

Metro Sistemlerinin Yapım ve İşletme Maliyetleri Optimizasyonu İçin Bir Çalışma

Mehmet Tarık DÜNDAR¹
Zübeyde ÖZTÜRK²

ÖZ

Bu makale, yazarın tamamlamış olduğu doktora tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Çalışmanın konusu; metro sistemlerinin yapım ve işletme maliyetlerinin, farklı yolculuk kapasiteleri, çeşitli yapım metotları, farklı dizi uzunlukları vb. değişkenlere göre hesaplanarak, en uygun yapım ve işletme maliyet alternatiflerini öneren bir yaklaşım geliştirmektir. Bu amaçla, metro sistemlerinin yapımı öncesi hazırlanan fizibilite etüdü çalışmasına esas olacak, en uygun yapım ve işletme maliyetlerini sağlayan sistemleri öneren bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım nesne tabanlı programlama yaklaşımı kullanılarak Microsoft Visual Studio C # dili ile geliştirilmiştir. Söz konusu metro hattının yapım ve işletme maliyetini BP-BB genetik algoritma yöntemi ve Simulator X programları çıktılarıyla optimize edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Metro, yapım maliyetleri, işletme maliyetleri, optimizasyon.

ABSTRACT

A Study for the Optimization of Construction and Operation Costs for Metro Systems

This article makes a brief reference to the Ph.D. dissertation by the author. Developing an approach method for, calculating and offering the most appropriate solution to optimize a metro system's construction and operation costs. This includes different alternatives for passenger capacity, train sets, construction methods, etc. In order to optimize the construction and operation costs of a metro line, a software was developed in Microsoft Visual Studio with C# language by using object oriented programming approach. The software uses Big Bang-Big Crunch (BB-BC) algorithm for the optimization process. BB-BC Genetic Algorithm method and results of the Simulator X were used for the optimization. Finally the study also aims to offer a proposed software model which must meet the estimated transport demand for the target year, and also satisfies minimum construction and operating costs, with alternatives.

Keywords: Metro, construction costs, operating costs, optimization.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 13.03.2015 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2016 gününe kadar tartışmaya açıktır.

1 İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul - mtdundar@hotmail.com

2 İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - ozturkzu@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünyamızda şehirlerin gelişmesi ve büyümesi, kentlerdeki iş-egitim-sosyal amaçlı yolculukların günden güne artmasına neden olmaktadır. Kişilerin yolculuk süresince geçtikleri zaman ve mesafeler büyüme ve talebe göre daha da artmıştır. Şehirlerde kişilerin ulaşım ihtiyaçlarını karşılayan en iyi yolu, kent genelinde toplu taşıma sistemlerinin yaygınlaştırılmasıdır. Gelişmiş batı ülkeleri, özellikle 1. Dünya savaşından sonra sanayileşmenin de etkisi ile hızlıca artan trafik sıkışıklığı problemini yaşamalarıyla birlikte, 1950'li yıllara kadar büyük oranda kent içi toplu taşıma sistemi altyapılarını kurmuşlardır. Öncelikle kentin merkezinde yeraltı metro sistemi ağını ve kentin dış bölgelerine de metro sistemi ile entegre olan banliyö sistemlerini oluşturmuşlardır. Bu şehirlere örnek olarak New York, Paris ve Londra verilebilir. Bu büyük şehirlerde de trafik sıkışıklığı problemi halen devam etmektedir ve kent yöneticileri özel araç kullanımını kısıtlayan, toplu taşıma sistemlerini teşvik eden yöntemlere başvurmuşlardır. Bu kısıtlamalara rağmen, toplu taşıma sisteminin yaygın olması sayesinde insanların toplu taşıma ihtiyaçları büyük oranda karşılanmaktadır. Bu kentlerin kolay ulaşabilir olması, bu şehirlerde yaşayanların yaşam konforunu arttırmaktadır [1].

Ülkemizde son yıllarda toplu taşıma sistemlerine özellikle raylı sistemlere önem verilmeye başlanmış olmasına karşın, henüz ülke geneli için gelinen nokta yetersizdir. Ülkemizde özellikle karayoluna yatırım yapılmış, kent içi raylı sistemler çok ihmal edilmiştir. Hâlbuki demiryolu sistemleri karayolu sistemleriyle birim yolculuk talebi için karşılaştırıldığında, İstanbul örneğinde 5,5 kat daha az alan kullandığı çalışmalarda görülmüştür [2].

Ulaştırma yatırımları uzun dönemli etkileri olan yüksek maliyetli yatırımlardır. Bu nedenle, bu tür büyük altyapı projelerine ilişkin önceliklerin doğru belirlenmesi ve kısıtlı ekonomik kaynakların en fazla yarar getirecek biçimde kullanılması çok önemlidir. Dolayısıyla yanlış kararlarla oluşturulan herhangi bir ulaştırma projesinin daha sonra yapılacak ulaştırma yatırımlarının yerini ve biçimini bağlayıcı etkileri vardır. Kent yönetimleri ulaşım altyapısı yapım kararı alırken, sistemin ekonomik olmasına da gereken önemi vererek, özenle karar vermek zorundadır. Öncelikle ulaştırmanın kenti bir bütün olarak, arazi kullanımıyla etkileşimleri de göz önünde tutularak bir ulaşım ağı kurma yaklaşımıyla planlanması zorunludur [3].

2. AMAÇ

Bu çalışmanın amacı, ilk yapım maliyeti yüksekliği başlıca problemlerinden biri olan raylı toplu taşıma sistemlerinden özellikle metro sistemleri yatırımlarında; yapım ve işletme maliyetlerinin, farklı yolculuk kapasiteleri, çeşitli yapım metotları, farklı dizi uzunluklarına vb. diğer değişkenlere göre hesaplanarak en uygun yapım ve işletme maliyet alternatiflerini öneren bir yaklaşım metodu için bir yazılım geliştirmektir. Bundan yararlanarak, metro sistemlerinin yapımı öncesi hazırlanan fizibilite etüdü çalışmasına esas olacak, en uygun yapım ve işletme maliyetlerini sağlayan metro sistemini önermektir.

Raylı sistem projelerinin öngörülen yolculuk hacmi, sistemin tüm yapısını etkileyen en önemli girdi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bakımdan fizibilite etütlerinde ortaya çıkan öngörü hatalarını en düşük seviyeye indirmek gereklidir [4]. Dolayısı ile yolcu talebinin doğru olup olmaması maliyet tahminini etkilemektedir.

Bu yazılımın, öneri metro hattının hedef yılı için yapılmış olan yolculuk talebini karşılamasıyla birlikte hem yapım, hem de işletme maliyetini optimize eden sistem özelliklerinin sağlanması amaçlanmaktadır. Çalışmanın devamında, yeni metro sistemleri için, yolculuk talep analizi ve diğer tasarım ölçütlerinden faydalanan bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bu model yardımıyla hattın düşey profili ve istasyon tipi seçimleri için alternatifleriyle birlikte en ekonomik öneri sağlanacaktır. Maliyetlerin bulunması için İstanbul'da yapılmış ve yapımı devam eden istasyonların yapım maliyetlerinden faydalanarak maliyet kütüphanesi oluşturulmuştur. Ayrıca bu maliyet kütüphanesi ileride herhangi bir şehirde belli kalemlerin maliyetleri üzerinde, maliyetleri globalleştirme çalışmaları devam etmektedir. İşletme maliyetlerinin bir kısmı için İstanbul metrosunun işletme maliyetleri baz alınmıştır, bazı değerler için de global işletme maliyet değerleri kullanılmıştır.

3. RAYLI SİSTEMLERDE YAPIM MALİYETİ ANALİZİ

Raylı toplu taşıma sistemlerinde maliyet değerleri bölgeden bölgeye farklılık gösterir. Her şehirde yapım maliyetleri, şehrin kendi koşullarına göre belirlenir. Metro optimizasyonu yazılımında; İstanbul'da yapımı devam eden mevcut metro sistemlerinin yapım maliyetleri esas alınmıştır. Fakat yapım maliyeti gibi değişkenlerin, yazılımın kütüphanesinde yer alması ve yatırımcı veya yazılım kullanıcısı tarafından değiştirilebilir olması da bu yazılımda sağlanmıştır. Herhangi bir ulaşım sisteminin bütün istasyonlarının birbirinin aynı olması çok zordur. Bu sebeple çalışmamızda özellikleri belli olan metro sistemine ait bütün bileşenlerin çeşitli değişkenlere göre yapım maliyeti fonksiyonları oluşturulmuştur. Metro sisteminde maliyet fonksiyonlarına temel olan değişkenin cinsi ve özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Metro sisteminde yapısal değişkenler.

Değişken Cinsi	Değişken Özellikleri								
İstasyon Yolcu Kapasitesi (kişi/saat)	10000 ve altı	10000 - 15000	15000 ve üstü						
İşletim Sistemi	4'ü dizi	5'li dizi	6'li dizi	8'li dizi					
Platform İnşaat Yöntemi	Viyadük	Hemzemin	Delme Tünel	Aç-kapa Tünel	Top-Down				
İşletme Yapısı Yöntemi	Viyadük	Hemzemin	Delme Tünel	Aç-kapa Tünel	Top-Down				

Yapım maliyetini oluşturan fonksiyonlar detaylı olarak ilgili tez çalışmasında anlatılmıştır. Bu fonksiyonlarda kullanılan amprik parametreler, bir metro istasyonunun minimum fonksiyonunu sağlayacak şekilde oluşan alan değerlerini vermektedir.

4. RAYLI SİSTEMLERDE İŞLETME MALİYET ANALİZİ

Metro optimizasyonu yazılımında, metro sistemlerinin işletme maliyeti de, çalışmanın bütünlüğü açısından eklenmiştir. Metro sistemlerinin işletme maliyeti sistemin büyüklüğüne göre değişmektedir. Maliyet optimizasyonun diğer kanadını oluşturan raylı sistem işletme maliyetleri; istasyon işletme maliyetleri, hat işletme maliyetleri ve sistem genel işletme maliyetleri olarak üç başlıkta incelenmiştir. İstanbul Ulaşım AŞ'ye ait metro hatlarının son yıllar için ortalama enerji maliyetleri ve diğer metro hatlarında oluşan işletme maliyetleri esas alınmıştır. Bu değerler; İstanbul Ulaşım AŞ'nin ve diğer metro işletmelerinin sistemlerinde harcanan ve m² başına düşen enerji ve bakım personeli maliyetlerinden elde edilmiştir.

4.1 Metro İstasyonları İşletme Maliyet Analizi

Metro istasyonlarının ve burada kullanılan ekipmanların bakım ve enerji maliyetleri önemlidir. Optimizasyon kapsamında oluşturulan istasyon tiplerinin her biri için işletme maliyeti de hesaplanacaktır. İstasyonlarda işletme maliyetini oluşturan birim maliyetler, aşağıdaki kalemler için incelenmiştir;

- Enerji maliyetleri,
- İstasyon bakım personeli maliyetleri,
- Sabit tesislerin bakım maliyetleri
- Ekipmanların bakım maliyetleri.

4.2 Metro Hattı İşletme Maliyet Analizi

Optimizasyon Çalışmasında, metro araçlarının harcadığı enerji ve bakım maliyeti, hat bakım maliyeti, ayrıca sistem genel maliyetleri de bu başlık altında toplanacaktır. Bu konu başlığı altında incelenecek diğer birim maliyetler aşağıdadır;

- Enerji maliyetleri,
- İşletme personeli maliyetleri,
- Hat bakım maliyetleri (personel + malzeme),
- Araçların bakım maliyetleri (personel + malzeme).

4.3 Metro Sistemi Genel İşletme Maliyet Analizi

Çalışma konusu optimizasyonda, metro sistemi genel işletme maliyetleri bu başlık altında incelenmektedir. Bu konuda ele alınan diğer birim maliyetler aşağıdadır;

- Sistem genel personel maliyetleri,
- Genel yönetim giderleri.

5. METRO SİSTEMLERİ MALİYET OPTİMİZASYONU

Yazılımda kullanılacak maliyet optimizasyonunda faydalanılan algoritmalar BP-BB/ BB-BC (Büyük Patlama–Büyük Büzülme/Big Bang Big Crunch) Algoritmasıdır. Ayrıca işletme maliyetini Simux programı çıktılarından oluşturulan fonksiyonlara sayesinde bulmaktayız. Bu yazılım nesne tabanlı programlama yaklaşımı kullanılarak Microsoft Visual Studio C # dili ile geliştirilmiştir.

5.1 Büyük Patlama–Büyük Büzülme (BP-BB) Yöntemi

Oldukça yeni olan BP-BB yöntemi esaslarını, evrenin oluşumu ve yok oluşu ile ilgili bir görüşün benzetiminden almıştır. Bu benzetime göre, çözüm uzayında birdenbire, sayısı uygulayıcı tarafından belirlenen ve uzayda düzgün yayılı olarak konumlanmış yıldızlar, yani aday vektörler oluşmaktadır. Bu aşama evrenin oluşumuyla ilgili Büyük Patlamayı canlandırmaktadır. Daha sonra eniyilemesi istenen fonksiyonun bu vektörlerde aldığı değerler bulunmakta ve daha iyilere daha büyük ağırlıklar verilerek vektörlerin ağırlıklı ortalaması bulunmaktadır. Bu aşama tüm uzayın yeniden bir noktada toplanması gibi düşünülerek varsayılan bir ‘Büyük Büzülme’ adımı benzetilmekte ve bulunan nokta evrenin merkezi olarak değerlendirilmektedir. Daha sonraki aşamada yeni bir ‘Büyük Patlama’ gerçekleşmektedir. Ne var ki bu ve bundan sonraki büyük patlamalarda ortaya çıkan vektörler (yıldızlar) uzayda düzgün yayılı olarak değil, evrenin merkezinde daha yoğun olarak oluşturulmaktadır. Bu aşama tekrar bir değerlendirme ve yeni bir Büyük Büzülme ile devam etmekte, bu adımlar yeteri kadar devam ettirilerek evrenin merkezinin değişmediğinin anlaşıldığı duruma kadar gidilmektedir. Bu döngülerin tamamlanmasından sonra ulaşılan evrenin merkezi aranan vektör olarak değerlendirilmektedir. Yöntem için geliştirilen formülasyonun karmaşık işlemler gerektirmemesi, yöntemin çekiciliğini artıran önemli bir unsur olmuştur [5]. Ayrıca bu algoritma, tüm uzayı aramaya çalıştığı için mutlak optimumu bulmaya çalışmaktadır, diye kabul edilebilir.

5.2 Simux Simülasyon Programı

Metro optimizasyonu yazılımında, Simulator X raylı sistem simülasyon programı kullanılarak 6’lı diziden oluşan AW3 yükündeki bir tren için iki istasyon arasındaki hareketi değişik mesafe ve eğim değerleri için simüle edilmiştir. Bu elde edilen değerler sayesinde metro optimizasyonunda işletme enerji maliyeti bulunmaktadır. Bu değerlerin bulunması yöntemi ve değerlendirilmesi detaylı olarak tez çalışmasında anlatılacaktır. Bu program genellikle raylı toplu taşıma sistemlerinin işletilmesinde ve alternatif işletme yöntemlerinde harcanan enerjinin tespiti için yapılan bir simülasyon yazılımıdır. [6].

5.3 Metro Sistemleri Maliyet Optimizasyon Programının Çalışma Yöntemi

Maliyet optimizasyon programının çalışma şekli şu şekilde özetlenebilir. Raylı toplu taşıma sistemi planlanan bölge için hazırlanmış bulunan yolculuk talep analizi ve diğer bölge değişkenleri programa veri olarak yüklenir. Program, eldeki verilere göre sistem seçim değişkenleri ekseninde, raylı sistem işletmesi önerilerini yapacaktır.

Yazılıma öncelikle optimizasyonu yapılacak metro sistemine ait istasyonların bilgileri girilir. Bu bilgiler şunlardır;

- Öneri metro işletmesi bilgileri,
- İstasyonun bulunduğu bölgenin konum bilgileri,
- İstasyona gelecek olan yolcu sayısı,
- İstasyon yapısı yapım yöntemi önerisi,
- Platform için inşaat yapım yöntemi,

Yazılıma ektaki ekran alıntılarında olduğu gibi önce öneri metro işletmesine ait işletme bilgileri girilir. (bkz, Şekil 1)

İşletme Tipi	Sefer Aralığı (dakika)	Başlangıç Zamanı (saat: dakika)	Bitiş Zamanı (saat: dakika)
Sabah	8	06:00	07:00
Sabah Pk	1,5	07:00	09:30
Öğle	5	09:30	17:30
Akşam Pk	1,5	17:30	20:00
Gece	8	20:00	01:00
	1	00:00	00:00

Şekil 1. Öneri Metro İşletme Bilgileri, Metro Optimizasyonu Yazılımı Ekran Alıntıları.

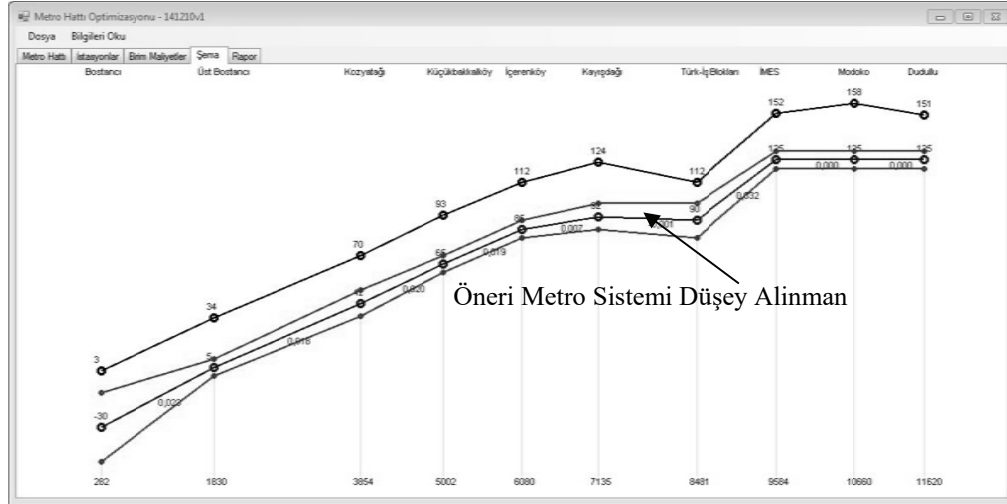
Model ilk aşamada karar verilen sistemin, tasarım ölçüt ve standartları doğrultusunda, eldeki konum ve yapım yöntemi verilerini işler. (bkz, Şekil 2).

İstasyon Adı	Konum (m)	Arazi Kotu (m)	Min Ray Kotu (m)	Max Ray Kotu (m)	Yolcu Sayısı	Platform Yapım Tipi	İşletme Yapım Yöntemi	Hat Yapım Yöntemi	Makas Yapım Yöntemi	Makas
Bostancı	282	3	-50	-10	13574	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	0
Üst Bostancı	1830	34	0	10	3117	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	0
Koçuyatağı	3854	70	35	50	12500	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	0
Küçükbakkalköy	5002	93	60	70	13545	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	0
İçerenköy	6080	112	80	90	8752	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	0
Kaygdağı	7135	124	85	100	9768	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	0
Türk-İş Bloklar	8481	112	80	100	10595	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	0
İMES	9584	152	120	130	6149	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	0
Modoko	10660	158	120	130	5430	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	0
Dudullu	11620	151	120	130	10107	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	0

Şekil 2. Öneri Metro Sistemi İstasyon Konum ve İnşaat Yöntemi Bilgileri.

Bu aşamadan sonra yapım ve işletme maliyetlerini optimize eden sonucu bulma optimizasyonuna başlanır. Raylı toplu taşıma sistem bileşenlerinin maliyet değerleri eldeki kütüphaneden alınır. İlk ve son istasyonların hat derinliğinin yatırımcı tarafından daha önce belirtilmiş olduğu haller için aradaki istasyonların hat derinliği, ilgili en uygun profil alternatifini oluşturur. Bu yapılan alternatif boy kesitlere göre uygun istasyon tiplerini ve hat tiplerini yukarıda anlatılan BP-BB (Büyük Patlama-Büyük Büzülme) algoritmaları ile önerecektir. Bu bileşenlerden istasyonların hat derinliğine göre maliyet fonksiyonları kullanılarak istasyonların maliyet değerleri bulunur. Diğer bileşenlerin maliyet değerleri birim başına hesaplanarak, toplam sistem maliyetine ulaşılır. Bu önerilerin 4-8 dizi arasındaki her bir tipe göre yapım maliyetlerini bulacaktır.

Öncelikle eldeki arazi kotlarına göre hattın düşey profilinin tasarımına başlar. Hattın düşey profilinin tasarımını yaparken, modele alt ve üst kısıt değerleri girilir. Eğer yatırımcı tarafından herhangi bir hat derinliği bilgisi verilmemişse, seçilen sisteme göre ve daha sonraki istasyonun konumuna göre alternatif boy kesitler oluşturabilir. (bkz, Şekil 3).



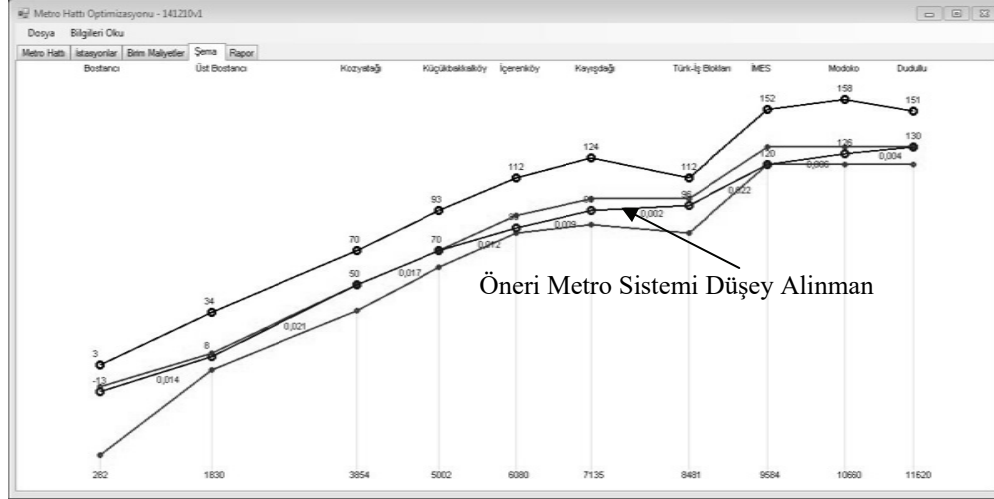
Şekil 3. Öneri Metro Sistemi Düşey Profili (Optimizasyon öncesi).

İşletme maliyetlerini yukarıda bahsedildiği gibi 3 başlık altında bulunacaktır. Özellikle hat enerjisini bulmak için hattın özelliklerine göre Simulator X Simülasyon Programından elde edilen değerlerden faydalanılacaktır. Bu program sonucunda çeşitli işletme yöntemleri için metro sistemlerinin harcadığı enerji tespit edilecektir. Burada bütün alternatif profillerin yaklaşık işletme maliyeti (enerji) değerleri de hesaplanmaktadır. Optimum olan öneri düşey alınımanını gösterir, (bkz, Şekil 4).

İstasyon işletme maliyetleri de hesaplanarak, sistemin gerektireceği toplam işletme maliyeti bulunmuş olur. Fizibilite etüdünde sağlıklı karşılaştırma yapabilmek için işletme maliyetleri 20 yıllık bir zaman dilimi için hesaplanacaktır.

İstasyon ve hat yapım maliyetlerinin yanısıra araç satın alma bedelleri de ilk yapım maliyetinin içinde ele alınmıştır. İstasyon ve hatta ait toplam işletme maliyeti hem yıllık

olarak hem de işletme dönemi için belirlenmektedir. Her iki optimizasyon işlemi sonunda farklı işletme alternatiflerine göre, en uygun yapım ve işletme maliyeti önerilecektir. Bu optimizasyon sonucunda çalışılan raylı sistem için, modülün çıktıları aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 4. Öneri Metro Sistemi Düşey Profili (Optimizasyon sonrası).

Bunlar; sistem tasarım ölçütleri, düşey geometri tasarım ölçütleri, istasyon boyutlandırma tasarım ölçütleri (sistem tipine göre), sistem işletme ölçütleri, yaklaşık yapım ve işletme maliyet analizidir, (bkz, Şekil 5).

Metro Hattı Optimizasyonu - 141210v1	
Dosya Bilgileri Oku	
Metro Hattı	İstasyonlar
Bostancı	Üst Bostancı
Kocayataş	
Küçükbakkalköy	
İçerenköy	
Kıyıdağ	
Türk-İç Bostancı	
İMES	
Modoko	
Dudağlı	
ÖZET	
Araç Sayısı: 8	
İşletme Süresi: 20 yıl	
İstasyon Yapım Maliyeti: 153.578.053 €	
Hat Yapım Maliyeti: 85.042.509 €	
Makas Yapım Maliyeti: 0 €	
Toplam Yapım Maliyeti: 238.620.562 €	
İstasyon İşletme Maliyeti: 148.871.157 €	
Hat İşletme Maliyeti: 191.122.071 €	
Sistem İşletme Maliyeti: 85.894.116 €	
Toplam İşletme Maliyeti: 425.887.344 €	
Hat Birim Enerji: 3.368 kW/h	
Hat Toplam Enerji: 747.746.100 kW/h	
Hat Toplam Enerji Maliyeti: 82.252.071 €	
Araç Maliyeti: 136.000.000 €	
Toplam Maliyet: 800.507.906 €	
İSTASYON YAPIM MALİYETLERİ	
İstasyon: Bostancı	
Konum: 282	
Arazi Kotu: 3	
Ray Kotu: -13	
İstasyon Platform Yapım Yöntemi: Delme	
İstasyon İşletme Yapısı Yapım Yöntemi: Aç-Kapa	
İstasyon Platform Alanı: 4.200 m ²	
İstasyon İşletme Alanı: 3.934 m ²	
Makas Yapım Yöntemi: Delme	
Makas Tipi: 0	
İstasyon Yapım Maliyeti: 15.855.766 €	
İstasyon İşletme Maliyeti: 15.381.652 €	
Makas Yapım Maliyeti: 0 €	

Şekil 5. Öneri Metro Yapım ve İşletme Maliyeti Optimizasyonu Raporu.

Metro optimizasyonunda kullanılan işletme ve yapım birim maliyetleri bölgelere göre değişebilmektedir. Kullanıcının metro optimizasyonunda hangi birim maliyetlerin kullanıldığını görmesi ve gerekirse bu değerlerin değiştirilebilmesi amacı ile veri kütüphanesi de tezde verilmiştir. Sistemin önce avan proje aşamasında ve daha sonra uygulama projesi aşamasında tasarımını yapacak olan Kurum, bu optimizasyon sonucundaki veriler doğrultusunda sistemin tasarımını yapabilir. Seçilen düşey profil alternatifi, geçki tasarımında, seçilen istasyon tipleri de mimari tasarımda, tasarımcı tarafından uygulanmalıdır. Tasarıma esas olabilecek bu çıktılar aşağıdadır;

- Öneri raylı toplu taşıma sistemi tasarım ölçütleri,
- Düşey geometri öneri projesi,
- İstasyon boyutlandırma tasarım ölçütleri.

Şekil 5'te gösterildiği şekilde maliyet optimizasyonu sonuçları verilmektedir. Flyvbjerg, yurtdışındaki 210 raylı sistem projesinin fizibilite etütlerinde, büyük yüzdelerde talep tahmin hatalarının yapıldığını belirlemiştir. Bunun sebeplerinden biri de fizibilite etütlerindeki maliyet hesaplamalarının global verilere göre yapılması ve sistemin içinde elemanların birbiriyle aynı özellikte kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. Hâlbuki bir raylı sistemi oluşturan elemanlardan biri olan istasyonlar bulunduğu mekâna göre çok değişik bir şekilde olabilmektedir, [7].

6. SONUÇLAR

Bir kentte raylı sistem yatırımı kararında fizibilite etütleri çok önemli rol oynamaktadır. Fizibilite etütlerinin gerçeğe en yakın maliyetlere göre hazırlanması, karar verici açısından çok önemlidir. Günümüzde yapılmış birçok fizibilite etüdü sonuçları ile gerçekleşen maliyetler arasında katlarla ifade edilebilecek oranda farklılıklar vardır.

Çalışmada, ana hatlarıyla açıklandığı şekilde geliştirilen ve kullanılan yazılım, eldeki sonuçları optimize ederek, kendi önerilerini oluşturmaktadır. Bunlar; öneri raylı toplu taşıma sistemi işletme planı ve öneri raylı toplu taşıma sistemi yaklaşık maliyet analizidir. Burada bir optimizasyon yaklaşımı geliştirilmiştir. Sistemin önce avan proje aşamasında ve daha sonra uygulama projesi aşamasında tasarımını yapacak olan Kurum tarafından, optimizasyon sonucuna göre tasarım yapma imkânı doğmaktadır. Seçilen düşey profil alternatifi geçki tasarımında, seçilen istasyon tipleri de mimari tasarımda, tasarımcı tarafından uygulanabilecektir. Çalışmadan elde edilen ve tasarımda yararlanılabilecek çıktılar; öneri raylı toplu taşıma sistemi tasarım ölçütleri, düşey geometri öneri projesi, istasyon boyutlandırma tasarım ölçütleridir. Bu makalede bahsedilen çalışmalar hakkında detaylı bilgi, yazar tarafından yapılan doktora tez çalışmasında verilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Öztürk, Z., Dündar, M.T., Metro Sistemlerinde Yapım ve İşletme Maliyetlerinin Optimizasyonu İçin Bir Yaklaşım, 2. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Semp. (ISERSE'13), Karabük, Türkiye, 9-11 Ekim 2013.

- [2] Öztürk, Z., Öztürk, T., İstanbul Kara Ulaşımında Alan Kullanımı Ekolojik Faktörünün Belirlenmesi, İMO Teknik Dergi, sf. 4979-4985, 2010.
- [3] Öztürk, Z., Kentiçi Raylı Sistemlerin Seçimi için Kriterler, Sixth International Conference on ACE, 1789-1799, Ekim 6-8, Boğaziçi Üniversitesi, 2004.
- [4] Demircan, K., Kentiçi Raylı Sistem Hatlarının Yolcu Öngörülerindeki Güvenirliliğin İrdelenmesi, yüksek lisans tezi , İTÜ, 2010.
- [5] Toklu, Y.C., N.E. Toklu, Toklu, Ş.Ç., Büyük Patlama–Büyük Büzülme Yönteminin Kısıtlı Kaynaklı Çizelgeleme Problemlerine Uygulanması, 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla-İzmir, 2012.
- [6] Açıkbaş S.,: Çok Hatlı Çok Araçlı Raylı Sistemlerde Enerji Tasarrufuna Yönelik Sürüş Kontrolü Doktora Tezi, İTÜ FBE, 2008.
- [7] Flyvbjerg, B., Holm, M.K.S. and Buhl, S.L.,: How (in)accurate are demand forecasts in public works projects? The case of transportation. Journal of the American Planning Association, 71 (2), 131-146, 2005.