

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ OTOBÜSLERİN METROBÜS HATTINDA
KULLANIMININ TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ**

Ali ALTAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ OTOBÜSLERİN METROBÜS HATTINDA
KULLANIMININ TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ

Ali ALTAY tarafından hazırlanan tez çalışması 02.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Önder GÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nurettin UMURKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Sanayi devrimi ile birlikte artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için devletler fosil yakıt rezervlerine yönelmiştir. Fosil yakıt rezervlerinin tükenmeye başlaması ve fosil yakıt tüketimine dayalı küresel ısınmanın dünya çapında sorun haline gelmesi ile birlikte bu konuda ortaya çıkan olumsuzlukların giderilmesi için uluslararası anlaşmalar imzalanmıştır. Bu uluslararası anlaşmaların varlığı devletleri alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Ulaşım sektöründe de bu eğilime paralel olarak alternatif enerji kaynaklarının kullanımı üzerinde araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Alternatif enerji arayışlarında; verimliliğin artırılması ve sera gazı emisyonlarının azaltılması prensipleri benimsenmiş ve böylece ulaşımda elektrikli tahrik sistemlerine sahip araçların üretimine başlanmıştır. Birçok ülkede toplu taşımada elektrikli otobüslerin kullanılmaya başlanması ile çevresel sorunlar giderilmiş ve ulaşımdaki enerji tüketimi azaltılmıştır. Ülkemizde de elektrikli tahrik sistemli araçların ulaşımda kullanılmasının uygunluğunun araştırılması konusunda gereken ilgi gösterilmeli ve bu konuda çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda yapılan bu tez çalışmasında bana yardımlarını esirgemeyen ve beni değerli görüşleri ile yönlendiren danışman hocam sayın Doç. Dr. Ozan Erdiñç'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca beni yetiştiren ve her ihtiyacım olduğunda yanımda gördüğüm aileme de teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2017

Ali ALTAY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
İSTANBUL'DA TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ	4
2.1 Toplu Ulaşım Çeşitleri.....	4
2.1.1 Deniz Ulaşımı	5
2.1.2 Raylı Sistemler.....	5
2.1.2.1 Metro.....	5
2.1.2.2 Tramvay	6
2.1.2.3 Tünel-Füniküler	6
2.1.2.4 Teleferik.....	6
2.1.3 Otobüs-Metrobüs	7
2.1.3.1 İstanbul Elektrik Tünel Tramvay İşletmeleri Genel Müdürlüğü.8	
2.1.3.2 Özel Yolcu Taşımacılığı	8
BÖLÜM 3	
METROBÜS	9

3.1	Metrobüs - BRT Taşımacılığının Özellikleri.....	9
3.2	İstanbul Metrobüs–BRT hattı	11
3.2.1	Metrobüs Hattında Hizmet Veren Hatlar	12
3.2.2	Metrobüs Hattındaki Yakıt Sarfıyatı	12
3.2.3	Metrobüs Hattında Hizmet Veren Araçlar	14

BÖLÜM 4

METROBÜSÜN HATTININ ANADOLU YAKASININ ELEKTRİKLİ OTOBÜSLERLE MODELLENMESİ	15
--	----

4.1	Metrobüs 34Z Hattının Mevcut Halinin İncelenmesi.....	15
4.1.1	Metrobüs 34Z Hattı İstasyonlarının Yolcu Yoğunluğu.....	16
4.1.2	Metrobüs 34Z Hattının Yol Eğitim Profili	19
4.2	Metrobüs 34Z Hattı Araçları için Güç Hesabı.....	20
4.2.1	Araçlarda Oluşan Direnç Kuvvetlerinin Hesaplanması.....	21
4.2.1.1	Sürtünme Direnci Kuvveti	21
4.2.1.2	Hava Direnci Kuvveti	22
4.2.1.3	Eğim Direnci Kuvveti	23
4.2.1.4	İvme Direnci Kuvveti	24
4.2.1.5	Toplam Direnç Kuvveti	25
4.2.2	Araçlarda Tork, Güç ve Tüketilen Enerjinin Hesaplanması.....	26
4.3	Metrobüs 34Z Hattının Elektrikli Otobüslerle Planlanması	28
4.3.1	Metrobüs 34Z Hattının Elektrikli Otobüslerle Planlanması için Gereken Parametreler	29
4.4	Metrobüs 34Z Hattının Enerji Planlanmasında Elektrikli Otobüslerin Yol Alması Gereken Mesafe Öngörülerek Enerji Tüketiminin Hesaplanması	32
4.5	Metrobüs 34Z Hattı Araçları ile Elektrikli Otobüslerin Enerji Tüketimleri Açısından Kıyaslanması	36

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	39
---------------------------	----

5.1	Sonuçlar ve Öneriler	39
5.2	Çalışmanın Sonuçları	40
5.3	Geleceğe Yönelik Çalışma Önerileri	40

KAYNAKLAR	41
-----------------	----

EK-A

HESAPLAMALAR	43
--------------------	----

A-1	Hesaplamalarda Kullanılacak Veriler	43
A-2	Araçların İstasyonlar Arasında Farklı Viteslerde Harcadığı Güç Miktarı.....	47

ÖZGEÇMİŞ	53
----------------	----

SİMGE LİSTESİ

f	Sürtünme katsayısı
m	Aracın yolcu ile birlikte toplam ağırlığı
v	Araç hızı
C_h	Sürtünme yüzeyine bağlı sürtünme katsayısı
ξ	Havanın yoğunluğu
A	Aracın projeksiyon alanı
C_a	Havanın sürüklenme katsayısı
V_b	Bağıl hız
g	Yer çekimi ivmesi
α	Eğim açısı
$F_{sür}$	Sürtünme direnci kuvveti
F_{hava}	Hava direnci kuvveti
$F_{eğim}$	Eğim direnci kuvveti
F_{ivme}	İvme direnci kuvveti
F	Toplam direnç kuvvet
r	Lastik Yarıçapı
G	Şanzıman dişli oranı
T	Aracın ürettiği tork
v_m	Motorun açısal hızı
η_m	Motor verimi
η_c	Sürücü verimi
P	Aracın tükettiği güç değeri
E	Aracın sarf ettiği enerji miktarı

KISALTMA LİSTESİ

BRT	Bus Rapid Transit
BUDO	Bursa Deniz Otobüsü
DENTUR	Deniz Turizmi
İDO	İstanbul Deniz Otobüsü
İ.E.T.T	İstanbul Elektrik Tünel Tramvay
TURYOL	Turizm Yolculuk
UKOME	Ulaşım Koordine Merkezi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Toplu taşıma araçlarına ait yolculuk oranları	4
Şekil 3. 1	Metrobüs Taşımacılığının Avantajları	10
Şekil 3. 2	Raylı Sistemler ve Metrobüsün yıllık yolcu sayısı	11
Şekil 4. 1	Söğütlüçeşme-Beylikdüzü yönü sabah 08.00 de araçların yolcu yoğunluğu	16
Şekil 4. 2	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme yönü sabah 08.00 de araçların yolcu yoğunluğu	17
Şekil 4. 3	Söğütlüçeşme-Beylikdüzü yönü akşam 18.00 de araçların yolcu yoğunluğu	18
Şekil 4. 4	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme yönü akşam 18.00 de araçların yolcu yoğunluğu	18
Şekil 4. 5	Uzunçayır-Acıbadem arası Google Earth yüksellik profili gösterimi	20
Şekil 4. 6	Eğimli yolda araç üzerinde oluşan kuvvetler	23
Şekil 4. 7	Bir araçta meydana gelen direnç kuvvetleri	26

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1	Raylı sistemlere ait hatların yıllık yolculuk sayısı	7
Çizelge 2. 2	Otobüs ve Metrobüs taşımacılığına ait yolculuk sayısı.....	8
Çizelge 3. 1	Metrobüs taşımacılığında hizmet veren hatların genel özellikleri	12
Çizelge 3. 2	Metrobüs hattının 2014 yılına ait aylık yakıt sarfiyatı	13
Çizelge 3. 3	Metrobüs taşımacılığında hizmet veren araçlar ve özellikleri	14
Çizelge 4. 1	Söğütlüçeşme-Zincirlikuyu yönünde istasyonların eğimi.....	19
Çizelge 4. 2	Şanzıman ve dişli oranları	26
Çizelge 4. 3	Metrobüs 34Z hattının elektrikli otobüslerle planlanması için gereken parametreler	31
Çizelge 4. 4	Söğütlüçeşme'den Zincirlikuyu'ya Giden Aracın Enerji Tüketimi	33
Çizelge 4. 5	Hattımızda Kullanılabilecek Elektrikli Otobüsün Özellikleri.....	33
Çizelge 4. 6	Araçların günlük enerji tüketim miktarları ve bedelleri.....	37
Çizelge 4. 7	Araçların alım maliyeti	37
Çizelge 4. 8	Hesaplamalarda Kullanılacak Veriler	43
Çizelge 4. 9	Araçların İstasyonlar Arasında Farklı Viteslerde Harcadığı Güç	47

**ELEKTRİKLİ OTOBÜSLERİN METROBÜS HATTINDA
KULLANIMININ TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ**

Ali ALTAY

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ

Fosil yakıtların tüketilmesi ile birlikte yaşanan fiyat artışları ve çevresel sorunlar, toplumları her alanda alternatif enerji kaynaklarını kullanmaya ve geliştirmeye zorlamıştır. Alternatif enerji kaynaklarının fosil yakıtlara göre sağladığı avantajlardan biri de enerji üretimindeki dışa bağımlılığı asgari seviyeye indirmesidir. Ülkeler, dışa bağımlılığını azaltmak adına alternatif enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarının istenilen seviyelere ulaşabilmesi için her yıl yatırım programlarına bu konuda belirli bütçeler ayırarak hedefledikleri oranları yakalama gayreti içerisindeyler. Enerji üretiminin yanı sıra fosil yakıt tüketimin fazla olduğu sektörlerde de günümüz teknolojileri kullanılarak bu tüketimin azaltılması yönünde bir takım araştırmalar yapılmaktadır. Enerji tüketimi açısından sektörel anlamda önemli bir yer tutan ulaşım sektöründe de günümüz koşullarında alternatif enerji kaynakları kullanılmaya başlanmış ve bu alandaki uygulamaların gelecekte daha da yaygınlaşacağı öngörülmüştür. Bu tez çalışmasında günümüzde yaygınlığı ve kullanılabilirliği giderek artan elektrikli otobüslerin metrobüs hattının bir bölümünde mevcut hizmet standartlarına uygun olarak uygulanabilmesi için gerekli hesaplamaları yapılmış ve enerji sarfiyatı bakımından hali hazırda kullanılan dizel araçlar ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu hesapların yapılması, mevcut sistem ile uygulamaya konulması düşünülen elektrikli otobüslerin enerji tüketim maliyetlerinin kıyaslanması ve sağlayabileceği avantajları gösterebilmek açısından önemlidir. Bu kapsamda öncelikle mevcut sistemin uygulanacağı bölge seçilerek o bölgenin yol uzunluğu ile birlikte eğim profili belirlenmiştir. Daha sonra o bölgede işletmesi yapılan hattın yolcu yoğunluğu, araç özellikleri, işletme hızı ve sefer planları göz önünde bulundurulmuştur. Tüm bu veriler kullanılarak mevcut otobüslerin günlük enerji sarfiyatı elektrik birimi cinsinden (kWh) hesaplanmıştır. Bu enerji sarfiyatından yola çıkarak elektrikli otobüslerin kullanılması durumunda elektrikli

otobüslerin sahip olduğu batarya kapasiteleri ile hat bünyesinde gidebileceği menzil belirlenmiştir. Buradan da mevcut sefer planlarına uygun olarak bir otobüsün yol alması gereken mesafeye göre sahip olması gereken enerji hesaplanmıştır. Mevcut sefer planına uygun olarak belirlenen otobüs sayısının ihtiyaç duyacağı enerji miktarının temin edilebileceği hesaplamalarla belirtilmiş olup, bu durumdaki toplam enerji tüketiminin mevcut otobüslerin yakıt sarfiyatı ile maliyet açısından kıyaslaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım Sistemleri, Metrobüs, Elektrikli Araçlar, Şarj Üniteleri



**TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF USING ELECTRIC BUSES
AT METROBUS LINE**

Ali ALTAY

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ozan ERDİNÇ

Along with the consumption of fossil fuels, increase of prices and environmental problems have forced communities to use and develop alternative energy sources in every field. One of the advantages provided by alternative energy sources compared to fossil fuels is that the external dependency in energy production can be minimized. In order to increase the amount of energy generated from alternative energy sources in order to reduce external dependency, the countries are striving to capture the target rates by allocating certain budgets to the investment programs every year in order to reach the desired levels. In sectors where energy consumption is high as well as fossil fuel consumption, number of research activities are being conducted in order to reduce this consumption by using today's technologies. In the transportation sector, which has an important place in the sector in terms of energy consumption, alternative energy sources have started to be used in today's conditions and it is predicted that applications in this area will become more widespread in the future. In this thesis study, necessary calculations have been made in order to be able to apply electric buses, which are increasing in popularity and availability today, in accordance with existing service standards in a part of the metrobus line, and compared with the diesel vehicles currently used for energy consumption. It is important to make these calculations in order to compare the cost of energy consumption of the electric buses that are considered to be put into practice with the existing system and to see the advantages that it can provide.

In this context, firstly the region where the existing system will be applied is selected and the slope profile is determined with the road length of that region. Later, the passenger density, the vehicle characteristics, the speed of operation and the voyage plans are taken into account in the line in which the zone is built. Using these data, the daily energy consumption of existing buses is calculated in terms of electricity unit (kWh). In the case of using electric busses by using this energy expenditure, the range that the electric busses can have with the battery capacities that are available is determined. From here, according to the existing voyage plans, a bus must calculate the energy it should have according to the distance to travel. The number of buses determined in accordance with the current voyage plan is calculated with the calculations that can provide the energy supply and the total energy consumption in this case is compared with the fuel consumption of the existing buses in terms of cost.

Keywords: transportation system, bus rapid transit (BRT), electrical vehicle, electrical bus, charging station

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Ülkelerin sanayilerinin gelişmesi ve ekonomilerinin kalkınması ile birlikte enerjiye duyulan gereksinimleri artmaktadır. Dünya çapında son on yıllık ortalama enerji tüketimi artış miktarı %1,9'dur. 2016 Dünya Enerji İstatistikleri Raporuna göre petrol, global enerji tüketiminin %32,9'u ile dünyanın en büyük yakıtı olarak yerini korumaktadır. Türkiye'de ise Petrol tüketimi 2015 verilerine %12,5 artmış olup, global petrol tüketiminde %0,9'luk bir paya sahiptir [1]. Petrol rezervlerinin tükenmekte olması ve kalan rezervlerin yarısından fazlasının Orta Doğu coğrafyasında bulunması nedeniyle petrol, dünya ülkeleri açısından bugün ve gelecekte de dışa bağımlılık yaratmaktadır. Buna ek olarak da yoğun petrol tüketiminin yarattığı çevresel sorunlar daha büyük önem taşımaktadır. Bu olumsuz durumları azaltmak için enerji tüketimine gereksinim duyan sektörlerde alternatif enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması çalışmaları başlamıştır. Ulaşım sektörünün enerji talebi yıldan yıla artış göstermekte ve dünya genelinde en hızlı büyüyen sektörlerin başında gelmektedir. Ulaşım sektöründe de alternatif enerji kaynaklarına yönelilmiştir. Bu nedenle günümüzde petrol yakıtlı araçların yerine elektrikli araç kullanımına yönelik çeşitli teşvikler sunulmaktadır.

Elektrikli araçların kullanımına 19. yy'da başlanmıştır. İlk elektrikli araç modeli Hollanda'da 1835 yılında Profesör Straitingh tarafından yapılmıştır. Daha sonra şarj edilemeyen kurşun asit bataryaları geliştirilerek kullanılmaya başlanmıştır. Elektrikli araçlar 20.yy başlarına kadar oldukça revaçtaydı, fakat içten yanmalı motor teknolojisindeki ilerlemeler ve petrol kullanan araçların ucuz olarak toplu üretimi o

yıllarda elektrikli araçların sonunu getirmiştir. 1970 ve 1980'lerdeki enerji krizleri elektrikli araçlara kısa süreli bir ilgi oluşturmuştur, fakat günümüzdeki gibi büyük kitlesel bir pazara ulaşamamıştır. 2000'li yılların ortalarından beri batarya ve güç yönetimi üzerindeki teknolojilerindeki ilerlemeler, değişken petrol fiyatlarının sebep olduğu endişeler ve sera gazını azaltma gereksinimi elektrikli otomobilleri yeniden gündeme getirmiştir [2].

İçten yanmalı motorlar yakıt enerjisini itme gücüne dönüştürürken enerjinin çoğunu aktarma organlarında ısı olarak harcadığı için verimsizdirler. Fakat elektrikli araçlarda günümüzde daha hafif, az hacim kaplayan ve verimli elektrikli motorları aracın tekerlerine doğrudan bağlanarak araca güç sağlayan tahrik motorları olarak kullanılmakta ve ara güç aktarım elemanlarının gereksinimlerini ortadan kaldırarak bu elemanlar üzerinde oluşan kayıplar önlenmektedir [3].

Elektrikli araçların kullanımını sınırlandıran en önemli parametre şarj problemidir. Araçlar tam kapasiteyle belirli bir mesafe gidebilmekte ve bu mesafeyi tamamladıktan sonra da şarj ihtiyacı duymaktadır. Şarj süreleri ise uzun zaman almaktadır. Elektrikli araçları belirli bölgelerdeki güç taleplerine göre şarj etme stratejilerinin geliştirildiği büyük ölçekli şarj istasyonlarının inşa edilmesi ve böylelikle elektrik araç kullanımının yaygınlaşması için mevcut çalışmalar bulunmaktadır [4].

Dünyanın birçok ülkesinde elektrikli araçlar toplu taşımada da kendilerine uygulama alanları bulabilmektedir. Hızlı otobüs taşımacılığı olarak bilinen BRT'de (Bus Rapid Transit System) elektrikli araç kullanımı oldukça yaygındır. Genellikle bölünmüş yollar ile şehir trafiğinden arındırılarak hızlı taşımacılığın sağlanması, otobüslerin şarj edilmesi için güzergâhında park alanlarının bulunması uygulamada bir takım avantajlar sağlamaktadır. BRT güzergâhında yol altyapısının, sürücü davranışının ve yerel trafik parametrelerinin BRT enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenerek BRT'yi hibrid elektrikli araçlarla modelleme çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra bu modelleme gerçek bir BRT sistemi ihtiva eden Bogota-Kolombiya da deneysel olarak test edilmiştir [5]. Benzer bir çalışmada da Curitiba-Brezilya'daki BRT güzergâhında yer alan istasyonlar arası enerji tüketimini farklı bir matematiksel modelleme ile sunulmuştur [6].

Elektrikli araçlarla donatılmış hızlı şarj istasyonlarına sahip BRT güzergâhında gerekli güç kaynağı için simülasyon çalışması gerçekleştiren ve bunun güç dağıtım şebekesine etkilerini inceleyen çalışmalarda yapılmıştır. Araçların şarj edilmesi için yerleştirilen hızlı şarj istasyonlarının güç dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri de İsviçre'nin Cenevre şehrindeki BRT sistemi üzerinde güç kaynağı simülasyonu ile incelenmiştir. Bu çalışma ile hızlı şarj istasyonlarının enerji kayıplarının analizi, yük profilleri ve güç kaynağı olan transformatörlerin ömürleri üzerindeki etkisi incelenmiştir [7].

1.2 Tezin Amacı

Ülkemizde toplu taşımacılık hizmetinde alternatif enerji kaynaklarının uygulaması fazla yaygınlaşmamıştır. Oysaki ülkemizde de tüketilen enerjinin yaklaşık %20'si ulaşım sektöründe kullanılmaktadır. Enerji tüketimi bakımından sanayi ve konut sektöründen sonra üçüncü sırada ulaşım sektörü yer almaktadır. Bu tez çalışması kapsamında günümüzde yaygınlığı ve kullanılabilirliği giderek artan elektrikli otobüslerin, İstanbul'un yükünü hafifleten metrobüs hattının bir bölümünde mevcut hizmet standartlarına uygun olarak kullanılabilmesi için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar ile mevcut sistem ve uygulamaya konulması düşünülen elektrikli otobüslerin enerji sarfiyatına göre enerji tüketim maliyetleri kıyaslanarak sağlayabileceği avantajların gösterilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Petrol rezervlerinin tüketilmesi ve küresel ısınmanın artmasından dolayı günümüzde alternatif enerji kaynakları kullanılmaya başlanmış ve güçlü ekonomilere sahip ülkeler bu teknolojilere yatırımlarını arttırmıştır. Bu çalışma ile Türkiye'nin yerli üreticisinin ürettiği elektrikli otobüslerin, üretim safhasından çıkarak sahada kendine yer bulabilecek alanlarının varlığının tespit edilmesi ve bu tespit edilen yerin uygun olup olmadığının matematiksel modeller kullanılarak mevcut sistemden daha az enerji maliyeti ile hizmet sağlayabileceğini belirleyebilmektir.

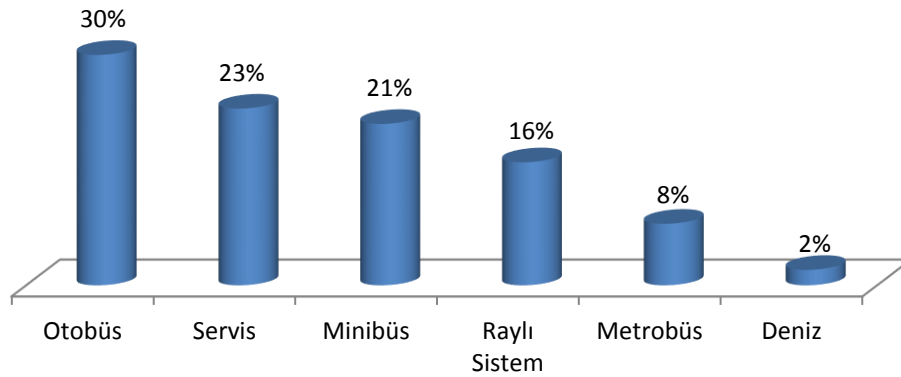
İSTANBUL'DA TOPLU ULAŞIM SİSTEMLERİ

Farklı kültür ve uygarlıklara ait tarihi birikimiyle 2010 yılında Avrupa Kıtasına Kültür Başkentliği yapmış olan ve dünyanın önemli metropollerleriyle yarışa giren İstanbul'un, modern yatırımlarla alt yapısını yenileme ihtiyacı duyulmuştur. Şehrin en önemli yatırım kalemleri arasında Toplu Ulaşım Sistemleri yer almaktadır.

İstanbul'da Toplu Ulaşım Faaliyetleri, Raylı Sistemler kapsamında İstanbul Metro A.Ş ve Otobüs Hatları kapsamında ise 1871 yılından beri tarihi bir sürece sahip ve ulaşımın temelini atmış olan İ.E.T.T. tarafından yürütülmektedir.

2.1 Toplu Ulaşım Çeşitleri

5.461 kilometrekarelik bir alana yayılan ve 2015 verilerine göre nüfusu 14.657.434 [8] olan İstanbul için toplu ulaşım hizmeti; deniz araçları, raylı sistemler, teleferik ağları, özel şirketlere ve kamuya ait otobüs-metrobüs ağlarıyla sağlanmaktadır. İstanbul'da toplu taşıma hizmeti veren araçlara ait yolculuk oranları Şekil 2. 1' de verilmiştir.



Şekil 2. 1 Toplu taşıma araçlarına ait yolculuk oranları

2.1.1 Deniz Ulaşımı

Şehirde 1837 yılında tarifeli deniz toplu taşımacılığı yapılmaya başlanmıştır. Türkiye'de kullanılan ilk feribot Suhulet'tir [9].

İşletmeciler; İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin yerel idare olarak sahibi olduğu İstanbul Şehir Hatları AŞ, Özel sektör işletmeleri İstanbul Deniz Otobüsleri AŞ (İDO), TURYOL, DENTUR taşıma kooperatiferi, Deniz Taksi Teknomar A.Ş.'dir. Ayrıca Bursa Büyükşehir Belediyesi'nin Bursa – İstanbul arasında işlettiği feribot seferleri yapan BUDO sayılabilir. İstanbul'da denizyoluyla taşınan yolcuların yaklaşık %52 kadarı Şehir Hatları AŞ, geri kalan %40'lık pay Yolcu Motorları, %8 ise İDO ve BUDO'ya aittir [9].

2.1.2 Raylı Sistemler

Raylı sistemler İstanbul ulaşımında önemli bir paya sahiptir. Bunun başlıca nedeni zamanın gün geçtikçe daha da değerli hale geldiği çağımızda, bu ulaşım türünün kendine ayrılmış bağımsız bir yolda seferini trafiğe takılmadan belirli sürede tamamlamasıdır. Raylı sistemli toplu taşıma araçlarını 2015 yılında yaklaşık 600 milyon kişi tercih etmiştir. İstanbul'daki raylı sistem araçları; metro, tramvay, füniküler ve teleferikten oluşmaktadır. İstanbul'daki raylı sistemlere ait yolculuk sayısı Çizelge 2.1'de verilmiştir.

2.1.2.1 Metro

Kentte hizmet veren 5 ana metro hattında 2015 yılında 384 milyon 871 bin 420 kişi taşınmıştır. Bu alanda, 143 milyon 265 bin 115 kişi ile M1 Yenikapı - Atatürk Havalimanı / Kirazlı metro hattı, ilk sırada yer alırken, M2 Yenikapı-Hacıosman metro hattında 136 milyon 433 bin 243, 2013 haziranda hizmet vermeye başlayan M3 Başakşehir-Kirazlı-Olimpiyatköy metro hattında 18 milyon 874 bin 269 ve M4 Kadıköy-Kartal metro hattında da 82 milyon 678 bin 963 kişi yolculuk yapmıştır. 2015 Nisan da açılan M6 Levent-Hisarüstü/Boğaziçi Üniversitesi hattında ise 3 milyon 619 bin 830 kişi taşınmıştır [10].

2.1.2.2 Tramvay

1871 yılında Azapkapı-Ortaköy arasında atlı tramvayların kullanılması ile toplu taşıma hizmeti alanında ilk adımlar atılmıştır. Daha sonraki yıllarda Silahtarağa elektrik fabrikasının kurulması ile birlikte elektrikli tramvaylara geçiş yapılmıştır. Lakin şehrin artan nüfusu ile birlikte tramvayların kapasitesi yetersiz kalmış ve 1966'da elektrikli tramvaylar son seferini yapmıştır. Fakat İstiklal caddesinde 29 Aralık 1990'da Nostaljik Tramvay adı ile Tünel-Taksim arasında tekrar hizmete alınan tramvaylar ve yerli-yabancı turistlerimizin ilgi odağı haline gelerek İstanbul'un önemli bir simgesi haline dönüşmüştür.

İstanbul'da 3 hatta hizmet veren hafif raylı sistemler olarak bilinen tramvaylarda, 2015 yılında 162 milyon 892 bin 627 kişi yolculuk yapmıştır. T1 Bağcılar-Kabataş hattında 119 milyon 387 bin 651 kişi taşınırken, bu sayı T4 Topkapı-Habibler hattında 42 milyon 653 bin 963 ve T3 Kadıköy-Moda hattında da 851 bin 13 kişi olmuştur [10].

2.1.2.3 Tünel-Füniküler

1867 Eugene-Henri Gavand adlı bir Fransız mühendis turistik gezi için İstanbul'a geldiğinde Galata'dan Beyoğlu'na yeraltı demiryolu yapılmasını öngören Tünel projesini sunmuştur. Projesinin uygun görülmesiyle buharlı sistemle çalışan ve dünyanın ikinci metrosu olan Tünel için yabancı ve yerli çok sayıda seçkin davetlinin katılımıyla 1875 açılış töreni yapılmıştır. Tünel ve Taksim-Kabataş funiküler hattında ise 2015 yılında yaklaşık 19 milyon İstanbullu yolculuk yapmıştır [10].

2.1.2.4 Teleferik

Eyüp-Piyerloti ve Maçka-Taşkışla teleferik hatlarında taşınan kişi sayısı da 1 milyon 740 bin 463'e ulaşmıştır [10].

Çizelge 2. 1 Raylı sistem hatlarında 2015 yılında taşınan yolcu sayısı

Raylı Sistemlere ait Hat Bazlı Yolculuk Sayısı	
M1 (Yenikapı – Havalimanı)	143.265.115
M2 (Yenikapı – Hacıosman)	136.433.243
M3 (Başakşehir – Olimpiyatköy)	18.874.269
M4 (Kadıköy – Kartal)	82.678.963
M6 (Levent – Hisarüstü)	3.619.830
T1 (Kabataş – Bağcılar)	119.387.651
T3 (Kadıköy – Moda)	731.891
T4 (Topkapı – Habibler)	42.653.963
F1 (Taksim – Kabataş)	10.134.809
Teleferik	1.740.463
Toplam	559.520.197

2.1.3 Otobüs- Metrobüs

İstanbul’da otobüsler ile yapılan yolcu taşımacılığı hizmeti İ.E.T.T İşletmeleri Genel Müdürlüğü’nün yönetim, yürütüm ve denetimine verilmiştir. Otobüs ve Metrobüs ile yolcu taşımacılığı İ.E.T.T ve Özel taşımacılığın bünyesindeki 5 bin 851 otobüs, 726 hat, 4 milyon 860 bin sefer ve yılda 1.3 milyar yolcu taşıma kapasitesi ile İstanbul ulaşımında en büyük paya sahiptir [11].

2.1.3.1 İstanbul Elektrik Tünel Tramvay İşletmeleri Genel Müdürlüğü:

İ.E.T.T İşletmeleri Genel Müdürlüğü, İstanbul ulaşımına 2156 adet otobüsü, 610 adet metrobüs aracı ile toplam 576 milyon yolcu taşıyarak hizmet etmektedir. 726 adet ulaşım hattını planlamakta ve denetlemektedir. 726 ulaşım hattı ile 2015 yılında toplam 4 milyon 860 bin sefer yapılmıştır [11].

2.1.3.2 Özel Yolcu Taşımacılığı:

İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı'na bağlı Trafik Müdürlüğü denetiminde çalışan Özel Halk Otobüsleri, 1985 yılında Belediye Başkanlığı'nın teklifine binaen alınan UKOME kararıyla İ.E.T.T İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün yönetim, yürütüm ve denetimine verilmiştir. Bu bağlamda Özel Halk Otobüsleri ile ilgili işlemleri yürütmek üzere bir müdürlük oluşturulmuştur. Halen bu çalışmalar Ulaşım Dairesi Başkanlığına bağlı Özel Ulaşım Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. İstanbul genelinde özel ulaşım hizmeti veren toplam 3085 adet lastik tekerlekli toplu taşıma araçları ile 503 milyon yolcu taşınmıştır. Otobüs A.Ş. 'nin ise 932 otobüs ile yaklaşık 304 milyon yolcu taşınmıştır [11]. Çizelge 2. 2' de Otobüs ve Metrobüs taşımacılığına ait yolculuk sayısı verilmiştir.

Çizelge 2. 2 Otobüs ve Metrobüs taşımacılığına ait yolculuk sayısı

Otobüs ve Metrobüs taşımacılığına ait yolculuk sayısı	
İ.E.T.T Otobüsü	273.013.065
Metrobüs	303.105.490
Özel Halk Otobüsü	503.005.040
Otobüs A.Ş.	304.051.570
Toplam	1.383.175.165

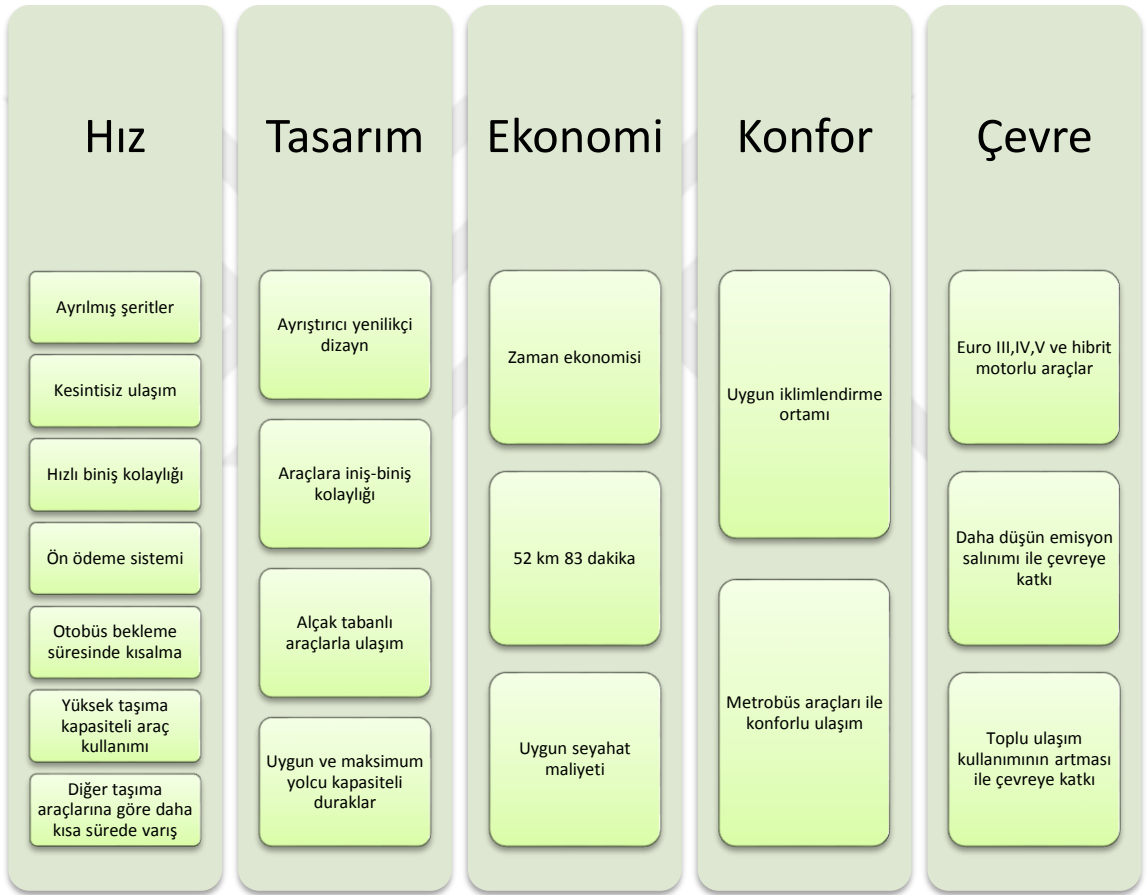
METROBÜS

3.1 Metrobüs - BRT (Bus Rapid Transit System) Taşımacılığının Özellikleri

Ekonominin gelişmesi ile birlikte kentsel trafik de artmış ve büyük şehirlerde trafik sıkışıkları meydana gelmiştir. Yaşanan trafik sıkışıklıkları nedeniyle toplu taşıma araçlarıyla yapılan taşımacılığın sefer sürelerinin uzaması ve hizmet kalitesinin de düşmeye başlaması ile birlikte toplu taşımada alternatifler aranmaya başlanmıştır. Dünyada da benzer problemleri yaşayan, nüfusu bakımından karabalık şehirlerde uygulanan Hızlı Otobüs Taşımacılığı Sistemleri (Seattle-Washington, Brisbane-Avustralya, Pereira-Kolombiya, Barcelona-İspanya, Guayaquil-Ekvator, Metz-Fransa) gözlemlenmiş ve metro gibi kendine özel bir hat üzerinde otobüslerle taşımacılık yapılan bu sistem “Metrobüs” adı ile İstanbul’da da uygulamaya konulmuştur. Kentsel gelişmeler toplu taşıma sistemlerinin desteğine ihtiyaç duymaktadır. İhtiyaç duyulan desteği en hızlı şekilde uygun alanlar bulunduğu takdirde Metrobüs ile sağlamak mümkündür. Çünkü Metrobüs; raylı sistemler gibi uzun zaman alan ve büyük bütçeler gerektiren bir yatırım olmamakla birlikte normal otobüs hatlarına kıyasla da daha fazla yolcu taşıma kapasitesine sahip olduğu için daha verimlidir [12]. Metrobüs sisteminin yolcu taşımacılığında sağladığı genel avantajlar şu şekilde belirtilebilir (Şekil 3. 1):

- **Hız:** Ayrılmış şeritlerin olması, dur-kalk sistemine uyumlu olması için otomatik vitesli üretilmesi, otobüsün beklememesi için durakların ön ödemeli turnikeli sistemlerle donatılması, otobüs kapıları ile durak platformu yüksekliklerinin aynı seviyede olması ve tüm kapılardan iniş biniş yapılabilmesi sayesinde daha hızlı bir taşımacılık yapılmaktadır [12].

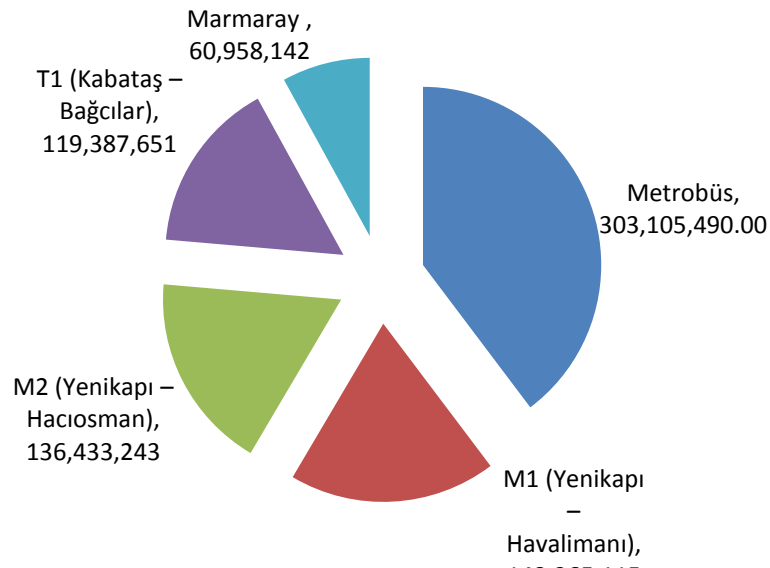
- **Tasarım**: Metrobüs araçları düşük tabanlı esnek, engelli erişimine uygun, 18-25m uzunluğunda 200-250 kişi taşıyacak şekilde tasarlanarak verimliliği arttırmaktadır [12].
- **Ekonomi**: Metrobüs sisteminin altyapı maliyeti metro ve benzeri toplu taşıma sistemlerinden çok daha ucuz olduğundan dolayı gelişmiş birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda uygun seyahat maliyeti ile yolculara zaman da kazandırmaktadır [12].
- **Konfor**: Uygun iklimlendirme ortamı ile birlikte trafiksiz konforlu bir ulaşım sağlamaktadır [12].



Şekil 3. 1 Metrobüs taşımacılığının avantajları

3.2 İstanbul Metrobüs- BRT Hattı

İ.E.T.T 'nin İstanbul'un ana arterlerindeki trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ve konforlu ulaşım sağlamak amacıyla işletmeye aldığı Metrobüs sistemi, ilk olarak Topkapı-Avcılar hattında hizmete başlamıştır. Yapımına 2007 yılı başında başlanan 18,3 kilometrelik Topkapı-Avcılar hattı sekiz ayda tamamlanıp, 17 Eylül 2007 tarihinde hizmete alınmıştır. Metrobüs hattının ikinci etabı olan Zincirlikuyu ayağı 8 Eylül 2008 de hizmete alınmıştır. Metrobüs hattının üçüncü etabı olan Söğütlüçeşme, 3 Mart 2009 tarihinde hizmete alınarak İstanbul'un iki yakası birbirine bağlanmış ve Metrobüs dünyada iki kıtayı birbirine bağlayan tek toplu taşıma sistemi olarak yerini almıştır. Hattın son etabı olan Avcılar-Beylikdüzü güzergâhı da 19 Temmuz 2012 tarihinde tamamlanarak toplam uzunluğu 52 kilometreyi bulan ve 44 istasyonlu Beylikdüzü-Söğütlüçeşme Metrobüs hattı oluşturulmuştur. Bu hattaki yolculuk süresi 100 dakika olup, günlük ortalama 800 bin yolcu taşınmaktadır. Metrobüs hattında 2015 yılında taşınan yolcu sayısı, Şekil 3. 2' de yolcu yoğunluğu fazla olan diğer raylı sistem hatlarıyla kıyaslanmıştır.



Şekil 3. 2 Raylı sistemler ve Metrobüs hattının 2015 yılına ait yolculuk sayısı

3.2.1 Metrobüs Hattında Hizmet Veren Hatlar

İstanbul Ulaşımına ait yolcu taşımacılığının %8’lik bir kısmını karşılayan Metrobüs hattı, yolcu kapasitesi göz önünde bulundurularak planlanmış ve 8 ayrı hatla yolcu taşıma hizmeti vermektedir. Her bir hattın hizmet verdiği istasyon aralığı ve özelliği Çizelge 3. 1’ de belirtilmiştir.

Çizelge 3. 1 Metrobüs taşımacılığında hizmet veren hatların genel özellikleri

Hat	Güzergah	Araç Sayısı	Sefer Süreleri (Gidiş/Dönüş)	Hat Uzunluğu (Km)	Durak Sayısı	Ortalama Araç Hızı	Seferler Arası Ortalama Süre (Sn)	Günlük Hareket Sayısı
34	AVCILAR-ZİNCİRLİKUYU	92	125	30	27	34	82	1296
34A	CEVİZLİBAĞ-SÖĞÜTLÜÇEŞME	22	94	22	20	30	256	88
34 AS	AVCILAR-SÖĞÜTLÜÇEŞME	100	162	41,5	35	31	97	1188
34 BZ	BEYLİKDÜZÜ-ZİNCİRLİKUYU	128	154	40	39	31	72	1798
34 C	BEYLİKDÜZÜ-CEVİZLİBAĞ	70	115	29	26	35	99	872
34 G	BEYLİKDÜZÜ-SÖĞÜTLÜÇEŞME	15	180	52	44	35	720	75
34 U	ZİNCİRLİKUYU - UZUNÇAYIR	38	40	11	6	38	63	110
34 Z	ZİNCİRLİKUYU-SÖĞÜTLÜÇEŞME	30	52	11,5	8	31	104	1827
Metrobüs Hattı Genel		495						

3.2.2 Metrobüs Hattındaki Yakıt Sarfıyatı

Metrobüs hattında ele alınması gereken en önemli parametlerden biri yakıt sarfıyatıdır. Ülkemizdeki yakıt fiyatlarının yüksek olması gider kalemleri arasında yakıt miktarı tutarının da yüksek olmasına sebep olmaktadır. Bu gider kalemini minimize etmenin yolu da hat planlamalarının optimum düzeyde yapılmasından geçmektedir.

Çizelge 3. 2 Metrobüs hattının 2014 yılına ait aylık yakıt sarfıyatı

2014		
	Km	Yakıt (Lt)
Ocak 14	5.411.402	3.011.362
Şubat 14	4.834.066	2.705.701
Mart 14	5.247.177	2.952.580
Nisan 14	4.952.398	2.842.796
Mayıs 14	5.527.670	3.305.187
Haziran 14	5.354.324	3.253.823
Temmuz 14	5.238.901	3.164.296
Ağustos 14	4.929.863	3.013.132
Eylül 14	5.225.685	3.138.860
Ekim 14	5.675.316	3.250.083
Kasım 14	5.645.080	3.179.305
Aralık 14	5.795.000	3.218.122
Toplam	63.836.882	37.035.248

2014 yılında Metrobüs hattında hizmet veren araç sayısı 460 adet olup, artan nüfus oranıyla birlikte 2015 yılındaki araç sayısı 495 ve 2016 yılındaki araç sayısı ise 520'ye çıkartılmıştır. Bu araç miktarındaki artışlar aynı zamanda yıl içindeki artan sefer oranları nedeniyle gidilen km mesafesini ve tüketilen yakıt miktarında da ortalama her yıl %8 gibi bir artış meydana getirmektedir. Genelde araçların yakıt performansları incelenirken 100 km'de tüketilen yakıt miktarlarına bakılır. Bu çerçevede 2014 yılı için 100 km'de tüketilen yakıt miktarını hesaplayacak olursak;

100km de ortalama yakıt miktarı

$$= \left(\frac{\text{tüketilen yakıt miktarı}}{\text{kat edilen mesafe}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

$$100\text{km de ortalama yakıt miktarı} = \left(\frac{37.035.248 \text{ lt}}{63.836.882 \text{ km}} \right) \times 100$$

$$100\text{km ortalama yakıt miktarı} = 58 \text{ lt}/100\text{km}$$

3.2.3 Metrobüs Hattında Hizmet Veren Araçlar

Metrobüs hattında farklı modellerde araçlar kullanılmaktadır. Bu araçların kapasiteleri ve yakıt sarfiyatları farklı olup, hatlardaki yolcu kapasitesi ve güzergâh profiline göre planlama yapılarak araçlar hizmete alınmaktadır. Metrobüs hattında hizmet veren araçlara ait özellikler Çizelge 3. 3' de verilmiştir.

Çizelge 3. 3 Metrobüs taşımacılığında hizmet veren araçlar ve özellikleri

Araç Adı	Araç Sayısı	Tür	Yolcu Kapasitesi			Motor tipi	Yakıt (Lt/Km)
			Ayakta	Oturan	Toplam		
Phileas	50	Körüklü	178	52	230	EURO IV	0,69 Lt
Mercedes Capacity	250	Körüklü	150	43	193	EURO V	0,61 Lt
Mercedes Citaro	100	Körüklü	95	40	135	EURO III	0,60 Lt
Mercedes Conecto	90	Körüklü	120	34	154	EURO V	0,54 Lt
Karsan Avancity	65	Körüklü	114	41	155	EEV	0,62 Lt

METROBÜS HATTININ ANADOLU YAKASININ ELEKTRİKLİ ARAÇLARLA MODELLENMESİ VE ANALİZİ

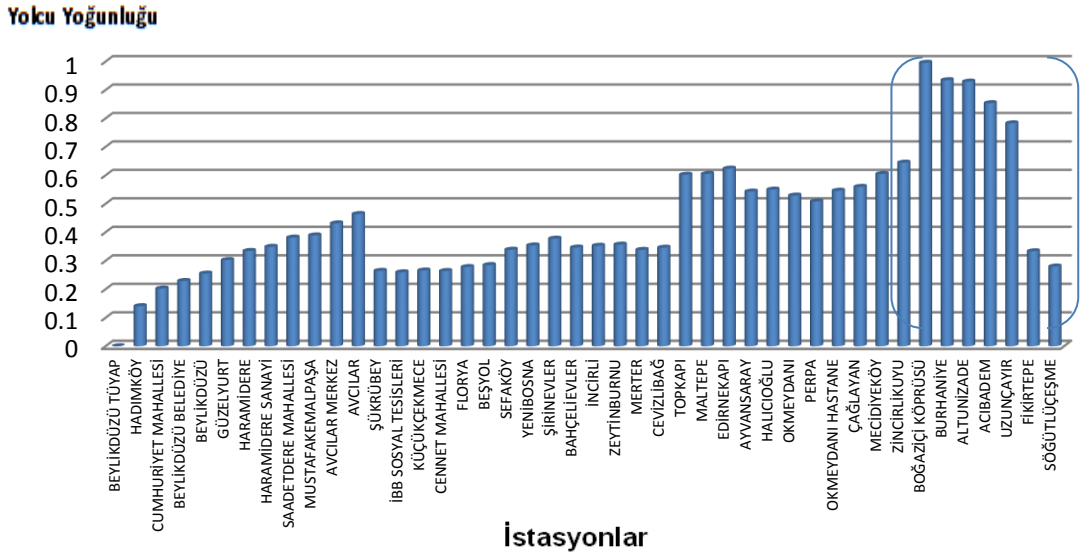
Metrobüs hattının 3. etabı olarak bilinen, İstanbul'un Anadolu Yakası'ndaki Söğütlüçeşme'den Avrupa Yakası'ndaki Zincirlikuyu'ya kadar uzanan hat 3 Mart 2009'da hizmete girmiştir. Bu hat 11,5 km uzunluğunda ve 8 istasyondan oluşmaktadır. İstasyonlar; Zincirlikuyu, Boğaziçi Köprüsü, Burhaniye Mahallesi, Altunizade, Acıbadem, Uzunçayır, Fikirtepe ve Söğütlüçeşme şeklindedir. Avrupa Yakası'ndaki son istasyon olan Zincirlikuyu istasyonundan ayrıldıktan sonra yaklaşık 1,5 km boyunca ayrılmış yoldan devam eden araçlar; Boğaziçi Köprüsü'nden yaklaşık 1 km önce normal trafiğe dahil olmakta, köprüyü trafiğin arasında geçmekte, Anadolu Yakası'na geldiğinde ise köprü çıkışından yaklaşık 700 metre sonra kendilerine tahsis edilen yola dönmektedir. Zincirlikuyu –Söğütlüçeşme istasyonları arasında farklı zamanlarda 34AS, 34A, 34G, 34U, 34 Z hatları çalışmaktadır. Bu hatlarda 193 kişi kapasiteli Mercedes-Benz CapaCity, 135 kişi kapasiteli Mercedes-Benz Citaro, 154 kişi kapasiteli Mercedes-Benz Conecto, olmak üzere gün için farklı zamanlarda hizmet veren toplam 205 araç bulunmaktadır. Bu araçları Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme arasındaki istasyonlardan yaklaşık ayda 4 milyon yolcu kullanmaktadır.

4.1 Metrobüs 34Z Hattının Mevcut Halinin İncelenmesi

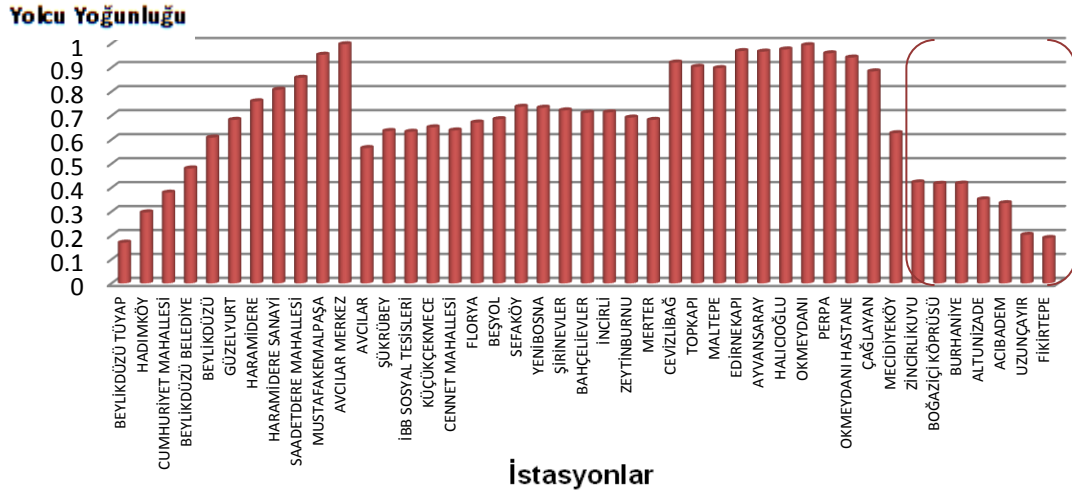
Söğütlüçeşme ile Zincirlikuyu istasyonları arasında çalışan 34Z hattı, 30 adet 95 kişi kapasiteli Mercedes-Benz Citaro ve 120 kişi kapasiteli Mercedes Conecto ile hizmet vermekte olup, gerçekleştirilen bu tez çalışmasında elektrikli araçlarla modellemede kullanılacak hattımız olacaktır. 34Z hattı araçları 52 dakikalık sefer süresi (gidiş-dönüş) ile 11,5 kilometrelik hatta 8 durağa uğrayarak yaklaşık 31 km/h hızla Zincirlikuyu'dan ve Söğütlüçeşme'ye günde yaklaşık karşılıklı 1800 sefer gerçekleştirmektedir.

4.1.1 Metrobüs 34Z Hattı İstasyonlarının Yolcu Yoğunluğu

34Z hattının İ.E.T.T' den alınan sefer tarifesi incelendiğinde, sefer süreleri arasındaki zaman diliminin yolcu yoğunluğuna göre saatlik değiştiği görülmüştür. İş gününde sabah saatleri arasında en fazla yolcu yoğunluğunun 08.00-09.00 arasında yaşandığı belirlenmiş ve bu yolcu yoğunluğu için 08.01.2015 tarihli kış tarifesinde 38 saniye, 28.05.2015 tarihli yaz tarifesinde ise 48 saniye aralıklarla seferler düzenlenmiştir. Yine iş gününde akşam saatleri arasında en fazla yolcu yoğunluğunun 18.00-19.00 arasında yaşandığı ve bu yolcu yoğunluğu için 08.01.2015 tarihli kış tarifesinde 43 saniye, 28.05.2015 tarihli yaz tarifesinde ise 58 saniye aralıklarla seferler düzenlenmiştir. Sabah yoğun saatlerde yaşanan yolcu yoğunluğu akşam yoğun saatlerde yaşanan yolcu yoğunluğundan her zaman fazla olmuştur. Çünkü sabahları insanların işe, okula zamanında yetişme durumları söz konusu iken akşam saatlerinde bu zorunlulukların seviyesi azalmaktadır. Bu nedenle de sabahları yoğun saatlerde sefer aralıkları daha kısa, dolayısı ile de sefer sayısı daha fazladır.

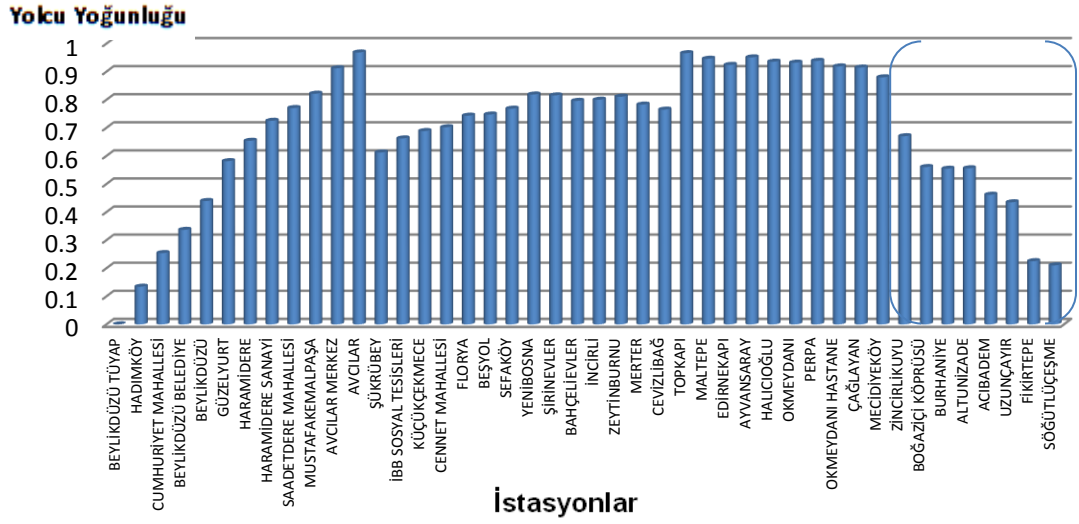


Şekil 4. 1 Söğütlüçeşme-Beylikdüzü yönü sabah 08.00 de araçların yolcu yoğunluğu

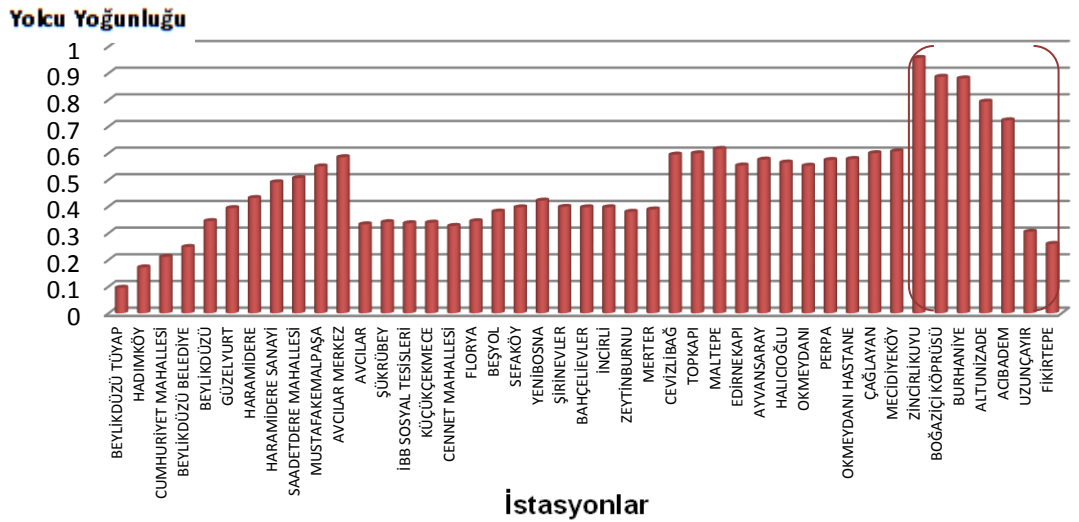


Şekil 4. 2 Beylikdüzü-Söğütlüçeşme yönü sabah 08.00 de araçların yolcu yoğunluğu

Metrobüs hattında tek şerit halinde çift yönlü taşımacılık yapılmaktadır. Dolayısıyla bir istasyondan hem Söğütlüçeşme yönünde hemen Beylikdüzü yönünde yolculuk yapılabilmektedir. Ara istasyonlardaki yolcuların Söğütlüçeşme yönünü veya Beylikdüzü yönünü tercih etme nedenleri değişmekte olup, buna bağlı olarak da bir istasyondan tercih edilebilecek Söğütlüçeşme yönü ve Beylikdüzü yönü arasındaki yolcu sayısı değişiklik göstermektedir. Şekil 4. 1’de Söğütlüçeşme’den Beylikdüzü’ne kadar ilerleyen bütün araçların istasyonlardan sabah 08.00-09.00 arasında aldıkları yolcu sayısına bağlı olarak taşıdığı ortalama yolcu yoğunluğu, Şekil 4.2 ’de Beylikdüzü’den Söğütlüçeşme’ye kadar ilerleyen bütün araçların istasyonlardan sabah 08.00-09.00 arasında aldıkları yolcu sayısına bağlı olarak taşıdığı ortalama yolcu yoğunluğu grafiği verilmiştir. Grafiklerden anlaşılacağı gibi aynı istasyonda sabah 08.00-09.00 arasında iki yöne ait yolcu yoğunluğu farklılık arz etmektedir.



Şekil 4. 3 Söğütlüçşeme-Beylikdüzü yönü akşam 18.00'de araçların yolcu yoğunluğu



Şekil 4. 4 Beylikdüzü-Söğütlüçşeme yönü akşam 18.00 de araçların yolcu yoğunluğu

Şekil 4.3'te Söğütlüçşeme'den Beylikdüzü'ne kadar ilerleyen bütün araçların istasyonlardan akşam 18.00-19.00 arasında aldıkları yolcu sayısına bağlı olarak taşıdığı ortalama yolcu yoğunluğu, Şekil 4.4'te Beylikdüzü'den Söğütlüçşeme'ye kadar ilerleyen bütün araçların istasyonlardan akşam 18.00-19.00 arasında aldıkları yolcu sayısına bağlı olarak taşıdığı ortalama yolcu yoğunluğu grafiği verilmiştir. Grafiklerden anlaşılacağı gibi aynı istasyonda akşam 18.00-19.00 arasında iki yöne ait yolcu yoğunluğu farklılık arz etmektedir. 34Z hattında çalışan araçlar için yolcu yoğunluğu grafikten belirlenebilir.

Yolcu yoğunluğu, 08.00-09.00 arasında istasyonlara ait turnikelerden akbil okutan yolcu sayısından iade validatörlerine akbil okutan yolcu sayısının çıkartılması ile elde edilen yolcu sayısının, istasyonlardan geçen araçların taşıyabileceği yolcu kapasitene bölünmesi ile hesaplanmıştır. Tam kapasite 160 yolcuya tekabül etmektedir.

4.1.2 Metrobüs 34Z Hattının Yol Eğim Profili

Metrobüs hattı 4 etaptan oluşmaktadır. Metrobüs hattı daha öncede belirtildiği üzere ilk etapta Topkapı-Avcılar arasında, ikinci etapta Topkapı-Zincirlikuyu arasında, üçüncü etapta Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme arasında, dördüncü etapta Avcılar-Beylikdüzü arasında inşa edilerek 52 km uzunluğunda 44 istasyonlu Beylikdüzü-Söğütlüçeşme metrobüs yolu oluşturulmuştur. Bu yolların yükseklik profilleri İstanbul'un coğrafi yapısı göz önünde bulundurulduğunda farklılık arz etmektedir. Yollarımızın yüksekliklerinin farklı olması araçların farklı eğimlerde yol olmalarına neden olmakta, dolayısıyla yüksek eğimli yollardan geçerken enerji sarfiyatını da arttırmaktadır. Bu nedenle de 34Z hattının elektrikli araçlarla hizmet verilecek şekilde modellemesi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken parametrelerden biri de Söğütlüçeşme-Zincirlikuyu arasındaki yol eğimidir.

Çizelge 4.1 Söğütlüçeşme-Zincirlikuyu yönünde istasyonların eğimi

İSTASYONLAR	Maksimum Eğim	Ortalama Eğim	Mesafe
Söğütlüçeşme-Fikirtepe	8,5%, -3,9%	1,9%, -2,0%	1050m
Fikirtepe-Uzunçayır	5,3%, -9,4%	2,0%, -5,4%	1000m
Uzunçayır-Acıbadem	15,3%, -8,3%	5,7%, -4,1%	1850m
Acıbadem-Altunizade	9,5% -8,7%	2,5%, -3,7%	1050m
Altunizade-Burhaniye	6,7%, -7,8%	2,9%, -4,2%	1200m
Burhaniye-Boğaziçi	8,9%, -8,9%	3,2% , -4,2%	650m
Boğaziçi-Zincirlikuyu	12,6%, -6,4%	6,2%, -5,7%	4100m

Söğütlüçeşme-Zincirlikuyu yönünde ilerleyen aracın istasyonlar arasından geçerken güzergah üzerindeki eğim profili Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'deki yol eğimleri GPS cihazı ile 34Z hattında çalışan araçta seyahat edilerek elde edilmiş olup, aynı zamanda istasyon güzergahları Google Earht programında çizilerek de yol eğim profilinin doğruluğu teyit edilmiştir. Uzunçayır-Acıbadem arasındaki yol eğiminin Google Earth programında çizilerek ile elde edilmesi Şekil 4.5' te gösterilmiştir.



Şekil 4. 5 Uzunçayır-Acıbadem arası Google Earht yüksellik profili gösterimi

Hatta yapılan incelemeler neticesinde en fazla eğime %16 civarında bir oranla Acıbadem-Uzunçayır arasındaki bölgede rastlanmıştır. İstasyonlar arası mesafeler ve ortalama eğimlerden, aracın hareketine ters yönde olan eğimler dikkate alınarak hat genelinde bir ortalama eğim hesabı yapıldığında karşımıza aracın hareketine ters yönde ortalama %4,417 gibi bir oran çıkmakta olup, hattımızda bir tur için sarf edilen güç miktarı hesabı yapılırken bu oran dikkate alınacaktır.

4.2 Metrobüs 34Z Hattı Araçları için Güç Hesabı

Motorda üretilen moment ve gücün tekerleklere iletilmesi, aktarma organları sayesinde gerçekleşmektedir. Aktarma esnasında verime bağlı olarak bazı kayıplar söz konusudur ve bunu hesaplamalarda göz önüne almak gerekmektedir. Tahrik kuvveti aktarma oranına bağlıdır, dolayısıyla her vites için tahrik kuvvetini hesaplamak gerekmektedir. Bilindiği üzere Newton'un 2. Yasası gereği ($F = m * a$) bir cismin $V_0 = 0 \text{ m/s}$ ilk hızdan hareket edebilmesi için üzerine gelen net kuvvetin sıfırdan büyük olması gerekir. Araçlara baktığımızda tahrik (çekiş) kuvvetini oluşturan sadece motordur. Ancak birçok sebepten kayıplar meydana gelmektedir. Kayıpların yanı sıra dış ve iç faktörlere bağlı olarak aracın hareketini engelleyen birtakım direnç kuvvetleri oluşmaktadır. Bu kısımda bir araçtaki tahrik kuvveti, hız, güç, direnç kuvvetleri ve ivmenin hesabından bahsedilecektir [13].

34Z hattı güzergâhındaki yükseklik profiline bağlı olarak otobüsün gitmek istediği yöndeki hareketine karşı koyan tüm kuvvetlerin göz önünde bulundurulduğu bir matematiksel modelleme ile Söğütlüçeşme'den hareket eden bir otobüsün Zincirlikuyu'ya varıncaya kadar sahip olması gereken enerji hesaplanacaktır.

4.2.1 Araçlarda Oluşan Direnç Kuvvetlerinin Hesaplanması

Araçlarda tahrik kuvvetinin aksi yönünde direnç kuvvetleri oluşmaktadır. Bir araçta toplamda 4 çeşit direnç kuvveti mevcuttur. Aerodinamik (hava) direnci kuvveti, sürünme direnci kuvveti, eğim direnci kuvveti, ivme direnci kuvveti. Hava direnci kuvveti, araç ile rüzgâr bağıl hızına bağlı olarak değişir. Sürtünme direnci kuvveti, lastik ile asfalt arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Eğim direnci kuvveti, aracın tırmandığı yokuşun eğimine bağlıdır. İvme direnci kuvveti ise aracın ivmesine ve kütlesine bağlı olarak değişen bir direnç kuvvetidir [13].

4.2.1.1 Sürtünme Direnci Kuvveti

Sürtünme direnci kuvveti, lastik yola yapıştığı zaman oluşan deformasyon sonucu tüketilen enerjiyi ifade eder. Tekerleğin her dönüşünde, lastik sırt alanı zeminin yüzeyiyle temasa geçtiğinden bükülmekte ve biçim değişikliğine uğramaktadır. Kauçuk biçim değiştirdiğinden ısınmaktadır ve ısı biçiminde enerji kaybedilmektedir. Bu da lastiğin sürtünme direncinin %90'lık kısmını oluşturmaktadır. Lastikte meydana gelen bu deformasyon ve kaybolan enerji sıfıra indirilememektir, fakat yapısal lastik tasarımı ve malzeme seçenekleri ile kontrol edilebilmektedir [13].

Sürtünme direnci kuvveti $F_{sür}$ (4.1)'deki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır. Otobüsün kütlesi m (kg) ve yer çekimi kuvvetine ($g = 9.8 m/s^2$) bağlıdır [6].

$$F_{sür} = f \cdot m \cdot g \quad (4.1)$$

f : sürtünme katsayısı.

$$f = (0.0041 + 0.000041 \cdot v \cdot 2.24) \cdot C_h \quad (4.1.1)$$

v : Araç hızı (m/sn).

C_h : Sürtünme yüzeyine bağlı sürtünme katsayısı. ($C_h = 1.2$)

4.2.1.2 Hava Direnci Kuvveti:

Hava kuvveti F_{hava} , otobüs hareketine karşı hava direncinden kaynaklanır ve aracın tasarım özelliklerine bağlıdır [6].

$$F_{\text{hava}} = 0.5 \cdot \xi \cdot C_a \cdot A \cdot V_b^2 \quad (4.2)$$

ξ : Havanın yoğunluğu [$\xi = 1,20 \text{ kg/m}^3$]

A : Aracın projeksiyon alanı

Projeksiyon alanı bir araca önden bakıldığında görülen alandır. Projeksiyon alanı denmesinin sebebi ise şudur: Aracın arkasından bir projeksiyon ile ışık yansıttığımızda çıkacak görüntünün alanının, bu formüldeki alanı ifade etmesinden kaynaklanmaktadır [13]. ($A = 7 \text{ m}^2$)

C_a : Havanın sürüklenme katsayısı. ($C_a = 1,17$)

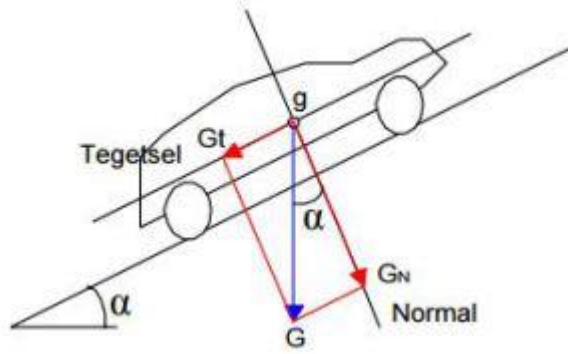
V_b : Bağlı hız (m/s)

Bağlı hızdan kasıt rüzgar ile aracın birbirlerine göre olan hızıdır. Örneğin, rüzgar aracın önünden esiyorsa $V_b = V_{\text{gözlünen}} - V_{\text{gözlencisi}}$ formülünden hareketle, $V_b = V_{\text{araç}} - (-V_{\text{rüzgar}})$ olarak hesaplanır ve sonuçta iki hız toplanır. Rüzgar aracın gidiş yönünde esiyorsa $V_b = V_{\text{araç}} - V_{\text{rüzgar}}$ olarak hesaplanır ve iki hız birbirinden çıkarılır. Toplama esnasında hızın m/s'ye çevrilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Görüldüğü gibi araç hızı arttıkça rüzgar direnci artmaktadır. Rüzgar direnci hızın karesiyle arttığından yüksek hızlarda yakıt tüketimi artmaktadır [6].

Metrobüs hattında rüzgarın hızı ve yönü aracın hareket yönüne ve konumuna göre değiştiğinden hesaplamalarda $V_{\text{rüzgar}} = 0$ kabul edilmiş, bağlı hızın araç hızına eşit olduğu ($V_b = v$) varsayılmıştır.

4.2.1.3 Eğim Direnci Kuvveti:

Şekilde eğimli bir yoldaki aracın serbest cisim diyagramı gösterilmektedir. Eğim direnci kuvveti aracın hareket doğrultusunun aksi yönündeki eğimden kaynaklı kuvvettir [13].



Şekil 4. 6 Eğimli yolda araç üzerinde oluşan kuvvetler

Otobüs güzergâhında farklı yükseklik profilleri bulunmakta olup, α derece eğimini dengelemek için gerekli kuvvet $F_{eğim}$ eşitlik (4. 3) 'de ki denklemden hesaplanır [6].

$$F_{eğim} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (4. 3)$$

m : Aracın ağırlığı [kg]

g : Yerçekimi ivmesi [m/s^2]

$\sin(\alpha)$: Aracın bulunduğu zeminle yaptığı açının sinüs değeridir.

Bazı durumlarda aracın yol ile yaptığı eğim açısı cinsinden değil de yüzde cinsinden verilmektedir. Bu durumda yüzdesel eğim ile açı arasında dönüşüm yapmak gerekmektedir. i yüzde olarak eğimi ifade etmekle beraber $i = \tan(\alpha)$ şekilde eğim açısına dönüştürülür [13].

Yüzde olarak eğim 100 metrede yolun kaç metre yükseldiğini ifade etmek için kullanılır. Örneğin %10 eğimli yol ifadesi yolda 100 metre ilerlendiğinde yolun 10 metre yükseldiği anlamına gelmektedir [13].

Metrobüs hattında Söğütluçeşme ile Zincirlikuyu istasyonları arasında sefer yapan 34Z hattının yol güzergâhı GPS cihazı ile incelenmiştir. Bu incelemede hattın maksimum yükseltisinin Uzunçayır-Acıbadem İstasyonları arasındaki bölgede olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede 100 metrede ilerlendiğinde 16 metreye tekabül eden bir yükselti tespit edilmiştir. %16 eğimli bir yol aralığında seyreden aracımız için $\tan(\alpha_{max}) = 0.16$ hesabından yola çıkılarak, $\alpha_{max} = \tan^{-1}(0.16)$ şeklinde maksimum eğim açısı hesaplanabilmektedir. Buradan da hattaki maksimum eğim açısı $\alpha_{max} = 9.1$ olarak bulunmuştur. Hattın her bölgesindeki eğimi hesaplamak genel anlamda daha fazla ayrıntı içereceğinden biz hesaplarımızda bölüm 4.1.2’de verilen hattın ortalama eğimin için %4,417 değerini kullanacaktır. Buradan eğim açısı hesaplanırsa;

$$\tan(\alpha) = 0,04417$$

$$\alpha = \tan^{-1}(0,04417)$$

$$\alpha = 2.52911068^\circ$$

Eğim direnci aracın eğimli yolda hareket ettiği durumlarda dikkate alınmalıdır. Düz yolda giden bir araçta eğim direnci 0 (sıfır)’dır. Eğer araç yokuş yukarı hareket ediyorsa eğim direnci pozitifdir ve toplam direnç kuvvetine eklenmektedir. Araç yokuş aşağı hareket ediyorsa eğim direnci negatiftir ve toplam direnç kuvvetinden çıkarılması gerekmektedir.

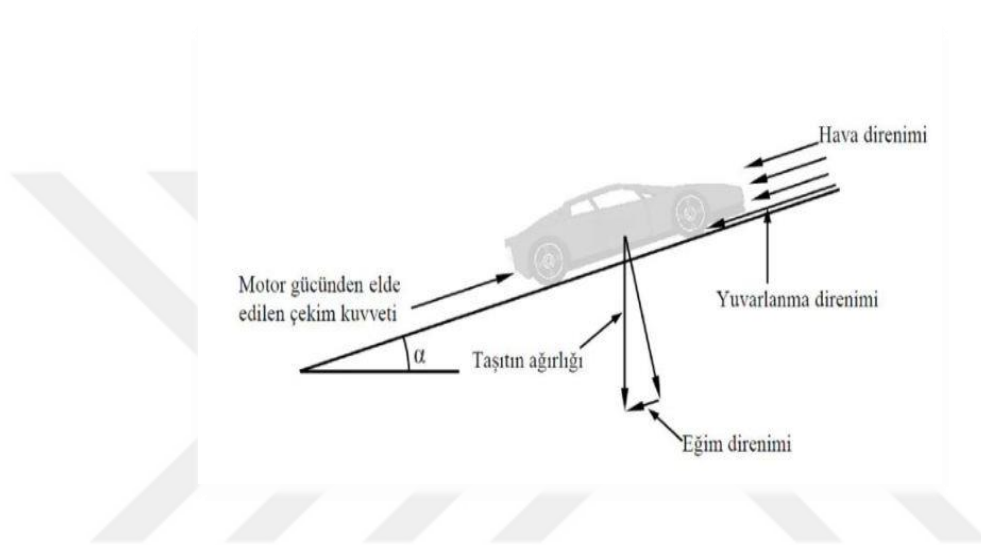
4.2.1.4 İvme Direnci Kuvveti

Eylemsizlik, cisimlerin bulunduğu durumu koruma isteği olarak tanımlanmaktadır. Frenleme esnasında otomobilin içinde öne doğru eğilişimiz veya ivmelenme esnasında geriye doğru yaslanışımız eylemsizlikten kaynaklıdır. Araçların da durgun halden harekete geçmesi esnasında eylemsizlikten kaynaklı bir direnç kuvveti oluşmaktadır. Bu dirence ivme direnci veya atalet direnci adı verilmektedir [13]. İvme direnci aracın kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir. Güzergâh üzerinde yer alan durakların yükseklik profiline bağlı olarak ivmelenme verileri 5 sn aralıklarla GPS ile elde edilmiştir.

$$F_{ivme} = m \cdot a [N]'dur. \quad (4.4)$$

4.2.1.5 Toplam Direnç Kuvveti:

Araçta oluşan tüm direnç kuvvetlerinin toplamı toplam direnç kuvvetini vermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus dirençlerin pozitif veya negatif olup olmadığıdır. Şekil 4.7’de bir araç üzerinde meydana gelen kuvvetler gösterilmektedir. Sürtünme direnci her daim pozitif yönde direnç kuvveti oluştururken, hava (aerodinamik) ve eğim direnci duruma göre negatif olabilmektedir (genelde rüzgar direnci de pozitif değerde olmaktadır.) [13].



Şekil 4. 7 Bir araçta meydana gelen direnç kuvvetleri

Görüldüğü üzere araçlarda birçok direnç kuvveti oluşmaktadır ve bu direnç kuvvetleri enerji kaybına sebep olmaktadır. İvme direnci geometriye bağlı bir büyüklük olmadığından burada gösterilmemiştir. Direnç kuvvetlerinin yanı sıra motorda, aktarma organlarında da kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar araç veriminin düşmesine sebep olmaktadır [13].

$$F = F_{sür} + F_{hava} + F_{eğim} + F_{ivme} [N]'dur. \quad (4.5)$$

F: Toplam direnç kuvvetini ifade etmektedir [N]

4.2.2 Araçlarda Tork, Güç ve Tüketilen Enerjinin Hesaplanması

Aracın hareket edebilmesi için ters yönde etki eden kuvvetlerin toplamı referans alınarak üretilen tork hesaplanmalı ve bu torktan daha fazlası üretildiği takdirde aracın harekete geçeceği bilinmelidir. Bunun yanı sıra aracın farklı viteslerde üreteceği tork değeri farklı olacağından Çizelge 4. 2'de 34 hattında kullanılan araca ait şanzıman ve dişli oranları verilmiştir Ters yönde etki eden kuvvetlerin toplamından yola çıkarak tork aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

$$T = \frac{F \cdot r}{G} \quad (4.6)$$

r : Lastik yarıçapı (Lastik ölçüsü 275 / 70 R 22,5 olup yarıçapı 11,25 cm 'dir.)

G : Şanzıman ve dişli oranı

Çizelge 4. 2 Şanzıman ve dişli oranları

Dişli	Dişli Oranı
1.Vites	3,364
2.Vites	1,909
3.Vites	1,421
4.Vites	1
5.Vites	0,72
6.Vites	0,615
Geri Vites	4,235

Metrobüs hattında yapılan analizlerde aracın istasyondan ayrıldıktan sonra, iki istasyon arasındaki nihai hızına 10 sn gibi bir ivmelenme süresi geçtikten sonra ulaştığı gözlemlenmiştir [9]. Bu nedenle, iki durak arasında harcanan enerji iki kısma ayrılmaktadır. Araç ivmesi için önceden hesaplanmış bir enerji ve sabit hızda bir sonraki durağa ulaşmak için gereken enerjidir. Bu döngü, farklı sürüş koşullarında sürücünün verimliliğinden etkilenmektedir [14].

Toplam tüketilen enerji miktarı ise aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$P = \frac{(T \cdot v_m \cdot 2 \cdot \pi)}{(60000 \cdot \eta_m \cdot \eta_c)} \quad (4.7)$$

v_m : Motorun açısız hızı aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$v_m = \frac{(v \cdot 60 \cdot G)}{(2 \cdot \pi \cdot r)} \quad (4.7.1)$$

η_m : Motorun verimi aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$\eta_m = -3 \cdot 10^{-8} \cdot v_m^2 + 0.0002 \cdot v_m + 0.638 \quad (4.7.2)$$

η_c : Şoför ün aracı kullanma verimi. Bu çalışmada sürücünün aracı kullanma verimi %92 olarak sabit kabul edilecektir [10].

Bir zaman aralığı diliminde ($\Delta t = t_s - t_i$) harcanan enerji aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır. Ve bu harcanan enerji Δt zaman diliminden sonra bataryanın bilinen enerji seviyesinden düşülmektedir.

$$E = \int_{t_i}^{t_s} P dt. \quad (4.8)$$

Söğütluçeşme'den Zincirlikuyu'ya hareket eden bir araç ile seyahat edilerek bir GPS cihazı ile aracın 5 sn aralıklarla sahip olduğu ortalama hız değerleri elde edilir. Elde edilen bu hız değerleri km/h cinsinden olup, formüllerde m/s 'ye olarak kullanabilmek için 0,277 ile çarpılmaktadır. Aracın ivmesi ise m/s birimine dönüştürülen hızın ne kadar zamanda bir sonraki hız seviyesine eriştiğini gösteren zaman dilimine bölünerek m/s^2 cinsinden elde edilmektedir. Aracın toplam ağırlığı, araç içi yoğunluğun aracın taşıyabileceği maksimum kişi sayısı ve bir kişinin ortalama ağırlığı ile çarpılması neticesinde bulunan değer aracın kütlesiyle toplanması sonucu elde edilmektedir. Araç yoğunluğu hat bazında 0,5, bir kişinin ortalama ağırlığı 72 kg, aracın kapasitesi 154 kişi, aracın ağırlığı ise 18.050 kg'dır. Buradan aracın toplam ağırlığı $m = 23.594 kg$ bulunmaktadır. Sürtünme katsayısı f hattaki araçtan elde edilen hız değerlerinin m/s 'ye çevrilip Eşitlik 4.1.1'de yerine yazılması ile bulunmaktadır. Bulunan bu f değeri Eşitlik 4.1'de yerine konularak her bir hıza göre sürtünme direnci

kuvvetleri hesaplanmaktadır. Hattan elde edilen her bir hıza ait hava direnci kuvvetleri ise değerleri bilinen havanın yoğunluğu ($\xi = 1,20 \text{ kg/m}^3$), havanın sürüklenme katsayısı ($C_a = 1,17$), aracın projeksiyon alanı ($A = 7\text{m}^2$), ölçülen hız değerlerinin (v) Eşitlik 4.2’de yerine yazılması ile bulunmaktadır. Eğim direnci kuvvetleri ise hattın ortalama eğimine karşılan gelen eğim açısının $\sin(2.52911068^\circ)$ değeri bulunup Eşitlik 4.3’de yerine yazılarak bulunmaktadır. İvme direnç kuvveti araç ağırlığı ile araç ivmesinin Eşitlik 4.4’de yazılması ile bulunmaktadır.. Bulunan bu kuvvetlerin toplamı her bir hıza ait uygulanması gereken toplam kuvveti Newton cinsinden vermektedir. Bu kuvvetlerden yola çıkarak her bir vites için şanzıman ve dişli dönüşüm oranları da Eşitlik 4.6 ‘da yerine yazılarak motorun üretmesi gereken tork ($N.m$) hesaplanır. Bunun için bilinmesi gereken Çizelge 4.2’deki dişli dönüşüm oranları aracın şanzıman üreticisi olan firmadan alınmıştır. Aynı zamanda her vites için dişli dönüşüm oranları Eşitlik 4.7.1’de yerine konularak her vites için aracın hızına göre motorun açısal hızı hesaplanmaktadır. Motorun açısal hızının da Eşitlik 4.7.2’de kullanılması ile de motorun verimi hesaplanmaktadır. Bilinen tork, motorun açısal hızı, motorun verimi ve sürücü verimleri Eşitlik 4.7’de yerlerine konularak gereken güç $N.m/s$ cinsinden bulunmaktadır. Bulunan bu güç değeri 1000’e bölünerek kW birimine dönüştürülmüş olur. Harcanan toplam enerjiyi bulmak için harcanan bu gücün ne kadar sürede harcandığını bilip bulunan gücü bu süre ile çarparak kWh cinsinden ne kadar enerji harcandığı tespit edilmiş olmaktadır.

4. 3 Metrobüs 34Z Hattının Elektrikli Otobüslerle Planlanması

34Z hattının alternatif enerjili araçlarla planlanması için mevcut araçların sarf ettiği enerji miktarının hesaplanması gerekmektedir. Bu enerji miktarının hesaplanması için gereken parametreler ve matematiksel modeller ise Bölüm 4.2’de sunulmuştur. Bu parametrelerden yolun yükseklik profili, yolcu yoğunluğuna bağlı araç ağırlığı ve hızı gibi değişkenlik gösterebilecek değerler ölçümler neticesinde belirlenmiştir. Söğütluçeşme’den Zincirlikuyu’ya hareket edecek bir aracın 10,5 km ’lik bir mesafeyi aşabilmesi için sahip olması gereken toplam enerji miktarı 13,3 kWh olarak Bölüm 4.2’de verilen prosedürler izlenerek hesaplanmıştır. İlgili hesaplama detayları Ek 1-5 içerisinde mevcuttur. Bu değer gidilen mesafeye bölünürse km başına tüketilen enerji miktarı bulunmaktadır. Hesaplamalar içerisinde bu parametre göz önünde bulundurulacaktır.

4.3.1. Metrobüs 34Z Hattının Elektrikli Otobüslerle Planlanması için Gereken Parametreler

İlgili parametreler şu şekilde belirtilebilir;

- **Hat Uzunluğu-Durak Sayısı (Tek-Yön)**: 34Z hattında Söğütlüçeşme-Fikirtepe-Uzunçayır-Acıbadem-Altunizade-Burhaniye-Boğaziçi-Zincirlikuyu olmak üzere 8 adet istasyon olup, toplam 11,5 km uzunluğundadır.
- **Hat Uzunluğu-Durak Sayısı (Çift-Yön)**: 34Z hattı gidiş-dönüş 16 adet istasyon ve 23 km uzunluğundadır.
- **Frekans**: Hattın yolcu yoğunluğuna bağlı olarak araçlar arasındaki sefer süresini ifade eder. Frekans değerleri belirlenirken mevcut 34Z hattının sefer tarifesi göz önünde bulundurulmuştur.
- **Önerilen Ticari Hız**: Söz konusu araçlarla yapılan hız ölçümleri neticesine İ.E.T.T' nin bu hat için verdiği ortama hız değeri 31 km/h olup, Araç boyları uzadığında kapasitesinin artması ile bu hızın 26 km/h olacağı öngörülmüştür.
- **Sefer Süresi**: 11,5 km' lik bir yolu 26 km/h hız ile 26 dakikada tamamlayacağı hesaplanmıştır. Bu süreye dinlenme süresi ilave edildiğinde bir sefer 30 dakikada tamamlanmaktadır.
- **Parkur Süresi**: Bir turun tamamlanma zamanını ifade eder. Gidiş ve dönüş süresine dinleme süreleri dahil edilirse 1 parkur 60 dakika da tamamlanmaktadır.
- **Günlük Sefer Sayısı**: Hattın çalışma saatleri içinde frekansa bağlı olarak düzenlenen sefer sayıları toplamıdır. Günlük sefer sayısı 480 tur ve 960 seferdir.
- **Gerekli Araç Boyu**: Hattaki yolcu yoğunluğuna göre kullanılacağı öngörülen 18m araç uzunluğudur.
- **Planlanan Araç Sayısı**: Bir tur için geçen sürenin toplam tur sayısı ile çarpılarak işletme süresine bölünmesi ile elde edilmektedir.

$$= \frac{\text{Planlanan Araç sayısı} \times \text{Bir tur için geçen süre} \times \text{Toplam tur sayısı}}{\text{İşletme süresi}} \quad (4.9)$$

$$= 60 \text{ dakika} \times 480 \text{ tur} / (19 \times 60 \text{ dakika})$$

$$= 25,263 \text{ Araç}$$

- **Araç Başı Yapılan Mesafe:** Bir tur (60 dakika) 1 saat olup, toplam işletme süresi olan 19 saatte bir araç 19 tur yapılabilir. Bir tur 23 km olduğuna göre bir araç 19 turda günde 437 km mesafe kat etmektedir.
- **Toplam Yapılan Mesafe:** Bir aracın günlük yaptığı km 'yi planlanan araç sayısı ile çarparak bulunmaktadır. Bir araç günde 437 km mesafe giderse 26 araç toplam 11362 km mesafe kat etmektedir.
- **Ölü Mesafe:** Aracın, sefere başlanılacak yer yani yolcu alacağı istasyon ile park ettiği yer arasındaki mesafesidir.
- **Hat Eğim Oranı:** GPS ile ölçülen eğim oranlarını ifade etmektedir.
- **Tur Sonu Mola Süresi:** Aracın bir seferi tamamladıktan sonra bir sonraki seferine başlamadan önce ihtiyaç molası için geçirdiği süreyi ifade etmektedir. Bir sefer için 4 dakika olup, bir tur için toplam 8 dakikadır.
- **Sefer Doluluk Oranı:** Günlük yolculuk sayısının toplam tur ve araç kapasitesine bölünmesi ile bulunmaktadır.
- **Günlük çalışma Süresi:** Sabah saat 05:00 ile akşam 00:00 arasında geçen 19 saatlik süredir.
- **Günlük Klima Çalışma Süresi:** Yazın klimanın açık tutulduğu süredir.

Bu parametreler göz önünde bulundurularak Çizelge 4.3'de verilen değerler elde edilmektedir.

Çizelge 4.3 Metrobüs 34Z hattının elektrikli otobüslerle planlanması için gereken parametreler

ELEKTRİK ENERJİLİ ULAŞIM SİSTEMİ ÖNERİSİ		
1	HAT UZUNLUĞU - DURAK SAYISI (TEK YÖN)	11,5 KM - 8 ADET
2	HAT UZUNLUĞU - DURAK SAYISI (ÇİFT YÖN)	23 KM – 16 ADET
3	FREKANS	2 DK
4	ÖNERİLEN TİCARİ HIZ	26 KM/SA
5	SEFER SÜRESİ	26 DK (+4 DK DİNLENME)=30 DK
6	PARKUR SÜRESİ	60 DK
7	GÜNLÜK SEFER SAYISI	05.00-06.00 ARASI= 10 DK 07.00-22.00 ARASI = 2 DK 22.00-00.00 ARASI = 5 DK 480 TUR (960 SEFER)
8	GEREKLİ ARAÇ BOYU	18 M
9	PLANLANAN ARAÇ SAYISI	26 ADET (+4 YEDEK)=30 ADET
10	ARAÇ BAŞI YAPILAN KM	19*23=437 KM/GÜN
11	TOPLAM YAPILAN KM (TÜM ARAÇLAR)	437*26=11362 KM/GÜN
12	ÖLÜ MESAFE (GÜNLÜK)	1 KM *2 (GİDİŞ-DÖNÜŞ)*30ARAÇ=60KM
13	HAT EĞİM ORANLARI	MAX= %15,3 ORTALAMA= %4,417
14	TUR SONU MOLA SÜRESİ	4 DK SEFER SONU, 8 DK TUR BAŞI
15	SEFER DOLULUK ORANI	50%
16	GÜNLÜK ÇALIŞMA SÜRESİ	19 SAAT
17	GÜNLÜK ORTALAMA KLİMA ÇALIŞMA SÜRESİ (MAYIS-EYLÜL)	10 SAAT

4.4 Metrobüs 34Z Hattının Enerji Planlanmasında Elektrikli Otobüslerin Yol Alması Gereken Mesafe Öngörülerek Enerji Tüketiminin Hesaplanması

34Z hattının alternatif enerjili araçlarla planlanması için mevcut araçların sarf ettiği enerji miktarının hesaplanması gerekmektedir. Bu enerji miktarının hesaplanması için gereken parametreler ve matematiksel modeller ise Bölüm 4.2’de sunulmuştur. Bu parametrelerden yolun yükseklik profili, yolcu yoğunluğuna bağlı araç ağırlığı ve hızı gibi değişkenlik gösterebilecek değerler ölçümler neticesinde belirlenmiştir. Söğütluçeşme’den Zincirlikuyu’ya hareket edecek bir aracın 10,5 km’lik bir mesafeyi aşabilmesi için sahip olması gereken toplam enerji miktarı daha önce hesaplandığı üzere 13,3 kWh olarak bulunmuştur. Bu enerji değerini gidilen mesafeye bölecek olursak km başına tüketilen enerji miktarı bulunmakta hesaplarda bu parametre göz önüne alınmaktadır.

$$\begin{aligned} & \text{1 km 'de tüketilen enerji miktarı} \\ & = \frac{\text{Harcanan Enerji}}{\text{Toplam Mesafe}} \quad (4.10) \\ & = 13,3 \text{ kWh} / 10,5 \text{ km} \\ & = 1,267 \text{ kWh/km} \end{aligned}$$

34Z hattının enerji planlaması yapılırken hatta işletilen otobüslerin, Söğütluçeşme’den Zincirlikuyu’ya kadar gün içinde yaptıkları seferler neticesinde kat ettikleri toplam mesafeye göre harcadıkları enerji sarfiyatı hesaplanmıştır. Yaz aylarında klimanın çalışma durumu da söz konusu olduğundan bu enerji sarfiyatı da dikkate alınacaktır. Çizelge 4.4’te verilen tabloda mevcut aracın enerji tüketim değerleri verilmiştir. Bu bilinen tüketim değerleri neticesinde hatta kullanılacak otobüsler belirlenerek ve bu otobüslerin özelliklerine göre enerji planlanması yapılmalıdır. Çizelge 4.5’te hatta kullanılacak yerli üretime dayalı bir elektrikli otobüs firmasından alınan katalog değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.4 Söğütlüçeşme'den Zincirlikuyu'ya giden aracın enerji tüketimi

Söğütlüçeşme'den Zincirlikuyu'ya Giden Aracın Enerji Tüketimi	
Aracın km başına tükettiği enerji miktarı	1,267 kWh/km
Aracın günlük yol aldığı toplam mesafe (ölü 2 km dahil)	439 km/gün
Aracın günlük yol alması gereken mesafe için tüketeceği enerji miktarı	556,13 kWh
10 saat çalışması için gereken klimanın tükettiği enerji miktarı	90 kWh
Günlük en az 439 km menzilli ve kapasitesinin yarısı dolu olan bir aracın klima sistemi de açık iken harcayacağı toplam enerji miktarı	646,13 kWh

Çizelge 4.5 Hattımızda kullanılabilir elektrikli otobüsün özellikleri

Elektrikli Otobüsün Özellikleri	
Akü Kapasitesi	300 kWh
Akü Gerilimi	450 V- 600V
Maksimum Güç	4x120 kW
Elektrik Menzili	> 300 km
Maksimum Hız	75 km/h
Azami Eğim	20%
Yolcu Kapasitesi	137 kişi
Araç Uzunluğu	18m
Araç Genişliği	2,55 m

Çizelge 4.4'te günlük en en az 439 km menzille ve yolcu kapasitesinin yarısı dolu olan bir aracın harcayacağı toplam enerji miktarı 556,13 kWh hesaplanmış, Çizelge 4. 5'te ise hatta kullanılabilir otobüsün menzili 300 kWh'lik kapasiteye sahip batarya sistemleri ile 300 km olarak verilmiştir. Dizel bir aracın km başına enerji tüketimi Eşitlik 4.10'da, elektrikli bir aracın km başına enerji tüketimi Eşitlik 4.11'de verilmiştir.

Dizel bir aracın km başına enerji tüketimi;

$$= \text{Harcanan Enerji} / \text{Toplam Mesafe} \quad (4.11)$$

$$= 556,13 \text{ kWh} / 439 \text{ km}$$

$$= 1,267 \text{ kWh} / \text{km}$$

Elektrikli bir aracın km başına enerji tüketimi ;

$$= \text{Akü Kapasitesi} / \text{Menzili} \quad (4.12)$$

$$= 300 \text{ kWh} / 300 \text{ km}$$

$$= 1 \text{ kWh} / \text{km}$$

Buradan aracın dizel yakıtlı olması ve hattaki eğim nedeniyle enerji tüketiminin fazla olduğu görülmektedir. Hesaplamalarımızda referans olarak dizel bir aracın *km* başına enerji tüketim değeri dikkate alınacaktır. Çünkü bu durumda zaten elektrikli bir aracın duyacağı enerji gereksinimden fazlası hesaplanmış olacak ve dolayısıyla uygulama aşamasında oluşabilecek enerjisel sıkıntılar minimize edilmiş olacaktır.

Elektrikli araçların 300 kWh enerji kapasitesi ile hattımızda gidebileceği mesafe;

$$= \frac{\text{Elektrikli araçların batarya kapasitesi}}{\text{Dizel aracın km başına enerji tüketimi}} \quad (4.13)$$

$$= \frac{300 \text{ kWh}}{1,267 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}}$$

$$= 236,8 \text{ km}$$

Gidilmesi istenen mesafe 439 *km*'dir, fakat elektrikli araç tam batarya kapasitesi ile dizel bir aracın enerji tüketimine göre 236,8 *km* mesafe kat edebilmektedir. Dolayısı ile aracın kat etmesi gereken mesafe göz önüne alındığında;

İhtiyaç duyulan ilave enerji ;

$$= \text{Harcanması gereken enerji} - \text{Batarya kapasitesi} \quad (4.14)$$

$$= 556,13 \text{ kWh} - 300 \text{ kWh}$$

$$= 256,13 \text{ kWh}$$

90 *kWh* 'lik klima enerji tüketimi de dâhil edilirse 346,13 *kWh*'lik bir ilave enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu enerji ihtiyacını araçları bir kere tam kapasite ile

doldurduktan sonra gün içindeki sefer süreleri arasında verilen dinlenme sürelerinde temin etmeye çalışılacaktır.

Araçların 300kWh tam kapasiteli şarj olması için işletme saatleri dışında gece 24:00 ile 05:00 saatleri arasında Kadıköy Hasan Paşa garajında araç başı minimum saatte 100 kW'lık şarj gücüne sahip şarj istasyonları kullanılmalıdır.

Zincirlikuyu ve Söğütlüçeşme ara şarj istasyonlarında saatte 200 kW şarj gücüne sahip şarj istasyonları kullanılacak olursa ve araçların bir turdaki dinlenme süresi olan 8 dakikanın 2 dakikasını operasyonel (takma-çıkarma) süresi olarak dikkate alınırsa buna göre her bir turda geriye kalan 6 dakika (0,1 saat) içerisinde elde edilecek şarj miktarı hesaplanmaktadır. Fakat 6 dakikalık şarj süresince şarj gücü yüksek güç kaynağı ile şarj edilmesi batarya ömürleri üzerinde olumsuz etkide yaratabilmektedir. Bu durumun göz ardı edilmemesi daha sağlıklı çözümler üzerinde araştırma yapılması adına önem arz etmektedir. Biz hesaplarımızda bu olumsuz durumu ihmal edeceğiz.

Bir turda ara şarj istasyonundan elde edilen enerji miktarı;

$$\begin{aligned} &= \text{Şarj gücü} \times \text{Şarj süresi} && (4.15) \\ &= 200 \text{ kW} \times 0,1 \text{ saat} \\ &= 20 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Bir aracın bir günde ara şarj istasyonlarından elde edebileceği enerji miktarı;

$$\begin{aligned} &= \\ &\text{Bir aracın günlük tur sayısı} \times \text{Bir turda elde ettiği enerji miktarı} && (4.16) \\ &= 20 \text{ kWh} \times 19 = 380 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Bir aracın gece işletme saatleri dışında park garajında şarj edilmesi ile gün içinde düzenlenen sefer aralarındaki dinlenme sürelerinde ara şarj istasyonlarında şarj edilmesi neticesinde sahip olacağı enerji miktarı;

$$300 \text{ kWh} + 380 \text{ kWh} = 680 \text{ kWh olur.}$$

680 kWh'lık enerji miktarı, günlük en az 439 km menzilli ve kapasitesinin yarısı dolu olan bir dizel aracın klima sistemi de açık iken harcayacağı toplam enerji miktarı olan

646,13 kWh 'lık enerji miktarından fazla olduğundan hattımızda yapılan hesaplara uygun bir şekilde elektrikli otobüs işletmesi yapılabilir.

4.5 Metrobüs 34Z Hattı Araçları ile Elektrikli Otobüslerin Enerji Tüketimleri Açısından Kıyaslanması

Metrobüs hattını elektrikli araçlarla modellerken gider kalemleri arasında önemli bir yer tutan enerji tüketim miktarlarını belirleyerek mevcut durumdaki enerji tüketim miktarı ile kıyaslama yapılmalıdır. Mevcut durumdaki araç modellerine ait yakıt tüketim verileri Bölüm 3.2.2'de verilmiştir. Bu veriler kullanılarak 34Z hattı araçlarının Çizelge 4.3' de verilen günlük yol alması gereken mesafede dikkate alınarak bu mesafe için harcayacağı yakıt miktarı hesaplanırsa;

34Z hattı araçlarının günlük yakıt tüketim miktarı ;

$$= \text{Araç Sayısı} * \text{Günlük yol alacağı mesafe} * \text{Km başına yakıt tüketimi} \quad (4.17)$$

$$= 26 * 439 \frac{\text{km}}{\text{gün}} * 0,58 \frac{\text{lt}}{\text{km}}$$

$$= 6.620,12 \text{ lt/gün}$$

Akaryakıtın 20.03.2017 tarihindeki piyasa litre fiyatı 4,50 tl olup buradan yola çıkarak [16],

Akaryakıt için günlük ödenen tutar;

$$= \text{Günlük yakıt tüketim miktarı} * \text{Yakıtın bedeli} \quad (4.18)$$

$$= 6.620,12 \text{ lt/gün} * 4,50 \text{ tl /lt}$$

$$= 29.790,54 \text{ tl/gün}$$

34Z hattı elektrikli araçlarla modellendiğinde günlük elektrik enerjisi tüketim miktarı

$$= \text{Araç Sayısı} * \text{Günlük mesafe} * \text{Km başına elektrik enerji tüketimi} \quad (4.19)$$

$$= 26 * 439 \text{ km/gün} * 1,267 \text{ kWh/km}$$

$$= 14.461,538 \text{ kWh/gün}$$

Elektrik tüketimini, 1 Ocak 2017 - 31 Mart 2017 tarihleri arasındaki orta gerilim çift terimli sanayi elektrik tarifesine göre belirlenen 1kWh için 0,32 tl' lik bedel üzerinden hesaplanırsa [17];

Elektrik için günlük ödenen tutar;

$$= \text{Günlük tüketilen enerji miktarı}$$

$$* \text{Elektrik Fiyatı} \quad (4.20)$$

$$= 14.461,538 \text{ kWh/gün} * 0,32 \text{ tl/kWh}$$

$$= 4.628,7 \text{ tl/gün}$$

Çizelge 4. 6 Araçların günlük enerji tüketim miktarları ve bedelleri

	Günlük Enerji Tüketim Miktarı	Günlük Ödenen/Ödenecek Tutarı
Dizel Otobüs	6.620,12 lt/gün	29.790,54 TL/gün
Elektrikli Otobüs	14.461,538 kWh/gün	4.628,7 TL/gün

Söğütlüçeşme ile Zincirlikuyu istasyonları arasında yolcu taşımacılığı hizmeti veren 34Z hattının elektrikli araçlarla modellendiği çalışmamızda, yapılan hesaplamalar neticesinde Çizelge 4.6' ya göre mevcut durumda hatta yer alan otobüslerin günlük enerji tüketim bedeli ile elektrikli araçlarla hizmet vermesi durumunda harcanacak günlük enerji tüketim bedeli arasında yaklaşık 6,5 kat bir fark bulunmaktadır.

Çizelge 4. 7 Araçların alım maliyeti

	Fiyatı
Dizel otobüs (Conecto Körüklü)	200.000 €
Elektrikli Otobüs (E-Karat Sileo)	400.000 €

Enerji tüketimleri arasındaki fark;

$$= 29.790,54\text{TL/gün} - 4628,7\text{TL/gün} = 25.161,84 \text{ TL/gün} \quad (4.21)$$

Araç alım maliyetleri arasındaki fark; (4.22)

$$= 400.000 \text{ €} - 200.000 \text{ €} = 200.000 \text{ €}$$

Araç maliyeti ile enerji tüketimine ilişkin amortisman süresi; (4.23)

$$= 26 * 200.000 * 3,990 \text{ TL} / 25.161,84 \text{ TL/gün} = 825 \text{ gün}$$

Araçların enerji tüketimi arasındaki farkın yanı sıra bu araçların bakım maliyetlerinin de göz önünde bulundurmak gerekir. Dizel bir aracın bakım maliyeti elektrikli bir araca göre %50 daha fazla olabilir. Bununla birlikte dizel bir aracın ilk alım maliyeti de elektrikli bir aracın ilk alım maliyetinin yarısı tutarındadır. (Çizelge 4.7). Tüm bu durumlar yatırım maliyetlerinde hesaba katılmalı ve amortisman süreleri belirlenmelidir. Eşitlik 4.23'te sadece enerji tüketiminden sağlanan tasarruf ile otobüsün ilk yatırım maliyetini 825 günlük işletme süre ile karşılanabildiği hesaplanmıştır

5.1 Sonuçlar ve Öneriler

Toplumların enerji ihtiyacı, ekonomik gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak yaşam standartlarının yükselmesi ile artmaktadır. Toplumların gelişmişlik düzeyini ifade ederken dikkate alınan parametrelerden biri de kişi başına tüketilen enerji miktarıdır. Ekonomik kalkınmanın sürdürülmesinde artan enerji taleplerini karşılamak önem arz etmekte, aksi takdirde bu durum toplumların yaşam standartlarının düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle enerji üretimi ve tüketiminde verimlilik ve çevreye duyarlılık esas alınmış, bu hususta gereken hassasiyet gösterilerek gerçekleştirilen bilimsel çıktılara ve teknolojik yatırımlara dönüştürülmüştür.

Ulaşımında da enerjinin etkin kullanımına önem verilmiş, yarattığı gürültü ve karbon salınımı gibi olumsuz çevresel boyutlarda dikkate alınarak alternatif enerji kaynaklarının kullanımına yönelik araştırmalar ve geliştirmeler yapılmıştır. İlk 1970'lerde yaşanan petrol krizi ile birlikte elektrik enerjisinin araç tahrik sisteminde kullanımına dair çalışmalar hız kazanmış ve günümüzde de yapısındaki batarya grubunda depolanan elektrik enerjisini kullanan farklı sınıflardaki motorlu araçlar elektrikli ve hibrid yapılarda üretilmiş, bunlardan bazıları ise seri üretime geçilerek ve

tüketicilerin kullanımına sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında da toplu taşıma araçlarında kullanılan otobüslerden dizel ve elektrikli olanının enerji tüketiminde verimlilik prensibi dikkat alınarak yakıt tüketim bedelleri kıyaslanmıştır.

Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışma kapsamında aşağıdaki irdelemelere yer verilmiştir.

- Metrobüs hattının belli bir bölümünde elektrikli araç kullanımına başlamadan önce fizibilite çalışması olarak gerekli enerji hesaplamaları yapılmıştır. Bu fizibilite çalışmaları yapılırken güç tüketimini arttıracak önemli parametrelerin hassasiyetle ölçülmesi gerekmektedir. Çalışmamızda güç tüketimine etki eden en önemli faktörün araca etkiyen net kuvvet ile araç hızı olduğu gözlemlenmiştir.
- Gerçekleştirilen enerji hesaplamasına dayalı olarak gün içinde seferlerin aksamaması için araçların menzile dayalı kapasitesi göz önünde bulundurularak gereken enerji teminin sağlanmasının planlaması yapılmıştır. Elektrikli araçların seferlerin akmaması için 439 km gitmesi gerekmekte ve bunun içinde günlük sahip olması gereken enerji 646,13 kWh bulunmuştur. Enerji planlamasında da bu enerjinin 300kWh'lık kısmını işletme saatleri dışında park garajında, geri kalan miktarını ise günlük seferler arasında verilen molalarda varış istasyonlarında ki hızlı şarj ünitelerinden temin edecektir.
- Tüketilen enerjinin akaryakıt ve elektrik enerjisinden elde edilmesi durumunda maliyet kıyaslaması yapılmıştır. Otobüslerin enerji tüketimleri arasında mevcut durum ile elektrikli olarak modellenmesi durumunda 6,5 kat'lık bir tüketim bedeli hesaplanmıştır.

Hattın genelinde elektrikli otobüsler ile hizmet verilmesi durumunda sağlanabilecek yakıt tasarrufu daha fazla artacak ve çevresel olumsuzluklar da giderilecektir. Dolayısı ile gelecek çalışmalarda da hat genelinde fizibilite çalışması yapıp, elektrikli araçların uygulanılmaya konulması durumunda yatırım bedellerinin hesaplanarak, sağlanacak enerji tasarrufuna dayalı amortisman süresi belirlenebilir.

KAYNAKLAR

1. 2016 BP Dünya Enerji İstatistikleri Raporu, [http://www.bp.com/content/dam/bp-country/tr_tr/pdf/BP Enerji_statistikleriRaporu_2016_BB.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp-country/tr_tr/pdf/BP_Enerji_statistikleriRaporu_2016_BB.pdf), 20 Mart 2017
2. David B. Sandalow, “Plug-In Electric Vehicles : What Role for Washington”, The Brookings Institution ;1-6 ,2009
3. Koç, C. , “Hibrid Araçlarda Değişik Parametrelere Göre Elektrik Motoru Seçimi” , 2012
4. Zheng, Y. , Dong, Y. Z. , Xu, Y. , Meng, K. ,Zhao, H. J. ve Qiu, J. , “Electric Vehicle Battery Charging / Swap Stations in Distributions Systems: Compression Study and Optimal Planning”, IEEE Transactions On Power Systems, 29(1); 221-229
5. Lourido, N.W., Munoz, L., Pereda, J. ve Cortes A. C., “ Design of Electric Buses of Rapid Transit Using Hybdid Energy Storage and Local Traffic Parameters” , 2016
6. Mariana Teixeira Sebastiani, Ricardo Lüders, ve Keiko Verônica Ono Fonseca “Evaluating Electric Bus Operation for a Real-World BRT Public Transportation Using Simulation Optimization”, IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, 17(10), 2016
7. Rios, M. A. , Ramos, G. A. , Zambrano, S. , “Simulation of the Power Supply for a Flash Charging e-BRT System”, IEEE Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA), July 2015
8. TÜİK Nüfus Tahminleri, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) 2007-2016, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059, 10 Şubat 2017
9. Çancı, M. , Önden İ. ,Çakmak, E. ve Gürel, Ö. , Tuzla, H. , Okan Üniversitesi – İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İstanbul’da Deniz Ulaşımının Geleceğinin Değerlendirilmesi Projesi

10. İBB İstanbul Metro A.Ş, Yolcu İstatistikleri, <http://www.metro.istanbul/hakkımızda/yolcu-istatistikleri.aspx>, 14 Şubat 2017,
11. İBB İstanbul Elektrik Tünel Tramvay İşletme Müdürlüğü, İstanbul'da Toplu Ulaşım, 14 Şubat 2016, <http://www.iETT.istanbul/tr/main/pages/istanbulda-toplu-ulasim/95>, 14 Şubat 2017
12. Xisong Dong, Gang Xiong, Dong Fan(Corresponding author), Fenghua Zhu ve Yisheng Lv,“Research on Bus Rapid Transit (BRT) and its Real-Time Scheduling” ,State Key Laboratory of Intelligent Control and Management of Complex Systems Institute of Automation, Chinese Academy of Science
13. Taşıtlarda Tahrik Kuvvetinin Hesaplanması, <https://otomotivlab.com/2015/06/04/tasitlarda-tahrik-kuvveti-hiz-guc-direnc-kuvvetleri-ve-ivme-hesabi/>, 28 Şubat 2017
14. D. Perrotta, A. Teixeira, H. Silva, B. Ribeiro ve J. Afonso, “Electrical bus performance modeling for urban environments,” SAE Int. J. Alternative Power, 1(1); 34–45, 2012
15. J. C. Ferreira, J. de Almeida ve A. R. da Silva, “The impact of driving styles on fuel consumption: A data-warehouse-and-data-mining based discovery process,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., 16(5); 2653–2662, 2015
16. Akaryakıt Fiyatları, <https://www.opet.com.tr/istanbul-akaryakit-fiyatları>, 20 Mart 2017
17. Elektrik Tarifesi Fiyatları, <http://www.enerjiatlası.com/elektrik-fiyatları/>, 20 Mart 2017

HESAPLAMALAR

İstasyonlar arası harcanan güç miktarını tespit edebilmek için hatta araç üzerinden GPS ile 5 saniye periyotlu hız verileri alınmıştır. Verilen değerler Bölüm 4 teki formüllerde yerlerine yazılarak istasyonlar arası enerji sarfiyatı tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 8 Hesaplamalarda Kullanılacak Veriler

İSTASYONLAR	t (s)	v (km/h)	v (m/s)	İvme(m/s ²)	yol (m)	araç içi yoğunluk	f	m	g	sin(α)	ξ	Ca	A
			0,00										
SÖĞÜTLÜÇEŞME	5	0,14	0,039693	0,007938611	0,198465	0,5	0,004924	23774	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	1,59	0,440556	0,0801725	2,202778	0,5	0,004969	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	11,01	3,059417	0,523772223	15,29708	0,5	0,005257	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	17,88	4,966667	0,38145	24,83333	0,5	0,005467	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	22,55	6,2625	0,259166667	31,3125	0,5	0,00561	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	31,45	8,736111	0,494722223	43,68056	0,5	0,005883	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	28,15	7,818889	-0,18344444	39,09444	0,5	0,005782	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	27,34	7,595556	-0,04466667	37,97778	0,5	0,005757	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	30,76	8,543333	0,189555556	42,71667	0,5	0,005862	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	50,25	13,95944	1,083222223	69,79722	0,5	0,006458	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	58,75	16,31806	0,471722223	81,59028	0,5	0,006718	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	56,26	15,6275	-0,13811111	78,1375	0,5	0,006642	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	56,32	15,64417	0,003333333	78,22083	0,5	0,006644	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	59,43	16,50778	0,172722222	82,53889	0,5	0,006739	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	58,42	16,22833	-0,05588889	81,14167	0,5	0,006708	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	58,08	16,13417	-0,01883333	80,67083	0,5	0,006698	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	56,16	15,59917	-0,107	77,99583	0,5	0,006639	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	52,32	14,53333	-0,21316667	72,66667	0,5	0,006522	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	40,34	11,20444	-0,66577778	56,02222	0,5	0,006155	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	35,75	9,929444	-0,255	49,64722	0,5	0,006014	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	41,07	11,40833	0,295777778	57,04167	0,5	0,006177	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	44,18	12,27306	0,172944445	61,36528	0,5	0,006273	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	47,61	13,22611	0,190611111	66,13056	0,5	0,006378	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	51,22	14,22778	0,200333333	71,13889	0,5	0,006488	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	58,00	16,11111	0,376666667	80,55556	0,5	0,006696	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	56,12	15,58944	-0,10433333	77,94722	0,5	0,006638	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	53,27	14,79833	-0,15822222	73,99167	0,5	0,006551	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	54,37	15,10167	0,060666667	75,50833	0,5	0,006584	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	56,51	15,69833	0,119333333	78,49167	0,5	0,00665	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	54,09	15,02417	-0,13483333	75,12083	0,5	0,006576	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	46,95	13,04167	-0,3965	65,20833	0,5	0,006357	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	36,16	10,04333	-0,59966667	50,21667	0,5	0,006027	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	32,97	9,158333	-0,177	45,79167	0,5	0,005929	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	26,34	7,316667	-0,36833333	36,58333	0,5	0,005726	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	6,94	1,927778	-1,07777778	9,638889	0,5	0,005132	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	0,36	0,10131	-0,36529356	0,50655	0,5	0,004931	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
UZUNÇAYIR	5	0,42	0,116667	0,003071333	0,583333	0,5	0,004933	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7

İSTASYONLAR	t (s)	v (km/h)	v (m/s)	İvme(m/s ²)	yol (m)	araç içi yoğunluk	f	m	g	sin(α)	ξ	Ca	A
UZUNÇAYIR	5	0,42	0,116667	0,003071333	0,583333	0,5	0,004933	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	1,94	0,538296	0,084325889	2,691481	0,5	0,004979	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	16,87	4,68496	0,829332778	23,4248	0,5	0,005436	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	24,92	6,923526	0,447713223	34,61763	0,5	0,005683	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	34,97	9,713019	0,557898612	48,5651	0,5	0,00599	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	36,34	10,09394	0,076183778	50,46969	0,5	0,006032	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	38,38	10,66231	0,113674167	53,31154	0,5	0,006095	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	38,14	10,5948	-0,01350128	52,97401	0,5	0,006088	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	38,42	10,67119	0,015277222	53,35594	0,5	0,006096	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	21,71	6,031694	-0,92789883	30,15847	0,5	0,005585	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	31,06	8,627579	0,519177	43,1379	0,5	0,005871	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	34,59	9,609278	0,196339611	48,04639	0,5	0,005979	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	41,15	11,43135	0,364414	57,15674	0,5	0,00618	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	38,03	10,56359	-0,17355239	52,81793	0,5	0,006084	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	40,47	11,24238	0,135759111	56,21191	0,5	0,006159	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	44,03	12,23042	0,197606833	61,15208	0,5	0,006268	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	46,62	12,94881	0,143678889	64,74405	0,5	0,006347	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	52,71	14,64168	0,338574278	73,20841	0,5	0,006534	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	50,30	13,97335	-0,13366717	69,86673	0,5	0,00646	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	45,28	12,57681	-0,27930789	62,88403	0,5	0,006306	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	45,86	12,73953	0,032544444	63,69764	0,5	0,006324	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	47,99	13,32966	0,118026722	66,64831	0,5	0,006389	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	47,79	13,27571	-0,01079133	66,37853	0,5	0,006383	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	46,68	12,96595	-0,06195006	64,82977	0,5	0,006349	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	48,09	13,35863	0,078535945	66,79317	0,5	0,006392	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	48,10	13,36061	0,000396056	66,80307	0,5	0,006392	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	46,08	12,79904	-0,11231589	63,99518	0,5	0,006331	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	47,74	13,26184	0,092560445	66,30919	0,5	0,006382	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	47,10	13,08401	-0,03556611	65,42003	0,5	0,006362	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	49,11	13,64298	0,111794556	68,2149	0,5	0,006424	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	48,99	13,60892	-0,00681133	68,04462	0,5	0,00642	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	52,41	14,5596	0,190136167	72,79802	0,5	0,006525	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	53,10	14,74904	0,0378865	73,74518	0,5	0,006545	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	56,09	15,58115	0,166422722	77,90575	0,5	0,006637	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	40,20	11,16531	-0,88316872	55,82653	0,5	0,006151	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	29,44	8,176942	-0,59767289	40,88471	0,5	0,005821	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	1,66	0,459851	-1,54341828	2,299253	0,5	0,004971	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	2,57	0,714583	0,050946389	3,572913	0,5	0,004999	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
ACIBADEM	5	0,47	0,129828	-0,11695094	0,649139	0,5	0,004934	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7

İSTASYONLAR	t (s)	v (km/h)	v (m/s)	İvme(m/s ²)	yol (m)	araç içi yoğunluk	f	m	g	sin(α)	ξ	Ca	A
ACIBADEM	5	0,47	0,129828	-0,11695094	0,649139	0,5	0,004934	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	1,51	0,420685	0,058171444	2,103425	0,5	0,004966	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	6,66	1,848907	0,285644389	9,244535	0,5	0,005124	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	10,65	2,959385	0,222095611	14,79693	0,5	0,005246	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	25,94	7,206712	0,849465445	36,03356	0,5	0,005714	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	28,97	8,046747	0,168006889	40,23373	0,5	0,005807	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	37,73	10,47938	0,486527167	52,39691	0,5	0,006075	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	37,94	10,53835	0,011792722	52,69173	0,5	0,006081	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	44,05	12,23743	0,339817667	61,18717	0,5	0,006269	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	53,17	14,77036	0,506585223	73,8518	0,5	0,006548	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	56,34	15,65093	0,176113111	78,25463	0,5	0,006645	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	64,10	17,80419	0,430653278	89,02096	0,5	0,006882	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	58,82	16,33887	-0,29306517	81,69433	0,5	0,006721	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	62,46	17,34922	0,2020715	86,74612	0,5	0,006832	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	63,49	17,63689	0,057532389	88,18443	0,5	0,006864	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	60,41	16,77928	-0,17152172	83,89639	0,5	0,006769	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	53,50	14,85986	-0,38388422	74,29928	0,5	0,006558	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	46,95	13,04264	-0,36344378	65,21319	0,5	0,006357	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	29,83	8,285048	-0,95151783	41,42524	0,5	0,005833	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	10,86	3,017143	-1,053581	15,08572	0,5	0,005253	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	1,03	0,285126	-0,5464035	1,425629	0,5	0,004951	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	2,25	0,625396	0,068054	3,126979	0,5	0,004989	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	2,81	0,781623	0,031245444	3,908115	0,5	0,005006	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
ALTUNİZADE	5	1,36	0,377506	-0,0808235	1,887528	0,5	0,004962	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7

İSTASYONLAR	t (s)	v (km/h)	v (m/s)	İvme(m/s ²)	yol (m)	araç içi yoğunluk	f	m	g	sin(α)	ξ	Ca	A
ALTUNİZEDE	5	1,36	0,377506	-0,0808235	1,887528	0,5	0,004962	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	3,55	0,987436	0,121986111	4,937181	0,5	0,005029	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	2,42	0,672726	-0,06294211	3,363628	0,5	0,004994	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	1,89	0,524192	-0,02970672	2,62096	0,5	0,004978	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	18,04	5,010015	0,897164667	25,05008	0,5	0,005472	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	25,53	7,091205	0,416238	35,45603	0,5	0,005702	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	38,51	10,6983	0,721419667	53,49152	0,5	0,006099	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	51,21	14,22605	0,705550112	71,13027	0,5	0,006488	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	59,88	16,63397	0,4815835	83,16986	0,5	0,006753	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	67,23	18,67592	0,408390223	93,37961	0,5	0,006978	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	68,49	19,02607	0,070030222	95,13037	0,5	0,007017	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	69,27	19,24305	0,043395167	96,21525	0,5	0,007041	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	69,34	19,26197	0,003785	96,30987	0,5	0,007043	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	68,93	19,14691	-0,02301239	95,73456	0,5	0,00703	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	64,17	17,82383	-0,2646175	89,11913	0,5	0,006884	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	61,77	17,15884	-0,13299661	85,79421	0,5	0,006811	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	60,47	16,79589	-0,07259117	83,97943	0,5	0,006771	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
BURHANIYE	5	36,11	10,03161	-1,35285589	50,15803	0,5	0,006026	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7

İSTASYONLAR	t (s)	v (km/h)	v (m/s)	İvme(m/s ²)	yol (m)	araç içi yoğunluk	f	m	g	sin(α)	ξ	Ca	A
BURHANIYE	5	36,11	10,03161	-1,35285589	50,15803	0,5	0,006026	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	45,41	12,61286	0,516251223	63,06432	0,5	0,00631	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	47,09	13,08175	0,093777778	65,40876	0,5	0,006362	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	48,64	13,51173	0,085995333	67,55864	0,5	0,006409	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	46,36	12,87754	-0,12683717	64,38771	0,5	0,006339	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	45,43	12,61904	-0,05170083	63,09519	0,5	0,006311	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	56,10	15,582	0,592592667	77,91001	0,5	0,006637	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	43,37	12,0478	-0,70684028	60,239	0,5	0,006248	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	39,91	11,08658	-0,19224317	55,43292	0,5	0,006142	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	24,07	6,685774	-0,88016222	33,42887	0,5	0,005657	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	5,21	1,446543	-1,04784611	7,232715	0,5	0,005079	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	2,56	0,711182	-0,14707222	3,55591	0,5	0,004998	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
BOĞAZIÇI KÖPRÜSÜ	5	1,10	0,306576	-0,08092111	1,532882	0,5	0,004954	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7

İSTASYONLAR	t (s)	v (km/h)	v (m/s)	İvme(m/s ²)	yol (m)	araç içi yoğunluk	f	m	g	sin(α)	ξ	Ca	A
BOĞAZIÇI KÖPRÜSÜ	5	1,10	0,306576	-0,08092111	1,532882	0,5	0,004954	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	9,30	2,582304	0,455145611	12,91152	0,5	0,005205	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	25,01	6,946627	0,872864556	34,73314	0,5	0,005686	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	28,68	7,967879	0,204250445	39,8394	0,5	0,005798	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	31,70	8,806258	0,167675667	44,03129	0,5	0,005891	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	32,25	8,959563	0,030660944	44,79781	0,5	0,005907	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	35,87	9,962922	0,200671945	49,81461	0,5	0,006018	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	32,51	9,031565	-0,18627144	45,15783	0,5	0,005915	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	21,93	6,091037	-0,58810567	30,45518	0,5	0,005591	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	22,56	6,267216	0,035235833	31,33608	0,5	0,005611	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	21,55	5,986899	-0,05606344	29,93449	0,5	0,00558	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	24,57	6,82581	0,167782278	34,12905	0,5	0,005672	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	28,98	8,049353	0,2447085	40,24676	0,5	0,005807	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	37,82	10,50643	0,491415223	52,53214	0,5	0,006078	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	39,16	10,87826	0,074366667	54,39131	0,5	0,006119	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	45,52	12,64492	0,353331889	63,22461	0,5	0,006314	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	47,81	13,27947	0,126910111	66,39736	0,5	0,006384	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	37,56	10,43388	-0,56911744	52,16942	0,5	0,00607	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	33,47	9,296474	-0,22748206	46,48237	0,5	0,005945	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	37,09	10,3025	0,201205778	51,51252	0,5	0,006055	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	42,39	11,77384	0,294267667	58,86921	0,5	0,006218	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	42,85	11,90256	0,025743667	59,5128	0,5	0,006232	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	49,29	13,69089	0,357666889	68,45447	0,5	0,006429	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	48,75	13,5421	-0,02975928	67,71049	0,5	0,006412	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	42,73	11,86931	-0,33455789	59,34654	0,5	0,006228	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	45,51	12,64145	0,154428722	63,20726	0,5	0,006313	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	48,96	13,59936	0,191582333	67,99682	0,5	0,006419	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	48,97	13,60287	0,000700222	68,01433	0,5	0,006419	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	50,18	13,93792	0,067010889	69,6896	0,5	0,006456	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	49,39	13,71864	-0,04385528	68,59322	0,5	0,006432	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	53,18	14,77329	0,210929278	73,86645	0,5	0,006548	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	57,60	15,99866	0,2450735	79,99328	0,5	0,006683	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	57,03	15,84251	-0,03122922	79,21255	0,5	0,006666	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	58,08	16,13235	0,057966889	80,66173	0,5	0,006698	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	58,95	16,37517	0,048565111	81,87585	0,5	0,006725	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	62,61	17,39198	0,203361945	86,9599	0,5	0,006837	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	60,73	16,87058	-0,10428089	84,35288	0,5	0,006779	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	64,42	17,89352	0,204588333	89,46759	0,5	0,006892	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	67,39	18,71944	0,165184889	93,59721	0,5	0,006983	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	65,38	18,16112	-0,11166383	90,80562	0,5	0,006922	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	69,22	19,22657	0,213089389	96,13285	0,5	0,007039	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	58,06	16,12743	-0,61982722	80,63717	0,5	0,006697	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	68,75	19,09748	0,594008945	95,48739	0,5	0,007025	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	56,23	15,62022	-0,69545172	78,1011	0,5	0,006641	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	47,35	13,15219	-0,493607	65,76093	0,5	0,006369	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	43,04	11,95605	-0,23922622	59,78027	0,5	0,006238	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	42,78	11,88297	-0,01461667	59,41485	0,5	0,00623	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	43,58	12,1053	0,044465611	60,52649	0,5	0,006254	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	46,23	12,84058	0,147055945	64,20289	0,5	0,006335	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	47,07	13,07557	0,046998944	65,37787	0,5	0,006361	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	51,99	14,44093	0,273070889	72,20464	0,5	0,006512	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	48,41	13,44684	-0,19881672	67,23422	0,5	0,006402	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	43,08	11,96666	-0,29603683	59,8333	0,5	0,006239	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	35,97	9,991547	-0,3950225	49,95774	0,5	0,006021	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	38,74	10,7623	0,154150445	53,8115	0,5	0,006106	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	33,45	9,290386	-0,29438272	46,45193	0,5	0,005944	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	42,73	11,86824	0,515570723	59,3412	0,5	0,006228	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	45,35	12,59756	0,145864056	62,9878	0,5	0,006308	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	35,79	9,941992	-0,5311135	49,70996	0,5	0,006016	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	41,78	11,60483	0,332568278	58,02417	0,5	0,006199	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	38,25	10,62501	-0,19596394	53,12507	0,5	0,006091	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	42,11	11,69841	0,214678222	58,49203	0,5	0,006209	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	42,59	11,83041	0,026401722	59,15207	0,5	0,006224	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	49,44	13,73221	0,380358389	68,66103	0,5	0,006433	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	48,87	13,57453	-0,0315355	67,87264	0,5	0,006416	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	45,48	12,63203	-0,18849983	63,16014	0,5	0,006312	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
	5	1,35	0,375516	-2,45130267	1,877578	0,5	0,004961	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7
ZİNCİRLİKUYU	5	1,34	0,371605	-0,00078217	1,858024	0,5	0,004961	23724	9,8	0,044127	1,20	1,17	7

Çizelge 4. 9 Araçların İstasyonlar Arasında Farklı Viteslerde Harcadığı Güç

İSTASYONLAR	P1	P2	P3	P4	P5	P6
SÖĞÜTLÜÇEŞME	0,785572	0,785582	0,785586	0,785589	0,785591	0,785592
	9,99226	9,993747	9,994246	9,994676	9,994962	9,995069
	124,556	124,6843	124,7274	124,7647	124,7895	124,7988
	174,4911	174,7824	174,8804	174,9651	175,0215	175,0427
	190,1058	190,5055	190,6401	190,7564	190,8339	190,863
	350,934	351,9606	352,3069	352,6065	352,8061	352,8811
	99,99008	100,2521	100,3404	100,4168	100,4677	100,4869
	139,2138	139,5683	139,6878	139,7911	139,8599	139,8858
	238,2528	238,9345	239,1644	239,3633	239,4959	239,5456
	903,8478	908,0499	909,4723	910,7048	911,5272	911,8362
	667,6867	671,3065	672,5338	673,5979	674,3084	674,5754
	255,8751	257,2045	257,6551	258,0456	258,3063	258,4043
	344,587	346,3792	346,9866	347,5131	347,8646	347,9967
	479,3627	481,9913	482,8826	483,6554	484,1715	484,3654
	321,8399	323,5753	324,1636	324,6737	325,0143	325,1423
	343,3889	345,23	345,8541	346,3952	346,7565	346,8922
	274,664	276,0886	276,5713	276,9898	277,2691	277,3741
	189,9053	190,824	191,1351	191,4047	191,5846	191,6522
	-66,0018	-66,2488	-66,3322	-66,4045	-66,4527	-66,4708
	102,2746	102,6142	102,7288	102,8281	102,8942	102,9191
	372,8249	374,2452	374,7252	375,1407	375,4178	375,5219
	343,0048	344,4092	344,8841	345,2954	345,5697	345,6728
	381,9271	383,6107	384,1804	384,6738	385,0031	385,1267
	419,9222	421,9114	422,5849	423,1685	423,558	423,7043
	597,1513	600,3483	601,4321	602,3717	602,9991	603,2349
	276,1094	277,5406	278,0255	278,446	278,7266	278,8321
	226,9404	228,0579	228,4364	228,7644	228,9834	229,0656
	364,9272	366,7604	367,3814	367,9197	368,279	368,414
	418,7387	420,924	421,6646	422,3067	422,7353	422,8964
	245,3868	246,6133	247,0288	247,3889	247,6293	247,7196
	69,65232	69,95514	70,05758	70,14632	70,20553	70,22776
	-35,1496	-35,2676	-35,3075	-35,342	-35,365	-35,3736
	121,6299	122,0027	122,1285	122,2374	122,3099	122,3372
	38,61436	38,7091	38,74103	38,76864	38,78703	38,79394
	-46,2342	-46,2643	-46,2744	-46,2831	-46,2889	-46,2911
	0,472823	0,472839	0,472845	0,47285	0,472853	0,472854
UZUNÇAYIR	2,281429	2,281519	2,281549	2,281575	2,281593	2,281599
Toplam	8944	8984,8	8998,6	9010,6	9018,6	9021,6

UZUNÇAYIR	2,281429	2,281519	2,281549	2,281575	2,281593	2,281599
	12,30124	12,30348	12,30423	12,30487	12,30531	12,30547
	248,9682	249,3603	249,4923	249,6063	249,6822	249,7107
	263,2453	263,8567	264,0627	264,2408	264,3595	264,404
	416,3652	417,7179	418,1746	418,5697	418,8332	418,9321
	238,3674	239,172	239,4436	239,6787	239,8354	239,8943
	269,0099	269,9684	270,2922	270,5724	270,7593	270,8295
	213,1489	213,9036	214,1585	214,3792	214,5263	214,5815
	227,1626	227,9727	228,2463	228,4831	228,6411	228,7004
	-105,113	-105,326	-105,398	-105,46	-105,501	-105,517
	354,8983	355,9236	356,2695	356,5687	356,7681	356,8429
	272,3636	273,2392	273,5347	273,7905	273,9609	274,0249
	405,0647	406,6108	407,1333	407,5857	407,8874	408,0007
	144,6749	145,1856	145,3582	145,5075	145,607	145,6444
	294,9349	296,0423	296,4165	296,7405	296,9565	297,0376
	353,7724	355,2159	355,704	356,1267	356,4087	356,5146
	348,7466	350,2522	350,7615	351,2026	351,4969	351,6075
	514,6014	517,109	517,9583	518,6942	519,1854	519,37
	224,8984	225,945	226,2993	226,6062	226,8111	226,888
	124,695	125,218	125,3949	125,5481	125,6503	125,6887
	285,8189	287,0331	287,4438	287,7995	288,0368	288,1259
	346,5453	348,0848	348,6057	349,0569	349,358	349,4711
	276,5523	277,7759	278,1899	278,5486	278,7879	278,8778
	242,5738	243,6224	243,9771	244,2844	244,4894	244,5664
	326,2898	327,7424	328,2339	328,6597	328,9438	329,0505
	284,5817	285,8488	286,2775	286,6489	286,8967	286,9898
	213,1346	214,0442	214,3519	214,6184	214,7962	214,8629
	331,0517	332,5149	333,01	333,4388	333,725	333,8325
	258,9728	260,1023	260,4844	260,8154	261,0363	261,1192
	352,3452	353,9467	354,4887	354,9583	355,2716	355,3893
	286,7936	288,0939	288,534	288,9153	289,1697	289,2652
	425,0331	427,0928	427,7903	428,3947	428,7982	428,9497
	341,5663	343,2427	343,8105	344,3025	344,631	344,7544
	444,3996	446,7019	447,482	448,1583	448,6098	448,7795
	-163,134	-163,742	-163,948	-164,125	-164,244	-164,289
	-30,9792	-31,0641	-31,0927	-31,1175	-31,134	-31,1401
	-19,7357	-19,7388	-19,7398	-19,7407	-19,7413	-19,7415
	15,3708	15,37451	15,37575	15,37683	15,37754	15,37781
ACIBADEM	1,909103	1,909187	1,909215	1,909239	1,909255	1,909261
Toplam	9041,2	9078,3	9090,8	9101,6	9108,9	9111,6

İSTASYONLAR	P1	P2	P3	P4	P5	P6
ACIBADEM	1,909103	1,909187	1,909215	1,909239	1,909255	1,909261
	9,167328	9,16863	9,169067	9,169444	9,169695	9,169789
	57,38522	57,421	57,43302	57,44339	57,45029	57,45288
	84,46352	84,54772	84,57601	84,60044	84,61671	84,62281
	390,6519	391,5961	391,9143	392,1894	392,3727	392,4415
	216,8005	217,3851	217,5822	217,7526	217,8662	217,9089
	420,6607	422,1341	422,6317	423,0624	423,3496	423,4575
	222,5783	223,3623	223,6271	223,8562	224,009	224,0664
	423,6716	425,4014	425,9863	426,4928	426,8306	426,9575
	618,7816	621,8229	622,853	623,7457	624,3416	624,5655
	452,7516	455,1074	455,9058	456,5979	457,0599	457,2336
	707,1153	711,2916	712,7089	713,9384	714,7596	715,0682
	169,9016	170,8239	171,1366	171,4077	171,5887	171,6567
	528,4934	531,5365	532,5688	533,4643	534,0623	534,2871
	437,1788	439,737	440,6051	441,3581	441,861	442,05
	258,1337	259,5721	260,0599	260,4829	260,7653	260,8715
	94,14838	94,61389	94,77156	94,90821	94,99942	95,03369
	86,91186	87,28974	87,41757	87,52831	87,60219	87,62994
	-148,957	-149,37	-149,51	-149,63	-149,71	-149,741
	-69,0767	-69,1469	-69,1705	-69,1908	-69,2044	-69,2095
	-0,75373	-0,75381	-0,75383	-0,75385	-0,75386	-0,75387
	13,88248	13,88541	13,8864	13,88725	13,88781	13,88802
	16,19291	16,19718	16,19861	16,19985	16,20067	16,20098
ALTUNİZADE	6,105658	6,106436	6,106698	6,106923	6,107073	6,107129
Toplam	4998	5021,6	5029,6	5036,5	5041,1	5042,8

İSTASYONLAR	P1	P2	P3	P4	P5	P6
ALTUNİZEDE	6,105658	6,106436	6,106698	6,106923	6,107073	6,107129
	24,08405	24,09208	24,09478	24,0971	24,09865	24,09923
	11,37431	11,37689	11,37776	11,37851	11,379	11,37919
	9,563652	9,565345	9,565912	9,566403	9,566729	9,566851
	280,0599	280,5315	280,6903	280,8274	280,9187	280,953
	260,8045	261,4248	261,6338	261,8146	261,935	261,9802
	530,6206	532,5176	533,1584	533,713	534,0828	534,2217
	707,1861	710,5358	711,6699	712,6526	713,3084	713,5548
	688,6524	692,4569	693,747	694,8658	695,6128	695,8936
	730,2824	734,8027	736,3376	737,6695	738,5592	738,8937
	489,7191	492,806	493,8545	494,7643	495,3722	495,6007
	476,3085	479,3445	480,3758	481,2708	481,8688	482,0936
	446,5174	449,3663	450,334	451,1738	451,735	451,946
	422,6613	425,3422	426,2528	427,043	427,571	427,7695
	213,9546	215,2196	215,6489	216,0213	216,2701	216,3636
	292,3708	294,0361	294,601	295,0909	295,4181	295,5411
	324,7714	326,5828	327,1971	327,7298	328,0856	328,2193
BURHANİYE	-338,157	-339,292	-339,675	-340,006	-340,227	-340,31
Toplam	5576,9	5606,9	5617	5625,8	5631,6	5633,8

İSTASYONLAR	P1	P2	P3	P4	P5	P6
BURHANİYE	-338,157	-339,292	-339,675	-340,006	-340,227	-340,31
	526,795	529,0109	529,7604	530,4094	530,8425	531,0051
	326,6223	328,0466	328,5285	328,9459	329,2243	329,3289
	334,5718	336,0781	336,5878	337,0294	337,3241	337,4348
	207,2047	208,0943	208,3952	208,6559	208,8298	208,8951
	240,2052	241,2161	241,558	241,8541	242,0517	242,1259
	709,6204	713,2968	714,5426	715,6226	716,3436	716,6145
	-88,3347	-88,6899	-88,8099	-88,9139	-88,9833	-89,0093
	144,7658	145,3019	145,4831	145,6399	145,7444	145,7837
	-102,967	-103,198	-103,276	-103,343	-103,388	-103,405
	-33,0077	-33,0238	-33,0292	-33,0339	-33,037	-33,0381
	9,608704	9,611011	9,611785	9,612453	9,612897	9,613064
BOĞAZIÇI KÖPRÜSÜ	4,956463	4,956977	4,957149	4,957297	4,957396	4,957433
Toplam	2280	2290,7	2294,3	2297,4	2299,5	2300,3

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
BOĞAZIÇI KÖPRÜSÜ	4,956463	4,956977	4,957149	4,957297	4,957396	4,957433
	97,91055	97,99575	98,02437	98,04909	98,06553	98,0717
	382,8723	383,7645	384,0652	384,3251	384,4982	384,5632
	226,1779	226,7818	226,9854	227,1615	227,2789	227,3229
	238,235	238,9374	239,1744	239,3794	239,516	239,5673
	193,3425	193,9224	194,118	194,2873	194,4001	194,4424
	284,7671	285,7159	286,0362	286,3134	286,4982	286,5676
	116,3744	116,7262	116,845	116,9477	117,0161	117,0418
	-22,832	-22,8787	-22,8945	-22,9081	-22,9171	-22,9205
	133,8042	134,0857	134,1805	134,2625	134,3171	134,3376
	105,6128	105,8252	105,8966	105,9584	105,9996	106,015
	182,6231	183,0413	183,1822	183,304	183,3852	183,4156
	241,6728	242,3246	242,5444	242,7345	242,8612	242,9087
	423,8583	425,3467	425,8494	426,2845	426,5746	426,6836
	257,7969	258,7338	259,0504	259,3243	259,5071	259,5757
	445,7679	447,6477	448,2835	448,8341	449,2015	449,3394
	349,7973	351,3454	351,8693	352,323	352,6258	352,7395
	-22,8565	-22,9362	-22,9632	-22,9865	-23,002	-23,0078
	104,8717	105,198	105,3081	105,4034	105,4669	105,4907
	295,3572	296,3745	296,718	297,0153	297,2135	297,2879
	384,9635	386,4764	386,9878	387,4306	387,726	387,8369
	261,5034	262,5422	262,8934	263,1975	263,4003	263,4765
	488,3712	490,5986	491,3525	492,0056	492,4414	492,6052
	272,7275	273,9581	274,3745	274,7353	274,9761	275,0665
	89,4149	89,76912	89,88886	89,99254	90,0617	90,08767
	344,9957	346,4501	346,9421	347,3681	347,6523	347,7591
	394,4689	396,2562	396,861	397,3851	397,7347	397,8661
	290,7318	292,0494	292,4954	292,8817	293,1394	293,2363
	336,0392	337,5991	338,1272	338,5847	338,89	339,0047
	269,1637	270,3938	270,8101	271,1708	271,4115	271,5019
	444,3784	446,5629	447,3028	447,9441	448,3721	448,5329
	508,4294	511,1328	512,0491	512,8436	513,374	513,5733
	327,9943	329,7216	330,307	330,8145	331,1533	331,2806
	392,7992	394,9049	395,6187	396,2376	396,6508	396,8061
	393,7333	395,8752	396,6015	397,2312	397,6516	397,8096

	530,9191	533,9835	535,0232	535,9249	536,5272	536,7536
	305,2726	306,9827	307,5626	308,0656	308,4015	308,5277
	549,8971	553,1608	554,2685	555,2294	555,8712	556,1125
	550,8684	554,286	555,4464	556,4534	557,1262	557,3791
	330,7458	332,7377	333,4138	334,0004	334,3922	334,5395
	605,7257	609,5833	610,8937	612,0309	612,7908	613,0764
	-43,6966	-43,9307	-44,0101	-44,0789	-44,1249	-44,1422
	890,5687	896,2032	898,1169	899,7776	900,8873	901,3044
	-91,9338	-92,4113	-92,5731	-92,7133	-92,807	-92,8421
	19,5162	19,60175	19,6307	19,65577	19,6725	19,67879
	135,9564	136,4988	136,6822	136,841	136,947	136,9867
	241,8137	242,7728	243,097	243,3777	243,5649	243,6353
	275,5859	276,6991	277,0754	277,4014	277,6187	277,7004
	347,2385	348,7252	349,2281	349,6636	349,9542	350,0634
	301,975	303,2912	303,7365	304,1222	304,3795	304,4762
	468,9916	471,246	472,0094	472,671	473,1125	473,2784
	179,5548	180,3593	180,6316	180,8674	181,0248	181,0839
	108,8821	109,3169	109,4639	109,5912	109,6761	109,708
	46,92812	47,08492	47,13786	47,18367	47,21421	47,22568
	289,2106	290,2507	290,602	290,9061	291,1089	291,185
	79,85134	80,0996	80,18338	80,25586	80,30418	80,32232
	493,4773	495,4321	496,0929	496,665	497,0466	497,19
	339,3512	340,7769	341,2591	341,6768	341,9553	342,06
	-7,67266	-7,69817	-7,70679	-7,71424	-7,71921	-7,72107
	396,8256	398,3631	398,8827	399,3326	399,6326	399,7453
	136,1067	136,59	136,7533	136,8946	136,9888	137,0241
	345,0161	346,3634	346,8188	347,2131	347,4761	347,5749
	260,0396	261,0664	261,4135	261,714	261,9145	261,9898
	502,4443	504,7427	505,5206	506,1946	506,6443	506,8133
	272,5274	273,76	274,1771	274,5385	274,7796	274,8702
	171,3258	172,0475	172,2917	172,5031	172,6441	172,6971
	-29,8945	-29,8983	-29,8996	-29,9007	-29,9014	-29,9017
ZİNCİRLİKUYU	7,211984	7,212889	7,213193	7,213455	7,213629	7,213695
Toplam	18250,45	18332,5	18360,27	18384,35	18400,4	18406,45

Söğütlüçeşme'den Zincirlikuyu'ya hareket eden aracın 10,5 km'lik mesafeyi 970 saniyede aşabilmesi için sahip olması gereken toplam enerji miktarını hesaplariken, aracın metrobüs hattındaki en uygun hız limitine göre yani 3.viteste tükettiği istasyonlar arası güç değeri toplanır. İstasyonlar arası toplam;

$$P_3 = 49.390,57 \text{ Nm/s} = 49.391 \text{ W}$$

$$E = P_3 x t = 49.391 \text{ W} x \frac{970}{3600} \text{ saat} = 13,3 \text{ kWh}$$

Söğütlüçeşme'den Zincirlikuyu'ya hareket edecek bir aracın 10,5 km'lik bir mesafeyi aşabilmesi için sahip olması gereken toplam enerji miktarı 13,3 kWh olarak hesaplanmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİLER BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali ALTAY
Doğum Tarihi ve Yeri : 31/07/1988 Pendik
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : alialtay2@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen	Gülizar Zeki Obdan Anadolu Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-2013	BEDAŞ	Elektrik Mühendisi
2013-2017	İETT	Elektrik Mühendisi