

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RAYLI SİSTEM FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARINDA
SOSYAL VE ÇEVRESEL FAYDA
BİLEŞENLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ



Aziz Talha GÜLÜMSER

Mayıs, 2022

İZMİR

**RAYLI SİSTEM FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARINDA
SOSYAL VE ÇEVRESEL FAYDA
BİLEŞENLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı

Aziz Talha GÜLÜMSER

Mayıs, 2022

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

AZİZ TALHA GÜLÜMSER, tarafından **DOÇ. DR. MUSTAFA ÖZUYSAL** yönetiminde hazırlanan, “**RAYLI SİSTEM FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARINDA SOSYAL VE ÇEVRESEL FAYDA BİLEŞENLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Mustafa ÖZUYSAL

Yönetici

.....
Prof. Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI

Jüri Üyesi

.....
Doç. Dr. Yalçın ALVER

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca danışmanlığımı üstlenen, tüm akademik çalışmalarında büyük emeği olan, bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren, kendisine ne zaman danışsam bana zaman ayırıp sabırla ve ilgiyle yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa ÖZUYSAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Yol gösterici, engin deneyim ve tecrübeleriyle eğitim hayatım boyunca değerli tavsiyeleri için değerli hocam Sayın Prof. Dr. Serhan TANYEL’e teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca her zaman desteklerini yanımda hissettiğim Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Anabilim Dalı öğretim üyeleri Sayın Prof. Dr. Burak ŞENGÖZ’e, Sayın Prof. Dr. Ali TOPAL’a, ve Sayın Doç. Dr. S. Pelin ÇALIŞKANELLİ’ye teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmasının yaşam döngüsü analizi kısmında GaBi yazılımı ile ilgili bilgi ve tecrübelerini paylaşan, çalışmam için kıymetli zamanlarını ayıran, sabırla ve hoşgörüyle bana yardımcı olan hocam Sayın Prof. Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI’ya ve Sayın Sema BAHAR ERDEM’e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, bana güvenen, desteklerini ve sevgilerini bana hissettiren aileme; annem Fadime GÜLÜMSER’e, babam Hayrettin GÜLÜMSER’e ve kardeşim Sena Nur GÜLÜMSER’e sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının gerçekleştirildiği 2021.KB.FEN.019 no.lu projesi için Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi’ne teşekkürlerimi sunarım.

Aziz Talha GÜLÜMSER

RAYLI SİSTEM FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARINDA SOSYAL VE ÇEVRESEL FAYDA BİLEŞENLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ

ÖZ

Ulaştırma projelerinin en önemlilerinden biri olan raylı sistem projeleri sağladıkları pek çok avantaj sebebiyle günümüzde sıklıkla tercih edilen bir politika yaklaşımıdır. Bu projelerin yapımına karar verilmeden önce fayda maliyet analizi süzgecinden geçirilmeleri gerekmektedir. Tez kapsamında ilk olarak raylı sistem projelerinin değerlendirme sürecinde kullanılan fayda maliyet analizi parametrelerinin ülkeler bazında karşılaştırılması yapılmaktadır. Bu karşılaştırmaya Türkiye’de yapılan bazı fizibilite çalışmaları da dahil edilmiş olup ülkemizde yapılan çalışmalarla diğer ülkelerdeki çalışmaların karşılaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra örnek olarak seçilen Çiğli Tramvay Hattı projesi için bir fayda maliyet analizi yapılmıştır. Bu fayda maliyet analizi kapsamında genel olarak kullanılan parametrelere ek olarak gürültü kirliliği, çevre kirliliği ve erişilebilirlik parametreleri de eklenmiş ve yeni hesaplamalar yapılmıştır. Gürültü kirliliği hesabı için Avrupa ülkelerini kapsayan ortak bir çalışmadan gerekli gürültü değerleri alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Çevre kirliliği parametresinin fayda maliyet analizindeki etkisini ölçmek amacıyla ise GaBi yazılımı kullanılmıştır. Bu sayede tramvay hattının yapılmasıyla ortaya çıkan çevresel etkiler fayda maliyet analizi hesaplarına eklenmiştir. Ayrıca ulaşım sistemleri performansını ölçmede kullanılan en etkin araçlardan biri olan erişilebilirlik ölçütü, kullanıcı faydasını fizibilite çalışmasına yansıtmada kullanılmıştır. Eklenen yeni parametrelerle fayda maliyet analizi hesaplamaları yeniden yapılmıştır. Sonuç olarak 111 902 658 € net bugünkü değer, %12,42 iç verim oranı ve 1,68 fayda/maliyet oranı sonuçlarına ulaşılmıştır. Böylece hattın yapılabilir olduğu ve gürültü, çevre kirliliği ve erişilebilirlik gibi yeni parametrelerin kullanımının değerlendirmelere olumlu bir etki kattığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Raylı sistem projeleri, fizibilite, fayda maliyet analizi, çevresel etkiler, erişilebilirlik

ANALYSIS OF SOCIAL AND ENVIRONMENTAL BENEFIT COMPONENTS IN FEASIBILITY STUDIES OF RAILWAY SYSTEMS

ABSTRACT

Rail system projects, which are one of the most important transportation projects, are a policy approach that is often preferred today due to the many advantages they provide. Before the construction of these projects is decided, they need to be filtered through cost-benefit analysis. Within the scope of the thesis, first of all, the cost-benefit analysis parameters used in the evaluation process of the rail system projects are compared on the basis of countries. Some feasibility studies conducted in Turkey were also included in this comparison, and a comparison of the studies conducted in our country with those in other countries was provided. Then, a cost-benefit analysis was carried out for the Çiğli Tram Line project, which was selected as an example. In addition to the parameters generally used within the scope of this cost-benefit analysis, noise pollution, environmental pollution and accessibility parameter were added and new calculations were made. For the noise pollution calculation, the necessary noise values were taken from a joint study covering European countries and calculations were made. In order to measure the effect of environmental pollution parameter on cost-benefit analysis, GaBi software was used. In this way, the environmental effects caused by the construction of the tram line were added to the cost-benefit analysis calculations. In addition, the accessibility criterion, which is one of the most effective tools used to measure the performance of transportation systems, has been used to reflect user benefit in the feasibility study. The cost-benefit analysis calculations were made again with the new parameters added. As a result, the results of 111 902 658 € net present value, 12.42% internal rate of return and 1.68% benefit/cost ratio were achieved. Thus, it has been seen that the tram line is feasible and the use of new parameters such as noise, environmental pollution and accessibility has added a positive effect to the evaluations.

Keywords: Railway system projects, feasibility, cost-benefit analysis, environmental impacts, accessibility

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
KISALTMALAR.....	xvi

BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....	1
-------------------------------	----------

BÖLÜM İKİ - RAYLI SİSTEM YATIRIMLARINDA FAYDA MALİYET ANALİZİ.....	4
---	----------

2.1 Giriş.....	4
2.2 Fayda Maliyet Analizi Temel Değerlendirme Ölçütleri.....	7
2.2.1 Net Bugünkü Değer.....	8
2.2.1.1 İskonto Oranı.....	8
2.2.1.2 Değerlendirme Süresi.....	9
2.2.2 İç Verim Oranı.....	9
2.2.3 Fayda Maliyet Oranı.....	10
2.3 Raylı Sistem Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesi.....	11
2.3.1 Durumun Açıklanması.....	11
2.3.2 Hedeflerin Tanımlanması.....	12
2.3.3 Projenin Tanımlanması.....	12
2.3.4 Trafik Hacminin Tahmini.....	13
2.3.4.1 Mevcut Trafik.....	13
2.3.4.2 Yönlendirilmiş Trafik.....	13
2.3.4.3 Oluşturulan/İndüklenen Trafik.....	13
2.3.5 Opsiyon Analizi.....	13
2.3.6 Finansal Analiz.....	14

2.3.6.1 Finansal İskonto Oranı.....	15
2.3.6.2 Yatırım Maliyetleri.....	15
2.3.6.2.1 Planlama Maliyetleri.....	15
2.3.6.2.2 Arazi ve Mülk Maliyetleri.....	15
2.3.6.2.3 İnşaat Maliyetleri.....	16
2.3.6.3 İşletme ve Bakım Maliyetleri.....	16
2.3.6.4 Artık Değer (Kalıntı Değer).....	16
2.3.6.5 Proje Gelirleri.....	17
2.3.6.6 Finansal Karlılık.....	17
2.3.7 Ekonomik Analiz.....	18
2.3.7.1 Giriş.....	18
2.3.7.1.1 Genelleştirilmiş Maliyet.....	19
2.3.7.1.2 Ödeme İsteği.....	19
2.3.7.1.3 Tüketici Fazlası.....	19
2.3.7.2 Sosyal İskonto Oranı.....	21
2.3.7.3 Gölge Fiyat Kavramı ve Standart Dönüştürme Faktörü.....	22
2.3.7.4 Seyahat Süresinin Tasarrufu.....	23
2.3.7.4.1 Çiğli Tramvay Hattı Fizibilite Etüdünde Kullanılan Yöntem.....	24
2.3.7.4.2 Kaplan (2014) Tarafından Hazırlanan Yüksek Lisans Tezinde Kullanılan Yöntem.....	25
2.3.7.4.3 U.S. Department of Transportation’a (2016) göre Seyahat Süresi Tasarrufu.....	26
2.3.7.4.4 Kerkük-Süleymaniye Demiryolu Projesinde Kullanılan Yöntem.....	27
2.3.7.5 Araç İşletme Maliyetlerinden Tasarruf.....	28
2.3.7.5.1 Çiğli Tramvay Hattı Fizibilite Etüdünde Kullanılan Yöntem.....	28
2.3.7.6 Kaza Maliyetlerinden Tasarruf.....	29
2.3.7.6.1 Çiğli Tramvay Hattı Fizibilite Etüdünde Kullanılan Yöntem.....	31
2.3.7.6.2 U.S. Department of Transportation’a (2016) göre Kaza Maliyetlerinden Tasarruf.....	31
2.3.7.6.3 Railpag (2003)’de önerilen yöntem.....	32
2.3.7.7 Gürültü Maliyetlerinden Tasarruf.....	33

2.3.7.7.1 European Commission (2014) tarafından oluşturulan “Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects” kapsamında gürültü maliyeti değerlendirmesi.....	34
2.3.7.8 İklim Değişikliğinden Sağlanan Faydalar.....	36
2.3.7.8.1 Handbook on Estimation of External Costs in The Transport Sector çalışmasında kullanılan yöntem.....	36
2.3.7.9 Hava Kirliliği Tasarrufu.....	37
2.3.7.9.1 U.S. Department of Transportation’a (2016) göre hava kirliliği emisyonlarının hesap yöntemi.....	38
2.3.7.9.2 “Adapted cost-benefit analysis methodology for innovative railway services” adlı makalede kullanılan yöntem.....	40
2.3.7.9.3 Çiğli Tramvay Hattı Fizibilite Etüdünde (2017) Kullanılan Yöntem.....	40
2.3.8 Risk Değerlendirmesi.....	41
2.4 Raylı Sistem Fizibilite Çalışmalarının Uluslararası Karşılaştırılması.....	42
2.4.1 Fayda Maliyet Analizi Temel Değerlendirme Ölçütlerinin Karşılaştırılması.....	42
2.4.2 Fayda Maliyet Analizi Ana Parametrelerinin Karşılaştırılması.....	44
2.4.2.1 Maliyet Bileşenlerinin Karşılaştırılması.....	46
2.4.2.2 Fayda Bileşenlerinin Karşılaştırılması.....	47
2.4.2.2.1 Seyahat Süresinden Tasarruf Bileşeninin Karşılaştırılması....	47
2.4.2.2.2 Araç İşletme Maliyetlerinden Tasarruf Bileşeninin Karşılaştırılması.....	48
2.4.2.2.3 Kaza Maliyetlerinden Tasarruf Bileşeninin Karşılaştırılması	48
2.4.2.2.4 Gürültü Kirliliği Bileşeninin Karşılaştırılması.....	48
2.4.2.2.5 İklim Değişikliği Bileşeninin Karşılaştırılması.....	49
2.4.2.2.6 Hava Kirliliği Bileşeninin Karşılaştırılması.....	49
2.4.3 Türkiye’de Yapılan Fizibilite Çalışmalarının Uluslararası Düzeyde Karşılaştırılması.....	50

BÖLÜM ÜÇ – SOSYAL FAYDA ÖLÇÜTÜ OLARAK ERİŞİLEBİLİRLİK.. 53

3.1 Giriş.....	53
3.2 Erişilebilirlik.....	55
3.3 Ulaşım Sistemi Performans Ölçütleri Bakımından Erişilebilirlik.....	55
3.4 Erişilebilirlik Bileşenleri.....	57
3.4.1 Arazi Kullanım Bileşeni.....	57
3.4.2 Ulaşım Bileşeni.....	57
3.4.3 Zamansal Bileşen.....	58
3.4.4 Bireysel Bileşen.....	58
3.5 Erişilebilirlik Ölçüm Yöntemleri.....	58
3.5.1 Altyapı Tabanlı Erişilebilirlik.....	59
3.5.2 Aktivite Tabanlı Erişilebilirlik.....	59
3.5.2.1 Mesafe Ölçütleri.....	59
3.5.2.2 İzokronal Ölçüt.....	59
3.5.2.3 Potansiyel Erişilebilirlik.....	60
3.5.2.4 Ters Dengeleme Faktörleri.....	61
3.5.2.5 Konum Zaman Etkili Erişilebilirlik.....	61
3.5.3 Fayda Tabanlı Erişilebilirlik.....	61

BÖLÜM DÖRT – YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ..... 64

4.1 Giriş.....	64
4.2 Yaşam Döngüsü Analizinin Tarihçesi.....	66
4.3 Yaşam Döngüsü Analizinin Yapısı.....	67
4.3.1 Amaç ve Kapsamı Tanımı.....	68
4.3.2 Envanter Analizi.....	68
4.3.3 Etki Değerlendirmesi.....	69
4.3.4 Yorumlama.....	69
4.4 YDA'nın Kullanıldığı Çalışmalardan Örnekler.....	70

**BÖLÜM BEŞ - RAYLI SİSTEM PROJELERİNDE FİZİBİLİTE
ÇALIŞMALARINA İLİŞKİN BİR UYGULUMA: ÇİĞLİ TRAMVAY HATTI
PROJESİ..... 73**

5.1 Çiğli Tramvay Hattı Projesine İlişkin Genel Bilgiler.....	73
5.2 Çiğli Tramvay Hattının İşletme Planı ve Gerekli Araç Sayıları.....	76
5.3 Çiğli Tramvay Hattı Projesinin Ekonomik Fizibilite Çalışması.....	79
5.3.1 Çiğli Tramvay Hattının Maliyet Kalemlerinin Hesaplanması.....	80
5.3.1.1 Yatırım Maliyetleri.....	80
5.3.1.2 Tramvay Araçlarının Yatırım Maliyetleri.....	80
5.3.1.3 İşletme ve Bakım Maliyetleri.....	81
5.3.1.4 Artık Değerin Hesabı.....	83
5.3.2 Çiğli Tramvay Hattının Yapımının Sağlayacağı Fayda Kalemlerinin Hesaplanması.....	84
5.3.2.1 Seyahat Süresinin Tasarrufu.....	84
5.3.2.2 Araç İşletme Maliyetlerinden Tasarruf.....	87
5.3.2.3 Karayolu Kaza Maliyetlerinden Tasarruf.....	90
5.3.2.4 Otobüslerin Yatırım Maliyetlerinden Sağlanan Tasarruf.....	91
5.3.2.5 Karayolu Bakım Onarım Maliyetlerinden Yapılan Tasarruf.....	91
5.3.2.6 Gürültü Maliyetlerinden Tasarruf.....	94
5.4 Çevresel Etkilerin Yaşam Döngüsü Analizi Kullanılarak Fizibilite Çalışmasına Katılması.....	97
5.4.1 Çalışmada Kullanılan GaBi Programı.....	97
5.4.2 Çiğli Tramvay Hattı'nın Yaşam Döngüsü Analizi.....	99
5.4.2.1 Amaç ve Kapsam Belirleme.....	99
5.4.2.2 Yaşam Döngüsü Envanter Analizi.....	100
5.4.2.2.1 Ray Hattının İnşaatı.....	100
5.4.2.2.2 Raylı Sistem Hattının İşletilmesi.....	101
5.4.2.2.3 Tren Aracının Üretilmesi.....	102
5.4.2.2.4 Otomobil ve Otobüslerin Üretimi ve İşletilmesi.....	103
5.4.2.2.5 Asfalt Üretimi ve Kullanımı.....	104
5.4.2.3 Yaşam Döngüsü Etki Analizi.....	107

5.4.2.3.1 Etki Kategorileri.....	108
5.4.2.3.2 Demiryolu Hattının İnşaatı ve İşletilmesinden Kaynaklanan Emisyonlar.....	109
5.4.2.3.3 Otomobil ve Otobüslerden Kaynaklanan Emisyonlar.....	111
5.4.2.3.4 Asfalt Üretimi ve İnşaatından Kaynaklanan Emisyonlar.....	118
5.4.2.3.5 Çevresel Etkilerin Parasal Değerlere Dönüştürülmesi.....	120
5.4.2.4 Yorumlama.....	125
5.5 Erişilebilirlik Kaynaklı Sosyal Faydanın Hesaplanması ve Fizibilite Çalışmasına Katılması.....	128
BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	138
KAYNAKLAR.....	144

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yatırım projelerinde fayda maliyet analizinin rolü.....	7
Şekil 2.2 Projesiz senaryoda tüketici fazlalığı.....	20
Şekil 2.3 Bir şeyler yapma senaryosunda tüketici fazlalığındaki değişiklik.....	20
Şekil 3.1 Erişilebilirlik ölçüm yöntemleri.....	58
Şekil 4.1 YDA aşamaları.....	65
Şekil 4.2 YDA aşamalarının birbirleriyle ilişkisi.....	67
Şekil 4.3 Etki analizinde zorunlu ve opsiyonel aşamalar.....	69
Şekil 5.1 Çiğli tramvay hattı genel güzergah planı.....	74
Şekil 5.2 Çiğli tramvay hattı ayrıntılı güzergah planı.....	75
Şekil 5.3 GaBi yazılımı arayüzü.....	98
Şekil 5.4 Fonksiyonel birimler ve sistem yapısı.....	100
Şekil 5.5 Karşıyaka tramvayına ait elektrik tüketimi.....	101
Şekil 5.6 Tramvay hattının yapımı, işletilmesi ve tren araçlarının yapımı için oluşturulmuş model.....	110
Şekil 5.7 Verilerin girilmesi için oluşturulan “process” aşaması.....	110
Şekil 5.8 Benzin kullanan otomobiller için oluşturulmuş model.....	112
Şekil 5.9 Verilerin girilmesi için oluşturulan “process” aşaması.....	112
Şekil 5.10 Dizel yakıt kullanan otomobiller için oluşturulmuş model.....	113
Şekil 5.11 Verilerin girilmesi için oluşturulan “process” aşaması.....	114
Şekil 5.12 LPG kullanan otomobiller için oluşturulmuş model.....	115
Şekil 5.13 Verilerin girilmesi için oluşturulan “process” aşaması.....	115
Şekil 5.14 Otobüsler için oluşturulmuş model.....	116
Şekil 5.15 Otobüsler için oluşturulan “process” aşaması.....	117
Şekil 5.16 Asfalt üretimi ve inşaatı için oluşturulmuş model.....	118
Şekil 5.17 Asfalt üretimi ve inşaatı için oluşturulan “process” aşaması.....	119
Şekil 5.18 Çevresel etkilerin iş kalemlerine göre dağılımları.....	126
Şekil 5.19 Parasal değerlerin pasta grafiği gösterimi.....	127
Şekil 5.20 Parasal değerlerinin sütun grafiği gösterimi.....	127
Şekil 5.21 Çiğli Tramvay hattının erişilebilirlik etki alanının belirlenmesi.....	130

Şekil 5.22 Çiğli ve çevresi için tramvay hattı öncesi için hesaplanan erişilebilirlik (İzmir UAP 2015 mevcut durum ataması).....	130
Şekil 5.23 Çiğli ve çevresi için tramvay hattı sonrası için hesaplanan erişilebilirlik (İzmir UAP 2020 senaryosu).....	131
Şekil 5.24 Tramvay hattı etki alanında erişilebilirlik değerlerinin değişimi.....	133



TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Tavsiye edilen saatlik seyahat zaman tasarrufu değerleri.....	26
Tablo 2.2 Kaza maliyetleri için önerilen değerler.....	32
Tablo 2.3 Toplam raylı sistem gündüz ve gece marjinal değerleri.....	34
Tablo 2.4 Marjinal dış gürültü maliyetleri.....	35
Tablo 2.5 Yakıt tüketimi birimi başına iklim değişikliği maliyetleri.....	37
Tablo 2.6 Emisyon değerleri	38
Tablo 2.7 Karbonun sosyal maliyeti.....	39
Tablo 2.8 Değerlendirme ölçütlerinin uluslararası düzeyde karşılaştırılması.....	43
Tablo 2.9 FMA ana parametrelerinin uluslararası düzeyde karşılaştırılması.....	45
Tablo 5.1 Günlük ve yıllık yolcu sayıları.....	75
Tablo 5.2 Öngörülen tramvay çalışma saatleri.....	76
Tablo 5.3 Sefer aralıkları.....	77
Tablo 5.4 Dizi/araç sayıları.....	78
Tablo 5.5 Tramvay işletme saatleri.....	78
Tablo 5.6 Yıllık araç/yolcu km ve araç/yolcu saat değerleri.....	79
Tablo 5.7 Hattın yatırım maliyetleri.....	80
Tablo 5.8 Tramvay araçlarının maliyetleri.....	81
Tablo 5.9 Tramvay işletme ve bakım birim maliyetleri.....	81
Tablo 5.10 Personel sayıları ve ücretleri.....	82
Tablo 5.11 İşletme ve bakım maliyetleri.....	83
Tablo 5.12 GSYH'nin gelir dilimlerine dağılımı ve kişi başına saatlik zaman değerleri.....	85
Tablo 5.13 Yolculuk zaman maliyetlerinde azalma.....	86
Tablo 5.14 Taşıt işletme ve bakım birim maliyetleri.....	87
Tablo 5.15 Otobüs ve otomobillerin taşıt-km değerleri.....	88
Tablo 5.16 Karayolu taşıt işletme maliyetlerinde azalma.....	89
Tablo 5.17 Karayolu kaza maliyetlerinden sağlanan tasarruflar.....	90
Tablo 5.18 Otobüs yatırım maliyetlerinden tasarruf.....	92
Tablo 5.19 Karayolu bakım onarım maliyetlerinden tasarruf.....	93
Tablo 5.20 Gürültü maliyetleri.....	95

Tablo 5.21 Gürültü maliyetlerinden tasarruf.....	96
Tablo 5.22 Türkiye’de elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı.....	102
Tablo 5.23 Türkiye’de trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt türlerine göre dağılımları	103
Tablo 5.24 Hattın İnşaatı, işletilmesi ve tren üretimi sonucunda oluşan çevresel etkiler.....	111
Tablo 5.25 Benzin kullanan otomobiller için çevresel etki sonuçları.....	113
Tablo 5.26 Dizel kullanan otomobiller için çevresel etki sonuçları.....	114
Tablo 5.27 LPG kullanan otomobiller için çevresel etki sonuçları.....	116
Tablo 5.28 Otobüsler için çevresel etki sonuçları.....	117
Tablo 5.29 Asfalt üretimi ve inşaatı çevresel etki sonuçları.....	119
Tablo 5.30 Minimum, maksimum ve nihai parasal değerler.....	122
Tablo 5.31 Hattın inşaatının, işletilmesinin ve tren araçlarının üretiminin çevresel etkilerin parasal değerleri.....	122
Tablo 5.32 Benzin kullanan otomobillerden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri.....	123
Tablo 5.33 Dizel yakıt kullanan otomobillerden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri.....	123
Tablo 5.34 LPG kullanan otomobillerden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri.....	124
Tablo 5.35 Otobüslerden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri.....	124
Tablo 5.36 Asfalt üretimi ve inşaatından kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri.....	125
Tablo 5.37 Yaşam döngüsü analizi toplu sonuçları.....	126
Tablo 5.38 Parasal değerlerin toplu sonuçları.....	127
Tablo 5.39 Tramvay hattı etki alanında erişilebilirlik değerlerinin değişimi.....	132
Tablo 5.40 Erişilebilirlik değişiminin ekonomik değerinin hesaplanması.....	136
Tablo 5.41 Erişilebilirliğin parasal değeri	137
Tablo 5.42 Esas proje ile tez çalışmasında bulunan değerlerin karşılaştırılması....	141
Tablo 5.43 Ekonomik maliyet parametrelerinin hesaplanması.....	142
Tablo 5.44 Ekonomik fayda parametrelerinin hesaplanması.....	143

KISALTMALAR

FMA	: Fayda Maliyet Analizi
FNBD	: Finansal Net Bugünkü Değer
ENBD	: Ekonomik Net Bugünkü Değer
AB	: Avrupa Birliği
NBD	: Net Bugünkü Değer
İVO	: İç Verim Oranı
FMO	: Fayda Maliyet Oranı
TÜFE	: Tüketici Fiyat Endeksi
FRR	: Finansal Getiri Oranı
SDF	: Standart Dönüştürme Faktörleri
GSYH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
SSTD	: Seyahat Süresi Tasarruf Değeri
VOSL	: İstatistiksel Yaşamın Değeri
HEATCO	: Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment
YDA	: Yaşam Döngüsü Analizi
MRI	: Midwest Research Institute
SETAC	: Çevre Toksikoloji ve Kimya Örgütü
ISO	: Uluslararası Standartizasyon Örgütü
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
AOSB	: Atatürk Organize Sanayi Bölgesi
ÇTH	: Çiğli Tramvay Hatı
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Dünya’da geçmişten günümüze insan ihtiyaçlarının artmasına paralel olarak seyahatlerin artması ve son zamanlarda özellikle şehir içi ulaşımında artan araç sayısına karşılık, yol uzunluklarının aynı hızla artmaması trafikle alakalı pek çok sorunu da beraberinde getirmiştir. Özellikle trafikte uzun kuyrukların oluşması ile birlikte gelen konfor seviyesinin azalması, insanların trafikte geçirdikleri sürelerin artması, meydana gelebilecek kaza riskinin artması ve çevreye zararlı birçok gazın oluşturduğu kirlilik gibi problemlere çözüm olarak ülkeler yeni politikalar geliştirerek bu tarz sorunların üstesinden gelmeye çalışmışlardır. Politika yapıcılar şehir içi trafiğindeki problemlerin azalmasını sağlamak için raylı sistem projeleri ile bu sıkıntıları aşmaya çalışmışlardır. Çoğu zaman raylı sistem çalışmaları şehir içi trafik problemlerinin azaltılmasına yönelik en etkili çözüm yolu olarak gözüktü de, raylı sistemlerle birlikte çalışacak olan pek çok ulaşım sisteminin de düzenlenmesini ve geliştirilmesini de zorunluluk haline getirmiştir. Çünkü raylı sistem yatırımları seyahat edenler için kapıdan kapıya bir yolculuğu gerçekleştiremeyecek olup ek sistemlerle birlikte desteklenirler. Diğer taraftan kentin arazi yapısının kullanım şekli de raylı sistemler gibi büyük yatırımlar çerçevesinde şekillenmektedir. Bu yüzden raylı sistem yatırımlarının doğuracağı maliyet ve faydalarının doğru bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Raylı sistem yatırımları gibi fonların ve imkanların kullanımını gerektiren hemen her projede, gelecekte kazanç sağlayacak bir işe kalkışıldığında, ne ölçüde karlı olup olmadığı ile ilgili bütün konuların değerlendirilmesine ihtiyaç duyulur. Bu amaçla yapılan analizlere fizibilite analizi denir. Fizibilite analizi, bir raylı sistem projesinin yapımından sonra ortaya çıkaracağı fayda ve maliyetlerin belirlenmesinde hayati bir önem taşır. Projelerin, yapılan bu fizibilite analizlerinin sonuçlarına göre gelecekte fayda sağlayacağı ya da zarar oluşturacağı şeklinde değerlendirilip yapımına karar verilir.

Raylı sistem yatırımları gerçekleştirilirken fizibilite çalışmalarının dolayısıyla projenin fayda ve maliyetlerinin gerçekçi, bütüncül ve sistematik bir yaklaşımla yapılması son derece önemlidir. Aksi halde yüksek fayda sağlayacak bir yatırımın

geri planda kalması veya öncelikli olmayan bir yatırımın ön plana çıkması gibi problemlerle karşılaşılabilir. Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de raylı sistem fizibilite etüdleri ekonomik ve mali bileşenlere odaklıdır. Kullanıcı faydası ve çevresel etkiler ise çoğunlukla ikinci planda ele alınmakta ve bunların çalışmalara dahil edilme yöntemleri farklılık göstermektedir. Tez çalışması kapsamında da kullanıcı faydasını fizibilite çalışmalarını yansıtabilmek amacıyla ulaşım sistemi performansını ölçmede kullanılan en etkin araçlardan olan erişilebilirlik ölçütü kullanılarak yenilikçi bir yaklaşım fizibilite analizlerine dahil edilmiştir. Raylı sistem yatırımlarının çevresel etkileri ise hesaplanması aşamasında yöntem farklılıklarının çok fazla bulunduğu ve çalışmalara eklenmesi bakımından kesin fikir birliğine varılamayan parametrelerdir. Çalışma kapsamında yaşam döngüsü analizi gibi bütüncül bir yaklaşımla çevresel etkilerin değerlendirilmesi sağlanmış ve fizibilite çalışmalarında kullanılmak üzere yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

Ülkeler, bir raylı sistem projesi yapımına karar vermeden önce mutlaka fizibilite analizi yaparak projeyi değerlendirirler. Bu değerlendirmede ortak birçok unsur kullanıldığı gibi her ülkenin kendine özgü değerlendirme çalışmalarında kullandıkları belli parametreler ve yöntem farklılıkları da bulunur. Tez çalışmasının ikinci bölümünde Dünya'daki farklı ülkelerde yapılmış olan raylı sistem yatırım projeleri ve Avrupa Birliği tarafından oluşturulmuş olan kılavuz belgeler incelenmiş olup, fizibilite çalışmalarında ülkeler arasında farklılık olan unsurlar ve yöntemler irdelenmiştir. Bununla birlikte ülkemizde daha önce yapılmış olan raylı sistem fizibilite çalışmaları da incelenmiş ve diğer ülkelerin fizibilite çalışmalarıyla karşılaştırmalar yapıp belli çıkarımlara ulaşılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde fizibilite çalışmalarına erişilebilirlik ölçütü dahil edilmeye çalışılmıştır. Erişilebilirlik ölçütü, ulaşırma sistemi ve arazi kullanış özelliklerini birleştiren bir performans ölçütüdür. Bu ölçüt her ne kadar ulaşım planlaması çalışmalarında son dönemlerde sıklıkla kullanılmış olsa da herhangi bir fizibilite çalışmasında bir fayda ölçütü olarak ele alınmamıştır. Bu çalışma ile literatürdeki bu boşluğun doldurulması planlanmaktadır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde raylı sistem fizibilite çalışmalarında kullanılmak üzere yaşam döngüsü analizinin ne olduğu ve uygulamada nasıl kullanıldığı açıklanmıştır. Yaşam döngüsü analizi iklim değişikliği, hava kirliliği gibi çevresel sorunların değerlendirilip hesaplanmasında sıklıkla kullanılan bir analiz çeşididir. Tez çalışmasında da örnek olarak alınacak olan projenin fizibilite çalışmasına bir yaşam döngüsü analizi dahil edilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde örnek olarak seçilmiş olan Çiğli Tramvay Hattı projesinin fizibilite çalışması yapılmış ve gerekli hesaplamalar sonucunda değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bunu yaparken proje çalışmasındaki parametrelere ek olarak fizibilite çalışmasında erişilebilirlik ölçütü kullanılmıştır. Bu erişilebilirlik ölçütü fayda maliyet analizinde hattın yapımının bir faydası olarak hesaplara eklenmiştir. Çiğli Tramvay Hattı'nın fizibilite çalışmasına bir yaşam döngüsü analizi dahil edebilmek için ise GaBi (Thinkstep, Germany) yazılımı kullanılmıştır. GaBi yazılımı sayesinde projeye ait olan çevresel etkiler hesaplanmıştır. Hattın inşaatı, işletilmesi ve tren araçlarının üretilmesi sonucunda oluşacak olan çevresel etkiler GaBi yazılımı yardımıyla hesaplanmış ve projenin fizibilite çalışmasında maliyetler kısmında yer almıştır. Aynı şekilde hattın yapılmasının bir sonucu olarak otomobil ve otobüslerin kullanımlarının ortadan kalkacağı, hattın bulunacağı yol hattında asfalt yapım işinin olmayacağı düşünülerek bu parametrelerin de çevresel etkileri hesaplanmış ve fizibilite çalışmasının faydalar kısmına eklenmiştir. Eklenen yeni parametrelerle birlikte projenin fizibilite analizi tekrar hesaplanmış ve yeni sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde ise bir önceki bölümde yapılmış olan hesaplamalar sayesinde söz konusu tramvay hattı projesinin fizibilite çalışması yapılmıştır. Değerlendirmenin yapılabilmesi için ekonomik net bugünkü değer, fayda/maliyet oranı ve iç verim oranı değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerden yola çıkılarak Çiğli Tramvay Hattı için gerekli yorumlamalar yapılmıştır.

BÖLÜM İKİ

RAYLI SİSTEM YATIRIMLARINDA FAYDA MALİYET ANALİZİ

Ulaştırma yatırım projeleri inşa edildikleri bölgelere büyük girdiler sağlayan, sosyal yaşama önemli etkilerde bulunan mega ölçekli projelerdir. Büyük ölçekli ulaştırma projelerinin karar verme süreçlerinde önemli bir aşama olan fizibilite aşaması projenin faydalarının ve maliyetlerinin karşılaştırılması yöntemine dayanan önemli bir değerlendirme sürecidir. Tez çalışmasının bu bölümünde öncelikle yatırım projelerinin fizibilite aşamasında yer alan temel değerlendirme ölçütlerinden bahsedilecektir. Daha sonra yatırım projelerinin değerlendirme aşamaları, uluslararası birçok farklı kaynakta yapılmış olan çalışmalar göz önünde bulundurularak tez çalışmasında yer alacaktır. Bu değerlendirme aşamalarının karar verme sürecinde doğrudan etkisi olan finansal ve ekonomik analiz kısımları ayrıntılı olarak irdelenecektir. Özellikle ekonomik analiz kısmında projenin faydaları olarak yer alan parametreler için ülkemizde ve Dünya’da yapılmış olan fizibilite çalışmalarında kullanılan yöntemler ve ilgili değerler sunulacaktır. Bu bölümün son kısmında ise fizibilite çalışmalarında fayda maliyet parametrelerinin ülkeler arasında çalışmalara nasıl uygulandığı, ne gibi yöntemlerin kullanıldığı kısımlarının kapsamlı bir karşılaştırılması yine uluslararası geçerliliği olan kaynaklardan yararlanılarak yapılacaktır. Bu karşılaştırmalara ülkemizde iki mega şehir olan İstanbul ve İzmir’de yapılmış olan raylı sistem fizibilite etütleri de eklenecek ve ülkemiz ile diğer ülkeler arasında kıyaslama yapılacaktır.

2.1 Giriş

Dünya’daki nüfusun sürekli artış göstermesi ile birlikte insan ihtiyaçları da artmış olup bu ihtiyaçlar doğrultusunda da insanların bir yerden başka bir yere olan ulaşım ihtiyacı da artmıştır. Buna bağlı olarak Dünya’da motorlu ve motorsuz taşıt kullanımı da artmıştır. Motorlu ve motorsuz taşıtların özellikle şehir içi yollarda artış göstermesi de pek çok trafik sorununu da beraberinde getirmiştir. Bu sorunu

aşabilmek için raylı sistemler pek çok ülkede ulaşım politikalarının merkezinde yer almaktadırlar.

Raylı sistem yatırımları, ulaşım sistemine köklü değişiklikler getiren, oldukça yüksek maliyetli, kentsel gelişime yön veren yatırımlardır. Bu yatırımların doğru biçimde analizi her ülke ekonomisi için büyük önem taşır. Çünkü bütün ülkeler kaynaklarını en verimli biçimde kullanabilmek için yatırım kararlarını doğru bir şekilde değerlendirmelidir (European Commission, 2014). Raylı sistem projelerinin değerlendirilebilmesi için Dünya’da her ülkede tamamıyla ortak olmayan ama benzer yönlerin olduğu bir fayda maliyet analizi yapılır.

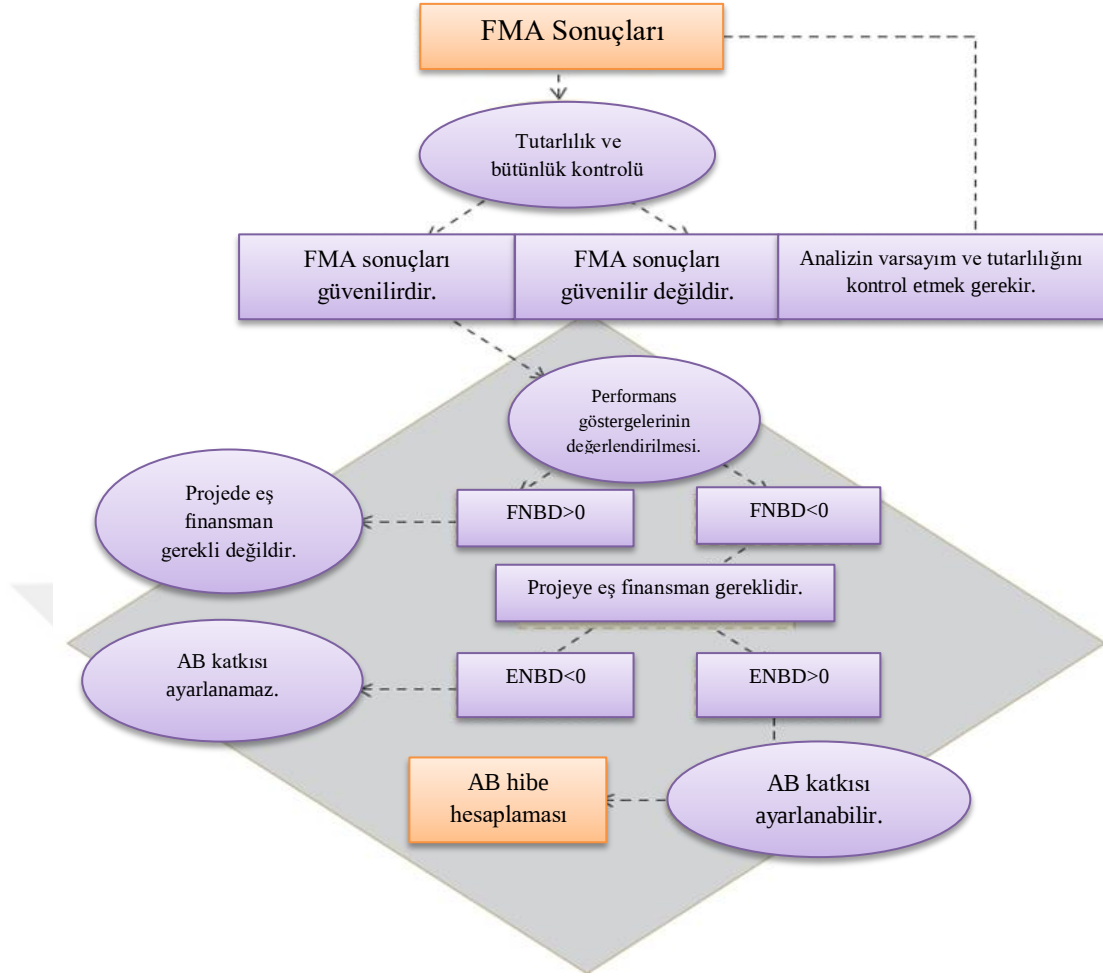
Fayda maliyet analizi, kamu politikası konularının ve projelerinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş bir değerlendirme yöntemidir. Günümüzde fayda maliyet analizi, toplumun kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için kentsel demiryolu projeleri gibi büyük ulaşım yatırım projelerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Nash'e (1993) göre, ulaşım, fayda maliyet analizinin karar vermenin bir parçası olarak düzenli olarak kullanıldığı ilk alanlar arasındaydı. Buna rağmen, ülkeler arasında demiryolu projeleri için fayda maliyet analizi yaklaşımlarında önemli farklılıklar vardır (Gwee, Currie ve Stanley, 2008).

Fayda maliyet analizi, tüketici fazlası ve dışsallığın ekonomik yapılarından gelişen bir projeyi değerlendirmek için yapılan resmi bir süreçtir. Daha sonra ekonomistlerin ve devlet kurumlarının çalışmalarına dayanan resmi bir şekilde düzenlenmiş sürece geçti ve şimdi kaynakların verimli bir şekilde tahsis edilmesini isteyen proje onayı için birçok kuruluş tarafından talep ediliyor (Jones, Moura ve Domingos, 2014). Munger’a (2000) göre fayda maliyet analizi “politika çalışmasında tek en önemli problem çözme aracı” olarak tanımlandı.

Fayda maliyet analizi, bir projenin veya politikanın artılarını ve eksilerini rasyonel ve sistematik bir süreçte tartmaktadır. Fayda maliyet analizi doğal olarak en az iki seçeneğin oluşturulmasını ve değerlendirilmesini gerektirir. “Yap ya da yapma

ve birkaç farklı ölçekte bir değerlendirme gerektirir" (hiçbir şey yapmama, minimumu yapma ve en az gereklilikler olarak) (EC, 2008). Analistler, hem uzayda hem de zamanda kazananların ve kaybedenlerin kim olduğunu değerlendirmelidir. Bu, topluma net toplam faydaların net toplam maliyetlerden daha ağır basmasını sağlar (Nickel, Ross ve Rhodes, 2009). Sonuç olarak, hem girdiler hem de çıktılar paraya çevrilir. Bu para kazanma, daha sonra en üst düzeye çıkarılması gereken sosyal refahı ifade eden gerçek veya gölge fiyatları kullanarak girdileri parasal bir değere dönüştüren ve sosyal olarak kabul edilen bir değerlendirme sistemine dayanmaktadır. Ekonomik varsayımlar, dışsallıklar da dahil olmak üzere göz ardı edilmeyecek şekilde açıkça belirtilmektedir (World Bank, 2004). Böylece ekonomik ve çevresel düşünceleri karar verme sürecine dahil etmektedir. Ayrıca, iskonto oranı kullanılarak zamanın muhasebeleştirilmesini de kapsar (Munger, 2000). Esasen, belirli bir projenin tüm doğrudan maliyetlerini ve faydalarını topluma listelemeyi, parasal değerleri atamayı, bunları net bugünkü değere indirmeyi ve projeyi değerlendirmek için tek bir sayıya eklemeyi amaçlamaktadır (Nickel vd., 2009).

Yatırım projelerinin değerlendirme aşamasında fayda maliyet analiz süreci çok karmaşık bir yapı içermesine rağmen fayda ve maliyet bileşenlerinin belirli bir analiz süzgecinden geçirilip, karşılaştırılması ve doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Bu sayede gerek kamu gerekse özel sektör yatırımcıları, yapılacak olan projeden fayda sağlayabilmelidir. Ayrıca projenin analizi sonucunda toplumun refah düzeyine ve çevrenin iyileştirilebilmesine de katkıda bulunması gerektiği de göz ardı edilmemelidir. Aşağıda Şekil 2.1’de European Commission (2014) tarafından oluşturulan “Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects” kapsamında büyük yatırım projelerini değerlendirilmesinde fayda maliyet analizi sürecinin rolü gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Yatırım projelerinde fayda maliyet analizinin rolü (European Commission, 2014)

2.2 Fayda Maliyet Analizi Temel Değerlendirme Ölçütleri

Yatırım projelerinin fayda maliyet analizi sonucunda analiz parametreleri parasal olarak değerlendirildikten sonra projenin ekonomik performansını ölçmek amacıyla kullanılan üç ortak değerlendirme ölçütü vardır;

1. Net Bugünkü Değer
2. İç Verim Oranı
3. Fayda Maliyet Oranı

2.2.1 Net Bugünkü Değer

Net bugünkü değer, projenin ekonomik yönden faydalarını ve maliyetlerini, belirli bir değerlendirme süreci içerisinde, gelecekteki nakit akışlarını önceden belirlenmiş bir iskonto oranı ile bugüne indirilmiş değerdir. Diğer değerlendirme ölçütlerine göre net bugünkü değer ölçütü en yaygın kullanılan ve en iyi sonuçlar veren ölçüttür. Eğer net bugünkü değer sonucu pozitifse yani $NBD > 0$ ise bu projenin bir fayda sağlayacağını gösterir ve bu istenilen durumdur. Fakat tersi durumda yani $NBD < 0$ ise projenin fayda getirmeyeceğinin göstergesidir. Ekonomik net bugünkü değeri temsil eden formül Denklem 2.1’de gösterilmiştir (Siciliano vd., 2016).

$$NBD = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} \quad (2.1)$$

Burada;

NBD = Net bugünkü değer

t = Projenin değerlendirme süresi

B_t = t yılı için projenin faydaları

C_t = t yılı için projenin maliyetleri

r = İskonto oranı

Net bugünkü değer belirlenebilmesi için projenin iskonto oranının ve değerlendirme periyodunun değerinin doğru bir şekilde tayin edilmesi gereklidir.

2.2.1.1 İskonto Oranı

Fayda maliyet analizi, karşılaştırılabilir terimlerle zaman içinde farklı noktalarda meydana gelen faydaları ve maliyetleri ifade etmek için iskonto oranını kullanır. İskonto, paranın zaman değerini ayarlar ve faydaların ve maliyetlerin, ortaya çıktıklarından bağımsız olarak, mevcut değerler olarak adlandırılan eşdeğer birimlerde değerlendirilmesine izin verir. Paranın zaman değeri, zaman içinde daha erken ortaya çıkan maliyetlerin ve faydaların, daha uzak bir gelecekte ortaya

ıkanlardan daha değerli olduğu ilkesini ifade eder (U.S. Department of Transportation, 2016).

Yatırım projeleri için ulaştırma sektöründe ülkelerce kabul edilen ortak bir iskonto oranı değeri yoktur. Yüksek iskonto oranları, daha düşük yatırıma veya kısa vadeli faydaya sahip projelerin kabul edilmesini desteklerken, düşük oranlar ise uzun vadeli getirileri olan projelerde kullanılabilir. Bu, kısmen, kullanılan çok çeşitli iskonto oranlarını açıklamaktadır. Demiryolu sektöründe kullanılan iskonto oranı değerleri, gelişmiş ülkelerde değerlendirilen projelerin çoğu için %2,5 - %8 aralığında yer almaktadır (Railpag, 2003).

2.2.1.2 Değerlendirme Süresi

Değerlendirme süresi projeden projeye değişkenlik gösteren bir parametredir. Her projenin bir başlangıç yılı vardır, bunu takiben de bir işletme süresi vardır. Değerlendirme süresi ise yatırım süresi de dahil olmak üzere projenin başlangıç yılından işletme döneminin sonuna kadar olan süredir.

Raylı sistem yatırım projelerinin değerlendirme süreleri de ülkeden ülkeye değişkenlik gösterir ve genellikle 20-30 yıl aralığında seçilir.

2.2.2 İç Verim Oranı

İç verim oranı (IVO), bir yatırımın maliyet ve fayda akışlarının net bugünkü değerini sıfırlayan iskonto oranı olarak tanımlanır. İç verim oranı projeler için tek başına değerlendirme ölçütü olarak kullanılmaz. Ancak projenin fayda sağlayıp sağlamadığını anlayabilmek için net bugünkü değerin yanında iskonto oranı ile karşılaştırma yapılabilir. Bu karşılaştırma da projenin fayda sağlayabilmesi için iç verim oranının iskonto oranından büyük olması gereklidir. İç verim oranını temsil eden formül Denklem 2.2’de verilmiştir (Siciliano vd., 2016).

$$\sum_{t=0}^{t=n} \frac{(B_t - C_t)}{(1 + İVO)^t} = 0 \quad (2.2)$$

Burada;

İVO = İç Verim Oranı

t = Projenin değerlendirme süresi

B_t = t yılı için projenin faydaları

C_t = t yılı için projenin maliyetleri

2.2.3 Fayda Maliyet Oranı

Fayda maliyet oranı, projeden sağlanacak faydaların net bugünkü değerinin, projenin maliyetlerinin net bugünkü değerine oranı olarak tanımlanır (European Commission, 2014). Başka bir deyişle iskonto edilmiş toplam net faydaların iskonto edilmiş toplam net maliyetlere oranı olarak da kabul edilir (Ustaoğlu ve Brendan, 2010). Bir yatırım projesinin fayda sağlayabilmesi için fayda maliyet oranının 1'den büyük olması gereklidir. Bu fayda maliyet oranı ne kadar büyük olursa projenin maliyetlerine göre o kadar fayda sağlanmış olur. Fayda maliyet oranını temsil eden formül Denklem 2.3'de verilmiştir (Siciliano vd., 2016).

$$FMO = \frac{\sum_{t=0}^{t=n} \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{t=n} \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (2.3)$$

FMO = Fayda maliyet oranı

t = Projenin değerlendirme süresi

B_t = t yılı için projenin faydaları

C_t = t yılı için projenin maliyetleri

r = İskonto oranı

2.3 Raylı Sistem Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesi

Bir ulaştırma projesi veya raylı sistem projesi değerlendirilirken projenin toplumun refah düzeyine katkısı en ön sıradadır. Bu katkıdan kasıt ulaşım sistemlerinde önceden var olan sistemin iyileştirilmesi veya yeniden yapılması, erişilebilirliğin artırılması, seyahat süresinden kazanç sağlanabilmesi, güvenilirliği arttırabilme ve çevreye zararlı emisyonların en aza indirilmesi gibi etmenler olabilir. Projenin sonunda bu tarz topluma katkı sağlayacak sonuçları elde edilebilmesi için de projenin en başta kapsamlı ve doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Değerlendirme süreci European Commission (2014) tarafından oluşturulan “Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects” kapsamında şu ana başlıklara ayrılmıştır.

- Durumun açıklanması
- Hedeflerin tanımlanması
- Projenin tanımlanması
- Trafik hacminin tahmini
- Opsiyon analizi
- Finansal analiz
- Ekonomik analiz
- Risk değerlendirmesi

2.3.1 Durumun Açıklanması

Bir ulaştırma projesi değerlendirmesinin ilk aşaması, projenin yapılacağı bölgedeki veya ülkedeki sosyal, ekonomik, politik durumların proje ile tutarlı olmasıdır. En azından, temel öğeleri özetlemek için aşağıdaki bilgiler sunulmalıdır (European Commission, 2014).

- Sosyo-ekonomik eğilim
- Siyasi, kurumsal ve düzenleyici unsurlara uygunluk
- Mevcut hizmet koşulları

2.3.2 Hedeflerin Tanımlanması

Bir sonraki adım, ulaştırma projesinin ana hedeflerini açıkça belirtmektir. Ulaştırma projeleri genellikle aşağıdaki hedeflerle ilgilenir (European Commission, 2014).

- Kapasite kısıtlamalarını çözerek bir ağ, bağlantı veya düğüm içindeki tıkanıklığın azaltılması;
- Seyahat hızlarını arttırıp işletme maliyetlerini ve kazaları azaltarak bir ağın, bağlantının veya düğümün kapasitesinin ve/veya performansının iyileştirilmesi;
- Bir ağın, bağlantının veya düğümün güvenilirliğinin ve güvenliğinin iyileştirilmesi;
- Sera gazı emisyonlarının en aza indirilmesi, çevre kirliliği ve çevresel etkilerin sınırlandırılması;
- AB standartlarına uyum ve eksik bağlantıların veya zayıf bağlantılı ağların tamamlanması (Esas olarak demiryolları ile ilgilidir.);
- Çevresel alanlarda veya bölgelerde erişilebilirliğin iyileştirilmesi.

2.3.3 Projenin Tanımlanması

Ulaştırma yatırım projelerinin genellikle kendi kendilerine yeterli olarak tanımlanabilmesi oldukça zor bir konudur. Çünkü ulaştırma yatırımları tek parça halinde çalışmak yerine diğer sistemlerle bir bütün içinde çalışmak durumundadır. Proje tanımlamasında temel ilke, kapsamının her zaman tek başına bir sosyo-ekonomik ve teknik birim olması gerektiğidir: Yani, diğer projelerin inşasına bağlı olmadan genel olarak işlevsel ve bağımsız olarak bir ulaşım perspektifinden yararlı olmalıdır (European Commission, 2014).

2.3.4 Trafik Hacminin Tahmini

Herhangi bir raylı sistem projesi fizibilite çalışması, talep analizi ve tahmini ile ilgili ayrıntılı bir bölüm içermelidir. Talep analizi, projenin özelliklerine uyarlanmış tahminler sağlamalıdır. Genel olarak, bir yatırım projesinin modal seçim üzerinde bir etkisi olacaktır, bu nedenle proje ile ve proje olmadan demiryolu trafik akışlarını basitçe belirtmek yeterli olmayacaktır; mevcut demiryolu trafiği üzerindeki etkisi, rakip modlar (yönlendirilmiş trafik) ve proje tarafından üretilen veya indüklenen trafik miktarı açıkça tanımlanmalıdır (Railpag, 2003).

2.3.4.1 Mevcut Trafik

Referans ağındaki veya yeniden yapılandırılacak altyapıdaki mevcut trafiktir.

2.3.4.2 Yönlendirilmiş Trafik

Diğer rotalardan veya ulaşım modlarından projeye çekilen trafiktir.

2.3.4.3 Oluşturulan / İndüklenen Trafik

Daha iyi ulaşım koşullarından etkilenen yeni kullanıcılar nedeniyle ulaşım altyapısının iyileştirilmesinden kaynaklanan ek trafik akışlarıdır.

Projelerde kullanılacak talep modelleri için bölgesel veya ülke bazında bazı talep tahminleri mevcuttur. Buna rağmen çoğu projede kendi uygulanacağı senaryolara göre talep tahminine ihtiyaç duyar. Talep modelleri farklı modlar için ücret, seyahat süresi vb. gibi parametrelerle yapılır (Railpag, 2003).

2.3.5 Opsiyon Analizi

Ulaştırma projeleri genellikle büyük yatırım gerektiren yüksek maliyetli projelerden oluşurlar. Büyük yatırım projelerinde sunulacak olan alternatifler de son derece çeşitli olabilir. Buna bağlı olarak değerlendirme ekibinden bir dizi farklı proje

alternatifleri oluşturulması beklenir ve oluşturulan alternatifler arasından proje için en yüksek faydayı sağlayacak olan alternatif seçilir.

Minimumu yapma seçeneği diğer alternatiflerin değerlendirilmesi için çoğu zaman bir referans olabilir. Minimum alternatifi var olan sistemin yüksek oranda bozulmaması ile sistemin çalıştırılması sağlanarak mümkün olduğunca az yatırım ve az bakım yapılarak iyileştirilmesini ve geliştirilmesini içerir. Bu alternatif demiryolları projeleri için mevcut altyapı ve ekipmanın yenilenmesi ve bakımı için geliştirilmiş bir model olabilir. Minimum alternatifi herhangi bir bakım içermeyen hiçbir şey yapmama alternatifinden farklıdır (Railpag, 2003).

Bir şeyler yapma alternatifleri ise çeşitli şekillerde tanımlanabilir. Bu alternatifler proje sorunu ile ilgili çeşitli çözüm yöntemleri ve fikirleri ile oluşturulabilir. Her alternatife, süreç içindeki aşamaya ve projenin büyüklüğüne bağlı olacak olan karşılaştırma alıştırmasının gerektirdiği hassasiyet verilmelidir. Değerlendirme alıştırması bazı seçeneklerin oldukça benzer olduğunu gösterdiğinde, aralarında ayırım yapmak için ek hassasiyet gerekebilir. Bazen bir alternatif, bir başkasının genişletilmesi veya geliştirilmesi de olabilir (Railpag, 2003).

2.3.6 Finansal Analiz

Raylı sistem yatırım projelerinde planlanan yatırımın finansal performans göstergelerini hesaplayabilmek ve değerlendirmesini yapabilmek için yatırımın fayda maliyet analizi sürecine bir finansal analiz dahil edilmelidir. Finansal analiz sürecinde projenin nakit akış etkileri olarak aşağıdaki unsurlar göz önüne alınabilmektedir.

- Projenin değerlendirme periyodu boyunca oluşacak raylı sistem yatırım maliyetleri
- Raylı sistem bakım ve işletme maliyetleri
- Raylı sistem taşıt işletme maliyetleri
- Proje gelirleri

2.3.6.1 Finansal İskonto Oranı

Finansal iskonto oranı değeri European Commission (2014) tarafından oluşturulan “Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects” tarafından %4’ lük bir değer olarak uzun vadeli projelerde kullanılabilecek bir parametre olarak verilmiştir. Ayrıca bu değer her ülke için aynı kabul edilememekle birlikte ülkelerin kendi içlerinde yaptıkları farklı projelerde dahi sabit bir değere sahip olamamaktadır.

Finansal analiz genellikle sabit (gerçek) fiyatlarla, yani bir baz yılda sabit fiyatlarla yapılmalıdır. Mevcut (nominal) fiyatların kullanımı yani tüketici fiyat endeksi (TÜFE) tarafından ayarlanan fiyatlar, her zaman gerekli görünmeyen bir TÜFE tahminini içerecektir. Finansal analiz nominal fiyatlar kullanılarak yapılırsa iskonto oranını hesaplamak için kullanılacak formül Denklem 2.4’te gösterilmiştir (Railpag, 2003):

$$(1+n) = (1+r) * (1+i) \quad (2.4)$$

Burada;

r = Gerçek güncelleştirme oranı

n = Nominal güncelleştirme oranı

i = Enflasyon oranı

2.3.6.2 Yatırım Maliyetleri

Bir projenin toplam yatırım maliyetleri projenin başlangıç yılından bitiş yılına kadar olan süreçte yatırım akışının yıllar içindeki değişimini gösteren parasal değerlerin analizidir. Yatırım maliyetleri şunlardan oluşur (Railpag, 2003);

2.3.6.2.1 Planlama Maliyetleri. Tasarım maliyetleri, planlama yetkilisi kaynakları ve ilk karardan sonra ortaya çıkan projeyle doğrudan bağlantılı diğer maliyetleri kapsar.

2.3.6.2.2 Arazi ve Mülk Maliyetleri. Proje için gerekli arazi maliyetleri, ilgili işlemler için yasal ve idari ücretlerden meydana gelir.

2.3.6.2.3 *İnşaat Maliyetleri*. Enerji, malzeme ücretleri, işçi ücretleri, beklenmedik durumlar için ödenecek ücretlerden oluşur.

2.3.6.3 *İşletme ve Bakım Maliyetleri*

İşletme ve bakım maliyetleri projenin tüm değerlendirme süresi boyunca devam eden ana demiryolu gereksinimlerine yardımcı olmak için oluşturulan maliyetler toplamıdır. İşletme ve bakım maliyetleri yatırımın fayda maliyet analiz sürecine dahil edilmeli ve önerilen projenin hedefleri ile paralellik göstermelidir (U.S. Department of Transportation, 2016).

İşletme maliyetleri projenin her yılında kullanılabilen fakat yatırım niteliği olmayan mal, hizmet ve ürünlerden oluşur. Raylı sistem projeleri için işletme maliyetleri tren personeli ve ekiplerinin maliyetleri, enerji ihtiyacı, istasyonlar için maliyetler, trafik yönetimi ve güvenlik sistemlerinin işletilmesi vb. gibi maliyetleri içerir (U.S. Department of Transportation, 2016).

Bakım maliyetleri ise demiryolu altyapısının güvenli ve günlük kullanıma hazır olması ve altyapının bozulmasını önlemek amacıyla gereken yıllık çalışmalardan oluşan rutin bakım ve demiryolu altyapısının ilk halini kazanmasını amaçlayan tüm faaliyetlerden oluşan periyodik bakım olmak üzere iki bölümde sınıflandırılabilir. Ekipmanların planlı bakımları, demiryolu ilgili parçalarının özelliklerini koruması amacıyla yapılan bakımlar örnek olarak gösterilebilir (European Commission, 2014).

2.3.6.4 *Artık Değer (Kalıntı Değer)*

Artık değer fayda maliyet analizinin önemli bir bileşenidir ve öngörülen ömrünün sonunda altyapı değerini temsil eder. Örneğin proje değerlendirme süresi 30 yıl olan bir raylı sistem projesinde kullanılacak bir ekipmanın ömrü 40 yıl olsun. Raylı sistem projesinin 30 yıllık değerlendirme süresinin sonunda ekipmanın ise 10 yıllık daha kalan ömrü vardır. İşte bu kalan değer parasal olarak fayda maliyet analizine artık değer olarak maliyetler içerisinde negatif işaretle eklenmelidir. Artık değer parametresi fayda maliyet analizi çerçevesinde çoğu zaman dikkate alınmayabilir

ancak bu parametrenin değerlendirme sürecinde açık ve şeffaf olması çok önemlidir. Çünkü herhangi bir fayda maliyet analizinde artık değer kavramı net bugünkü değer in işaretini değiştirebilen bir dönüm noktası olabilir (Jones vd., 2014).

2.3.6.5 Proje Gelirleri

Raylı sistem taşımacılığında finansal gelirler, yolcular tarafından yapılan bilet ödemeleri, trenlerde veya tren istasyonlarındaki reklam ücretleri ve tren istasyonlarındaki ticari tesislerden sağlanan ücretler olarak değerlendirilebilir. Birçok durumda, bu ücretlerdeki değişiklikleri bir projenin maliyeti olarak ve raylı sistem hizmeti operatörleri için temsil ettikleri artan gelirleri bir fayda olarak dahil etmek doğal görünmektedir. Ancak, kullanıcılardan operatörlere kaynak aktarımının etkilerini tam olarak karşılarlar ve bu nedenle genel ekonomik refahı etkilemez. Sonuç olarak, bu ücretleri demiryolu hizmeti kullanıcılarının veya operatörlerinin özel bakış açısıyla görüntülemek ve toplam değerlerindeki değişiklikleri bir fayda maliyet analizinde bu hizmeti iyileştirmenin yararları veya maliyetleri olarak tanımlamak genellikle yanlıştır. Bu ücretler, raylı sistem projelerinin kullanıcıları için demiryolu taşımacılığının verimliliği, güvenliğini ve rahatlığını iyileştirmek için bazı faydaların kullanıcılar tarafından yapılan ödemelerle geliştirilmiş bir raylı sistem hizmeti veya tesisi işleten bir kamu veya özel kuruluşa aktarılabilceği bir mekanizmadır (U.S. Department of Transportation, 2016).

2.3.6.6 Finansal Karlılık

Finansal analiz sonucunda yatırımın proje gelirleri ile yatırımın net maliyetleri karşılaştırılır. Bu karşılaştırmanın amacı gelirlerin, kaynaklardan veya finansman yöntemlerinden bağımsız olarak yatırımı ne ölçüde geri ödeyebileceğinin değerlendirmesini sağlamaktır. Bu değerlendirme yatırımın finansal net bugünkü değeri (FNPV(C)) ve yatırımın finansal getiri oranı (FRR(C)) hesaplanarak yapılır (European Commission, 2014).

Yatırımın finansal net bugünkü değeri, projenin iskonto edilmiş yatırım ve işletme maliyetleri gelirlerinin iskonto edilmiş değerinden düşüldüğünde hesaplanan toplam olarak ifade edilir. Yatırımın finansal net bugünkü değerini gösteren formül Denklem 2.5'te gösterilmiştir (European Commission, 2014).

$$FNPV(C) = \sum_{t=0}^n a_t S_t = \frac{S_0}{(1+i)^0} + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad (2.5)$$

Burada;

FNPV = Finansal net bugünkü değer

S_t = t zamanındaki nakit akışlarının dengesidir,

a_t = t zamanındaki iskonto için seçilen finansal iskonto faktörüdür,

i = Finansal iskonto oranıdır.

Yatırımın finansal getiri oranı ise sıfır net bugünkü değer üreten iskonto oranı olarak tanımlanır ve Denklem 2.6 ile gösterilir (European Commission, 2014).

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1 + FRR)^t} \quad (2.6)$$

FRR(C) uygulanan iskonto oranından daha düşük olduğunda veya FNPV(C) negatif olduğunda projenin uygulanmaması gerektiği anlamına gelmez. Bu sadece istihdam edilen ulusal sermaye üzerinde yeterli bir finansal getiri sağlamadığı anlamına gelir. Bu aslında AB yardımı alan gelir getirici projeler için bile oldukça yaygın bir sonuçtur (European Commission, 2014).

2.3.7 Ekonomik Analiz

2.3.7.1 Giriş

Büyük yatırım projelerinin fayda maliyet analizi sürecinde projenin topluma ve çevreye katkısını belirleyebilmek için değerlendirme süreci bir ekonomik analiz

süzgecinden geçirilmelidir. Ekonomik analizde kullanılan temel parametre kullanıcı faydalarının ölçülmesidir. Faydalar herhangi bir yatırım projesinin veya ulaştırma projesinin topluma sunabileceği olumlu çözümlerin ekonomik olarak değerlendirilmesinden meydana gelir. Örneğin bu faydalar ulaştırma projelerinde seyahat sürelerinin azaltılması, kaza oranlarının azaltılması, güvenilirliğin artırılması, diğer ulaşım modlarındaki tıkanıklığın azaltılması, çevreye salınan zararlı emisyon seviyesinin azaltılması vb. gibi unsurlar olabilir. Bu faydaların herhangi bir fayda maliyet analizi sürecinde para kazandıran unsurlar olması ve fayda maliyet analizi değerlendirmesinin artı tarafını oluşturması beklenir (U.S. Department of Transportation, 2016).

Ulaştırma projelerinin fayda maliyet analizinde kullanıcı faydalarının altında yatan üç temel kavram vardır. Bunlar (Railpag, 2003);

2.3.7.1.1 Genelleştirilmiş Maliyet. Belirli bir başlangıç ve varış yeri arasındaki seyahatin genel rahatsızlığını (hoşnutsuzluğunu) temsil eden para miktarıdır.

2.7.3.1.2 Ödeme İsteği. Bir kullanıcının seyahati için katlanmak isteyeceği maksimum genelleştirilmiş maliyet miktarıdır.

2.7.3.1.3 Tüketici Fazlası. Kullanıcının seyahatinin genelleştirilmiş maliyeti üzerinde ödeme yapma isteğinin fazlalığı olarak tanımlanır. Yani diğer iki tanımı bir araya getiren bir kavramdır.

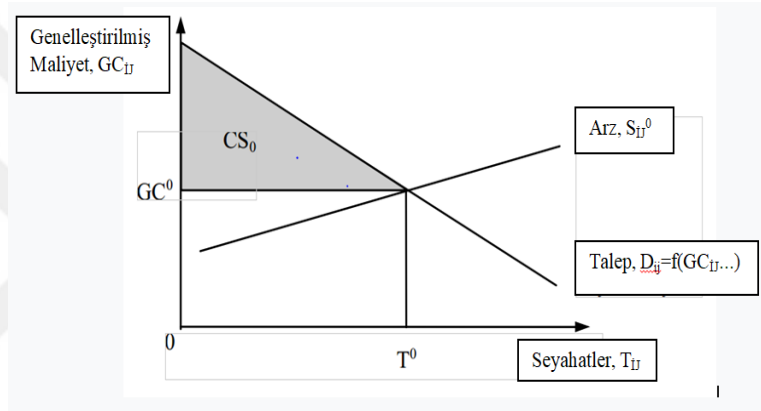
Yukarıda kullanıcı faydalarının tanımını oluşturan üç temel parametre verilmiştir. Sadece bir modun olduğu düşüncesine dayanılarak i başlangıç ve j bitiş noktaları arasındaki seyahat için Denklem 2.7 tanımlanmıştır (European Commission, 2014).

$$\text{Kullanıcı Faydası}_{ij} = \text{Tüketici Fazlalığı}_{ij}^1 - \text{Tüketici Fazlalığı}_{ij}^0 \quad (2.7)$$

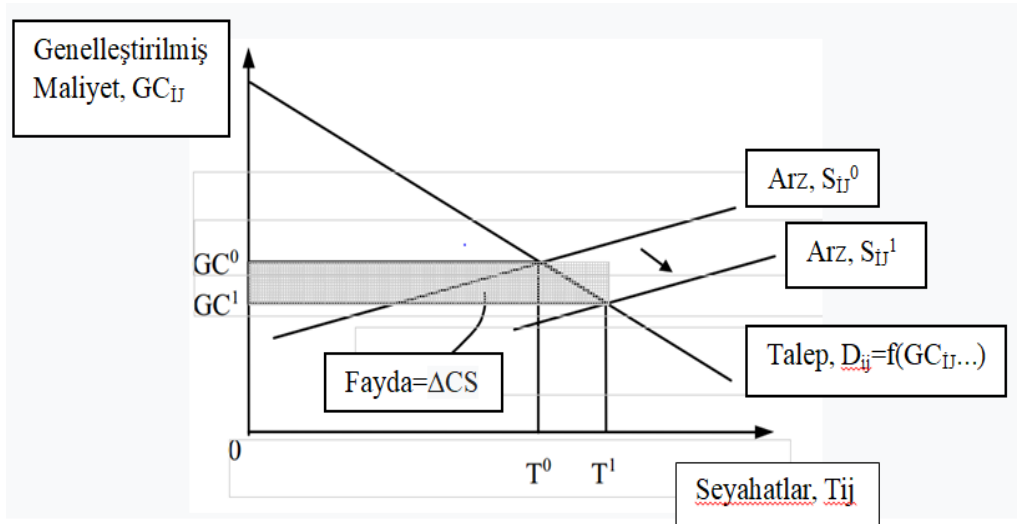
1 = Bir şeyler yapma senaryosu

0 = Minimum senaryosunu gösterir.

Aşağıda Şekil 2.2’de minimum senaryosunda belirli bir i ve j için toplam tüketici fazlası (CS_0) gösterilmiştir. Şekil 2.2’ye göre tüketicilerin ödeme istekliliği aşağıya doğru eğimli bir talep eğrisi ile temsil edilir ve nakliye arz koşulları yukarıya doğru eğimli bir arz ile temsil edilir. Arz ve talebin kesişmesi dengenin genel maliyetini belirler. Şekil 2.3’te ise minimum senaryo ile karşılaştırıldığında “bir şeyler” yapma senaryosunda tüketici fazlalığındaki değişiklik gösterilmiştir. Arz koşullarında bir iyileşme olduğu varsayıldığında, tüketicinin fazlalığı, genelleştirilmiş maliyetteki bir azalmaya bağlı olarak bir miktar artacaktır ve bu da kullanıcıya ΔCS alanına eşit bir fayda sağlar (European Commission, 2014).



Şekil 2.2 Projersiz senaryoda tüketici fazlalığı (European Commission, 2014)



Şekil 2.3 Bir şeyler yapma senaryosunda tüketici fazlalığındaki değişiklik (European Commission, 2014)

Uygulamada ulaştırma projelerinin kullanıcı faydalarının değerlendirilmesi için Rule of Half (Yarım Kuralı) olarak bilinen denklem kullanılır. Yarım kuralı yaklaşımı projesiz senaryoda, seyahat etmeyen kullanıcıların ödeme yapma istekliliğinin genelleştirilmiş maliyetten (önceki) daha düşük olduğu düşüncesine dayanır. Proje yapıldıktan sonra ise genelleştirilmiş ulaşım maliyeti (yeni) düşürölür ve sonuç olarak daha önce seyahat etmeyen kullanıcılar seyahat etmeye karar verirler. Denklem 2.8’de kullanıcı faydalarının bulunmasındaki yaklaşım, yani yarım kuralı şu şekilde verilmiştir (European Commission, 2014).

$$\Delta CS = \int_{GC_1}^{GC_0} D(GC)dGC \approx RoH = \frac{1}{2}(GC_0 - GC_1)(T_0 + T_1) \quad (2.8)$$

ΔCS = Fayda

GC_0 = Genelleştirilmiş maliyet (önceki)

GC_1 = Genelleştirilmiş maliyet (yeni)

T_0 = seyahatler (önceki)

T_1 = seyahatler (yeni)

Sadece üretilen talep için (yani yeni kullanıcılar için), faydalar Denklem 2.9’da gösterilmiştir:

$$\Delta CS(\text{üretilen}) = 1/2 * (GC_0 - GC_1)(T_1 - T_0) \quad (2.9)$$

2.3.7.2 Sosyal İşkonto Oranı

Ekonomik analiz çerçevesinde gelecekteki faydaların ve maliyetlerin bugüne indirgenmesinde sosyal iskonto oranı kullanılır. “Sosyal iskonto oranı, yatırım projelerinin ekonomik analizinde ekonomik maliyetleri ve faydaları iskonto etmek için kullanılır ve sermayenin fırsat maliyetini bir bütün olarak toplum için zamanlar arası bir perspektiften yansıtır” (European Commission, 2014).

Sosyal iskonto oranının ekonomik analiz aşamasında kullanılması kabul görürken bu oranın nasıl hesaplanacağı konusunda henüz bir fikir birliği yoktur. Bu oranın belirlenmesinde kullanılan yöntemler sosyal zaman tercih oranı yaklaşımı,

sermayenin marjinal sosyal fırsat maliyeti yaklaşımı, ağırlıklı ortalama yaklaşımı ve sermayenin gölge fiyatı yaklaşımı olmak üzere dört başlık altında sınıflandırılabilir. Sosyal iskonto oranı, European Commission (2014) tarafından oluşturulan “Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects” kapsamında büyük projeler için bu oranı %5 olarak kullanılmasını önermektedir. Bu oranın ülkeler arasında değişiklik göstermesi de muhtemeldir. Ülkemizde yapılan yatırım projeleri incelendiğinde ekonomik analiz kısmında bu oran genellikle %10 olarak kullanılmıştır.

2.3.7.3 Gölge Fiyat Kavramı ve Standart Dönüştürme Faktörü

Yatırım projelerinde fayda maliyet analizinin en önemli konusu projelerin fayda ve maliyetlerin ölçülmesidir. Fakat yatırım projelerinde bütün fayda ve maliyet bileşenlerinin parasal olarak belirlenmesi mümkün değildir. Örneğin bir metro projesinde çevre görünüşünün bozulabileceği olasıdır ve bunun fayda maliyet analizi değerlendirmesine maliyet olarak eklenmesi gerekir. Burada sorun maliyet kaleminin nasıl parasal olarak ifade edilebileceğidir. Aynı sorun projenin fayda bileşenleri için de geçerlidir. İşte burada gölge fiyat kavramı önem kazanmaktadır. Gölge fiyatlar, mallara veya etkenlere piyasada gözlemlenen fiyatların yetersiz olduğu ya da fiyatların hiç belirlenemediği durumlarda toplumsal fayda ve maliyetleri yansıtmaları için benimsenen fiyatlardır. (Şataf, 2014).

Gölge fiyatlara, piyasanın gerçek maliyetlerinin yansıtılamadığı durumlarda ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar; kaynaklarının tam kullanımının gerçekleştirilemediği, piyasanın rekabet koşullarına sahip olmadığı, bazı mal ve hizmet fiyatlarının, faiz oranlarının ve döviz kurunun serbest olarak değil de devlet müdahalesi altında gerçekleştiği durumlardır (Şenatalar, 1972).

Dönüştürme faktörleri ise piyasa değerlerini gölge fiyatlarla ölçülen değerlere dönüştürmek için kullanılan katsayılar olarak tanımlanabilir. Proje de piyasa değeri belli olmayan veya tam olarak belirlenemeyen girdilerin, gölge fiyatlarının belirlenebilmesi için standart bir dönüşüm faktörü hesaplanması uygulanır. Standart

dönüşüm faktörünün hesaplanması Denklem 2.9'da gösterilmiştir (European Commission, 2014).

$$SDF = \frac{M + X}{(M + T_M - S_M) + (X - T_X + S_X)} \quad (2.9)$$

Burada;

M=Aynı yıla ait toplam ithalat değerini,

X=Aynı yıla ait toplam ihracat değerini,

T_M=İthalat üzerinden alınan vergileri,

T_X=İhracat üzerinden alınan vergileri,

S_M=İthalata uygulanan sübvansiyonları (vergi iadeleri),

S_X=İhracat kapsamında yapılan sübvansiyonları (vergi iadelerini) ifade etmektedir.

2.3.7.4 Seyahat Süresinin Tasarrufu

Ulaştırma projelerinde seyahat süresi tasarrufunun parasal değeri, fayda maliyet analizlerinin en önemli parametrelerinden biridir. Ulaştırma projelerinin çoğu yolcu ve yük taşımalarından sağlanacak seyahat tasarruflarının ekonomik değerinin faydalar arasında önemli bir yer tutması sayesinde ekonomik olarak yapılabilir olabilmektedir. Yolculuk zamanının değeri, yolculuk amacı ve süresi, yolcuların gelir düzeyleri gibi faktörlere bağlı olup nasıl hesaplanacağı konusu ulaştırma ekonomisinin en çok tartışılan konularından biridir (Gerçek, 2001).

Fayda maliyet analizi çerçevesinde, ulaştırma sistemi kullanıcılarının yapacakları seyahatler için belli bir ödeme yapmaya istekli olacakları varsayılmaktadır. Bu sayede de seyahat süresinde herhangi bir kısalmanın olması fayda maliyet değerlendirmelerinde olumlu bir etki oluşturacağı açıktır (Ustaoglu ve Brendan, 2010).

Seyahat süresinin tasarrufu hesabı yapılırken kullanıcıların çalışma süresi ve çalışma dışı süresi değerleri dikkate alınır. Çalışma süresi, serbest meslek sahibi olan kullanıcılar için hem işverenin işine, hem de kendi işine seyahat etmeyi içerir. Çalışma dışı zaman ise iş dışı zamanlardaki seyahat sürelerini içerir. Çalışma süresinin gerçek değeri gerçek ücret oranı ile ilgilidir. Bu nedenle, genellikle kişi başına düşen GSYH büyümesine eşit olduğu düşünülen ücret oranıyla birlikte büyüyecektir. Daha sonra, çalışan nüfusun büyüklüğü ve yıllık çalışılan saat sayısı hakkında varsayımlara ihtiyaç duyulacaktır. Çalışma dışı zamanın belirlenmesi ise daha karmaşık olduğundan hesaplanmasında izlenecek belirli bir yöntem yoktur. Bazı ülkelerdeki ekonomik literatürün taranması sonucunda çalışma dışı zamanın değerinin genellikle çalışma süresinin %25'i ile %40'ı arasında değiştiği görülmektedir (European Commission, 2003).

Seyahat süresinin tasarrufunu hesaplamak için gerek ülkemizde gerekse tüm Dünya'da ortak olarak kullanılan bir yöntem bulunmamaktadır. Çoğu ülke için bu değer hesaplanmasında kullanılan metotlar birbirinden farklı olabilir. Bu çalışmanın devamında seyahat süresi tasarrufu hesabında kullanılmış olan farklı metotlar ayrı ayrı gösterilecektir.

2.3.7.4.1 Çiğli Tramvay Hattı Fizibilite Etüdünde Kullanılan Yöntem. İlk olarak ülkemizde 2017 yılında yapılan Çiğli Tramvay Hattı'nın fizibilite raporunda kullanılmış olan yöntemden bahsedilecektir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017).

1-) Bu çalışmada yolcu ve yük zaman değerlerinin hesaplanması için ilk önce ülkemizde TÜİK tarafından yayımlanan GSYH değerlerinin 2016 yılı son çeyreği ve 2017 yılı ilk 3 çeyreğinin toplam GSYH değeri bulunmuştur. Ülkemizde TÜİK tarafından son olarak 2014 yılında bu değerler il bazında yayımlanmıştır. Bu veri göz önüne alınarak İzmir ili % 6,2 değeri ile üçüncü sırada yer almıştır. Bu oranın sabit kaldığı varsayımıyla İzmir için 2016 yılı son çeyreği ve 2017 yılı ilk 3 çeyreği ile elde edilen GSYH değeri için payı hesaplanmıştır.

2-) Daha sonra İzmir ili için GSYH değerinin nüfusa göre dağılımı verilmiştir. Kişilerin çalışma zamanı değeri için yıllık 52 hafta ve haftalık 45 saat çalışma süresi üst sınır değeri kullanılarak ortalama çalışma saati 2340 saat/yıl olarak hesaplanmıştır. Her bir gelir dilimi için kişi başına yıllık GSYH değerleri çalışma saati değerine bölünerek kişi başına saatlik zaman değerleri bulunmuştur.

3-) Projenin yapılmaması durumunda seyahatlerini özel otomobil ile yapacak kişiler gelir diliminin en üst 5 dilimini, seyahatlerini otobüs ile sağlayacak kişiler ise kalan 5 dilimi oluşturacağı varsayılmıştır. Bu gelir dilimlerindeki kişilerin zaman değeri ortalaması hesaplanmıştır.

4-) Son olarak da projesiz durumda seyahatlerini karayolu ile yapacak kişilerin hesaplanan yolcu-saat değerleri, projeli durumda ortaya çıkması beklenen karayolu yolcu-saat değerindeki azalmalar ve bu azalmalarla yolculuk zaman maliyetlerinde oluşacak azalmalar hesaplanarak seyahat süresinden elde edilen tasarruf değeri bulunmuştur.

2.3.7.4.2 Kaplan (2014) Tarafından Hazırlanan Yüksek Lisans Tezinde Kullanılan Yöntem. Kaplan (2014) tarafından hazırlanan “Yatırım Projelerinde Sosyal Fayda-Maliyet Analizi ve Örnek Uygulama” adlı yüksek lisans tezinde kullanılan yöntem şöyledir:

1-) Bu çalışmada kişi başına zaman değerinin hesaplanması için çalışma içi zaman değeri ve çalışma dışı zaman değeri parametreleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. GSYH değeri il bazında yayımlanmadığından dolayı İstanbul için bu değer TÜİK’in yayımladığı elektrik tüketim değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma içi zaman değeri için İstanbul ilinin GSYH’den aldığı payın bu ildeki çalışan sayısına bölünmesi ile kişi başına GSYH değeri bulunmuştur. Bulunan bu değer de çalışma saatine bölünerek çalışma saati içindeki zamanın değeri hesaplanmıştır. (Çalışma saati değeri bu çalışmada 2208 saat olarak hesaplanmıştır). Çalışma içi zaman değerinin dörtte biri çalışma dışı zaman değeri olarak varsayılmıştır.

2-) İstanbul Ulaşım Ana Planı proje ekibi tarafından 2006-2007 yılları için yapılan bir çalışmaya göre İstanbul'da iş amaçlı yapılan yolculukların toplam yolculukların %31'i olduğu belirlenmiştir. Buna göre ortalama zaman değeri, çalışma içi zaman değerinin %31'i, çalışma dışı zaman değerinin %69'u ile ağırlıklandırılıp toplanmasıyla hesaplanmıştır.

3-) Seyahat süresinin tasarrufu değeri için projersiz ve projeli durumlar arasındaki seyahat süreleri farkları alınmıştır. Özel otomobil verileri devre dışı bırakılıp sadece otobüs ve minibüsten elde edilen tasarruflar göz önüne alınmıştır. Hesaplarda 15 km'lik yolculuk başına tasarruf edilen süre değerleri dikkate alınmıştır. Yıllık tasarruf edilen seyahat süresi hesaplandıktan sonra bu değer ortalama zaman değeri ile çarpılarak yıllık tasarruf edilen seyahat süresinin değeri hesaplanmıştır.

2.3.7.4.3 U.S. Department of Transportation'a (2016) göre Seyahat Süresi Tasarrufu: U.S. Department of Transportation (2016), seyahat süresi tasarrufunun belirlenmesi konusunda tüm geleneksel yüzey modlarının (otomobil, otobüs, geleneksel şehirlerarası raylı sistemler, banliyö sistemleri vb.) tek değerlere göre hesaplanmasını önerir. Bu değerlerin yer aldığı Tablo 2.1 aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Tavsiye edilen saatlik seyahat zaman tasarrufu değerleri (U.S. DOT, 2014)

Kategori	Yüzey Modları
Yerel Seyahatler	
Kişisel Seyahatler	12.90 \$
İş Seyahatleri	24.90 \$
Tüm Seyahatler	13.45 \$
Şehirlerarası Seyahatler	
Kişisel Seyahatler	18.06 \$
İş Seyahatleri	24.90 \$
Tüm Seyahatler	19.52 \$

Bu kılavuza göre seyahat süresi tasarrufunun hesabı yapılırken mevcut durumdaki seyahat süresi tasarrufuna ek olarak geliştirilen veya yenisi yapılan sistemi kullanacak yeni yolcuların seyahat süresi tasarrufu eklenir. Mevcut durumdaki yolcular faydaların neredeyse tam değerini gerçekleştirirken, yeni eklenen yolcular ise basit bir varsayım ile mevcut yolculara olan değer yarısı kadar hizmet iyileştirmesinden kaynaklanan zaman tasarrufuna ortalama katkı verecektir. Bu ifadelerin formülleştirilmiş hali Denklem 2.10 ve 2.11’de sırasıyla verilmiştir.

$$\text{SSTD(mevcut)} = \text{Zamanın Değeri} * \text{Seyahat Süresindeki Değişim} * \text{Etkilenen Seyahatler} \quad (2.10)$$

$$\text{SSTD(yeni)} = 1/2 * \text{Zamanın Değeri} * \text{Seyahat Süresindeki Değişim} * \text{Etkilenen Seyahatler} \quad (2.11)$$

2.3.7.4.4 Kerkük-Süleymaniye Demiryolu Projesinde Kullanılan Yöntem. Kadhim ve Abdiljabar’ın (2013) hazırlamış olduğu Kerkük-Süleymaniye demiryolu projesinin fayda maliyet analizi çalışması kapsamında seyahat süresi tasarrufu için kullanmış oldukları yöntem şöyledir:

1-) Demiryolu ağının uygulandığı projeli senaryoda, treni kullanan yolcu sayısının seyahat süresi ile çarpımından elde edilen toplam zaman ile, özel araba ve otobüs yolcularının sayısının seyahat süresi ile çarpımından elde edilen toplam zaman arasındaki fark alınarak toplam tasarruf edilen zaman değeri bulunmuştur.

2-) Bu toplam tasarruf edilen zaman değeri ile bu zamana karşılık gelen çalışma süresi içindeki değer 4\$ olduğu ve bu değer %50’sinin iş yerinde kullanıldığı varsayımı ifadelerinin çarpılmasıyla da yıllık seyahat süresi tasarrufunun parasal değeri bulunmuştur.

2.3.7.5 Araç İşletme Maliyetlerinden Tasarruf

Araç işletme maliyetleri; araç satın alma, kiralama, araç vergileri sigortası gibi sabit maliyetlere ve bakım-onarım, yakıt gibi değişken maliyetlere ayrılabilir ve doğrudan karayolu araç sahiplerinin kullanıcı masraflarını içerir. Aynı zamanda araç işletme maliyetleri tasarım standartları ve yüzey koşulları gibi yol tasarım özellikleriyle de ilişkilidir (Kadhim ve Abdljabar, 2013).

Araç işletme maliyetlerinden kaynaklanan tasarruflara örnek verecek olursak, kent merkezine yapılan bir raylı sistem çalışmasında seyahatin özel araçlardan toplu taşıma araçlarına geçmesi ile birlikte yakıt tasarrufu, çevre kirliliğinin azaltılması gibi fayda hususları mevcuttur. Ayrıca bu özel araç sahiplerinin yollarda oluşturabilecekleri tıkanıklığın da önüne geçilerek o yoldaki seyahat hızının artmasına dolayısıyla da araç işletme maliyeti üzerinden tasarruf yapılmasına olanak sağlar. Ayrıca burada raylı sistem yapılmadan önce kullanılmakta olan otobüs seferlerinde de azalma olacağı ve bunun da araç işletme maliyetlerinde tasarruf sağlayacağı da açıktır.

Araç işletme maliyetlerinde tasarruf hesabı için kullanılan yöntemle örnek olarak;

2.3.7.5.1 Çiğli Tramvay Hattı Fizibilite Etüdünde Kullanılan Yöntem. Bu çalışmada kullanılan yöntemde özel araçların ve otobüslerin kullanımının projeli ve projersiz durumlarda karşılaştırması yapılarak araç işletme maliyetlerindeki tasarruf değeri hesaplanmıştır. Buna göre (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017);

1-) İlgili idarelerden otomobil ve otobüs için ayrı ayrı işletme ve bakım maliyetleri alınmıştır ve bu maliyetlerin birim maliyet olarak etkisi hesaplanmıştır.

2-) Projersiz durumda yolculukların otomobil ve otobüslere türel dağılımı sırasıyla 0,10 ve 0,90 alınmıştır. Her iki türel dağılım değerine göre yolcu sayıları belirlenmiştir. Belirlenen yolcu sayıları ile yıllık karayolu taşıt-km değerindeki

azalmalar hesaplanmıştır. Bu değerlerin birim maliyetlerle çarpılması sonucunda da araç işletme maliyetlerinden yapılan tasarruf değeri bulunmuştur.

2.3.7.6 Kaza Maliyetlerinden Tasarruf

Ulaşım faaliyetlerinin tümü için, kullanıcıların kendi hatalarından kaynaklanan ya da mekanik bir arıza sonucu meydana gelebilecek olan kaza oranlarının azaltılmaya çalışılması yani kullanıcılar için güvenlik unsurunun artırılması projelerde göz önüne alınması gereken önemli bir husustur. Bir proje sayesinde raylı sistem kaza olasılığının en aza indirilmesi ile ölüm ve yaralanma riski azaltılabilir ve böylece bu durum proje için ekonomik fayda olarak göz önüne alınır (U.S. Department of Transportation, 2016).

Kazaların ekonomik maliyeti doğrudan ve dolaylı maliyetler olarak iki kategoride temsil edilir (European Commission, 2014):

- ✓ Doğrudan Maliyetler. Bu maliyetler, kaza yılında meydana gelen veya bazı yaralanma türleri için kullanıcının kalan ömür boyu maliyetlerine ek olarak polis, mahkeme, özel kaza soruşturmaları, acil servis, sigorta masrafları gibi maliyetlerden oluşur.
- ✓ Dolaylı Maliyetler. Bu maliyetler, eğer bir kaza olmasaydı, bir kişi tarafından üretililecek mal ve hizmetlerin maliyetinden oluşur.

Bu hususlara göre bir kazanın marjinal dış kaza maliyetli aşağıdaki Denklem 2.10 ile özetlenebilir (Korzhenevych vd., 2014):

$$MC_i^v = r_i^v (a + b + c) \times (1 + E_i^v) - \theta^v r_i^v (a + b) \quad (2.10)$$

$$r_i^v = \frac{X_i^v}{Q_i^v} \quad (2.11)$$

$$E_i^v = \frac{\partial r_i^v}{\partial Q_i^v} \frac{Q_i^v}{r_i^v} \quad (2.12)$$

Burada r_i^v , her bir araç tipi (v) ve yol tipi (i) için kaza riskini temsil eder ve kişisel hasar (ölüm veya yaralanma) vakalarının sayısını X_i^v araç kilometre sayısına Q_i^v bölerek hesaplanır. (a+b+c) terimi ortalama kaza maliyetlerini yansıtır ve E, trafikte %1'lik bir artışın (vkm cinsinden ölçülür) kaza riskini yüzde olarak ne kadar artırdığını ölçen risk esnekliğidir. Q parametresi, her araç kategorisi için dahil olan kaza maliyetlerinin payını ölçer. Q ve E değerleri, MC sonucunun pozitif veya negatif olup olmadığını gösterir. Q-E>1 ise, marjinal maliyetler negatif olabilir, bu da yola giren her araç ile ortalama kaza maliyetinin azaldığı anlamına gelir. Buna göre, Q-E<1 ise, her ek araçta ortalama kaza maliyeti her zaman artar. Maliyetler (a+b+c), kazanın tüm sosyal maliyetlerini kapsar; a, maruz kalan kişinin ölüm veya yaralanma maliyetini temsil eder, b maruz kalan kişinin akrabaları ve arkadaşları için maliyetini temsil eder ve c parametresi, toplumun geri kalanı için maliyetleri temsil eder. Bu, çeşitli doğrudan ve dolaylı ekonomik maliyetleri içerir ve kendi başına güvenlik değerinin %10'unu yansıttığı varsayılır (yani, bir ölüm için yaşamın değeri) (Korzhenevych vd., 2014).

Kazalar sonucunda meydana gelen ölümler göz önüne alındığında, üretim kaybı unsurunun değerlendirilmesi istatistiksel yaşamın değeri kavramıyla ilişkilidir. İstatistiksel yaşamın değeri (VOSL), toplumun ortalama ölüm sayısını azaltma konusundaki ekonomik değerinin bir tahminidir. Aşağıda Denklem 2.13'de European Commission (2014) tarafından oluşturulan "Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects" çalışmasında istatistiksel yaşamın değerini yansıtan formül verilmiştir.

$$VOSL = \sum_t^T \frac{L_t}{(1+i)^t} \quad (2.13)$$

Burada;

VOSL = İstatistiksel yaşamın değeri

L_t = İşgücü geliri

T = Kalan yaşam süresi

i = İskonto oranı

İstatistiksel yaşamın değeri için 2010 yılında AB üye devletlerinin gelir seviyesi göz önünde bulundurularak yapılan çalışmalar sonucunda AB çapında 1.7 milyon €'luk bir ortalama değerin olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca ağır bir yaralanmanın değerinin ölüm değerinin %13'ü olduğu varsayılırken, hafif bir yaralanma ölüm değerinin %1'i olarak tahmin edilmiştir (Korzhenevych vd., 2014).

2.3.7.6.1 Çiğli Tramvay Hattı Fizibilite Etüdünde Kullanılan Yöntem. Projenin yapılacağı senaryoda otobüs, minibüs ve özel araç kullanım ihtiyacının azalmasına bağlı olarak karayolu trafik hareketliliğinin de azalması beklenir. Bunun sonucunda da kaza oranlarında da aynı şekilde bir azalma olması söz konusu olur. Çalışmada kullanılan yönteme göre;

1-) Yapılan bu fizibilite raporunda kaza maliyetlerinin tasarrufu için Türkiye Kaza İstatistiklerinden alınan verilerle taşıt-km başına kaza maliyeti hesaplanmıştır.

2-) Hesaplanan kaza maliyeti, araçların yapacakları kilometre değerleriyle ilişkilendirilerek kaza maliyetlerindeki tasarruf hesaplanmıştır.

2.3.7.6.2 U.S. Department of Transportation'a (2016) göre Kaza Maliyetlerinden Tasarruf. U.S. DOT kılavuzuna göre önlenecek kazaların şiddeti yaralanma, ölümlerin sayısı ve maddi hasarın derecesine göre ölçülür.

1-) Fayda maliyet analizinde üç araba kazası tipinin (ölümcül kazalar, yaralanma kazaları ve yalnızca maddi hasar kazaları) her biri için önerilen araba kazası maliyet tasarrufları aşağıda verilen Tablo 2..2'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Kaza maliyetleri için önerilen değerler

Fayda Maliyet Kategorisi		Tavsiye Edilen Değerler	
İstatistiksel Yaşamın Değeri (VOSL)		9.600.000 \$ (Ölüm başına)	
Sadece Maddi Hasar		4.198 \$ (Araç başına)	
Yaralanmaların Değerleri			
Yaralanma Ölçeği	Önemi	VOSL Kesiri	Birim Değeri
1	Küçük	0,003	\$ 28.800
2	Orta	0,047	\$ 451.200
3	Ciddi	0,105	\$ 1.008.000
4	Şiddetli	0,266	\$ 2.553.600
5	Kritik	0,593	\$ 5.692.800
6	Ölümcül	1,000	\$ 9.600.000

2-) Tablo 2.2’de önerilen değerler bir kaza riskinin beklenen sonuçlarıdır. Güvenlik faydalarını tahmin etmek için beklenen sonuçlara ek olarak temel risk ve herhangi bir projeden kaynaklanması beklenen riskteki azalma olmak üzere üç temel bileşen bulunur. Bu üç bileşen Denklem 2.14’de formülleştirilerek sonuçları güvenlik faydalarının tahmininde kullanılır.

$$\text{Güvenlik Faydaları} = \text{Temel Risk} * \text{Risk azaltma} * \text{Beklenen Sonuçlar} \quad (2.14)$$

Burada, temel risk yıllık ölçekte oluşabilecek kaza sayısı olarak düşünülebilir ve eğer bu bileşen yıllık ölçekte göz önüne alınıyorsa risk azaltma değeri de yıllık ölçekte alınmalıdır.

2.3.7.6.3 *Railpag (2003)’de önerilen yöntem.* Projesiz senaryoda kazaların maliyetlerinin projeli senaryoda olmayacağı düşüncesinden yola çıkılarak kazaların ekonomik maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılacak ifade Denklem 2.15’de verilmiştir;

Kaza maliyeti = Ölümlü Kaza Riski (ölüm sayısı/yolcu sayısı*km)* Ölümün değeri (€/ölü)* Trafik (yolcu sayısı*km) + Ciddi Yaralanma Riski (ciddi kazazedelerin

sayısı/ yolcu sayısı*km)* Ciddi Yaralanmanın Değeri (€/ciddi kazazede)* Trafik (yolcu sayısı*km) + Küçük Kaza Riski (hafif kazazede sayısı/ yolcu sayısı*km)* Küçük Kazanın Değeri (€/hafif kazazede)* Trafik (yolcu sayısı*km) + Hasar Kazaları Riski (kazaların sayısı/ yolcu sayısı*km)* Ortalama Zarar Değerleri (€/hafif kaza)* Trafik (yolcu sayısı*km) (2.15)

2.3.7.7 Gürültü Maliyetlerinden Tasarruf

Gürültü kirliliği, “ulaşım, karayolu trafiği, demiryolu trafiği, hava trafiği ve endüstriyel faaliyet alanlarından yayılan gürültü de dahil olmak üzere insan faaliyetlerinin yarattığı istenmeyen veya zararlı dış mekan sesi” olarak tanımlanabilir (European Commission, 2014). Ulaşım gürültüsü, konfor kaybı ve rahatsızlığın yanında kalp atış hızında değişiklik, kan basıncında artış ve hormonal değişiklikler gibi sinirsel stres reaksiyonları, kardiyovasküler hastalık riskinde artış, uykuda azalma, kalite ve işitme hasarı gibi sağlığa zararlı etmenler de içerir (Siciliano vd., 2016).

U.S. Department of Transportation (2016), gürültü maliyetlerinin hesaplanması konusunda güvenilir araçlar geliştirememiştir ve bu nedenle gürültü maliyeti etkisinin fayda maliyet analizinde niteliksel olarak ele alınmasını önermektedir. Buna karşılık Birleşik Krallık Hükümeti tarafından yayımlanan bir çalışmada ise, İngiltere’nin kentsel yol gürültüsü yıllık maliyetinin 7-10 milyar sterlin olduğu tahmin edilmiştir. Gürültü maliyetinin bu değeri, onu trafik kazalarının 9 milyar sterlin ve iklim değişikliği etkisinin 1-4 milyar sterlin olarak tahmin edilen değerlerle birlikte ne kadar önemli bir ölçüde etkisinin olabileceğini göstermiştir. Birleşik Krallık Hükümeti tarafından yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen gürültü maliyetinin parasal değerleri Tablo 2.3’te gösterilmiştir. Ayrıca Dünya Sağlık Örgütü tarafından Mart 2011’de yayınlanan bir çalışmada, “gürültü etkisini Batı Avrupa’daki en büyük ikinci çevre sağlığı riski” olarak tanımlanmıştır (Noise Pollution: Economic Analysis, 2014).

Tablo 2.3 Toplam raylı sistem gündüz ve gece marjinal değerleri, DB cinsinden hane başına €, Merkezi değerler, 2014 fiyatları (Noise Pollution: Economic Analysis, 2014)

Desibel Değişimi (dBA) (Gündüz)	Toplam Raylı Sistem (uyku bozukluğu hariç)	Desibel Değişimi (dBA) (Gece)	Raylı Sistem
45-46	€ 3.90	45-46	€ 13.59
46-47	€ 3.95	46-47	€ 15.06
47-48	€ 4.11	47-48	€ 16.52
48-49	€ 4.40	48-49	€ 17.99
49-50	€ 4.80	49-50	€ 19.46
50-51	€ 12.46	50-51	€ 20.92
55-56	€ 16.98	55-56	€ 28.25
60-61	€ 28.85	60-61	€ 35.59
65-66	€ 46.34	65-66	€ 42.92
70-71	€ 67.83	70-71	€ 42.92
75-76	€ 93.31	75-76	€ 42.92
80-81	€ 103.27	80-81	€ 42.92

Gürültü maliyetleri bazı faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu faktörlerin ilki saat faktörüdür. Günün saatine bağlı olarak insanlar gece saatlerinde gündüz saatlerine göre gürültüye daha duyarlıdır. Bu nedenle gece saatlerindeki gürültü maliyetleri gündüz saatlerine göre daha fazla olur. Gürültü faktörlerinin ikincisi ise kaynağa olan mesafedir. Gürültü kaynağına yakın mesafede olan nüfusun gürültüden daha fazla etkileneceği de açıktır. Son olarak da gürültü maliyetleri mevcut gürültü seviyelerine yani mevcut trafiğin karışımına, hızına ve hacmine bağlıdır (Siciliano vd., 2016).

2.3.7.7.1 European Commission (2014) tarafından oluşturulan “Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects” kapsamında gürültü maliyeti değerlendirmesi. Gürültüden kaynaklanan rahatsızlık ve sağlık hasarlarını azaltmak için kullanıcıların ödeme istekliliğine dayanarak marjinal gürültü maliyetlerinin

birim değerleri Korzhenevych vd. (2014) tarafından sağlanır. Bu değerler Tablo 2.4'te gösterilmiştir. Gürültünün ekonomik maliyeti için birim değerler kullanılarak gürültüye maruz kalan nüfusun gürültünün artmasının veya azalmasının uygun birim değeri ile çarpılmasıyla maliyet değeri tahmin edilir.

Tablo 2.4 Marjinal dış gürültü maliyetleri (1000 vkm başına €)

Mod	Günün Zamanı	Trafik Türü	Kentsel	Banliyö	Kırsal
Otomobil	Gündüz	Yoğun	8.8	0.5	0.1
		Seyrek	21.4	1.4	0.2
	Gece	Yoğun	16.1	0.9	0.1
		Seyrek	38.9	2.5	0.4
Motor	Gündüz	Yoğun	17.7	1.1	0.1
		Seyrek	42.7	2.7	0.4
	Gece	Yoğun	32.1	1.9	0.2
		Seyrek	77.9	5.1	0.6
Otobüs	Gündüz	Yoğun	44	2.4	0.4
		Seyrek	107	6.8	0.8
	Gece	Yoğun	80.3	4.5	0.7
		Seyrek	194.7	12.7	1.5
Hafif Ticari Araçlar	Gündüz	Yoğun	44	2.4	0.4
		Seyrek	107	6.8	0.8
	Gece	Yoğun	80.3	4.5	0.7
		Seyrek	194.7	12.7	1.5
Ağır Yük Araçları	Gündüz	Yoğun	81	4.5	0.7
		Seyrek	196.6	12.7	1.5
	Gece	Yoğun	147.8	8.3	1.3
		Seyrek	358.2	23.1	2.6
Yolcu Treni	Gündüz	Yoğun	273.4	12.1	15
		Seyrek	540.2	23.8	29.7
	Gece		901.6	39.8	49.6
Yük Treni	Gündüz	Yoğun	484.8	23.9	29.9
		Seyrek	1169.6	46.3	57.8
	Gece		1977.6	78.3	97.7

Not: Kentsel alanlar: nüfus yoğunluğu yol uzunluğunun km'si başına 3000 nüfuslu olan yerleşimler; banliyö alanları: nüfus yoğunluğu yol uzunluğunun km'si başına 700 nüfuslu olan yerleşimler; kırsal alanlar: nüfus yoğunluğu yol uzunluğunun km'si başına 500 nüfuslu olan yerleşimler.

Bu yönteme alternatif olarak geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan bir diğer hesap yöntemi ise hedonik fiyat yöntemidir. Bu yönteme göre, gayrimenkul fiyatlarının gürültü değişikliğine olan duyarlılığı, gürültü amortisman endeksi ile

ölçülür. Başka bir deyişle, gürültüden etkilenen evlerin sayısı ve ortalama konut fiyatı göz önüne alınarak toplam gürültü maliyeti hesaplanır (European Commission, 2014).

2.3.7.8 İklim Değişikliğinden Sağlanan Faydalar

Yatırım projelerinin fayda maliyet analizinde, sera gazı emisyonlarının olumlu veya olumsuz etkilerinin sonucunda oluşan iklim değişikliği unsurunun ekonomik maliyeti değerlendirmeye katılmalıdır. İklim sistemlerindeki değişim temel sera gazı emisyonları olan karbondioksit (CO₂), azot oksit (N₂O) ve metan (CH₄) miktarının gün geçtikçe artmasına paralel olarak olumsuz anlamda etkilenmektedir. Ulaşım faaliyetleri de sera gazı emisyonlarının artan etkilerine katkıda bulunmaktadır. Sera gazı emisyonlarının bu zararlı etkisi onu Dünya çapında küresel araştırma çıktılarının en önemli konularından biri haline getirmektedir (European Commission, 2014).

Sera gazı emisyonlarının maliyetlerini düşüren veya azaltan ulaştırma projeleri çevresel fayda sağlarlar. Raylı sistem projeleri de hem yolcu hem demiryolu yük projeleri ile ulaşım yakıtlarının üretimi ve yanmasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını ve diğer hava kirleticilerini azaltarak ulaşımın çevre üzerindeki etkisini azaltma potansiyeli sunmaktadır. Bu gibi durumlarda fayda maliyet analizi, önerilen bir projeden bu tür çevresel faydaların değerini ölçmeli ve tahmin etmelidir (U.S. Department of Transportation, 2016).

2.3.7.8.1 Handbook on Estimation of External Costs in The Transport Sector (2014) çalışmasında kullanılan yöntem. Farklı ulaşım modları için, iklim değişikliği maliyetlerinin hesaplanmasında şu adımlar izlenir:

- 1-) Farklı araçlar için, km başına ton CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilen sera gazı emisyon faktörlerinin ölçümü yapılır.
- 2-) Ton başına CO₂ eşdeğeri cinsinden iklim değişikliği unsuru maliyetlerinin değerlendirmesi yapılır.
- 3-) Farklı araç ve yakıt türleri için marjinal iklim değişikliği maliyetleri hesaplanır.

İklim değışikliğı maliyetlerini hesaplayabilmek için farklı yakıt türlerinden kaynaklanan sera gazı emisyon faktörlerinin birim yakıt tüketimi başına 2010 yılı değeri Tablo 2.5'te verilmiştir (Korzhenevych vd., 2014).

Tablo 2.5 Yakıt tüketimi birimi başına iklim değışikliğı maliyetleri

Yakıt	Litre yakıt başına CO ₂ (kg)	Litre yakıt başına CH ₄ (g)	Litre yakıt başına N ₂ O (g)	İklim değışiklik maliyeti, Litre yakıt başına €
Benzin	2.25	0.81	0.26	21.1
Dizel (karayolu ve demiryolu)	2.66	0.14	0.14	24.3
Deniz Dizel Yağı	2.99	0.27	0.08	27.2
Jet Gazyağı	2.86	0.02	0.08	26.0
LPG(%50 propan,%50 bütan)	1.77	1.74	0.01	16.3
CNG(metan)	1.57	2.58	0.08	14.9

Farklı araç tipleri ve ulaşım modları için marjinal iklim değışikliğı maliyetleri, emisyon faktörlerinin (CO₂ eşdeğeri) karbon fiyatı ile çarpılmasıyla hesaplanır. Almanya ve Birleşik Krallık için bu değeri 80 € iken, Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector (2014)' e göre 90 €'dur.

2.3.7.9 Hava Kirliliğı Tasarrufu

Ulaşım yatırımları, hava kirliliğine etkisi olan kirleticilerin değeri azaltarak veya arttırarak hava kalitesini önemli derecede etkileyebilir ve hava kalitesindeki bu değışimin fizibilite raporlarında fayda olarak göz önüne alınması önerilir. Hava kirleticileri olarak genel ayırım birincil ve ikincil kirleticiler olarak yapılmıştır. Birincil kirleticiler azot dioksitler (NO₂), kükürt dioksitler (SO₂), karbon monoksitler (CO), uçucu organik bileşenler (VOC) gibi doğrudan yakıt yanması sonucu oluşan ürünlerdir. İkincil kirleticiler ise ozon (O₃), nitratlar ve sülfatlar gibi atmosferik kimyasal reaksiyonlar ile ortaya çıkan ürünlerdir. Ozon, uçucu organik bileşikler (VOC), NO_x ve güneş ışığını içeren kimyasal reaksiyonlar sonucunda atmosferde oluşur. Nitratlar ve sülfatlar sırasıyla NO_x ve SO₂'nin oksidasyonu ile ortaya çıkar.

Bu nedenle bazı araç emisyon bileşenleri, hem birincil emisyonlar yoluyla hem de ikincil emisyonlar yoluyla sağlık üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu kirleticilerin insan sağlığı üzerindeki etkisini ölçme işlemi oldukça karmaşık ve zordur. Çoğu çalışmada PM_{2,5} ve PM₁₀ gibi parçacıkların karma bileşenlerinin kütle ölçümlerinden yararlanılır. Buradaki sayılar parçacıkların boyutlarını mikrometre cinsinden gösterir. Yani sırasıyla çapı 2,5 mikrometreden daha az ve 10 mikrometreden daha az olarak ifade edilir. PM_{2,5} veya ince PM, akciğerler alveollerinin gaz değişim bölgesine nüfuz edecek kadar küçük olan birincil yanma parçacıklarının yanında ikincil parçacıkları da (sülfatlar, nitratlar) içerir. Araç egzozundan yayılan parçacıklar çoğunlukla ince PM kategorisine aittir. Fren ve lastik aşınmasının yanı sıra yükseltilmiş yol tozundan kaynaklanan trafik ile ilgili diğer emisyonlar PM₁₀ kategorisine aittir (Korzhenevych vd., 2014).

2.3.7.9.1 U.S. Department of Transportation'a (2016) göre hava kirliliği emisyonlarının hesap yöntemi. Yatırım projelerinin fayda – maliyet analizlerinde çeşitli kirleticilerin zararlı etmenlerinin azaltılması için kullanılacak ekonomik değerler U.S. Department of Transportation (2016)'a göre Tablo 2.6'daki gibi ifade edilmiştir.

Tablo 2.6 Emisyon değerleri (\$/metric ton)

Emisyon Tipi	\$/metric ton
Karbon dioksit (CO ₂)	Yıllara göre değişir
Sülfür dioksit (SO _x)	47.341 \$
Nitrojen oksit (NO _x)	8.010 \$
Uçucu Organik Bileşenler (VOC)	2.032 \$
Partikül Madde (PM _{2,5})	366.414 \$

Yukarıdaki Tablo 2.6'da da gösterildiği gibi karbon dioksit hariç diğer tüm emisyon tipleri yıllık bazda sabit değerler alırlar. Bu kirleticiler fayda maliyet analizinde kullanılan diğer fayda ve maliyetler ile aynı oran kullanılıp bugünkü değerine indirgenerek hesaba katılmalıdır. CO₂ hesabı için ise U.S.Department of Transportation biraz daha farklı bir yöntem önermektedir. Buna göre CO₂

emisyollarını diğler fayda hesaplamalarından ayrı olarak azaltıp, elde edilen tahminleri yüzde 3 iskonto oranında düşürüp bugünkü değeri indirgeyerek projenin diğler fayda unsurlarına ayrı olarak eklenmelidir. Aşağıda Tablo 2.7’de CO₂ hesabı için gerekli olan karbon değeri yılara göre belirlenmiş değeri verilmiştir.

Tablo 2.7 Karbonun sosyal maliyeti (metrik ton başına CO₂)

Yıl	Karbonun Sosyal Maliyeti	Yıl	Karbonun Sosyal Maliyeti
2015	41 \$	2033	60 \$
2016	43 \$	2034	61 \$
2017	44 \$	2035	62 \$
2018	45 \$	2036	63 \$
2019	46 \$	2037	64 \$
2020	47 \$	2038	65 \$
2021	47 \$	2039	67 \$
2022	48 \$	2040	68 \$
2023	50 \$	2041	69 \$
2024	51 \$	2042	69 \$
2025	52 \$	2043	70 \$
2026	53 \$	2044	71 \$
2027	54 \$	2045	72 \$
2028	55 \$	2046	73 \$
2029	55 \$	2047	74 \$
2030	56 \$	2048	76 \$
2031	58 \$	2049	77 \$
2032	59 \$	2050	78 \$

Kirleticilerin emisyon değeri hesapları için gelecek yıllarda her bir kirleticinin azaltılmış emisyon miktarını, bu kirleticinin her bir ton emisyonunu önlemek için verilmiş olan parasal değeri ile çarpılması gereklidir.

2.3.7.9.2 “Adapted cost-benefit analysis methodology for innovative railway services” adlı makalede kullanılan yöntem (Siciliano vd., 2016). Bu makaleye göre hava kirliliğinin maliyetini hesaplayabilmek için “bottom-up-approach” ve “top-down-approach” adlı iki farklı yaklaşım kullanılabilir. Bottom-up-approach yaklaşımı mikro seviyededir yani belirli bir noktadaki trafik akışından meydana gelir. Top-down-approach ise makro düzeydedir. Her ikisinin de verdikleri sonuçlar birbirlerinden farklıdır. İncelemesi yapılan makalede bottom-up-approach yöntemi başka bir deyişle etki yolu yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre kullanılması önerilen yöntem Denklem 2.16’da verilmiştir.

$$\text{Hava kirliliği maliyeti} = \text{Enerji Tüketimi (kwh veya kg)} * \text{Üretim ve İşletme için Emisyon Faktörleri (g/kwh veya g/kg)} * \text{Sosyal Maliyet Faktörleri (€/ton)} \quad (2.16)$$

2.3.7.9.3 *Çiğli Tramvay Hattı Fizibilite Etüdünde (2017) Kullanılan Yöntem.* Ülkemizde yapılmış olan fizibilite çalışmaları incelendiğinde hava kirliliği ve iklim değişikliği konuları hakkında net bir çalışmanın olmadığı ve bu iki fayda unsurunun çevresel maliyetler adı altında ortak bir kategoride toplandığı görülmüştür. Ayrıca çalışma yapılmamasının yanında kullanılacak olan parametreler de farklı ülkelerin kaynaklarından alınıp bazı katsayılar kullanılarak fizibilite raporlarında sunulmuştur. Buna göre;

1-) Karayolu araçlarından kaynaklanan çevresel etki maliyetlerinde Victoria Transport Policy Institute (www.vtpi.org) tarafından yayınlanan ve "Transportation Costs & Benefits, Resources for Measuring Transportation Costs & Benefits, Environmental Costs, TDM Encyclopedia" da verilen çizelgelerden yararlanılmıştır. İstanbul’da ve A.B.D.’deki kişi başına GSYH değerleri dikkate alınarak, bu tablolarda verilen ortalama çevresel etki maliyetleri 0,25 katsayısı ile küçültülmüştür.

2-) Buna göre kent içi ulaşımında karayolu araçlarından kaynaklanan km başına çevresel etki maliyetleri otobüsler için 0,02041 Euro ve otomobiller için 0,00776 Euro olarak öngörülmüştür.

3-) Sera gazlarının azalmasından sağlanacak olan faydalar için ise atmosfere yayılan karbon dioksit (CO₂) miktarı hesaplanmıştır. Karayolu araçlarının CO₂ salınımları otobüsler için 1260,3 gr/km ve otomobiller için 280 gr/km olarak öngörülmüştür.

4-) Otomobil ve otobüsler için öngörülen bu değerler km başına düşen taşıt sayısı ile çarpılarak çevresel maliyetlerin ne kadar azalacağı sonucuna ulaşılmıştır.

2.3.8 Risk Değerlendirmesi

Büyük yatırım projelerinin onay alabilmesi için fayda maliyet analizi sonuçlarına bir risk değerlendirilmesi dahil edilmelidir. Risk değerlendirmesi, yatırım projelerinde oluşan belirsizlikle başa çıkmak için gereklidir. Risk değerlendirmesinin yapılmasında kullanılabilen yöntemlerden biri olan duyarlılık analizi ülkemizde yapılan fizibilite çalışmalarında güncel olarak kullanılmaktadır. Duyarlılık analizi, projede kritik olarak değerlendirilebilen değişkenlerin tanımlanmasını ve bu değişkenlerin olumlu ve olumsuz varyasyonlarının değerlendirilmesinde kullanılır. Analiz, bir seferde herhangi bir parametreyi değiştirerek ve bu değişikliğin net bugünkü değer üzerindeki etkisini belirleyerek gerçekleştirilir (European Commission, 2014).

Ülkemizde 2017 yılında yapılmış olan Çiğli Tramvay Hattı Fizibilite Etüdünde kullanılan duyarlılık analizine göre proje unsurlarının fizibilite sonuçlarını olumsuz yönde etkileyecek şekilde % 20 oranında arttırılmış ya da azaltılmış her durum için projenin ekonomik iç verim oranı ve fayda/maliyet oranı hesaplanmıştır. Yani proje maliyetleri ayrı senaryolarda % 20 oranında arttırılarak ve proje faydaları ise yine ayrı senaryolarda % 20 oranında azaltılarak projenin ekonomik açıdan yapılabilir olup olmadığı tespit edilmiştir.

2.4 Raylı Sistem Fizibilite Çalışmalarının Uluslararası Karşılaştırılması

2.4.1 Fayda Maliyet Analizi Temel Değerlendirme Ölçütlerinin Karşılaştırılması

Yatırım projelerinin fayda maliyet analizlerinde, uluslararası düzeyde yaygın olarak kullanılmakta olan net bugünkü değer, fayda maliyet oranı ve iç verim oranı olmak üzere üç değerlendirme ölçütünün olduğu daha önce belirtilmiş olup bu kriterlerin tanım ve formülleştirilmiş hallerinden yine daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Ayrıca bu ölçütlerde kullanılan projelerin ülkelere özgü iskonto oranı ve değerlendirme periyotlarının olduğu da belirtilmiştir. Değerlendirme ölçütlerinin uluslararası düzeyde karşılaştırmasını yapabilmek için 2005 yılında yayınlanan, Avrupa Birliğine üye olan 24 ülke (Lüksemburg hariç) ve İsviçre'deki ulaşım yatırım projelerinin değerlendirme kriterlerinin yer aldığı kapsamlı bir çalışma olan “HEATCO (Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment)” ve Avustralya, ABD, İngiltere, Kanada, Yeni Zelanda, Almanya, Hollanda, Fransa, Japonya, Çin, Kore Cumhuriyeti ve Singapur'daki kentsel demiryolu projelerini değerlendirmek için fayda maliyet analizi yaklaşımlarını karşılaştıran “Evaluating Urban Railway Development Projects– an international comparison” (Gwee vd., 2008) adlı makaleden de yararlanılarak aşağıda Tablo 2.8’de değerlendirme ölçütlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.8’e bakıldığında her ülkenin kendine özgü farklı iskonto oranları ve değerlendirme periyotlarının projelerde kullanıldığı görülmektedir. Karar verme ölçütlerinden olan net bugünkü değer parametresi hemen hemen her ülkede kullanılan ve en yaygın olan parametredir. Bu parametreyi ölçüt olarak kullanmayan ülkelerin Finlandiya, Almanya, İsveç, Yeni Zelanda, Japonya ve Singapur olduğu açıktır. Diğer parametrelerin ise net bugünkü değere kıyasla daha az kullanıldığı da tabloda gösterilmiştir. Çoğu ülke 1’den büyük bir fayda maliyet oranı gerektirir. İstisna olarak Almanya’da ise bir projenin önümüzdeki 20 yıllık plana dahil edilmeden önce 3’ten daha büyük bir fayda maliyet oranı değerine ulaşması gerekir; aksi takdirde bekleme listesine alınacak ve önümüzdeki 20 yıl için tekliflerle tekrar değerlendirilecektir.

Tablo 2.8 Değerlendirme ölçütlerinin uluslararası düzeyde karşılaştırılması

ÜLKELER	DEĞERLENDİRME ÖLCÜTLERİ	Net Bugünkü Değer	Fayda/Maliyet Oranı	İç Verim Oranı	İskonto Oranı (%)	Değerlendirme Periyodu (yıl)
AVUSTURYA	✓	✓	✓	✓	2-3	-
BELÇİKA	✓	✓	✓	✓	6.5	30
DANİMARKA	✓	✓	✓	✓	6	50
FİNLANDİYA	✗	✗	✗	✗	5	30
FRANSA	✓	✗	✓	✓	8	30
ALMANYA	✗	✓	✗	✗	3	40
İRLANDA	✓	✓	✓	✓	5	30
HOLLANDA	✓	✗	✓	✓	4	sonsuz
İSVEÇ	✗	✓	✗	✗	4	40-60
İSVİÇRE	✓	✓	✗	✗	2-2.5	40-sonsuz
İNGİLTERE	✓	✗	✗	✗	3.5	60
ÇEK CUMHURİYETİ	✓	✓	✓	✓	5-7	20
ESTONYA	✓	✓	✓	✓	6	30
MACARİSTAN	✓	✓	✓	✓	5	25
LETONYA	✓	✓	✓	✓	5	20-30
LİTVANYA	✓	✓	✓	✓	5	20
POLONYA	✓	✓	✓	✓	6	20
SLOVAKYA	✓	✓	✓	✓	6	20-30
SLOVENYA	✓	✓	✓	✓	8	20-25
KIBRIS	✓	✓	✓	✓	6-12	-
YUNANİSTAN	✓	✓	✓	✓	-	-
İTALYA	✓	✓	✓	✓	4-6	30
MALTA	✓	✓	✓	✓	6	30
PORTEKİZ	✓	✗	✓	✓	3-6	20
İSPANYA	✓	✓	✓	✓	6	-
AVUSTRALYA	✓	✓	✗	✗	-	50
YENİ ZELANDA	✗	✓	✗	✗	10	25
ABD	✓	✗	✗	✗	7-10	20
KANADA	✓	✗	✗	✗	10	30
JAPONYA	✗	✓	✗	✗	4	30-50
KORE CUMHURİYETİ	✓	✓	✓	✓	6.5	20-30
ÇİN	✓	✗	✓	✓	-	30-120
SİNGAPUR	✗	✓	✗	✗	4	60

✓ = FMA'da kriter olarak kullanılıyor.

✗ = FMA'da kriter olarak kullanılmıyor.

- = Bilgi yok.

2.4.2 Fayda Maliyet Analizi Ana Parametrelerinin Karşılaştırılması

Ulaştırma projelerinin değerlendirilmesinde tüm ülkeler fayda maliyet analizini kullanırlar. Birçok ülkede kullanılan fayda maliyet analizi teknik ve politik nedenlerden dolayı para kazandırmayan diğer etkileri de içeren nicel ve/veya nitel bir değerlendirme ile tamamlanarak projelerde karar verici unsur olarak kullanılmaktadır.

Fayda maliyet analizinin ana parametreleri ülkeler bazında incelendiğinde yatırım maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri, seyahat süresinden tasarruf ve güvenlik gibi unsurlar en sık kullanılan parametrelerdir ve ülkeler bunlara parasal değer atarlar. Fayda maliyet analizinde en sık dışlanan etkiler ise gürültü, yerel/bölgesel hava kirliliği ve iklim değişikliğinden kaynaklanan bozulmalardır. Bazı ülkelerde ise o ülkenin kendine özgü farklı kriterler için farklı değerlendirme kümeleri vardır. Örneğin, İngiltere seyahat süresi tasarrufu ve güvenlik unsurlarına diğer unsurlara göre daha fazla önem verirken, Fransa kentsel ve şehirlerarası yatırımların yerel gelişimi üzerindeki etkisine daha fazla önem verme eğilimindedir (Hayashi ve Morisugi, 2000).

Aşağıda Tablo 2.9’da fayda maliyet analizinde kullanılan ana parametrelerin ülkeler bazında karşılaştırılması gösterilmektedir. Bu tablo, Avrupa Birliği üye ülkelerinde yapılmış olan HEATCO (2005) çalışması ve “Evaluating Urban Railway Development Projects—an international comparison” (Gwee vd, 2008) adlı makaleden yararlanılarak fayda maliyet analizi parametrelerinin uluslararası anlamda karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 2.9 FMA ana parametrelerinin uluslararası düzeyde karşılaştırılması

ETKİLER ÜLKELER	Yatırım Maliyetleri	İşletme ve Bakım Maliyetleri	Artık Değer	Gelirler	Seyahat Süresinin Tasarrufu	Araç İşletme Maliyetlerinden	Kaza Maliyetlerinden Tasarruf	Gürültü Kirliliği Etkisi	İklim Değişikliği	Hava Kirliliği-Yerel/Bölgesel
AVUSTURYA	✓	✓	✓	/	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BELÇİKA	✓	✓	✓	✓	/	-	✓	✓	✓	✓
DANİMARKA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FİNLANDİYA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FRANSA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ALMANYA	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
İRLANDA	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	/	/	/
HOLLANDA	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
İSVEÇ	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
İSVİÇRE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
İNGİLTERE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	/	-
ÇEK CUMHURİYETİ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	/	/
ESTONYA	✓	✓	✓	-	/	/	/	-	-	-
MACARİSTAN	/	/	✓	/	/	/	/	/	-	/
LETONYA	-	/	/	/	/	/	/	/	-	/
LİTVANYA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
POLONYA	✓	/	✓	/	✓	-	/	/	-	/
SLOVAKYA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	/	/	/
SLOVENYA	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	-	-
KIBRIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
YUNANİSTAN	✓	✓	✓	-	✓	✓	/	/	-	✓
İTALYA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓
MALTA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PORTEKİZ	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	/	/	/
İSPANYA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	/	✓
AVUSTRALYA	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
YENİ ZELANDA	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ABD	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
KANADA	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	-	-
JAPONYA	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
KORE CUMHURİYETİ	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ÇİN	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	-	-
SİNGAPUR	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	-	-	-

✓ = FMA'da parasal değer olarak yer alır.

/ = Nicel veya nitel değerlendirmeye tabiidir ve parasal değer sağlamaz.

- = Bilgi yok veya kullanılmıyor.

2.4.2.1 Maliyet Bileşenlerinin Karşılaştırılması

Ulaştırma yatırım projelerinde altyapıyı inşa etme ve sürdürme maliyetleri, fayda maliyet analizi değerlendirme sürecinde maliyet bileşenlerinin ana unsurlarını oluşturur. Maliyet bileşenlerinden yatırım maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri yukarıda tablo halinde verilen ülkelerde fayda maliyet analizi değerlendirme aşamasında her ülkede ortak olarak dikkate alınan en önemli maliyet bileşenleridir (Kelly ve Laird, 2005).

Yatırım maliyetlerinden olan inşaat maliyetleri, arazi ve mülk maliyetleri tüm ülkelerde dikkate alınan parametrelerdir. Planlama maliyetleri ise Finlandiya ve Macaristan hariç tüm ülkelerde kullanılmaktadır. Yatırım maliyetleri gibi işletme ve bakım maliyetleri de tüm ülkelerde fayda maliyet analizi değerlendirme süreçlerinde göz önüne alınan bir diğer maliyet kalemidir (Kelly ve Laird, 2005).

Projelerde, değerlendirme süresi ile altyapı ömrü teorik olarak eşit olmalıdır ancak değerlendirme süresi genellikle altyapı ömründen daha kısa olmaktadır. Buna bağlı olarak da artık değer sorunu ortaya çıkmaktadır. Artık değer, ülkeler arasında fayda maliyet analizine dahil edilip edilmemesi konusunda farklı görüşlerin olduğu bir parametredir. Almanya, Hollanda, İsveç, İrlanda, Malta, Portekiz, ABD, Yeni Zelanda ve Singapur altyapısının ömrüne sonsuz veya eşit bir değerlendirme süresi kullandıkları için artık değer unsurunu fayda maliyet analizine katmazlar. İstisna olarak sadece İngiltere ve Hollanda ilgili kılavuzlarında sırasıyla 60 yıldan az ve 100 yıldan az sınırlı ömre sahip projeler için artık değer unsurunu dikkate alıyorlar. Diğer ülkeler ise artık değeri genellikle negatif bir maliyet olarak görmektedirler (Gwee vd., 2008).

Son olarak gelir parametresi de ülkeler arasında uzlaşmanın sağlanamadığı bir diğer maliyet bileşenidir. Gelir parametresi daha önce de bahsedildiği gibi genellikle fayda maliyet analizinde, fayda veya maliyet kategorisine alınmaz. Bu ücretlerin, geliştirilmiş bir raylı sistem hizmeti veya tesisi işleten bir kamu veya özel kuruluş

aktarılabilen mekanizma olduğu düşünülür (U.S. Department of Transportation, 2016).

2.4.2.2 Fayda Bileşenlerinin Karşılaştırılması

2.4.2.2.1 Seyahat Süresinden Tasarruf Bileşeninin Karşılaştırılması. Ulaştırma projelerinin fayda maliyet analizlerinde parasal etki anlamında en önemli fayda kaynağı seyahat süresinden tasarruf edilen zamandır. Seyahat süresinden tasarruf edilen zaman değeri tüm ülkeler için proje değerlendirilmesinde dikkate alınır ancak bu etkinin değerlendirmesinde kullanılacak yöntem konusunda farklılıklar vardır. Bu farklılığın oluşmasındaki önemli bir etken olan zaman tasarrufunun tanımlanması AB üye devletlerince farklılık gösterir. Bu farklılığa yol açan tanım farklılıkları zaman tasarrufunun; kişi ve amaca göre, yolculuk amacına göre, yolculuk moduna göre, yolculuk mesafesine göre ve araç türüne göre tanımlarının AB üye devletlerinde farklı olmasından kaynaklanmaktadır (EUNET, 2001).

Seyahat süresi tasarrufu değerinin belirlenmesinde farklılık oluşturan bir diğer etmen ise çalışma içi ve çalışma dışı zaman değerlerinin belirlenmesidir. Ülkelerin çoğu çalışma içi ve çalışma dışı zaman arasında ayırım yapmaktadır. Yapılan çalışmalara göre genellikle çalışma dışı zaman değeri için çalışma içi zamanın %25-%40 aralığında bir değer kullanılır. AB üye devletlerinden 7 ülke (Belçika, Lüksemburg, Polonya, Estonya, Kıbrıs, İtalya ve Portekiz) seyahat süresi tasarrufu için kılavuz değerlere sahip değilken, diğer kalan ülkelerin ise kılavuz değerleri vardır. Ancak kılavuz değerlere sahip olan ülkelerde yapılan projelerde bu kılavuz değerlere uyma zorunluluğu bulunmamaktadır (Kelly ve Laird, 2005).

Seyahat süresi tasarrufunun değerini bulabilmek için AB ülkeleri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntemler, seyahat süresinin tasarruf değerinin brüt ortalama maaşlara göre ve GSYH değerine göre hesaplamaktır (Odgaard, Kelly ve Laird, 2005).

2.4.2.2.2 Araç İşletme Maliyetlerinden Tasarruf Bileşeninin Karşılaştırılması.

Araçların işletme maliyetlerinden sağlanacak olan tasarruf değerleri ulaştırma yatırım projelerinin değerlendirme aşamasında çoğu ülke tarafından dikkate alınmaktadır. Araçların işletme maliyetlerinde bakım ve onarım, araçların amortismanı, yakıt ve yağlayıcıların maliyetleri değerlendirme aşamasında en yaygın kullanılan bileşenlerdir. Diğer bileşenlerin hesaba katılması ülke bazında yapılır ve bu sebepten dolayı fayda maliyet analizinin değerlendirilmesinin bu unsuru ülkeler arasında farklılık gösterebilir (Odgaard vd., 2005).

2.4.2.2.3 Kaza Maliyetlerinden Tasarruf Bileşeninin Karşılaştırılması.

Ulaştırma yatırım projelerinde kaza maliyetlerinden tasarruf bileşeni de seyahat süresinin tasarrufu bileşeni gibi tüm ülkelerde fayda maliyet analizinin değerlendirilme kısmında yer alır. Bu ortak bileşenin tüm ülkelerde dikkate alınmasının yanı sıra bir takım yöntem farklılıklarından dolayı kaza maliyeti olarak ele alınacak değerler arasında farklılıklar vardır. Bu farklılığa neden olan etmenlerden biri maliyetlerin nasıl göz önünde bulundurulduğudur. Kaza tasarrufu hesabında dikkat edilen üç ana unsur şunlardır (Bristow ve Nellthorp, 2000);

- Araç veya mülk hasarı, acil servisler, tıbbi bakım, cenaze masrafları vb. gibi doğrudan maliyetler;
- Kaza sonucu ölen yada yaralanan kişiden kaynaklanan üretim kaybı yani toplumsal maliyetler;
- Acı, keder açısından insan maliyetleri.

Bu üç unsurdan toplumsal maliyet unsuru AB üye devletlerinden Letonya, Slovenya ve İspanya'da kullanılmazken, Macaristan'da da insan maliyeti unsuru dikkate katılmadan hesap yapılır. Diğer AB üye devletlerinde ise bu üç unsur kullanılarak kaza değerleri tahmin edilir (Kelly ve Laird, 2005).

2.4.2.2.4 Gürültü Kirliliği Bileşeninin Karşılaştırılması.

Gürültü kirliliği etkisi ulaştırma yatırım projelerinde değerlendirme aşamasına dahil edilmesi konusunda fikir birliğinin olduğu ancak yöntem konusunda farklılıkların olduğu bir fayda

maliyet analiz bileşenidir. İtalya, Malta, Estonya, Kanada, Çin ve Singapur gürültü etkisini analizlerine eklemeyen, diğer ülkeler analizlerinde gürültü etkisine yer verirler (Odgaard vd., 2005).

Çoğu ülke gürültü kirliliği etkisini fayda maliyet analizlerinde değerlendirirken hedonik bir fiyatlandırma yaklaşımı kullanmaktadırlar. Hedonik fiyatlandırma yaklaşımına göre gürültü etkisi değerleri, evlerin gürültüye dayanıklı camlarla donatılmasıyla ölçülür (Gwee vd., 2008).

Gürültü kirliliği, gürültü etkisi ve sağlıkla ilgili maliyetler olmak üzere iki unsurdan oluşur. Gürültü kirliliğine fayda maliyet analizlerinde yer veren tüm ülkeler gürültü etkisini kapsamaktadır. Danimarka, Polonya, Litvanya, Fransa ve İsviçre'nin yer aldığı sadece beş ülke ise gürültü kirliliği analizinde sağlıkla ilgili maliyetlere de yer verir. İsviçre'de sağlıkla ilgili maliyetler gürültü etkisi maliyetlerinin yedide biri şeklinde hesaplanırken, Danimarka'da ise sağlıkla ilgili maliyetler gürültü etkisi maliyetlerinin %50'si olarak hesaplanır. Fransa ve Litvanya'da bu değer hedonik fiyatlandırmaya göre yapılır ve Polonya'da ise bu değer tıbbi tedavi masraflarına dayanır (Odgaard vd., 2005).

2.4.2.2.5 İklim Değişikliği Bileşeninin Karşılaştırılması. Küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi gibi iklim değişikliğinin sonucunda oluşan etkilerin fayda maliyet analizinde değerlendirmeye tabi tutulmasında ortak bir fikir birliği yoktur. Fakat iklim değişikliği unsuru çoğu ülke değerlendirmesinde dikkate alınır. Değerlendirme aşamasında iklim değişikliği unsurunu içeren tüm ülkeler karbondioksit (CO₂) etkisini göz önünde bulundururken, Tablo 2.9'daki ülkelerin yarısından daha azı ozon (O₃) ve metan (CH₄) etkisini değerlendirmelerine katarlar (Odgaard vd., 2005).

2.4.2.2.6 Hava Kirliliği Bileşeninin Karşılaştırılması. Hava kirliliği bileşeni fayda maliyet analizi değerlendirme aşamasına dahil edilme konusunda ülkeler arasında genel bir anlaşmanın olduğu ancak dahil etme yöntemi konusunda bir çok farklılığın olduğu bir bileşendir. Tablo 2.9'a bakıldığında 18 ülkenin hava kirliliğini parasal

değer olarak projelerinde kullandığını, 7 ülkenin ise projelerinde nitel veya nicel olarak değerlendirmeye kattığı bir fayda maliyet analiz bileşenidir.

Hava kirliliği değerlemesine katılan etkiler; partiküler maddeler ($PM_{2,5}$ veya PM_{10}), nitrojen oksitler (NO_x), sülfür dioksitler (SO_2), uçucu organik bileşenler (VOC), karbon monoksitler (CO) ve kurşun (Pb)' dur. Projelerinde hava kirliliğini parasal olarak değerlendirmeye katan ülkeler kurşun (Pb) hariç diğer tüm bileşenleri analizlerine katarlar. Sadece kurşun (Pb) çoğu ülkede değerlendirmeye tabi değildir. Ayrıca sadece Japonya hava kirliliği etkisini ölçerken nitrojen oksitler (NO_x) dışında diğer etkileri değerlendirmeye katmaz (Odgaard vd., 2005).

Projelerinin fayda maliyet analizi değerlendirme süreçlerine hava kirliliği bileşenini katan ülkeler genellikle parasal değerlerini etki yolu yaklaşımı ile belirlemektedir. Bununla birlikte hasar maliyeti yaklaşımı ve kaçınma maliyeti yaklaşımı yöntemlerini de kullanan ülkeler bulunmaktadır. Bazı ülkeler ise tek bir yöntemle kalmayıp birden fazla yöntemi kullanarak fayda maliyet analizi değerlendirme süreçlerine hava kirliliği bileşenini katmaktadırlar (Kelly ve Laird, 2005).

2.4.3 Türkiye’de Yapılan Fizibilite Çalışmalarının Uluslararası Düzeyde Karşılaştırılması

Ülkemizde yapılmış olan fizibilite çalışmalarının nasıl yapıldığı, hangi yöntemlerin kullanıldığı, değerlendirme aşamasında fayda maliyet analizi aşamalarından hangilerinin çalışmalarda yer aldığı gibi soruları inceleyebilmek için ülkemizin iki metropol şehri olan İstanbul ve İzmir’den raylı sistem fizibilite çalışmaları incelenmiştir. İzmir ili için, 2017 yılında yapılmış olan “Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü” ve 2016 yılında yapılan “4. Aşama F. Altay – Narlıdere İstihkam Okulu Arası 8,5 km’lik Güzergahın Fizibilite Raporu” incelenmiştir. İstanbul ili için ise; 2009 yılında yapılan “Kadıköy – Kartal – Kaynarca Raylı Sistem Hattı Fizibilite Etüdü” ve 2006

yılında yapılan “Otogar – Bağcılar ve Bağcılar – İkitelli Raylı Sistem Projeleri Ekonomik ve Mali Fizibilite Etüdü” incelenmiştir.

İncelenen 4 fizibilite etüdünde de öncelikle yolculuk öngörülerini ve işletme planlarıyla ilgili çalışmalar yapıp raylı sistem projeleri için gerekli olan veriler toplanmıştır. Daha sonra projelerin mali ve ekonomik etütlerine yer verilmiş ve en sonda bir duyarlılık analizi yapılarak projenin sonuçlarına ulaşılmıştır.

İncelenen fizibilite etütlerinin değerlendirme ölçütlerinde diğer ülkelerde de benzer şekilde kullanılan net bugünkü değer, iç verim oranı ve fayda/maliyet oranı değerleri kullanılmaktadır. Bu üç unsurdan en önemli değerlendirme ölçütü olarak net bugünkü değer, sıfırdan büyük bir değer sağlaması istenir. İç verim oranının, kullanılan iskonto oranından büyük olması yapılacak projenin faydalarının daha fazla olduğunun bir diğer göstergesidir. Son olarak da fayda/maliyet oranının 1’den büyük bir değer vermesi istenir. Bu üç değer göz önünde bulundurularak ülkemizde yapılan fizibilite çalışmalarının değerlendirilmesi sağlanır.

Ülkemizde yapılan raylı sistem fizibilite çalışmalarında projelerin değerlendirme periyodunun genellikle 25-30 yıl arasında olduğu incelenen çalışmalardan elde edilmiştir. İskonto oranı ise projeden projeye değiştiği ve net bir değer vermenin güç olduğu bir değerlendirme unsurudur. Buna göre; 2017 yılında yapılmış olan “Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşisi Fizibilite Etüdü” çalışmasında % 5, 2016 yılında yapılan “4. Aşama F. Altay – Narlıdere İstihkam Okulu Arası 8,5 km’lik Güzergahın Fizibilite Raporu” çalışmasında %10, 2009 yılında yapılan “Kadıköy – Kartal – Kaynarca Raylı Sistem Hattı Fizibilite Etüdü” çalışmasında % 10 ve 2006 yılında yapılan “Otogar – Bağcılar ve Bağcılar – İkitelli Raylı Sistem Projeleri Ekonomik ve Mali Fizibilite Etüdü” çalışmasında ise % 12’lik iskonto oranı değerleri kullanılmıştır.

Ülkemizde yapılmış olan 4 fizibilite etüdünün incelenmesi ile fayda maliyet analizinin ana parametrelerinden; yatırım maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri tüm ülkelerde de olduğu gibi bizim ülkemizdeki projelerde göz önünde bulundurulmuş

parametrelerdir. Ülkemizde gelir parametresi projelerde fayda veya maliyet olarak dikkate alınmaz ancak projenin mali fizibilite etüdünde kullanılır.

Fizibilite etütlerinde projeye fayda sağlayacak öğeler olan seyahat süresinden tasarruf, kaza maliyetlerinden tasarruf, araç işletme maliyetlerinden tasarruf ve çevresel etki maliyetlerinden tasarruf parametreleri ülkemizde yapılan çalışmalarda da kullanılmaktadır. Ayrıca diğer ülkelerde kullanılan ana parametrelerden olan gürültü, iklim değişikliği ve hava kirliliği öğeleri ayrı ayrı incelenmemektedir ve çevresel etki başlığı altında toplanıp daha sadeleştirilerek hesaba katılmaktadır.

Seyahat süresinden tasarruf parametresi ülkemizdeki fizibilite çalışmalarında çalışma içi ve çalışma dışı zaman ile kişi başına düşen GSYH değerleri göz önünde bulundurularak değerlendirmeye katılmaktadır. Kaza maliyetlerinde oluşacak tasarruflar için ise ülkemizde Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan Türkiye Kaza İstatistikleri dikkate alınarak kaza maliyetlerinde beklenen azalma değerleri hesaplanmaktadır.

İncelenen fizibilite çalışmalarında gürültü, iklim değişikliği ve hava kirliliği unsurlarının hesabı için 4 çalışmada da Victoria Transport Policy Institute tarafından yayımlanan ve "Transportation Costs & Benefits, Resources for Measuring Transportation Costs & Benefits, Environmental Costs, TDM Encyclopedia"da verilen çizelgelerden yararlanılmıştır. Bu çizelgelere göre ABD'de yapılan değerlerin bir katsayı kullanılarak ülkemizdeki çalışmalar için uyarlaması yapılmıştır. Ayrıca karayolu araçlarından kaynaklanan sera gazlarının da ne kadar azalacağını belirlemek amacıyla karbondioksit (CO₂) salınımlarının değerleri ölçülerek buradan yapılacak tasarruf değeri de hesaplanmıştır.

BÖLÜM ÜÇ

SOSYAL FAYDA ÖLÇÜTÜ OLARAK ERİŞİLEBİLİRLİK

Tez çalışmasının bu bölümünde ulaşım açısından yaşanan sorunların giderilmesi amacıyla yapılacak olan raylı sistem yatırımlarının erişilebilirliğe katkısı ve bu katkının bir fizibilite bileşeni olarak, parasal değerler atfedilerek yatırımların fayda maliyet analizleri için somutlaştırılması sağlanacaktır. Erişilebilirliğin parasal değere dönüştürülebilmesi için tez kapsamında erişilebilirlik türleri arasında en kapsamlı sayılabilecek olan ve ulaşım planlamasında kullanılan fayda esaslı erişilebilirlik ölçütünden yararlanılacaktır. Erişilebilirliğin yatırım projelerinin fayda maliyet analizine uyarlanabilmesi için de erişilebilirlik ile arazi kullanımından sağlanacak faydaların projelerin değerlendirme aşamalarında yer alabilmesi üzerinde durulacaktır.

3.1 Giriş

Son yıllarda kentlerimizde nüfusun artmasına paralel olarak bireylerin otomobil sahipliği de artmış olup, kent içinde gerçekleştirecekleri aktivitelere ulaşım ihtiyaçları da artmıştır. Araç sahipliğinin artmasının yanında yeni aktivite alanlarının kentlerde yer alması ve bu alanların geçmişi yüzyıllar öncesine dayanan kentlerimizde yapıların ve ulaşım sistemlerinin planlanmalarında eksiklerin olması pek çok trafik sorununu da beraberinde getirmiştir. Araç kullanımının fazlalığı sonucunda trafikte harcanan sürenin artması, kaza risklerinin fazlalaşması, gürültü kirliliği etkisinin artması, araçlardan salınan emisyonlar sonucunda çevreye verilen zararın artması gibi pek çok sorun kentlerimizde ulaşım performansının giderek azalmasına yol açmaktadır. Bu sorunların engellenebilmesi veya azaltılabilmesi amacıyla insanların, bireysel araç kullanımının azaltılarak toplu taşımaya yönlendirilmesi sorunların çözülebilmesinde önem kazanmaktadır (Özuysal, 2010).

Kullanıcıların metro, tramvay veya otobüs sistemleri gibi toplu taşıma sistemlerine yönlendirilmesi ile ulaşım performans sorunlarının aşılmasına yardımcı

olunabilir. Ulaşım altyapısı ve toplu taşıma gelişmeleri, bir kentin sosyo-ekonomik gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Gelişmiş kentlerdeki ulaşım sistemleri ile sağlanan erişilebilirlik ölçütü şehir planlamasında temel bir kavram olmakla beraber Hansen (1959) tarafından tanıtıldığından beri birçok uygulamada yer alan önemli bir ulaşım planlama kavramıdır. Erişilebilirliğin, kentsel yatırım ve planlamalarda ulaşım stratejilerinin etkilerini değerlendirmek için de yaygın olarak kullanıldığı da bilinmektedir.

Erişilebilirlik, arazi kullanımı ve ulaşım stratejilerinin etkisini değerlendirmek amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Geurs ve van Wee (2004), tarafından belirtildiği gibi erişilebilirlik, “arazi kullanımı ve ulaşım sistemlerinin bireylerin ulaşım modu aracılığıyla faaliyetlere veya hedeflere ulaşmasına izin verme derecesidir.” Bu değerlendirmeye örnek olarak yeni bir metro yapılan bölgeye olan erişilebilirliğin artması sonucu o bölgenin çekiciliğinin artması, farklı aktivite merkezlerine alanlar sağlayabilmesi, o yere gidip gelmek için gerekli seyahat süresinin azalması gibi etmenler sayesinde söz konusu arazinin kullanımı ve arazi değeri etkilenebilir. Erişilebilirliğin arazi kullanımı ile ilişkisini araştıran pek çok çalışma yapılmıştır. Bunlardan; Geurs, Zondag, De Jong ve De Bok (2010), çalışmalarında arazi kullanım politikalarından kaynaklanan, arazi kullanımındaki değişikliklerden erişilebilirlik faydalarını hesaplamaya çalışmışlardır, Wang, Monzon ve Di Commo (2014), ise erişilebilirliğin arazi kullanımı ve ulaşım modeli ile değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Erişilebilirliğin ekonomik faydası ile ilgili çalışmalar ise oldukça kısıtlıdır. Knudsen, Hjorth ve Pilegaard (2022), tarafından Danimarka'daki kişisel gelirlerin esnekliği, işlere erişilebilirlik açısından tahmin edilmiştir. Bu esneklik, ulaştırma altyapısı değişikliklerinin üretkenlik üzerindeki etkileri için bir tahmin modeli olarak kullanmıştır. Danimarka'daki ulaşım politikalarının değerlendirilmesinde ulaştırmanın ekonomik faydalarının daha kapsamlı bir şekilde hesaplanabilmesi için önerilmiştir. Genel olarak, esneklik değerinin 0,008-0,037 aralığında değiştiği, araştırmacılar tarafından tercih edilen modellerden gelen tahminlerin 0,025-0,029 aralığında olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada da Knudsen vd. (2022) tarafından elde edilen bulgulara istinaden raylı sistem yatırımlarının iş olanaklarına erişilebilirliğine olan etkisinin ekonomik boyutu ortaya konulmaya

çalışılacak ve raylı sistem fizibilitesinde ekonomik fayda bileşeni olarak değerlendirilecektir.

3.2 Erişilebilirlik

Erişilebilirlik, ilk ortaya atıldığından günümüze kadar gelen süreçte pek çok farklı şekilde tanımlanmıştır. İlk olarak Hansen (1959) tarafından “etkileşim için potansiyel fırsatlar” olarak tanımı yapılmıştır. Pirie (1979) ve Pooler (1987) erişilebilirliği “ulaşım ve arazi kullanım sistemi göz önüne alındığında kullanıcıların seyahat etme ve aktivitelere katılma yetenekleri” olarak, Bhat vd., (2001) “bireylerin ve ticari aktivitelerin istenen tesislere, ürünlere ve aktivitelere ulaşabilme kolaylığı” olarak, Taylor ve D'Este (2007) tarafından “bireylerin ulaşım sistemini kullanarak bir ihtiyacı veya isteği karşılamak için bir hedefe ulaşma kolaylığı” şeklinde tanımlamıştır.

Erişilebilirlik kavramı, genel anlamda iki sistem arasındaki etkileşimi göz ardı ederek, bir geri besleme döngüsü olmadan bağımsız veya ardışık olarak ulaşım veya arazi kullanım modelleri kullanılarak değerlendirilir (Geurs ve van Wee, 2004). Arazi kullanımı ve ulaşım etkilerinin dikkate alınmaması ulaşım planlaması politika etkilerinin büyük oranda eksik değerlendirilmesine yol açar ve son zamanlarda ulaşım planlaması politikalarında “mobilité (hareketlilik) için bir şeyler sağlama” anlayışı yerini git gide “erişilebilirlik için bir şeyler sağlama” anlayışına bırakmaktadır (Wang vd., 2014).

3.3 Ulaşım Sistemi Performans Ölçütleri Bakımından Erişilebilirlik

Mevcut ulaşım sistemlerinin performanslarının arttırılabilmesi amacıyla sistemin ölçülebilir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Bu değerlendirmenin performans ölçütleri bağlamında teker teker yapılması yerine tüm sistemi etkisi altına alabilecek çoklu ölçütler kullanılması yaklaşımı daha doğru ve güvenilir sonuçlar alınmasını sağlar. Ulaşım sistemleri performans ölçütleri olan seyahat süresi, güvenilirlik, maliyet, çevreye duyarlılık, konfor gibi pek çok ölçüt, trafik perspektifi, mobilité

perspektifi ve erişilebilirlik perspektifi isimleri altında 3 başlık halinde toplanabilir. Erişilebilirlik perspektifi diğerlerine göre daha genel bir yaklaşımdır ve diğer iki perspektifi kapsar (Özuysal, 2010).

Ulaşım sistemi performans ölçütlerinden ilki olan trafik perspektifinin ana merkezinde otomobil seyahatleri yer alır. Otomobil seyahatlerini gerçekleştiren araç sürücüleri bu yaklaşımın öncelikli kullanıcılarıdır. Araç sürücüsü olmayan yayalar ise bu yaklaşımda ikinci plandadır. Araç-km veya araç-seyahat birimleri trafik perspektifinin ölçü birimlerini oluşturur. Trafik perspektifinde otomobil kullanıcılarına yönelik olan maliyetler, sınırlamalar ve riskler temel ulaşım sorunlarıdır. Bu sorunların sebep olduğu performans düşüklüğünü giderebilmek için araç maliyetlerini düşürme, sürücülerin genel sınırlamalar dahilinde hızlarını maksimum seviyeye çıkarabilme, araçları için gerekli olan park yerlerinde sorunların giderebilme gibi yaklaşımların getirilmesi ön plandadır (Özuysal, 2010).

Mobilite, başka bir deyişle hareketlilik yaklaşımı ise insanların ve eşyaların hareketi olarak tanımlanmaktadır. Bu perspektifte de trafik perspektifinde olduğu gibi motorlu taşıt sürücüleri ön plandadır. Fakat trafik perspektifinden farklı olarak kamyon ve toplu taşıma gibi yolcu ve yük taşımacılığını oluşturan diğer türler ve kullanıcılar da bu yaklaşımda dikkate alınmaktadır. Yolcu-km, yolcu-seyahat ve ton-km birimleri mobilite perspektifinin ölçü birimlerini oluşturur. Bu yaklaşımda ulaşım sistemi sorunlarına çözüm olarak, araçların hızlarının arttırılması, güvenlik seviyelerinin arttırılması, yolcu taşıma kapasitelerinin arttırılması, raylı sistemler ve hava ulaşımı gibi toplu taşımanın yoğun kullanıldığı sistemlerin kullanımının arttırılması gibi yolcu ve yük taşıma performanslarını arttıran stratejiler kullanılması ile mobilite perspektifinde oluşan sorunlara çözüm önerileri getirilebilir (Özuysal, 2010).

Erişilebilirlik perspektifi ise ulaşım planlaması için yeni kullanılmaya başlanmış bir kavram olup “ulaşım ve arazi kullanım sistemi göz önüne alındığında kullanıcıların seyahat etme ve aktivitelere katılma yetenekleri” olarak tanımlanması yapılabilir (Bhat vd., 2001). Erişilebilirlik perspektifi, trafik ve mobilite perspektifine

kıyasla ölçümünün yapılması daha zor ve karmaşık olan bir yaklaşımdır ve ölçü birimi olarak hedef noktalarına erişim kolaylığı şeklinde dikkate alınabilir. Bu erişim kolaylığını sağlayabilmek için kullanılan bütün ulaşım türleri erişilebilirlik perspektifi kapsamına girer. Bu perspektifin performans ölçütleri olarak, arazilerin etkin kullanımı, seyahat süresince modlar arasındaki etkileşim, güvenlik ve konfor gösterilebilir (Özuysal, 2010).

3.4 Erişilebilirlik Bileşenleri

Ulaştırma sistemlerinde erişilebilirlik kavramının tanımının yapılabilmesi için gerekli olan temel bileşenler; arazi kullanım bileşeni, ulaşım bileşeni, zamansal bileşen ve bireysel bileşen olmak üzere 4 ana grupta sınıflandırılmıştır (Geurs ve Van Wee, 2004).

3.4.1 Arazi Kullanım Bileşeni

Arazi kullanım bileşenini ifade edebilmek amacıyla üç farklı bakış açısı kullanılmaktadır (Özuysal, 2010);

- Her varış noktasındaki fırsatların miktarı, özelliği ve konumsal dağılımı,
- Seyahatin başlangıç yerlerinde fırsatlara duyulan talep,
- Fırsatlar için var olan arz ve talep dengesi.

3.4.2 Ulaşım Bileşeni

Ulaşım bileşeni, ulaşım sistemi kullanıcılarının belirli bir başlangıç - bitiş çifti arasında yaptığı seyahat sırasında fark ettiği hoşnutsuzluğu ifade etmesiyle meydana gelir. Kullanıcı, seyahati boyunca karşılaştığı hoşnutsuzluğu ulaşım sisteminin bir faydasızlığı olarak değerlendirir. Ulaşım bileşeni sayesinde, kullanıcıların faydasızlık olarak nitelendirdiği içerik, zaman (seyahat, park etme, bekleme vb.), maliyetler ve efor (konfor, güvenilirlik vb.) gibi değişkenler olabilir. Bu faydasızlık arz talep dengesinden kaynaklanır (Gülhan, 2014).

3.4.3 Zamansal Bileşen

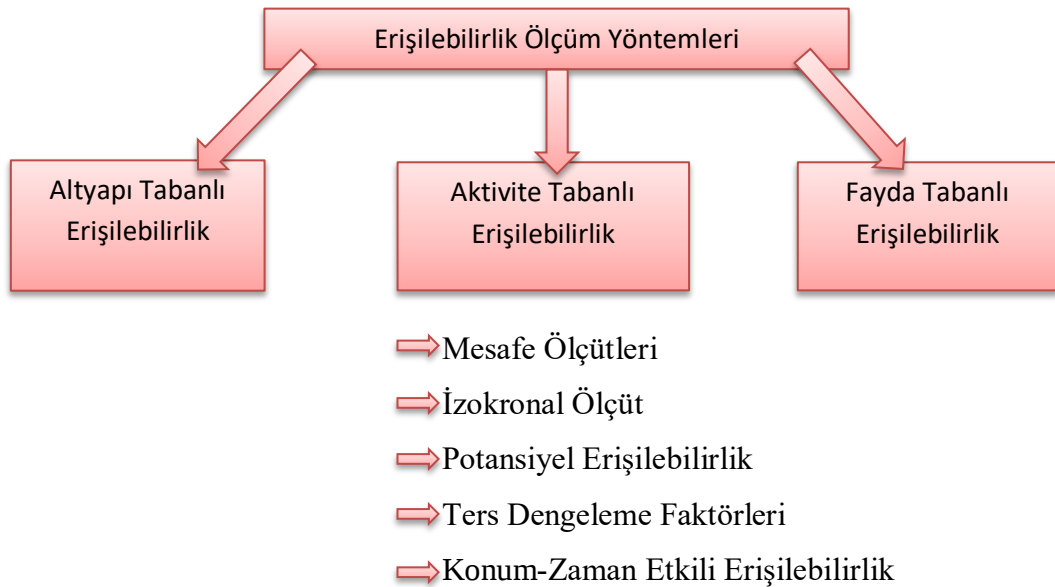
Zamansal bileşen, zamanla ilgili kısıtlamaları içerir. Fırsatların günün farklı zaman dilimlerinde uygunluğu, kullanıcıların aktivitelere katılabilmek amacıyla ayırabileceği zaman şeklinde ifade edilebilir (Kiremitçi, 2017).

3.4.4 Bireysel Bileşen

Bireysel bileşen, kullanıcıların yaş dağılımlarına, gelir miktarlarına, eğitim düzeylerine göre farklılık gösteren ihtiyaçları, fiziksel olanakları ve farklı ulaşım türlerine ulaşabilme uygunlukları ve kişinin gelirine ve seyahat bütçesine göre farklılık gösteren olanakları olarak ifade edilebilmektedir (Özuysal, 2010).

3.5 Erişilebilirlik Ölçüm Yöntemleri

Erişilebilirliğin ölçülmesi ile ilgili literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında çeşitli ölçüm yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür. Bu metotlardan en kapsamlı olan, Geurs ve Van Eck (2001) tarafından yapılan çalışmada, erişilebilirliğin ölçüm yöntemlerinin sınıflandırılması Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Erişilebilirlik ölçüm yöntemleri (Geurs ve Van Eck, 2001)

3.5.1 Altyapı Tabanlı Erişilebilirlik

Bhat vd., (2001) tarafından mekânsal ayrılık yöntemleri olarak da isimlendirilen bu yöntem, seyahat süresi, trafik tıkanıklığı, seyahat hızı gibi altyapıya ait ölçütler kullanılarak erişilebilirliğin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Hatta uluslararası karşılaştırmalı çalışmalarda incelendiğinde karayollarının uzunluğu, raylı sistem istasyon adedi gibi daha geniş ölçekli ölçütler de bu yöntem için kullanılmaktadır. Altyapı tabanlı erişilebilirlik yöntemleri, uygulamasının kolay olduğu, verilerinin kolay temin edildiği ancak yeterli sayıda erişilebilirlik bileşenini içermediği için yetersiz kalmaktadır (Kiremitçi, 2017).

3.5.2 Aktivite Tabanlı Erişilebilirlik

Literatürde lokasyon temelli ölçütler olarak da kullanılan aktivite tabanlı erişilebilirliği 5 ayrı başlık altında incelemek mümkündür;

3.5.2.1 Mesafe Ölçütleri

Mesafe ölçütleri, belirli bir merkez noktası ile hedef noktası arasındaki doğrusal uzaklık veya yol cinsinden uzaklık olarak basitçe ifade edilebilir. Mesafe ölçütleri, erişilebilirlik kavramının kullanılmaya başlandığı ilk zamanlarda daha çok kullanılan sade, uygulanması kolay ölçütler olmasına rağmen özellikle sadece seyahatin hedef noktasını dikkate alması ve bunun yanında pek çok trafik özelliğini de dikkate almaması nedeniyle yetersiz görülebilmektedir (Gülhan, 2014).

3.5.2.2 İzokronal Ölçüt

İzokronal ölçüt, integral, kontür yöntemi, yakınlık ölçütü, kümülatif fırsatlar yöntemi olarak da adlandırılabilen, merkezinde konum ve zaman faktörünün yer aldığı bir erişilebilirlik ölçüm yöntemidir. Belirli bir seyahat süresi ve uzunluğu içinde ulaşılabilecek fırsatlar olarak tanımlanabilir (Özuysal, 2010). Bireyin günlük seyahati için hedeflediği noktaların (okul, hastane, alışveriş merkezi) zamansal

aralıklarla ifade edilmesi izokronal ölçüt kullanılarak yapılabilir. İzokronal ölçüt Denklem 3.1'deki gibi ifade edilebilmektedir (Kiremitçi, 2017):

$$A_i = \sum_j O_{jt} \quad (3.1)$$

Burada;

A_i = Erişilebilirlik

i = Başlangıç noktası

j = Hedef noktası

O = J hedef noktasındaki fırsatların toplamı

t = Zaman aralığı

3.5.2.3 Potansiyel Erişilebilirlik

Potansiyel erişilebilirlik, fırsatların dağılımını yolculuk süresi ve mesafe merkezinde değerlendiren bir ölçüttür. İzokronal ölçütle benzerlikler taşır ancak izokron aralıkları yerine orijine mesafeye göre fırsatları değerlendirir. Veri gereksinimi, diğer erişilebilirlik ölçütleri ile kıyaslandığında orta düzeydedir (Özuysal, 2010).

İlk kez Hansen (1959) yaptığı çalışmada bu ölçütü “olanakların etkileşim potansiyeli” olarak uygulamıştır. Denklem 3.2’de Hansen (1959) tarafından yapılan çalışmada kullanılan ölçütün matematiksel ifadesi verilmiştir;

$$A_i = \sum_j D_j d_{ij}^{-\alpha} \quad (3.2)$$

Burada, “ A_i ”, “ i ” zonundan “ j ” zonundaki tüm “ D ” fırsatlarına erişebilme ölçütünü, “ d_{ij} ”, “ i ” ve “ j ” zonları arasındaki mesafeyi, “ α ” ise mesafeye duyarlılık unsurunu belirtmektedir.

Potansiyel erişilebilirlik ayrıca, iş erişilebilirliğinin toplam seviyesini ölçmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Handy, 1994; Gutierrez, Monzón ve Piñero, 1998).

Potansiyel erişilebilirlik, ulaşım/arazi kullanımının etkisini birleştirir ve mesafe veya zamanla azalan bir işlev kullanarak kişisel ulaşım algılarına ilişkin varsayımları da içerir. Bununla birlikte, potansiyel erişilebilirliğin, rekabet etkilerini dışladığı için teorik bir dezavantajı vardır (Geurs ve van Wee, 2004). Bölgedeki işler için yüksek rekabet olduğunda, işi alma şansı, rekabetin olmadığı veya daha az olduğu bir durumdan daha düşüktür (Wang vd., 2014).

3.5.2.4 Ters Dengeleme Faktörleri

Konumsal etkileşim düzeyini açıklama amacı olan çekim modellerinin açıklanmasında ilk olarak Wilson (1971) yaptığı çalışmada yaratım kısıtlı model, çekim kısıtlı model, çift kısıtlı model ve kısıtsız model olmak üzere 4 tip model tanımlamıştır. Erişilebilirlik ile ters dengeleme faktörleri arasında doğru orantı vardır. Ters dengeleme faktörü büyüdükçe erişilebilirlik de artar ve ters dengeleme faktörleri diğer ölçütlere nazaran rekabet şartlarını da göz önünde bulundurur ancak teorik açıdan açıklanabilmeleri zordur (Özuysal, 2010).

3.5.2.5 Konum Zaman Etkili Erişilebilirlik

Konum zaman ölçütünün ana merkezinde zaman ve arazi kullanım öğeleri birlikte yer almaktadır. Özuysal (2010), konum-zaman ölçütünü, “gözlenen veya kabul edilen birey veya hane aktivite programlarının, verilen zaman sınırlaması içinde nasıl şekillendiğini veya zaman sınırlamasının aktivite programına şekil verip vermediğini inceler” şeklinde ifade etmiştir. Son zamanlarda coğrafi bilgi sistemlerindeki gelişmeler sayesinde bu ölçüt daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Ancak detaylı verilere ihtiyaç duyulması, ulaşımın sadece talep bileşeni ile ilgilenmesi gibi dezavantajları da vardır.

3.5.3 Fayda Tabanlı Erişilebilirlik

Fayda tabanlı erişilebilirlik ölçütü, kullanıcıların karşılaştıkları alternatifler sonucunda algıladıkları faydayı temsil eder. Önceki bölümlerde yatırım projelerinin

fayda maliyet analizinde de yer verildiği gibi fayda, toplumun refah düzeyini temsil eder ve refah düzeyinin maksimum olmasını yani kullanıcılara maksimum fayda sağlaması temeline dayanır. Bu yönüyle fayda tabanlı erişilebilirlik, ekonomik faydanın bir gösterimi olarak da değerlendirilebilir. Ayrıca bu yaklaşım, erişilebilirliği bireysel olarak dikkate alır ve buna bağlı olarak da kullanıcıların karakteristiklerinin de dikkate alınmasını zorunlu kılar (Özuysal, 2010).

Fayda tabanlı yaklaşımın formülleştirilmiş en basit hali Denklem 3.3'te gösterilmiştir (Ben Akiva ve Lerman, 1979):

$$A_n = E(\max U_k) \quad (3.3)$$

Burada, bir “n” bireyinin erişilebilirliği, alternatif kümesindeki her bir “k” alternatifi için beklenen (E) maksimum fayda U_k olarak tanımlanmaktadır. Burada “n” bireyi için U_k faydası ise Denklem 3.4'te verilmiştir:

$$U_{ij} = V_{ij} + \beta c_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (3.4)$$

Burada, V_{ij} , “n” kullanıcısının “i” başlangıç noktasından “j” varış noktasına yaptığı seyahatten elde edilen faydayı, c_{ij} , i ve j arasındaki yolculuğun genel maliyeti (zaman ve para cinsinden), β , maliyetin duyarlılık parametresini ve ε_{ij} ise denklemin rastgele değişkenini ifade eder. Bir bireyin içinde bulunduğu bir alternatifler kümesindeki hedeflere birer fayda atadığı ve bireyin kendi faydasını maksimum duruma dönüştüren bir alternatifi seçtiği dikkate alınırsa, erişilebilirlik çoklu lojit modelin bir paydası olarak tanımlanabilir. Tanımlanan bu çoklu lojit model “logaritmik toplam” olarak da ifade edilebilir. Logaritmik toplam, özet olarak tüm alternatifler kümesinin çekiciliğini gösterebilen bir ölçüt olarak da söylenebilmektedir. Denklem 3.5'te bu erişilebilirlik ölçütü gösterilmiştir (Özuysal, 2010):

$$A_n = \ln \left(\sum_k e^{V_k} \right) \quad (3.5)$$

Burada “ A_n ” erişilebilirlik ölçütünü, “ V_k ” ise “ n ” bireyi için “ k ” alternatifine ait toplam fayda içindeki fayda oranını, ulaşım türü ve yolculuk hedefi birleşimine bağlı olarak ifade etmektedir. Bu ifade, ε_{ij} rastgele değişkeninin Weibull dağılımına uyduğunu kabul etmektedir. Aynı zamanda potansiyel bir erişilebilirlik ölçütü negatif üssel dağılıma uygun bir uzaklığa bağlı azaltma fonksiyonu kullanılarak da gösterilebilmektedir.. Dolayısıyla “ n ” bireyinin erişilebilirlik ifadesi (A_n), “ i ” zonunda yaşayan bireyin, “ c_{ij} ” maliyeti ile ulaşabileceği “ j ” noktasında yer alan “ D ” fırsatlarından elde edebileceği fayda şeklinde ifade edilebilmektedir. Böylece ifade Denklem 3.6’daki gibi ifade edilebilmektedir:

$$A_n = \frac{1}{\beta} \ln \sum_j D_j e^{-\beta \cdot c_{ijn}} \quad (3.6)$$

Burada, erişilebilirlik ifadesi, denklemin (β) duyarlılık parametresine bölünmesinden dolayı, yolculuk maliyeti cinsinden ifade edilmiştir. Ayrıca denklemden yer alan “ m ” indisinin ulaşım türünü ifade etmesinden dolayı erişilebilirlik değerleri her bir ulaşım türü için de ayrı ayrı hesaplanabilmektedir.

Fayda esaslı erişilebilirlik ölçütlerinin en önemli avantajlarından biri, teorik yapısının sağlam olmasıdır. Çünkü geleneksel mikro-ekonomik refah kuramı ile doğruca bir bağ sağlamaktadır. Ayrıca davranışsal içeriği, temel potansiyel erişilebilirlikten daha yüksektir. Sonuç olarak fayda esaslı erişilebilirlik ölçütü, bir yerleşim yerindeki bireylerin erişilebilirliğini temsil ederken, potansiyel erişilebilirlik ölçütü ise, tüm bireyleri homojen olduğu varsayımına dayanarak bir yerleşimin veya zonun erişilebilirliğini temsil eder. Ayrıca fayda esaslı erişilebilirlik ölçütünün potansiyel esaslı erişilebilirlik ölçütüne kıyasla bireysel davranışın toplulaştırılmasında daha güvenilir sonuçlar verdiği söylenmektedir (Geurs ve Van Eck, 2001).

BÖLÜM DÖRT

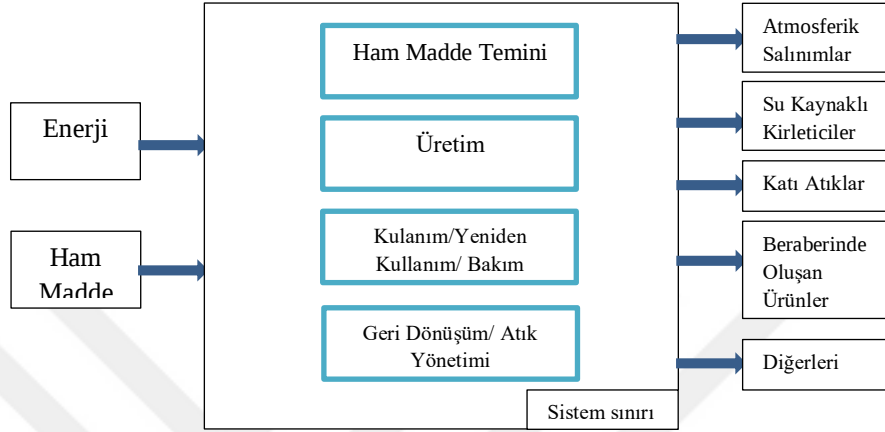
YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

4.1 Giriş

Tüm Dünya’da çevre bilincinin artması, insan eylemlerinin sonuçları olan iklim değişikliği, hava, su ve toprak kirliliği, biyoçeşitlilik kaybı gibi insan refahına ve yaşamına tehdit oluşturan olumsuz etmenlerin artmasıyla birlikte hem kamu idareleri hem de çeşitli işletme kuruluşları tarafından bu etmenleri sorgulamak ve zararları minimuma indirmek veya ortadan kaldırmak amacıyla daha çevreci politikalar geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Bortoli, Bouhaya ve Feraille, 2020). Özellikle tüm inşaat sektörü çevreye verilen zararda en ön sıradadır. Ulaştırma endüstrisi ise günümüzde sera gazı emisyonlarının en yoğun atık olarak yer aldığı en büyük ikinci sektördür. Bu emisyonların yaklaşık %20’si hem özel/kamu hem de yolcu/yük araçları da dahil olmak üzere karayolu taşımacılığı ile üretilmektedir. Küresel olarak da, hafif hizmet araçları toplam enerji kullanımının ve sera gazı emisyonlarının yaklaşık %10’unu oluşturmaktadır (Del Pero, Delogu, Pierini ve Bonaffini, 2015). European Commission, 2013 yılında ulaştırma sektöründe artan çevresel olumsuzluklara önlem almak amacıyla herhangi bir girişimin çevresel değerlendirmelere tabi tutularak yapılması yönünde çağrıda bulundu. Birçok işletme ürünlerin çevresel performanslarını iyileştirmek amacıyla kirlilik önleme stratejileri ve çevre yönetim sistemleri kullanarak çevre üzerine etkilerin minimuma indirilmesini veya azaltılmasına katkıda bulunmayı önemli bir prensip haline getirmişlerdir. Halihazırda kullanılmakta olan yaşam döngüsü analizi (Life Cycle Analysis) veya bir diğer adıyla yaşam döngüsü değerlendirmesi (Life Cycle Assesment) ile ürünlerin, tüm yaşam döngüleri dikkate alınarak çevreye olan zararının minimum düzeye indirilmesi amaçlanmaktadır (Scientific Applications International Corporation, 2006).

Yaşam döngüsü analizi, “çevreye enerji, malzeme kullanımlarını ve salınımlarını tanımlayarak ve ölçerek bir ürün, süreç veya bir faaliyetle ilişkili çevresel yükleri değerlendirmeyi amaçlayan ve aynı zamanda çevresel iyileştirmeleri etkileme

fırsatlarını değerlendirmeyi ve uygulamayı amaçlayan nesnel bir süreçtir” (Chau, Leung ve Ng, 2015). Bir ürünün yaşam döngüsü çevrimi, ham madde alımı, üretimi, kullanımı/bakımı ve geri dönüşümü olmak üzere 4 aşamadan meydana gelir. Şekil 4.1’de bu aşamalar gösterilmiştir.



Şekil 4.1 YDA aşamaları (SAIC, 2006)

Yaşam döngüsü analizi, bir ürün, süreç veya hizmetle ilgili çevresel yönleri ve potansiyel etkileri değerlendirmek için kullanılan bir tekniktir: Yaşam döngüsü analizi ile işletmeciler çevreye zararı en az olan ürünü veya süreci seçebilirler. Yeni bir ürünün üretilmesi, herhangi bir ürünle ilişkili problemlerin analiz edilmesi, birbiri ile ilişkili olan ürünler veya süreçler arasında karşılaştırmalar yapılarak uygun ürünün seçilebilmesi gibi hem kamu hem de özel alanda yaşam döngüsü analizleri kullanılabilir (Demirer, 2011).

Yaşam döngüsü analizleri yapılırken kullanılmakta olan pek çok yazılım bulunmaktadır. Cooper ve Fava (2006) yaptıkları bir araştırmanın sonuçlarına göre %58 oranla GaBi ve %31 oranla Simapro yazılımlarının, kullanıcılar tarafından en çok tercih edilen yazılımlar olduklarını öne sürmüşlerdir. Bunlar dışında LCAiT, NIRE-LCA, Umberto, OGIP, EcoSean Life gibi yaygın olarak kullanılmakta olan yazılımlar da bulunmaktadır. Tez kapsamında çevresel etkilerin araştırılmasında kullanmak üzere temin edilen yazılım ise GaBi (Thinkstep, Germany) yazılımıdır.

4.2 Yaşam Döngüsü Analizinin Tarihçesi

Yaşam döngüsü analizi çalışmaları, hammadde ve enerji kaynaklarının kısıtlamaları konusundaki endişeler, kirlilik kontrolü ve katı atık gibi çevresel sorunların baş gösterdiği 1960'lı yıllarda ortaya çıkan genç ve halen gelişmekte olan bir uygulamadır. YDA'nın ilk ortaya çıktığı bu dönemde genellikle enerji kaynaklarının maliyetleri ve çevresel etkileri üzerinde çalışmalar yapıldığı gözlenmiştir (SAIC, 2006). 1969 yılında Coca Cola şirketi için Midwest Research Institute (MRI) tarafından yapılan ancak yayınlanmamış olan bir çalışmada farklı içecek kutularının üretim aşamalarında çevresel emisyon değerlerini karşılaştırarak analiz etmeye çalışmışlardır. MRI'n yaptığı bu çalışmayı takiben 1974 yılında İsviçre'de Basler ve Hofman tarafından benzer bir çalışma Avrupa kıtasında da yapılmış ve günümüzdeki YDA'nın gelişiminin temelleri atılmıştır.

1970'li ve 1980'li yıllarda YDA farklı ülkelere pek çok uygulama için kullanılmış fakat bu uygulamalar kullanılırken ülkeler arasında ortak bir fikir beyanı veya standartlar olmadan yapılmış ve gelişimini sürdürmüştür. 1990'lı yıllarda ise daha çok bilimsel faaliyetler, forumlar, ilk bilimsel dergi makaleleri ve YDA standartları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu dönemde SETAC (Çevre Toksikoloji ve Kimya Örgütü) ve ISO (Uluslararası Standartizasyon Örgütü) tarafından yapılan çalışmalarla YDA çerçevesinde yöntemlerin tartışılması, analiz edilmesi ve belirli sonuçlara bağlanması gibi önemli çalışmalarda bulunulmuştur (SAIC, 2006). ISO'nun 1994 yılından bu yana geliştirmiş olduğu ISO 14000 (Çevre Yönetim Sistemleri) standartları içerisinde yer alan 14040 sayılı serisi, 14041, 14042, 14043 ve 14044 serileri YDA ile ilgili geliştirilmiş olan en önemli standartlardır. Şu anda ülkemizde TSE tarafından kabul görmüş ve uygulamada kullanılan standartlar ise TS EN ISO 14040 VE TS EN ISO 14044'tür (Özdemir, 2013).

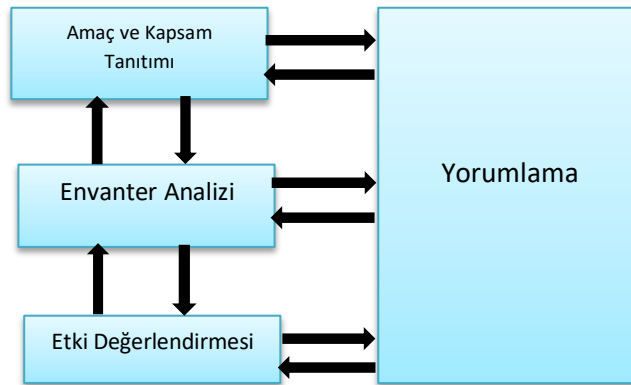
2002 yılında UNEP (Birleşmiş Milletler Çevre Programı) ve SETAC, Yaşam Döngüsü Girişimi adı altında uluslararası bir ortaklık başlattı. Girişim, yaşam döngüsü düşüncesini uygulamaya koymayı ve daha iyi veri ve parametreler yoluyla destekleyici araçları geliştirmeyi amaçlamaktadır. Avrupa Yaşam Döngüsü

Değerlendirme Platformu ise yine benzer amaçlara hizmet etmek amacıyla 2005 yılında kurulmuştur. Daha sonraki yıllarda ise YDA çerçevesinin gelişimi artmış ve özellikle sürdürülebilirlik kavramı gibi yeni kavramlarla birlikte çalışmalarda daha sık yer almaya başlamıştır.

4.3 Yaşam Döngüsü Analizinin Yapısı

Yaşam döngüsü değerlendirmesi kendine ait birçok tanım barındırabilen, karmaşık analizlerin yer aldığı, sonuçlarına çevresel etmenlerin yansıtıldığı önemli bir süreçtir. Önceki bölümde de tanımlandığı gibi YDA, ISO’da yapılan tanıma göre; “bir ürünün yaşam döngüsü boyunca, yani hammadde ediniminden, üretim ve kullanım aşamalarından atık yönetimine kadar kullanılan potansiyel çevresel etkileri ve kaynakları değerlendirmek için kullanılan bir araçtır” (ISO, 2006a). Bir YDA hazırlayıcısı, bir ürünün farklı yaşam döngülerinde hammadde üretiminden ürünün bertarafına ve tekrar geri dönüştürülmesine kadar olan tüm çevresel süreçleri içeren bir “beşikten mezara” analiz gerçekleştirir. Bu analiz ile YDA hazırlayıcısı, bir ürünün çevresel etkilerini ortaya çıkarır, bu çıktıları bağlı olarak değerlendirmesini yapar ve ürünün toplam çevresel etkisini farklı bir ürün ile karşılaştırabilir.

Bir YDA, ISO 14040 standartlarına göre amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki değerlendirmesi ve yorumlama aşamalarından meydana gelir. Bu aşamaların birbirleri arasındaki ilişki Şekil 4.2’de gösterilmiştir (ISO 1997).



Şekil 4.2 YDA aşamalarının birbirleriyle ilişkisi (ISO 1997)

4.3.1 Amaç ve Kapsam Tanımı

Amaç ve kapsam tanımı aşaması, bir ürünün yaşam döngüsü analizi sırasında ortaya çıkabilecek çevresel etkilerin sürece dahil edilmesinin amacını ve yöntemini tanımlayan ve diğer aşamalara temel oluşturan kısımdır. Ortaya koyulan amaç ve kapsam, YDA sürecinde en doğru sonuçları elde edebilmek için tüm süreci yönlendirecektir (SAIC, 2006).

Amaç ve kapsam tanımı, YDA'nın fonksiyonel birim ve sistem sınırları bileşenlerini içermektedir. Fonksiyonel birim ürünün sağladığı işlevlerin niceliksel bir ölçüsüdür (Finnveden vd., 2009). Fonksiyonel birim sayesinde alternatif ürünlerin birbirleriyle karşılaştırılması ve analiz edilmesi sağlanır. YDA'da fonksiyonel birimler oldukça küçük bir birimin değerlendirilmesini ifade eder. Örneğin "1 saat 50 dk seyahat süresi ve 50 yıl boyunca her parça için günde 40 tren ile 400 km'lik bir çift hatlı yüksek hızlı demiryolu" ifadesi bir yüksek hızlı demiryolu çalışmasının YDA'sında kullanılan fonksiyonel birimdir. Sistem sınırları ise çalışmada ele alınacak olan girdileri ve çıktıları ifade etmekte ve çalışmanın çerçevelerini belirlemek üzere kullanılır.

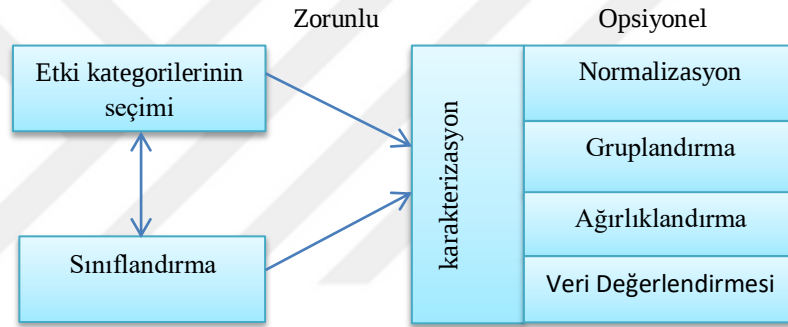
4.3.2 Envanter Analizi

Envanter analizi, YDA çalışmasının ilk aşamasında ortaya koyulan amaç ve kapsam tanımını yansıtabilecek nitelikte olmalıdır. Envanter analizi süreci, ürün ile ilgili olan hammadde ve enerji gereksinimi, atmosfere salınan emisyonların, su ile taşınan emisyonların ve katı atık olarak nitelendirilebilecek zararlı çevresel etmenlerin hesaplanıp listelendiği aşamadır (Özdemir, 2013).

Envanter analizi aşamasında ürün ile ilgili tüm bilgiler toplanır ve değerlendirilir. Ürün ile ilgili bilgilerin toplanması ve değerlendirilmesinde izlenecek yol ise 4 bölümden oluşur. Bunlar; değerlendirilecek ürünün akış diyagramının oluşturulması, veri toplama planının oluşturulması, verilerin toplanması ve son olarak da tüm bilgilerin değerlendirilmesi ve raporlama aşamalarıdır (Demirer, 2011).

4.3.3 Etki Değerlendirmesi

Amaç ve kapsamın oluşturulup, ürün ile ilgili envanter analizi sonucunda tanımlanan çevresel etkilerin önemini daha iyi anlayabilmek için değerlendirmeye yardımcı olacak ek bilgilerin sağlandığı aşamadır (ISO, 2006a). Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin aşamalarından etki kategorilerinin seçimi, sınıflandırılması, karakterizasyon yöntemlerinin seçimi ve veri değerlendirmesi aşamaları ISO standardına göre yapılması zorunlu olan aşamalardır. Buna karşılık normalizasyon, gruplandırma ve ağırlıklandırma aşamaları ise kullanıcının inisiyatifine bağlı olarak bırakılmıştır (Finnveden vd., 2009). Bu aşamalar Şekil 4.3’de gösterilmiştir (Chau, Leung ve Ng, 2015).



Şekil 4.3 Etki analizinde zorunlu ve opsiyonel aşamalar

4.3.4 Yorumlama

Yaşam döngüsü analizinin son aşaması olan yorumlama aşamasında, amaç ve kapsam aşamasında oluşturulan tanımlamalara uygun olarak devam eden analizin, envanter analizi ve etki değerlendirmesi aşamalarından alınan çıktılar ışığında sonuçlarının değerlendirilmesi, sistem sınırlarının belirlenmesi, yapılan çalışmadan yararlanılarak oluşturulabilecek yeni çalışmalar için öneriler sunması ve eksiksiz, şeffaf ve tutarlı bir biçimde raporlanması aşamasıdır (Demirer, 2011).

Yorumlama süreci, yaşam döngüsü analizi ile ilgili önemli konuların değerlendirilmesi, analizde kullanılan verilen doğruluğu ve hassasiyetine göre sonuçların değerlendirilmesi ve ilk aşamada yapılan hedef ve tanımlamalarla

sonuçların tutarlı olması, önerilerin oluşturulması hususlarına cevap verebilmelidir (Özdemir, 2013).

4.4 YDA'nın Kullanıldığı Çalışmalardan Örnekler

Chester ve Horvath (2010), California yüksek hızlı treninin yaşam döngüsü çevresel performansını diğer ulaşım modlarıyla karşılaştırarak incelediler. Sonuç olarak, CO, NO_x, VOC ve PM₁₀ emisyonlarının yüzdesinin çoğunlukla demiryolu hattının altyapı inşaatından kaynaklı meydana geldiği sonucuna vardılar. Ayrıca California yüksek hızlı treninin yüksek kapasiteli olarak kullanıldığında sera gazı emisyonlarının miktarının daha düşük kaldığını ve esas olarak fosil yakıt bazlı elektrikle çalıştığı için düşük kapasiteli kullanımında daha yüksek SO₂ emisyonlarına sahip olduğunu gösterdiler.

Chang ve Kendall (2011), araziye bağlı olarak birkaç özel altyapı türüne sahip California yüksek hızlı tren altyapısının inşasında sera gazı emisyonunu incelediler. Altyapı emisyonlarının %80'inin malzeme üretiminden kaynaklandığı tespit edildi. Güzergahın uzunluğunun sadece %15'ini kapsayan tünel ve hava yapıları, yaşam döngüsünden kaynaklanan toplam emisyonların %60'ına katkıda bulunduğu da çalışmanın bir diğer önemli sonucudur.

Akerman (2011), bir İsveç yüksek hızlı tren güzergahı için yapılacak olan hattın altyapısını inceledi. Yüksek hızlı tren için gerekli demiryolu inşaatı ve bakımı sırasında açığa çıkan sera gazı emisyonlarına rağmen alternatif ulaşım modlarından raylı sistem hattına kayan modlarla birlikte sera gazı emisyon seviyesinde önemli bir azalma olacağını çalışmasında göstermiştir.

Banar ve Özdemir (2015), ülkemizde yüksek hızlı tren ve konvansiyonel tren ulaşımı için altyapı (hattın yapımı, bakım-onarım, hattın bertarafı) ve işletme sistemlerinin (araçların üretilmesi, bakım-onarımı ve bertarafı) YDA ile çevresel etkilerinin ekonomik açıdan belirlenmesi için çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada YDA'ya ek olarak yaşam döngüsü maliyeti çalışması da yapılmıştır. Ayrıca

çalışmada Simapro 7.3.3 yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda tüm çevresel yüklerin %58'inin inşaat aşamasına ve %42'sinin işletme aşamasına karşılık geldiğine ulaşılmıştır.

Yue vd.. (2015) Çin'de Dünya'nın en uzun ikinci yüksek hızlı tren hattı olan Pekin-Şangay arasındaki 1318 km'lik hat için bir yaşam döngüsü analizi çerçevesinde çevresel etkilerini değerlendirmek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada yüksek hızlı tren sisteminin yaşam döngüsü; araç üretimi, bakımı ve bertarafı, altyapı inşaatı ve araç operasyonu olmak üzere 3 aşamaya ayrılarak incelenmiştir. Yaşam döngüsü etkileri ise asitleşme potansiyeli (kg SO₂ eşdeğeri), Çin abiyotik tükenme potansiyeli (kg kömür eşdeğeri), birincil enerji talebi (kg kömür eşdeğeri), kimyasal oksijen talebi (kg oksijen eşdeğeri), ötrifikasyon potansiyeli (kg PO₄³⁻ eşdeğeri), küresel ısınma potansiyeli (kg CO₂ eşdeğeri) ve solunum inorganikleri (kg PM_{2.5} eşdeğeri) olmak üzere 7 aşamada kategorize edilmiş ve sonuçlar bu kategorilere göre yorumlanmıştır. Sonuçlar aracın çalışma aşamasının asitleşme potansiyeli, birincil enerji talebi, ötrifikasyon potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli ve solunum inorganikleri etkisine neden olduğunu göstermektedir. göstermektedir. Altyapı inşaatı, Çin abiyotik tükenme potansiyeli ve kimyasal oksijen talebi kategorilerine katkıda bulunur. Araç üretimi, bakımı ve bertarafı ise Çin abiyotik tükenme potansiyelinin etkilerini yansıtır.

Bueno, Hoyos ve Perez (2017), İspanya'da yeni bir yüksek hızlı tren hattının altyapısının inşaat ve bakım aşamalarını içeren bir YDA çalışması yaptı. Altyapı inşaatı ve bakımı ile ilgili aşamalarda çevreye salınan CO₂ emisyonlarının telafi edilebilmesinin çok zor olduğunu belirttiler.

Cornet, Dudley ve Banister (2017), Londra'yı kuzeydeki farklı şehirlerle ilişkilendirecek olan Birleşik Krallık'taki yüksek hızlı trenin karbon ayak izini analiz ettiler. Sonuç olarak ise CO₂ emisyonlarının net bir şekilde azaltılmasına katkıda bulunmayacağını öngördüler.

Kortazar, Bueno ve Hoyos (2021), mevcut trafik koşullarında İspanyol yüksek hızlı tren ağının çevresel performansını YDA ile değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında 60 yıllık bir değerlendirme süreci altında hattın inşası, bakımı ve işletilmesi ile ilgili en önemli çevresel etkiler ve enerji tüketimi analiz edilmiştir.

Yukarıdaki çalışmalardan da görüldüğü gibi raylı sistem çalışmalarında yaşam döngüsü analizi oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle raylı sistemlerin altyapı inşaatı, işletme ve bakım çalışmalarında YDA analizlerinin çokluğu göze çarpmaktadır. Çalışmanın devamında ise raylı sistem yatırımlarının fizibilite çalışmalarında sosyal ve çevresel faydalar olarak adlandırılan aşamalar için bir yaşam döngüsü analizi yapılacaktır. Literatür incelendiğinde bu tür bir çalışmanın daha önce yapılmadığı görülmektedir. Böylece çalışmada fayda bileşenlerinin bir yaşam döngüsü analizi kullanılarak değerlendirilmesi ülkemiz ve Dünya literatürü için önemli bir çıktı olacaktır.

BÖLÜM BEŞ

RAYLI SİSTEM PROJELERİNDE FİZİBİLİTE ÇALIŞMALARINA İLİŞKİN BİR UYGULUMA: ÇİĞLİ TRAMVAY HATTI PROJESİ

5.1 Çiğli Tramvay Hattı Projesine İlişkin Genel Bilgiler

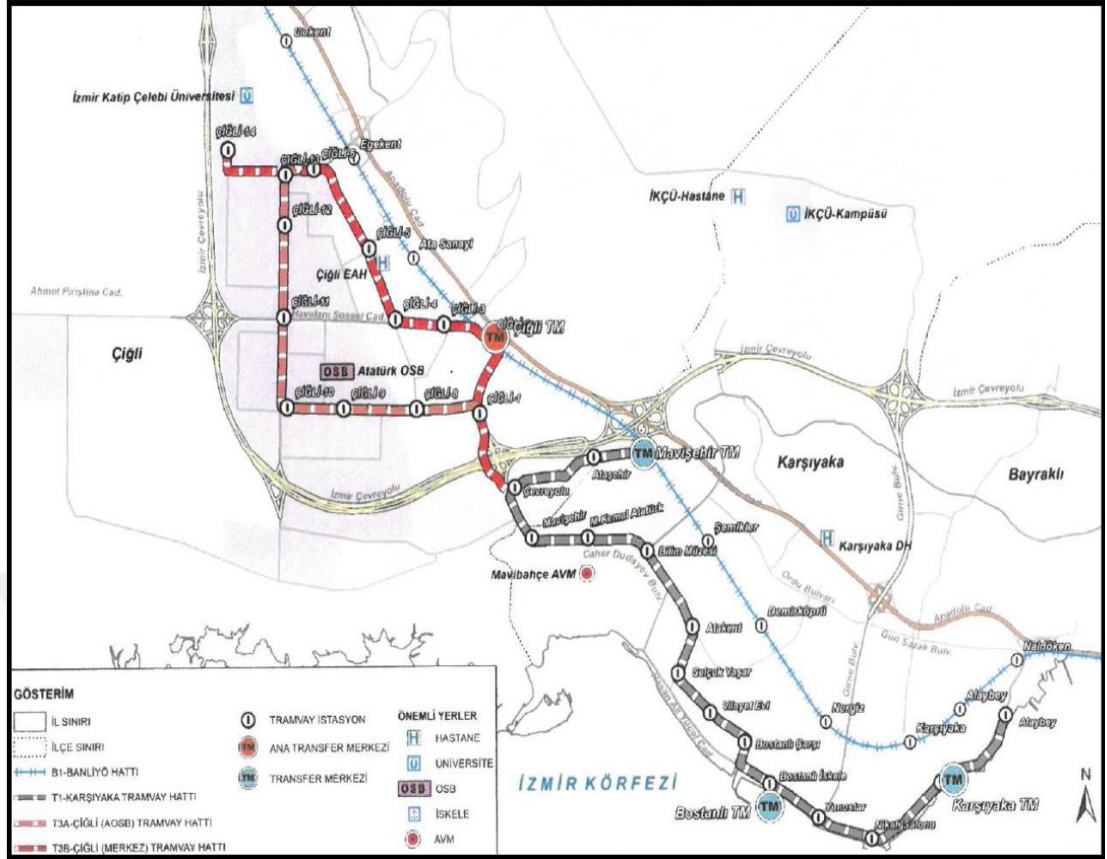
İzmir kentinin kuzey yönünde bulunan Çiğli Tramvay Hattı projesi ile yoğun ve uzun bir güzergah boyunca şehir içi trafiğin azaltılması, yolcuların toplu taşımaya yönlendirilmesi ile lastik tekerlekli araçlara olan talebin azalması, bu araçların oluşturduğu gürültü, hava kirliliği, iklim değişikliği gibi çevresel etmenlerin azaltılması ve modern, hızlı, güvenilir ve yüksek konforlu bir hattın yapımı hedeflenmektedir. Çiğli Tramvay Hattı'nın yapımının planlandığı bölge ile ilgili olarak 2017 yılında düzenlenmiş olan İzmir Ana Ulaşım Planı incelendiğinde projenin planlandığı bölgede 2030 yılına ait toplu taşıma ve özel araç kullanımının beklenen değerinde büyük bir artış olacağı tahmin edilmektedir. Beklenen taleplerin karşılanabilmesi adına mevcut raylı sistemlerin geliştirilmesi, yeni yapılacak olan hatların tamamlanması büyük önem taşımaktadır.

Çiğli Tramvay Hattı inşaatının 2018 yılının içerisinde başlayacağı ve 2 yıllık bir süreç içerisinde tamamlanarak 2020 yılı ortalarında işletmeye açılacağı planlanmıştır. Tramvay hattı projesinin değerlendirilmesinde, inşaat süresi ve işletme süresini içeren toplam 27 yıllık bir değerlendirme süresini kapsayan bir dönem dikkate alınacaktır. Tramvay hattı toplam 12,3 km uzunluğunda olacak olup mevcut Karşıyaka tramvay hattı ile birleşince toplam 21 km uzunluğa sahip olacaktır ve hat üzerinde 13 durak yer alacaktır. Söz konusu hattın başlangıç noktası Karşıyaka Tramvayı Çevreyolu Durağıdır. İki ayrı hat olarak planlanan projenin ilki Karşıyaka Alaybey İstasyonu - Çiğli İzban - Kâtip Çelebi Üniversitesi; diğeri ise Karşıyaka Alaybey İstasyonu - Çiğli AOSB - Kâtip Çelebi Üniversitesi Hattı'dır. Aşağıda Şekil 5.1' de Çiğli Tramvay Hattının genel güzergah planı verilmiştir (İzmir Ulaşım Ana Planı, 2017).



Şekil 5.1 Çiğli tramvay hattı genel güzergah planı (İzmir Ulaşım Ana Planı, 2017)

Caher Dudayev Caddesi'nden devam eden hat, Atatürk Caddesi 8019/11 sokak kesişim kavşağında iki hatta ayrılmaktadır. Hatların ilki (T3a), Caher Dudayev Caddesi'nden sola dönerek 8019/11 sokak istikametinde devam etmekte, Mustafa Kemal Atatürk Bulvarı'ndan sağa dönerek Çiğli Atatürk Organize Sanayi Bölgesi içinden geçerek 10038 sokağa ulaşmaktadır. Bu kesimden sonra planlanan ikinci hat ile tekrar birleşerek Kâtip Çelebi Üniversitesi civarında son bulmaktadır. İkinci hattın (T3b) güzergâhı ise Atatürk Caddesi'nden devam ederek, Çiğli İzban İstasyonu'nda durak yaparak, 8022/1 sokak ve Eski Havaalanı Caddesi ve 8780/1 sokağı takip ederek Çiğli Eğitim Araştırma Hastanesi yakınından ve Ata Sanayi içinden geçerek devam etmekte ve 10038 sokağa ulaşp diğer hatla birleşmektedir. Aşağıda Şekil 5.2'de Çiğli tramvay hattının ve birleşim yaptığı Karşıyaka tramvay hattı ayrıntılı güzergah planı verilmiştir (İzmir Ulaşım Ana Planı, 2017).



Şekil 5.2 Çiğli tramvay hattı ayrıntılı güzergah planı (İzmir Ulaşım Ana Planı, 2017)

Çiğli Tramvay Hattı projesinin değerlendirme süresi boyunca toplam günlük ve yıllık yolculuk talepleri ise İzmir Ulaşım Ana Planının sonuç raporundan alınan verilere göre 2020, 2025 ve 2030 yılları için öngörülen değerleri aşağıdaki Tablo 5.1 de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Günlük ve yıllık yolcu sayıları (İzmir Ulaşım Ana Planı, 2017)

YIL	Günlük Yolcu Sayısı	Yıllık Yolcu Sayısı
2020	73.394	24.220.020
2025	93.606	30.889.980
2030	111.816	36.889.280

5.2 Çiğli Tramvay Hattının İşletme Planı ve Gerekli Araç Sayıları

Çiğli Tramvay Hattı için İzmir Ulaşım Ana Planından alınan günlük ve yıllık yolcu sayıları ve doruk saatlerde olan yolculuk talep değerleri göz önünde bulundurularak söz konusu tramvay hattının gelecekte ortaya çıkması beklenen trafiği karşılayabilmesi amacıyla gereken işletme planı ve araç sayıları üzerine çalışmalar yapılmıştır (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017).

Yapılan çalışmalara göre Çiğli Tramvay Hattı'nın, İzmir'de hali hazırda işletimi devam eden diğer raylı sistem hatlarına benzer şekilde işletme saatlerine sahip olacağı öngörülmüştür. Buna göre söz konusu tramvay hattının 5 saati doruk saatlerde, 10 saati doruk dışı saatlerde ve 3 saati gece saatlerinde olmak üzere toplam 18 saatlik işletme süresinin olacağı belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 5.2'de gösterilmiştir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017).

Tablo 5.2 Öngörülen tramvay çalışma saatleri (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017)

Yoğunluklara Göre Saat Grupları	Süre (Saat)	Günlük Trafik İçerisindeki Payı (%)
Doruk Saatler (07.00-09.00; 17.00-20.00)	5	47
Doruk Dışı Saatler (06.00-.07.00; 09.00-17.00; 20.00-21.00)	10	45
Gece Saatleri (21.00-24.00)	3	8
Toplam İşletme Süresi (Saat/Gün)	18	100

Projede kullanılacak olan doruk, doruk dışı ve gece saatlerindeki sefer aralıklarının belirlenmesi için verilmiş olan doruk saat yolculuk taleplerinin gün içindeki saatlere dağıtılabilmesi amacıyla yine İzmir'de hizmet vermekte olan Evka 3 - Fahrettin Altay metro hattı üzerinde gözlenen saatlik yolcu dağılımlarından yararlanılmıştır. Buna göre doruk dışı saatler için doruk saatlerdeki yolculuk taleplerinin %50'si ve gece saatlerindeki zaman aralığı için ise doruk saatlerdeki

yolculuk taleplerinin %25'i düzeyinde olacağı kabulü yapılarak belirlenen sefer aralıkları Tablo 5.3'te gösterilmiştir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017).

Tablo 5.3 Sefer aralıkları (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017)

	YIL	Doruk Saatler		Doruk Dışı Saatler		Gece Saatleri	
		Gereken Sefer Aralığı (Dakika)	Öngörülen Sefer Aralığı (Dakika)	Gereken Sefer Aralığı (Dakika)	Öngörülen Sefer Aralığı (Dakika)	Gereken Sefer Aralığı (Dakika)	Öngörülen Sefer Aralığı (Dakika)
T3a	2020	7,5	7,0	14,9	14,5	29,9	29,5
	2025	4,8	4,5	9,6	9,5	19,1	19,0
	2030	4,5	4,0	8,9	8,5	17,9	17,5
T3b	2020	11,9	11,5	23,8	23,5	47,5	47,5
	2025	8,3	8,0	16,5	16,5	33,0	33,0
	2030	5,4	5,0	10,8	10,5	21,6	21,5

Çiğli Tramvay Hattı'nda kullanılacak olan tramvay araçlarının adetleri için ise 0,9 doluluk oranı ve %15 yedek araç oranı kabulleri yapılmıştır. Ayrıca söz konusu hatlarda mevcutta işletilen tramvay araçlarının yolcu kapasitesi de araç başına 285 yolcudur. Her bir dizi için de 1 adet araç bulunduğu için 1 dizinin kapasitesi 285 yolcu olarak hesaplanmıştır. Bu kabullere göre 2020,2025 ve 2030 yılları için günlük tur ve gerekli dizi/araç sayıları Tablo 5.4'te verilmiştir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017).

Tablo 5.4 Dizi/araç sayıları (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017)

YIL	Günlük Tur Sayısı	Gerekli Dizi Sayısı	Gerekli Araç Sayısı	Yedek Araç Sayısı	Satın Alınacak Araç Sayısı
Mevcut Araç Sayısı	17				
T3 Hattı Kullanımı		7	7	1.1	9
2020	147	13	13	2,0	7
2025	220	18	18	2,7	6
2030	282	23	23	3,5	6

Çiğli Tramvay Hattı'nın işletme karakteristiklerine ilişkin bilgileri ise aşağıda Tablo 5.5'de gösterilmiştir. Tabloya göre; projedeki T3a ve T3b hatlarının mevcut uzunluğunun 12,3 km olduğu ve Karşıyaka Hattı ile birleşince toplam uzunluğunun 21 km'ye çıktığı, hat üzerinde toplam 13 durağın olduğu ve terminal duraklarda 4 dk'lık bir dönme süresine sahip olacağı belirlenmiştir. Ayrıca tramvayın ortalama ticari hızının da 18 km/saat olduğu belirlenmiştir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017).

Tablo 5.5 Tramvay işletme saatleri (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017)

	T3a Çiğli AOSB	T3b Çiğli Merkez	T3	Toplam
Hat Uzunluğu (km)	6.5	5.8	8.7	21
Ticari Hız (km/sa)	18	18	18	
Uçta Bekleme (dk)	4	4	4	
Toplam Tur Süresi (dk)	51.3	46.7	66	
İstasyon Sayısı	9	8	13	27

Yukarıda verilmiş olan tüm veriler ışığında Çiğli Tramvay Hattı projesinin değerlendirme dönemi süresince ortaya çıkması beklenen araç-km ve araç-saat değerleri ile yolcu-km ve yolcu-saat değerleri hesaplanmış ve Tablo 5.6'da verilmiştir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017).

Tablo 5.6 Yıllık araç/yolcu km ve araç/yolcu saat değerleri (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017)

YIL	Araç-km	Araç-Saat	Yolcu-km	Yolcu-Saat
2020	604.758	40.066	125.292.670	6.960.704
2025	906.840	60.060	150.123.290	8.340.183
2030	1.151.568	76.384	174.146.623	9.674.812

5.3 Çiğli Tramvay Hattı Projesinin Ekonomik Fizibilite Çalışması

Çiğli Tramvay Hattı projesini ulusal ekonomi açısından değerlendirebilmek amacıyla hattın ekonomik fizibilite çalışması yapılmıştır. Ekonomik fizibilite etüdü çerçevesinde projeye ait fayda ve maliyet kalemleri dikkate alınarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve projenin yapılabilir yani fizibilite açısından yeterli olup olmadığına karar verilmiştir. Çiğli Tramvay Hattı'nın maliyet kalemleri olarak projenin yatırım maliyetleri, tramvay araçlarının maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Hattın fayda kalemleri olarak ise seyahat süresinden tasarruf değeri, araç işletme maliyetlerinde azalma, otobüslerin yatırım maliyetlerinde azalma, kaza maliyetlerinde azalma, yol bakım maliyetlerinde azalma, gürültü, iklim değişikliği ve hava kirliliği gibi çevresel etkilerde meydana gelebilecek maliyetlerdeki azalmalar dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda 2018 yılında inşaatına başlanan 2 yıllık inşaat ve 25 yıllık işletme dönemi olmak üzere toplam 27 yıllık bir değerlendirme dönemi sonunda net bugünkü değer, iç verim oranı ve fayda maliyet oranı hesaplamaları yapılmıştır.

Ekonomik fizibilite etüdü kapsamında, ulusal ekonomi açısından bir değerlendirme yapılacağından finansal yatırım ve işletme maliyetlerini ekonomik maliyetlere dönüştürebilmek amacıyla sırasıyla 0,80 ve 0,70 gölge fiyat katsayıları kullanılmıştır. Türk Lirası, Amerikan Doları ve Euro olarak elde edilen değerlerin birbirlerine dönüştürülebilmesi amacıyla 25.01.2018 tarihli ve 30312 sayılı Resmi Gazete'de yabancı para cinsinden kıymetlerin değerlendirilmesinde belirlenen döviz kurları kullanılmıştır. Buna göre kullanılan değerler şunlardır (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017);

1 USD = 3.7719 TL

1 Euro = 4.5155 TL

1 Euro = 1.1971 USD

Fayda ve maliyet kalemleri yukarıda belirtilen dönüşümler çerçevesinde Euro olarak hesaplanmıştır. Ayrıca projede değerlendirme dönemi için %5’lik iskonto (güncelleştirme oranı) kullanılmıştır.

5.3.1 Çiğli Tramvay Hattının Maliyet Kalemlerinin Hesaplanması

5.3.1.1 Yatırım Maliyetleri

12,3 km uzunluğa sahip olan Çiğli Tramvay Hattı’nın inşaatı için yatırım giderleri toplam 64.000.000 Euro olarak hesaplanmıştır. Hattın yapımı için gerekli olan yatırım giderlerinin bulunduğu Tablo 5.7 aşağıda gösterilmiştir. Ayrıca tramvay hattının inşaatı sırasında karşılaşılabilecek kamulaştırma bedellerinin İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından karşılanacağı için projenin yatırım maliyetlerine dahil edilmemiştir.

Tablo 5.7 Hattın yatırım maliyetleri (Euro)

Yıl	Hat İşleri	İstasyonlar	E&M İşleri	Toplam
2018	12.000.000	2.000.000	0	14.000.000
2019	16.000.000	6.000.000	8.000.000	30.000.000
2020	4.000.000	4.000.000	12.000.000	20.000.000
Toplam	32.000.000	12.000.000	20.000.000	64.000.000

5.3.1.2 Tramvay Araçlarının Yatırım Maliyetleri

Çiğli Tramvay Hattı’nın işletilmesinde kullanılmak üzere her biri 1.850.000 Euro değerinde olan tramvay alımları yapılacaktır. Hattın gereksinimini karşılayabilmek amacıyla 2020 yılında 7 adet, 2025 yılında 6 adet ve 2030 yılında ise 6 adet olmak üzere toplam 19 tramvay alımı gerçekleştirilecektir. Bu tramvaylar için gerekli

toplam yatırım bedeli 35.150.000 Euro olarak hesaplanmıştır ve Tablo 5.8’de gösterilmiştir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017).

Tablo 5.8 Tramvay araçlarının maliyetleri (Euro)

Yıl	Tramvay adedi	Tramvay Araçları
2020	7	12.950.000
2025	6	11.100.000
2030	6	11.100.000
Toplam	19	35.150.000

Sonuç olarak projenin toplam 99.150.000 Euro değerinde yatırım maliyeti olduğu hesaplanmıştır.

5.3.1.3 İşletme ve Bakım Maliyetleri

Çiğli Tramvay Hattı’nın işletme ve bakım maliyetleri için İzmir’de işletilmekte olan Karşıyaka Tramvay Hattı’nda gözlemlenen enerji, araç bakım-onarım ve hat bakım birim değerleri İzmir Metro A.Ş.’den alınmıştır. Alınan bu birim değerler Tablo 5.9’da gösterilmiştir. Hattın enerji ve araç bakım-onarım maliyetleri için alınan birim değerler ile daha önceki bölümlerde verilmiş olan araç-km değerleri çarpılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hattın bakımı için ise verilen birim değerler ile 21 km’lik tüm hattın uzunluğu çarpılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 5.9 Tramvay işletme ve bakım birim maliyetleri (İzmir Metro A.Ş.)

Enerji (Euro/Araç-Km)	0.490
Araç Bakım Onarım (Euro/Araç-Km)	0.094
Hat Bakım (Euro/Km)	3694.127

Çiğli Tramvay Hattı’nın personel maliyetlerini belirlemek amacıyla İzmir Metro A.Ş. tarafından sürücü, araç bakım-onarım personeli, sabit tesisler için bakım-onarım personeli, güvenlik personeli, temizlik personeli ve yönetim için gerekli birim değerler alınmıştır. Alınan bu birim değerler ile öngörülen personel sayıları çarpılarak tramvay hattı için gerekli personel maliyetleri hesaplanmıştır. Tablo

5.10’da İzmir Metro A.Ş.’den alınan personel sayıları ve ücretleri gösterilmiştir. Tablo 5.11’de ise Çiğli Tramvay Hattı için hesaplanan işletme, bakım ve personel değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.10 Personel sayıları ve ücretleri (İzmir Metro A.Ş.)

Personel Türü	Personel Sayısı	Ücretler(tl/ay)
Her bir dizi için sürücü	1.8	5242
Her bir dizi için araç bakım-onarım personeli	0.9	4786
Her bir dizi için sabit tesisler bakım-onarım personeli	0.9	3775
Her bir durak için güvenlik personeli	2	4001.77
Her bir durak için temizlik personeli	0.1	3597.04
Yönetim	10	5000

Tablo 5.11 İşletme ve bakım maliyetleri (Euro)

Yıl	Araç-Km	Enerji	Araç Bakım-Onarım	Hat Bakım	Personel Giderleri	Toplam
2020	604.758	207.432	39.793	54.304	929.596	1.231.125
2021	604.758	207.432	39.793	54.304	929.596	1.231.125
2022	604.758	207.432	39.793	54.304	929.596	1.231.125
2023	604.758	207.432	39.793	54.304	929.596	1.231.125
2024	604.758	207.432	39.793	54.304	929.596	1.231.125
2025	906.840	311.046	59.670	54.304	1.089.025	1.514.045
2026	906.840	311.046	59.670	54.304	1.089.025	1.514.045
2027	906.840	311.046	59.670	54.304	1.089.025	1.514.045
2028	906.840	311.046	59.670	54.304	1.089.025	1.514.045
2029	906.840	311.046	59.670	54.304	1.089.025	1.514.045
2030	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2031	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2032	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2033	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2034	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2035	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2036	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2037	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2038	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2039	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2040	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2041	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2042	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2043	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519
2044	1.151.568	394.988	75.773	54.304	1.248.454	1.773.519

5.3.1.4 Artık Değerin Hesabı

Çiğli Tramvay Hattı fizibilite çalışmasında, artık (hurda) değer olarak değerlendirme döneminin sonunda inşaat aşaması için yapılan yatırım maliyetlerinin ve tramvay araçlarının yatırım maliyetlerinin %10'u değerinde bir artık değer oluşturacağı öngörülmüştür. Buna göre inşaat aşamasından 6.400.000 Euro ve

tramvay araçlarının yatırımlarından da 3.515.000 Euro olarak artık değerler hesaplara katılacaktır.

5.3.2 Çiğli Tramvay Hattının Yapımının Sağlayacağı Fayda Kalemlerinin Hesaplanması

5.3.2.1 Seyahat Süresinin Tasarrufu

Ulaştırma projelerinin en önemli parametrelerinden biri olan ve nasıl hesaplanacağı konusunda fikir birliğine tam olarak varılamayan seyahat süresinden tasarruf parametresi, farklı Avrupa ülkelerinde de yolculukların amaçlarına göre, araçların sınıflarına göre, seyahat moduna göre, seyahat mesafesine ve sınıfına göre olmak üzere farklı parametrelere göre farklı hesap yöntemleriyle hesaplanmaktadır. Raylı sistem çalışmalarında sağlanacak olan seyahat süresinin tasarrufunun tahmini de mühendislik hesaplamalarına ve iyileştirmenin trafik akışlarını nasıl etkileyeceğine dair kapsamlı bir araştırmanın sonuçlarına göre farklılık göstermektedir. Sonuç olarak seyahat süresinin tasarrufunun değerinin hesaplanması bir hayli zordur. Tez çalışmasında zamanın değerinin hesabı için Çiğli Tramvay Hattı esas projesi örnek olarak alınmış ve temel olarak projeli ve projersiz durumlardaki seyahat sürelerinin karşılaştırılması ile analiz edilmiştir. Çiğli Tramvay Hattı'nın yapılmadığı senaryoda yolculukların otobüs ve özel otomobil ile yapılacağı öngörülmüş, sırasıyla 0,90 ve 0,10 türel dağılımları dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Yolculuğun zaman değerinin nüfus içerisindeki gelir gruplarına göre değişim gösterdiği yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Çiğli Tramvay Hattı projesinde, seyahat süresinin tasarrufu hesabı için TÜİK tarafından 2017 yılında yayınlanan "Gayrisafi Yurtiçi Hasıla Sonuçlarına" göre İzmir'in payı 18.348.778.188 TL olarak hesaplanmıştır. Bu değer nüfusun farklı gelirlerine sahip kişilere dağılımı Tablo 5.12'de gösterilmiştir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017).

Tablo 5.12 GSYH'nin gelir dilimlerine dağılımı ve kişi başına saatlik zaman değerleri (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017)

Gelir Dilimi	Nüfus (%)	2017 Nüfus	2017 Fiyatlarıyla GSYH(TL)	GSYH/Kişi (TL)	2017 Fiyatlarıyla Zaman Değeri (TL/Saat/Kişi)
1	2.70	115.551	18.348.778.188	158.793,38	67,86
2	4.10	175.467	18.348.778.188	104.571,25	44,69
3	5.10	218.264	18.348.778.188	84.067,08	35,93
4	6.00	256.781	18.348.778.188	71.457,02	30,54
5	7.20	308.137	18.348.778.188	59.547,52	25,45
6	8.40	359.493	18.348.778.188	51.040,73	21,81
7	9.90	423.688	18.348.778.188	43.307,29	18,51
8	11.90	509.282	18.348.778.188	36.028,75	15,40
9	15.20	650.511	18.348.778.188	28.206,72	12,05
10	29.50	1.262.505	18.348.778.188	14.533,63	6,21
Toplam	100.0	4.279.677	183.487.781.879	42.874,21	18,32

Kişi başına düşen yıllık çalışma saatlerini hesaplayabilmek amacıyla gelir dilimlerinin her biri için kişi başına yıllık GSYH değerleri yıllık çalışma saatine bölünmüştür. Kişilerin zaman değeri ise şöyle hesaplanmıştır:

$$\text{Yıllık çalışma saati} = 52 \text{ (1 yıldaki hafta sayısı)} * 45 \text{ (haftalık çalışma saati)} = 2340 \text{ saat/yıl}$$

Projesiz durumda özel otomobil ile seyahatlerini yapacak olan kişilerin en üst 5 gelir diliminden oluşacağı öngörülerek bu kişilerin zaman değerlerinin ortalaması 36,50 TL/Saat/Kişi olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde yolculuklarını otobüs ile devam ettirecek kişilerin de diğer 5 gelir dilimini oluşturacağı öngörülerek bu kişilerin zaman değerlerinin ortalaması 12,23 TL/Saat/Kişi olarak hesaplanmıştır. Çiğli Tramvay Hattı'nın yapılmadığı senaryo göz önüne alındığında seyahatlerini karayolu ile sürdüren kişiler için hesaplanan yolcu-saat değerleri, başka bir deyişle, projeli durumda ortaya çıkması beklenen karayolu yolcu-saat değerindeki azalmalar ve bu azalma sayesinde yolculuk zaman maliyetlerinde oluşacak tasarruflar hesaplanmış ve Tablo 5.13'de gösterilmiştir.

Tablo 5.13 Yolculuk zaman maliyetlerinde azalma (Euro)

YIL	Otobüs			Otomobil			Toplam Yolculuk Zaman Maliyeti (Euro)
	Yolcu-Saat Değerleri	Yolcu-Saat Değerlerinde Azalma	Yolculuk Zaman Maliyetinde Azalma (Euro)	Yolcu-Saat Değerleri	Yolcu-Saat Değerlerinde Azalma	Yolculuk Zaman Maliyetinde Azalma (Euro)	
2020	6.264.633	0	0	696.070	0	0	0
2021	6.264.633	0	0	696.070	0	0	0
2022	6.264.633	0	0	696.070	0	0	0
2023	6.264.633	0	0	696.070	0	0	0
2024	6.264.633	0	0	696.070	0	0	0
2025	7.506.164	2.085.046	5.647.786	834.018	231.672	1.872.595	7.520.381
2026	7.506.164	2.085.046	5.647.786	834.018	231.672	1.872.595	7.520.381
2027	7.506.164	2.085.046	5.647.786	834.018	231.672	1.872.595	7.520.381
2028	7.506.164	2.085.046	5.647.786	834.018	231.672	1.872.595	7.520.381
2029	7.506.164	2.085.046	5.647.786	834.018	231.672	1.872.595	7.520.381
2030	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2031	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2032	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2033	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2034	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2035	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2036	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2037	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2038	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2039	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2040	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2041	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2042	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2043	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644
2044	8.707.331	4.837.406	13.103.134	967.481	537.490	4.344.510	17.447.644

5.3.2.2 Araç İşletme Maliyetlerinden Tasarruf

Çiğli Tramvay Hattı projesinin işletmeye açılmasıyla birlikte otobüs ve özel otomobil kullanımlarının azalacağı ve bu sayede de araç işletme maliyetlerinden tasarruf sağlanacağı beklenmektedir. Projesiz senaryoda yolculukların otobüs ve özel otomobillere dağılımının sırasıyla 0,90 ve 0,10 olduğu daha önceden de belirtilmişti. Ayrıca ilgili idarelerden otobüs ve özel otomobiller için araç işletme birim maliyetleri alınmış ve Tablo 5.14’de gösterilmiştir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017).

Tablo 5.14 Taşıt işletme ve bakım birim maliyetleri (Euro) (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü, 2017)

Maliyetler	Otobüs	Otomobil
İşletme Gideri	0.4668	0.1206
Taşıt Zaman Maliyeti	0.1052	0.0025
Taşıt Bakım Zaman Maliyeti	0.1502	0.0100
Toplam Maliyet	0.7222	0.1331

Otobüs ve özel otomobiller için alınan birim işletme maliyetleri ile bu araçların yıllık yaptıkları km değerlerinin çarpılmasıyla araç işletme maliyetlerindeki azalma değerleri bulunmuştur. Bunun için otobüs ve özel otomobillerin taşıdıkları yolcu sayıları ve buna bağlı olarak yıllık bazda taşıt-km değerleri hesaplanmıştır. Esas proje dikkate alındığında araçların doluluk oranları otomobiller için 4 ve otobüsler için ise 100 olarak alınmıştır. Değerler bu şekilde alındığında otomobil ve otobüslerden sağlanacak tasarruf değerleri düşük olmaktadır. Bu sebeple araçların taşıt-km değerleri bulunurken doluluk oranları otomobiller için 1,5 ve otobüsler için 46,5 olarak kullanılmıştır. (İzmir Ulaşım Ana Planı, 2017). Buna göre otomobillerin ve otobüslerin yıllık anlamda taşıt-km değerleri Tablo 5.15’te gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 5.16’da da bu değerler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda Çiğli Tramvay Hattı projesi için araç işletme maliyetlerinden yapılan tasarruf değerleri gösterilmiştir. Projeli senaryo göz önüne alındığı için hesaplanan bu değerler fizibilite analizinde fayda kalemlerinde yer almıştır.

Tablo 5.15 Otobüs ve otomobillerin taşıt-km değerleri

	Toplam Yolcu Sayısı	Otobüs				Otomobil			Toplam Taşıt-Km
Yıl	Toplam Yolcu Sayısı	Yolcu Sayısı	Sefer Sayısı	Taşıt Sayısı	Taşıt-Km	Yolcu Sayısı	Sefer Sayısı	Taşıt-Km	Toplam Taşıt-Km
2020	24 220 020.00	21 798 018	468 775	65	2 882 964	2 422 002	1 614 668	9 930 208	12 813 172
2021	24 220 020.00	21 798 018	468 775	65	2 882 964	2 422 002	1 614 668	9 930 208	12 813 172
2022	24 220 020.00	21 798 018	468 775	65	2 882 964	2 422 002	1 614 668	9 930 208	12 813 172
2023	24 220 020.00	21 798 018	468 775	65	2 882 964	2 422 002	1 614 668	9 930 208	12 813 172
2024	24 220 020.00	21 798 018	468 775	65	2 882 964	2 422 002	1 614 668	9 930 208	12 813 172
2025	30 889 980.00	27 800 982	597 871	83	3 676 904	3 088 998	2 059 332	12 664 892	16 341 796
2026	30 889 980.00	27 800 982	597 871	83	3 676 904	3 088 998	2 059 332	12 664 892	16 341 796
2027	30 889 980.00	27 800 982	597 871	83	3 676 904	3 088 998	2 059 332	12 664 892	16 341 796
2028	30 889 980.00	27 800 982	597 871	83	3 676 904	3 088 998	2 059 332	12 664 892	16 341 796
2029	30 889 980.00	27 800 982	597 871	83	3 676 904	3 088 998	2 059 332	12 664 892	16 341 796
2030	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2031	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2032	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2033	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2034	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2035	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2036	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2037	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2038	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2039	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2040	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2041	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2042	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2043	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910
2044	36 899 280.00	33 209 352	714 180	99	4 392 205	3 689 928	2 459 952	15 128 705	19 520 910

Tablo 5.16 Karayolu taşıt işletme maliyetlerinde azalma (Euro)

Yıl	Otobüs için Yıllık Taşıt-Km Değerleri	Otobüslerin Araç İşletme Maliyetlerinde Azalma	Otomobil için Yıllık Taşıt- Km Değerleri	Otomobillerin Araç İşletme Maliyetlerinde Azalma	Toplam Tasarruf (Euro)
2020	2 882 964	2 082 077	9 930 208	1 321 711	3 403 788
2021	2 882 964	2 082 077	9 930 208	1 321 711	3 403 788
2022	2 882 964	2 082 077	9 930 208	1 321 711	3 403 788
2023	2 882 964	2 082 077	9 930 208	1 321 711	3 403 788
2024	2 882 964	2 082 077	9 930 208	1 321 711	3 403 788
2025	3 676 904	2 655 460	12 664 892	1 685 697	4 341 157
2026	3 676 904	2 655 460	12 664 892	1 685 697	4 341 157
2027	3 676 904	2 655 460	12 664 892	1 685 697	4 341 157
2028	3 676 904	2 655 460	12 664 892	1 685 697	4 341 157
2029	3 676 904	2 655 460	12 664 892	1 685 697	4 341 157
2030	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2031	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2032	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2033	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2034	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2035	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2036	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2037	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2038	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2039	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2040	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2041	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2042	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2043	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682
2044	4 392 205	3 172 051	15 128 705	2 013 631	5 185 682

5.3.2.3 Karayolu Kaza Maliyetlerinden Tasarruf

Çiğli Tramvay Hattı'nın işletmeye açılmasıyla birlikte yolcuların otobüs ve özel otomobil kullanımının azalacağı bu sayede de karayolunda meydana gelebilecek kazaların da azalacağı öngörülmektedir. Bu amaçla kaza maliyetlerinden tasarruf değerleri için Korzhenevych vd. (2014) tarafından yayınlanan "Update of the Handbook on External Costs of Transport" çalışmasından Avrupa için kaza maliyetlerinin ortalaması esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre otomobil için 0,003 €/vkm ve otobüsler için de 0,011 €/vkm değerleri kullanılarak kaza maliyetlerinden tasarruf değerleri hesaplanmıştır ve Tablo 5.17'de gösterilmiştir.

Tablo 5.17 Karayolu kaza maliyetlerinden sağlanan tasarruflar (Euro)

YIL	Otobüs için Yıllık Taşıt-Km Değerleri	Otobüs için Kaza Maliyetleri	Otomobil için Yıllık Taşıt-Km Değerleri	Otomobil için Kaza Maliyetleri	Toplam Karayolu Kaza Maliyeti (Euro)
2020	2 882 964	31 713	9 930 208	29 791	61 504
2021	2 882 964	31 713	9 930 208	29 791	61 504
2022	2 882 964	31 713	9 930 208	29 791	61 504
2023	2 882 964	31 713	9 930 208	29 791	61 504
2024	2 882 964	31 713	9 930 208	29 791	61 504
2025	3 676 904	40 446	12 664 892	37 995	78 441
2026	3 676 904	40 446	12 664 892	37 995	78 441
2027	3 676 904	40 446	12 664 892	37 995	78 441
2028	3 676 904	40 446	12 664 892	37 995	78 441
2029	3 676 904	40 446	12 664 892	37 995	78 441
2030	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2031	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2032	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2033	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2034	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2035	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2036	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2037	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2038	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2039	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2040	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2041	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2042	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2043	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700
2044	4 392 205	48 314	15 128 705	45 386	93 700

5.3.2.4 Otobüslerin Yatırım Maliyetlerinden Sağlanan Tasarruf

Çiğli Tramvay Hattı projesinin tamamlanmasından sonra yolcuların otobüs kullarımlarına olan gereksinimin azalacağı beklenmektedir. Proje kapsamında tramvay hattının faaliyete geçmesinin özel otomobildeki talebi ise değıştirmeyeceğı kabulü yapılmıştır. Bu sebeple sadece otobüs yatırım maliyetlerinden yapılan tasarruflar fayda maliyet analizlerinde yer almıştır.

Fizibilite çalışması kapsamında bir otobüsün günde 200 km. yol yapacağı ve serviste kalma oranının ise 0,85 olacağı kabul edilmiştir. Araçların ekonomik kullanım ömürleri ise 15 yıl olarak alınmış ve bu ekonomik ömürlerinin sonunda satın alma fiyatlarının %10'u oranında bir artık değere sahip olacağı, araçların ekonomik ömürlerinin tamamlamaları sonrasında da tekrardan araç alımı yapılacağı kabul edilmiştir. Ayrıca 1 adet otobüsün satın alım maliyeti ise 150.000 Euro olarak kabul edilmiştir. Tüm bu bilgiler ışığında otobüs yatırım maliyetlerinden yapılan tasarruf için gerekli hesaplamalar yapılmış ve Tablo 5.18'de gösterilmiştir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşı Fizibilite Etüdü, 2017).

5.3.2.5 Karayolu Bakım Onarım Maliyetlerinden Yapılan Tasarruf

Çiğli Tramvay Hattı projesinin yapılmasıyla birlikte karayolunu kullanan araçların sayısında büyük bir azalma olacağı ve bu azalma ile birlikte karayollarına yapılan bakım onarım maliyetlerinde de azalma olacağı açıktır. Karayolu bakım onarım maliyetlerini hesaplayabilmek amacıyla Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınan istatistikler ışığında her 1.000.000 taşıt-km'de otobüsler için 81.000 Euro, otomobiller için ise 9.000 Euro yol bakım maliyeti olacağı öngörülmüştür. Ayrıca karayolu bakım maliyetlerini ekonomik değere çevirebilmek için 0,80 gölge fiyat uygulanmıştır. Bu değere göre karayolu bakım onarım maliyetleri için gerekli hesaplamalar yapılmış ve Tablo 5.19'da gösterilmiştir (Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşı Fizibilite Etüdü, 2017).

Tablo 5.18 Otobüs yatırım maliyetlerinden tasarruf (Euro)

YIL	Servisteki Otobüs Sayısı	Gerekli Otobüs Sayısı	Satın Alınan Otobüs Sayısı	Ömrünü Tamamlayan Otobüs Sayısı	Otobüs Satın Alım Maliyeti (Euro)	Ömrünü Tamamlayan Otobüslerin Artık Değerleri (Euro)	Otobüs Yatırım Maliyetlerinden Azalma (Euro)
2020	65	76	76	0	11.400.000	0	11.400.000
2021	65	76	0	0	0	0	0
2022	65	76	0	0	0	0	0
2023	65	76	0	0	0	0	0
2024	65	76	0	0	0	0	0
2025	83	97	21	0	3.150.000	0	3.150.000
2026	83	97	0	0	0	0	0
2027	83	97	0	0	0	0	0
2028	83	97	0	0	0	0	0
2029	83	97	0	0	0	0	0
2030	99	116	19	0	2.850.000	0	2.850.000
2031	99	116	0	0	0	0	0
2032	99	116	0	0	0	0	0
2033	99	116	0	0	0	0	0
2034	99	116	0	0	0	0	0
2035	99	116	76	76	11.400.000	1.140.000	10.000.000
2036	99	116	0	0	0	0	0
2037	99	116	0	0	0	0	0
2038	99	116	0	0	0	0	0
2039	99	116	0	0	0	0	0
2040	99	116	21	21	3.150.000	315.000	2.835.000
2041	99	116	0	0	0	0	0
2042	99	116	0	0	0	0	0
2043	99	116	0	0	0	0	0
2044	99	116	0	0	0	0	0

Tablo 5.19 Karayolu bakım onarım maliyetlerinden tasarruf (Euro)

YIL	Otobüs		Otomobil		Toplam Bakım Maliyeti (Euro)
	Taşıt-Km	Yol Bakım Maliyeti (Euro)	Taşıt-Km	Yol Bakım Maliyeti (Euro)	
2020	2 882 964	186 816	9 930 208	71 498	258 314
2021	2 882 964	186 816	9 930 208	71 498	258 314
2022	2 882 964	186 816	9 930 208	71 498	258 314
2023	2 882 964	186 816	9 930 208	71 498	258 314
2024	2 882 964	186 816	9 930 208	71 498	258 314
2025	3 676 904	238 263	12 664 892	91 187	329 450
2026	3 676 904	238 263	12 664 892	91 187	329 450
2027	3 676 904	238 263	12 664 892	91 187	329 450
2028	3 676 904	238 263	12 664 892	91 187	329 450
2029	3 676 904	238 263	12 664 892	91 187	329 450
2030	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2031	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2032	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2033	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2034	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2035	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2036	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2037	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2038	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2039	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2040	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2041	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2042	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2043	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542
2044	4 392 205	284 615	15 128 705	108 927	393 542

5.3.2.6 Gürültü Maliyetlerinden Tasarruf

Gürültü kirliliği, insanların işitme sağlığını uzun bir ölçekte tehdit eden önemli bir çevresel etmendir. Bu çevresel etmenin ortaya çıkmasında özellikle kentsel yaşam alanlarında en önemli faktör karayolu trafiğidir. Öyle ki, yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre kentsel yaşam alanlarında ortaya çıkan gürültü etkisinin %60'ını karayolu trafiği oluşturmaktadır. Karayolu trafiğinin bu oranına karşın kentsel demiryolu faaliyetlerinden olan tramvay ve metronun ise gürültü kirliliğine etkisinin oranı %5'tir (Özdemir ve Üçer, 2007).

Raylı sistem yatırım projelerinde ülkelerin bazıları gürültü maliyetlerinden yapılan tasarrufları fayda maliyet analizleri değerlendirmelerinde kullanırken bazıları da nitel veya nicel olarak değerlendirmeye tabi tutmaktadır. Ülkemizde yapılan fizibilite çalışmaları incelendiğinde ise gürültü maliyetlerinden yapılan tasarrufların değerlendirilmelere katılmadığı görülmektedir.

Gürültü maliyetlerinden yapılan tasarrufların parasal olarak değerlendirilmesi için farklı yöntemler vardır. Bunlardan ilki hedonik fiyat anketleri kullanılarak gürültünün değerinin bulunmasıdır. Hedonik yöntem gürültünün konut fiyatları üzerindeki etkilerini içerir. Fakat bu yöntemde genellikle kullanılan veriler eksiktir ve konut dışı gürültü etkilerini (işletmeler ve yayalar) hesaba katmaz. Bein (1994), yaptığı çalışmada hedonik gürültü maliyetlerinin toplam motorlu taşıt gürültüsü maliyetlerinin sadece 1/6'sını tanımlamakta yeterli olduğunu yorumlamıştır.

Hedonik fiyatın gürültü etkisini tam anlamıyla yansıtmaması nedeniyle gürültünün maliyetini belirleyebilmek amacıyla pek çok çalışma yapılmıştır. Bunlardan Avrupa için kentsel, banliyö ve kırsal kategorilere göre gürültü etkisinin marjinal maliyetleri Korzhenevych vd. (2014) tarafından yapılan çalışmayla gösterilmiştir. Bu çalışmaya göre 1000 araç-km başına Euro cinsinden değerler Tablo 2.4'te gösterilmiştir. Ayrıca Austroads, 1000 yolcu-kilometre başına kentsel trafik gürültüsünün arabalar için ortalama 1,81 dolar, otobüsler için 1,67 dolar ve tren

yolculuğu için 1,55 dolar olduğunu tahmin etmiştir (Evans, Naude, Teh, Makwash, ve Ai, 2014).

Çiğli Tramvay Hattı'nın fizibilite çalışmasında karayolu taşıtları olan otobüs ve otomobillerin gürültü maliyetlerini hesaplamak için Korzhenevych vd. (2014) tarafından yayınlanan "Update of the Handbook on External Costs of Transport" çalışmasından Avrupa için gürültü değerleri alınmıştır. Bu değerler Tablo 5.20'de gösterilmiştir.

Tablo 5.20 Gürültü maliyetleri (1000 €/vkm)

Mod	Günün Zamanı	Trafik Tipi	Kentsel	Banliyö	Köy
Otomobil	Gündüz	Yoğun	8.8	0.5	0.1
		Seyrek	21.4	1.4	0.2
	Gece	Yoğun	16.1	0.9	0.1
		Seyrek	38.9	2.5	0.9
Otobüs	Gündüz	Yoğun	44.0	2.4	0.4
		Seyrek	107.0	6.8	0.8
	Gece	Yoğun	80.3	4.5	0.7
		Seyrek	194.7	12.7	1.5

Tablo 5.20'deki değerlerin kullanılabilmesi amacıyla Çiğli Tramvay Hattı'nın 5,8 km'lik Çiğli merkezinden geçen kısmı kentsel yerleşim olarak, kalan 6,5 km'lik Çiğli AOSB'den geçen kısmı ise banliyö yerleşimi olarak varsayılmıştır. Ayrıca Çiğli AOSB'deki otomobil ve otobüs gürültü değeri için gündüz vaktindeki yoğun trafik değerleri hesaba katılmıştır. Çiğli merkezden geçen hattın gürültü hesabında ise gündüz ve gece değerleri sırasıyla 0,75 ve 0,25 katsayıları kullanılarak yoğun trafik olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Çiğli Tramvay Hattı fizibilite hesabı için bulunan gürültü maliyetleri Tablo 5.21'de gösterilmiştir.

Tablo 5.21 Gürültü maliyetlerinden tasarruf (Euro)

Yıl	Otobüs için Yıllık Taşıt- km Değerleri	Otobüs için Gürültü Maliyetleri (Euro)	Otomobil için Yıllık Taşıt-km Değerleri	Otomobil için Yıllık Gürültü Maliyetleri (Euro)	Toplam Gürültü Maliyetleri (Euro)
2020	2 882 964	75 745	9 930 208	52 244	127 989
2021	2 882 964	75 745	9 930 208	52 244	127 989
2022	2 882 964	75 745	9 930 208	52 244	127 989
2023	2 882 964	75 745	9 930 208	52 244	127 989
2024	2 882 964	75 745	9 930 208	52 244	127 989
2025	3 676 904	96 269	12 664 892	66 631	162 900
2026	3 676 904	96 269	12 664 892	66 631	162 900
2027	3 676 904	96 269	12 664 892	66 631	162 900
2028	3 676 904	96 269	12 664 892	66 631	162 900
2029	3 676 904	96 269	12 664 892	66 631	162 900
2030	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2031	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2032	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2033	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2034	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2035	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2036	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2037	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2038	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2039	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2040	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2041	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2042	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2043	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591
2044	4 392 205	114 997	15 128 705	79 594	194 591

5.4 Çevresel Etkilerin Yaşam Döngüsü Analizi Kullanılarak Fizibilite Çalışmasına Katılması

Çiğli Tramvay Hattı fizibilite çalışması için çevresel etkilerin değerlendirmeye katılabilmesi bakımından literatürde yapılmış olan çalışmalardan farklı olarak GaBi (Thinkstep, Germany) yazılımı kullanılacak ve ISO 14040-14044 standartları çerçevesince yaşam döngüsü analizi çalışmaları ile desteklenerek çevresel etkilerin parasal olarak hesaplanması yapılacaktır. Bu kapsamda tramvay hattının inşaatı sırasında ve hattın 25 yıllık işletilmesi süresince ortaya çıkacak olan çevresel etkiler GaBi yazılımı yardımıyla modellenecek ve çevresel etkilerinin sonuçları fizibilite çalışmasında maliyetler kısmına eklenecektir. Aynı şekilde hattın yapılmasının bir sonucu olarak otomobil ve otobüs kullanımlarında gerçekleşecek olan azalmalar ile sağlanacak çevresel etkilerin faydaları ve yine hattın yapılması durumunda yolun gidiş ve geliş olmak üzere toplam 2 şeridinde gerçekleşecek olan asfalt yapımının olmaması durumunda sağlanacak olan çevresel faydalar hesaplanacak ve fizibilite çalışmasının faydalar kısmına eklenecektir. Bu yöntemle daha önce ülkemizde yapılmış olan fizibilite çalışmalarından farklı olarak çevresel etkilerin değerlendirmeye katılması aşamasında farklı bir bakış açısı gerçekleştirilecektir.

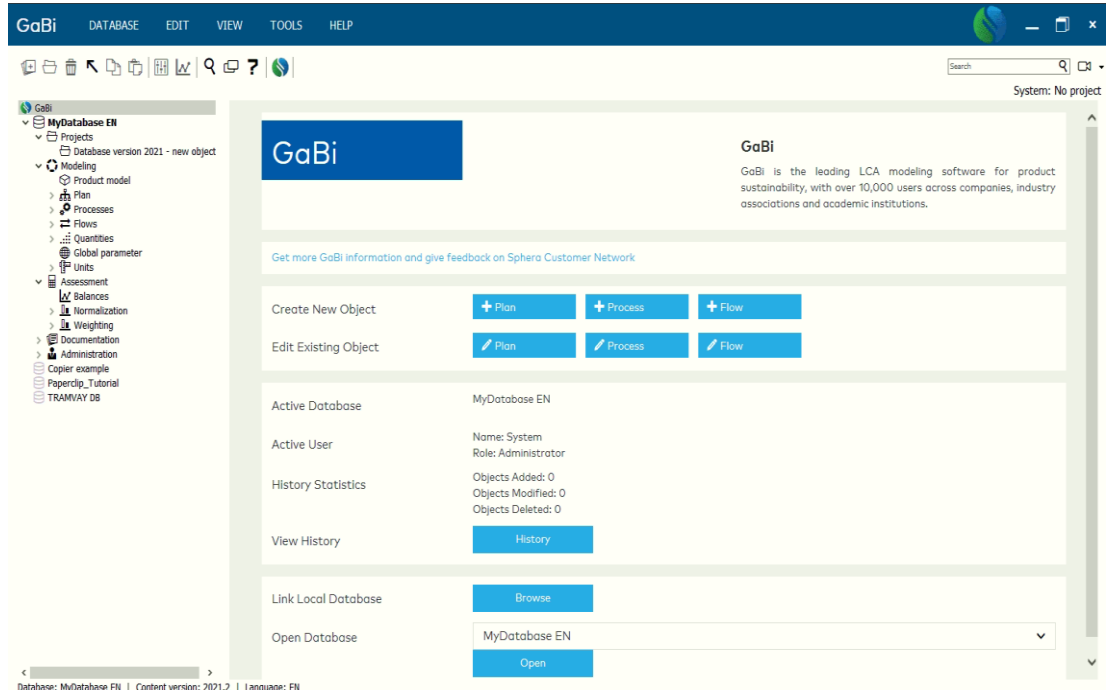
5.4.1 Çalışmada Kullanılan GaBi Programı

Yaşam döngüsü analizi ile birlikte, ISO 14040 kapsamında, çevre düzenlemelerine uygun ürünler yetiştirmek, malzeme, enerji ve kaynak kullanımının azaltılması, daha az sera gazı emisyonu, daha az su tüketimi ve atık gibi daha küçük çevresel ayak izlerine sahip ürünler geliştirmek, Ar-Ge, tasarım, üretim, tedarikçiler ve dağıtım gibi değer zincirlerinin verimliliğini arttırmak gibi amaçları gerçekleştirebilmek için pek çok yaşam döngüsü analizi yazılımı kullanılmaktadır. Bu yazılımlar sayesinde bir ürünün her hammaddesini veya işlenmiş bileşenini tedarik etmenin ve rafine etmenin maliyetlerini, enerjisini ve çevresel etkilerini inceleyen, kolay erişilebilir yazılımlar yaşam döngüsü çalışmalarına büyük katkı sağlar. Bu bağlamda kendi çalışmamızda kullanılmak üzere tez kapsamında daha önce de belirtildiği gibi yaşam döngüsü analizi çalışmalarında kullanım oranı en

yüksek olan GaBi yazılımı tercih edilmiştir. GaBi yazılımının içerisinde Ecoinvent veri tabanı bulunmaktadır ve bu veri tabanı bize envanter analizi için gerekli verileri sunmaktadır. Ayrıca bu yazılımın sağladığı pek çok avantajdan bazılarını da şu şekilde sıralayabiliriz;

- Yaşam döngüsü değerlendirmeleri ile paradan tasarruf etmeye, riski azaltmaya, ürün faydalarını iletmeye ve gelirin artmasına yardımcı olarak iş sonuçlarını etkilemeye olanak sağlar.
- Kaynak maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olur.
- Daha sürdürülebilir ürünler yaratabilme imkanı sağlar.
- Daha sürdürülebilir süreçler geliştirmeye katkı sağlar.
- Departmanların ve işletme işlevlerinin anlayabileceği ve kullanabileceği özel bilgiler sağlar.

Bu yazılım işletmelerin yaşam döngüsü değerlendirmelerini yapabilmelerine olanak sağlar. Ayrıca tüketici beklentilerini daha iyi karşılayan daha sürdürülebilir ve uygun maliyetli ürünler sunmalarını sağlar. Aşağıda Şekil 5.3'te GaBi yazılımının ara yüzü gösterilmiştir.



Şekil 5.3 GaBi yazılımı arayüzü

5.4.2 Çiğli Tramvay Hattı'nın Yaşam Döngüsü Analizi

Çiğli Tramvay Hattı'nın çevresel etkilerinin değerlendirilmesi çalışması kapsamında ISO 14040-14044 standartlarından yararlanılacak ve GaBi yazılımı yardımıyla gerekli modellemeler yapılacaktır. Yapılan bu modellemeler yardımıyla hattın çevresel etkileri hesaplanacaktır. Bu kapsamda yapılacak olan yaşam döngüsü analizi daha öncede belirtilen dört aşamada gerçekleştirilecektir.

5.4.2.1 Amaç ve Kapsam Belirleme

Çalışma kapsamında raylı sistem fizibilite çalışmalarında çevresel etkilerin hesaplanması aşamasına farklı bir bakış açısı getirmek esastır. Bu kapsamda ülkemizde yapılmış raylı sistem fizibilite çalışmalarından olan Çiğli Tramvay Hattı örnek olarak alınmıştır. Hattın inşaat ve işletilmesi aşamalarında atmosfere salınan emisyonlar belirlenecek ve parasal olarak fizibilite çalışmasının maliyetler kısmına eklenecektir. Ayrıca hattın yapılması ile birlikte otomobil ve otobüs sayısındaki azalmalardan ve hattın gidiş ve geliş olmak üzere toplam iki şeridinde gerçekleşecek olan asfalt yapımının olmaması durumundaki çevresel etkiler hesaplanacak ve fizibilite çalışmasına eklenecektir. Böylece raylı sistem fizibilite çalışmalarında yaşam döngüsü analizi kullanılarak çevresel etkilerin belirlenebilmesi ve bu çevresel etkilerin parasal olarak değerlendirilmeye katılması amaçtır.

Yaşam döngüsü analizinin amaç ve kapsamının belirlenmesi aşamasında çalışmaya ait fonksiyonel birim ve sistemin sınırları belirtilmelidir. Çiğli Tramvay Hattı'nın maliyetler kısmı için hattının inşaat ve işletilmesi aşamasını kapsayan fonksiyonel birim "1 km'lik raylı sistem hattının inşaatı ve işletilmesi" olarak belirlenmiştir. Tren üretimini kapsayan fonksiyonel birim ise "1 adet tren aracının üretilmesi" olarak belirlenmiştir. Hattın faydaları için otomobil kullanımının azalmasından sağlanacak çevresel faydalar için fonksiyonel birim "1 adet otomobil üretimi ve işletilmesi" olarak otobüsler için fonksiyonel birim ise "1 adet otobüsün üretilmesi ve işletilmesi" olarak belirlenmiştir. Son olarak asfalt yapımı için fonksiyonel birim ise "1 km'lik mesafe için asfalt yapımı" olarak belirlenmiştir. Şekil 5.4'te bu sistemin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Fonksiyonel birimler ve sistem yapısı

Sistemin sınırları ise şöyledir;

- Demiryolu ray hattının inşaatı ve işletilmesi
- Demiryolu tren araçlarının üretilmesi ve işletilmesi
- Otomobil ve otobüslerin üretilmesi ve işletilmesi
- Asfalt tabakasının üretilmesi
- Elektrik enerjisinin üretilmesi ve dağıtılması
- Yakıtların elde edilmesi ve kullanılması
- Malzemelerin taşınması

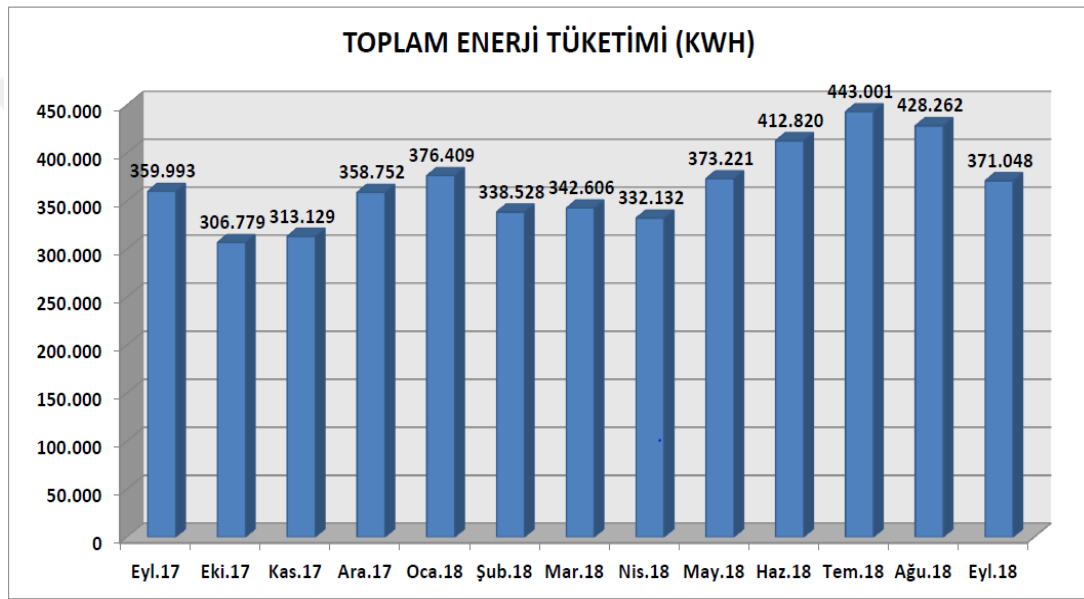
5.4.2.2 Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

Çiğli Tramvay Hattı'nın envanter analizi için ülkemizde ve Dünya'da yapılmış olan çalışmalar incenmiş ve analiz edilmiştir. GaBi yazılımında modelleme yapabilmek amacıyla envanter analizleri için gerekli veriler GaBi yazılımında var olan Ecoinvent veri tabanından alınmıştır.

5.4.2.2.1 Ray Hattının İnşaatı. Raylı sistem hattının inşaatı sırasında oluşacak çevresel etkiler için gerekli veriler GaBi yazılımında Ecoinvent veri tabanından alınan "Railway Track" adlı veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu veri tabanı 1 km'lik ortalama demiryolu altyapısının inşaatının yaşam döngüsü analizini kapsamaktadır. Buna göre demiryolu altyapısı demiryolu rayları, köprüler, tüneller, tren istasyonları ve bakım tesislerini kapsar. Bu bileşenlere göre hattın yapılabilmesi

için gerekli malzemeler de dikkate alınır. Bu malzemelerin şantiye alanına nakliyesi de bu veri tabanına dahildir.

5.4.2.2.2 *Raylı Sistem Hattının İşletilmesi.* Çiğli Tramvay Hattı'nın 25 yıllık işletme süresi boyunca yaşam döngüsü analizine katılabilmesi için hattın toplam elektrik enerjisinin ne kadar olabileceği tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu tahminin yapılabilmesi için hali hazırda işletilmekte olan Karşıyaka Tramvay Hattı'na ait elektrik harcama verileri dikkate alınmıştır. Bu veriler Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Karşıyaka tramvayına ait elektrik tüketimi (KwH) (İzmir Metro A.Ş.)

Karşıyaka Tramvay Hattı'nın yıllık olarak toplam harcadığı elektrik enerjisi yukarıdaki şekilden 4 385 632 kwh olarak hesaplanmıştır. Bu hattın uzunluğunun 8,6 km olduğu bilindiğine göre, km başına harcanan elektrik enerjisi miktarı 509 957 kwh olarak hesaplanmıştır. Bu ifadeden yola çıkarak Çiğli Tramvay Hattı'nda 25 yıllık işletme süresi boyunca harcanabilecek elektrik enerjisi şöyle hesaplanmıştır:

$$\text{ÇTH elektrik enerjisi} = 509\,975 * 25 = 12\,748\,930 \text{ kwh}$$

1 km mesafe için hesaplanan 12 748 930 kwh elektrik enerjisi Gabi veri tabanına girilmesi sırasında Türkiye'nin elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımından

yararlanılmıştır. 12 748 930 kwh değeri Tablo 5.22’de verilen Türkiye’de elektrik üretiminin 2020 yılındaki oranları göz önünde bulundurularak dağıtılmış ve GaBi yazılımında “Electricity Grid Mix” veri tabanına girilmiştir (Enerji Atlası).

Tablo 5.22 Türkiye’de elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı (Enerji Atlası)

Yıllık Elektrik Üretiminin Kaynaklara Dağılımı				
Kaynak	2019 Üretimi (TWH)	2020 Üretimi (TWH)	Değişim (%)	2020 Oran (%)
Hidroelektrik	88,9	77,9	-12,4	25,8
Doğalgaz	56,5	68,0	20,4	22,5
İthal Kömür	60,4	62,5	3,5	20,7
Taş Kömürü, Linyit ve Asfaltit	52,7	43,8	-16,9	14,5
Rüzgar	21,7	24,6	13,4	8,1
Güneş	9,6	11,2	16,7	3,7
Jeotermal	8,9	9,3	4,5	3,1
Biyogaz	4,5	4,3	-4,4	1,4
Fuel-oil ve Motorin	0,7	0,3	-57,1	0,1
Toplam	303,9	301,9	-2,0	100

Çiğli Tramvay Hattı uzunluğu olan 12,3 km değeri ise ray hattının inşaatı ve işletilmesi sırasında oluşacak çevresel etki sonuçlarının hesaplanmasının ardından bulunan değerlerle çarpılacaktır.

5.4.2.2.3 Tren Aracının Üretilmesi. Tramvay araçlarının üretilmesi sırasında oluşacak çevresel etkilerin hesaplanabilmesi amacıyla GaBi yazılımının Ecoinvent veri tabanından tren üretimi modellemesi ele alınmalıdır. Fakat Ecoinvent veri tabanında tramvay üretimi olmadığı için bu üretime en yakın olan elektrikli lokomotifin üretimi modellenmiştir. Elektrikli lokomotif GaBi yazılımında “Train Production (electric locomotive)” olarak yer almaktadır. Bu veri seti tren üretimini temsil eder. Üretim sırasında, trenin malzeme bileşiminden ve vagon malzemelerinin bileşiminden kaynaklanan etkiler tahmin edilmektedir ve ayrıca üretim için gerekli elektrik ve termal enerjide bu veri seti içinde dikkate alınmaktadır.

Çiğli Tramvay Hattı projesinde 19 adet tramvay aracının alınması gerektiği projede verilmiştir. GaBi yazılımında 1 adet elektrikli lokomotifin üretilmesi sonucunda ortaya çıkan çevresel etkiler, lokomotif ve vagonlarının hesaba katılmasında dolayı 19 adet tramvay aracına eşit olacağı kabulü yapılmış ve yazılımına bu şekilde girilmiştir.

5.4.2.2.4 Otomobil ve Otobüslerin Üretimi ve İşletilmesi. Çiğli Tramvay Hattı'nın yapılmasıyla birlikte otomobil ve otobüs kullanımında meydana gelecek olan azalmanın etkisiyle çevresel etkilerin de azalacağı açıktır. Bu azalmanın hesaplanabilmesi amacıyla öncelikle otomobillerin üretilmesi ve işletilmesi yaşam döngüsü analizine katılacaktır. Bu amaçla GaBi yazılımında Euro 5 ve motor boyutu 1,4 ve 2,0 arasında olan otomobillerin üretimi ve işletilmesi için modelleme yapılacaktır. Bu modelleme için Ecoinvent veri tabanından 1 adet yolcu aracını temsil eden "Passenger Car" veri tabanı kullanılacaktır. Otomobillerin işletilmesi için ise 25 yıl boyunca harcayacakları yakıtlar hesaplamalara katılacaktır. 25 yıllık süre boyunca toplam otomobil sayısının 339 906 772 taşıt-km olduğu önceki bölümlerde verilmişti. Buna göre otomobillerin kullanacakları yakıtlar benzin, dizel ve LPG olarak sınıflandırıldığında toplam otomobil sayısının dağıtılması gerekmektedir. Bunun için 2021 yılında Türkiye'de trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımları Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden alınmıştır. Bu verilere göre Türkiye'de 2021 yılında trafiğe kayıtlı araçların %25,5'i benzin. %37,8'i dizel ve %35,9'u ise LPG yakıt türlerini kullanmaktadırlar. Bu oranlar çerçevesinde proje süresince yakıt türlerine göre toplam otomobil sayıları Tablo 5.23'de gösterilmiştir (TÜİK, 2021). Her bir yakıt türüne göre otomobil sayıları GaBi yazılımına girilerek işletme süresi boyunca çevresel etkilerin değerleri ayrı ayrı bulunacaktır.

Tablo 5.23 Türkiye'de trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt türlerine göre dağılımları (TÜİK, 2021)

Yakıt Türü	Otomobil Sayısı (taşıt-km)
Benzin (%25.5)	86 676 227
Dizel (%37.8)	128 484 760
LPG (%35.9)	122 026 531

Otobüsler için ise Ecoinvent veri tabanında otobüs ile ilgili herhangi bir veri seti bulunmamaktadır. Bu yüzden Euro 4 ve motor boyutu 2'den büyük olan otomobil üretimi ve işletilmesi GaBi yazılımında modellenenecektir. Ayrıca otobüslerin dizel yakıt türü kullandıkları ve otomobillere kıyasla ortalama 3 kat daha fazla yakıt tükettikleri kabulüne dayanarak otobüs sayısının 3 katı modellemede kullanılacaktır. Otobüs sayısının 98 682 408 taşıt-km olduğu daha önceden belirtilmişti. Buna göre işletme süresi boyunca modellemede kullanılacak otobüs sayısı 296 047 224 taşıt-km olarak belirlenmiştir.

5.4.2.2.5 Asfalt Üretimi ve Kullanımı. Çiğli Tramvay Hattı projersiz durumunda, hattın geçeceği 12,3 km'lik yol kesimi boyunca esnek üstyapı projelendirmesinin yapılacağı durumu için çevresel etkilerin hesaplanıp yaşam döngüsü analizi kapsamında değerlendirilerek fizibilite çalışmasına katılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda AASHTO 93 projelendirme kriterlerini esas alan “Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi” yardımıyla yol tabakasının kalınlıklarının belirlenmesi sağlanacaktır (Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 2008).

Yolun aşınma ve binder tabakasının yenilenmesinin yeterli olacağı öngörülmüş ve 3,65 m. şerit genişliğine sahip, 1 gidiş şeridi ile 1 geliş şeridi olmak üzere toplam 2 şeritte tabaka kalınlıklarının hesabı yapılacak ve malzeme miktarları belirlenecektir. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi'ne göre aşağıdaki hesap adımları izlenmiştir:

- İlk olarak otomobil ve otobüslerden kaynaklanan proje süresince oluşacak toplam standart dingil yükleri bulunmuştur. Bunun için şartnamede yer alan tablolardan proje verilerine göre okunan değerler kullanılmıştır;

Otomobiller için proje süresince toplam standart eşdeğer dingil yükü =
339 047 224 (otomobil sayısı) x 0,5 (yön dağıtma faktörü) x 1 (şerit dağıtma faktörü) x 0,006 (taşıt eşdeğerlik faktörü) = 1 017 142

Otobüsler için proje süresince toplam standart eşdeğer dingil yükü = 98 682 408 (otobüs sayısı) x 0,5 (yön dağıtma faktörü) x 1 (şerit dağıtma faktörü) x 0,98 (taşıt eşdeğerlik faktörü) = 48 354 380

Otomobil ve otobüsler için bu değerler toplandığında toplam standart eşdeğer dingil yükü 49 371 380 olarak bulunmuştur.

- Bulunan toplam eşdeğer standart dingil yükü değeri ve güvenilirlik katsayısının %85 olarak alınmasıyla Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi'nden tabaka kalınlıklarının değerleri alınmıştır. Bu değerler aşınma tabakası için 5 cm, binder tabakası için 8 cm, bitümlü temel tabakası için 11 cm ve plent-mix temel tabakası için 20 cm olarak ilgili tablodan okunmuştur. Ayrıca toplam mevcut SN değeri 12,26 olarak okunmuştur.
- Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi abaklarından ΔSN değeri ise 13,60 olarak okunmuştur. ($P_t=2,5$ ve $R=0,85$). Buradan; $\Delta SN-SN = 13,60 - 12,26 = 1,34$ ve $1,34/0,13$ (Alttemel için tabaka katsayısı) = 10,31 cm olarak alttemel kalınlığı bulunmuştur. Fakat şartname gereği bu değer alttemel için minimum tabaka kalınlığı olan 20 cm olarak alınmıştır.

Bulunan tabaka değerlerinden yola çıkarak yolun aşınma ve binder tabakaları için gerekli olan malzeme miktarları ise şöyle bulunmuştur;

- Aşınma tabakası için gerekli malzeme miktarı: 12300 m (uzunluk) x 0,05 m (tabaka kalınlığı) x 3,65 m (şerit genişliği) x 2 (şerit sayısı) = 4489,5 m³
- Binder tabakası için gerekli malzeme miktarı: 12300 m (uzunluk) x 0,08 m (tabaka kalınlığı) x 3,65 m (şerit genişliği) x 2 (şerit sayısı) = 7183,2 m³

Yapılan hesaplamalar sonucunda iki tabaka için gerekli toplam malzeme hacmi 11 672,7 m³ olarak bulunmuştur. KGM/645/S ve KGM/6308 pozlarına göre kullanılan karışım ağırlığı, malzeme hacminin 5 cm aşınma tabakası ve 8 cm binder

tabakası yapılması işi için $2,4 \text{ ton/m}^3$ yoğunluğuyla çarpılarak hesaplanmaktadır. Buna göre $11672,7 \text{ m}^3 \times 2,4 \text{ ton/m}^3 = 28 014,5 \text{ ton}$ malzeme dökümü yapılması gerekir.

Tüm bu malzeme döküm işlemleri sırasında kamyonların ve iş makinelerinin kullanacakları yakıtlar ise şöyle hesaplanmıştır;

- Asfalt malzemesinin Çiğli bölgesine getirilmesi sırasında bu tip malzemelerin temin edilebileceği yer ile Çiğli arası yaklaşık 30 km olarak alınır ve 6 teker kamyonların 100 km’de yaklaşık 20 litre dizel yakıt harcadığı dikkate alınır; $28 014,5 / 30 = 934$ sefer yapılmalıdır. 30 km gidiş ve 30 km geliş için $30 \times 934 + 30 \times 934 = 56 040$ olmak üzere toplam yolculuk mesafesi ile malzeme taşıma işlemi gerçekleştirilir. Kamyonlar 100 km’de 20 litre dizel yakıt harcadıklarına göre bu işlem için toplam 11 208 litre mazot harcanmalıdır.
- 1 finişerin 1 saatte ortalama 300 ton malzeme serme kapasitesi olması ve bunu yaparken 35 litre dizel yakıt harcaması dikkate alınır; $28 014,5 / 300 \times 35 = 3268$ litre dizel yakıt harcamasında bulunur.
- Aşınma ve binder tabakalarına dökülen asfalt malzemesinin sıkıştırılması esnasında ise ilk silindiraj, ara silindiraj ve son silindiraj olmak üzere 3 silindir işlemi ile sıkıştırma gerçekleştirilecektir. Literatür bilgilerine göre, ilk silindiraj için 2-3,5 mil/saat, ara silindiraj için 2,5-4 mil/saat ve son silindiraj için 3-5 mil/saat (mil/saat = 1,6 km/saat) hızla çalışmaktadır. Asfalt silindir genişliği 1,5 metre olarak seçilmiştir (U.S. Department of Transportation, 2000). Bu bilgiler ışığında ilk silindiraj 3,2 km/sa hızla çalışarak 9 tekrarla sıkıştırma işlemini tamamlar ve 2075,6 dakika çalışır. Ara silindiraj 4 km/sa hızla çalışarak 45 tekrarla sıkıştırma işlemini tamamlar ve 8303 dakika çalışır. Son silindiraj ise 4,8 km/sa çalışarak 9 tekrarla sıkıştırma işlemini tamamlar ve 1384 dakika çalışır. Silindirajların 1 saatte 15 litre dizel yakıt

kullanımları olduğu bilindiğine göre toplam 11 763 dakika çalışmaları sonucunda 2941 litre dizel yakıt harcarlar.

Asfalt üretimi ve kullanımı için yukarıda yapılan hesaplamalar sonucunda aşınma ve binder tabakası için toplam 28 014,5 ton asfalt malzemesi kullanılacağı ve bu işlem sırasında toplam 14 805 kg dizel yakıt kullanılmıştır. Bu veriler GaBi yazılımına girilerek asfalt üretimi ve kullanımı sonucunda oluşacak çevresel etkilerin değerleri hesaplanmıştır.

5.4.2.3 Yaşam Döngüsü Etki Analizi

Yaşam döngüsü envanter analizi sürecinde tanımlanan çevresel salınımların değerlendirmesini yapabilmek için yaşam döngüsü etki analizi kullanılır. GaBi yazılımında Çiğli Tramvay Hattı projesinin çevresel etkilerin belirleyebilmek amacıyla CML 2016 etki değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem çerçevesinde kullanılan etki kategorileri şunlardır;

- Abiyotik kaynakların tükenmesi potansiyeli (element)
- Abiyotik kaynakların tükenmesi potansiyeli (fosil)
- Asidifikasyon potansiyeli
- Ötrifikasyon potansiyeli
- Tatlısu ekotoksisite potansiyeli
- Küresel ısınma potansiyeli
- Küresel ısınma potansiyeli (özel biyogenik karbon)
- İnsan toksisite potansiyeli
- Deniz suyu ekotoksisite potansiyeli
- Ozon tabakasının incilmesi potansiyeli
- Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli (fotokem)
- Karasal ekotoksisite potansiyeli

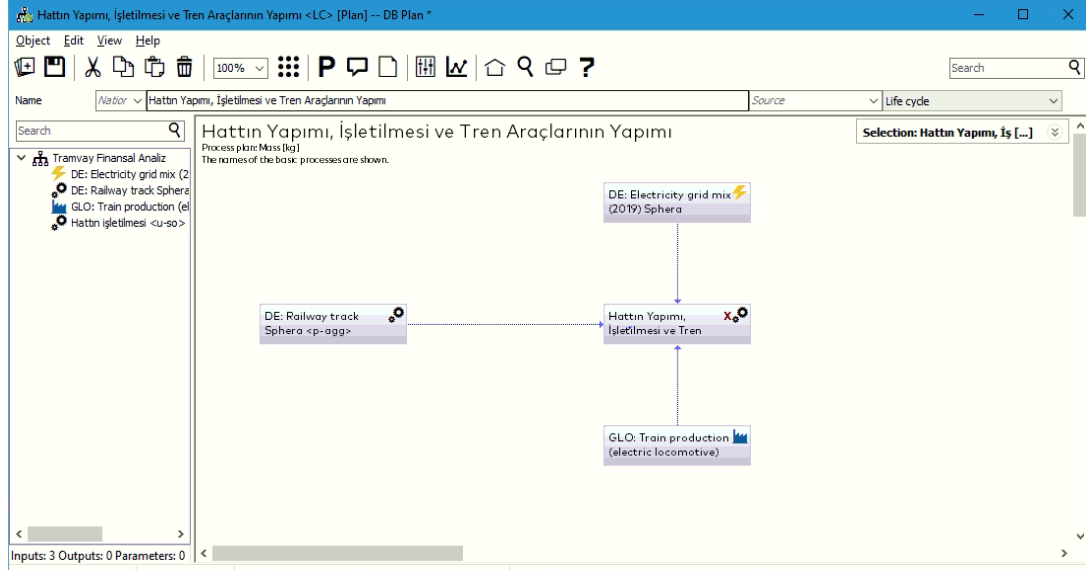
5.4.2.3.1 Etki Kategorileri

- **Abiyotik Kaynakların Tükenmesi Potansiyeli:** Abiyotik kaynaklar, bir ekosistemin cansız bileşenlerini oluştururlar. GaBi yazılımında abiyotik element tükenmesi ve abiyotik fosil tükenmesi potansiyeli olarak 2 kategoride ele alınmıştır. Abiyotik element tükenme potansiyeli için kg Sb (antimon) eşdeğeri, abiyotik fosil tükenmesi potansiyeli için ise MJ eşdeğeri kullanılır.
- **Asidifikasyon Potansiyeli:** Asidifikasyon potansiyeli, sülfüroksitler (SO_x), nitrojen oksitler (NO_x), hidroklorik asit (HCl) gibi asitleştirici maddelerin toprak, yüzey suyu, organizmalar ve ekosistemler üzerinde oluşturduğu toksik etkiyi yansıtır (Bilgiç, 2020). Yaşam döngüsü envanter verilerini H^+ iyonlarına dönüştürür. GaBi yazılımında kg SO_2 eşdeğeri olarak ifade edilmiştir.
- **Ötrifikasyon Potansiyeli:** Ötrifikasyon potansiyeli, emisyonların toprak, su ve havaya olan etkileridir (Bilgiç, 2020). GaBi yazılımında kg fosfat (PO_4^{-3}) eşdeğeri olarak ifade edilmiştir.
- **Küresel Isınma Potansiyeli:** Küresel ısınma, içerisinde barındırdığı metan (CH_4) ve azot oksit (NO_x) gibi sera gazı emisyonları sebebiyle iklim değişikliğinin çevresel etki kategorisi olarak da adlandırılır (Metsims, 2019). Küresel ısınmanın, doğal ekosistemlere ve insan sağlığına olumsuz etkisi fazladır. Genellikle 50, 100 veya 500 yıllık zaman dilimlerinde ölçülür. GaBi yazılımında dikkate alınan zaman dilimi 100 yıl olup kg CO_2 eşdeğeri ile ve atmosfere salınan CO_2 emisyonlarının ölçüsüdür.
- **Toksisite Potansiyeli:** Tatlısu ekotoksisite potansiyeli, deniz suyu ekotoksisite potansiyeli ve karasal ekotoksisite potansiyeli olmak üzere 3 ana kategoride toplanır. Tatlısu ekotoksisite potansiyeli, kirleticilerin tatlı su ekosistemleri üzerindeki etkisini temsil eder. Deniz suyu ekotoksisite potansiyeli, deniz ekosistemleri üzerindeki kirleticilerin etkilerini temsil

eder. Karasal ekotoksosite potansiyeli ise karasal ekosistem üzerindeki kirleticilerin etkilerini temsil eder. Ayrıca insan toksisite potansiyeli, insan sağlığına etkisi olan kirleticilerin etkilerini yansıtmak için kullanılır (Bilgiç, 2020). Tüm bu toksisite değerleri GaBi yazılımında kg DCB (1-4 Diklorobenzen) eşdeğeriyle ifade edilir.

- **Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli:** Ozon tabakası, Dünya'nın katmanlarından olan stratosfer tabakasında bulunan temel yapıtaşı ozon (O_3) olan insan, hayvan ve bitkilerin güneş ışınlarından korunmasına yardımcı olan tabakadır. Stratosferdeki ozon miktarı çevresel emisyonlar sebebiyle incelmektedir ve bu ozon tabakasının incelme potansiyeli olarak adlandırılmaktadır (Hepdurgun, 2019). GaBi yazılımında kg R11 veya CFC-11 (Triklorflormetan) eşdeğeriyle ifade edilir.
- **Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli:** Fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli, belirli bir kimyasal tepkime sonucunda uçucu organik bileşen (VOC) emisyonundan ozon üretimidir (Bilgiç, 2020). GaBi yazılımında kg Eten (C_2H_4) eşdeğeriyle ifade edilir.

5.4.2.3.2 Demiryolu Hattının İnşaatı ve İşletilmesinden Kaynaklanan Emisyonlar. Çiğli Tramvay Hattı'nın inşaat aşaması, işletme aşaması ve tren üretiminden doğan çevresel etkilerin hesaplanabilmesi için gerekli modelleme GaBi yazılımında yapılmış ve ilgili değerler veri tabanına girilmiştir. Seçilen fonksiyonel birimler çerçevesinde 1 km raylı sistem hattının inşaatı, işletilmesi ve 1 adet tren aracının yapımı GaBi yazılımında Şekil 5.6'daki gibi modellenmiştir.



Şekil 5.6 Tramvay hattının yapımı, işletilmesi ve tren araçlarının yapımı için oluşturulmuş model

Sistem modellemesinin ardından oluşturulan “process” kısmına girilen veriler yaşam döngüsü envanter analizi bölümünde daha önce detaylıca açıklanmıştı. Buna göre 1 km’lik raylı sistem hattının yapımı için gerekli veri Ecoinvent veri tabanından alınmıştır. Hattın işletilmesi için gerekli olan enerji değeri hesaplanmış ve 12 748 930 kwh olarak sisteme girilmiştir. Şekil 5.7’de verilerin girilmesi için oluşturulan “process” aşaması gösterilmiştir.

Parameter	Formula	Value	Minimum	Maximum	Standard	Comment
Electricity [Electric power]		4.59E007				(No statement)
Railway [Non-material systems]		1E003				(No statement)
Train production [Valuable subst]		1				(No statement)

Şekil 5.7 Verilerin girilmesi için oluşturulan “process” aşaması

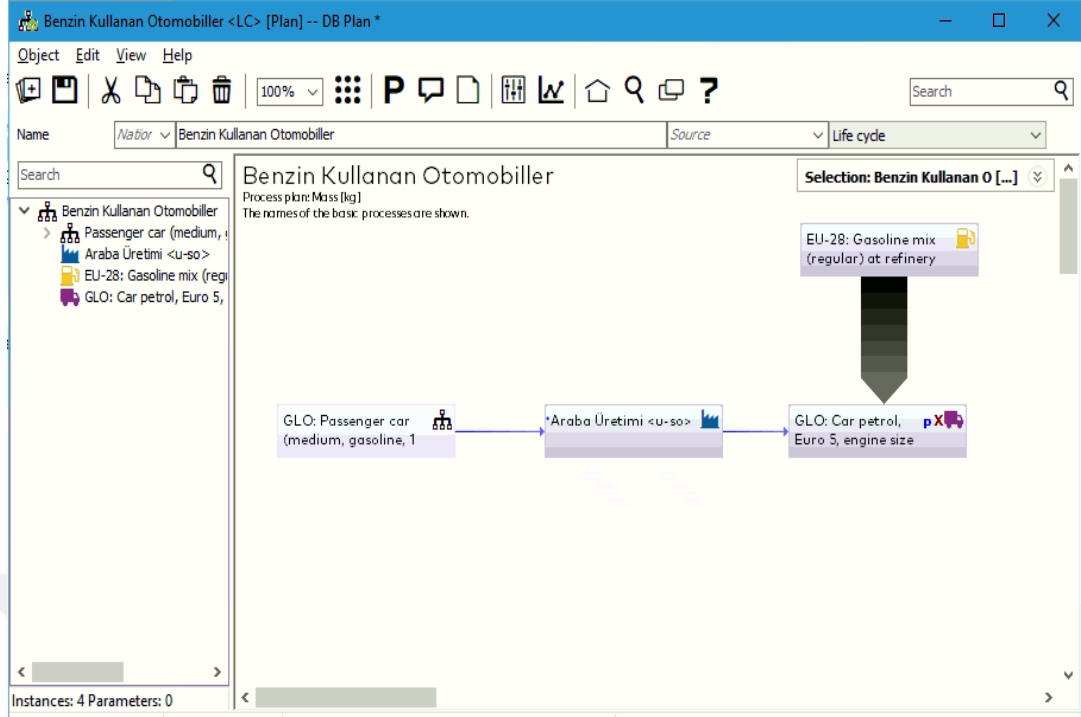
Çiğli Tramvay Hattı'nın inşaatı, işletilmesi ve tren araçlarının üretiminden doğan çevresel etki sonuçları Tablo 5.24'te verilmiştir.

Tablo 5.24 Hattın İnşaatı, işletilmesi ve tren üretimi sonucunda oluşan çevresel etkiler

Hattın inşaatı, işletilmesi ve tren üretimi	İnşaat	İşletme (Elektrik)	Tren Üretimi	Toplam	12.3*(İ+E)+TÜ
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	19,6	1,7	18,8	40,1	280,8
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fossil)	7670000	5,80E+07	5900000	7,16E+07	8,14E+08
Asidifikasyon P.	2080	9670	1250	13000	145775
Ötrifikasyon P.	263	1023	124	1410	15941,8
Tatlısu Ekotoksitesite P.	2550	4020	2510	9080	83321
Küresel Isınma P.	800000	5336000	504000	6640000	7,60E+07
Küresel Isınma P. (öbk.)	867000	5332000	511000	6710000	7,68E+08
İnsan Toksisite P.	124000	189000	177000	490000	4026900
Deniz Suyu Ekotoksitesite P.	8,89E+07	3,57E+08	1,63E+08	6,09E+08	5,65E+09
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	4,76E-09	1,735E-07	8,74E-09	1,87E-07	2,20E-06
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	64,1	443,9	118	626	6366,4
Karasal Ekotoksitesite P.	1900	5700	11300	18900	104780

Bu değerlerin çevresel etki analiz sonuçları Çiğli Tramvay Hattı'nın uzunluğunun 12,3 km olmasında dolayı programdan alınan sonuçlar 12,3 ile çarpılarak büyütülmüştür ve bu değere 1 adet tren üretiminden gelen çevresel etki sonuçları eklenerek toplam çevresel etki sonuçları bulunmuştur.

5.4.2.3.3 Otomobil ve Otobüslerden Kaynaklanan Emisyonlar. Otomobil ve otobüslerden kaynaklanan emisyonlar için GaBi yazılımında ayrı ayrı modeller yapılmış ve değerler girilmiştir. Otomobiller için toplam 339 906 772 taşıt-km değeri benzin, dizel ve LPG kullanan araç sayılarının oranlarına göre dağıtılmıştır. Buna göre ilk olarak benzin kullanan otomobiller için modelleme yapılmıştır. Bu araçların sayısı 86 676 227 taşıt-km olarak girilmiştir. GaBi yazılımında benzin kullanan otomobiller için oluşturulmuş model Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Benzin kullanan otomobiller için oluşturulmuş model

Modelleme için Ecoinvent veri tabanından Euro 5 ve motor boyutu 1,4 ile 2,0 arasında olan “Passenger Car” veri tabanı seçilmiştir ve bu araçların 25 yıllık işletmeleri sonucunda oluşan çevresel etkileri hesaplanmıştır. Şekil 5.9’da benzin kullanan otomobiller için hazırlanmış “process” gösterilmiştir.

GLO: Car petrol, Euro 5, engine size 1.4-2l Sphera <u-so> -- Process settings

Local name: GLO: Car petrol, Euro 5, engine size 1.4-2l Sphera <u-so> No image

Local settings: LCC

Scaling factor: 86676227 Fixed Allocation: (no allocation)

Free parameters

Parameter	Formula	Value	Minimum	Maximum	Standard	Comment
driving_perform		1.5E005	0	0	0 %	[1/m] Life
ppm_sulfur		10	0	2E003	0 %	[ppm] st

Fixed parameters

Parameter	Formula	Value	Minimum	Maximum	Standard	Comment
driving_shar	1/(driving_perform)	6.67E-006				[1/m] R
share_checkshare_mv + share_ru + share_ur		1				Result m
spec_benzer	0.001849953	0.00185				[gBenzene]

Inputs

ParameterFlows	Quantities	Amount	Units	Tracked flows
spec_peGasoline (regular) [Refinery prc]Mass	4.6E006	kg	X	
driving_Vehicle [Material systems]	Number of 578	pcs.	X	

Outputs

ParameterFlows	Quantities	Amount	Units	Tracked flows
driving_Vehicle [Material systems]	Number of 578	pcs.	X	
Vehicle kilometers [Others]	Length	8.67E010	m	X
spec_NfAmmonia [Inorganic emissions]Mass		3.51E003	kg	
spec_beBenzene [Group NMVOC to air] Mass		98.7	kg	
spec_CfCarbon dioxide [Inorganic emis]Mass		1.37E007	kg	
spec_CfCarbon dioxide (biotic) [Inorganic]Mass		7.22E005	kg	

Data quality

Technique: No statement Location: No statement Time: No statement

Grouping

Nation: GLO Type: Transport Enterprise: external User defined

OK Cancel

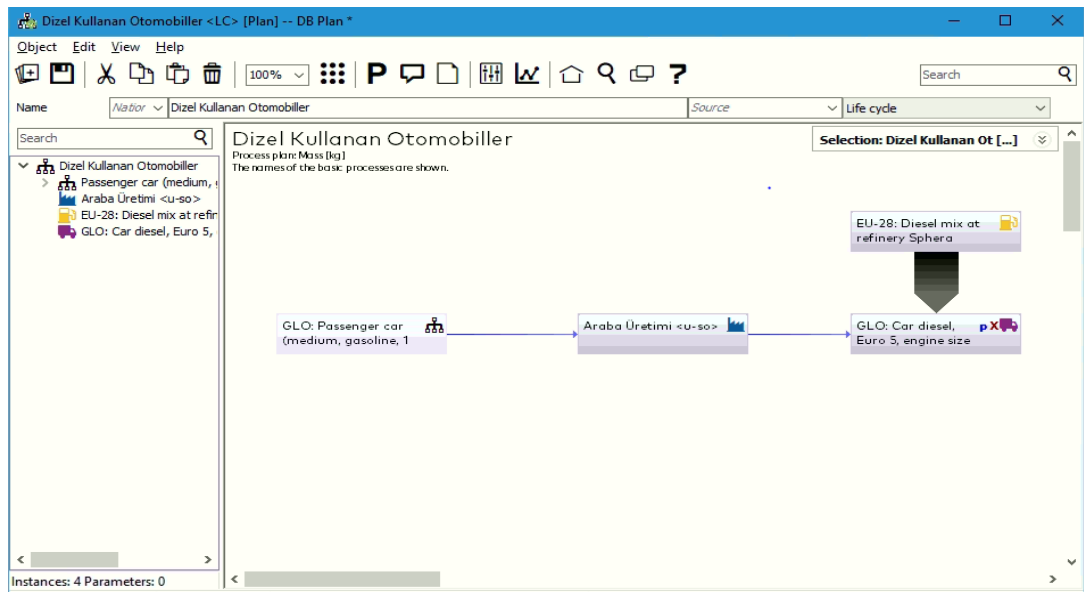
Şekil 5.9 Verilerin girilmesi için oluşturulan “process” aşaması

Tablo 5.25'te benzin kullanan otomobillerin işletilmesi sonucunda çevresel etki sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5.25 Benzin kullanan otomobiller için çevresel etki sonuçları

Benzin Kullanan Otomobiller için Çevresel Etkiler	Araç Üretimi	Araçın İşletilmesi	Benzin	Toplam
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	0,0399	-	1,1	1.14
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fosil)	25600	-	2,31E+08	2,31E+08
Asidifikasyon P.	4,35	7010	10500	17500
Ötrifikasyon P.	0,4	1580	1770	3350
Tatlısu Ekotoksosite P.	8,71	34,6	89900	89900
Küresel Isınma P.	1780	1,44E+07	3050000	1,75E+07
Küresel Isınma P. (öbk.)	1770	1,37E+07	3580000	1,73E+07
İnsan Toksisite P.	879	188000	375000	564000
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	944000	7,15	2,93E+08	2,94E+08
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	1,13E-11	-	4,4E-09	4.4E-09
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	0.396	927	1760	2690
Karasal Ekotoksosite P.	8,5	3,94	23800	23800

Otomobil sınıfının 128 484 760 taşıt-km değerine sahip dizel yakıt kullanan araçların çevresel etkilerinin bulunabilmesi için ise yine Euro 5 sınıfı ve motor boyutu 1,4 ile 2,0 arasında olan “Passenger Car” veri tabanı seçilerek modelleme yapılmıştır. Şekil 5.10’da dizel yakıt kullanan otomobiller için yapılan modelleme gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Dizel yakıt kullanan otomobiller için oluşturulmuş model

Modellemenin ardından dizel yakıt kullanan otomobillerin 25 yıllık işletme dönemleri sonucunda oluşacak çevresel etkilerin hesaplanması için “process” kısmı oluşturulmuştur. Şekil 5.11’de dizel yakıt kullanan otomobiller için hazırlanmış “process” gösterilmiştir.

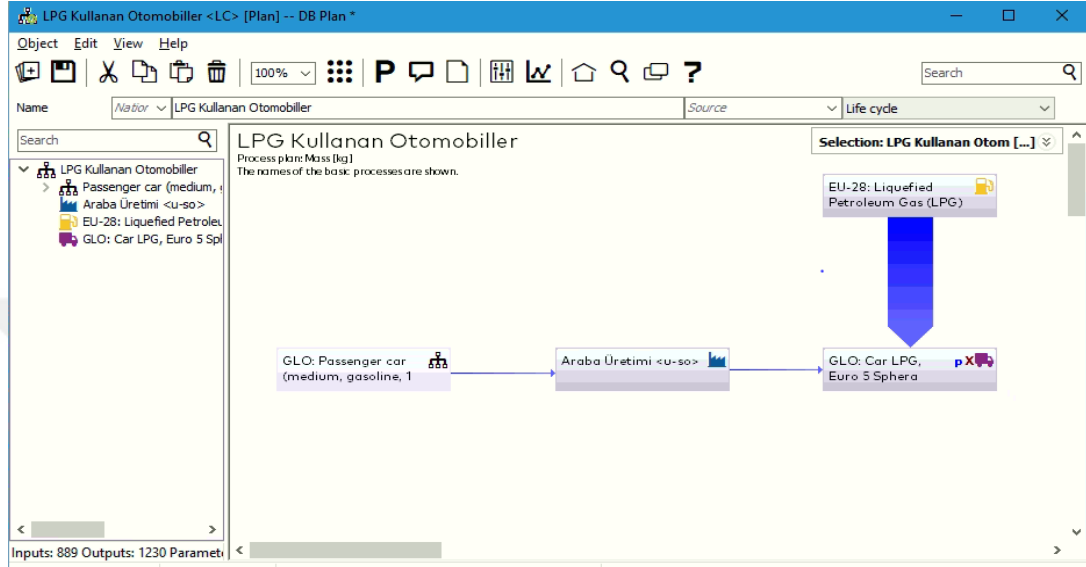
Şekil 5.11 Verilerin girilmesi için oluşturulan “process” aşaması

Tablo 5.26’da dizel yakıt kullanan otomobillerin işletilmesi sonucunda ortaya çıkan çevresel etkilerin değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.26 Dizel kullanan otomobiller için çevresel etki sonuçları

Dizel Kullanan Otomobiller için Çevresel Etkiler	Araç Üretimi	Araçın İşletilmesi	Dizel	Toplam
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	0,0591	-	1,71	1,76
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fossil)	37900	-	2,62E+08	2,62E+08
Asidifikasyon P.	6,44	75400	9070	84500
Ötrifikasyon P.	0,594	19900	1630	21500
Tatlısu Ekotoksosite P.	12,9	41,2	103000	103000
Küresel Isınma P.	2630	1,76E+07	1670000	1,93E+07
Küresel Isınma P. (öbk.)	2630	1,6E+07	2620000	1,93E+07
İnsan Toksisite P.	1300	74500	360000	435000
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	1400000	8,22	3,08E+08	3,09E+08
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	1,68E-11	-	3,36E-09	3,38E-09
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	0,587	-29800	1750	-28100
Karasal Ekotoksosite P.	12,6	4,69	42300	42400

Son olarak LPG kullanan 122 026 531 taşıt-km değerine sahip olan otomobiller için de Euro 5 araç sınıfı ve 1,4 ile 2,0 arasında değişen motor gücüne sahip “Passenger Car” veri tabanı seçilerek yapılan modelleme ise Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 LPG kullanan otomobiller için oluşturulmuş model

Modellemenin ardından LPG kullanan otomobillerin 25 yıllık işletmeleri sonucunda oluşacak çevresel etkileri hesaplamak için “process” kısmı oluşturulmuştur. Oluşturulan “process” kısmı şekil 5.13’te gösterilmiştir.

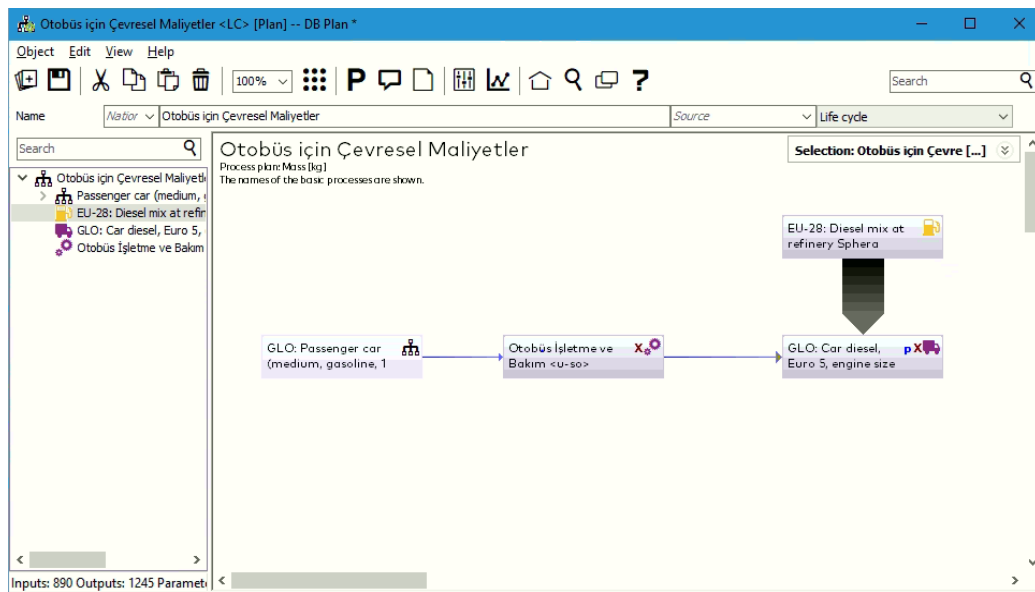
Şekil 5.13 Verilerin girilmesi için oluşturulan “process” aşaması

Tablo 5.27’de ise dizel yakıt kullanan otomobillerin işletilmesi sonucunda ortaya çıkan çevresel etkilerin değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.27 LPG kullanan otomobiller için çevresel etki sonuçları

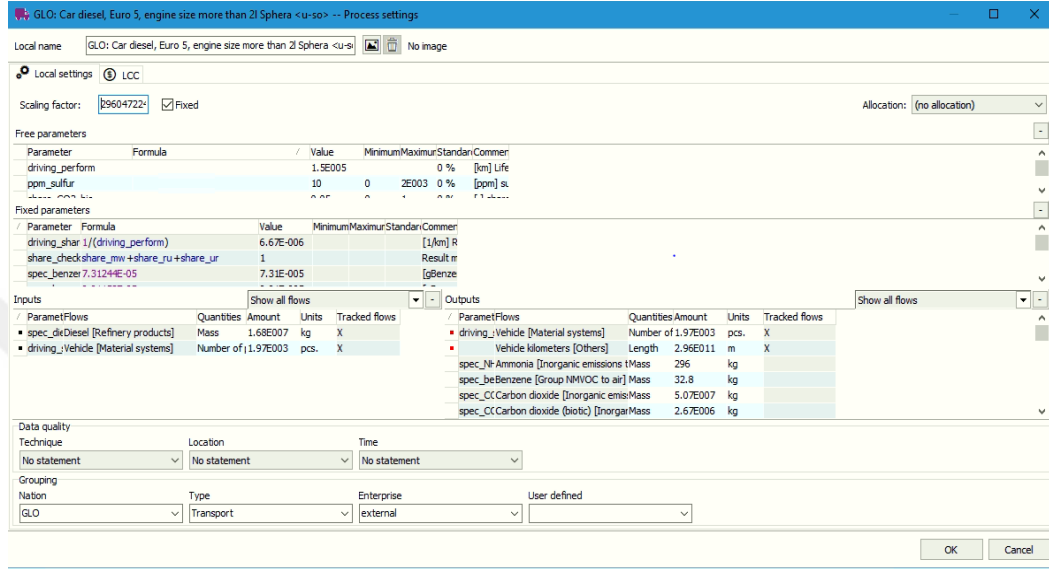
LPG Kullanan Otomobiller için Çevresel Etkiler	Araç Üretimi	Aracın İşletilmesi	LPG	Toplam
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	0,0561	-	0.842	0,898
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fossil)	36000	-	3,25E+08	3,25E+08
Asidifikasyon P.	6,12	3250	13500	16800
Ötrifikasyon P.	0,564	921	1170	2090
Tatlısu Ekotoksosite P.	12,3	-	117000	117000
Küresel Isınma P.	2500	1,80E+07	4650000	2,26E+07
Küresel Isınma P. (öbk.)	2500	1,80E+07	4650000	2,26E+07
İnsan Toksisite P.	1240	714	509000	510000
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	1330000	-	4,01E+08	4,02E+08
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	1,6E-11	-	4,04E-09	4.05E-09
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	0,557	1650	2520	4180
Karasal Ekotoksosite P.	12	-	24800	24800

Otobüslerin 25 yıllık işletilmesinden kaynaklanan çevresel etkileri bulabilmek için GaBi yazılımının Ecoinvent veri tabanında otobüs ile ilgili veri bulunmadığından, Euro 4 sınıfında ve motor gücü 2,0’dan büyük olan “Passenger Car” veri tabanı kullanılmıştır. Bu şekilde yapılan modelleme Şekil 5.14’te gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Otobüsler için oluşturulmuş model

Otobüslerin harcadıkları dizel yakıt miktarı yaklaşık olarak otomobillerin harcadıklarından 3 kat fazla olduğu için otobüs sayısı 3 ile çarpılarak toplam 296 047 224 taşıt km değeri “process” kısmına girilmiştir. Şekil 5.15’te otobüsler için oluşturulan “process” aşaması gösterilmiştir.



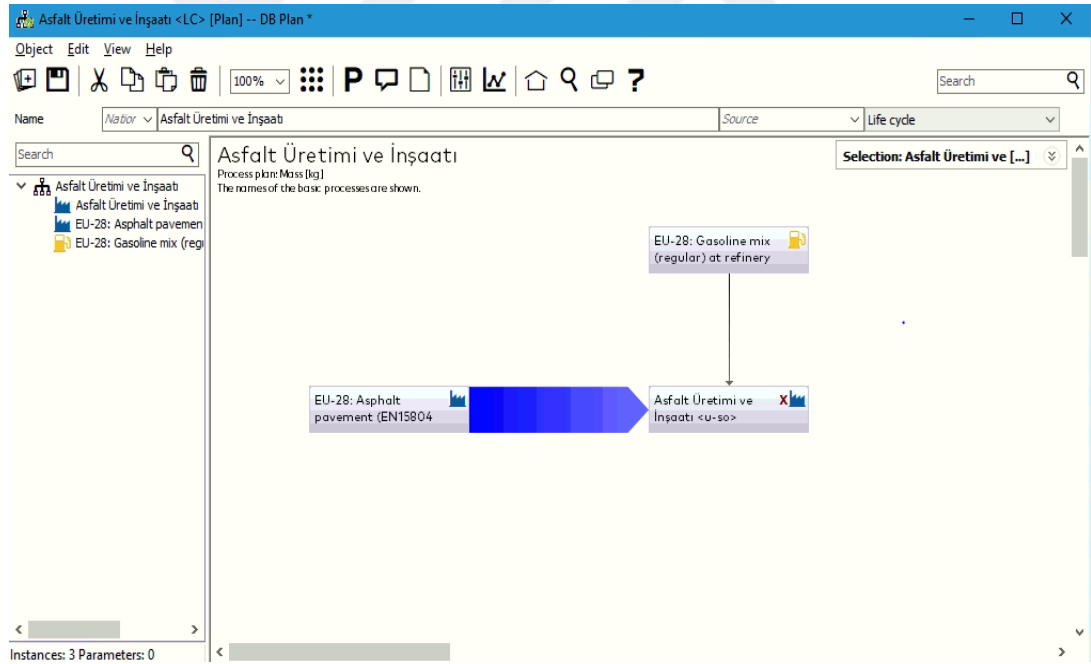
Şekil 5.15 Otobüsler için oluşturulan “process” aşaması

Tablo 5.28’de otobüslerin 25 yıllık kullanımları sonucunda ortaya çıkan çevresel etkilerin değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.28 Otobüsler için çevresel etki sonuçları

Otobüsler için Çevresel Etkiler	Otobüs Üretimi	Otobüslerin İşletilmesi	Dizel	Toplam
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	1.1	-	5.23	6.33
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fosil)	708000	-	8,03E+08	8,03E+08
Asidifikasyon P.	120	174000	27800	202000
Ötrifikasyon P.	11.1	45900	4980	50900
Tatlısu Ekotoksitesite P.	241	5,38E+07	316000	316000
Küresel Isınma P.	49200	5,38E+07	5110000	5,89E+07
Küresel Isınma P. (öbk.)	49100	5,11E+07	8030000	5,92E+07
İnsan Toksisite P.	24300	172000	1100000	1300000
Deniz Suyu Ekotoksitesite P.	2,61E+07	18,9	9,43E+08	9,69E+08
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	3.14E-10	-	1,03E-08	1,06E-08
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	11	-68700	5360	-63400
Karasal Ekotoksitesite P.	235	10,8	130000	130000

5.4.2.3.4 *Asfalt Üretimi ve İnşaatından Kaynaklanan Emisyonlar*. Çiğli Tramvay Hattı'nın yapılmaması durumunda yol inşaatı için kullanılacak olan asfalt tabakalarının kalınlıkları ve miktarları için hesaplamalar “Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi” yardımıyla daha önce yapılmıştı. Buna göre aşınma ve binder tabakaları için sırasıyla 5 ve 8 cm tabaka kalınlıkları bulunmuş ve bu kalınlıklara göre 1 gidiş - 1 geliş yönü, 3,65 m şerit genişliğine sahip ve 12,3 km uzunluğa sahip yol inşaatı için gerekli asfalt malzemesi miktarı ve kullanılacak yakıt miktarı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda aşınma ve binder tabakası için toplam 28 014,5 ton asfalt malzemesi kullanılacağı ve bu işlem sırasında toplam 14 805 kg dizel yakıt kullanılacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu değerler GaBi yazılımında girilerek asfalt üretimi ve yapımından kaynaklanan çevresel etkiler hesaplanmıştır. Asfalt üretimi ve yapımı için yapılan modelleme Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



Şekil 5.16 Asfalt üretimi ve inşaatı için oluşturulmuş model

Asfalt üretimi ve inşaatı için hesaplanan malzeme miktarı ve kullanılacak yakıt miktarının girilmesi için oluşturulan “process” Şekil 5.17’de gösterilmiştir.

Asfalt Üretimi ve İnşaatı <u-so> [Construction industry] -- DB Processes

Object Edit View Help

Name: *Nabior* Asfalt Üretimi ve İnşaatı Source: u-so - Unit process, single operat

Parameters

Parameter	Formula	Value	Minimum	Maximum	Standard	Comment
Parameter						

LCA LCC: 0 EUR LCWE Documentation

Completeness: No statement

Inputs

Flows	Quantities	Amount	Units	Tree	Standard	Origin	Comment
Asphalt pavement, integrated [t]	Mass	2.8E007	kg	X	0 %	(No statement)	
Gasoline (premium) [Refinery p]	Mass	1.48E004	kg	X	0 %	(No statement)	
Flows							

Outputs

Flows	Quantities	Amount	Units	Tree	Standard	Origin	Comment
Flows							

Şekil 5.17 Asfalt üretimi ve inşaatı için oluşturulan “process” aşaması

Tablo 5.29’da asfalt üretimi ve inşaatı sonucunda oluşan çevresel etkiler gösterilmiştir.

Tablo 5.29 Asfalt üretimi ve inşaatı çevresel etki sonuçları

Asfalt Üretimi ve İnşaatı için Çevresel Etkiler	Asfalt Üretimi	Dizel	Toplam
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	0,281	0,00354	0,284
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fosil)	9,31E+07	742000	9,38E+07
Asidifikasyon P.	4410	33,9	4440
Ötrifikasyon P.	684	5,69	690
Tatlısu Ekotoksosite P.	32300	289	32500
Küresel Isınma P.	170000	9800	1780000
Küresel Isınma P. (öbk.)	1770000	11500	1790000
İnsan Toksisite P.	119000	1210	121000
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	1,16E+08	941000	1,17E+08
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	3,86E-09	1,42E-11	3,87E-09
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	155	5,65	161
Karasal Ekotoksosite P.	5930	75,5	7000

5.4.2.3.5 *Çevresel Etkilerin Parasal Değerlere Dönüştürülmesi.* Çiğli Tramvay Hattı'nın inşaat, işletme, tren araçlarının üretilmesi, otomobil ve otobüs kullanımları, asfalt üretimi ve inşaatı aşamalarında GaBi yazılımı yardımıyla hesaplanan çevresel etkilerin, fizibilite çalışmasında projeyi değerlendirebilecek birer parametre olabilmesi için parasal değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Hattın inşaatı, işletilmesi ve tren araçlarının üretiminden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri fizibilite değerlendirmelerinde maliyetler kısmında yer alacaktır. Otomobil ve otobüs kullanımlarının azalmasından doğan ve asfalt üretimi ve inşaatının olmamasından doğan çevresel etkilerin parasal değerleri ise fizibilite değerlendirmesinde faydalar kısmında yer alacaktır.

Çevresel etkilerin parasal anlamda değerlendirilmesi, yaşam döngüsü analizi çalışmaları ve çevre ekonomisi için büyük öneme sahiptir (Itsubo, Sakagami, Kuriyama ve Inaba, 2012). 1930'lardan günümüze çevresel etkilerin parasal değerlere çevrilmesi için pek çok çalışma yapılmıştır fakat yaşam döngüsü analizinde parasal değerlendirme çalışmaları ilk olarak Finnveden tarafından 1999 yılında yapılmıştır. Daha sonra Finnveden, Eldh ve Johansson (2006) yılında yaptıkları çalışmada yaşam döngüsü analizinde çevresel etkilerin parasal değerlemesi için İsveç'te kullanılan emisyonlar ve kaynaklar üzerindeki vergi ve harçlara dayalı bir yöntem sunmuştur. Bu çalışmada yazarlar yaşam döngüsü analizinin parasal değerlendirme çalışmalarının zorluklarını kabul etmişlerdir. Bu tarz yaşam döngüsü analizinin parasal değere dönüştürülebilmesi çalışmaları günümüze kadar devam etmiştir.

Literatürden elde edilen bilgiler, yaşam döngüsü analizinde parasal değerlendirme yaklaşımlarının kullanımıyla ilgili çeşitli zorlukları vurgulamıştır. Çünkü emisyonların ve kaynakların parasal değerleri çeşitli şekillerde belirlenebilir ve değerler, neyin dahil edildiğine, kimin değerlerinin ifade edildiğine ve gelecek hakkında neyin varsayıldığına bağlı olarak değişir. Bununla birlikte, parasal değerlendirme, yaşam döngüsü analizi yoluyla elde edilen çevresel etkilerin yorumlanması için büyük bir potansiyele sahiptir çünkü para birimlerinin çoğu

kullanıcılar için farklı yaklaşımlarla elde edilen ağırlıklara kıyasla ilişkilendirilmesi daha kolay olabilir (Pizzol vd., 2015).

CML 2016 yöntemine göre bulunmuş olan çevresel etkilerin parasal değerlere çevrilmesi daha önceden de belirtildiği üzere bir hayli zordur. Yani parasal değerler bazı faktörlere göre değişiklik gösterebilir. Bu yüzden çevresel etkilerin parasal değerlere dönüştürülebilmesi amacıyla kullanılmak üzere farklı kaynaklardan yararlanılacaktır ve çevresel etkilerin parasal olarak minimum ve maksimum değerleri hesaplanacaktır. Daha sonra kaynak birliği olması bakımından genellikle aynı kaynaklardan parasal değerler alınıp nihai sonuçlar hesaplanacak ve projenin fizibilite değerlendirmelerine katılacaktır. Bengt Steen (2020) tarafından yazılan “Monetary Valuation of Environmental Impacts” kitabı, De Bruyn vd. (2018) tarafından Avrupa Birliği’ne üye 28 ülke için yapılmış bir çalışma olan “Environmental Prices Handbook-EU28 Version”, çevresel etkilere parasal değerlendirme çalışmalarının bu güne kadar yapılmış olan kaynaklarının özetini sunan Amadei, De Laurentiis ve Sala (2021) tarafından yazılan “A review of monetary valuation in life cycle assesment: State of the arts and future needs” adlı makale ve Marin ve Lang (2020) tarafından yazılmış olan “Environmental cost of buildings; monetary valuation of ecological indicators for the building industry” adlı makale çevresel etkilere parasal değerler atamada yararlanılmış olan kaynaklardır. Çevresel etkilerin parasal değerlere çevrilmesi amacıyla belirlenmiş olan minimum, maksimum ve nihai değerler Tablo 5.30’da gösterilmiştir.

Tablo 5.30 Minimum, maksimum ve nihai parasal değerler (Euro)

Çevresel Etkiler	Minimum Değerler	Maximum Değerler	Nihai Değerler
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	18,9	18,9	18,9 (Marin ve Lang, 2020)
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fossil)	0,0167	0,0167	0,00167 (Marin ve Lang, 2020)
Asidifikasyon P.	0,00215	244	5,24 (Amadei, Laurentis ve Sala, 2021)
Ötrifikasyon P.	1,78	18,52	10.15 (Marin ve Lang, 2020)
Tatlısu Ekotoksosite P.	0,00485	0,0409	0,0361 (Bruyn vd., 2018)
Küresel Isınma P.	0,395	0,395	0,395 (Steen, 2018)
Küresel Isınma P. (öbk.)	0,395	0,395	0,395 (Steen, 2018)
İnsan Toksisite P.	0,0243	0,767	0,104 (Amadei vd., 2021)
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	0,00099	0,00837	0,00739 (Bruyn vd., 2018)
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	0	756	32 (Amadei vd., 2021)
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	0,508	10,6	0,508 (Amadei vd., 2021)
Karasal Ekotoksosite P.	1,17	9,85	8,69 (Bruyn vd., 2018)

İlk olarak Çiğli Tramvay Hattı fizibilite çalışmasında maliyetler kısmına eklenecek olan hattın yapımından, işletilmesinden ve tren araçlarının üretilmesinden doğan çevresel etkilerin parasal değerlere çevrilmiş hali Tablo 5.31’de verilmiştir.

Tablo 5.31 Hattın inşaatının, işletilmesinin ve tren araçlarının üretiminin çevresel etkilerinin parasal değerleri

Hattın inşaatı, işletilmesi ve tren üretimi	Toplam Çevresel Etkiler	Minimum Değerler	Maximum Değerler	Nihai Sonuç
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	281	5310	5310	5110
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fossil)	8.14E+08	1.36E+07	1.36E+07	1.36E+07
Asidifikasyon P.	146000	313	3.56E+07	764000
Ötrifikasyon P.	15900	28400	295000	162000
Tatlısu Ekotoksosite P.	83300	404	3410	3010
Küresel Isınma P.	7.60E+07	3.00E+07	3.00E+07	3.00E+07
Küresel Isınma P. (öbk.)	7.68E+07	3.03E+07	3.03E+07	3.03E+07
İnsan Toksisite P.	4030000	97900	3090000	419000
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	5.65E+09	5600000	4.73E+07	4.17E+07
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	2.20E-06	0.00E+00	1.66E-03	7.04E-05
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	6370	3230	67500	3230
Karasal Ekotoksosite P.	105000	123000	1030000	911000
Toplam Maliyet (EURO)		7.98E+07	1.61E+08	1.18E+08

Çiğli Tramvay Hattı’nın fizibilite çalışmasında faydalar kısmına eklenecek olan otomobil ve otobüslerden sağlanan çevresel etkilerin parasal değerleri ise ayrı ayrı ele alınmıştır, Otomobillerden sağlanan faydalar için ilk olarak Tablo 5.32’de benzin

kullanan otomobillerden sağlanan çevresel faydaların parasal olarak değerleri verilmiştir.

Tablo 5.32 Benzin kullanan otomobillerden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri

Benzin Kullanan Otomobiller	Toplam Çevresel Etkiler	Minimum Değerler	Maximum Değerler	Nihai Sonuç
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	1,14	21,5	21,5	20,7
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fosil)	2,31E+08	3857700	3857700	3857700
Asidifikasyon P.	17500	37,625	4270000	91700
Ötrifikasyon P.	3350	5963	62042	34002,5
Tatlısu Ekotoksosite P.	89900	436,01	3676,91	3245,39
Küresel Isınma P.	1,75E+07	6912500	6912500	6912500
Küresel Isınma P. (öbk.)	1,73E+07	6833500	6833500	6833500
İnsan Toksisite P.	564000	13705,2	432588	58656
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	2,94E+08	291648	2460780	2172660
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	4,4E-09	0	3,3E-06	1.40E-07
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	2690	1366,52	28514	1366,52
Karasal Ekotoksosite P.	23800	27846	234430	206822
Toplam Maliyet (EURO)		1.79E+07	2.51E+07	2.02E+07

Otomobillerden sağlanan faydaların ikinci bileşeni olan dizel yakıt kullanan araçların üretimi ve işletilmesinden doğan çevresel etkilerin parasal olarak değerlere dönüştürülmüş hali Tablo 5.33’de gösterilmiştir.

Tablo 5.33 Dizel yakıt kullanan otomobillerden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri

Dizel Yakıt Kullanan Otomobiller	Toplam Çevresel Etkiler	Minimum Değerler	Maximum Değerler	Nihai Sonuç
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	1,76	33	33	32
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fosil)	2,62E+08	4375400	4375400	4375400
Asidifikasyon P.	84500	181	2,06E+07	442780
Ötrifikasyon P.	21500	38270	398180	218225
Tatlısu Ekotoksosite P.	103000	499	4212,7	3718
Küresel Isınma P.	1,93E+07	7623500	7623500	7623500
Küresel Isınma P. (öbk.)	1,93E+07	7623500	7623500	7623500
İnsan Toksisite P.	435000	10570,5	333645	45240
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	3,09E+08	306528	2586330	2283510
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	3.38E-09	0	2.5E-06	1.08E-07
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	-28100	-14274,8	-297860	-14274,8
Karasal Ekotoksosite P.	42400	49608	417640	368456
Toplam Maliyet (EURO)		2.00E+07	4.37E+07	2.30E+07

Otomobillerin son sınıfı olan LPG kullanan araçlardan meydana gelen çevresel etkiler ise Tablo 5.34’de gösterilmiştir.

Tablo 5.34 LPG kullanan otomobillerden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri

LPG Kullanan Otomobiller	Toplam Çevresel Etkiler	Minimum Değerler	Maximum Değerler	Nihai Sonuç
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	0,898	16,97	16,97	16,33
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fosil)	3,25E+08	5427500	5427500	5427500
Asidifikasyon P.	16800	36,12	4099200	88032
Ötrifikasyon P.	2090	3720,2	38706,8	21213,5
Tatlısu Ekotoksosite P.	117000	567,45	4785,3	4223,7
Küresel Isınma P.	2,26E+07	8927000	8927000	8927000
Küresel Isınma P. (öbk.)	2,26E+07	8927000	8927000	8927000
İnsan Toksisite P.	510000	12393	391170	53040
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	4,02E+08	398784	3364740	2970780
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	4,05E-09	0	3,06E-06	1,296E-07
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	4180	2123,44	44308	2123,44
Karasal Ekotoksosite P.	24800	29016	244280	215512
Toplam Maliyet (EURO)		2,37E+07	3,15E+07	2,,66E+07

Ayrıca Çiğli Tramvay Hattı’nın yapılmaması durumunda işletilecek olan otobüslerden sağlanacak olan çevresel etkilerin parasal değerleri fizibilite çalışmasında faydalar kısmında yer alacaktır. Bu değerler Tablo 5.35’te gösterilmiştir.

Tablo 5.35 Otobüslerden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri

Otobüsler	Toplam Çevresel Etkiler	Minimum Değerler	Maximum Değerler	Nihai Sonuç
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	6,33	119,6	119,6	115
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fosil)	8,03E+08	1,34E+07	1,34E+07	1,34E+07
Asidifikasyon P.	202000	434,3	4,93E+07	1058480
Ötrifikasyon P.	50900	90602	942668	516635
Tatlısu Ekotoksosite P.	316000	1532,6	12924,4	11407,6
Küresel Isınma P.	5,89E+07	2,33E+07	2,33E+07	2,33E+07
Küresel Isınma P. (öbk.)	5,92E+08	2,34E+07	2,34E+07	2,34E+07
İnsan Toksisite P.	1300000	31590	997100	135200
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	9,69E+08	961248	8110530	7160910
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	1,06E-08	0	8,01E-06	3,39E-07
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	-63400	-32207,2	-672040	-32207,2
Karasal Ekotoksosite P.	130000	152100	1280500	1129700
Toplam Maliyet (EURO)		6,13E+07	1,20E+08	7,00E+07

Çevresel faydalara eklenecek bir diğer kalem olan asfalt üretimi ve inşaatından kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerlere dönüştürülmüş hali ise Tablo 5.36’da gösterilmiştir.

Tablo 5.36 Asfalt üretimi ve inşaatından kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değerleri

Asfalt üretimi ve inşaatı	Toplam Çevresel Etkiler	Minimum Değerler	Maximum Değerler	Nihai Sonuç
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	0,284	5,37	5,37	5,17
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fosil)	9,38E+07	1566460	1566460	1566460
Asidifikasyon P.	4440	9.546	1083360	23265,6
Ötrifikasyon P.	690	1228.2	12778.8	7003,5
Tatlısu Ekotoksitesite P.	32500	157.6	1329.25	1173,25
Küresel Isınma P.	1780000	703100	703100	703100
Küresel Isınma P. (öbk.)	1790000	707050	707050	707050
İnsan Toksisite P.	121000	2940.3	92807	12584
Deniz Suyu Ekotoksitesite P.	1,17E+08	116064	979290	864630
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	3,87E-09	0	2,92E-06	1,23E-07
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	161	81,8	1706,6	81,8
Karasal Ekotoksitesite P.	7000	8190	68950	60830
Toplam Maliyet (EURO)		3,11E+06	5,22E+06	3,95E+06

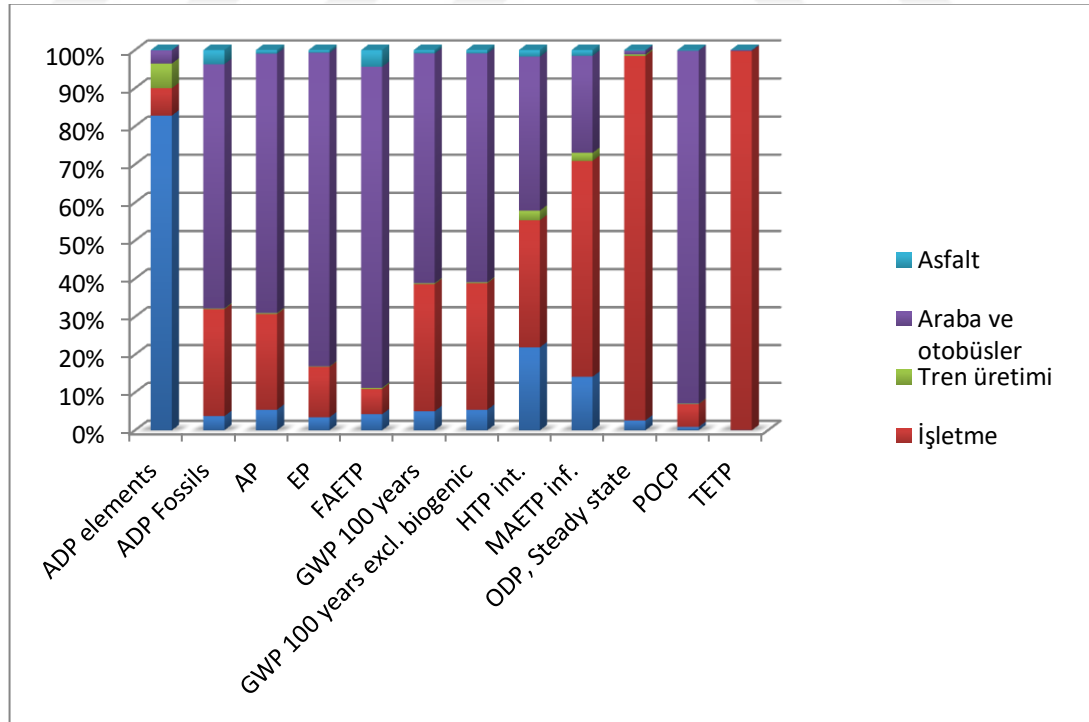
5.4.2.4 Yorumlama

Çiğli Tramvay Hattı’nın inşaatı, işletilmesi, tren araçlarının üretilmesi esnasında oluşan çevresel etkiler ile otomobil, otobüs kullanımından, asfalt üretimi ve inşaatından kaynaklanan çevresel etkilerin sonuçları yaşam döngüsü etki analizi safhasında CML 2016 yöntemine göre hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamalara göre her bir aşamanın yaşam döngüsü değerlendirmesinin toplu sonuçları Tablo 5.37’de gösterilmiştir. Bu tabloya göre yaşam döngüsü analizi sonucunda çevresel etki kategorilerinden abiyotik kaynakların tükenmesi potansiyeli (fosil) ve deniz suyu ekotoksitesite değerleri diğer çevresel etkilerle kıyaslandığında en fazla zarar teşkil eden etki kategorileri olmuştur. Bu etki kategorilerinin tüm çevresel etkiler arasındaki yüzdelik değerleri ise sırasıyla %23 ve %72’dir. Ayrıca abiyotik kaynakların tükenmesi potansiyeli (element) ve ozon tabakasının incelmesi potansiyeli değerleri de diğer etki kategorileriyle kıyaslandığında etkisinin çok az olduğu görülmektedir.

Tablo 5.37 Yaşam döngüsü analizi toplu sonuçları

Çevresel Etkiler	İnşaat	İşletme	Tren Üretimi	Araba ve Otobüsler	Asfalt	Toplam	Yüzde Etkisi
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (element)	2.41E+02	2.09E+01	1.88E+01	1.01E+01	2.84E-01	2.91E+02	0.00000%
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi P. (fosil)	9.43E+07	7.13E+08	5.90E+06	1.62E+09	9.38E+07	2.53E+09	23.49512%
Asidifikasyon P.	2.56E+04	1.19E+05	1.25E+03	3.21E+05	4.44E+03	4.71E+05	0.00438%
Ötrifikasyon P.	3.23E+03	1.25E+04	1.24E+02	7.78E+04	6.90E+02	7.76E+06	0.00088%
Tatlısu Ekotoksosite P.	3.14E+04	4.94E+04	2.51E+03	6.26E+05	3.25E+04	7.42E+05	0.00690%
Küresel Isınma P.	9.84E+06	6.57E+07	5.04E+05	1.18E+08	1.78E+06	1.96E+08	1.82021%
Küresel Isınma P. (öbk.)	1.07E+07	6.56E+07	5.11E+05	1.18E+08	1.79E+06	1.97E+08	1.82689%
İnsan Toksisite P.	1.53E+06	2.32E+06	1.77E+05	2.81E+06	1.21E+05	6.96E+06	0.06468%
Deniz Suyu Ekotoksosite P.	1.09E+09	4.39E+09	1.63E+08	1.97E+09	1.17E+08	7.73E+09	71.90065%
Ozon Tabakasının İncelmesi P.	5.85E-08	2.14E-06	8.74E-09	2.24E-08	3.87E-09	2.23E-06	0.00000%
Fotokimyasal Ozon Oluşturma P.	7.88E+02	5.46E+03	1.18E+02	8.46E+04	1.61E+02	9.11E+04	0.00085%
Karasal Ekotoksosite P.	2.34E+04	9.43E+07	1.13E+04	2.21E+05	7.00E+03	9.46E+07	0.87944%

Çevresel etki kategorilerinin Çiğli Tramvay Hattı'nda yapılacak olan iş kalemlerinden kaynaklanan etkilerinin yüzdelik değerleri ise Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



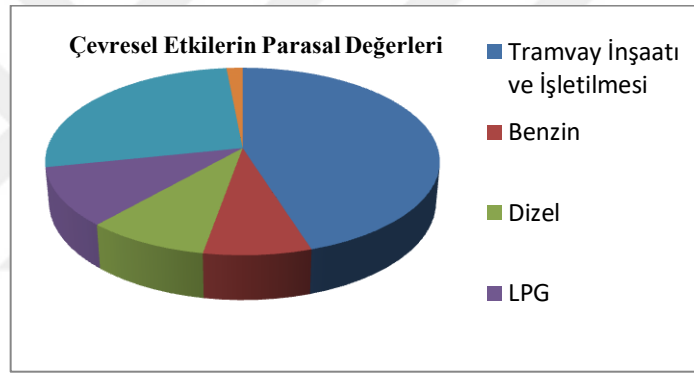
Şekil 5.18 Çevresel etkilerin iş kalemlerine göre dağılımları

Çiğli Tramvay Hattı için CML 2016 yöntemine göre hesaplanan çevresel etkiler yaşam döngüsü etki analizi bölümünde belirlenen katsayılar yardımıyla parasal değerlere dönüştürülmüştü. Bu değerlerin toplu olarak sonuçları Tablo 5.38’de gösterilmiştir.

Tablo 5.38 Parasal değerlerin toplu sonuçları (Euro)

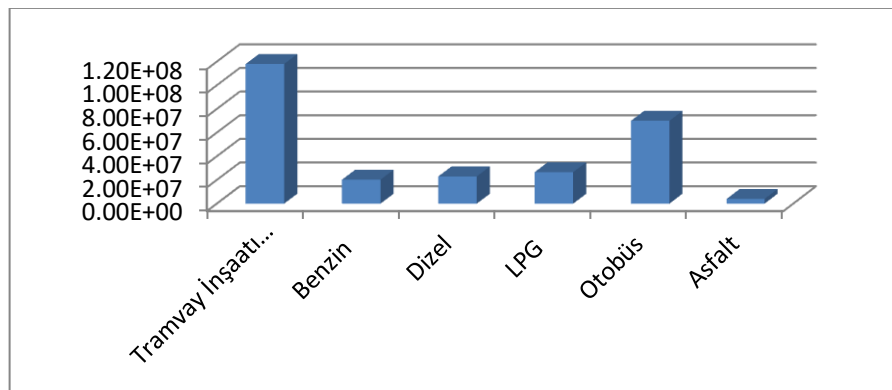
Hattın İnşaatı İşletilmesi ve tren üretimi	Benzin	Dizel	LPG	Otobüs	Asfalt
1,18E+08	2,02E+07	2,30E+07	2,66E+07	7,00E+07	3,95E+06
45,08%	7,72%	8,79%	10,16%	26,74%	1,51%

Bu değerlerin pasta grafiğinde gösterilmiş hali Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.19 Parasal değerlerin pasta grafiği gösterimi

Ayrıca çevresel etkilerin parasal değerlerinin sütun grafiğinde gösterilmiş hali ise Şekil 5.20’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 Parasal değerlerinin sütun grafiği gösterimi

Çiğli Tramvay Hattı'nın çevresel etkilerinden kaynaklanan parasal değerler GaBi yazılımı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre tramvay hattının inşaatı, işletilmesi ve tren araçlarının üretiminden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal değer olarak karşılığı $1.18E+08$ Euro olarak hesaplanmıştır. Otomobil ve otobüslerin üretimi ve işletilmesinden kaynaklanan çevresel etkilerin parasal olarak karşılığı $1.40E+08$ Euro olarak, asfalt üretimi ve inşaatından kaynaklanan çevresel etkilerin parasal olarak karşılığı ise $3.95E+06$ Euro olarak hesaplanmıştır. Çiğli Tramvay Hattı'nın fizibilite çalışmasında çevresel etkileri parasal olarak değerlendirme sürecinde hattın inşaatı, işletilmesi ve tren araçlarının üretilmesi kalemleri çevresel maliyetler kısmında yer alırken, otomobil ve otobüslerin üretimi ve işletilmesi ile asfalt üretimi ve inşaatı iş kalemleri ise çevresel faydalar kısmını oluşturur. Fizibilite çalışmasının esasında bir projenin fayda sağlayabilmesi için fayda kalemlerinden maliyet kalemleri çıkarıldığında sonucun pozitif olması gerektiği daha önceden de belirtilmişti. Buna göre çevresel faydalardan çevresel maliyetleri çıkardığımızda sonuç $25.8E+06$ Euro olarak bulunmuştur. Sonuç olarak Çiğli Tramvay Hattı'nın yapılması durumu göz önüne alındığında çevresel olarak 25,8 milyon Euro'luk bir fayda sağlayacağına ulaşılmıştır.

5.5 Erişilebilirlik Kaynaklı Sosyal Faydanın Hesaplanması ve Fizibilite Çalışmasına Katılması

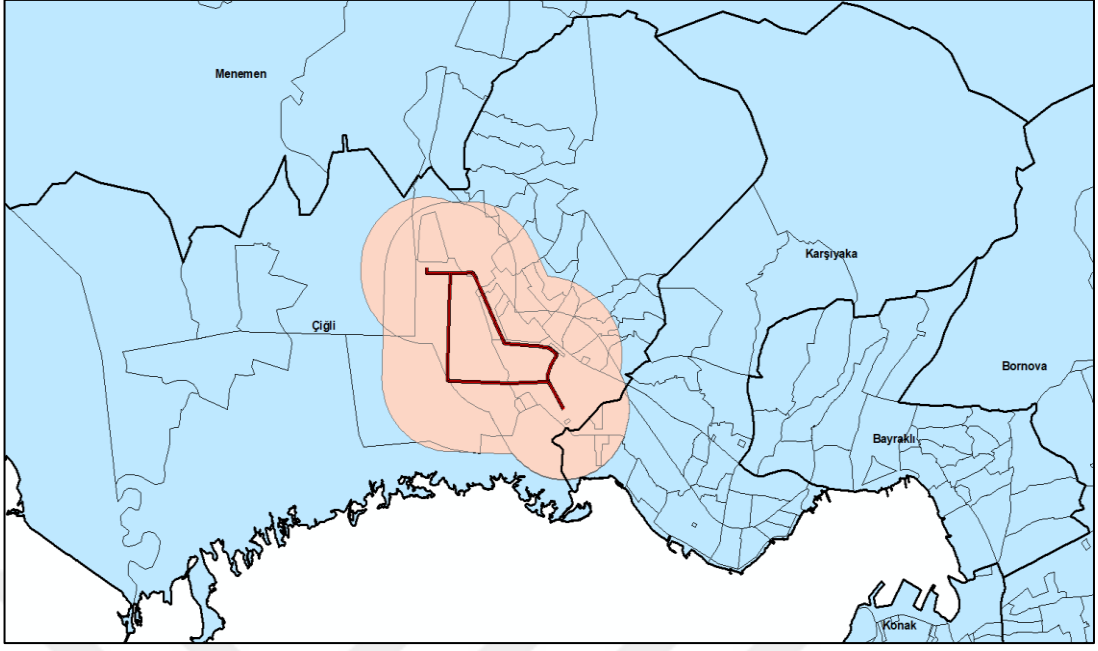
Çalışmanın bu bölümünde, üçüncü bölümde irdelenen erişilebilirlik ölçütlerinden raylı sistem fizibilite analizinde fayda bileşeni olarak yararlanma olanağı incelenmiştir. Bireylerin ve ticari aktivitelerin istenen tesislere, ürünlere ve aktivitelere ulaşabilme kolaylığı olarak tanımlanabilen erişilebilirlik (Bhat vd. 2001), özellikle iş olanakları için analiz edildiğinde ekonomik faydanın bir göstergesi haline gelebilecektir. Çalışmada, örnek proje olarak seçilen Çiğli Tramvay hattının iş olanaklarına erişilebilirliğe etkisi incelenmiştir.

Erişilebilirlik analizi için Denklem 3.6'da değinilen fayda esaslı erişilebilirlik yaklaşımı tercih edilmiştir. Burada “fırsat” bileşeni olarak istihdam sayıları kullanılmıştır. Yolculuk maliyeti için ise İzmir Ulaşım Ana Planı (2016) ulaşım talep

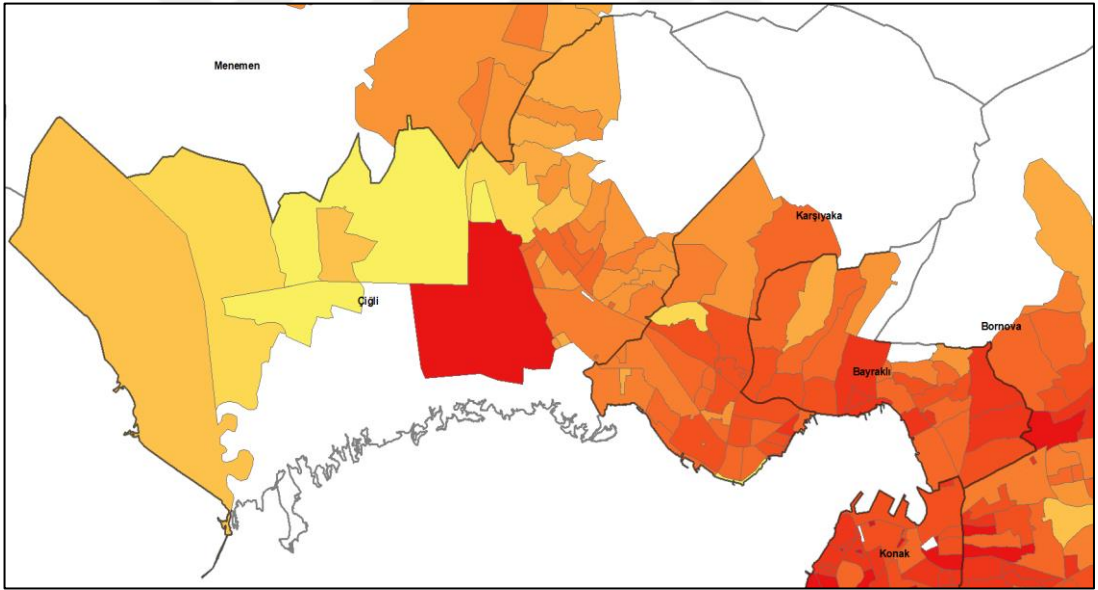
modelinde elde edilen toplu ulaşım yolculuk süreleri kullanılmıştır. Bu talep modelinde Çiğli Tramvay Hattı'nın 2020 yılında hizmete gireceği dikkate alındığından erişilebilirlikte değişim, 2015 mevcut durum ve 2020 final senaryo modellerine ait veriler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Çiğli Tramvay Hattı'nın istihdam erişilebilirliğine etkisinin konumsal yoğunluğunu belirlemek için sezgisel bir yaklaşım kullanılmıştır. Tramvay hattı çevresinde 1,5 km'lik bir tampon bölge oluşturularak bu bölge ile kesişen trafik analiz bölgeleri elde edilmiştir. Şekil 5.21'de bu etki alanı görülmektedir. Tampon bölgenin kapsadığı 34 trafik analiz bölgesinden 32'sinde istihdam verisi mevcut olup erişilebilirlik hesaplanabilmektedir.

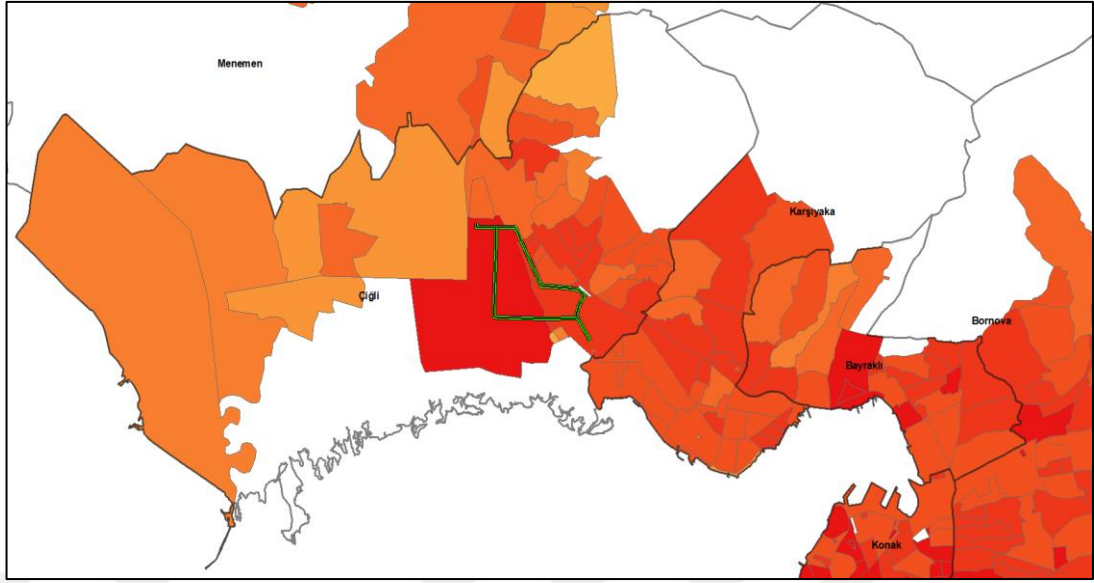
Fayda esaslı erişilebilirliğin hesaplanması amacıyla, ulaşım maliyetine duyarlılık parametresinin (β) belirlenmesi gereklidir. Erişilebilirlik bir indeks değeri olduğundan dolayı, duyarlılık parametresi için gözlemlere dayalı bir kalibrasyon türü yaklaşımı kullanılamamaktadır. Elde edilen erişilebilirlik değerlerinin bütün analiz bölgesini iyi bir şekilde yansıtabilmesi için, bir değer etrafında yığılma göstermemesi gerekmektedir. Bu yüzden farklı parametreler ile elde edilen erişilebilirlik dağılımlarının normal dağılıma uygunluğunun sınanması, rasyonel bir yaklaşımdır (Özuysal, Tanyel ve Oral, 2012). Bu amaçla, maliyete duyarlılık parametresinin 0,01 ile 5,00 aralığında 0,01 artımlarla değiştiği toplam 500 farklı değeri için erişilebilirlik değerleri, İzmir Ulaşım Ana Planı'na göre istihdam verisine sahip toplam 751 analiz bölgesi için geliştirilen kod yardımıyla hesaplanmış ve 751 değer her bir duyarlılık için normal dağılıma uygunluğu Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov ve Lilliefors testleri yardımıyla sınanmıştır. Türdeş bir karşılaştırma yapılabilmesi için 2015 ve 2020 yıllarına ait erişilebilirlik hesaplamalarının ikisinde de aynı duyarlılık parametresi kullanılması tercih edilmiştir. Hiçbir duyarlılık parametresi için normal dağılıma tam uygunluk yakalanamaz iken her iki zaman kesitinde normal dağılıma en çok yaklaşım duyarlılık parametresi yaklaşık 0,60 olarak belirlenmiştir. İzmir Ulaşım Ana Planı 2015 ve 2020 verilerine göre hesaplanan erişilebilirlik değerlerinin konumsal dağılımı Şekil 5.22 ve 5.23'te görülmektedir.



Şekil 5.21 Çiğli Tramvay hattının erişilebilirlik etki alanının belirlenmesi



Şekil 5.22 Çiğli ve çevresi için tramvay hattı öncesi için hesaplanan erişilebilirlik (İzmir UAP 2015 mevcut durum ataması)



Şekil 5.23 Çiğli ve çevresi için tramvay hattı sonrası için hesaplanan erişilebilirlik (İzmir UAP 2020 senaryosu)

Erişilebilirlik haritaları karşılaştırıldığında, tramvay hattının yerleşeceği kesimin özellikle kuzeydoğu kesiminde erişilebilirliğin kayda değer ölçüde yükseldiği söylenebilir. Konak, Bornova gibi diğer uzak ilçelerde gerçekleşen yükselmeler muhtemelen o bölge çevresindeki Çiğli Tramvay Hattı'ndan bağımsız diğer ana plan yatırımlarından kaynaklanmaktadır. Yukarıda değinilen 1,5 km'lik tampon bölgeyi kapsayan etki alanı yaklaşımı, bu farklı etkilerin analizden elenmesi bakımından da gereklidir. Etki alanı içine düşen 32 analiz bölgesinde erişilebilirlik değerleri, tramvay projesi öncesi ve sonrası için Tablo 5.39'da karşılaştırılmıştır. 32 bölgeden 24'ünde istihdam erişilebilirliğinin tramvay yatırımı ile birlikte yükseldiği görülmektedir. Standardize edilmiş değerlerin ortalama %2,5 arttığı, sadece artan bölgelerin ortalaması ise %4,6 olduğu bulunmuştur. Değişim değerlerinin konumsal dağılımı Şekil 5.24'te verilmiştir. Özellikle Çiğli'nin kuzeyindeki Katip Çelebi Üniversitesi, Uğur Mumcu, Balatçık, Ahmet Efendi gibi mahalleler ile Çiğli'nin güneydoğusunda Karşıyaka yönünde yer alan Ataşehir, Yeni Mahalle ve Aydınlık Evler mahallelerinde erişilebilirliğin kayda değer ölçüde yükseldiği görülmektedir.

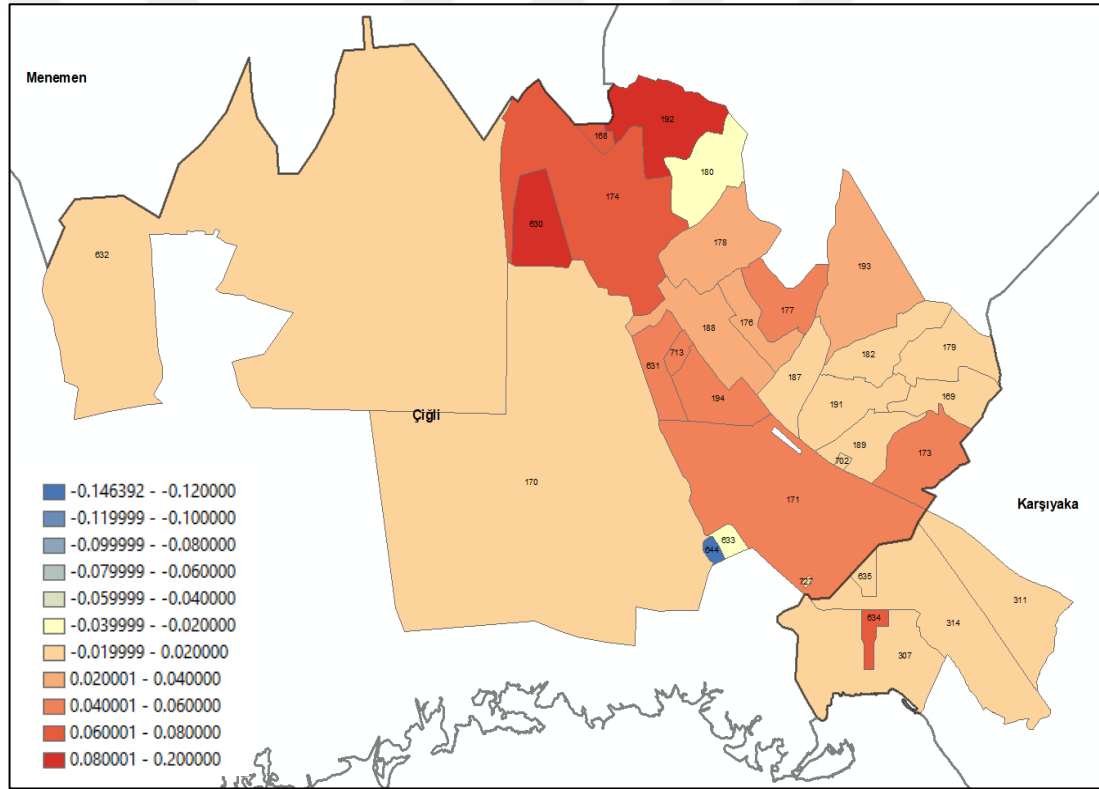
Tablo 5.39 Tramvay hattı etki alanında erişilebilirlik değerlerinin değişimi

Analiz Bölgesi Kodu	Analiz Bölgesi Adı	Genel Erişilebilirlik			Standardize Erişilebilirlik		
		2015	2020	Fark	2015	2020	Yüzde Fark
168	Çiğli Ahmet Efendi	0.381	2.982	2.601	0.852	0.920	7.93%
169	Çiğli Ahmet Taner Kışlalı	0.206	0.969	0.763	0.848	0.867	2.34%
170	Çiğli Aosb	5.066	4.565	-0.501	0.974	0.961	-1.34%
171	Çiğli Ataşehir	1.139	3.384	2.246	0.872	0.930	6.69%
173	Çiğli Aydınlıkevler	1.056	2.828	1.773	0.870	0.916	5.29%
174	Çiğli Balatçık	-3.049	-0.292	2.757	0.763	0.835	9.39%
176	Çiğli Çağdaş	1.781	3.079	1.298	0.889	0.922	3.80%
177	Çiğli Egekent	0.918	2.466	1.547	0.866	0.906	4.64%
178	Çiğli Esentepe	-2.428	-1.601	0.827	0.779	0.801	2.76%
179	Çiğli Evka-2	0.038	0.782	0.744	0.843	0.863	2.29%
180	Çiğli Evka-5	0.384	-0.501	-0.884	0.852	0.829	-2.69%
182	Çiğli Güzeltepe	1.409	0.883	-0.526	0.879	0.865	-1.56%
187	Çiğli Köyiçi	2.468	3.005	0.537	0.906	0.920	1.54%
188	Çiğli Küçük Çiğli	1.760	2.562	0.803	0.888	0.909	2.35%
189	Çiğli Maltepe	0.434	0.502	0.068	0.854	0.855	0.21%
191	Çiğli Şirintepe	0.237	0.091	-0.146	0.848	0.845	-0.45%
192	Çiğli Uğur Mumcu	-1.311	2.602	3.913	0.808	0.910	12.58%
193	Çiğli Yakakent	-0.155	0.936	1.091	0.838	0.867	3.38%
194	Çiğli Yeni Mahalle	-0.221	1.466	1.687	0.837	0.880	5.24%
307	Karşıyaka Mavişehir	1.598	0.875	-0.723	0.884	0.865	-2.13%
311	Karşıyaka Şemikler	2.097	2.344	0.247	0.897	0.903	0.72%
314	Karşıyaka Yalı	1.463	2.173	0.710	0.880	0.899	2.09%
630	Çiğli Katip Çelebi Üniversitesi	-4.115	0.168	4.283	0.735	0.847	15.13%
631	Çiğli Küçük Sanayi Sitesi	1.751	3.304	1.552	0.888	0.928	4.54%
632	Çiğli Hava Üssü	-3.876	-3.653	0.222	0.742	0.747	0.78%
633	Çiğli Kipa AVM	-1.465	-2.936	-1.471	0.804	0.766	-4.75%
634	Karşıyaka Mavişehir EgePark AVM	-0.623	2.212	2.835	0.826	0.900	8.92%
635	Mavişehir Carrefoursa AVM	1.155	1.084	-0.071	0.872	0.870	-0.21%
644	Çiğli Kipa AVM Yanı-Oto Sanayi	0.110	-5.524	-5.635	0.845	0.699	-17.32%
702	Metro AVM	1.903	1.991	0.088	0.892	0.894	0.26%
713	Çiğli Araştırma Hastanesi	-0.840	0.978	1.818	0.820	0.868	5.76%
727	Mavişehir Koçtaş	1.670	2.045	0.375	0.886	0.895	1.10%
	ORTALAMA:	0.342	1.118	0.776	0.851	0.871	2.48%

Erişilebilirliğin ekonomik değerini tahmin etmeye yönelik çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu konuyla doğrudan ilgilenen en güncel çalışma Knudsen vd. (2022) aittir. Çalışmada Danimarka'daki ücretlerin esnekliği, istihdama erişilebilirlik açısından tahmin edilmiştir. Bu esneklik, ulaştırma altyapısı değişikliklerinin üretkenlik etkileri için bir tahmin olarak kullanılmış ve Danimarka'daki politika değerlendirmelerinde ulaştırmanın ekonomik faydalarının daha geniş hesaplanmasında uygulanmıştır. Esneklik değerleri aşağıdaki çoklu regresyon ifadesi Denklem 5.1 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\ln(w_{nzt}) = \alpha + \delta \cdot \ln(A_{zt}) + \beta' x_{nt} + u_n + \theta_t + \varepsilon_{nzt} \quad (5.1)$$

Burada w_{nzt} , n çalışanın t zamanındaki brüt saatlik ücreti; z indisi, n çalışanın t zamanındaki işyeri bölgesidir. A_{zt} , t anında z bölgesinin erişilebilirliği; x_{nt} , t zamanında çalışan n için aile büyüklüğü, eğitim, yaş, işe gidip gelme mesafesi ve çalıştığı endüstri türü gibi bireye özgü özelliklerin bir vektörüdür. u_n , n çalışanı için işçi sabit etkisi; θ_t bir zaman kuklası ve ε_{nzt} hata terimidir. α , δ ve β tahmin edilecek parametreler; δ , erişilebilirliğe göre ücretlerin esnekliğidir. Genel olarak, esneklik değerinin (δ) 0,008-0,037 aralığında değiştiği, yazarlarca tercih edilen modellerden gelen tahminlerin 0,025-0,029 aralığında olduğu vurgulanmıştır. Erişilebilirliğin ekonomik değerini tahmin etmek için bu çalışmada bulunan esneklik değerleri referans alınmıştır.



Şekil 5.24 Tramvay hattı etki alanında erişilebilirlik değerlerinin değişimi

Knudsen vd. (2022) ait çalışmada hesaplanan erişilebilirlik değerleri, analiz bölgesi sayısı ve duyarlılık parametresi bakımından farklı olduğundan dolayı İzmir için hesaplanan erişilebilirlik değerleri ile ölçek bakımından farklıdır. Bu farkın giderilmesi için İzmir'e ait erişilebilirlik değerlerinin ortalaması, Danimarka'ya ait değerlerin ortalamasına taşınmıştır. Danimarka'ya ait erişilebilirlik değerlerinin

ağırlık ortalaması 138,65 olarak hesaplanmıştır. İzmir için Tablo 5.39’da verilen standardize erişilebilirlik değerlerinin ortalaması tramvaysız toplu ulaşım ağı için 0,851 ve tramvaylı durum için 0,871’dir. Danimarka’daki erişilebilirlik ortalaması bu standardize ortalamalara bölünerek elde edilen katsayılar tramvay etki alanındaki analiz bölgelerinin standardize erişilebilirlik değerleri ile çarpılarak dönüştürülmüş erişilebilirlik değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 5.40’da gösterilmiştir. Yukarıdaki denklemde görüldüğü gibi referans çalışmada erişilebilirlik değerlerinin doğal logaritmik formu kullanılmaktadır. Bu yüzden erişilebilirliğin ekonomik değerinin hesaplanmasında dönüştürülmüş erişilebilirlik değerlerinin doğal logaritması kullanılmış, esneklik değeri (δ) için ise Knudsen vd. (2022) çalışmasında tüm verilerin sınıflandırılmadan kapsandığı modelde bulunan 0,028 değeri kullanılmıştır. Modelde bağımlı değişken olan bir çalışana ait brüt saatlik ücret değeri de doğal logaritmik formda hesaplandığından, exponansiyel dönüşüm ile iki farklı kesitteki Euro cinsinden çalışan brüt saatlik ücretleri elde edilmiştir. Son olarak tramvaylı ve tramvaysız durum için saatlik ücret farkları bulunmuş ve bu değerler her bir analiz bölgesindeki çalışan sayısı ile çarpılmıştır. 2020 yılına ait çalışan sayısı tahminine ulaşılamadığından 2015’teki çalışan sayısının 2020’de aynı kalacağı kabulü yapılmıştır. Tablo 5.40’ta görüldüğü gibi 11 analiz bölgesinde çalışan bulunmamaktadır. Çalışan sayısı analiz bölgelerinde ikamet etmekte olan çalışanları ifade ettiğinden ve sanayi, AVM, askeri üs vb. bölgelerde ikamet bulunmadığından bu tür bölgelerde çalışan sayısı “0” olmaktadır. Erişilebilirlik değişimi artan ve azalan yönde olabildiğinden bazı brüt saatlik ücret farkları da negatiftir. Farkların genel toplamı pozitif çıkmış, 5,767 Euro/saat bulunmuştur. Tramvayın 25 yıllık ekonomik ömrü olduğu, bir yılda ortalama 240 çalışma günü bulunduğu ve günde ortalama 10 saat çalışıldığı kabul edilirse, tramvayın ekonomik ömrü boyunca erişilebilirlik kaynaklı ekonomik değer artışı:

$$5,767 \times 10 \times 240 \times 25 = 346\,020 \text{ Euro olacaktır.}$$

Çiğli Tramvay Hattı’nın erişilebilirlik parametresi ile sağladığı faydaların parasal değerleri Tablo 5.15’te elde edilmiş olan otobüslerin ve otomobillerin yıllık taşıt-km değerleri göz önünde bulundurularak hattın 25 yıllık ekonomik ömrüne dağıtılmıştır.

Bu değerler Tablo 5.41’de gösterilmiştir. Önerilen yaklaşımda kullanılan Çiğli Tramvayı etki alanında konutsal yerleşim yüksek olmadığından erişilebilirlik değişiminin ekonomik etkisi diğer ekonomik fayda bileşenlerine kıyasla düşük kalmıştır. Ayrıca konut dışı yerleşimlerde brüt ücret farklarının çoğunlukla negatif olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, etki alanında daha çok konutsal yerleşim yer alan raylı sistem yatırımlarının erişilebilirlik ekonomik değerinin daha yüksek olacağı söylenebilir.



Tablo 5.40 Erişilebilirlik değişiminin ekonomik değerinin

Analiz Bölgesi Kodu	2015 Çalışan Sayısı	Standardize Erişilebilirlik		Dönüştürülmüş Erişilebilirlik (A_{ij})		$\delta^* \ln(A_{ij})$ Tramvaysız (2015)	$\delta^* \ln(A_{ij})$ Tramvaylı (2020)	Bir Çalışanın Brüt Saatlik Ücreti (€/saat)		Bir Çalışan için Saatlik Üretim Farkı (€/saat)	Bölgedeki Tüm Çalışanlar için Saatlik Üretim Farkı (€/saat)
		Tramvaysız (2015)	Tramvaylı (2020)	Tramvaysız (2015)	Tramvaylı (2020)			$e^{\delta^* \ln(A_{ij})}$ Tramvaysız (2015)	$e^{\delta^* \ln(A_{ij})}$ Tramvaylı (2020)		
168	Çiğli Ahmet Efendi	0.852	0.920	138.81	146.35	0.138	0.140	1.148	1.150	0.00170	0.106
169	Çiğli Ahmet Taner Kışlalı	2134	0.848	138.08	138.03	0.138	0.138	1.148	1.148	-0.00001	-0.021
170	Çiğli AOSB.	0	0.974	158.64	152.90	0.142	0.141	1.152	1.151	-0.00119	0.000
171	Çiğli Ataşehir	9580	0.872	142.02	148.02	0.139	0.140	1.149	1.150	0.00133	12.753
173	Çiğli Aydınlıklar	1245	0.870	141.67	145.72	0.139	0.139	1.149	1.150	0.00091	1.129
174	Çiğli Balatçık	3864	0.763	124.30	132.82	0.135	0.137	1.145	1.147	0.00213	8.219
176	Çiğli Çağdaş	1952	0.889	144.74	146.76	0.139	0.140	1.149	1.150	0.00045	0.870
177	Çiğli Egekent	2391	0.866	141.09	144.22	0.139	0.139	1.149	1.149	0.00071	1.689
178	Çiğli Esentepe	873	0.779	126.93	127.41	0.136	0.136	1.145	1.145	0.00012	0.106
179	Çiğli Evka-2	1138	0.843	137.36	137.26	0.138	0.138	1.148	1.148	-0.00002	-0.027
180	Çiğli Evka-5	4524	0.852	138.83	131.96	0.138	0.137	1.148	1.146	-0.00163	-7.372
182	Çiğli Güzeltepe	2116	0.879	143.17	137.68	0.139	0.138	1.149	1.148	-0.00126	-2.659
187	Çiğli Köyü	1227	0.906	147.65	146.45	0.140	0.140	1.150	1.150	-0.00026	-0.321
188	Çiğli Küçük Çiğli	5870	0.888	144.65	144.62	0.139	0.139	1.149	1.149	-0.00001	-0.037
189	Çiğli Maltepe	1242	0.854	139.04	136.11	0.138	0.138	1.148	1.147	-0.00069	-0.851
191	Çiğli Şirintepe	3255	0.848	138.20	134.40	0.138	0.137	1.148	1.147	-0.00090	-2.916
192	Çiğli Uğur Mumcu	1357	0.808	131.66	144.79	0.137	0.139	1.146	1.149	0.00306	4.147
193	Çiğli Yakakent	2929	0.838	136.55	137.90	0.138	0.138	1.148	1.148	0.00032	0.926
194	Çiğli Yeni Mahalle	2847	0.837	136.27	140.09	0.138	0.138	1.148	1.148	0.00089	2.532
307	Karşıyaka Mavişehir	4878	0.884	143.97	137.64	0.139	0.138	1.149	1.148	-0.00144	-7.043
311	Karşıyaka Şemikler	8418	0.897	146.08	143.72	0.140	0.139	1.150	1.149	-0.00052	-4.411
314	Karşıyaka Yalı	12242	0.880	143.40	143.01	0.139	0.139	1.149	1.149	-0.00009	-1.053
630	Çiğli Katip Çelebi Üniversitesi	0	0.735	119.79	134.72	0.134	0.137	1.143	1.147	0.00377	0.000
631	Çiğli Küçük Sanayi Sitesi	0	0.888	144.61	147.69	0.139	0.140	1.149	1.150	0.00068	0.000
632	Çiğli Hava Üssü	0	0.742	120.80	118.93	0.134	0.134	1.144	1.143	-0.00050	0.000
633	Çiğli Kipa AVM	0	0.804	131.00	121.89	0.137	0.134	1.146	1.144	-0.00231	0.000
634	Karşıyaka Mavişehir EgePark AVM	0	0.826	134.57	143.17	0.137	0.139	1.147	1.149	0.00199	0.000
635	Mavişehir Carrefoursa AVM	0	0.872	142.09	138.51	0.139	0.138	1.149	1.148	-0.00082	0.000
644	Çiğli Kipa AVM Yarı-Oto Sanayi	0	0.845	137.67	111.19	0.138	0.132	1.148	1.141	-0.00684	0.000
702	Metro AVM	0	0.892	145.26	142.26	0.139	0.139	1.150	1.149	-0.00067	0.000
713	Çiğli Araştırma Hastanesi	0	0.820	133.65	138.07	0.137	0.138	1.147	1.148	0.00105	0.000
727	Mavişehir Koçtaş	0	0.886	144.27	142.48	0.139	0.139	1.149	1.149	-0.00040	0.000
										Toplam:	5.767

Tablo 5.41 Erişilebilirliğin parasal değeri (Euro)

Yıllar	Erişilebilirlik Değerleri
2020	10 109
2021	10 109
2022	10 109
2023	10 109
2024	10 109
2025	12 893
2026	12 893
2027	12 893
2028	12 893
2029	12 893
2030	15 401
2031	15 401
2032	15 401
2033	15 401
2034	15 401
2035	15 401
2036	15 401
2037	15 401
2038	15 401
2039	15 401
2040	15 401
2041	15 401
2042	15 401
2043	15 401
2044	15 401

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ulaşım sistemlerinin en önemli projelerinden olan raylı sistemler yatırım projeleri insan yaşamına önemli etkileri bulunan projelerdir. Özellikle şehir içi raylı sistem yatırım projeleri, getirdiği pek çok avantaj sayesinde gelişmiş ülkelerde sıklıkla kullanılan bir yatırım aracıdır. Bu avantajlardan yararlanmak, şehir içi veya şehirlerarası ulaşımı rahatlatmak ve insanların refah seviyesini arttırmak için raylı sistem projeleri günümüzde öncü ulaşım projelerindendir. Politika yapıcılar raylı sistem projelerini gerçekleştirmeden önce sistematik bir biçimde projelerin faydalarını ve maliyetlerini analiz etmelidir. Bu fayda ve maliyetlerin matematiksel bir biçimde analiz edilip, karşılaştırmaların yapılması işlemine fizibilite çalışması denir. Fizibilite çalışması sonuçlarına dayanarak politika yapıcılar projelerin gelecekte kazanç sağlayıp sağlamayacağına karar verebilirler.

Bu tez çalışmasında ilk olarak raylı sistem yatırım projelerinin değerlendirilmesi için kullanılan en yaygın yöntem olan fayda maliyet analizi açıklanmıştır. Fayda maliyet analizinde kullanılan parametrelerin neler olduğu, bu parametrelerin Dünya ülkelerinde kullanılıp kullanılmadığı veya nasıl kullanıldığı araştırmaları yapılmış ve sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca ülkemizde yapılmış olan bazı raylı sistem yatırım projeleri de incelenmiş ve diğer ülkelerle karşılaştırılmıştır. Dünya'daki 33 ülke ve Türkiye baz alınarak yapılmış olan bu incelemeler sonucunda raylı sistem projelerinin fayda maliyet analizlerinde pek çok parametrenin ortak olarak kullanıldığı, bazı parametrelerin ise kullanımlarında ülkelere göre farklılıklar olduğu görülmüştür.

Tez kapsamında ülkemizde fizibilite çalışması yapılmış olan Çiğli Tramvay Hattı projesi ayrıntılı olarak incelenmiş ve diğer ülkelerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Çiğli Tramvay Hattı projesi fizibilite çalışmasında özellikle fayda kalemlerinden olan gürültü etkisi ve çevre kirliliği etkisi parametrelerinin fizibilite çalışmasında kullanılmadığı veya eksik kullanıldığı sonucunda varılmıştır.

Buradan hareketle Çiğli Tramvay Hattı projesi fizibilite çalışması için gürültü etkisi ve çevre kirliliği etkisi parametreleri yeniden hesaplanmış ve fayda maliyet analizi tekrar yapılarak yeni sonuçlar elde edilmiştir. Fizibilite çalışmasının tüm fayda ve maliyet parametrelerinin hesabı yapılmadan önce otobüs ve otomobillerin taşıt-km değerleri İzmir Ulaşım Planı (2017) araç doluluk oranı verileri kullanılarak yıllık bazda hesaplanmıştır. Bu şekilde yapılan hesaplamaların esas projeye kıyasla daha gerçekçi veriler kullanılarak oluşturulduğu, daha doğru ve güvenilir sonuçlar verdiğine ulaşılmıştır. Kaza maliyetlerinden tasarruf ve gürültü maliyetlerinden tasarruf değerleri hesaplanırken de Avrupa üye devletleri için ortalama değerlerin yer aldığı Korzhenevych vd. (2014) tarafından yayınlanan “Update of the Handbook on External Cost of Transport” kitabından yararlanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Çevresel etkilerin hesabı yapılırken GaBi (Thinkstep, Germany) yazılımından yararlanılmış ve yaşam döngüsü analizi yöntemi kullanılarak raylı sistem projelerinin fizibilite çalışmalarına yeni bir bakış açısı geliştirilmiştir. Ayrıca yine yenilikçi bir yaklaşım olarak raylı sistem hattının yapıldığı bölgenin erişilebilirlik değerinin artacağından hareketle bu değer de fayda maliyet analizine yansıtılması üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Çiğli Tramvay Hattı projesinin 2018-2044 yılları arasındaki 2 yıllık inşaat ve 25 yıllık işletme süreci göz önüne alınarak ekonomik fizibilite etüdü gerçekleştirilmiştir. Ekonomik fizibilite etüdünde, değerlendirme dönemi boyunca fayda ve maliyetlerin dönem başındaki değerlerini hesaplamak için Euro para biriminde %5 güncelleştirme (iskonto) oranı kullanılmıştır. İlk olarak projenin yatırım maliyetleri, tramvay araçlarının yatırım maliyetleri, tramvay işletme ve bakım maliyetlerini kapsayan projenin maliyet kalemlerinin hesabı yapılmıştır. Bu aşamalar gerçekleşirken oluşan çevresel etkiler GaBi yazılımı kullanılarak hesaplanmış ve maliyet kalemlerine eklenmiştir. Böylece Çiğli Tramvay Hattı projesinin ekonomik fizibilite çalışması sırasında maliyet parametrelerinin değerleri elde edilmiş ve Tablo 5.43’de gösterilmiştir. Daha sonra projenin fayda parametrelerini oluşturan seyahat süresinden sağlanan tasarruflar, karayolu taşıt işletme maliyetlerinden sağlanan tasarruflar, karayolu kaza maliyetlerinden sağlanan tasarruflar, otobüs yatırım maliyetlerinden sağlanan tasarruflar, karayolu bakım onarım maliyetlerinden

sağlanan tasarruflar, gürültü maliyetlerinden sağlanan tasarruflar hesaplanmıştır. Çevresel faydaların hesaplanması aşamasında ise tramvay hattının yapılmasının bir sonucu olarak otomobil ve otobüslerin kullanımlarının ortadan kalkacağı düşüncesiyle bu araçlarda meydana gelen çevresel etkiler GaBi yazılımı yardımıyla hesaplanmış ve fayda parametreleri kısmına eklenmiştir. Yine tramvay hattının yapılmasının bir sonucu olarak hattın geçtiği yolun belli kesiminde asfalt yenileme çalışmalarının yapılmayacağı da dikkate alınarak GaBi yazılımı yardımıyla buradan sağlanacak çevresel faydalar da hesaplanmış ve fizibilite çalışmasına eklenmiştir. Son olarak da tramvay hattının yapıldığı bölgenin erişilebilirlik değeri hesaplanmış ve fizibilite çalışmasının fayda kalemlerine eklenmiştir. Çiğli Tramvay Hattı'nın fayda parametrelerini içeren tüm bu değerler Tablo 5.44'de gösterilmiştir.

Çiğli Tramvay Hattı projesi için gerçekleştirdiğimiz fizibilite analizinin sonucunda fayda maliyet analizi temel değerlendirme ölçütlerinden yararlanılarak söz konusu projenin ekonomik açıdan yapılabilir olup olmadığının kontrolü yapılmıştır. Buna göre hattın fayda maliyet analizi sonucunda ekonomik net bugünkü değeri 111 902 658 € olarak bulunmuştur ve net bugünkü değer pozitif olması projenin yapılabilir nitelikte olduğunu göstermiştir. Hattın fizibilite çalışması sonucunda iç verimlilik oranı ise %12,42 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan iç verim oranı değeri projenin iskonto oranından daha büyük gelmiştir. İç verim oranının projede kullanılan iskonto oranından büyük gelmesi de projenin yapılabilir nitelikte olduğunun bir diğer kanıtıdır. Son olarak da proje için fayda/maliyet oranı 1.68 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla bu değer projenin faydalarının maliyetlerinden 1.68 kat daha büyük olduğunu göstermiş ve projenin yapılabilirliğinin bir diğer göstergesi olmuştur. Bu üç temel değerlendirme ölçütlerinin sonuçlarına dayanarak Çiğli Tramvay Hattı projesinin topluma fayda sağlayacağı ve yapılabilir bir proje olduğu görülmüştür.

Fizibilite çalışmasına yeni eklenen gürültü etkisi ve çevre kirliliği parametrelerinin fayda maliyet analizlerinde söz konusu projeye parasal anlamda büyük bir fayda sağladığı görülmektedir. Aynı şekilde erişilebilirlik parametresinin de fayda maliyet analizlerinde sonuçlara pozitif fayda olarak yansıdığı ancak gürültü

ve çevre kirliliği parametrelerine kıyasla daha az bir parasal değere sahip olduğu görülmüştür. Bunun en büyük sebepleri, erişilebilirlik hesabı için kullanılan tampon bölgenin 1,5 km'lik bir alanla sınırlandırılması, konutsal yerleşimin bu alanda az olması ve veri eksikliğinden dolayı yıllar boyunca artması gereken çalışan sayısının sabit olarak varsayılmasıdır. Son olarak tez kapsamında yapılan fizibilite çalışması ile Çiğli Tramvay Hattı'nın uygulamaya esas kesin proje çalışması karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Tablo 5.42'de gösterilmiştir.

Tablo 5.42 Esas proje ile tez çalışmasında bulunan değerlerin karşılaştırılması (Euro)

Değerlendirme Ölçütleri	Esas Proje	Tez Çalışması
Net Bugünkü Değer	70.664.981	111 902 658
İç verim Oranı	%10,58	%12,42
Fayda/Maliyet Oranı	1,71	1,68

Tez kapsamında yapılan fizibilite çalışmasında net bugünkü değer ve iç verim oranının esas projeye kıyasla önemli ölçüde arttığı, fayda maliyet oranının ise aynı seviyelerde kaldığı görülmüştür. Ayrıca TL bazında net bugünkü değer esas projeye göre 186 208 730 TL artış göstermiştir. Bu sonuçlara göre fizibilite çalışmasına eklenen gürültü, çevresel etkiler ve erişilebilirlik gibi yeni parametrelerin fizibilite çalışmasına artı değer kattığı sonucuna varılmıştır. Böylece hattın fizibilite çalışmasında kullanılan yeni hesap parametrelerinin her proje için aynı sonuçlar vermeyeceği ancak Dünya'da yapılan raylı sistem fizibilite çalışmalarında yeni hesap parametrelerini analizlerine dahil etmeyen yada sadece nicel veya nitel olarak dahil eden ülkeler için önemli bir örnek olacak olan yeni bir fizibilite analiz yöntemi geliştirilmiştir. Böylece yapılacak olan raylı sistem yatırımlarının topluma sağladığı faydalar açısından daha geniş bir yelpazede değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır.

Tez çalışması ile elde edilen bilgiler, raylı sistem yatırım projelerinin fizibilite analizlerinde kullanılan yaklaşımlarımızı Dünya'dan örneklerle karşılaştırarak standartlaşması bakımından yerel anlamda; insan ve çevre odaklı erişilebilirlik ve yaşam döngüsü analizi yaklaşımlarının adaptasyonu bakımından ise uluslararası anlamda katkılar sağlayacaktır.

Tablo 5.43 Ekonomik maliyet parametrelerinin hesaplanması

Yıl	Yapım Maliyetleri(€)	Tramvay Araçları Yatırım Maliyetleri (€)	Tramvay İşletme ve Bakım Maliyetleri(€)	Çevresel Maliyetler			Toplam Maliyetler (€)
				İnşaat(€)	İşletme(€)	Tren Üretimi(€)	
2018	14 000 000	0	0	6 100 000	0	0	20 100 000
2019	30 000 000	0	0	6 100 000	0	0	36 100 000
2020	20 000 000	12 950 000	1 231 125	6 100 000	2 983 936	73 200	43 338 261
2021	0	0	1 231 125	0	2 983 936	73 200	4 288 261
2022	0	0	1 231 125	0	2 983 936	73 200	4 288 261
2023	0	0	1 231 125	0	2 983 936	73 200	4 288 261
2024	0	0	1 231 125	0	2 983 936	73 200	4 288 261
2025	0	11 100 000	1 514 045	0	3 737 175	73 200	16 424 420
2026	0	0	1 514 045	0	3 737 175	73 200	5 324 420
2027	0	0	1 514 045	0	3 737 175	73 200	5 324 420
2028	0	0	1 514 045	0	3 737 175	73 200	5 324 420
2029	0	0	1 514 045	0	3 737 175	73 200	5 324 420
2030	0	11 100 000	1 773 519	0	4 300 792	73 200	17 247 511
2031	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2032	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2033	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2034	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2035	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2036	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2037	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2038	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2039	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2040	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2041	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2042	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2043	0	0	1 773 519	0	4 300 792	73 200	6 147 511
2044	-6 400 000	-3 515 000	1 773 519	0	4 300 792	73 200	-3 767 489
NBD	56 106 740	23 644 694	19 743 668	16 611 813	48 074 279	935 761	165 116 955

Tablo 5.44 Ekonomik fayda parametrelerinin hesaplanması

Yıl	Seyahat Süresinden Sağlanan Tasarruflar(€)	Karayolu Taşıt İşletme Maliyetlerinden Sağlanan Tasarruflar(€)	Karayolu Kaza Maliyetlerinden Sağlanan Tasarruflar(€)	Otobüs Yatırım Maliyetlerinden Sağlanan Tasarruflar(€)	Karayolu Bakım Onarım Maliyetlerinden Sağlanan Tasarruflar(€)	Gürültü Maliyetlerinden Sağlanan Tasarruflar(€)	Çevresel Faydalar		Erişilebilirlik Değeri (€)	Toplam Faydalar (€)	Net fayda (€)	
							Otomobil ve Otobüslerden Sağlanan Tasarruflar (€)	Asfalt Yenilenmesinde n Sağlanan Tasarruflar (€)				
2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-20 100 000	
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-36 100 000	
2020	0	3 403 788	61 504	11 400 000	258 314	127 989	4 090 039	158 000	10 109	19 509 743	-23 828 518	
2021	0	3 403 788	61 504	0	258 314	127 989	4 090 039	158 000	10 109	8 109 743	3 821 482	
2022	0	3 403 788	61 504	0	258 314	127 989	4 090 039	158 000	10 109	8 109 743	3 821 482	
2023	0	3 403 788	61 504	0	258 314	127 989	4 090 039	158 000	10 109	8 109 743	3 821 482	
2024	0	3 403 788	61 504	0	258 314	127 989	4 090 039	158 000	10 109	8 109 743	3 821 482	
2025	7 520 381	4 341 157	78 441	3 150 000	329 450	162 900	5 216 387	158 000	12 893	20 969 609	4 545 189	
2026	7 520 381	4 341 157	78 441	0	329 450	162 900	5 216 387	158 000	12 893	17 819 609	12 495 189	
2027	7 520 381	4 341 157	78 441	0	329 450	162 900	5 216 387	158 000	12 893	17 819 609	12 495 189	
2028	7 520 381	4 341 157	78 441	0	329 450	162 900	5 216 387	158 000	12 893	17 819 609	12 495 189	
2029	7 520 381	4 341 157	78 441	0	329 450	162 900	5 216 387	158 000	12 893	17 819 609	12 495 189	
2030	17 447 644	5 185 682	93 700	2 850 000	393 542	194 591	6 231 362	158 000	15 401	32 569 922	15 322 411	
2031	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 594	6 231 362	158 000	15 401	29 719 925	23 572 414	
2032	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 597	6 231 362	158 000	15 401	29 719 928	23 572 417	
2033	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 600	6 231 362	158 000	15 401	29 719 931	23 572 420	
2034	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 603	6 231 362	158 000	15 401	29 719 934	23 572 423	
2035	17 447 644	5 185 682	93 700	10 000 000	393 542	194 606	6 231 362	158 000	15 401	39 719 937	33 572 426	
2036	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 609	6 231 362	158 000	15 401	29 719 940	23 572 429	
2037	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 612	6 231 362	158 000	15 401	29 719 943	23 572 432	
2038	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 615	6 231 362	158 000	15 401	29 719 946	23 572 435	
2039	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 618	6 231 362	158 000	15 401	29 719 949	23 572 438	
2040	17 447 644	5 185 682	93 700	2 835 000	393 542	194 621	6 231 362	158 000	15 401	32 554 952	26 407 441	
2041	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 624	6 231 362	158 000	15 401	29 719 955	23 572 444	
2042	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 627	6 231 362	158 000	15 401	29 719 958	23 572 447	
2043	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 630	6 231 362	158 000	15 401	29 719 961	23 572 450	
2044	17 447 644	5 185 682	93 700	0	393 542	194 633	6 231 362	158 000	15 401	29 719 964	33 487 453	
NBD	123 982 875	56 695 872	1 024 443	18 569 410	4 302 654	2 128 631	68 127 533	2 019 812	185 641	277 019 613	111 902 658	
Ekonomik Net Bugünkü Değer (€)												111 902 658
Fayda/Maliyet Oranı												1.68
İç Verim Oranı (%)												12.41547%

KAYNAKLAR

- Åkerman, J. (2011). The role of high-speed rail in mitigating climate change – the Swedish case Europabanan from a life cycle perspective. *Transportation Research Part D*, 16(3), 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.12.004>
- Amadei A. M., De Laurentiis V. ve Sala S. (2021). A review of monetary valuation in life cycle assesment: State of the arts and future needs. *Journal of Cleaner Production*, 329. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129668>
- Banar, M. ve Özdemir, A. (2015). An evaluation of railway passenger transport in Turkey using life cycle assessment and life cycle cost methods. *Transportation Research Part D*, 41, 88-105. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.017>
- Basler ve Hofman. (1974). *Vergleich der umweltbelastung von behaltern aus PVC, glas, blech und karton*. Studie umwelt und volkswirtschaft. Eidgen Hessisches Amt für Umweltschutz.
- Ben-Akiva, M. ve Lerman, S. R. (1979). Behavioural travel modelling. In Hensher D. A. & Sopher P. R. (Ed.), *Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility* (1. Baskı, 26). Routledge.
- Bein, P. (12 Aralık 2021). *Barnet hastings benefit cost analysis*. <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/governments/organizational-structure/ministries-organizations/ministries/transportation-and-infrastructure>
- Bhat, C., Handy, S., Kockelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q., Srour, I. vd. (2001, Ağustos). *Assessment of accessibility measure*. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin 3208 Red River. http://www.utexas.edu/research/ctr/pdf_reports/4938_3.pdf

Bilgiç K.Ö. (2020). *Kendinden yapışkanlı etiket üretiminin yaşam döngüsü analizi ile değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Medeniyet Üniversitesi.

Bortoli A., Bouhaya L. ve Feraille A. (2020). A life cycle model for high speed rail infrastructure: enviromental inventories and assesment of the Tours-Bordeaux in France. *The International Journal of Life Cycle Assesment*, 25(1), 814-830.
<https://doi.org/10.1007/s11367-019-01727-2>

Bristow A. L. ve Nellthorp J. (2000). Transport project appraisal in the european union. *Transport Policy*, 7(1). 51-60.
[https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(00\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(00)00010-X)

Bueno, G., Hoyos, D. ve Capellan-Perez, I. (2017). Evaluating the environmental performance of the high speed rail project in the Basque Country, Spain. *Research in Transportation Economics*, 62, 44–56.
<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.02.004>

Chang, B. ve Kendall, A. (2011). Life cycle greenhouse gas assessment of infrastructure construction for California’s high-speed rail system. *Transportation Research Part D. Transport and Environment*, 16(6), 429–434.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.04.004>

Chau C.K., Leung T.M. ve Ng W.Y. (2015). A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings. *Applied Energy Elsevier*, 143(C), 395–413.
<https://doi.org/10.1016/j.apaenergy.2015.01.023>

Chester, M. ve Horvath, A. (2010). Life-cycle assessment of high-speed rail: the case of California. *Environmental Research Letter*, 5(1), 1-8.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014003>

Cooper J.S. ve Fava J. (2006). Life cycle assessment practitioners survey: summary of results. *Journal of Industrial Ecology*, 10(4), 12 -14.

<https://doi.org/10.1162/jiec.2006.10.4.12>

Cornet, Y., Dudley, G. ve Banister, D. (2017). *High speed rail: Implications for carbon emissions and biodiversity*. Case Studies on Transport Policy.

<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.08.007>

De Bruyn S., Bijleveld M., De Graaff L., Schep E., Schroten A., Vergeer R. vd. (2018). *Environmental prices handbook-EU28 version*. CE Delft.

Del Pero F., Delogu M., Pierini M. ve Bonaffini D. (2015). Life cycle assesment of a heavy metro train. *Journal of Cleaner Production*, 87, 787-799.

<https://doi.org/10.1016/j.clepro.2014.10.023>

Demirer N. G. (2011). *Pratik yaşam döngüsü analizi kılavuzu AB sürecinde işletmeler ve kamu için yaşam döngüsü analizi yöntem ve örnekleri*. Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları. Ankara

Department for Environment, Food & Rural Affairs. (9 Eylül 2021). *Noise pollution: economic analysis*. <https://www.gov.uk/guidance/noise-pollution-economic-analysis>

European Commission for Europe. (2003). *Cost benefit analysis of transport infrastructure projects*. <https://shop.un.org/books/cost-benefit-analysis-transport-25407>

European Commissions for Europe. (2008). *Guide to cost-benefit analysis of investment projects*. <https://www.adaptation-undp.org/resources/relevant-reports-and-publications/guide-cost-benefit-analysis-investment-projects>

European Commissions for Europe. (2014). *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*. https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cbaguide.pdf

Enerji Atlası. (12 Şubat 2022). *Türkiye’de yıllık elektrik üretiminin yıllara dağılımı*. <https://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/>

Evans, C., Naude, C., Teh, J., Makwasha, T., ve Ai, U. (2014, Aralık). *Updating environmental externalities unit values*. Austroads. <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-T285-14>

Finnveden, G., Eldh, P., Johansson, J., (2006). Weighting in LCA based on ecotaxes: development of a mid-point method and experiences from case studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.11(S1), 81–88. <https://doi.org/10.1065/lca2006.04.015>

Finnveden G., Hauschild M. Z., Ekvall T., Guinee J., Heijungs R., Hellweg S. vd. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>

Finnveden, G. (1999, Haziran). *A critical review of operational valuation/weighting methods for life cycle assessment*. Swedish Environmental Protection Agency. Stockholm, Sweden. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.2326&rep=rep1&type=pdf>

Geurs, K. T., ve van Eck, J. R. R. (2001). *Accessibility measures: review and applications*. National Institute of Public Health and the Environment.

Geurs, K.T. ve van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography* 12 (2), 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>

Geurs K. T., Zondag B., De Jong G. ve De Bok M., (2010). Accessibility appraisal of land-use/transport policy strategies: More than just adding up travel-time savings. *Transportation Research Part D:Transport and Environment*, 15(7), 382–393. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.04.006>

Gerçek, H. (2001). *Otoyolların mali ve ekonomik değerlendirilmesi*. <https://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12055.pdf>

Gutierrez, J., Monzón, A., ve Piñero, J. M. (1998). Accessibility, network efficiency and transport infrastructure planning. *Environment and Planning A*, 30(8), 1337–1350. <https://doi.org/10.1068/a301337>

Gülhan, G. (2014). *Toplu taşıma planlaması ve ağ tasarımı erişilebilirlik ölçütlerinin kullanılabilirliğinin araştırılması*. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi

Gwee E., Currie G. ve Stanley J., (2008). *Evaluating urban railway development projects an international comparasion*. Victoria Department of Transport. Australia. <http://worldcat.org/issn/03136655>

Handy, S. (1994). Regional versus local accessibility: Implications for non-work travel. *Transportation Research Record*, 1400, 58–66. <https://escholarship.org/uc/item/2z79q67d>

Hansen W.G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Planning Association (JAPA)*, 25 (2), 73-76. <https://doi.org/10.1080/01944365908978307>

Hayashi Y. ve Morisugi H. (2000). International comparision of background concept and methodology of transportation project appraisal. *Transport Policy*, 7(1), 73-88. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(00\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(00)00015-9)

Hepdurgun İ. (2019). *Yol yenileme çalışmalarının çevresel etkilerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

International Organization for Standardization. (1997). *Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. (ISO 14040:1997).
<https://www.iso.org/standard/23151.html>

International Organisation for Standardization. (2006a). *Life cycle assessment – Principles and framework*. (ISO 14040:2006).
<https://www.iso.org/standard/37456.html>

Itsubo, N., Sakagami, M., Kuriyama, K., Inaba, A., (2012). Statistical analysis for the development of national average weighting factors-visualization of the variability between each individual's environmental thought. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 17(4). <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0379-x>

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü. (2006). *Otogar – Bağcılar ve Bağcılar – İkitelli Raylı Sistem Projeleri Ekonomik ve Mali Fizibilite Etüdü*. İstanbul.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Müdürlüğü. (2009). *Kadıköy – Kartal – Kaynarca Raylı Sistem Hattı Fizibilite Etüdü*. İstanbul.

İzmir Büyükşehir Belediyesi (24 Aralık 2021). *İzmir Ulaşım Ana Planı 2017*.
<https://melesyarisma.izmir.bel.tr/CKYuklenen/2-6.pdf>

Jones H., Moura F. ve Domingos T., (2014). Transport infrastructure project evaluation using cost-benefit analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 400-409. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.073>

Kadhim A. J. ve Abdljabar M. B. (2013). Cost benefit analysis of kirkuk sulymaniya railway Project. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 17(2), 210-232.

Kaplan, Z. (2014). *Yatırım projelerinde sosyal fayda-maliyet analizi ve örnek uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

Kelly C. ve Laird J. (2005). *Current practice in project appraisal in europe*. https://www.researchgate.net/publication/33036956_Current_practice_in_project_appraisal_in_Europe

Kiremitçi, S.T. (2017). *Kentsel ulaşırmada erişilebilirlik ve ödenabilirlik için model: istanbul örneği*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Knudsen E.S., Hjorth, K., ve Pilegaard, N. (2022). “Wages and accessibility – Evidence from Denmark”, *Transportation Research Part A*, 158, 44-61. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.02.002>

Kortazar A., Bueno G. ve Hoyos D. (2021). Environmental balance of the high speed rail network in Spain: A Life Cycle Assessment approach. *Research in Transportation Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2021.101035>

Korzhenevych A., Dehnen N., Bröcker J., Holtkamp M., Meier H., Gibson G. vd. (8 Ocak 2021). *Handbook on estimation of external costs in the transport sector (Final report)*. <https://trid.trb.org/view/1306486>

Marin P. S., ve Lang W. (2020). Environmental cost of buildings; monetary valuation of ecological indicators for the building industry. *The International Journal of Life Cycle Assesment*, 25, 1637-1659. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01784-y>

Metsims (25 Ocak 2022). *8 soruda EPD hakkında bilmek istediğiniz her şey*.
<https://www.metsims.com/wp-content/uploads/2019/11/EPD-K%C4%B1lavuz-1.pdf>

Munger, M. (2000). *Analyzing policy: choices, conflicts and practices*.
<https://www.abebooks.com/9780393973990/Analyzing-Policy-Choices-Conflicts-Practices-0393973999/plp>

Nickel, J., Ross, A.M., ve Rhodes, D.H. (2009, Haziran 15-17). *Comparison of project evaluation using cost-benefit analysis and multi-attribute tadespace exploration in the transportation domain*. Second International Symposium on Engineering Systems MIT, Cambridge, Massachusetts. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.505.7754&rep=rep1&type=pdf>

Odgaard T., Kelly C. ve Laird J. (2005). *Current practice in project appraisal in europe. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assesment (HEATCO)*. https://www.researchgate.net/publication/33036956_Current_practice_in_project_appraisal_in_Europe

Özdemir, A. (2013). *Türkiye’de demiryolu ulaşımının yaşam döngüsü analizi ve yaşam döngüsü maliyeti yöntemleri ile değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi.

Özdemir, T. ve Üçer F. (2007, September 19-21). *Balıkesir İlindeki Bazı Önemli Kavşaklarda Trafik Kaynaklı Gürültünün Belirlenmesi*. 7. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, Türkiye

Özuysal, M. (2010). *Şehirsel yerleşimlerde erişilebilirlik ölçütünün modellenmesi ve kullanımı: ulaşım türü seçimi üzerindeki etkisinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

- Özuysal M., Tanyel S. ve Oral M. Y. (2012). Fayda esaslı erişilebilirliğin ulaşım türü seçimi üzerindeki etkisi. *İMO Teknik Dergi*, 23(113), 5987-6016.
- Pirie, G.H. (1979). Measuring accessibility - review and proposal. *Environment and Planning A*, 11(3), 299-312. <https://doi.org/10.1068/a110299>
- Pizzol, M., Weidema, B., Brandao, M., Osset, P. (2015). Monetary valuation in life cycle assessment: a review. *Journal of Cleaner Production*, 86, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.007>
- Pooler, J. (1987). Measuring geographical accessibility: A review of current approaches and problems in the use of population potentials. *Geoforum*, 18 (3), 269-289. [https://doi.org/10.1016/0016-7185\(87\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0016-7185(87)90012-1)
- RAILPAG (2003). *Railway Project Appraisal Guidelines*. https://www.eib.org/attachments/pj/railpag_en.pdf
- Sağlık A. ve Güngör A.G. (2008). *Karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberi*. https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/Yeni%20Klas%C3%B6r/Yay%C4%B1mlar/USTYAPI_PROJELENDIRME_REHBERI_2008-600.pdf
- SAIC. (Mayıs, 2006). *Life cycle assesment: principles and practice*. United States Environmental Protection Agency. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=155087
- Siciliano, G., Barontini f., Islam, D. M. Z., Zunder, T. H., Mahler S. ve Grossoni I. (2016). Adapted cost-benefit analysis methodology for innovative railway services. *European Transport Research Review*, 8(4), 14-23. <https://doi.org/10.1007/s12544-016-0209-5>

- Steen B. (2020). *Monetary valuation of environmental impacts-models and data*. <https://www.routledge.com/Monetary-Valuation-of-Environmental-Impacts-Models-and-Data/Steen/p/book/9781032086248>
- Şataf, C. (2014). Fayda-maliyet analizinde uygulamada karşılaşılan güçlükler: fayda ve maliyetin belirlenebilme sorunu. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 107-123. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduibfd/issue/20816/222710>
- Şenatalar, B. (1972). *Fayda maliyet analizinin kapsamı - fayda ve maliyet kavramları*. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iumamk/issue/783/8536>
- Taylor, M.A.P. ve D'Este, G.M. (2007). *Transport network vulnerability: a method for diagnosis of critical locations in transport infrastructure systems*. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68056-7_2
- The EUNET/SASI Final Report. (2001). <https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/eunet.pdf>
- T. C. İzmir Büyükşehir Belediyesi. (2016). *4. Aşama F. Altay – Narlıdere İstihkam Okulu Arası 8,5 km'lik Güzergahın Fizibilite Raporu*. İstanbul.
- T. C. İzmir Büyükşehir Belediyesi. (2017). *Çiğli Tramvay Hattının Uygulamaya Esas Kesin Proje Hizmet Alım İşi Fizibilite Etüdü*. İstanbul.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2021. *Motorlu kara taşıtları*. <https://www.tuik.gov.tr/>

Ustaoglu, E. ve Brendan, W. (2010. Temmuz 12-15). *Economic evaluation as part of the strategic land use-transportation investment assessment process: An example of the use of urban modelling as used in the greater dublin area*. IPHS Conference, İstanbul, Türkiye. <https://pdfcookie.com/documents/economic-evaluation-as-part-of-the-strategic-land-use-transportation-investment-assessment-process-an-example-of-the-use-of-urban-modelling-as-used-in-the-greater-dublin-area-0nvo6m8jxrv8>

U.S. DoT (2016). *Benefit-Cost Analysis Guidance for Rail Project*. U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration. <https://railroads.dot.gov/rail-network-development/planning/benefit-cost-analysis-guidance>

Wang Y., Monzon A. ve Di Ciommo F. (2014). Assessing the accessibility impact of transport policy by a land-use and transport interaction model – The case of Madrid. *Computers, Environment and Urban Systems*, 49, 126-135. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.03.005>

Wilson, A. G. (1971). A family of spatial interaction models, and associated developments. *Environment and Planning*, 3(1), 1-32. <https://doi.org/10.1068/a030001>

Yue Y., Wang T., Liang S., Yang J., Hou P., Qu S. vd. (2015). Life cycle assessment of High Speed Rail in China. *Transportation Research Part D*, 41, 367–376. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.10.005>