

**TOPLU TAŞIMA ARAÇLARINI ÇİZELGELEME PROBLEMİNE
SİMÜLASYON MODELİ YAKLAŞIMI: MERSİN BÜYÜKŞEHİR
BELEDİYESİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

KİSMET CİNGÖZ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İŞLETME
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
HAZİRAN- 2021**

**TOPLU TAŞIMA ARAÇLARINI ÇİZELGELEME PROBLEMİNE
SİMÜLASYON MODELİ YAKLAŞIMI: MERSİN BÜYÜKŞEHİR
BELEDİYESİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

KİSMET CİNGÖZ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İŞLETME
ANABİLİM DALI**

**Danışman
Prof. Dr. Tevfik AYTEMİZ**

**MERSİN
HAZİRAN- 2021**

ÖZET

Günümüzde dünya nüfusunun artması, kentleşme oranının artması ve kıt kaynakların azalması çevresel farkındalığın artmasına neden olmaktadır. İnsanlar her gün evlerine, işlerine, okullarına gitmek ve sosyal aktivitelerde bulunmak için hareket etmektedirler yani şehir içinde yer değiştirmektedirler. Bu da kişisel araç, taksi, otobüs, minibüs kullanımının artmasına sebep olmaktadır. Yetkililer ise bu hareket veya dolaşım esnasında oluşan çevre kirliliğinin, gürültünün, karbon salınımının ve kazaların azalmasını sağlamak amacıyla toplu taşıma hizmetlerinin daha kullanılabilir hale gelmesi için çaba sarf etmektedirler. Toplu taşıma hizmetlerinin kullanımını arttırmak için kullanıcılara yani vatandaşlara daha sık, daha düzenli ve daha güvenilir hizmet verilmesi gerekmektedir. Toplu taşıma hizmetlerinin düzenlenmesi ile ilgili yapılan faaliyetler literatürde toplu taşıma ağ planlama süreci olarak adlandırılmaktadır. Toplu taşıma ağ planlama süreci, sırasıyla ağ planlama, sıklık oluşturma ve zaman çizelgesi geliştirme, araç çizelgeleme ve sürücü çizelgeleme faaliyetlerinden oluşmaktadır ve ağ planlama sürecinin her bir aşaması kendisinden sonra gelen aşamanın girdisi olmaktadır.

Vatandaşların toplu taşıma hizmeti kullanmalarını sağlamak ve arttırmak için hat sayılarının ve sefer sıklıklarının arttırılması gerekmektedir. Ancak ağ tasarım faaliyetleri oldukça maliyetli olduğu ve alt yapı çalışmaları gerektirdiği için sefer sıklıklarını değiştirmek hizmet sağlayıcıları için daha kolaydır. Sefer sıklığı oluşturma ve zaman çizelgesi geliştirme aşaması kullanıcıların konforunu dikkate alan ve hizmet kalitesi ile ilgili olan planlama aşamasıdır. Bu sebeple, toplu taşıma kullanımının arttırılması üzerinde önemle durulması gereken bir konudur.

Bu doğrultuda, bu çalışmanın amacı Mersin Büyükşehir Belediyesi Toplu Taşıma Şube Müdürlüğü tarafından hizmet sunulan merkez ilçelerin otobüs hatlarının en uygun sefer sıklıklarını belirlemektir. Bu amacı gerçekleştirebilmek için Arena Simülasyon paket programı kullanılarak simülasyon modelleri tasarlanmıştır. Mevcut hatların bilgileri kullanılarak gerçek sistemin yansıtıldığı model her bir hat için gerekli değişiklikler yapılarak çalıştırılmıştır. Çalışmanın örneklemini oluşturan her bir hat için 10 senaryo geliştirilmiştir. Geliştirilen senaryoların 5 tanesi yolcu gelişleri normal olduğu zamanlar için, 5 tanesi ise yolcu gelişlerinin yoğun olduğu zamanlar içindir. Farklı sefer aralıklarına göre simülasyon modellerinin çalıştırılması sonucunda ortalama bekleme süresi, ortalama seyahat süresi, ortalama yolcu sayısı, bir otobüsteki ortalama yolcu sayısı verileri elde edilmiştir. Sonrasında, bu veriler kullanılarak her bir hat için kapasite doluluk oranı hesaplanmıştır. Senaryolardan elde edilen bilgiler ve yapılan hesaplamalar göz önünde bulundurularak, her bir hattın normal zamanları ile yoğun zamanları için en uygun sefer aralıkları Mersin İli Toplu Taşıma Şube Müdürlüğü ile yapılan görüşmeler sonucunda karar vericilerin bilgi, beceri ve tecrübelerine göre belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toplu taşıma, Toplu taşıma ağ planlama süreci, Sıklık ayarlama ve zaman çizelgesi geliştirme, Sefer aralığı belirleme, Simülasyon

Danışman: Prof. Dr. Tevfik AYTEMİZ, İşletme Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Mersin.

ABSTRACT

Today, the increase in the world population and the rate of urbanization as well as the decrease in scarce resources cause an increase in environmental awareness. People constantly move for different purposes such as going to their house, school, work and performing social activities. It causes usage of private car, taxi, bus, minibuses increase. Authorities are trying to make services of public transport vehicles more available on the purpose of reducing the environmental pollution, noise pollution, carbon emission and accidents which are caused during the movements in the city. It is necessary to provide more frequent, more regular and more reliable services to users (i.e., citizens) in order to increase the use of public transport services. The activities committed relating to the arrangement of public transportation services are named as public transportation network planning process in the literature. As the literature assesses, the public transit planning process is usually divided in a sequence of four steps: network design, frequencies setting and timetable development, the bus scheduling and the driver scheduling. The output of each activity positioned higher in the sequence becomes an important input for lower-level decisions.

It is necessary to increase the number of bus lines and headways for providing the citizens with public transportation service and increasing the usage of this service. However, since network design activities are very costly and require infrastructure investments, it is easier for service providers to change the frequency of busses. The stage of creating a bus frequency and developing a timetable is the planning stage that takes into account the comfort of the users and is related to the service quality. For this reason, increasing the use of public transport is an issue that should be emphasized.

In this direction, the purpose of this study is to determine the most appropriate frequency of the bus lines of the central districts served by Mersin Metropolitan Municipality Public Transport Branch Directorate. To achieve this purpose, several simulation models were developed and 10 scenarios for each model was run using Arena® Simulation package. Five of these scenarios is for normal times of passenger arrivals and the other five scenarios are for peak times of passenger arrivals. Average waiting time, average travel time, average passenger population and average population number in a bus has been obtained from these simulation runs. Then, using this data, capacity occupancy rate was calculated for each line. Considering the information obtained from the simulation runs and the calculations made, the most appropriate bus headways for the normal times and peak times of each line were determined based on the knowledge, skills and experience of decision makers as a result of the negotiations with the Mersin Provincial Public Transport Branch Directorate.

Key Words: Public transportation, Public transit network planning process, Frequency setting and timetable development, Determination of headway, Simulation

Advisor: Prof. Dr. Tevfik AYTEMİZ, Department of Business Administration, The University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın her aşamasında bilgi, deneyim, emek, yardım ve katkılarını esirgemeyen, çalışma sürecinde karşılaşılan tüm sorunların aşılmasında yol gösterici olan ve desteğini hiç esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Tefik AYTEMİZ'e teşekkür ederim.

Tez izleme komitemde yer alarak, tez süresince desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. İzzettin TEMİZ'e ve Dr. Öğr. Üyesi Ender GÜRGEN'e katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca tez savunma jürisinde yer alan Doç. Dr. Veli Alpavut YAVUZ'a ve Doç. Dr. Ayhan DEMİRCİ'ye de çok teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca göstermiş oldukları anlayış, manevi destek ve hayatıma kattıkları anlam için anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. TOPLU TAŞIMA KAVRAMI	3
2.1. Toplu Taşımanın Tanımı ve Özellikleri	4
2.1.1. Toplu Taşıma Sisteminin Bileşenleri	6
2.1.2. Toplu Taşıma Sistemlerinin Sınıflandırılması	7
2.1.3. Toplu Taşıma Türleri	10
2.1.3.1. Ara Toplu Taşıma (Paratransit)	10
2.1.3.2. Cadde Üzeri Toplu Taşıma	11
2.1.3.3. Orta Kapasiteli Toplu Taşıma	12
2.1.3.4. Yüksek Performanslı Toplu Taşıma: Hızlı Ulaşım	13
2.1.3.5. Diğer Taşıma Türleri	14
2.1.4. Otobüs İle Toplu Taşıma	14
2.2. Toplu Taşıma Ağ Planlaması	18
2.2.1. Toplu Taşıma Ağ Planlama Süreci	19
2.2.1.1. Ağ Tasarımı Aşaması	20
2.2.1.2. Sıklık Ayarlama ve Zaman Çizelgesi Oluşturma Aşaması	21
2.2.1.3. Araçların Çizelgelenmesi Aşaması	21
2.2.1.4. Sürücü Çizelgeleme Aşaması	22
2.3. Sıklık Ayarlama ve Zaman Çizelgesi Oluşturma	23
2.3.1. Sefer Sıklığı Belirleme Yöntemleri	28
2.3.1.1. Noktasal (Maksimum Yük) Ölçüm Yöntemi	30
2.3.1.2. Araçta (Yükleme Profili) Ölçüm Yöntemleri	31
2.3.1.3. Diğer Yöntemler	35
2.3.1.4. Ampirik Çalışmaların Özeti ve Kısa Bir Değerlendirme	36
2.3.1.4.1. Matematiksel Yöntemler	36
2.3.1.4.2. Sezgisel ve Metasezgisel Yöntemler	39
2.3.1.4.3. Diğer Yöntemler	43
3. SİMÜLASYON YÖNTEMİ	48
3.1. Simülasyon Kavramı	48
3.2. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması	50
3.2.1. Statik ve Dinamik Simülasyon Modelleri	51
3.2.2. Deterministik ve Stokastik Simülasyon Modelleri	51
3.2.3. Kesikli ve Sürekli Simülasyon Modelleri	51
3.2.4. Çıktı Analizlerine Göre Simülasyon Türleri	52
3.3. Simülasyon Modeli Oluşturma Aşamaları	52
3.4. Simülasyon Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	57
4. MERSİN BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ OTOBÜS HATLARI İÇİN EN UYGUN SEFER SIKLIKLARININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK SİMÜLASYON MODELİ	59
4.1. Çalışmanın Katkısı	59
4.2. Mersin İli Büyükşehir Belediyesi Toplu Taşıma Sistemlerinin Mevcut Durum Analizi	60
4.3. Problemin Tanımlanması	64

4.4. Çalışmanın Örneklemine Belirlenmesi	66
4.4.1. Kilometre Başına Düşen Yolcu Sayısına göre Örneklemine Belirlenmesi	67
4.4.2. Durak Başına Düşen Yolcu Sayısına göre Örneklemine Belirlenmesi	69
4.5. Simülasyon Modelinin Tasarımı	70
4.5.1. Yolcuların Gelişi	70
4.5.2. Yolcuların Taşınması - Seyahat	78
4.5.3. Sistemden Çıkış	85
4.6. Model Senaryoları ve Varsayımlar	86
4.7. Simülasyon Analizi Sonuçları	88
4.7.1. 10M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	90
4.7.2. 11M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	91
4.7.3. 12M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	93
4.7.4. 15M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	95
4.7.5. 18M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	97
4.7.6. 20M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	99
4.7.7. 26M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	101
4.7.8. 28M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	103
4.7.9. 29M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	105
4.7.10. 30M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	107
4.7.11. 32M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	109
4.7.12. 33M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	111
4.7.13. 36M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	113
4.7.14. 44M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları	115
4.8. Sefer Sıklıklarının Belirlenmesi	118
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR	127
EKLER	132
ÖZGEÇMİŞ	160

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2. 1. Toplu Taşıma Sisteminin Amaçları ve Hedefleri	5
Tablo 2. 2. Güzergah Özelliğine ve Sistem Teknolojilerine Göre Toplu Taşıma Sistemlerinin Sınıflandırılması	10
Tablo 2. 3. Toplu Taşıma Ağ Planlama Süreci	19
Tablo 2. 4. Literatür Özeti	47
Tablo 4. 1. Mersin Büyükşehir Belediyesi Otobüs Filosu ve Kapasiteleri	61
Tablo 4. 2. Mersin İli Merkez İlçelerde Faaliyet Gösteren Belediye Otobüs Hatları ve Hatlara Ait Bilgiler	62
Tablo 4. 3. Mersin İli Merkez İlçe Hat Güzergahları (Gidiş – Dönüş)	64
Tablo 4. 4. İşletme Türlerine Göre Araç ve Yolculuk Değerleri Karşılaştırması	65
Tablo 4. 5. Mersin Merkez İlçelerinin Yıllara Göre Nüfusu, 2012-2018 (TUIK, 2019)	65
Tablo 4. 6. Hatların Ortalama Yolcu Sayıları, Km Başına ve Durak Başına Yolcu Sayıları	66
Tablo 4. 7. Kilometre Başına Düşen Yolcu Sayıları	68
Tablo 4. 8. Durak Başına Düşen Yolcu Sayıları	69
Tablo 4. 9. İlçeler Arası Yolculuk Matrisi	74
Tablo 4. 10. Merkez İlçeler Arası Yolculuk Matrisi	75
Tablo 4. 11. Merkez 3 ilçe İçin İniş Oranları (10M Hattı Örneği)	76
Tablo 4. 12. Mezitli ve Yenişehir İlçeleri İçin İniş Oranları	76
Tablo 4. 13. 10M Hattı Dönüş Güzergâhı Ana Durakları ve Duraklar Arasında Geçen Ortalama Süre	84
Tablo 4. 14. Hatların Günlük Çalışma Süreleri	87
Tablo 4. 15. Ortalama Saatlik Yolcu Sayıları Karşılaştırması	117
Tablo 4. 16. Hatların En Uygun Sefer Aralıkları	118

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1. Otobüsle Toplu Taşımacılığın Ulaştırma Sistemindeki yeri	15
Şekil 2. 2. Otobüs Türleri	16
Şekil 2. 3. Toplu Taşıma Ağı Zaman Çizelgesinin Akış Şeması	25
Şekil 2. 4. Toplu taşıma sefer sıklığı ve zaman çizelgesi ayarlama süreci	27
Şekil 2. 5. Sefer Aralığının Bir Fonksiyonu olarak Ortalama Bekleme Süresi	29
Şekil 2. 6. Noktasal Ölçüm ve Araçta Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması	34
Şekil 3. 1. Simülasyon Akış Şeması	53
Şekil 4. 1. Mersin İli Merkez İlçelerinde Hizmet Veren Otobüs Hatları	63
Şekil 4. 2. Create Modülü İletişim Penceresi	71
Şekil 4. 3. Create Modülü ile Otobüslerin Yaratılması	73
Şekil 4. 4. ASSIGN Modülü İletişim Penceresi	73
Şekil 4. 5. Hold Modülü İletişim Penceresi	78
Şekil 4. 6. Yolcuların Taşınması – Seyahat Bölümü Simülasyon Modeli Örneği	79
Şekil 4. 7. Station Modülü İletişim Penceresi	80
Şekil 4. 8. Search Modülü İletişim Penceresi	81
Şekil 4. 9. DropOff Modülü İletişim Penceresi	82
Şekil 4. 10. Pickup Modülü İletişim Penceresi	83
Şekil 4. 11. Route Modülü İletişim Penceresi	83
Şekil 4. 12. Dispose Modülü İletişim Penceresi	86

1. GİRİŞ

Dünya genelinde nüfusun kırsal alanlardan kentsel alanlara taşınması şehir yaşamında bazı zorlukları da beraberinde getirmiştir. Şehir nüfusunun artmasıyla işsizlik ve çarpık kentleşme artarken şehirler de genişlemeye başlamıştır. İnsanlar iş yerlerine ve okullara gitmek ya da sosyal aktiviteleri gerçekleştirmek için özel araçlarını ya da toplu taşıma araçlarını kullanmaktadırlar. Ancak trafikte özel araçların artmasıyla birlikte trafik sıkışıklığı, trafik kazaları, gürültü, hava kirliliği ve park yeri problemleri de artmaktadır. Bu sebepler yüzünden, insanların şehir içi ulaşımında toplu taşıma araçlarını kullanmaları için toplu taşımanın daha çekici hale getirilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için de toplu taşıma sistemlerinin etkinliğini arttıracak en önemli etkenlerden olan hat kapasitesi, hizmet sıklığı, kapsama, güvenilirlik, hizmet kalitesi ve konfor gibi hizmet parametrelerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Toplu taşıma türleri arasında otobüsler, tramvaylar ve metrolar oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tramvay ve metro ile karşılaştırıldığında daha az alt yapı maliyeti gerektirdiği ve daha fazla esneklik sağladığı için otobüslerin daha yaygın bir şekilde kullanıldığı gözlemlenmektedir. Metro ve tramvaylar kendileri için hazırlanmış özel bir zemin üzerinde hareket edebildiği için, bir şehirde sadece bu türlerle tüm toplu taşıma talebini karşılamak mümkün değildir. Ayrıca insanlar konforlarına önem verdikleri için aktarma yapmayı çok fazla tercih etmemektedirler. Bu sebeple şehir içi ulaşımında otobüslerin önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Bir otobüs hattını işletebilmek için gerekli olan ağ tasarımı, sefer sıklığının belirlenmesi ve zaman çizelgesi oluşturulması, araçların çizelgelenmesi ve sürücülerin çizelgelenmesi faaliyetleri literatürde toplu taşıma ağ planlama süreci olarak adlandırılmaktadır. Toplu taşıma ağ planlama sürecinin ikinci aşaması olan sefer sıklığı belirleme ve zaman çizelgesi oluşturma aşaması, kullanıcıların konforunu dikkate alan ve hizmet kalitesi ile ilgili olan planlama aşamasıdır. Bu sebeple kullanıcıların toplu taşıma araçlarını tercih etmesi amacını gerçekleştirebilmek için özellikle üzerinde durulması gereken bir aşamadır. Kullanıcılar otobüsleri kullanırken duraklarda çok fazla beklemek istemezler ve varmak istedikleri yere en kısa rota ile en kısa sürede ulaşmak isterler. Toplu taşıma hizmeti sağlayıcıları ise kâr elde etme amacı gütmedikleri için olabilecek en az maliyetle en iyi hizmeti sunmayı çalışırlar. Bir hatta, sefer aralığı kısaldıkça yani sefer sıklığı arttıkça yolcuların bekleme süresi azalmaktadır. Ancak toplu taşıma hizmeti sağlayıcıları olan belediyeler için bu hizmet maliyetlerinin ve sefer sayısını arttırmak için otobüs satın alınması gibi sabit maliyetlerin artması anlamına gelir ve birbiriyle çelişen bu iki amaç arasında bir denge kurmak oldukça zordur.

Bu çalışmanın ilk amacı konunun daha iyi anlaşılması için toplu taşıma sistemlerinin ne olduğu, nasıl çalıştığı ve toplu taşıma hizmeti sunarken dikkat edilmesi gereken faktörlerle ilgili detaylı bilgi vermektir. Çalışmanın ikinci ve ana amacı, Mersin Büyükşehir Belediyesi'nin otobüsle toplu taşıma hizmetlerinin verimliliğinin ve etkinliğinin artırılmasını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda, Mersin ili merkez ilçelerinde hizmet veren belediye otobüslerinin sefer aralıkları ve zaman çizelgelerinin yeniden oluşturulmasına yönelik bir simülasyon modeli tasarlanmıştır. Gerçek verilerle, gerçek sistemi yansıtacak simülasyon modeli tasarlandıktan sonra model her hat için ayrı ayrı çalıştırılarak sonuçlar gözlemlenmiş ve Mersin Büyükşehir Belediyesi'ne, tespit edilen sorunların çözümü doğrultusunda öneriler sunulmuştur. Bu çalışma ile, sefer saatlerinde ve sefer sıklıklarında yapılacak değişikliklerle belediye otobüslerinin daha verimli kullanılması amaçlanmaktadır. Öngörülen hat planlaması ile en uygun sefer sıklıkları belirlenerek toplamda günlük kaç kişinin sistemden yararlanacağı daha gerçekçi bir şekilde tahmin edilebilecektir. Bu doğrultuda çalışma beş bölümden oluşmaktadır.

İlk bölümde giriş kısmına yer verilirken, ikinci bölümde toplu taşıma kavramına ve toplu taşıma türlerine değinilmiştir. Sonrasında otobüsle toplu taşımacılık, toplu taşıma ağ tasarım problemleri, toplu taşıma ağ tasarım planlama süreci ve çalışmanın ana konusu olan sefer sıklığı belirleme yöntemleri derinlemesine incelenmiştir. Devam eden kısımda, sefer sıklığını ele alan ampirik çalışmalar kullanılan yöntemlere göre üç farklı kategoriye ayrılmış ve kullanılan yöntemlere göre çalışmalar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntem olan simülasyon yöntemine değinilmiştir. Simülasyon modeli geliştirme aşamaları, simülasyon türleri ve simülasyon yönteminin avantajlarından ve dezavantajlarından bu bölümde bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde Mersin İli Büyükşehir Belediyesi tarafından dört merkez ilçe olan Akdeniz, Mezitli, Toroslar ve Yenişehir ilçelerine hizmet veren 28 hattan 14'ü örneklem olarak seçilmiş ve örneklem kapsamındaki hatlar için 2018 – Ekim ayı yolcu biniş verileri kullanılarak her bir hattın gidiş – dönüş yönünde ayrı ayrı simülasyon modeli kurulmuştur. Ayrıca, geliştirilen simülasyon modelleri ile her bir hat için 10 farklı senaryo çalıştırılmıştır. Simülasyon analizi sonucunda her bir hat için ortalama bekleme süresi, ortalama seyahat süresi, ortalama yolcu sayısı, ortalama bir otobüsteki yolcu sayısı verileri elde edilmiştir. Sonrasında, bu veriler kullanılarak her bir hat için kapasite doluluk oranı hesaplanmıştır. Senaryolardan elde edilen bilgiler ve yapılan hesaplamalar göz önünde bulundurularak, her bir hattın normal zamanları ile yoğun zamanları için en uygun sefer aralıklarının ne olacağına Mersin İli Toplu Taşıma Şube Müdürlüğü ile yapılan görüşmeler sonucunda karar vericilerin bilgi, beceri ve tecrübelerine göre karar verilmiştir. Çalışma sonuç ve öneriler kısmı ile tamamlanmıştır.

2. TOPLU TAŞIMA KAVRAMI

Toplu taşıma, toplu ulaşım, kent içi ulaşım gibi farklı isimlerle anılmakta olan kent içi ulaşım kavramı bu çalışmada toplu taşıma terimi ile ifade edilecektir. Toplu taşıma genel olarak şehir içinde, fazla sayıda insanın birlikte, istedikleri yere taşınmasını içerir. İnsanlar genellikle çalışmak, aile işlerini yapmak veya sosyal faaliyetler ve dinleme faaliyetleriyle uğraşmak için toplu taşımayı kullanırlar. Toplu taşıma insanlara otobüs, tren, taksi, dolmuş vs. gibi farklı türlerde arz edilebilir. İnsanların hangi türü seçeceği ise onların zaman, maliyet, konfor ve elverişlilik açısından bireysel tercihlerine bağlıdır. Ancak türü ne olursa olsun bu sistemler oldukça karmaşıktır. Çünkü yolcular, sürücüler, otobüsler, yollar, rotalar, yetkililer gibi bu sistemden etkilenen birçok taraf bulunmaktadır. Bu da toplu taşıma ile ilgili sorunların çözümünü zorlaştırmaktadır. Çoğu toplu taşıma sağlayıcısının temel amacı yolcuların düşük ücretlerle kolay bir şekilde seyahat etmesini sağlayan kaliteli bir hizmet sunmaktır. Bunun yanında toplu taşıma hizmeti sağlayıcıları aslında insanların hareketliliğini arttırırken ve kolaylaştırırken hava kirliliğini ve trafik sıkışıklığını azaltmak gibi sosyal bir misyona da sahiptirler. Çoğu durumda bu hizmetin verilmesindeki amaç, havayolları, demiryolları ve şehirlerarası otobüs şirketleri gibi neredeyse diğer tüm ulaşım organizasyonlarının aksine, kâr elde etmek değildir. Tabi ki toplu taşıma hizmeti sağlayıcılarını otobüsler, sürücüler, bakım istasyonları ve otobüs depoları gibi pahalı kaynakları olabildiğince verimli kullanmaya zorlayan bütçe kısıtlamaları vardır. Bu sebeple buradaki ana sorun işlemsel maliyetleri ve varlıkları koruyarak nasıl daha iyi hizmet verilebileceği ile ilgilidir.

Bu noktada kaynakların daha verimli kullanılması ve yolcuların ihtiyaçlarının karşılanması gibi birbirleriyle çelişen amaçları gerçekleştirmek için toplu taşıma hat planlama sürecinin önemli aşamalarından biri olan sefer sıklığı belirleme ve zaman çizelgesi oluşturma aşamasından faydalanılır. Sefer sıklığı belirleme ve zaman çizelgesi oluşturma, bir işletmenin planlama süreci düşünüldüğünde, operasyonel (kısa dönemli) bir planlamadır. Operasyonel planlama faaliyetleri genellikle verilen hizmetlerle ilgilidir ve hizmetin kalitesine odaklanır. Bu sebeple hizmet kalitesi de aslında çalıştırılacak otobüs ve çalıştırılacak personel gibi işletmenin değişken maliyetlerini etkilediği için bu alanlarda yapılacak düzenlemeler kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

Bu kapsamda, bu bölümde öncelikli olarak toplu taşımanın tanımı yapılacak, bileşenlerinden ve toplu taşıma sistemlerinden bahsedilecektir. Sonrasında, çalışmanın konusu olan otobüsle toplu taşımacılığa ve toplu taşıma hat planlama sürecine değinilecektir. Devamında çalışmanın uygulama kısmı olan sefer sıklığı belirleme ve zaman çizelgesi oluşturma aşamaları ele alınacaktır. Son olarak da sefer sıklığının belirlendiği ampirik çalışmalara değinilecektir.

2.1. Toplu Taşımanın Tanımı ve Özellikleri

Toplu taşıma okul otobüsleri, taşıt kiralama ve tur hizmetleri dışında kalan, halk için genel ya da özel taşımacılığın devam etmesini sağlayan bir araç aracılığıyla yapılan taşımacılık olarak tanımlanır (Tran & Kleiner, 2005: 154). Kentsel yolcu taşımanın bir türü olan toplu taşıma, toplu ulaşım (transit) olarak da adlandırılmaktadır. Toplu taşıma, ücretini ödeyen herkes tarafından kullanılabilen, sabit bir rotası ve zaman çizelgesi olan taşımacılık sistemleridir (Vuchic, 2007: 45).

Toplu taşıma, daha önceden belirlenmiş bir güzergâhta, belirli bir zaman tarifesine göre, belirli duraklarda duran, koridordaki diğer araçlarla birlikte ya da diğer araçlardan ayrılmış bir şekilde, belirli bir ücret karşılığında çalıştırılan ve toplumda her bir birey tarafından kullanılabilen sistemler olarak tanımlanmaktadır (Acar, 2005: 90).

Toplu taşıma kavramı, Avrupa Standartları Derneği tarafından şu şekilde tanımlanmaktadır; “Taşıma türüne, araç ve altyapı sahipliğine, yolculuğun uzunluğuna, ödeme şekline ve servis sağlayıcıların yasal statülerine bağlı kalmaksızın, herkese açık olan, kamuya ilan edilen sabit zamanları veya sıklıkları ve işletim periyotları olan, sabit rotaları ve durakları veya başlangıç ve bitiş noktaları olan veya tanımlanmış bir alanda işletilen, sürekliliği olan ve kamuya yayınlanmış bir ücret tarifi olan hizmetlerdir” (European Committee for Standardization, 2002).

Bu tanımlara göre bir ulaşım sisteminin toplu taşıma olarak adlandırılabilmesi için aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:

- Tüm halkın kullanımına açık olması,
- Aynı anda birden fazla yolculuğun yapılabilmesi,
- Önceden belirlenmiş güzergâhlara sahip olması,
- Belirli bir ücret karşılığında yapılması,
- Önceden belirlenen durakların olması,
- Gün içinde kullanılabileceği zaman aralığının, sefer sıklığının ve saatlerinin bir zaman çizelgesi ile önceden belirlenmiş olması.

Toplu taşıma sistemleri vatandaşların ulaşımına adil erişimini sağlar ve aynı zamanda doğal ve sosyo-ekonomik çevre üzerinde trafiğin etkilerini azaltmaya yardımcı olur (Pternea, Kepaptsoglou & Karlaftis, 2015: 276). Buna ek olarak toplu taşımanın faydalarını şu şekilde sıralamak mümkündür (Tran & Kleiner, 2005: 154);

- Toplumda yaşam kalitesini artırır (Şehrin büyük bir kısmında güvenli, etkin ve ekonomik taşıma hizmeti sağlar.)
- Trafik sıkışıklığını azaltır.
- Maddi açıdan tasarruf sağlar.

- Yeni iş kolları yaratarak istihdam sağlar.
- Hava kalitesini artırır ve enerji tüketimini azaltır.
- Toplu taşımanın ulaşılabilirliği ve düşük ücretli olması ekonominin daha sağlıklı bir hale gelmesine yardımcı olur ve insanların hareketliliğini artırır.
- Enerji tasarrufu sağlar.

Toplu taşıma sistemlerinin bu faydaları sağlayabilmesi için Tablo 2.1. de belirtilen amaç ve hedeflere ulaşabilmesi gerekmektedir. Toplu taşıma hizmeti sunucuları aslında bu beş temel amacı gerçekleştirmeye çalışırlar. Bunların başında maksimum sayıda vatandaşın hareket etmesi gelmektedir. Bunu çevreyi geliştirme, taşımacılığın ekonomik etkinliğini artırma, enerji kaynaklarını koruma ve trafik güvenliğini geliştirme sırayla takip etmektedir.

Tablo 2. 1. Toplu Taşıma Sisteminin Amaçları ve Hedefleri

Amaçlar	Hedefler
Maksimum kişi hareketliliğini sağlamak	Tüm vatandaşlara, özellikle de kentli yoksullara, yaşlılara ve çocuklara güvenilir, uygun fiyatlı ve güvenli toplu taşıma hizmeti sağlamak
	Kentsel seyahatin hizmet düzeyini iyileştirmek
Çevreyi korumak	Otobüsler yüzünden oluşan hava kirliliğini azaltmak
	Trafik yüzünden oluşan gürültüyü azaltmak
	Kentsel çevrenin estetik kalitesini arttırmak
Taşımacılığın ekonomik etkinliğini arttırmak	İnsanların taşınması için var olan tesislerin kapasitesini arttırmak
	Personel maliyetlerini azaltmak
	Toplu taşıma sistemlerinin devlet maliyetini azaltmak
	Kentsel taşımanın pozitif etkilerini maksimize etmek
Enerji kaynaklarını korumak	Toplu taşımada elektrik tüketimini azaltmak
	Kentsel seyahatler için yakıt tüketimini azaltmak
Trafik güvenliğini artırmak	Trafik kazalarını azaltmak
	Trafik kazaları yüzünden meydana gelen yaralanmaları ve ölümleri azaltmak

Kaynak: Victor & Ponnuswamy, 2012: 7 çalışmasından uyarlanmıştır.

Maksimum kişi hareketliliğinin sağlanabilmesi için öncelikli olarak vatandaşlara uygun fiyatlı, güvenilir ve konforlu toplu taşıma hizmeti sunulması gerekmektedir. Bunun yanında hizmet düzeyini geliştirerek yani sefer sıklıklarını arttırarak toplu taşımanın vatandaşlar için çekici hale gelmesi sağlanabilir. Toplu taşıma sisteminin ikinci önemli amacı çevreyi korumaktır. Bunu gerçekleştirebilmesi için otobüslerin sebep olduğu hava kirliliğinin ve trafik yüzünden oluşan gürültünün azaltılması gerekir. Ayrıca şehrin yol ağlarının, rotalarının, zemin üstü ve zemin altı toplu taşıma sistemlerinin kentsel çevrenin estetik kalitesini arttıracak şekilde düzenlenmesi gerekir. Üçüncü amaç olan taşımacılığın ekonomik etkinliğini arttırmak için tesis ve otobüs kapasiteleri arttırılmaya çalışılır, personel yani sürücü ücretleri azaltılmaya

çalışılır, özel otobüslerle, kooperatif otobüsleri – minibüsleri ile toplu taşıma maliyetinin sadece devletin üzerine bırakılması önlenabilir ve kentsel taşımanın pozitif etkileri maksimize edilmeye çalışılır. Diğer bir amaç olan enerji kaynaklarını koruyabilmek için elektrik tüketimini ve yakıt tüketimini azaltmak gerekmektedir. Bunun için de yenilebilir enerji kaynaklarına ve güneş enerjisi ile çalışan toplu taşıma araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Son olarak trafik güvenliğini arttırmak amacı ile kazaların azaltılması, böylece yaralanmaların ve ölümlerin azaltılması sağlanabilir. Ayrıca kullanıcıların kişisel güvenliğini sağlamaları amacıyla toplu taşıma araçlarına ayakta alınabilecek yolcu sınırlamasına vs. dikkat edilmesi gerekmektedir.

2.1.1. Toplu Taşıma Sisteminin Bileşenleri

Bir toplu taşıma sisteminin planlanmasında, yürütülmesinde ve kontrol edilmesinde birçok farklı taraf yer alır: yetkililer, kullanıcılar, işleticiler ve kullanmayanlar. Bu taraflara ek olarak toplu taşıma sisteminin fiziksel bileşenleri de bulunmaktadır. Bunlar aşağıda sınıflandığı gibidir (Vuchic, 2007: 53);

Araçlar; herhangi bir tür ve demiryolu taşıtları için toplu olarak araçlar ya da arabalar ifadesi kullanılmaktadır. Taşıma birimi (transit unit) birlikte seyahat eden araçlar kümesidir. Taşıma birimi tek bir araç olabileceği gibi, birçok araç çiftiyle hizmet veren trenler de olabilir (Vuchic, 2007: 53).

Yollar, seyahat yolları, güzergâhlar; genel caddeler ve yollar, saklanmış (tasarlanmış) yollar, özel (fiziksel olarak ayrılmış) yollar, geçiş sokakları, otobüs yolları (sadece otobüs için zemini ayrılmış yollar) ve yol ortasındaki tren raylarından oluşur.

Duraklar; yolcuların araçtan inmesi ve araca binmesi için araçların durdukları tesislerdir. Genellikle yolcular ve sistem işlemleri için zemin üzerinde veya altında yer alabilirler. Duraklar basit tesislerle (sadece işaret levhası olabileceği gibi özel durak alanları da olabilir) cadde boyunca yerleştirilebilirler.

Rotalar; araçlar tarafından düzenli olarak hizmet edilen ayrılmış güzergâhlar ve caddeler kümesidir. Rota genellikle otobüs için kullanılırken, hatlar trenler için kullanılmaktadır. İki kelime bazen birbirini yerine de kullanılabilir. Bir şehirdeki bütün rotaların ve hatların toplamı taşıma/ulaşım ağı olarak tanımlanır.

Terminal; otobüs hatlarının başlangıç ve bitiş duraklarıdır.

Aktarma noktaları; yolcuların bir hattan diğer bir hatta geçmelerini sağlayan duraklardır.

Otobüs garajı veya tren bakım istasyonu; araçların depolanması için ayrılan alanlar veya yapılarıdır.

Kontrol sistemleri; araçların nerede olduklarının bulunması, iletişim ve işaretler için elektrik, bilgisayar ve elektronik araçların bulunduğu sistemlerdir.

Yolcular: Toplu taşıma aracını kullanan kişiler ve hizmet görevlileri dışında araçta bulunan diğer kişilerdir.

Sefer: Toplu taşıma aracının bir başlangıç noktasından bir varış noktasına kadar hareketi sefer olarak tanımlanır.

Başlangıç-Varış Yeri: Otobüsün herhangi bir sefere başladığı ilk noktaya başlangıç noktası ve seferi sonlandırdığı son noktaya ise varış noktaları nedir.

2.1.2. Toplu Taşıma Sistemlerinin Sınıflandırılması

Toplu taşıma sistemleri güzergâh özelliği, sistem teknolojileri ve hizmet türü dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır (Vuchic, 2007: 47-50). Toplu taşıma türleri bu özelliklerin her biri ile farklılaşmaktadır. Genellikle teknolojinin taşımacılık özelliklerini belirleyen ana özellik olduğu düşünülür. Ancak bunun aksine, taşıma türünün performansını ve maliyetini etkileyen ana unsur güzergâh özelliğidir. Örneğin; hızı, güvenliği ve diğer performans öğelerine göre değerlendirildiğinde, tramvay hizmeti raylı hızlı taşıma sisteminden daha çok sokak otobüs hizmetine benzemektedir. Aslında, sokak ulaşımı otobüs gibi yönlendirilmiş türlerden oluşurken raylı sistemler teknoloji ağırlıklıdır (Vuchic, 2007: 47). Aşağıda toplu taşıma sistemlerinin güzergâh özelliği, sistem teknolojileri ve hizmet türüne göre nasıl sınıflandırıldığı detaylı şekilde anlatılmıştır.

- a. Güzergâh özelliğine göre:** Taşıma araçlarının üzerinde çalıştığı yolun sınırlarına ya da seyahat yoluna göre yapılan bir sınıflandırmadır (Vuchic, 2007: 47). Buna göre temelde üç kategoriye ayrılmaktadır.

A Kategorisi: güzergâhın sadece toplu taşıma sisteminin kullanımına ayrılmış özel bir yol olduğu ve kendisini çevreleyen alanlardan tamamen ayrıldığı kategoridir. Diğer taşıt trafiği ya da kaldırımlar, yaya geçitleri gibi yayalar tarafından kullanılan alanlardan tamamen bağımsız alanlardır. Güzergâh özelliği A kategorisine sahip olan toplu taşıma araçları ise metro gibi yüksek kapasiteli ve güdümlü sistemlerdir.

B kategorisi: bu kategori kaldırım taşları, bariyerler ve zemin ayırımı kullanılarak çevresindeki diğer trafikten fiziksel olarak ayrılmaktadır. Bu kategori hafif raylı ulaşım sistemleri için sıklıkla kullanılmaktadır. Güzergâh özelliği B kategorisi olan toplu taşıma araçları genellikle metrobüsler ve hafif raylı sistemlerdir.

C Kategorisi: karma trafikli cadde yüzeylerini temsil eden kategoridir yani taşıt yolları veya yaya yolları üzerinde kendilerine tahsis edilmiş bir yol veya öncelikli hat tasarlanmadan kullanıldığı durumları ifade etmektedir. Güzergâh özelliği C kategorisi

olan toplu taşıma araçları genellikle otobüsler, trolleybüsler, cadde araçları ve tramvaylardır. Bunlar cadde üzeri toplu taşıma araçları olarak da bilinirler.

Çoğu durumda güzergâh özelliği toplu taşıma sistemlerinin en temel ögesidir. Çünkü toplu taşıma türlerinin hepsinin performansını ve maliyetini etkilemektedir. Buna ek olarak aşağıda bahsedilecek olan diğer iki sınıflandırma türü ile de etkileşimde bulunmaktadır.

Güzergâh özelliği B kategorisine sahip olan toplu taşıma sistemleri, güzergâh özelliği C olan toplu taşıma türleri ile kıyaslandığında bazı avantajlara sahip olduğu görülmektedir. Örneğin, B kategorisi daha yüksek hıza ve daha büyük kapasiteye sahiptir, daha güvenilirdir ve daha konforludur. Ayrıca B kategorisi yüksek yolcu kapasitesine sahip olduğu için yolcu başına düşen işletim maliyeti daha düşüktür. Ancak B kategorisi C kategorisi ile kıyaslandığında bazı dezavantajlara da sahiptir. Örneğin; yüksek yatırım maliyetlerine sahiptirler ve güzergâhları için özel alanlara ihtiyaç duyarlar (Vuchic, 2007: 62).

Güzergâh özelliği A kategorisine sahip olan toplu taşıma sistemlerinin, güzergâh özelliği B kategorisi olan sistemlerle karşılaştırıldığında A kategorisinin üstünlükleri şöyle sıralanabilir. A kategorisi en yüksek performans özelliklerine sahip olan kategoridir. En güvenli güzergâh özelliği kategorisidir çünkü trafikle hiçbir etkileşimi yoktur ve otomatik tren korumasını kullanmaktadır. Ancak yatırım maliyetleri açısından kıyaslandıklarında A kategorisi daha yüksek yatırım maliyetine neden olmaktadır (Vuchic, 2007: 63).

b. Sistem teknolojileri özelliğine göre: Burada sistem teknolojileri ile kast edilen toplu taşıma türlerinin teknolojisidir. Toplu taşıma türlerinin teknolojisi, araçların ve yolların mekanik özelliklerini işaret etmektedir. Sistem teknolojilerinin sistem performansını etkileyen ve güzergâh özelliği kategorileriyle etkileşime giren dört önemli özellik bulunmaktadır. Bunlar: destek, rehberlik, çalıştırıcı güç ve kontroldür. Destek, araç ve yürüyüş yolları arasındaki dikey bağlantıdır. En yaygın türleri beton üzerindeki, asfalt üzerindeki ya da diğer yüzeylerdeki araba lastiğidir ve çelik ray üzerindeki çelik janttır. İkinci özellik olan rehberlik, araçların sürücülü ya da sürücüsüz olma özelliği ile ilişkilidir. Sürücüsüz araçları kullanan sistemler neredeyse bütün caddelerde hizmet verirler. Üçüncü özellik çalıştırıcı güç ile ifade edilen dizel, gaz, elektrik gibi çalıştırıcı gücün türüdür. Ayrıca burada güç kaynağından enerji sağlama da oldukça önemlidir. Dördüncü özellik kontroldür. Burada sistemdeki bütün araçların ya da bir aracın seyahati/turu için yasal düzenlemeler yapılmaktadır (Vuchic, 2007: 47-49).

c. Hizmet özelliklerine göre: Toplu taşıma sistemleri, rotalarına göre, duraklarına göre, kapsadığı bölgesel alanlara göre ve hizmetin verildiği saate göre sınıflandırılabilir (Vuchic, 2007: 49).

Sistemin kapsadığı alana göre yapılan sınıflandırmada, bütün bir şehre hizmet veren hatlar olduğu gibi, sadece hava alanı ya da kampüs çevresinde hizmet veren hatlar da olabilir. Buna ek olarak sadece şehir merkezinde küçük bir bölge ile büyük bir ulaşım yoğunluğuna da hizmet verilebilir.

İşlemin türüne ya da duraklara göre yapılan sınıflandırmada, ulaşım araçları yolcuların istediği bütün duraklarda durabileceği gibi express (hızlı) hizmet olarak adlandırılan sadece belirli duraklarda durarak da hizmet verilebilir. Ayrıca bazı sistemler ise sadece başlangıç ve bitiş durağında durarak aradaki durakları atlayarak yani ara duraklarda durmayarak hizmet vermektedir.

Hizmet verilen zamana göre yapılan sınıflandırmada, tüm gün boyunca hizmet verilebileceği gibi sadece yoğun (peak) zamanlarda da hizmet verilebilir. Buna ek olarak sadece özel zamanlarda ya da düzensiz zamanlarda da hizmet verilebilir. Örneğin, bir spor etkinliği olduğu zaman, bir ulusal bayramda ya da kar fırtınası gibi acil durumlarda özel hizmetler uygulanabilir.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere hizmet özelliğine göre yapılan sınıflandırma işletim aşamasında şartlara göre değişebilen bir sınıflandırma iken, güzergâh özelliğine ve sistem teknolojilerine göre yapılan sınıflandırma sistemin değişmez unsurları olan alt yapı ve teknoloji üzerine sınıflandırmalar yaparlar. Güzergâh özelliği ve sistem teknolojileri aslında birbirine bağımlıdır ve bazı türler açısından kategoriler arasında kesin bir ayırım yapılamaz. Tablo 2.2. de bu birbirine bağımlılık durumu özetlenmiştir. Bu tabloya göre güzergâh özelliği kategorileri ve teknoloji özellikleri araç güdümlülüğü açısından birbirine bağımlıdır. C kategorisi üzerinde genellikle otobüsler kullanılır çünkü taşımadaki esneklikleri ve düşük yatırım maliyetleri araç güdümlülüğü avantajından daha önemlidir. Cadde üstü araçları/tramvaylar da C kategorisi üzerinde işlem yaparlar ancak güdümlülüğün avantajından faydalanırlar ve iyi bir trafik mühendisliğine ihtiyaç duyarlar. Diğer yandan tamamıyla ayrılmış güzergâhlar üzerinde işlem yapan sistemler genellikle güdümlüdür. Bu sistemler belirli bir yol üzerinde işlem yaparlar, taşımanın esnekliğine ihtiyaçları yoktur. Güzergâh özelliği A çoğu durumda yoğun kullanılan hatların daha küçük bir ağını sundukları için güdümlü sistemlerin özellikleri daha baskındır (Vuchic, 2007: 528).

Tablo 2. 2. Güzergâh Özelliğine ve Sistem Teknolojilerine Göre Toplu Taşıma Sistemlerinin Sınıflandırılması

Güzergâh Özelliği	Teknoloji			
	Karayolu üzerinde sürücülü	Lastikli Tekerlekli Güzümlü	Raylı	Diğer
A	Otobüs yolu üzerindeki otobüs	Lastikli tekerlekli metro	Hafif metro, Metro, Banliyö bölgesel tren	Feniküler, Dişli demiryolu
B	Metrobüs (BRT)	Güzümlü otobüs	Hafif raylı sistem (LRT)	
C	Otobüs, ara toplu taşıma türleri (paratransit), ring servisi	Trolleybüs	Tramway	Feribot, Deniz otobüsü

Kaynak: Vuchic, 2007: 51

Bu açıklamalara göre bağımlılık durumu şu şekilde örneklendirilebilir: tramvaylar ihtiyaç duydukları teknoloji nedeniyle bir hafif raylı sistemdir ve kent merkezinde sokaklarda hiçbir güzergâh ayrımı yapmaksızın işletilebilirken, sadece kendisine tahsis edilen bir koridor üzerinde işletilmesi de mümkündür. Bu durumda kent merkezinde C kategorisinde yer alırken, aslında B kategorisinde işletilmektedir.

2.1.3. Toplu Taşıma Türleri

Toplu taşıma türleri, taşıma türlerinin teknik, işletimsel ve ekonomik özelliklerine göre farklılaşmaktadır ve bunlar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

2.1.3.1. Ara Toplu Taşıma (Paratransit)

Ara toplu taşıma hizmeti, özel araçlar ile sabit bir rotası ve sabit bir zaman çizelgesi olan taşımacılık türleri arasında hizmet sağlayan, yoğunluğu karayolu araçlarından oluşur. Ara toplu taşıma düzenli toplu taşımanın aksine bireysel kullanıcı talebini karşılamak için rotaların ve zaman çizelgesinin değiştiği, daha düşük kapasiteli araçları kullanan taşımacılık türüdür. Seyahat süresi, başlangıç ve varış yeri, kullanıcı ve hizmet sağlayıcı arasında ayarlanır. Ücretlendirme ise seyahat süresine ve yolun uzunluğuna göre yapılır. Ara toplu taşıma iki kategoriye ayrılır. Birincisi yarı halka açık ara toplu taşımadır. Yarı halka açık ara toplu taşıma, belirli bir kullanıcı grubu için ulaşılabilir. Belirli bir topluluğun, hastanenin ya da üniversitenin üyeleri tarafından kullanılabilirlikleri özelleştirilmiş araçların aboneleri de bu türü kullanabilmektedir. Birçok personele sahip olan kurumlar, özel iş yerleri ve enstitülerin çalışanları için sağladığı servis hizmetleri örnek olarak gösterilebilir (Meyer, 2016: 513). İkinci kategori halka açık ara toplu taşımadır. Toplumdaki bireylerin her biri bu taşımacılıktan faydalanabilir. Rotadan farklı yollara saparak daha esnek hizmet verebilmektedirler. Ara toplu

taşıma araçlarını genel olarak sıralayacak olursak dolmuş, taksi, ortaklaşa araba kullanımı, karma hizmetler bu türe örnek olarak verilebilir.

Dolmuş: Gelişmiş ülkelerde farklı isimler alan dolmuşlar sabit bir zaman çizelgesine sahip olmayan ancak sabit bir rota üzerinde hizmet veren şahsi olarak sahip olunan yolcu araçlarıdır. Dolmuşlar rotaları boyunca yolcuların istediği zaman araçtan inmesine ve istedikleri zaman araca binmesine olanak sağlar (Grava, 2003: 236). Bu sebeple trafik karışıklığını artırır. Düşük kapasiteleri ve düşük işçi maliyetleri yüzünden oldukça yüksek sefer sıklığına sahiptirler.

Taksi: Sürücüler tarafından işletilen otomobillerdir. Bazen bir taksiden hizmet almaya başlamak uzun zaman alabilir ancak şahsi araçlarda yaşanan park problemi yoktur. Ayrıca kullanıcılar bir arabaya sahip olmanın yasal sorumluluğunu üstlenmezler. Kullanıcı ücreti ise oldukça yüksektir.

Karma hizmetler: Kullanıma hazır ara toplu taşımanın ve sabit rotalı toplu taşıma hizmetlerinin kombinasyonunu bünyesinde toplar. Yolcular karma hizmet sunucularını arar, onlar konumlarını söylerler, nereye gitmek istediklerini ve ne zaman gitmek istediklerini söylerler. Hizmet sağlayıcılar seyahati organize ederler (Vuchic, 2007: 67).

2.1.3.2. Cadde Üzeri Toplu Taşıma

Hemen hemen her şehirde toplu taşıma yaygın olarak caddeler üzerinde yapılır. Cadde üzeri toplu taşımanın üç türü vardır: otobüs, trolleybüs ve tramvay.

Otobüs: Sabit hatlar ve sabit zaman çizelgeleriyle işletilmektedirler. Otobüs en çok kullanılan toplu taşıma türüdür. Kullanılan taşıt türüne göre 25-30 kişilik minibüslerden 150 kişilik otobüslere değişen kapasiteye sahiptirler. Neredeyse bütün caddelere, anayollara ve boş yollara hizmet vermektedirler. Diğer taşıt trafiği ile beraber aynı yollarda işletilen, dolayısıyla C kategorisinde güzergâha sahip otobüs uygulamaları en yaygın otobüs hizmeti biçimidir (Vuchic, 2007: 67). En çok kullanılan toplu taşıma türü olması ve bu çalışmanın temelini oluşturması nedeniyle otobüslere bölüm 2.1.4. te detaylı bir şekilde değinilmiştir.

Trolleybüs: Otobüslere benzer araçlardır fakat elektrikli motor ile çalışırlar ve hat boyunca iki havai hattın güç alırlar yani güdümlü sistemlerdir. Trolleybüslere, yüksek yatırım maliyetine ihtiyaç duyarlar ve işletimsel açıdan otobüslerden daha karmaşıktır (İles, 2005: 54). Otobüsler gibi diğer taşıt trafiği ile aynı yollarda işletilmelerinden dolayı C kategorisinde güzergâha sahiptirler.

Tramvay: Raylı bir sistemdir. Güç kaynağı havai hattın sağladığı elektrik enerjisi olduğu için, raylarında güç kaynağı bulunmamaktadır. Bu nedenle taşıt trafiği veya yaya alanlarıyla birlikte tasarlanması mümkündür ve genellikle B ve C kategorisinde güzergâha sahiptirler. Genellikle 1-3 araç dizisi/vagon şeklinde çalıştırılırlar ve toplam kapasitesi 80-300 kişi arasındadır (Vuchic, 2007: 67).

Cadde üzerinde hizmet veren toplu taşıma araçlarının performansı genellikle trafik şartlarına bağlıdır. Eğer trafik sıkışıklığı varsa, hızları düşer ve planlanan ulaşım süresinde gecikmeler yaşanır. Bu da cadde üzeri toplu taşıma araçlarına olan inancı azaltır. Eğer trafik sıkışıklığı yoksa her durakta durarak yine kendi işletim hızını azaltmaktadır. Doğal olarak diğer toplu taşıma araçlarından daha yavaşlardır. Bunun sonucunda diğer toplu taşıma araçlarıyla hız ve inanılabilirlik yani güven açısından genellikle kıyaslanamazlar.

2.1.3.3. Orta Kapasiteli Toplu Taşıma

Güzergâh özelliği B kategorisinde olan toplu taşıma araçları orta kapasiteli toplu taşıma araçlarını temsil etmektedir. Güzergâh özelliği B kategorisinde yer alan taşıma araçları cadde üzeri toplu taşıma türlerinden daha yüksek performans ve daha yüksek kapasiteye sahiptirler. Daha güvenilir ve daha hızlı olmalarının yanında daha yüksek yolcu katılımı sağlamaktadırlar. Bu olumlu özelliklerinin yanında cadde üzeri taşımadan daha yüksek maliyete sahiptir. Bu kategoride yer alan toplu taşıma sistemleri metrobüs (Bus rapid transit-BRT), hafif raylı ulaşım (Light rail transit-LRT) ve otomatik güdümlü ulaşım (Automated guided transit-AGT) (Vuchic, 2007: 68-69).

Metrobüs: Otobüslerden daha yüksek kapasite, daha iyi performans, daha güçlü imajı veren fiziksel ve işletimsel özelliklere sahip olan otobüs sistemidir. Otobüslerin esnekliğini ve raylı taşımanın kalitesini birleştirmektedir (Levinson, Zimmerman, Clinger & Rutherford, 2002: 2). Minimal özellikli bir otobüs hattı şu koşulları sağladığında metrobüs olarak düşünülebilir: güzergâh özelliklerinin çoğu B kategorisine uyarsa, klasik ya da körüklü otobüsler kullanırsa, 300-500 metre uzaklığındaki yolcu imkânlarıyla durakları tasarlırsa, düzenli sefer aralıklarıyla hizmet verirse, bir hat boyunca çalışırsa, duraklarda inişlere izin verirse. Bir metrobüs sisteminin performansı bu bahsedilen bileşenlerin tasarımına ve kalitesine bağlıdır (Vuchic, 2007: 69).

Hafif Raylı Sistem: Güç kaynağı havai hattın sağladığı elektrik enerjisi olduğu için, raylarında güç kaynağı bulunmayan dolayısıyla taşıt ve yaya alanlarıyla beraber işletilmesinde teknolojik olarak engel bulunmayan sistemlerdir (Abdallah, 2017: 23). Bu sistemler tek bir vagonla işletilebileceği gibi 2-3-4 sayıda vagonla da işletilebilir. Duraklar arasındaki mesafe genellikle 300 ile 600 metre arasında değişmektedir. Hafif raylı sistem teknolojisi tamamıyla ayrı bir güzergâhı gerektirmediği için sistemin taşıt veya yaya trafiğiyle kesişme noktalarında hemzemin geçişler yapılması mümkündür ve sistem inşaat maliyetinin azaltılmasında önemli rol oynayabilir. Bu nedenle hafif raylı sistemler B Kategorisi ya da A Kategorisi güzergâha sahip kısmen veya tamamen ayrılmış sistemlerdir (Vuchic, 2007: 69-70).

Otomatik Güdümlü Ulaşım: Otomatik insan taşıyıcıları olarak bilinirler ve şoförsüz, orta ölçekli iki akslı elektronik araçla işletilen taşıma türüdür. Bu sebeplerden dolayı A Kategorisinde yer

almaktadır. Otomatik güdümlü ulaşım, sermaye yoğun bir türdür fakat güvenilirlik, hizmet sıklığı ve hız açısından yüksek performans özelliklerine sahiptir. İşletim maliyeti oldukça düşüktür (Lardennois, 1993: 104).

2.1.3.4. Yüksek Performanslı Toplu Taşıma: Hızlı Ulaşım

Yüksek performanslı toplu taşıma araçları genellikle güzergâh özelliğine göre yapılan sınıflandırmaya göre A Kategorisinde yer almaktadır. Bu araçlar kısa sefer aralıklarıyla hizmet veren ve yüksek kapasiteli trenlerle hizmet veren bağımsız güdümlü sistemlerdir. Araçların özel kullanımı için ihtiyaç duyulan ana öge yüksek performanslı ulaşım sistemidir. Güzergâh özelliğiyle birlikte bu teknolojiler, elektrikli çekişler, tren işlemleri ve tedbirli (bozulma korumalı) sinyalizasyon kullanılarak daha kullanışlı hale getirilmektedir (Vuchic, 2007: 72). En yüksek performanslı taşıma türü hızlı ulaşım ve bölgesel trenlerdir. Hafif raylı hızlı sistemler ve otomatik güdümlü ulaşım daha düşük kapasiteli alanlara dahil edilirken, lastik tekerlekli hızlı sistemler ve monoraylar farklı tekerlek teknolojileriyle hızlı ulaşım sistemlerine dahil edilirler. Burada altı farklı kategoriden söz edilir.

Hafif Raylı Hızlı Ulaşım: Küçük ölçekli hızlı ulaşımı gösterir ve sadece A kategorisine dahil olan hafif raylı araçlardan oluşur. Yüksek performans gereken hatlarda kullanılırlar fakat uzun trenleri ve büyük durakları savunacak yüksek yolcu hacmine sahip değildirler. Geleneksel metrolar ile karşılaştırıldığında kurulumu daha ucuz ve daha çabuktur (Knowles, 1992: 80). Bu sistemlerden dünyada birkaç adet vardır. Bu tür taşımacılığın önemi tamamen otomasyona geçilmesiyle artmaktadır. Şoförsüz trenlerin işletilmesi kısa trenlerle sık hizmet verilmesini sağlamaktadır (Vuchic, 2007: 72).

Lastik Tekerlekli Hızlı Ulaşım: Büyük dört akslı araçlardan oluşur. Bu araçlar lastik tekerlekle güdümlüdür, demir üzerinde çalışırlar ve A Kategorisinde yer alırlar. Trenler gibi vagonları vardır ve 3 ile 9 arasında vagona sahip olabilirler. Lastiklerde herhangi bir arıza olması durumuna karşı vagonlar demir tekerleğe de sahiptirler. Mevcut lastikli tekerlerinde bir arıza yaşandığında demir tekerlekleri kullanabilirler (Vuchic, 2007: 72).

Monoraylar: Araçlar ve güdümlü sistemlerin farklı özellikleri ile birlikte hızlı ulaşım sistemleri arasında yer alırlar. Klasik trenler gibi bir şoför tarafından yönlendirilirler. Monoray sistemleri yaklaşık bir düzine şehirde düzenli tek bir taşıma hattı olarak işletilirler yani tek bir hat üzerinden ilerlerler. Monoraylar kolonlar üzerinde veya altında hareket ederler. Diğer raylı sistemlerle karşılaştırıldığında daha güvenlidirler (Vuchic, 2005: 475).

Hızlı Raylı Ulaşım/Metro: Yer altında, hemzemin veya yükseltilmiş yapılar üzerinde tasarlanmış tamamen ayrılmış bir alanda yani A Kategorisi güzergâhta hizmet veren, yüksek hızlı, yüksek kapasiteli, güvenilir raylı sistemlerdir. Bu sistemlerin üzerinden diğer trafik geçişi ya da yaya geçişi mümkün değildir. Bazı metro sistemleri yüksek otomasyon seviyesine

sahipken bazı metro sistemleri tamamen otomatiktir ve sürücüsüz çalışırlar (Bacaksız, 2004: 88).

Bölgesel Trenler: Banliyö trenleri olarak da bilinirler. Demir yolları üzerinde işletilen elektrik ya da dizel ile çalışan bir sistemdir. Trenlerle işletilirler, rotaları çok uzundur, birkaç adet durakları vardır ve çalışma hızları oldukça yüksektir. Merkezi şehirler ve şehir çevresindeki yerleşim alanları arasındaki uzun hatlar boyunca yüksek performanslı hizmet sağlarlar. Metrodan farkı şehir içinden ziyade kentsel alanların dışına çıkan bir hizmet alanına sahiptirler. Kategori A güzergâh özelliğine göre planlanırlar (Vuchic, 2007: 72).

2.1.3.5. Diğer Taşıma Türleri

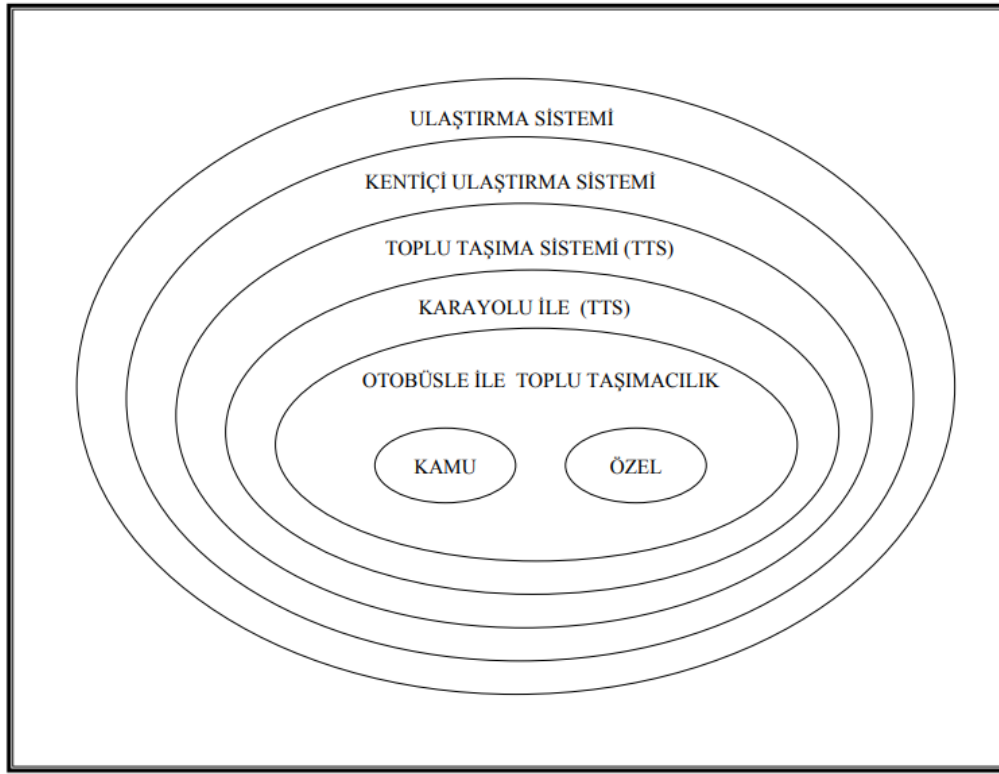
Bu bölümde yukarıda sıralanan kategorilere dahil olmayan taşıma türlerine değinilmektedir. Bunlar föniküler ve deniz ulaşımıdır.

Föniküler: Eğimli demiryolu taşımacılığı olarak da adlandırılmaktadır. Yüksek eğimli hatlarda, aralarında yükseklik farkı bulunan iki aracı birbirine bağlamak için kullanılan kablo sistemleridir. Föniküler sistemler hem asansör hem de demiryolu teknolojilerinden faydalanırlar (Grava, 2003: 766).

Deniz Ulaşımı: Deniz, göl, ırmak gibi su kaynaklarının olduğu yerleşim yerlerinde sağlanan denizyolu toplu taşımacılığıdır. Deniz ulaşımında vapur, feribot, deniz otobüsü gibi farklı ulaşım araçları kullanılabilir (İles, 2005: 27).

2.1.4. Otobüs İle Toplu Taşıma

Toplu taşımada en çok kullanılan tür otobüstür. Otobüs ile taşıma sistemleri sabit bir rota ve zaman çizelgesi üzerinde, belirli bir ücret karşılığında bütün ilgili kullanıcılar için ulaşılabilir olan ve yerleşim bölgelerine hizmet veren otobüs sistemlerini ifade eder (Victor & Ponnuswamy, 2012: 76). Otobüs hizmetleri düzenli aralıklarla kentsel alanların ihtiyaçlarını karşıladığı zaman, otobüsle toplu taşıma olarak adlandırılır. Şekil 2.1. de otobüsle toplu taşımacılığın ulaştırma sistemindeki yeri gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. Otobüsle Toplu Taşımacılığın Ulaştırma Sistemindeki yeri

Kaynak: Yardım, 2002: 19

Kent içi ulaşırma sistemi, yolcu taşımacılığı ve ürün taşımacılığı olarak kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Yolcu taşımacılığı; toplu taşıma ile, ara toplu taşıma ile ve özel araçlar ile üç farklı alt kategoride gerçekleşmektedir. Toplu taşıma sistemleri ise karayolu, demiryolu, havayolu ve denizyolu ile yapılabilmektedir. Otobüs ile toplu taşımacılık ise karayolu ile yapılan toplu taşıma türlerinden biridir ve otobüsle toplu taşıma devlet/belediyeler aracılığıyla yapılabileceği gibi özel halk otobüsleri ile özel kurumlar ya da kişiler tarafından da yapılabilmektedir.

Otobüslerin üç temel özelliği vardır. Birincisi, otobüsler neredeyse bütün caddeler üzerinde hareket edebilme özelliğine sahiptirler. Otobüsler kendi bünyelerinde bulundurdıkları güç istasyonları sayesinde birçok sokağa hizmet verebilirler. Bu sayede otobüs rotaları ve durakları talebi karşılayacak şekilde istendiği gibi ayarlanabilir. Ayrıca bu sayede geçici güzergâh değiştirme oldukça esnek bir şekilde yapılabilir. Ancak yolcu sayısı fazla olduğunda, otobüsler sınırlı kapasiteleri yüzünden daha az ekonomik olurlar ve araç kapasitelerini genişleterek iş gücü verimliliğini arttıramazlar (Vuchic, 2007: 203).

Otobüslerin ikinci temel özelliği, düşük yatırım maliyetlerine sahip olmalarıdır. Minimum rota alt yapısına sahip olarak, büyük girişimler ve değişimler yapabilirler. Otobüs rotalarının ve duraklarının genişletilmesi oldukça kolaydır. Otobüsler düşük altyapı maliyetleri ile birçok

caddeye hizmet verebilirler. Ayrıca düşük yatırım maliyetleri sayesinde, çok fazla seyahat edilmeyen bölgelere hizmet vermek için en ekonomik yöntem otobüslerdir (Meyer, 2016: 495).

Otobüslerin üçüncü temel özelliği ise sınırlı bir kapasiteye sahip olmalarıdır. Otobüslerin kapasitesi 15 – 60 kişi arasındadır ve körüklü otobüslerle daha fazla sayıda kişiye hizmet verilebilir. Ayrıca otobüsler en ekonomik toplu taşıma araçlarıdır. Yolcu sayısı arttığında otobüsler sınırlı kapasiteleri yüzünden daha az ekonomik olurlar.

Otobüsler itiş güçlerine, gövde büyüklüklerine, boyutlarına, kapasitelerine ve güdüm yöntemine göre sınıflandırılabilirler. Şekil 2.2. de otobüs türleri gösterilmektedir. Toplu taşımada kullanılan otobüs türleri; (a) geleneksel otobüs, (b) körüklü otobüs, (c) çift körüklü otobüs ve (d) çift katlı otobüstür (Victor & Ponnuswamy, 2012: 78).



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2. 2. Otobüs Türleri

Kaynak: Victor & Ponnuswamy, 2012: 78

Geleneksel/Standart Otobüs: sabit bir rota üzerinde, sabit bir zaman çizelgesi ile çalışan tek katlı otobüslerdir. En çok kullanılan toplu taşıma araçlarıdır. Genellikle iki akslı, altı tekerlekli, 10 – 12 metre uzunluğunda olurlar ve kapasiteleri genellikle 50 ile 80 yolcu arasında

değişir. Talep rota boyunca ne kadar yoğun olursa, standart otobüsler o kadar avantajlı olur (Verma & Ramanayya, 2014: 44; Vuchic, 2007: 214). Şekil 2.2. de a şıkında geleneksel otobüs gösterilmektedir. Standart otobüs hizmetleri sınırlandırılmış bir hıza sahiptir ve trafik ışıklarından dolayı seyahatler genelde uzun sürer. Bu sebeple zayıf bir imaja sahiptirler. Ayrıca şehirden uzakta, daha az yolcu olması ve bazı yollarda iki katlı otobüslerin manevra yapmasındaki zorluk nedeniyle standart otobüsler daha çok tercih edilir.

Körüklü otobüs: iki gövdenin bir birleşme yeri ile bağlandığı ve tek bir otobüs olduğu uzun otobüslerdir. Gövdedeki mafsallı bağlantı yani birleşme yeri yatay ve dikey kıvrılmaya olanak sağlar. Üç akslı bir araçtır ve genellikle 16 ile 18 metre uzunluğundadır. Bu araçların 3 ya da 4 kapısı olur. Yaklaşık 120'ye yakın yolcuyu taşıyabilecek kapasiteye sahiptir (Grava, 2003: 321-322). Araçtaki koltuk sayısı 30 ile 55 arasındadır. Körüklü otobüsler genellikle yüksek iş gücü ve araç verimliliğinin faydasını gösterirler fakat araç performansı ve konfor açısından da bazı dezavantajlara sahiptirler (Grava, 2003: 392). Bu otobüsler genellikle talebin yüksek olduğu yoğun saatlerde kullanılırlar. Körüklü otobüsler Şekil 2.2. de b şıkında gösterilmektedir.

Çift körüklü otobüs: üç gövdeden oluşan en yüksek kapasiteye sahip otobüstür. 24 metre uzunluğuna ulaşabilir. Yaklaşık 270 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir (Vuchic, 2007: 223). Körüklü otobüslerin sahip olduğu avantajlara sahiptir ancak bu avantajların derecesi daha yüksektir. Çift körüklü otobüsler Şekil 2.2. de c şıkında gösterilmektedir.

Çift katlı otobüs: genellikle bir ya da iki merdiven ile bağlanan 2 katlı ve 9 ile 12 metre uzunluğunda otobüslerdir. Genellikle üst katta sadece oturma izni verilen, alt katta ise sınırlı sayıda ayakta yolcuya izin verilen otobüslerdir. Toplam kapasitesi genelde 65 ile 100 yolcu arasındadır (Vuchic, 2007: 223). Yol alanı kullanımı ve yolcu başına sürücü ücretleri açısından standart otobüslerden daha avantajlıdır. Genellikle standart otobüsler kadar çabuk hızlanamazlar. Çift katlı otobüsler genellikle uzun seyahatler için uygundur, kısa mesafede yolcuların çok hızlı inip bindiği hatlar için pek uygun değildir. Bu otobüsün etkinliği inişlerin ve binişlerin hızına bağlıdır (İles, 2005: 45). Çift katlı otobüsler Şekil 2.2. de d şıkında gösterilmektedir.

Otobüs ile toplu taşımının avantajları şunlardır (Victor & Ponnuswamy, 2012: 76-77);

- Var olan yol ağları üzerinde hareket edebilirler. Bu sebeple, diğer taşıma türlerine kıyasla otobüs sistemleri daha kısa sürede uygulanabilir ve genişletilebilir.
- Otobüs güzergâhları, kullanıcıların daha geniş erişimini sağlayacak şekilde kolaylıkla değiştirilebilir.
- Zaman çizelgeleri, kullanıcıların talebine cevap verecek şekilde kolayca değiştirilebilir.

- Otobüsler, günlük seferlerde kullanılmaya ihtiyaç duyulmadığında diğer hizmetlerde kullanılabilirler.
- Göreli olarak az sayıda yolcu olması bir otobüsün gönderilmesi için yeterlidir. Bu sebeple otobüsler, sabit yol sistemlerinden daha farklı, daha yoğunluğu az seyahat modellerine hizmet verebilirler.
- Eğer hizmetin sonlandırılması gerekiyorsa, yapılan yatırımın büyük bir kısmı kurtarılabilir.

Kısaca otobüsle toplu taşıma hizmetinin temel avantajı şehirdeki gelişmeler açısından ve müşteri talebindeki değişimler açısından herhangi bir gereklilik halinde değişimlere çok çabuk uyum sağlayabilmesidir. Var olan otobüs rotaları herhangi bir maliyete katlanmadan değiştirilebilir. Genişlemeler ve yeni rota hizmetleri hızlı ve düşük bir başlangıç maliyetiyle uygulanabilir.

Otobüsle toplu taşıma sistemleri birçok farklı türde işletilmektedir ve işletim türleri ülkeden ülkeye hatta şehirden şehire değişmektedir. Bu işletim türleri 3 şekilde sınıflandırılabilir (OECD-IEA, 2002: 27):

- Hiçbir önceliğe sahip olmadan normal trafikte çalışan otobüsler
- Trafik işaretleri ve otobüs şeridi gibi uygulamalar ile trafikte sınırlı bir önceliğe sahip olan otobüsler
- Genel yol trafiğiyle minimum etkileşimde bulunan ve otobüs yolu gibi özel bir yolda çalışan otobüsler

2.2. Toplu Taşıma Ağ Planlaması

Datting vd. (1979) kentsel ulaşım ağ tasarım problemlerini yeni caddelerin kurulması veya var olan caddelerin kapasitesinin genişletilmesi olarak tanımlanmaktadır. Friesz'e (1985) göre kentsel ulaşım ağ tasarım problemleri taşımacılık ağına eklenecek tesislerin optimal yerinin belirlenmesi ya da ağ içinde var olan tesislerin optimal kapasitesinin iyileştirilmesine karar verilmesidir. Bu tanımda tesisler ile kast edilen duraklar ya da bağlantılardır.

Kentsel ulaşım ağ tasarım problemleri, yol ağı tasarım problemlerinin (Road Network Design Problem - RNDP) ve toplu taşıma ağ tasarım problemlerinin (Public Transit Network Design Problem - PTNDP) ikisini de kapsamaktadır. Yol ağı tasarım problemleri (RNDP) genellikle cadde – sokak ağlarını dikkate alır, toplu taşıma araçlarının ya da özel araçların akışı ile ilgilenmez (Farahani, Miandoabchi, Szeto & Rashidi, 2013: 283). Toplu taşıma ağının hizmet ve maliyet etkin bir şekilde planlanması ve tasarlanması o toplu taşıma ağının rekabet edebilirliğini ve pazar payını arttırır. Toplu taşıma ağ tasarımı olarak tanımlanan bu problemler toplu taşıma rota tasarım problemleri olarak da adlandırılabilir. Bu problemler, toplu

taşıma rotalarının sayısı ve uzunluğu, izin verilen hizmet sıklığı ve ulaşılabilir otobüs sayısı gibi işlemsel ve kaynak kısıtları altında toplu taşıma ağlarının verimliliğine gösteren amaçların optimizasyonuna odaklanmaktadır (Chakroborty 2003: 184; Fan & Machemehl 2006: 40).

Toplu taşıma ağ tasarım problemlerinin çözümü için toplu taşıma ağ planlama süreci geliştirilmiştir. Bu süreç takip eden bölümde detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

2.2.1. Toplu Taşıma Ağ Planlama Süreci

Toplu taşıma ağ planlama süreci toplu taşıma kullanıcılarının biniş ve varış yeri arasında etkin bir şekilde taşınmasını sağlamayı amaçlamaktadır (Ceder, 2001: 126). Yolcular açısından ucuz, konforlu, güvenilir ve hızlı seyahat imkanı sağlaması beklenirken, bir yandan da işletenler için düşük maliyetlerde bunu sağlanması beklenir. Toplum açısından değerlendirildiğinde ise çevre kirliliğini azaltan yakıtlar kullanılması, özel araç kullanımının azaltılarak ve çevre dostu otobüsler kullanarak trafik gürültüsünün azaltılması beklenir. Bir bütün olarak değerlendirildiğinde bu küresel bir problemdir ve çözümü kolay değildir.

Bunun sonucu olarak da bu problem, planlama sürecinin farklı aşamalarında sırayla çözülebilen alt problemlere ayrılmaktadır. Ceder ve Wilson (1986) tarafından geliştirilen ve birbirini takip eden sistematik bir karar olarak toplu taşıma ağ planlama süreci Tablo 2.3. te gösterilmektedir.

Tablo 2. 3. Toplu Taşıma Ağ Planlama Süreci

Bağımsız Girdiler	Planlama Faaliyeti	Çıktı
Talep Verisi Arz verisi Rota Performans Göstergeleri	<u>Seviye A</u> Ağ tasarımı	Rota değişimi Yeni rotalar İşlemsel stratejiler
Destek ulaşılabilirliği Otobüs ulaşılabilirliği Hizmet Politikaları Mevcut Müşteriler Günün saatine göre talep verisi İlk ve son sefer zamanları Çalışma süreleri	<u>Seviye B</u> Sıklık Ayarlama ve Zaman Çizelgesi Geliştirme	Hizmet sıklıkları Sefer kalkış zamanı Sefer varış zamanı
Boş kalma süresi Tamir/Bakım süresi Çizelge kısıtları Maliyet yapısı	<u>Seviye C</u> Araç çizelgeleme	Otobüs çizelgesi
Sürücü çalışma kuralları Çalışma maliyeti yapısı	<u>Seviye D</u> Sürücü Çizelgeleme	Sürücü çizelgesi

Kaynak: Ceder & Wilson, 1986: 332; Ceder & Israeli, 1992: 114; Ceder, 2002: 225

Desaulniers ve Hickman (2007) ise toplu taşıma ağ planlama sürecini farklı planlama türleri olan stratejik, taktiksel ve operasyonel planlama açısından değerlendirmiştir. Tablo 2.3. de yer alan ve birinci planlama faaliyeti olan ağ tasarımı aşamasını stratejik planlama olarak değerlendirmiştir. Çünkü stratejik planlama türleri uzun vadeli planlama kararlarını içerir. Bu kapsamda ağ tasarımı alt yapı faaliyetlerine dayandığı için ve durak yeri, rota vs. gibi kararların verildiği aşama olduğu için stratejik planlama olarak kabul edilmiştir. Sıklık ayarlama ve zaman çizelgesi geliştirme aşamaları ise hizmet kalitesini arttırmak ile ilgili olduğu için ve mevsimsel olarak görüldüğü için operasyonel planlama olarak düşünülmüştür. Operasyonel planlama problemleri, önerilen hizmeti minimum maliyetle sunmak için işlemlerin nasıl yürütülmesi gerektiği ile ilgilidir. Bu problemler, araç çizelgeleme, sürücü çizelgeleme, otobüs park etme ve garajlara sevkiyat ve bakım planlaması gibi çok çeşitli problemleri içerir. Bu planlama türünün diğer planlama türünden farkı toplam maliyeti minimize etmeye çalışmasıdır (Desaulniers ve Hickman, 2007: 59-69-70).

Tablo 2.3. te görülen toplu taşıma ağ planlama süreci tüm toplu taşıma türleri için geçerlidir. Kısaca otobüs, metrobüs, tramvay, metronun da dahil olduğu tüm toplu taşıma türleri için bu planlama faaliyetleri uygulanabilmektedir. Tablo 2.3. te yer alan her planlama faaliyeti sonucunda elde edilen çıktı aslında kendisinden sonra gelen planlama faaliyetleri için girdi olmaktadır. Bu nedenle genellikle sistemin kapasitesinden en üst düzeyde yararlanmak ve sistemin üretkenliğini ve verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için dört faaliyetin hepsinin aynı anda planlanması arzu edilir.

Toplu taşıma ağ planlama sürecinin aşamaları takip eden bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.2.1.1. Ağ Tasarımı Aşaması

Toplu taşıma sistemleri çok sayıda insanın hareketini sağlamak zorundadır. Seyahat yöntemleri oldukça karmaşıktır. Yetkililer, yolcular farklı rotaları kombine ederek uzun ve karmaşık yolculuklarını yapabilsin diye rota ağları sağlayarak çok sayıda insanın hareket etmesine fırsat yaratmaya çalışırlar. Ancak yetkililerin bütün gereklilikleri karşılayacak doğrudan bir toplu taşıma rotası sağlanması mümkün değildir. Bu sebeple genellikle ağlar veya rota ağları ifadesi; seyahat edenlerin seyahatlerinde bir, iki ya da daha fazla farklı rota kullanabilmesi için, bireysel rotaların bir diğerinin tamamlayıcısı olduğu ve belirli bir alana hizmet veren toplu taşıma rotalarının tamamını tanımlamak için kullanılır. En etkin ağ, bir seyahat boyunca kullanılan ayrı rotaların sayısını minimize edendir ve rotalar arasındaki değişimin olabildiğince kolay yapıldığı ağdır.

Ağ tasarımı faaliyeti toplu taşıma ağ planlama sürecinin ilk aşamasıdır. Bu aşama toplu taşıma ağ tasarımı sürecinin en önemli parçasıdır. Çünkü toplu taşıma sisteminin maliyetinin

büyük bir kısmı bu aşamaya bağlıdır. Bu aşamada amaç belirli bir bölgede otobüs duraklarını sıralayarak belirlenecek her bir rota ile otobüs rotasını tanımlamaktır. Otobüs rotasını belirleyebilmek için girdi verisi olarak kullanılabilecek bilgiler bölgenin topolojisi, yollar, otobüs durakları için olası alanlar ve aktarma noktaları olarak tanımlanabilir (Guihaire & Hao, 2008: 1253). Bu aşamada kalkış-varış yeri matrisine (origin-destination matrix) ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü halkın talebini olabildiğince yüksek oranlarda karşılayacak toplu taşıma rota ağının belirlenmesinde kalkış-varış yeri matrisi kullanılmaktadır. Bu aşamada mevcut duraklar kullanılarak rota kümesi oluşturulabileceği gibi, var olan duraklar kümesine yeni duraklar eklenerek de yeni rota kümesi oluşturulabilir.

Bir toplu taşıma ağ tasarımı genellikle şu aşamalar izlenir: ilk olarak aday bir rota kümesi belirlemek için bir rota üretme stratejisi geliştirilir. İkinci olarak, bir başlangıç çözümü üretmek için aday rotaları kombine edecek bir prosedür belirlenir. Üçüncü aşamada, önceden üretilen çözümlere bağlı olarak ve iteratif işlemler ile yeni bir çözüm üretilir. Sonrasında bu yeni çözüm test edilir ve tatmin edici bir rota kümesi elde edilinceye kadar yeni çözümler analiz edilir (Bagloee & Ceder, 2011: 1789).

Zaman çizelgesi geliştirme ile ilgili bütün kararlar ağ tasarım aşamasına bağlıdır (Ceder & Wilson, 1986:333; Owais, Osman & Moussa, 2015: 670) .

2.2.1.2. Sıklık Ayarlama ve Zaman Çizelgesi Oluşturma Aşaması

Bu planlama aşamasında ilk olarak sıklık ayarlamaları yapılmaktadır. Burada amaç ağ içindeki her bir hat ve her bir zaman aralığı için sefer sıklıklarını belirlemektir. Çalışacak olan hatların sayısı bu aşamada belirlenmektedir. Diğer bir deyişle, her planlanan dönemde yolcu talebini karşılamak için ihtiyaç duyulan saatlik sefer sayısına karar verilmektedir.

Sefer sıklıklarına karar verildikten sonra zaman çizelgesi oluşturulmaktadır. Bu aşamada ağdaki her hat tarafından hizmet verilen bütün duraklardan kalkış zamanını içeren bir zaman çizelgesi elde edilir. Bir diğer tanıma göre ise zaman çizelgesi oluşturma, bazı ana duraklarda doğru zamanlanmış yolcu seyahatlerini en üst düzeye çıkarmak için tüm yolculukların kalkış saatlerinin belirlenmesidir (Ibarra-Rojas, Giesen & Rios-Solis, 2014: 35). Bir hat rotasının zaman çizelgesi başlangıç terminalindeki hareket saatinden, rota üzerindeki her bir duraktan kalkış saatinden ve son durağa beklenen geliş saatinden oluşur. Sıklık ayarlama ve zaman çizelgesi oluşturma aşaması bölüm 2.3.te detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2.2.1.3. Araçların Çizelgelenmesi Aşaması

Araçların çizelgelenmesi aşamasında seyahatler zinciri yaratmak amaçlanır ve bu zincirin her biri verilen zaman çizelgesine göre bir araç programı olarak anılmaktadır (Ceder,

2007:7). Bu aşamanın ana amacı planlanan dönem boyunca (genellikle bir gün uzunluğunda) ihtiyaç duyulan otobüs sayısını belirlemek ve bu otobüs sayısını minimize etmektir. Bütün planlanan seyahatleri kapsayan araç-seyahat atamaları bu aşamada yapılmaktadır (Ibarra-Rojas, Delgado, Giesen & Munoz, 2015: 40). Bu planlama problemi kombinatorial bir problemdir ve şu şartları taşıması gerekir: her sefere en az bir araç ataması yapılmalıdır, farklı teknik ve işletme kısıtlamalarına uyulmalıdır ve bir minimizasyon problemi olarak ele alınmalıdır (Carrarese & Gallo, 1984: 139). İhtiyaç duyulan minimum araçlar ile var olan zaman çizelgelerini işletebilmek için boş seferlerin seyahatlerini bir rotadan başka bir rotaya aktarmak gerekir. Araç çizelgeleme işlemlerinin etkin bir şekilde yapılması oldukça önemlidir. Çünkü bu sayede toplu taşıma hizmeti sağlayıcıları hem hizmet kalitesini arttırabilirler hem de işlemsel maliyetlerin azaltılmasını sağlayabilirler (Zuo, Chen, Tan & Zhou, 2014: 1031).

Tablo 2.3'e göre bir toplu taşıma ağının araç çizelgelerinin hazırlanabilmesi için araçların boş kalma sürelerinin, tamir ve bakım sürelerinin, zaman çizelgelerinin ve maliyet yapılarının bilinmesi gerekmektedir. Araçların boş kalma süresi ile kast edilen bir sonraki seyahat için otobüsün hazırlanması gereken minimum ve maksimum sürelerdir. Ayrıca burada seferin başlayacağı ve biteceği istasyonların da bildirilmesi gerekmektedir. Bunlara ek olarak farklı kapasiteye sahip farklı türde araçların sayısı ve maliyetleri de araç çizelgelemede önemli unsurlar arasında yer almaktadır.

Tek depolu araç çizelgeleme problemi, çok depolu araç çizelgeleme problemi ve Robust araç çizelgeleme problemi olmak üzere üç farklı türde araç çizelgeleme problemi ile karşılaşabilmektedir. Tek depolu araç çizelgeleme problemlerinde bütün seyahatlerin, depo olarak adlandırılan bir istasyondan kalkan ve aynı istasyona geri dönen araçlar tarafından kapsanması için araçların zaman çizelgeleri belirlenir. Çok depolu araç rotalama probleminde araçlar birçok farklı depodan hareket eder. Robust araç çizelgeleme probleminde, araç çizelgeleri trafik sıkışıklığından ve sürücülerin davranışlarından çok güçlü bir şekilde etkilenir (Ibarra-Rojas, vd., 2015: 56-57).

2.2.1.4. Sürücü Çizelgeleme Aşaması

Bu aşamada, otobüslere şoförlerin atanması amaçlanmaktadır. Her şoför belirli bir dönem için bir zaman çizelgesine sahip olur. Burada zaman çizelgesi hazır olan otobüslere ya da trenlere sürücülerin atanması işlemi yapılmaktadır. Sürücü çizelgeleme, aslında insan kaynakları yönetiminin işidir ve hatların çalışma saatleri birbirinden farklı olduğu için ve günden güne değişebildiği için oldukça karmaşık bir iştir. Ayrıca burada işçi birlikleri ya da toplu taşıma işletmecileri tarafından belirlenen kurallara uyulması gerekmektedir. Kısaca bir yandan işletmeciler için ücret harcamalarını azaltmak amaçlanırken bir yandan da farklı yönetsel kurallara uyulması gerekmektedir (Vuchic, 2005: 59).

Sürücü çizelgeleme aşamasında, duraklar, rota başlangıç ve bitiş duraklarının hangileri olduğu, sürücülerin iki sefer arasındaki maksimum ve minimum dinlenme süreleri, görevin uzunluğunun yani günde kaç saat çalışılacağı, sürücülerin adları ve soyadlarının yazılı olduğu bir liste, çalışma ücretleri ve koşulları gibi bilgiler girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bir önceki aşama olan araç çizelgeleri de bu aşamanın girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Hangi hatlarda hangi araçların kullanılacağı, araçların rotalar arasında nasıl değiştirileceği bilgisi aslında sürücü çizelgeleme aşamasının ana girdi verisidir. Sürücü çizelgeleme işlemleri bu bilgilere göre yapılmalıdır (Bunte & Kliwer, 2009: 300).

Toplu taşıma ağ planlama sürecinin etkin, düşük maliyetli ve verimli bir şekilde gerçekleştirebilmesi amacıyla yolcu konforu ve hizmet maliyetleri arasında bir uzlaşma sağlanması gerekmektedir. Bunu bir örnekle açıklamak gerekirse, kullanılan otobüs sayısı minimize edilirken gözlemlenen yolcu talebinin karşılanabilmesi amacıyla bir ulaşım zaman çizelgesi oluşturulduğunda, yolcu talebi ve otobüs arzı arasında iyi bir uyum sağlanmış olur.

Bu çalışmanın ana konusu olan zaman çizelgesi ve sefer sıklığı oluşturma aşaması bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.3. Sıklık Ayarlama ve Zaman Çizelgesi Oluşturma

Bir saat boyunca (ya da günlük çalışma süresi gibi benzer zaman aralıkları da kullanılabilir) belirli bir yönde toplu taşıma hattı üzerindeki bir noktadan (duraktan) geçen araç sayısı hizmet sıklığı olarak tanımlanmaktadır (Vuchic, 2005: 11). Sefer aralığı ise bir toplu taşıma hattı üzerinde aynı yönde sabit bir noktadan geçen iki otobüsün hareketi arasındaki zaman aralığıdır. Tanımlardan da anlaşılacağı üzere sefer aralığı, sefer sıklığının tersidir.

Her bir rota için sefer sıklıkları ve otobüs türleri rota tasarımı aracılığıyla belirlenen operasyonel özelliklerdir. Hesaplamalar, ulaşılabilirlik, filo büyüklüğü ve istenen yükleme faktörleri gibi sıklık ihtiyaçları kısıtları altında toplu taşıma atama teknikleri uygulanarak veya deneysel olarak tahmin edilen rotalar boyunca beklenen yolcu büyüklüklerine dayandırılır. Bütün tasarım aşamalarında olduğu gibi bu aşamada da toplu taşıma planlayıcılarının uzman görüşleri ve operatörlerin tecrübeleri oldukça önemlidir (Kepaptsoglou & Karlaftis, 2009: 491-492).

Ağıdaki her bir hat için ve her bir çalışma dönemi için bir sefer sıklığı belirlenmelidir. Sefer sıklığı belirlemek için rotaların belirlenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca beklenen toplu taşıma talebinin de bilinmesine ihtiyaç vardır. Çünkü yolcuların hangi rotaları hangi oranda kullanacağı bilirse otobüslerin sefer sıklıkları buna göre hesaplanabilir. Burada gidiş – varış yeri matrisleri önem kazanmaktadır. Otobüs filosunun büyüklüğü de bu aşamada oldukça önemli bir veridir. Çünkü bazı durumlarda sefer sıklıkları filo büyüklüğüne ve otobüs kapasitesine göre ayarlanmaktadır. Sefer sıklıkları ayarlanırken karar vericilerin amacı talebi

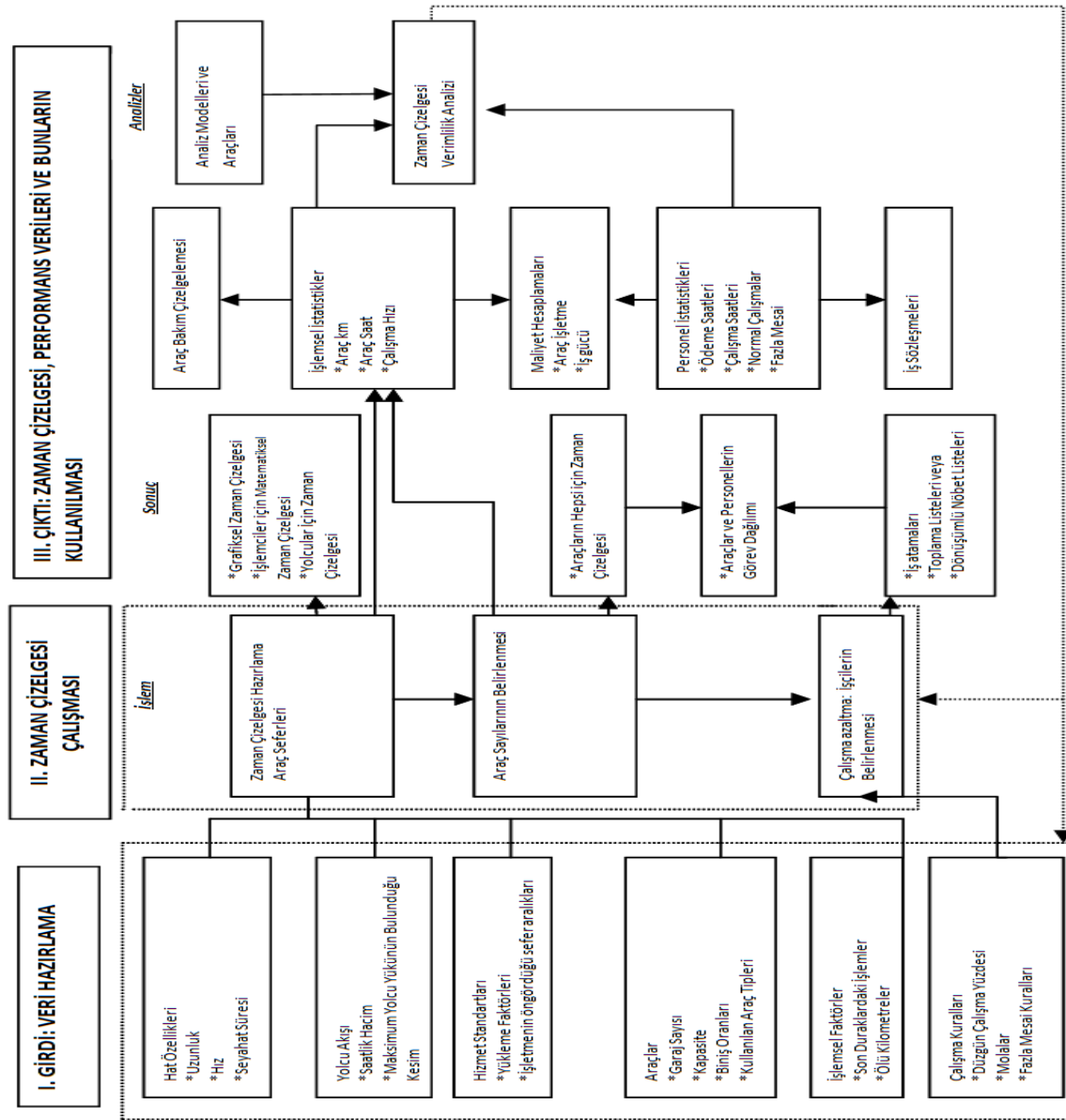
tatmin etmektir. Ancak bunu yaparken tüm hatlar göz önünde bulundurulacağı için aynı zamanda maliyet etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca karar vericilerin ya da düzenleyicilerin devlet ya da diğer kurumlar tarafından izin verilen sefer aralıklarına uyması gerekmektedir (Guihaire & Hao, 2008: 1254).

Zaman çizelgesi hazırlama ise her sabit rota üzerinde istenen sıklığı bir zaman planına dönüştürme sürecidir. Bu sürecin girdileri rota yapısını, ana zaman noktaları (bir gün içindeki ilk seferlerin ve son seferlerin saati) arasındaki çalışma süresini, hizmet sıklığını ve duraklardan kalkış süresini içerir. Buradan elde edilen sonuç bir seyahatler kümesidir ve rota üzerindeki duraklar ile ana noktalar arasındaki zamanın planlanmasıdır (Desaulniers & Hickman, 2007: 91).

Vuchic (2007)'e göre toplu taşıma zaman çizelgesi, hizmet sıklığının, ihtiyaç duyulan araç sayısının, seyahat süresinin ve ilgili diğer işletme elemanlarının hesaplanması sürecidir.

Zaman çizelgesi oluşturmanın ve geliştirmenin amacı genel toplu taşıma talebini karşılamaktır. Talep günün saatlerinden saatlerine, haftanın günlerinden günlerine, mevsimden mevsime ve yıldan yıla değişmektedir. Zaman çizelgesinin belirlenmesi yolcuların sayısı temel alınarak yapılmalıdır ve hizmet sıklığı kısıtlarıyla uyumlu olmalıdır. Burada zaman çizelgesi ayarlayan kişilerin temel amacı ihtiyaç duyulan araçların sayısını minimize etmektir.

Zaman çizelgesi ve sefer sıklığı oluşturma aşaması operasyonel bir planlama faaliyetidir ve en basit şekilde bir toplu taşıma ağında zaman çizelgesi oluşturmak için Şekil 2.3. te gösterilen adımların izlenmesi gerekmektedir.



Şekil 2. 3. Toplu Taşıma Ağı Zaman Çizelgesinin Akış Şeması

Kaynak: Vuchic, 2005: 45

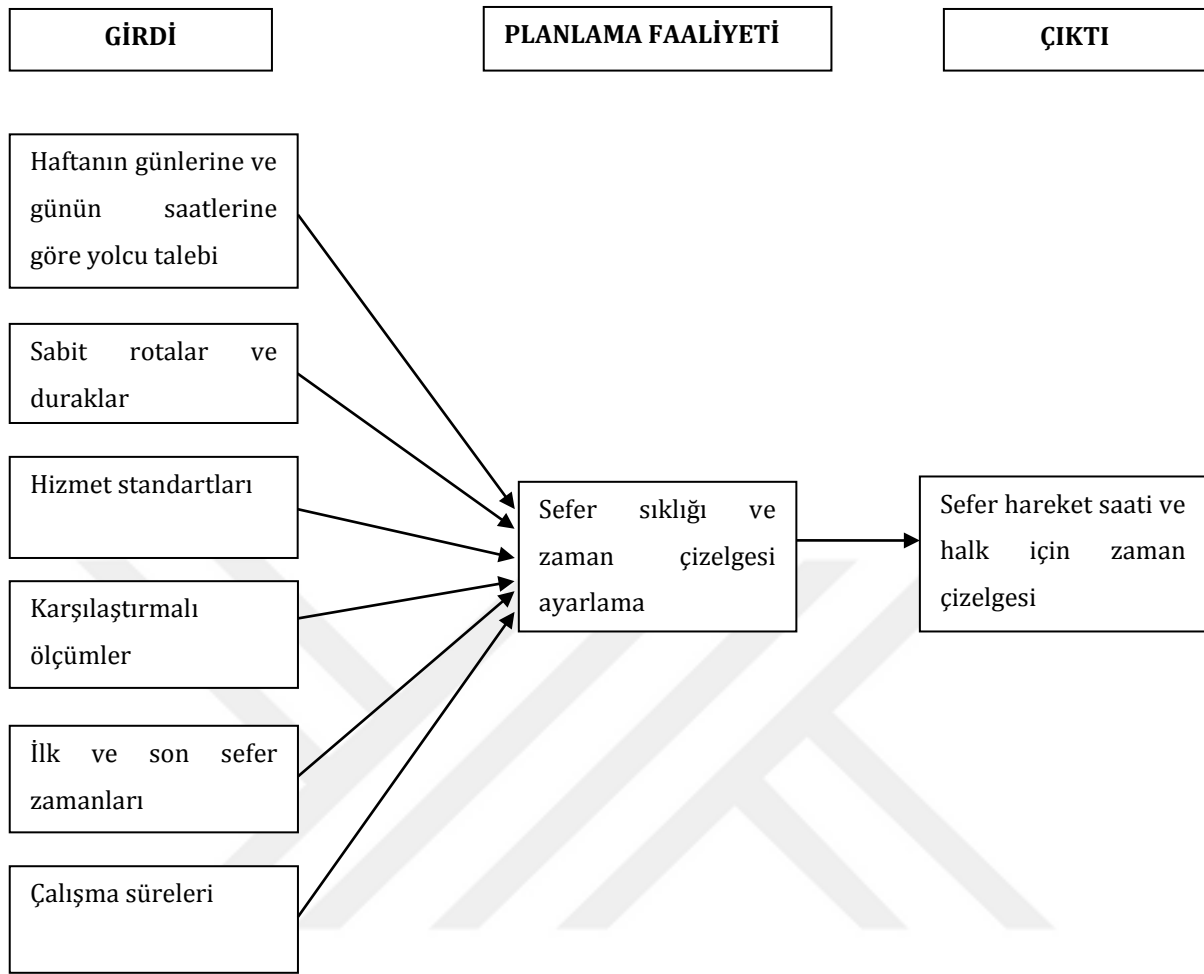
Şekil 2.3. e göre toplu taşıma zaman çizelgesi oluşturma 3 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama girdilerin yani verilerin hazırlanması aşamasıdır. Bu aşamada zaman çizelgesi oluşturmak için ihtiyaç duyulan veriler belirlenir ve gerekli hesaplamalar yapılacak şekilde düzenlenir. Zaman çizelgesi oluşturmak için ihtiyaç duyulan veriler hat özellikleri, var olan hattın mevcut zaman çizelgesi, yolcu büyüklükleri, hizmet standartları, araçların özellikleri, her hat için işlemsel faktörler ve çalışma kuralları ile çalışma standartlarıdır. Görüldüğü gibi bu veriler aslında hat uzunluğu gibi sabit sayılardan ve yolcu sayıları ve araç sayıları gibi dönemsel olarak güncellenen sayılardan ve son olarak çeşitli özellikler ve standartlardan oluşmaktadır.

Bu girdiler yani veriler elde edildikten sonra bu sürecin merkezi bileşeni ve ikinci aşaması olan zaman çizelgesi oluşturma aşamasına geçilir. Bu aşama genellikle 3 bölüme ayrılır. İlki zaman çizelgesi hazırlamadır. Burada sefer aralıklarına, sefer bitiş zamanlarına ve diğer elemanlara karar verilir. Bunun sonucunda grafiksel ve sayısal zaman çizelgeleri elde edilir. Bu zaman çizelgesi işletme personeli ve halk için hazırlanır. Zaman çizelgesi oluşturma aşamasında ikinci bölüm, araçların hazırlanmasıdır. Bunun anlamı zaman çizelgesi üzerinde belirlenen bütün seferlere araçların atamasının yapılmasıdır. Bu işlemlerden sonra bir gün için her bir aracın çalışma programı hazırlanmış olur. Zaman çizelgesi oluşturma aşamasının üçüncü bölümü ise bir gün boyunca sürücülerin iş görevlerinin belirlenmesidir. Bu işlemler her bir sürücü için nöbet listelerinin hazırlanmasını sağlamaktadır. Sürücülerin tam zamanlı mı veya yarı zamanlı mı çalışacağı ya da mesaiye kalıp kalmayacağı bu bölümde belirlenmektedir (Vuchic, 2005: 46-47).

Toplu taşıma ağı zaman çizelgesi oluşturma son aşaması ise çıktıların elde edilmesidir. Zaman çizelgesinin hazırlanmasının sonucu araçların atamasının yapılması, sürücülerin atamasının yapılması, çalışacak araç sayısının belirlenmesi ve benzerleridir. Ancak bunlara ek olarak araç - km, ödeme-saat, iş-saat gibi çeşitli performans verileri de elde edilebilir. Bu veriler maliyet hesaplamalarında, toplu taşıma ile ilgili raporlarda ve en önemlisi zaman çizelgesinin verimliliğinin analizinde kullanılabilir.

Vuchic (2005) Şekil 2.3. de sefer aralığı ve zaman çizelgesi oluşturma, araçlar için zaman çizelgesi oluşturma ve sürücüler için zaman çizelgesi oluşturma aşamalarını açıklamıştır ve bunlar birbirini takip eden aşamalardır. Önce zaman çizelgesi oluşturulur. Sonrasında araçların seferlere ataması yapılır ve en sonunda da sürücüler araçlara atanır. Kısaca genel olarak bir toplu taşıma hattı işlemlerinin planlaması sürecindeki bütün çizelgeleme hizmetlerini birlikte göstermektedir.

Ancak bu çalışmanın ana konusu olan toplu taşıma zaman çizelgesi ve sefer aralığı oluşturma süreci Şekil 2.4. de gösterilmiştir. Spesifik olarak değerlendirildiğinde bu süreç Şekil 2.3.'de belirtilenden çok daha karmaşık bir süreçtir ve sefer sıklığını ve zaman çizelgesini hazırlamak için çok farklı verilere ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2. 4. Toplu taşıma sefer sıklığı ve zaman çizelgesi ayarlama süreci

Kaynak: Ceder, 2007: 5

Şekil 2.4. e göre girdi kısmı sefer sıklığı ve zaman çizelgesi ayarlamak için ihtiyaç duyulan verileri göstermektedir. Burada öncelikli olarak belirtilmesi gereken konu, sıklık (frekans) ve sefer aralığı kavramları arasındaki ilişkidir. Sefer aralığı aynı otobüs hattında çalışan ardışık iki otobüsün sefere çıkış zamanları arasındaki farktır. Sefer sıklığı ise bir saat boyunca (ya da günlük çalışma süresi veya benzer zaman aralıkları da olabilir) gerçekleştireceği toplam sefer sayısıdır. Bu sebeple eğer sefer aralığı değeri hesaplanmak istenirse 1 saatin (veya günlük çalışma saatinin) sefer sayısına bölünmesi gerekmektedir. Örneğin, toplu taşıma hatlarının birçoğunun zaman çizelgesinde “Sıklık: 10 dakikadır.” yazar. Gerçekte 10 dakika olan sıklık değil sefer aralığıdır. Bu durumda saatlik sefer sıklığı 6’dır (Vuchic, 2005: 11). Yani sefer sıklığı sefer aralığının tersidir. Bu sebeple, bir hatta sefer sıklığı arttıkça sefer aralığı değeri azalmaktadır.

Şekil 2.4. te toplu taşıma zaman çizelgesi oluşturmak için yolcu talebinin, var olan rotaların ve durakların sayısı ve yerinin, hizmet standartlarının, ilk ve son sefer zamanlarının, çalışma sürelerinin ve diğer bazı ölçüm değerlerinin bilinmesi gerektiği görülmektedir. Bu bilgiler ışığında zaman çizelgeleyici, sıklıkları ve zaman çizelgesini hazırlayabilmektedir. Bunun sonucunda da vatandaşların faydalanabileceği zaman çizelgeleri oluşturulmaktadır.

Toplu taşıma planlama sürecinde sefer sıklıklarının ve zaman çizelgesinin birlikte ele alınmasının sebebi, zaman çizelgesinin sıklıklardan türeyen bir küme oluşturmasıdır. Genellikle sıklıkların belirlenmesi için kullanılan temel kriterler: (a) yolcu talebini karşılamak için uygun araç alanını sağlamak ve (b) minimum sıklıkla hizmeti garanti etmektir (Ceder, 2007: 84).

Uygun maliyetli ve verimli bir zaman çizelgesi, kullanıcı rahatlığı ve hizmet maliyetleri arasında bir uzlaşmayı gerektirir. Araç arzı ve yolcu talebi arasında iyi bir eşleşme olması için araç sayısı minimize edilirken gözlemlenen yolcu talebinin karşılandığı çizelgelerin oluşturulması gerekmektedir. Bu yaklaşım sürücü ücretleri ve araç satın almak için ihtiyaç duyulan sermaye maliyetleri açısından vekâlet maliyetinin minimize edilmesine yardım etmektedir. Bu uygun maliyet kavramı toplu taşıma zaman çizelgelerinde 5 amacın gerçekleştirilmek istenmesine sebep olmaktadır. Bu amaçlar (Ceder, 2007: 84):

- İhtiyaç duyulan kaynaklar açısından isteğe bağlı zaman çizelgelerini değerlendirmek,
- Kullanılan kaynakları minimize ederken yolcu talebi ile araç hareket saatinin uyumlu olmasını sağlamak,
- Yolcu talep verisine bağlı olmayan olası istisnalar için değişen direk araç sıklığına izin vermek,
- Yakın süreler arasındaki geçiş bölümlerinde sefer aralığı gevşetme teknikleriyle zaman çizelgesinin kurulmasına izin vermek,
- Farklı sıklık ayarlama yöntemleri ile farklı zaman çizelgesi kuruluş politikalarını bütünleştirmek olarak sıralanabilir.

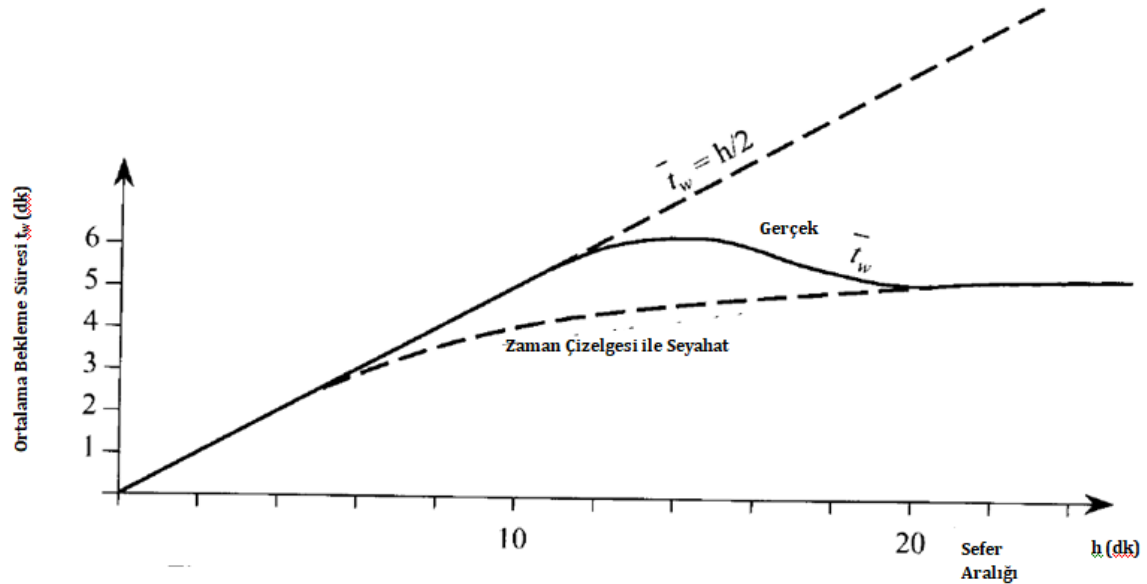
2.3.1. Sefer Sıklığı Belirleme Yöntemleri

Toplu taşıma hizmetlerinin belirlenmesindeki en önemli konulardan birisi sistemde yer alan her bir rota için, haftanın günlerine ve günün saatlerine göre en uygun sefer aralığını/sıklığını belirlemektir. Normalde hizmet standartları içinde kalabalık düzeyi, izin verilen ayakta yolcu sayısı, sefer aralıklarının üst ve alt limitleri yer almaktadır. Birçok toplu taşıma düzenleyicisi sefer sıklıklarını belirlerken bu hizmet standartlarıyla birlikte yolcu sayılarını tecrübelerini ve yargılarını birlikte kullanırlar.

Daha önceki kısımlarda da değinildiği gibi sefer sıklığı belirlenirken karar vericiler birbiri ile çelişen amaçlar arasında bir denge kurmaya çalışırlar. Örneğin; yolcular bekleme sürelerinin azalmasını isterken işletimciler sefer aralıklarını uzun tutarak kullanılan araç

sayısını azaltmayı bu şekilde maliyetleri düşürmeyi amaçlarlar. Karar vericiler bu iki amacı gerçekleştirebildikleri bir sefer aralığı ya da sefer sıklığı belirlemeye çalışırlar.

Ceder ve Israeli (1997: 670) yolcuların otobüs duraklarına rassal bir şekilde geldiğini ve otobüslerin sefer aralıklarının deterministik olduğunu bu sebeple bir r rotası üzerinde yolcuların beklenen bekleme süresinin toplu taşıma aracının sefer aralığının yarısı kadar olduğunu belirtmiştir. Bu kapsamda, Şekil 2.5. te görüldüğü gibi sefer aralığı ile bekleme süresi arasında doğrusal bir ilişki vardır ve $t_w = h/2$ doğrusu bunu göstermektedir. Sefer aralığı arttıkça yolcuların bekleme süresi artmaktadır. Ancak Bowman ve Turnquist (1981), çoğu durumda yolcu gelişlerinin rassal olmayabildiğini bu sebeple özellikle sefer aralıkları 6 ya da 10 dakikadan uzun hatlarda, bekleme süresinin rassal yolcu gelişlerinden daha kısa olması amacıyla, yolcuların bir zaman çizelgesi kullanmaya başladıklarını ve yolcuların gelişlerini araçların zaman çizelgesine göre ayarladıklarını belirtmişlerdir.



Şekil 2. 5. Sefer Aralığının Bir Fonksiyonu olarak Ortalama Bekleme Süresi

Kaynak: Vuchic, 2005: 18

Bu bilgiler ışığında otobüs sefer sıklıklarının belirlenmesinde farklı yöntemler kullanıldığı tespit edilmiştir. Ceder (2007) otobüs sefer sıklıklarının belirlenmesinde iki farklı veri toplama yöntemi tanımlamış ve bu veri toplama yöntemlerine göre dört farklı sefer sıklığı belirleme yöntemi geliştirmiştir. Bu veri toplama yöntemleri noktasal ölçüm yöntemi ve araçta ölçüm yöntemidir. Geliştirdikleri sefer sıklığı belirleme yöntemlerine bu başlıklar altında değinilmiştir. Bunların dışında kalan yöntemlere ise diğer yöntemler başlığı altında yer verilmiştir.

2.3.1.1. Noktasal (Maksimum Yük) Ölçüm Yöntemi

Noktasal ölçüm yöntemi, genellikle bir durakta görevlendirilen bir kontrol edici tarafından gerçekleştirilen sayımlar ve ölçümler olarak tanımlanmaktadır. Seçilen durak genellikle bütün rotalar üzerindeki en büyük yükleme noktası yani en çok yolcunun üretildiği duraktır. Bu duraktan geçen her araç için, noktasal ölçüm yöntemi yük sayımları, geliş ve ayrılış zamanları ve araç ve rota tanımlamalarını içermektedir. Yoğun durak dışındaki diğer noktasal ölçüm durakları çoklu yoğun noktalar, bitiş noktaları veya stratejik noktalar. Çoklu yoğun noktalı kontroller aynı anda birkaç yoğun noktanın olduğu durumları ve uzun rotaların durumunu düzenler. Son nokta kontrolleri çalışma süresi ölçümlerini gerçekleştirir. Stratejik nokta kontrolleri ana aktarma noktaları (aktarma süresi ölçümleri, aktarmayı sağlayabilen araçların başarısı), ana faaliyet merkezleri (rakip bir toplu taşıma türünün seçiminde yolcuların davranışlarını gözlemlemek) ve yeni mahalleler (yolcu talebindeki değişimleri ölçmek) özel maddelerin kontrolleri için uygundur (Ceder, 2007: 24).

Toplu taşıma hizmetlerinin karşılanmasındaki ana amaçlardan biri belirli bir zaman aralığında bütün rota boyunca maksimum sayıda yolcuyu taşıyabilmek için ihtiyaç duyulan alanı sağlamaktır. Zaman aralığı j ile gösterildiğinde (genellikle 1 saattir), yoğun saat yükleme faktörü baz alınarak, j dönemi için ihtiyaç duyulan araç sayısı şu formülle hesaplanmaktadır (Ceder, 2007: 52; Ceder, 2009: 4):

$$F_j = \frac{P_{mj}}{\gamma_j c} \quad (2.1)$$

Bu formüllerde;

P_{mj} : j döneminde araç içinde gözlemlenen maksimum yolcu sayısı

c : aracın maksimum kapasitesi (koltuk sayısı+izin verilen ayakta yolcu sayısı)

γ_j : j dönemi boyunca yükleme faktörü (genellikle $0 \leq \gamma_j \leq 1$ 'dir)

$\gamma_j * c$ çarpımı j dönemi boyunca araçta istenen doluluk oranı d_{oj} olarak gösterilebilir. γ_j standardı, d_{oj} kapasitenin istenen kısmına eşit olacak şekilde düzenlenebilir. Örneğin; d_{oj} = araçtaki koltuk sayısı.

Maksimum yük verileri maksimum yük kesitlerinin başlangıcına yerleştirilen toplu taşıma durağında oturan ve bunları sayan bir kontrol edici tarafından toplanır. Bu durak genellikle geçmiş verilerden ya da gezici bir gözetmen tarafından verilen bilgilerden yola çıkarak belirlenir. Kontrol edici gün içinde farklı maksimum yükleme noktaları arasında gezmekten, genellikle bir durakta sayım yapar. Bu birçok farklı durak gezmeye kıyasla maliyet açısından daha uygun bir yöntemdir. Kontrol edicinin bir gün boyunca yük faktörü en yoğun olan durağa atanması durumunda tek bir durakla ilgili sıklığı belirlemek için 1. Yöntem kullanılır. Şu şekilde formüle edilir (Ceder, 1986: 60; Ceder, 2007: 53):

$$F_{1j} = \max\left(\frac{P_{mdj}}{d_{oj}}, F_{mj}\right), \quad (2.2)$$

j: 1, 2, 3, , q

$$P_{md} = \max_{i \in S} \sum_{i=1}^q P_{ij} = \sum_{i=1}^q P_{i*j}$$

$$P_{mdj} = P_{i*j}$$

Bu formülde;

F_{1j} : Birinci yönteme göre j dönemi için sefer sıklığı

F_{mj} : j dönemi için minimum istenen sıklık

q: zaman aralıkları

S: son durak hariç rota üzerindeki bütün duraklar kümesi

j*: günlük maksimum yükleme noktası

P_{ij} : j dönemi boyunca i durağından geçen bütün araçlara binen toplam yolcu sayısının istatistiksel ölçümü (bu ölçüm genellikle ortalama ya da ortalama ve standart sapmanın toplamıdır).

P_{mdj} ve P_{md} j zamanında günlük maksimum yükleme noktasında gözlemlenen yük ve bu noktada gözlemlenen toplam yük olarak tanımlanmaktadır.

İkinci noktasal ölçüm yöntemi yani 2. Yöntem her zaman döneminde gözlemlenen maksimum yüke dayandırılır (Ceder, 2007: 53). Yani;

$$F_{2j} = \max\left(\frac{P_{mj}}{d_{oj}}, F_{mj}\right), \quad j = 1, 2, \dots, q \quad (2.3)$$

Bu formülde, F_{2j} : İkinci yönteme göre j dönemi için sefer sıklığı, P_{mj} : $\max_{i \in S} P_{ij}$ her j zaman döneminde gözlemlenen maksimum yükü göstermektedir.

2.3.1.2. Araçta (Yükleme Profili) Ölçüm Yöntemleri

Araçta ölçüm, bütün rota boyunca toplu taşıma aracına binişlerin bir kontrol edici tarafından ya da otomatik cihazlar tarafından sayılması ve ölçülmesi anlamına gelmektedir. Araçta yapılan ölçümler genellikle binen ve inen yolcuların sayımı, otobüsün her bir durağa varış ve her bir duraktan ayrılış zamanı, aracın turunu tamamlama süresi gibi verileri içermektedir. Araçta yapılan ölçümler için en yaygın kullanılan otomatik cihaz otomatik yolcu sayımlarıdır (Ceder, 2007: 24).

Araçta ölçüm ile toplanan veriler toplu taşıma durakları arasındaki yük değişkenliğini gözlemlemeye yardımcı olur ve yükleme profili olarak adlandırılır. Yüklerin yetersiz dağılımı rota tasarımında yapılması gereken iyileştirme ihtiyaçlarını ortaya çıkarmaktadır.

Birinci yükleme profili yöntemi aynı araç kapasite kısıtı ile, sefer sıklığı üzerine bir alt sınır ya da sefer aralığı üzerine bir üst sınır hesaba katar. Bu yöntem 3 olarak adlandırılır ve şu şekilde ifade edilir (Ceder, 2007: 56):

$$F_{3j} = \max\left(\frac{A_j}{d_{oj} * L}, \frac{P_{mj}}{c}, F_{mj}\right) \quad (2.4)$$

Bu formülde;

$$A_j = \sum_{i \in S} P_{ij} * \ell_i \quad L = \sum_{i \in S} \ell_i$$

F_{3j} : Üçüncü yöntemle göre j dönemi için sefer sıklığı

ℓ_i : i durağı ile takip eden i+1 durağı arasındaki mesafe

A_j : j zaman dönemi boyunca yükleme profili altındaki yolcu-km deki alan

L: rota uzunluğu

A_j/L ise P_{ij} yükünün ortalama bir göstergesidir. Diğer notasyonlar denklem 2.1, 2.2 ve 2.3'te tanımlandığı gibidir.

Bu yöntem planlayıcının, çalışacak araç sayısını belirleyebilmesi için uygun bir yöntemdir. Yöntem 3'ün sonuçlarını kullanmak planlayıcıya bazı faydalar sağlamaktadır. İlk fayda, ulaşılabilir araç sayısını arttırmaksızın talep değişimlerini yönetmede kolaylık sağlamaktadır. İkinci fayda, araç bozulmaları ve bakım problemleri ya da acil durumlar gibi bazı araçlara başka bir yerde ihtiyaç duyulması halinde bilgi sağlamaktadır. Diğer fayda ise, normalden daha az sürücü olduğu durumlarda (bütçe kısma yöntemleri ve işçi birlikleri ile ilgili problemler olduğunda) planlayıcıya yardımcı olur (Ceder, 2007: 58). Diğer yandan, yükleme değerinin yani doluluğun araçta istenen doluluk oranının üzerinde olduğu mesafeler için rahatsız edici seyahatler olabilir. Kısaca bu yöntem kullanıcıların memnuniyetsizliğini artıracak sonuçlar doğurabilir.

Bu tür istenmeyen durumların gerçekleşme olasılığını azaltmak ya da ortadan kaldırmak için Yöntem 4 geliştirilmiştir ve aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Ceder, 2007: 58). Bu yöntem istenen doluluktan daha yüksek doluluk oranına sahip olan rota uzunluğunun toplam miktarını sınırlayarak bir hizmet seviyesi oluşturmaktadır. F_{4j} : Dördüncü yöntemle göre j dönemi için sefer sıklığı

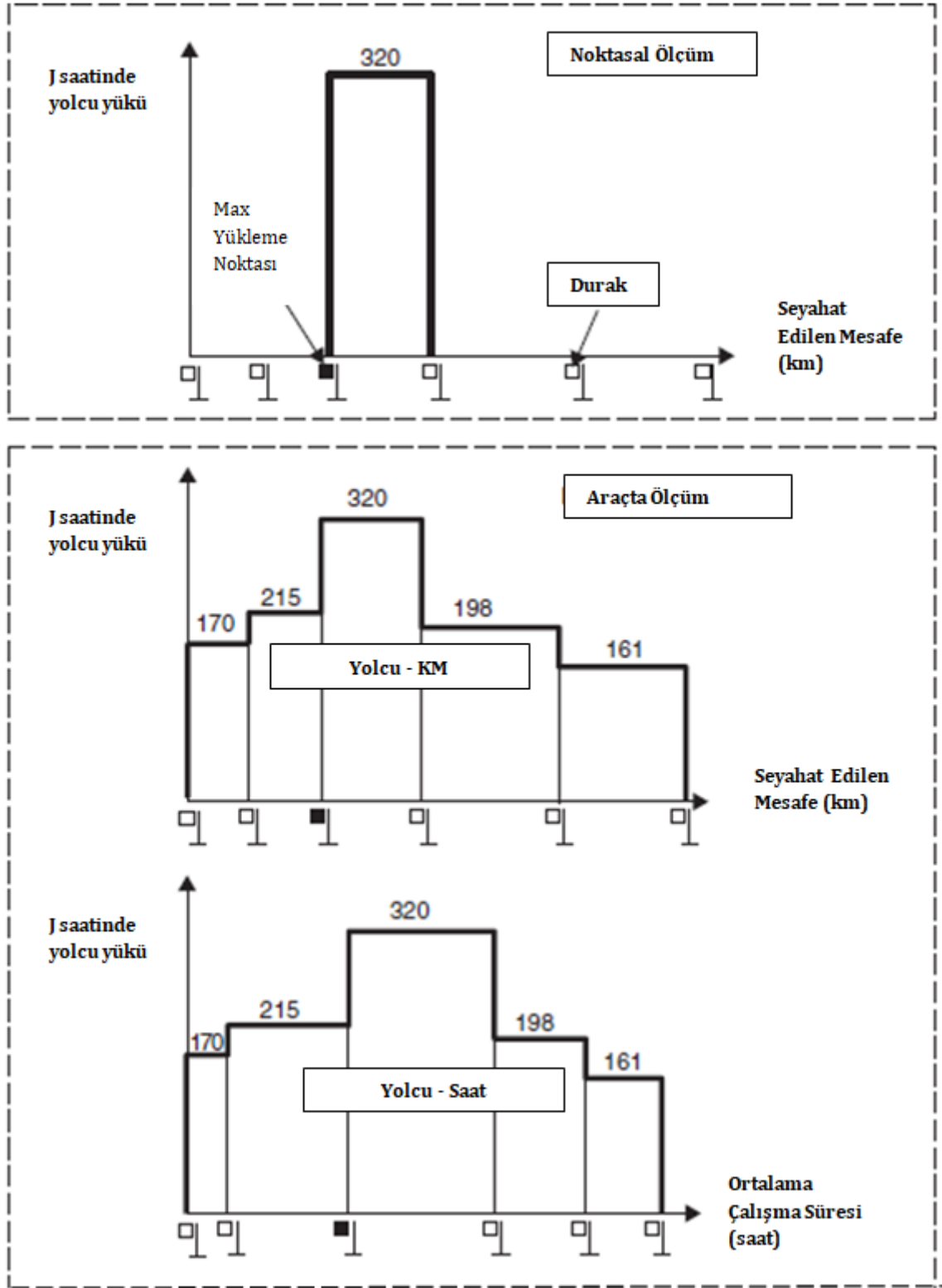
$$F_{4j} = \max \left[\frac{A_j}{d_{oj} * L}, \frac{P_{mj}}{c}, F_{mj} \right] \quad (2.5)$$

Kısıt

$$\sum_{i \in L_j} \ell_i \leq \beta_j * L,$$

Matematiksel olarak $I_j = \left\{ i: \frac{P_{ij}}{F_j} > F_{oj} \right\}$, diğer bir ifadeyle I_j , j zaman döneminde bütün i duraklarının kümesidir. β_j , j döneminde izin verilen rota uzunluğudur. Burada β parametresi kontrol edilerek hizmet seviyesi kriteri oluşturulmaktadır. $\beta_j=0$ olur ise Yöntem 4 Yöntem 2'ye dönüşür, eğer $\beta_j=1$ olur ise Yöntem 4 Yöntem 3'e dönüşmektedir.

Şekil 2.6. da hem noktasal ölçüm yöntemi ile hem de araçta ölçüm yöntemi ile saatlik yolcu yükleri kullanılarak yolcu talebi gösterilmiştir. Bu işlemsel planlamayı etkilediği için oldukça önemlidir. Buna göre, noktasal ölçüm yöntemine bakarak en yoğun durağın hangisi olduğu ve en yoğun durak için yolcu yükünün ne olduğu bilgisi elde edilebilir. Araçta ölçüm yönteminde ise zamana ya da seyahat edilen mesafeye bakarak yük profili görülebilir. Şekil 2.6. maksimum yükleme noktasının yerleşimini göstermektedir ki burası bir otobüs durağıdır ve maksimum yük segmenti boyunca 320 adet yolcu taşınmıştır. Ayrıca araçta ölçüm yönteminde mesafe ve zaman bazlı farklı gösterimler kullanılabilir. Mesafe bazlı profilin x-ekseni belirli bir rota için sabitken, zaman bazlı profilin x-ekseni ortalama değerlere göre kurulur (Ceder, 2007: 58).



Şekil 2. 6. Noktasal Ölçüm ve Araçta Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kaynak: Ceder, 2007: 25

2.3.1.3. Diğer Yöntemler

Toplu taşıma sefer sıklığı belirlemede yukarıda bahsedilen yaklaşımlar dışında farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen farklı yöntemler de kullanılmaktadır.

Vuchic (2005) her hattın yoğun dönemlerinde maksimum yolcu yükünün bulunduğu kesimi belirlemekte ve bu kesimdeki yolcu sayısından ve otobüs kapasitesinden faydalanarak sefer sıklığı hesaplamaktadır. Sefer sıklığı şu formül ile hesaplanmaktadır (Vuchic, 2005: 51):

$$f = \frac{P_d}{\alpha \cdot n \cdot C_v} \quad P_d = P_{\max} * PHC \quad (2.6)$$

Bu formülde;

f: sefer sıklığı

P_d : Tasarım yolcu hacmi.

α : yükleme parametresi

n: araç sayısı

C_v : Araç kapasitesi

$P_{\max}$: Maksimum yolcu yükü

PHC: yoğun saat katsayısı yani zirve saat içerisindeki yolcu değişkenliğidir.

Yoğun saat katsayısı ise şu formül ile hesaplanmaktadır:

$$PHC = \frac{4 * p_{15}}{P_{\max}} \quad (2.7)$$

Bu formülde ise P_{15} , 15 dakikalık en yüksek yolcu büyüklüğünü, $P_{\max}$ ise maksimum yolcu yükünü ifade etmektedir. Teorik olarak, PHC değeri 1 ile 4 arasında bir değer almaktadır. PHC aslında yoğun saat faktörünün tersidir. Ayrıca PHC değeri istenirse 15 dakikadan daha kısa süre için de hesaplanabilmektedir (Vuchic, 2005: 49).

Vuchic (2005)'e göre sefer sıklığı belirleme her bir dönem için, yani normal zamanlar ve yoğun zamanlar için ayrı yapılmalıdır. Ayarlanan dönemler arasındaki geçiş kademeli olarak yapılmalıdır ve talepteki değişimlere uyumlu olmalıdır. Yoğun dönemlerin başlangıcında kapasite iki farklı şekilde arttırılabilir: birincisi sefer aralıkları kısaltılarak, ikincisi araçların kapasitesi arttırılarak. Genellikle bu iki yolun kombinasyonu uygulanmaktadır. Sefer aralığı kısaltmanın en kolay yolu düzenli sefer aralıklarının arasına ilave bir otobüs eklemektir. Böylece sefer aralığı yarısı kadar kısaltılabilir. Bu düzenleme zaman çizelgesi için oldukça elverişlidir ve basit bir işlemle yapılabilir.

Furth ve Wilson (1981) var olan hizmet standartlarına bağlı olarak sefer sıklıklarının belirlenmesinde en çok kullanılan dört yöntemi şu şekilde ifade etmişlerdir:

- İlk yöntem, doğrudan yolcu talebinin dikkate alınmadığı, işletimciler tarafından belirlenen, genellikle alt sınırdaki sıklığın düzenlendiği planlı sefer aralıklarının uygulandığı bir yöntemdir.
- Yoğun zaman yük faktörü: araçtaki oturma kapasitesinin yoğun saatlerde araçtaki yolcu sayısına oranına göre sefer sıklığının belirlenmesi yoğun talep zamanlarında sıkça kullanılan bir yöntemdir. Sefer sıklığı ile ilgili alt sınır, yoğun zamandaki maksimum yük faktörüne bağlıdır. Bu faktörler aracın fiziksel kapasitesine, konforuna ve işlemler bedeline bağlıdır.
- Gelir/maliyet oranı: bir rota üzerinde ihtiyacı karşılayacak hizmet miktarının üst sınırını tanımlamak için kullanılan bir yöntemdir. Bu oran hizmet dağılımındaki verimliliğin ve eşitliğin kaba bir ölçümüdür.
- Araç verimliliği: yolcu-km/saat ya da araç-km/saat değerlerini belirli bir seviyede tutacak şekilde düzenlenen sefer aralıkları belirleme yöntemidir. Araç verimlilik yöntemi, belirli bir hizmetin fayda/maliyet oranına yakınsamak için kullanılır ve verimli olmayan kaynak tahsislerine karşı işleticiyi korumaktadır (Furth & Wilson, 1981: 1).

2.3.1.4. Ampirik Çalışmaların Özeti ve Kısa Bir Değerlendirme

Toplu taşıma ağlarının sefer sıklıklarını ayarlama problemi ağdaki her bir hat ve her bir zaman dönemi için uygun sefer sıklığının belirlenmesinden oluşur. Zaman dönemi günün saatleri, haftanın günleri hatta yılın zamanları yani mevsimler olarak tanımlanmaktadır. Uygun sıklık atamaları kullanıcıları memnun edecek düzenli hizmeti sağlamalı ve işletimci maliyetlerini ve ihtiyaç duyulan filo büyüklüğünü azaltacak kadar seyrek olmalıdır.

Çalışmanın bu bölümünde toplu taşıma sefer aralığı belirleme problemleriyle ilgili yapılan çalışmaların bir özeti olan literatür taramasına yer verilmiştir. Literatür taraması, kullanılan yöntemlere göre, matematiksel yöntemler, heuristik ve metaheuristik yöntemler ve diğer yöntemler olmak üzere üç ayrı alt bölümde özetlenecektir.

2.3.1.4.1. Matematiksel Yöntemler

Yapılan literatür taramasına göre, sefer aralığı belirlemek için kullanılan ilk matematiksel yöntem Salzborn (1972) tarafından geliştirilmiştir. Salzborn (1972) ihtiyaç duyulan otobüs sayısını ve varyans hesabını kullanarak yolcuların bekleme süresini minimize etmek amacıyla yolcu geliş oranlarına göre sefer sıklıklarını belirlemiştir.

Scheele (1980) sefer sıklıklarını belirlemek için karşılaştırmalı minimizasyon problemi şeklinde doğrusal olmayan bir model formüle etmiş ve seyahat sürelerini minimize etmek

amacıyla, yolcuların seyahat atamalarını sefer sıklığı ayarlama problemleri ile birlikte eşzamanlı olarak çözmüştür.

Furth ve Wilson (1981) kullanıcıların faydalarını arttırmak ve bekleme sürelerini azaltmaktan oluşan net sosyal fayda maksimizasyonu sağlamak amacıyla sefer sıklığı belirleme problemi için bir matematiksel model geliştirmiştir. Burada kullanıcı faydası ile kast edilen bekleme sürelerinin azaltılması iken toplum faydası ile kast edilen ise, trafik yoğunluğunu, hava kirliliği ve enerji kullanımını azaltmaktır. Geliştirilen modelde filo büyüklüğü, maksimum sefer aralığı ve toplam bütçe kısıtları kullanılmıştır. Maksimum sefer aralığı ve filo büyüklüğü gevşetildiğinde problem Kuhn-Tucker şartlarının kullanıldığı bir algoritma yardımıyla çözülmüştür.

Constantin ve Florian (1995) filo büyüklüğü kısıdı altında yolcuların beklenen toplam seyahat süreleri ve bekleme sürelerini minimize etmek amacıyla sefer sıklığı belirleme problemi için bir doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama modeli ve bir çözüm önerisi ortaya koymuştur. Yolcuların rota seçimlerini göz önünde bulundurarak optimal hat sefer sıklıklarını belirlemek için bir algoritma sunulmuştur. Modelin denemeleri Stockholm, Winnipeg ve Portland'da şehir içinde çalıştırılmıştır.

Uludağ (2010) İzmir ili kent içi otobüs ağı sefer sıklıklarını ve durak yerlerini optimize etmek amacıyla Lozan ve Montrö duraklarını kullanan toplam 26 adet hattın otobüs yoğunluğunun fazla olduğu sabah saatlerine (09:00 – 11:00) ait yolcu talep değerleri, sefer sıklıkları, seyahat süreleri ve filo parametrelerini kullanarak bir doğrusal programlama modeli geliştirmiş ve WINQSB programı ile sefer sıklıklarını belirlemiştir. Sonrasında yolcuların duraklara erişim sürelerini ve seyahat sürelerini en aza indirmek amacıyla geliştirilen bulanık doğrusal programlama modeli ile bu hatlar üzerinde yer alan durakların arasındaki mesafe optimize edilmeye çalışılmıştır. Problemin çözümünde LİNGO programı kullanılmıştır.

Deri (2012) İzmir kent merkezindeki toplu taşıma olanakları ve yolculuk eğilimlerini incelediği çalışmasında sefer sıklıklarını optimize etmek amacıyla İzmir güney-batı bölgesi ile Konak-Halkapınar arasında hizmet veren otobüs hatlarını incelemiştir. Sabah zirve saatlerinin sefer sıklıklarının optimize edilmesi amacıyla hafta ortası bir güne ait yolculuk verileri kullanılarak Doğrusal Hedef Programlama (DHP) modeli geliştirilmiştir.

Hadas ve Shnaiderman (2012) stokastik talep ve seyahat süresi ile aşırı yolcu yükü ve boş koltukla çalışma maliyetlerini göz önünde bulundurarak toplu taşıma sıklıklarını ayarlamak için bir model geliştirmiştir. Bu model maliyetlere dayalı sıklıkların optimize edilmesini sağlamaktadır. Burada maliyetler, işlem seviyesinin sayısal ölçümlerinin sebep olduğu işletimci maliyetleri ve yolcu konforudur. Ayrıca model, seyahat süresi ve talep dalgalanmaları yüzünden sıklıklarla ilgili gerekli düzenlemeleri de yansıtmaktadır. Bu modelde sıklıklar ve araç kapasitesi kısıtları ile maliyetler minimize edilmeye çalışılmıştır.

Verbas and Mahmassani (2013) toplu taşıma ağı sıklık ayarlama problemleri için bir formülasyon önermiştir. Bu formülasyon her otobüs rotası boyunca çoklu hizmet yapılarının varlığını tanımlarken zaman ve yer ile ilgili kaynakların optimum tahsisini öngörmektedir. Toplu taşıma kuruluşları hem kullanıcıların hem de işletimcilerin faydalarını maksimize etmek için bu sınırlı kaynakları optimal bir şekilde tahsis etmelidir. Hizmet türleri ile rotaların birleşimi, rotaların hepsi ya da bir kısmı boyunca etkinliğin sağlanmasını ve kullanıcı ve işletimci açısından bir formülde birleştirilmesini sağlar. Kullanıcılar duraklarda rota sefer aralıklarının birleştirilmiş sonucunu görürler. Binen yolcu sayıları o duraktan geçen otobüs sayılarına göre değişmektedir. Bu noktada iki formül geliştirilmiştir. Birincisi Furth ve Wilson (1981)'ın çalışmasından türetilmiştir ve bütçe, filo büyüklüğü, sefer aralığı kuralı ve otobüs yükleme kısıtları altında yolcuların biniş sayılarını maksimize etmeyi ve toplam bekleme sürelerini azaltmayı amaçlamaktadır. İkincisi ise, bütçe, filo büyüklüğü, sefer aralığı kuralı, otobüs yükleme, minimum binen yolcu sayısı ve minimum bekleme süresi kısıtları ile net maliyetleri minimize etmeyi amaçlamaktadır. İki formülasyonda da günün farklı zamanlarına göre örnek sefer aralıkları karar değişkenidir. Bu kapsamda doğrusal olmayan bir optimizasyon problemi önerilmiştir. Problemin çözümünde ticari doğrusal olmayan optimizasyon problemi çözücü AMPL-KNITRO kullanılmıştır. Verbas, Frei, Mahmassani ve Chan (2015) ise bu çalışmayı daha geniş bir örneklem ile zamansal ve konumsal talep esnekliğinin etkisini analiz etmek amacıyla yeniden ele almıştır.

Martinez, Mauttone ve Urquhart (2014) her hat boyunca talebi ve sefer sıklığını birlikte belirlemek için bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Problemde ayırık sefer sıklıkları, kapasitesiz araçlar ve sınırlandırılmış filo büyüklüğü göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmanın ana faydası ise yolcuların varış yerlerine ulaşabilecekleri en kısa yolu seçtikleri varsayılarak toplu taşıma atama kararlarının modellenmesidir. Önerilen formülasyon, sefer sıklıkları sabit bir şekilde ayarlandığında bağımsız problemlerin alt gruplara ayrılmasına izin veren özel bir yapıya sahiptir. Model gerçek bir toplu taşıma ağında test edilmiş olup, sonuçlar modelin gerçek sistem ile karşılaştırıldığında seyahat süresini %13 azalttığını göstermektedir. Modelin büyük örneklerle uygulanması zor olduğu için, bir tabu arama modeli geliştirilmiş ve Uruguay'ın Montevideo şehrinin toplu taşıma ağına uygulanmıştır. Mevcut sistem ile model sonuçları kıyaslandığında ise %1,7'lik bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Gkiotsalitis ve Cats (2017) otobüs çalışma süresi boyunca yaşanan talep ve seyahat süresi değişimlerinin olumsuz etkilerini azaltmak için operasyonel değişiklik konularını sıklık ayarlama problemiyle birlikte ele almıştır. Önerilen sıklık ayarlama modelinde günün farklı saatleri için, her otobüs rotasının seçiminde talep, sefer aralığı ve seyahat süresindeki değişimler göz önünde bulundurulmuştur. Problem doğrusal olmayan ayırık programlama ile formüle edilmiş ve kısıtlara da doğrusal olmama şartı yansıtılmıştır. Problemin çözüm

yönteminde dal ve sınır ve Ardışık İkinci Derece Programlama (Sequential Quadratic Programming) yöntemleri esas alınmıştır. Önerilen modelin performansı Stokholm'de 17 merkez otobüs hattı üzerinde test edilmiştir.

Alkheder, AlRukaibi ve Zaqzouq (2018) Kuwait toplu taşıma şirketi için günlük talebi karşılayacak şekilde kaç sefer olması gerektiğini ve bu seferleri karşılamak için ihtiyaç duyulan otobüs sayılarını farklı otobüs türlerine göre belirlemek amacıyla ilk olarak bir tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Modelin ana amacı kullanılan otobüs sayısını ve böylece toplam maliyetleri minimize etmektir. Pareto analizi yardımıyla şehirdeki en önemli 5 hat örneklem olarak seçilmiştir. Sonrasında her bir rota için yıllık toplam kâr hesaplanmış ve mevcut durum ile kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, 5 hatta ortalama günlük talebi karşılamak için günlük sefer sayısına 668,5 seferin daha eklenmesi ve 81 adet otobüsün daha filoya dahil edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Bertsimas, Sian ve Yang (2020) çok araçlı toplu taşıma ağlarında zaman çizelgesi sıklığı ve fiyatı-ücreti birlikte optimize etmek için genel bir sistem önermiştir. Bu sistem çok terimli logit model aracılığıyla toplu taşıma işletimcileri tarafından alınan sefer sıklığı ve fiyat - ücret kararlarına yolcuların cevaplarının ne olacağı geri bildiriminden oluşmaktadır. Yolcuların seçimleri toplu taşıma hizmetleri için talebi göstermektedir ve toplu taşıma hizmet sağlayıcıları toplu taşıma hizmetinde bekleme süresini minimize ederek bu talebi etkin bir şekilde karşılamak için çabalamaktadırlar. Bekleme süresi minimizasyonu amacıyla geliştirilen doğrusal olmayan modele bütçe, kapasite ve yolcu tercihi kısıt olarak dahil edilmiştir. Burada yolcuların tercihlerinden kast edilen toplu taşıma hizmetleri ile Uber ve Lyft gibi çağırılan özel araçlar arasında yolcuların yaptığı seçimdir.

Pathak, Agrawal, Suman ve Bolia (2020) yolcuların neden olduğu kalabalık rahatsızlığı maliyetini amaç fonksiyonundaki bekleme süresi, araçta geçen süre ve işlemler gibi diğer maliyet bileşenlerine dahil eden bir sefer sıklığı optimizasyon modeli geliştirmiştir. Kalabalık rahatsızlığı maliyetinin yükleme faktörünün üstel bir fonksiyonu olarak tahmin edildiği çalışmada doğrusal olmayan karma tamsayılı bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model Hindistan'ın Delhi şehrinde 34 otobüs rotasında uygulanmıştır.

2.3.1.4.2. Sezgisel ve Metasezgisel Yöntemler

Literatürde sefer sıklığı belirleme problemlerinin çözümüne matematiksel yöntemlerin yanı sıra sezgisel ve metasezgisel yöntemler yardımı ile de yaklaşılmıştır. Optimizasyon algoritmaları kesin ve yaklaşık olmak üzere iki ana kategoriye ayrılırlar. Kesin algoritmalar probleme kesin sonuç verirler. Yaklaşık algoritmalar kesin ya da kesin olmayan sonuçlar verebilirler. Diğer bir deyişle probleme yaklaşık sonuçlar verirler. Yaklaşık algoritmalar sezgisel (heuristik) ve metasezgisel (meta heuristik) olarak iki kategoriye ayrılırlar (Desale, Rsool,

Andhale & Rane, 2015: 296). Sezgisel algoritmalar arama uzayının genellikle sınırlı bir araştırmasını yapar ve neredeyse doğru cevabı verirler veya problemin bütün örnekleri için bir çözüm sağlayamazlar (Kokash, 2005: 2). Metasezgisel algoritmalar ise arama alanını keşfetmek ve kullanmak için farklı kavramları birleştirerek ikincil bir sezgisel algoritmayı yönlendiren iteratif bir üretim süreci olarak tanımlanır. Optimale en yakın sonuçları bulmak amacıyla bilgiyi yapılandırmak için öğrenme stratejilerini kullanır (Osman & Laporte, 1996: 514). Sezgisel algoritmalar en yakın komşuyu seçerek problemi çözmeye çalışırken, metasezgisel algoritmalar global optimumu bulmayı amaçlarlar. Sezgisel algoritmalar, yerel arama (local search), böl ve yönet (divide and conquer), dal ve sınır (branch & bound)'dır. Metasezgisel algoritmalar ise tavlama benzetimi, tabu arama, sürü zekası, genetik algoritma, yapay sinir ağları, diferansiyel gelişim, yapay arı kolonisidir. Sezgisel ve metasezgisel algoritmalar, matematiksel optimizasyonun uzun hesaplama süreleri ya da eksik problem tanımlamaları yüzünden mümkün olmadığı zamanlarda karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılır (Stegherr, Heider & Hähner, 2020: 1).

Han ve Wilson (1982) sezgisel bir yöntem kullanarak yolcuların toplam bekleme süresini ve duraktaki yoğunluğu minimize etmek amacıyla toplu taşıma sefer sıklığı ayarlama problemlerine bir model önermiştir. Her rota için maksimum yükleme noktasında maksimum doluluk oranını minimize etmek amacıyla yapılan çalışmada her bir rota için kapasite ve filo büyüklüğü kısıtları kullanılmıştır.

Ceder (1984) otobüs sefer sıklıklarını sefer aralıklarını oluşturmak amacıyla otobüs işletimcileri için uygun veri toplamayı tanımladığı ve analiz ettiği çalışmasında sefer sıklığını belirlemek için dört farklı yöntem tanımlamıştır. Bunlardan ikisi noktasal ölçüm yöntemine, diğer ikisi araçta ölçüm yöntemine dayanmaktadır. Araçta ölçüm yöntemi noktasal ölçüm yöntemine kıyasla daha detaylı veriler sağlamaktadır ancak maliyetleri oldukça yüksektir. Mevcut eski verilere bağlı olarak bu dört yöntem veri toplama türü seçiminde otobüs planlayıcılarına iyi bir rehberlik sağlamaktadır. Çalışma kapsamında otobüslerin doluluk oranı, kapasitenin aşılp aşılmadığı gibi durumlarda sefer aralıklarının nasıl belirlenebileceğine değinilmiştir. Ayrıca tek bir hat için gerekli otobüs seferlerinin ve otobüs sayısının en aza indirilmesi ile birlikte alternatif tarifeler de örnek olarak araştırılmıştır.

Van Oudheusden ve Zhu (1995) otobüsle toplu taşıma sistemlerinde minimum maliyet ile kabul edilebilir bir hizmet kalitesi sağlamak amacıyla mevcut uygulamaları, sınırlı filo büyüklüğünü, park alanlarının eksikliğini, günlere göre trafik şartlarındaki dalgalanmaları dikkate alarak Bangkok'ta sefer aralıklarını düzenlemeye çalışmıştır. Bu amaçla bir doğrusal programlama modeli ve iki sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bu iki sezgisel algoritmadan biri doğrusal programlamaya dayanırken diğeri türeve dayandırılmıştır. Sonuçlar iki otobüs hattında uygulanmış ve bu hatlarda hizmet kalitesi artmış, işletme maliyetleri ise azalmıştır.

Tom ve Mohan (2003) yolcuların toplam seyahat sürelerinin ve işlemsel maliyetlerin bir fonksiyonu olarak ifade edilen toplam maliyeti minimize etmek amacıyla bir optimizasyon problemi formüle etmiştir. İki aşamalı bir çözüm yöntemi geliştirilen çalışmada, ilk aşamada aday rota üretim algoritması kullanılarak aday rota kümeleri üretilmiştir. İkinci aşamada, genetik algoritma yardımıyla aday rota kümelerinden sefer sıklıkları ile birlikte bir çözüm rota kümesi seçilmiştir. Eş zamanlı olarak, toplu taşıma sefer sıklıkları ve rotaları, genetik algoritmaya dayalı olarak optimize etmişlerdir.

Park (2005) otobüs işletim maliyeti, yolcuların araçta geçirdiği süre ve kullanıcı aktarma maliyetlerinden oluşan toplam sistem maliyetini minimize etmek için optimal sefer aralığını bulmak amacıyla, genetik algoritma ve simülasyon yöntemini kullanmıştır. İki farklı durumun dikkate alındığı çalışmada, otobüslerin deterministik geliş süreci için genetik algoritma modeli geliştirilmiş ve sefer aralıkları genetik algoritma modeline göre belirlenmiştir. Otobüslerin geliş stokastik olduğunda artık zamanları optimize etmek için simülasyon temelli bir genetik algoritma modeli geliştirilmiştir.

Yu, Yang ve Yao (2009) yolcuların toplam seyahat sürelerini minimize etmek amacıyla, yolcuların rota seçim davranışlarını açıklayarak filo büyüklüğü kısıtına bağlı, optimal sefer sıklıklarının belirlenebileceği iki aşamalı bir model geliştirmiştir. İki aşamalı modelin ilk aşaması düşük seviye sıklık, ikincisi yüksek seviye sıklıktır. İlk aşamada, optimal stratejiye bağlı olarak otobüs rota ağına seferlerin atanması amaçlanırken, ikinci aşamada, rotaların otobüs sıklıklarının, yolcu atamalarının bir sonucu olarak, optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu iki aşamalı problemi çözmek için genetik algoritma etiketleme yaklaşımından oluşan iteratif bir yöntem kullanılmıştır.

Yoo, Kim ve Chon (2010) değişken taleple toplu taşıma sefer sıklığı tasarım problemini modellemek amacıyla, problemi tanımlamak için işbiriksiz Stackelberg oyununu temel alan iki aşamalı optimizasyon modelini kullanılmıştır. Üst aşama işletimci problemi, filo büyüklüğü ve sefer sıklığı kısıtları ile talebi maksimize etmek için doğrusal olmayan bir optimizasyon modeli olarak formüle edilmiştir. Kapasite kısıtlı alt düzeyde stokastik kullanıcı denge ataması modeli değişken talep ve aktarma gecikmeleri dikkate alınarak çözülmüştür. Önerilen formülasyonu çözmek için, yazarlar iki aşamalı iteratif bir yöntem geliştirmişlerdir. İlk aşamada belirli bir sefer sıklığı için alt aşama çözülürken ikinci aşamada gradyan izdüşüm yöntemi ile yeni sefer sıklıkları belirlenmektedir.

Luhua, Yin ve Xinkai (2011) yolcuların otobüs bekleme süresini, aktarma yapmak için geçirdikleri bekleme süresini, otobüsün içinde geçirdikleri süreyi ve işletimcilerin otobüsleri çalıştırma sürelerini minimize eden bir model geliştirmiş ve modelin analizinde genetik algoritma yöntemini kullanmıştır.

Dell'Olio, Ibeas ve Ruisa'nchez (2012) talebi karşılamak amacıyla ihtiyaç duyulan sefer sıklığını ve araç kapasitesini belirleme problemine değinmiştir. Bu problem için, otobüs kapasitesi kısıdı göz önünde bulundurularak iki aşamalı bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Problemin üst düzeyinde, toplam kullanıcı ve operatör maliyetlerinin optimizasyonu dikkate alınırken, alt düzeyde toplu taşıma atama kararları yansıtılmıştır. Bu optimizasyon problemini çözmek için üç aşamadan oluşan iteratif bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Her bir iterasyonda şu üç aşama uygulanmıştır: (i) sıklıkların başlangıç kümesini oluşturma, (ii) toplu taşıma atama modelini çözme ve (iii) araç kapasitesini belirlemek ve yeni sıklıklar bulmak için Hooke-Jeeves algoritmasını uygulama. Önerilen model İspanya'nın Santander kentinin toplu taşıma ağının belirli bir kısmında uygulanmış ve heterojen bir filo kullanarak daha faydalı sonuçlar elde edilmiştir.

Huang, Ren ve Liu (2013) belirsiz yolcu talebini esas alan otobüs sıklıkları optimizasyonu için iki aşamalı bir programlama modeli formüle etmiştir. Çalışmada üst düzey aşama sıklıkları belirlerken alt düzey aşama toplu taşıma ağının her bağlantısı boyunca yolcu akışının ortalaması ve varyansını hesaplar. Önerilen model genetik algoritma yardımı ile çözülmüştür. Geliştirilen model Çin'in Liupanshui şehrinin küçük bir bölümünde uygulanmış ve mevcut durumla kıyaslandığında toplam maliyetlerin %6 oranında azaldığı görülmüştür.

Ibeas, Alonso, dell'Olio ve Moura (2013) otobüs büyüklüklerinin ve sefer aralıklarının optimizasyonu için iki aşamalı bir optimizasyon modeli önermiştir. Problemin üst düzeyinde kullanıcı ve operatör maliyetlerinin minimizasyonu amaçlanırken, alt düzeyinde ulaşım türü seçimi (özel – halk) ile atama modeli kombine edilmiştir. Önerilen modelin çözümünde Hooke-Jeeves arama algoritmasına dayalı sezgisel algoritma kullanılmıştır. Önerilen modelde toplu taşıma sistemindeki trafik sıkışıklığı ve talep esnekliği göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma gerçek bir sisteme uygulandığında toplu taşımada otobüsü tercih eden yolcuların sayısının arttığı, yolcuların bekleme sürelerinin kısaldığı, kısa sefer aralıkları için düşük kapasiteli otobüslerin daha uygun olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Owais v.d. (2013) otobüs rotası seçiminde yolcuların oranını takip etmek için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Geliştirilen model, toplam seyahat süresini minimize etmek amacıyla toplam otobüs filo büyüklüğüne ve toplu taşıma ağına yolcuların otobüs rotası seçimindeki ilgilerine bakarak sefer sıklığını rotalar arasında optimal bir şekilde ayarlanması konusunda yardımcı olacaktır. Kısaca rotalara yolcu atamak için sefer sıklığını temel alan rota seçim modeli geliştirilmiştir. Toplu taşıma kullanıcılarının seçimi ile otobüs hizmeti sağlayıcılar arasındaki etkileşim karma tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak düşünülmüştür. Önerilen modelin çözümünde genetik algoritma kullanılmıştır. Önerilen sefer sıklığı ayarlama modeli, otobüs rotaları arasında sefer sıklığı dağılımlarını optimize ederek toplam seyahat süresini minimize etmeye çalışmaktadır.

Li, Xu ve He (2013) firma maliyetlerinin ve yolcuların bekleme süresi maliyetlerinin beklenen değerini minimize etmek amacıyla bir stokastik optimizasyon yaklaşımı tanımlamışlardır. Stokastik parametreler olarak talep, geliş süreleri, biniş/iniş süreleri ve seyahat sürelerinin dikkate alındığı çalışmada optimum sefer aralıklarını belirlemek için hibrit bir zeka algoritması geliştirilmiştir. Formüle edilen problemin çözümünde genetik algoritma kullanılmış ve elde edilen sonuçlar geleneksel sefer sıklığı belirleme modelleriyle karşılaştırılmıştır. Geliştirilen modelin var olan modellerden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Lin, Ma ve Chen (2018) yolcuların toplam seyahat maliyetlerini minimize etmek amacıyla optimal otobüs sefer sıklıklarını belirlemiştir. Bu amaçla, yolcuların mobil uygulamaları kullanarak gerçek zamanlı bilgiye ulaştıklarını da göz önünde bulundurdıkları bir model geliştirilmiştir. Önerilen bu optimizasyon problemini çözmek için Tabu Arama yöntemi kullanılmıştır.

Özcan (2018) otobüslerin sefer sıklıklarını ve otobüslerin güzergah başlangıçlarından kalkış zamanlarını optimize etmek için iki seviyeli bir simülasyon/optimizasyon modeli önermiştir. Modelin üst aşamasında, kullanıcı ve işletimci açısından maliyetleri minimize eden sefer aralıkları ve kalkış ötelemesi değerlerinin tespit edildiği bir tamsayı programlama modeli olarak formüle edilmiş ve metasezgisel armoni araştırması (AA) tekniği ile çözülmüştür. Alt aşamada ise kullanıcıların güzergâh seçimlerinin modellendiği toplu taşıma ataması problemi VISUM yazılımının toplu taşıma modülü kullanılarak ele alınmıştır.

2.3.1.4.3. Diğer Yöntemler

Literatürde sefer sıklığı belirlemek için matematiksel yöntemler, sezgisel ve metasezgisel yöntemler dışında simülasyon, markov zincirleri stokastik modeller gibi farklı yöntemlerin de kullanıldığı görülmüştür.

Grosfeld-Nir ve Bookbinder (1995) sefer aralığını belirlemek için toplu taşıma hattını bir bütün olarak ele alan iki yeni hizmet kriteri geliştirdikleri çalışmalarında COD adı verilen ilk kriter ile aşırı kalabalık olduğunda yolcuların rahatsızlığını ve ikinci kriter olan POF ile de belirli bir durakta bekleyen bazı kullanıcıların halihazırda kalabalık olduğu için bir araca/otobüse binememe olasılığını ölçmüştür. Her iki kriter de tüm rotanın özelliklerini hesaba katar ve en kalabalık durağı kullanarak geçiş yollarını planlayan benzer kriterlerin genellerler. COD analizinde simülasyon yöntemi kullanılırken, POF rota boyunca mesafe açısından "homojen olmayan" zamana bağlı bir Markov zinciri ile analiz edilmiştir. Çalışmada iki kriterin her birine dayalı modeller gösterilmiş ve İsraili transit şirketi DAN'ın bir dizi güzergâhına uygulanmıştır.

Chen (2007) yolcuların iniş ve biniş duraklarının hattın başlangıç ve bitiş durağı olduğu tek bir hat için beklenen karı maksimize eden stokastik bir optimizasyon modeli önermiştir.

Modelde yolcuların gelişinin Poisson sürecine uyduğu varsayılmıştır. Ayrıca her durakta inen ve binen yolcu sayılarının Binom dağılıma ve araç seyahat süresinin Weibull dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Bu stokastik optimizasyon probleminin çözümünde homojen ve homojen olmayan Poisson sürecinin ikisini de ele alan geçmişe dönük (retrospective) optimizasyon modeli önerilmiştir. Modelin çözümünde simülasyon yönteminden yararlanılmış ve buna göre önce optimal sefer sıklığı, sonrasında ise optimal sefer aralığı bulunmuştur.

Mohaymany ve Amiripour (2009) bir gün boyunca talepteki değişkenliği ve talebin stokastik yapısını göz önünde bulundurarak, otobüs ağının kapsamasını maksimize etmek amacıyla geliştirilen simülasyon modelinde, gün boyunca talep değişkenliğine göre bekleme süresini minimize etmeyi amaçlamış ve modelde kısıt olarak filo büyüklüğünü dikkate almıştır. Modelde duraklar arasındaki mesafenin sabit olduğu ve talebin normal dağılıma uyduğu varsayımlarında bulunulmuştur. Model için geliştirilen çözüm algoritması 4 aşamadan oluşmaktadır. İhtiyaç duyulan veriler toplandıktan sonra birinci aşamada, sistemin çalışma kurallarına göre alternatif sefer aralıkları belirlenmektedir. Bu alternatifler simülasyona temel teşkil etmek için kullanılır. İkinci aşama toplu taşıma atamalarıdır ve birinci aşamaya paralel bir şekilde çalışmaktadır. Birinci aşamada ağdaki her iki durak arasındaki en kısa yol bulunmaktadır. İkinci aşamada rotalara yolcuların ataması yapılmaktadır. Üçüncü aşama simülasyon aşamasıdır. Burada her alternatif zaman çizelgesi, kullanım ölçümlerini hesaplamak için simüle edilmektedir. Dördüncü aşamada ise sistem kısıtlarına göre en iyi alternatif seçilmektedir.

Ruiz v.d. (2017), otobüs rotalarının sefer aralıklarında yapacakları küçük değişimlerin şehirdeki toplu taşımanın hizmet kalitesini ve toplu taşımanın eşitliğini (equity) geliştireceğini düşündükleri çalışmada bu düşüncelerini test etmek için ilk olarak bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Simülasyon modeli sosyal eşitlik ve hizmet seviyesinin coğrafik dağılımına göre otobüs sefer aralıklarının etkisini test etmek için geliştirilmiştir. Sonrasında, geliştirilen bu optimizasyon modeli ile hem sosyal eşitliği hem de hizmet seviyesini geliştirmek amacıyla toplu taşıma otobüsleri ağı için otobüs sefer aralıklarının en iyi kombinasyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen model Palma şehrinde uygulanmıştır. Bu çalışmada geliştirilen simülasyon modelinin amacı, otobüs hatlarının sefer aralıklarındaki değişimler konusunda Palma şehrinin farklı komşuları genelinde toplu taşıma hizmet seviyesinin istatistiksel davranışlarını ve bunların dağılımlarını belirlemektir. Farklı otobüs hatlarında sefer aralıklarının rassal değişimi toplanmış ve her kombinasyon için hizmet seviyesi ve Gini katsayısı hesaplanmıştır. Simülasyon modelini geliştirmek için @Risk 6.2. yazılım programı kullanılmıştır.

Toplu taşıma hatlarının planlanmasında sefer sıklığı veya sefer aralıklarının belirlenmesi, sunulan hizmetin kalitesi açısından ve diğer taşıma türleri ile rekabet edilebilirlik

açısından oldukça önemlidir. Bu sebeple toplu taşıma hizmeti sağlayıcıları için konu oldukça önemlidir. Genellikle belediyelerin sorumlu olduğu taşıma hizmetleri, kâr elde etme amacı güdülmeden verilen bir hizmet olduğu için, hem maliyetler azaltılmaya hem de yolculara ve potansiyel kullanıcılara en iyi hizmet verilemeye çalışılır.

Sefer sıklığı veya sefer aralığı problemlerini ele alan çalışmalar detaylı bir şekilde incelendiğinde genellikle şu amaçları gerçekleştirmeye çalıştıkları gözlemlenmektedir:

- Kullanıcı ve işletimci maliyetleri toplamının minimizasyonu,
- Yolcu biniş sürelerinin minimizasyonu,
- Seyahat sürelerinin ve bekleme sürelerinin minimizasyonu,
- Aktarma sayılarının minimizasyonu,
- Toplam seyahat süresinin minimizasyonu,
- Yolcu konforsuzluğunun minimizasyonu,
- Tatmin edilemeyen yolcu sayılarının minimizasyonu,
- Filo büyüklüğünün minimizasyonu,
- Seyahat yoğunluğu maksimizasyonu,
- Direk seyahat sayılarının maksimizasyonu gibi.

Bu amaçları gerçekleştirmeye çalışırken genellikle aşağıda sıralanan kısıtlar söz konusu olmaktadır.

- Araç kapasitesi
- Minimum sıklık
- Bütçe ve filo büyüklüğü
- Talep miktarı
- Yükleme faktörü
- Hat uzunluğu
- Aktarma sayısı
- Aktarma süresi

Seyahat sürelerini, bekleme sürelerini, toplam maliyetleri kısaca yukarıda bahsedilen amaçları etkileyen birçok faktörün olduğu görülmektedir. Bu faktörler de kısıtlardır. Bu kapsamda amaçlar ve kısıtlar birlikte değerlendirildiğinde, toplu taşıma hatlarında hizmet sıklıkları belirlenirken çok fazla faktörün bir arada değerlendirilmesi gerektiği ve birbiriyle çelişen amaçlar arasında denge kurulması gerektiği görülmektedir. Örneğin minimum sıklık kısıtı altında bekleme sürelerini minimize etmek oldukça zordur veya filo büyüklüğüne sınır koyarak doğrudan seyahat sayılarını maksimize etmeye çalışmak oldukça güçtür. Bu sebeple sefer sıklığı belirleme problemleri NP-Zor sınıfına girmektedir.

Tablo 2.4.'te yukarıda bahsedilen çalışmaların kısa bir özeti sunulmuştur. Tabloda yazarlar, çalışmaların ne zaman yapıldığı, amacı, kısıtları ve çözüm yöntemleri bir arada gösterilmiştir.



Tablo 2. 4. Literatür Özeti

Yazar	Yıl	Amaç	Kısıtlar	Çözüm Yöntemi
Salzborn	1972	Toplam bekleme süresi ve filo büyüklüğü minimizasyonu	Yolcu geliş oranları	Matematiksel
Scheele	1980	Seyahat süresi minimizasyonu	Kapasite ve filo büyüklüğü	Matematiksel
Furth & Wilson	1981	Kullanıcı faydası maksimizasyonu	Filo büyüklüğü, maksimum sefer aralığı ve toplam bütçe	Matematiksel
Han & Wilson	1982	Maksimum doluluk oranı minimizasyonu	Kapasite ve filo büyüklüğü	Sezgisel
Ceder	1984	Otobüs geçişi minimizasyonu	Yük profilleri ve araç kapasitesi	Sezgisel
Constantin & Florian	1995	Yolcuların beklenen toplam seyahat süreleri ve bekleme süreleri minimizasyonu	Filo büyüklüğü	Matematiksel
Van Oudheusden & Zhu	1995	Maliyet minimizasyonu	Filo büyüklüğü, park alanlarının eksikliği, günlere göre trafik şartlarındaki dalgalanmalar	Sezgisel
Tom & Mohan	2003	Maliyet minimizasyonu	Seyahat süreleri ve işletim maliyetleri	Metasezgisel
Park	2005	Maliyet minimizasyonu	İşletim maliyeti, araçta geçirilen süre ve aktarma maliyeti	Metasezgisel & Simülasyon
Chen	2007	Kar maksimizasyonu	İşletim maliyeti ve yolcuların bekleme maliyeti	Simülasyon
Mohaymany & Amiripour	2009	Beklenen bekleme süresi minimizasyonu	Filo büyüklüğü	Simülasyon
Yu, Yang & Yao	2009	Seyahat süresi minimizasyonu	Filo büyüklüğü	Metasezgisel
Yoo, Kim ve Chon	2010	Talep maksimizasyonu	Filo büyüklüğü, sefer sıklığı ve araç kapasitesi	Sezgisel
Uludağ	2010	Seyahat süresi ve otobüs kapasitesi eksikliği minimizasyonu	Talep, sefer sıklığı, seyahat süreleri, araç kapasitesi, sefer süresi ve filo büyüklüğü	Matematiksel
Luhua, Yin & Xinkai	2011	Yolcuların bekleme süresi, seyahat süresi, aktarma süresi ve değişken operatörlerin çalışma süresi malitelerinin minimizasyonu	Park süresi, aktarma süresi, yürüme mesafesi, maksimum kalkış	Metasezgisel
Hadas & Shnaiderman	2012	Boş koltuk ve karşılanmayan talep minimizasyonu	Sefer aralıkları ve araç kapasitesi	Matematiksel
Deri	2012	Atıl kapasite ve otobüs eksikliği minimizasyonu	Sefer sıklığı, araç kapasitesi, otobüs sayısı, hatların sefer süresi	Matematiksel
dell'Olio, Ibeas & Ruíz Sánchez	2012	Toplam kullanıcı ve işletim maliyeti minimizasyonu	Araç kapasitesi ve bir otobüsün kapsayabileceği hatların sayısı	Sezgisel
Huang, Ren ve Liu	2013	İşletim maliyetlerinin ve seyahat süresindeki sapmaların minimizasyonu	Filo büyüklüğü ve minimum sefer sayısı	Metasezgisel
Ibeas, Alonso, dell'Olio & Moura	2013	Toplam kullanıcı ve işletim maliyeti minimizasyonu	Trafik sıklığı ve talep esnekliği	Sezgisel
Owais, Moussa, Abbas & El-Shabrawy	2013	Toplam seyahat süresi minimizasyonu	Filo büyüklüğü ve yolcuların rota seçimi	Metasezgisel
Verbas & Mahmassani	2013	Yolcu sayılarının ve bekleme sürelerinin ağırlıklandırılmış minimizasyonu	Bütçe, filo büyüklüğü, sefer aralığı ve yük faktörü	Matematiksel
Li, Xu & He	2013	Firma maliyeti ve yolcuların bekleme süresi maliyeti değerlerinin minimizasyonu	Otobüs kapasitesi	Metasezgisel
Martinez, Mauttone & Urquhart	2014	Seyahat süresi minimizasyonu	Talep tahmini ve filo büyüklüğü	Matematiksel
Gkiotsalitis ve Cats	2018	Beklenen bekleme süresi değişkenliği, işletim maliyetleri, ekstra otobüs maliyeti minimizasyonu	Talep, sefer aralığı, seyahat süresindeki dalgalanmalar, işletim maliyetleri ve filo büyüklüğü	Matematiksel
Lin, Ma ve Chen	2018	Yolcuların toplam seyahat maliyetleri minimizasyonu	Mobil otobüs uygulaması kullanıcı sayısı, toplam kullanıcı sayısı, sefer sıklığı	Metasezgisel
Alkheder, AlRukaibi & Zaqzouq	2018	Toplam maliyet minimizasyonu	Talep, otobüs kapasitesi, otobüsün toplam tur süresi	Matematiksel
Özcan	2018	Toplam kullanıcı ve işletim maliyeti minimizasyonu	Aktarma süresi, sefer sayısı, kapasite, seyahat süresi	Metasezgisel
Bertsimas, Ng & Yang	2020	Bekleme süresi minimizasyonu	Bütçe, kapasite ve yolcu tercihi	Matematiksel
Pathak, Agrawal, Suman & Bolia	2020	Toplam işletim maliyeti, bekleme süresi, seyahat maliyeti ve kalabalık rahatsızlığının maliyetinin minimizasyonu	Yük faktörü ve optimum sefer sıklığı	Matematiksel

3. SİMÜLASYON YÖNTEMİ

Çalışmanın bu bölümünde, çalışmanın uygulamasında kullanılan simülasyon yönteminden bahsedilmiştir. Öncelikli olarak, simülasyonun tanımı yapılmış, sonrasında özelliklerinden, model geliştirme aşamalarından, simülasyon türlerinden bahsedilerek simülasyon yönteminin avantajlarına ve dezavantajlarına değinilmiştir.

3.1. Simülasyon Kavramı

Simülasyon yöntemi, mevcut sistemin bir temsilinin oluşturulduğu ve mevcut sistem üzerinde denemeler yaparak eğer şöyle olursa ne olur (what-if) sorularına cevap veren bir yöntemdir. Mevcut sistem karmaşık olduğunda, sistemin bir bileşeni değiştirildiğinde sistemde nasıl değişiklikler olacağı görülmek istendiğinde ya da yeni bir sistem kurup nasıl çalışacağı ile ilgili fikir sahibi olunmak istendiğinde simülasyon oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Literatürde simülasyon yöntemi farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Bu tanımlar aşağıdaki gibidir.

Simülasyon, gerçek hayat durumunun bilgisayar destekli modellerle taklit edilmesidir. Karmaşık sistem ve süreçlerin tasarlanması ve işletilmesinden sorumlu karar vericiler için en güçlü araçlardan biri simülasyon yöntemidir (Ulucan, 2007: 489).

Simülasyon genellikle uygun bir yazılım ile bilgisayar ortamında, gerçek sistemin davranışlarını taklit eden yöntemlerin ve uygulamaların bir araya getirilmesidir (Kelton, Sadowski, & Sadowski, 1998: 1). Başka bir tanıma göre ise simülasyon, çeşitli şartlar altında sistemin davranışlarını taklit eden bir modelin uygulanmasıdır (Gordon & Guilfoos, 2017: 14). Yeroğlu ise simülasyonu verilen bir sistemin davranışları hakkında neden-sonuç ilişkisine dayalı sonuçlar çıkartabilmek için ilgili modelin davranışlarını incelemek ve anlamaya çalışmak olarak tanımlamıştır (Yeroğlu, 2001: 6).

Simülasyon, gerçek sistemin bir modelinin tasarlanması ve sistemin işletilmesi için farklı stratejilerin değerlendirilmesi ya da sistemin davranışlarının anlaşılması amacıyla bu modellerle denemeler yapılması süreci olarak tanımlanır (Shannon, 1998: 7). Tanımdan anlaşılacağı üzere simülasyon yönteminin iki ana bileşeni vardır: model ve sistem. Simülasyon kavramı, sistemleri ve bu sistemlerin modellerini içerir.

Sistem, girdileri olan ve belirli amaçlar doğrultusunda çıktılar sağlayan, birbirini etkileyen bileşenlerin toplanması olarak tanımlanır. Law (2015) sistemi, bazı mantıksal amaçları gerçekleştirmek için birbirini etkileyen ve birlikte hareket eden makineler ya da insanlar gibi varlıkların toplanması olarak tanımlamıştır. Sistem, planlanan ya da var olan tesisler veya süreçlerdir. Bir çalışma için, bir sistemi oluşturan varlıkların hepsi başka bir çalışma için bütün sistemin bir alt kümesi olabilir. Örneğin, para çekmek isteyen ya da tasarruf mevduat hesabı açmak isteyen bir müşteriye uygun hizmeti vermek için ihtiyaç duyulan banka

memuru sayısını belirlemek isteyen bir çalışmada, sistem bankanın hizmet edeceği müşteriler ve vezne memurlarından oluşur. Eğer kredi memuru ve banka kiralık banka kasası sisteme dahil edilecek olursa sistemin daha farklı şekilde tanımlanması gerekir. İki tür sistem vardır: kesikli sistemler ve sürekli sistemler (Law & Kelton, 1991: 4). Zaman içerisinde ayrılmış noktalarda durum değişkenlerinin aniden değiştiği sistemler kesikli sistemler olarak tanımlanır. Durum ile kast edilen belirli bir zamanda bir sistemi tanımlamak için ihtiyaç duyulan değişkenlerin toplanması için sistemin durumudur. Örneğin, bir fast-food restoranında sisteme müşteri geldiğinde ya da bir müşteri yemeğini alıp sistemden ayrıldığında bu fast-food restoran sistemi kesikli bir sistemdir. Burada durum değişkeni restorandaki müşteri sayısıdır.

Sürekli sistemler ise, durum değişkeninin zamana göre sürekli değiştiği sistemlerdir. Örneğin; havada hareket eden bir uçağın konumu ve hızı zamana göre değiştiği için sürekli sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Uygulamada az sayıda sistem tamamen kesikli ya da tamamen sürekli bir sistemdir fakat çoğu sistem için değişimin sadece bir türü baskın olduğu için bir sistemi kesikli ya da sürekli olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu kapsamda bir sistemi oluşturan farklı bileşenler arasındaki ilişkinin iç yüzünü anlamak ya da yeni şartlar altında sistemin performansını tahmin edebilmek için özel çalışmalar yapılması gerekmektedir. Buna göre sistemin kesikli mi yoksa sürekli mi olduğu belirlenebilir.

Simülasyon yönteminin ikinci bileşeni olan model ise, sistemin merak edilen performans ölçütlerini tahmin edebilmek amacıyla karmaşık sistemlerin basitleştirilmiş bir gösterimidir. Model, sistemin davranışları ile ilgili bilgi kazanmak ve iç yüzünü anlamak amacıyla modellenen sistemin mevcut davranışsal yönlerini yansıtmak için tasarlanır. Fiziksel modeller, matematiksel veya analitik modeller ve bilgisayar modelleri olmak üzere üç farklı türde model bulunmaktadır. Fiziksel model basitleştirilmiş ya da küçültülmüş fiziksel nesnedir, ikonik modeller olarak da adlandırılırlar. Bir hava alanının ölçeklendirilmiş maketi fiziksel modellere örnek olarak gösterilebilir. Matematiksel ya da analitik modeller, matematiksel değişkenler arasındaki denklemler ya da ilişkiler kümesidir. Bu modellerde, problem değişkenleri matematiksel sembollerle ya da harflerle gösterilirler. Değişkenler ve kısıtlar arasındaki ilişkiyi göstermek için matematiksel sembol ve fonksiyonlar kullanılır. Kaynak atama modelleri, taşıma-ulaştırma modelleri bu modellere örnek olarak gösterilebilir. Bilgisayar modeli ise, bir sistemin sadece program açıklamasıdır (Altıok & Melamed, 2007: 2; Murty, 2007: 16).

Yukarıda bahsedilen matematiksel ya da analitik modellerin çözümü için farklı yöntemler kullanılabilir. Çözüm yöntemlerine göre modeller ikiye ayrılır: analitik modeller ve simülasyon modelleri. Bir simülasyon modeli dijital ortamda uygulanır. Simülasyon modelleri genellikle pahalı olmayan bir modelleme yaklaşımıdır ve analitik modellere alternatif bir yöntem olarak kullanılırlar. Analitik modeller ve simülasyon modelleri arasındaki farklılık çözümlerinin doğasından kaynaklanır (Law & Kelton, 1991: 1).

Analitik modeller, matematiksel problemlere çözüm ararlar. Çözüm, merak edilen performans ölçütünü elde etmek için kullanılır. Bir simülasyon modeli ise örnek kayıtları yani geçmiş verileri üretmek için bir simülasyon programının çalışmasını gerektirir. Analitik modeller ile simülasyon modelleri arasında bir seçim yapılmak istenirse, eğer modelin bir çözümü varsa analitik model tercih edilebilir, çünkü analitik modellerin çözümü genellikle simülasyon modellerinin çözümünden daha hızlıdır. Ancak sistem karmaşık olduğunda simülasyon modelleri daha kullanışlıdır (Law & Kelton, 1991: 1). Özel amaçlı simülasyon dillerinin mevcudiyeti, birim başına düşen işlem maliyetleri, hesaplama yetenekleri ve simülasyon metodolojilerindeki gelişmeler, simülasyonu yöneylem araştırması ve sistem analizinde en yaygın kullanılan araçlardan biri haline getirmiştir. Simülasyon, aşağıdaki amaçlar çerçevesinde uygulama alanı bulan bir yöntemdir (Banks, Carson, Nelson ve Nicol, 2005: 4):

- Simülasyon, karmaşık bir sistemin veya karmaşık bir sistem içindeki bir alt sistemin içsel etkileşimlerinin incelenmesini ve bunlarla deney yapılmasını sağlar.
- Örgütsel ve çevresel değişimler simüle edilebilir ve sistem davranışları üzerinde bu değişimlerin etkileri gözlemlenebilir.
- Bir simülasyon modelinin tasarlanması sırasında kazanılan bilgi, araştırılan sistemde iyileştirme önermek için çok değerli olabilir.
- Simülasyon, analitik çözüm metodolojilerini güçlendirmek için pedagojik bir araç olarak kullanılabilir.
- Simülasyon, neler olabileceğine hazırlanmak için uygulamadan önce yeni tasarımlar veya politikalar denemek için kullanılabilir.
- Simülasyon analitik çözümleri doğrulamak için kullanılabilir.
- Bir makine için farklı yetenekleri simüle ederek makinede ihtiyaç duyulan şeyler belirlenebilir.
- Eğitim için tasarlanan simülasyon modelleri, iş başında düşük maliyetli ve kesintisiz öğrenmeyi mümkün kılar.

3.2. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması

Simülasyon yönteminde, bir modeli sayısal olarak değerlendirmek için bir bilgisayar kullanılır ve veriler model parametrelerini belirlemek amacıyla toplanır. Bu kapsamda mevcut sisteme ve toplanan verilere göre simülasyon modelleri farklılaşmaktadır. Simülasyon modelleri kendi içinde aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar.

3.2.1. Statik ve Dinamik Simülasyon Modelleri

Statik simülasyon modelleri, zamanı göz önünde bulundurmayan ya da belirli bir anda sistemi temsili olarak tanımlayan simülasyon modelleridir. Bu modeller zamandan bağımsızdır yani zamana göre değişmezler. Statik simülasyon modellerinin en bilinen örneği Monte Carlo simülasyonudur.

Dinamik simülasyon modelleri ise zamanla değişen sistemlerin analizinde kullanılır. Bir fabrikadaki taşıma bandı dinamik simülasyon modellerine örnek olarak verilebilir (Law & Kelton, 1991: 6).

3.2.2. Deterministik ve Stokastik Simülasyon Modelleri

Bir simülasyon modeli herhangi bir olasılıksal yani rassal bileşen içermiyorsa, bu modeller deterministik model olarak adlandırılır. Deterministik modeller, tek bir çıktı kümesiyle sonuçlanacak bilinen bir girdi kümesine sahiptir. Örneğin; bütün hastalar planlanan randevu saatinde hastaneye gelirse, burada deterministik gelişler olur. Stokastik simülasyon modellerinde ise, sistemler en az bir rassal girdi bileşenine sahiptir. Rassal girdiler rassal çıktılara sebep olur. Çıktılar rassal olduğu için stokastik modeller, bir modelin sadece gerçek özelliğinin tahmini olarak düşünülebilirler. Bir banka sistemi simüle edilmek istendiğinde, müşterilerin gelişleri arasındaki süre ve hizmet alma süreleri rassaldır (Banks, vd., 2005: 11-12; Law & Kelton, 1991: 6).

3.2.3. Kesikli ve Sürekli Simülasyon Modelleri

Kesikli sistemlerde durum değişkenleri zaman içinde sadece kesikli noktalarda değişir. Bu noktalar bir olay olduğu zaman olur. Burada olay sistemin durumunu değiştirebilen anlık bir olgu olarak tanımlanır. Örneğin tek bir hizmet verici (server) ile hizmet veren berber gibi ya da hava alanındaki bilgi masası gibi bir tesis düşünelim. Burada gelen müşterilerin ortalama kuyrukta bekleme sürelerini tahmin etmeye çalışırsak, bir müşterinin kuyruktaki bekleme süresi, hizmet almak için tesise geliş anından hizmet almaya başladığı ana kadar geçen sürenin uzunluğu kadardır. Böyle bir simülasyon modelinde durum değişkenleri hizmet vericinin (serverın) boş veya meşgul olması olabilir veya hizmet almak için kuyrukta bekleyen müşteri sayısı olabilir. Ayrıca böyle bir sistemde iki olay vardır. İlki müşterinin hizmet almak için sisteme gelmesi iken, ikincisi müşterinin sistemden ayrılmasıdır. Müşteri geliş bir olaydır çünkü hizmet vericinin durumunu meşgul olarak değiştirir ve sistemde bekleyen müşteri sayısını 1 artırır. Müşteri çıkışı yine bir olaydır çünkü hizmet vericinin durumunu boş olarak değiştirir ve sistemde bekleyen müşteri sayısını 1 azaltır. Sürekli simülasyon modelleri ise zamana göre sürekli değişen durum değişkenlerinin modellenmesi ile ilgilidir. Durum

değişkenleri zamana göre sürekli değişir. Sürekli simülasyon modelleri zamanla durum değişkenlerinin değişim oranlarındaki ilişkiyi ortaya koyan diferansiyel denklemleri kullanır (Law & Kelton, 1991: 109; Law, 2015: 707).

3.2.4. Çıktı Analizlerine Göre Simülasyon Türleri

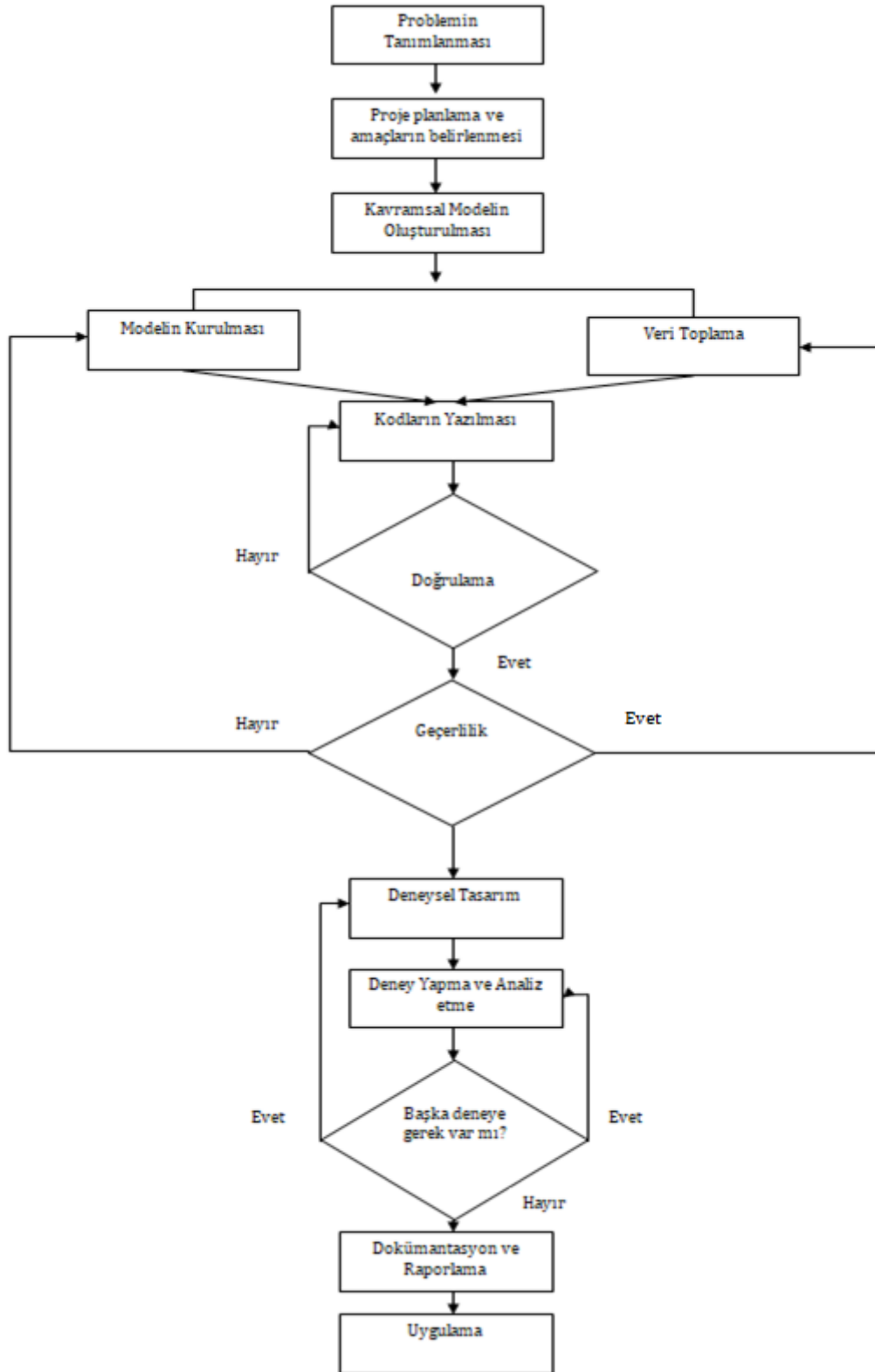
Simülasyon modellerinin tasarlanmasında ve analiz edilmesinde mevcut olan seçenekler, uygulanan simülasyon türüne bağlıdır.

Simülasyon çıktı analizinde, sonlu simülasyonlar ile sonlu olmayan simülasyonlar arasında bir ayırım yapılır. Sonlu simülasyon, belirli bir T_E süresi boyunca çalışan bir simülasyondur; burada E , simülasyonu durduran belirli bir olaydır (veya olaylar kümesidir). Bu şekilde simüle edilmiş bir sistem iyi belirlenmiş başlangıç koşulları altında sıfırıncı zamanda "açılır" ve durma zamanı olan T_E 'de kapanır. Bir simülasyonun sonlu olup olmadığı, simülasyon çalışmasının amacına ve sistemin doğasına bağlıdır. Sonlu olmayan simülasyonlar ise sürekli bir şekilde çalışan sistemlerin analizinde kullanılır. Örneğin nadir olarak durdurulan bir seri üretim montaj hattı ya da farklı türden sürekli üretim hatları veya internet gibi iletişim hizmetleri, acil odası, hastaneler sonu olmayan simülasyonlara örnek olarak gösterilebilirler. Sonu olmayan sistemlerin simülasyonu analizciler tarafından belirlenen başlangıç şartları altında sıfırıncı zamanda başlar. Analizciler sistemin uzun süre ve durağan duruma geçene kadar çalışmasını isterler. Simülasyonun çalışma süresini belirleyen doğal bir E olayı yoktur. (Law, 2015: 494 – 495; Banks, vd., 2005: 336).

3.3. Simülasyon Modeli Oluşturma Aşamaları

Simülasyon modellerinin altında yatan ana fikir, sistemin işlemlerini etkilemeyen bir bilgisayar modeli ile gerçek bir durumu taklit etmektir. Farklı türde sistemlerin simülasyon yöntemi ile modellenmesinin amacı, sistemin işleyişinin iç yüzünü anlamak, sistemin performansını iyileştirmek için işlemsel politikaları geliştirmek, uygulanmasından önce yeni bir sistemi ya da kavramı test etmek veya mevcut sisteme zarar vermeden bilgi elde etmektir.

Bu amaçlar doğrultusunda, bir simülasyon modeli geliştirmek için, model kurucunun Şekil 3.1. deki aşamaları takip etmesi gerekmektedir.



Şekil 3. 1. Simülasyon Akış Şeması

Kaynak: Banks vd., 2005: 14; Shannon, 1998: 13

Şekil 3.1. e göre simülasyon modeli geliştirmek için ilk önce **problemin tanımlanması** gerekmektedir. Çalışmalara genellikle problemin ifadesiyle başlanır. Bu ifade karar vericiler tarafından ya da problemin sahipleri tarafından yapılırsa, analiz edecek kişilerin problemi açıkça ve doğru şekilde anladıklarından emin olunması gerekir. Eğer problemin tanımı, analiz eden kişiler tarafından yapılıyorsa bu durumda da karar vericilerin anlaması ve bu formülasyona katılmaları yani analiz eden kişilerle aynı fikirde olmaları gerekir. Problemin doğru bir şekilde tanımlanması kurulacak olan simülasyon modelinin sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Bunun için problemin doğru bir şekilde tanımlanması oldukça önemlidir.

Simülasyon modeli geliştirme sürecinin ikinci aşaması **amaçların ve proje planının belirlenmesidir**. Amaçlar, simülasyon modeli tarafından cevap verilecek soruları gösterir. Bu noktada, simülasyon yönteminin belirlenen amaçlar ve formüle edilen problem için uygun bir yöntem olup olmadığı ile ilgili bir karar verilir. Simülasyon yönteminin uygun olduğuna karar verilmesi halinde, proje planı, dikkate alınacak alternatif sistemlerin ve bu alternatif sistemlerin etkinliğini değerlendirecek yöntemin durumunu içerir. Eğer mümkünse tasarlanacak alternatif modeller tarif edilir. Ayrıca, çalışmaya dahil olacak insanların sayısı, çalışmanın maliyeti, işin tamamlanması için ihtiyaç duyulan gün sayısı açısından planları da içermelidir. Bunlara ek olarak performans ölçütleri de belirlenmelidir.

Üçüncü aşama olan **kavramsal modelin oluşturulması** aşamasında, bir sistemin modeli kavramsal olarak kurulur. Sistemi tanımlarken kullanılacak olan sınırlar ve kısıtlar belirlenir ve sistemin nasıl çalıştığı araştırılır. Modelleme sanatı, sistemin temel niteliklerini özetleme, sistemi tanımlayan temel varsayımları seçme ve düzenleme ve sonrasında yaklaşık sonuçlar elde edene kadar modeli detaylandırma ve güçlendirme yeteneği ile geliştirilir. Bu nedenle basit model ile başlamak ve karmaşıklığı sonradan eklemek daha iyidir. Ancak modelin karmaşıklığı gerekenden daha fazla olmamalıdır. Gerçek sistem ve model arasında bire bir uyum olmasına gerek yoktur. Önemli olan gerçek sistemin özüdür. Bu sebeple modelin kavramsallaştırılmasına model kullanıcı da dahil edilebilir. Modele kullanıcının dahil edilmesi, model sonuçlarının kalitesini arttıracak gibi modelin uygulanmasında model kullanıcının güvenini de arttıracaktır (Banks, vd., 2005: 14; Shannon, 1998: 9).

Dördüncü aşama **verilerin toplanması** aşamasıdır. Modelin kurulması ile ihtiyaç duyulan girdi verilerinin toplanması arasında karşılıklı etkileşim vardır. Modelin girdi parametrelerini tahmin etmek için verilerin toplanmasına ihtiyaç duyulur. Analizciler modelde yer alan rassal değişkenlerin dağılımları ile ilgili varsayımlarda bulunabilirler. Yeterli veri bulunmadığı zaman, parametre aralığı belirlemek mümkündür ve bu aralıklarda bazı girdi parametreleri veya hepsi için model simüle edilebilir. Modelin karmaşıklığı arttıkça, ihtiyaç duyulan veriler artabilir (Altıok & Melamed, 2007: 5; Banks, vd., 2005: 14). Ayrıca verilerin

toplanmasına modelin geçerliliğini test etmek için de ihtiyaç duyulur. Sistemin çıktı istatistiklerinden toplanan veriler ile modelin tahminleri karşılaştırılır.

Beşinci aşama **modelin kurulması** aşamasıdır. Bu aşamada sistem bir bütün olarak kurulur yani sistemi oluşturan bütün unsurlar ve bunların birbiriyle etkileşimini ve işlemlerin akışını gösteren model kurulur. İlk başta basit bir model kurup sonrasında bu modeli gerçek sistemi yansıttığı ölçüde geliştirmek ve karmaşıktırmak model kurucunun işini kolaylaştıracaktır.

Altıncı aşama, **modelin kodlanması** aşamasıdır. Problem tamamen anlaşıldığında ve ihtiyaç duyulan veriler toplandığında, analizciler modeli kurmaya devam ederler ve bir bilgisayar programında modeli uygularlar. Kullanılacak bilgisayar dili C++, Visual Basic, FORTRAN gibi genel amaçlı bir dil olabileceği gibi Arena, Promodel, GPSS gibi özel amaçlı dil de olabilir (Altıok & Melamed, 2007: 6). Simülasyon dilleri oldukça güçlü ve esnektir. Problemin simülasyon yazılımı ile çözümü uygunsa, model geliştirme süresi fazlasıyla azaltılabilir. Dahası simülasyon yazılım paketlerine kendi esnekliklerini arttıran özellikler eklenebilir (Banks, vd., 2005: 14).

Yedinci aşama **model doğrulama** aşamasıdır. Model doğrulamanın amacı modelin doğru bir şekilde kurulduğundan emin olmaktır. Başka bir deyişle doğrulama, modelin spesifikasyonlarıyla uyumlu olduğunu garantilemektir. Model doğrulama büyük ölçüde denetleme ile yapılır ve model spesifikasyonu ile model kodunun karşılaştırılmasından oluşur. Bulunan her bir farklılık spesifikasyonun ya da kodun değiştirilmesiyle düzeltilir. Doğrulama, modelin parçalarının doğru zamanda doğru verileri kullanarak birlikte ve ayrı çalıştığını göstermeyi amaçlayan güçlü bir hata ayıklama şeklidir. Analiz edenler modelin ne yaptığını ve nasıl çalıştığını bildiklerini düşünürler. Ancak programlama yapmayı bilen herkes nasıl kolay hata yapılabileceğini bilir. Doğrulama süreci boyunca, modelin mantığındaki istenmeyen hatalar bulunmaya ve kaldırılmaya çalışılır (Altıok & Melamed, 2007: 6; Kleijnen, 1995: 147; Shannon, 1998: 11).

Sekizinci aşama olan **geçerlilik aşamasında**, kavramsal modelin gerçek sistemin doğru bir gösterimi olduğundan emin olunur. “Model deney yapma amacıyla gerçek sistemin yerini tutabilir mi?” sorusuna cevap aranır. Eğer sistem gerçekte var olan bir sistemse yani yeni kurulacak olan bir sistem değilse, var olan sistem baz alınan sistemdir ve modelin geçerliliğini test etmek için model sonuçları ve baz alınan sistemin sonuçları karşılaştırılır (Banks, 1998: 17). Model sonuçları ile gerçek sistem sonuçları arasındaki farklılıklar bulunarak model düzeltilmeye çalışılır. Bu sebeple geçerleme aşaması iteratif bir süreçtir. Bu süreç model geçerliliği kabul edilene kadar devam eder.

Model doğrulama aşamasında “Model doğru kuruldu mu?” sorusu cevaplanırken, model geçerleme aşamasında “Doğru model kuruldu mu?” sorusu cevaplanır. Ancak modelin iyi olduğuna inanılırsa sonuçlar rahatça kullanılabilir (Render vd., 2012: 559).

Dokuzuncu aşama **deneysel tasarım** aşamasıdır. Bu aşamada, simüle edilecek her bir senaryo için simülasyon çalışma süresinin uzunluğu, tekrarlama sayısı, simülasyon çalışması için başlatma şekli, ısınma süresinin uzunluğu (varsa) ve her bir alternatif için birbirinden bağımsız tekrarlama sayısı ile ilgili kararlar verilir (Banks, vd., 2005: 14).

Onuncu aşama **deney yapma ve analiz etmedir**. Deney yapılması ve bunların sonuçlarının analiz edilmesi ile simüle edilecek her bir senaryo için performans ölçütleri tahmin edilir. Merak edilen sistem tasarımları ile ilgili performans verilerini elde etmek için deneyler yapılır ve sonrasında elde edilen verileri analiz etmek için istatistiksel teknikler uygulanır.

Başka deneye gerek olup olmadığı sorusunun cevabı on birinci aşamayı oluşturur. Bu aşamada analizci, tamamlanan analiz sonuçlarına bağlı olarak, ilave deneylere ihtiyaç olup olmadığını ve simüle edilecek herhangi bir ilave senaryonun olup olmadığına karar verir (Banks, 1998: 18; Banks, vd., 2005: 14) . Eğer başka deney yapmaya gerek varsa deney tasarımı aşamasına geri dönlür.

On ikinci aşama **dokümantasyon ve raporlamadır**. İki tür dokümantasyon yani belgeleme vardır: program ve süreç. Program belgeleme, eğer program başka analizciler tarafından kullanılacaksa programın nasıl çalıştığının anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Bu, program kullanıcılarının ve karar vericilerin programa bağlı olarak karar alabilmeleri için, programa karşı bir güven yaratır. Ayrıca program aynı ya da farklı kullanıcılar tarafından değiştirilecekse, bu aşama uygun belgeleme yardımıyla büyük bir kolaylık sağlayacaktır. Bir diğer sebep de, model kullanıcılarının performans girdi ve çıktı ölçümleri arasındaki ilişkiyi öğrenebilmeleri için parametrelerde değişiklikler yapabilmeleridir. İkinci dokümantasyon türü süreç dokümantasyonu yani süreç belgelemedir. Süreç belgeleme ile simülasyon projesinin tarihi yazılır yani kayıt altına alınır. Proje raporları yapılan işlerin ve alınan kararların tarihsel sıralamasını gösterir. Bu, projedeki her şeyin yolunda olduğunu kanıtlayabilir. Bütün analizlerin sonuçları anlaşılır ve kısa bir şekilde raporlanabilir olmalıdır. Bu son formülasyonun, belirtilen alternatiflerin, alternatif sistemlerle karşılaştırılma kriterlerinin, deneylerin sonuçlarının ve eğer varsa analizcilerin yorumlarının gözden geçirilmesinde kullanıcılara ya da alıcılara yani modelin fayda sağlayacağı kişilere kolaylık sağlar (Banks, 1998: 18; Banks, vd., 2005: 14).

Simülasyon sürecinin son aşaması **uygulamadır**. Hiçbir simülasyon projesinin, proje kabul edilene, anlaşılana ve kullanılana kadar başarılı olduğu düşünülemez. Yöneylem araştırması ve yönetim bilimindeki başarısızlıkların en önemli sebebi, kullanıcıların sonuçları eksik anlaması ve uygulama eksikliğidir (Shannon, 1975: 14). Başarılı bir uygulama, bütün bir simülasyon süreci boyunca her bir aşamaya model kullanıcılarının sürekli katılımına ve her bir

adımın başarıyla tamamlanmasına bağlıdır. Model ve modelin dayandırıldığı varsayımlar arasında sağlıklı bağlantı kurulmazsa, modelin geçerliliğine bakılmaksızın uygulamada sorun yaşanacaktır (Banks, vd., 2005: 14).

3.4. Simülasyon Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Simülasyon yönteminin birçok avantajı vardır. Bunlar; (Maria, 1997: 12; Shannon, 1998: 7-8; Render vd., 2012: 535; Rosetti, 2016: 3);

- Simülasyon geleneksel yöneylem araştırması modelleri ile çözülemeyen gerçek hayattaki büyük ve karmaşık problemleri analiz etmek için kullanılabilir.
- Simülasyon yeni ve benzersiz durumlarla ilgili denemeler yapmaya olanak sağlamaktadır ve eğer şöyle olursa ne olur (what-if) sorularına cevap verebilme kabiliyetine sahiptir.
- Simülasyon modelinin davranışları gerçek sistemin davranışları ile karşılaştırılabilir.
- Bir simülasyon modeli ile kaynak ayırmaya gerek olmadan yeni tanımlar ve yerleşimler test edilebilir.
- Simülasyon ile devam eden işlemlere zarar vermeden yeni işe alım ilkeleri, çalıştırma prosedürleri, iş ilkeleri, örgütsel yapı, bilgi akışı vs. geliştirilebilir.
- Simülasyon gerçek sistemdeki sorunları ve tıkanıklıkları tanımlamaya yardımcı olur.
- Simülasyon sistemde gerçekleşen olayların neden ve nasıl oldukları hakkındaki hipotezleri test etmeye yardımcı olur.
- Simülasyon sistemin performansını analiz etmek için çoklu performans ölçütleri kullanır.
- Simülasyon bir problemi çözmek için sistem yaklaşımını kullanır. Yani sistemi bir bütün olarak ele alır, bir sorun çıktığında sistemin tüm öğelerini bir arada değerlendirir. Böylece sorunun hangi kısımları nasıl etkilediği açıkça görülebilir.

Tüm bu avantajlarının yanında simülasyon yönteminin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir (Render vd., 2012: 536; Shannon, 1998: 8):

- Karmaşık durumlar için geliştirilecek iyi bir simülasyon modeli oldukça pahalı olabilir. Karmaşık süreçlerin modelini geliştirmek genellikle çok zaman alır.
- Simülasyon modelleri PERT, stok yönetimi, doğrusal programlama gibi matematiksel diğer modellerin yaptığı gibi, bir probleme optimal çözüm bulamaz. Çünkü simülasyon yöntemi tekrar eden çalışmalarla farklı çözümler üreten bir deneme yanılma yaklaşımıdır.

- Simülasyon modeli geliştirmek için güvenilir girdi verileri toplamak zaman alır ve elde edilen sonuçlar bazen kuşkulu ya da tartışmalı olabilir. Simülasyon modeli elverişsiz verileri ve kötü yönetim kararlarını telafi edemeyebilir.
- Her simülasyon modeli eşsizdir. Bir simülasyon modelinin çözümleri ve sonuçları başka bir probleme genellikle aktarılamaz.
- Simülasyon modeli geliştirmek bir sanattır. Modeli geliştirecek olan kişinin yani model kurucunun gerekli yeteneklere sahip olması ve model kurmak için gerekli eğitimleri almış olması gerekir. Kısaca çalışmanın başarısı model kurucunun bilgi ve becerilerine bağlıdır.



4. MERSİN BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ OTOBÜS HATLARI İÇİN EN UYGUN SEFER SIKLIKLARININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK SİMÜLASYON MODELİ

Çalışmanın bu bölümünde öncelikli olarak uygulamanın amacı ve katkısı açıkça ortaya konmuştur. Takip eden kısımda Mersin İli Büyükşehir Belediyesinin toplu taşıma ile ilgili genel durumu ortaya konmuş, sonrasında çalışmada ele alınan problem tanımlanmıştır. Ardından verilerin toplanması, örneklemin belirlenmesi ve verilerin simülasyon modeli için hazırlanması aşamasında gerçekleştirilen faaliyetlere değinilmiştir. Son bölümde ise söz konusu simülasyon modeli ve geliştirilen senaryolar tanıtılmış ve çalıştırılmıştır.

4.1. Çalışmanın Katkısı

Toplu taşımada sefer sıklıklarının ve zaman çizelgelerin oluşturulması oldukça karmaşık bir süreçtir ve birbiriyle çakışan amaçlar gerçekleştirilmeye çalışılır. Kullanıcılar açısından değerlendirildiğinde, kullanıcılar bekleme sürelerinin ve seyahat sürelerinin kısa olmasını ve konforlu bir şekilde seyahat etmeyi arzulamaktadır. İşletimciler ise maliyetlerini minimize eden, daha az otobüs kullandıkları ve daha az sürücüye ihtiyaç duydukları sefer sıklığı ve zaman çizelgesi oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu araştırma kapsamında Mersin ili merkez ilçelerinde toplu taşıma aracı kullananlar ve toplu taşıma sistemini işletenler birlikte değerlendirilerek, iki taraf için de en uygun çözümler araştırılmıştır.

Yapılan literatür araştırmasına göre, yapılan çalışmalar ve bu çalışma örneklem büyüklüğü açısından kıyaslandığında bu denli kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özellikle ülkemizdeki çalışmalar incelendiğinde, Uludağ (2010) 26 hattın sefer sıklıklarını hesaplarken sadece sabah 08:00 – 11:00 arasındaki yoğun saat verilerine göre sefer sıklığı belirlemiştir. Benzer şekilde, Deri (2012) İzmir ilinde bazı kriterlere göre seçim yaptığı 11 hat için sadece yoğun saatler olan 07:00 – 09:00 saatleri arasındaki verilere göre sefer sıklıklarını belirlemiştir.

Bu çalışmada Mersin Büyükşehir Belediyesi merkez ilçelerinde hizmet veren 28 otobüs hattının gidiş ve dönüş sefer sıklıkları normal zamanlar ve yoğun zamanlar için ayrı belirlenmiştir. Ayrıca yapılan literatür taramasına göre Mersin ili Büyükşehir Belediyesi otobüs hatları için daha önce böyle bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmanın en büyük katkısı Mersin ili Büyükşehir Belediyesinin otobüs hatları ile ilgili dinamikleri göz önünde bulundurarak bir gerçek hayat problemine çözüm bulmaya çalışmasıdır.

Uygulamada sefer aralıklarının belirlenmesi toplu taşıma şube müdürlüklerinin kontrolünde yapılmaktadır ve sefer aralıkları belirlenirken her şehirde o şehre özgü geliştirilen modellere yansıtılamayan çok fazla faktörün etkisi altında kalınmaktadır. Hatların birbirlerini tamamlama durumları, aktarma yapılmasına izin verilip verilmemesi, bölgelerde okul, hastane, iş yeri, kamu kurumu sayıları, mahalle bazlı hane halkı gelirleri, çevre kirliliği, trafik yoğunluğu,

gürültü, gaz emisyonları gibi kriterler aslında hat bazında sefer aralıklarının belirlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Bilindiği gibi simülasyon modelleri şöyle olursa ne olur (what-if) sorularına cevap vermektedir. Böylece sistemdeki bir parametre değiştirildiğinde bütün sistemin bundan nasıl etkilendiği gözlemlenebilmektedir yani diğer performans göstergelerindeki değişimler takip edilebilmektedir. Bu sebeple bu çalışmada simülasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede Mersin Büyükşehir Belediyesi Toplu Taşıma Şube Müdürlüğüne bu kriterlerde göz önünde bulundurularak farklı senaryolar arasından en uygununun hangisi olabileceği yönünde görüş sorulmuştur. Bu şekilde modele yansıtılamayan değişkenlerde aslında göz önünde bulundurulmaya çalışılmıştır. Ayrıca simülasyon modelleri geliştirilirken ARENA paket programı kullanılmıştır. Bunun en önemli sebebi ise ARENA paket programının kullanıcıya kullanım kolaylığı sağlamasıdır.

4.2. Mersin İli Büyükşehir Belediyesi Toplu Taşıma Sistemlerinin Mevcut Durum Analizi

Mersin Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde 4 merkez ilçe ve 9 çevre ilçe olmak üzere toplamda 13 ilçe bulunmaktadır. Dört merkez ilçe: Akdeniz, Mezitli, Toroslar ve Yenişehir'dir. Dokuz çevre ilçe ise, Anamur, Aydıncık, Bozyazı, Çamlıyayla, Erdemli, Gülnar, Mut, Silifke ve Tarsus'tur.

Mersin'de toplu taşıma hizmeti, belediyeye ait otobüs işletmesi ile özel halk otobüsleri, minibüsler ve ilçe-belde-köy işletmeleri tarafından verilmektedir. Mersin Büyükşehir Belediyesi dört merkez ilçe kalkışlı 67 belediye otobüs hattına sahiptir. Ancak bu hatlardan sadece 28 adedi merkez ilçeler kalkışlı ve bitişli hatlardır. Diğerleri merkez ilçe kalkışlı çevre ilçe varışlı hatlardır ve bu hatların bazıları köy hattı olarak adlandırılmaktadır. Özel halk otobüsleri toplamda 4 hatta hizmet verirken, şehir içi minibüs kooperatifleri 57 hatta çalışmaktadır.

Mersin Büyükşehir Belediyesine bağlı bu 67 hatta hizmet vermek için belediye bünyesinde toplamda 207 belediye otobüsü bulunmaktadır. Mersin Büyükşehir Belediyesine ait otobüs türleri ve bu otobüslerin kapasiteleri Tablo 4.1. de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1. Mersin Büyükşehir Belediyesi Otobüs Filosu ve Kapasiteleri

Otobüs Türü	Otobüs Sayısı	Koltuk Sayısı	Ayakta Yolcu Sayısı	Toplam Kapasite
TEMSA (12 MT)	88	25+1	80	105
TEMSA METROPOL (9 MT)	4	35+1	35	70
TEMSA KÖRÜKLÜ	11	38+1	112	150
MERCEDES (YENİ)	25	26+1	77	103
MERCEDES (ESKİ)	19	35+1	60	95
MERCEDES KÖRÜKLÜ	6	48+1	100	148
MERCEDES (T302) V-6	11	34+1	0	34
BMC PROCITY(12 MT)	39	30+1	67	97
BMC PROBÜS (9 MT)	2	25+1	0	25
IVECO	1	29+1	0	29
FIAT	1	23+1	17	40

Mersin Büyükşehir Belediyesi belediye otobüslerinde, 29 Mart 2012 tarihinde “KENTKART Temassız Akıllı Kartlarla Elektronik Ücret Toplama ve Araç Takip Sistemi” hizmeti vermeye başlamıştır. Belediye otobüslerinde yolcular için farklı kategorilerde (öğretmen, öğrenci, sivil ve emekli) ücretlendirme yapmaktadır. Merkez olmayan ilçelere seyahatte kat edilen kilometreye göre ücretlendirme daha farklı yapılmaktadır.

Bu çalışmanın ana kütlesini Mersin İlinin dört merkez ilçesi olan Akdeniz, Mezitli, Toroslar ve Yenişehir ilçelerinde hizmet veren 28 belediye otobüs hattı oluşturmaktadır. Bu dört merkez ilçede toplamda 1097 otobüs durağı bulunmaktadır.

Mersin İlinin dört merkez ilçesinde mevcut kullanılan otobüs hatları ve bu hatlarla ilgili bilgiler Tablo 4.2. de gösterilmektedir.

Tablo 4. 2. Mersin İli Merkez İlçelerde Faaliyet Gösteren Belediye Otobüs Hatları ve Hatlara Ait Bilgiler

Hat No.	Günlük Sefer Sayısı		Durak Sayısı		Otobüs Sayısı	Şoför Sayısı	Sefer Süresi		Sefer Aralıkları (dk)	Toplam km	
	Gidiş	Dönüş	Gidiş	Dönüş			Gidiş (dk)	Dönüş (dk)		Gidiş (km)	Dönüş (km)
10 M	32	32	71	74	7	14	68	61	30	25,3	26,1
11 M	37	37	83	82	6	12	89	82	30	30,4	30,2
12 M	30	30	81	81	6	12	90	86	25-30	30,4	29,7
15 M	20	20	57	54	2	4	45	50	45	18,4	19,7
16 M	15	15	48	46	2	4	43	49	60	18	18,3
18 M	37	39	51	51	5	10	51	44	20-30	18,9	17,4
19 M	15	16	42	46	2	4	45	43	60	17,2	18,2
20 M	14	14	51	52	2	4	45	44	60	16	16,8
26 M	30	30	109	111	8	16	102	102	20	44,2	44,3
28 M	63	65	106	106	18	36	103	105	15	39,4	39,4
29 M	36	35	68	66	6	12	58	58	30	25,2	25,2
30 M	52	56	37	37	6	12	44	40	20	18	18
32 M	29	29	59	60	6	12	52	51	30	31,1	30,7
33 M	25	26	57	58	4	8	55	56	58	21,5	21,5
34 M	19	20	54	55	4	8	49	51	20	19,6	19,7
35 M	15	15	41	44	2	4	40	37	60	16,9	17,7
36 M	31	33	80	79	7	14	70	69	30	28,7	28,8
44 M	15	16	45	46	2	4	46	43	60	15,9	16,2
48 M	13	13	102	103	4	8	85	85	60	37,8	38,3
55 M	11	12	54	58	2	4	59	60	60-75	21,6	22,7
69 M	15	15	53	54	2	6	50	46	60	21,7	21,8
73 M	7	8	48	52	1	2	37	44	120	18,7	20,4
74 M	6	5	84	82	1	2	59	62	150	31,2	30,9
75 B	3	4	33	33	1	2	41	39	240	16,2	16,7
75 M	3	4	34	34	1	2	41	40	240	18,7	18,8
76 M	21	19	75	76	2	4	62	59	75	31,3	31,5
77 M	23	22	91	92	6	12	81	77	45-60	35,5	35,3
78 M	7	7	25	28	1	2	40	48	120	11	11,5

Tablo 4.2. de görüldüğü gibi en çok durak sayısına sahip hat ve en uzun hat 26M hattıdır. Günlük sefer sayılarına bakıldığında ise en çok hizmet verilen hattın dolayısıyla en çok kullanılan hattın 28M hattı olduğu görülmektedir. Tablo 4.2. den anlaşılabacağı gibi bazı hatların sefer aralıkları sabitken bazı hatlarda gün içinde farklı sefer aralıkları uygulanmaktadır. Bunun sebebi yolcu yoğunluğunun fazla olduğu saatlerde hatların sefer aralıklarının Toplu Taşıma Daire Başkanlığının düzenlemesine göre kısaltılmasıdır. Ayrıca her bir hatta atanan otobüs sayıları da Tablo 4.2. de yer almaktadır. Sürücü sayıları, hatlarda çalışan otobüs sayılarına göre belirlenmektedir ve her otobüste 2 sürücü çalışmaktadır. Bu sebeple her hatta çalışan sürücü sayısı, ilgili hatta atanan otobüs sayısının iki katıdır. Buna göre en çok otobüsün dolayısıyla en çok sürücünün çalıştığı hat 28M hattıdır. Çalışan otobüs ve sürücü sayısına göre 28M hattını sırasıyla 26M hattı, 10M hattı, 36M hattı, 11M hattı ve 12M hattı takip etmektedir.

Tablo 4.2. sefer sıklığı açısından değerlendirildiğinde ise, en kısa sefer aralığına sahip olan hat 30M hattıdır. 30M hattı sabah 06:00 – 06:30 arasında 10 dakika arayla sefer yapmaktadır. Toplu taşıma Daire Başkanı ile yapılan görüşmeler sonucunda bu hat üzerinde yeni bir okul açıldığı bu yüzden bu bölgeye giden hat sayısının az olmasından dolayı yoğunluğu azaltmak için sabah saatlerinde seferlerin sık yapıldığı bilgisine ulaşılmıştır.

Şekil 4.1. de Mersin İlinin merkez ilçelerinde hizmet veren otobüs hatları google earth yardımıyla gösterilmektedir. Şekildeki mavi çizgiler gidiş otobüs hatlarını, kırmızı çizgiler ise dönüş otobüs hatlarını göstermektedir.



Şekil 4. 1. Mersin İli Merkez İlçelerinde Hizmet Veren Otobüs Hatları

Tablo 4.3. te merkez ilçelere hizmet veren 28 hattın gidiş – dönüş yönünde güzergâhları gösterilmiştir. Tablo 4.3. incelendiğinde hat seferlerinin genellikle Makine İkmal, MEŞOT (Mersin Şehirlerarası Otobüs Terminali), Şehir Hastanesi ve TECE duraklarında başladığı ve bittiği görülmektedir.

Tablo 4. 3. Mersin İli Merkez İlçe Hat Güzergahları (Gidiş – Dönüş)

Hat No.	Gidiş Yönü	Dönüş Yönü
10 M	Makine İkmal – Tece	Tece - Makine İkmal
11 M	MEŞOT - Çarşı - Üniversite	Üniversite - Çarşı - MEŞOT
12 M	Afetevler - Şehir Hastanesi	Şehir Hastanesi - Afetevler
15 M	Şehir Hastanesi - MEŞOT - Akbelen - Tırmıl	Tırmıl - Akbelen - MEŞOT - Şehir Hastanesi
16 M	Makine İkmal - Demirtaş - Şehir Hastanesi	Şehir Hastanesi - Demirtaş - Makine İkmal
18 M	Makine İkmal - Çarşı - Çavuşlu - Şehir Hastanesi - Güneykent	Şehir Hastanesi - Çavuşlu - Makine İkmal
19 M	Özgürlük Mahallesi - Çarşı - Zeytinkent	Zeytinkent - Çarşı - Özgürlük Mahallesi
20 M	Makine İkmal - Arpaç	Arpaç - Çarşı - Makine İkmal
26 M	Bağlarbaşı - Pozcu - Mezitli (Soli)	Tece - Mezitli (Soli) - Pozcu - Bağlarbaşı
28 M	Tece - Mersin Ünv. - 2. Çevreyolu - Şehir Hastanesi	Tece - Mersin Ünv. - 2. Çevreyolu - Şehir Hastanesi
29 M	Üniversite - Şehir Hastanesi	Şehir Hastanesi - Üniversite
30 M	Makine İkmal - Viranşehir - SOLİ	SOLİ - Viranşehir - Makina İkmal
32 M	Şehir Hastanesi - Bağlarbaşı	Bağlarbaşı - Şehir Hastanesi
33 M	MEŞOT - Viranşehir - SOLİ	SOLİ - Viranşehir - MEŞOT
34 M	MEŞOT - 2. Çevre Yolu - SOLİ	SOLİ - 2. Çevre Yolu - MEŞOT
35 M	Makine İkmal - 50. YIL	50. YIL - Makine İkmal
36 M	Makine İkmal - Eski Mezitli	Eski Mezitli - Makine İkmal
44 M	Makine İkmal - Üniversite	Üniversite - Makine İkmal
48 M	Makine İkmal - TECE	TECE - Makine İkmal
55 M	Makine İkmal - Kuyuluk	Kuyuluk - Makine İkmal
69 M	Tırmıl - Üniversite	Üniversite - Tırmıl
73 M	MEŞOT - Çay - Çilek	Çilek - Çay - MEŞOT
74 M	TECE - Yaşlı Bakım Merkezi	Yaşlı Bakım Merkezi - TECE
75 B	Makine İkmal - Dorukkent	Dorukkent - Makine İkmal
75 M	Dorukkent - Çarşı	ÇARŞI- Dorukkent
76 M	SOLİ - Şehir Hastanesi	Şehir Hastanesi - SOLİ
77 M	TECE - Üniversite - MEŞOT - Şehir Hastanesi	Şehir Hastanesi - MEŞOT - Üniversite - TECE
78 M	Makine İkmal - Galerici	Galerici - Makine İkmal

4.3. Problemin Tanımlanması

Mersin ilinde toplu taşıma sadece lastikli tekerlekli araçlar ile yapılmaktadır ve toplu taşıma hizmeti sağlayan işletmeler şunlardır: Belediye otobüs işletmesi, özel halk otobüsleri, minibüs işletmeleri ve ilçe-belde-köy işletmeleri.

2015 yılında Mersin Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan Mersin Ulaşım Ana Planına (MUAP) göre, Mersin ilinde belediye otobüsü kullanan kişilerinin sayısının azlığı dikkati çekmektedir. İşletimci türüne göre bir gün içinde taşınan ortalama yolcu sayıları Tablo 4.4. te gösterilmektedir.

Tablo 4. 4. İşletme Türlerine Göre Araç ve Yolculuk Değerleri Karşılaştırması

İşletme Türü	Gün İçinde Taşınan Yolcu Sayısı	Toplu Taşıma İçindeki Payı
Belediye Otobüsü*	56.876	%17,68
Özel Halk Otobüsü**	48.450	%15,06
Minibüs**	171.760	%53,39
İlçe/Belde Hattı**	44.145	%13,72
Köy Hattı***	484	%0,15
Toplam	321.715	%100,00

* Yolcu sayısı, Elektronik Ücret Toplama Sisteminden alınmıştır.

**Yolcu sayıları işletmelerin sözlü beyanına dayalıdır.

***Tüm köy hatlarına ulaşılamamıştır. Yolcu sayıları sözlü beyana dayalı olup, bir kısmından bilgi alınamamıştır.

Kaynak: Mersin Ulaşım Ana Planı, 2015

Tablo 4.4. e bakıldığında Mersin ilinde bir gün içinde toplu taşıma araçlarını kullanan ortalama yolcu sayısı 321,715 kişidir ve toplu taşımanın büyük bir kısmı (yaklaşık %53,39) minibüsler ile sağlanmaktadır.

Bir bölgenin ya da ilçenin toplu taşıma araçlarını kullanımında üreteceği yolcu sayısı o bölgenin nüfusu ile doğru orantılıdır. Bu kapsamda Tablo 4.5. te Mersin ili merkez ilçelerinin yıllara göre nüfus değişimi gösterilmektedir.

Tablo 4. 5. Mersin Merkez İlçelerinin Yıllara Göre Nüfusu, 2012-2018 (TÜİK, 2019)

İlçe	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Akdeniz	275.206	279.383	276.058	272.366	272.309	268.876	264.618
Mezitli	140.326	158.482	164.429	171.837	181.167	187.536	194.019
Toroslar	253.446	277.658	281.130	285.971	291.408	295.663	296.582
Yenişehir	207.980	224.895	233.489	240.452	247.459	253.380	258.694
Toplam	876.958	940.418	955.106	970.626	992.343	1.005.455	1.013.913

Tablo 4.5. e göre nüfusun en yoğun olduğu ve dolayısıyla en çok yolcu potansiyeline sahip olan ilçe Toroslardır. Nüfusun en az olduğu ve en az yolcu potansiyeline sahip olan ilçenin ise Mezitli olduğu görülmektedir.

Hane halkı gelirlerine bakıldığında ise bir hane halkının ortalama geliri 1.686,00 TL'dir (MUAP, 2015). Ortalama hane halkı geliri ve toplu taşıma ücretleri birlikte değerlendirildiğinde belediye otobüslerinin daha ucuz olmasına rağmen daha az tercih edildiği görülmektedir.

Mersin Ulaşım Ana Planı 2015 raporu için uygulanan anket çalışmasına göre yolcuların belediye otobüsleri tercih etmeme sebepleri önem sırasına göre aşağıdaki gibidir:

- Belediye otobüslerinin çok kalabalık olması
- Belediye otobüslerinin duraklara geliş zamanlarının belirsiz olması
- Seyahat süresinin çok uzun olması
- Belediye otobüslerinin ve durakların güvenli olmaması
- Belediye otobüslerinin konforlu olmaması
- Ücretlerin pahalı olması
- Diğer sebepler

Bu sebepler göz önünde bulundurulduğunda konu önemli görülmüş ve gerekli iyileştirmelerin yapılması ile toplu taşımada belediye otobüslerinin kullanımının artacağı düşünülmüştür. Bu kapsamda, bu çalışma ile özellikle en önemli tercih edilmeme sebebi olan otobüslerin kalabalık olması ve otobüs hareket ve varış sürelerinde belirsizlik sorunlarına çözüm aranmıştır.

4.4. Çalışmanın Örnekleminin Belirlenmesi

Çalışmanın ana kütlesi Mersin İli merkez ilçelerinde hizmet veren 28 hat olarak düşünülmüştür. Ancak, Mersin İli Ulaştırma Daire Başkanlığı Toplu Taşıma Şube Müdürlüğünden ve Kent kart dolum merkezinden elde edilen veriler değerlendirildiğinde bazı hatların, sefer sürelerinin ve sefer aralıklarının uzunluğu, hattı kullanan yolcu sayısının azlığı nedeniyle oldukça verimsiz olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamına alınacak otobüs hatlarının belirlenmesine hazırlık teşkil etmesi amacıyla, Tablo 4.6. da hatların saatlik ürettikleri ortalama yolcu sayıları, durak başına düşen yolcu sayısı ve kilometre başına düşen yolcu sayıları gösterilmektedir.

Tablo 4. 6. Hatların Ortalama Yolcu Sayıları, Km Başına ve Durak Başına Yolcu Sayıları

Sıra No	Hat No.	Durak Sayısı		Toplam km		Saatlik Yolcu Sayıları		Km Başına Yolcu Sayısı		Durak Başına Yolcu Sayısı	
		Gidiş	Dönüş	Gidiş km	Dönüş km	Gidiş	Dönüş	Gidiş	Dönüş	Gidiş	Dönüş
1	10 M	71	74	25,3	26,1	164	144	6	6	2	2
2	11 M	83	82	30,4	30,2	121	127	4	4	1	2
3	12 M	81	81	30,4	29,7	132	148	4	5	2	2
4	15 M	57	54	18,4	19,7	47	47	3	2	1	1
5	16 M	48	46	18	18,3	21	26	1	1	0	1
6	18 M	51	51	18,9	17,4	92	65	5	4	2	1
7	19 M	42	46	17,2	18,2	28	31	2	2	1	1

Tablo 4. 6. Devamı. Hatların Ortalama Yolcu Sayıları, Km Başına ve Durak Başına Yolcu Sayıları

8	20 M	51	52	16	16,8	30	37	2	2	1	1
9	26 M	109	111	44,2	44,3	141	148	3	3	1	1
10	28 M	106	106	39,4	39,4	370	366	9	9	3	3
11	29 M	68	66	25,2	25,2	98	93	4	4	1	1
12	30 M	37	37	18	18	114	108	6	6	3	3
13	32 M	59	60	31,1	30,7	67	62	2	2	1	1
14	33 M	57	58	21,5	21,5	52	55	2	3	1	1
15	34 M	54	55	19,6	19,7	34	31	2	2	1	1
16	35 M	41	44	16,9	17,7	15	15	1	1	0	0
17	36 M	80	79	28,7	28,8	100	89	3	3	1	1
18	44 M	45	46	15,9	16,2	46	42	3	3	1	1
19	48 M	102	103	37,8	38,3	51	46	1	1	1	0
20	55 M	54	58	21,6	22,7	38	31	2	1	1	1
21	69 M	53	54	21,7	21,8	38	40	2	2	1	1
22	73 M	48	52	18,7	20,4	9	7	0	0	0	0
23	74 M	84	82	31,2	30,9	13	9	0	0	0	0
24	75 B	33	33	16,2	16,7	2	2	0	0	0	0
25	75 M	34	34	18,7	18,8	3	3	0	0	0	0
26	76 M	75	76	31,3	31,5	22	19	1	1	0	0
27	77 M	91	92	35,5	35,3	55	56	2	2	1	1
28	78 M	25	28	11	11,5	3	4	0	0	0	0

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4.6. da görüldüğü üzere bazı hatlar çok az yolcu ürettiği için km başına düşen yolcu sayıları ve durak başına düşen yolcu sayıları sıfır çıkmaktadır. Bu sebeple km başına düşen yolcu sayılarının ve durak başına düşen yolcu sayılarının %80'ini kapsayan hatlar çalışmanın örneklemini olarak seçilmiştir.

4.4.1. Kilometre Başına Düşen Yolcu Sayısına göre Örneklemin Belirlenmesi

Çalışmanın bu kısmında, çalışmanın örneklemini belirlemek için kilometre başına düşen yolcu sayıları kullanılmıştır. Buna göre talebin %80'ini karşılayan otobüs hatları çalışmanın örneklemini olarak kabul edilmiştir. Tablo 4.7. de hatlara göre kilometre başına düşen yolcu sayıları gösterilmektedir.

Tablo 4. 7. Kilometre Başına Düşen Yolcu Sayıları

Hat No.	km Başına Gidiş Yolcu Sayısı	Kümülatif Toplam	Kümülatif Yüzde (%)	Hat No	km Başına Dönüş Yolcu Sayısı	Kümülatif Toplam	Kümülatif Yüzde (%)
28 M	9	9	13	28 M	9	9	13
10 M	6	15	21	30 M	6	15	22
30 M	6	21	30	10 M	6	21	30
18 M	5	26	37	12 M	5	26	38
12 M	4	30	43	11 M	4	30	43
11 M	4	34	49	18 M	4	34	49
29 M	4	38	54	29 M	4	38	55
36 M	3	41	59	26 M	3	41	59
26 M	3	44	63	36 M	3	44	64
44 M	3	47	67	44 M	3	47	68
15 M	3	50	71	33 M	3	50	72
33 M	2	52	74	15 M	2	52	75
32 M	2	54	77	20 M	2	54	78
20 M	2	56	80	32 M	2	56	81
55 M	2	58	83	69 M	2	58	84
69 M	2	60	86	19 M	2	60	87
34 M	2	62	89	77 M	2	62	90
19 M	2	64	91	34 M	2	64	93
77 M	2	66	94	16 M	1	65	94
48 M	1	67	96	55 M	1	66	96
16 M	1	68	97	48 M	1	67	97
35 M	1	69	99	35 M	1	68	99
76 M	1	70	100	76 M	1	69	100
73 M	0	70	100	78 M	0	69	100
74 M	0	70	100	73 M	0	69	100
78 M	0	70	100	74 M	0	69	100
75 M	0	70	100	75 M	0	69	100
75 B	0	70	100	75 B	0	69	100

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4.7. de sunulan sonuçlara göre tüm hatlar toplamı bazında gidiş ve dönüş kilometre başına yolcu sayısının %80'ini oluşturan 10M – 11M – 12M – 15M – 18M – 20M – 26M – 28M – 29M – 30M – 32M – 33M – 36M – 44M hatları örnekleme alınmak üzere seçilmiştir.

4.4.2. Durak Başına Düşen Yolcu Sayısına göre Örneklemin Belirlenmesi

Tablo 4.7. de kilometre başına yolcu sayısına göre yapılan örneklem seçimi bu kez durak başına yolcu sayısına göre tekrarlanmış ve sonuçlar Tablo 4.8. de sunulmuştur.

Tablo 4. 8. Durak Başına Düşen Yolcu Sayıları

Hat No.	Durak Başına Gidiş Yolcu Sayısı	Kümülatif Toplam	Kümülatif Yüzde (%)	Hat No	Durak Başına Dönüş Yolcu Sayısı	Kümülatif Toplam	Kümülatif Yüzde (%)
28 M	3	3	11	28 M	3	3	11
30 M	3	6	22	30 M	3	6	22
10 M	2	8	30	10 M	2	8	30
18 M	2	10	37	12 M	2	10	37
12 M	2	12	44	11 M	2	12	44
11 M	1	13	48	29 M	1	13	48
29 M	1	14	52	26 M	1	14	52
26 M	1	15	56	18 M	1	15	56
36 M	1	16	59	36 M	1	16	59
32 M	1	17	63	32 M	1	17	63
44 M	1	18	67	33 M	1	18	67
33 M	1	19	70	44 M	1	19	70
15 M	1	20	74	15 M	1	20	74
69 M	1	21	78	20M	1	21	78
55 M	1	22	81	69M	1	22	81
19 M	1	23	85	19 M	1	23	85
34 M	1	24	89	77 M	1	24	89
77 M	1	25	93	16 M	1	25	93
20 M	1	26	96	34 M	1	26	96
48 M	1	27	100	55 M	1	27	100
16 M	0	27	100	48 M	0	27	100
35 M	0	27	100	35 M	0	27	100
76 M	0	27	100	76 M	0	27	100
73 M	0	27	100	78 M	0	27	100
74 M	0	27	100	73 M	0	27	100
78 M	0	27	100	74 M	0	27	100
75 M	0	27	100	75 M	0	27	100
75 B	0	27	100	75 B	0	27	100

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Örnekleme alınmak üzere seçilen hatlar açısından, Tablo 4.8. de sunulan sonuçlar Tablo 4.7. nin sonuçlarına oldukça benzerdir.

Bu sonuçlara göre 10M – 11M – 12M – 15M – 18M – 20M – 26M – 28M – 29M – 30M – 32M – 33M – 36M – 44M hatları çalışmanın örneklemini oluşturmak üzere seçilmiştir. Çalışmanın uygulama kısmında bu 14 hat için EN UYGUN sefer sıklıkları belirlenmiştir.

4.5. Simülasyon Modelinin Tasarımı

Simülasyon modelinin geliştirilmesi ve çalıştırılmasında ARENA Simülasyon paket programı kullanılmıştır. ARENA Simülasyon paket programı içerisinde oldukça küçük çaplı ve basit bir örnek simülasyon modeli yer almaktadır. Ancak bu çalışmada geliştirilen simülasyon modelleri büyüklük ve karmaşıklık açısından bu örnek modelden oldukça farklıdır. Örnekleme yer alan her bir otobüs hattı için çalışma kapsamında oluşturulan toplam 14 simülasyon modelinin her biri aşağıda özetlenen 3 ana bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm, her bir durak için; o durakta otobüse binen yolcuların üretildiği, üretilen bu yolcuların inecekleri durakların belirlendiği ve otobüsün gelişi için bekletildiği bölümdür. Bu bölüm “Yolcuların Gelişi” olarak adlandırılmıştır.

İkinci bölüm, duraklarda üretilen yolcuları taşımak üzere otobüslerin üretildiği, gideceği duraklara yönlendirildiği, durakta incek olan yolcuları indirdiği, durakta bekleyen yolcuları aldığı bölümdür. Bu bölüm “Yolcuların Taşınması – Seyahat” olarak adlandırılmıştır.

Üçüncü bölüm ise, her bir durakta inen yolcuların ve seferini tamamlayan otobüslerin sistemi terk ettiği bölümdür. Bu bölüm “Sistemden Çıkış” olarak adlandırılmıştır.

Çalışmanın ilerleyen kısmında, yukarıda kısaca özetlenen model bölümlerinin her biri detaylı olarak açıklanmaktadır.

4.5.1. Yolcuların Gelişi

Çalışmanın bu kısmında yolcuların gelişinin nasıl modellendiği açıklanmaktadır. Açıklamalarda örnek olarak 10M Hattı kullanılmıştır. Yolcuların gelişi modellenirken, her bir durak için Create, Assign ve Hold olmak üzere 3 adet ARENA modülü kullanılmıştır. Create modülü ile her bir durakta yolcular yaratılmakta, Assign modülü ile bu yolcuların inecekleri duraklar atanmakta ve Hold modülü ile yolcular otobüs gelinceye kadar durakta bekletilmektedir.

Create Modülü: Her bir durak için oluşturulan Create modülünde, belli bir zaman aralığı çerçevesinde, ilgili durağa gelen yolcular yaratılmaktadır. Bu modülün iletişim kutusu Şekil 4.2. deki gibidir. Create modülü bir üretim süreci modellemesinde, kuyruk modellemesinde veya bir hizmet sistemi modellemesinde varlıkların (entities) başlangıç noktası olarak düşünülür.

Varlıklar bir zaman çizelgesine göre ya da gelişler arasındaki süreye bağlı olarak yaratılırlar. Varlıklar daha sonra sistem üzerinde işlenmek veya çalışmak için bu modülü terk ederler.

Şekil 4. 2. Create Modülü İletişim Penceresi

Modülün “Name” kısmına model kurucu tarafından verilen bir isim girilir. Bu çalışmada “Name” kısımlarına durak isimleri verilmiştir ve her biri “..... Durak İçin Yolcu Yarat” şeklinde adlandırılmıştır. “Entity Type” kısmı varlığın türünün yazıldığı bir alandır ve yine model kurucu tarafından belirlenir. Bu çalışmada 4 farklı “Entity Type” tanımlanmıştır. Bunlar; gidiş yolcu, dönüş yolcu, gidiş otobüsü ve dönüş otobüsüdür. Gelişler arasındaki süre kısmı olan “Time Between Arrivals” varlıkların (yolcuların) akış türüne karar vererek hangi zaman aralıklarına göre yaratılacağını belirler. Örneğin yolcular, RANDOM(Expo) ifadesi ile aralarında üstel dağılıma uygun bir zaman aralığı olacak şekilde, CONSTANT ifadesi ile aralarında sabit bir zaman aralığı olacak şekilde, EXPRESSION ifadesi ile aralarında herhangi bir matematiksel ifadeye uygun bir zaman aralığı olacak şekilde ya da bunların dışında SCHEDULE ile bir zaman çizelgesine uygun olarak yaratılabilir.

Bu kapsamda bu çalışmada, yolcuların duraklara üstel dağılıma uygun zaman aralıklarıyla geldiği varsayılmıştır. Üstel dağılım, simülasyon modellerinde müşteri gelişleri arasındaki sürelerin olasılık dağılımını ifade ederken yaygın şekilde kullanılır, çünkü birçok sistemde varlıkların gelişinin poisson sürecine uygun olacağı varsayılır. Üstel dağılımın tek bir parametresi vardır. Bu değer ortalamadır (Chung, 2003: 124). Ersöz (2019) üstel dağılımı, meydana gelen iki olay arasında geçen sürenin dağılımı olarak tanımlamaktadır. Genelde, bir bankada vezne işlemleri arasında geçen sürenin veya bir hastanenin acil servisine gelen hastalar arasında geçen sürenin dağılımının da üstel dağılıma uyduğu varsayılır (Ersöz, 2019: 116).

Çalışma kapsamında yolcuların duraklara gelişleri arasında geçen sürelerin ortalaması belirlenirken Kent Kart dolum merkezinden elde edilen durak bazlı veriler temel alınmıştır. Kent Kart dolum merkezinden elde edilen veriler bir aylık binen yolcu sayılarını ifade ettiği için, öncelikli olarak, durak bazında bu sayılar 30'a bölünerek günlük - yarım saat aralıklarla gelen yolcu sayıları elde edilmiştir. Sonrasında elde edilen veriler 30'a bölünerek 1 dakikada binen yolcu sayıları hesaplanmıştır. Buna göre bu çalışma kapsamında oluşturulan simülasyon modellerinde, örneğin bir dakika içinde bir duraktan binen ortalama yolcu sayısı 6 ise $6/60=0,1$ ve $EXPO(0,1)$ ifadesi ile (10 saniyede bir) o duraktan yolcu yaratılması istenmiştir. Duraktan binen ortalama yolcu sayıları her bir hattaki her bir durak için ayrı ayrı hesaplanarak ilgili durağa ait Create modülüne girilmiştir.

Create modülü iletişim penceresindeki Units kısmı ise yolcu gelişleri arasındaki sürenin zaman biriminin ne olacağını belirtir. Bu değer gün, saat, dakika veya saniye olabilir. En altta yer alan "Entities per Arrival " kısmında ise her geliş olayında kaç varlık geleceği, "Max Arrivals" kısmında en fazla kaç adet varlık yaratılacağı ve "First Creation" ile ilk varlığın (yolcunun) simülasyon modeli çalıştıktan sonra kaçınıcı birim zamanda yaratılacağını belirlediği bölümdür. Burada sıfır yazması simülasyon modeli çalışmaya başlar başlamaz yolcu yaratılсын anlamına gelmektedir.

Şekil 4.2. de, 10M hattının gidiş yönünde başlangıç durağı olan 50474 Nolu durak için yolcu üretimi örnek olarak sunulmuştur. "Name" kısmına "Durak 50474 Yolcu Yarat" ismi verilerek 50474 durak için yolcu yaratıldığı tanımlanmıştır. "Entity Type" ile bu durakta yaratılan yolcunun gidiş yolcusu olduğu belirtilmiştir. Hattın dönüş yönünde yer alan duraklarda ise bu kısımda Donus Yolcu ifadesi yer almaktadır. Diğer bir ifade ile yolcu yaratımı kısmında 2 tür yolcu tanımlanmıştır. İlki gidiş yolcusu, ikincisi ise dönüş yolcusudur. Model çalıştırıldıktan sonra çıktı analizi yapılır iken yolcuların bekleme süresi gibi istatistikler gidiş ve dönüş yolcusu olarak birbirinden ayrılmıştır.

"Type" kısmında "expression" seçilmiştir. "Unit" kısmında ise dakika seçilmiştir. Çünkü yolcuların geliş aralıkları dakika cinsinden hesaplanmıştır. "Entities per Arrival " kısmı 1 "Max Arrivals" kısmı sonsuz olarak belirlenmiştir. Her gelişte tek bir yolcu geleceği ve toplamda sonsuz sayıda yolcu gelebileceği ifade edilmiştir. Ayrıca "First Creation" kısmının sıfır olması sistem çalışmaya başlar başlamaz o durakta yolcu yaratılmaya başlanacağını göstermektedir.

Yolcuların yanında otobüslerin yaratılmasında da yine Create modülü kullanılmıştır. Şekil 4.3. te otobüslerin yaratıldığı Create modülü gösterilmiştir. Burada "Name" kısmına "Gidis Otobüsü Yaratma" yazılmıştır ve modülün yüzünde bu görünecektir. "Entity Type" kısmında ise yaratılan varlığın gidiş otobüsü olduğu belirtilmiştir. Otobüsler çalıştırılan senaryolarda belirlenen sefer aralıklarına bağlı olarak sabit zaman aralıklarıyla yaratılmaktadır. Bu örnekte otobüslerin, sefer aralıklarına uygun olarak, 30 dakikada bir yaratılması istenmiştir.

Şekil 4. 3. Create Modülü ile Otobüslerin Yaratılması

Assign Modülü: Create modülünün bağlandığı Assign modülü ile duraklarda yaratılan her bir yolcuya ineceği durak atanmaktadır. Simülasyon modellerinde Assign modülü değişkenlere, varlık özelliklerine, varlık türüne, varlık fotoğraflarına ya da diğer sistem değişkenlerine yeni değerler atamak için kullanılır. Tek bir assign modülü ile birden fazla atama yapılabilir. Şekil 4.4. te Assign modülü iletişim kutusu gösterilmiştir.

Şekil 4. 4. ASSIGN Modülü İletişim Penceresi

Bu modülde “Add” sekmesine tıklanır ise “Type”, “Attribute Name” ve “New Value” değerlerinin yazılabileceği bir alan ile karşılaşılacaktır. Bu kısımda, bir önceki modülde yaratılan yolculara, belli olasılıklar çerçevesinde, ineceği duraklar atanmaktadır. Yolculara iniş durağı olarak herhangi bir durağın atanma olasılığı, hat üzerinde o duraktan sonra gelen her bir durak için ayrı ayrı hesaplanmakta ve modele girilmektedir. Herhangi bir durakta otobüse binen bir yolcunun başka herhangi bir durakta inme olasılıklarının hesaplanabilmesi için, 2015 yılında

Mersin Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlatılan ve Mersin Ulaşım Ana Planında yer alan yolculukların ilçelere göre dağılımlarını gösteren, İlçeler Arası Yolculuk Matrisi kullanılmıştır. Tablo 4.9. da sunulan bu matriste merkez dört ilçeye ve çalışma alanı dışında kalan diğer ilçelere yapılan yolculuk oranları (%) gösterilmiştir.

Tablo 4. 9. İlçeler Arası Yolculuk Matrisi

	Akdeniz (%)	Mezitli (%)	Toroslar (%)	Yenişehir (%)	Çalışma Alanı Dışı (%)	Toplam (%)
Akdeniz	62,66	5,8	15,62	14,76	1,14	100
Mezitli	13,58	61,34	5,01	18,18	1,9	100
Toroslar	21,16	2,77	66,53	8,74	0,8	100
Yenişehir	18,77	10,33	8,42	61,31	1,18	100
Çalışma Alanı Dışı	34,5	22,99	15,32	24,99	2,2	100
Toplam	33,5	14,4	24,9	25,9	1,2	100

Kaynak: Mersin Ulaşım Ana Planı, 2015

Tablo 4.9. da her bir ilçede yer alan duraklarda otobüse binen yolcuların (tablonun satırlarında) iniş duraklarının (tablonun sütunlarında) ilçelere dağılımı (% cinsinden) gösterilmektedir. Bu tabloyu kısaca açıklamak gerekirse Akdeniz ilçesinde otobüse binen yolcuların; %62,66 sı yine Akdeniz ilçesinde, %5,80 i Mezitli ilçesinde, %15,62 si Toroslar ilçesinde, %14,76 sı Yenişehir ilçesinde ve %1,14 ü ise çalışma alanı dışında bir ilçede (taşra ilçeler) otobüsten inmektedir. Tablo 4.9. a göre aynı ilçe içerisine yapılan yolculuklar incelendiğinde, ilçe içi yolculuğun en fazla yapıldığı ilçenin Toroslar, en az yapıldığı ilçenin ise Yenişehir ve Mezitli olduğu gözlemlenmektedir.

Bu çalışma sadece merkez dört ilçeyi kapsadığı için Tablo 4.9. tarafımızdan değiştirilmiş olup, modellerin kurulması aşamasında, çalışma alanı dışı sütun ve satır tablodan çıkarılmıştır. Sonrasında çalışma alanı dışında kalan bölgelerdeki iniş oranları merkez ilçeler arasında ilçelerin kendi yolcu iniş oranlarına orantılı olarak dağıtılmıştır. Bu şekilde çalışma alanı dışına yapılan yolculuklar tablodan elimine edilerek, yüzde değerler sadece çalışma alanına giren yolcuları kapsayacak şekilde düzeltilmiştir. Bu düzeltmeye örnek teşkil etmesi açısından, Akdeniz ilçesindeki duraklar için iniş oranları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Tablo 4.9. a göre Akdeniz ilçesinde binip Akdeniz ilçesinde inenlerin oranı %62,66, Akdeniz ilçesinde binip Mezitli İlçesinde inenlerin oranı %5,8, Akdeniz ilçesinde binip Toroslar ilçesinde inenlerin oranı 15,62 ve Akdeniz ilçesinde binip Yenişehir ilçesinde inenlerin oranı %14,76'dır. Bu oranların toplamı %98,84'tür. Akdeniz ilçesinde binip Akdeniz ilçesinde inenlerin oranı bu toplama bölündüğünde Akdeniz ilçesinde binip Akdeniz ilçesinde inenlerin düzeltilmiş oranı hesaplanmış olur yani $(\%62,66)/(\%98,84) = \%63,4$. Çalışma alanına giren her

ilçe için hesaplamalar aynı mantıkla yapılarak ilçeler arası düzeltilmiş yolculuk oranları Tablo 4.10. da sunulmuştur.

Tablo 4. 10. Merkez İlçeler Arası Yolculuk Matrisi

İlçeler		İniş				Toplam
		Akdeniz	Mezitli	Toroslar	Yenişehir	
Biniş	Akdeniz	%63,40	%5,9	%15,80	%15,00	%100
	Mezitli	%13,90	%62,50	%5,10	%18,60	%100
	Toroslar	%21,40	%2,80	%67,00	%8,80	%100
	Yenişehir	%19,00	%10,40	%8,50	%62,00	%100

Kaynak: Mersin Ulaşım Ana Planı'ndan (2015) yararlanılarak Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4.10. da yolculukların büyük bir kısmının aynı ilçe içerisinde başlayıp aynı ilçe içerisinde bittiği görülmektedir. Örneğin; Akdeniz ilçesinde otobüse binen yolcuların %63,4'ü yine Akdeniz ilçesinde otobüsten inmektedir. Aynı şekilde Mezitli ilçesinde otobüse binen yolcuların %62,5'i yine Mezitli ilçesinde inmektedir.

Tablo 4.10. daki yüzde değerler herhangi bir ilçedeki duraktan otobüse binen bir yolcunun herhangi bir ilçede inmesi olasılığını göstermekle birlikte, herhangi bir duraktan otobüse binen bir yolcunun sonraki herhangi bir durakta inmesi olasılığını göstermekten uzaktır. Herhangi bir duraktan otobüse binen bir yolcunun sonraki durakların herhangi birinde inmesi olasılığının hesaplanarak bu yolcuya ineceği durağın rassal olarak atanabilmesi gerekmektedir. Bu amaçla Tablo 4.10. da ilçeler için ifade edilen yüzdeler durak bazına indirgenerek, yolcunun otobüse bindiği duraktan sonraki tüm duraklar için iniş olasılıkları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplama bir örnek teşkil etmesi için 10M hattı ele alınacak olursa, 10M hattı gidiş yönünde seferine Akdeniz ilçesinde başlamakta, rotası gereği sonrasında Yenişehir ilçesine gitmekte ve Mezitli ilçesinde seferini tamamlamaktadır. Güzergâhına göre Akdeniz ilçesinde 13 durağa, Yenişehir ilçesinde 16 durağa ve Mezitli ilçesinde 42 durağa uğramaktadır. Bu hat için 3 merkez ilçe içinde yapılan seferler kendi içinde değerlendirilmesi gerektiği için, Toroslar ilçesi iniş oranları elimine edilerek diğer 3 ilçeye ağırlıkları oranında dağıtılarak yeniden hesaplanmıştır. Bu mantıkla yeniden hesaplanan iniş oranları Tablo 4.11. de 10M hattının geçtiği 3 ilçe için gösterilmektedir.

Tablo 4. 11. Merkez 3 ilçe İçin İniş Oranları (10M Hattı Örneği)

	Akdeniz	Mezitli	Yenişehir	Toplam
Akdeniz	%75,3	%7,0	%17,8	%100,0
Mezitli	%14,6	%65,8	%19,5	%100,0
Yenişehir	%20,8	%11,4	%67,8	%100,0

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

10M hattının başlangıç durağı olan 50474 – Makine İkmal durağından binen yolcular için diğer duraklarda iniş oranları Tablo 4.11. kullanılarak şu şekilde hesaplanmıştır. 50474 Nolu durak Akdeniz ilçesinde yer almaktadır ve bu durağı takip eden 12 durak ta Akdeniz ilçesinde yer almaktadır. Bir sonraki durakta inme olasılığı:= %75,3/(n-1)'dir.

n: ilçe içindeki otobüs durağı sayısıdır yani 13'dür.

Bir sonraki durakta inme olasılığı= $\frac{\%75,3}{12} = 0,063$

Bu hesaplama göre 50474 Nolu durakta otobüse binen bir yolcunun takip eden durakta inme olasılığı 0,063'tür. Ayrıca 50474 Nolu durakta otobüse binen bir yolcunun sonraki 12 durağın her birinde inme olasılığı da aynı şekilde 0,063'tür.

Bu hattın 14. durağı ise Yenişehir ilçesinde bulunmaktadır. Bu durak için iniş olasılığı hesaplanırken Akdeniz ilçesinde binip Yenişehir ilçesinde inenlerin oranı kullanılmalıdır. Bu oran %17,8'dir ve 10M hattının Yenişehir ilçesinde uğradığı 16 durak bulunmaktadır. Dolayısıyla 50474 Nolu duraktan binen bir yolcunun 14. Durakta inme olasılığı %17,8'in 16'ya bölünmesi ile elde edilen 0,011'dir ve Yenişehir ilçesindeki tüm duraklarda inme olasılığı eşittir. Aynı hesaplama Mezitli ilçesi için de yapılmıştır. 10M hattı Mezitli ilçesinde 42 durağa uğramaktadır. Akdeniz ilçesinde binip Mezitli ilçesinde inenlerin oranı %7 olduğu için, 50474 Nolu duraktan binen bir kişinin 30. Durakta inme olasılığı %7'nin 42'ye bölünmesi ile elde edilen 0,002'dir.

İlk 13 durak için aynı işlem tekrarlanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta yolculuk ilçenin kendi içerisinde yapılıyorsa n sayısı o ilçedeki her durak için bir azaltılarak yapılmalıdır. Bunun sebebi 2. Durakta binen bir kişinin 1. Durakta inemeyecek olmasıdır.

14. durak Yenişehir ilçesinde bulunduğu için Tablo 4.11. bu kez Mezitli ve Yenişehir ilçeleri için tekrar düzenlenmelidir. Elde edilen yeni dağılım Tablo 4.12. de sunulmuştur.

Tablo 4. 12. Mezitli ve Yenişehir İlçeleri İçin İniş Oranları

İlçeler	Mezitli	Yenişehir	Toplam
Mezitli	%77,1	%22,9	%100,0
Yenişehir	%14,4	%85,6	%100,0

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Yukarıda bahsedilen işlemler takip eden 15 durak için tekrarlanır ve ilk 29 durak için takip eden duraklardaki iniş olasılıkları hesaplanmış olur. 30. Durakta Mezitli ilçesine geçildiği için burada Mezitli ilçesinde binenlerin oranı Mezitli ilçesinde yer alan durak sayısına bölünür. Burada ayrıca Akdeniz ve Yenişehir ilçesinde binenlerin oranlarının da yansıtılması gerekmektedir. Bir örnekle açıklanacak olursa, 30. durak 50264 Nolu duraktır ve kendisinden sonra Mezitli ilçesinde 41 durak bulunmaktadır. Tablo 4.11. e göre Mezitli ilçesinde binip Mezitli ilçesinde inenlerin oranı %65,8'dir ve 50264 Nolu durakta binen bir yolcu için bu oran 41'e bölünmektedir. Sonrasında Mezitli ilçesinde binip Akdeniz ilçesinde inenler ile Mezitli ilçesinde binip Yenişehir ilçesinde inenlerin oranı toplanıp aynı şekilde 41'e bölünür. Yani $(\%14,6 + \%19,5)/41 = 0,008$ elde edilir ve bu olasılık $\%65,8/41 = 0,016$ ile toplanır. Böylece 30. Durakta binen bir kişinin 31. Durakta inme olasılığı hesaplanmış olur. Bu da 0,024'tür. Peşi sıra gelen duraklar için iniş olasılıkları her seferinde n değeri 1 azaltılarak hesaplanmaktadır.

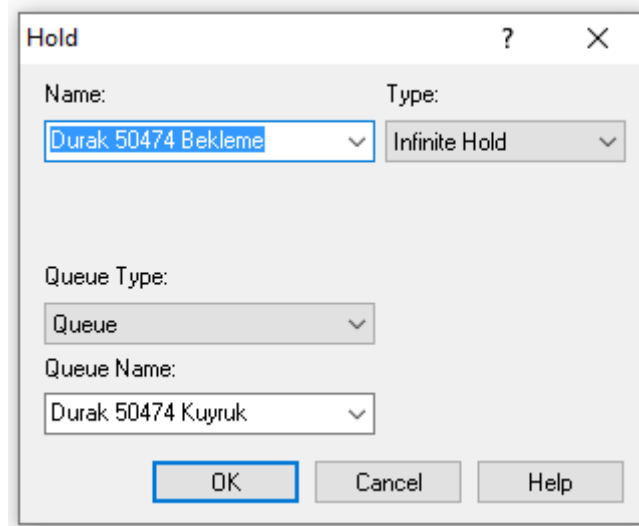
10M hattı için örnek olarak verilen bu hesaplama diğer tüm hatlarda yer alan tüm duraklar için tekrarlanarak herhangi bir duraktan otobüse binen bir yolcunun hat üzerindeki diğer duraklarda inme olasılıkları hesaplanarak otobüse binen yolcunun ineceği durak, Assign modülünde, bu olasılıklar dahilinde rassal olarak atanmaktadır.

Bu doğrultuda, Şekil 4.4. teki örnekte 10M Hattında gidiş yönünde ilk durak olan 50474 Nolu durakta binen yolcuların diğer duraklarda iniş olasılıklarını atamak için ARENA'nın kesikli olasılığı ifade eden DISC() fonksiyonu kullanılmıştır.

Örneğin; DISC(.063,2,.125,3,.188,4,.251,5,.314,6,.376,7,.439,8,.502,9,.565,10,.627,11,.690,12,.753,13,.764,14,.775,15,.786,16,.797,17,.808,18,.819,19,.830,20,.842,21,.853,22,.864,23,.875,24,.886,25,.897,26,.908,27,.919,28,.930,29,.932,30,.934,31,.935,32,.937,33,.939,34,.940,35,.942,36,.944,37,.945,38,.947,39,.949,40,.950,41,.952,42,.954,43,.955,44,.957,45,.959,46,.960,47,.962,48,.964,49,.965,50,.967,51,.969,52,.970,53,.972,54,.973,55,.975,56,.977,57,.978,58,.980,59,.982,60,.983,61,.985,62,.987,63,.988,64,.990,65,.992,66,.993,67,.995,68,.997,69,.998,70,1,71).

Bu ifadedeki ilk iki sayı çifti olan .063 ve 2 değerlerinin ilki olasılığı, diğeri ise durak numarasını göstermektedir. Örneğin bu iki sayı 50474 Nolu durakta binen bir yolcunun 2. durakta inmesi olasılığının 0,063 olduğunu ifade etmektedir. Dikkat edilecek olursa iniş olasılıkları 2. duraktan 71. durağa kadar kümülatif bir şekilde artmakta ve 71. durağa gelindiğinde olasılık değeri 1 olmaktadır. Olasılıkların kümülatif olarak ifade edilmesi ARENA'nın bir koşuludur.

Hold Modülü: ARENA'da bu modül bir sinyali beklemeyi, bir koşulun gerçekleşmesini beklemeyi ya da sonsuza kadar bir varlığın tutulmasını sağlayan modüldür. Bu çalışmada, herhangi bir durakta yaratılan yolcuların otobüs gelinceye kadar durakta bekletilmesini sağlamak için kullanılmıştır. Şekil 4.5. te Hold modülü iletişim kutusu gösterilmiştir.



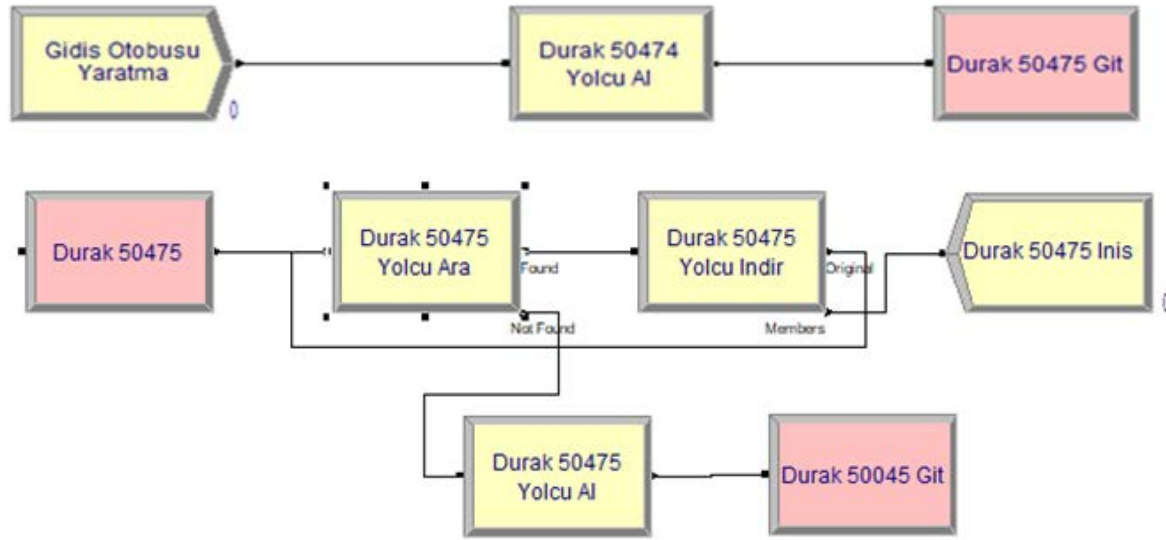
Şekil 4. 5. Hold Modülü İletişim Penceresi

Hold modülündeki “Name” sekmesi ile yolcuların bekletildiği durak ismi belirtilmiştir. “Type” bekleme işleminin süresini belirtmektedir. Burada 3 farklı seçenek bulunmaktadır. İlki bir işaret gelene kadar bekletilmesini sağlamak için “Wait for signal”, ikincisi bir koşul gerçekleşene kadar beklemesini sağlamak için kullanılan “Scan for condition”, üçüncüsü ise varlıklar kuyruktan kaldırılınca kadar bekletilmesini sağlamak için kullanılan “Infinite Hold”tur. Bu çalışmada yolcuların otobüsler gelene kadar bekletilmesi istendiği için “Infinite Hold” kullanılmıştır. Bir otobüs durağa geldiğinde kuyruktaki bekleyen tüm yolcuları almaktadır.

4.5.2. Yolcuların Taşınması - Seyahat

Otobüslerin seferine başlamak üzere başlangıç durağından sisteme giriş yaptığı, durakları sıra ile dolaşarak bekleyen yolcuları aldıktan sonra incekleri durağa taşıyarak burada indirdiği bu bölüm hat üzerindeki ilk durak (otobüsün seferine başladığı durak) için üç kısımdan diğer duraklar için ise iki kısımdan oluşmaktadır. Otobüs bir durağa vardığında öncelikle Search, DropOff ve Dispose modülleri ile durakta incek yolcuları otobüs içerisinde bularak indirmekte, ardından durakta bekleyen yolcuları Pickup modülü ile almakta ve Route modülü ile hat üzerinde sonraki durağa yönelmektedir. Bu işlem hat boyunca her durakta tekrarlanmaktadır. Hat boyunca duraklar Station modülü ile tanımlanmaktadır. Otobüsün seferine başladığı ilk durakta ise Create modülü ile otobüs yaratılmaktadır. Şekil 4.6. da üst kısımdaki ilk modülde (Create modülü) ilk durakta otobüs yaratılmakta, ikinci modülde (Pickup modülü) otobüs ilk duraktan yolcuları almakta ve üçüncü modülde ise (Route modülü) hat üzerinde sonraki durağa yönelmektedir. Şekil 4.6. da alt kısımda ise ilk modülde otobüs ara bir durağa (Station modülü) geldikten sonra ikinci modülde (Search modülü) otobüs içerisinde o durakta incek olan yolcuları arayıp bularak üçüncü modülde (DropOff modülü) bu yolcuları

otobüsten indirmektedir. Otobüsten inen yolcular dördüncü modülde (Dispose modülü) sistemi terk etmektedir. O durakta otobüsten incek olan yolcular indirildikten sonra beşinci modülde (Pickup modülü) durakta otobüsü bekleyen yolcular otobüse alınmaktadır. Altıncı ve son modülde (Route modülü) ise otobüs bir sonraki durağa yönelmektedir. Bu işlemler hat boyunca tüm duraklarda tekrarlanmaktadır.



Şekil 4. 6. Yolcuların Taşınması – Seyahat Bölümü Simülasyon Modeli Örneği

Bu bölümün modellenmesinde kullanılan Create, Station, Search, DropOff, Dispose, Pickup ve Route modüllerinin içerik detayları aşağıda verilmiştir.

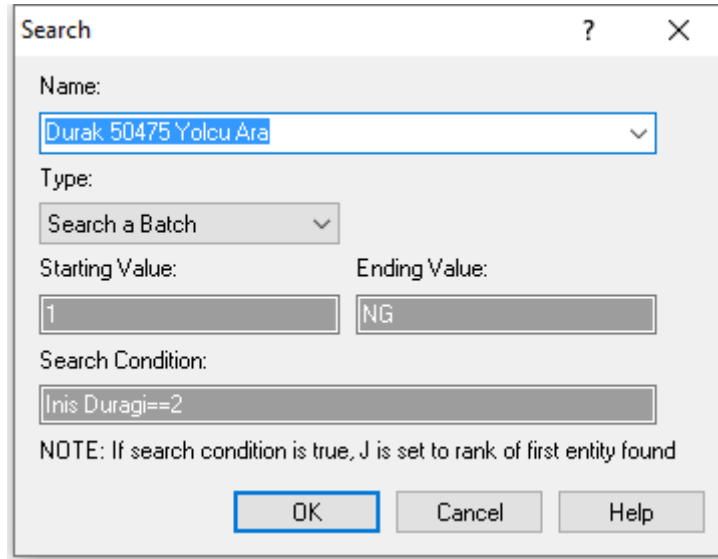
Create modülü: Bu modül ile otobüs yaratımı sağlanmaktadır. Modellerde 2 farklı türde otobüs yaratılmaktadır. Bunların ilki gidiş otobüsü, ikincisi ise dönüş otobüsüdür. Şekil 4.5. te gidiş durağı olan 50474 nolu durak gösterildiği için Create modülünün “Name” kısmı “Gidis Otobüsü Yaratma” olarak adlandırılmıştır. 10M hattı otobüsleri yarım saatte bir sefere çıkmaktadır. Bu sebeple yukarıda bahsedilen Create modülünün “Time Between Arrivals” kısmı “Constant” olarak seçilip süreye 30 dakika yazılmıştır. Senaryolar kısmında bahsedildiği üzere otobüslerin sefer aralıkları senaryodan senaryoya değişmektedir.

Station Modülü: Bu modül herhangi bir işlemin gerçekleştiği fiziksel veya mantıksal bir yere/konuma karşılık gelen bir istasyonu tanımlar. Bir istasyon, bu istasyondaki varlıklar tarafından büyüyen bütün maliyetleri ve süreleri raporlamak için kullanılan bir faaliyet alanına sahiptir. Bu faaliyet alanının adı istasyon adı ile aynıdır. Şekil 4.7. de Station modülü iletişim penceresi gösterilmiştir. Bu modül çalışmada otobüs duraklarını tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Şekil 4. 7. Station Modülü İletişim Penceresi

Şekil 4.7. deki Station modülünde “Name” kısmı durağın ya da istasyon isminin yazıldığı alandır. “Station Type” ile belirtmek istenen ya bir istasyondur ya da kurulan istasyon tiplerinden birinin belirtilmesidir. “Station Name” kısmı station modülünün üzerinde yazacak ismin belirlendiği alandır. Report Statistics kısmının aktive edilmesiyle o durakla ilgili istatistiklerin toplanması ve çıktılarda raporlanması sağlanmaktadır.

Search Modülü: Bu modül, varlık sırasını (bir kuyruk veya gruptaki varlıklar için) veya belirtilen arama koşulunu karşılayan genel değişken değerini bulmak için bir kuyruğu, bir grubu (toplu iş) veya bir ifadeyi arar. Otobüs bir durağa geldiğinde yolcular içerisinde o durakta inecek olanlar bu modül ile aranır. Şekil 4.8. de Search modülü iletişim penceresi gösterilmektedir.



Şekil 4. 8. Search Modülü İletişim Penceresi

Şekil 4.8. de Search modülünün “Name” kısmına “Durak 50475 Yolcu Ara” yazılmıştır ve Search modülü ile bu durakta inecek yolcuların tespit edilmesi sağlanmıştır. “Type” sekmesi ile neyin aranacağı belirlenir. Bu çalışmada otobüsün içinde yolcular arandığı için “Search a Batch” seçilmiştir. Modül otobüsteki tüm yolcuları teker teker aradığı için “Starting Value” sekmesine 1 “Ending Value” sekmesine ise NG yazılmıştır. Burada NG ifadesi “number in group (grup eleman sayısı)” un kısaltmasıdır. Bu değerler ile gruptaki yani otobüsteki herkesin teker teker aranması sağlanmaktadır. Modülün içerisindeki “Search Condition” sekmesine ise “Inis Duragi==2” yazılıdır. Bunun sebebi ikinci durakta inecek yolcuların aranıyor olmasıdır. Duraklar model içerisinde adları ile değil sayısal kodları ile tanımlı olduğu için Durak 50475’ün ismi değil hat üzerindeki sırası olan 2 değeri kullanılmaktadır.

Şekil 4.6. da görüldüğü üzere Durak 50475 modülü “Durak 50475 Yolcu Ara” modülüne (Search modülü) bağlanmıştır. Bu da Durak 50475’de inecek olan yolcuların araştırılmasını sağlamaktadır. Şekil 4.6. da Search modülünden iki ok çıktığı görülmektedir. Bunlardan ilki “Found”, ikincisi “Not Found”dur. Otobüsün içerisinde o durakta inecek yolcu varsa “Found” çalışır. Otobüste o durakta inecek yolcu yok ise “Not Found” un bağlı olduğu Pickup modülü çalışır. Eğer o durakta inecek yolcu varsa, bu yolcu önce “Durak 50475 Yolcu İndir” etiketli DropOff modülüne ardından ise sistemi terk etmek üzere “Durak 50475 Inis” etiketli Dispose modülüne gönderilir.

DropOff Modülü: Bu modül belirli sayıda varlığı, varlığın grubundan çıkarır ve bunları bir ok ile gösterilen başka bir modüle gönderir. Şekil 4.6. da görüldüğü üzere “Durak 50475 Yolcu İndir” etiketli Dropoff modülünden iki ok çıkmaktadır. “Original” isimli ilk ok durakta inecek bir yolcu bulduktan sonra aramaya devam etmek üzere Search modülüne geri dönmekte,

“Members” isimli ikinci ok ise inecek olan yolcuyu “Durak 50475 Inis” etiketli Dispose modülüne göndermektedir. Şekil 4.9. da DropOff modülü iletişim penceresi gösterilmiştir.

Şekil 4. 9. DropOff Modülü İletişim Penceresi

Şekil 4.9. da “Name” sekmesine modülün dışarıdan görünen ismi yazılır. “Quantity” kısmına azaltılacak olan varlık adedi yazılır. “Starting Rank” gruptaki varlıklara bağlı olarak azaltılacak olan varlıkların başlama sırasını ifade eder. “Member Attributes” ise azaltılan orijinal varlıklara, temsilci varlık özelliklerinin nasıl atanacağını belirlenmesini sağlar. Burada model kurucuya 3 farklı seçenek sunulur. İlki “Retain Original Entity Values” seçeneği orijinal varlık değerlerini korur. İkincisi tüm temsili değerlerin alınmasını ifade eden “Take All Representative Values”dur. Üçüncüsü ise “Take Specific Representative Values” belirli temsili değerlerinin alınmasıdır. Otobüs içerisinde o durakta inecek yolcular teker teker aranarak bulunduğu ve DropOff modülüne gönderildiği için burada her seferinde tek bir yolcu otobüsten indirilir ve bu yolcu otobüsten indirildikten sonra, sistemi terk etmek üzere Dispose modülüne gönderilirken kendisine istasyon numarası atanmış olur (Member Attributes ve Attributes seçenekleri nedeniyle).

Pickup Modülü: Bir taşıyıcının herhangi bir kuyruktan belirli sayıda varlığı toplayarak bünyesine katmasını sağlar. Çalışma kapsamında bu modül otobüslerin bir durağa ulaşım yolcularını indirdikten sonra o durakta bekleyen yolcuları otobüse alması amacıyla kullanılmıştır. Şekil 4.10. da Pickup modülünün iletişim penceresi görülmektedir.

Pickup

Name: Quantity:

Queue Name: Starting Rank:

Şekil 4. 10. Pickup Modülü İletişim Penceresi

“Name” kısmına modülün üzerinde görülecek isim yazılır. “Quantity” kısmına toplanacak varlıkların sayısı, yazılır. Bu çalışmada, “Queue Name” kısmına ise varlıkların toplanacağı kuyruğun ismi yazılır. Bu kuyruğun adı “Yolcuların Gelişi” kısmında Hold Modülünde belirtilmiştir. “Starting Rank” ise kuyruktan toplanacak varlıkların başlangıç sırasını ifade etmektedir. “Quantity” kısmına ise bu durakta bekleyen tüm yolcuların otobüse alınmasını sağlayan ifade (Durak 50475 kuyruğundaki yolcu sayısı) yazılmıştır.

Route Modülü: Belirtilen bir yere (Station) veya bir rota üzerinde sıradaki yere belirli bir varlığın taşınmasını sağlar. Varlık, belirlenen rota süresi kullanılarak, varış yerine gönderilir. Çalışmada bu modül otobüsü bir duraktan diğerine yönlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Şekil 4.11. de Route modülü iletişim penceresi gösterilmektedir.

Route

Name:

Route Time: Units:

Destination Type: Station Name:

Şekil 4. 11. Route Modülü İletişim Penceresi

Şekil 4.11. de “Name” kısmına gidilecek olan durağın adı yazılmıştır. Böylece route modülü “Durak 50475 Git” olarak adlandırılmıştır. “Route Time” bulunulan duraktan bir sonraki durağa gitmek için geçen süreyi göstermektedir. Tablo 4.13. te sunulan bilgiler kullanılarak (her hat için ayrı) duraklar arasında geçen süre dakika bazında hesaplanmış ve “Route Time” kısmına bu süreler yazılmıştır. “Destination Type” gidilecek olan yerin bir istasyon (durak)

olduğunu belirtmektedir. “Station Name” ise hangi durağa gidileceğini göstermektedir. Bilindiği gibi modelde tüm durakların tanımı Station modülleri kullanılarak yapılmıştır.

Türk Standartları Enstitüsü tarafından 2011 yılında hazırlanan Şehir İçi Yollar – Otobüs Duraklarının Yer Seçim Kuralları taslağına göre trafiğin aksamaması için iki durak arasındaki mesafe en az 400 metre olmalıdır. Birinci derecedeki yollarda ise bu mesafe 600 metre olmalıdır. Ancak yolcu yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde bu mesafelerin 100’er metre azaltılabileceği belirtilmektedir (Türk Standartları Enstitüsü, 2011: 2). Ancak Mersin ilindeki durakların konumları incelendiğinde bu kurala genellikle uyulmadığı, durak aralıkları belirlenirken başka dinamiklerin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Duraklar arasındaki mesafelerin birbirinden çok farklı olması sebebiyle bu çalışmada, duraklar arasındaki mesafe kilometre cinsinden değil, duraklar arasında geçen süreye göre dakika cinsinden modele yansıtılmıştır.

Mersin Büyükşehir Belediyesi Toplu Taşıma Şube Müdürlüğü ile yapılan görüşmelere göre, kullanılan GPS sistemi ile araçların (plakalara göre) hangi duraklara ne zaman geldikleri tespit edilebilmektedir. Mersin Büyükşehir Belediyesi Toplu Taşıma Şube Müdürlüğü’nün geliştirdiği sisteme göre her hat için ana duraklar belirlenmekte ve araçların bu duraklara ne zaman geldikleri kayıt altına alınmaktadır. Örnek teşkil etmesi amacıyla 10M hattı dönüş güzergâhı için belirlenen ana duraklar ve bu duraklar arasında geçen ortalama süreler Tablo 4.13.’deki gibidir.

Tablo 4. 13. 10M Hattı Dönüş Güzergâhı Ana Durakları ve Duraklar Arasında Geçen Ortalama Süre

TECE	DAVUL TEPE	SOLİ CAMİ	MEZİTLİ BELEDİYESİ	Y.ŞEHİR KAMPÜS	GÖÇMEN	FORUM	SOĞUKSU KARAKOLU	ATATÜRK PARKI	SEFER BİTİŞ
06:00	06:09	06:16	06:22	06:29	06:33	06:36	06:42	06:45	06:52
06:20	06:28	06:35	06:40	06:48	06:52	06:55	07:02	07:06	07:15
06:20	06:28	06:35	06:40	06:48	06:52	06:55	07:02	07:06	07:15
06:45	06:54	07:01	07:07	07:14	07:18	07:20	07:27	07:30	07:37
07:15	07:24	07:30	07:35	07:45	07:49	07:52	07:59	08:03	08:10
07:45	07:54	08:02	08:07	08:16	08:21	08:24	08:31	08:34	08:41
08:15	08:28	08:37	08:43	08:51	08:55	08:58	09:06	09:09	09:17
08:45	08:55	09:04	09:09	09:17	09:21	09:24	09:32	09:35	09:42
12:15	12:27	12:37	12:44	12:54	12:58	13:04	13:11	13:14	13:21
13:15	13:26	13:35	13:42	13:52	13:57	14:01	14:10	14:14	14:22
14:15	14:26	14:36	14:44	14:54	14:59	15:03	15:12	15:16	15:23
14:45	14:55	15:03	15:11	15:21	15:25	15:28	15:37	15:41	15:48
15:15	15:26	15:36	15:41	15:50	15:55	15:59	16:07	16:10	16:17
19:15	19:27	19:35	19:42	19:51	19:55	19:58	20:06	20:10	20:16
19:30	19:40	19:47	19:54	20:04	20:09	20:14	20:24	20:28	20:40
19:45	19:57	20:06	20:12	20:21	20:26	20:29	20:37	20:40	20:56

Kaynak: Mersin İli Toplu Taşıma Daire Başkanlığı

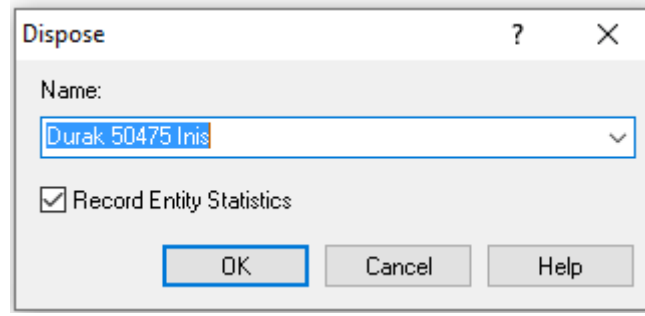
10M hattı dönüş güzergâhında toplamda 74 durak bulunmaktadır. Otobüsler seferlerine 50306 Nolu Tece Kampüsü durağından başlayıp, 50474 Nolu Makine İkmal durağında sonlandırmaktadırlar. Tablo 4.13.'te gün içinde sefer sıklıklarının değiştiği görülmektedir. 10M hattı dönüş güzergahı için yolcu yoğunluğunun diğer duraklara kıyasla daha fazla olduğu 10 durak ana durak olarak belirlenmiştir. Ayrıca bazı araçlarda GPS sistemi bulunmadığından bu araçlar için veri elde edilememiştir. Bu sebeple bazı saatlerde sefer yokmuş gibi görülmektedir. Ancak bu durum eksik bilgiden kaynaklanmaktadır.

Çalışmanın uygulama kısmında sefer sürelerine uyulması için ana duraklar arasında geçen sürenin ortalaması alınmakta ve iki ana durak arasında geçen süre tespit edilmektedir. Sonrasında iki ana durak arasında kaç durağın olduğu tespit edilip, iki ana durak arasında geçen süre durak sayısına bölünmektedir. Böylece iki ana durak arasında geçen süre, aradaki duraklara eşit şekilde dağıtılmaktadır. Bunun sebebi daha önce belirtildiği gibi duraklar arasındaki mesafenin standart ya da sabit olmamasıdır. Bir örnekle açıklamak gerekirse, Tece durağı 1. Duraktır ve Davultepe durağı 18. Duraktır. Arada 17 durak vardır ve iki ana durak arasında geçen ortalama süre 10 dakika 30 saniyedir. Bu sürenin 17'ye bölünmesi ile ilk 17 durak arasında geçen ortalama süre 0,618 dakikadır. 17. Durağa gelindiğinde sefer başlangıç saatinin üstünden 10 dakika 30 saniye geçmiş olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan modellerde yer alan Route modüllerinde sabit bir süre kullanılmamış, her durak çifti için yukarıda açıklanan hesaplamalar yapılarak farklı süreler kullanılmıştır.

4.5.3.Sistemden Çıkış

Sistemden çıkış kısmı otobüslerin ve yolcuların sistemi terk etmesini sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Yolcular inecekleri durağa ulaştıktan sonra, otobüsler ise seferlerini tamamladıktan sonra sistemi terk etmektedirler. Otobüslerin ve yolcuların sistemi terk etmesini sağlamak için Dispose modülü kullanılmıştır.

Dispose Modülü: yaratılan varlıkların sistemden çıkışını sağlayan modüldür. Bu modül, varlıklar sistemi terk etmeden önce istatistiklerin kayıt altına alınmasını sağlar. Şekil 4.12. da Dispose modülünün iletişim penceresi görülmektedir.



Şekil 4. 12. Dispose Modülü İletişim Penceresi

Şekil 4.12. te yer alan “Name” kısmına modülün ismi yazılır. “Record entity Statistics” kısmının aktive edilmesiyle bekleme süresi, aktarım süresi, diğer zaman, toplam zaman, katma değer, katma değeri olmayan maliyet, bekleme maliyeti, aktarım maliyeti, diğer maliyetler ve toplam maliyeti içeren çeşitli istatistikler tutulabilir. Bu çalışmada duraklarda inen yolcuların sayısını, gün içerisinde gerçekleştirilen ve tamamlanan otobüs seferi sayısını ve yolcuların duraklarda beklerken ve otobüs içerisinde seyahat ederken geçirdiği ortalama süreleri hesaplamak için istatistikler tutulmuştur.

4.6. Model Senaryoları ve Varsayımlar

Çalışma kapsamında her bir otobüs hattı için geliştirilen simülasyon modelleri dinamik simülasyon modelleridir. Otobüs hatlarının simülasyon modelleri ilgili hattın gerçek sistemde çalıştığı süre kadar çalıştırılmıştır. Bu açıdan bakıldığında modeller sonlu (terminating) modellerdir.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen simülasyon modelleri, çalışmanın örneklemini oluşturan 14 hat için gidiş ve dönüş yönünde farklı sefer sıklıklarına göre çalıştırılmıştır. Bu kapsamda öncelikle yolcuların yoğun olduğu saatler normal saatlerden ayrılmıştır. Geliştirilen modeller her bir hat için gidiş – dönüş yönünde hem normal saatler hem de yoğun saatler için farklı sefer aralıklarına göre ayrı çalıştırılmıştır. Bu kapsamda öncelikli olarak hatlar, hatların yoğun saatleri, normal saatleri, günlük hat çalışma saatleri ile ilgili bilgiler Tablo 4.14.’te verilmiştir. Sonrasında da her bir hat için geliştirilen senaryolar ve bu senaryoların denenmesi sonucu elde edilen çıktılar detaylı şekilde sunulmuştur.

Tablo 4. 14. Hatların Günlük Çalışma Süreleri

Hat Adı	Yoğun Saatlerin Süresi (Dakika)	Normal Saatlerin Süresi (Dakika)	Günlük Çalışma Süresi (Dakika)
10M	390	690	1080
11M	300	1140	1440
12M	180	660	840
15M	150	900	1050
18M	210	690	900
20M	120	720	840
26M	210	990	1200
28M	210	1050	1260
29M	180	1200	1380
30M	180	870	1050
32M	210	900	1110
33M	270	1050	1320
36M	390	690	1080
44M	90	810	900

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4.14.'e göre 10M hattının günlük çalışma süresi 1080 dakikadır. Yolcular sabah 07:00 – 08:00 ile 12:00 – 14:00 ve 15:00 – 18:30 saatleri arasında hattı yoğun bir şekilde kullanmaktadır. 11M hattının günlük çalışma süresi 1140 dakikadır. Yoğun saatler 07:00 – 08:00 ile 15:00 – 18:30 arasındadır. 12M hattının günlük çalışma süresi 840 dakikadır. 12M hattına ait yoğun saatler 07:00 – 08:00 ile 15:00 – 17:00 arasındadır. 15M hattı günlük 1050 dakika çalışmaktadır. Yoğun saatleri 07:00 – 08:00 , 15:00 – 15:30 ile 16:00 – 17:00 arasındadır. 18M hattı günlük 900 dakika çalışmaktadır. 18M hattının yoğun saatleri 07:00 – 08:00 ile 15:00 – 17:30 arasındadır. 20M hattı günde 900 dakika çalışmaktadır. Bu hattın yoğun saatleri ise 07:00 – 08:00 ile 16:00 – 17:00 arasındadır. 26M hattının günlük çalışma süresi 1200 dakikadır ve yoğun saatleri ise 07:00 – 08:00 ile 15:30 – 18:00 arasındadır. 28M hattının günlük çalışma süresi 1260 dakikadır. 28M hattının yoğun saatleri 07:00 – 08:30 ile 15:30 – 17:30 arasındadır. 29M hattının günlük çalışma süresi 1380 dakikadır. Yoğun saatler ise 07:30 – 08:30 ile 14:30 – 16:30 arasındadır. 30M hattının günlük çalışma süresi 1050 dakikadır ve yoğun saatleri 07:00 – 08:00 ile 15:00 – 18:30 arasındadır. 32M hattının günlük çalışma süresi 1110 dakikadır. Bu hattın yoğun saatleri 06:30 – 08:30 ile 15:30 – 17:00 arasındadır. 33M hattının günlük çalışma süresi 1320 dakikadır. Bu hattın yoğun saatleri 07:00 – 08:30 ile 15:30 – 18:30 arasındadır. 36M hattının günlük çalışma süresi ise 1080 dakikadır ve bu hattın yoğun saatleri 07:00 – 08:30, 12:00 – 13:30 ile 15:00 – 18:30 arasındadır. 44M hattının günlük çalışma süresi 900 dakikadır. 44M hattının yoğun saatleri 07:00 – 08:00 ile 17:00 – 17:30 arasındadır.

Model tasarım aşamasında aşağıda sıralanan varsayımlar yapılmıştır:

- Otobüslerin günlük çalıştığı süre her bir hat için farklılaşmaktadır. Her hat gerçekte kaç saat çalışıyorsa modelde de o kadar saat/dakika çalıştırılmıştır.
- Duraklarda bekleyen yolcu sayılarının ve otobüsün içindeki yolcu sayılarının toplamının otobüsün kapasitesini aşmadığı varsayılmıştır (yani her durak için duraklarda bekleyen tüm yolcular otobüse binebilmektedir).
- Otobüsler homojendir. Mevcut durumda Toplu Taşıma Şube Müdürlüğü bünyesinde 11 farklı türde ve farklı kapasiteye sahip otobüs bulunmaktadır. Ancak çalışmanın örneklemini oluşturan hatlarda genellikle aynı türde otobüsler kullanıldığı için, otobüs modellerinin ve kapasitesinin farklılaşmadığını göstermek için böyle bir varsayımda bulunulmuştur.
- Otobüslerin başlangıç noktası gidiş ve dönüş yönündeki ilk duraklardır.
- Duraklar arasında geçen süreler her bir durak çifti için, uzaklığa bağlı olarak, farklılaşmakla birlikte herhangi bir olasılık dağılımına sahip değildir. Modele sabit değerler olarak yansıtılmıştır.

Çalışma kapsamında her bir otobüs hattı için ayrı ayrı simülasyon modeli geliştirilmiş ve çalıştırılmıştır. Hatların mevcut sefer aralıkları birbirlerinden farklı olduğu için her bir hattın senaryosu da birbirinden farklıdır. Geliştirilen senaryolar sefer aralıklarına ve normal yolcu gelişi zamanına ve yoğun yolcu gelişi zamanına göre oluşturulmuştur. Kısaca her bir hattın normal ve yoğun zamanına göre farklı sefer aralıkları uygulanarak, yolcuların bekleme süresi, ortalama seyahat süresi, sistemde geçirdiği toplam süre, sistemi kullanan ortalama yolcu sayısı, otobüslerin sefer sayısı ve doluluk oranı gibi önemli bir takım sistem performans göstergelerinin nasıl etkilendiği belirlenmiştir. Bunun sonucunda her bir hat için gidiş ve dönüş yönünde en uygun sefer aralığının ne olabileceğine karar verilmiştir. Çalışma kapsamında analiz edilen otobüs hatlarının sonlu sistemler olması nedeniyle, ısınma (warm-up) periyodu öngörülmemiş ve tasarlanan her bir senaryo 10 kez çalıştırılarak (replikasyon) ortalamaları alınmıştır.

4.7. Simülasyon Analizi Sonuçları

Çalışmanın örneklemi olarak seçilen hatların her biri için geliştirilen simülasyon modelleri 10 tekrarlı olarak çalıştırılmış ve hattın gidiş ve dönüş yönünde ayrı ayrı olmak üzere yolcuların durakta ortalama bekleme süreleri, ortalama seyahat süreleri, sistemde geçirdikleri ortalama süre, otobüslerin ortalama sefer süreleri ve sayıları gibi performans göstergeleri elde edilmiştir. Bunların yanında yapılan bazı hesaplamalarla, otobüslerdeki ortalama yolcu sayıları ve otobüslerin kapasite kullanım oranları belirlenmiştir. Gidiş ve dönüş otobüslerindeki ortalama yolcu sayıları ve gidiş – dönüş otobüsü kapasite kullanım oranları aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Sefer Başına Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı} = \frac{\text{Sistemden Çıkan Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı}}{\text{Sistemden Çıkan Ortalama Gidiş Otobüsü Sayısı}}$$

$$\text{Sefer Başına Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı} = \frac{\text{Sistemden Çıkan Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı}}{\text{Sistemden Çıkan Ortalama Dönüş Otobüsü Sayısı}}$$

$$\begin{aligned} \text{Bir Seferde Tüm Gidiş Yolcularının Toplam Yolculuk Süresi} = \\ \text{Gidiş Yolcusu Ortalama Sefer Süresi} * \text{Sefer Başına Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bir Seferde Tüm Dönüş Yolcularının Toplam Yolculuk Süresi} = \\ \text{Dönüş Yolcusu Ortalama Sefer Süresi} * \text{Sefer Başına Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı} \end{aligned}$$

$$\text{Gidiş Otobüsündeki Ortalama Yolcu Sayısı} = \frac{\text{Bir Seferde Tüm Gidiş Yolcularının Toplam Yolculuk Süresi}}{\text{Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi}}$$

$$\text{Dönüş Otobüsündeki Ortalama Yolcu Sayısı} = \frac{\text{Bir Seferde Tüm Dönüş Yolcularının Toplam Yolculuk Süresi}}{\text{Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi}}$$

$$\text{Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı} = \frac{\text{Gidiş Otobüsündeki Ortalama Yolcu Sayısı}}{\text{Otobüs Kapasitesi}}$$

$$\text{Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı} = \frac{\text{Dönüş Otobüsündeki Ortalama Yolcu Sayısı}}{\text{Otobüs Kapasitesi}}$$

Otobüs kapasitesi belirlenirken otobüs türleri ve kapasitelerinin yer aldığı Tablo 4.1'den yararlanılmıştır. Mersin İli Toplu Taşıma Daire Başkanlığı ile yapılan görüşmeler sonucunda her otobüsün her hatta kullanılabildiği bilgisi edinilmiştir. Bu sebeple otobüslerin kapasitelerinin ortalaması alınmıştır. Ancak MERCEDES (T302) V-6, BMC PROBÜS (9 MT), IVECO, FIAT sadece Çarşı olarak adlandırılan alanda hizmet verdiği ve çalışmanın örneklemini oluşturan 14 hatta kullanılmadığı için otobüs kapasitesi hesaplanırken bu otobüs türleri ortalamaya dahil edilmemiştir. Bu hesaplama göre ise bir otobüsün kapasitesi ortalama 109 kişi olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın örnekleme seçilen tüm hatlar için simülasyon modeli sonuçları EKLER bölümünde verilmiştir. Bu çerçevede, devam eden bölümde her bir hat için simülasyon analizi sonuçlarından bahsedilmiştir. Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi sefer aralığı sefer sıklığının tersidir. Çalışma kapsamında geliştirilen senaryolar sefer aralıklarına göre oluşturulmuştur. Bu sebeple sonuçlar da sefer aralıkları şeklinde sunulmuştur. Buna ek olarak,

sonuçlar kısmında normal zaman ile kast edilen yolcuların yoğun olarak gelmediği zamanlardır. Yoğun zaman ile kast edilen ise yolcu gelişlerinin yoğun (peak) olduğu zamanlardır.

4.7.1. 10M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

10M hattı günde toplam 1080 dakika çalışmaktadır. Bu sürenin 690 dakikası normal zaman, 390 dakikası ise yoğun zamandır. Bu sebeple normal zaman simülasyon modelleri 690 dakika çalıştırılmış iken, yoğun zaman simülasyon modelleri 390 dakika çalıştırılmıştır. 10M hattının mevcut sefer aralığı süresi 30 dakikadır. Gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 69,34 dakika, dönüş otobüsü ortalama sefer süresi 61,58 dakikadır. Buna göre 10M hattının normal zamanları için geliştirilen senaryolar şunlardır:

Senaryo 1: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 2: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 3: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 4: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 5: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 40 dakika

Ek 1’de 10M hattı normal zaman simülasyon modeli detaylı sonuçları sunulmuştur. Hattın mevcut durumunu senaryo 3 yansıtmaktadır. Senaryo 3’e göre, gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,68 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 14,70 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,29 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,55 dakikadır. Yolcuların ortalama sistemde geçirdikleri süre seyahat süresi ile bekleme süresinin toplamıdır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 26,98 dakika, dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre ise 30,26 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 1353 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı ise 1322’dir. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 9,92 kişidir ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 15,03 kişidir. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı ise %9,10’dur ve gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısının ortalama otobüs kapasitesi olan 109’a bölümü ile elde edilmiştir. Aynı hesaplama dönüş otobüsleri için de yapılmıştır ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı ise %13,79 olarak hesaplanmıştır.

Senaryo 1’e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,70 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,90 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,05 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,11’dir. Senaryo 2’ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,06 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,20 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,71 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %11,20’dir. Senaryo 4’e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,63 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,70 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,59 iken dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,02’dir. Sefer

aralığının 40 dakika olduğu senaryo 5'e göre ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,98 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,05 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş yönünde %11,81'dir ve dönüş yönünde %17,90'dır.

10M hattı yoğun zamanlar için de 5 senaryo uygulanmıştır. Bunlar;

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 40 dakika

Ek 2'de 10M hattı yoğun zaman simülasyon modeli detaylı sonuçları gösterilmiştir. Senaryo 8 yoğun zamanlarda mevcut durumu yansıtmaktadır. Buna göre, gidiş yolcusunun ortalama seyahat süresi 10,69 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama seyahat süresi 14,65 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,09 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi ise 15,66 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 26,78 ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 30,31 dakikadır. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 22,58 kişidir ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 26,82 kişidir. Elde edilen bu bilgiler ile yapılan hesaplamalara göre, gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı % 20,71'dir ve dönüş otobüsündeki kapasite kullanım oranı %24,60'dır.

Sefer aralığının 20 dakika olarak belirlendiği Senaryo 6'da gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,61 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi ise 11,06 dakikadır. Günlük hizmet verilen gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 1635 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı ise 1256'dır. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %13,68 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,08'dir. Senaryo 7'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,78 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,35 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %17,74 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %19,44'tür. Senaryo 9'a göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,32 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,65 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %22,98 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %26,81'dir. Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 10'a göre ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,65 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,96 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş yönünde %25,51 ve dönüş yönünde %29,75'tir.

4.7.2. 11M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

11M hattının mevcut kullanılan sefer aralığı 30 dakikadır. 11M hattı vatandaşlara 24 saat hizmet vermektedir. Tablo 4.14. e göre normal zaman yolcu gelişi 1140 dakikadan oluşurken, yolcuların yoğun geldiği süre 300 dakikadır. Gidiş otobüsü ortalama sefer süresi

89,03 dakikadır ve dönüş otobüsü ortalama sefer süresi 83,85 dakikadır. Otobüslerin sefer süresi her bir senaryo için sabittir. 11M hattı normal zamanları için geliştirilen senaryolar şunlardır;

Senaryo 1: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 2: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 3: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 4: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 5: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 40 dakika

Tüm senaryolar için 11M hattı normal zaman simülasyon modeli detaylı sonuçları Ek 3'te sunulmuştur. 30 dakika sefer aralığında, gidiş yolcusu ortalama sefer süresi 14,29 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama sefer süresi 14 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,47 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,4 dakikadır. Bu bilgilere göre, gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 30,77 dakika iken, dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 30,41 dakikadır. Günde 1140 dakika boyunca hizmet verilen bu hatta ortalama gidiş yolcusu sayısı 1724 ve ortalama dönüş yolcusu sayısı ise 1810'dur. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı % 7,05 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı % 7,70'tir.

Sefer aralığının 20 dakika olduğu senaryo 1'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,98 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,73 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 1729 kişi iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 1814 kişidir. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,79 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,25'tir. Senaryo 2'ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,31 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 14 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,90 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,46'dır. Senaryo 4'te ise sefer aralığı 35 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,87 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,61 dakikadır. Kapasite kullanım oranı ise gidiş otobüsü için %8,17 ve dönüş otobüsü için %8,92'dir. Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 5'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,23 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,97 dakikadır. Aynı senaryo da gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,34 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,21'dir.

Yoğun zamanlar için oluşturulan senaryolar şunlardır;

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 40 dakika

Senaryo 8'e göre, gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 13,8 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 13,33 dakikadır. Ayrıca gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,48 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,52 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 32,29 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 30,85 dakikadır. Senaryo 8'e göre günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 1032 ve ortalama dönüş yolcusu sayısı ise 1251'dir. Yapılan hesaplamalara göre, gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 20'dir. Dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 24,86'dır. Bu verilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı % 20 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı % 24,86'dır.

Senaryo 6'ya göre sefer aralığı 20 dakika olduğunda gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,48 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,2 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 1039 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 1265'tir. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı ise %13,39 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,77'dir. Senaryo 7'ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,38 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,48 dakikadır. Modelden elde edilen sonuçlara ve yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,09 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %20,21'dir. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 9'a göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,5 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,52 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %20,73 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %25,77'dir. Son olarak senaryo 10'a göre sefer aralığı 40 dakika olduğunda gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 22,67 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,65 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı ise %23,78 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %29,76'dır.

4.7.3. 12M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

12M hattının mevcut sefer aralığı 30 dakikadır. Toplu Taşıma Daire Başkanlığı tarafından yolcu gelişleri normal olduğu zaman ve yoğun olduğu zaman için herhangi bir ayırım yapılmamaktadır. Geliştirilen simülasyon modeli sonuçlarına göre her bir senaryo için gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 87,38 dakikadır ve dönüş otobüsü ortalama sefer süresi 85,05 dakikadır. 12M hattı normal zamanlar için geliştirilen senaryolar aşağıdaki gibidir.

Senaryo 1: Yolcu gelişleri normal, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 2: Yolcu gelişleri normal, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 3: Yolcu gelişleri normal, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 4: Yolcu gelişleri normal, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 5: Yolcu gelişleri normal, sefer aralığı 40 dakika

Senaryo 3, 12M hattının mevcut durumunu yansıtmaktadır. Ek 5'te 12M hattının normal zaman simülasyon modeli sonuçlarına bakıldığında, senaryo 3'te gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 11,64 dakika, dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 13,3 dakikadır. Ayrıca gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,52 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,9 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 29,17 dakika, dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre ise 30,2 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 1231 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 1402'dir. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 8,20 kişidir ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 10,96'dır. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,52 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,06'dır.

Ek 5'te diğer senaryolara bakıldığında sefer aralığının 20 dakika olduğu senaryo 1'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,14 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,35 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,21, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,97'dir. Senaryo 2'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,39 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,51 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı ise %6,57, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,77'dir. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 4'te gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,9 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,15 dakikadır. Aynı senaryoda gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,77, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %11,74'tür. Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 5'te ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,93 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,45 dakikadır. Kapasite kullanım oranı ise gidiş otobüsü için %9,93 iken, dönüş otobüsü için %13,23'tür. İşletimciler açısından değerlendirildiğinde kapasite kullanım oranı en yüksek olan senaryo 5'teki sefer aralığının uygulanması gerekmektedir. Ancak müşteri memnuniyetinin en önemli göstergesi olan bekleme süreleri açısından en uygun senaryo, sefer aralığının 20 dakika olduğu senaryo 1'dir.

12M hattının yoğun zamanları için oluşturulan senaryolar ise şunlardır:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 40 dakika

Ek 6'da 12M hattının yoğun zaman senaryolarının simülasyon modeli sonuçları sunulmuştur. Mevcut sefer aralığını yansıtan senaryo 7'ye göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 11,79 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 11,77 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,4 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 17,74 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 31,19 dakika, dönüş yolcusu

ortalama seyahat süresi 29,52 dakikadır. Sefer aralığının 25 dakika olduğu yoğun zamanlarda günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 654 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 736'dır. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 22,06 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 25,46'dır. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %20,24 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %23,36'dır.

Yoğun zaman sefer aralığının 20 dakika olduğu senaryo 6'ya göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,56 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,02 dakikadır. Kapasite kullanım oranları ise gidiş otobüsü için %16,62'dir ve dönüş otobüsü için %18,83'tür. Sefer aralığının 30 dakika olduğu senaryo 8'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,21 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,51 dakikadır. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 21,90 iken, dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 25,36'dır. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %20,09'dur ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %23,26'dır. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 9'a göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 22,92 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,37 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 28,22'dir ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 32,23'tür. Bu bilgiler altında gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %25,89 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %29,56'dır. Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 10'da gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 24,41 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,22 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen verilerle yapılan hesaplamalar sonrası gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 28,23 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 31,95 bulunmuştur. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %25,90 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %29,31'dir.

4.7.4. 15M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

15M hattının mevcut sefer aralığı 45 dakikadır. Sefer aralıkları yolcu gelişlerinin normal ve yoğun olmasına bakılmaksızın sabittir. 15M hattı gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 52 dakikadır. Dönüş otobüsü ortalama sefer süresi ise 56,73 dakikadır ve her senaryo için sabittir. 15M hattı normal zamanları için geliştirilen senaryolar şunlardır:

Senaryo 1: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 2: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 40 dakika

Senaryo 3: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 45 dakika

Senaryo 4: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 50 dakika

Senaryo 5: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 55 dakika

Ek 7'de 15M hattı normal zaman simülasyon modeli sonuçları gösterilmiştir. Senaryo 3 ile 15M hattının mevcut durumu incelendiğinde gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 11,95 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,97 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama

bekleme süresi 22,71 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,06 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 34,66 dakika, dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 34,04 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı ise 545 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 637'dir. Formüller ile yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 7,83 kişi ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 7,70 kişi olarak hesaplanmıştır. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,18 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,06'dır.

Senaryo 1'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,46 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,27 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 545 kişidir. Günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı ise 640 kişidir. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,77 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,70'tir. Senaryo 2'ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,57 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,46 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,77 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,70'dir. Senaryo 4'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 25,11 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 24,65 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,20 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,07'dir. Sefer aralığının 55 dakika olduğu senaryo 5'e göre ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 27,33 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 27,11 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş yönünde %8,74 ve dönüş yönünde %8,61'dir.

15 M hattı yoğun zaman senaryoları şunlardır:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 40 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 45 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 50 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 55 dakika

Yoğun zaman simülasyon modeli sonuçları Ek 8'de sunulmuştur. Hattın mevcut durumunu yansıtan senaryo 8'de gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 11,72 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,28 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,43 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,21 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 33,15 dakika, dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 31,5 dakikadır. Yoğun saatlerde gidiş otobüsü ve dönüş otobüsü sefer sayısı 3'tür çünkü hattın yoğun olduğu saatler toplamda iki buçuk saattir yani 150 dakikadır. Bu süre zarfında günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 137 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 141'dir. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,44 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,81'dir.

Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 6'ya göre, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,32 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,27'dir. Ayrıca günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 140 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 142'dir. Bu verilerle yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,46 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,62'dir. Senaryo 7'ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,48 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,31 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen sonuçlara ve yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,43 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,67'dir. Senaryo 9'da, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,49 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,04 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,27 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %11,08'dir. Senaryo 10'da ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 25,46 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 25,14 dakikadır. Yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %13,34 olarak belirlenirken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,46 olarak belirlenmiştir.

4.7.5. 18M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

18M hattının mevcut sefer aralığı gidiş yönünde ve dönüş yönünde farklılaşmaktadır. Toplu Taşıma Daire Başkanlığı ile yapılan görüşmeler sonucunda yolcu gelişlerinin normal olduğu zamanlarda ve yoğun olduğu zamanlarda farklı sefer aralıkları uygulandığı bilgisine ulaşılmıştır. Sefer aralıkları 20-25-30-35-40 dakika olarak günün farklı saatlerinde farklı olarak uygulanmaktadır. Buna göre geliştirilen senaryolar bu farklı sefer aralıklarına göre belirlenmiştir. Geliştirilen simülasyon modeli sonuçlarına göre her bir senaryo için gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 45,6 dakika ve dönüş otobüsü ortalama sefer süresi 52,97 dakikadır. 18M hattı normal zamanlar için geliştirilen senaryolar aşağıdaki gibidir.

Senaryo 1: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 2: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 3: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 4: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 5: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 40 dakika

Ek 9'da 18M hattı normal zaman simülasyon modeli sonuçları gösterilmiştir. Senaryo 1 incelendiğinde gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,79 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 12,96 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,93 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,35 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 20,73 dakika, dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 24,32 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı ise 832 ve günlük hizmet verilen

ortalama dönüş yolcusu sayısı 628'dir. Formüller ile yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,1 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,06'dır.

Senaryo 2'ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,17 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,47 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,24 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,38'dir. Senaryo 3'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,37 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,36 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,36'dır. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 4'e göre ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,9 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,14 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş yönünde %8,51 ve dönüş yönünde %7,35'dir. Senaryo 5'te ise sefer aralığı 40 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,04 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,14 dakikadır. Kapasite kullanım oranı ise gidiş otobüsünde %9,58 ve dönüş otobüsünde %8,71'dir.

18M hattı yoğun zamanlar için geliştirilen senaryolar şu şekildedir:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 40 dakika

Ek 10'da 18M hattının yoğun zaman senaryolarının simülasyon modeli sonuçları sunulmuştur. Senaryo 6'ya göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,02 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 13,02 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,31 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 11,99 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 20,34 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 25,19 dakikadır. Sefer aralığının 20 dakika olduğu yoğun zamanlarda günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 616 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 400'dir. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 13,54 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 10,92'dir. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %12,42 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,02'dir.

Yoğun zaman sefer aralığının 25 dakika olduğu senaryo 7'ye göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 8,97 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 13,17 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,41 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,8 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 22,39 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 26,97 dakikadır. Günlük hizmet verilen gidiş yolcusu sayısı 602 ve günlük hizmet verilen dönüş yolcusu sayısı 398'dir. Bu bilgilerle yapılan hesaplamalara göre kapasite kullanım oranları gidiş otobüsü için %15,52 ve dönüş

otobüsü için %12,97'dir. Sefer aralığının 30 dakika olduğu senaryo 8'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,5 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,24 dakikadır. Günlük hizmet verilen gidiş yolcusu sayısı 588 iken, gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 19,43'tür. Günlük hizmet verilen dönüş yolcusu sayısı 394 iken, dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 16,29'dur. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %17,82 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,94'tür. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 9'a göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,81 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,23 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 22,73 iken, dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 19 kişidir. Bu bilgiler altında gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %20,85 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %17,43'tür. Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 10'da gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,56 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,04 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen verilerle yapılan hesaplamalar sonrası gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 23,76 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 23,90 bulunmuştur. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %21,80 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %21,92'dir.

4.7.6.20M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

20M hattının mevcut sefer aralığı 60 dakikadır. 20M hattı gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 41,56 dakikadır. Dönüş otobüsü ortalama sefer süresi ise 41,97 dakikadır ve her senaryo için sabittir. 20M hattı normal zamanları için geliştirilen senaryolar şunlardır:

Senaryo 1: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 50 dakika

Senaryo 2: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 55 dakika

Senaryo 3: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 60 dakika

Senaryo 4: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 65 dakika

Senaryo 5: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 70 dakika

Ek 11'de 20M hattı normal zaman simülasyon modeli sonuçları gösterilmiştir. Senaryo 3 ile 20M hattının mevcut durumu incelendiğinde gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,94 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,79 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 28,59 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 28,25 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 38,53 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 39,05 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı ise 344 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 397'dir. Formüller ile yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 6,86 kişi ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 8,21 olarak belirlenmiştir. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,29 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,80'dir.

Senaryo 1'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 24,97 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,53 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 349 kişi, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı ise 399 kişidir. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,44 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,68'dir. Senaryo 2'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 26,83 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 25,85 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,81 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,20'dir. Senaryo 4'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 31,22 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 30,34 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,74 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,41'dir. Sefer aralığının 70 dakika olduğu senaryo 5'e göre ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 32,74 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 32,19 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş yönünde %7,49 ve dönüş yönünde %9,17'dir.

20M hattı yoğun zaman senaryoları şunlardır:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 50 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 55 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 60 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 65 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 70 dakika

Yoğun zaman simülasyon modeli sonuçları Ek 12'de sunulmuştur. Hattın mevcut durumunu yansıtan senaryo 8'de gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 8,72 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,79 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 25,78 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,63 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 34,5 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 34,43 dakikadır. Yoğun saatlerde gidiş otobüsü ve dönüş otobüsü sefer sayısı 2'dir çünkü hattın yoğun olduğu saatler toplamda iki saattir yani 120 dakikadır. Bu süre zarfında günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 90 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 163'tür. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,66 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %19,22'dir.

Sefer aralığının 50 dakika olduğu senaryo 6'ya göre, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,42 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,78'dir. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 101 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 173'tür. Bu verilerle yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,53 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %19,02'dir. Senaryo 7'ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 24,68 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 22,06 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen sonuçlara ve yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü

kapasite kullanım oranı %8,42 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %18,47'dir. Senaryo 9'da ise sefer aralığı 65 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 26,79 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 25,22 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,04, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %20,27'dir. Senaryo 10'da ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 28,14 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 27,13 dakikadır. Yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,34 olarak belirlenirken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %21,35 olarak belirlenmiştir.

4.7.7.26M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

26M hattının mevcut sefer aralığı 20 dakikadır. Geliştirilen simülasyon modeli sonuçlarına göre her bir senaryo için gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 85,4 dakikadır ve dönüş otobüsü ortalama sefer süresi 90,52 dakikadır. 26M hattı normal zamanlar için geliştirilen senaryolar aşağıdaki gibidir.

Senaryo 1: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 10 dakika

Senaryo 2: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 15 dakika

Senaryo 3: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 4: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 5: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 3, 26M hattının mevcut durumunu yansıtmaktadır. Ek 13'te 26M hattının normal zaman simülasyon modeli sonuçlarına bakıldığında, sefer aralığının 20 dakika olduğu senaryo 3'te gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 13,98 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 16,77 dakikadır. Ayrıca gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,19 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,16 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 26,18 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre ise 28,93 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 2025 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 2151'dir. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 7,21 kişi ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 8,86'dır. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,61 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,12'dir.

Senaryo 1'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 7,56 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 7,51 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,36 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,09'dur. Senaryo 2'de ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 9,91 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 9,88 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,11'dir. Sefer aralığının 25 dakika olduğu senaryo 4'te gidiş ve dönüş yolcularının ortalama bekleme süresi

eşit ve 14,4 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,21 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,13'tür. Sefer aralığının 30 dakika olduğu senaryo 5'te ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,88 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,79 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı ise %9,78 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %12,13'tür. İşletimciler açısından değerlendirildiğinde kapasite kullanım oranı en yüksek olan senaryo 5'teki sefer aralığının uygulanması gerekmektedir. Ancak müşteri memnuniyetinin en önemli göstergesi olan bekleme süreleri açısından en uygun senaryo, sefer aralığının 10 dakika olduğu senaryo 1'dir.

26M hattının yoğun zamanları için oluşturulan senaryolar ise şunlardır:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 10 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 15 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 30 dakika

Ek 14'te 26M hattının yoğun zaman senaryolarının simülasyon modeli sonuçları sunulmuştur. Mevcut sefer aralığını yansıtan senaryo 8'e göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 13,45 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 15,19 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,63 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 29,08 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 31,2 dakikadır. Sefer aralığının 20 dakika olduğu yoğun zamanlarda günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 896 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 885'tir. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 20,16 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 24,75'tir. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %18,49 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %22,71'dir.

Senaryo 6'ya göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,76 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,1 dakikadır. Ek 14'teki sonuçlara göre günlük hizmet verilen gidiş yolcusu sayısı 921 ve günlük hizmet verilen dönüş yolcusu sayısı 903'tür. Bu bilgilerle yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 11,17 iken, dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 12,64'tür. Kapasite kullanım oranları ise gidiş otobüsü için %10,24 ve dönüş otobüsü için %11,60'tır. Sefer aralığının 15 dakika olduğu senaryo 7'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,79 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,09 dakikadır. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 15,88 iken, dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 18,72'dir. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,57 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %17,17'dir. Sefer aralığının 25 dakika olduğu senaryo 9'a göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,41 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,81 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki

ortalama yolcu sayısı 28,15 iken, dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 29,17'dir. Bu bilgiler altında gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %25,83 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %26,76'dır. Sefer aralığının 30 dakika olduğu senaryo 10'da gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,34 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,81 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen verilerle yapılan hesaplamalar sonrası gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 27,74 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 36,23 olarak bulunmuştur. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %25,45 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %33,24'tür.

4.7.8.28M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

28M hattının mevcut sefer aralığı 10 ve 15 dakikadır. Sefer aralıkları yolcu gelişlerinin normal ve yoğun olmasına göre farklılaşmaktadır. 28M hattı en uzun ve yolcu yoğunluğunun en fazla olduğu hattır. 28M hattı gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 101,58 dakikadır. Dönüş otobüsü ortalama sefer süresi ise 102,73 dakikadır ve her senaryo için sabittir. 28M hattı normal zamanları için geliştirilen senaryolar şunlardır:

Senaryo 1: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 5 dakika

Senaryo 2: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 10 dakika

Senaryo 3: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 15 dakika

Senaryo 4: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 5: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 25 dakika

Ek 15'te 28M hattı normal zaman simülasyon modeli sonuçları gösterilmiştir. Senaryo 2 ve senaryo 3, 28M hattının mevcut durumunu göstermektedir. Senaryo 2 incelendiğinde, gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 14,11 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 14,02 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 6,77 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 6,89 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 20,89 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 20,91 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı ise 5411 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 5157'dir. Formüller ile yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 7,91 kişi ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 7,55 kişi olarak hesaplanmıştır. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,26 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,93'tür. Senaryo 3'e göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 14,11 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 14,02 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 9,12 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 9,24 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 23,23 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 23,27 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 5400 kişidir. Günlük

hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı ise 5244 kişidir. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,75 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,26'dır.

Senaryo 1'in sonuçlarına göre, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 4,41 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 4,52 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,64 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,47'dir. Senaryo 4'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,49 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,62 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,87 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,29'dur. Sefer aralığının 25 dakika olduğu senaryo 5'e göre ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,84 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,92 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş yönünde %18,04 ve dönüş yönünde %17,22'dir.

28M hattı yoğun zaman senaryoları şunlardır:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 5 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 10 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 15 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 25 dakika

Yoğun zaman simülasyon modeli sonuçları Ek 16'da sunulmuştur. Senaryo 7 ve senaryo 8 hattın mevcut durumunu yansıtmaktadır. Hattın mevcut durumunu yansıtan senaryo 7'de gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 12,6 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 13,15 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 6,25 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 5,99 dakikadır. Buna göre gidiş yolcunun ortalama sistemde geçirdiği süre 18,85 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 19,14 dakikadır. Yoğun saatlerde gidiş otobüsü ve dönüş otobüsü sefer sayısı 11'dir çünkü hattın yoğun olduğu saatler toplamda 270 dakikadır. Bu süre zarfında günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 2304 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 2388'dir. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %23,84 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %25,49'dur.

Sefer aralığının 15 dakika olduğu senaryo 8'e göre, gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 12,6 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 13,14 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 8,66 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 8,42 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 21,26 dakika ve dönüş yolcusunun sistemde geçirdiği ortalama süre ise 24,56 dakikadır. Ayrıca günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 2279 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 2354'tür. Bu verilerle yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %32,42 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %34,53'tür.

Senaryo 6'ya göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 3,86 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 3,57 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen sonuçlara ve yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %12,08 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %12,85'tir. Senaryo 9'da ise sefer aralığı 20 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,05 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,82 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %42,47 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %45,03'tür. Senaryo 10'da ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,42 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,20 dakikadır. Yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %50,16 olarak belirlenirken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %53,94 olarak belirlenmiştir.

4.7.9. 29M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

29M hattının mevcut sefer aralığı 30 dakikadır. Toplu Taşıma Daire Başkanlığı tarafından yolcu gelişleri normal olduğu zaman ve yoğun olduğu zaman için herhangi bir ayırım yapılmamaktadır. Geliştirilen simülasyon modeli sonuçlarına göre her bir senaryo için gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 57,94 dakikadır ve dönüş otobüsü ortalama sefer süresi 58,54 dakikadır. 29M hattı normal zamanlar için geliştirilen senaryolar aşağıdaki gibidir.

Senaryo 1: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 2: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 3: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 4: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 5: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 40 dakika

29M hattının mevcut durumunu senaryo 3 yansıtmaktadır. Ek 17'de 29M hattının normal zaman simülasyon modeli sonuçlarına bakıldığında, sefer aralığının 30 dakika olduğu senaryo 3'te gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,30 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,32 dakikadır. Ayrıca gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,47 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,48 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 25,79 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre ise 25,8 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 1726 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 1495'tir. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 7,87 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 7,21. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,22 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,61'dir.

Ek 17'de diğer senaryolara bakıldığında sefer aralığının 20 dakika olduğu senaryo 1'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,66 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,77 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,87 ve dönüş otobüsü kapasite

kullanım oranı %4,46'dır. Senaryo 2'de ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,16 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,09 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,13 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,60'dır. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 4'te gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,85 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,95 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,50 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,77'dir. Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 5'te ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,18 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,21 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,66 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,83'tür.

29M hattının yoğun zamanları için oluşturulan senaryolar ise şunlardır:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 40 dakika

Ek 18'de 29M hattının yoğun zaman senaryolarının simülasyon modeli sonuçları sunulmuştur. Mevcut sefer aralığını yansıtan senaryo 8'e göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,01 dakikadır ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,09 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,31 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,57 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama sistemde geçirdiği süre 26,33 dakika ve dönüş yolcusu ortalama sistemde geçirdiği süre 26,66 dakikadır. Sefer aralığının 30 dakika olduğu yoğun zamanlarda günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 565 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 541'dir. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 19,52 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 18,65'tir. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %17,91 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %17,11'dir.

Yoğun zaman sefer aralığının 20 dakika olduğu senaryo 6'ya göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,32 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,58 dakikadır. Ek 18'deki sonuçlara göre günlük hizmet verilen gidiş yolcusu sayısı 575 ve günlük hizmet verilen dönüş yolcusu sayısı 546'dır. Bu bilgilerle yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 14,22 iken, dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 13,35'tir. Kapasite kullanım oranları ise gidiş otobüsü için %13,05 ve dönüş otobüsü için %12,25'tir. Sefer aralığının 25 dakika olduğu senaryo 7'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,33 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,55 dakikadır. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 19,52 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 18,60'dır. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %17,91'dir ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %17,07'dir. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 9'a göre gidiş yolcusu ortalama bekleme

süresi 18,39 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,34 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 23,41 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 22,01'dir. Bu bilgiler altında gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %21,48 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %20,20'dir. Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 10'da gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,21 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,34 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen verilerle yapılan hesaplamalar sonrası gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 23,34 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 22,16 olarak bulunmuştur. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %21,41 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %20,33'tür.

4.7.10. 30M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

30M hattının mevcut sefer aralığı 15 ve 20 dakikadır. Sefer aralıkları yolcu gelişlerinin normal ve yoğun olmasına göre farklılaşmaktadır. 30M hattı gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 40,96 dakikadır. Dönüş otobüsü ortalama sefer süresi ise 36,55 dakikadır ve her senaryo için sabittir. 30M hattı normal zamanları için geliştirilen senaryolar şunlardır:

Senaryo 1: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 10 dakika

Senaryo 2: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 15 dakika

Senaryo 3: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 4: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 5: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 30 dakika

Ek 19'da 30M hattı normal zaman simülasyon modeli sonuçları gösterilmiştir. Senaryo 2 ve senaryo 3, 30M hattının mevcut durumunu göstermektedir. Senaryo 2'ye bakıldığında, gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 7,08 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,34 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 7,95 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 7,69 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 15,03 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 17,03 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı ise 1268 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 1396'dır. Formüller ile yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 3,91 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 6,37 olarak hesaplanmıştır. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,59 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,84'tür. Senaryo 3'e göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 7,09 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,34 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,39 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,09 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 17,48 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 19,43 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 1258 kişi ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı ise 1389 kişidir. Yapılan hesaplamalara göre gidiş

otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 5,18 kişi ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 8,45 kişidir. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,76 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,75'tir.

Senaryo 1'in sonuçlarına göre, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 5,27 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 5,56 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %2,43 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,91'dir. Senaryo 4'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,68 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,64 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,89 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,57'dir. Sefer aralığının 30 dakika olduğu senaryo 5'e göre ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,24 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,8 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş yönünde %7,08 ve dönüş yönünde %11,57'dir.

30M hattı yoğun zaman senaryoları şunlardır:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 10 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 15 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 30 dakika

Yoğun zaman simülasyon modeli sonuçları Ek 20'de sunulmuştur. Senaryo 7 ve senaryo 8 hattın mevcut durumunu yansıtmaktadır. Hattın mevcut durumunu yansıtan senaryo 7'de gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 7,03 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,42 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 8,14 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 8,02 dakikadır. Buna göre gidiş yolcunun ortalama sistemde geçirdiği süre 15,18 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 17,44 dakikadır. Yoğun saatlerde gidiş otobüsü ve dönüş otobüsü sefer sayısı 16'dır çünkü hattın yoğun olduğu saatler toplamda dört buçuk saattir yani 270 dakikadır. Bu süre zarfında günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 857 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 682'dir. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 9,19 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 10,99'dur. Buna ek olarak gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,43 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,08'dir.

Sefer aralığının 20 dakika olduğu senaryo 8'e göre, gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 7,03 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,44 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,43 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,22'dir. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 17,47 dakika, dönüş yolcusunun sistemde geçirdiği ortalama süre ise 19,66 dakikadır. Ayrıca günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 840 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 673'tür. Bu verilerle

yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %11,02 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %13,29'dur.

Senaryo 6'ya göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 5,9 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 5,57 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen sonuçlara ve yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,87 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,80'dir. Senaryo 9'da ise sefer aralığı 25 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,86 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,54 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %13,26 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %15,83'tür. Senaryo 10'da ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,1 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,85 dakikadır. Yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,26 olarak belirlenirken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %19,53 olarak belirlenmiştir.

4.7.11. 32M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

32M hattının mevcut sefer aralığı gidiş yönünde ve dönüş yönünde farklılaşmaktadır. Sefer aralıkları 20 ve 30 dakika olarak günün saatlerine göre değişmektedir. Buna göre geliştirilen senaryolar bu farklı sefer aralıklarına göre belirlenmiştir. Geliştirilen simülasyon modeli sonuçlarına göre her bir senaryo için gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 48,93 dakika ve dönüş otobüsü ortalama sefer süresi 48,1 dakikadır. 32M hattı normal zamanlar için geliştirilen senaryolar aşağıdaki gibidir.

Senaryo 1: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 2: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 3: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 4: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 5: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 40 dakika

Ek 21'de 32M hattı normal zaman simülasyon modeli sonuçları gösterilmiştir. Senaryo 1 incelendiğinde gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 12,08 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,86 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,47 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,06 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 23,47 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 21,93 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı ise 678 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 629'dur. Formüller ile yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,65 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,95'dir.

Senaryo 3'e göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 11,98 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,85 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,05 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,59 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun sistemde

geçirdiği ortalama süre 28,04 dakika ve dönüş yolcusunun sistemde geçirdiği ortalama süre 26,44 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 673 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 624'tür. Hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,87 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,87'dir.

Senaryo 2'ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,7 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,25 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,87 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,01'dir. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 4'e göre ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,11 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,82 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş yönünde %7,97 ve dönüş yönünde %6,74'tür. Senaryo 5'te ise sefer aralığı 40 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,63 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,72 dakikadır. Kapasite kullanım oranı ise gidiş otobüsünde %8,01 ve dönüş otobüsünde %8,40'tır.

32M hattı yoğun zamanlar için geliştirilen senaryolar şu şekildedir:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 40 dakika

Ek 22'de 32M hattının yoğun zaman senaryolarının simülasyon modeli sonuçları sunulmuştur. Senaryo 6'ya göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,97 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,67 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,37 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,79 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama sistemde geçirdiği süre 22,35 dakika ve dönüş yolcusu ortalama sistemde geçirdiği süre 22,46 dakikadır. Sefer aralığının 20 dakika olduğu yoğun zamanlarda günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 437 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 372'dir. Yapılan hesaplamalar sonucunda gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 9,89 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 9,17'dir. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,08 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,41'dir.

Yoğun zaman sefer aralığının 30 dakika olduğu senaryo 8'e göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,87 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,64 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,28 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,97 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 26,15 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 26,62 dakikadır. Ek 22'deki sonuçlara göre günlük hizmet verilen gidiş yolcusu sayısı 428 ve günlük hizmet verilen dönüş yolcusu sayısı

362'dir. Bu bilgilerle yapılan hesaplamalara göre kapasite kullanım oranları gidiş otobüsü için %13,20 ve dönüş otobüsü için %12,24'tür.

Sefer aralığının 25 dakika olduğu senaryo 7'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,07 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,68 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %11,41 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,64'tür. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 9'a göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,28 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,66 dakikadır. Buna ek olarak, gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %15,53 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,54'tür. Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 10'da gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,35 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,55 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %15,61 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,56'dır.

4.7.12. 33M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

33M hattının mevcut sefer aralığı 40 ve 50 dakikadır. 33M hattı gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 55,67 dakikadır ve dönüş otobüsü ortalama sefer süresi ise 55,09 dakika ve her senaryo için sabittir. 33M hattı normal zamanları için geliştirilen senaryolar şunlardır:

Senaryo 1: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 2: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 3: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 40 dakika

Senaryo 4: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 45 dakika

Senaryo 5: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 50 dakika

Ek 23'te 33M hattı normal zaman simülasyon modeli sonuçları gösterilmiştir. Senaryo 3 ve senaryo 5 ile 33M hattının mevcut durumu gösterilmiştir. Senaryo 3'e göre, gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,3 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,39 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,61 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,53 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 29,91 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 30,93 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı ise 746 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 770'dir. Formüller ile yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 4,98 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 5,81 olarak hesaplanmıştır. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,57 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,33'tür.

Senaryo 5'e göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,31 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 10,41 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 24,76 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 25,03 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 34,08 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 35,44 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 742 kişi ve günlük

hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı ise 767 kişidir. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,69 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,65'dir.

Senaryo 1'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,96 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,72 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,40 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,95'tir. Senaryo 2'ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,24 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,78 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,96 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,62'dir. Sefer aralığının 45 dakika olduğu senaryo 4'e göre ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 22,9 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 22,62 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş yönünde %4,99 ve dönüş yönünde %5,81'dir.

33M hattı yoğun zaman senaryoları şunlardır:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 40 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 45 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 50 dakika

Yoğun zaman simülasyon modeli sonuçları Ek 24'te sunulmuştur. Hattın mevcut durumunu senaryo 8 yansıtmaktadır. Senaryo 8'de gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 8,42 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,66 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,63 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,17 dakikadır. Buna göre gidiş yolcunun ortalama sistemde geçirdiği süre 29,05 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 29,83 dakikadır. Yoğun saatlerde gidiş otobüsü ve dönüş otobüsü sefer sayısı 6'dır çünkü hattın yoğun olduğu saatler toplamda dört buçuk saattir yani 270 dakikadır. Bu süre zarfında günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 511 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 501'dir. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %11,82 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %13,43'tür.

Senaryo 6'ya göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,33 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,06 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen sonuçlara ve yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,03 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,04'tür. Senaryo 7'de ise sefer aralığı 35 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,2 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,96 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,36 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %11,75'tir. Senaryo 9'da ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 22,39 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 22,09 dakikadır. Yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %13,81 olarak belirlenirken, dönüş otobüsü kapasite kullanım

oranı %16,25 olarak belirlenmiştir. Sefer aralığının 50 dakika olduğu senaryo 10'a göre, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 24,55 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 24,24'tür ve yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,11 iken dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %15,81'dir.

4.7.13. 36M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

36M hattının mevcut sefer aralığı 30 dakikadır. Geliştirilen simülasyon modeli sonuçlarına göre her bir senaryo için gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 66,78 dakika ve dönüş otobüsü ortalama sefer süresi 65,76 dakikadır. 36M hattı normal zamanları için geliştirilen senaryolar aşağıdaki gibidir.

Senaryo 1: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 2: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 3: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 4: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 5: Yolcu gelişi normal, sefer aralığı 40 dakika

36M hattının mevcut durumunu senaryo 3 yansıtmaktadır. Ek 25'te 36M hattının normal zaman simülasyon modeli sonuçlarına bakıldığında, senaryo 3'te gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 8,79 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 12,47 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,7 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,14 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 25,49 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre ise 29,62 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 808 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 776'dır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 5,06 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 7,01'dir. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,65 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,43'tür.

Ek 25'de diğer senaryolara bakıldığında sefer aralığının 20 dakika olduğu senaryo 1'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,31 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,81 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,06 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,23'tür. Senaryo 2'de ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,54 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,93 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,92 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,42'dir. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 4'te gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,65 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,22 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,41 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,48'dir. Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 5'te ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,2 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme

süresi 21,53 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,07 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,30'dur.

36M hattının yoğun zamanları için oluşturulan senaryolar ise şunlardır:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 20 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 25 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 30 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 35 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 40 dakika

Ek 26'da 36M hattının yoğun zaman senaryolarının simülasyon modeli sonuçları sunulmuştur. Mevcut sefer aralığını yansıtan senaryo 8'e göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 8,69 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 12,33 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,16 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 16,98 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 24,85 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 29,31 dakikadır. Sefer aralığının 30 dakika olduğu yoğun zamanlarda günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 1086 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 880'dir. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 12,85 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 15'tir. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %11,79 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %13,76'dır.

Yoğun zaman sefer aralığının 20 dakika olduğu senaryo 6'ya göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,66 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,88 dakikadır. Ek 26'daki sonuçlara göre günlük hizmet verilen gidiş yolcusu sayısı 1101 ve günlük hizmet verilen dönüş yolcusu sayısı 886'dır. Bu bilgilerle yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 8,41 iken, dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 9,80'dir. Kapasite kullanım oranları ise gidiş otobüsü için %7,71 ve dönüş otobüsü için %8,99'dur. Sefer aralığının 25 dakika olduğu senaryo 7'de gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,98 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,98 dakikadır. Gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı ise 11,07 iken, dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 12,76'dır. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,16 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %11,70'tir. Sefer aralığının 35 dakika olduğu senaryo 9'a göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,32 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,42 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 14,17 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 16,29'dur. Bu bilgiler altında gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %13 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,95'tir. Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 10'da gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,53 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,23 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen verilerle yapılan hesaplamalar sonrası gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 15,51 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 18,27

olarak bulunmuştur. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,23 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,76'dır.

4.7.14. 44M Hattı Simülasyon Modeli Sonuçları

44M hattının mevcut sefer aralığı 60 dakikadır. Sefer aralıkları yolcu gelişlerinin normal ve yoğun olmasına bakılmaksızın sabittir. 44M hattı gidiş otobüsü ortalama sefer süresi 46,35 dakikadır. Dönüş otobüsü ortalama sefer süresi ise 43,52 dakika ve her senaryo için sabittir. 44M hattı normal zamanları için geliştirilen senaryolar şunlardır:

Senaryo 1: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 40 dakika

Senaryo 2: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 50 dakika

Senaryo 3: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 60 dakika

Senaryo 4: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 70 dakika

Senaryo 5: Yolcu geliş normal, sefer aralığı 80 dakika

Ek 27'de 44M hattı normal zaman simülasyon modeli sonuçları gösterilmiştir. Senaryo 3 ile 44M hattının mevcut durumu incelendiğinde gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 9,02 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 11,28 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 30,08 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 27,95 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 39,1 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 39,24 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı ise 402 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 365'tir. Formüller ile yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 6,02 ve dönüş otobüsündeki ortalama yolcu sayısı 7,28 olarak hesaplanmıştır. Buna göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,52 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,68'tir.

Senaryo 1'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,49 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,72 dakikadır. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 407 kişidir. Günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı ise 364 kişidir. Bu bilgilere göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,68 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,37'dir. Senaryo 2'ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 25,32 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 24,45 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,56 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,40'tır. Senaryo 4'e göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 33,88 dakika, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 33,02 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,59 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,93'tür. Sefer aralığının 80 dakika olduğu senaryo 5'e göre ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 37,35 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 37,44 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş yönünde %7,02 ve dönüş yönünde %8,41'dir.

44 M hattı yoğun zaman senaryoları şunlardır:

Senaryo 6: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 40 dakika

Senaryo 7: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 50 dakika

Senaryo 8: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 60 dakika

Senaryo 9: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 70 dakika

Senaryo 10: Yolcu gelişi yoğun, sefer aralığı 80 dakika

Yoğun zaman simülasyon modeli sonuçları Ek 28'de sunulmuştur. Hattın mevcut durumunu yansıtan senaryo 8'de gidiş yolcusu ortalama seyahat süresi 7,32 dakika ve dönüş yolcusu ortalama seyahat süresi 8,88 dakikadır. Gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 25,81 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,58 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 33,14 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama sistemde geçirdiği süre 32,46 dakikadır. Yoğun saatlerde gidiş otobüsü ve dönüş otobüsü sefer sayısı 1'dir çünkü hattın yoğun olduğu saatler toplamda bir buçuk saattir yani 90 dakikadır. Bu süre zarfında günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı 113 ve günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 115'tir. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,37 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %21,53'tür.

Sefer aralığının 40 dakika olduğu senaryo 6'ya göre, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,07 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,49'dur. Günlük hizmet verilen ortalama gidiş yolcusu sayısı ise 115 iken, günlük hizmet verilen ortalama dönüş yolcusu sayısı 111'dir. Bu verilerle yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,97 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %12,51'dir. Senaryo 7'ye göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,73 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,1 dakikadır. Simülasyon modelinden elde edilen sonuçlara ve yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %18,99 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %25,53'dür. Senaryo 9'da ise sefer aralığı 70 dakikadır. Buna göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 28,64 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,69 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,04 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %15,82'dir. Senaryo 10'da ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 24,53 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,35 dakikadır. Yapılan hesaplamalarla gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,56 olarak belirlenirken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %11,64 olarak belirlenmiştir.

Bütün hatlar simülasyon analizinden elde edilen verilere göre değerlendirildiğinde, sefer aralıkları arttıkça yolcuların bekleme sürelerinin artmakta olduğu görülmektedir. Genel olarak bekleme süresi literatürde belirtildiği gibi (Ceder & Israeli, 1997: 670) sefer aralığı süresinin yarısı kadardır. Yolcuların sistemde geçirdikleri ortalama süre yolcuların bekleme sürelerine paralel olarak artmaktadır. Çünkü sistemde geçirilen ortalama süre, seyahat süresi ile

bekleme süresinin toplamı kadardır. Ayrıca sefer aralıkları arttıkça otobüslerin kapasite kullanım oranları artmaktadır. Bunun sebebi ise sefer aralığı arttıkça otobüsün günlük sefer sayısı azalmaktadır ve bu doğrultuda bir seferde seyahat eden yolcu sayısı artmaktadır.

Simülasyon modelinden elde edilen saatlik yolcu sayıları ile mevcut verilere göre hesaplanan saatlik yolcu sayılarının karşılaştırılması Tablo 4.15.'de gösterildiği gibidir. Buna göre simülasyon modeli sonuçları ile sistemin mevcut durumu karşılaştırıldığında sonuçların hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bu durum, simülasyon modelinden elde edilen sonuçların gerçek sistemden elde edilen sonuçlarla uyumunu ortaya koyarak, modelin doğrulanmasına olanak sağlamaktadır.

Tablo 4. 15. Ortalama Saatlik Yolcu Sayıları Karşılaştırması

Sıra No	Hat No	Ortalama Saatlik Yolcu Sayıları (Mevcut)		Ortalama Saatlik Yolcu Sayıları (Model Sonuçları)	
		Gidiş	Dönüş	Gidiş	Dönüş
1	10 M	164	144	165	142
2	11 M	121	127	115	128
3	12 M	132	148	135	153
4	15 M	47	47	46	52
5	18 M	92	65	94	68
6	20 M	30	37	31	40
7	26 M	141	148	146	152
8	28 M	370	366	366	362
9	29 M	98	93	100	93
10	30 M	114	108	110	109
11	32 M	67	62	73	66
12	33 M	52	55	57	58
13	36 M	100	89	105	92
14	44 M	46	42	34	32

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4.15.'e göre 10M hattını saatlik kullanan yolcu sayısı ortalama gidiş yönünde 164 kişi ve dönüş yönünde 144 kişidir. Simülasyon analizinden elde edilen sonuçlara göre sefer aralığı 30 dakika (mevcut durum) iken, 10M hattını kullanan yolcu sayısı saatlik gidiş yönünde 165 kişidir ve dönüş yönünde 142 kişidir. Tablo 4.15.'deki ortalama saatlik yolcu sayıları hesaplanırken, mevcut sonuçlar için Kent Kart Dolum Merkezinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Model sonuçlarına göre ortalama saatlik yolcu sayıları, EKLER'de yer alan tablolardan yararlanılarak hesaplanmıştır. Her bir hattın mevcut sefer aralığına göre normal zamanlarda ve yoğun zamanlarda hizmet verilen yolcu sayıları toplanıp günlük hattın çalıştığı

süreye (saat) bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu sayede geliştirilen simülasyon modelinin doğrulaması ve geçerlemesi de yapılmış olmaktadır.

4.8. Sefer Sıklıklarının Belirlenmesi

Geliştirilen simülasyon modelleri her bir hat için farklı senaryolara göre çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar bölüm 4.7.'de sunulmuştur. Her bir hattın senaryosu mevcut sefer aralığına göre farklılık göstermiştir. Simülasyon analizi sonucunda edilen bulgular Mersin Ulaştırma Dairesi Başkanlığı Toplu Taşıma Şube Müdürlüğüne sunulmuş ve Toplu Taşıma Şube Müdürü ile yapılan görüşmeler sonucunda her bir hattın normal zamanları ve yoğun zamanları için sefer aralıklarının ne olması gerektiğine karar verilmiştir. Bu kararlar verilirken hatların mevcut yolcu yoğunlukları, belediyenin filo büyüklüğü, ilçeler arası yapılan yolculuk türleri (işten – eve veya evden – işe, evden – okula ya da okuldan – eve gibi), yolculukların saatleri, hatların güzergâhları ve hatların aynı güzergâhı kullanıp kullanmaması gibi faktörler etkili olmuştur. Daha önce belirtildiği gibi sefer aralığı sefer sıklığının tersidir. Senaryolar sefer aralıklarına göre oluşturulduğu için sonuçlar da sefer aralıkları şeklinde sunulmuştur. Buna göre hatların en uygun sefer aralıkları Tablo 4.16.'da gösterilmektedir.

Tablo 4. 16. Hatların En Uygun Sefer Aralıkları

Hat No.	Normal Zaman En Uygun Sefer Aralığı (Dk)	Yoğun Zaman En Uygun Sefer Aralığı (Dk)
10M	30	20
11M	30	20
12M	20	20
15M	45	45
18M	25	20
20M	65	60
26M	30	15
28M	15	10
29M	20	20
30M	25	15
32M	30	20
33M	30	30
36M	25	20
44M	40	40

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4.16.'ya göre 10M hattında yolcu gelişleri normal olduğu zaman uygulaması gereken en uygun sefer aralığı şu an uygulanan sefer aralığı olan 30 dakikadır. Yoğun zamanlar için ise en uygun sefer aralığı 20 dakika olarak belirlenmiştir. Normal sefer aralığı 30 dakika

olduğunda gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,29 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,55 dakikadır. Doluluk oranı ise gidiş otobüsü için %9,10 ve dönüş otobüsü ise %13,79'dur. Yoğun zamanlarda sefer aralığı 20 dakika olduğunda ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,61 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi ise 11,06 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %13,68 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,08'dir.

11M hattı için normal zamanlarda en uygun sefer aralığı 30 dakika iken, yoğun zamanlarda uygulanması gereken sefer aralığı 20 dakika olarak belirlenmiştir. Hattın normal zamanlarında şu an uyguladığı sefer aralığı süresi 30 dakikadır. Yoğun zamanlarda sefer aralığı 20 dakika olduğunda ise gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,48 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,2 dakikadır. Buna ek olarak gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %13,39 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,77'dir.

12M hattının normal zamanlarında ve yoğun zamanlarında uygulanması gereken yani en uygun sefer aralığı 20 dakikadır. Normal zamanlarda sefer aralığı 20 dakika olduğunda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,14 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,35 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı ise %5,21'dir ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,97'dir. Yoğun zamanlarda sefer aralığı 20 dakika olduğunda gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 17,16 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,02 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %16,62'dir ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %18,83'tür.

11M hattı ve 12M hattı birbirinin devamı şeklinde düşünülen hatlardır ve genel olarak güzergâhları aynıdır. Mersin ili 2. Çevre yolu üzerinde yer alan 50101 Nolu Göçmen durağından sonra güzergâhları farklılaşmaktadır. Bu iki hat 2. çevre yolu üzerindeki yolcu talebine birlikte cevap vermektedirler.

15M hattının normal zamanlarında ve yoğun zamanlarında şu an uygulanmakta olan 45 dakikalık sefer aralığının aynı kalması tercih edilmiştir. Normal zamanlarda sefer aralığı 45 dakika olduğunda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 22,71 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,06 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,18 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,06'dır. Yoğun zamanlarda sefer aralığı 45 dakika olduğunda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,43 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,21 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,44 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %7,81'dir.

18M hattı normal zamanlarda en uygun sefer aralığı 25 dakikadır ve yoğun zamanlarda en uygun sefer aralığı 20 dakikadır. 18M hattında normal zamanlarda sefer aralığı 25 dakika olduğunda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,17 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,47 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %6,24 ve dönüş

otobüsü kapasite kullanım oranı %5,38'dir. En uygun sefer aralığının 20 dakika olduğu yoğun zamanlarda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,31 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,99 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı ise %11,42 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,02'dir.

20M hattı için en uygun sefer aralığının yolcu gelişleri normal olduğunda 65 dakika olmasına ve yolcu gelişleri yoğun olduğunda 60 dakika olmasına karar verilmiştir. 20M hattı çalışma örneğine dahil edilen hatlar içerisinde en az yolculuk talebinin olduğu hattır. Diğer hatlara kıyasla daha kısa bir hattır ve küçük bir yolcu grubuna hitap etmektedir. Bu sebeplerle yolcu gelişleri normal olduğunda mevcut sefer aralığı süresinin 5 dakika uzatılmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 31,22 dakika ve dönüş yolcusunun ortalama bekleme süresi 30,34 dakikadır. Kapasite kullanım oranı ise gidiş otobüsü için %6,74 ve dönüş otobüsü için %8,41'dir. Yoğun zamanlarda gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 25,78 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 23,63 dakikadır. Yapılan hesaplamalara göre gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,66 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %19,22'dir.

26M hattı ana omurga hattı olarak görülmektedir. 26M hattı 4 merkez ilçenin tamamından geçmektedir. Hat Akdeniz ilçesinin ana duraklarından olan Bağlarbaşı ile Mezitli ilçesinin ana durakları arasında yer alan Tece Kampüsü durağı arasında sefer yapmaktadır. Kilometre uzunluğu en fazla olan ve en çok durak sayısına sahip olan hattır. Uzunluğu ve rotası sebebiyle birçok hatta destek olmaktadır. 26M hattının normal zamanları için belirlenen en uygun sefer aralığı 30 dakikadır. Buna göre, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,88 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,79 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,78 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %12,13'tür. 26M hattının yoğun zamanlarda en uygun sefer aralığı ise 15 dakikadır. Sefer aralığı 15 dakika iken, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 13,79 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,09 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %14,57 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %17,17'dir.

28M hattı, rota kümesinin ikinci en uzun hattıdır ve yolcu yoğunluğunun en fazla olduğu hattır. 28M hattı için Toplu Taşıma Şube Müdürlüğü tarafından karar verilen sefer aralığı süresi, normal zamanlar için 15 dakika iken yoğun zamanlar için 10 dakikadır. Normal zamanlar için en uygun sefer aralığı süresi hattın mevcutta uyguladığı sefer aralığı süresidir. Normal zaman sefer aralığı 15 dakika olduğunda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 9,12 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 9,24 dakikadır. Ayrıca, gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,75 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,26'dır. 28M hattının yoğun zamanları için sefer aralığı 10 dakika olduğunda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 6,25 dakika ve

dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 5,99 dakikadır. Bu bilgiye ek olarak, gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %23,84 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %25,49'dur.

29M hattı en uygun sefer aralığı süresi normal zamanlarda ve yoğun zamanlarda 20 dakika olarak belirlenmiştir. Normal zamanlarda sefer aralığı 20 dakika olduğunda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,66 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 10,77 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,87 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,46'dır. En uygun sefer aralığının 20 dakika olduğu normal zamanlarda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,32 dakika iken, dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,58 dakikadır. Buna ek olarak, gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %13,05 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %112,25'tir.

30M hattının normal zamanları için sefer aralığı süresi 25 dakika ve yoğun zamanları için en uygun sefer aralığı süresi 15 dakika olarak belirlenmiştir. Normal zamanlarda sefer aralığı 25 dakika olduğunda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,68 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,64 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,89 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,57'dir. Yoğun zamanlar için belirlenen sefer aralığına göre, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 8,14 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 8,02 dakikadır. Bu bilgiye ek olarak, gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,43 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,08'dir.

32M hattının normal zamanları için en uygun sefer aralığı süresi mevcut kullanılan sefer aralığı süresi ile aynıdır ve 30 dakikadır. Hattın yoğun zamanları için en uygun sefer aralığı süresi ise 20 dakikadır. Buna göre, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,37 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,79 dakikadır. Otobüs kapasite kullanım oranı ise gidiş otobüsü için %9,08 ve dönüş otobüsü için %8,41'dir.

33M hattının normal zamanları ve yoğun zamanları için en uygun sefer aralığı süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir. Normal zamanlarda sefer aralığı süresi 30 dakika olduğunda gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,96 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 15,72 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanımı ise %3,40 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,95'tir. Yoğun zamanlarda sefer aralığı süresi 30 dakika olduğunda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,33 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 16,06 dakikadır. Bu bilgiye ek olarak, gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,03 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %10,34'tür.

36M Hattı en uygun sefer aralığı süresinin normal zamanlar için 25 olmasına karar verilmiştir. Normal zamanlarda sefer aralığı süresi 25 dakika iken, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,54 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 14,93 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,92 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %5,42'dir. 36M hattının yoğun zamanları için en uygun sefer aralığı süresi 20 dakika olarak

belirlenmiştir. Buna göre gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 11,66 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 12,88 dakikadır. Gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı ise %7,71 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %8,99'dur.

44M hattının mevcut sefer aralığı süresi normal zamanlarda ve yoğun zamanlarda 60 dakikadır. Ancak simülasyon analizi sonuçları incelendiğinde Toplu Taşıma Şube Müdürlüğü tarafından en uygun sefer aralığı süresinin normal ve yoğun zamanlarda 40 dakika olmasına karar verilmiştir. Normal zamanlarda sefer aralığı süresi 40 dakika olduğunda, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 20,49 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 19,72 dakikadır. Bu bilgiye ek olarak, gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %3,68 ve dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %4,37'dir. Yoğun zaman sefer aralığı süresi 40 dakika olduğunda ise, gidiş yolcusu ortalama bekleme süresi 21,07 dakika ve dönüş yolcusu ortalama bekleme süresi 18,49 dakikadır. Ayrıca gidiş otobüsü kapasite kullanım oranı %9,97 iken, dönüş otobüsü kapasite kullanım oranı %12,51'dir.

Belirlenen sefer aralıkları detaylı incelendiğinde genellikle sefer aralıkları kısaltılmış yani sefer sıklığı arttırılmış ya da aynı bırakılmıştır. Önceki bölümlerde değinildi gibi sefer aralığının kısaltılması yani sefer sıklığının arttırılması işletimci maliyetlerini arttırmaktadır yani daha çok otobüse ve daha çok şoföre ihtiyaç duyulmaktadır. Buna paralel olarak otobüs sayılarının artması ya da otobüslerin daha çok çalıştırılması ile yakıt maliyeti, bakım ve onarım maliyeti artmaktadır. Ancak belediyeler kâr elde etme amacı gütmeyen kurumlar olduğu için halkın yaşam kalitesini arttırmak amacıyla sunulan bu tür hizmetlerde maliyet ikinci planda tutulmaktadır. Diğer bir deyişle amaç verilen hizmetin kalitesini arttırmaktadır. Bu sayede toplu taşıma kullanımının artırılması ile trafikte özel araçların sayısının azalması bu şekilde çevre kirliliğinin, gürültünün, trafik yoğunluğunun ve kazaların azalması ve daha çok vatandaşın toplu taşımadan yararlanması gibi sosyal faydaların arttırılması belediyeler için daha önemli olmaktadır. Kullanıcılar açısından düşünüldüğünde ise mevcut sefer aralıkları uygulandığında normal zamanlar için gidiş yönünde ortalama bekleme süresi 17,68 dakika iken dönüş yönünde ortalama bekleme süresi 17,11 dakikadır. Buna kıyasla çalışma sonucunda karar verilen en uygun sefer aralıkları uygulandığında normal zamanlarda gidiş yönünde ortalama bekleme süresi 17,21 dakika iken dönüş yönünde en uygun sefer aralıkları uygulandığında ortalama bekleme süresi 16,61 dakika olmaktadır. Yoğun zamanlarda mevcut sefer aralıkları uygulandığında gidiş yönünde ortalama bekleme süresi 17,18 dakika iken dönüş yönünde ortalama bekleme süresi 16,64 dakikadır. Ancak çalışma sonucunda karar verilen en uygun sefer aralıkları kullanıldığında yoğun zamanlarda gidiş yönünde ortalama bekleme süresi 14,93 dakika ve dönüş yönünde ortalama bekleme süresi 15,54 dakika olarak iyileştirilmiştir. Yukarıda değinilen sosyal faydaların yanında belirlenen en uygun sefer aralıkları ile yolcuların duraklarda daha az beklemesi de sağlanmaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kent nüfusunun artmasıyla birlikte şehirlerde yaşayan vatandaşların ulaşım ihtiyaçlarını karşılarken aynı zamanda trafik sıkışıklığını, kazaları, gürültüyü, gaz emisyonlarını ve çevre kirliliğini azaltmak amacıyla devlet, belediyeler, çevreciler ve vatandaşlar toplu taşıma kullanımını arttırmak istemektedir. Ancak toplu taşımanın kullanımını arttırabilmek için vatandaşlara güvenilir, konforlu ve çok beklemeyecekleri yani vakit kaybının çok yaşanmayacağı toplu taşıma hizmeti sunulması gerekmektedir.

Toplu taşıma araçlarının kullanımını teşvik etme çabaları hat kapasitesi, hizmet sıklığı, güvenilirlik, konfor ve hizmet kalitesi gibi sunulan hizmetlerin geliştirilmesi üzerine odaklanmaktadır. Bu kapsamda hizmette ve maliyette avantajlı bir toplu taşıma ağının planlanması ve tasarlanması toplu taşıma araçlarının özel araç ya da taksi kullanımıyla rekabet edebilirliğini ve bu araçların kullanımını arttırabilir. Böyle bir toplu taşıma ağı tasarımının oluşturulması problemi Toplu Taşıma Ağ Planlama Problemi olarak tanımlanmaktadır. Toplu taşıma ağ planlama problemi, toplu taşıma rotalarının uzunluğu ve sayısı, izin verilen hizmet sıklığı ve ulaşılabilir otobüs sayısı gibi işlemsel ve kaynak kısıtları altında toplu taşıma ağlarının etkinliğini gösteren farklı amaçların optimizasyonu için kullanılmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde toplu taşıma sistemi oluşturma sürecine, ağ tasarımından çalışanların görev listesinin hazırlanmasına, talebin değerlendirilmesinden toplu taşıma yolculuk atamasına, matematiksel çözüm yöntemlerinden farklı sonuçlara birçok açıdan yaklaşılmaktadır. Bu da aslında toplu taşıma sisteminde problemlerin birçok bileşenden oluştuğunu ve kapsamlı bir şekilde ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Temelde hizmet sektörü kapsamında değerlendirilen ulaştırma sektörü yolcuların beklentilerine cevap verirken aynı zamanda sektör yöneticilerinin beklentilerine de cevap vermelidir. Yolcular açısından düşünüldüğünde, toplu taşıma ile ilgili en önemli hizmet yürüme mesafesinin kısa olması, duraklara erişimin kolay olması ve durakta bekleme süresinin kısa olmasıdır. Sektör yöneticileri açısından değerlendirildiğinde ise sefer sıklıkları, tarife düzenlemeleri ve otobüslerin doluluk oranı oldukça önemlidir.

Bu kapsamda bu çalışmada, Mersin ili merkez ilçelerinde hizmet veren belediye otobüslerinin sefer aralıklarının (sıklıklarının), Mersin Büyükşehir Belediyesi'nin otobüsle toplu taşıma hizmetlerinin verimliliğini ve etkinliğini artıracak şekilde, yeniden oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, merkez ilçelere hizmet veren 28 hattın 14 tanesi, km başına ve durak başına düşen yolcu sayıları toplamının %80'ini kapsayacak şekilde çalışmanın örneklemini seçilmiştir. Sonrasında her bir hattın en uygun sefer aralıklarının belirlenebilmesi için ARENA Simülasyon paket programı aracılığıyla simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon modelleri 3 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm

yolcuların yaratılmasıdır. Bu bölümde her bir hat için, o hatta yer alan her bir durağa yolcuların gelişi, diğer duraklarda inişi ve yolcuların duraklarda bekletilmesi sağlanmıştır. İkinci bölüm yolcuların taşınması – seyahat bölümüdür. Bu bölümde ilk olarak duraklar tanımlanmıştır. Devamında kullanılan modüller aracılığıyla otobüslerin yaratılması, yolcuların otobüse binmesi ve o durakta inecek yolcuların otobüsten inmesi sağlanmıştır. Sonrasında otobüs hat üzerinde sonraki durağa yönlendirilmiştir. En son bölüm ise yolcuların ve otobüslerin sistemi terk etmesini sağlayan sistemden çıkış bölümüdür.

Toplamda 14 farklı simülasyon modelinin (her bir hat için ayrı bir model) geliştirildiği bu çalışmada her bir hattın gidiş – dönüş yönü için normal zamanlarına ve yoğun zamanlarına göre ayrı ayrı beşer senaryo geliştirilmiştir. Bu senaryolardan biri o hattın mevcut sefer aralığını yani mevcut durumunu yansıtmaktadır. Diğer senaryolar ise sefer aralıklarının mevcut durumdan daha az (2 senaryo) ve daha fazla (2 senaryo) olacak şekilde tasarlanmıştır. Modeller, tasarlanan bu senaryoların her biri ile 10 tekrarlı çalıştırılmıştır.

Simülasyon analizi sonucunda her bir senaryo için gidiş – dönüş yönünde ayrı ayrı yolcularının seyahat süreleri, bekleme süreleri, sistemde geçirdikleri ortalama süre, günlük hizmet verilen gidiş – dönüş yolcu sayıları elde edilmiştir. Sonrasında yapılan hesaplamalar ile gidiş – dönüş otobüslerindeki ortalama yolcu sayıları ve gidiş – dönüş otobüslerinin kapasite kullanım oranları belirlenmiştir. Devam eden bölümde Mersin Büyükşehir Belediyesi Toplu Taşıma Şube Müdürlüğü'nden alınan veriler ile simülasyon modellerinin mevcut sefer aralıklarına göre çalıştırılması sonucu elde edilen veriler karşılaştırılarak geliştirilen simülasyon modellerinin geçerlemesi ve doğrulaması yapılmıştır.

Elde edilen analiz sonuçları Mersin Büyükşehir Belediyesi Toplu Taşıma Şube Müdürlüğüne sunulmuş ve yapılan görüşmeler ile simülasyon analizi sonuçlarına göre hatların normal zamanlarında ile yoğun zamanlarında en uygun sefer aralıklarının ne olacağına karar verilmiştir. Hatların en uygun sefer aralıkları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- 10M hattının normal zamanlarda mevcut sefer aralığını kullanmasının ve yoğun zamanlarda 20 dakikalık sefer aralığı uygulanmasının,
- 11M hattının normal zamanlarda mevcut sefer aralığını kullanmasının ve yoğun zamanlarda 20 dakikalık sefer aralığı uygulanmasının,
- 12M hattının sefer aralığının sabit 20 dakika olmasının,
- 15M hattının mevcut sefer aralığının uygulanmaya devam edilmesinin,
- 18M hattının sefer aralığının normal zamanlarda 25 dakika ve yoğun zamanlarda 20 dakika olmasının,
- 20M hattının normal zamanlarda sefer aralığı süresinin 5 dakika arttırılıp 65 dakika olmasının ve yoğun zamanlarda 60 dakika olmasının,

- 26M hattının sefer aralığı süresinin normal zamanlarda 10 dakika artırılıp 30 dakika olmasının ve yoğun zamanlarda 5 dakika azaltılıp 15 dakika olmasının,
- 28M hattının normal zamanlarda sefer aralığının aynı kalmasının ve yoğun zamanlarda mevcut sefer aralığının 5 dakika azaltılıp 10 dakika olmasının,
- 29M hattının mevcut sefer aralığının normal zamanlar ve yoğun zamanlar için 10'ar dakika azaltılıp 20 dakika olmasının,
- 30M hattının normal zamanlarda sefer aralığının 5 dakika arttırılıp 25 dakika olmasının ve yoğun zamanlarda 5 dakika azaltılıp 15 dakika olmasının,
- 30M hattının normal zamanlar için sefer aralığının aynı kalmasının ve yoğun zamanlar için 10 dakika azaltılıp 20 dakika olmasının,
- 32M hattının normal zamanlar için sefer aralığı sürelerinin aynı kalmasının ve yoğun zamanlar için sefer aralığı süresinin 10 dakika azaltılarak 20 dakika olmasının,
- 33M hattının normal zamanlar ve yoğun zamanlar için sefer aralığı sürelerinin 10'ar dakika azaltılarak 30 dakika olmasının,
- 36M hattının normal zamanlar için sefer aralığının 5 dakika azaltılıp 25 dakika olmasının ve yoğun zamanlar için sefer aralığının 10 dakika azaltılıp 20 dakika olmasının,
- 44M hattının sefer aralığı süresinin normal zamanlar ve yoğun zamanlar için 20 dakika azaltılıp 40 dakika olmasının, hatların mevcut durumu ve senaryolar birbirleriyle karşılaştırılarak uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Sefer aralıklarında yapılan bu değişikliklerde yani en uygun sefer aralıklarının bu şekilde belirlenmesinde, modelden elde edilen yolcuların bekleme süreleri, toplam yolcu sayıları, ihtiyaç duyulan sefer sayıları ve otobüslerin doluluk oranları etkili olmuştur.

Mersin Büyükşehir Belediyesi Toplu Taşıma Şube Müdürlüğünden elde edilen veriler ile çalışmadan elde edilen sonuçlar kıyaslandığında ise hatların mevcut sefer aralıkları için elde edilen sonuçların gerçek durum ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda belirlenen en uygun sefer aralıkları ile daha iyi hizmet verilmesi amaçlanmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde yolcuların duraklarda bekleme sürelerinin genellikle sefer aralığı süresinin yarısı kadar olduğu varsayılmaktadır. Ancak gelecekte yapılacak çalışmalar için, duraklarda gözlem yapılabilirse ve yolcuların duraklara geliş zamanı belirlenebilirse yolculara en iyi hizmetin sunulabileceği sefer aralığına karar verilebilecektir. Ayrıca otobüslerin içine yerleştirilecek bir kamera ile veya görevliler tarafından yolcuların biniş durakları ve iniş durakları kayıt altına alınabilirse yolcuların iniş olasılıkları bu verilere göre hesaplanabilecektir. Bu sayede yolcuların iniş olasılıkları daha doğru bir şekilde hesaplanabilir. Dolayısıyla otobüslerin doluluk oranları ile ilgili de daha sağlıklı veriler elde edilebilecektir. Buna ek olarak belediye otobüsü kartlarına ya da yolcuların adlarına tanımlanan biniş

kartlarına takılacak bir çip ile, yolculardan belediye otobüslerine bindikleri ve otobüsten indikleri duraklarda kart okutlamaları zorunlu tutularak sefer aralıklarının daha verimli olacak şekilde belirlenmesi sağlanabilir.

Ayrıca, Mersin ili coğrafi konumu itibarıyla yazın çok fazla yerli - yabancı turist ve yazlıkçılar tarafından tercih edilmektedir. Bu sebeple yazları Mersin ilinde ikamet edenler yaylara veya yazlıklara giderken dışarıdan gelen ziyaretçiler sebebiyle merkez ilçeler ve çevre ilçeler kalabalıklaşmaktadır. Bu doğrultuda belediye otobüslerinin sefer aralıkları belirlenirken sadece normal ve yoğun zaman olarak değilde yazın normal – yazın yoğun ve kışın normal – kışın yoğun gibi mevsimsel etkiler de sefer aralıklarının belirlenmesinde göz önünde bulundurulabilir.

Buna ek olarak, bu çalışmada geliştirilen modeller mevcut verilerle çalıştırılmıştır. Nüfusun ve/veya seyahat tercihlerinin değişmesiyle yolcu sayıları, otobüs hatlarının güzergâhları, duraklar arası seyahat oranları gibi önemli parametrelerin de değişmesi mümkündür. Bu parametrelerde bir değişme söz konusu olduğunda modeller ufak modifikasyonlarla tekrar çalıştırılarak değişen koşullara kolayca adaptasyonu sağlanabilecektir. Mersin Büyükşehir Belediyesi Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'nın değişen koşullara (örneğin mevsimsel değişiklikler) uygun olarak verileri toplayıp bu çalışmada geliştirilen modelleri bu yeni verilerle sık sık çalıştırarak, değişen koşullara göre sefer aralıklarını sürekli güncellemesi önerilmektedir.

Ayrıca simülasyon analizi sonucunda en uygun sefer aralığı belirlenirken toplu taşıma daire başkanının bilgi ve tecrübeleri esas alınmıştır. Ancak en uygun sefer aralığının belirlenmesinde, bekleme ve hizmet verme maliyetlerinin de hesaba katıldığı bir matematiksel analiz uygulanabilirse daha nesnel bir şekilde sefer aralığı belirlemek mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1]. Abdallah, T. (2017). *Sustainable mass transit: challenges and opportunities in urban public transportation*. Elsevier.
- [2]. Acar, İ. H. (2005). *Kentlerimiz için metrobüs çözümleri*. 6. Ulaştırma Kongresi Bildirileri Kitabı, İstanbul, 23-24-25 Mayıs 2005, 89-98.
- [3]. AlKheder, S., AlRukaibi, F., & Zaqzuq, A. (2018). *Optimal bus frequency for Kuwait public transportation company: A cost view*. *Sustainable cities and society*, 41, 312-319.
- [4]. Altıok, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation modeling and analysis with Arena*. London: Elsevier.
- [5]. Bacaksız, T. S. (2004). *Dünya'daki ve Türkiye'deki kent içi raylı sistemler karşılaştırılması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi: Ankara.
- [6]. Bagloee, S. A., & Ceder, A. A. (2011). Transit-network design methodology for actual-size road networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(10), 1787-1804.
- [7]. Banks, J. (Ed.). (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. John Wiley & Sons.
- [8]. Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-event system simulation*. USA: Pearson.
- [9]. Bertsimas, D., Sian Ng, Y., & Yan, J. (2020). Joint frequency-setting and pricing optimization on multimodal transit networks at scale. *Transportation Science*, 54(3), 839-853.
- [10]. Bowman, L. A., & Turnquist, M. A. (1981). Service frequency, schedule reliability and passenger wait times at transit stops. *Transportation Research Part A: General*, 15(6), 465-471.
- [11]. Bunte, S., & Kliwer, N. (2009). An overview on vehicle scheduling models. *Public Transport*, 1(4), 299-317.
- [12]. Carraresi, P., & Gallo, G. (1984). Network models for vehicle and crew scheduling. *European Journal of Operational Research*, 16(2), 139-151.
- [13]. Ceder, A. (1984). Bus frequency determination using passenger count data. *Transportation Research Part A: General*, 18(5-6), 439-453.
- [14]. Ceder, A. (1986). Methods for creating bus timetables. *Transportation Research Part A: General*, 21(1), 59-83.
- [15]. Ceder, A. (2001). Operational objective functions in designing public transport routes. *Journal of advanced transportation*, 35(2), 125-144.
- [16]. Ceder, A. (2002). Urban transit scheduling: framework, review and examples. *Journal of urban planning and development*, 128(4), 225-244.
- [17]. Ceder, A. (2007). *Public transit planning and operation: Modeling, practice and behavior*. Oxford: CRC press.
- [18]. Ceder, A. (2009, September). Public-transport automated timetables using even headway and even passenger load concepts. In *Proceedings of the 32nd Australasian Transport Research Forum (ATRF'09)* (Vol. 17, No. 1).
- [19]. Ceder, A., & Israeli, Y. (1992). Scheduling considerations in designing transit routes at the network level. In *Computer-Aided Transit Scheduling* içinde (pp. 113-136). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [20]. Ceder, A., & Israeli, Y. (1997). Creation of objective functions for transit network design. *IFAC Proceedings Volumes*, 30(8), 667-673.

- [21]. Ceder, A. & Wilson, N. H. M. (1986). Bus network design. *Transportation Research Part B* 20, 331-344.
- [22]. Chakroborty, P. (2003). Genetic algorithms for optimal urban transit network design. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 18(3), 184-200.
- [23]. Chen, H. (2007). Stochastic optimization in computing multiple headways for a single bus line. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24(5), 351-359.
- [24]. Chung, C. A. (Ed.). (2003). *Simulation modeling handbook: a practical approach*. Florida: CRC press.
- [25]. Constantin, I., & Florian, M. (1995). Optimizing frequencies in a transit network: a nonlinear bi-level programming approach. *International Transactions in Operational Research*, 2(2), 149-164.
- [26]. Dantzig, G. B., Harvey, R. P., Lansdowne, Z. F., Robinson, D. W., & Maier, S. F. (1979). Formulating and solving the network design problem by decomposition. *Transportation Research Part B: Methodological*, 13(1), 5-17.
- [27]. Dell'Olio, L., Ibeas, A., & Ruisánchez, F. (2012). Optimizing bus-size and headway in transit networks. *Transportation*, 39(2), 449-464.
- [28]. Deri, A. (2012). *Akıllı kart verileri kullanılarak toplu ulaşım yolculuk talebinin belirlenmesi ve sefer çizelgeleme optimizasyonu*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi: İzmir.
- [29]. Desale, S., Rasool, A., Andhale, S., & Rane, P. (2015). Heuristic and meta-heuristic algorithms and their relevance to the real world: a survey. *International Journal of Computer Engineering in Research Trends*, 2(5), 296-304.
- [30]. Desaulniers, G. & Hickman, M. D. (2007). Public transit. (Barnhart, C. & Laporte, G.). *Handbooks in Operations Research and Management Science: Transportation* içinde(ss. 69-127). North Holland: Elsevier.
- [31]. Ersöz, F. (2019). *Benzetim ve Modelleme*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- [32]. European Committee for Standardization. (2002). *Transportation - logistics and services - public passenger transport - service quality definition, targeting and measurement*. CEN-EN 13816, CEN, Brussels.
- [33]. Fan, W., & Machemehl, R. B. (2006). Optimal transit route network design problem with variable transit demand: genetic algorithm approach. *Journal of Transportation Engineering*, 132(1), 40-51.
- [34]. Farahani, R. Z., Miandoabchi, E., Szeto, W. Y., & Rashidi, H. (2013). A review of urban transportation network design problems. *European Journal of Operational Research*, 229(2), 281-302.
- [35]. Friesz, T. L. (1985). Transportation network equilibrium, design and aggregation: key developments and research opportunities. *Transportation Research Part A: General*, 19(5-6), 413-427.
- [36]. Furth, P. G., & Wilson, N. H. (1981). Setting frequencies on bus routes: Theory and practice. *Transportation Research Record*, 818(1981), 1-7.
- [37]. Gkiotsalitis, K., & Cats, O. (2017). Exact optimization of bus frequency settings considering demand and trip time variations. In *96th Transportation research board annual meeting*.
- [38]. Gordon, S. I., & Guilfoos, B. (2017). *Introduction to modeling and simulation with MATLAB® and python*. Chapman and Hall/CRC.
- [39]. Grava, S. (2003). *Urban transportation systems. Choices for communities*. McGraw-Hill.

- [40]. Grosfeld-Nir, A., & Bookbinder, J. H. (1995). The planning of headways in urban public transit. *Annals of Operations Research*, 60(1), 145-160.
- [41]. Guihaire, V., & Hao, J. K. (2008). Transit network design and scheduling: A global review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(10), 1251-1273.
- [42]. Hadas, Y., & Shnaiderman, M. (2012). Public-transit frequency setting using minimum-cost approach with stochastic demand and travel time. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(8), 1068-1084.
- [43]. Han, A. F., & Wilson, N. H. (1982). The allocation of buses in heavily utilized networks with overlapping routes. *Transportation Research Part B: Methodological*, 16(3), 221-232.
- [44]. Huang, Z., Ren, G., & Liu, H. (2013). Optimizing bus frequencies under uncertain demand: case study of the transit network in a developing city. *Mathematical problems in Engineering*, 1-10.
- [45]. Ibarra-Rojas, O. J., Delgado, F., Giesen, R., & Muñoz, J. C. (2015). Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological*, 77, 38-75.
- [46]. Ibarra-Rojas, O. J., Giesen, R., & Rios-Solis, Y. A. (2014). An integrated approach for timetabling and vehicle scheduling problems to analyze the trade-off between level of service and operating costs of transit networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 70, 35-46.
- [47]. Ibeas, A., Alonso, B., dell'Olio, L., & Moura, J. L. (2013). Bus size and headways optimization model considering elastic demand. *Journal of Transportation Engineering*, 140(4), 04013021.
- [48]. Iles, R. (2005). *Public transport in developing countries*. Amsterdam: Elsevier.
- [49]. Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sadowski, D. A. (1998). *Simulation with Arena*. United States of America: McGraw-Hill.
- [50]. Kepaptsoglou, K., & Karlaftis, M. (2009). Transit route network design problem: review. *Journal of transportation engineering*, 135(8), 491-505.
- [51]. Kleijnen, J. P. (1995). Verification and validation of simulation models. *European journal of operational research*, 82(1), 145-162.
- [52]. Knowles, R. (1992). Light rail transit development in Britain. *Geography*, 77(1), 80-83.
- [53]. Kokash, N. (2005). An introduction to heuristic algorithms. *Department of Informatics and Telecommunications*, 1-8.
- [54]. Lardennois, R. (1993). VAL automated guided transit characteristics and evolutions. *Journal of advanced transportation*, 27(1), 103-120.
- [55]. Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw-Hill.
- [56]. Law, A. M. (2015). *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw-Hill.
- [57]. Levinson, H. S., Zimmerman, S., Clinger, J., & Rutherford, G. S. (2002). Bus rapid transit: An overview. *Journal of Public Transportation*, 5(2), 1-30.
- [58]. Li, Y., Xu, W., & He, S. (2013). Expected value model for optimizing the multiple bus headways. *Applied Mathematics and Computation*, 219(11), 5849-5861.
- [59]. Lin, N., Ma, W., & Chen, X. (2018). Bus frequency optimisation considering user behaviour based on mobile bus applications. *IET Intelligent Transport Systems*, 13(4), 596-604.
- [60]. Luhua, S., Yin, H., & Xinkai, J. (2011). Study on method of bus service frequency optimal model based on genetic algorithm. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 869-874.

- [61]. Maria, A. (1997). Introduction to modeling and simulation. *In Simulation Conference, 2005 Proceedings of Winter*, 7-13.
- [62]. Martínez, H., Mauttone, A., & Urquhart, M. E. (2014). Frequency optimization in public transportation systems: Formulation and metaheuristic approach. *European Journal of Operational Research*, 236(1), 27-36.
- [63]. Mersin Büyükşehir Belediyesi. (2015). *Mersin ulaşım ana planı (MUAP)*. Mersin.
- [64]. Mersin Büyükşehir Belediyesi. (2016). Mersin Ulaşım Ana Planı (MUAP) Sonuç Raporu. <https://www.mersin.bel.tr/doc/ulasim-ana-plani-sonuc-raporu-aygm-revizyonpdf> (erişim tarihi: Temmuz 24, 2019)
- [65]. Meyer, M. D. (2016). *Transportation planning handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- [66]. Mohaymany, A. S., & Amiripour, S. M. (2009). Creating bus timetables under stochastic demand. *International Journal of Industrial Engineering*, 20(3), 83-91.
- [67]. Murty, P. R. (2007). *Operations research*. New Delhi: New Age International.
- [68]. OECD-IEA. (2002). *Bus systems for the future achieving sustainable transport*. Paris.
- [69]. Osman, I. H., & Laporte, G. (1996). Metaheuristics: A bibliography. *Annals of Operational Research*, 63, 513-628.
- [70]. Owais, M., Moussa, G., Abbas, Y., & El-Shabrawy, M. (2013). Optimal frequency setting for circular bus routes in Urban Areas. *Journal of Engineering Sciences*, 41(5), 1796-1811.
- [71]. Owais, M., Osman, M. K., & Moussa, G. (2015). Multi-objective transit route network design as set covering problem. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(3), 670-679.
- [72]. Özcan, T. (2018). *Kentiçi toplu taşıma sistemlerinde sefer sıklığı optimizasyonu*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi: Denizli.
- [73]. Park, S. J. (2005). Bus network scheduling with genetic algorithms and simulation (Doctoral dissertation). University of Maryland, Maryland.
- [74]. Pathak, P., Agrawal, K., Suman, H. K., & Bolia, N. B. (2020). Frequency optimization-based approach for reducing crowding discomfort in Delhi bus system. *Procedia Computer Science*, 170, 265-272.
- [75]. Pternea, M., Kepaptsoglou, K., & Karlaftis, M. G. (2015). Sustainable urban transit network design. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 276-291.
- [76]. Render, B., Stair Jr, R. M. & Hanna, M. E. (2012). *Quantitative analysis for management*. India: Pearson Education India.
- [77]. Rossetti, M. D. (2016). *Simulation modeling and Arena*. Kanada: JohnWiley&Sons.
- [78]. Ruiz, M., Segui-Pons, J. M., & Mateu-LLadó, J. (2017). Improving Bus Service Levels and social equity through bus frequency modelling. *Journal of Transport Geography*, 58, 220-233.
- [79]. Salzborn, F. J. (1972). Optimum bus scheduling. *Transportation Science*, 6(2), 137-148.
- [80]. Schéele, S. (1980). A supply model for public transit services. *Transportation Research Part B: Methodological*, 14(1-2), 133-146.
- [81]. Shannon, R.E. (1975). *Systems Simulation: The Art and Science*. Prentice-Hall
- [82]. Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *Proceedings of The 1998 Winter Simulation Conference*, 7-14.
- [83]. Stegherr, H., Heider, M., & Hähner, J. (2020). Classifying metaheuristics: Towards a unified multi-level classification system. *Natural Computing*, 1-17.

- [84]. Tom, V. M., & Mohan, S. (2003). Transit route network design using frequency coded genetic algorithm. *Journal of transportation engineering*, 129(2), 186-195.
- [85]. Tran, T., & Kleiner, B.H. (2005). Managing for excellence in public transportation. *Management Research News*, 28(11/12), 154-163.
- [86]. Türk Standartları Enstitüsü (TSE). (2011). *Şehir içi yollar otobüs durakları yer seçimi kuralları*. Ankara.
- [87]. Ulucan, A. (2007). *Yöneylem araştırması, Siyasal Kitabevi*. İkinci Baskı, Ankara.
- [88]. Uludağ, N. (2010). *Bulanık optimizasyon ve doğrusal hedef programlama yaklaşımları ile otobüs hatlarının modellenmesi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi: Denizli.
- [89]. Van Oudheusden, D. L., & Zhu, W. (1995). Trip frequency scheduling for bus route management in Bangkok. *European Journal of Operational Research*, 83(3), 439-451.
- [90]. Verbas, İ. Ö., & Mahmassani, H. S. (2015). Integrated frequency allocation and user assignment in multimodal transit networks: methodology and application to large-scale urban systems. *Transportation Research Record*, 2498(1), 37-45.
- [91]. Verbas, İ. Ö., Frei, C., Mahmassani, H. S., & Chan, R. (2015). Stretching resources: sensitivity of optimal bus frequency allocation to stop-level demand elasticities. *Public Transport*, 7(1), 1-20.
- [92]. Verma, A., & Ramanayya, T. V. (2014). *Public transport planning and management in developing countries*. Florida: CRC Press.
- [93]. Victor, D. J., & Ponnuswamy, S. (2012). *Urban transportation: planning, operation and management*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Education.
- [94]. Vuchic, V. R. (2005). *Urban transit: operations, planning and economics*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- [95]. Vuchic, V. R. (2007). *Urban transit systems and technology*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- [96]. Wu, J., Song, R., Wang, Y., Chen, F., & Li, S. (2015). Modeling the coordinated operation between bus rapid transit and bus. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- [97]. Yardım, M. S. (2002). *Kentiçi ulaşımında otobüsle toplu taşıma için işletmecilik şeklinin belirlenmesine yönelik bir matematik model*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [98]. Yeroğlu, C. (2001). *Üretim ve servis sistemlerinde pratik simülasyon teknikleri*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.
- [99]. Yoo, G. S., Kim, D. K., & Chon, K. S. (2010). Frequency design in urban transit networks with variable demand: model and algorithm. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 14(3), 403-411.
- [100]. Yu, B., Yang, Z., & Yao, J. (2009). Genetic algorithm for bus frequency optimization. *Journal of Transportation Engineering*, 136(6), 576-583.
- [101]. Zuo, X., Chen, C., Tan, W., & Zhou, M. (2014). Vehicle scheduling of an urban bus line via an improved multiobjective genetic algorithm. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 16(2), 1030-1041.

EKLER EK 1: 10M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

10M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışma Süresi (Dakika)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 20 Dk	10,73	14,68	69,34	61,58	11,70	10,90	22,43	25,58	1363	1333	32	32	6,59	9,93	6,05	9,11	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 25 Dk	10,70	14,69	69,34	61,58	14,06	13,20	24,76	27,89	1361	1331	25	26	8,40	12,21	7,71	11,20	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 30 Dk*	10,68	14,70	69,34	61,58	16,29	15,55	26,98	30,26	1353	1322	21	21	9,92	15,03	9,10	13,79	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 35 Dk	10,68	14,71	69,34	61,58	18,63	17,70	29,31	32,41	1349	1316	18	18	11,54	17,46	10,59	16,02	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 40 Dk	10,71	14,65	69,34	61,58	20,98	20,05	31,70	34,71	1333	1312	16	16	12,87	19,51	11,81	17,90	690

EK 2: 10M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

10M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama a Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışma Süresi (Dakika)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 20 Dk	10,75	14,61	69,34	61,58	11,61	11,06	22,36	25,68	1635	1256	17,00	17,00	14,91	17,53	13,68	16,08	390
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 25 Dk	10,67	14,64	69,34	61,58	13,78	13,35	24,45	27,99	1634	1248	13,00	14,00	19,34	21,19	17,74	19,44	390
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 30 Dk*	10,69	14,65	69,34	61,58	16,09	15,66	26,78	30,31	1611	1240	11,00	11,00	22,58	26,82	20,71	24,60	390
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 35 Dk	10,76	14,63	69,34	61,58	18,32	17,65	29,08	32,27	1614	1230	10,00	10,00	25,05	29,22	22,98	26,81	390
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 40 Dk	10,77	14,61	69,34	61,58	20,65	19,96	31,42	34,56	1611	1230	9,00	9,00	27,80	32,42	25,51	29,75	390

EK 3: 11M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

11M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama a Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışma Süresi (Dakika)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 20 Dk	14,26	14,02	89,03	83,85	11,98	11,73	26,24	25,76	1729	1814	53	53	5,23	5,72	4,79	5,25	1140
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 25 Dk	14,27	14,03	89,03	83,85	14,31	14	28,59	28,03	1726	1809	43	43	6,43	7,04	5,90	6,46	1140
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 30 Dk*	14,29	14	89,03	83,85	16,47	16,4	30,77	30,41	1724	1810	36	36	7,69	8,39	7,05	7,70	1140
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 35 Dk	14,31	14,02	89,03	83,85	18,87	18,61	33,19	32,62	1717	1803	31	31	8,90	9,72	8,17	8,92	1140
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 40 Dk	14,3	14,01	89,03	83,85	21,23	20,97	35,54	34,99	1712	1798	27	27	10,18	11,13	9,34	10,21	1140

EK 4: 11M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

11M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 20 Dk	13,76	13,33	89,03	83,85	14,48	13,2	28,24	26,54	1039	1265	11	11	14,60	18,28	13,39	16,77	300
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 25 Dk	13,74	13,32	89,03	83,85	16,38	15,48	30,13	28,81	1023	1248	9	9	17,54	22,03	16,09	20,21	300
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 30 Dk*	13,8	13,33	89,03	83,85	18,48	17,52	32,29	30,85	1032	1251	8	8	20,00	24,86	18,34	22,81	300
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 35 Dk	13,86	13,32	89,03	83,85	20,5	19,52	34,36	32,85	1016	1238	7	7	22,60	28,09	20,73	25,77	300
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 40 Dk	13,78	13,3	89,03	83,85	22,67	21,65	36,46	34,95	1005	1227	6	6	25,93	32,44	23,78	29,76	300

EK 5: 12M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

12M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 20 Dk	11,6	13,32	87,38	85,05	13,14	12,35	24,74	25,67	1241	1406	29	29	5,68	7,59	5,21	6,97	660
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 25 Dk	11,62	13,3	87,38	85,05	15,39	14,51	27,01	27,81	1238	1406	23	23	7,16	9,56	6,57	8,77	660
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 30 Dk*	11,64	13,3	87,38	85,05	17,52	16,9	29,17	30,2	1231	1402	20	20	8,20	10,96	7,52	10,06	660
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 35 Dk	11,62	13,28	87,38	85,05	19,9	19,15	31,53	32,43	1222	1393	17	17	9,56	12,79	8,77	11,74	660
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 40 Dk	11,61	13,31	87,38	85,05	21,93	21,45	33,55	34,77	1222	1382	15	15	10,82	14,42	9,93	13,23	660

EK 6: 12M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

12M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 20 Dk	11,74	11,81	87,38	85,05	17,56	16,02	29,3	27,84	674	739	5	5	18,11	20,52	16,62	18,83	180
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 25 Dk	11,79	11,77	87,38	85,05	19,4	17,75	31,19	29,52	654	736	4	4	22,06	25,46	20,24	23,36	180
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 30 Dk*	11,74	11,72	87,38	85,05	21,21	19,51	32,95	31,23	652	736	4	4	21,90	25,36	20,09	23,26	180
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 35 Dk	11,56	11,63	87,38	85,05	22,92	21,37	34,49	33,01	640	707	3	3	28,22	32,23	25,89	29,56	180
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 40 Dk	11,71	11,78	87,38	85,05	24,41	23,22	36,13	35,01	632	692	3	3	28,23	31,95	25,90	29,31	180

EK 7: 15M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

15M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 35 Dk	12	11,02	52	56,73	18,46	18,27	30,46	29,3	545	640	20	20	6,29	6,22	5,77	5,70	750
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 40 Dk	11,96	10,98	52	56,73	20,57	20,46	32,54	31,45	547	639	18	18	6,99	6,87	6,41	6,30	750
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 45 Dk*	11,95	10,97	52	56,73	22,71	23,06	34,66	34,04	545	637	16	16	7,83	7,70	7,18	7,06	750
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 50 Dk	12,01	11,02	52	56,73	25,11	24,65	37,12	35,68	542	634	14	14	8,94	8,80	8,20	8,07	750
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 55 Dk	11,92	10,97	52	56,73	27,33	27,11	39,26	38,09	540	631	13	13	9,52	9,39	8,74	8,61	750

EK 8: 15M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

15M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 35 Dk	11,49	10,02	52	56,73	17,32	17,27	28,82	27,03	140	142	3	3	10,31	8,36	9,46	7,67	150
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 40 Dk	11,21	9,81	52	56,73	19,48	19,31	30,53	29,3	143	145	3	3	10,28	8,36	9,43	7,67	150
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 45 Dk*	11,72	10,28	52	56,73	21,43	21,21	33,15	31,5	137	141	3	3	10,29	8,52	9,44	7,81	150
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 50 Dk	11,81	10,15	52	56,73	23,49	23,04	35,31	33,2	137	135	2	2	15,56	12,08	14,27	11,08	150
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 55 Dk	10,96	9,58	52	56,73	25,46	25,14	36,43	34,73	138	135	2	2	14,54	11,40	13,34	10,46	150

EK 9: 18M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

18M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 20 Dk	9,79	12,96	45,6	52,97	10,93	11,35	20,73	24,32	832	628	32	33	5,58	4,66	5,12	4,27	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 25 Dk	9,74	12,91	45,6	52,97	13,17	13,47	22,91	26,38	828	626	26	26	6,80	5,87	6,24	5,38	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 30 Dk*	9,78	12,93	45,6	52,97	15,37	16	25,15	28,94	823	625	22	22	8,02	6,93	7,36	6,36	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 35 Dk	9,75	12,93	45,6	52,97	17,9	18,14	27,65	31,08	824	624	19	19	9,27	8,02	8,51	7,35	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 40 Dk	9,84	12,98	45,6	52,97	20,04	20,14	29,89	33,4	823	620	17	16	10,45	9,50	9,58	8,71	690

EK 10: 18M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

18M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 20 Dk	9,02	13,02	45,6	52,97	11,31	11,99	20,34	25,19	616	400	9	9	13,54	10,92	12,42	10,02	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 25 Dk	8,97	13,17	45,6	52,97	13,41	13,8	22,39	26,97	602	398	7	7	16,92	14,14	15,52	12,97	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 30 Dk*	9,04	13,14	45,6	52,97	15,5	16,24	24,54	29,39	588	394	6	6	19,43	16,29	17,82	14,94	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 35 Dk	9,06	12,97	45,6	52,97	17,81	18,23	26,88	31,21	572	388	5	5	22,73	19,00	20,85	17,43	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 40 Dk	9,12	13,29	45,6	52,97	19,56	20,04	28,69	33,34	594	381	5	4	23,76	23,90	21,80	21,92	210

EK 11: 20M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

20M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 50 Dk	9,88	10,73	41,56	41,97	24,97	23,53	34,85	34,26	349	399	14	14	5,93	7,29	5,44	6,68	720
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 55 Dk	9,92	10,78	41,56	41,97	26,83	25,85	36,76	36,63	345	397	13	13	6,33	7,84	5,81	7,20	720
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 60 Dk*	9,94	10,79	41,56	41,97	28,59	28,25	38,53	39,05	344	397	12	12	6,86	8,51	6,29	7,80	720
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 65 Dk	9,9	10,8	41,56	41,97	31,22	30,34	41,13	41,15	339	392	11	11	7,34	9,17	6,74	8,41	720
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 70 Dk	9,83	10,7	41,56	41,97	32,74	32,19	42,58	42,89	345	392	10	10	8,16	9,99	7,49	9,17	720

EK 12: 20M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

20M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 50 Dk	8,55	10,06	41,56	41,97	23,42	20,78	31,97	30,84	101	173	2	2	10,39	20,73	9,53	19,02	120
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 55 Dk	8,57	10,43	41,56	41,97	24,68	22,06	33,25	32,49	89	162	2	2	9,18	20,13	8,42	18,47	120
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 60 Dk*	8,72	10,79	41,56	41,97	25,78	23,63	34,5	34,43	90	163	2	2	9,44	20,95	8,66	19,22	120
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 65 Dk	8,81	10,78	41,56	41,97	26,79	25,22	35,6	36	93	172	2	2	9,86	22,09	9,04	20,27	120
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 70 Dk	8,91	10,85	41,56	41,97	28,14	27,13	37,05	37,99	95	180	2	2	10,18	23,27	9,34	21,35	120

EK 13: 26M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

26M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsü ndeki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakika)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 10 Dk	13,98	16,79	85,4	90,52	7,56	7,51	21,55	24,3	2038	2161	91	90	3,67	4,45	3,36	4,09	990
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 15 Dk	13,99	16,78	85,4	90,52	9,91	9,88	23,9	26,66	2031	2155	61	60	5,45	6,66	5,00	6,11	990
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 20 Dk*	13,98	16,77	85,4	90,52	12,19	12,16	26,18	28,93	2025	2151	46	45	7,21	8,86	6,61	8,12	990
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 25 Dk	13,97	16,77	85,4	90,52	14,4	14,4	28,38	31,17	2023	2146	37	36	8,94	11,04	8,21	10,13	990
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 30 Dk	14,01	16,78	85,4	90,52	16,88	16,79	30,89	33,58	2015	2139	31	30	10,66	13,22	9,78	12,13	990

EK 14: 26M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

26M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 10 Dk	13,46	15,21	85,4	90,52	11,76	12,1	25,22	27,32	921	903	13	12	11,17	12,64	10,24	11,60	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 15 Dk	13,47	15,23	85,4	90,52	13,79	14,09	27,18	29,33	906	890	9	8	15,88	18,72	14,57	17,17	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 20 Dk*	13,45	15,19	85,4	90,52	15,63	16	29,08	31,2	896	885	7	6	20,16	24,75	18,49	22,71	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 25 Dk	13,46	15,07	85,4	90,52	17,41	17,81	30,87	32,89	893	876	5	5	28,15	29,17	25,83	26,76	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 30 Dk	13,49	15,22	85,4	90,52	19,34	19,81	32,84	35,04	878	862	5	4	27,74	36,23	25,45	33,24	210

EK 15: 28M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

28M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 5 Dk	14,11	14,02	101,5 8	102,7 3	4,41	4,52	18,52	18,55	5425	5272	190	190	3,97	3,79	3,64	3,47	1050
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 10 Dk	14,11	14,02	101,5 8	102,7 3	6,77	6,89	20,89	20,91	5411	5257	95	95	7,91	7,55	7,26	6,93	1050
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 15 Dk*	14,11	14,02	101,5 8	102,7 3	9,12	9,24	23,23	23,27	5400	5244	64	64	11,72	11,18	10,75	10,26	1050
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 20 Dk	14,11	14,01	101,5 8	102,7 3	11,49	11,62	25,61	25,64	5384	5234	48	48	15,58	14,87	14,29	13,64	1050
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 25 Dk	14,11	14,01	101,5 8	102,7 3	13,84	13,92	27,96	27,93	5378	5229	38	38	19,66	18,77	18,04	17,22	1050

EK 16: 28M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

28M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 5 Dk	12,62	13,16	101,5 8	102,7 3	3,86	3,57	16,48	16,73	2332	2425	22	22	13,17	14,12	12,08	12,95	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 10 Dk	12,6	13,15	101,5 8	102,7 3	6,25	5,99	18,85	19,14	2304	2388	11	11	25,98	27,79	23,84	25,49	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 15 Dk*	12,6	13,14	101,5 8	102,7 3	8,66	8,42	21,26	21,56	2279	2354	8	8	35,34	37,64	32,42	34,53	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 20 Dk	12,58	13,06	101,5 8	102,7 3	11,05	10,82	23,63	23,88	2243	2332	6	6	46,30	49,41	42,47	45,33	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 25 Dk	12,53	13,09	101,5 8	102,7 3	13,42	13,20	25,95	26,29	2216	2307	5	5	54,67	58,79	50,16	53,94	210

EK 17: 29M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

29M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 20 Dk	10,32	10,31	57,94	58,54	10,66	10,77	20,98	21,09	1730	1600	58	58	5,31	4,86	4,87	4,46	1200
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 25 Dk	10,3	10,3	57,94	58,54	13,16	13,09	23,47	23,39	1729	1595	46	46	6,68	6,10	6,13	5,60	1200
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 30 Dk*	10,3	10,32	57,94	58,54	15,47	15,48	25,79	25,8	1726	1595	39	39	7,87	7,21	7,22	6,61	1200
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 35 Dk	10,32	10,31	57,94	58,54	17,85	17,95	28,17	28,26	1716	1586	33	33	9,26	8,46	8,50	7,77	1200
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 40 Dk	10,31	10,31	57,94	58,54	20,18	20,21	30,5	30,52	1716	1585	29	29	10,53	9,63	9,66	8,83	1200

EK 18: 29M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

29M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 20 Dk	10,03	10,02	57,94	58,54	12,32	12,58	22,35	22,61	575	546	7	7	14,22	13,35	13,05	12,25	180
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 25 Dk	9,92	10,01	57,94	58,54	14,33	14,55	24,25	24,56	570	544	5	5	19,52	18,60	17,91	17,07	180
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 30 Dk*	10,01	10,09	57,94	58,54	16,31	16,57	26,33	26,66	565	541	5	5	19,52	18,65	17,91	17,11	180
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 35 Dk	9,9	9,97	57,94	58,54	18,39	18,34	28,29	28,32	548	517	4	4	23,41	22,01	21,48	20,20	180
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 40 Dk	9,98	10	57,94	58,54	20,21	20,34	30,2	30,35	542	519	4	4	23,34	22,16	21,41	20,33	180

EK 19: 30M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

30M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama a Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama a Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakika)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 10 Dk	7,09	9,35	40,96	36,55	5,27	5,56	12,65	14,63	1269	1400	83	84	2,65	4,26	2,43	3,91	870
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 15 Dk*	7,08	9,34	40,96	36,55	7,95	7,69	15,03	17,03	1268	1396	56	56	3,91	6,37	3,59	5,84	870
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 20 Dk*	7,09	9,34	40,96	36,55	10,39	10,09	17,48	19,43	1258	1389	42	42	5,18	8,45	4,76	7,75	870
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 25 Dk	7,09	9,34	40,96	36,55	12,68	12,64	19,77	21,98	1262	1388	34	34	6,42	10,43	5,89	9,57	870
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 30 Dk	7,08	9,37	40,96	36,55	15,24	14,8	22,32	24,18	1250	1377	28	28	7,72	12,61	7,08	11,57	870

EK 20: 30M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

30M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 10 Dk	7,03	9,47	40,96	36,55	5,9	5,57	12,93	15,05	858	687	23	24	6,40	7,42	5,87	6,80	270
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 15 Dk	7,03	9,42	40,96	36,55	8,14	8,02	15,18	17,44	857	682	16	16	9,19	10,99	8,43	10,08	270
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 20 Dk*	7,03	9,44	40,96	36,55	10,43	10,22	17,47	19,66	840	673	12	12	12,01	14,48	11,02	13,29	270
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 25 Dk	7,03	9,4	40,96	36,55	12,86	12,54	19,9	21,94	842	671	10	10	14,45	17,26	13,26	15,83	270
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 30 Dk	7,03	9,49	40,96	36,55	15,1	14,85	22,13	24,35	826	656	8	8	17,72	21,29	16,26	19,53	270

EK 21: 32M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

32M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakika)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 20 Dk*	12,08	10,86	48,93	48,1	11,47	11,06	23,47	21,93	678	629	33	33	5,07	4,30	4,65	3,95	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 25 Dk	11,99	10,87	48,93	48,1	13,7	13,25	25,69	24,12	679	628	26	26	6,40	5,46	5,87	5,01	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 30 Dk*	11,98	10,85	48,93	48,1	16,05	15,59	28,04	26,44	673	624	22	22	7,49	6,40	6,87	5,87	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 35 Dk	11,96	10,85	48,93	48,1	18,11	17,82	30,07	28,68	675	619	19	19	8,68	7,35	7,97	6,74	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 40 Dk	10,89	12,08	48,93	48,1	20,63	19,72	32,71	30,61	667	620	17	17	8,73	9,16	8,01	8,40	690

EK 22: 32M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

32M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 20 Dk	9,97	10,67	48,93	48,1	12,37	11,79	22,35	22,46	437	372	9	9	9,89	9,17	9,08	8,41	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 25 Dk	9,91	10,55	48,93	48,1	14,07	13,68	23,99	24,23	430	370	7	7	12,44	11,59	11,41	10,64	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 30 Dk*	9,87	10,64	48,93	48,1	16,28	15,97	26,15	26,62	428	362	6	6	14,39	13,35	13,20	12,24	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 35 Dk	9,84	10,53	48,93	48,1	18,28	17,66	28,13	28,19	421	362	5	5	16,93	15,85	15,53	14,54	210
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 40 Dk	10,18	10,69	48,93	48,1	20,35	19,55	30,54	30,24	409	357	5	5	17,02	15,87	15,61	14,56	210

EK 23: 33M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

33M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 30 Dk	9,34	10,42	55,67	55,09	15,96	15,72	25,3	26,15	750	773	34	34	3,70	4,30	3,40	3,95	1050
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 35 Dk	9,32	10,4	55,67	55,09	18,24	17,78	27,56	28,18	747	773	29	29	4,31	5,03	3,96	4,62	1050
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 40 Dk*	9,3	10,39	55,67	55,09	20,61	20,53	29,91	30,93	746	770	25	25	4,98	5,81	4,57	5,33	1050
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 45 Dk	9,33	10,42	55,67	55,09	22,9	22,62	32,23	33,05	747	770	23	23	5,44	6,33	4,99	5,81	1050
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 50 Dk	9,31	10,41	55,67	55,09	24,76	25,03	34,08	35,44	742	767	20	20	6,20	7,25	5,69	6,65	1050

EK 24: 33M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

33M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 30 Dk	8,48	9,74	55,67	55,09	16,33	16,06	24,81	25,8	517	510	8	8	9,84	11,27	9,03	10,34	270
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 35 Dk	8,46	9,76	55,67	55,09	18,2	17,96	26,66	27,27	520	506	7	7	11,29	12,81	10,36	11,75	270
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 40 Dk*	8,42	9,66	55,67	55,09	20,63	20,17	29,05	29,83	511	501	6	6	12,88	14,64	11,82	13,43	270
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 45 Dk	8,48	9,7	55,67	55,09	22,39	22,09	30,87	32,21	494	503	5	5	15,05	17,71	13,81	16,25	270
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 50 Dk*	8,38	9,67	55,67	55,09	24,55	24,24	32,93	33,91	511	491	5	5	15,38	17,24	14,11	15,81	270

EK 25: 36M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

36M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 20 Dk	8,78	12,48	66,78	65,76	12,31	12,81	21,1	25,29	813	778	32	32	3,34	4,61	3,06	4,23	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 25 Dk	8,72	12,52	66,78	65,76	14,54	14,93	23,27	27,46	819	776	25	25	4,28	5,91	3,92	5,42	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 30 Dk*	8,79	12,47	66,78	65,76	16,7	17,14	25,49	29,62	808	776	21	21	5,06	7,01	4,65	6,43	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 35 Dk	8,77	12,49	66,78	65,76	18,65	19,22	27,42	31,72	808	773	18	18	5,90	8,16	5,41	7,48	690
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 40 Dk	8,79	12,45	66,78	65,76	21,2	21,53	30	33,98	804	765	16	16	6,61	9,05	6,07	8,30	690

EK 26: 36M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

36M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 20 Dk	8,67	12,36	66,78	65,76	11,66	12,88	20,34	25,25	1101	886	17	17	8,41	9,80	7,71	8,99	390
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 25 Dk	8,62	12,42	66,78	65,76	13,98	14,98	22,6	27,41	1115	878	13	13	11,07	12,76	10,16	11,70	390
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 30 Dk*	8,69	12,33	66,78	65,76	16,16	16,98	24,85	29,31	1086	880	11	11	12,85	15,00	11,79	13,76	390
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 35 Dk	8,7	12,4	66,78	65,76	18,32	19,42	27,02	31,82	1088	864	10	10	14,17	16,29	13,00	14,95	390
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 40 Dk	8,68	12,4	66,78	65,76	20,53	21,23	29,21	33,63	1074	872	9	9	15,51	18,27	14,23	16,76	390

EK 27: 44M Hattı Normal Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

44M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışma Süresi (Dakika)
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 40 Dk	9,14	11,38	46,35	43,52	20,49	19,72	29,64	31,11	407	364	20	20	4,01	4,76	3,68	4,37	810
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 50 Dk	9,14	11,36	46,35	43,52	25,32	24,45	34,47	35,81	403	361	16	16	4,97	5,89	4,56	5,40	810
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 60 Dk*	9,02	11,28	46,35	43,52	30,08	27,95	39,1	39,24	402	365	13	13	6,02	7,28	5,52	6,68	810
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 70 Dk	9,06	11,34	46,35	43,52	33,88	33,02	42,94	44,37	404	365	11	11	7,18	8,65	6,59	7,93	810
Yolcu Gelişi: Normal Sefer Aralığı: 80 Dk	9,12	11,37	46,35	43,52	37,35	37,44	46,47	48,82	389	351	10	10	7,65	9,17	7,02	8,41	810

EK 28: 44M Hattı Yoğun Zaman Simülasyon Modeli Sonuçları

44M HATTI	Gidiş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Seyahat Süresi	Gidiş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Dönüş Otobüsü Ortalama Sefer Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Dönüş Yolcusu Ortalama Bekleme Süresi	Gidiş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Dönüş Yolcusu Ortalama Sistemde Geçirilen Süre	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Gidiş Yolcusu Sayısı	Günlük Hizmet Verilen Ortalama Dönüş Yolcusu Sayısı	Gidiş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Dönüş Otobüsü Günlük Ortalama Sefer Sayısı	Gidiş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Dönüş Otobüsün deki Ortalama Yolcu Sayısı	Gidiş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Dönüş Otobüsü Kapasite Kullanım Oranı (%)	Günlük Çalışm a Süresi (Dakik a)
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 40 Dk	8,76	10,69	46,35	43,52	21,07	18,49	29,83	29,18	115	111	2	2	10,87	13,63	9,97	12,51	90
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 50 Dk	8,27	10,44	46,35	43,52	23,73	21,1	32,01	31,54	116	116	1	1	20,70	27,83	18,99	25,53	90
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 60 Dk*	7,32	8,88	46,35	43,52	25,81	23,58	33,14	32,46	113	115	1	1	17,85	23,47	16,37	21,53	90
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 70 Dk	7,17	7,90	46,35	43,52	28,64	23,69	35,82	31,59	113	95	1	1	17,48	17,24	16,04	15,82	90
Yolcu Gelişi: Yoğun Sefer Aralığı: 80 Dk	7,73	8,63	46,35	43,52	24,53	19,35	32,27	27,98	69	64	1	1	11,51	12,69	10,56	11,64	90

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Kısmet CİNGÖZ

E-mail :

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Ön Lisans	Pazarlama	Erciyes Üniversitesi	2004-2006
Lisans	İşletme (İngilizce)	Hacettepe Üniversitesi	2006-2011
Yüksek Lisans	İşletme	Mersin Üniversitesi	2012-2014
Doktora	İşletme	Mersin Üniversitesi	2014-2021

Görevler :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Mersin Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü – İşletme Anabilim Dalı	2013-2021

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

Makaleler

1. Aytemiz, T., & Cingöz, K. (2020). Kuruluş yeri seçiminde analitik hiyerarşi süreci: Kayseri’de bir fast-food zinciri uygulaması. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 50, 248-261.
2. Cingöz, K., Gürgen, E., & Beyhan, B. (2018). Coğrafi bilgi sistemleriyle atık toplama araçlarının rotalarının belirlenmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 36(1), 39-62.
3. Gürgen, E., Aytemiz, T., & Cingöz, K. (2015). Ambalaj atıklarında tersine lojistik: Bir simülasyon modeli uygulaması. *İktisat İşletme ve Finans*, 30(355), 31-54.
4. Temiz, N., & Cingöz, K. (2015). İşgören seçim sürecindeki kritik faaliyetlerin analitik hiyerarşi süreci ile değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(4).

Bildiriler

1. Cingöz, A., & Cingöz, K., İçsel pazarlamanın örgütlerdeki saldırgan davranışlar üzerindeki etkisi. *International Congress of Management Economy and Policy*. 2016-11-26, 2016-11-27, İstanbul, Turkey, 2016.
2. Cingöz, K., & Gürgen, E., Tedarik zinciri yönetiminde kamçı etkisinin rolü. *International Congress of Management Economy and Policy*. 2016-11-25, 2016-11-26, İstanbul, Turkey, 2016.
3. Aytemiz, T., & Cingöz, K., Kuruluş yeri seçiminde analitik hiyerarşi süreci: Kayseri’de bir fast-food zinciri uygulaması. *16. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 2016-10-12, 2016-10-14, İstanbul, Turkey, 2016.
4. Aytemiz, T., Cingöz, K., & Dursun, E., Üretim yönetimine literatür taraması yoluyla kavramsal bir çerçeve oluşturulması. *14. Ulusal İşletmecilik Kongresi*, 2015-05-07, 2015-05-09, AKSARAY, Turkey, 2015.

Projeler

1. CERES Project - Climate Change and European Aquatic Resources, **EU - HORIZON 2020**, Project No: 678193, 5,000,000 EUR, Researcher, 2020. Completed.
<http://ceresproject.eu>