909 da telefon sistemlerindeki sıra bekleme sorununu inceleyen araştırmalarının yer aldığı bir dizi makale bu alanda yapılacak çalışmaları hızlandıran ve etkileyen ilk eserlerdir. Yine Pollaczek 1960’lı yıllarda çok kanallı sıra bekleme sistemleri için genel geliş ve servis zamanlarını analitik olarak inceleyerek modeller geliştirmiştir. Böylece ilk başlarda pratik amaçlar için ortaya çıkan kuyruk problemi daha sonra yapılan çalışmalarla güçlü bir teorik yapıya sahip olmuştur [50].

d) Yenileme teorisi

Olaylar (yenilemeler) arası geçen zaman süreleri pozitif değerli, bağımsız ve aynı F dağılım fonksiyonuna sahip olan $X_1, X_2, \dots$ rasgele değişkenleri üzerine kurulu bir sayma süreci yenileme süreci olarak tanımlanır; yani, $S_0 = 0, S_n = X_1 + \dots + X_n, n > 1$ ve t anına kadar yapılan yenilemelerin sayısı $N(t) = \max\{n: S_n < t\}$ rasgele değişkeni olmak üzere $\{N(t), t > 0\}$ stokastik sürecidir. X_n rasgele değişkeni $(n-1)$.nci yenileme yapıldıktan sonra n .nci yenileme yapıncaya kadar geçen zaman süresini temsil eder [51].

($0, x$] aralığında gerçekleşen olayların sayısı $N(x)$ olmak üzere $\{N(x), x \geq 0\}$ stokastik sürecine sayma süreci denir.

$\{N(x), x \geq 0\}$, sayma süreci ise

- I $N(x) \geq 0$,
- II $N(x)$ (tamsayı değerli) rasgele değişkenidir,
- III Eğer $s < x$ ise $N(s) \leq N(x)$ dir,
- IV $s < x$ için $N(x) - N(s)$, $(s, x]$ aralığında gerçekleşen olay sayısıdır.

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

$\{N(x), x \geq 0\}$ sayma sürecinde olaylar (yenilemeler) arası geçen zaman süreleri birbirinden bağımsız ve aynı F dağılımlı rasgele değişkenler ise $\{N(x), x \geq 0\}$ sürecine bir yenileme süreci ya da alışılmış yenileme süreci denir [50].

e) Benzetim metodu

Benzetim yöntemi; gerçek hayattaki bir yöntemin yada sürecin genellikle bilgisayarlı ortamda taklit edilmesidir metodudur. Benzetim yöntemi, bir sistemin yada sürecin sanal geçmişinin oluşturulmasına ve gerçekte olan sistemin karakteristik özelliklerine ilişkin bir takım çıkarımlar yapmak üzere oluşturulan bu geçmişin gözlemlenmesine imkan sağlar. Özet olarak benzetim metodu, sistemin işleyişinin taklididir. Ayrıca benzetim yöntemi, çeşitli koşullar altında sistemin davranışlarının gözlemlenebilmesi için, bu sistemin modellenmesi olarak da ifade edilebilir. Zaman içinde farklılık gösteren bir sistemin davranışları, geliştirilen bir model sayesinde incelenebilir. Bu benzetim modeli, sistemin çalışması ile ilgili bir dizi kabuller setinden oluşur. Bu kabuller, sistemin ilgilenilen nesneleri (varlıkları) arasındaki mantıksal, matematiksel ve sembolik ilişkiler ile ifade edilir. (1978) Case Western Reserve Üniversitesi Yöneylem Araştırması Bölümünde yüksek lisans öğrencileri arasında yapılan bir araştırma sonucuna göre benzetim metodu 15 araştırma tekniği arasında 5. sırada yer almıştır [52]:

1. İstatistiksel Metotlar
2. Tahmin
3. Sistem Analizi
4. Bilişim Sistemleri
5. Benzetim

f) Güvenilirlik teorisi

Güvenirlik, bir ölçme aracının hatalardan arınmış olarak ölçme yapabilme kabiliyeti. Bu anlamda güvenilirlik katsayısı, ölçmelerdeki hatayı değil, hatasızlığı belirtir. Ölçülmek istenmeyen miktarın ölçüm sonuçlarına karışması ölçmelerde hata olarak ifade edilir. Diğer yandan hatanın miktarı ve kaynağı tam olarak tespit edilemediğinden, yanıltan farklı ele alınmalıdır.

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Bu hatalar;

- Ölçmenin yapıldığı nesne ya da kişilerden,
- Ölçmeyi yapan kişi ya da kişilerden,
- Ölçmenin yapıldığı koşullardan,
- Ölçme aracından,

kaynaklanabilir.

Güvenirliliği kestirme, “Klasik Test Teorisine Göre Güvenirlilik” ve “Modern Test Teorisine Göre Güvenirlilik” olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir.

III. İstatistiksel yöntemler

İstatistiksel teknikler, sezgisel hükümlere değil, rakamlara dayanan kararlar verilmesini gerektiren durumlarda kullanılır. Başlıcaları; regresyon analizi, kümeleme analizi, deney düzenleme, diskriminant analizi ve faktör analizidir.

a) Regresyon analizi

Herhangi bir parametrenin, (bağımlı parametre) bir veya birden fazla parametre ile (bağımsız-açıklayıcı parametre) arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde ifade edilmesine regresyon analizi adı verilir. Bu fonksiyon da regresyon denklemi olarak adlandırılır.

Açıklayıcı parametrelerin çeşitli değerlerine karşılık bağımlı parametrenin ulaşacağı değer regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilir. Bağımlı parametre üzerinde geliştirilecek politikalarda hangi parametrelerin önem kazandığı, bağımlı değişkeni etkileyen açıklayıcı parametrelerin saptanmış olması ile ortaya çıkmaktadır. Bu aşamada regresyon analizi başlığında karşılaşılan ikinci önemli analiz olan “Korelasyon Analizi”nin önemi ortaya çıkmaktadır.

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Korelasyon bağımlı parametrelerle bağımsız parametre veya parametreler arasındaki ilişkinin seviyesini derece olarak gösteren ve bunun yanında yüzde olarak ifade edilen bir katsayıdır. Gücü daha fazla olan bağımsız değişkenin, bağımlı değişkenin üzerinde oluşturulacak politikalarda üzerinde öncelikle durulmalıdır. Fiyatına oranla reklamın etkisi daha fazla olduğu bir malın satışında, (daha yüksek korelasyon katsayısı) bu malın satışını artırılabilmesi için reklam artışı ya da etkinliği üzerinde öncelikle durulması gerektiğinden politikalar bu yönde geliştirilir.

Regresyon analizi:

- *Bağımsız değişken sayısına göre;*
 - Basit regresyon analizi (Tek bağımsız parametre)
 - Çoklu regresyon analizi (Birden çok bağımsız parametre - Multiple Regression Analysis)
- *Fonksiyon tipine göre;*
 - Doğrusal olan regresyon analizi (Linear Regression Analysis)
 - Doğrusal olmayan regresyon analizi (Nonlinear Regression Analysis)
- *Verilerin kaynağına göre de;*
 - Ana kütle verileriyle regresyon analizi
 - Örnek verileriyle regresyon analizi,
 - Zaman serilerinde regresyon analizi – eşleştirilmiş zaman serileri

olmak üzere üç grupta toplanabilir.

b) Kümeleme analizi

Kümeleme Analizi; iş, endüstri, tıp ve eğitim gibi bilimsel araştırmanın pek çok alanında uygulanan yöntemdir. Kümeleme problemlerine yönelik bir çok metot bulunmaktadır. Ancak bu tekniklerin başarılı olamadığı kümeleme problemleri bulunduğu için, kümeleme analizine yönelik matematiksel programlama teknikleri geliştirilmiştir.

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Kümeleme analizi için matematiksel programlamanın amaç fonksiyonları genellikle ya “küme uzaklıkları içerisinde” veya “küme uzaklıkları arasında” ki ölçümler olarak tanımlanmaktadır. Çok kriterli optimizasyon çerçevesinin bir benzeri ile biz Kümeleme Analizi için anlamlı kriterlerin bir bütün dizisini oluşturmak için sistematik bir yol sağlıyoruz. Aynı zamanda yedi matematiksel programlama modeli sunmakta ve 2. bölümde mevcut iki modeli de yeniden formüle etmekteyiz. Ayrıca hazır bir veri kümesi kullanılarak bizim modellerimiz ve diğer bazı popüler kümeleme prosedürlerinin performans özellikleri incelenecektir.

Küme, bir veri grubunun birbirine komşu olan nesnelerinin meydana getirdiği bir topluluk olarak tanımlanabilir. Başka bir tanımlamada da küme, istatistiksel kitlenin yakın elemanlarının bir grubu olarak verilmektedir. Çok geniş anlamıyla kümeleme, bazı hususlarda her biri diğerine benzer olduğu düşünülen nesnelerin bir arada toplanması işlemidir.

Kümeleme analizi, birimleri benzerliklerine göre tasnif eden çok değişkenli istatistiksel yöntemler topluluğudur. Bu yöntemler belirli işlemleri bazı parametrelere göre gerçekleştirmektedir. Kümeleme tekniklerinin başlıca işlevleri [52];

- a) n sayıda birim ve p sayıda değişkenin olduğu varsayalım. n sayıdaki birim ve p adet değişkenin belirlenen özelliklerine göre gruplar içerisinde benzer ve gruplar arasında farklı alt kümeler oluşturmak,
- b) Uygun bir uzaklık ölçüsünün belirlenerek birimler arası uzaklıkları belirlemek,
- c) Kümeleme yöntemleri ile birimleri alt gruplara ayırmak,
- d) Grupları ve elde edilen grafikleri analiz edip ve yorumlayarak hipotezleri test etmek.

Literatürde kümeleme analizi için birçok algoritma öne sürülmüştür. Ancak kümeleme yöntemlerini genel olarak iki temel algoritma altında toplamak mümkündür. Bunlardan biri "hiyerarşik kümeleme yöntemleri; diğeri ise "hiyerarşik olmayan yöntemler"dir. Aşağıda bu iki temel algoritma içerisinde yer alan yöntemlere de yer verilerek bir sınıflandırma sunulmaya çalışılmıştır.

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

I. Hiyerarşik Yöntemler

A. Birleştirici / Toplamalı (Agglomerative) Yöntemler / Algoritmalar

i) Bağlantı Teknikleri

- Tek Bağlantı (En yakın komşuluk)
- Tam Bağlantı (En uzak komşuluk)
- Ortalama Bağlantı

ii) Varyans Teknikleri

- Ward's Yöntemi (Ward's Hata Kareler Toplamı)

iii) Merkezileştirme Teknikleri

- Medyan
- Centroid

B. Ayrıcı / Ayrımlı / Bölünmeli (Divisive) Yöntemler/ Algoritmalar

i) Bölünmüş Ortalamalar (Splinter-Average Distance)

ii) Otomatik Etkileşim Belirleme (Automatic Interaction Detection-AID)

II. Hiyerarşik Olmayan Yöntemler

A. K-Ortalama (K-Means) Yöntemi

B. Metoid Parçalama Yöntemi

C. Yığma / Yığılma Yöntemi

D. Bulanık (Fuzzy) Kümeleme Yöntemi

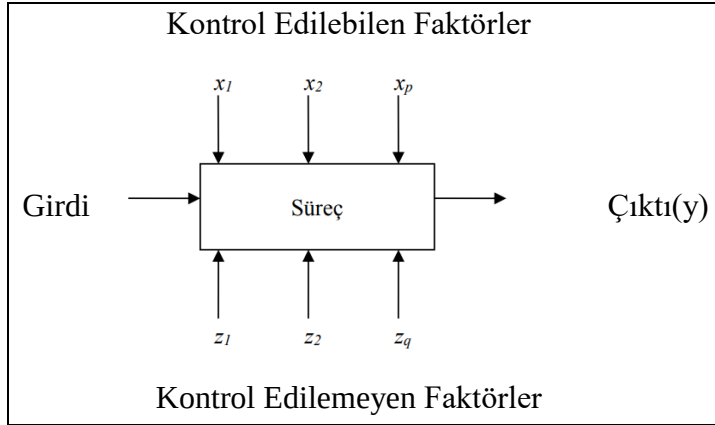
[47].

Deney düzenleme yöntemi

Herhangi bir varsayımın ortaya konularak teyit edilmesi ya da araştırılması amacıyla yapılan düzenli çalışmalar deney olarak adlandırılır [54,55]. Deney tasarımı bir sürecin performansını iyileştirmek amacıyla, süreci etkileyen faktörler üzerinde değişiklikler yaparak, sürecin çıktısı üzerindeki değişkenliklerin gözlemlenmesi ve yorumlanmasıdır.

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Süreç genellikle, bazı girdi parametrelerini, bir veya birden fazla ölçülebilir özelliğe sahip bir çıktıya dönüştüren bir sistem olarak tanımlanabilir. Bir süreç/deney ve bileşenleri girdi ve çıktılarıyla genel olarak Şekil 2.4.' deki gibi gösterilmektedir [56].



Şekil 2.2. Bir sürecin genel modeli [57]

Süreç, belirli bir çıktı (ürün veya hizmet) elde etmek için birbirleriyle etkileşim halinde bulunan makine, malzeme, metot ve insan gibi kaynakların kullanıldığı faaliyetler dizisi olarak tanımlanabilir. Faktörler diğer adıyla deney değişkenleri ise deney sonucunu etkileyen kontrol edilebilen veya edilemeyen değişkenlerdir [56].

c) Diskriminant analizi

Diskriminant fonksiyonları aracılığı ile gruplar arası ayırma en fazla etki eden ayırıcı değişkenleri belirlemede ve hangi gruptan geldiği bilinmeyen bir bireyin hangi gruba dahil edileceğini belirlemede kullanılır. Genel anlamda ayırma olup, bireylere ait p tane özellikten yararlanarak ait oldukları grupları (kütle) belirlemede veya mevcut grupları birbirinden ayıracak en iyi fonksiyonu bulmada kullanılan çok değişkenli istatistik tekniklerinden birisidir. Genel olarak birimlerin gruplanmasında bazı matematiksel eşitliklerden faydalanılır. Diskriminant fonksiyonu olarak adlandırılan bu eşitlikler birbirine en çok benzeyen grupları belirlemeye olanak sağlayacak şekilde grupların ortak özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Grupları ayırmak amacıyla kullanılan karakteristikler ise diskriminant değişkenleri olarak adlandırılmaktadır [58].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Kısaca, iki veya daha fazla sayıdaki grubun farklılıklarının diskriminant değişkenleri vasıtasıyla ortaya konması işlemidir. Araştırmacı, hatalı sınıflandırma olasılığını en aza indirgeyerek gözlemleri ait oldukları gruplara ayırmak veya bu gözlemlerin çekilmiş oldukları grupları belirlemek isteyecektir. Belirlenecek grupların ortalamaları arasındaki farklılığın maksimum olması amaçlanmaktadır [58].

İşlevi, grup farklılıklarını anlamak ve bir varlığın (birey, nesne) belirli bir sınıfa veya birkaç metrik bağımsız değişkene dayalı gruba ait olması olasılığını tahmin etmektir. Gruplar arası farklılığa etki eden tahmin değişkenlerinin hangileri olduğunu ortaya çıkarır [58].

d) Faktör analizi

Birbiri ile ilişkili çok sayıda değişkeni bir araya getirerek az sayıda kavramsal olarak anlamlı yeni değişkenler (faktörler) bulmak ve keşfetmek istenildiğinde kullanılır ve az sayıda yeni ilişkisiz değişken bulmayı amaçlar. Faktör analizi, veriler arasındaki ilişkilere dayanarak verilerin daha anlamlı ve özel bir biçimde sunulmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem bir boyut indirgeme ve bağımlılık yapısını yok etme yöntemidir. Amaç değişkenler arasındaki karşılıklı bağımlılığın kökenini araştırmaktır. Faktör, gözlenen değişkenlerin doğrusal bileşimidir. Faktör analizinde kovaryans ve korelasyon matrisinden hareket ederek bilgi kaybı olmadan daha az sayıda faktör adını verdiğimiz yeni değişkenlere ulaşılmaya çalışılır. Örneklem büyüklüğü faktör analizi için önemlidir. Gözlem sayısı değişken sayısından fazla olmalıdır. Başarılı bir faktör analizi uygulamasında, elde edilen faktör sayısı değişken sayısına göre çok daha az olmalıdır. Ayrıca faktörlerin yorumlanabilir olması aranan diğer bir özelliktir. Başlıca varsayımları, veri matrisinin analiz öncesi kriter ve tahmin değişkenlerinin alt matrisine bölüştürülmemesi ve değişkenler arasındaki ilginin doğrusal olduğudur [58].

Çok sayıda değişkenler arasında içsel ilişkileri analiz etmeyi ve bu değişkenlerin temelinde yatan ortak boyutları (faktörleri) açıklamayı amaçlamaktadır [58].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

IV. Yapay zekâ (YZ) ile optimizasyon teknikleri

Yapay zeka (YZ); insana özgü anlama, düşünme, yorumlama, öğrenme ve kavrama gibi bir takım kapasitelerin bilgisayarlı sistemler aracılığıyla taklit edilmesi suretiyle problemlerin çözümünde kullanılması olarak tanımlanabilir. Yapay zeka optimizasyon teknikleri, bilgisayar ve robot gibi insan yapımı araçlar kullanarak insanlar ve hayvanlar gibi doğal sistemleri taklit eder. Bilginin bilgisayar hafızasında depolanabilmesi ve bu bilgiden otomatik olarak çıkarımlar yapılabilmesi amacıyla bilginin nasıl temsil edilebileceğini araştırır.

YZ'nin birbirini tamamlayan iki bakış açısı ile incelebilir:

Bunlardan birincisi, Bilgisayarlı sistemlerin bir modeli ya da teoriyi test etmek için oluşturma aracı olarak kullanıldığı, zekanın çalışma biçimlerine yönelik incelenmesini kapsamaktadır. Bu bakış açısı tanımaya dair bir tür yöntem ortaya koyar [10];

İkincisi, bilgisayarı, genellikle insanın zeka yapısına özgü kapasitelerle donatmak üzere sarf edilen çabalarla ilgili olan bakış açısıdır; kavrama, bilgilerin edinilmesi, yorumlama, algılama (görme, işitme), düşünme, karar verme vs. daha sıkça karşılaşılan, bu ikinci bakış açısıdır. Bu bakış açısı bir bilgisayar programı vasıtasıyla zekice tutumları yarıştırmaktan oluşur, bununla birlikte insanın söz konusu işleyişinin aynısını yansıtmaz [10].

Başlıca yapay zeka optimizasyon teknikleri; genetik algoritma, tavlama benzetim (ısıtıl işlem) algoritması, tabu arama tekniği, karınca koloni algoritması, diferansiyel gelişim algoritması, yapay bağışıklık algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve yapay arı kolonisi algoritmasıdır.

a) Genetik algoritmalar

Genetik algoritma ilk olarak 1975 yılında John Holland tarafından tanımlanmıştır. Genetik algoritmalar güçlü ve etkili araştırma algoritmalar şeklinde tanımlanmıştır [59].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Genetik algoritmalar, optimizasyon problemlerine çözüm üreten sezgisel yöntemlerden birisidir. GA'lar geniş arama algoritmalarının aksine, optimumu seçmek için tüm farklı durumları üretmezler. Dolayısıyla mükemmel çözüme ulaşamayabilen ancak zamanla ilgili sınırlamaları hesaba dahil eden en yakın çözümlemelerden birisidir. Genetik algoritmalar şartlara uyum sağlayabilir. Daha önceden olaylarla ilgili bilgisi olmamasına rağmen bilgiyi ve olayları öğrenme ve toplama yeteneğine sahip olup, şartlara uyum sağlayabilmektedirler [60].

Genetik Algoritmaların başlıca avantajları;

- Fonksiyonun türevinin alınamıyor olması, türevsel bilgiyi gerektirmemesi,
- Algoritmanın sürekli ve ayrık parametreleri optimize etmesi,
- Algoritmanın amaç fonksiyonunu geniş bir yelpazede araştırması,
- Çok sayıda parametreler ile çalışabiliyor olması,
- Paralel bilgisayarlar kullanılmak suretiyle çalıştırılabilmesi
- Karmaşık amaç fonksiyonu parametrelerini, lokal minimum veya maksimumlara takılmadan optimize edebilmesi
- Birden fazla parametrelerin optimum noktası elde edebilmesi,

şeklinde sıralanabilir [60,50].

Genetik algoritmanın genel yapısı

Genetik algoritma 5 ana unsurdan oluşmaktadır. Bu unsurların her birisi genetik algoritmanın çalışma performansını oldukça önemli derecede etkilemektedir. Bu temel parametreler; temsil mekanizması (representation) şekli, Başlangıç popülasyonunun oluşturulması yöntemi, uygunluk veya kalite (nitelik) değerlendirme fonksiyonu(fitness evaluation), kullanılan genetik operatörler ile kontrol parametreleridir [6].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Çizelge 2.3. Genetik algoritmanın temel adımları [59,61].

1.Adım: Çözümlerin başlangıç popülasyonunun oluşturulması
2.Adım: Her bir çözümün değerlendirilmesi
3.Adım: Durdurma kriteri sağlanıyorsa araştırma durdurulur. Yoksa aşağıdaki adımlar uygulanır. • Doğal seleksiyon uygulanır (Çözümlerin uygunluk değerleri ne kadar yüksek ise oluşturulacak popülasyonda o kadar fazla temsil edilirler. • Çaprazlama Operatörlerini uygula • Mutasyon Operatörlerini uygula
4.Adım: 2. Adıma git.

Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Genetik algoritmalarının ilk adımı olan çözümlerin başlangıç popülasyonlarının oluşturulmasında, yapılan araştırmalarda ve uygulama çalışmalarında farklı yollar takip edilmektedir.

Çözümlerin başlangıç popülasyonu ağırlıklı olarak rastgele sayı üreticisi kullanılmak suretiyle oluşturulan genetik algoritmalar, gerçek mühendislik problemlerinin çözümünden ziyade araştırma odaklı çalışmalarda kullanılırlar. Eğer tasarım problemine ilişkin başlangıçta çözüme dair kabaca bazı bilgiler varsa, çözümlerin başlangıç popülasyonu bu çözümler vasıtasıyla oluşturulabilmektedir. Genetik algoritma uygulamalarında ağırlıklı olarak bu yöntem tercih edilir [6].

GA çözümlerin başlangıç popülasyonundan itibaren ilerleyen bölümlerde anlatılacak olan algoritmanın doğal seleksiyon, çaprazlama ve mutasyon işlemleri gibi adımları vasıtasıyla en iyi çözüme her yinelemede (iteration) yakınsayan yeni jenerasyonların meydana gelmesini sağlar. Algoritmanın uygulama sürecinde arama etkinliğinin sağlanabilmesi için çözümlerin başlangıçta popülasyon büyüklüğünün (n) yüksek seçilerek çözüm uzayının iyi örneklendirilmesi gerekir. Ancak bu durum çözüm kalitesine hızlı şekilde ulaşmada aynı başarıyı göstermez. Çözümlerin başlangıç popülasyonunun büyüklükleri yeterli olmadığında en iyi çözüm kümesinin ortaya çıkmaması gibi bir sorunla karşılaşılabilir. Literatürde yapılan çalışmalarda kullanılan ve önerilen başlangıç popülasyonunun büyüklüğü 100-300 aralığındadır [62].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Çözümlerin değerlendirilmesi

Problemlerin çözümüne yarar sağlayacak popülasyon içerisindeki kromozomların hayatta kalma şanslarının artırılmasını sağlayacak olan genetik algoritmaların yapısı içinde kullanılacak olan uyum fonksiyonları, sorunların çözümüne katkı sağlamayacak olan kromozomların ise ayırt edilmelerini (doğal seleksiyon) sağlarlar. Bu şekilde genetik algoritmalar katkı sağlamayacak olan adayların ayıklanmasını sağlar. Bir problemin optimizasyonunda minimize ya da maksimize için kullanılan fonksiyon, genetik algoritmanın uyum fonksiyonu olarak değerlendirilir [63,64].

Genetik algoritmaların performansına etki eden etmenlerden birisi de çözümlerin kalitesinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerdir. Araştırma ve uygulama çalışmalarının başlangıcında amaç fonksiyonundan gelen ham sonuçların kullanımı yeterli olabilir ancak ilerleyen safhalarda iyi ve daha iyi ile kötü ve daha kötünün arasındaki farkı ayırt etmek giderek zorlaşacaktır. Genetik algoritmanın çözümler geliştirmesi bu durumdan olumsuz etkileneceğinden kalite değerlendirme bölümünde genetik algoritmaların oldukça hassas oldukları normalizasyon işlemine gerek duyulur. Bir taraftan araştırmacının genetik algoritmanın global en iyileme işleminin yapılabilmesi için araştırmaya yeterli ıraksamanın sağlanması, diğer taraftan da araştırmacının iyi çözümlerin tarafına doğru odaklanması gerekir. Aksi takdirde erken yakınsama sorunu meydana gelerek araştırma uzayının tamamının araştırılması engellenmiş olacaktır. Söz konusu durum küresel araştırmalarda istenmeyen bir durumdur. Ölçekleme penceresi (scaling window) işlem normalizasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir [59,65].

Genetik operatörler

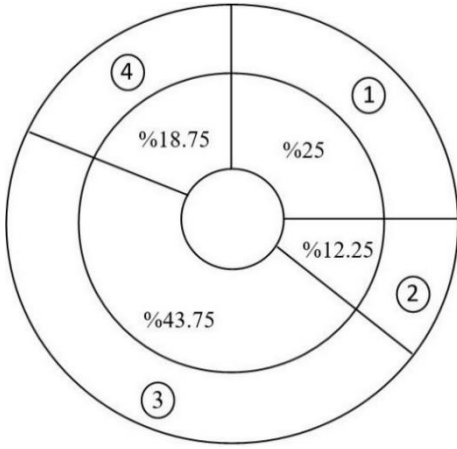
Her bir çözümün temsili olan bireyler üzerinde uygulama yapmayı sağlayan genetik operatörler ile ilgili birçok çalışma yapılmış oldukça fazlaca farklı operatörler geliştirilmiştir. Bunun yanında genetik algoritmaların birçoğu tekrar üreme, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin farklı formlarını içermektedirler. Karmaşık tasarım problemlerini çözmek için genetik operatörlerin daha gelişmiş ve probleme özgü özelleşmiş genetik operatörlere gerek duyulmaktadır [6].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Üreme operatörleri

Üreme operatörleri, doğal seçim işlemi olarak isimlendirilen yüksek kalitedeki bireylerin hayatta kalmaları ile sayılarının artması, düşük kalitedeki bireylerin ise tam tersine sayılarının azalmak suretiyle kaybolması prensibine göre çalışmakta olan bir genetik algoritma adımıdır. Bu tabii seçme işlemi doğada çevre vasıtasıyla, yapay organizasyonlarda ise amaç fonksiyonu ile kalite değerlendirme mekanizmaları aracılığıyla denetlenir.

Bireysel yapıların kalite seviyelerine göre bir kuşaktan diğerine geçerken daha fazla çoğalma şansları vardır. Bu şekilde popülasyonda kaliteli çözümlerin daha baskın, kalitesiz çözümlerin ise daha çekinik olmak suretiyle yavaş yavaş yok olmaları sağlanır. Üreme operatörlerinin uygulanabilmesi için kullanılmakta olan yöntem rulet tekerleği (biased roulette wheel) tekniğidir [64].



Şekil 2.3. Rulet tekerleği (biased roulette wheel) tekniği

Çizelge 2.1. Rulet seçme tekniği [6].

Sayı	Dizi	Kalitesi	Toplam
1	00110	100	%25
2	01010	50	%12.5
3	10110	175	%43.75
4	10010	75	%18.75
Toplam		400	100.00

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

İlk defa Holland tarafından ortaya çıkarılan rulet tekerleği seçimi tekniği, her çözüme, kalite seviyesinin popülasyondaki kalite seviyesinin ortalamasına oranına göre rulet tekerleği üzerinde bir delik vermektedir. Buna göre dört adet kromozomdan (bireyden) oluşan bir popülasyon Çizelge 2.1.'deki gibidir [6].

Çaprazlama operatörleri

Genetik algoritmalarla yapılan uygulamaların en önemli adımı çaprazlama operatörleridir. İki bireyin kendileri ve çaprazlama noktaları rastgele seçilir. Meydana gelen yeni bireylerin her ikisi de yeni popülasyona iletilebilir [66].

Doğal sistemlerde meydana gelen ya da çaprazlama olayı aracılığıyla ortaya çıkan melez yapıların üretilmesine eşdeğer bir özellik çaprazlama operatörleri tarafından genetik algoritmaya kazandırılır. Çaprazlama operatörü, eşleştirme havuzundan rastgele seçilen birer çift bireyden yeni iki birey oluşturmak için kullanılır. Ebeveynler ve çaprazlama operatörünün uygulanmasıyla meydana gelen yeni iki yavru (çocuklar) mevcut kuşakta tutulur ya da yeni bireyler ile eski bireyler yer değiştirilir. İkinci durumda, kalitesiz bireyler atılarak popülasyonun büyüklüğünün değişmemesi sağlanır. Çaprazlama operatörünü basitçe; eski bireyler üzerinden rastgele seçilen yerden kesilir. Yeni iki birey meydana getirmek için yapının kuyrukları aralarında yer değiştirirler. Çizelge 2.2.'de ki gibi genel bir çaprazlama operatörünün hedefi, iyi çözümlerden daha iyi çözümlerler üretmek için yapıların elemanlarını bir araya getirmektir.

Çizelge 2.2. Tek noktalı basit çaprazlama

Birinci Dizi	1	1	1	0	0	1	1	0	1
İkinci Dizi	1	0	0	0	0	1	0	1	1
Birinci Yeni Dizi	1	1	1	0	0	1	0	1	1
İkinci Yeni Dizi	1	0	0	0	0	1	1	0	1

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Mutasyon Operatörü

Genetik algoritmaların bir diğer adımı olan mutasyon operatörleri, bir sebep gerektirmeksizin herhangi bir kromozoma ait genlerde yapılan rastgele değişimleri gerçekleştirirler.

Mutasyon operatörleri genetik algoritmanın performansında etkili bir biçimde rol almakta ve tabii genetik mutasyon olayının benzetişimini yapmaktadır. Mutasyon operatörleri bulunmayan bir genetik algoritma, bireylerin tekrar üreme ve çaprazlama olaylarında değişmediği kabul edilirse, en iyi çözümü ancak problemin çözüm elemanlarının başlangıçtaki popülasyonda bulunmaları durumunda bulabilirler. Yeni, daha önce karşılaşılmamış ve araştırılmamış çözüm elemanları mutasyon operatörü sayesinde bulunurlar. Genetik algoritmalarda mutasyon operatörü kullanılmadığında, çözümün garanti edilmesi ancak popülasyon bir hayli büyük tutulmasıyla garanti altına alınabilmektedir. Ayrıca mutasyon, daha önceden atılan iyi kalitedeki elemanların tekrar meydana gelmesini sağlayarak, algoritmanın alt optimal (sub-optimal) çözümlere takılmasını engellemektedir [67].

Çizelge 2.3. Mutasyon operatörü

	↓ Değişime uğrayan bitler ↓								
Eski Dizi	1	1	1	0	0	1	1	0	1
Yeni Dizi	1	1	0	0	0	1	1	1	1

b) Tabu arama tekniği

Glover tarafından optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen tabu arama tekniği, iteratif bir araştırma algoritmasıdır. Tabu araştırma tekniği önceleri ayrık optimizasyon problemlerine uygulanmıştır [9].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Bu yaklaşımda bütün olasılıkların denenmesi zaman kaybına sebebiyet vereceğinden dolayı zekice bir yaklaşımla, minimum hesaplama ile optimum çözüme ulaşmak için tabu arama tekniği geliştirilmiştir [9].

Komşuluk, çözüm kümesi ve tabu listeleme işlemlerinin önemli unsurları olduğu tabu arama tekniğinde, çözüm kümesi 1 ve 0'lardan oluşan bir vektörle ifade edilmektedir. En uygun olarak kullanılan komşu üretme yaklaşımları bit değişimi ve komşu çözümlerin ters dizilimidir [68].

Çözüm kümesi, tabu listeleme işlemleri ve komşuluğun önemli etmenler olduğu tabu arama tekniğinin 1 ve 0'lardan meydana gelen bir vektörle çözüm kümesi ifade edilir. Bit değişimi ile komşu çözümlerin ters dizilimi optimum olarak kullanılan komşu üretme yaklaşımlarıdır [69].

Tabu arama tekniği stratejileri

Katı ve özel bir algoritma yerine genel bir yaklaşım olan tabu arama tekniği, genel olarak olası bir başlangıç çözümü ile araştırmaya başlayan ve bu olası çözümü daha kaliteli bir çözüm haline getirmek için ardışık hareketler geliştirmektedir [69,70].

Tabu arama algoritmasının bölgesel optimumdan kurtularak diğer bölgeleri araştırmaya çalışması süreci:

- 1-Yasaklama stratejisi; Tabu listesine neyin gireceğine neyin girmeyeceğine karar veren, kontrol eden strateji,
- 2-Serbest Bırakma Stratejisi; Tabu listesinde neyin ne zaman çıkacağına karar veren, kontrol eden strateji,
- 3-Kısa Dönem Stratejisi; yukarıdaki stratejiler arasındaki ilişkiyi denenecek hareketlerin seçimi için kontrol eden strateji,

şeklindeki adımlardan oluşur [6].

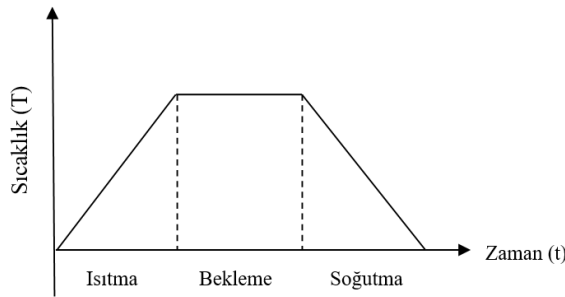
EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

c) Isıl işlem algoritması

Isıl işlem algoritmasının optimizasyon problemlerinde uygulanmasına yönelik çalışmalar, 1983 yılında Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma ile başlamıştır (Kirkpatrick ve arkadaşları, 1983). Söz konusu algoritma, metallerin ısı işlemi ile bir optimizasyon probleminin çözümünün arasındaki benzerlikten ilham alınarak ortaya konulmuştur [9].

Metal malzemelerin katı durumdaki sıcaklık değişimleri ile bir veya birbiriyle bağlantılı birkaç işlemlerle hedefe uygun özelliklerin değişmelerinin sağlanması durumu şeklinde tanımlanan ısı işlem algoritması sayesinde, malzemenin belirlenen bir sıcaklığa kadar ısıtılarak (ısıtma), bu sıcaklıkta belli bir süre bekletilmesi (bekletme), sıcaklığının da oda sıcaklığına belirli bir stratejiye göre azaltılması (soğutma) yardımıyla üç adımda malzemedeki özellik değişiklikleri sağlanır. Derin soğutma; sıfır derecenin altındaki bir değer kadar soğutma şeklinde tanımlanır [71].

Bu tip soğutma içeren, üç adımdan ibaret ısı işlem algoritması Şekil 2.4.'daki gibidir [54].



Şekil 2.4. Metal malzemeye uygulanan ısı işlem kademeleri

d) Karınca koloni algoritması

İlk çalışmanın, 1991 yılında Dorigo ve arkadaşları tarafından yapıldığı karınca koloni algoritması, bir karınca kolonisinin davranışlarından esinlenerek matematiksel olarak modellenmesine dayanan bir yaklaşımdır. Araştırmacılar geliştirdikleri sisteme karınca sistemi, ortaya konulan matematiksel modelle oluşan algorithmaya da karınca koloni algoritması adını vermişlerdir [69].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

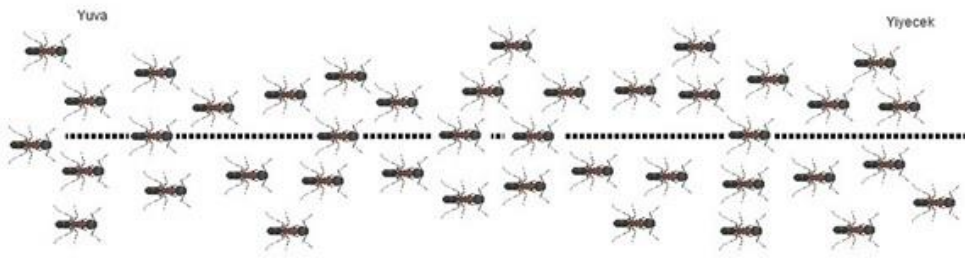
Bir karınca için yuvadan ayrılmak birçok tehlike ile karşı karşıya kalmak demektir. Ancak yiyecek bulmanın başka bir yolu da yoktur. Yiyecek bulmak için yuvadan ayrılan karıncalar tehlikeli ortamdan bir an önce yuvalarına dönmek isterler. Bunun için de en kısa yolu bulmak için bir stratejiye ihtiyaç duyarlar.

Karınca Kolonilerinin Yol Bulma Stratejileri

Karıncalar birçok canlının eşlerini bulabilmek, yaşam alanını işaretleme vb. için kullandığı koku bırakma, yayma ve kokuları takip ederek hedef bulma tekniğini kullanırlar.

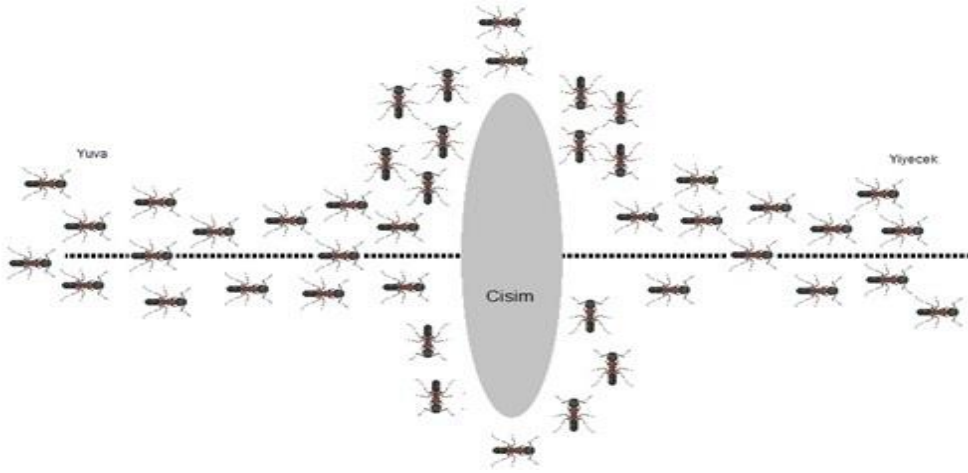
Yiyecek bulmak için yuvadan ayrılan karıncalar, ortamda baskın bir koku yoksa rastgele hareket ederler. Eğer koku bir yönden yoğun olarak geliyorsa o yöne doğru yönelirler. Birden fazla koku geliyorsa koku alınıyorsa baskın olan tarafa yönelirler. Karıncaların yaydığı koku bir süre bölgede kalır. Baskın kokunun olduğu güzergâh, üzerinden bir süre geçmiş olsa da kokunun daha fazla tercih edilen güzergahtan baskın koku gelmektedir. Yuvadan ayrılan bütün karıncalar bu stratejiyi izlediğinden, başlangıçta dağınık olan karınca sürüsü, bir süre sonra optimum bir güzergahta sabitlenecektir.

Karınca kolonilerinin yiyecek bulma stratejilerinin değişimi Şekil 2.7., Şekil 2.8., ve Şekil 2.9.'daki gibidir [6].

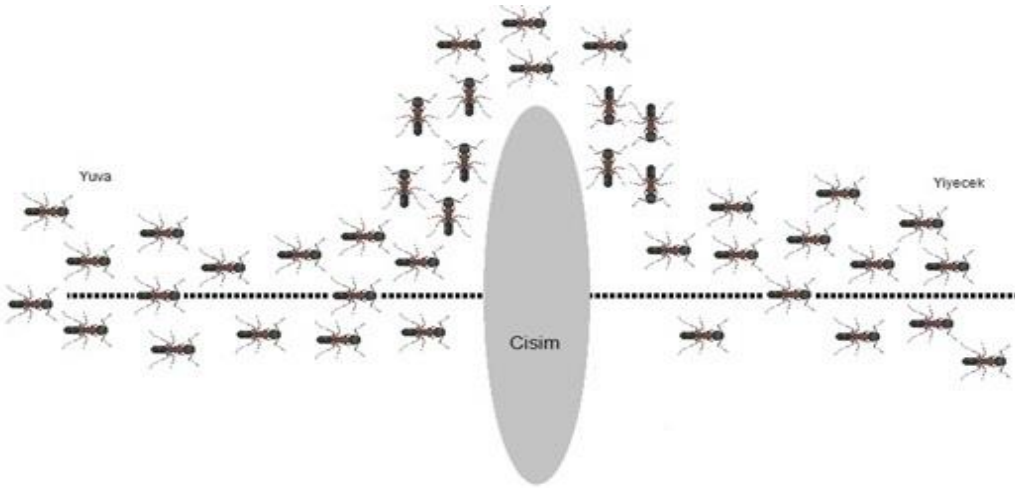


Şekil 2.7. Karınca sürüsünün yoluna engel konulduğundaki durum

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar



Şekil 2.8. Karınca sürüsünün yoluna engel konulduğundaki durum



Şekil 2.9. Karınca sürüsünün yoluna engel konulduktan sonraki durum

Karınca koloni algoritması uygulaması

Fazla sayıda bölgesel olarak etkileşim içinde bulunan basit bireylerin davranışlarından esinlenen karınca koloni algoritması Dorigo ve arkadaşları (1991) tarafından zor problemlerin dağıtılmış çözümüne bir yaklaşım olarak tanıtılmıştır. Karıncalar, bu yaklaşımda basit etkileşen bireyler konumundadır. İlk çalışmada Dorigo ve arkadaşları tarafından üç karınca algoritması tanımlanmış ve bu algoritmaları da test etmek amacıyla Dorigo ve arkadaşları herkesin bildiği ve ayrık (combinatorial) test problemi olarak tanımlanan gezgin satıcı problemi çözümünde kullanmışlardır [6].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Gezgin satıcı problemi

Gezgin satıcı problemi, n tane şehir verilmesi durumunda, her bir şehri bir kez ziyaret etmek zorunluluğu bulunan yapay gezgin satıcının minimum uzunluklu bir turunu tamamlama problemi olarak tanımlanmaktadır. d_{ij} ; i ve j şehirleri arasındaki yol uzunluğu olarak kabul edilmektedir. Euclidean gezgin satıcı problemi konumunda d_{ij} , i ve j şehirleri arasındaki Euclidean uzaklığıdır. Demek oluyor ki, $d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2}$ dir. Gezgin satıcı probleminin herhangi bir durumu ağırlıklandırılmış bir graf (N,E) ile tanımlanabilir. Burada N , şehirler seti ve E uzaklıklarda ağırlıklandırılmış şehirler arasındaki bağlantılar setidir. m , kolonide bulunan toplam karınca sayısını belirtirse ve t anındaki i , şehirde bulunan karınca sayısı $b_i(t)$ ($i=1,2,\dots,n$) ile verilirse bu durumda bu iki büyüklük arasındaki ilişki için;

$$m = \sum_{i=1}^n b_i(t) \quad (2.7)$$

bağlantısı yazılabilir.

Ayrıca her karıncanın aşağıdaki özelliklerde bir bireyi temsil ettiği kabul edilsin. Karınca;

- i şehirden j şehrine doğru ilerlerken (i,j) hattına bir miktar feromon madde bıraksın, gideceği şehir, o güzergahta mevcut olan feromon maddesi miktarınca iki yerleşme arasındaki mesafenin fonksiyonu olan bir olasılıkla seçilsin,

Karıncalar, şartları yerine getiren turu gerçekleştirebilmeye mecbur bırakılmalıdır. Bunu sağlamak için de ziyaret edilen şehirlerin ikinci kez ziyaret etmeleri engellenerek tur tamamlansın.

$T_{ij}(t)$, t anında i ve j şehirleri arasındaki (i,j) güzergahında biriktirilen feromon maddesi miktarını gösterirse $t+1$ anındaki feromon madde eşitlik 2.8.'deki gibi tanımlanır.

$$T_{ij}(t+1) = p.T_{ij}(t) + \Delta T_{ij}(t, t+1) \quad (2.8)$$

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Eşitlik 2.8.'deki p , buharlaşma katsayısı şeklinde tanımlanan bir parametre olup feromon maddesinin limitsiz bir şekilde büyümesinin önlenmesi için 1'den küçük pozitif bir değere eşitlenmelidir. $(1-p)$ faktörü ise salgılanan feromon maddesinin buharlaşan oranını tespit etmektedir. Birim zamanda (i,j) güzergahına bırakılan feromon miktarı ise;

$$\Delta T_{ij}(t, t+1) = \sum_{i=1}^n \Delta T_{ij}^k(t, t+1) \quad (2.9.)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada $\Delta T_{ij}(t, t+1)$, t ve $t+1$ zaman diliminde k adet karınca tarafından (i,j) şehir güzergahına bırakılan feromon maddesinin birim uzunluğa düşen miktarıdır.

Seçilebilirlik parametresi şeklinde tanımlanan η_{ij} , $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ şeklinde tanımlandıktan sonra, i şehirden j şehrine k karıncanın geçiş olasılığı;

$$P_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[T_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum [T_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} & , \text{ eğer } j \in \text{izin verilen değerler} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases}$$

şeklinde tanımlanır.

e) Diferansiyel gelişim algoritması

Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) popülasyon tabanlı yeni bir sezgisel eniyileme yöntemidir. Gerçek değerli tasarım parametrelerini içeren fonksiyonları küresel eniyilemek amacıyla kullanılan bir algoritma olarak geliştirilmiştir. Yöntem, vektörler arasındaki benzerliklerden yararlanarak daha iyi çözümler elde etmeye çalışan genetik algoritma ve karınca kolonileri algoritmaları gibi meta sezgisellerden farklı olarak, vektörler arasındaki farklılıklardan da yararlanarak popülasyonu geliştirmektedir [72].

Popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniği olan diferansiyel gelişim algoritması, Rainer Storn ve Kenneth Price tarafından ortaya atılan Chebyshev polinomsal uyum problemini çözme amacı ile geliştirilmiş bir optimizasyon tekniğidir [26-73].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Genetik algoritmalarda kullanılan çaprazlama, karşılaştırma ve mutasyon işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirilir. Bu nedenle genetik algoritmalarda optimizasyon için uzun zamana ihtiyaç duyulmaktadır [72].

Ancak DGA'da ise her bir operatör tüm popülasyona sırayla uygulanır, böylece DGA'da gelişime dayalı bir strateji önerilerek (gerçek değerlerle kodlama yapılmak sureti ile) problemin çözümüne daha kısa sürede ulaşılır. Algoritmada öncelikle başlangıç popülasyonundaki en iyi kromozomlar seçilerek çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılarak yeni bir birey elde edilir. Mevcut kromozomlar arasındaki en iyi olan birey seçim operatörü de kullanılarak bir sonraki popülasyona aktarılmaktadır. Bu şekilde tüm popülasyon, istenilen iterasyon sayısı veya hata değeri sağlanıncaya kadar mutasyon, çaprazlama ve karşılaştırma işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemin amacı problemin tüm koşullarını sağlayan en iyi çözüme ulaşmaktır [72].

f) Yapay bağışıklık algoritması

Bu bölümde, doğal bağışıklık sisteminin temel yapısı verilerek, bu sistemin bazı özelliklerini benzeten yapay bağışıklık algoritması anlatılmıştır. Yeni bir yapay zeka tekniği olan YBA üzerine yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

1990'lı yıllarda Yapay Sinir Ağları ile Yapay Hayat gibi biyoloji biliminden esinlenen pek çok hesaplama yöntemini birleştiren Yapay Bağışıklık Sistemleri (YBS) yeni bir sistem olarak doğmuştur [74]. Canlıların bağışıklık (savunma) sisteminin özetlenerek modellenmesiyle oluşturulan bu optimizasyon algoritması, mühendislik alanlarındaki birçok kompleks problemin çözümünde kullanılmaktadır [75].

Doğal bağışıklık mekanizmasının temellerine göre çalışan yapay bağışıklık algoritmasında farklı türden sorunların çözüme ulaşmak amacıyla iki değişik seçim tekniği kullanılmaktadır. Desen (örüntü) tanıma, anormallik belirleme sorunları, zaman serileri analizi, ağ ve bilgisayar güvenliği gibi sorunlar için negatif seçim mekanizması kullanılmaktadır. Diğer seçim tekniği olan Klonal seçim mekanizması, bilgisayar ve ağ güvenliği ve hata denetimi, özellikle de çok amaçlı ve ayrık parametrelili (kombinasyonel) optimizasyon problemleri için kullanılmaktadır [76].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

g) Parçacık sürü optimizasyonu

Parçacık Sürü Optimizasyonu, beraber yaşama alışkanlığı edinen bir türün sürü zekasından esinlenerek modellenmiştir [77]. Bir soruna en uygun çözümünün aranması esnasında, her parçacığın kendine has hız bileşeni vardır. Parçacık Sürü Optimizasyonu; sosyal tecrübe ve bireysel tecrübeye dayanan bir arama kabiliyetiyle, kromozomların çeşitliliğine göre çözüm araması yapan genetik algoritmaya karşı avantaj sağlamaktadır. Lokal arama bireysel tecrübe özelliği, global arama da sosyal tecrübe özelliği olarak kabul edilir. Parçacık Sürü Optimizasyonun kontrol parametresi genetik algorithmadan farklı olup, genetik algoritma gibi evrimsel bir algorithmadır. Öte yandan, diğer evrimsel algorithmalardaki gibi hayatta kalma (doğal seleksiyon) durumu yoktur. Bireylerin tamamı hayatta kalır [78].

h) Yapay arı kolonisi algoritması

Arı koloni algoritması, arı sürülerinin sergilediği kendilerine özgü zeki hareket ve davranışlarından ve besin arama esnasında kullandıkları yöntemlerden esinlenerek oluşturulmuş optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir optimizasyon algoritmasıdır. Bal arısı sürüsünün zekasına dayanan bu algoritma, arıların besin bulmada sergilemiş oldukları hareket ve davranışları temel almak suretiyle optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılırlar [79].

Tereshko'ya göre bal arılarının yiyecek arama modelinde; besin kaynakları (food sources), görevli arayıcılar (Employed Foragers), görevi belirli olmayan arayıcılar (Unemployed Foragers) olmak üzere üç temel başlık vardır [80].

Akay'a göre bu üç başlıktan olan yiyecek kaynakları, arıların besin bulmak amacıyla gittikleri kaynaklardır. Bir besin kaynağının değeri, besin kaynağı çeşidi, besin kaynağının yuvaya olan mesafesi, nektar miktarı yada nektarın çıkarılmasının kolaylık derecesi gibi birçok etkene bağlı olmasına rağmen basitleştirmek adına besin kaynağının zenginliği tek başına bir kriter olarak ele alınabilir. Görevi belli olan işçi arılar, daha önceden tespit edilmiş kaynaklardan toplanan yiyecekleri kovana getirme işini yaparlar [81].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

İkinci bir görevleri ise gittikleri yiyecek kaynağının kalite ve konum bilgilerini kovadaki diğer arılarla paylaşmaktır. Görevi belli olmayan işçi arıları Akay, yiyecek toplanabilecek kaynakları arama eğiliminde olan arılar olarak tanımlamaktadır. Akay'a göre bu tür arıları iki sınıfa ayırırlar. Bunlar gelişigüzel kaynak arayan kaşif arılar ile kovanda bekleyerek görevli arıları izleyen ve bu arılar tarafından getirilen bilgiye göre yeni besin kaynaklarına doğru hareket eden gözcü arılardır. Yeni yiyecek konumuyla ilgili bilgiyi alan arılar hedeflerine ulaşabilmek için güneş ışığından faydalanırlar. Arılar, yörüngeleri ile güneş ışığı arasındaki açığı hesaplayabilmektedirler. Yüklerine göre farklı yükseklikte uçarak enerjilerini ayarlayan arılar, enerji tüketimine göre uzaklık belirlemektedirler [81].

Arılar arasında bilgi alışverişi ortak bilginin oluşturulmasında önemli bir husustur. Bir kovanı oluşturan parçalardan en önemlisi dans alanıdır. Besin kaynağının konumu ve kalitesi ile ilgili bilgi alışverişi dans alanında yapılmaktadır. Dans eden bir arıya diğer arı antenleri ile dokunarak bulunan besin kaynağının kokusu ve tadı ile ilgili bilgi alırlar. Arılar, gittikleri besin kaynağına daha çok arı yönlendirmek amacıyla kovan içerisindeki çeşitli alanlarda bu dans gerçekleştirerek kaynağa geri dönerler [6].

Yapay arı koloni algoritması

Bal arılarının yiyecek aramaları esnasındaki davranışlarını modelleyerek oluşturulan Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması Karaboğa tarafından geliştirilmiştir (Karaboğa, 2005). Karaboğa tarafından geliştirilen ABC algoritmasının temel aldığı model de basitlik olması açısından bazı varsayımlar yapılmaktadır. Bunlardan birincisi her bir kaynaktan nektarın sadece görevli bir arı tarafından alınması durumudur. Dolayısıyla yiyecek kaynağı sayısı görevli arıların sayısına eşittir. İşçi arıların sayısı ile gözcü arıların sayısı da birbirine eşit olarak kabul edilmektedir. Ancak bu farklı da olabilir. Nektarı tükenen kaynağın arısı ise artık kaşif arı haline gelmektedir. Besin kaynağının konumları optimizasyon problemine ait olası çözümlere karşılık gelmektedir. Kaynakların nektar miktarları ise o kaynaklar ile ilgili çözümlerin kalite (uygunluk) derecesine karşılık gelmektedir. Bu yüzden Yapay Arı Koloni Optimizasyon Algoritması en fazla nektara sahip olan kaynağın konumunu bulma gayreti ile uzaydaki çözümler içinden problemin maksimumunu ya da minimumunu ortaya koyan noktayı bulmaya çalışır [6].

EK-2 (devam) Optimizasyon ile ilgili algoritmalar

Bu algoritmada aşağıdaki adımlar takip edilmektedir [6];

- 1- Besin arama işinin başlangıcında kaşif arılar tarafından çevrede rastgele yiyecek araması yapılır.
- 2- Yiyecek bulunduktan sonra kaşif arılar görevli arılar haline gelerek buldukları kaynaklardan kovana nektar taşımaya başlarlar. Sonrasında bu arı ya bulduğu kaynağa geri dönerek tekrardan nektar taşır ya da bulduğu nektarın bilgisini kovadaki diğer arılarla dans ederek paylaşırlar. Eğer kaynakta besin tükenirse görevli arı tekrar kaşif arı haline gelerek yiyecek aramaya başlar.
- 3- Kovanda beklemekte olan gözcü arılar zengin kaynaklara yönelten dansları izleyerek besin kalitesi ile orantılı olacak şekilde dans frekansına göre bir kaynağı tercih ederler.

Yiyecek aramakta olan arılarda görülen zeki davranış ile bu davranışın bir simülasyonu olan Arı Koloni (Artificial Bee Colony-ABC) Algoritmasının temel birimleri takip eden al başlıklarla açıklanmaktadır [81].

Çizelge 2.4. Arı koloni algoritmasının temel adımları

Adım-1.	Başlangıç besin kaynağı bölgelerinin üretimi
REPEAT	
Adım-2.	Yiyecek kaynağı bölgelerine görevli arıların gönderilmesi
Adım-3.	Görevli arılardan gelecek bilgiye göre olasılıksal seleksiyonda kullanılacak olan olasılıksal değerlerinin hesaplanması
Adım-4.	Gözcü arıların besin kaynağı bölgelerini olasılık değerlerine göre seçmeleri.
Adım-5.	Bırakılacak olan kaynakların bırakılışı ve kaşif arıların üretimi
UNTIL	(Çevrim sayısı = Maksimum çevrim sayısı)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : COŞKUNSU, AHMET
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 12.05.1988, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (532) 176 67 95
 e-mail : accoskunsu@gmail.com
 web : www.ahmetcoskunsu.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Trafik Planlama ve Uygulaması	Devam Ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi / Şehir ve Bölge Planlama	2013

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-2016	EGO-Ulaşım Planlama Şb.	Ulaşım Ana Planı
2016-Halen	Ankara Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı	Pursaklar ve Kuzey Ankara Proje Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Coşkunsu, A. (2019, 26-29 Ağustos). *Kentsel Ulaşım Planlama ve Uygulamalarında Kullanılan Optimizasyon Teknikleri ile İlgili Bir Değerlendirme*. I. Uluslararası Bilim ve İnovasyon Kongresinde sunuldu, Denizli.

Hobiler

Kent Sosyolojisi, Doğa Sporları, Yüzme



GAZİ GELECEKTİR...