**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# TOPLU TAŞIMA TÜRÜ SEÇİMİNDE SİMÜLASYON DESTEKLİ ANALİTİK HİYERARŞİ YAKLAŞIMI

**DOKTORA TEZİ**

**Y. Müh. Murat AKAD**

**Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ**

**MART 2006**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# TOPLU TAŞIMA TÜRÜ SEÇİMİNDE SİMÜLASYON DESTEKLİ ANALİTİK HİYERARŞİ YAKLAŞIMI

**DOKTORA TEZİ**

**Y. Müh. Murat AKAD**
**(501942005)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Kasım 2005**
**Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Mart 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU (İ.T.Ü.)**
**Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Güngör EVREN (İ.T.Ü.)**
**Prof.Dr. Nadir YAYLA (İ.T.Ü.)**
**Prof.Dr. Aydın EREL (Y.T.Ü.)**
**Prof.Dr. Zerrin BAYRAKTAR (Y.T.Ü.)**

**MART 2006**

# ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ergun Gedizlioğlu ile görüşlerinden her zaman yararlandığım Sayın Prof. Dr. Güngör Evren'e, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi öğretim üyesi, sevgili ağabeyim Yrd. Doç. Dr. Ş. Alp Baray'a ve tez çalışmamı sürdürmemde bana destek olan başta Araş. Gör. Dr. Tevfik Özlüdemir, Yrd. Doç. Dr. Murat Ergün ve Yrd. Doç. Dr. Hakan Güler olmak üzere bütün arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

05/2005 Murat Akad

**İÇİNDEKİLER**


**KISALTMALAR** **v**
**TABLO LİSTESİ** **vi**
**ŞEKİL LİSTESİ** **vii**
**SEMBOL LİSTESİ** **ix**
**ÖZET** **xi**
**SUMMARY** **xv**

**1. GİRİŞ** **1**

**2. ULAŞTIRMA YATIRIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE YAKLAŞIMLAR** **3**
2.1. Değerlendirme Yöntemlerinin Kısa Tarihçesi 3
2.2. Değerlendirme Yöntemleri 5
2.2.1. Fayda Maliyet Analizi 5
2.2.2. Çok Ölçütlü Değerlendirme 8
2.2.3. Yöntemlerin Değerlendirilmesi 12

**3. TOPLU TAŞIMA TÜRÜ SEÇİMİNDE ETKİLİ OLAN ÖLÇÜTLER** **14**
3.1. Maliyet 16
3.2. İşletme Maliyetleri 16
3.3. Kapasite 16
3.4. Hız 19
3.5. Yolculuk Süresi 19
3.6. Çok Ölçütlü Değerlendirme Önerisi 19

**4. SİMÜLASYON** **22**
4.1. Tanım 22
4.2. Simülasyonun Uygun Olduğu Durumlar 22
4.3. Simülasyonun Bileşenleri 23
4.4. Simülasyonun Çeşitleri 24
4.5. Bir Simülasyon Modelinin Aşamaları 26

**5. YOLCULUK SÜRESİ VE SİMÜLASYONU** **28**
5.1. Yolculuk Süresi 28
5.2. Yolculuk Süresi Simülasyon Modeli 30
5.2.1. Modelin Girdileri 31
5.2.2. Modelin Çalıştırılması 32

**6. ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ** **40**
6.1. Analitik Hiyerarşi Yönteminin Uygulama Alanları 41
6.2. Hiyerarşi Kavramı 42
6.3. AHY'nin Katkıları ve Kısıtları 45
6.4. AHY'de Ölçme ve Karar Verme Süreci 47

6.5. AHY'nin Evreleri 50
6.5.1. Problemin Belirlenmesi 50
6.5.2. Sistem Yaklaşımının Ortaya Konulması 50
6.5.3. Hiyerarşik Yapının Kurulması 51
6.5.4. Önceliklerin Belirlenmesi 51
6.5.5. Sentezleme 53
6.5.6. Değerlendirme ve Sonuç 53

**7. ÇOK ÖLÇÜTLÜ DEĞERLENDİRME SÜRECİ 54**
7.1. Ölçütlerin Belirlenmesi 54
7.2. Toplu Taşıma Seçimi Değerlendirme Ölçütleri Ağırlıklarının Belirlenmesi 57
7.2.1. Anket Uygulaması 59
7.2.2. Ölçütlerin Kendi Aralarındaki Önem Hiyerarşisinin Belirlenmesi 60
7.3. İki Seçenek İçin Ölçüt Ağırlıklarının Belirlenmesi 65
7.3.1. Yolculuk Süresi 65
7.3.2. Yolculuk Maliyeti 66
7.3.3. Durakta Bekleme Süresi 66
7.3.4. Araçlara (Duraklara) Ulaşabilme Kolaylığı 67
7.3.5. Araç Konforu 68
7.3.6. Toplam Yapım Maliyeti 68
7.3.7. İşletme ve Bakım Maliyeti 69
7.3.8. Hava Kirliliğine Etki 70
7.3.9. Gürültü Kirliliğine Etki 71
7.3.10. Görüntü Kirliliğine Etki 71
7.3.11. Ulaşım Ana Planına Uygunluk 72
7.3.12. Kentin Tarihi Dokusuna Uygunluk 72
7.3.13. Kentsel Yapıya Uygunluk 72
7.3.14. Yapım ve İşletmeye Açılma Süresi 73
7.3.15. Kazaya Karışma Olasılığı 73
7.3.16. Talepteki Değişimlere Uyum Sağlama Yeteneği 74
7.3.17. Proje Ömrü ve Proje Ömrü Sonundaki Değeri 74
7.4. Karar Verme 75
7.4.1. Beşiktaş-Levent Koridoru 76
7.4.2. Aksaray-Taksim Koridoru 76

**8. SONUÇ 77**

**KAYNAKLAR 82**

**EKLER 86**

**ÖZGEÇMİŞ 107**

**KISALTMALAR**

| | |
|---|---|
| **LRT** | : Hafif Raylı Taşıma (Light Rail Transit) |
| **TTSİM** | : Toplu Taşıma Simülasyon Modeli |
| **AHY** | : Analitik Hiyerarşi Yöntemi |
| **YS** | : Yolculuk Süresi |
| **YM** | : Yolculuk Maliyeti |
| **DBS** | : Durakta Bekleme Süresi |
| **AUK** | : Araçlara (Duraklara) Ulaşabilme Kolaylığı |
| **YTK** | : Yolcu Taşıma Kapasitesi |
| **AK** | : Araç Konforu |
| **TYM** | : Toplam Yapım Maliyeti |
| **İBM** | : İşletme ve Bakım Maliyeti |
| **HKE** | : Hava Kirliliğine Etki |
| **GKE** | : Gürültü Kirliliğine Etki |
| **GK** | : Görüntü Kirliliğine Etki |
| **UAU** | : Ulaşım Ana Planına Uygunluk |
| **KTU** | : Kentin Tarihi Dokusuna Uygunluk |
| **KYU** | : Kentsel Yapıya Uygunluk |
| **YİS** | : Yapım ve İşletmeye Açılma Süresi |
| **KKO** | : Kazaya Karışma Olasılığı |
| **TDU** | : Talepteki Değişimlere Uyum Sağlama Yeteneği |
| **PÖD** | : Proje Ömrü ve Proje Ömrü Sonundaki Değeri |

## TABLO LİSTESİ


**Sayfa No**

**Tablo 3.1.** Toplu taşıma türlerinin sermaye maliyetleri..... 16
**Tablo 3.2.** Bazı sistemler için yaklaşık ticari hızlar..... 19
**Tablo 7.1.** Toplu taşıma türü seçiminde dikkate alınması gereken ölçütler..... 55
**Tablo 7.2.** Toplu taşıma sistem seçiminde etkili olan ölçütlerin önem dereceleri. 60
**Tablo 7.3.** Ölçütlerin 1'e oranlanmış önem dereceleri..... 62
**Tablo 7.4.** Ölçütlerin ağırlıkları..... 64
**Tablo 7.5.** Emisyonlar..... 70

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa No**


**Şekil 3.1** : Çeşitli kentlerdeki sistemlerin kapasiteleri..... 18
**Şekil 4.1** : Simülasyonun aşamaları..... 27
**Şekil 5.1** : Simülasyon modeli veri sayfası..... 35
**Şekil 5.2** : Beşiktaş-Levent simülasyon sayfası..... 36
**Şekil 5.3** : Levent-Beşiktaş simülasyon sayfası..... 37
**Şekil 5.4** : Simülasyon ile elde edilen yolculuk süreleri grafikleri..... 38
**Şekil 5.5** : Simülasyon sonuç sayfası örneği..... 39
**Şekil 6.1** : Hiyerarşik gösterim örneği..... 52
**Şekil 6.2** : İkili karşılaştırmalar matrisi..... 52
**Şekil 7.1** : Ölçütler için A karşılaştırma matrisi..... 63
**Şekil 7.2** : Normalize edilmiş matris (N)..... 63
**Şekil A.1** : Aksaray-Taksim Yönü Sabah Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 86
**Şekil A.2** : Aksaray-Taksim Yönü Sabah Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı..... 87
**Şekil A.3** : Aksaray-Taksim Yönü Sabah Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı..... 87
**Şekil A.4** : Aksaray-Taksim Yönü Öğlen Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 88
**Şekil A.5** : Aksaray-Taksim Yönü Öğlen Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı..... 88
**Şekil A.6** : Aksaray-Taksim Yönü Öğlen Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı..... 89
**Şekil A.7** : Aksaray-Taksim Yönü Akşam Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 89
**Şekil A.8** : Aksaray-Taksim Yönü Akşam Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı.... 90
**Şekil A.9** : Aksaray-Taksim Yönü Akşam Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı.... 90
**Şekil A.10** : Taksim-Aksaray Yönü Sabah Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 91
**Şekil A.11** : Taksim-Aksaray Yönü Sabah Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı..... 91
**Şekil A.12** : Taksim-Aksaray Yönü Sabah Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı..... 92
**Şekil A.13** : Taksim-Aksaray Yönü Öğlen Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 92
**Şekil A.14** : Taksim-Aksaray Yönü Öğlen Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı..... 93
**Şekil A.15** : Taksim-Aksaray Yönü Öğlen Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı..... 93
**Şekil A.16** : Taksim-Aksaray Yönü Akşam Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 94
**Şekil A.17** : Taksim-Aksaray Yönü Akşam Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı.... 94
**Şekil A.18** : Taksim-Aksaray Yönü Akşam Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı.... 95
**Şekil A.19** : Beşiktaş-Levent Yönü Sabah Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 95
**Şekil A.20** : Beşiktaş-Levent Yönü Sabah Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı..... 96
**Şekil A.21** : Beşiktaş-Levent Yönü Sabah Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı..... 96
**Şekil A.22** : Beşiktaş-Levent Yönü Öğlen Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 97
**Şekil A.23** : Beşiktaş-Levent Yönü Öğlen Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı..... 97
**Şekil A.24** : Beşiktaş-Levent Yönü Öğlen Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı..... 98
**Şekil A.25** : Beşiktaş-Levent Yönü Akşam Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 98
**Şekil A.26** : Beşiktaş-Levent Yönü Akşam Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı.... 99
**Şekil A.27** : Beşiktaş-Levent Yönü Akşam Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı.... 99
**Şekil A.28** : Levent-Beşiktaş Yönü Sabah Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 100
**Şekil A.29** : Levent-Beşiktaş Yönü Sabah Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı..... 100

**Şekil A.30 :** Levent-Beşiktaş Yönü Sabah Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı..... 101
**Şekil A.31 :** Levent-Beşiktaş Yönü Öğlen Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 101
**Şekil A.32 :** Levent-Beşiktaş Yönü Öğlen Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı..... 102
**Şekil A.33 :** Levent-Beşiktaş Yönü Öğlen Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı..... 102
**Şekil A.34 :** Levent-Beşiktaş Yönü Akşam Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı..... 103
**Şekil A.35 :** Levent-Beşiktaş Yönü Akşam Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı.... 103
**Şekil A.36 :** Levent-Beşiktaş Yönü Akşam Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı.... 104

## SEMBOL LİSTESİ

| | |
|---|---|
| $x_{ort}$ | **:** Ortalama |
| $\sigma_{xort}$ | **:** Standart sapma |
| $\mu$ | **:** Gerçek ana kütle ortalaması |
| $X_{ij}$ | **:** i faktörünün j'ye göre önemi |
| $X_i$ | **:** i faktörünün göreli ağırlığı |
| $w_{YS}$ | **:** Yolculuk süresi ölçütünün ağırlığı |
| $w_{YM}$ | **:** Yolculuk maliyeti ölçütünün ağırlığı |
| $w_{DBS}$ | **:** Durakta bekleme süresi ölçütünün ağırlığı |
| $w_{AUK}$ | **:** Araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı ölçütünün ağırlığı |
| $w_{YTK}$ | **:** Yolcu taşıma kapasitesi ölçütünün ağırlığı |
| $w_{AK}$ | **:** Araç konforu ölçütünün ağırlığı |
| $w_{TYM}$ | **:** Toplam yapım maliyeti ölçütünün ağırlığı |
| $w_{İBM}$ | **:** İşletme ve bakım maliyeti ölçütünün ağırlığı |
| $w_{HKE}$ | **:** Hava kirliliğine etki ölçütünün ağırlığı |
| $w_{GKE}$ | **:** Gürültü kirliliğine etki ölçütünün ağırlığı |
| $w_{GK}$ | **:** Görüntü kirliliğine etki ölçütünün ağırlığı |
| $w_{UAU}$ | **:** Ulaşım ana planına uygunluk ölçütünün ağırlığı |
| $w_{KTU}$ | : Kentin tarihi dokusuna uygunluk ölçütünün ağırlığı |
| $w_{KYU}$ | : Kentsel yapıya uygunluk ölçütünün ağırlığı |
| $w_{Yİ S}$ | : Yapım ve işletmeye açılma süresi ölçütünün ağırlığı |
| $w_{KKO}$ | : Kazaya karışma olasılığı ölçütünün ağırlığı |
| $w_{TDU}$ | : Talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği ölçütünün ağırlığı |
| $w_{PÖD}$ | : Proje ömrü ve proje ömrü sonundaki değeri ölçütünün ağırlığı |
| $w_{YSt}$ | : Tramvay için yolculuk süresi ölçütünün ağırlığı |
| $w_{YMt}$ | : Tramvay için yolculuk maliyeti ölçütünün ağırlığı |
| $w_{DBSt}$ | : Tramvay için durakta bekleme süresi ölçütünün ağırlığı |
| $w_{AUKt}$ | : Tramvay için araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı ölçütünün ağırlığı |
| $w_{YTKt}$ | : Tramvay için yolcu taşıma kapasitesi ölçütünün ağırlığı |
| $w_{AKt}$ | : Tramvay için araç konforu ölçütünün ağırlığı |
| $w_{TYMt}$ | : Tramvay için toplam yapım maliyeti ölçütünün ağırlığı |
| $w_{İBMt}$ | : Tramvay için işletme ve bakım maliyeti ölçütünün ağırlığı |
| $w_{HKEt}$ | : Tramvay için hava kirliliğine etki ölçütünün ağırlığı |
| $w_{GKEt}$ | : Tramvay için gürültü kirliliğine etki ölçütünün ağırlığı |
| $w_{GKt}$ | : Tramvay için görüntü kirliliğine etki ölçütünün ağırlığı |
| $w_{UAUt}$ | : Tramvay için ulaşım ana planına uygunluk ölçütünün ağırlığı |
| $w_{KTUt}$ | : Tramvay için kentin tarihi dokusuna uygunluk ölçütünün ağırlığı |
| $w_{KYUt}$ | : Tramvay için kentsel yapıya uygunluk ölçütünün ağırlığı |
| $w_{Yİ St}$ | : Tramvay için yapım ve işletmeye açılma süresi ölçütünün ağırlığı |
| $w_{KKOt}$ | : Tramvay için kazaya karışma olasılığı ölçütünün ağırlığı |
| $w_{TDUt}$ | : Tramvay için talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği ölçütünün ağırlığı |

$w_{PÖDt}$ : Tramvay için proje ömrü ve proje ömrü sonundaki değeri ölçütünün ağırlığı

$w_{YSo}$ : Otobüs yolu için yolculuk süresi ölçütünün ağırlığı

$w_{YMo}$ : Otobüs yolu için yolculuk maliyeti ölçütünün ağırlığı

$w_{DBSo}$ : Otobüs yolu için durakta bekleme süresi ölçütünün ağırlığı

$w_{AUKo}$ : Otobüs yolu için araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı ölçütünün ağırlığı

$w_{YTKo}$ : Otobüs yolu için yolcu taşıma kapasitesi ölçütünün ağırlığı

$w_{AKo}$ : Otobüs yolu için araç konforu ölçütünün ağırlığı

$w_{TYMo}$ : Otobüs yolu için toplam yapım maliyeti ölçütünün ağırlığı

$w_{İBMo}$ : Otobüs yolu için işletme ve bakım maliyeti ölçütünün ağırlığı

$w_{HKEo}$ : Otobüs yolu için hava kirliliğine etki ölçütünün ağırlığı

$w_{GKEo}$ : Otobüs yolu için gürültü kirliliğine etki ölçütünün ağırlığı

$w_{GKo}$ : Otobüs yolu için görüntü kirliliğine etki ölçütünün ağırlığı

$w_{UAUo}$ : Otobüs yolu için ulaşım ana planına uygunluk ölçütünün ağırlığı

$w_{KTUo}$ : Otobüs yolu için kentin tarihi dokusuna uygunluk ölçütünün ağırlığı

$w_{KYUo}$ : Otobüs yolu için kentsel yapıya uygunluk ölçütünün ağırlığı

$w_{YİSo}$ : Otobüs yolu için yapım ve işletmeye açılma süresi ölçütünün ağırlığı

$w_{KKOo}$ : Otobüs yolu için kazaya karışma olasılığı ölçütünün ağırlığı

$w_{TDUo}$ : Otobüs yolu için talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği ölçütünün ağırlığı

$w_{PÖDo}$ : Otobüs yolu için proje ömrü ve proje ömrü sonundaki değeri ölçütünün ağırlığı

# TOPLU TAŞIMA TÜRÜ SEÇİMİNDE SİMÜLASYON DESTEKLİ ANALİTİK HİYERARŞİ YAKLAŞIMI

## ÖZET


Yeni ulaştırma sistemleri planlanması ya da mevcut ulaştırma sistemlerinin geliştirilmesi aşamasında verilecek kritik kararlar, çoğunlukla birden fazla seçenek arasından bir tanesinin seçilmesi olarak şekillenmektedir.

Ulaşım türü seçiminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için gereken koşulların başında, farklı seçenekler arasında bir karşılaştırmanın yapılması gelmektedir. Ulaşım türü seçimi sürecinin belki de en hassas olunması gereken aşaması bu karşılaştırma aşamasıdır. Zira karşılaştırma işleminin ortaya çıkardığı pek çok güçlük bulunmaktadır. Bu güçlüklerin başında, karşılaştırmaya dahil edilecek etmenler gelmektedir. Bu etmenlerin bazıları nicel özellikler taşımakta ya da nicelleştirilebilecek durumdadır. Buna karşılık pek çoğu da nitelikseldir. Niteliksel olan unsurların değerlendirilmesi ciddi bir birikim ve deneyim gerektirmekte, doğru değer yargılarının kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla karşılaştırma işleminin tek başına nicel bir model ile tanımlanması anlamlı değildir. Aynı gerekçe ile, karşılaştırmalı analizin sonuçlarının da tek bir nicel değerle verilmesi sağlıklı olmayacaktır.

Yatırım seçeneklerinin karşılaştırılmasında ortaya çıkan önemli sorunlardan biri de sayısal olarak ifade edilemeyen bazı ölçütlerin analize dahil edilmesi aşamasında ortaya çıkmaktadır. Bu tip ölçütler ya doğru olmayan biçimlerde sayısallaşatırılarak değerlendirmeye katılmakta ya da yalnızca sözel olarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, gerek sayısal gerekse sayısal olmayan ölçütlerin değerlendirmeye dahil edilebilmesi için geliştilmiş olan yöntemlerden biri olan analitik hiyerarşi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, bir yolculuk süresi simülasyonu ile desteklenerek toplu taşıma türü seçiminde yararlı olabilecek bir uygulama yapılmaya çalışılmıştır.

Ulaştırma yatırımlarının değerlendirmesi, ulaştırma planlamasının en önemli aşamalarından birini oluşturmaktadır. Diğer yandan ulaştırma yatırımları, maliyetleri itibariyle büyük yatırımlardır. Çok büyük miktarda harcama gerektiren, ekonomik, çevresel ve toplumsal etkisi çok büyük olan bu yatırımların olabildiğince sağlıklı biçimde değerlendirilebilmesi için bugüne kadar çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Farklı ulaşım türlerinin karşılaştırılmasına yönelik kapsamlı bir çalışma Tillo E. Kuhn tarafından, 1960'lı yılların başlarında yapıldı. Kuhn aynı zamanda kavramsal bir çerçeve de geliştirdi. Öncelikle yalnızca maliyetlere dayalı bir karşılaştırmanın yaratacağı sıkıntıları gösterdi. Doğrudan niceliksel faktörlerin yanında, doğrudan olmayan, dolaylı ve niteliksel faktörlerin de göz önüne alınması gerektiğini vurguladı. Edward K. Morlok, Marvin L. Manheim ve başka bazı araştırmacılar analiz ve değerlendirme işlemlerine ulaşım türlerinin bütün birincil karakteristiklerin ("boyutlarının") dahil edilmesi gerektiğini vurguladılar.

Bir dizi başka çalışma, değişik ulaşım türlerinin gerçek karakteristiklerinin karşılaştırmasına dayandırılmıştı. 1970'lerin ortalarında Vukan R. Vuchic, değişik türlerin yuvarlanma yüzeyi türü, teknoloji (uzaktan yönlendirilmeli vb.), taşıt boyutları gibi bileşenlerini analiz etti.

Bazı çalışmalarda da, hipotetik ulaşım koridorları için yapılan ulaşım türü karşılaştırmalarında ekonomik boyuta ağırlık verildi. Bu tip çalışmalarda, değişik kentlerden ya da tek bir metropoliten alandan alınan ortalama maliyetler kullanıldı.

Ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesi için geliştirilen çeşitli yaklaşımların iki ana başlık altında toplanması mümkündür. Genel olarak yatırımların değerlendirilmesinde kullanılan bu yöntemlerin ulaştırma alanına uyarlanmış olduğu çok sayıda örnek bulunmaktadır. Bunlar,

1) "Fayda Maliyet Analizi"
2) "Çok Ölçütlü Analiz"dir.

Ulaştırma yatırımlarının, başka büyük yatırımlarda olduğu gibi teknik değerlendirmenin çok ötesine geçen bir boyutu bulunmaktadır. Siyasal karar verme süreçleri bu yatırımların teknik boyutundan daha fazla önem taşıyan boyutudur. Bu boyutun ve teknik boyuta dahil pek çok etmenin sayısal olarak ifade edilememesi çeşitli çok ölçütlü yaklaşım yöntemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu nedenle çok ölçütlü yaklaşımlar ulaştırma yatırım seçeneklerinin değerlendirilmesi için daha sağlıklı yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır. Ancak yine de yatırımlar ile ilgili nihai karar düzlemi siyasal düzlemdir.

Bir kentiçi toplu taşıma sistemi bünyesinde yapılacak olan yeni bir yatırıma karar verilirken, bir dizi ölçütün göz önüne alınması gerekmektedir. Bu ölçütler, sistemin özellikleri çeşitli açılardan değerlendirilmesi gerektiği için çok geniş bir yelpazeye yayılır. Pek çok ülkede değişik çalışmalarda kullanılan ölçütler arasında da değişiklikler bulunmaktadır.

Bir kamu hizmeti olarak planlanan toplu taşıma ile ilgili karar veriş süreçlerinde gerek uzmanlar gerek kullanıcılar gerekse işleticiler açısından önem taşıyan ölçütlerin aynı düzlemde dikkate alınması, olabildiğince geniş kapsamlı bir değerlendirmeyi beraberinde getirecektir.

Sayısal olarak ifade edilemeyen önemli etmenleri de sağlıklı biçimde göz önünde bulundurmayı olanaklı kıldığından, çok ölçütlü karar verme süreçlerinin, bir toplu taşıma türü seçimi sürecinde anlamlı sonuç vereceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, çok ölçütlü karar vermede kullanılan yöntemlerden biri olan analitik hiyerarşi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu yöntem gerek basitliği gerekse farklı koşullara uyum sağlayabilme yeteneği dolayısıyla anlamlı sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Bazı fiziksel koşulların değişmesi durumunun bir simülasyon modeli yardımı ile göz önüne alınması düşünülmüştür. Dolayısıyla önerilen yöntem, simülasyon destekli analitik hiyerarşi yöntemi olarak adlandırılabilir.

Bir kentiçi koridorda uygulanacak toplu taşıma sisteminin türüne karar verebilmek için göz önüne alınması gereken ölçütlerin en önemlileri arasında, "yolculuk süresi" de bulunmaktadır.

Bir toplu taşıma türünün bir koridordaki olası performansının değişik koşullarda nasıl gerçekleştiğinin önceden tahmin edilebilmesinin sayısız yararı bulunmaktadır.

Taşıtların sıklığı, durak yerleri, durak aralıkları gibi etkenler ile ilgili kararların sağlıklı bir şekilde alınabilmesi için performansın öngörülmesi önemlidir.

Dahası, bir koridorda farklı toplu taşıma türlerinin yukarıda açıklanan bağlamda nasıl performans sergileyecekleri, birden fazla seçenek arasında karar vermede bir ölçüt oluşturması açısından önem taşıyacaktır.

Toplu taşıma sisteminin, değişen yolcu talebi, hız, durak aralıkları, (ödeme şekilleri ve diğer fiziksel etmenlere bağlı olarak) biniş ve iniş süresi gibi özelliklerine göre performansının nasıl değiştiği, bir simülasyon modeli yardımı ile öngörülebilir.

Bu çalışmada böylesi bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. TTSIM (Toplu Taşıma Simülasyon Modeli) adı verilen model, değişik koridorlarda, değişik toplu taşıma sistemlerinin değişen koşullarda yolculuk sürelerinin nasıl değiştiğini tahmin etmektedir.
Üretilen modelde performans göstergesi yolculuk süresidir. Model, otobüs yolu ve tramvay sistemleri için ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

Toplu taşıma yatırımlarında ulaşım türü tercihinde etkin olacak ölçütlerin belirlenmesi için, daha önceki çalışmalarda ele alınan ölçüt kümeleri gözden geçirildi. Değişik çalışmalarda kullanıldığı gözlenen ölçütler arasından, bu çalışma kapsamında uygun olacağı düşünülenler belirlendi. Bunlar,
1) Yolculuk süresi
2) Yolculuk maliyeti
3) Durakta bekleme süresi
4) Araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı
5) Yolcu taşıma kapasitesi
6) Araç konforu
7) Toplam yapım maliyeti
8) İşletme ve bakım maliyeti
9) Hava kirliliğine etkisi
10) Gürültü kirliliğine etkisi
11) Görüntü kirliliğine etkisi
12) Ulaşım ana planına uygunluk
13) Kentin tarihi dokusuna uygunluk
14) Kentsel yapıya uygunluk
15) Yapım ve işletmeye açılma süresi
16) Kazaya karışma olasılığı
17) Talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği
18) Proje ömrü ve proje ömrü sonundaki değeri, olarak belirlendi.

Ancak beşinci sırada yer alan yolcu taşıma kapasitesi, gerçekte bir karşılaştırma ölçütü değil, bir gereksinimi temsil ettiğinden, değerlendirme ölçütleri arasından anket sonrasında çıkarıldı.

Bu çalışma kapsamında bir kentiçi koridorunda yapımı öngörülen toplu taşıma sisteminin seçimi için iki örnek ele alınmıştır. Ele alınan örneklerden ilkinde Beşiktaş-Levent koridorunda “tramvay” ve “otobüs yolu” seçenekleri arasında değerlendirme yapılmıştır. İkinci örnekte ise Taksim-Aksaray koridorunda, yine “tramvay” ve otobüs yolu” seçenekleri arasında değerlendirme yapılmıştır.

Daha önce de belirtildiği gibi toplu taşıma türü seçeneğine karar verilmesinde analitik hiyerarşi yönteminden yararlanılmıştır. Analitik hiyerarşi yönteminde öncelikle her seçeneğin ve her ölçütün bir ağırlık katsayısı (w) hesaplanmalıdır.

Analitik hiyerarşi yönteminde etkili olan ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntem uzmanların görüşüne başvurulmasıdır. Bu çalışmada da aynı yöntem benimsenmiştir.

Uzmanların görüşlerinin alınması amacıyla bir anket düzenlenmiştir. Anketler aracılığıyla alınan uzman görüşlerinin değerlendirilmesi sonucunda her ölçütün göreli ağırlığı belirendi. Bundan sonraki aşamada, toplu taşıma seçenekleri için her bir ölçütün ağırlığını hesaplamak amacıyla, sayısal değerler için çeşitli kaynaklardan, sayısal olarak ifade edilmesi güç ölçütler için yapılan anketin ikinci bölümünden yararlanılmıştır.

Analitik hiyerarşi yöntemi ile tanımlanan hiyerarşinin alt basamağındaki ölçütlerin ağırlıkları, tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için yukarıdaki gibi bulunmuştur. Daha sonraki aşamada bu ağırlıklar, hiyerarşinin orta basamağında yer alan, ilgili ölçütlerin ağırlıkları ile çarpılmıştır. Her iki seçenek için bu çarpım sonuçlarının toplanması, seçenekler için birer toplam ağırlık değeri elde edilmesini sağlamıştır.

Sonuçlar, otobüs yolunun göreli ağırlığının tramvayınkinden biraz daha yüksek olduğunu göstermektedir. Analitik hiyerarşi yaklaşımı ile, otobüs yolu, daha tercih edilebilir bir seçenek olarak belirlenmiştir.

## SIMULATION SUPPORTED ANALYTIC HIERARCHY APPROACH IN PUBLIC TRANSPORT MODE SELECTION

## SUMMARY

Critical decisions that are taken at the stage of planning new transportation investments or improving present transportation systems usually turn out to be selecting one alternative among others.

The most important condition in order to make a reasonable transport mode selection is to make a comparison between different alternatives. This comparison stage is perhaps the most precision-requiring stage in the transport mode selection process. The comparison process has many difficulties. The foremost difficulty is to decide on the factors to be included in the comparison. Some of these factors are quantitative or are capable of being quantified. On the other hand, many other factors are qualitative. Evaluation of the qualitative factors requires experience and enforces the correct jurisdictions. Therefore, defining the comparison process with just a quantitative model is not meaningful. Accordingly, expressing the results of the comparison analysis with just a single quantitative value would not be accurate.

One of the important problems in comparing investment alternatives come out in including the some criteria that cannot be expressed numerically in the analysis. These kinds of criteria are either incorrectly quantified and included in the analysis or they are being tried to be evaluated verbally.

In this study, one of the methods that are developed for including both numerical and nonnumeric criteria in the evaluation, the analytical hierarchy method is used. This method is supported by a travel time simulation model; and an application that can be useful in public transport mode selection is made.

One of the most important stages in the transportation planning process is the evaluation of transportation investments. On the other hand, transportation investments are big investments with regard to their costs. Different approaches have been developed to date for a most thorough evaluation of these investments, which requires high spending and which have immense economical, environmental and social effects.

An extensive study for comparing different transport modes was made in early 1960's by Tillo E. Kuhn. Kuhn also developed a notional framework. First he showed the problems that arose when a comparison based on only costs is made. He emphasised that non-direct and qualitative factors should be taken into consideration as well as direct and quantitative factors. Edward K. Morlok, Marvin L. Manheim and several other researchers have expressed that all primary characteristics ("dimensions") of transport modes should be included in analysis and evaluation processes.

Several other studies were based upon comparison of real characteristics of different transport modes. In mid 1970's Vukan R. Vuchic analysed different modes' components, such as right-of-way type, technology (remote control etc.) and vehicle dimensions.

In some studies, economical scope was brought forward in transport mode comparisons made for hypothetical transport corridors. In these type of studies, average costs taken from different cities or a single metropolitan area were used.

It is possible to collect different approaches for evaluating transportation investments under two categories. There are many examples of these methods, which are used generally in investment evaluation, in the area of transportation. These categories are,

1) "Benefit Cost Analysis"
2) "Multiple Criteria Analysis".

Transportation investments, like other big investments, have a dimension that extends beyond technical evaluations. Political decision making processes of these investments are more important than their technical dimensions. Inclusion of this dimension and other non-quantitative technical factors has paved the way for the development of multiple criteria approach methods. Therefore, multiple criteria approaches are more precise approaches for evaluating transportation investment alternatives. However, the final decision level for the investments is the political level.

When deciding on a new investment that is going to be made within an urban public transport system, several criteria should be taken into consideration. Since the characteristics of the system should be evaluated from different points of view, these criteria expand over a broad scale. There are differences between criteria used in different studies made in different countries.

Considering criteria that are important for experts, users and operators on the same level when making decisions on public transport, which is planned as a public service, will bring along a most thorough evaluation.

It is believed in this study that since they make non-numerical important factors considerable, using multiple criteria decision making processes will be more meaningful in selecting a public transport mode.

Analytical hierarchy method, which is one of multiple criteria decision making methods, is used in this study. This method provides meaningful results because of its simplicity and its ability to be adopted for different conditions. For evaluating some of the varying physical conditions, a simulation model is developed and used. Thus, the proposed method can be called a simulation supported analytical hierarchy method.

One of the most important criteria in deciding on a public transport system for an urban corridor is "travel time".

Forecasting the possible performance of a public transport mode in a corridor has numerous benefits. It is important to forecast the performance in order to make accurate decisions on factors like vehicle frequency, station places and station spacing.

Moreover, estimating the performances of different public transport modes in the same corridor would be very important by creating a criterion in deciding between more than one alternative.

The varying performance of a public transport based on characteristics like varying passenger demand, speed, station spacing and boarding/alighting time (according to payment type and other physical factors) system can be forecasted with the help of a simulation model.

Such a simulation model is developed in this study. The model, labelled TTSIM (Public Transport Simulation Model), can estimate the varying travel times of different public transport systems in different corridors under varying conditions. The performance indicator in the model is travel time. The model is run separately for busway and tram systems.

Criteria sets used in previous studies have been examined for determining the criteria that will be used in selecting transport modes in public transport investments. The most appropriate criteria were selected among different ones used in different studies. These are:
1) Travel time
2) Travel cost
3) Waiting time at station
4) Convenience in reaching station
5) Carrying capacity
6) Vehicle comfort
7) Total construction cost
8) Operating and maintenance cost
9) Effect on air pollution
10) Effect on noise pollution
11) Effect on sight pollution
12) Suitability on transportation master plan
13) Suitability on urban historical texture
14) Suitability on urban texture
15) Construction time
16) Accident possibility
17) Ability to adapt to varying demand
18) Project duration and value at end of project.

However, the fifth criterion, carrying capacity was excluded from the list after the survey, since it represents a necessity rather than being a comparison criterion.

In this study, two different examples for an urban corridor on which a public transport system will be built were taken into consideration. The alternatives of "busway" and "tram" were evaluated in the first example, which is the Beşiktaş-Levent corridor. The same alternatives were taken into consideration in the second example, which comprises the Taksim-Aksaray corridor.

As stated above, the analytical hierarchy method was utilised in deciding on the public transport alternative. In the analytical hierarchy method, first, the weights (w) of each alternative and each criterion should be estimated.

A common method in estimating the weights of the criteria is to seek expert opinion. The same method was adopted in this study.

A survey was organised in order to receive the experts' opinions. After assessing the expert opinions gathered through the survey, relative weights of each criterion was determined. In the following step, the weights of each criterion for each of the public transport alternatives were estimated. For quantitative criteria, information from different sources was used; while for non-quantitative criteria, the second part of the survey was utilised.

The weights of the criteria at the lower level of the hierarchy, which was defined by the analytical hierarchy method, were estimated for busway and tram alternatives through the method explained above. In the following step, these weights were multiplied by the criteria's own weights that are placed in the middle level of the hierarchy. The results for each alternative were then summed up in order to find a total weight for each alternative.

The results show that the relative weight of the busway is slightly higher than that of the tram's. With the analytical hierarchy method, the busway is found out to be a more preferable option than the tram.

# 1. GİRİŞ

Ulaştırma yatırımları, çoğunlukla, oldukça büyük çaplı ve dolayısıyla pahalı yatırımlar olmaktadır. Gerek kentler arası gerekse kent içi ulaşım ağında yapılacak yatırımlar bu nedenle ciddi ve kapsamlı karar süreçlerini gerektirmektedir. Ulaştırma alanı doğrudan siyaset belirlenimli bir alan olduğundan, bu karar süreci, teknik içeriğinin ötesinde bir biçim almaktadır. Asıl belirleyen, teknik aşamaların ötesinde, siyasi karar süreçleri olmaktadır.

Yeni ulaştırma sistemleri planlanması ya da mevcut ulaştırma sistemlerinin geliştirilmesi aşamasında verilecek kritik kararlar, çoğunlukla birden fazla seçenek arasından bir tanesinin seçilmesi olarak şekillenmektedir.

Kentiçi toplu taşıma sistemlerine ilişkin verilen kararlar tam da bu çerçeveye oturmaktadır. Bir kentiçi koridoru için toplu taşıma yatırımı yapılması genellikle bir toplu taşıma türünün uygulanması anlamına gelmektedir. Ancak uygulama tek bir toplu taşıma türünden ibaret olabileceği gibi, birden fazla türün bir kombinasyonu biçiminde de olabilmektedir.

Sözü edilen kararın ne denli önemli olduğunu iki boyutta değerlendirmek gereklidir. Birinci boyut planlanan sistemin kendisi ile ilgilidir. Seçilecek ulaşım türü sistemin teknolojik, işletimsel ve ulaşım ağı ile ilgili karakteristiklerini belirler. İkinci boyut ise sistemin, içerisinde yer aldığı kentin fiziksel, ekonomik, sosyal ve çevresel koşulları ile kentin gelişmesi üzerinde hatırı sayılır derecede rol oynaması ile ilgilidir. Bütün bu faktörler arasında karşılıklı bir etkileşim ve bağımlılık ilişkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla hepsi ulaşım türü seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak bütün faktörlerin değerlendirmeye alınması, ulaşım türü seçimi işlemini son derece karmaşık bir işlem haline getirmektedir.

Ulaşım türü seçiminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için gereken koşulların başında, farklı seçenekler arasında bir karşılaştırmanın yapılması gelmektedir. Ulaşım türü seçimi sürecinin belki de en hassas olunması gereken aşaması bu

karşılaştırma aşamasıdır. Zira karşılaştırma işleminin ortaya çıkardığı pek çok güçlük bulunmaktadır. Bu güçlüklerin başında, karşılaştırmaya dahil edilecek etmenler gelmektedir. Bu etmenlerin bazıları nicel özellikler taşımakta ya da nicelleştirilebilecek durumdadır. Buna karşılık pek çoğu da nitelikseldir. Niteliksel olan unsurların değerlendirilmesi ciddi bir birikim ve deneyim gerektirmekte, doğru değer yargılarının kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla karşılaştırma işleminin tek başına nicel bir model ile tanımlanması anlamlı değildir. Aynı gerekçe ile, karşılaştırmalı analizin sonuçlarının da tek bir nicel değerle verilmesi sağlıklı olmayacaktır. Geçmişte yapılan çalışmaların bazılarında, tam anlamıyla "mekanize" bir karşılaştırma analizi geliştirilmeye çalışılmış, ancak genellikle gerçek koşullarla ve deneyimlerle uyuşmayan hatalı sonuçlarla karşılaşılmıştır. Bu tip analizlerde maliyet tek ölçüt olarak kullanılmış, ancak bunun yetersizliği kısa sürede görülmüştür. Özellikle ortalama değerlere dayandırılan çalışmalar ile sanal durumların modellenmesi yanıltıcı olmuştur.

Yatırım seçeneklerinin karşılaştırılmasında ortaya çıkan önemli sorunlardan biri de sayısal olarak ifade edilemeyen bazı ölçütlerin analize dahil edilmesi aşamasında ortaya çıkmaktadır. Bu tip ölçütler ya doğru olmayan biçimlerde sayısallaştırılarak değerlendirmeye katılmakta ya da yalnızca sözel olarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, gerek sayısal gerekse sayısal olmayan ölçütlerin değerlendirmeye dahil edilebilmesi için geliştirilmiş olan yöntemlerden biri olan analitik hiyerarşi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, bir yolculuk süresi simülasyonu ile desteklenerek toplu taşıma türü seçiminde yararlı olabilecek bir uygulama yapılmaya çalışılmıştır.

# 2. ULAŞTIRMA YATIRIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE YAKLAŞIMLAR

Ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesi, ulaştırma planlamasının en önemli aşamalarından birini oluşturmaktadır. Diğer yandan ulaştırma yatırımları, maliyetleri itibariyle büyük yatırımlardır. Çok büyük miktarda harcama gerektiren, ekonomik, çevresel ve toplumsal etkisi çok büyük olan bu yatırımların olabildiğince sağlıklı biçimde değerlendirilebilmesi için bugüne kadar çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir.

## 2.1. Değerlendirme Yöntemlerinin Kısa Tarihçesi

Farklı ulaşım türlerinin karşılaştırılmasına yönelik kapsamlı bir çalışma Tillo E. Kuhn tarafından, 1960'lı yılların başlarında yapıldı. Kuhn aynı zamanda kavramsal bir çerçeve de geliştirdi. Öncelikle yalnızca maliyetlere dayalı bir karşılaştırmanın yaratacağı sıkıntıları gösterdi. Doğrudan niceliksel faktörlerin yanında, doğrudan olmayan, dolaylı ve niteliksel faktörlerin de göz önüne alınması gerektiğini vurguladı. Oluşturduğu metodolojiyi bir karayolu ile RTL (rapid transit line) sistemini karşılaştırarak örnekledi. 1960'lı yıllarda Morris Hill ulaştırma planlaması ile ilgili değerlendirme kavramlarını geliştirdi ve etkilenen farklı grupları göz önüne almak gerektiği üzerinde durdu. Niceliksel olamayan faktörlerin sistematik biçimde değerlendirmeye alınabilmesi için bir yöntem önerdi. Ancak, bu yöntem uygulama bakımından son derece karmaşıktı. Edward K. Morlok, Marvin L. Manheim ve başka bazı araştırmacılar analiz ve değerlendirme işlemlerine ulaşım türlerinin bütün birincil karakteristiklerin ("boyutlarının") dahil edilmesi gerektiğini vurguladılar.

Bir dizi başka çalışma, değişik ulaşım türlerinin gerçek karakteristiklerinin karşılaştırmasına dayandırılmıştı. 1970'lerin ortalarında Vukan R. Vuchic, değişik türlerin yuvarlanma yüzeyi türü, teknoloji (uzaktan yönlendirilmeli vb.), taşıt boyutları gibi bileşenlerini analiz etti. Bu özelliklere dayanarak, LRT ile birkaç başka tür arasında, bir dizi değişik koşul (ağ tipleri, yolcu hacimleri vb.) altında

karşılaştırmalar yaptı. Thomas B. Deen (1979) ve Donald H. James, farklı yuvarlanma yüzeyleri için otobüs ve hızlı taşın (rapid transit) maliyetlerini karşılaştırdılar. Bu çalışmalarda, konfor, hız, çevresel etkiler gibi başka etkiler değerlendirmeye dahil edilmemişti. Friedrich Lehner, farklı sistemlerden elde edilen gerçek verilere dayanarak LRT ile hızlı taşının bütün özelliklerinin kapsamlı bir karşılaştırmasını yaptı. Benzer koşullarda işletilen ancak farklı servis tiplerine sahip olan ve ayrıca farklı ulaşım türlerini [otobüs yolu ile raylı hızlı taşın (rail rapid transit)] içeren iki gerçek sistemi karşılaştıran bir başka kapsamlı çalışma da 1970'lerde Vuchic ve R. M. Stanger tarafından yapıldı.

Konu üzerinde yapılan çalışmaların gruplandırırken, üçüncü olarak kentlerde yeni ulaşım sistemlerinin gerçek planlamasına ilişkin olanlardan söz etmek gerekir. Bu tip çalışmaların kapsadığı alan çok değişkendir. İlk olarak 1960'lı yıllarda, aralarında San Francisco, Manchester ve Frankfurt gibi önemli kentler için yapılan çalışmalar anılmayı hak etmektedir. 1970'li yıllara gelindiğinde özellikle ABD'de yapılan çalışmaların kapsamı oldukça genişlemiş bulunmaktaydı. Yıllar içerisinde yapılan çalışmalarla birlikte kavramların tanımlanması ve yerine oturması konusunda gelişmeler yaşandı.

Bazı çalışmalarda da, hipotetik ulaşım koridorları için yapılan ulaşım türü karşılaştırmalarında ekonomik boyuta ağırlık verildi. Bu tip çalışmalarda, değişik kentlerden ya da tek bir metropoliten alandan alınan ortalama maliyetler kullanıldı. R. Meyer, J. F. Kain, ve M. Wohl tarafından başlatılan bu çalışmalar, bir dizi iktisatçı grubu tarafından sürdürüldü. Bu alandaki kayda değer çalışmaların önemlilerinden bir tanesi 1970'li yıllarda Kaliforniya Üniversitesi'nde Theodore E. Keeler'in yürütücülüğünde yapıldı.

1970'li yıllardan itibaren ulaşım türü karşılaştırmalarına yönelik .çalışmalar, yukarıda sözü edilen farklı kategorilerde devam etti. Öte yandan, değerlendirme analizlerinin bazı eksik yönlerinin açığa çıkması ve yetersizliklerinin belirlenmesi ile, daha kapsamlı çalışmalar yapılmaya başlandı (Vuchic, 1979).

## 2.2. Değerlendirme Yöntemleri

Ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesi için geliştirilen çeşitli yaklaşımların iki ana başlık altında toplanması mümkündür. Genel olarak yatırımların değerlendirilmesinde kullanılan bu yöntemlerin ulaştırma alanına uyarlanmış olduğu çok sayıda örnek bulunmaktadır. Bunlar,

1) "Fayda Maliyet Analizi"
2) "Çok Ölçütlü Analiz"dir.

Yatırım seçeneklerinin değerlendirilmesinde bir dizi faktör göz önüne alınmaktadır. Fayda maliyet analizi, temel olarak, yapılması düşünülen yatırım seçeneklerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla, dikkate alınan bütün faktörlerin parasal olarak ifade edilmesine dayanmaktadır.

Fayda maliyet analizi yaklaşımı yıllar içerisinde çeşitli aksaklıklarının ortaya çıktığının düşünülmesi ile birlikte çeşitlendirilmeye ve bu aksaklıklar giderilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda ortaya çıkan çeşitli fayda maliyet analizi yöntemlerini üç ana grupta toplamak mümkündür.

1) Stokastik yaklaşım
2) Sosyal fayda maliyet analizi
3) Toplam maliyet analizi yaklaşımı.

Fayda maliyet analizine göre daha yeni bir yaklaşım olan çok ölçütlü karar verme yaklaşımı ise iki ana başlık altında incelenebilir. Bunlar,

1) Sıralama Yaklaşımı (Ranking Scheme Approach),
2) Matematik Programlama Yaklaşımı'dır (Mathematical Programming Approach).

Sıralama yaklaşımlarının içerisinde ise Analitik Hiyerarşi Yöntemi, Bulanık Sıralama Yöntemi ve Çok Ölçütlü Sıralama Yöntemi gibi çeşitli yöntemler sayılabilir.

### 2.2.1. Fayda Maliyet Analizi

Fayda maliyet analizi, yukarıda da belirtildiği gibi göz önüne alınan bütün faktörleri parasal olarak ifade ederek değerlendirir. Yatırımlar, ulusal ekonomi açısından

yaratacakları etkiler düzeyinde ele alınır. Fayda maliyet analizinin belirli ilkeleri ve kuralları vardır. Yatırımların olası etkileri hesaplanırken bu ilke ve kurallara bağlı kalınarak değerlendirme yapılır.

Örneğin yatırımın, zaman tasarrufunun değeri, enerji tasarrufu, araç işletme maliyeti tasarrufları, kazaların azalmasından kaynaklanan ekonomik faydalar, yaratılan trafikten kaynaklanan gelir gibi olası yararları ya da işletme maliyetleri, yatırımın getireceği ekonomik külfet gibi maliyetler hesaba katılır (Tsamboulas ve diğ., 1992).

Fayda maliyet analizinin ulaşmak istediği bir temel amaç vardır. Bu da genellikle ya fayda maksimizasyonu ya da maliyet minimizasyonu olarak biçimlenir. Bu amaca ulaşılmaya çalışılırken yaygın olarak üç değerlendirme yöntemi kullanılır. Bunlar net bugünkü değer, fayda maliyet oranı ve kârlılık oranıdır (Teng ve Tzeng, 1996-b).

Fayda maliyet analizinin yaygın kabul gören en önemli eksikliği parasal olarak ifade edilmesi çok güç olan faktörlerin hemen hemen hiç dikkate alınmamasıdır. Bu faktörler çoğunlukla fayda maliyet analizinin geliştirildiği dönemlerin sonrasında ulaşım planlamasında önem atfedilmeye başlanan (kentsel yapıya, tarihsel dokuya uygunluk gibi) faktörlerdir (De Corla-Souza ve diğ., 1997).

Stokastik yaklaşımın önemli örneklerinden birini geliştiren O'leary'ye (1979) göre fayda maliyet analizinde iki adet ciddi kısıt bulunmaktadır. Bu kısıtlardan biri, analizde hesaba katılan bütün verilerin doğru ve deterministik olabileceğinin varsayılmasıdır. İkinci kısıt ise fînansal risk hesabının yapılmamasıdır. Çoğunlukla fayda maliyet analizlerinde elde edilen net gelir, gerçekte beklenen net gelire eşit olmamaktadır. Çeşitli etmenlerin neden olduğu bu sorunun aşılabilmesi için net gelirin stokastik rastgele değişken olarak kabul edilmesi yöntemi benimsenmiştir. Bu doğrultuda, "Monte Carlo" analiziyle, net kâr için bir olasılık dağılımı üretilmektedir. Bu dağılım, önerilen yatırımlar için risk ve kâr analizinde kullanılabilmektedir.

Fayda maliyet analizinin geliştirilmiş bir biçimi olan Sosyal Fayda Maliyet Analizi'nde faydaların ölçülmesi tamamen "ödemeye hazır olma" (willingness to pay) kavramı üzerine kurulmuştur (De Brucker ve diğ., 1995). Ödemeye hazır olma kavramı teorik olarak bütçede hiç bir kısıtlama olmamasını gerektirir. Bir başka kabul bireylerin kendileri için neyin iyi olduğunu bilmeleridir. Doğal olarak, her iki kabul de gerçekte karşılaşılması son derece güç iki duruma denk düşmektedir.

Dolayısıyla “ödemeye hazır olma” gerçekçilikten oldukça uzak bir kavram olarak tartışma konusu olmaktadır. Sosyal fayda maliyet analizinde optimal sosyal faiz oranının seçimi de bir başka sorunlu yöndür.

Sosyal fayda maliyet analizinde tartışma yaratan başka bazı yaklaşımlar da bulunmaktadır. Bunların başında insan hayatına biçilen değer gelmektedir. Üstelik değişik ülkelerde bu değer farklı olmakta, zaten kendisi gerçeklikten uzak bu yaklaşımı keyfiyete açık ve dolayısıyla daha da tartışmalı hale getirmektedir. Bir başka tartışma yaratan kavram Boş Zaman Değeri’dir. Birçok Avrupa ülkesinde "boş zamanın değeri" iş gücünün fırsat maliyetine eşitlenmekte, bazı uzmanlar ise bu değeri sıfır olarak değerlendirmektedir. Sosyal Fayda Maliyet Analizi bu açıdan da tartışma konusu olmaktadır.

De Brucker (1995), parasal olarak ifade edilemeyen bazı dışsal etmenlerin (çevresel ve güvenlik gibi göstergelerin) yaratacağı etkinin değerlendirmeye alınabilmesi için Çevresel Etki Değerlendirmesi, sosyoekonomik açıdan yaratılan işgücü ve yatırımın makro ekonomik etkisinin ölçülmesinde ise Ekonomik Etki Analizi (Economic Impact Analysis) gibi iki yöntem önermektedir. Söz konusu çalışmada finansal, ekonomik, sosyoekonomik, parasallaştırılan ve parasallaştırılamayan tüm etkiler için Çok Ölçütlü Analiz önerilmektedir.

Odeck (1996), ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesinde sosyal fayda maliyet analizini irdelemiş ve bir fayda maliyet oranı hesap yöntemi önermiştir.

Çevresel etkilerin parasal olarak ifade edilmesi son derece güç olduğundan Odeck (1996), parasal olmayan etkilere göre fayda maliyet oranı daha düşük olan bir seçeneğin, fayda maliyet oranı daha yüksek olan bir seçeneğe göre daha kötü ya da daha iyi olduğunu söylemenin güç olduğunu belirtmektedir.

Bir diğer fayda maliyet analizi yaklaşımında ise De Corla-Souza ve diğ. (1997) Toplam Maliyet Analizi'ni önermektedir. Fayda maliyet analizi uygulamasında, ulaştırma seçeneklerinin parasal olarak ifade edilen bir çok yararı aslında maliyet tasarrufları veya negatif maliyetlerdir. Seçeneklerin maliyet etkinliği, toplam yolculuk maliyetindeki artışa göre ölçülebilir. Toplam maliyet analizi yaklaşımında ise seçenekler için tüm maliyetlerin göz önüne alınması önemlidir. Fayda maliyet analizinde, işletme maliyeti göz önüne alınmaktadır, ancak genellikle araç sahipliliği,

park maliyeti gibi yolculuk sonu maliyetleri dikkate alınmaz (De Corla-Souza ve diğ., 1997). Uygulamada, ulaştırma faydalarının parasal olarak ifade edilmesi, maliyet tasarruflarının parasal olarak ifade edilmesine göre daha güçtür. Seçeneklerin tüm maliyetleri toplam maliyet analizi yaklaşımına göre hesaplandıktan sonra, maliyet tasarrufları otomatik olarak maliyet toplamına dahil edilir.

### 2.2.2. Çok Ölçütlü Değerlendirme

Fayda maliyet analizinin, değerlendirmeye alınan bütün faktörlerin parasal olarak ifade edilmesine dayanması ve bir bölümü yukarıda sayılan olumsuzlukları barındırması, araştırmacıları daha kapsamlı yöntemler aramaya yöneltmiştir. Özellikle sayısal olarak ifade edilmesi güç bazı faktörlerin değerlendirmeye alınabileceği yöntemler üzerinde durulmuştur. Bu doğrultuda "Çok Ölçütlü Değerlendirme" yaklaşımı ulaştırma yatırımları için düşünülen seçeneklerin değerlendirilmesinde öne çıkmıştır.

Ulaştırma yatırımları için çok ölçütlü değerlendirme uygulamalarının geçmişi 1960'lı yıllara dek uzanmaktadır. Ancak bu dönemdeki uygulamalarda ağırlıkla Maliyet Etki Analizi kullanılmakta idi (Tzeng ve Teng, 1996-b). Keeney ve Raiffa (1976)'nın geliştirdiği "çok ölçütlü fayda değerlendirmesi" (multiattribute utility assessment) kuramı ile birlikte çok ölçütlü karar verme yaklaşımı planlama alanında en yaygın kullanılan değerlendirme yaklaşımı oldu. Çok ölçütlü değerlendirme sürecinde, göz önüne alınan yatırım seçeneklerinin hem sayısal olarak ifade edilebilen ve hem de sayısal olarak ifade edilemeyen etkileri hesaba katılmaktadır. Bu yöntemin getirdiği en önemli yenilik, tek bir parasal ölçütü amaçlamamakla birlikte, ölçülemeyen sosyal yararları da ifade edebilmesidir (Tsamboulas ve diğ., 1992).

Çok ölçütlü karar problemlerini iki aşamalı olarak ifade etmek mümkündür. Bu aşamalardan bir tanesinde kesikli bir problem tanımı yapılır. Örneğin, yatırım seçeneklerinden bir tanesinin tercih edilmesi gibi bir problem, kesikli bir problemdir. Diğer aşamada ise bir sürekli problem tanımı yapılır. Buna örnek olarak da bir makroekonomik model verilebilir (Korhonen ve diğ., 1992). Tanımdan yola çıkıldığında ulaştırma yatırım seçeneklerinden birinin seçiminin, kesikli çok amaçlı problemlerin karakteristik bir örneği olduğu söylenebilir.

Walbridge (1981), ulaştırma gereksinimlerinin özelliklerini altı gruba ayırmıştır. Bu gruplar, talep dağılımı (yolculuk başlangıç ve bitiş durumuna göre), boyut (başlangıç-bitiş için: Üniform-üniform, üniform-lineer, üniform-nükleer), akım (saatlik yolcu akımı), kontrol (operatör gerektiren ve operatör gerektirmeyen), yol (diğer araçlarla ortak kullanım ve özel kullanım), yolcunun oturabilme durumudur (oturan/ayakta yolcu oranı). İlk üç grup, ulaştırma talebinin ölçüsünü, son üç grup ise hizmet ihtiyaçlarının tanımlamaktadır. Buna göre, geliştirilen kodlama sistemiyle ulaşım seçeneklerinden birine karar verilmektedir.

Bir başka çok ölçütlü değerlendirme yönteminde Tsamboulas ve diğ. (1992) çeşitli aşamalardan oluşan bir sistematik tanımlamıştır. Öncelikle yatırım planı tanımlanır. Bunun ardından ekonomik tahminlerle ve trafikle ilgili tahminler yapılır. Bunu izleyen trafik yaratımının ardından yapılan finansal analiz ile teknik parametrelere dayanan maliyetler ve gelirler ile, ilgili ulaştırma sistemi örgütsel düzeyinde belirlenir. Ulusal düzeyde yapılan fayda maliyet analizi ile maliyetler ve gelirler saptanır. Bunu takiben yapılan çok ölçütlü analiz ile, siyasal karar verme düzeyinde, ulaştırmanın teknik ve ekonomik parametreleri ile sosyal grup ve ilgililer belirlenir. Nihai olarak seçeneklerden biri tercih edilir.

Anderstig ve Mattsson (1992), büyük ölçekli yatırımların çok boyutlu değerlendirilmesini sağlayan dört ayrı yaklaşım sunmuştur.

Gardner (1995), çalışmasında, toplu taşıma tür seçimi sürecini, maliyetler, kapasite, hızlar, ekonomik performans ve siyasal boyut gibi, bir kısmı sayısal olarak ifade edilemeyen etmenler üzerinden değerlendirmektedir. Toplu taşıma sistemlerinin tercihinde pek çok etmenin dikkate alındığını, bunların iki ana başlık altında incelenebileceğini vurgulamıştır. Bunlardan birincisi olan pratik etmenlerin bazıları sayısal olarak ifade edilebilir; bazıları ise tahmin edilebilir (maliyet ve sistem performansı gibi). Kurumsal ve siyasal etmenler ise sayısal olarak ifade edilemeyen etmenlerdir (toplumsal gurur, siyasal prestij gibi). Buna karşın ikinci grup etmenler, sistem seçiminde çok önemli bir rol oynamaktadır. Fayda-maliyet analizi yaklaşımlarında kullanılan "zamanın değeri", doğru olarak hesaplanması zor olan bir kavram olmasına karşın, çoğu ulaşım senaryolarının ekonomik fizibilitesinde en önemli anahtar rolü oynamaktadır. Gardner toplu taşıma yatırımlarının

değerlendirilmesinde çok ölçütlü karar analizi yaklaşımının daha doğru ve sağlıklı olacağını vurgulamıştır.

Çok ölçütlü karar verme yaklaşımlarından yaygın olarak kullanılan bir diğeri de "Sıralama Yaklaşımı" olarak adlandırılan başlık altında incelenen yöntemleri kapsar. Buna göre, farklı seçenekler, belirli ölçütlere dayanılarak seçilir. Her bir ölçüte, önem derecesine göre puan verilir ve ağırlıkları hesaplanır. Ardından seçenekler her bir ölçüt için ayrı ayrı değerlendirir ve her ölçütün her seçenek için ağırlıkları hesaplanır. Daha sonra bu ağırlıklar, seçeneklerin sıralandırılmasını sağlar (Aboul-Ela ve diğ., 1982).

Sıralama yaklaşımları, oldukça basit ve kullanılması kolay, sade yöntemlerdir. Kapsayıcı olmaları ulaştırma alanında da yaygın olarak tercih edilmelerini saplamıştır.

Veras (1993), çok ölçütlü değer kuramını ve analitik hiyerarşi yöntemini kullanarak, ulaştırma yatırımı seçilmesindeki performanslarını değerlendirmiştir. Çok ölçütlü değer teorisi, oldukça eski ve sağlam temellere oturduğu düşünülen bir karar verme modelidir. Veras (1993), çalışmasında, analitik hiyerarşi yönteminin, daha esnek ve etkin bir yöntem olduğu ve çok ölçütlü değer teorisinde ihtiyaç duyulan bilgiden daha azına ihtiyaç gösterdiğini vurgulamıştır.

Ülengin (1994), fayda maliyet oranlarını analitik hiyerarşi yöntemi ile hesaplamayı tercih etmiştir. Ulaştırma yatırımları içinden en uygun seçeneği saptamak amacıyla seçeneklerin değerlendirilmesi için iki ayrı hiyerarşi (faydalar ve maliyetler) oluşturulmuştur. Hedef yıla kadar otomobil sahipliliğindeki artışla ilgili olarak üç senaryo göz önüne alınmaktadır. Yazar, ulaştırma yatırımları için irdelenen bölgeyi belirli sosyoekonomik durumlarına göre sınıflandırmıştır. Üç ölçüt türü ile (ekonomik, toplumsal ve çevresel ölçütler) sekiz alt ölçüt belirlenmiştir. Ölçütlerin göreli önemleri, her sosyoekonomik sınıfa göre farklı olmaktadır. Faydalara ve maliyetlere göre iki adet sıralama yapılmıştır. Fayda ve maliyet oranları hesaplanarak nihai sıralama belirlenmiştir.

Çalışkan (1998), üçüncü Boğaz geçişi seçeneklerini değerlendirmek amacıyla, analitik hiyerarşi yaklaşımı yardımı ile bilişsel haritalar geliştirmiştir. Seçenekler bu bilişsel haritalar aracılığı ile irdelenmiştir.

Gerçek, Karpak ve Kılınçaslan (2004), İstanbul'daki raylı ulaşım ağlarının değerlendirilmesi için bir çok amaçlı yaklaşım üretmişlerdir. Bu çalışmada, analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak üç alternatif raylı ulaşım ağı önerisi irdelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, en iyi sonuç veren iki alternatifin bileşiminden oluşan yeni bir seçenek önerilmiştir. Bu seçenek halen yapım aşamasındadır.

Sıralama yaklaşımları arasında bulanık mantık yardımı ile yapılan çok ölçütlü değerlendirmeler de bulunmaktadır. Tzeng ve Teng (1996-a), bu yöntemle ulaştırma yatırımlarını sınıflandırmışlardır. Ulaştırma yatırım seçenekleri birbiriyle karşılıklı bir etkileşim içerisindedir; Buna göre üç olasılık vardır. Bu etkileşim ikame edici ya da tamamlayıcı olabilir; üçüncü olasılık ise seçeneklerin birbirinden bağımsız olmasıdır. Örneğin bir hızlı tren ve otoyol yatırımı birbirini ikame edebilecek seçeneklerdir. Buna karşılık, bir otoyol projesi ve liman projesi birbirlerini tamamlayıcı olabilir.

Teng ve Tzeng (1996-a) ulaştırma yatırım seçeneklerinin değerlendirilmesinde çok ölçütlü bulanık sıralama yöntemini önermiştir. Mühendislik, iktisadi analiz ve istatistiksel olarak sonucu saptanabilen ölçütlerin dışındaki ölçütler uzman deneyim ve yargılarına gereksinim duymaktadır. Bu saptamaların hiçbiri aslen belirgin bir değere sahip olmayıp belirli bir aralık dahilinde değişim göstermektedir. Çalışmada, ulaştırma yatırım seçeneklerinin çeşitli ölçütleri için ortaya konan yargılar, değişim aralığını ifade eden üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmiş, ve hesaplamalar da buna göre yapılmıştır. Uzman yargılamaları analitik hiyerarşi yöntemindeki gibi, ikili karşılaştırmalar temelinde yapılmaktadır. Uzman yargılamalarında sadece ölçütlerin önem düzeyleri belirlenmektedir. Uzman yargılamaları bulanık sayıya dönüştürülmektedir. Ölçütlerin aldığı değerler ve uzman yargılamaları bütünleştirilerek, bir sıralama işlemine tabi tutulmakta ve böylelikle ulaştırma seçeneklerinin tercih sırası saptanmaktadır. Aynı araştırmacıların bulanık mantık uygulamadıkları bir başka çok ölçütlü sıralama yaklaşımı da bulunmaktadır (Teng ve Tzeng, 1996-b).

Çok ölçütlü sıralama yaklaşımı kapsamında değerlendirilebilecek bir başka çalışma Leleur (1996) tarafından önerilen Ayrımlandırılmış Yatırım Geri Dönme Oranı (segregated investment return rates) yaklaşımıdır. Leleur fayda maliyet analizi ile çok ölçütlü analiz yöntemlerini entegre etmektedir. Bu yaklaşımda etkiler üç ayrı

düzlem halinde sınıflandırılmıştır. Birinci düzlemde geleneksel trafik kaynaklı ekonomik etkiler bulunmaktadır ve bunlar parasal olarak ifade edilebilmektedir. İkinci düzlemde sayısal olarak ifade edilebilen ancak parasal olarak ifade edilmesi güç çevre etkileri, üçüncü düzlemde ise bunun daha da zor olduğu yerellik dışı etkiler yer almaktadır. Sayısal olarak ifade edilmesi güç etmenler için -3,-2, -1, 0, +1, +2, +3 gibi sayı atamaları ile bir ölçeklendirme önerilmektedir. Ayrımlandırılmış Yatırım Geri Dönme Oranı Yöntemi ile karar vericiler açısından, bilgilere mutlak ve göreli olarak değer biçilmesi mümkün hale gelmektedir.

Satı (2000), uzman ve işletmeciler dışında ulaştırma sistemine dahil olan diğer toplumsal kesimlerin de dahil edildiği bir "katılımcı" çok ölçütlü karar verme yöntemi önermiş ve o da bulanık sayı atama yöntemini kullanmıştır.

Bilgiç (2002), karar süreçlerini kurumsal boyutu ile birlikte ele aldığı, basit, katılımcı ve şeffaf bir çok ölçütlü değerlendirme yaklaşımı önermiştir.

Çok ölçütlü karar verme kapsamında yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem ise "Çok Ölçütlü Matematik Programlama" yöntemdir. Bu yöntemde hedef programlama adı verilen bir teknik kullanılmaktadır. Buna göre, amaçların her biri için sayısal, özgül bir hedef betimlenmekte, hedefleri bir amaç fonksiyonunda tanımlama ve amaçların belirlenen sayısal hedeflerden toplam sapmalarını minimize etme aşamaları gerçekleştirilmektedir.

### 2.2.3. Yöntemlerin Değerlendirilmesi

Yukarıda açıklanan çeşitli yaklaşımlar ve örneklerin de gösterdiği gibi ulaştırma yatırım seçeneklerinin değerlendirilmesine ilişkin "mükemmel" denebilecek bir yöntem bulunmamaktadır. Özellikle önemli eksiklikleri olduğu konusunda yaygın bir görüş bulunan fayda maliyet analizi dahi halen bütün dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Özellikle toplu taşıma sistemleri için uygulanan ekonomik temelli karşılaştırmalarda önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Türlerin ekonomik karşılaştırmalarında kullanılan kabuller ve modeller gerçekçilikten uzak olabilmekte, çoğu vakalarda bulgular, gerçek durumlarla büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Ancak basit yaklaşımları ve açık sonuçları, pek çok durumda bu modelleri muteber kılmaktadır.

Bu tür çalışmaların aksaklıklarının temel kaynağı, yalnızca ekonomik veriler üzerinden sonuca ulaşmaya çalışmalarıdır.

Ekonomik çalışmalar, her bir ulaşım türü için, zirve saatlerde taşıdıkları yolcu sayısı üzerinden optimumları bulmayı amaçlar. Gerçekte, ulaşım türü seçimine ilişkin bir fonksiyon oluşturulması hedefleniyorsa, en azından yerel koşullar, alternatif yolculuk biçimleri, gün boyunca hizmetin niteliği, hizmet gören bölgedeki kısa ve uzun vadeli etkiler gibi bir dizi faktör dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla, yalnızca yolcu hacmi cinsinden optimumlara dayanan fonksiyonlar, pratikte son derece etkili ve dolayısıyla önemli olan faktörlerden bazılarını hesaba katmamış olacaklardır.

Ekonomik temelli çalışmalarda optimal ulaşım türü belirlenirken kullanılan yegane ölçüt yolcu-yolculuk başına minimum maliyettir. Doğaldır ki, pek çok faktör tarafından etkilenen bir ortamda bu ölçütün tek başına geçerli olabilmesi düşük bir olasılıktır. Yolculuk başına minimum maliyetin tek başına geçerli olabileceği durumlar, aynı hizmet düzeyine sahip farklı ulaşım türlerinin karşılaştırıldığı durumlardır. Doğal olarak bu tür durumların sayısı son derece azdır. Çoğu durumda, her ulaşım türünün kendine özgü bir hizmet düzeyi-maliyet bileşimi vardır. Bu durumu küçük bir örnekle açıklamak aydınlatıcı olabilir. Örneğin, iki ulaşım türünün karşılaştırılacağı bir durumda, eğer Tür 1'in hem maliyeti hem de hizmet düzeyi, Tür 2'ye göre daha düşük ise, daha ucuz olduğu için Tür 1'in daha iyi olduğu sonucunu çıkarmak yanlış olacaktır. Tür 2'nin hizmet düzeyindeki farkın ek maliyetine değeceği düşünülebilir. Bu durumda Tür 2 "daha iyi" demektir. Örnekten de anlaşılabileceği gibi, böylesi kararlar, koşulların zorlaması ve karar vericilerin önem verdiği önceliklere göre değişkenlik gösterebilecek kararlardır. Burada bir tür görelilik söz konusudur (Vuchic, 1979).

Ulaştırma yatırımlarının, başka büyük yatırımlarda olduğu gibi teknik değerlendirmenin çok ötesine geçen bir boyutu bulunmaktadır. Siyasal karar verme süreçleri bu yatırımların teknik boyutundan daha fazla önem taşıyan boyutudur. Bu boyutun ve teknik boyuta dahil pek çok etmenin sayısal olarak ifade edilememesi çeşitli çok ölçütlü yaklaşım yöntemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu nedenle çok ölçütlü yaklaşımlar ulaştırma yatırım seçeneklerinin değerlendirilmesi için daha sağlıklı yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır. Ancak yine de yatırımlar ile ilgili nihai karar düzlemi siyasal düzlemdir.

# 3. TOPLU TAŞIMA TÜRÜ SEÇİMİNDE ETKİLİ OLAN ÖLÇÜTLER

Bir kentiçi toplu taşıma sistemi bünyesinde yapılacak olan yeni bir yatırıma karar verilirken, bir dizi ölçütün göz önüne alınması gerekmektedir. Bu ölçütler, sistemin özellikleri çeşitli açılardan değerlendirilmesi gerektiği için çok geniş bir yelpazeye yayılır. Pek çok ülkede değişik çalışmalarda kullanılan ölçütler arasında da değişiklikler bulunmaktadır.

Bir toplu taşıma sistemine farklı biçimlerde dahil olan çeşitli gruplar bulunmaktadır. Söz konusu gruplar arasında bulunan uzmanlar, kullanıcılar ve işletmeler doğrudan sistemle doğrudan etkileşim içerisindedir. Bir de ulaştırma sistemlerinden daha dolaylı biçimde, özellikle çevresel etkiler dolayımıyla etkilenen toplumsal kesimler bulunmaktadır.

Toplu taşıma sistemleri seçiminde etkili olan ölçütler, her bir grup açısından ayrı ayrı değerlendirme yapıldığında, çeşitlilik gösterebilirler. Ölçütlerden bazılarına bütün gruplar önem atfedecektir. Öte yandan, bazı gruplar için önemli olup, diğerleri için aynı önemi taşımayan bazı ölçütler olabilir.

Söz gelimi, işletme maliyeti gibi bir ölçütün kullanıcılar açısından herhangi bir önemi bulunmamaktadır. Diğer taraftan, kazaya karışma olasılığı gibi bir ölçütün bütün gruplar tarafından önemli kabul edilmesi gerekir.

Toplu taşıma yatırımlarına karar verilmesi süreci, gerek teknik gerek siyasal boyutları olan oldukça karmaşık bir süreçtir. Ne yazık ki, Türkiye'de gerek yatırımlara karar verilmesi sürecinde, gerekse varolan toplu taşıma sistemlerine ilişkin değişiklikler yapılması süreçlerinde yeterli kapsayıcılıktan söz etmek mümkün değildir.

Örneğin yatırımlara karar verilirken uzmanların ya da kullanıcıların görüşlerinin yeterli düzeyde göz önüne alındığını iddia etmek güçtür. Her ne kadar bu durumun istisnaları bulunsa da genel bir değerlendirme bu yargıyı doğrulamaktadır.

Toplu taşımanın gerek doğal yapısı gerekse toplumsal işlevi göz önüne alındığında, bunun ilkesel olarak bir "kamu hizmeti" olduğu sonucuna varılacaktır. Bir kamu hizmetinin temel ilkesi, kullanıcıların, yani toplu taşıma sistemleri için yolcuların önceliklerinin, diğer önceliklerle birlikte dikkate alınmasıdır. Örneğin, ağırlıklı olarak yolcular için önem taşıyan "araç konforu" gibi bir etkenin, yatırıma karar veren kurum için teknik açıdan bir önemi bulunmayabilir. Ancak kamu hizmeti veren bir kuruluş olarak bu kurumun yolcu önceliklerini de başka etkenlerle birlikte hesaba katması gerekecektir.

Dolayısıyla kullanıcıların karar verme süreçlerinde doğrudan ya da dolaylı katılımlarının mümkün olmaması durumunda dahi, onlar için önemli olan ölçütlerin diğer bütün ölçütler ile aynı düzlemde karar süreçlerinde dikkate alınması gerekmektedir.

Ayrıca kullanıcılar, teknik açıdan yeterli bilgi düzeyinde olmamaları, toplu taşıma kararlarının aslen siyasal süreçlerin ürünü olması gibi birtakım nedenlerle, toplu taşıma seçimi gibi bir konuda sağlıklı değerlendirmeler yapmaktan uzak kalabilir. Örneğin, 2000'li yılların başlarında hayata geçirilen Eskişehir kentindeki tramvay sisteminin yapımı sırasında, halkın önemli bir kesimi, yalnızca inşaat aşamasının yarattığı sıkıntılar dolayısıyla tramvaya karşı olmak gibi bir tepki üretebilmişti. Bu kesimin, tramvayın uzun vadede kent ve toplum açısından getireceği yararların bilincinde olmamaları yanlış bir düşünce sistematiğinin gelişmesine neden olmuştu.

Bir kamu hizmeti olarak planlanan toplu taşıma ile ilgili karar veriş süreçlerinde gerek uzmanlar gerek kullanıcılar gerekse işleticiler açısından önem taşıyan ölçütlerin aynı düzlemde dikkate alınması, olabildiğince geniş kapsamlı bir değerlendirmeyi beraberinde getirecektir.

Toplu taşıma seçeneklerini karşılaştırmada kullanılan en yaygın kategoriler maliyet, kapasite ve hızdır. Aşağıda bu üç etmen ile yolculuk süresi etmenine biraz daha ayrıntılı değinilecektir.

### 3.1 Maliyet

Çıktı maliyet verileri, tasarım standartları, yapım süreçleri, döviz kuru farklılıkları vb. nedenlerle değişkenlik göstermektedir. Dünyanın çeşitli ülkelerindeki değişik toplu taşıma sistemleri için genel sermaye maliyetleri Gardner (1995) tarafından Tablo 3.1'deki gibi verilmiştir. Ayrı platform yapımı, tüneller, filo büyüklüğü ve karmaşık kontrol ekipmanı kullanımı arttıkça maliyet de yükselmektedir.

**Tablo 3.1:** Toplu taşıma türlerinin sermaye maliyetleri – 1993 fiyatları (ABD doları cinsinden)

| | Otobüs şeridi | Otobüs yolu | Tramvay | LRT | Metro |
|---|---|---|---|---|---|
| Hat-km başına sermaye maliyeti | < 0.5 | 2.0-10.0 | 5.0-15.0 | 10.0-30.0 | 20.0-90.0 |

### 3.2 İşletme Maliyetleri

Bir ulaşım sisteminin işletiminin anahtar bileşenleri emek, enerji ve malzemelerin yenilenmesidir. Ancak, bir raylı taşın projesinin ömrü boyunca ortaya çıkan işletme maliyetleri yine de sermaye maliyetlerinden düşük olabilmektedir. İşletme maliyeti tek başına bir kent için gerçek maliyetlerin göstergesi değildir.

Kamu sektörünün elindeki pek az otobüs ya da raylı taşın sistemi yalnızca doğrudan ücret gelirlerine dayanabilir (Armstrong ve Wright, 1993). Yolcuların geliri, nüfus yoğunluğu, ya da doluluğun artması ile sübvansiyonun minimize edilmesi arasındaki siyasal tercihe bağlı olarak, LRT ve metrolardan çok değişken sonuçlar elde edilebilmektedir. Çok özel bir durum olan Hong Kong'da ücret geliri/işletme maliyeti oranı 2,2'dir. Ancak Fouracre ve diğerlerinin (1990) çalışmasına göre metroların üçte ikisi işletme sübvansiyonlarına gereksinim duymakta idi.

### 3.3. Kapasite

Toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırma ölçütlerinin başlıcalarından bir diğeri kapasitedir.

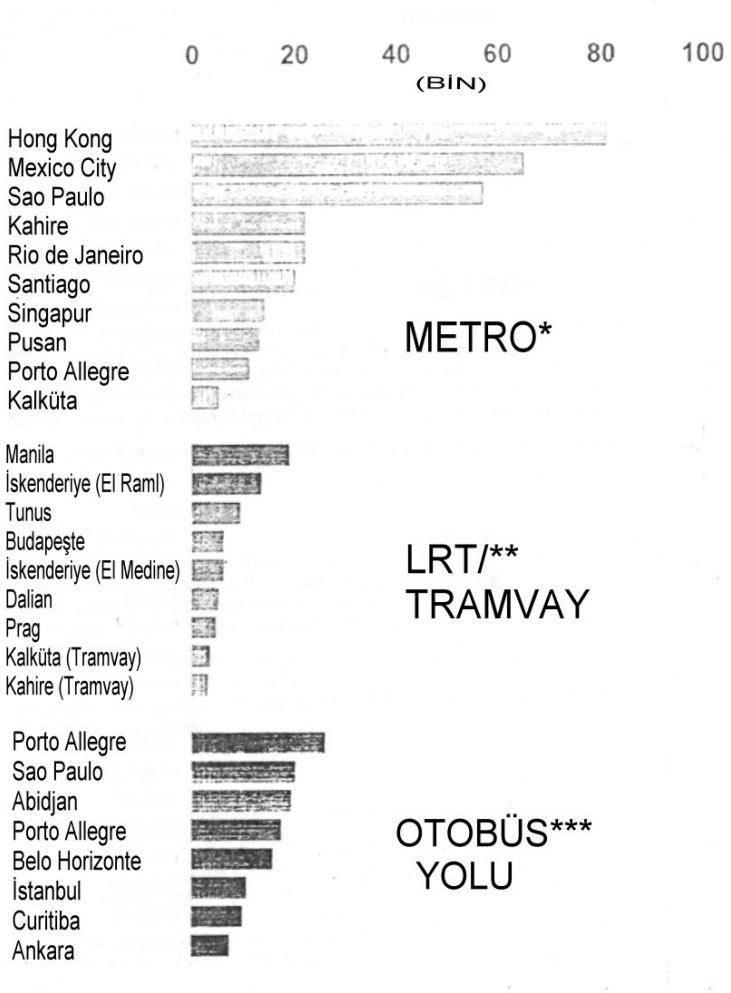
Dünyadaki örnekleri göz önüne alındığında tramvay ve otobüs yolu sistemlerinin kapasiteleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Genellikle raylı sistemlerin otobüs yolu sistemlerine göre kapasite açısından daha avantajlı oldukları düşünülür. Ancak yapılan bazı çalışmalar bunun tam aksi yönünde sonuçların da elde edilmesini sağlamıştır. Verimli işletme sağlandığı durumlarda bazı otobüs yollarının kapasitelerinin yalnızca tramvay sistemlerinin değil, aynı kentteki LRT sistemlerinin dahi üzerine çıkabildiği görülmüştür. Örneğin, Filipinler'in başkenti Manila'daki otobüs yolu sistemleri tam doluluğa yakın hacimle çalışan, motorlu taşıt trafiğinden tamamıyla ayrılmış bazı LRT sistemlerinden daha büyük kapasitelere ulaşmıştır (Gardner, 1995).

Yüksek kapasitelere ulaşabilmesi için raylı sistemlerin kısa fakat düzenli aralıklarla çalışması gerekir. Bu durum, yüksek kontrol düzeyinin ve düzenliliğin sağlanmasını gerektirir. Özellikle tramvay sistemlerinde bu özelliklerin sağlanmasında güçlükler yaşanmaktadır. Buna karşılık, otobüs yolu esneklik açısından çok daha avantajlı durumdadır. Koşulların değişimine daha iyi uyum sağlama yeteneğine sahiptir. Bir otobüsün yaşadığı gecikme, raylı sisteme göre daha az sayıda insanın (tıklım tıklım bir otobüste yaklaşık 100 kişi) gecikmeye maruz kalmasına neden olacaktır. Sollama olanağının da olması durumunda, özellikle duraklardaki gecikmelerde daha az sıkıntı yaşanacağı beklenmelidir.

Bu çalışmada, dünyadaki uygulamalarda görülen kapasitelerin göz önüne alınması tercih edilmiştir.

Tramvay sistemlerinin gözlenen en yüksek saatlik yolcu değerleri 5000 yolcu/saat ile 10000 yolcu/saat arasında değişiklik göstermektedir. Tramvay sisteminin motorlu taşıt trafiğinden daha iyi ayrılmış olduğu bazı örneklerde 13000 yolcu/saat'lik değerlere yaklaşıldığı gözlemlenmiştir (Gardner ve diğ., 1994).

Gardner (1995), farklı ülkelerdeki metro, LRT, tramvay ve otobüs yolu sistemlerine ilişkin gözlemlenen saatlik en yüksek yolcu sayılarını Şekil 3.1'deki gibi vermiştir. Dünyanın en büyük iki kenti olan Mexico City ve São Paulo ile yüksek nüfuslu Hong Kong'da ortaya çıkan hacimler, ancak bir metronun taşıyabileceği boyutlardadır.




**Şekil 3.1:** Çeşitli kentlerdeki sistemlerin taşıdığı en yüksek saatlik yolcu sayıları
(*: Fouracre ve diğ., 1990)
(**: Gardner ve diğ., 1994)
(***: Gardner ve diğ., 1991)

Öte yandan, kapasite kavramının toplu taşıma türleri arasında bir tercih yapılması aşamasında ne denli anlamlı bir ölçüt olacağı tartışmalı bir konudur. Bir ulaşım koridorunda varolan ya da varolması öngörülen yolcu talebi, hangi kapasite düzeyinin sağlanması gerektiğini doğrudan etkiler. Sözgelimi, bir yöndeki saatlik yolcu talebinin 60.000 kişi olduğu bir koridorda metro dışındaki seçeneklerin değerlendirmeye alınması pek olası değildir. Bu durumda yapılması gereken tercih bellidir.

Ayrıca kapasite, uygulamada değişiklik gösterebilen bir etmendir. Örneğin, bir ulaşım koridorunda, yolcu talebinin daha yüksek olduğu zirve saatlerde bir tramvay

dizisi çok sayıda vagonla işletilebilirken, talebin daha düşük olduğu saatlerde vagon sayısı azaltılabilir. Yani, tramvayın kapasitesi farklı saatlerde farklı değerler alabilir.

Bu durumda, "kapasite" kavramı yerine, "taşınan yolcu sayısı" gibi bir kavramın kullanılması daha doğru olacaktır.

### 3.4 Hız

Bazı toplu taşıma sistemleri için elde edilen yaklaşık ticari hızlar Gardner (1995) tarafından Tablo 3.2'deki gibi verilmiştir.

**Tablo 3.2:** Bazı sistemler için yaklaşık ticari hızlar

| | Karışık trafikte otobüs | Otobüs yolu | Tramvay | LRT | Metro |
|---|---|---|---|---|---|
| Ticari hız (km/sa) | 10 | 18-26 | 12-16 | 19-29 | 29-36 |

Ticari hız aynı zamanda taşıtın maksimum hızı ile frenleme ve ivmelenme özellikleri gibi faktörlere de bağlıdır (Vuchic, 1981). Bu yüzden, örneğin elektrikli trenlerin otobüslerden çok daha yüksek hıza sahip olacakları düşünülebilir. Ancak gözlemler, gerçekte arada pek az fark olduğunu göstermiştir. Çoklu regresyon analizi kullanılarak, istasyon aralığı gibi faktörlerin de hesaba katılması sağlanmış ve otobüs yolu ile LRT arasındaki farkın pek de önemli olmadığı görülmüştür (Gardner, 1995).

### 3.5. Yolculuk Süresi

Bir kentiçi koridorda uygulanacak toplu taşıma sisteminin türüne karar verebilmek için göz önüne alınması gereken ölçütlerin en önemlileri arasında, "yolculuk süresi" de bulunmaktadır. Bu ölçüt bir sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

### 3.6. Çok Ölçütlü Değerlendirme Önerisi

Yukarıda da vurgulandığı gibi siyasal karar süreçleri toplu taşıma türü tercihlerinde nihai rolü oynamaktadır. Maliyet açısından anlamsız görünün bir toplu taşıma

sisteminin, başka açılardan tercih edilmesi mümkündür. Toplumsal gurur ya da prestij gibi önemli bir faktör bu konuda belirleyici olabilmektedir.

Örneğin Kalküta metrosu, temel trafik yönetimi uygulamalarının dahi pek bulunmadığı, dünyanın en yoksul kentlerinden birinde inşa edilmiştir. 1990 yılında bir saatte bir yönde 6000 yolcu taşıyan bu sistemin bir kilometresinin maliyeti 45 milyon ABD doları iken, bir saatte bir yönde 12000 yolcu taşıyan Ankara otobüs yolunun bir kilometresinin maliyeti 0,2 milyon ABD doları idi (Fouracre ve diğ., 1990).

Ulusal geliri düşük ülkelerdeki kentler (Kalküta gibi) ya da eski sosyalist ülkelerdeki kentlerde (Bükreş gibi) sistemlerin seçimi, fayda maliyet analizi gibi Batı standartlarındaki değerlendirme yöntemlerini kullanan kurumlar için kabul edilebilir değildir. Batılı değerlendirme yöntemlerinin "uygun" kabul ettiği durumlar ile bu tür ülkelerdeki karar vericilerin "doğru" kabul ettikleri arasında belli bir açı bulunmaktadır. Bir başka önemli örnek, Sovyetler Birliği'ndeki kentlerde yaşanmıştır. Büyük Sovyet kentlerinin yanında, nüfusu yalnızca bir milyonu biraz aşmış bir dizi başka kentte, metro sistemleri insanların hizmetine sunulmuştur. Ayrıca dünyanın, yine nüfusu 1 milyon civarındaki bazı ketlerinde de metro sistemleri inşa edilmiş bulunmaktadır.

Yukarıda sayılan gerekçelere dayanarak, sayısal olarak ifade edilemeyen önemli etmenleri de sağlıklı biçimde göz önünde bulundurmayı olanaklı kıldığından, çok ölçütlü karar verme süreçlerinin, bir toplu taşıma türü seçimi sürecinde anlamlı sonuç vereceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, çok ölçütlü karar vermede kullanılan yöntemlerden biri olan analitik hiyerarşi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu yöntem gerek basitliği, gerek esnekliği gerekse farklı koşullara uyum sağlayabilme yeteneği dolayısıyla anlamlı sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Analitik hiyerarşi yöntemi, bugüne değin pek çok farklı disiplinel alanda karşılaşılan problemlerin çözümünde kullanılmış ve verimli olduğu kanıtlanmış bir yöntemdir. Ulaştırma alanında da pek çok problem için uygulanmış ve anlamlı sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır. Analitik hiyerarşi yöntemi sayesinde, toplu taşıma türü tercihi yapılırken göz önüne alınması gerekli görülen bütün etmenlerin değerlendirme sürecine dahil edilmesi sağlanmış olacaktır.

Bu yapılırken, farklı hiyerarşik düzeyler tanımlanması ve etmenlerin bu düzeylerde değerlendirilmesi mümkündür.

Bu çalışmada, analitik hiyerarşi yönteminin sağladığı avantajların yanında simülasyon modellerinden yararlanılması da öngörülmüştür. Bu doğrultuda, bazı fiziksel koşulların değişmesi durumunun bir simülasyon modeli yardımı ile göz önüne alınması düşünülmüştür.

Bir kentiçi koridorunda işletilen bir toplu taşıma sisteminin göstereceği performans, pek çok etkenin yanında bir dizi fiziksel koşulun da etkisi altındadır. Yolcu talebi, yolcuların taşıtlara biniş ya da iniş süresi gibi etkenler, sistemin göstereceği performansı doğrudan etkiler. Bu fiziksel koşulların, bir toplu taşıma sistemini nasıl etkileyeceğini öngörebilmek, yatırım aşamasında büyük önem taşımaktadır. Simülasyon, bu etkileşimin öngörülebilmesi için kullanılabilecek en verimli yöntemdir. Bir kentiçi koridorda, hangi toplu taşıma türünün uygulamaya geçirileceğine ilişkin karar verilirken, simülasyon sayesinde seçeneklerin performanslarının somut olarak karşılaştırılabilmesi mümkün hale gelecektir. Analitik hiyerarşi yöntemi ile değerlendirmeye dahil edilen etkenlerin yanında simülasyon ile tahmin edilen performansın bütünsel olarak ele alınması toplu taşıma türü seçiminde etkin bir süreç ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Bu nedenle, bu çalışmada önerilen yöntem, simülasyon destekli analitik hiyerarşi yöntemi olarak adlandırılmıştır.

# 4. SİMÜLASYON

## 4.1 Tanım

Varolan ya da yapılması planlanan bir sistemi gözlemlemek için yararlanılan en verimli yöntemlerden bir tanesi, belki de en önemlisi simülasyon adı verilen yöntemdir. Simülasyon, bir model aracılığıyla, sistemin davranışı ile ilgili bilgilerin elde edilmesini sağlar. Toplanan veriler, hayata geçirilmesi planlanan sistemin tasarlanmasında son derece işlevsel olabilir. Tasarımda bu bilgilerden yararlanmak, sistemin gerçekte nasıl işleyeceğine ilişkin önemli bir zemin sunar.

Simülasyon aracılığıyla, modellenen sistemin performansı hakkında bilgi edinilir. Daha da önemlisi, sistemin farklı koşullar altında nasıl çalışacağının simülasyon aracılığıyla tahmin edilebilmesidir. Böylece sistemin verimliliği, belirli sorunlarla karşılaşılıp karşılaşılmayacağı gibi önemli olgularla ilgili fikir sahibi olunması mümkün olacaktır.

Bilgisayar modelleri aracılığıyla uygulanan simülasyon, bilim ve teknolojinin bütün alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Simülasyon modelinin girdileri, modellenen sistemle ilgili veriler aracılığıyla oluşturulur. Simülasyon çıktısı ise rastgele örnekleme temeline dayanmaktadır. Bir diğer deyişle, simülasyonun çıktısı rastgele değişimlere maruz kalmaktadır. Dolayısıyla, simülasyonda da istatistiksel yorum testlerinin kullanılması gerekmektedir.

## 4.2. Simülasyonun Uygun Olduğu Durumlar

Bilgisayar teknolojisinin gelişimi ve simülasyon metodolojisinde yaşanan ilerlemeler, simülasyonu, yöneylem araştırması ve sistem analizinde en yaygın olarak

kullanılan araçlardan biri haline getirmiştir. Naylor ve diğerlerine (1966) göre, simülasyon, aşağıdaki durumlarda uygun bir araç olarak kullanılabilir.

1. Simülasyon, karmaşık bir sistemin ya da karmaşık bir sistem içerisindeki bir alt sistemin incelenmesini ve deneylere tabi tutulmasını sağlar.
2. Bilgisel, kurumsal ve çevresel değişimler simülasyona girilerek değişimlerin model davranışı üzerindeki etkileri gözlemlenebilir.
3. Bir simülasyon modeli tasarlarken edinilen bilgi birikimi, incelenen sistemin iyileştirilmesi ile ilgili önerilerin geliştirilmesi açısından son derece değerli olacaktır.
4. Simülasyonun girdilerini değiştirerek ve buna bağlı çıktıları gözlemleyerek, hangi değişkenlerin daha önemli olduğu ve hangi değişkenlerin nasıl karşılıklı etkileşim içerisinde olduklarına ilişkin bilgi edinilebilir.
5. Simülasyon, analitik çözüm metodolojilerinin geliştirilmesinde pedagojik bir araç olarak kullanılabilir.
6. Simülasyon, gerçekte ne yaşanacağına ilişkin hazırlıklı olmak amacıyla, uygulamadan önceki yeni tasarım ve politikaları denemek amacıyla kullanılabilir.
7. Simülasyon, analitik çözümleri doğrulamak için kullanılabilir.

### 4.3. Simülasyonun Bileşenleri

Bir sistemi anlamak ve analiz etmek için bir dizi terimin tanımlanması gerekmektedir. Bir "gezenbirim" (entity) sistemde, ilgi alanına giren bir nesne olarak tanımlanabilir. Gezenbirimlerin çeşitli özellikleri (attribute) bulunmaktadır. Bir "faaliyet" (activity), tanımlı bir süreye verilen isimdir.

Bir çalışma için göz önüne alınan bir sistemi oluşturan gezenbirim kümesi, başka bir çalışmadaki bütünsel bir sistemin yalnızca bir alt birimi olabilir (Law ve Kelton, 1991).

Bir sistemin "durum"u (state), sistemi herhangi bir anda, çalışmanın amaçlarına bağlı olarak açıklamak için gerekli değişkenlerin bütünü olarak tanımlanabilir. Bir "olay" (event), sistemin durumunu değiştirebilen anlık bir oluştur. "İçsel" (endogenous) terimi, bir sistemin içerisinde meydana gelen faaliyet ve olayların açıklanmasında,

"dışsal" (exogenous) terimi ise çevrede meydana gelip sistemi etkileyen faaliyet ve olayları açıklamak için kullanılır.

### 4.4. Simülasyonun Çeşitleri

Simülasyonda önde gelen yöntem, Monte Carlo örnekleme düşüncesini temel almaktadır. Monte Carlo simülasyonunda bir deneyin çıktısını tahmin edebilmek için rastgele örneklemeden yararlanılmaktadır. Burada, gerçek sistem davranışları, zamanın bir fonksiyonu olarak araştırılmaktadır.

Simülasyonda asıl olarak iki ayrı türden bahsedilebilir. Bunlar "sürekli modeller" ve "kesikli modeller" olarak adlandırılmaktadır.

Sürekli modeller, davranışları zaman içerisinde sürekli olarak değişim gösteren sistemleri ele alır. Sürekli simülasyon modellerinde genel olarak, sistemin farklı bileşenleri arasındaki karşılıklı etkileşim, değişik diferansiyel denklemlerle ifade edilmektedir.

Kesikli modeller, sistemlerin davranışlarındaki değişimleri sadece verili bir anda izleyen modellerdir (Taha, 2000). Sistemin durumu sadece bir kullanıcının sisteme girdiği ya da sistemden çıktığı anda değişir. Diğer zamanlar, istatistiksel veri toplama açısından hiçbir şey ifade etmemektedir. Sistemde herhangi bir değişiklik meydana geldiği anda modeldeki olaylar tanımlı hale gelmektedir. Bu değişimler, kesikli noktalarda meydana geldikleri için, bu tür durumları ele alan simülasyon çeşidine "kesikli olay simülasyonu" adı verilmektedir.

Ulaştırma sistemleri, simülasyonla analiz edilmek istendiğinde, kesikli simülasyon modellerinin bu sistemleri daha iyi yansıttığı görülmektedir. Bu nedenle kesikli simülasyon modelleri ulaştırma alanında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kesikli simülasyon, bir kullanıcının sisteme girmesi ile sistemden çıkmadan önce hizmet görmesini tanımlar. Kullanıcının sisteme girmesi, sistemde bir kuyruk oluşumu söz konusu ise bu kuyrukta beklemesini de içermektedir. Kesikli olay modelleri, birbiriyle karşılıklı etkileşim ve ilişki içerisinde bulunan kuyrukların oluşturduğu bir ağ meydana getirmektedir.

Sistemde, kuyruk boyu, hizmet yerinin durumu ve benzeri koşullarda herhangi bir değişiklik olması durumunda, kesikli model aracılığıyla bir performans ölçümü gerçekleştirilebilir. Kesikli simülasyon modellerinde geliş ve gidiş olarak adlandırılabilecek iki temel olgu söz konusudur.

Modeller arasında, çeşitli özellikleri göz önünde bulundurularak başka ayrımlar da yapılabilir.

Örneğin, modelleri "fiziksel" ya da "matematiksel" olarak adlandırmak mümkündür. Matematiksel modeller, sembolik notasyonlar ve matematiksel denklemler yardımı ile sistemleri yansıtırlar. Bir simülasyon modeli, bir sistemi yansıtan özel bir matematiksel model türüdür.

Simülasyon modellerini "statik" ya da "dinamik" olarak ayırmak da mümkündür. Monte Carlo simülasyonu olarak da adlandırılan statik simülasyon modelleri, bir sistemi, zaman içerisindeki belirli bir anında temsil eder. Dinamik simülasyon modelleri ise sistemleri, zaman içerisindeki değişimleri ile birlikte temsil eder.

Rastgele değişken barındırmayan simülasyon modelleri "deterministik" olarak adlandırılır. Deterministik modellerde belirli bir girdi bütünü bulunmaktadır; ve bu girdi bütünü tek bir çıktı bütünü verir. "Stokastik" bir simülasyon modeli ise girdi olarak bir ya da birden fazla rastgele değişken içerir. Rastgele girdiler, rastgele çıktıların ortaya çıkmasına yol açar. Çıktılar rastgele olacağından, bir modelin gerçek özelliklerine yakınsayan değerler halini alırlar. Çıktılar, bir sistemin gerçek özelliklerinin istatistiksel öngörüleridir.

Simülasyon modelleri, yukarıda tanımlanan "kesikli" ya da "sürekli" sıfatları ile de anılabilir. Ancak bir kesikli simülasyon modeli her zaman kesikli bir sistemi tanımlamaz. Benzer şekilde, sürekli bir simülasyon modeli de her zaman sürekli bir sistemi tanımlamaz. Simülasyon modelleri aynı zamanda hem sürekli hem de kesikli olabilir. Kesikli ya da sürekli simülasyon modelinin kullanımı, sistemin özelliklerine ve çalışmanın amacına bağlıdır.

Simülasyon modelleri analitik yöntemlerden ziyade, sayısal yöntemler aracılığı ile çözümlenir. Analitik yöntemler modeli "çözmek" amacıyla matematiğin çıkarsama mantığını kullanır. Sayısal yöntemler ise matematiksel modelleri "çözmek" için hesaplama işlemlerini ve bu bağlamda bilgisayar aracını kullanır. Sayısal

yöntemlerin kullanıldığı simülasyon modelinde modeller çözülmek yerine "çalıştırılır". Yani, model kabullerine dayanılarak, sistemin yapay bir tarihçesi üretilir; ve gerçek sistem performans ölçülerini tahmin etmek için veriler derlenir ve çözümlenir (Banks, Carson, Nelson, 1996).

### 4.5. Bir Simülasyon Modelinin Aşamaları

Bir simülasyon modelinin aşamaları Şekil 4.1'deki akış diyagramında görüldüğü gibidir (Law, Kelton, 1991).

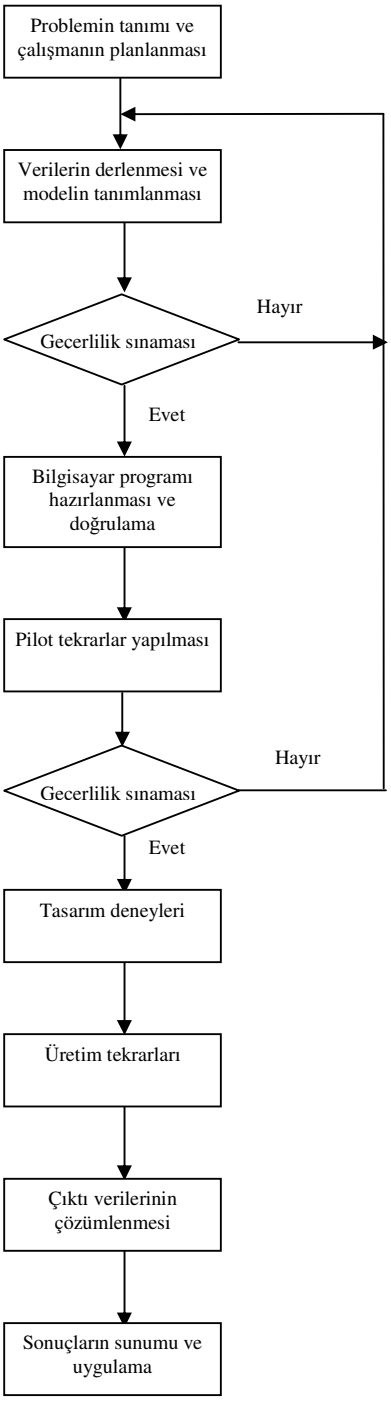
Akış diyagramında da görüldüğü gibi, ilk aşamada problem tanımlanır ve çalışmanın planı yapılır. İkinci aşamada simüle edilecek sistem ile ilgili veriler derlenir ve bir model tanımlanır. Veriler, işlemleri ve modelde kullanılacak rastgele değişkenleri tanımlamak için değerlendirilir. Dağılımların geçerliliğinin sınanmasının ardından bir bilgisayar programı üretilir. Rastgele sayı üretimi için kullanılan program için, yaygın olarak kullanılan pek çok yazım dili bulunmaktadır.

Program yazıldıktan sonra programın pilot tekrarları gerçekleştirilir. Bu sayede programın geçerliliği sınanmış olur. Tanımlanan alt ve üst sınırların dışında kalan çıktı değerlerinin sayısına göre ve çıktıların gerçek verilerle uyumuna göre geçerliliğe karar verilir.

Bir sonraki aşamada tasarımla ilgili deneyler yapılır. Bu işlem, birden fazla alternatif bulunması durumunda gerçekleştirilir. Bir gerçek sisteme bağlı başka sistemler ya da alt sistemler bulunabilir. Model tasarlanırken bağlı sistem ya da alt sistemlerinin hangilerinin, asıl ilgilenilen sistemle birlikte simüle edileceğine de bu aşamada karar verilir.

Nihayet, sistemin performans verilerini elde etmek için üretim tekrarları gerçekleştirilir. Üretim tekrarlarının sonucunda elde edilen çıktı verilerini çözümlemek için istatistiksel teknikler kullanılır. Belirli bir güvenlik aralığı tanımlanır ve çıktıların bu güvenlik aralığı için uygun olup olmadığı denetlenir.

Simülasyon modelinin geçerliliğine karar verildikten sonra uygulanmasına geçilir.




**Şekil 4.1:** Simülasyonun Aşamaları

# 5. YOLCULUK SÜRESİ VE SİMÜLASYONU

## 5.1. Yolculuk Süresi

Bir kentiçi koridorda uygulanacak toplu taşıma sisteminin türüne karar verebilmek için göz önüne alınması gereken ölçütlerin en önemlileri arasında, "yolculuk süresi" de bulunmaktadır. Yolculuk süresi, bir dizi faktörün etkisi altında bulunan ve koşullara göre farklılık gösteren bir değişkendir. Rudnicki (1999), bir kentiçi toplu taşıma yolculuğunun süresi için, toplumsal etkenleri de içeren oldukça karmaşık bir hesap yöntemi önermiştir.

Yolculuk süresinin çeşitli bileşenleri bulunmaktadır.

Bir yolcu için yolculuk süresi taşıt içerisinde geçen süre ile taşıt dışında geçen sürenin toplamından ibarettir. Taşıt içinde geçen süre taşta binildiği anda başlar ve taşıttan inildiği anda biter. Bu zaman aralığında taşıt hareket halinde ya da duruyor (hareketsiz) olabilir. Taşıt dışında geçen süreyi ise şu bileşenlerle tanımlayabiliriz: Çıkış noktası ile taşıta binilecek nokta (durak) arasında geçen yürüme süresi, durakta beklenen süre, varsa aktarma için geçen süre (birinci taşıttan inilen nokta ile ikinci taşıta binilecek nokta arasındaki yürüme süresi ile ikinci taşıta binilecek noktadaki bekleme süresi), taşıttan inildikten sonra hedefe varılması için gereken yürüme süresi.

Bir toplu taşıma aracı için yolculuk süresi, duraklar arasındaki mesafenin kat edilmesi için geçen süre ile duraklarda harcanan süreden oluşur. Durakta harcanan süre de yolcuların araca binmeleri, inmeleri ve eğer varsa taşıtın kuyrukta beklemesi için geçen süreden ibarettir.

Bu çalışmada taşıt yolculuk süresi göz önüne alınmıştır.

Duraklar arasındaki mesafeyi kat etmek için gereken süre, taşıtın normal trafik akışı içerisinde diğer taşıtlarla birlikte hareket edip etmediği ile doğrudan ilgilidir.

Yolculuk süresi bileşenlerinden durakta bekleme süresi ise öncelikle yolcu talebine bağlıdır. Yolcu talebi arttıkça yolcuların taşıta binme ya da taşıttan inme süreleri artacak, bu da taşıtın durakta beklediği süreyi artıracaktır. Taşıtların geliş sıklığına ve yine yolcu talebine bağlı olarak, durakta kuyruklanma, yani birden fazla taşıtın arka arkaya durak alanı içerisinde sıralanması olasılığı bulunmaktadır. Kuyruklanma durumunda öndeki taşıtın beklediği sürenin arkadaki taşıt ya da taşıtları etkilemesi ve durakta harcanan sürenin artması olasılığı bulunmaktadır.

Yolcuların taşıta binerken ve taşıttan inerken harcadıkları süre durakta harcanan toplam sürenin bir bileşenidir. Bir yolcunun ortalama biniş süresi, taşıtın bazı özelliklerine ve yolcunun biniş esnasında ücret ödeyip ödemediğine bağlıdır. Örneğin, İstanbul'da İ.E.T.T. işletmesinin çokça kullandığı İkarus marka otobüslerin ilk basamağının oldukça yüksek olması ortalama biniş süresini artıran bir etkendir. Öte yandan yine İstanbul'daki otobüslerde kullanımı iyice yaygınlaşan Akbil sayesinde taşıta binerken ücret ödeme süresi, eski bilet sistemine göre kısalmış durumdadır. Ancak otobüs şoförlerinin Akbil satması gibi istisnai durumlar ortalama biniş süresini artırıcı etki yapmaya devam etmektedir. Öte yandan raylı sistem duraklarına girerken ödeme yapılması, yolcuların taşıta binerken ödeme yapmamaları, raylı taşıtlara biniş süresini büyük ölçüde kısaltmaktadır.

Bir toplu taşıma türünün bir koridordaki olası performansının değişik koşullarda nasıl gerçekleştiğinin önceden tahmin edilebilmesinin sayısız yararı bulunmaktadır. Taşıtların sıklığı, durak yerleri, durak aralıkları gibi etkenler ile ilgili kararların sağlıklı bir şekilde alınabilmesi için performansın öngörülmesi önemlidir.

Dahası, bir koridorda farklı toplu taşıma türlerinin yukarıda açıklanan bağlamda nasıl performans sergileyecekleri, birden fazla seçenek arasında karar vermede bir ölçüt oluşturması açısından önem taşıyacaktır.

Toplu taşıma sisteminin, değişen yolcu talebi, hız, durak aralıkları, (ödeme şekilleri ve diğer fiziksel etmenlere bağlı olarak) biniş ve iniş süresi gibi özelliklerine göre performansının nasıl değiştiği, bir simülasyon modeli yardımı ile öngörülebilir.

Bu çalışmada böylesi bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. TTSIM (Toplu Taşıma Simülasyon Modeli) adı verilen model, değişik koridorlarda, değişik toplu taşıma

sistemlerinin değişen koşullarda yolculuk sürelerinin nasıl değiştiğini tahmin etmektedir.

Bu model, yolcu talebi, durak aralıkları, taşıt hızı, yolcuların iniş ya da biniş süreleri gibi değişkenlerin değişmesi durumunda bir sistemin performansının nasıl değiştiğini gösterebileceği gibi, farklı güzergahlarda, farklı toplu taşıma sistemleri için de kullanılabilir.

Bu çalışmada, yolcu talebi gibi, simülasyon modeline girdi oluşturan önemli bir değişkenin, normal dağılıma uyduğu kabul edilmiştir. Simülasyon modelinin başka bir durum için yeniden kullanımında, başka bir dağılıma uygunluk kabulü yapılarak da model çalıştırılabilir.

## 5.2. Yolculuk Süresi Simülasyon Modeli

Bir simülasyon modelinin sahip olması gereken aşamalar, yukarıda açıklanmıştı. Bu çalışma kapsamında, bir toplu taşıma değerlendirme ölçütü olarak yolculuk süresinin, değişen koşullarda nasıl olacağının belirlenebilmesi amacıyla bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Bu bölümde söz konusu simülasyon modelinin nasıl oluşturulduğu açıklanmaktadır.

Öncelikle, üretilen modelin nitelikleri belirtilmelidir. Bu çalışmada elde edilen model, dinamik bir simülasyon modelidir; zira, sistemi, zaman içerisindeki değişimleri ile birlikte temsil etmektedir.

Modelin girdileri arasında bulunan yolcu sayıları rastgele değişkenlerdir. Dolayısıyla, bir üst ve alt sınır içerisinde kalan çıktı verileri, yani yolculuk süresi verileri de rastgeledir. Bu nedenle model aynı zamanda stokastik bir modeldir.

Modelde, gezenbirimler olan yolcular, sisteme girmekte, hizmet görerek sistemden çıkmaktadırlar. Görülen hizmet, taşıta biniş, yolculuk ve taşıttan inişi kapsamaktadır. Dolayısıyla model, kesikli bir simülasyon modelidir.

Model, aynı zamanda sayısal bir modeldir; zira belirli kabullere dayanılarak, sistemin yapay bir tarihçesi üretilmiş ve gerçek sistem performans ölçülerini tahmin etmek için veriler derlenmiş ve çözümlenmiştir.

Bu çalışmada bir simülasyon modelinin üretilme amacı, bir kentiçi koridorunda işletilen bir toplu taşıma sisteminin, değişen koşullarda nasıl bir performans göstereceğinin belirlenebilmesidir. Üretilen modelde performans göstergesi yolculuk süresidir. Model, otobüs yolu ve tramvay sistemleri için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Sonuçlara aşağıda değinilecektir.

Modelin gezenbirimleri, rastgele değişkenleri yolculardır. Diğer girdiler taşıt hızı, yolcuların taşıtlara iniş ve biniş süreleri ve duraklar arası mesafelerdir.

### 5.2.1. Modelin Girdileri

Modele girdi oluşturması amacıyla Beşiktaş-Levent ve Aksaray-Taksim koridorlarındaki otobüs yolcularının sayıları derlenmiştir. Veriler, 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Ulaştırma Uygulama Araştırma Merkezi tarafından yapılan "İETT Hatlarının Etüdü ve Rehabilitasyon Projesi" isimli çalışmadan alınmıştır (Y.T.Ü., 2002).

Duraklar arası mesafeler bilgisayar ortamındaki haritalardan ölçülmüştür. Taşıt hızları dünyadaki çeşitli sistemlerde gözlenen değerlerden uyarlanmıştır (Gardner, 1995; ve Gardner, Rutter, Kuhn, 1994). Yolcuların ortalama biniş ve iniş süreleri ise doğrudan ölçülmüştür.

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi, Toplu Taşıma Simülasyon Modeli'ne girdi olarak iki kentiçi koridorda, otobüsler için derlenen yolcu sayıları kullanılmıştır. Girdi olarak kullanılan bu verilerin hangi dağılıma uyduğu önemlidir.

Yolcu sayılarının normal dağılıma uyup uymadığını araştırmak için MiniTab isimli bilgisayar programından yararlanılmıştır.

Bu program ile $\alpha = 0{,}05$ değeri için Anderson-Darling testi uygulanmıştır. Test sonucunda elde edilen p değerinin, 0,05'den büyük çıkması durumunda verilerin normal dağılıma uyduğu kabul edilmektedir.

Aşağıda Aksaray-Taksim ve Beşiktaş-Levent koridorları için sabah, öğlen ve akşam zirve saatlerde ve her iki koridorda da her iki yöndeki binen ve inen yolcu sayıları için yapılan Anderson-Darling test sonuçları görülmektedir. Şekil 5.1-5.36'de verilen grafiklerde veriler işaretlenmiştir. Grafiklerin yanındaki tablolardaki değerler

ortalama, standart sapma, örnek sayısı, Anderson-Darling sayısı ve p değerini göstermektedir. Görüldüğü gibi bütün veriler için p değeri 0,05'den büyük çıkmaktadır. Bu durumda verilerin normal dağılıma uyduğu kabul edilmektedir.

EK A'da, Şekil A.1-A.9'da Aksaray-Taksim yönü, Şekil A.10-A.18'de Taksim-Aksaray yönü, Şekil A.19-A.27'de Beşiktaş-Levent yönü, Şekil A.28-A.36'da Levent-Beşiktaş yönü verilerinin grafik dağılımı görülmektedir.

### 5.2.2. Modelin Çalıştırılması

Bir sonraki adımda simülasyon modeli için bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bunun için Microsoft Excel programından yararlanılmıştır. İlk excel sayfası veri girişi amacıyla kullanılmıştır. Bu sayfanın bir örneği Şekil 5.1'de görülmektedir.

Excel'in ikinci sayfası rastgele sayı üretimi ve modelin çalıştırılmasına ayrılmıştır. İlk örnekte Beşiktaş-Levent ve Levent-Beşiktaş yönleri için, ikinci örnekte ise Aksaray-Taksim ve Taksim-Aksaray yönleri için ayrı ayrı tekrar sayfaları hazırlanmıştır. Bu sayfalarda her durak birer adım olarak tanımlanmıştır. Her durakta, o durağa geldiğinde taşıtın içinde bulunan yolcu sayısı, o durakta taşıttan inen, o durakta taşıta binen ve taşıt duraktan ayrıldığında taşıtın içerisinde kalan yolcu sayıları belirlenmiştir. Yolcu biniş ve iniş sürelerinden büyük olanı, taşıtın durakta geçirdiği süre olarak alınmıştır. Taşıtların duraklar arasında geçirdiği süreler ile duraklarda geçirdiği sürelerin toplamı da yolculuk süresini vermiştir. Her iki sayfanın birer örneği Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de görülmektedir.

Her adımda, yani her durakta inen ve binen yolcu sayıları için rastgele sayılar atanmıştır. Bu hücreler kırmızı renk ile gösterilmiştir. Rastgele sayı atanması için visual basic programlama dilinde makrolar yazılmıştır. Yazılan makroların standardı aşağıda görülmektedir.

= ABS(dNormalInt(dağılım ortalaması, dağılım standart Sapması))

Burada Normal komutu, normal dağılımın uygulandığını, Int konutu ise tamsayı atanmasını göstermektedir.

Rastgele sayı üretme süreci Excel altındaki PopTools aracılığı ile gerçekleştirilmiştir; modelin doğrulama işlemi de böylece tamamlanmıştır.

Tekrar için aynı sayfada, sabah, öğlen ve akşam verileri için birer sütun ayrılmıştır. Her sütunda elde edilen yolculuk süreleri sütunların hemen yanındaki grafiklere işlenmiştir. Bunun bir örneği Şekil 5.4'de görülmektedir.

Tekrar sırasına göre, program önce eski değerleri sıfırlamakta, ardından yeni değerler elde etmektedir.

Pilot tekrar aşamasında, model, 50 kez çalıştırılmış; bir diğer deyişle 50 adet tekrar gerçekleştirilmiştir. Tekrar sayısının yeterli olup olmadığı aşağıdaki eşitsizlikle irdelenmiştir (Pooch ve Wall, 2000).

$$( x_{ort} - 2{,}58\ \sigma_{xort} ) < \mu < ( x_{ort} + 2{,}58\ \sigma_{xort}) \qquad \textbf{(5.1)}$$

Burada,

$x_{ort}$ : Ortalama
$\sigma_{xort}$ : Standart sapma
$\mu$ : Gerçek ana kütle ortalaması

2,58 değeri yüzde 99,5 güven aralığı için alınan t değeridir; t tablosundan alınmıştır (Pooch ve Wall, 2000).

Yapılan 50 adet pilot tekrarda alt ve üst sınırların dışında kalan değerler 30 civarında olmuştur. Bunun yüksek bir sayı olması nedeniyle yapılması gereken tekrar sayısının artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tekrar sayısını belirlemek için Excel için yazılan bir simülasyon paket programı olan Crystal Ball isimli program incelenmiştir. Buradaki örneklerde ortalama 1000 tekrar yapıldığı görülmüştür. Bu nedenle tekrar sayısı 1000 olarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan 1000'er adet üretim tekrarında alt ve üst sınırların dışında kalan değerlerin sayısının 10 civarında gerçekleştiği görülmüş ve tekrar sayısı yeterli kabul edilmiştir.

Sonuçlar, Excel sayfalarının sonuncusunda gösterilmektedir. Bu sayfada yolculuk süreleri, sabah, öğlen ve akşam saatleri için birer sütun ayrılarak gösterilmiştir. Aynı sayfada bu sütunların hemen yanında her üç aralık için elde edilen değerler aynı grafik üzerine işlenerek verilmiştir.

Aynı sayfada ayrıca çıktıların, yine sabah, öğlen ve akşam için ayrı ayrı olmak üzere ortalama, standart sapma, alt sınır ve üst sınır değerleri gösterilmiştir. Aynı tablocuklarda alt sınırın altında ve üst sınırın üstünde kalan çıktı değerlerinin sayıları da verilmiştir. Bu sayfanın bir örneği de Şekil 5.5'de görülmektedir.

| SABAH | Beşiktaş | Barbaros | YTÜ | E.Sitesi | Darphane | Kışlaönü | Köp.Kavşak | Zincirlikuyu | Levent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Taşıttaki Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 74 | | | | | | | | |
| St.Sapma | 97 | | | | | | | | |
| **İnen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 12 | 3 | 16 | 4 | 5 | 7 | 6 | 21 | 23 |
| St.Sapma | 23 | 6 | 21 | 5 | 8 | 8 | 13 | 20 | 20 |
| **Binen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 70 | 5 | 21 | 6 | 4 | 17 | 37 | 15 | 24 |
| St. Sapma | 57 | 8 | 20 | 7 | 5 | 39 | 45 | 19 | 28 |

| ÖĞLEN | Beşiktaş | Barbaros | YTÜ | E.Sitesi | Darphane | Kışlaönü | Köp.Kavşak | Zincirlikuyu | Levent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Taşıttaki Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 168 | | | | | | | | |
| St.Sapma | 280 | | | | | | | | |
| **İnen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 19 | 7 | 26 | 11 | 9 | 12 | 7 | 23 | 33 |
| St.Sapma | 38 | 14 | 39 | 14 | 23 | 17 | 10 | 25 | 31 |
| **Binen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 163 | 9 | 28 | 5 | 8 | 10 | 23 | 19 | 61 |
| St. Sapma | 117 | 14 | 33 | 8 | 12 | 21 | 29 | 26 | 117 |

| AKŞAM | Beşiktaş | Barbaros | YTÜ | E.Sitesi | Darphane | Kışlaönü | Köp.Kavşak | Zincirlikuyu | Levent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Taşıttaki Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 129 | | | | | | | | |
| St.Sapma | 217 | | | | | | | | |
| **İnen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 19 | 6 | 21 | 9 | 6 | 10 | 7 | 29 | 23 |
| St.Sapma | 41 | 11 | 26 | 15 | 8 | 18 | 15 | 32 | 33 |
| **Binen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 128 | 14 | 27 | 9 | 16 | 20 | 23 | 25 | 45 |
| St. Sapma | 96 | 36 | 43 | 13 | 34 | 22 | 42 | 35 | 65 |

| SABAH | Levent | Zincirlikuyu | Köp.Kavşak | Kışlaönü | Darphane | E.Sitesi | YTÜ | Barbaros | Beşiktaş |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Taşıttaki Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 236 | | | | | | | | |
| St.Sapma | 207 | | | | | | | | |
| **İnen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 20 | 29 | 24 | 10 | 9 | 9 | 32 | 9 | 96 |
| St.Sapma | 21 | 30 | 38 | 13 | 10 | 11 | 40 | 13 | 75 |
| **Binen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 20 | 52 | 7 | 7 | 7 | 10 | 16 | 7 | 14 |
| St. Sapma | 27 | 52 | 11 | 10 | 11 | 11 | 30 | 18 | 29 |

| ÖĞLEN | Levent | Zincirlikuyu | Köp.Kavşak | Kışlaönü | Darphane | E.Sitesi | YTÜ | Barbaros | Beşiktaş |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Taşıttaki Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 231 | | | | | | | | |
| St.Sapma | 226 | | | | | | | | |
| **İnen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 25 | 38 | 24 | 7 | 6 | 6 | 34 | 9 | 111 |
| St.Sapma | 35 | 43 | 29 | 10 | 10 | 8 | 48 | 14 | 135 |
| **Binen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 20 | 56 | 7 | 7 | 4 | 12 | 23 | 7 | 36 |
| St. Sapma | 28 | 76 | 13 | 14 | 7 | 14 | 32 | 17 | 95 |

| AKŞAM | Levent | Zincirlikuyu | Köp.Kavşak | Kışlaönü | Darphane | E.Sitesi | YTÜ | Barbaros | Beşiktaş |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Taşıttaki Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 156 | | | | | | | | |
| St.Sapma | 116 | | | | | | | | |
| **İnen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 19 | 33 | 30 | 5 | 5 | 7 | 18 | 8 | 69 |
| St.Sapma | 22 | 52 | 31 | 12 | 8 | 10 | 32 | 12 | 85 |
| **Binen Yolcu** | | | | | | | | | |
| Ortalama | 20 | 38 | 11 | 15 | 8 | 8 | 11 | 2 | 21 |
| St. Sapma | 26 | 48 | 46 | 41 | 16 | 15 | 19 | 7 | 57 |

| ***Uzaklıklar*** | Barbaros | YTÜ | E.Sitesi | Darphane | Kışlaönü | Köp.Kavşak | Zincirlikuyu | Levent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beşiktaş | 480 | 963 | 1375 | 1727 | 2181 | 2586 | 3069 | 3776 |
| Barbaros | | 483 | 895 | 1247 | 1701 | 2106 | 2589 | 3296 |
| YTÜ | | | 412 | 764 | 1218 | 1623 | 2106 | 2813 |
| E.Sitesi | | | | 352 | 806 | 1211 | 1694 | 2401 |
| Darphane | | | | | 454 | 859 | 1342 | 2049 |
| Kışlaönü | | | | | | 405 | 888 | 1595 |
| Köp.Kavşak | | | | | | | 483 | 1190 |
| Zincirlikuyu | | | | | | | | 707 |

| Ortalama Taşıt Hızı | |
|---|---|
| 16 | km/h |
| 4.44 | m/sn |

| Taşıta Binme Süresi | |
|---|---|
| 0.9 | sn |

| Taşıttan İnme Süresi | |
|---|---|
| 0.8 | sn |

**Şekil 5.1:** Simülasyon modeli veri sayfası

**Beşiktaş-Levent (Sabah)**

| 1.Adım | | 2.Adım | | 3.Adım | | 4.Adım | | 5.Adım | | 6.Adım |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beşiktaş Başlangıç (saat) | 0 | Barbaros Varış Saati | 146.70 | YTÜ Varış Saati | 262.58 | E.Sitesi Varış Saati | 391.28 | Darphane Varış Saati | 480.88 | Kışlaönü Varış Saati |
| Beşiktaş'a Gelen Yolcu Sayısı (ort) | 225 | Barbaros'a Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 260 | YTÜ'ye Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 261 | E.Sitesi'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 294 | Darphane'ye Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 286 | Kışlaönü'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı |
| Beşiktaş'tan Binen Yolcu Sayısı (ort) | 43 | Barbaros'tan Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 8 | YTÜ'den Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 40 | E.Sitesi'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 5 | Darphane'den Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 6 | Kışlaönü'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.) |
| Beşiktaş'ta İnen Yolcu Sayısı (ort) | 8 | Barbaros'ta İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 7 | YTÜ'de İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 7 | E.Sitesi'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 13 | Darphane'de İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 1 | Kışlaönü'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.) |
| Beşiktaş'ta Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 260 | Barbaros'ta Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 261 | YTÜ'de Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 294 | E.Sitesi'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 286 | Darphane'de Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 291 | Kışlaönü'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı |
| Beşiktaş Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 38.70 | Barbaros Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 7.20 | YTÜ Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 36.00 | E.Sitesi Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 10.40 | Darphane Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 5.40 | Kışlaönü Durağında Bekleme Süresi (sn.) |
| Beşiktaş Durağından Kalkış (saat) | 38.70 | Barbaros Durağından Kalkış (saat) | 153.90 | YTÜ Durağından Kalkış (saat) | 298.58 | E.Sitesi Durağından Kalkış (saat) | 401.68 | Darphane Durağından Kalkış (saat) | 486.28 | Kışlaönü Durağından Kalkış (saat) |
| | | | | | | | | | | |
| Beşiktaş - Barbaros Yolculuk Süresi (sn) | 108.00 | Barbaros - YTÜ Yolculuk Süresi (sn) | 108.68 | YTÜ - E.Sitesi Yolculuk Süresi | 92.70 | E.Sitesi - Darphane Yolculuk Süresi | 79.20 | Darphane - Kışlaönü Yolculuk Süresi | 102.15 | Kışlaönü - Köprülü Kavşak Yolculuk Süresi |

**Beşiktaş - Levent (Öğlen)**

| 1.Adım | | 2.Adım | | 3.Adım | | 4.Adım | | 5.Adım | | 6.Adım |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beşiktaş Başlangıç (saat) | 0 | Barbaros Varış Saati | 269.10 | YTÜ Varış Saati | 392.18 | E.Sitesi Varış Saati | 529.88 | Darphane Varış Saati | 627.48 | Kışlaönü Varış Saati |
| Beşiktaş'a Gelen Yolcu Sayısı (ort) | 91 | Barbaros'a Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 210 | YTÜ'ye Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 226 | E.Sitesi'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 247 | Darphane'ye Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 225 | Kışlaönü'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı |
| Beşiktaş'tan Binen Yolcu Sayısı (ort) | 179 | Barbaros'tan Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 16 | YTÜ'den Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 50 | E.Sitesi'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 1 | Darphane'den Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 15 | Kışlaönü'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.) |
| Beşiktaş'ta İnen Yolcu Sayısı (ort) | 60 | Barbaros'ta İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 0 | YTÜ'de İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 29 | E.Sitesi'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 23 | Darphane'de İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 15 | Kışlaönü'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.) |
| Beşiktaş'ta Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 210 | Barbaros'ta Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 226 | YTÜ'de Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 247 | E.Sitesi'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 225 | Darphane'de Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 225 | Kışlaönü'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı |
| Beşiktaş Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 161.10 | Barbaros Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 14.40 | YTÜ Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 45.00 | E.Sitesi Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 18.40 | Darphane Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 12.00 | Kışlaönü Durağında Bekleme Süresi (sn.) |
| Beşiktaş Durağından Kalkış (saat) | 161.10 | Barbaros Durağından Kalkış (saat) | 283.50 | YTÜ Durağından Kalkış (saat) | 437.18 | E.Sitesi Durağından Kalkış (saat) | 548.28 | Darphane Durağından Kalkış (saat) | 639.48 | Kışlaönü Durağından Kalkış (saat) |
| | | | | | | | | | | |
| Beşiktaş - Barbaros Yolculuk Süresi (sn) | 108.00 | Barbaros - YTÜ Yolculuk Süresi (sn) | 108.68 | YTÜ - E.Sitesi Yolculuk Süresi | 92.70 | E.Sitesi - Darphane Yolculuk Süresi | 79.20 | Darphane - Kışlaönü Yolculuk Süresi | 102.15 | Kışlaönü - Köprülü Kavşak Yolculuk Süresi |

**Beşiktaş - Levent (Akşam)**

| 1.Adım | | 2.Adım | | 3.Adım | | 4.Adım | | 5.Adım | | 6.Adım |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beşiktaş Başlangıç (saat) | 0 | Barbaros Varış Saati | 266.40 | YTÜ Varış Saati | 402.08 | E.Sitesi Varış Saati | 536.38 | Darphane Varış Saati | 625.18 | Kışlaönü Varış Saati |
| Beşiktaş'a Gelen Yolcu Sayısı (ort) | 445 | Barbaros'a Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 593 | YTÜ'ye Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 622 | E.Sitesi'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 579 | Darphane'ye Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 575 | Kışlaönü'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı |
| Beşiktaş'tan Binen Yolcu Sayısı (ort) | 176 | Barbaros'tan Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 30 | YTÜ'den Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 9 | E.Sitesi'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 8 | Darphane'den Binen Yolcu Sayısı (ort.) | 40 | Kışlaönü'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.) |
| Beşiktaş'ta İnen Yolcu Sayısı (ort) | 28 | Barbaros'ta İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 1 | YTÜ'de İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 52 | E.Sitesi'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 12 | Darphane'de İnen Yolcu Sayısı (ort.) | 3 | Kışlaönü'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.) |
| Beşiktaş'ta Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 593 | Barbaros'ta Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 622 | YTÜ'de Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 579 | E.Sitesi'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 575 | Darphane'de Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 612 | Kışlaönü'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı |
| Beşiktaş Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 158.40 | Barbaros Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 27.00 | YTÜ Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 41.60 | E.Sitesi Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 9.60 | Darphane Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 36.00 | Kışlaönü Durağında Bekleme Süresi (sn.) |
| Beşiktaş Durağından Kalkış (saat) | 158.40 | Barbaros Durağından Kalkış (saat) | 293.40 | YTÜ Durağından Kalkış (saat) | 443.68 | E.Sitesi Durağından Kalkış (saat) | 545.98 | Darphane Durağından Kalkış (saat) | 661.18 | Kışlaönü Durağından Kalkış (saat) |
| | | | | | | | | | | |
| Beşiktaş - Barbaros Yolculuk Süresi (sn) | 108.00 | Barbaros - YTÜ Yolculuk Süresi (sn) | 108.68 | YTÜ - E.Sitesi Yolculuk Süresi | 92.70 | E.Sitesi - Darphane Yolculuk Süresi | 79.20 | Darphane - Kışlaönü Yolculuk Süresi | 102.15 | Kışlaönü - Köprülü Kavşak Yolculuk Süresi |

**Şekil 5.2:** Beşiktaş-Levent simülasyon sayfası

**Levent - Beşiktaş (Sabah)**

| 1.Adım | | 2.Adım | | 3.Adım | | 4.Adım | | 5.Adım | | 6.Adım | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Levent Başlangıç (saat)* | 0 | *Zincirlikuyu Varış Saati* | 219.38 | *Köprülü Kavşak Varış Saati* | 424.35 | *Kışlaönü Varış Saati* | 533.88 | *Darphane Varış Saati* | 641.43 | *Ertuğrul Sitesi Varış Saati* | 737.43 |
| Levent'e Gelen Yolcu Sayısı (ort) | 263 | Zincirlikuyu'ya Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 290 | Köprülü Kavşak'a Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 371 | Kışlaönü'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 364 | Darphane'ye Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 367 | Ertuğrul Sitesi'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 366 |
| Levent'ten Binen Yolcu Sayısı (ort) | 67 | *Zincirlikuyu'dan Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 107 | *Köprülü Kavşak'tan Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 16 | *Kışlaönü'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 6 | *Darphane'den Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 20 | *Ertuğrul Sitesi'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 3 |
| Levent'te İnen Yolcu Sayısı (ort) | 40 | *Zincirlikuyu'da İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 26 | *Köprülü Kavşak'ta İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 23 | *Kışlaönü'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 3 | *Darphane'de İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 21 | *Ertuğrul Sitesi'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 13 |
| Levent'te Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 290 | Zincirlikuyu'da Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 371 | Köprülü Kavşak'ta Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 364 | Kışlaönü'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 367 | Darphane'de Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 366 | Ertuğrul Sitesi'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 356 |
| Levent Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 60.30 | Zincirlikuyu Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 96.30 | Köprülü Kavşak Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 18.40 | Kışlaönü Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 5.40 | Darphane Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 16.80 | Ertuğrul Sitesi Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 10.40 |
| *Levent Durağından Kalkış (saat)* | 60.30 | *Zincirlikuyu Durağından Kalkış (saat)* | 315.68 | *Köprülü Kavşak Durağından Kalkış (saat)* | 442.75 | *Kışlaönü Durağından Kalkış (saat)* | 539.28 | *Darphane Durağından Kalkış (saat)* | 658.23 | *Ertuğrul Sitesi Durağından Kalkış (saat)* | 747.83 |
| | | | | | | | | | | | |
| Levent - Zincirlikuyu Yolculuk Süresi (sn) | 159.08 | Zincirlikuyu - Köprülü Kavşak Yolculuk Süresi (sn) | 108.68 | Köprülü Kavşak - Kışlaönü Yolculuk Süresi | 91.13 | Kışlaönü - Darphane Yolculuk Süresi | 102.15 | Darphane - Ertuğrul Sitesi Yolculuk Süresi | 79.20 | Ertuğrul Sitesi - YTÜ Yolculuk Süresi | 92.70 |

**Levent - Beşiktaş (Öğlen)**

| 1.Adım | | 2.Adım | | 3.Adım | | 4.Adım | | 5.Adım | | 6.Adım | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Levent Başlangıç (saat)* | 0 | *Zincirlikuyu Varış Saati* | 253.48 | *Köprülü Kavşak Varış Saati* | 397.35 | *Kışlaönü Varış Saati* | 509.18 | *Darphane Varış Saati* | 627.53 | *Ertuğrul Sitesi Varış Saati* | 713.93 |
| Levent'e Gelen Yolcu Sayısı (ort) | 211 | Zincirlikuyu'ya Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 106 | Köprülü Kavşak'a Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 81 | Kışlaönü'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 85 | Darphane'ye Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 102 | Ertuğrul Sitesi'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 103 |
| Levent'ten Binen Yolcu Sayısı (ort) | 13 | *Zincirlikuyu'dan Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 19 | *Köprülü Kavşak'tan Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 23 | *Kışlaönü'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 18 | *Darphane'den Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 8 | *Ertuğrul Sitesi'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 23 |
| Levent'te İnen Yolcu Sayısı (ort) | 118 | *Zincirlikuyu'da İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 44 | *Köprülü Kavşak'ta İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 19 | *Kışlaönü'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 1 | *Darphane'de İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 5 | *Ertuğrul Sitesi'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 4 |
| Levent'te Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 106 | Zincirlikuyu'da Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 81 | Köprülü Kavşak'ta Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 85 | Kışlaönü'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 102 | Darphane'de Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 105 | Ertuğrul Sitesi'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 124 |
| Levent Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 94.40 | Zincirlikuyu Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 35.20 | Köprülü Kavşak Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 20.70 | Kışlaönü Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 16.20 | Darphane Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 7.20 | Ertuğrul Sitesi Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 20.70 |
| *Levent Durağından Kalkış (saat)* | 94.40 | *Zincirlikuyu Durağından Kalkış (saat)* | 288.68 | *Köprülü Kavşak Durağından Kalkış (saat)* | 418.05 | *Kışlaönü Durağından Kalkış (saat)* | 525.38 | *Darphane Durağından Kalkış (saat)* | 634.73 | *Ertuğrul Sitesi Durağından Kalkış (saat)* | 734.63 |
| | | | | | | | | | | | |
| Levent - Zincirlikuyu Yolculuk Süresi (sn) | 159.08 | Zincirlikuyu - Köprülü Kavşak Yolculuk Süresi (sn) | 108.68 | Köprülü Kavşak - Kışlaönü Yolculuk Süresi | 91.13 | Kışlaönü - Darphane Yolculuk Süresi | 102.15 | Darphane - Ertuğrul Sitesi Yolculuk Süresi | 79.20 | Ertuğrul Sitesi - YTÜ Yolculuk Süresi | 92.70 |

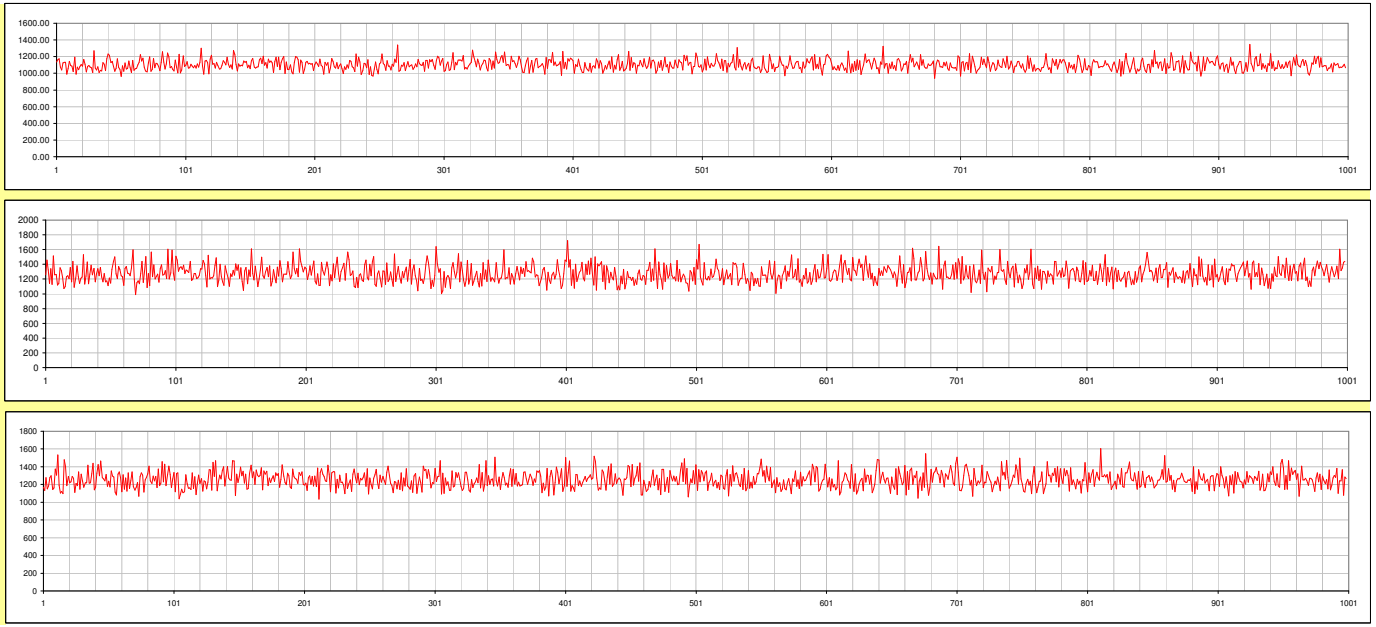
**Levent - Beşiktaş (Akşam)**

| 1.Adım | | 2.Adım | | 3.Adım | | 4.Adım | | 5.Adım | | 6.Adım | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Levent Başlangıç (saat)* | 0 | *Zincirlikuyu Varış Saati* | 163.58 | *Köprülü Kavşak Varış Saati* | 345.85 | *Kışlaönü Varış Saati* | 521.58 | *Darphane Varış Saati* | 677.73 | *Ertuğrul Sitesi Varış Saati* | 760.13 |
| Levent'e Gelen Yolcu Sayısı (ort) | 39 | Zincirlikuyu'ya Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 41 | Köprülü Kavşak'a Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 35 | Kışlaönü'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 59 | Darphane'ye Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 110 | Ertuğrul Sitesi'ne Taşıtla Gelen Yolcu Sayısı | 108 |
| Levent'ten Binen Yolcu Sayısı (ort) | 5 | *Zincirlikuyu'dan Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 86 | *Köprülü Kavşak'tan Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 94 | *Kışlaönü'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 60 | *Darphane'den Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 2 | *Ertuğrul Sitesi'nden Binen Yolcu Sayısı (ort.)* | 32 |
| Levent'te İnen Yolcu Sayısı (ort) | 3 | *Zincirlikuyu'da İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 92 | *Köprülü Kavşak'ta İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 70 | *Kışlaönü'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 9 | *Darphane'de İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 4 | *Ertuğrul Sitesi'nde İnen Yolcu Sayısı (ort.)* | 20 |
| Levent'te Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 41 | Zincirlikuyu'da Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 35 | Köprülü Kavşak'ta Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 59 | Kışlaönü'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 110 | Darphane'de Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 108 | Ertuğrul Sitesi'nde Taşıtta Kalan Yolcu Sayısı | 120 |
| Levent Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 4.50 | Zincirlikuyu Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 73.60 | Köprülü Kavşak Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 84.60 | Kışlaönü Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 54.00 | Darphane Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 3.20 | Ertuğrul Sitesi Durağında Bekleme Süresi (sn.) | 28.80 |
| *Levent Durağından Kalkış (saat)* | 4.50 | *Zincirlikuyu Durağından Kalkış (saat)* | 237.18 | *Köprülü Kavşak Durağından Kalkış (saat)* | 430.45 | *Kışlaönü Durağından Kalkış (saat)* | 575.58 | *Darphane Durağından Kalkış (saat)* | 680.93 | *Ertuğrul Sitesi Durağından Kalkış (saat)* | 786.93 |
| | | | | | | | | | | | |
| Levent - Zincirlikuyu Yolculuk Süresi (sn) | 159.08 | Zincirlikuyu - Köprülü Kavşak Yolculuk Süresi (sn) | 108.68 | Köprülü Kavşak - Kışlaönü Yolculuk Süresi | 91.13 | Kışlaönü - Darphane Yolculuk Süresi | 102.15 | Darphane - Ertuğrul Sitesi Yolculuk Süresi | 79.20 | Ertuğrul Sitesi - YTÜ Yolculuk Süresi | 92.70 |

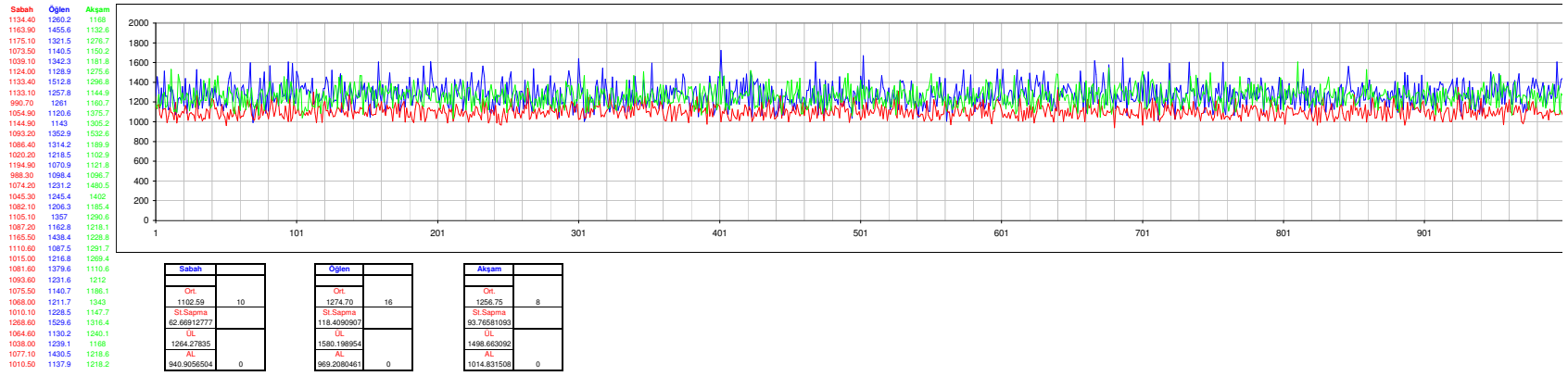


**Şekil 5.3:** Levent-Beşiktaş simülasyon sayfası

| | | |
|---|---|---|
| 1134.40 | 1260.2 | 1168 |
| 1163.90 | 1455.6 | 1132.6 |
| 1175.10 | 1321.5 | 1276.7 |
| 1073.50 | 1140.5 | 1150.2 |
| 1039.10 | 1342.3 | 1181.8 |
| 1124.00 | 1128.9 | 1275.6 |
| 1133.40 | 1512.8 | 1296.8 |
| 1133.10 | 1257.8 | 1144.9 |
| 990.70 | 1261 | 1160.7 |
| 1054.90 | 1120.6 | 1375.7 |
| 1144.90 | 1143 | 1305.2 |
| 1093.20 | 1352.9 | 1532.6 |
| 1086.40 | 1314.2 | 1189.9 |
| 1020.20 | 1218.5 | 1102.9 |
| 1194.90 | 1070.9 | 1121.8 |
| 988.30 | 1098.4 | 1096.7 |
| 1074.20 | 1231.2 | 1480.5 |
| 1045.30 | 1245.4 | 1402 |
| 1082.10 | 1206.3 | 1185.4 |
| 1105.10 | 1357 | 1290.6 |
| 1087.20 | 1162.8 | 1218.1 |
| 1165.50 | 1438.4 | 1228.8 |
| 1110.60 | 1087.5 | 1291.7 |
| 1015.00 | 1216.8 | 1269.4 |
| 1081.60 | 1379.6 | 1110.6 |
| 1093.60 | 1231.6 | 1212 |
| 1075.50 | 1140.7 | 1186.1 |
| 1068.00 | 1211.7 | 1343 |
| 1010.10 | 1228.5 | 1147.7 |
| 1268.60 | 1529.6 | 1316.4 |
| 1064.60 | 1130.2 | 1240.1 |
| 1038.00 | 1239.1 | 1168 |
| 1077.10 | 1430.5 | 1218.6 |
| 1010.50 | 1137.9 | 1218.2 |
| 1035.50 | 1265 | 1418 |
| 1028.30 | 1387.9 | 1215.1 |
| 1128.00 | 1257.2 | 1217.7 |
| 1109.70 | 1343.8 | 1321.6 |
| 1031.90 | 1163.5 | 1438.2 |
| 1172.20 | 1273.5 | 1138.1 |
| 1233.30 | 1340.4 | 1169.3 |
| 1217.00 | 1243.5 | 1327.1 |
| 1128.50 | 1357.4 | 1423.3 |
| 1141.70 | 1227.5 | 1297.6 |




**Şekil 5.4:** Simülasyon ile elde edilen yolculuk süreleri grafikleri




**Şekil 5.5:** Simülasyon sonuç sayfası

# 6. ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ

Karar vericinin varolan tüm seçenekler arasından amacına veya amaçlarına en uygun bir veya birkaç seçeneği seçme sürecine girmesi karar verme olarak adlandırılır (Evren ve Ülengin, 1992). Bir başka ifadeyle, karar verme, hedeflerin ve amaçların gerçekleştirilmesi için farklı ve birbirinin alternatifi olabilecek eylem planlarından birinin seçimi olarak tanımlanabilir. Karar verme olgusu insanlığın varoluşundan beri karşı karşıya olduğu önemli olgulardan biridir. İnsanların karar verme sürecinde geçmişte edindiği deneyimlerini ve alınan kararlara altlık oluşturan yaklaşımları temel aldığı düşüncesi yaygın olarak inanılan bir düşüncedir. Ancak, inanılan bu düşüncenin aksine, karar verme durumunda olan insanların davranışlarında belirleyici olan şey doğrudan kendi istekleridir. Genellikle ne istediklerinin bilincinde olduklarından, başkalarının düşüncelerinin karar vermede kendilerine destek olabileceğini düşünmezler. Ancak bu kararların insan beyninin düşünme kapasitesi ile sınırlı olduğu, dolayısıyla bu kapasitenin karmaşık kararların verilebilmesinde yeterli olamayabileceği açıktır.

Karar verme süreci, özellikle de yönetim açısından son derece önemlidir. Yönetim işlevleri açısından, karar verme süreci bu işlevlerin odağında yer alır. Örneğin, neyin, ne zaman, nasıl, nerede ve kim tarafından yapılacağına karar verilmesini içeren planlama işlevi başta olmak üzere, düzenleme, uygulama ve kontrol etme gibi yönetim işlevleri ağırlıklı olarak karar vermeye dayanır.

Bu derece önemli olan ve insan beyninin sınırlı kapasitesi nedeniyle birden çok ölçüt içeren karmaşık kararların verilmesinde oluşan kısıtlar nedeniyle karar vermede belirli yöntemsel yaklaşımlar geliştirilmiş ve yönetim başlığı ile ilgili alanlarda uygulanmaya başlanmıştır. 1970'lerde Profesör Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) bu yöntemlerin başlıcalarından biridir. Saaty (1980), yöntemi bütünlüklü olarak ele almaktadır.

AHY'de probleme ilişkin temel hedef, ölçütler, öznitelikler, alt ölçütler ve alternatifler arasındaki ilişki hiyerarşik bir yapıda modellenir. Bu yaklaşımın en önemli özelliklerinden birisi gerek nesnel, gerekse öznel düşüncelerin karar verme sürecine dahil edilmelerine olanak sağlamasıdır. AHY ile bilgi, deneyim, bireyin öznel düşünceleri ve önsezileri belirli bir mantık çerçevesinde bir araya getirilir. AHY ile kişiler, nasıl karar vermeleri gerektiği konusunda bir yöntem kullanmaya zorunlu olmak yerine, kendi karar verme sistematiğini kavrayıp bu şekilde daha iyi kararlar vermeleri amaçlanır.

### 6.1. Analitik Hiyerarşi Yönteminin Uygulama Alanları

AHY, yönetim başlığının söz konusu olduğu farklı süreçlerde çok yaygın bir uygulama alanına sahiptir. Bu alanlara örnek olarak pazarlama, finans, eğitim, kamusal politikalar, iktisat, tıp, spor verilebilir. Ayrıca, AHY pek çok çalışmada farklı yöneylem araştırması teknikleriyle bütünleşik olarak kullanılmaktadır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

AHY'nin uygulama alanlarına ilişkin verilebilecek kimi örnekler aşağıda sıralanmıştır (Yazgaç, 1995):

Portföy seçimi
Teknoloji transferi
Eğitim
Hastane gereksinimlerinin belirlenmesi
Organ nakli
Ulaşım
Bütçeleme
Tesis yeri seçimi
Ürün tasarımı
Mimarlık
Veri tabanı seçimi
Rekabette davranış biçimi
Satrançta öngörü

Bu yöntemin uygulama alanının ne denli genişlediğinin bir başka örneği ise, yöntemi, futbolda forvet oyuncularının yetenek ve becereilerine göre değerlendirilmesi amacıyla kullanan Sipahi ve Or'un (2005) çalışması oluşturmaktadır.

### 6.2. Hiyerarşi Kavramı

Karar verme sürecinde, karar verici aralarında belirli bir ilişkiyi de barındıran farklı olgularla karşı karşıya bulunmaktadır. Çözüm üretmede ya da bir başka ifade ile karar vermede ise, varolan ve çoğu kez içi içe geçmiş karmaşık olguların kavranması büyük rol oynar. Daha önce de vurgulandığı gibi, AHY'nin temel yaklaşımı insanın içgüdüsel davranışlarının farkına varmasının sağlanmasıdır ve bu yönüyle içgüdüsel karar verme mekanizmasının bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Genellikle karar verme sürecinde çok sayıda birbiri ile ilişkili etmenler söz konusudur ve bu karmaşık yapı içerisinde varolan etmen ya da öğeler, taşıdıkları ortak özellikler temel alınarak karar verme mekanizmasının bir parçası olarak gruplanarak bir araya getirilir. AHY yaklaşımı da insanoğlunun karar verme mekanizmasının en önemli bileşeni olan bu temel içgüdüsel gruplara ayırma ya da ayrıştırma yaklaşımını kapsamaktadır. AHY'nin ilk adımı olarak nitelendirilebilecek ayrıştırma ile bir karar probleminin daha kolay kavranması ve değerlendirilmesi sağlanır.

Ayrıştırma sonucunda oluşturulan gruplar, farklı nitelik ya da özellikler göz önünde bulundurularak kendi aralarında da gruplandırılırlar. Böylece, açıklanan bu gruplama süreci bir üst sürece ve nihayetinde karar verme sürecinin hedefi olan öğeye ulaşana dek devam eder. Görüldüğü gibi, bu tür bir yaklaşımla taşıdıkları nitelik ve özelliklere göre gruplandırılan öğeler karar verme sürecinde hiyerarşik bir yapıda ifade edilirler ya da bir başka ifadeyle karar hiyerarşisi kurulur. Burada en alt düzeydeki gruptan en üst düzeydeki gruba kadar bir dizi katman söz konusudur ve hiyerarşik dizilimdeki bu katmanların incelenmesi karara verme sürecinin ilk adımını oluşturur. Bu yaklaşım çerçevesinde gerçekleştirilecek diğer adım ise en alttaki gruptan ya da katmandan başlayarak tüm katmanların hiyerarşik dizilimin en üstünde yer alan ve ana amacı kapsayan öğeye ne derece bir etkide bulunduklarının

belirlenmesidir. Analitik hiyerarşi sürecinin çözümü, etmenlerin ve eğer var ise alt etmenlerin önemlerinin ortaya konması, her bir alternatif için var olan etmenlere göre bağıl olarak ağırlıklandırma yapılması, her bir alternatif için toplam puanın hesaplanması şeklinde özetlenebilir. Oluşturulan hiyerarşik yapının en altında karar alternatifleri yer almaktadır ve bu karar hiyerarşisinin kurulmasında hiyerarşinin kademe sayısı, problemin karmaşıklığı ve detay derecesi önem taşır.

Karar hiyerarşisinin en tepesinde ana hedef yer almaktadır. Bir alt kademe kararın kalitesini etkileyecek ölçütlerden oluşmaktadır. Bu ölçütlerin ana hedefi etkileyebilecek özellikleri varsa, hiyerarşiye başka kademeler eklenebilir. Hiyerarşinin en altında karar alternatifleri yer almaktadır. Karar hiyerarşisinin kurulmasında hiyerarşinin kademe sayısı, problemin karmaşıklığına ve detay derecesine bağlıdır (Zahedi, 1986).

Yukarıdaki tanımlardan da anlaşılacağı gibi, kurulan analitik hiyerarşi insanların içgüdüsel olarak bir sorunu nasıl algılayıp çözdüğünü, insanın algılama ve karar verme süreçlerini yansıtmaktadır. Bireyler, karşılaştıkları problemleri algıladıktan sonra, problemin parçası olan öğeleri gruplandırma ve hiyerarşik bir sınıflandırmaya tabi tutma eğilimindedirler. Hiyerarşik sınıflandırma kişiden kişiye farklılık gösterse de üretilen çözümler genel olarak birbirine yakın çözümler olmaktadır.

Analitik hiyerarşi yapısının kurulması özelinde dile getirilebilecek önemli bir konu ise, artık farklı öğelerin birbirleri ile karşılaştırılamayacakları düşüncesinin geçerliliğini yitirmesidir. Örneğin birbirleri ile ilişkisi en alt düzeyde olan iki nesnenin dahi sahip oldukları asgari özellikler göz önünde bulundurularak ilişkilendirilmeleri olasıdır. Gerçekte karar verme sürecinde oluşturulan katmanlar arasında, ulaşılması istenilen hedefi en iyi gerçekleyebilenin bulunması yaklaşımın özünü oluşturmaktadır. Bu çerçevede, seçeneklerin amacı gerçeklemede taşıdıkları göreli ağırlıklar önem taşırlar. Seçeneklerin göreli ağırlıklarının belirlenmesiyle, en üst düzeydeki nihai hedefin gerçekleştirilmesindeki göreli etkileri belirlenebilir ve bu etkilerin sayısal olarak ifade edilmesiyle kaynakların temininde akılcı bir yaklaşım ortaya konulabilir.

Anılan biçimde oluşturulan modelin salt nicel büyüklükleri değil, aynı zamanda nitel özellikleri de içermesi söz konusu olabilmektedir. Bu da daha gerçekçi bir sonuç elde

edilebilmesini güvence altına alan önemli bir özelliktir. Bunun yanı sıra, bu modelde farklı yaklaşımlar ve düşünce farklılıklarının da dikkate alınabilmesi olasıdır.

Sistem yaklaşımı günümüzde karar verme süreçleri başta olmak üzere tüm yönetim ve işletme uygulamalarında benimsenen ve yaygın olarak uygulanan bir yaklaşımdır. Sistem yaklaşımı, sistemi oluşturan parçalara ayrı ayrı odaklanmak yerine tüm sistemi bir bütün olarak ele alan disiplinlerarası bir yaklaşım olarak tanımlanabilir. Gerçekte, salt bir sorunu ele almak ve derinlemesine analiz etmek, ilgili soruna ilişkin çözüm üretmek için yeterli değildir. Çünkü genelde o soruna ilişkin alt sistemin çözümlenmesi şeklinde nitelendirilebilecek bu yaklaşım, bu alt sistemin ait olduğu bütüncül sistemin göz ardı edilmesi anlamına gelebilmektedir. Bu nedenle, ilgili alt sistemi ait olduğu sistemin bütünü ile birlikte ele alan sistem yaklaşımı, daha nesnel bir karar üretmeyi sağlayan işlevsel bir araçtır.

Sistem yaklaşımında bir sistemi oluşturan alt sistemlerin sistemin bütünü üzerindeki etkileri değerlendirilir ve göreli önemleri ortaya konur. Bu açıdan değerlendirildiğinde analitik hiyerarşi yönteminde izlenen yaklaşımın da bir sistem yaklaşımına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Belli bir amaca yönelik olarak, birbirine bağlı ve bir arada çalışan parçalar topluluğu olarak tanımlayabileceğimiz bir sistem, yapısı, işleyişi, kuruluş ya da varoluş amaçları, hedefleri ve o sistemin ait olduğu üst sistemle olan ilişkileri ile ortaya konulabilir. Özetle, bir sistem ele alınırken, o sistemi oluşturan bileşenlerin fiziksel ve toplumsal yapısı, bu bileşenlerin yüklendikleri işlevler, hizmet ettiği amaç ve hedefler, bu amaç ve hedeflerin ait oldukları üst düzeyde amaçlarla olan ilişkileri, sistemin temel amacının neler olduğu belirlenmeye çalışılır.

Analitik hiyerarşi süreçlerinde, bir sistemin birbirinden ayrılmaz unsurları olan yapısı ve işlevleri bütüncül olarak ele alınırlar. Oluşturulan hiyerarşik ilişkiler kümesi ile, bir sistemi oluşturan yapısal bileşenlerin birbirleri arasındaki işlevleri açısından ilişkileri ve diğer sistemler üzerindeki etkilerini belirlemek ve böylelikle söz konusu yapıyı ortaya koymak hedeflenmektedir. Farklı biçimlerde oluşturulabilecek katmanları içeren hiyerarşiler en üstte yer alan bir ana amaçtan başlayarak alt amaçlara, bu amaçlar üzerinde etki sahibi etmenlere, bu etmenler üzerinde etki sahibi kişilere, bu kişilerin amaçlarına, izledikleri politika ve stratejilere ve bu stratejilerin çıktılarına doğru üstten aşağıya doğru dizilirler.

Karşılaşılan karmaşık bir problemin çözümü için izlenen hemen hemen tüm yaklaşımlarda, sistemi oluşturan bileşenlerin işlevsel ilişkilerinin ve bunların sistemin bütünü üzerindeki etkilerinin irdelenmesi çözümün ilk adımıdır. Böylelikle, sistemin yapısal karakteri ortaya konulmaktadır. Ayrıca sistem bileşenleri ya da öğeleri taşıdıkları niteliklere göre gruplara ayrılır. Bu gruplardan ortak kimi özellikler taşıyanlar olması durumunda, bu gruplar ortak bir küme ya da başlık içerisinde toplanabilir. Böylelikle hiyerarşik dizilimde üst düzeyde bir grup adı oluşmuş olur. Bu gruplamanın devam ettirilmesi ile en alttan başlayarak üste doğru hiyerarşik bir dizilim oluşturulur ve nihai olarak en üst düzeyde sistemin amacını ifade eden bir başlığa ulaşılır. Sonuç olarak böylesi bir dizilimde büyük sistemler ve bu sistemi oluşturan alt sistemlerden oluşan ve hiyerarşi denilen bir yapı söz konusu olur.

Daha önce de vurgulandığı gibi, oluşturulan hiyerarşik dizilim mutlak olarak tek bir yapıdan oluşmaz. Ortaya konulan yaklaşıma göre ve sistemi oluşturan bireylerin yaklaşımlarına göre aynı problem için birbirinden farklı hiyerarşik yapılar kurulabilir. Hiyerarşik bir yapıda yer alan alt sistemler aynı öneme sahip olmayabilirler; fakat bu alt sistemler hiyerarşik dizilimdeki farklı alt sistemlerle ilişkilidirler. Hiyerarşik dizilimde yer alan her katman içerisindeki öğeler birbirinden bağımsızdır. Birbirleri üzerinde etkiye sahip olan gruplar, söz konusu katmanın altındaki ya da üstündeki düzeylerde bulunan gruplardır.

### 6.3. AHY'nin Katkıları ve Kısıtları

Hiyerarşiler, bir sistemin yapısal karakterini ve alt sistemlerin işlevlerini ayrıntılı olarak sunarlar. Böylelikle, kurulan bu ilişkiler kümesi ile sistem yaklaşımı ilkesi de yaşam bulmuş olur. Hiyerarşik dizilimde, bir katmandaki öğelerin kısıtlarının sonuçları, bir üst katmanda çok iyi bir biçimde yansır. Hiyerarşik olarak düzenlenmiş sistemlerin değerlendirilmesi verimli sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır. Hiyerarşik dizilimde yapılan küçük değişiklikler hiyerarşiyi de asgari düzeyde etkilemektedirler. Yapısal olarak iyi tasarlanmış bir hiyerarşinin performansı, yapılan eklemeler sonucunda değişime uğramaz. Bu yönüyle hiyerarşilerin hem kararlı, hem de esnek oldukları söylenebilir (Çalışkan, 1998).

Yukarıda belirtilen avantaj ve dezavantajlar, AHY'nin katkı ve kısıtları şeklinde aşağıdaki gibi özetlenebilirler (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

Katkıları:

- AHY, karar vericinin hedefe ilişkin tercihlerini doğru bir şekilde belirlemesine olanak veren uygulaması kolay bir karar verme metodolojisi sağlar.
- Karmaşık problemleri basitleştiren bir yapısı/süreci vardır.
- Karar vericilerin karar probleminin tanımı ve unsurlarına ilişkin anlayışlarını arttırır.
- Bir karar problemine ilişkin hem objektif hem sübjektif düşüncelerle, hem nitel hem de nicel bilgilerin karar sürecine dahil edilmesine olanak verir.
- Karar vericinin duyarlılık analizi yaparak nihai kararın esnekliğini analiz etmesi mümkündür.
- Karar vericinin yargılarının tutarlılık derecesini ölçmesine imkan verir.
- Grup kararlarında kullanımı uygundur.

Kısıtları:

- Sıra değiştirme (rank reversal) olgusu AHY'nin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken bir konudur ve herhangi bir karar alternatifi probleme eklendiğinde veya çıkarıldığında karar alternatifleri sıralamasının değişmesi durumudur. Sıra değiştirme durumunun geçerliliği konusunda literatürdeki tartışmalar devam etmektedir.
- Modelleme sürecinin öznel doğası AHY'nin bir kısıdı olarak görülmektedir. Bu, metodolojinin "kesinlikle doğru" kararları garanti edemeyeceği anlamına gelir.
- Bir karar hiyerarşisindeki kademe sayısı arttıkça ikili karşılaştırma sayısı da artar. Bu durum, AHY modelini kurmak için daha fazla zaman ve çabayı gerektirir. AHY'ye ilişkin yazılım programlarının kullanılması gereken zaman ve çabayı azaltmasına karşın, metodolojinin yine de daha az biçimsel yöntemlere göre daha fazla zaman ve çabayı gerektirdiği ileri sürülmektedir.

## 6.4 AHY'de Ölçme ve Karar Verme Süreci

Analitik hiyerarşi yaklaşımına altlık oluşturan hiyerarşik yapı ve taşıdığı özelliklere bir önceki alt bölümde değinilmişti. Bu çerçevede, önemi taşıyan bir diğer önemli konu ise, AHY'nin ikinci adımı olan ölçme ve değerlendirme sürecidir. Genel tanımıyla ölçme bir betimleme, değerlendirme ise karar verme sürecidir. Ölçme ve değerlendirme sürecinde en önemli unsurlardan birisi, ölçmenin yapılış amacının açık olarak tanımlanmasıdır.

AHY'nin bu ikinci adımında karşılaştırmalı yargılar veya ikili karşılaştırmalar söz konusudur. İkili karşılaştırma kavramı iki etmenin ya da ölçütün birbirleriyle karşılaştırılması anlamına gelmektedir ve genel olarak karar vericinin yargısına dayanır. İkili karşılaştırmalar karar ölçütlerinin ve alternatiflerin öncelik dağılımlarının kurulması için tasarlanmıştır. Daha açık bir ifade ile, hiyerarşideki elemanlar bir üst kademedeki elemana göre göreli önemlerinin belirlenmesi için ikili olarak karşılaştırılır (Wind ve Saaty, 1980). Eğer hiyerarşinin belirlenen düzeyi karşılaştırılacak n eleman içeriyorsa toplam n(n-1)/2 adet ikili karşılaştırma yapmak gerekir. Bu karşılaştırmalar matrisler şeklinde düzenlenir ve bu matrisler ikili karşılaştırma matrisleri olarak adlandırılır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

Gerçekte hiçbir ölçüm kesin olarak tutarlı bir sonuca ulaşma garantisi sağlamaz. Fiziksel büyüklüklerin belirlenmesi amacıyla ölçme aletleri ya da cihazları ile gerçekleştirilen ölçüler dahi rastlantısal ya da sistematik hata kaynaklarının etkisi sonucunda tutarsız sonuçlara neden olabilirler. Bir ölçüm sırasında, en hassas alet ya da cihazların kullanımında dahi mükemmel sonuçların elde edilemeyebileceği gerçeğinden hareketle bir karar modelinin etkin bir biçimde kullanılıp kullanılamayacağı irdelenirken, verilecek kararın tutarsız olması durumunda ne tür sonuçlarla karşılaşılabileceği de göz önünde tutulmalıdır. Özetle, modelin olası hatalara karşı duyarlılığı çözüm üretme açısından büyük önem taşımaktadır. Bu önemden hareketle, alternatifler belirlendikten ve göreli önemlerine göre sıralandıktan sonra kurulan modelin sonuçlarının gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu inceleme, yargılara veya hiyerarşik yapıya ilişkin gereksinim duyulan düzeltme alanlarına işaret edecektir. Bu incelemenin önemli bir bileşeni, alternatiflerin sıralamalarının ve nihai kararın yargılardaki değişikliklere karşı ne kadar duyarlı olduğunun değerlendirilmesidir. Duyarlılık analizi başlığı altında yapılan bu

inceleme ikili karşılaştırmaların oluşturulmasında yargıların kişiden kişiye farklılık gösterebileceği ya da daha önce belirli bir yargıda bulunan kişinin zamanla düşüncelerinin farklılaşabileceği varsayımına dayanmaktadır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

Nihai kararın karşılaşılan sorunun en iyi biçimde çözümü açısından önem taşıyan bir diğer önemli konu ise ikili karşılaştırma sürecinde karar verici tarafından ortaya konulan yargıların tutarlılığıdır. Tutarlılık akılcı bir biçimde düşünmenin önkoşulu olarak kabul edilmektedir. Tutarlılıktan kastedilen, salt tercih zinciri geçişlerindeki mantıklılık değil, aynı zamanda bu tercihlerin yoğunluklarına ilişkin sayısal tutarlılıktır. Tutarlılığı koşullayan önemli etmenlerden biri de soruna ilişkin varolan bilgi birikimi düzeyidir. Bir başka ifadeyle, bilgi birikimi düzeyi ile yaratılan modelin tutarlılığı doğru orantılıdır. Yukarıda anılan ikili karşılaştırmalar, karar verme konumunda bulunan kişinin olabildiğince fazla bilgiyi kullanarak tutarlılığı artırmasına yardımcı olurlar. Ancak uygulamada tam anlamıyla tutarlı olmak neredeyse olanaksızdır. Bu olgudan hareketle, yeni bilgilerin öğrenilmesi sürecinde belli düzeyde tutarsızlığa tolerans gösterilmesi olasıdır. Buradan da anlaşılacağı gibi AHY mükemmel tutarlılık talep etmemektedir. Tutarsızlığa izin vermekte, ancak her yargılamada tutarsızlığın ölçümünü sağlamaktadır.

Üretilen modelin tutarlı bir yapıda olması sorunların mutlak olarak çözüme kavuşturulacağı anlamına gelmez. Üretilen modelin aynı zamanda nesnel koşullara göre somut çözümler ortaya koyması, bir başka ifadeyle, gerçek yaşamda karşılaşılan sorunlara çözüm getirebilme kapasitesini taşıması beklenir. Karşılaşılan gerçek sorunlara çözüm bulabilmek için soruna ilişkin tüm farklı düşünceler ile nitel yargılar ve özellikler arasında güvenilir bir ilişki kurulması, bunun da geliştirilecek sayısal bir ölçek ile ifade edilmesi izlenen temel yaklaşımdır.

İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty tarafından önerilen bir tutarlılık oranı (consistency ratio) kullanılmaktadır (Saaty, 1980). Tutarlılık oranı her ikili karşılaştırma matrisi için hesaplanır. Bu oran için Saaty tarafından önerilen üst limit 0.10'dur (Saaty, 1980). Yargılar için hesaplanan tutarlılık oranı 0.10'un altında ise yargıların yeterli bir tutarlılık sergilediği ve değerlendirmenin devam edebileceği kabul edilmektedir. Eğer yargıların tutarlılık oranı 0.10'un üstünde ise yargılar tutarsız kabul edilmektedir. Bu durumda yargıların kalitesinin iyileştirilmesi gerekir.

Tutarlılık oranı yargıların yeniden gözden geçirilmesiyle düşürülebilir. Ancak bu işlemde başarısız olunursa, problemin daha doğru bir biçimde tekrar kurulması ve sürecin en baştan ele alınması gerekir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

Saaty, AHY'nin kullanılmasında doğrudan doğruya ilgili kişilerle yüz yüze anket yapıp, onların ikili karşılaştırmalara ilişkin görüşlerinin alınmasını önermektedir. Söz konusu ilgili kişi ve/veya kişiler mutlaka konunun uzmanı olmasalar bile en azından konuyu bilen, konuya aşina olan kişiler olmalıdır. Eğer karar tek kişi değil de bir grup tarafından alınabiliyorsa, söz konusu grubu oluşturan kişiler yargılarını ortaya koyup, nihai yargının oluşturulması sürecinde olaya dahil olarak bu yargıların netleşmesini sağlayabilirler. Grubun karar sürecinde bir uzlaşıya varması halinde herhangi bir sorun ortaya çıkmayacaktır. Ancak uzlaşma sağlanamadığı takdirde pazarlık süreci başlayacaktır. Uzlaşma olmamasının kökeninde, sistemin kimi öğelerinin gruptaki kişiler açısından taşıdıkları önemin farklı olması yatabilmektedir. Bu durumda, üçüncü şahıslardan yararlanılıp farklı sonuçların bir sentezi yapılır ya da her grup üyesinden olguya diğerleri açısından da yaklaşmaları istenip bir uzlaşma zemini yaratılabilir (Evren ve Ülengin, 1992).

AHY, ikili karşılaştırma sürecinde birden çok kişinin yargılarının değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu kritik bir konudur, çünkü bir grubun her üyesinin tüm ölçütler için yargıda bulunacağı düşünülürse, bu yargıların bir uzlaşma sağlayacak şekilde birleştirilmesi gerekecektir. Bu duruma ilişkin önerilen bazı yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001):

- Grup üyelerinin tartışma yoluyla konu üzerinde uzlaşma sağlamaları.
- Üyelerin yargılarından bir uzlaşma çıkarma görevini üstlenecek bir aracıya (facilitator) başvurulması.
- Her ikili yargının matematiksel bir ifadeyle, örneğin geometrik ortalama ile, toplanması.

Bu yöntemlerden en sık kullanılanı geometrik ortalama yoluyla uzlaşma sağlamak şeklindedir.

İkili karşılaştırma evresinden sonraki bu evreye sentez evresi denir. İkili karşılaştırma matrisleri geliştirildikten sonraki bu evrede, karşılaştırılan her elemanın önceliğinin (göreli öneminin) hesaplanması söz konusudur. AHY'nin "sentezleme" olarak da anılan bu bölümünde öncelik vektörlerinin kurulmasında lineer cebir

tekniklerinden faydalanılmaktadır. Sentez aşaması, en büyük özdeğer ve bu özdeğere karşılık gelen özvektörün hesaplanmasını ve normalize edilmesini içermektedir. Bu amaçla kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Ancak literatürde en yaygın olarak kullanılan normalizasyon yönteminde her sütunun elemanları o sütunun toplamına bölünür. Elde edilen değerlerin satır toplamı alınıp, bu toplam satırdaki eleman sayısına bölünür. Bu şekilde her ölçüt için öncelik vektörleri bulunur.

AHY'nin son evresi karar probleminin çözümlenmesi evresidir. Bu aşamada problemin ana hedefinin gerçekleştirilmesinde karar alternatiflerinin sıralaması olarak hizmet edecek bir karma (composite) öncelikler vektörü oluşturulur. Bu vektörü oluşturmak için her değişken için belirlenen öncelik vektörlerinin ağırlıklı ortalaması alınır (Zahedi, 1986). Elde edilen nihai öncelikler karar alternatif puanları olarak da adlandırılabilir ve karar vericinin alternatif tercihlerine ilişkin yargısal algılamalarının yoğunluğunu temsil eder (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

### 6.5. AHY'nin Evreleri

Önceki bölümlerde, hiyerarşi kavramı ile AHY'nin temel özellikleri üzerinde ayrıntılı olarak durulmuştu. Bu bölümde AHY'nin başlangıç aşamasından nihai kararın verilmesi aşamasına kadar olan evreler özetlenmektedir.

#### 6.5.1. Problemin belirlenmesi

Bu evre, karar vermeye ilişkin tüm yöntemlerin ortak evresidir. Dolayısıyla tüm yöntem ve yaklaşımlar için çözümün ilk aşaması olarak değerlendirilmelidir. Problemin ortaya konulmasında göz önünde bulundurulacak en önemli konu, problemin çözümüne altlık oluşturacak nicel göstergelerin varolup olmadığıdır. Çünkü AHY ile çözüm üretebilmenin önkoşulu nicel öğelerin varlığıdır.

#### 6.5.2. Sistem Yaklaşımının Ortaya Konulması

AHY'de farklı amaç ve hedefler doğrultusunda, bir sorunun öğeleri belirli ölçütler çerçevesinde hiyerarşik bir dizilimde ayrıştırılarak gruplanırlar. Bu ölçütler ya da etmenler daha sonra alt gruplara ayrılırlar. En alt düzeyde ise değerlendirilecek olan seçenekler bulunur. Burada izlenen yaklaşım bir sistem yaklaşımıdır ve anılan

nitelikte bir hiyerarşik yapının kurulabilmesi açısından sistemin bütünü, alt sistemler ve ilgili bileşenlerle olan ilişkilerinin ortaya konulması gereklidir.

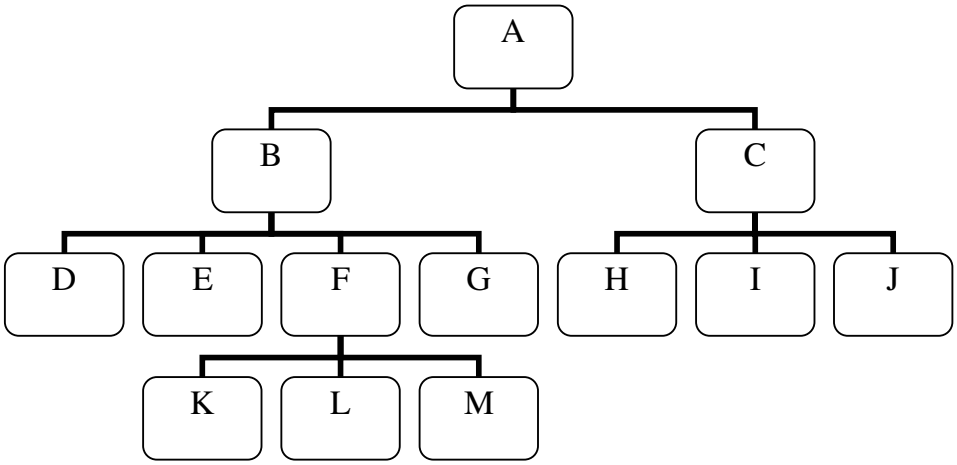
### 6.5.3. Hiyerarşik Yapının Kurulması

AHY'nin bu evresi, yöntemin temel bileşeni konumundadır ve diğer karar verme yöntemleri ile karşılaştırıldığında, bu yöntemlerdeki "model kurma" evresi ile özdeş konumdadır. Hiyerarşik yapının kurulması görece öznel bir karakter taşır. Bir başka ifadeyle, daha önce de vurgulandığı gibi, karar veren kişiye göre farklılık gösterir. Farklı hiyerarşik dizilimlerin birinin diğerinden üstün olduğunu söylemek olası değildir. Uygulamada mantıklı öznel yaklaşımların da sorun çözülmesi için karar verme sürecinde olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir (Çalışkan, 1998).

Hiyerarşik bir dizilimin oluşturulması sürecinde en önemli konu, yapıtaşı olarak nitelendirebileceğimiz katmanların oluşturulması ve bu katmanlar arasındaki ilişkilerin ve etkileşimin belirlenmesidir. Bu ilişkilerin oluşturulmasında başvurulan temel dayanak ise ilgili öğelerin modelin en üstünde yer alan ana hedefin belirlenmesi üzerindeki etkileridir. Ölçülen bu etkiler sayısal olarak ifade edilir.

### 6.5.4. Önceliklerin Belirlenmesi

Modelin oluşturulmasından sonraki evrede hiyerarşik dizilimde aynı ağırlığa sahip olan eşit düzeydeki ölçütler arasındaki göreli ağırlıkların belirlenmesi söz konusudur. Bu evrede, bir üst düzeydeki ölçüt ya da ölçütlerle bağlantılı olan alt düzeydeki ölçütlerin kendi aralarında ikili karşılaştırılmaları yapılır.




**Şekil 6.1:** Hiyerarşik Gösterim Örneği (Çalışkan, 1998)

Şekil 6.1'de ikili karşılaştırmalara bir örnek olarak D, E, F ve G ölçütlerine ait matrisin nasıl kurulduğu gösterilmektedir. B ölçütüne etki etmesi açısından D ölçütünün E'ye göre önemi 1'den 9'a kadar bir rakamla derecelendirilir. Örneğin Şekil 6.2'deki matriste D ve E eşit derecede önemli ise $X_{DE}=1$; D, E'den kesinlikle çok daha önemli ise $X_{DE}=9$ olacaktır. Bu durumda $X_{ii}=1$ ve $X_{ij}=1/X_{ji}$ olacağı çok açıktır (Çalışkan, 1998).

| B | D | E | F | G | |
|---|---|---|---|---|---|
| D | 1 | $X_{DE}$ | $X_{DF}$ | $X_{DG}$ | $X_D$ |
| E | $X_{ED}$ | 1 | $X_{EF}$ | $X_{EG}$ | $X_E$ |
| F | $X_{FD}$ | $X_{FE}$ | 1 | $X_{FG}$ | $X_F$ |
| G | $X_{GD}$ | $X_{GE}$ | $X_{GF}$ | 1 | $X_G$ |

**Şekil 6.2:** İkili Karşılaştırmalar Matrisi (Çalışkan, 1998)
$X_{ij}$= i faktörünün j'ye göre önemi
$X_i$= i faktörünün göreli ağırlığı

Daha önce de vurgulandığı gibi, öğelerin göreli ağırlıklarının belirlenmesinde yukarıda örneği verilen ikili karşılaştırmalar matrisinden yararlanılır. Böylece salt nicel öğelerin dikkate alınmasıyla yetinilmeyip nitel öğe ve özelliklerin de değerlendirme sürecine altlık oluşturması sağlanmış olmaktadır. Burada, ilgili katmanın tüm öğeleri ile bir üst düzeydeki tek bir öğe veri olarak alınır ve alt düzeydeki tüm öğelerin, hiyerarşik dizilime göre üst düzey öğesi üzerindeki göreli etkileri ikili karşılaştırma ile belirlenir. Bu belirlemede anılan türden bir ikili

karşılaştırma matrisi oluşturularak bu matrisin en büyük özdeğere sahip vektörü bulunur. Bu özvektör, öncelik sıralamalarının belirlenmesinde, özdeğer ise yargının tutarlılığının ölçülmesinde birer araç olarak kullanılırlar.

### 6.5.5. Sentezleme

Bu evrede, daha önce de vurgulandığı gibi karşılaştırılan her elemanın önceliğinin ya da bir başka ifadeyle göreli öneminin belirlenmesi söz konusudur. Hiyerarşik dizilimin en alt düzeyinde, değerlendirmeye konu olan farklı seçenekler bulunmaktadır. Sentezleme ile bu farklı seçenekler bir uzlaşma zemininde buluşturulur. Burada da önceliklerin belirlenmesi işlemine benzer olarak seçeneklerin her alt öğe bazında ikili karşılaştırmaları yapılır ve bütün ağırlıkların birleştirilmesi yoluyla da genel ağırlıklar bulunur.

### 6.5.6. Değerlendirme ve Sonuç

Sentezleme işlemi sonucunda Problemin Tutarsızlık İndeksi (Overall Inconsistancy Index) olarak adlandırılan bir yüzde hesaplanmaktadır Bu indeksin %10'dan küçük olması beklenir. Bu kabulün gerçekleşmemesi durumunda varılan yargılar ya da verilen kararlara ilişkin tutarsızlıkların en aza indirilmesi çabası içine girilmesi gerekir. Kurulan hiyerarşik dizilimde yapısal bir değişiklik ya da bir başka ifadeyle model değişikliği yapılmazdan önce, ikili karşılaştırmalar kontrol edilir. Böylece önceliklerin gözden geçirilmesi ve yapılacak bazı düzeltmeler aracılığıyla, model değişikliğine gidilmeksizin problemin tutarsızlık indeksi düşürülebilecektir.

AHY'de daha önce de vurgulandığı gibi karar verme süreçlerinin en önemli unsurlarından biri olan tutarlılık konusunda bir esneklik söz konusudur. Bu esneklik ise tanımı verilen, problemin tutarsızlık indeksi aracılığıyla kontrol altında tutulur. Eğer, bu indeks değeri kabul edilebilir sınırlar içerisindeyse, getirilecek en akılcı ve mantıklı çözüm en büyük göreli ağırlığa sahip seçeneğin uygulanması olacaktır.

# 7. ÇOK ÖLÇÜTLÜ DEĞERLENDİRME SÜRECİ

## 7.1. Ölçütlerin Belirlenmesi

Önceki bölümlerde, toplu taşıma seçenekleri arasında yapılacak tercihin dayanacağı ölçütlerin, işletmeci, yolcu, uzman gibi ayrı düzlemler yerine aynı düzlemde ele alınmasının daha isabetli olacağı vurgulanmıştı. Bu bağlamda, tercihte etkin olacak ölçütlerin belirlenmesi için, daha önceki çalışmalarda ele alınan ölçüt kümeleri gözden geçirildi. Değişik çalışmalarda kullanıldığı gözlenen ölçütler arasından, bu çalışma kapsamında uygun olacağı düşünülenler belirlendi. Bu ölçütler Tablo 7.1'de verilmiştir.

Kuşkusuz, Tablo 7.1'de sayılan ölçütler dışında başka ölçütlerin de, her yatırım kararının kendine özgü özellikleri dolayısıyla etkili olması mümkündür.

Mali ve ekonomik fizibilite etüdleri, bir sistemin projelendirme aşamasında iken anlamlılığını saptama açısından büyük önem taşımaktadır. Sistem seçiminde fizibilite etüdlerinin sonuçlarının mutlaka dikkate alınması gerekir.

Bir projenin önemli ayaklarından bir diğeri de projenin finansmanının yaratılması sorunudur. Ekonomik anlamda dışa bağımlığın bu aşamada dikkatle hesaplanması ve göz önüne alınması gerekmektedir.

Söz konusu etmenler, her somut proje için kapsamlı çalışmaları gerektiren olgulardır. Bu çalışmada, bu tür bir somut durum değerlendirmesi yapılmadığından sözü edilen ölçütler değerlendirme dışı bırakılmıştır.

**Tablo 7.1:** Toplu taşıma türü seçiminde dikkate alınması gereken ölçütler

| |
|---|
| 1) Yolculuk süresi |
| 2) Yolculuk maliyeti |
| 3) Durakta bekleme süresi |
| 4) Araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı |
| 5) Yolcu taşıma kapasitesi |
| 6) Araç konforu |
| 7) Toplam yapım maliyeti |
| 8) İşletme ve bakım maliyeti |
| 9) Hava kirliliğine etkisi |
| 10) Gürültü kirliliğine etkisi |
| 11) Görüntü kirliliğine etkisi |
| 12) Ulaşım ana planına uygunluk |
| 13) Kentin tarihi dokusuna uygunluk |
| 14) Kentsel yapıya uygunluk |
| 15) Yapım ve işletmeye açılma süresi |
| 16) Kazaya karışma olasılığı |
| 17) Talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği |
| 18) Proje ömrü ve proje ömrü sonundaki değeri |

Toplu taşıma sistemlerinin işletme aşamasında sahip olması gereken en önemli özelliklerden biri "tarifeye uygunluk" olmalıdır. Dakiklik olarak da adlandırılabilecek olan bu özellik de işletme ile ilgili bir sorun, bir diğer deyişle bir performans karakteristiği olarak görüldüğünden toplu taşıma türü seçiminde kullanılan bir ölçüt olarak değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Otobüs sistemleri, diğer motorlu taşıtların oluşturduğu trafikle daha fazla etkileşim içerisindedir. Otobüs yolu ise, kendine ait bir kulvara sahip olduğundan bu etkileşim minimize olmaktadır. Buna karşın raylı sistemlerin, otobüs yoluna göre dakiklik açısından daha olumlu performans gösterdikleri bilinmektedir. Ancak belirtildiği gibi, dakiklik

sorunu bir performans karakteristiğidir. Olağan trafik koşullarında otobüs sistemlerinin dahi dakiklik açısından yaşadıkları sorunların minimum düzeyde kalması beklenmelidir.

Toplu taşıma yatırımlarına karar verilme aşamasında, zaman zaman, işletici açısından önemli görülen "kârlılık" kavramının da değerlendirmeye alındığı görülmektedir. Ancak yine toplu taşımanın bir kamu hizmeti olduğu, temel ilkenin kamuya hizmet vermek olduğu düşünüldüğünde kârlılık kavramının yanlış bir ölçüt olacağı ortaya çıkmaktadır. Bir kentin toplu taşıma sistemi bir bütündür, ya da bütünsel bir yapıya sahip olmalıdır. Bütünsel bir yapı içerisindeki kesimlerin işletme aşamasında gerek teknik gerek diğer açılardan birbirinden bağımsız işlemesi, toplumsal gereksinimleri gerçek anlamda karşılayan bir toplu taşıma hizmetinin verilmesini engeller. Türkiye'nin hemen hemen bütün yerleşim birimlerinde görülen minibüs işletmeciliğinin varlığı bunun en çarpıcı örneklerinden birini oluşturmaktadır.

Aslolan, işletmenin etkinliği olmalıdır. Kârlılık ise kamu hizmetinin temel ilkesine aykırı olduğundan bir değerlendirme ölçütü olarak dikkate alınmamalıdır. Bugün dünyanın en gelişmiş sistemlerinin bazılarında dahi toplu taşımanın devlet tarafından sübvanse edildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Kârlılık kavramının öncelik kazanması durumunda, toplu taşıma sistemi, bütünselliğinden ve kamu hizmeti olma özelliğinden uzaklaşacaktır.

Öte yandan, "yolcu taşıma kapasitesi" ölçütü, bu çalışmanın 3. bölümünde belirtildiği gibi, kapasite kavramına ilişkin genel kanı dolayısıyla bir ölçüt olmaktan daha farklı bir anlama sahip olmaktadır. Yolcu talebine göre değişen bir arzı temsil ettiğinden yolcu kapasitesi kavramı daha çok, taşınan yolcu sayısını ifade etmektedir. Bu nedenle, kapasite gibi bir kavramın ölçüt olmak yerine bir gereksinime karşılık gelen bir ölçü olarak değerlendirilmesi daha doğru olacaktır.

Yolcu taşıma kapasitesi kavramı, bu çalışma çerçevesinde önce bir ölçüt olarak anketin birinci bölümüne dahil edilmiştir. Ancak yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı, daha sonra değerlendirmeden çıkarılmıştır.

## 7.2. Toplu Taşıma Seçimi Değerlendirme Ölçütlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında bir kentiçi koridorunda yapımı öngörülen toplu taşıma sisteminin seçimi için iki örnek ele alınmıştır. Ele alınan örneklerden ilkinde Beşiktaş-Levent koridorunda "tramvay" ve "otobüs yolu" seçenekleri arasında değerlendirme yapılmıştır. İkinci örnekte ise Taksim-Aksaray koridorunda, yine "tramvay" ve otobüs yolu" seçenekleri arasında değerlendirme yapılmıştır.

Beşiktaş-Levent koridoru, İstanbul'daki toplu taşıma ağında önemli bir koridordur. Buna karşın, kentin bu bölgesinde yer alan raylı taşıma uygulamalarından uzak kalmış bir koridordur. Taksim'den başlayarak Levent üzerinden kuzeye yönlenen metronun Beşiktaş'a yönelik bir bağlantısının yapılması düşünülmemektedir. Öte yandan kentin güney kesiminde yer alan Zeytinburnu-Kabataş tramvayı Beşiktaş'a kadar uzanmamaktadır.

Önemli bir koridor olmakla birlikte Beşiktaş-Levent koridorunda toplu taşıma olanakları yalnızca otobüslerle sınırlı kalmıştır. Yıllardır bu aralıkta işleyen minibüslerin çağdaş ve verimli bir taşıma sistemi oluşturmadığı açıktır.

Bu koridorda bir otobüs yolu uygulaması ya da tramvayın bu koridora doğru ilerletilmesi gibi iki hayali seçenek göz önüne alınmıştır.

Beşiktaş ile Levent arasında Barbaros, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ertuğrul Sitesi, Darphane, Kışlaönü, Köprülü Kavşak ve Zincirlikuyu durakları bulunmaktadır. Simülasyon modelinde kullanılan yolcu verileri, 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Ulaştırma Uygulama Araştırma Merkezi tarafından yapılan "İETT Hatlarının Etüdü ve Rehabilitasyon Projesi" isimli çalışmadan derlenmiştir (Y.T.Ü., 2002).

Taksim-Aksaray koridoru da belirli açılardan Beşiktaş-Levent koridoruna benzeyen yönler barındırmaktadır. Taksim ile Aksaray arası da İstanbul'daki toplu taşıma ağında önemli bir koridor teşkil etmektedir. Gerek Taksim gerekse Aksaray, İstanbul kentinde çok önemli birer merkez ve çekim noktasıdır. Taksim, 4. Levent'e kadar uzanan metro hattının başlangıç noktasıdır. Aksaray ise hem Yeşilköy Atatürk Havalimanı'na kadar uzanan metro hattının başlangıç noktası hem de Fındıklı ile

Bakırköy arasında uzanan tramvay hattının üzerinde bulunan bir durak noktasıdır. Öte yandan, Taksim ile Aksaray arasında doğrudan bir raylı taşıma sistemi bulunmamaktadır. Bunun eksikliği iki nokta arasında doğrudan çalışan bir otobüs hattının işletilmesi ile giderilmeye çalışılmakta, ancak bu uygulama da yeterli olmamaktadır.

Bu koridorda da bir otobüs yolu uygulaması ya da bir tramvay hattı inşaatı gibi iki hayali seçenek göz önüne alınmıştır.

Taksim ile Aksaray arasında Tarlabaşı, Ömer Hayyam, Tepebaşı, Şişhane, Unkapanı, Müze ve Büyükşehir Belediyesi durakları bulunmaktadır. Simülasyon modelinde kullanılan yolcu verileri, bu aralık için de, 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Ulaştırma Uygulama Araştırma Merkezi tarafından yapılan "İETT Hatlarının Etüdü ve Rehabilitasyon Projesi" isimli çalışmadan derlenmiştir (Y.T.Ü., 2002).

Otobüs yolu sistemlerinin Türkiye'deki uygulamaları oldukça sınırlıdır. İlk örnek, İstanbul'da 1970'li yılların sonlarında Zincirlikuyu ile Taksim arasında işletmeye açılan yoldur. O dönemki yerel yönetimin bu yolu "tercihli otobüs yolu" olarak adlandırması nedeniyle otobüs yolu uygulaması Türkiye'de bu isimle anılmaya başlamıştır. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında yapılan ankette, ilgili seçenek, tercihli otobüs yolu olarak adlandırılmıştır.

Otobüs yolu uygulamasının Türkiye'deki ikinci önemli örneği Ankara'da Beşevler ile Dikimevi arasında 1980'li yıllarda işletmeye açılmıştır.

Her iki uygulamaya da zaman içerisinde son verilmiştir. Günümüzde Türkiye'de "otobüs yolu" olarak adlandırılabilecek bir uygulama bulunmamaktadır. Dünyadaki kullanımı son derece yaygın olan ve oldukça verimli örnekleri bulunan otobüs yolu uygulamasının yeniden gündeme gelmesinde büyük yarar bulunmaktadır. Bu çalışmada otobüs yolu seçeneği bu gerekçe ile değerlendirmeye alınmıştır.

Örnek olarak alınan her iki koridorun uç noktaları, yani Beşiktaş, Levent, Taksim ve Aksaray, her ne kadar bazı otobüs ve raylı taşıma hatlarının başlangıç/son noktalarında bulunsa da kentin gelişim çizgisi ve toplu taşıma ağının yapısal özellikleri sonucunda klasik anlamda terminal noktaları olma özelliklerini yitirmişlerdir. Bu noktalar pek çok otobüs hattı ve (Taksim dahil) bazı raylı taşıma hatlarının ara duraklarını teşkil etmektedir. Bu durumda, örnek olarak alınan Taksim-

Aksaray ve Beşiktaş-Levent aralıkları gerçek anlamda birer koridor işlevi kazanmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi toplu taşıma türü seçeneğine karar verilmesinde analitik hiyerarşi yönteminden yararlanılmıştır. Analitik hiyerarşi yönteminde öncelikle her seçeneğin ve her ölçütün bir ağırlık katsayısı (w) hesaplanmalıdır.

### 7.2.1. Anket Uygulaması

Analitik hiyerarşi yönteminde etkili olan ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntem uzmanların görüşüne başvurulmasıdır. Bu çalışmada da aynı yöntem benimsenmiştir.

Uzmanların görüşlerinin alınması amacıyla bir anket düzenlenmiştir. Bu anket, İstanbul Teknik Üniversitesi, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi ve Denizli Pamukkale Üniversitesi bünyesinde ulaştırma konusunda uzman 35 kişiye uygulanmıştır. Anket formu Ek A'da görülmektedir.

Anketin birinci bölümünde Tablo 7.1'de verilen ve toplu taşıma türü seçiminde etkili olan ölçütlerin birbirlerine göre ağırlıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ankete katılan her uzmandan bu ölçütlerin her biri için, o ölçütün önem derecesini belirtecek şekilde 1 ile 5 arasında bir sayı ataması istenmiştir. Bu sayede, toplu taşıma sistemine karar verilme sürecinde her bir ölçütün hangi önem düzeyine sahip olacağı, bir diğer deyişle hangi önem derecesinde sürece katılacağı belirlenmiştir. Belirleme sürecinin ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

Anketin ikinci bölümünde ise, göz önüne alınan ölçütler bir sınıflandırmaya gidilerek sadeleştirilmiştir. Ölçütlerin bir bölümü sayısal olarak ölçülebilen ve ifade edilebilen ölçütlerdir. Bu tür ölçütlerin tramvay ve otobüs yolu seçeneklerine ilişkin ağırlıklarının belirlenmesinde bu sayısal ifadelerden yararlanılmıştır.

Sayısal olarak ifade edilmesinde güçlük çekilen diğer ölçütler için ise yine uzmanların görüşüne başvurulmuştur. Her uzmandan bu ölçütlerin her biri için tramvay ve otobüs yolu seçeneklerine yönelik ayrı ayrı bir önem düzeyi belirlemesi istenmiştir.

Her ölçüt için ağırlıkların belirlenmesi ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

### 7.2.2. Ölçütlerin Kendi Aralarındaki Önem Hiyerarşisinin Belirlenmesi

Toplu taşıma sistemi seçiminde etkili olan ölçütlerin birbirlerine göre önem derecelerini belirlemek amacıyla, yukarıda da açıklandığı gibi, uzman görüşlerine başvuruldu. Anketler aracılığıyla alınan uzman görüşlerinin değerlendirilmesi sonucunda her ölçüt için 1'den 5'e kadar verilen puanların ortalaması Tablo 7.2'de görüldüğü şekilde elde edildi. 1 ile 5 arasındaki skalada en düşük puan olan 1 en düşük önem düzeyini, en yüksek puan olan 5 ise en yüksek önem düzeyini temsil etmektedir.

**Tablo 7.2:** Toplu taşıma sistem seçiminde etkili olan ölçütlerin önem dereceleri

| ÖLÇÜTLER | ÖNEM DERECESİ |
|---|---|
| 1) Yolculuk süresi (YS) | 4,5313 |
| 2) Yolculuk maliyeti (YM) | 4,1250 |
| 3) Durakta bekleme süresi (DBS) | 3,8750 |
| 4) Araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı (AUK) | 3,9063 |
| 5) Araç konforu (AK) | 3,6563 |
| 6) Toplam yapım maliyeti (TYM) | 4,0313 |
| 7) İşletme ve bakım maliyeti (İBM) | 4,2813 |
| 8) Hava kirliliğine etkisi (HKE) | 4,0000 |
| 9) Gürültü kirliliğine etkisi (GKE) | 3,7188 |
| 10) Görüntü kirliliğine etkisi (GK) | 3,5000 |
| 11) Ulaşım ana planına uygunluk (UAU) | 4,3438 |
| 12) Kentin tarihi dokusuna uygunluk (KTU) | 4,0000 |
| 13) Kentsel yapıya uygunluk (KYU) | 3,7813 |
| 14) Yapım ve işletmeye açılma süresi (YİS) | 3,7097 |
| 15) Kazaya karışma olasılığı (KKO) | 4,2500 |
| 16) Talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği (TDU) | 4,0938 |
| 17) Proje ömrü ve proje ömrü sonundaki değeri (PÖD) | 3,3438 |

Anketlerden elde edilen sonuçlar, uzmanların en fazla önem atfettikleri ölçütün "yolculuk süresi" olduğunu göstermektedir. Bu ölçütün önem düzeyi 4,5313 olarak elde edilmiştir. En az önem atfedilen ölçüt ise "proje ömrü ve sistemin proje ömrü sonundaki değeri" olmuştur. Uzmanların verdikleri puanların ortalaması bu ölçüt için 3,3438 olmuştur. Diğer ölçütlerin aldıkları değerler 4,5313 üst sınırı ile 3,3438 alt sınırı arasında dağılmaktadır.

Anketlerden elde edilen önem derecelerinin analitik hiyerarşi yönteminde girdi olarak kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, önem derecelerinin en büyüğünü 1'e indirgemek ve diğerlerini de aynı oranda küçültmek ilk adımı oluşturmaktadır. Bu durumda önem dereceleri Tablo 7.3'de görülen şekli almaktadır.

**Tablo 7.3:** Ölçütlerin, 1'e oranlanmış önem dereceleri

| ÖLÇÜTLER | ÖNEM DERECESİ |
|---|---|
| 1) Yolculuk süresi (YS) | 1,0000 |
| 2) Yolculuk maliyeti (YM) | 0,9103 |
| 3) Durakta bekleme süresi (DBS) | 0,8552 |
| 4) Araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı (AUK) | 0,8621 |
| 5) Araç konforu (AK) | 0,8069 |
| 6) Toplam yapım maliyeti (TYM) | 0,8897 |
| 7) İşletme ve bakım maliyeti (İBM) | 0,9448 |
| 8) Hava kirliliğine etkisi (HKE) | 0,8828 |
| 9) Gürültü kirliliğine etkisi (GKE) | 0,8207 |
| 10) Görüntü kirliliğine etkisi (GK) | 0,7724 |
| 11) Ulaşım ana planına uygunluk (UAU) | 0,9586 |
| 12) Kentin tarihi dokusuna uygunluk (KTU) | 0,8828 |
| 13) Kentsel yapıya uygunluk (KYU) | 0,8345 |
| 14) Yapım ve işletmeye açılma süresi (YİS) | 0,8187 |
| 15) Kazaya karışma olasılığı (KKO) | 0,9379 |
| 16) Talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği (TDU) | 0,9034 |
| 17) Proje ömrü ve proje ömrü sonundaki değeri (PÖD) | 0,7379 |

Bir sonraki adımda her ölçütün birbiri ile karşılaştırılmasını sağlayan bir karşılaştırma matrisinin (A) oluşturulması gerekmektedir. A karşılaştırma matrisi Şekil 7.1'de görüldüğü gibi oluşmaktadır.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0,910345 | 0,855172 | 0,862069 | 0,806897 | 0,889655 | 0,944828 | 0,882759 | 0,82069 | 0,772414 | 0,958621 | 0,882759 | 0,834483 | 0,818687 | 0,937931 | 0,903448 | 0,737931 | 14,81869 |
| 2 | 1,098485 | 1 | 0,939394 | 0,94697 | 0,886364 | 0,977273 | 1,037879 | 0,969697 | 0,901515 | 0,848485 | 1,05303 | 0,969697 | 0,916667 | 0,899316 | 1,030303 | 0,992424 | 0,810606 | 16,2781 |
| 3 | 1,169355 | 1,064516 | 1 | 1,008065 | 0,943548 | 1,040323 | 1,104839 | 1,032258 | 0,959677 | 0,903226 | 1,120968 | 1,032258 | 0,975806 | 0,957336 | 1,096774 | 1,056452 | 0,862903 | 17,3283 |
| 4 | 1,16 | 1,056 | 0,992 | 1 | 0,936 | 1,032 | 1,096 | 1,024 | 0,952 | 0,896 | 1,112 | 1,024 | 0,968 | 0,949677 | 1,088 | 1,048 | 0,856 | 17,18968 |
| 6 | 1,239316 | 1,128205 | 1,059829 | 1,068376 | 1 | 1,102564 | 1,17094 | 1,094017 | 1,017094 | 0,957265 | 1,188034 | 1,094017 | 1,034188 | 1,014613 | 1,162393 | 1,119658 | 0,91453 | 18,36504 |
| 7 | 1,124031 | 1,023256 | 0,96124 | 0,968992 | 0,906977 | 1 | 1,062016 | 0,992248 | 0,922481 | 0,868217 | 1,077519 | 0,992248 | 0,937984 | 0,92023 | 1,054264 | 1,015504 | 0,829457 | 16,65666 |
| 8 | 1,058394 | 0,963504 | 0,905109 | 0,912409 | 0,854015 | 0,941606 | 1 | 0,934307 | 0,868613 | 0,817518 | 1,014599 | 0,934307 | 0,883212 | 0,866494 | 0,992701 | 0,956204 | 0,781022 | 15,68401 |
| 9 | 1,132813 | 1,03125 | 0,96875 | 0,976563 | 0,914063 | 1,007813 | 1,070313 | 1 | 0,929688 | 0,875 | 1,085938 | 1 | 0,945313 | 0,927419 | 1,0625 | 1,023438 | 0,835938 | 16,78679 |
| 10 | 1,218487 | 1,109244 | 1,042017 | 1,05042 | 0,983193 | 1,084034 | 1,151261 | 1,07563 | 1 | 0,941176 | 1,168067 | 1,07563 | 1,016807 | 0,99756 | 1,142857 | 1,10084 | 0,89916 | 18,05638 |
| 11 | 1,294643 | 1,178571 | 1,107143 | 1,116071 | 1,044643 | 1,151786 | 1,223214 | 1,142857 | 1,0625 | 1 | 1,241071 | 1,142857 | 1,080357 | 1,059908 | 1,214286 | 1,169643 | 0,955357 | 19,18491 |
| 12 | 1,043165 | 0,94964 | 0,892086 | 0,899281 | 0,841727 | 0,928058 | 0,985612 | 0,920863 | 0,856115 | 0,805755 | 1 | 0,920863 | 0,870504 | 0,854026 | 0,978417 | 0,942446 | 0,769784 | 15,45834 |
| 13 | 1,132813 | 1,03125 | 0,96875 | 0,976563 | 0,914063 | 1,007813 | 1,070313 | 1 | 0,929688 | 0,875 | 1,085938 | 1 | 0,945313 | 0,927419 | 1,0625 | 1,023438 | 0,835938 | 16,78679 |
| 14 | 1,198347 | 1,090909 | 1,024793 | 1,033058 | 0,966942 | 1,066116 | 1,132231 | 1,057851 | 0,983471 | 0,92562 | 1,14876 | 1,057851 | 1 | 0,981072 | 1,123967 | 1,082645 | 0,884298 | 17,75793 |
| 15 | 1,221467 | 1,111957 | 1,044565 | 1,052989 | 0,985598 | 1,086685 | 1,154076 | 1,078261 | 1,002446 | 0,943478 | 1,170924 | 1,078261 | 1,019293 | 1 | 1,145652 | 1,103533 | 0,901359 | 18,10054 |
| 16 | 1,066176 | 0,970588 | 0,911765 | 0,919118 | 0,860294 | 0,948529 | 1,007353 | 0,941176 | 0,875 | 0,823529 | 1,022059 | 0,941176 | 0,889706 | 0,872865 | 1 | 0,963235 | 0,786765 | 15,79934 |
| 17 | 1,10687 | 1,007634 | 0,946565 | 0,954198 | 0,89313 | 0,984733 | 1,045802 | 0,977099 | 0,908397 | 0,854962 | 1,061069 | 0,977099 | 0,923664 | 0,906181 | 1,038168 | 1 | 0,816794 | 16,40236 |
| 18 | 1,35514 | 1,233645 | 1,158879 | 1,168224 | 1,093458 | 1,205607 | 1,280374 | 1,196262 | 1,11215 | 1,046729 | 1,299065 | 1,196262 | 1,130841 | 1,109436 | 1,271028 | 1,224299 | 1 | 20,0814 |
| Toplam | 19,6195 | 17,86051 | 16,77806 | 16,91336 | 15,83091 | 17,45459 | 18,53705 | 17,31929 | 16,10152 | 15,15437 | 18,80766 | 17,31929 | 16,37214 | 16,06224 | 18,40174 | 17,72521 | 14,47784 | |

**Şekil 7.1:** Ölçütler için A karşılaştırma matrisi

A karşılaştırma matrisinin oluşturulmasının ardından, bu matrisin normalize edilmesi gerekmektedir. Normalize edilen matris (N) Şekil 7.2'de verilmiştir.

| | YS | YM | DBS | AUK | AK | TYM | İBM | HKE | GKE | GK | UAU | KTU | KYU | YİS | KKO | TDU | PÖD |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| YS | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| YM | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| DBS | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| AUK | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| AK | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| TYM | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| İBM | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| HKE | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| GKE | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| GK | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| UAU | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| KTU | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| KYU | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| YİS | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| KKO | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| TDU | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| PÖD | 0,067482 | 0,061432 | 0,057709 | 0,058174 | 0,054451 | 0,060036 | 0,063759 | 0,059571 | 0,055382 | 0,052124 | 0,06469 | 0,059571 | 0,056313 | 0,055247 | 0,063294 | 0,060967 | 0,049797 |
| TOPLAM | 1,1472 | 1,044348 | 0,981054 | 0,988966 | 0,925672 | 1,020613 | 1,083906 | 1,012701 | 0,941495 | 0,886113 | 1,09973 | 1,012701 | 0,957319 | 0,939198 | 1,075995 | 1,036436 | 0,846555 |

**Şekil 7.2:** Normalize edilmiş matris (N)

N matrisindeki sütunların her biri bir ölçüte aittir. Bu sütunların ortalamalarının alınması ile her ölçütün analitik hiyerarşi yöntemindeki ağırlıkları (w) elde edilecektir. Bu işlemin ardından her ölçütün ağırlığı Tablo 7.4'de görüldüğü gibi elde edilmektedir.

**Tablo 7.4:** Ölçütlerin Ağırlıkları

| ÖLÇÜTLER | AĞIRLIKLAR (w) |
|---|---|
| 1) Yolculuk süresi (YS) | $w_{YS}$ = 0,06748 |
| 2) Yolculuk maliyeti (YM) | $w_{YM}$ = 0,06143 |
| 3) Durakta bekleme süresi (DBS) | $w_{DBS}$ = 0,05771 |
| 4) Araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı (AUK) | $w_{AUK}$ = 0,05817 |
| 5) Araç konforu (AK) | $w_{AK}$ = 0,05445 |
| 6) Toplam yapım maliyeti (TYM) | $w_{TYM}$ = 0,06004 |
| 7) İşletme ve bakım maliyeti (İBM) | $w_{İBM}$ = 0,06376 |
| 8) Hava kirliliğine etkisi (HKE) | $w_{HKE}$ = 0,05957 |
| 9) Gürültü kirliliğine etkisi (GKE) | $w_{GKE}$ = 0,05538 |
| 10) Görüntü kirliliğine etkisi (GK) | $w_{GK}$ = 0,05212 |
| 11) Ulaşım ana planına uygunluk (UAU) | $w_{UAU}$ = 0,06469 |
| 12) Kentin tarihi dokusuna uygunluk (KTU) | $w_{KTU}$ = 0,06957 |
| 13) Kentsel yapıya uygunluk (KYU) | $w_{KYU}$ = 0,05631 |
| 14) Yapım ve işletmeye açılma süresi (YİS) | $w_{YİS}$ = 0,05525 |
| 15) Kazaya karışma olasılığı (KKO) | $w_{KKO}$ = 0,06329 |
| 16) Talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği (TDU) | $w_{TDU}$ = 0,06097 |
| 17) Proje ömrü ve proje ömrü sonundaki değeri (PÖD) | $w_{PÖD}$ = 0,04980 |

Bundan sonraki aşamada, toplu taşıma seçenekleri için her bir ölçütün ağırlığını hesaplamak gerekmektedir. Bu amaçla sayısal değerler için çeşitli kaynaklardan, sayısal olarak ifade edilmesi güç ölçütler için, yapılan anketin ikinci bölümünden yararlanılmıştır.

## 7.3. İki Seçenek İçin Ölçüt Ağırlıklarının Belirlenmesi

### 7.3.1. Yolculuk Süresi

Yolculuk süresi ölçütünün ağırlığının belirlenmesinde, daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi bir simülasyon modelinden yararlanılmıştır. Bölüm 5'de açıklanan modelin bu çalışmada hem Beşiktaş-Levent hem de Aksaray-Taksim koridorlarında uygulanması sonucunda otobüs yolu ve tramvay seçenekleri için yolculuk süresi ölçütünün ağırlıkları aşağıdaki gibi bulunmuştur. Ağırlıklar belirlenirken, yolcu talebinin en yüksek olduğu akşam zirvesi göz önüne alınmıştır.

Her iki koridorda da her iki yön için ayrı ayrı ağırlıklar bulunmuş, daha sonra bunların ortalamaları alınmıştır. Beşiktaş-Levent koridorunda tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için elde edilen yolculuk süresi ölçütü ağırlıkları aşağıdaki gibidir.

Tramvay için: $w_{YSt} = 0,5037$
Otobüs Yolu için: $w_{YSo} = 0,4963$

Aksaray-Taksim koridorunda ise tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için elde edilen yolculuk süresi ölçütü ağırlıkları aşağıdaki gibidir.

Tramvay için: $w_{YSt} = 0,5197$
Otobüs Yolu için: $w_{YSo} = 0,4803$

Yolculuk süresi ölçütüne göre Aksaray-Taksim koridorunda tramvay, Beşiktaş-Levent koridorundakine göre daha avantajlı görünmektedir.

Her iki seçenek için de günümüzde bu koridorda varolan durakların kullanılacağı varsayılmıştır. Geliştirilen simülasyon modeli durakların yer ve sayılarının değişmesi durumuna da duyarlı olduğundan, değerlendirmeye alınan projede bu tür değişiklikler olması durumu için de kullanılabilecektir.

Gerek tramvay gerekse otobüs yolunun, diğer motorlu taşıt trafiğinden ayrı, kendilerine ait birer yola sahip olduğu varsayılmıştır.

Bu çalışma için Beşiktaş ile Levent arasındaki duraklar arası mesafeler ve Aksaray ile Taksim arasındaki duraklar arası mesafeler bilgisayar ortamındaki haritalardan ölçülmüştür. Taşıt hızları ile yolcuların ortalama biniş ve iniş süreleri ise arazide

yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Bu ölçümlere göre otobüs için yolcu biniş süresi ortalama 1,4 saniye, iniş süresi 1,2 saniye alınmıştır. Aynı değerler tramvay için 0,9 saniye ve 0,8 saniye olarak kabul edilmiştir. Bu değerlerden de görülebileceği gibi iki sistemin süreleri arasında belirli bir fark bulunmaktadır. Bu fark, taşıtların fiziksel özellikleri ile ödeme biçimlerinden kaynaklanmaktadır. Otobüslerin basamakları yüksektir ve bu taşıtlarda ödeme taşıta binilirken yapılmaktadır. Öte yandan raylı sistemlerde yaygın olan uygulama durakların korumalı olması ve ödemenin taşıta değil, durağa girerken yapılmasıdır. Hem bu nedenle hem de raylı taşıtlara binişin eşdüzey platformlardan yapılması yine yaygın olduğundan bu çalışmadaki örnekte kabuller bu doğrultuda yapılmıştır.

Yine taşıtların ortalama hızları, değişik kaynaklardan da yararlanılarak belirlenmiş; otobüs yolu için 20 km/sa, tramvay için 16 km/sa kabulleri yapılmıştır.

### 7.3.2. Yolculuk Maliyeti

Bir toplu taşıma sistemini kullanan yolcunun, ulaşım türü tercihini yaparken dikkate alacağı en önemli ölçütler arasında yolculuğun maliyeti gelmektedir. Yolcu için yolculuk maliyeti, bilet ücreti olarak değer kazanmaktadır. Günümüzde İstanbul'da karayolu ve ile yapılan toplu taşıma türleri ile raylı taşıma sistemlerinin bilet ücretleri birbirleri ile eşitlenmiş ve bu bağlamda başarılı bir entegrasyon sağlanmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada da her iki seçenek için bilet ücretleri eşit alınmıştır. Dolayısıyla iki seçenek için analitik hiyerarşi yönteminde kullanılacak olan yolculuk maliyeti ağırlıkları ($w_{YM}$) aşağıdaki gibi eşit alınmıştır.

Tramvay için: $w_{YMt} = 0{,}5000$
Otobüs Yolu için: $w_{YMo} = 0{,}5000$

### 7.3.3. Durakta Bekleme Süresi

Bekleme süresi bir sistemdeki kullanıcıların hizmet görme sıklığı ve süreleri ile ilgilidir. Bir toplu taşıma sisteminde kullanıcı, yani yolcu için durakta bekleme süresi iki bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden birincisi, yolcunun durağa ulaşması ile taşıta binmesi arasında geçen süredir. Bekleme süresinin ikinci bileşeni yolcunun taşıta binmesi ile taşıtın hareket geçmesi arasında geçen süredir. Bu süre, eğer taşıt, durakta önündeki bir başka taşıtın hareket etmesini bekliyor ise söz konusu olacaktır.

Bu aşamada, durakta bekleme süresinin birinci bileşeni, yani yolcunun durağa gelmesi ile taşıta binmesi arasında geçen süre göz önüne alınmıştır.

Durakta bekleme süresi, yolcular açısından göreli bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Bazı durumlarda yolcular, durakta daha uzun beklemeyi göze alarak daha konforlu, daha hızlı vb. olması nedeniyle bir başka toplu taşıma seçeneğini tercih edebilmektedir. Dolayısıyla ilk bakışta ölçütler sıralamasında en başta geleceği beklenebilen durakta bekleme süresinin, önem sıralamasında başka bazı ölçütlerin arkasında kaldığı görülmektedir.

Bir tramvay sistemi, yapısı gereği bir diziden oluşmakta ve kapasitesi daha yüksek, ancak sıklığı daha düşük taşıt dizilerini içermektedir. Yaygın olan uygulama dolayısıyla bu çalışmada da otobüslerin sıklığının tramvaya göre daha fazla olacağı kabul edilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uyg-Ar Merkezi tarafından Kadıköy Belediyesi için hazırlanmış olan "Kadıköy-Bostancı Raylı Sistemi Teknik, Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü" çalışmasında tramvay ve otobüs için öngörülen sıklıklar bu çalışmada da kullanılmıştır (İ.T.Ü., 1995). Burada, tramvay dizisi aralıklarının doruk saatte 2,5 dakika olması öngörülmüştür. Aynı çalışmada otobüs aralıklarının ise, yine doruk saatte 0,55 dakika olması öngörülmüştür.

Buna göre tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için durakta bekleme süresi ölçütünün ağırlıkları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Tramvay için: $w_{DBSt} = 0,1803$
Otobüs Yolu için: $w_{DBSo} = 0,8197$

### 7.3.4. Araçlara (Duraklara) Ulaşabilme Kolaylığı

Araçlara ya da duraklara ulaşabilme kolaylığı yolcuların, yolculuklarının başlangıç noktalarından ya da bir ara noktasından, sisteme girebilmek için varmaları gereken durağa ve durak üzerinden taşıta ulaşmalarını ifade eder. Bu çalışma kapsamında ele alınan örnekte gerek tramvay gerekse otobüs yolu için aynı durakların kullanılacağı ve günümüzde Beşiktaş-Levent koridorunda varolan durakların aynı kalacağı varsayılmıştır. Dolayısıyla her iki seçenek için araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı ölçütünün ağırlığı ($w_{AUK}$) aşağıdaki gibi eşit alınmıştır.

Tramvay için: $w_{AUKt} = 0,5000$

Otobüs Yolu için: $w_{AUKo} = 0,5000$

Bu çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon modeli, durak düzeninin değişmesi durumunda ortaya çıkacak sistem performansını da değerlendirebilmektedir.

### 7.3.5. Araç Konforu

Araç konforu, sayısal olarak ifade edilmesi güç, koşullara ve kişilere göre çok büyük farklılıklar gösterebilecek, öznel bir kavramdır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında yapılan anketin ikinci bölümüne bu ölçüt de dahil edilmiştir. Bir diğer deyişle, bu konuda da uzmanların görüşlerine başvurulmuştur.

Raylı sistemlerin otobüs sistemlerine göre konfor açısından daha iyi olduğu genel bir kabul görmektedir. Taşıtlara biniş ve iniş olanakları özellikle konfor anlayışını etkileyen önemli bir faktördür (Catling, Guillossoui, Rovere, Stefanovic, 1995).

İstanbul'da yaygın olarak kullanılan otobüslerin bu açıdan olumsuz bir durumu vardır. Nitekim uzmanlar da tramvayı daha konforlu olarak nitelemişlerdir. Anket sonuçlarına göre tramvay ve otobüs yolu sistemi için konfor ölçütünün ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Tramvay: $w_{AKt} = 0,5170$

Otobüs Yolu: $w_{AKo} = 0,4831$

### 7.3.6. Toplam Yapım Maliyeti

Tramvay ve otobüs yolu sistemlerinin yapım maliyetleri karşılaştırıldığında otobüs sisteminin daha avantajlı olduğu görülmektedir. Tramvay sisteminin gerektirdiği ray vb. üstyapı elemanları, taşıtların özellikleri, elektrifikasyon gibi etmenler yapım maliyetini artırıcı bir etki yaratmaktadır. Dünya genelinde tramvay sistemlerinin sermaye maliyetleri hat-km başına taşıtlar dahil olmak üzere 5,0 ile 15,0 milyon ABD doları arasında değişmektedir. Otobüs yolu sistemleri için ise bu değer daha düşüktür ve hat-km başına taşıtlar dahil olmak üzere 2,0 ile 10,0 milyon ABD doları arasında değişmektedir (Gardner, 1995).

Bu çalışmada da bu global değerler kabul edilmiş ve tramvay ile otobüs yolunun yapım maliyeti açısından ağırlıkları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Tramvay: $w_{TYMt} = 0,3750$

Otobüs Yolu: $w_{TYMo} = 0,6250$

### 7.3.7. İşletme Ve Bakım Maliyeti

Toplu taşıma sistemlerinin işletme ve bakım maliyetleri bir dizi bileşenden oluşan maliyetlerdir.

Tramvay sistemi için işletme ve bakım maliyetinde, tüketilen enerji, taşıtların bakımı, yol bakımı ve işletmede istihdam edilen personelin giderleri bileşen olarak kabul edilmiştir. Diğer maliyet kalemleri daha az önemli ve hangi sistem uygulanırsa uygulansın yaklaşık olarak birbirine benzer maliyet kalemleri olacağından değerlendirmeye dahil edilmemiştir.

Otobüs yolu için işletme ve bakım maliyetinin bileşenleri yakıt, taşıt bakımı, yol bakımı ve personel giderinden oluşmaktadır. Buradaki diğer maliyet kalemleri için de tramvay seçeneğinde belirtilen yaklaşım benimsenmiştir.

İstanbul Teknik Üniversitesi Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uyg-Ar Merkezi tarafından Kadıköy Belediyesi için hazırlanmış olan "Kadıköy-Bostancı Raylı Sistemi Teknik, Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü" çalışmasında tramvay ve otobüs için işletme ve bakım maliyet öngörüleri yapılmıştır (İ.T.Ü., 1995). Tramvay için söz konusu maliyetin 2005 yılı için 3.050.580 ABD doları olacağı tahmin edilmiştir. Otobüs için maliyetler ise 2010 yılından sonrasında sabitlenerek 2.977.521 ABD doları olarak tahmin edilmiştir. Bu değerler, otobüs lehine az da olsa bir üstünlük göstermektedir. Tramvayın işletme ve bakım maliyetlerinin otobüse göre biraz daha yüksek olacağı öngörülmüştür.

Bu iki değeri, İstanbul koşullarında karşılaştırma amacıyla veri kabul etmek anlamlı görünmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada tramvay ve otobüs yolunun işletme ve bakım maliyetlerini karşılaştırabilmek amacıyla söz konusu değerler dikkate alınmıştır. Buna göre tramvay ve otobüs yolu için işletme ve bakım maliyetlerinin ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Tramvay: $w_{İBMt} = 0,4939$

Otobüs Yolu: $w_{İBMo} = 0,5061$

### 7.3.8. Hava Kirliliğine Etki

Hava kirliliğine etki ölçütü, bu çalışmada, başta, sayısal olarak ifade edilmesi güç ölçütler arasına dahil edildiğinden uygulanan anketin ikinci bölümüne dahil edilmişti. Ancak anket sonucu elde edilen sonuçlar ölçütün değerlendirmesinde bir sorun olduğunu göstermektedir. Sonuçlara göre, tramvay ve otobüs yolu seçeneklerinin hava kirliliği etkisi birbirine gerçekte olduğundan daha yakın çıkmaktadır.

Ulaştırma yatırımlarına karar verilmesi aşamasında hava kirliliği etkisini belirlemek için, sistemin neden olduğu çeşitli gaz emisyonları ve havaya karışan parçacıkların miktarının değerlendirilmesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Örneğin İtalya'nın Bologna kentinde uygulanması düşünülen toplu taşıma sistemine karar verme aşamasında yapılan bir fayda maliyet analizi çalışmasında hava kirliliği etkisi Tablo 7.5'deki gibi değerlendirilmiştir (Comune di Bologna, 1993).

**Tablo 7.5:** Emisyonlar

| **Zararlı maddeler (gr/km-taşıt)** | **Otomobil** | **Otobüs** | **Metro** | **Tramvay** |
|---|---|---|---|---|
| Karbon monoksit | 6,718 | 7,277 | 0,365 | 0,211 |
| Hidrokarbonlar | 2,646 | 5,544 | 0,081 | 0,047 |
| Azot oksitler | 0,616 | 21,830 | 1,218 | 0,703 |
| Kükürt oksitler | 0,097 | 0,630 | 1,502 | 0,868 |
| Tozlar | 0,076 | 0,347 | 0,447 | 0,258 |
| Karbon anhidridler | 337,608 | 993,195 | 1981,280 | 1144,360 |

Yukarıdaki tabloda metro ve tramvay için verilen değerler taşıtların yaydıkları emisyonlardan oluşmamaktadır. Her iki sistemin de kullanacağı elektrik miktarını üretmek için elektrik santralinin yayacağı emisyonlar taşıt başına hesaplanmış ve bu değerler tabloya dahil edilmiştir. İstanbul'da elektrik enerjisinin önemli bir bölümü hidroelektrik santrallerden karşılandığından, yukarıdaki gibi bir değerlendirmenin, İstanbul'daki herhangi bir raylı taşıma sistemi için yapılması zorlaşacak, hatta anlamsızlaşacaktır.

Dolayısıyla bu çalışmada tramvay seçeneğinin hava kirliliğine etkisi yok sayılmış, ve tramvayın hava kirliliği ölçütüne en yüksek puan olan 5, otobüsün hava kirliliği ölçütüne ise 1 verilmiştir.

Bunun sonucunda her iki sistem için hava kirliliğine etki ölçütüne ilişkin ortaya çıkan ağırlıklar aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Tramvay: $w_{HKEt} = 0.8333$

Otobüs Yolu: $w_{HKEo} = 0.1667$

### 7.3.9. Gürültü Kirliliğine Etki

Gürültü kirliliği etkisi ölçütü de, bu çalışmada, başta, sayısal olarak ifade edilmesi güç ölçütler arasına dahil edildiğinden uygulanan anketin ikinci bölümüne dahil edilmişti. Ancak anket sonucu elde edilen sonuçlar ölçütün değerlendirmesinde bir sorun olduğunu göstermektedir.

Anket sonucu yerine yapılan bazı çalışmalara ilişkin gözlenen sonuçlara başvurulması tercih edilmiştir. Frost (2004) tarafından Londra'da yapılan bir çalışmada tramvay için gürültü düzeyi, ortalama olarak yaklaşık 77 dB(A), otobüs için ise ortalama olarak yaklaşık 81 dB(A) bulunmuştur.

Bu değerlerin örnek olarak kabul edilmesi sonucunda her iki sistem için gürültü kirliliğine etki ölçütüne ilişkin ortaya çıkan ağırlıklar aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Tramvay: $w_{GKEt} = 0{,}5185$

Otobüs Yolu: $w_{GKEo} = 0{,}4815$

### 7.3.10. Görüntü Kirliliğine Etki

Görüntü kirliliğine etki, farklı kişiler için farklı türden değerlendirmeleri olabilecek, öznel bir etkendir. Her sistem için, hatta sistemlerin değişik bileşenleri için görüntü kirliliği kavramı üretilebilir. Örneğin bir raylı sistemin taşıtları ve yolu bu konuda pek önemli kabul edilmeyebilir; ancak elektrifikasyon sistemine ait direkler, kablolar gibi elemanlar görüntü kirliliği kapsamında değerlendirilebilir.

Bu öznel konuda da uzmanların görüşlerine başvurulmuştur. Bu ölçüte ilişkin anketle elde edilen sonuçlara göre tramvay ve otobüs yolu için görüntü kirliliğine etki ölçütü ağırlıkları aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

Tramvay: $w_{GKt} = 0,5022$

Otobüs Yolu: $w_{GKo} = 0,4978$

### 7.3.11. Ulaşım Ana Planına Uygunluk

Ulaşım ana planına uygunluk ölçütü, bu çalışma kapsamında ele alınan örnekle ilgili olmadığından, tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için eşit ağırlıkta kabul edilmiştir. Bu durumda her iki ağırlık aşağıdaki gibi olmaktadır.

Tramvay: $w_{AUKt} = 0,5000$

Otobüs Yolu: $w_{AUKo} = 0,5000$

### 7.3.12. Kentin Tarihi Dokusuna Uygunluk

Bir toplu taşıma sistemi için, kentin tarihi dokusuna uygunluk ölçütü, özellikle son yıllarda daha fazla dikkate alınır hale gelmiştir. İstanbul gibi tarihi açıdan son derece önemli bir kentte de bu ölçütün dikkate alınmasının ne denli önemli olduğu ortadadır. Raylı sistemler bu açıdan lastik tekerlekli sistemlere göre daha tercih edilir olmaktadır. Sayısal olarak ifade edilemeyecek ölçütlerden bir diğeri olan bu ölçüt için de yine uzman görüşüne başvurulmuştur.

Anket sonuçları tramvayın bu açıdan daha önemli görüldüğünü göstermektedir. Tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için bu ölçütün ağırlıkları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Tramvay: $w_{KTUt} = 0,5306$

Otobüs Yolu: $w_{KTUo} = 0,4694$

### 7.3.13. Kentsel Yapıya Uygunluk

Kentsel yapıya uygunluk ölçütü, kentin tarihi yapısına uygunluk ölçütüne benzer niteliklere sahip olan öznel bir ölçüttür. Kentin bütünsel bir bakış açısı ile ele alınması ve kentsel sistemlerin bu bütünselliğe göre tasarlanması bu ölçütün

kapsamına girer. Toplu taşıma sistemleri de bu bütünselliğe uygun olarak tasarlanmalıdır. Raylı sistemler çağımızda giderek bu açıdan daha fazla tercih edilir hale gelmektedir.

Sayısal olarak ifade edilmesi güç bir başka ölçüt olan kentsel yapıya uygunluk ölçütü için de uzman görüşlerine başvurulmuştur. Anket sonuçları yine tramvayın bu açıdan daha önemli görüldüğünü göstermektedir. Tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için bu ölçütün ağırlıkları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Tramvay: $w_{KYUt} = 0,5301$
Otobüs Yolu: $w_{KYUo} = 0,4699$

### 7.3.14. Yapım Ve İşletmeye Açılma Süresi

Herhangi bir toplu taşıma sisteminin yapım süresi üzerinde etki eden pek çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler, sistemin uygulanacağı kentsel alanın özelliklerinden, finansman sorunlarına kadar geniş bir yelpazeye yayılmış durumdadır. Daha önce uygulanan sistemlerden yararlanarak, genel bir yaklaşımla, tramvay sisteminin yapım ve işletmeye açılma süresinin otobüs yolunun iki katı düzeyinde olduğu kabulü bu çalışma için geçerli sayılmıştır.

Bu durumda tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için yapım ve işletmeye açılma süresi ölçütünün ağırlıkları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Tramvay: $w_{YİSt} = 0,3333$
Otobüs Yolu: $w_{YİSo} = 0,6667$

### 7.3.15. Kazaya Karışma Olasılığı

Toplu taşıma araçlarının kazaya karışma olasılıkları, kendilerine ayrılmış özel bir yuvarlanma yüzeyi bulunması ile doğrudan ilgilidir. Yüzeyde yer alan raylı sistemlerin ve otobüs yolunun bu açıdan belirli avantajları bulunmaktadır. Göz önüne alınan örnekte otobüs yolu ve tramvayın diğer trafikle etkileşimi, aynı kavşaklar üzerinden olacaktır. Ancak yine de belirli bir benzerlik kurulabilmesi için İstanbul'dan iki veri örneği göz önüne alınmıştır. Satı'nın (2000) bu konudaki yaklaşımı benimsenmiştir. Sözü edilen çalışmada Zeytinburnu-Eminönü tramvay hattı ile Mecidiyeköy-Taksim Otobüs Yolu kaza istatistikleri kullanılmıştır.

Buna göre Zeytinburnu-Eminönü hattında 1998 yılı içerisinde meydana gelen kaza sayısı, aynı hatta bir yıldaki toplam taşıt-km değerine bölündüğünde 0,00002819 katsayısı bulunmaktadır. Aynı yılda Mecidiyeköy-Taksim otobüs yolunda meydana gelen toplam kaza sayısının, aynı hatta bir yıldaki toplam taşıt-km değerine bölünmesi ile 0,00006147 katsayısı elde edilmektedir.

Bu değerlerin kullanılması ile tramvay ve otobüs yolu seçeneklerinin kazaya karışma olasılığı ölçütleri ile ilgili ağırlıkları aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

Tramvay: $w_{KKOt} = 0,6856$
Otobüs Yolu: $w_{KKOo} = 0,3144$

### 7.3.16. Talepteki Değişimlere Uyum Sağlama Yeteneği

Bir toplu taşıma sisteminin önemli özelliklerinden bir tanesi değişen koşullara, ve yolcu talebindeki değişimlere uyum sağlama yeteneği olmalıdır. Raylı sistemler, daha yüksek kapasiteli taşıt dizilerinden oluşmakta ancak daha seyrek aralıklarla seyretmektedirler. Öte yandan otobüsler, esneklik açısından çok daha avantajlı ve çeşitli koşulların değişimine daha hızlı yanıt verebilen taşıtlardır.

Sayısal olarak ifade edilmesi güç bir başka ölçüt olan talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği ölçütü için de uzmanların görüşüne başvurulmuştur. Anket sonuçlarından yola çıkılarak tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için bu ölçütün ağırlıkları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Tramvay: $w_{TDUt} = 0,4803$
Otobüs Yolu: $w_{TDUo} = 0,5170$

### 7.3.17. Proje Ömrü Ve Proje Ömrü Sonundaki Değeri

Bir toplu taşıma sisteminin proje ömrü sonunda belirli bir değeri bulunmaktadır. “Hurda değeri” olarak da adlandırılabilecek olan bu değer yalnızca taşıtların başka bir şekilde kullanılabilmesini değil, sistemin altyapısının da kullanılabilirliğini nitelemektedir. Örneğin bir toplu taşıma sistemi için özel olarak düzenlenmiş olan yolun istendiğinde farklı amaçlarla kullanılabilecek olması da bu kapsamda değerlendirilebilir.

Bu ölçüt için de uzmanların görüşüne başvurulmuştur. Anket sonuçlarından yola çıkılarak tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için bu ölçütün ağırlıkları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Tramvay: $w_{PÖDt} = 0.5378$

Otobüs Yolu: $w_{PÖDo} = 0.4622$

### 7.4. Karar Verme

Analitik hiyerarşi yöntemi ile tanımlanan hiyerarşinin alt basamağındaki ölçütlerin ağırlıkları, tramvay ve otobüs yolu seçenekleri için yukarıdaki gibi bulunmuştur. Daha sonraki aşamada bu ağırlıklar, hiyerarşinin orta basamağında yer alan, ilgili ölçütlerin ağırlıkları ile çarpılmıştır. Her iki seçenek için bu çarpım sonuçlarının toplanması, seçenekler için birer toplam ağırlık değeri elde edilmesini sağlamıştır.

İşlem sırası aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Tramvay için:

$$\text{Toplam ağırlık} = (w_{YS}*w_{YSt}) + (w_{YM}*w_{YMt}) + (w_{DBS}*w_{DBSt}) + (w_{AUK}*w_{AUKt}) + (w_{YTK}*w_{YTKt}) + (w_{AK}*w_{AKt}) + (w_{TYM}*w_{TYMt}) + (w_{İBM}*w_{İBMt}) + (w_{HKE}*w_{HKEt}) + (w_{GKE}*w_{GKEt}) + (w_{GK}*w_{GKt}) + (w_{UAU}*w_{UAUt}) + (w_{KTU}*w_{KTUt}) + (w_{KYU}*w_{KYUt}) + (w_{YİS}*w_{YİSt}) + (w_{KKO}*w_{KKOt}) + (w_{TDU}*w_{TDUt}) + (w_{PÖD}*w_{PÖDt}) \quad \textbf{(7.1)}$$

Otobüs yolu için:

$$\text{Toplam ağırlık} = (w_{YS}*w_{YSo}) + (w_{YM}*w_{YMo}) + (w_{DBS}*w_{DBSo}) + (w_{AUK}*w_{AUKo}) + (w_{YTK}*w_{YTKo}) + (w_{AK}*w_{AKo}) + (w_{TYM}*w_{TYMo}) + (w_{İBM}*w_{İBMo}) + (w_{HKE}*w_{HKEo}) + (w_{GKE}*w_{GKEo}) + (w_{GK}*w_{GKo}) + (w_{UAU}*w_{UAUo}) + (w_{KTU}*w_{KTUo}) + (w_{KYU}*w_{KYUo}) + (w_{YİS}*w_{YİSo}) + (w_{KKO}*w_{KKOo}) + (w_{TDU}*w_{TDUo}) + (w_{PÖD}*w_{PÖDo}) \quad \textbf{(7.2)}$$

### 7.4.1. Beşiktaş-Levent Koridoru

Yukarıda anlatılan hesap sonucunda toplam ağırlıklar Beşiktaş-Levent koridorunda her iki seçenek için aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

Tramvay: $w_t = 0,50256$
Otobüs Yolu: $w_o = 0,49728$

Sonuçlar, tramvayın göreli ağırlığının otobüs yolunun göreli ağırlığına göre biraz daha yüksek olduğunu göstermektedir. Analitik hiyerarşi yaklaşımı ile, tramvay, daha tercih edilebilir bir seçenek olarak belirlenmiştir.

### 7.4.2. Aksaray-Taksim Koridoru

Yukarıda açıklanan hesap sonucunda toplam ağırlıklar Aksaray-Taksim koridorunda her iki seçenek için aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

Tramvay: $w_t = 0,50365$
Otobüs Yolu: $w_o = 0,49620$

Sonuçlar, tramvayın göreli ağırlığının otobüs yolunun göreli ağırlığına göre biraz daha yüksek olduğunu göstermektedir. Analitik hiyerarşi yaklaşımı ile, tramvay, daha tercih edilebilir bir seçenek olarak belirlenmiştir.

# 8. SONUÇ

Gerek kentler arası gerekse kent içi ulaşım ağında yapılacak yatırımlar ciddi ve kapsamlı kara süreçlerini gerektirmektedir. Ulaştırma alanı doğrudan siyaset belirlenimli bir alan olduğundan, bu karar süreci, teknik içeriğinin ötesinde bir biçim almaktadır. Asıl belirleyen, teknik aşamaların ötesinde, siyasi karar süreçleri olmaktadır.

Yeni ulaştırma sistemleri planlanması ya da mevcut ulaştırma sistemlerinin geliştirilmesi aşamasında verilecek kritik kararlar, çoğunlukla birden fazla seçenek arasından bir tanesinin seçilmesi olarak şekillenmektedir.

Bir ulaştırma yatırımına karar verilirken, bir dizi ölçütün göz önüne alınması gerekmektedir. Bu ölçütler, sistemin özellikleri çeşitli açılardan değerlendirilmesi gerektiği için çok geniş bir yelpazeye yayılır. Pek çok ülkede değişik çalışmalarda kullanılan ölçütler arasında da değişiklikler bulunmaktadır.

Ulaştırma yatırımlarına karar verme süreçleri, ölçülebilen ve ölçülemeyen bir dizi ölçütün etkili olduğu karmaşık süreçlerdir. Seçenekler arasında karar verilirken her iki tür ölçütün de değerlendirmeye dahil edilmesi daha sağlıklı bir değerlendirme sürecinin ortaya çıkmasını sağlayacaktır.

Ölçülebilen, yani sayısal olarak ifade edilebilen ölçütlerin, seçenekler arasında yapılan karşılaştırmalarda kullanılmaları görece kolay bir süreçtir. Bu nedenle, ulaştırma yatırımlarının değerlendirme süreçlerinde kullanılması yaygın ve geçmiş oldukça eski bir yöntemdir. Fayda maliyet analizi bu yöntemlerin en yaygın olarak kullanılanıdır. Ancak bu tür uygulamalarda, sayısal olarak ifade edilemeyen ölçütlerin değerlendirmeye dahil edilmemesi gerçekçilikten uzak sonuçlar doğurmaktadır. Bu sorunu aşabilmek için sayısal olarak ifade edilemeyen ölçütlerin de değerlendirmeye dahil edilmesini sağlamak gerekir. Buna yönelik olarak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Bu tür yöntemlerin genel olarak çok ölçütlü yaklaşımlar olarak ifade edilmesi mümkündür. Çok ölçütlü yaklaşımlar, fayda maliyet analizi gibi sayısal değerlere dayanan yaklaşımlara göre çok daha gerçekçi yaklaşımlardır. Çok ölçütlü yaklaşımlarla, gerekli görülen ölçütler değerlendirmede etkin olabilir ve böylece karar süreci daha sağlıklı kılınabilir.

Analitik hiyerarşi yöntemi çok ölçütlü yaklaşımlar içerisinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Basitliği, esnekliği, gerekli görülen ölçütlerin değerlendirme sürecine dahil edilebilmesine olanak tanıması, farklı kişilerin ya da kesimlerin görüşlerinin değerlendirmede etkili olmasına olanak sağlaması gibi özellikleri bu yöntemi çekici kılmaktadır.

Öte yandan, toplu taşıma yatırım seçeneklerinin değerlendirilmesinde, seçenekleri oluşturan toplu taşıma sistemlerinin değişen koşullara göre nasıl bir performans sergileyeceğini görmek önemlidir. Yolculuk süresi gibi bazı bileşenlerin simülasyon modelleri aracılığıyla analiz edilmesi mümkündür. Değişen yolcu hacimleri, taşıt hızları, durak sayıları, durak aralıkları, yolcuların taşıtlara biniş ve taşıtlardan iniş süreleri gibi değişkenlerin farklılık göstermesi durumunda göz önüne alınan sistemlerin performanslarının nasıl değişeceği simülasyon modelleri ile incelenebilir.

Bu sayede seçenek sistemlerin gerçekte nasıl bir performans sergileyebilecekleri öngörülebilir.

Değişik koşullara göre sistemlerin ortaya koyacakları performansı görmek, analitik hiyerarşi yöntemini değişen koşullar için yeniden kullanmanın zeminin hazırlar. Farklı koşullar için elde edilecek farklı sonuçlar analitik hiyerarşi yönteminin birden fazla kez kullanılarak daha sağlıklı yatırım kararları verilmesini sağlayabilir.

Bu çalışmada böylesi bir yaklaşım sergilenmiştir. Bu amaçla, toplu taşıma sistemlerinin yolculuk süreleri üzerinden performanslarını değerlendirmeyi sağlayacak bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Toplu Taşıma Simülasyon Modeli (TTSİM) adı verilen bu modelin kullanılması analitik hiyerarşi yöntemi ile karar alınmasını değişen koşullar için sağlamış olacaktır. Bu yaklaşıma, simülasyon destekli analitik hiyerarşi yaklaşımı adı verilebilir.

Bu çalışmada simülasyon destekli analitik hiyerarşi yöntemine bir örnek oluşturması amacıyla iki kentiçi koridoru için uygulama yapılmıştır. Beşiktaş-Levent ve Taksim-

Aksaray koridorlarında otobüs yolu ve tramvay alternatifleri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Öncelikle analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak karşılaştırmada değerlendirmeye alınacak ölçütler belirlenmiştir. Toplu taşıma uygulamalarında önemli görülen ölçütlerin birbirleri arasındaki göreli ağırlıklarının belirlenebilmesi için uzman görüşlerine başvurulmuştur. Bu amaçla uygulanan anketle elde edilen sonuçların ardından analitik hiyerarşi yönteminin ikinci aşamasına geçilmiştir.

İkinci aşamada, değerlendirmede kullanılacak olan ölçütlerin otobüs yolu ve tramvay seçenekleri için ayrı ayrı ağırlıklarının belirlenmesi işlemi yapılmıştır. Ölçütlerin bir bölümü için sayısal olarak değerler atfedilmesi mümkündür. Diğer bir deyişle sayısal ölçütlerin birbiriyle doğrudan karşılaştırılabilmesi mümkündür. Bu tür ölçütler için otobüs ve tramvay sistemlerinde sahip oldukları değerler karşılaştırılmış ve birbirlerine göre ağırlıkları böylece belirlenmiştir.

Uzman görüşleri, yolculuk süresi ölçütünün en büyük ağırlığa sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bir toplu taşıma sistemi için yolculuk süresi, bir dizi etmene bağımlıdır. Bir toplu taşıma aracı için yolculuk süresi, duraklar arasındaki mesafenin kat edilmesi için geçen süre ile duraklarda harcanan süreden oluşur. Durakta harcanan süre de yolcuların araca binmeleri, inmeleri ve eğer varsa taşıtın kuyrukta beklemesi için geçen süreden ibarettir.

Bu çalışmada taşıt yolculuk süresi göz önüne alınmıştır.

Duraklar arasındaki mesafeyi kat etmek için gereken süre, taşıtın normal trafik akışı içerisinde diğer taşıtlarla birlikte hareket edip etmediği ile doğrudan ilgilidir. Yolculuk süresi bileşenlerinden durakta bekleme süresi ise öncelikle yolcu talebine bağlıdır. Yolcu talebi arttıkça yolcuların taşıta binme ya da taşıttan inme süreleri artacak, bu da taşıtın durakta beklediği süreyi artıracaktır.

Yolcuların taşıta binerken ve taşıttan inerken harcadıkları süre durakta harcanan toplam sürenin bir bileşenidir. Bir yolcunun ortalama biniş süresi, taşıtın bazı özelliklerine ve yolcunun biniş esnasında ücret ödeyip ödemediğine bağlıdır.

Bir toplu taşıma türünün bir koridordaki olası performansının değişik koşullarda nasıl gerçekleştiğinin önceden tahmin edilebilmesinin sayısız yararı bulunmaktadır.

Taşıtların sıklığı, durak yerleri, durak aralıkları gibi etkenler ile ilgili kararların sağlıklı bir şekilde alınabilmesi için performansın öngörülmesi önemlidir.

Yolculuk süresinin, değerlendirmeye alınan toplu taşıma seçenekleri için doğrudan tahmin edilmesi için, bu çalışma kapsamında, Toplu Taşıma Simülasyon Modeli ismi verilen bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Bu model yardımıyla, hem Beşiktaş-Levent hem de Aksaray-Taksim koridorlarında otobüs yolu ve tramvay uygulamalarında elde edilmesi olası taşıt yolculuk sürelerinin tahmini yapılmıştır. Böylece "yolculuk süresi" ölçütünün iki toplu taşıma sistemi seçeneği arasındaki karşılaştırması somut, gerçekçi değerlere dayandırılabilmiştir.

Sayısal olarak ifade edilemeyen ölçütler için ise yine uzman görüşlerine başvurulmuştur. Bu amaçla anketin ikinci bölümünden yararlanılmıştır.

Her ölçütün otobüs yolu ve tramvay seçenekleri için ağırlıkları belirlendikten sonra bu ağırlıklar her iki seçenek için de ölçütlerin birbirleri arasındaki göreli ağırlıkları ile çarpılmıştır. Bu çarpım sonuçları toplanarak her seçenek için bir göreli ağırlık bulunmuştur.

İşlemler sonucunda gerek Beşiktaş-Levent, gerekse Aksaray-Taksim koridorları için tramvay seçeneği, otobüs yolu seçeneğine göre daha büyük ağırlığa sahip olmuştur. Öte yandan, her iki koridorda da iki seçenek arasındaki nihai ağırlık farkı son derece küçüktür.

Bu sonuç, kullanılan yönteme göre, tramvay seçeneğinin her iki örnekte de daha tercih edilir durumda olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, bir kentiçi koridorunda gerçekleştirilecek bir toplu taşıma uygulaması için simülasyon ve analitik hiyerarşi yöntemlerinin kullanıldığı bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamaya, simülasyon destekli analitik hiyerarşi yöntemi adı verilmiştir. Yapılan uygulama, gerek simülasyon gerekse analitik hiyerarşi yöntemi düzlemlerinde esnekliğe sahiptir. Bir diğer deyişle, her iki düzlemde de girdilerin değiştirilmesi ve uygulamanın farklı durumlar için kolayca tekrarlanabilmesi mümkündür.

Simülasyon düzlemi, bir toplu taşıma sisteminin, değişken bazı fiziksel koşullarda nasıl performans gösterebileceğini görmek açısından oldukça yararlıdır. Öte yandan,

analitik hiyerarşi düzleminde de bir toplu taşıma seçeneği tercih edilirken göz önüne alınması gerekli ölçütlerin değerlendirmeye nasıl dahil edilebileceğine karar verilmektedir. Bu uygulama da değişken koşullara göre farklılaştırılabilir.

Ortaya çıkan bu esnek yöntem, farklı kentiçi toplu taşıma uygulamaları için kullanılabilir.

## KAYNAKLAR


**Aboul-Ela, M. T., Wilson, F. R. and Stevens, A. M.,** 1982. On the Use of Mathematical Programming in the Evaluation of Transport Policies, *Transportation Planning and Technology*, **7**, 267-273.

**Anderstig, C. and Mattsson, L.,** 1992. Apprasing Large Scale Investment in a Metropolitan Transportation System, *Transportation*, **19**, 267-283.

**Armstrong-Wright, A.,** 1993. Public Transport in Third World Cities, Transport Research Laboratory, London.

**Banks, J., Carson II, J. S. and Nelson, B. L.,** 1996. Discrete-Event System Simulation, Prentice Hall, New Jersey.

**Bilgiç, Ş.,** 2002. Türkiye'de Ulaştırma Yatırımlarının Değerlendirilmesi İçin Bir Çok Ölçütlü Yöntem Önerisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Catling, D., Guillossou, M., Rovere, G. and Stefanovic, G.,** 1995, Ease of Use of Light Rail Systems, International Union of Public Transport, Brussels.

**Comune di Bologna,** 1993. Analisi Benefici-Costi della Costruzione di Una Tranvia a Bologna, Comune di Bologna, Bologna.

**Çalışkan, N.,** 1998. Üçüncü Boğaz Geçişi Seçeneklerinin Değerlendirilmesinde Karar Destek Yaklaşımı Önerisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**De Brucker, K., De Winne, N., Verbeke, A. and Winkelmans, W,** 1995. The limits of Social Cost-Benefit Analysis for the Appraisal of Public Investment in Transport Infrastructure, *7th World Conference on Transport Research*, Sydney, Australia, September 1995, 163-174.

**De Corla-Souza, P., Everett, J., Gardner, B. and Culp, M.,** 1997. Total Cost Analysis: An Alternative to Benefit-Cost Analysis in Evaluating Transportation Alternatives, *Transportation*, **24/2**, 107-123.

**Deen**, **T.B.**, 1979. Rapid Transit Mode Selection, in *Public Transportation: Planning, Operation and Management*, pp. 271-299, Eds. Gray, G.E. & Hoel, L.A., Prentice-Hall, New Jersey.

**Evren, R. ve Ülengin, F**, 1992. Yönetimde Karar Verme, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, Sayı: 1478, İstanbul.

**Fouracre, P.R., Allport R.J. and Thomson J.M.,** 1990. The Performance and Impact of Rail Mass Transit in Developing Countries, Research Report 278, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

**Frost, M.**, 2004. Comparative Noise Measurement Made on the Croydon Trip, http://www.bacit.org/archive/articles/croydon-noise.shtml.

**Gardner, G., Cornwell P.R. and Cracknell J.A.,** 1991. The Performance of Busway Transit in Developing Cities, Research Report 329, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

**Gardner, G., Rutter, J. and Kuhn, F.,** 1994. The Performance and Potential of Light Rail Transit in Developing Cities, Research Report 69, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

**Gardner, G.,** 1995. Choosing a Mass Transit System for a Developing City, *Proceedings of the 7th World Conference on Transport Research*, **3**, Sydney, Australia, September 1995, 113-122.

**Gerçek, H., Karpak, B. and Kılınçaslan, T.,** 2004. A Multiple Criteria Approach for the Evaluation of the Rail Transit Networks in İstanbul, *Transportation*, **31**, 203-228.

**İ. T. Ü., (İ. T. Ü. Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uyg-Ar Merkezi),** 1995, Kadıköy-Bostancı Raylı Sistemi Teknik, Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

**Keeney, R. L. and Raiffa, H.,** 1976. Decision With Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs, Wiley and Sons, New York.

**Korhonen, P., Moskowitz, H. and Wallenius, J.,** 1992. Multiple Criteria Decision Support – A Review, *European Journal of Operational Research*, **63**, 361-375.

**Kuruüzüm, A. ve Atsan, N.**, 2001. Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları, *Akdeniz İİBF Dergisi*, **1**, 83-105.

**Law, A. M. and Kelton, W. D.,** 1991. Simulation Modeling & Analysis, McGraw-Hill, Singapore.

**Leleur, S.,** 1995. Transport Project Evaluation: Integrating Cost-Benefit and Multi-Criteria Examination by the Use of Segregated Investment Return Rates (SIRR), *Proceedings of the 7th World Conference on Transport Research*, **3**, Sydney, Australia, September 1995, 175-186.

**Naylor, T. H., Balintfy, J. L., Burdick, D. S. and Chu, K.,** 1966. Computer Simulation Techniques, Wiley, New York.

**Odeck, J.,** 1996. Ranking of Regional Road Investment in Norway: Does Socioeconomic Analysis Matter?, *Transportation*, **23**, 123-140.

**O'Leary, T. J.,** 1979. The Cost/Benefit Analysis: It Can Be A Misleading Tool for Transportation Planners, *Transportation Planning and Technology*, **5**, 189-193.

**Pooch, U. W. and Wall, J. A.,** 2000. Discrete Event Simulation, A Practical Approach, CRC Press, Boca Raton.

**Rudnicki, A.,** 1999. Equivalent Travel Time of Passengers as A Synthetic Performance Measure in Urban Public Transport, *Proceedings from the 2nd KFB-Research Conference on Urban Transport Systems,* Lund, Sweden, June 1999, 174-183.

**Saaty, T. L.**, 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill Company, USA.

**Satı, M. M.,** 2000. Ulaştırma Yatırımlarının Değerlendirilmesinde Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Katılımcı Bir Karar Destek Sistemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Sipahi, S. ve Or, E.,** 2005. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Tekniği İle Forvet Oyuncuların Yetenek ve Becerilerine Göre Değerlendirilmesi, *Yönetim*, **50**, 53-63.

**Taha, H. A.,** 2000. Yöneylem Araştırması, Literatür Yayınevi, İstanbul.

**Teng, J. and Tzeng, G.,** 1996-a. Fuzzy Multicriteria Ranking of Urban Transportation Investment Alternatives, *Transportation Planning and Technology*, **20**, 15-31.

**Teng, J. and Tzeng, G.,** 1996-b. A Multiobjective Programming Approach for Selecting Non-Independent Transportation Investment Alternatives, *Transportation Research B*, **30/4**, 291-307.

**Tsamboulas, D., Lioukas, S. and Dionelis, C.,** 1992. Evaluating Alternative Scenarios for High-Speed Rail Investment in Greece, *Transportation*, **19/3**, 245-265.

**Ülengin, F.,** 1994. Easing the Traffic in İstanbul: What Price?, *Journal of Operational Research Society*, **45/7**, 771-785

**Veras, J. H.,** 1993. Comperative Assessment of AHP and MAV in Highway Planning: Case Study, *Journal of Transportation Engineering*, **121/2**, 191-200.

**Vuchic, V.,** 1979. Comparitive Analysis and Selection of Transit Modes, in *Public Transportation: Planning, Operation and Management*, pp. 253-271, Eds. Gray, G.E. & Hoel, L.A., Prentice-Hall, New Jersey.

**Vuchic, V.**, 1981. Urban Public Transportation Systems and Technology, Prentice-Hall, New Jersey.

**Walbridge, E. W.,** 1981. Selection of Urban Transportation Systems, *Transportation Planning and Technology*, **6**, 221-231.

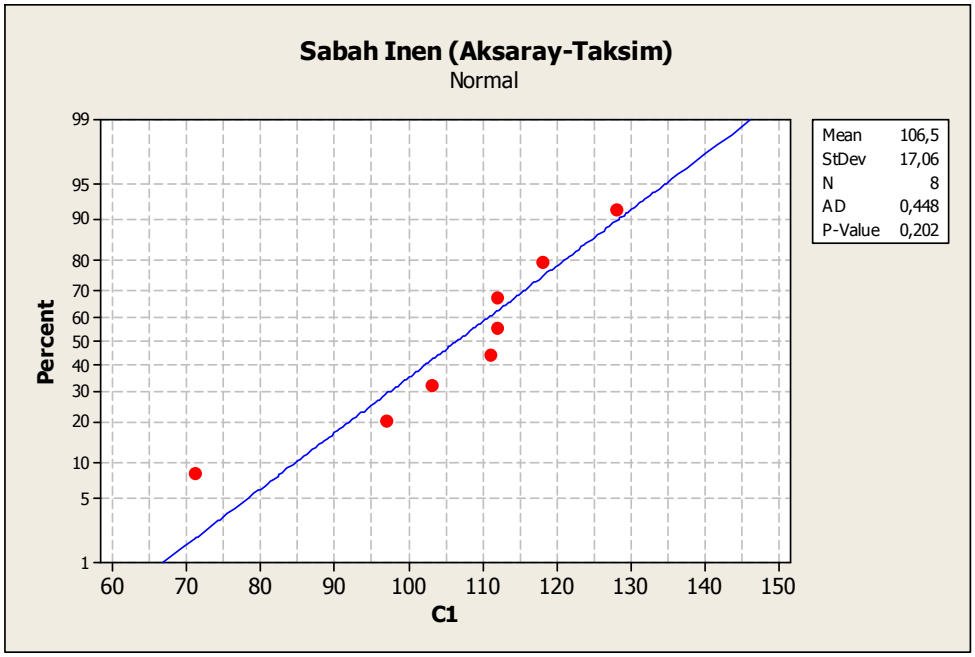
**Wind, Y. and Saaty, T.**, 1980. Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, **26/7**, 641-658.

**Yazgaç, T.**, 1995. Tedarikçi Seçimi ve Değerlendirmesi Problemine Bir Yaklaşım: Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi, *Önce Kalite Dergisi*, Temmuz 1995, 38-46.

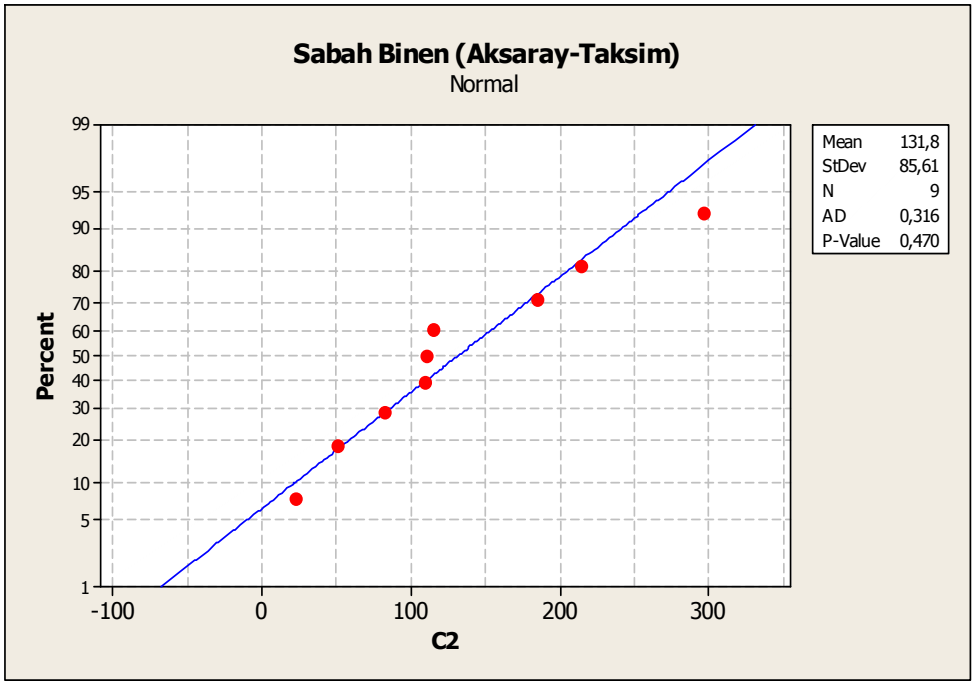
**Y. T. Ü. (Yıldız Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Uygulama-Araştırma Merkezi),** 2002. İETT Hatlarının Etüdü ve Rehabilitasyon Projesi (Sonuç Raporu), Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

**Zahedi, F.**, 1986. The Analytical Hierarchy Process - A Survey of the Method and Its Applications, *Interfaces*, **16/4**, 96-108.

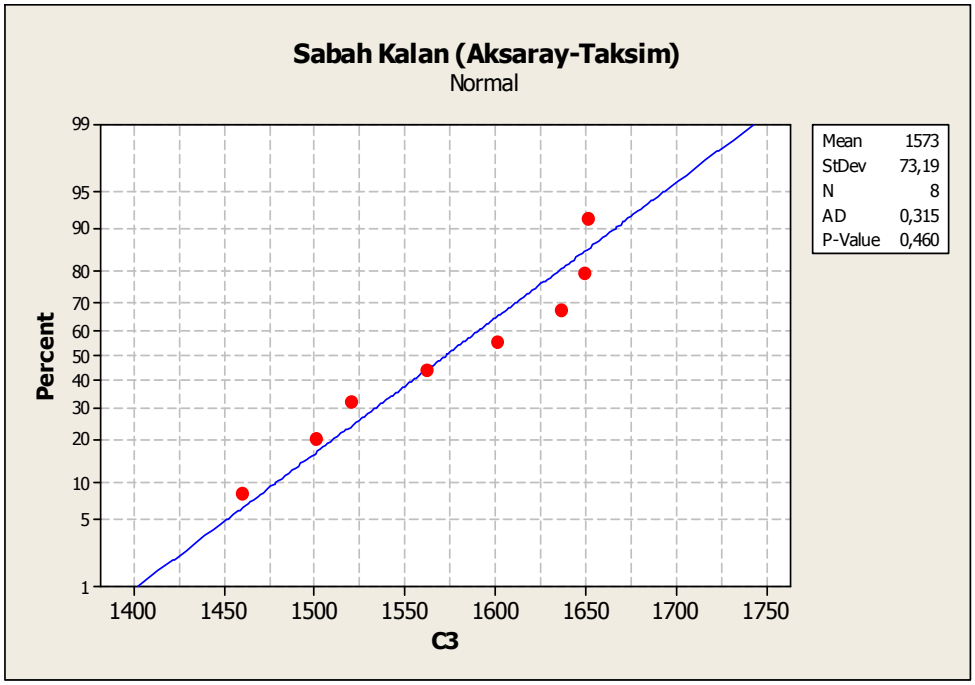
**EK A**



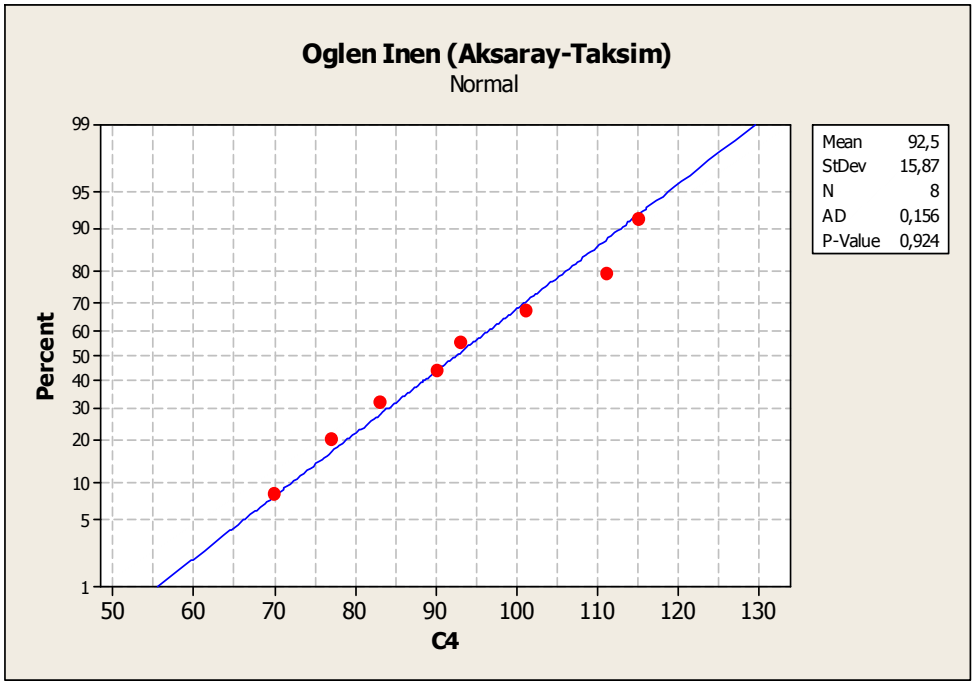

**Şekil A.1:** Aksaray-Taksim Yönü Sabah Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



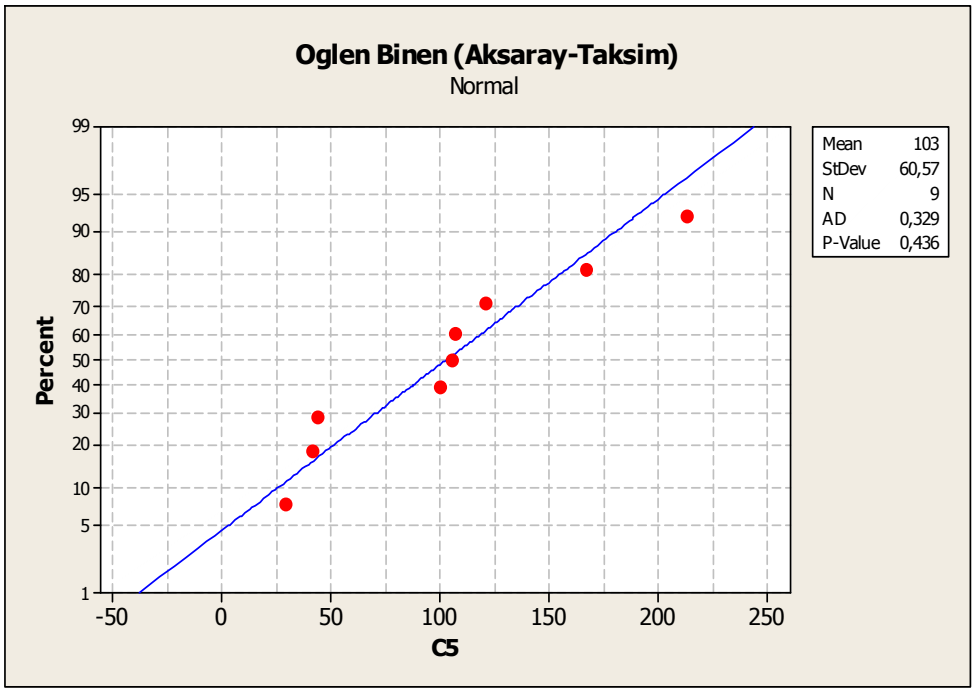

**Şekil A.2:** Aksaray-Taksim Yönü Sabah Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



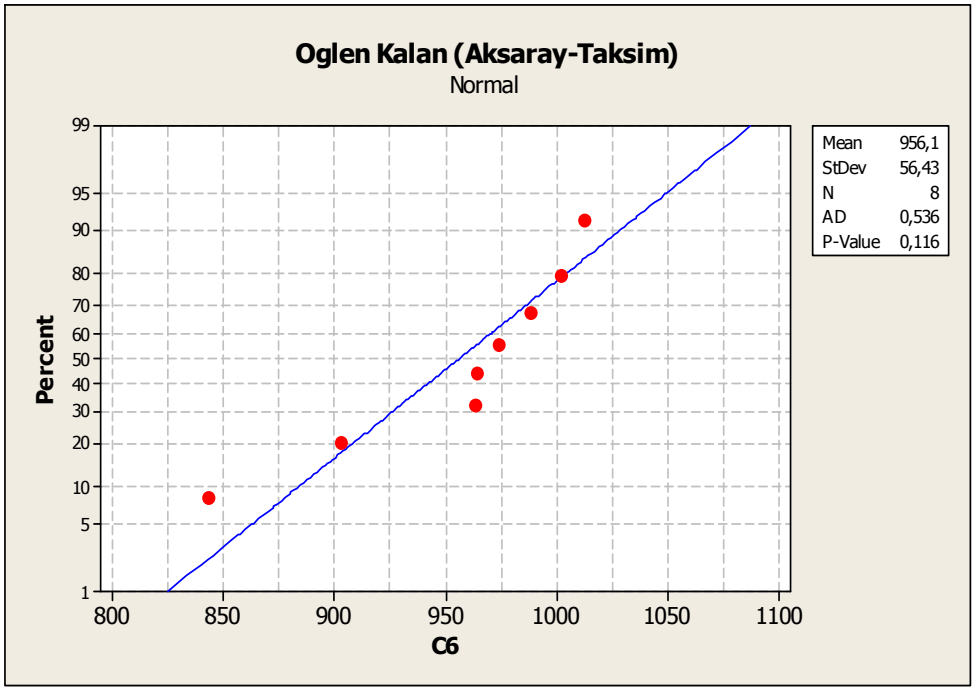

**Şekil A.3:** Aksaray-Taksim Yönü Sabah Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı



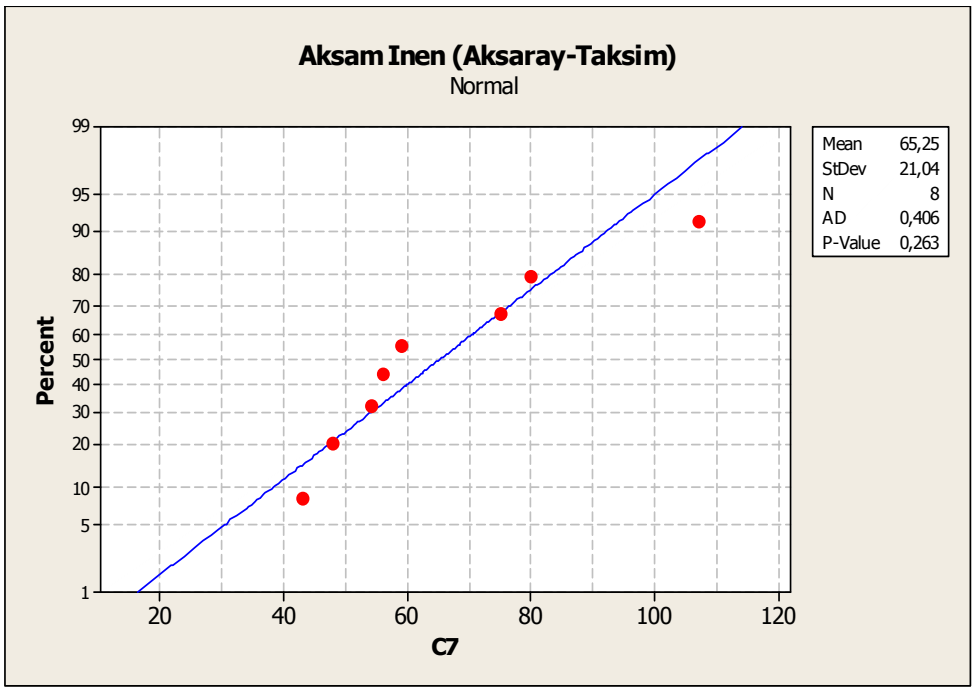

**Şekil A.4:** Aksaray-Taksim Yönü Öğlen Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



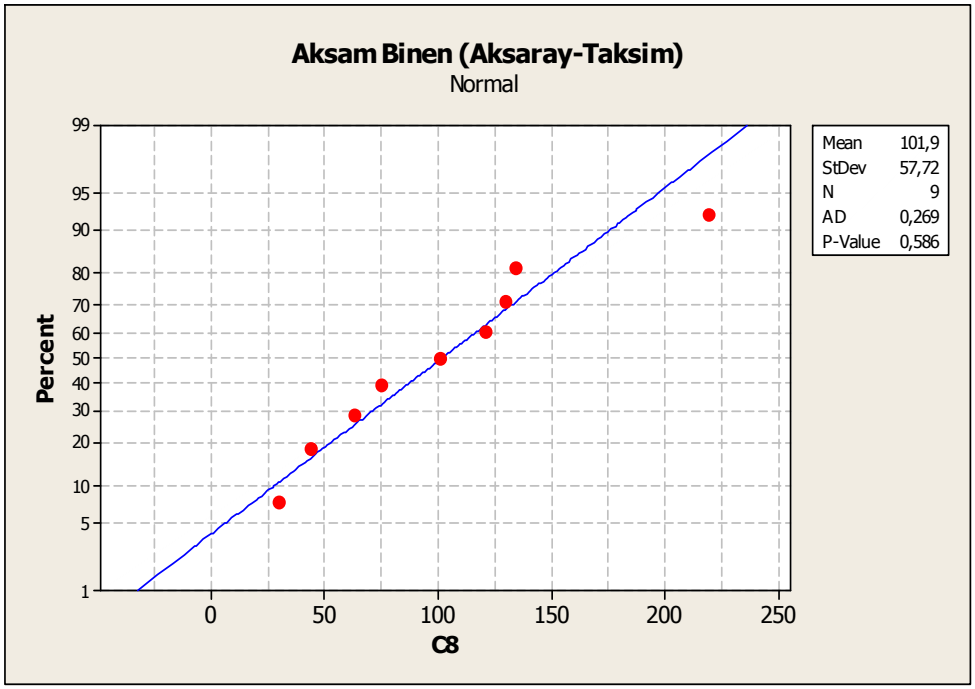

**Şekil A.5:** Aksaray-Taksim Yönü Öğlen Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



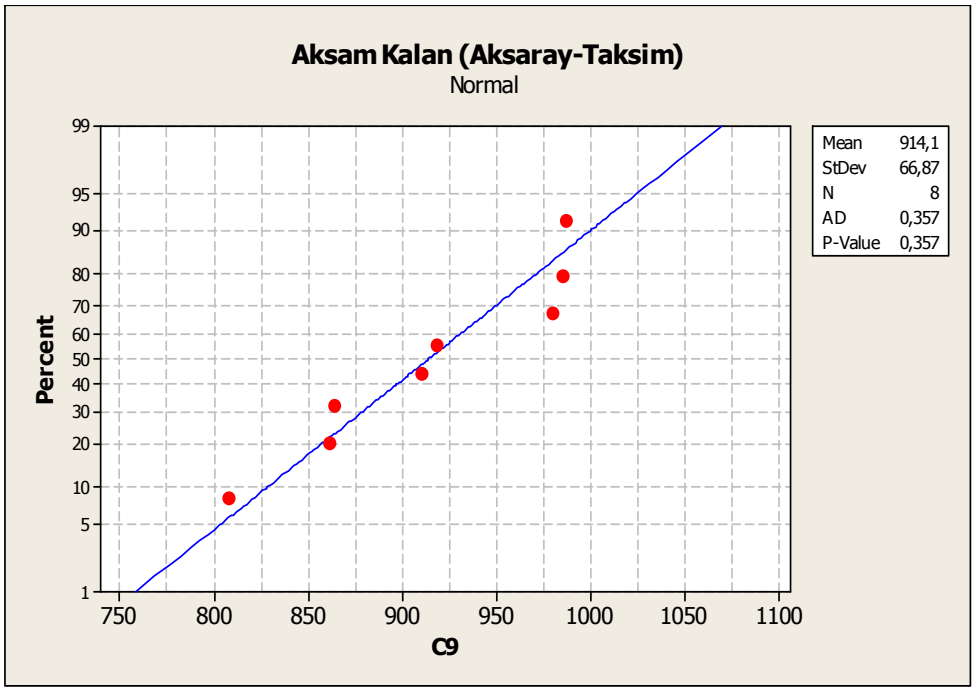

**Şekil A.6:** Aksaray-Taksim Yönü Öğlen Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı



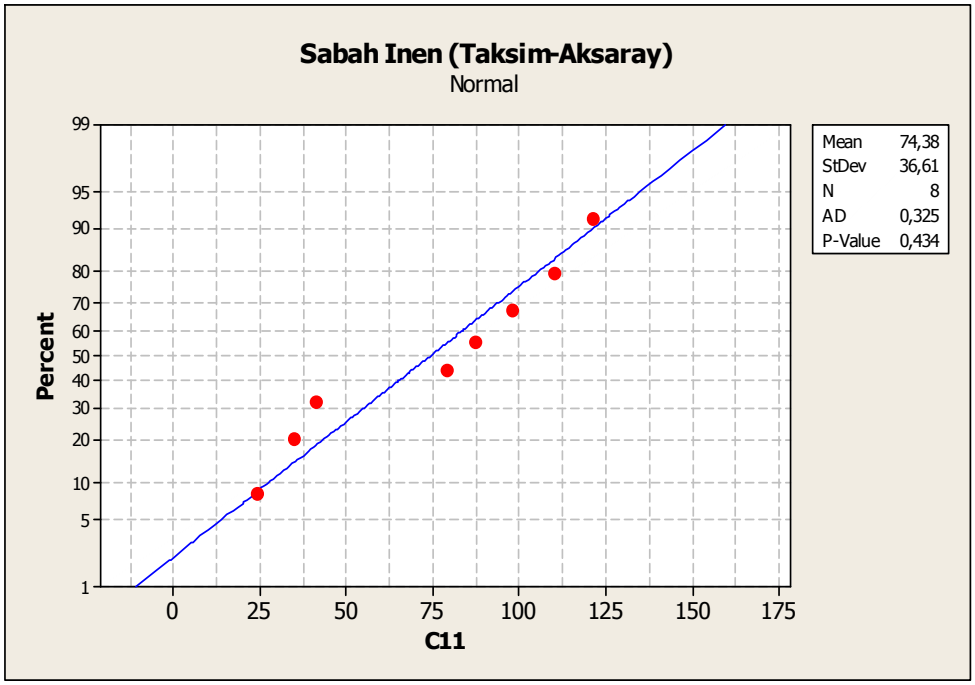

**Şekil A.7:** Aksaray-Taksim Yönü Akşam Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



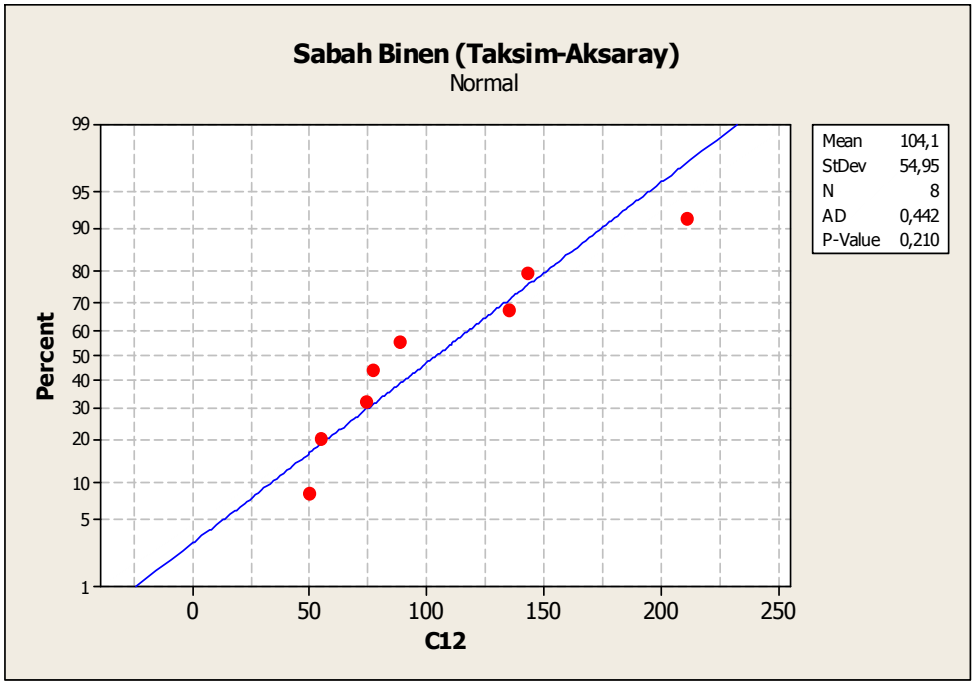

**Şekil A.8:** Aksaray-Taksim Yönü Akşam Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



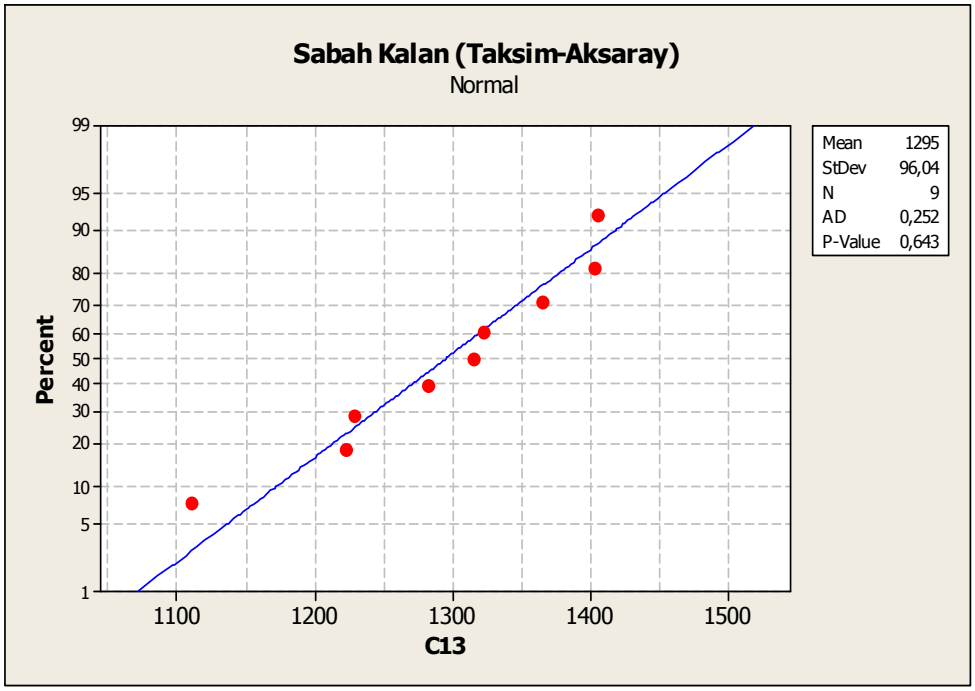

**Şekil A.9:** Aksaray-Taksim Yönü Akşam Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı



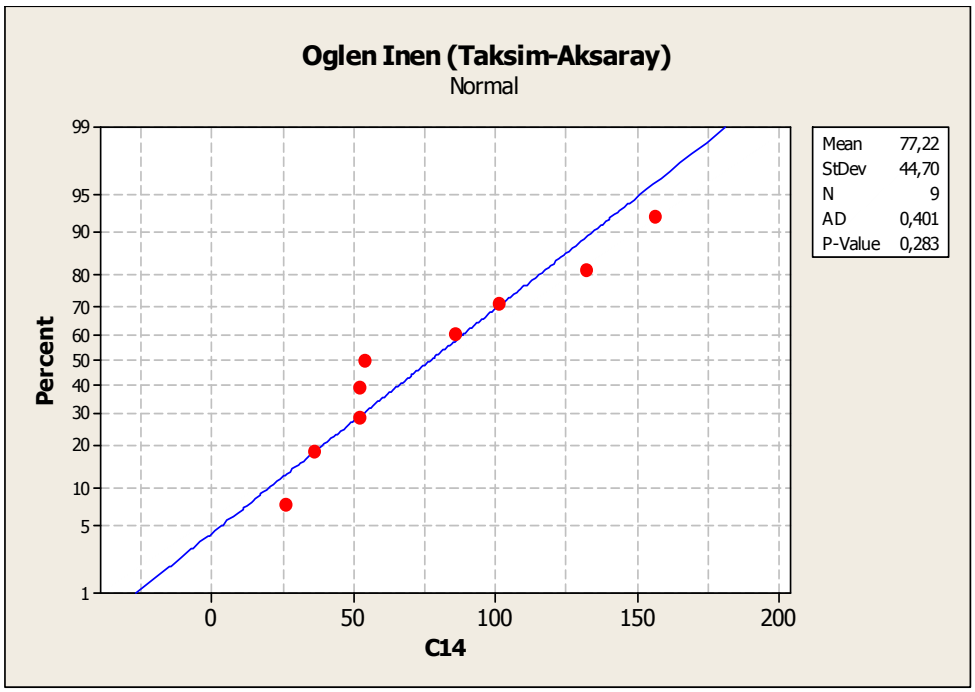

**Şekil A.10:** Taksim-Aksaray Yönü Sabah Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



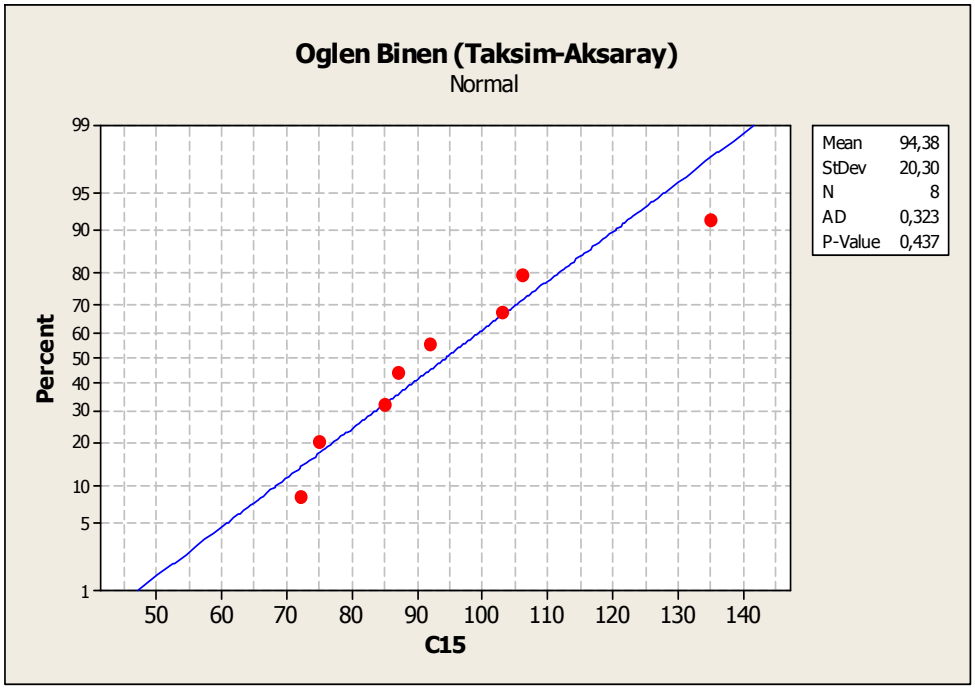

**Şekil A.11:** Taksim-Aksaray Yönü Sabah Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



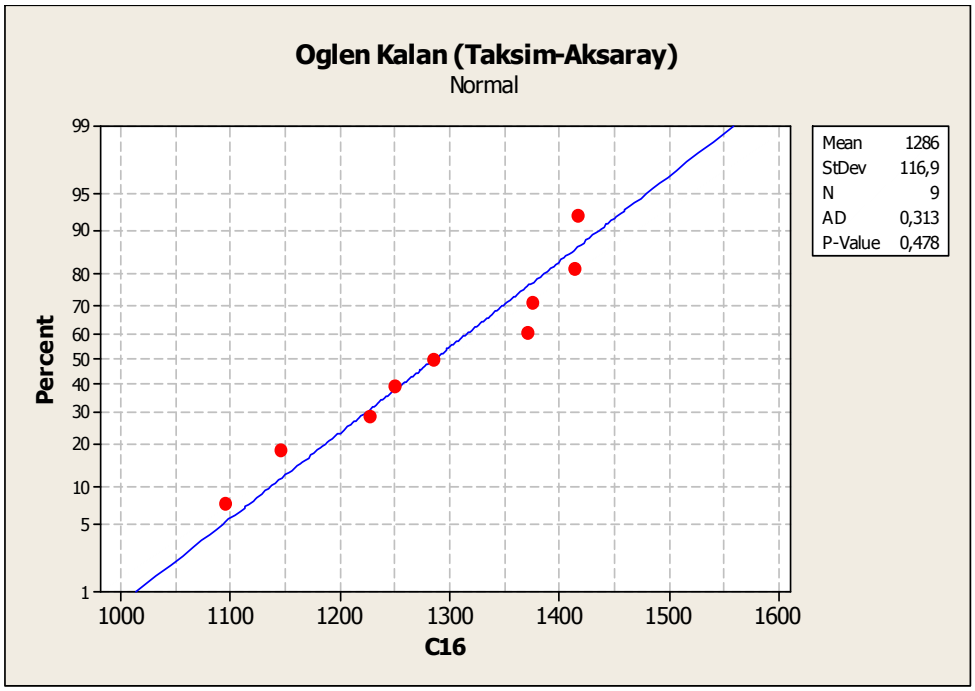

**Şekil A.12:** Taksim-Aksaray Yönü Sabah Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı



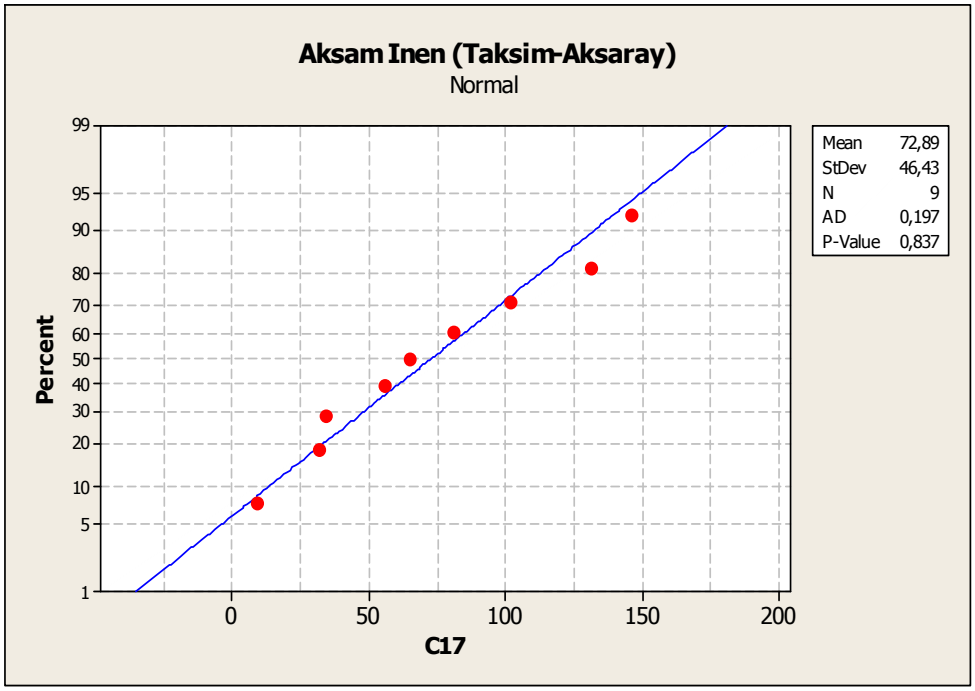

**Şekil A.13:** Taksim-Aksaray Yönü Öğlen Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



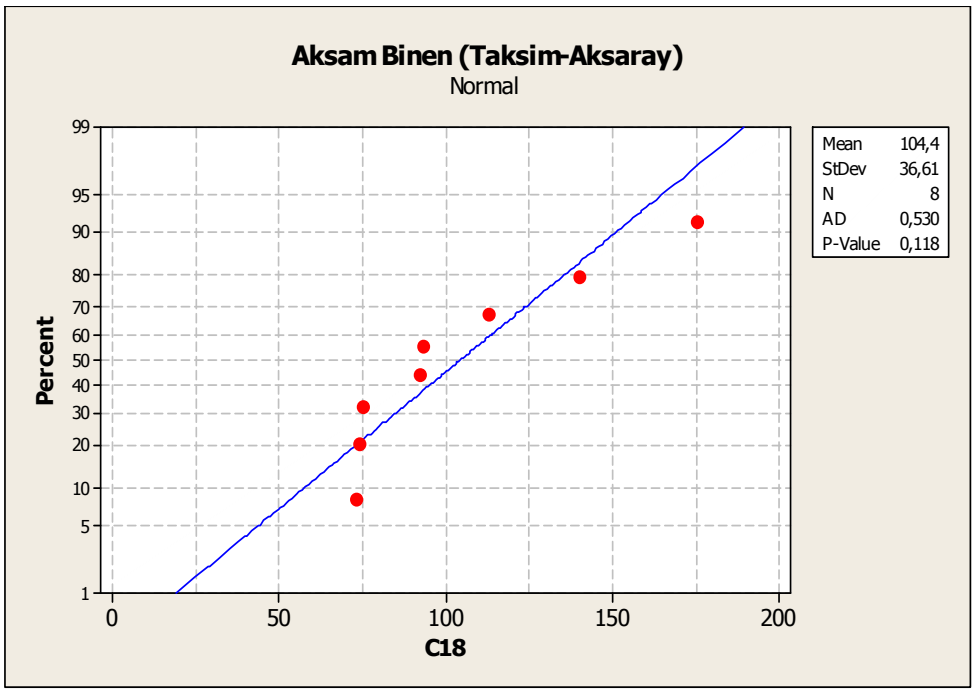

**Şekil A.14:** Taksim-Aksaray Yönü Öğlen Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



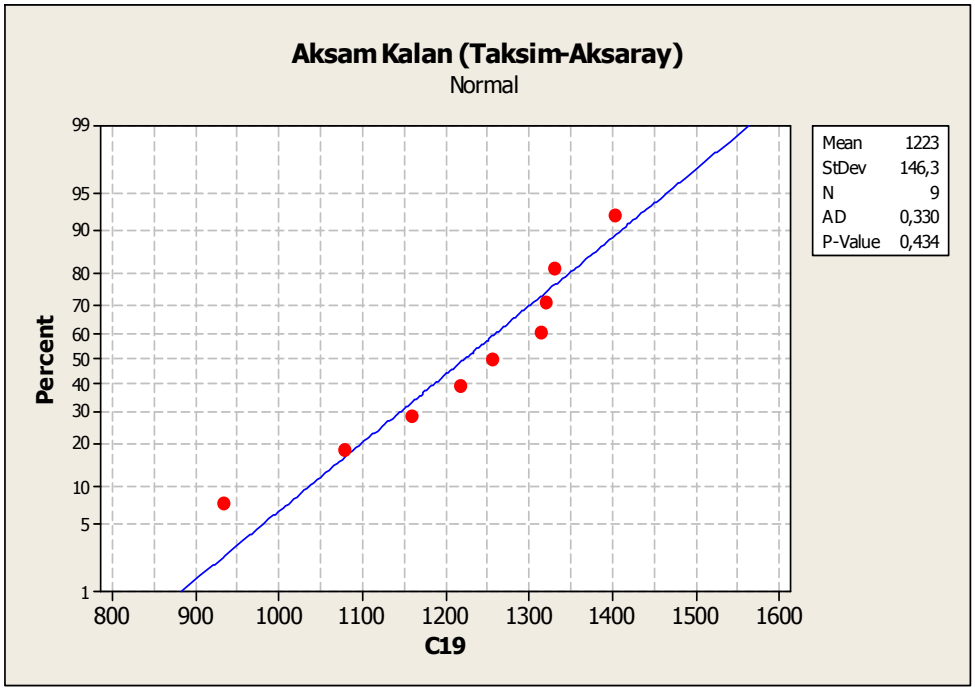

**Şekil A.15:** Taksim-Aksaray Yönü Öğlen Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı



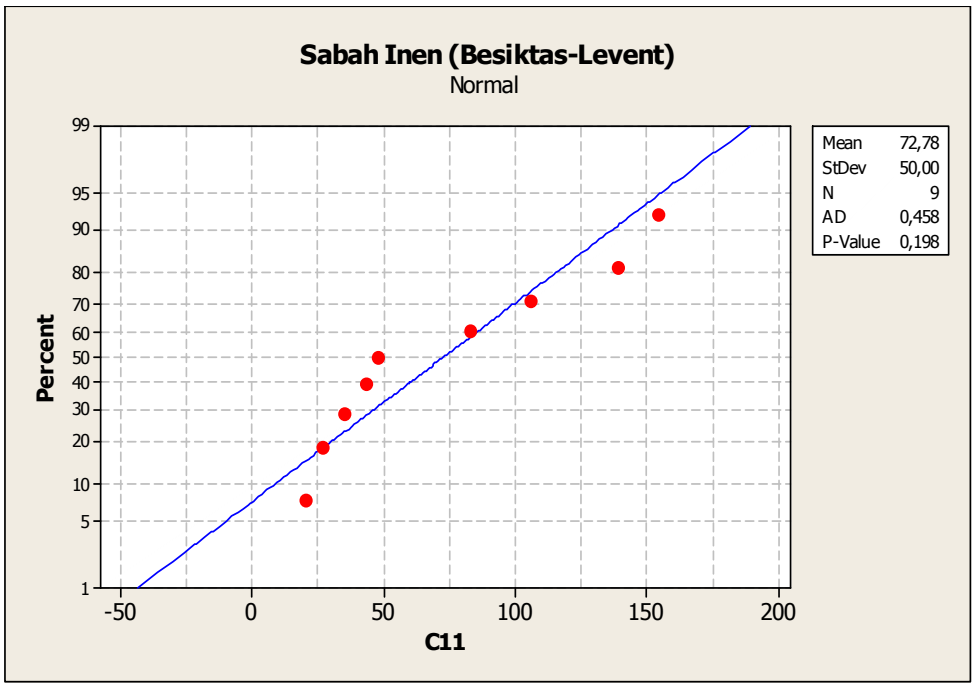

**Şekil A.16:** Taksim-Aksaray Yönü Akşam Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



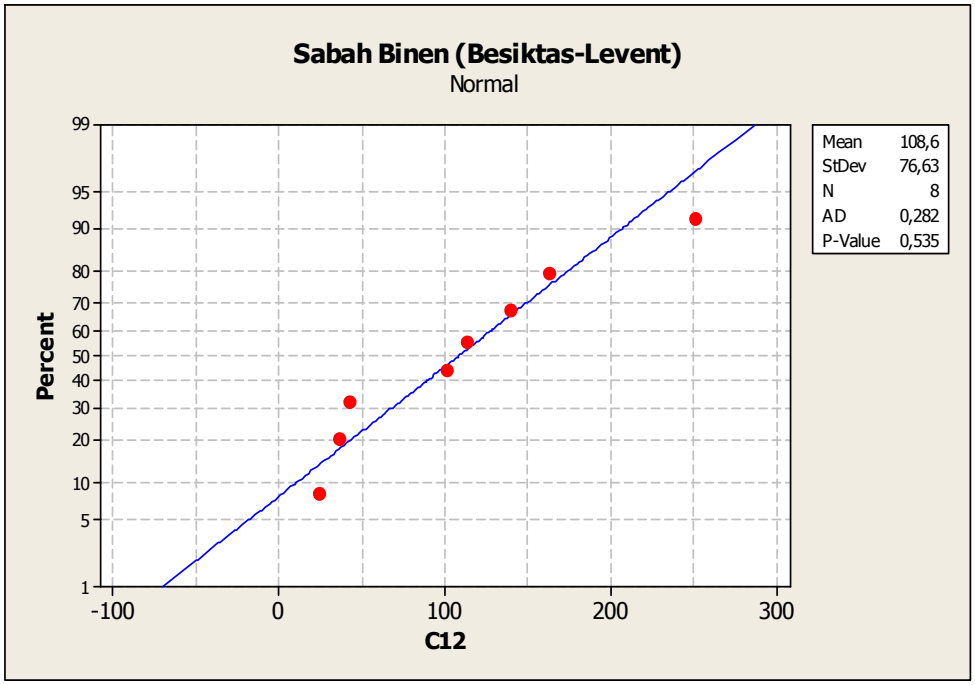

**Şekil A.17:** Taksim-Aksaray Yönü Akşam Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



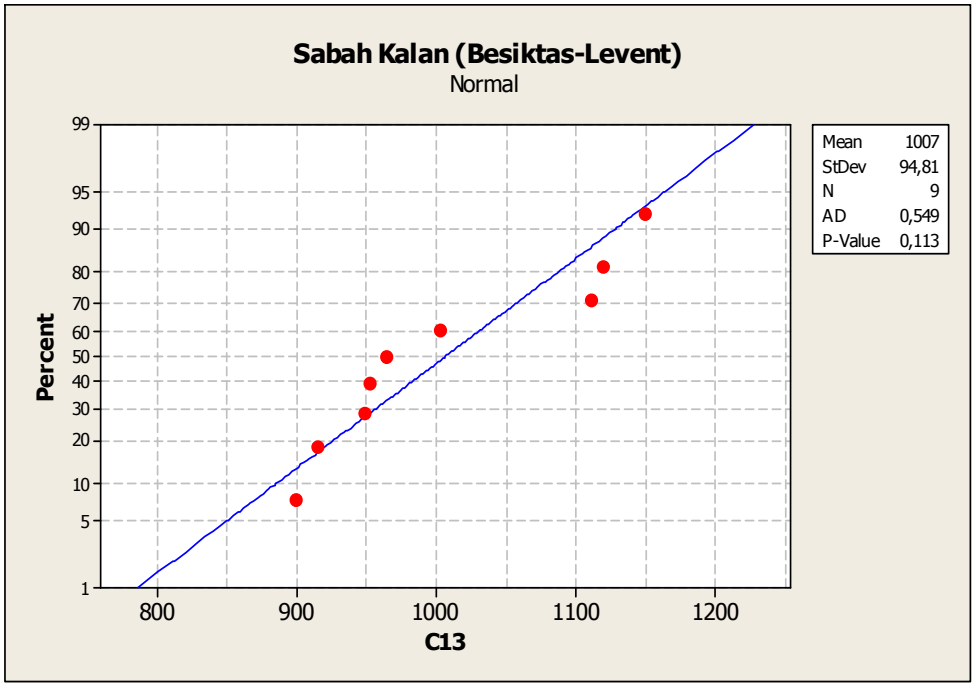

**Şekil A.18:** Taksim-Aksaray Yönü Akşam Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı



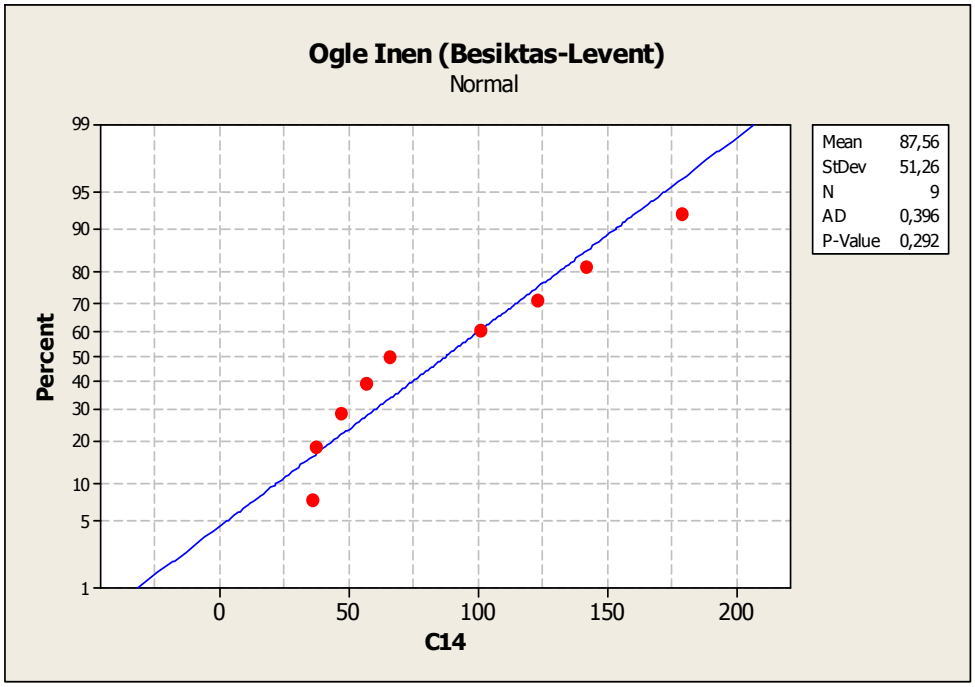

**Şekil A.19:** Beşiktaş-Levent Yönü Sabah Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



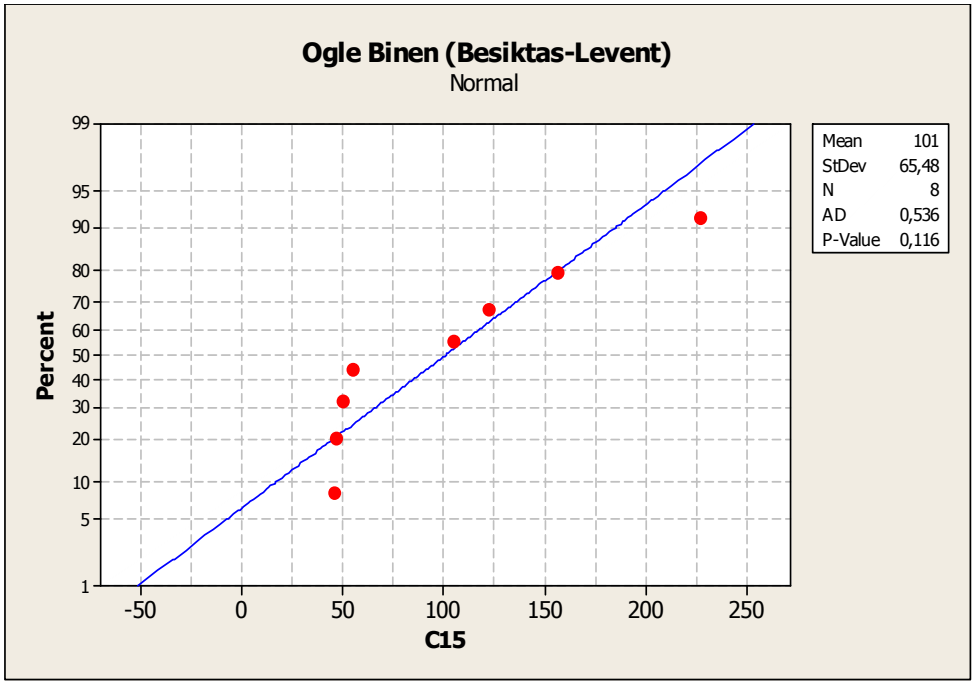

**Şekil A.20:** Beşiktaş-Levent Yönü Sabah Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



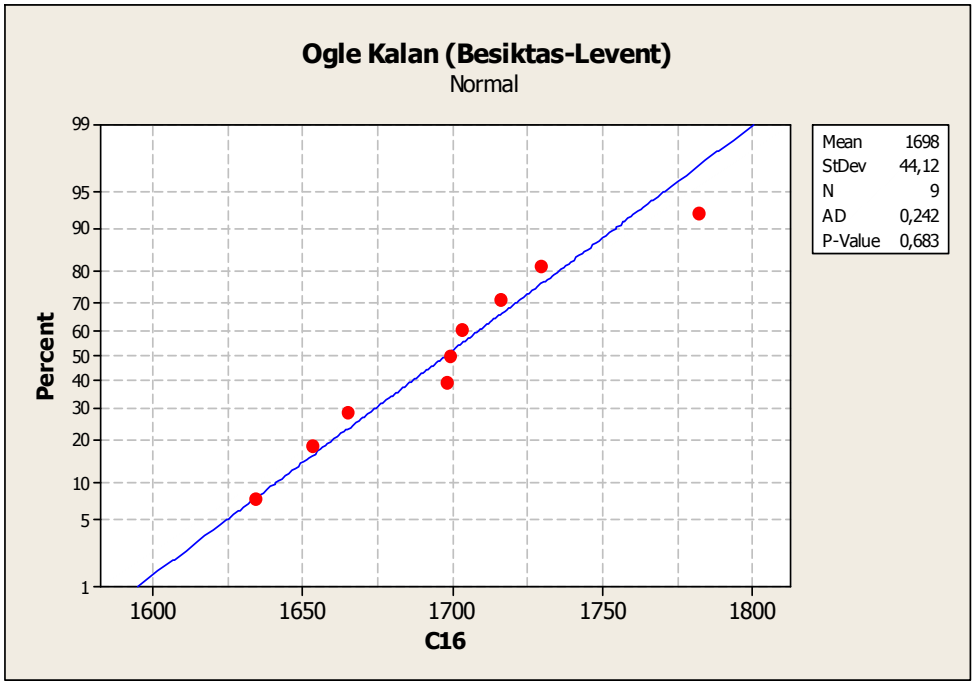

**Şekil A.21:** Beşiktaş-Levent Yönü Sabah Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı



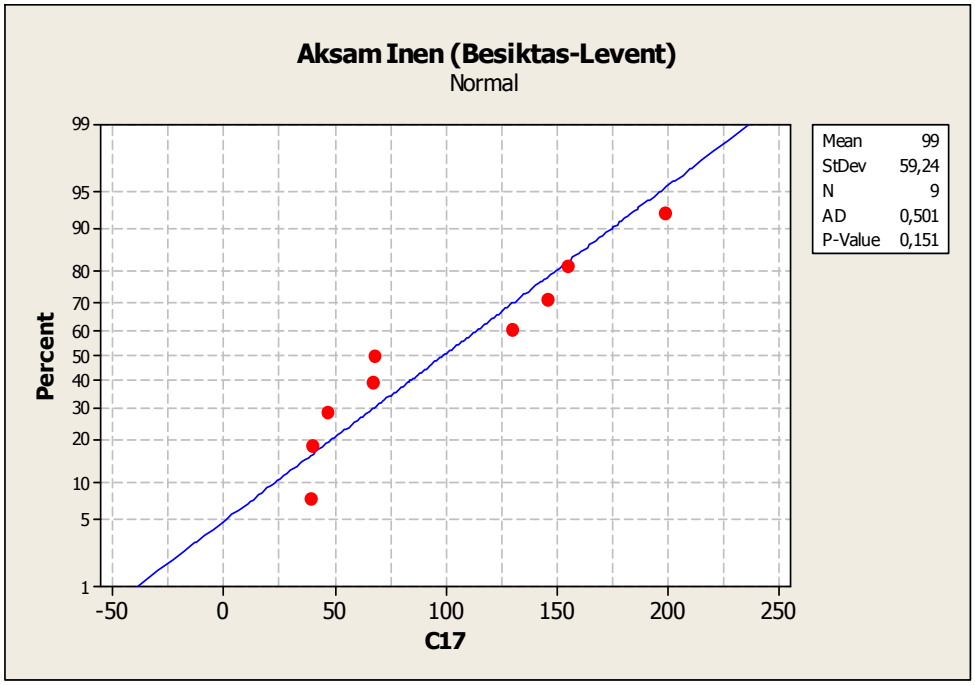

**Şekil A.22:** Beşiktaş-Levent Yönü Öğlen Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



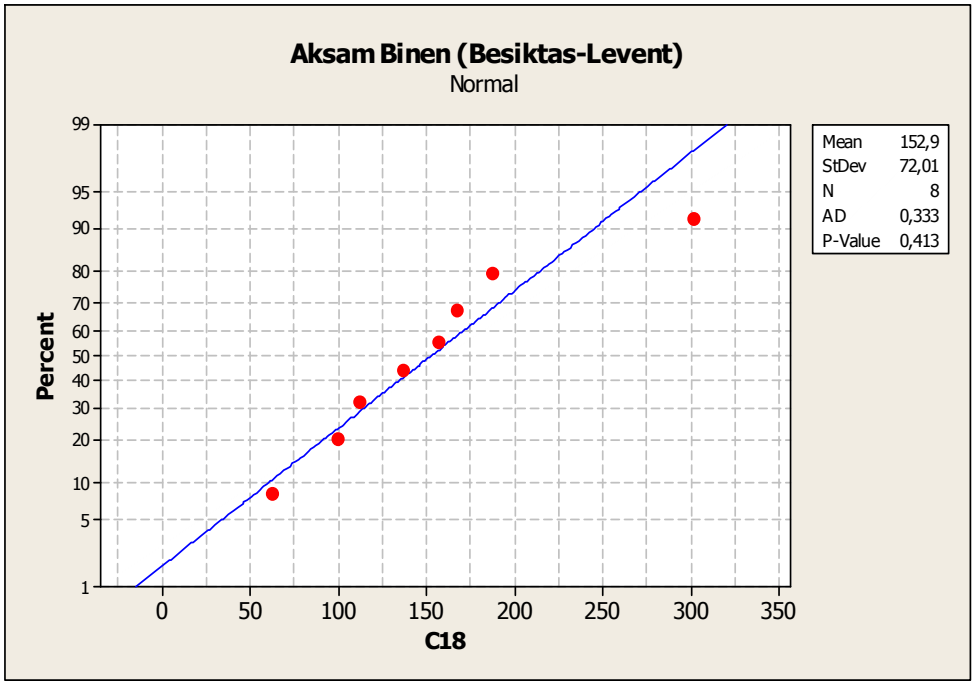

**Şekil A.23:** Beşiktaş-Levent Yönü Öğlen Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



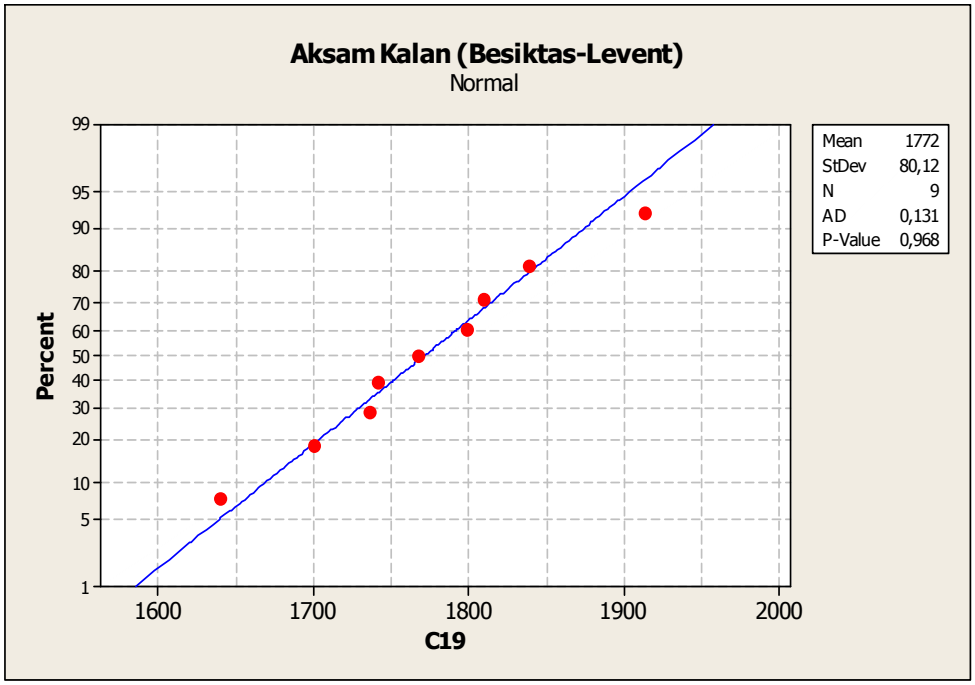

**Şekil A.24:** Beşiktaş-Levent Yönü Öğlen Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı



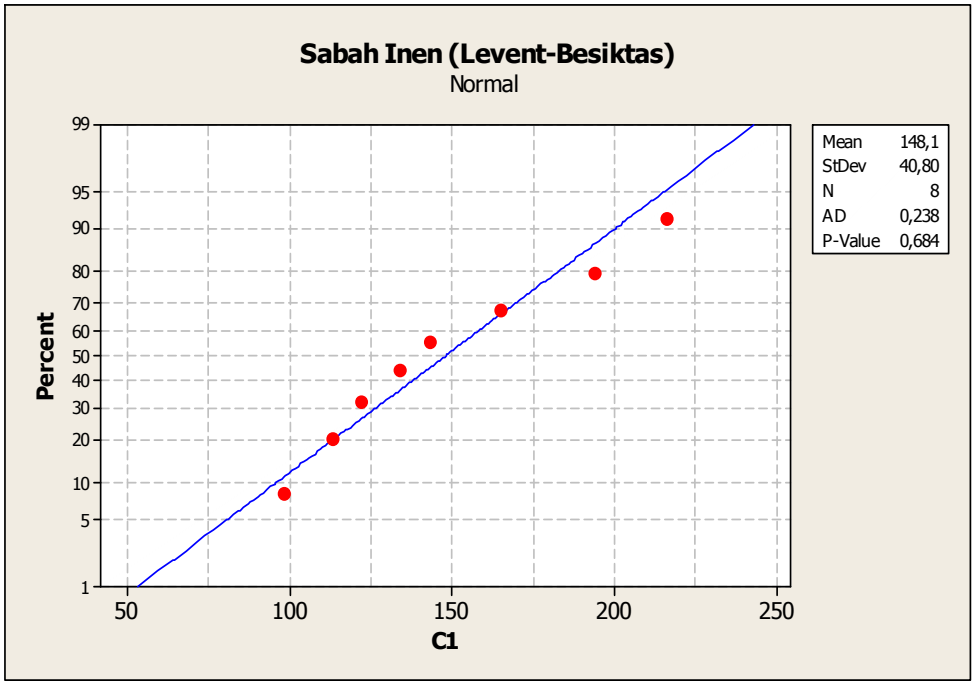

**Şekil A.25:** Beşiktaş-Levent Yönü Akşam Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



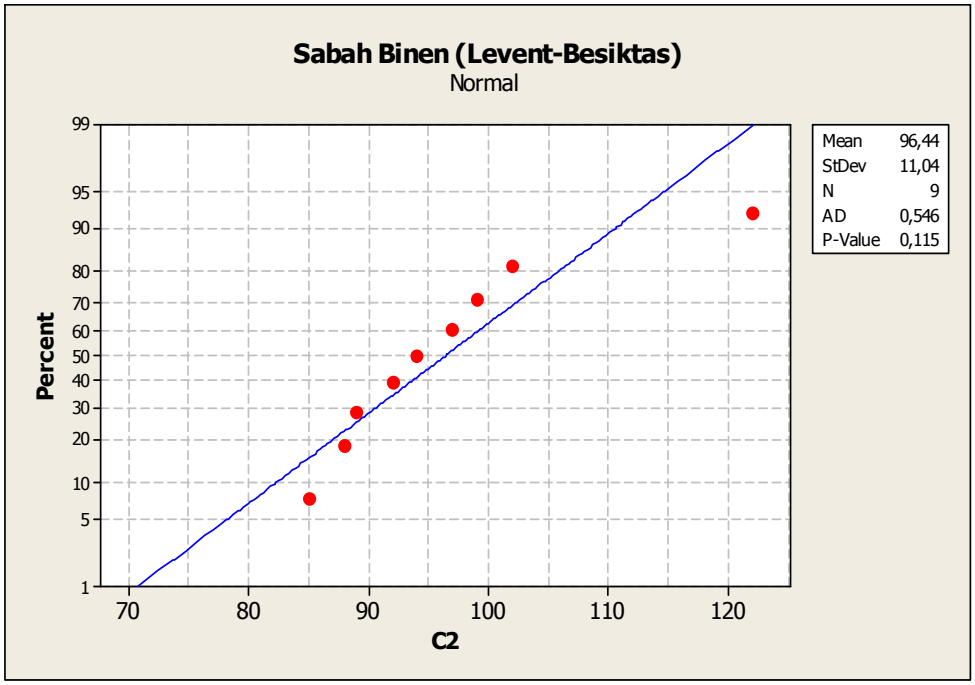

**Şekil A.26:** Beşiktaş-Levent Yönü Akşam Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



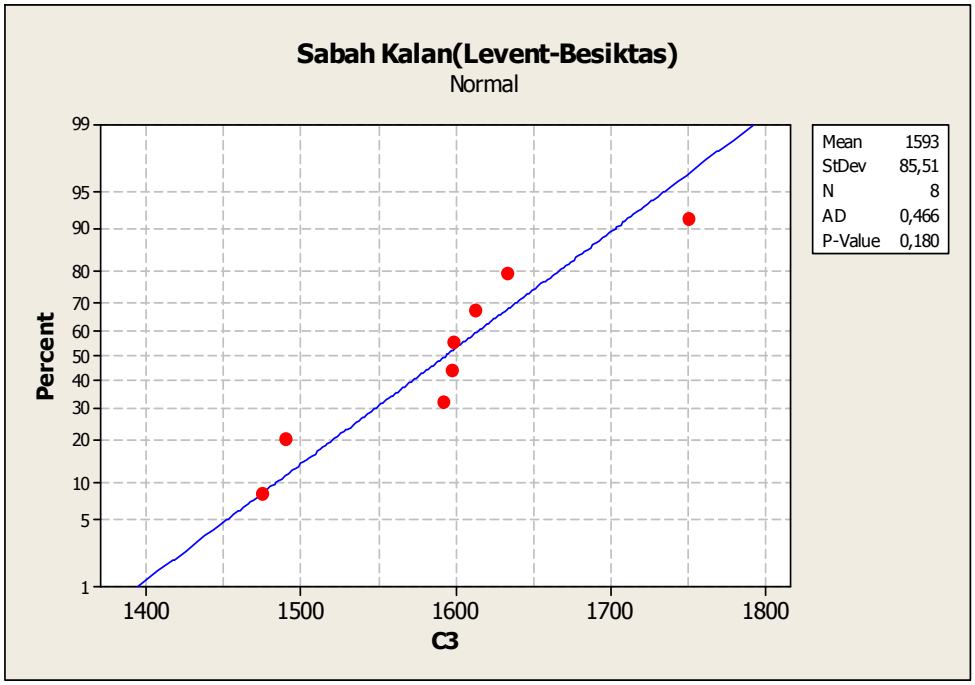

**Şekil A.27:** Beşiktaş-Levent Yönü Akşam Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı



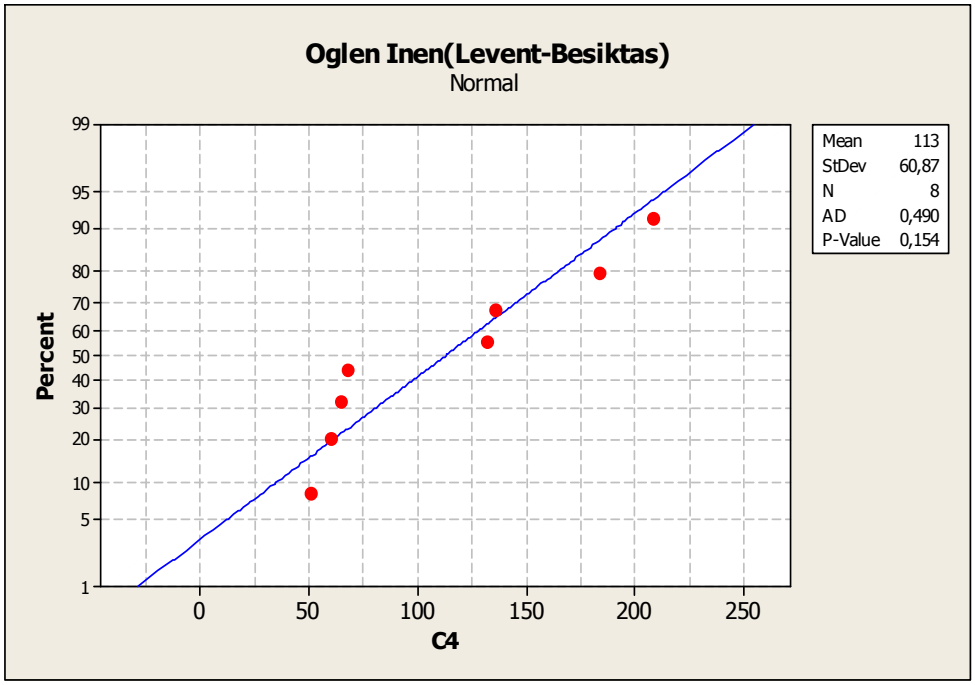

**Şekil A.28:** Levent-Beşiktaş Yönü Sabah Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



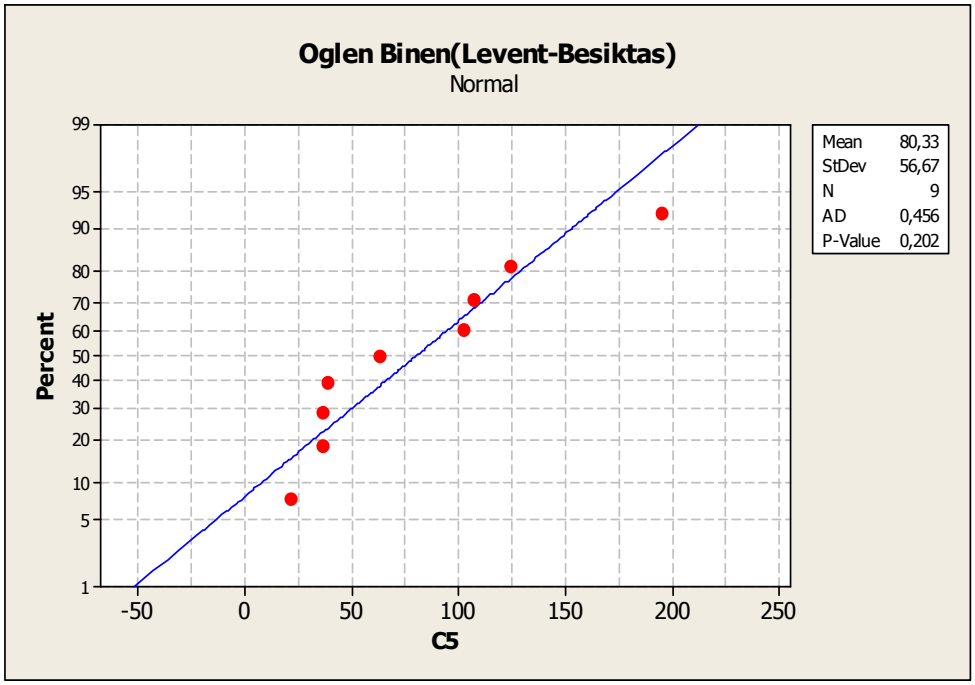

**Şekil A.29:** Levent-Beşiktaş Yönü Sabah Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



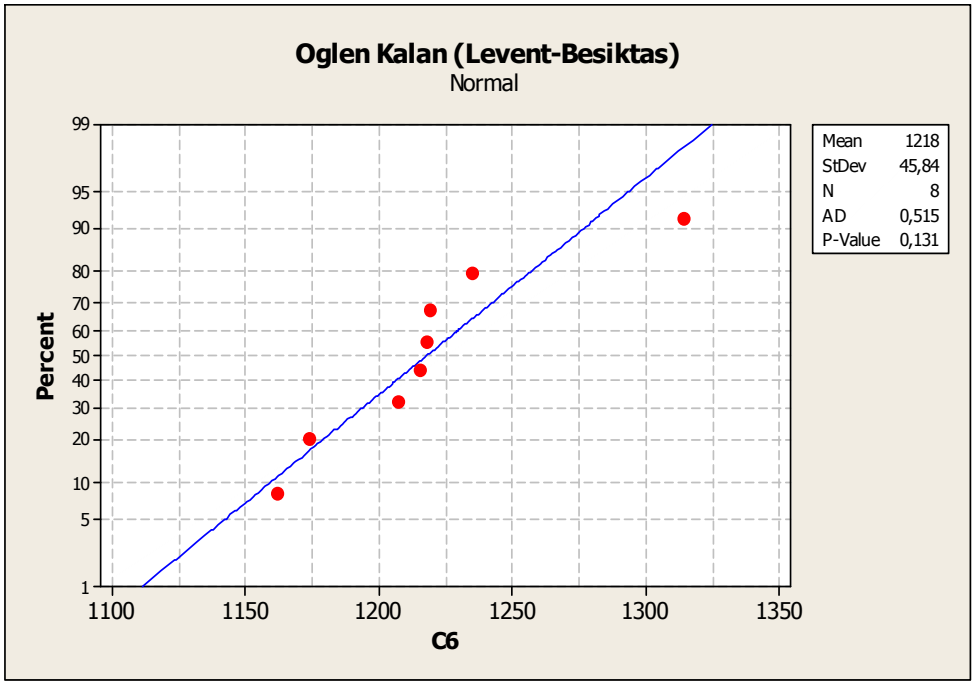

**Şekil A.30:** Levent-Beşiktaş Yönü Sabah Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı



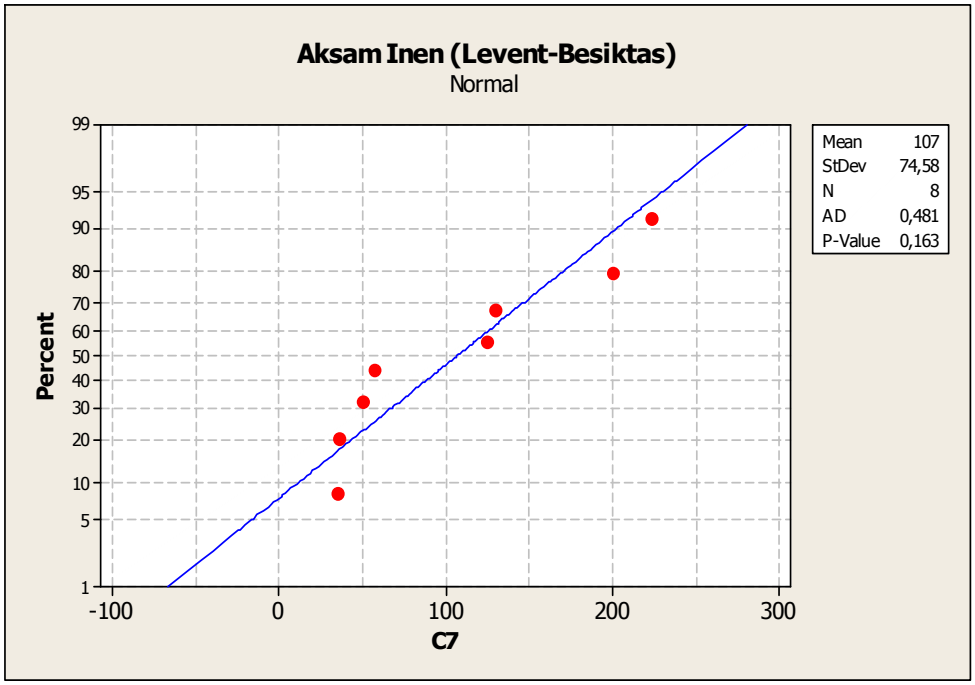

**Şekil A.31:** Levent-Beşiktaş Yönü Öğlen Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı



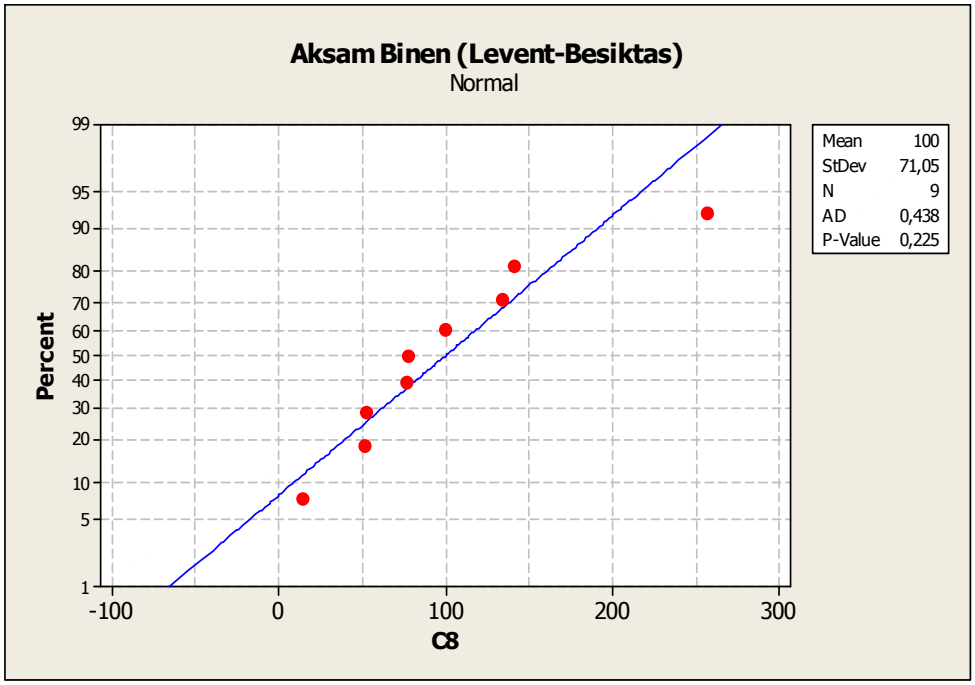

**Şekil A.32:** Levent-Beşiktaş Yönü Öğlen Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı



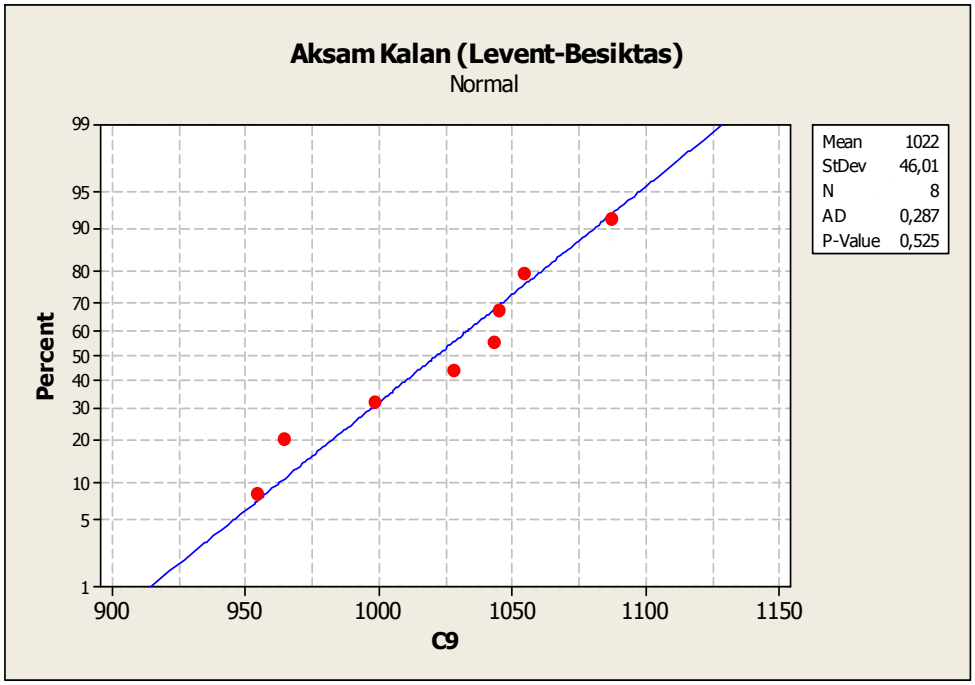

**Şekil A.33:** Levent-Beşiktaş Yönü Öğlen Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı




**Şekil A.34:** Levent-Beşiktaş Yönü Akşam Zirvesinde İnen Yolcu Sayısı




**Şekil A.35:** Levent-Beşiktaş Yönü Akşam Zirvesinde Binen Yolcu Sayısı




**Şekil A.36:** Levent-Beşiktaş Yönü Akşam Zirvesinde Kalan Yolcu Sayısı

# EK B

İTÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜH. ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA MÜH. BÖLÜMÜ
DOKTORA PROGRAMI

TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ SEÇİMİNDE KARAR VERME ÖLÇÜTLERİ
ANKET FORMU

Anket No:
İsim:

**Bölüm 1**

Aşağıda, bir kent içi koridorda yapılması düşünülen toplu taşıma sistemi için göz önüne alınması gereken bazı ölçütler sıralanmıştır. Lütfen bu ölçütlerin her birine, bir karar verici bakış açısıyla, sistem seçiminde taşıdığı önemi gösterir şekilde 1 ile 5 arasında değişen sayılar atayınız.

Puanlama şu şekildedir:

| Hiç Önemli Değil | Önemli Değil | Olabilir | Önemli | Çok Önemli |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ SEÇİMİNDE ETKİLİ ÖLÇÜTLER

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1) Yolculuk süresi | | | | | |
| 2) Yolculuk maliyeti | | | | | |
| 3) Durakta bekleme süresi | | | | | |
| 4) Araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı | | | | | |
| 5) Yolcu taşıma kapasitesi | | | | | |
| 6) Araç konforu | | | | | |
| 7) Toplam yapım maliyeti | | | | | |
| 8) İşletme ve bakım maliyeti | | | | | |
| 9) Hava kirliliğine etkisi | | | | | |
| 10) Gürültü kirliliğine etkisi | | | | | |
| 11) Görüntü kirliliğine etkisi | | | | | |
| 12) Ulaşım ana planına uygunluk | | | | | |
| 13) Kentin tarihi dokusuna uygunluk | | | | | |
| 14) Kentsel yapıya uygunluk | | | | | |
| 15) Yapım ve işletmeye açılma süresi | | | | | |
| 16) Kazaya karışma olasılığı | | | | | |
| 17) Talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği | | | | | |
| 18) Proje ömrü ve proje ömrü sonundaki değeri | | | | | |

**Bölüm 2**

Aşağıda, sayısal olarak ifade edilmesi güç bazı ölçütler sıralanmıştır.
"Tramvay" ve "tercihli otobüs yolu" seçeneklerinin önemini, aşağıdaki ölçütleri dikkate alarak belirtiniz.

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1) Durakta bekleme süresi | Tramvay | | | | | |
| | T. Otobüs Yolu | | | | | |
| 2) Araçlara (duraklara) ulaşabilme kolaylığı | Tramvay | | | | | |
| | T. Otobüs Yolu | | | | | |
| 3) Araç konforu | Tramvay | | | | | |
| | T. Otobüs Yolu | | | | | |
| 4) Hava kirliliğine etkisi | Tramvay | | | | | |
| | T. Otobüs Yolu | | | | | |
| 5) Gürültü kirliliğine etkisi | Tramvay | | | | | |
| | T. Otobüs Yolu | | | | | |
| 6) Görüntü kirliliğine etkisi | Tramvay | | | | | |
| | T. Otobüs Yolu | | | | | |
| 7) Kentin tarihi dokusuna uygunluk | Tramvay | | | | | |
| | T. Otobüs Yolu | | | | | |
| 8) Kentsel yapıya uygunluk | Tramvay | | | | | |
| | T. Otobüs Yolu | | | | | |
| 9) Talepteki değişimlere uyum sağlama yeteneği | Tramvay | | | | | |
| | T. Otobüs Yolu | | | | | |
| 10) Proje ömrü ve proje ömrü sonundaki değeri | Tramvay | | | | | |
| | T. Otobüs Yolu | | | | | |

# ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Üsküdar'da doğan İnş. Y. Müh. Murat Akad, ilk öğrenimini İstanbul'da 1979 yılında, orta öğrenimini de aynı kentte 1986 yılında tamamladı. Aynı yıl, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. Şubat 1991'de bu bölümden mezun oldu. Ekim 1991'de İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. "Eşdüzey Kavşak Kapasite Analiz Yöntemleri" başlıklı tezini Ocak 1994'de tamamlayarak yüksek lisans derecesi aldı. Şubat 1994'de aynı programda doktora öğrenimine başladı. Ekim 1991'den bu yana İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Ulaştırma Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.