

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİNDE ELEKTRİKLİ ÇÖP
KAMYONU FİLOSUNUN ROTA OPTİMİZASYONU

OĞUZHAN ERDİNÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. KAAAN YETİLMEZSOY

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİNDE ELEKTRİKLİ ÇÖP
KAMYONU FİLOSUNUN ROTA OPTİMİZASYONU**

Oğuzhan ERDİNÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 07.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ömer APAYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Burcu ONAT
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

ÖNSÖZ

Katı atık yönetimi süreci Çevre Mühendisliği alanında önde gelen konulardan biri konumundadır. Bu bağlamda, katı atık yönetim sürecinin önemli bir parçası olan katı atık toplama işlemi gerek literatürde gerekse de araştırma-geliştirme faaliyetleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Öte yandan, günümüzde konvansiyonel yakıtların kullanımının azaltımı hususu özellikle olumsuz çevresel etkileri nedeniyle oldukça önemli bir konu halindedir. Ulaşım sektörünün bir parçası olarak kabul edilebilecek katı atık toplama işlemi gerçekleştirilen çöp kamyonları da konvansiyonel yakıt tüketiminde rol oynamaktadır. Bu bağlamda bu tez çalışmasında gelecekte kullanımının artacağı öngörülebilecek elektrikli çöp kamyonları için bir katı atık toplama rotası optimizasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren sayın danışman hocam Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY'a ve beni bugünlere getiren, sevgiyle büyüten ve her zaman yanımda olan sevgili annem Bahriye ERDİNÇ, kıymetli babam Mahmut ERDİNÇ ve teyzem Fahriye BAYER'e teşekkürü bir borç bilirim. Bu tez çalışmasının hazırlanmasında kıymetli görüşleriyle her aşamada destek olan ağabeyim Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ'e gönülden teşekkür ederim. Ayrıca ağabeyimin eşi ve ablam gibi gördüğüm Fatma Gülşen ERDİNÇ'e ve ailemizin neşe kaynağı çocukları Mahmut Pamir ve Pera'ya sabır ve desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Kasım, 2018

Oğuzhan ERDİNÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	5
1.3 Hipotez.....	6
BÖLÜM 2	
KENTSEL KATI ATIKLAR.....	7
2.1 Kentsel Katı Atık Yönetim Süreci.....	11
BÖLÜM 3	
YÖNTEM.....	20
3.1 Elektrikli Araç Sürüş Dinamiklerinin Modellenmesi.....	20
3.2 Elektrikli Çöp Kamyonu Filosu Rota Optimizasyonu Probleminin Modellenmesi.....	24
BÖLÜM 4	
DURUM ANALİZLERİ.....	28

4.1	Elektrikli Araç Sürüş Dinamiklerinin Modellenmesi Vasıtasıyla Değişken Kütleye Bağlı Olarak Elektrikli Çöp Kamyonu Enerji Tüketiminin Elde Edilmesi	28
4.2	Elektrikli Çöp Kamyonu Filosunun Örnek Bir Çöp Toplama Bölgesi İçin Rota Optimizasyonu	37
BÖLÜM 5		42
SONUÇ VE ÖNERİLER		42
KAYNAKLAR		44
EK-A		
GAMS KODU		48
ÖZGEÇMİŞ		52



SİMGE LİSTESİ

A	Araç ön panel alanı [m^2]
$AA_{i,h}$	h elektrikli çöp kamyonunun i . çöp konteynerindeki çöp ağırlığı [kg]
AK_h	h elektrikli çöp kamyonunun araç kapasitesi [kg]
BET	Elektrikli çöp kamyonları için ortalama birim enerji tüketimi [kW saat/km]
C_r	Yuvarlanma sürtünmesi sabiti
C_x	Sürtünme sabiti
ζA_i	i . çöp konteynerindeki çöp ağırlığı [kg]
$DV^{\zeta K}$	Elektrikli çöp kamyonunun deşarj verimliliği
$ED_t^{\zeta K}$	Elektrikli çöp kamyonunun t anındaki enerji durumu (state-of-energy) [kW saat].
$ED^{\zeta K,bas}$	Elektrikli çöp kamyonunun başlangıç enerji durumu (state-of-energy) [kW saat]
$ED^{\zeta K,min}$	Elektrikli çöp kamyonunun asgari enerji durumu (state-of-energy) [kW saat]
$ET_{i,j}$	i . ve j . çöp konteynerleri arasındaki enerji tüketimi [kW saat]
$ET_t^{\zeta K}$	Elektrikli çöp kamyonunun t anındaki enerji tüketimi [kW saat]
$F_a(t)$	t periyodundaki aerodinamik sürtünme kuvveti [N]
$F_d(t)$	t periyodundaki diğer bütün etkileri gösteren bozucu kuvvet [N]
$F_g(t)$	t periyodundaki yatay olmayan yollarda sürüş sırasında yerçekimi nedeniyle oluşan kuvvet (tırmanma kuvveti – hill climbing force) [N]
$F_r(t)$	t periyodundaki yuvarlanma sürtünmesi (rolling friction) kuvveti [N]
$F_t(t)$	t periyodundaki toplam tahrik kuvveti (çekiş kuvveti) [N]
g	Yerçekimi katsayısı [m/s^2]
h	Elektrikli çöp kamyonları kümesi
i, j	Çöp konteynerleri kümesi.
$m_v(t)$	t periyodundaki araç ağırlığı [kg]
N	Yeterince büyük bir pozitif sabit
$Mes_{i,j}$	i . ve j . çöp konteynerleri arasındaki mesafe [km]
$P_v(t)$	t periyodundaki mekanik güç talebi [W]
$P_t^{\zeta K}$	t periyodundaki çöp kamyonunun elektriksel güç talebi [W]

TET	İlgili rotada bütün elektrikli çöp kamyonlarının toplam enerji tüketimi [kW saat]
$v(t)$	t periyodundaki araç hızı [m/s]
T^j	Elektrikli çöp kamyonunun yolculuk başlangıç zamanı [saat]
$x_{i,j,h}$	İkili sayı sistemi değişkeni (binary variable): i . ve j . çöp konteynerleri aynı aracın rotasındaki üst üste gelen konteynerler ise 1, aksi durumda 0
$y_{i,h}$	İkili sayı sistemi değişkeni (binary variable): h elektrikli çöp kamyonu i . çöp konteynerinden ayrılırken 1
α	Yolun eğimi [rad]
ρ	Hava yoğunluğu [kg/m ³]
η_d	Araç aktarma organları (drivetrain) verimi
ΔT	Zaman aralığı süresi [saat]



KISALTMA LİSTESİ

BET	Birim Enerji Tüketimi
BMW	Bayerischen Motoren Werke
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EPA	United States Environmental Protection Agency
GAMS	Generic Algebraic Modeling System
GPS	Global Positioning System
IP	Integer Programming
MILP	Mixed Integer Linear Programming
PSO	Particle Swarm Optimization
TET	Toplam Enerji Tüketimi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yüzdesel atık üretim dağılım grafiği	9
Şekil 2.2 Katı Atık Ana Plan Projesi kapsamında Türkiye'nin atık kompozisyonu.....	11
Şekil 2.3 Atık hiyerarşisi	11
Şekil 2.4 Camların geri kazanım prosesi.....	13
Şekil 2.5 Depo gazı'ndan enerji üretimi yapan bir tesisin genel işleyişi	14
Şekil 2.6 Kentsel Katı Atıklar ile ilgili klasik bir yakma tesisinin proses şeması.....	15
Şekil 2.7 İstanbul Avrupa Yakası için bulunan aktarma istasyonları	16
Şekil 2.8 2016 yılı için belediye atıklarının dağılımı	16
Şekil 2.9 Yıl bazında belediyelerin topladıkları atık miktarları ve bunların içerisinde düzenli depolamanın oranı.....	17
Şekil 2.10 Yıl bazında düzenli depolama vasıtası ile hizmet verilen belediye sayısı ve bunların yüzdesel nüfus oranı	17
Şekil 2.11 Dünya çapında bertaraf edilen atık miktarı.....	18
Şekil 3.1 Elektrikli araç örnek sürüş modeli	20
Şekil 4.1 Örnek veri toplama bölgesinde çöp konteynerlerinden katı atık toplama verisi elde edilmesi için izlenen rota.....	29
Şekil 4.2 Örnek veri toplama bölgesinde çöp konteynerlerinin konumları	29
Şekil 4.3 Örnek veri toplama sürecinde çöp konteynerlerinin doluluk oranları.....	31
Şekil 4.4 Örnek veri toplama rotası hız-zaman grafiği	31
Şekil 4.5 Örnek veri toplama rotası rakım-zaman grafiği	32
Şekil 4.6 Örnek veri toplama rotası Garaj ile 1. konteyner arası hız-zaman grafiği.....	32
Şekil 4.7 Örnek veri toplama rotası 5. ve 6. konteynerler arası hız-zaman grafiği	33
Şekil 4.8 Örnek veri toplama rotası 35. ve 36. konteynerler arası hız-zaman grafiği.....	33
Şekil 4.9 Durum-2 için araç toplam kütlesi değişimi.....	34
Şekil 4.10 Durum-1 için elektrikli çöp kamyonu elektriksel güç talebi değişimi.....	35
Şekil 4.11 Durum-2 için elektrikli çöp kamyonu elektriksel güç talebi değişimi.....	35
Şekil 4.12 Durum-1 için elektrikli çöp kamyonu enerji tüketimi değişimi	36
Şekil 4.13 Durum-2 için elektrikli çöp kamyonu enerji tüketimi değişimi	36
Şekil 4.14 Durum-1 ve Durum-2 için elektrikli çöp kamyonu enerji durumu değişimleri	37

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Atık tipleri, kaynakları ve bu kaynaklardan oluşan atık türleri.....	8
Çizelge 2.2 Yüzesel atık üretim dağılım grafiğinin oluşturulmasında kullanılan veri.....	9
Çizelge 2.3 Belediyelerin çeşitli kriterlere göre atıklarla ilgili durumu.....	10
Çizelge 2.4 Gelişmişlik kriterine göre Atık Yönetim prensipleri bazında bertaraf edilen atık miktarları.....	18
Çizelge 2.5 Atık Yönetimi Hiyerarşisinde bulunan yöntemlere göre uygulanabilecek teknolojik opsiyonlar.....	19
Çizelge 4.1 Örnek veri toplama bölgesinde çöp konteynerleri detaylı bilgileri.....	30
Çizelge 4.2 Çöp kamyonu dinamik sürüş modeli parametreleri.....	34
Çizelge 4.3 İlgili basitleştirilmiş örnek çöp toplama bölgesi mesafe verileri.....	38
Çizelge 4.4 İlgili basitleştirilmiş örnek çöp toplama bölgesi mesafe verileri.....	39
Çizelge 4.5 x_i, j, h değişkeninin aldığı sonuçlar.....	40
Çizelge 4.6 y_i, h değişkeninin aldığı sonuçlar.....	41

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİNDE ELEKTRİKLİ ÇÖP KAMYONU FİLOSUNUN ROTA OPTİMİZASYONU

Oğuzhan ERDİNÇ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY

Katı atık yönetimi dünyada özellikle çevresel farkındalığın artması ile birlikte çok daha önemli bir konuma gelmiştir. Katı atık yönetimi sürecinin birçok farklı aşaması bulunmaktadır. Fakat burada en önemli aşamalardan birisi katı atıkların toplanması ve taşınması sürecidir. İlgili süreç içerisinde katı atıkların toplanmasını sağlayan çöp kamyonları ise ulaşım sektörünün diğer paydaşları gibi bir konvansiyonel yakıt tüketicisidir. Burada özellikle bahsi geçen konvansiyonel yakıt tüketimi çevresel açıdan oldukça önemli olumsuz sonuçlarında getirmektedir ve ulaşım sektörü bu tüketimde en büyük paya sahiptir. Ulaşım sektörünün farklı alanlarında bu açıdan alternatif yakıtlı araçların kullanımı ön plana çıkmaktadır ve burada elektrikli araçlar günümüzün en önemli yatırım alanlarından biri konumundadır.

Bu bağlamda, bu tez çalışmasında elektrikli çöp kamyonları için bir rota optimizasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon probleminin çözümünde literatürde ve hatta endüstride sıklıkla kullanılan Generic Algebraic Modeling System (GAMS) yazılımından yararlanılmıştır. Konvansiyonel yakıtlı çöp kamyonlarının rota optimizasyonu için literatürde farklı çalışmalar mevcuttur. Fakat elektrikli çöp kamyonlarını dikkate alan bir çalışma bilgimiz dâhilinde mevcut değildir. Ayrıca literatürde detaylı şekilde ilgili çöp toplama alanı bilgilerine ulaşmak kolay değildir. Bu açıdan Bakırköy Belediyesi hizmet alanı içerisinde bir bölgede gerçek saha ölçümleri vasıtasıyla veri elde edilmiş ve buna bağlı olarak elektrikli çöp kamyonları için daha

sonra referans alınabilecek bir birim enerji tüketimi değeri elde edilmiştir. Bu değerin gerçekliği mukayeseli olarak ortaya konulmuştur.

Bunun yanı sıra optimizasyon yaklaşımının sınanması aşamasında gerçek yol bilgisi verileri girdi olarak kullanılan veriye entegre edilmiş ve daha gerçekçi bir yapıda sistem denemesi gerçekleştirilmiştir. Bahsi geçen optimizasyon algoritmasının sağladığı fayda baz durumla mukayeseli olarak gerçek veriler ışığında değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çöp kamyonları, elektrikli araçlar, katı atık yönetimi, rota optimizasyonu



**ROUTE OPTIMIZATION OF ELECTRIC GARBAGE TRUCK FLEET IN
SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**

Oğuzhan ERDİNÇ

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Kaan YETİLMEZSOY

Solid waste management has gathered a more important position together especially with the increasing environmental awareness in the world. The solid waste management has different steps. However, one of the most important steps here is the collection and transportation of solid wastes. The garbage trucks that provide the collection of solid wastes within the mentioned process is a conventional fuel consumer similar to the other parties of transportation area. Here, specifically the mentioned conventional fuel consumption brings significantly important adverse results from environment point of view and the transportation area has the greatest share in this consumption. The usage of alternative fuels based vehicles in different areas of transportation sector comes into prominence and herein the electric vehicles are one of the most important areas of investment.

In this manner, in this thesis a route optimization study have been conducted for electric garbage trucks. Generic Algebraic Modeling System (GAMS) that is widely used in the literature and even in the industry has been employed for solving the optimization problem. Different studies exist in the literature for the route optimization of conventional fuels based garbage trucks. However, to our best knowledge, no studies exist that consider the electric garbage trucks. Besides, it is not easy to reach the detailed garbage collection area information in the literature. In this

manner, data have been obtained by real field measurements in a region within the service area of Bakirkoy Municipality and accordingly an unit energy consumption value that can be considered as a reference in the future has been obtained. The reality of this value has been presented by comparative analyses.

Besides, real road information data have been integrated to the data used as input while assessing the optimization approach and the system analyses have been conducted in a more realistic concept. The benefits that the mentioned optimization algorithm offers have been discussed comparatively using real data.

Keywords: Electric vehicles, garbage trucks, route optimization, solid waste management



1.1 Literatür Özeti

Katı atıklar insan hayatının rutin sürecinin doğal bir sonucudur. Katı atıkların oluşumundan itibaren toplanması ve en son olarak bertaraf edilmesi aşamalarının ara süreçlerinin tamamı belirli kurallar dâhilinde dikkate alınmaktadır [1]. Katı atıkların toplanması, bu sürecin içerisinde kapladığı 65-95%lik maliyet oranı ile önemli bir hizmet sürecidir [2]. Bu bağlamda katı atık toplanmasının yönetimi geçmişten beri önemli bir kavram olarak karşımızdadır ve bu sürecin iyileştirilmesi için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar arasında özellikle konvansiyonel yakıtlı katı atık toplama araçlarının rota yönetimi önemli bir yere sahiptir.

İnsanoğlunun en önemli ihtiyaçlarından biri olan enerji alanında ise dünya, gelecek için farklı açılardan önemli tehlikeler ile karşı karşıyadır. Günümüzde, dünya enerji talebinin %85'e yakın bir kısmı petrol, kömür ve doğalgaz gibi konvansiyonel enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Bunun yanı sıra, dünyadaki enerji ihtiyacı ciddi oranlarda artış göstermekte ve bu durum da konvansiyonel yakıt ihtiyacını giderek arttırmaktadır. Öte yandan, bahsi geçen konvansiyonel yakıtların rezervleri dünya üzerinde sınırlı olup, artan enerji ihtiyacına bağlı olarak hızla tükenmektedir. Yakıtların rezervlerindeki bu potansiyel azalma, gelecekteki üretim/tüketim dengesini tehlikeye düşürmektedir. Konvansiyonel yakıtların rezervlerinin belirli ülkelerin elinde olması ve bu durumun ülkemiz de dâhil olmak üzere birçok ülke için dışa bağımlılığı önemli oranda arttırıcı etkisinin bulunması da, özellikle günümüz dünyasının politik ve

ekonomik dengeleri içerisinde dikkate alınması gereken önemli bir husustur. Bütün bunların yanı sıra konvansiyonel yakıtların kullanılması, sera gazı salınımının önemli oranda artmasına ve buna bağlı olarak küresel ısınma gibi bütün dünyayı etkileyebilecek ciddi sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Emisyon salınımı azaltılmaz ise, yakın gelecekte küresel ısınma nedeni ile birçok ülkenin arazi ve iklim koşullarının değişmesi gibi durumlar ile karşılaşılması mümkündür. Bu açıdan konvansiyonel enerji kaynaklarına olan bağımlılığı düşürerek küresel sera gazı salınımını azaltmak için Kyoto Sözleşmesi ortaya çıkartılmıştır. Bu durum hem gelişmiş, hem de gelişmekte olan ülkeler için geçerlidir.

Günümüzde enerji açısından karşı karşıya olduğumuz yukarıda bahsi geçen sorunlara çözümler getirebilmek açısından, uzun dönemli sürdürülebilir gelişme sağlayabilecek aksiyonların hızlı ve verimli bir şekilde hayata geçirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sürdürülebilir bir enerji sistemi; yerel kaynakların etkin bir şekilde kullanıldığı, maliyet bakımından kabul edilebilir uygunlukta, güvenilir ve çevre dostu bir enerji sistemi olarak tanımlanabilir. Burada sürdürülebilir bir enerji sistemi oluşturmak açısından özellikle enerji tüketiminde önemli bir payı olan ulaşım sektöründe alternatif yakıtlı araçların kullanımı üzerine son yıllarda artan oranda araştırma ve geliştirme faaliyetleri ve endüstriyel üretim çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda, özellikle farklı türlerde elektrikli taşıtların yaygınlaştırılması açısından önemli çalışmalar mevcuttur. Örneğin; Mercedes, BMW, Renault, vb. dünyada önde gelen binek araç üreticileri birçok elektrikli araç modelini piyasaya sürmüşlerdir.

Yukarıda bahsedildiği üzere elektrikli araçlar, normalde başlıca fosil yakıt tüketicisi olan ulaşım sektöründeki yeni gelişmeler ile birlikte son zamanlarda daha büyük önem kazanmıştır. Elektrikli araçlar; binek otomobiller, otobüsler, hizmet araçları (kamyon, forklift, vb.) ve hafif araçlar (motosiklet, vb.) şeklinde birçok farklı formlarda karşımıza çıkmaktadır. Fakat özellikle bahsi geçen hizmet araçlarının elektrikli hale getirilmesi de özellikle çevresel farkındalığın artması ile birlikte araştırılan bir konu haline gelmiştir. Bu bağlamda, katı atık toplama sürecinde rol alan araçların elektrikli hale getirilmesi de günümüzde ilgi çekici bir hale gelmiştir.

Hem konvansiyonel yakıtlı hem de elektrikli katı atık toplama araçları üzerine gerçekleştirilen birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Burada özellikle üzerinde durulan bir konu olan araç rotalaması çalışmalarının temeli, literatürde yer alan en bilinen problemlerden biri olan [2] Gezgin Satıcı Problemine (Traveling Salesman Problem) dayanmaktadır. Bahsi geçen Gezgin Satıcı Problemi, farklı mesafelerdeki müşterilerinin tamamını toplamda asgari yolu kat ederek ziyaret etmesi gereken bir satıcının ilgili müşteri ziyareti profilinin belirlenmesine dayanmaktadır. Eğer burada tek bir araç yerine birden fazla aracın oluşturduğu bir araç filosu söz konusu ise de bu durum Çoklu Gezgin Satıcı Problemine (Multiple Traveling Salesman Problem) benzetilerek ortaya konulmaktadır. Bahsi geçen Çoklu Gezgin Satıcı Problemi, farklı mesafelerdeki müşterilerinin tamamını toplamda asgari yolu kat ederek ziyaret etmesi gereken bir satış ekibinin ilgili müşteri ziyareti profilinin belirlenmesine dayanmaktadır [3]. Çoklu Gezgin Satıcı Problemine dayanarak oluşturulan araç rotalama problemleri de farklı şekillerde ele alınabilmektedir. Eğer araç kapasiteleri dikkate alınıyor ve ilgili filo içerisinde yer alan bütün araçların kapasiteleri aynı olarak kabul ediliyor ise bu probleme Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (Capacitated Vehicle Routing) adı verilmektedir [4]. Burada eğer filo içerisindeki araçların kapasiteleri farklı ise bu durum Heterojen Araç Filosu Rotalama Problemi (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem) olarak tanımlanmaktadır [5].

Konvansiyonel yakıtlı katı atık toplama araçlarının rota yönetimi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar arasında [6], Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) destekli olarak bir evsel katı atık yönetim sisteminin modelini en iyi atık toplama rotalarının bulunması amacıyla dikkate almıştır. Bu çalışmada İstanbul'daki dört ilçede toplam 220 km'lik bir yol tabanlı bir durum analizi gerçekleştirilmiştir. Apaydın vd. [7] tarafından gerçekleştirilen çalışmada Route View Pro yazılımı kullanılarak katı atık toplama araçları için CBS tabanlı bir en iyi rota belirleme hedefli bir yaklaşım dikkate alınmış olup Trabzon ili için durum analizi gerçekleştirilmiş ve önerilen yaklaşım ile birlikte aynı miktarda katı atığın toplanması için gerekli rotanın %20 oranında azaltılmış olduğu belirtilmiştir. Apaydın [8] tarafından gerçekleştirilen Trabzon odaklı bir sonraki çalışmada ise, ilgili en iyi rota belirleme işleminin toplam kat edilen mesafesinde

%18'lik, toplama süresinde ise %22 bir azalma sağladığı raporlanmıştır. Apaydın ve Gonullu [9] tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada yine Trabzon ili için gerçekleştirilen daha detaylı bir en iyi rota belirleme problemi ışığında farklı koşullarda atık toplama araçlarının toplam kat ettiği mesafelerde %4-59, toplam atık toplama zamanında ise %14-65 arasında tasarruf sağlandığı, bu durumun da klasik yaklaşıma göre maliyetlerde yaklaşık %24'lük azalma meydana getireceği aktarılmıştır. Güvez, Dege, Eren [10] tarafından gerçekleştirilen çalışmada bir tıbbi atık toplama sürecinin içerisinde araçlar için en iyi rotanın belirlenmesi problemi tamsayılı programlama (Integer Programming – IP) yaklaşımı ile modellenmiştir. Kırıkkale ili için gerçekleştirilen örnek durum analizi sonucunda oluşturulan yaklaşımın araçların aylık ortalama yol mesafesini %20 civarında azalttığı belirtilmiştir. Demir vd. [11] tarafından gerçekleştirilen çalışmada hiyerarşik bir yaklaşım önerilmiş, hiyerarşinin üst katmanlarında katı atık yönetimi süreci için teknolojik yatırımlar ve bölgesel kapasite ve işlem sıklığı gibi hususların planlanması gerçekleştirilmiştir. En alt katmanda ise katı atık toplama araçları için en iyi rota belirleme problemi ele alınmış ve Ankara Yenimahalle Belediyesi kapsamı için örnek bir durum analizi gerçekleştirilmiştir. Katı atık toplama araçları rota en iyileştirmesi probleminin Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) yaklaşımı ile çözüldüğü ve gerçek zamanlı atık miktarı bilgisini sürekli olarak bir merkeze aktaran akıllı çöp konteynerlerinin dikkate alındığı bir çalışma Ref. [12]'de yer almaktadır. Katı atık toplama sürecinin Karışık Tamsayılı Programlama (Mixed Integer Programming) yaklaşımı ile modellenmesinin dikkate alındığı ve buna göre elde edilen model vasıtasıyla araç rotası en iyileştirme probleminin gerçek verilere dayalı bir durum analizi dikkate alınarak çözüldüğü bir çalışma Ref. [13]'te sunulmuştur. Akıllı katı atık konteynerlerinin dikkate alındığı bir rota oluşturma probleminde üç farklı işletimsel yaklaşımın sunulduğu bir çalışma [14]'te yer almaktadır. Çok periyotlu olarak modellenen bir katı atık yönetimi çevrimi içerisinde araç rotası en iyileştirmesi sürecini de bir parça olarak dikkate alan ve Meksika'da bir belediye hizmet alanı için durum analizleri sonuçlarını ortaya koyan bir çalışma [15]'te gösterilmektedir. Geri-izleme arama algoritması (backtracking search algorithm) tabanlı olarak çözümü gerçekleştirilen bir katı atık toplanması ve araç en iyi rota belirlenmesi problemi [16]'da önerilmiştir. Bahsi geçen yaklaşımın baz alınan klasik bir

yönteme göre araçların kat ettiği toplam mesafeyi ortalama %36.78, yakıt tüketimini %50, yakıt maliyetini %47.77 ve karbondioksit emisyonunu %44.68 oranında azalttığı belirtilmiştir. Bu bağlamda doğrudan araç en iyi rota belirlenmesi problemini tek başına dikkate almasa da genel katı atık yönetimi konsepti içerisinde farklı ebatlarda bir parça olarak dikkate alan ve burada belirtilmeyen daha birçok çalışma da literatürde yer almaktadır.

İlgili katı atık toplama araçlarının elektrikli versiyonları ise hem problemin amacı hem de yapısı bakımından farklı dinamiklere sahiptir. Bu bağlamda yapılan literatür taramasında [17]'deki gibi hibrit bir elektrikli katı atık toplama aracının iç dinamiklerinin modellendiği ve enerji yönetiminin gerçekleştirildiği örnek bir çalışmaya benzer olarak gerçekleştirilen çalışmalar dışında özellikle elektrikli katı atık toplama araçlarının en iyi rotasının belirlenmesi üzerine odaklanmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. İlgili elektrikli katı atık toplama araçları bir araç filosu olarak düşünülür ise farklı amaçlı olarak kullanılan elektrikli araçların rota en iyileştirmesi üzerine bazı örnek çalışmalar [18]-[20]'de yer almaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Önerilen çalışma kapsamında, örnek bir belediyenin hizmet alanında görev alan elektrikli bir katı atık toplama ve taşıma araç filosu için bir rota en iyileştirmesi çalışması gerçekleştirilmiştir. İlgili çöp kamyonunun sürüş dinamiklerinden kaynaklanan mekaniksel ve dolayısıyla elektriksel güç talebinin modellenmesi için “elektrikli araç sürüş modelinden” yararlanılmıştır. Buradaki güç talebi değişiminin elektrikli çöp kamyonunun enerji durumu üzerine etkisi “elektrikli araç deşarj modeli” vasıtasıyla irdelenmiştir. Ayrıca, ilgili araçların hizmet bitiminde park noktasına vardıklarında şarj edilmeleri işlemi ise “elektrikli araç şarj modeli” vasıtasıyla ele alınmıştır. En iyileştirme problemi kapsamında, çeşitli hizmet kısıtları (çöplerin tamamının belirli bir zaman içerisinde toplanması vb.) eklenerek problemin gerçekçiliği ve çok yönlülüğü arttırılmıştır. Probleme ait amaç fonksiyonu (objective function) olarak ise “ilgili araçların ilgili rota içerisindeki elektrik enerji tüketimlerinin toplamının minimize edilmesi”, yani dolaylı olarak “park alanındaki şarj gereksiniminin ve dolayısıyla bu

elektriksel enerji talebinin karşılanması için gereken enerjinin karşılanması sırasında fosil yakıt kullanımı tabanlı çevresel etkilerin minimize edilmesi” dikkate alınmıştır. Çalışmada, Karışık Tamsayılı Lineer Programlama (Mixed Integer Linear Programming–MILP) yaklaşımından faydalanılmıştır. En iyileştirme probleminin çözümü için ise Generic Algebraic Modeling System (GAMS) yazılımı ve ticari olarak mevcut CPLEX çözücüsü kullanılmıştır. Problemden girdi olarak kullanılan gerçek veriler (örn: ilgili çöp ağırlıkları, ilgili çöp konteynerlerinin konumu ve aralarındaki yollar hakkında mesafe, eğim, çöp kamyonu teknik özellikleri vb.) Bakırköy Belediyesi hizmet alanından saha ölçümü vasıtasıyla temin edilmiştir.

1.3 Hipotez

Önerilen bu çok disiplinli tez çalışması, sürdürülebilir enerji ve çevre yönetimi açısından elde edilecek potansiyel faydaları, Çevre Mühendisliği alanında alternatif enerjili elektrik sistemlerinin kullanımını ve mevcut çevresel sorunlara en iyileştirme bazlı çözüm stratejilerinin geliştirilmesini önemli ölçüde yaygınlaştıracakı düşünülmektedir. Literatürde elektrikli araçlar tabanlı katı atık toplama filolarının en iyi rota belirlemesi şeklinde benzer bir problem yaklaşımı mevcut değildir ve bu bağlamda literatüre de katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Bu hipotez ışığında tez çalışmasının bundan sonraki kısımları şu şekilde bir içeriğe sahiptir: Bölüm 2’de bahsi geçen probleme ait matematiksel altyapı sunulmuştur. Bölüm 3 kapsamında belirtilen problemin bir durum analizi vasıtasıyla elde edilen sonuçlara ve ilgili sonuçların irdelenmesine yer verilmiştir. Bölüm 4’te ise çalışmanın kapsamı ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş olup çalışmanın ne tür alanlardaki gelecek çalışmaları ile ilerletilebileceği aktarılmıştır.

BÖLÜM 2

KENTSEL KATI ATIKLAR

Atık genel hali ile insan aktivitesi sonucunda oluşan, birincil kullanımdan sonra atılarak istenmeyen ya da geri kazanılamayan bileşen olarak tanımlanabilir. Atık tipleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

Biyolojik Olarak Çözünebilen Atıklar: Yeşil atıklar, kâğıt (ayrıca geri kazanılabilir), yemek artıkları ve mutfak kaynaklı atıklar

Inert Atıklar: İnşaat ve yıkımdan kaynaklanan atıklar (taş, kaya, moloz vb.)

Kompozit Atıklar: Oyuncak vb. plastik atıklar, Tetra paketler (süt kutusu vb.)

Geri Kazanılabılır Materyaller: Belirli tür plastikler, cam, kâğıt, karton, plastik, teneke

Atık tipleri, kaynakları ve bu kaynaklardan oluşan atık türleri ile ilgili genel durum Çizelge 2.1’de gösterildiği gibidir.

Atıkların ve toplamadan bertarafına kadar atık yönetim süreçlerinin, yerel yönetimlerin sorumluluk ve ilgi alanına dâhil olmasından sonra, “Kentsel Katı Atık” kavramı hayatımıza girmiştir. Kentsel Katı Atık; United States Environmental Protection Agency’nın (EPA) tanımına göre paketlenme malzemeleri, kıyafetler, şişeler, yemek artıkları, kâğıt ve kartonlar, elektronik atıklar olarak tanımlanmaktadır. Bu atıklara çöp ya da artık da denilmektedir. Bu atıkların oluşum kaynakları olarak evler, okul ve hastane gibi hizmet binaları ve sanayi tesisleri, yemek servis eden noktalar vb. ticari-endüstriyel kaynaklar gösterilebilir. Bu tanım, atık çamurları, endüstriyel süreçlerden

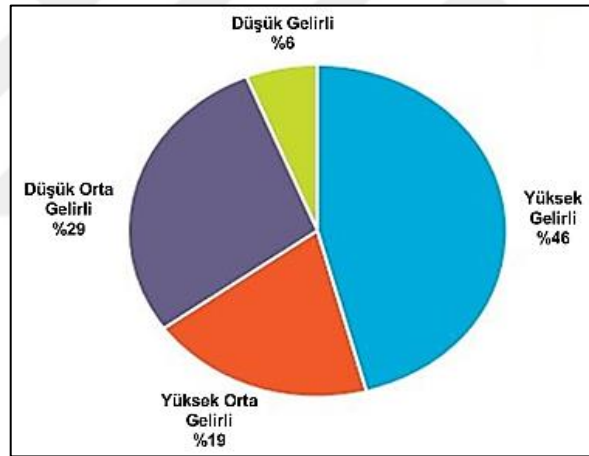
oluşan atıkları, hafriyat atıklarını ve tarımsal atıkları kapsamamaktadır. Kentsel Katı Atık, muhtevası ve miktarı nedeniyle oluştuğunda bir disiplin yaklaşım ile yönetilmesi gereken, özellikle belediyeler için çok önemli olan bir bütündür.

Çizelge 2.1 Atık tipleri, kaynakları ve bu kaynaklardan oluşan atık türleri

Atık Tipi	Atık Kaynakları	Katı Atıkların Türleri
Evsel	Konutlar	Yemek artıkları, kağıt, karton, tekstil ürünleri, deri, cam, metal türleri (teneke kutu vb.), özel tip atıklar (bataryalar, elektronik, lastik vb. araç gereçleri), evsel tehlikeli atıklar (boya, madeni yağ, temizlik ürünleri), elektronik atıklar (elektronik eşyalar)
Endüstriyel	Üretim tesisleri, Organize Sanayi Bölgeleri, Fabrikalar, Şantiyeler, Santraller	Paketleme atıkları, temizlik vb. hizmetlerden oluşan atıklar, yemek artıkları, inşaat ve yıkımdan oluşan atıklar, tehlikeli atıklar, elektronik atıklar, tehlikeli atıklar
Ticari	Mağazalar, restoranlar, oteller, marketler, ofis vb. iş yeri tipleri	Kâğıt, karton, yemek artıkları, cam, metal türleri, tehlikeli atıklar, elektronik atıklar
Kurumsal	Okullar, hastaneler (tıbbi atıklar harici), hükümet binaları ve hizmet binaları, havaalanları	Kâğıt, karton, yemek artıkları, cam, metal türleri, tehlikeli atıklar, elektronik atıklar
İnşaat ve Yıkıntı Atıkları	İnşaat şantiyeleri, yol yapım, onarım işleri, bina yıkımları	Ahşap, metal atıklar, çelik, beton, tuğla vb.
Belediye Hizmetleri	Yol yıkama, renovasyon, şehir planlama, parklar ve sahiller, diğer ortak kullanım alanları, atıksu ve su arıtma tesisleri	Yollardan gelen muhtelif atıklar, çim ve ağaç budamadan oluşan atıklar, park ve bahçelerden oluşan genel atık tipleri, atık çamurlar
Proses Atıkları	Üretim tesisleri, rafineriler, kimyasal tesisler, santraller, mineral çıkarım işlemleri	Endüstriyel proses atıkları, hurda malzemeler, spesifikasyonları karşılamayan ürünler
Tıbbi Atıklar	Hastaneler, klinikler, sağlık kuruluşları	Enfekte atıklar (bandaj, iğne, eldiven, numune kapları, kan ve vücut sıvıları), kanser hastalarına uygulanan işlemlerden çıkan radyoaktif atıklar, eczacılık ile ilişkili atıklar
Tarımsal	Ekim yerleri, bağ, bostan, mandıra, besi yeri, çiftlikler	Bozuk yiyecekler, tarımsal atıklar (kahve artığı, pamuk sapı vb.), tehlikeli atıklar (pestisidler vb.)

Ayrıca atıklar, sektör olarak değerlendirdiğimizde küresel ısınma için sera gazları üreticisi olarak başı çeken konumlardan birindedir. İnsan kaynaklı olarak nitelendirilen sera gazlarının %3'ünün 2004 yılı itibari ile atık ve atık yönetimi süreçlerinden müteşekkil meydana geldiği tahmin edilmektedir.

Yapılan bir çalışmada [21] dünyada hâlihazırda üretilen yıllık Kentsel Katı Atık'ın yaklaşık 1,3 milyar ton olduğu saptanmıştır. Bu miktarın mevcut gelişmelere bakıldığında 2025'te yıllık 2,2 milyar ton'a ulaşması beklenmektedir. Aynı çalışmaya göre, kişi başına günlük üretilen atık miktarının 1,2 kg olduğu belirtilmiştir. Bu miktarın 2025'te 1,42 kg seviyesine ulaşması beklenmektedir. Bu çalışma kapsamında ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeylerine göre oluşturulmuş yüzdesel atık üretim dağılım grafiği ve bu grafiğin oluşturulmasında kullanılan yaklaşım Şekil 2.1 ve Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Yüzdesel atık üretim dağılım grafiği

Çizelge 2.2 Yüzdesel atık üretim dağılım grafiğinin oluşturulmasında kullanılan veri

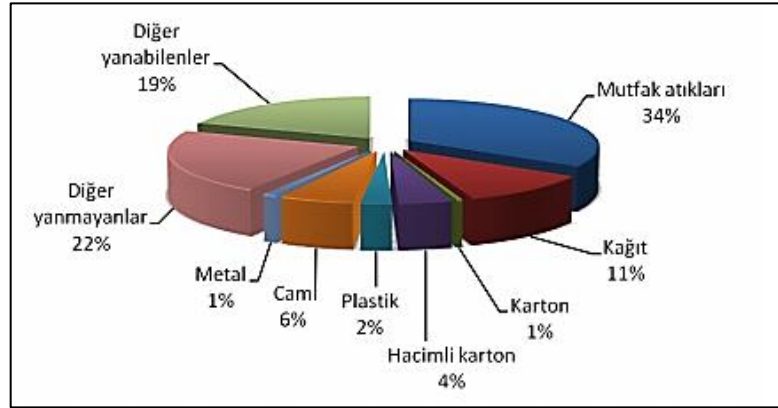
Bölge	Mevcut Veri		
	Toplam kentsel nüfus [milyon]	Kentsel atık üretimi	
		Kişi başına [kg/kişi/gün]	Toplam [ton/gün]
Düşük gelirli	343	0,6	204.802
Düşük orta gelirli	1.293	0,78	1.012.321
Yüksek orta gelirli	572	1,16	665.586
Yüksek gelirli	774	2,13	1.649.547
Toplam	2.982	1,19	3.532.256

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2016 yılı için yapılan araştırmada belediyelerin topladığı ortalama kişi/gün atık miktarı 1,17 kg olarak hesaplanmıştır. Çalışmaya konu olan Bakırköy ilçesinin bağlı olduğu İstanbul ili için ise belediyelerin topladığı ortalama kişi/gün atık miktarı 1,30 kg'dır. Tüm belediyelerden toplanan verilere göre 2016 yılı itibari ile atık hizmeti veren 1390 belediyenin toplamda 31,6 milyon ton atık topladığı bu verilerde belirtilmiştir. İstanbul ili için ise 2016 yılı için toplanan atık miktarı 7.035.246 ton olarak belirtilmiştir [22]. 2012-2016 arasında belediyelerin çeşitli kriterlere göre atıklarla ilgili durumu TÜİK tarafından Çizelge 2.3 gösterilmiştir [23].

Çizelge 2.3 Belediyelerin çeşitli kriterlere göre atıklarla ilgili durumu

	2012	2014	2016
Toplam belediye sayısı	2 950	1 396	1 397
Atık hizmeti verilen belediye sayısı	2 894	1 391	1 390
Atık hizmeti verilen nüfusun toplam nüfus içindeki oranı (%)	83,4	91,2	92,5
Atık hizmeti verilen nüfusun belediye nüfusu içindeki oranı (%)	99,0	97,7	98,6
Toplanan belediye atık miktarı (Bin ton)	25 845	28 011	31 584
Kişi başı ortalama belediye atık miktarı (Kg/kişi-gün)	1,12	1,08	1,17
Bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve atık miktarı (Bin ton)			
Belediye çöplüğüne gönderilen	9 771	9 936	9 095
Düzenli depolama tesisine gönderilen	15 484	17 807	19 338
Açıkta yakarak	105	4	10
Dereye/göle/araziye dökerek	135	32	42
Gömerek/dolgu yaparak	156	67	7
Geri kazanım tesislerine gönderilen	193	164	3 092

2006'da yapılan Katı Atık Ana Plan Projesi kapsamında Türkiye'nin atık kompozisyonu Şekil 2.2'de gösterildiği gibidir [24].

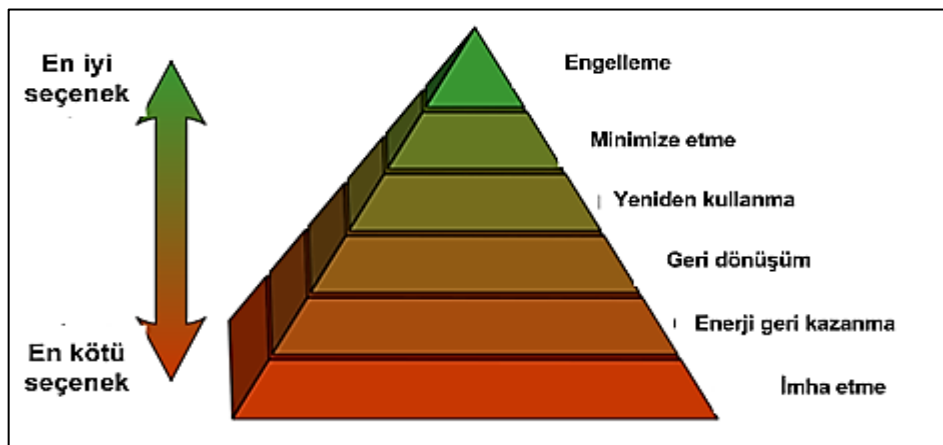


Şekil 2.2 Katı Atık Ana Plan Projesi kapsamında Türkiye'nin atık kompozisyonu

2.1 Kentsel Katı Atık Yönetim Süreci

Sürdürülebilir Çevre Yönetimi'nin amacı; atık oluşumunu azaltmak, çıkan atıkların rasyonel ve efektif olarak kullanılarak bu maddelerin başka bir sektörün hammaddesi olarak tekrar kullanılabilir hale getirmektir yani oluşan atıklardan maksimum fayda ve çıktı sağlamaktır.

Bu amaç kapsamında, genel kabul görmüş "Atık Hiyerarşisi" Şekil 2.3'de görüldüğü gibidir [25].



Şekil 2.3 Atık hiyerarşisi

Atık Hiyerarşisi'nin düzgün ve uygun uygulamaları vasıtası ile çeşitli faydalar elde edilebilir. Bu faydalar; sera gazı salınımını artıracak işlemlerin azaltılması ya da önlenmesine yardımcı olmak, kirleticileri azaltmak, yeşil teknolojiler ile alakalı yatırım ve ilginin artması ile potansiyel yeni istihdam olanakları yaratmaktadır.

Atıklar üretilmelerinden, kullanımlarına ve kullanımlarından atık haline gelmelerine kadar olan süreçlerin tümünde çeşitli ölçeklerde çevresel etkilere sahiptir. Atık hiyerarşisi ile bu çevresel etkilerin olumlu manada artırılması, olumsuz etkilerin minimize edilmesi hedeflenmektedir.

Bu noktada yerel yönetim ve sorumluların izlemesi gereken çeşitli adımlar vardır.

Bunları kısaca özetlemek gerekirse;

-Uygun ve kolay uygulanabilir bir Atık Yönetim Stratejisi oluşturulmalıdır.

-Atık tipleri için kaynakta ayrı toplama ve sınıflandırma amacıyla önlemler alınmalıdır.

-Atık sınıflarına ve değerlendirilme şekillerine göre uygun atık prosesleri oluşturulmalıdır.

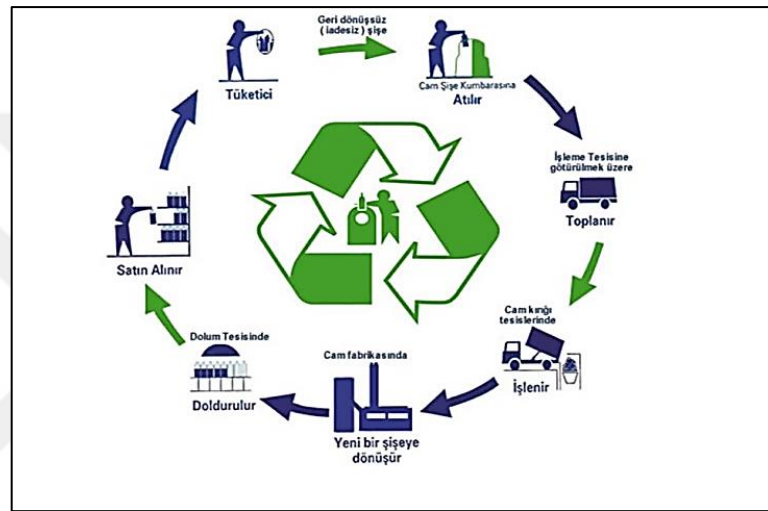
-Yeterli bertaraf ve arıtım tesisleri ve prosesleri inşaa edilmeli ve oluşturulmalıdır.

Atık Hiyerarşisinde yer alan adımların kapsamını genişletmek gerekirse, adımlar şu şekilde özetlenebilir [26]:

-Kaynakta Azaltma: Çeşitli ekonomik yaptırımlar vb. yöntemlerle halkı ve atık kaynağı olan tüm birim, hizmet ve kuruluşları atık oluşumunu azaltmaya ya da atıkları kaynağında ayırmaya teşvik eden uygulamalardır. Buna örnek olarak Amerika'da çeşitli eyaletlerde gerçekleştirilen Attığın Kadar Öde (Pay as You Throw – PAYT) projesi örnek gösterilebilir. Bu proje kapsamında ürettikleri atık miktarına göre çeşitli kademelerde ücret yansıtılan bölgelerin atık oluşum miktarlarında ortalama %42 azalma gerçekleştiği tespit edilmiştir [27].

-Geri Kazanım: Atık tipine göre ayrılmış çöp tenekesi, cam kumbarası gibi hizmetler, belediyeler tarafından verilen atık karşılığı hizmet ve iade/depozito, materyal geri kazanım tesisleri gibi uygulamalar vasıtasıyla yürütülmektedir. Bu sayede birçok madde geri dönüştürülerek ekonomik katma değer elde edilmekte ve başka proseslere hammadde olarak girdi sağlanmaktadır, bu sayede atık oluşum miktarı azaltılarak ve oluşan atıklar daha iyi şekilde değerlendirilerek olumsuz çevresel etkiler azaltılmaktadır.

Örnek olması açısından camların geri dönüşüm süreci Şekil 2.4'te gösterilmiştir [28].



Şekil 2.4 Camların geri dönüşüm süreci

-Kompostlaştırma: Belediye hizmetleri sonucu toplanan organik içeriği yüksek atıkları girdi olarak kullanarak gerçekleştirilmektedir ve kompostlaştırma tesisleri vasıtasıyla organik içeriği yüksek ve toprak ıslahında oldukça yararlı olan kompost üretilmektedir. Kompost ürünler sayesinde erozyon riski azaltılırken, toprağın havalanması daha iyi sağlanır ve su tutma kapasitesi artar ve de mahsul eldesi konusunda daha verimli sonuçlar alınmasını sağlar [29].

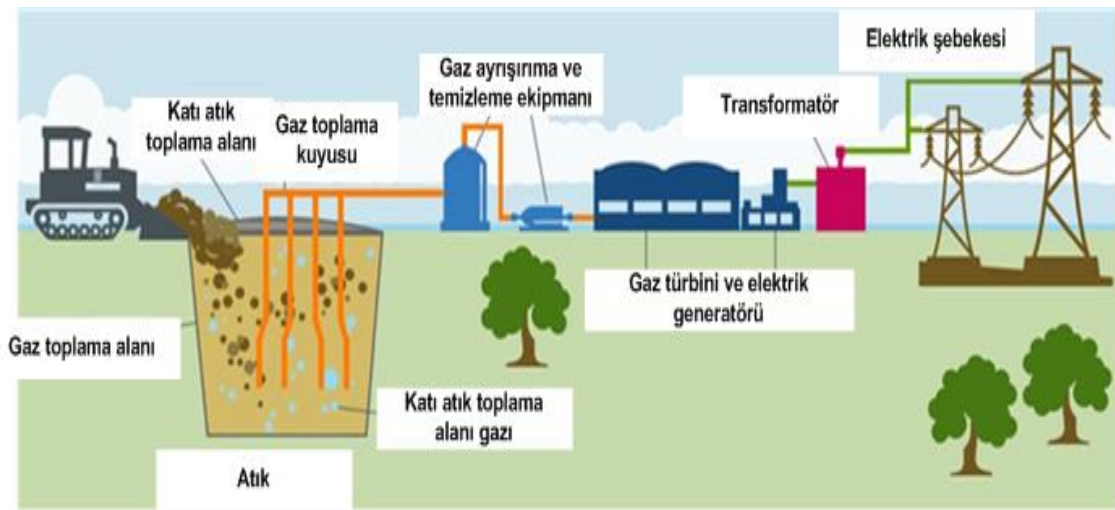
-Atıktan Enerji Üretimi: Düzenli depolama vasıtası ile depolanan atıklardan oluşan depogazı'nın değerlendirilmesi yoluyla elektrik enerjisi eldesi ya da uygun kalorifik değere atıkların yakılması ile alternatif yakıt elde edilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Depolama tesislerinde bulunan atıklardan dolayı zamanla oluşan depogazı uygun koşullarda değerlendirilmezse özellikle yanıcı ve patlayıcı özelliklerinden ötürü daha

önce dünyanın birçok yerinde benzer örnekleri yaşandığı üzere, çevre ve halk sağlığı açısından oldukça tehlikeli olabilmektedir. Bu olası riskleri önlemek ve depogazının değerlendirilmesi amacıyla enerji üretim tesislerinde depogazları değerlendirilmektedir [30].

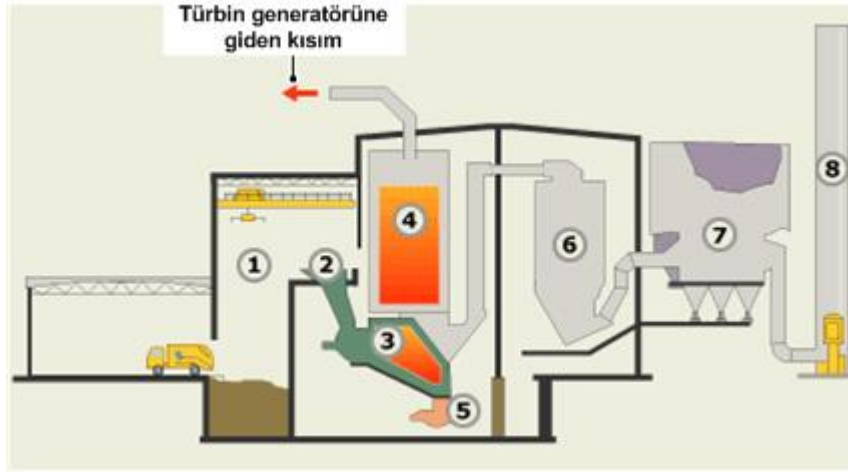
Bu sayede elektrik üretimi vasıtası ile birçok haneye, kuruluşa elektrik sağlanırken aynı anda sera gazı etkisi de azaltılmış olmaktadır.

Depo gazı'ndan enerji üretimi yapan bir tesisin genel işleyişi Şekil 2.5'te gösterilmiştir [31].



Şekil 2.5 Depo gazı'ndan enerji üretimi yapan bir tesisin genel işleyişi

Kentsel Katı Atıklar ile ilgili klasik bir yakma tesisinin proses şeması Şekil 2.6'da gösterilmiştir [32]. Burada 1) Bekleme alanı, 2) Hazne, bunker, 3) Yakma fırını, 4) Kazan, 5) Kül toplama noktası, 6) Yıkayıcı (scrubber), 7) Kaba partikül temizleme sistemi, 8) Baca şeklindedir.



Şekil 2.6 Kentsel Katı Atıklar ile ilgili klasik bir yakma tesisinin proses şeması




-Düzenli Depolama: Depolama atık yönetimi konusunda kullanılan ve bilinen en eski yöntemdir. Konteyner vb. toplama ile özellikle yerleşim yerlerinin atıklarını toplamada en yaygın olarak kullanılan sistemdir. Buradan yerel birimlerin hizmet araçları (çöp kamyonları vb.) ile toplanan atıklar depolama birimine göre ya da kurulmuş olan aktarma istasyonlarında toplanarak sonrasında nihai depolama sahasına nakledilirler.

Aktarma istasyonları, özellikle İstanbul gibi birim yerleşim başına düşen kişi sayısı bağlamında çok yoğun olan ve bundan dolayı trafik vb. şehirselleşmeler fazla olan yerleşim birimleri için zaman kazanımı, maliyetin azaltılması ana amaçlarıyla kurulmuş yapılardır.

İlçe belediyelerinden toplanan atıkların tümünün sadece tek bir ana depolama sahasına nakledilmesi trafik yükünü artırması, maliyeti artırması, araçların gaz salınımı vb. nedenlerden ötürü çevresel olumsuz etkilerinden ötürü tercih edilmemektedir.

Çalışmaya konu olan Bakırköy ilçesinin bulunduğu Avrupa Yakası için bulunan aktarma istasyonları ve bu aktarma istasyonlarına atıklarını getiren belediyeler İSTAÇ tarafından Şekil 2.7’de gösterildiği şekilde belirtilmiştir [33].

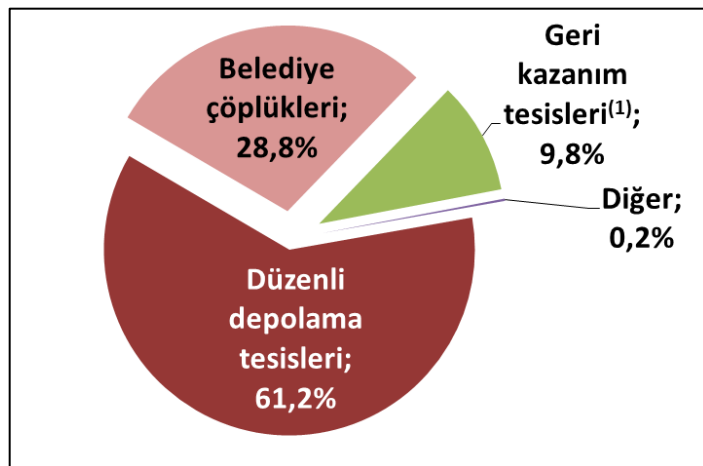
İstanbul Avrupa Yakası için bulunan ana depolama tesisi Kemerburgaz’da olup, Avrupa Yakasından günlük olarak toplanan yaklaşık 10.500 ton çöpün bertaraf edilemeyen, geri kazanılamayan kısımları için çevresel ve insani normlara uygun depolama yapılması için inşaa edilmiştir [34,35].

AVRUPA YAKASI AKTARMA İSTASYONLARI			
BARUTHANE ATIK AKTARMA İSTASYONU	İşletmeye Başlama Tarihi	1995	YENİBOSNA ATIK AKTARMA İSTASYONU
	Peron Sayısı	7	
	Tesise Atık Getiren İlçe Belediyeleri	Beşiktaş, Beyoğlu, Fatih, Kağıthane, Şişli, Eyüp, Sarıyer	
			
HALKALI ATIK AKTARMA İSTASYONU	İşletmeye Başlama Tarihi	1996	SİLİVRİ ATIK AKTARMA İSTASYONU
	Peron Sayısı	10	
	Tesise Atık Getiren İlçe Belediyeleri	Arnavutköy, Avcılar, Başakşehir, Bayrampaşa, Esenler, Esenyurt, G.Örsenpaşa, Kaçıköçmece, Sultangazi	
			

Şekil 2.7 İstanbul Avrupa Yakası için bulunan aktarma istasyonları

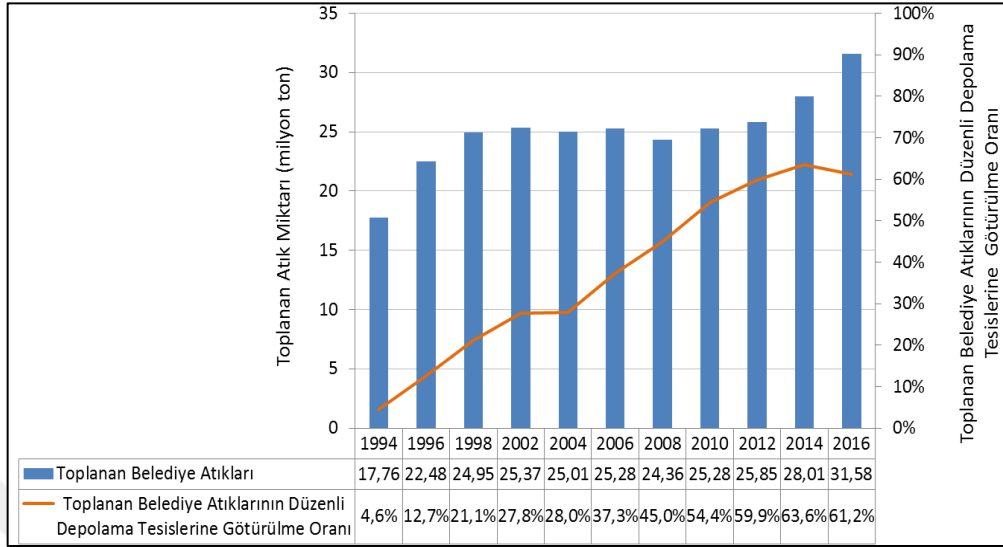
Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2016 yılında atık yönetimi sürecinde hizmet veren belediyelerin topladığı toplam 31,6 milyon ton atığın %61,2'si düzenli depolama tesislerine, %28,8'i belediye çöplüklerine ve %9,8'i geri kazanım tesislerine gönderilirken, %0,2'si açıkta yakarak, gömerek ve dereye/araziye dökerek bertaraf edilmiştir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın (ÇŞB) internet sitesinde bulunan [36] veriye istinaden 2016 yılı için belediye atıklarının yukarıda belirtilen yöntemlere göre dağılımı Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Burada ilgili gösterim belediyeler tarafından ayrı toplanan ve cam, metal, kâğıt, plastik vb. atık geri kazanımı yapan lisanslı tesisler ile biyogaz ve kompost tesislerine gönderilen atıkları kapsamaktadır.



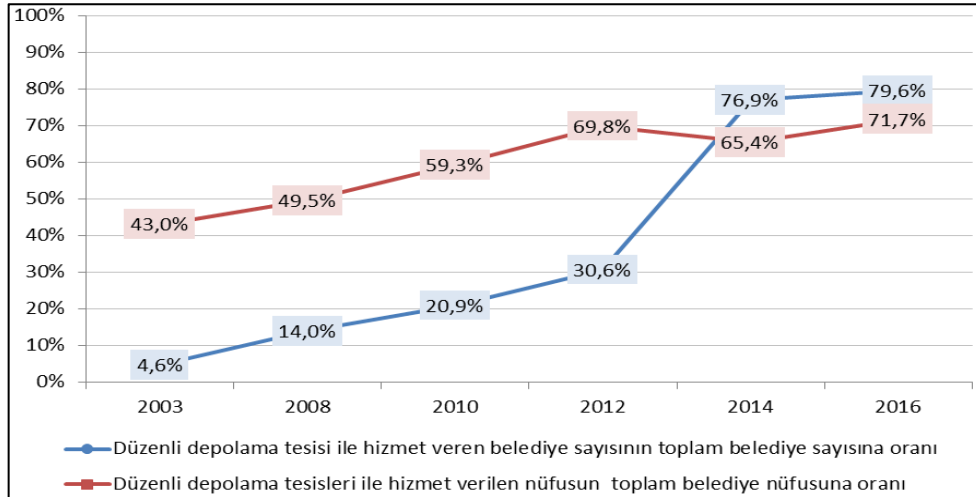
Şekil 2.8 2016 yılı için belediye atıklarının dağılımı

TÜİK'in sitesinde bir veriye [23] göre yıl bazında belediyelerin topladıkları atık miktarları ve bunların içerisinde düzenli depolamanın oranı Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Yıl bazında belediyelerin topladıkları atık miktarları ve bunların içerisinde düzenli depolamanın oranı

ÇŞB'nin yayınladığı bir veriye [37] göre, yıl bazında düzenli depolama vasıtası ile hizmet verilen belediye sayısı ve bunların nüfus oranı yüzdesel olarak Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

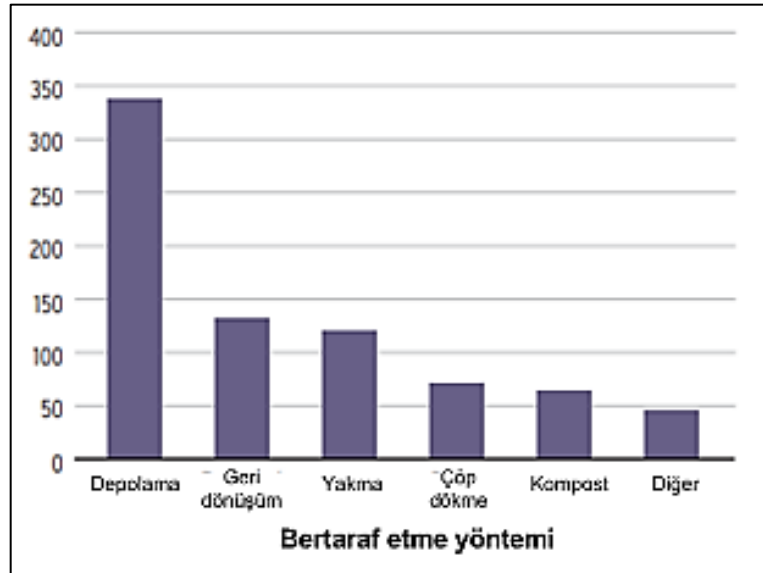


Şekil 2.10 Yıl bazında düzenli depolama vasıtası ile hizmet verilen belediye sayısı ve bunların yüzdesel nüfus oranı

Çizelge 2.4 Gelişmişlik kriterine göre Atık Yönetim prensipleri bazında bertaraf edilen atık miktarları

Yüksek gelirli		Yüksek orta gelirli	
Çöp dökme (dump)	0,05	Çöp dökme (dump)	44
Katı atık depolama (landfill)	250	Katı atık depolama (landfill)	80
Kompost	66	Kompost	1,3
Geri dönüşüm	129	Geri dönüşüm	1,9
Yakma	122	Yakma	0,18
Diğer	21	Diğer	8,4
Düşük gelirli		Düşük orta gelirli	
Çöp dökme (dump)	0,47	Çöp dökme (dump)	27
Katı atık depolama (landfill)	2,2	Katı atık depolama (landfill)	6,1
Kompost	0,05	Kompost	1,2
Geri dönüşüm	0,02	Geri dönüşüm	2,9
Yakma	0,05	Yakma	0,12
Diğer	0,97	Diğer	18

Yapılan bir çalışmada [21], Kentsel Katı Atıklar'ın maddi gelişmişlik kriteri göz önüne alınarak hangi Atık Yönetim prensibi benimsenerek bertaraf edildiği milyon ton mertebesinde olmak üzere, Çizelge 2.4'te ve dünya çapında bertaraf edilen atık miktarı milyon ton/yıl mertebesinde olmak üzere Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Dünya çapında bertaraf edilen atık miktarı

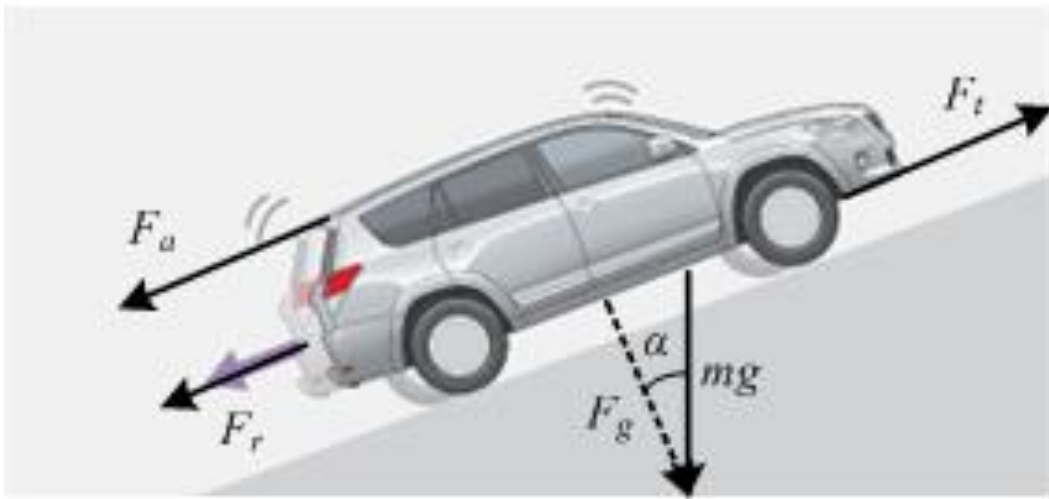
Atık Yönetimi Hiyerarşisinde bulunan yöntemlere göre süreçleri iyileştirmek, çevresel olumsuz etkileri artırmak ve başka birçok açıdan olumlu katma değer elde etmek adına uygulanabilecek teknolojik opsiyonlar Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Atık Yönetimi Hiyerarşisinde bulunan yöntemlere göre uygulanabilecek teknolojik opsiyonlar

Atık Yönetimi Bileşeni	Teknolojik Opsiyonlar
Atık Azaltma	Daha uzun dayanımı olan ve yeniden kullanılabilir materyaller üretilmesi, tüketimin düşürülmesi.
Atık Toplama	Alternatif, fosil olmayan yakıtların (bio-yakıt, doğal gaz) kullanılması
Geri Dönüşüm	Materyal geri kazanım/dönüşüm tesislerinde materyallerin özellikle kaynaktan ayrıştırılması vasıtasıyla daha az kontaminasyon sağlanması
Kompostlaştırma	Kaynağında ayrılmış organikler ile ideal olarak kompostlaştırma programlarının işletilmesi.
Yakma/Atıktan Enerji Eldesi	Kalorifik değeri uygun atıkların yakma proseslerinde kullanılması
Düzenli Depolama	Depolama sahalarında ortaya çıkan metan gazının yenilenebilir enerji kaynağı ya da yanabilir ürün olarak kontrol altına alınması

3.1 Elektrikli Araç Sürüş Dinamiklerinin Modellenmesi

Bu çalışmada katı atık toplama işlemi için tayin edilecek çöp kamyonları, parklanma bölgesinden ayrıldıktan sonra belirlenen rota üzerinde ilerleyerek ilgili çöp konteynerlerindeki çöpleri toplamaktadır. Burada hem ilgili çöp kamyonunun hızı, hem de ağırlığı gibi faktörler ilgili rota boyunca muhtelif durumlara göre değişmektedir. Bu bağlamda çöp kamyonunun enerji tüketimini kestirebilmek için araç sürüş dinamiklerinden faydalanılmalıdır. Bahsi geçen elektrikli araç sürüş dinamikleri için Şekil 3.1'deki diyagramı dikkate alan örnek bir model aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır [17,38].



Şekil 3.1 Elektrikli araç örnek sürüş modeli

$$P_t^{CK} = \frac{P_v(t)}{\eta_d} \quad (3.1)$$

$$P_v(t) = v(t) \cdot F_t(t) \quad (3.2)$$

$$F_t(t) = m_v(t) \frac{dv(t)}{dt} + F_a(t) + F_r(t) + F_g(t) + F_d(t) \quad (3.3)$$

$$F_a(t) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_x \cdot v(t)^2 \quad (3.4)$$

$$F_r(t) = m_v(t) \cdot C_r \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (3.5)$$

$$F_g(t) = m_v(t) \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (3.6)$$

Burada,

P_t^{CK} t periyodundaki çöp kamyonunun elektriksel güç talebi [W]

$P_v(t)$ t periyodundaki mekanik güç talebi [W]

η_d araç aktarma organları (drivetrain) verimi

$F_t(t)$ t periyodundaki toplam tahrik kuvveti (çekiş kuvveti) [N]

$F_a(t)$ t periyodundaki aerodinamik sürtünme kuvveti [N]

$F_r(t)$ t periyodundaki yuvarlanma sürtünmesi (rolling friction) kuvveti [N]

$F_g(t)$ t periyodundaki yatay olmayan yollarda sürüş sırasında yerçekimi nedeniyle oluşan kuvvet (tırmanma kuvveti – hill climbing force) [N]

$F_d(t)$ t periyodundaki diğer bütün etkileri gösteren bozucu kuvvet [N]

A araç ön panel alanı [m²]

C_x sürtünme sabiti

C_r yuvarlanma sürtünmesi sabiti

$m_v(t)$ t periyodundaki araç ağırlığı [kg]

α yolun eğimi [rad]

g yerçekimi katsayısı [m/s²]

ρ hava yoğunluğu [kg/m³]

$v(t)$ t periyodundaki araç hızı [m/s]

şeklindedir.

Eşitlik (3.1) ile çöp kamyonunun t periyodundaki elektriksel güç talebi, ilgili andaki mekanik güç talebi ve araç aktarma organlarının verimine göre elde edilmektedir. Eşitlik (3.2) kapsamında çöp kamyonunun t periyodundaki mekanik güç talebi ilgili andaki toplam tahrik kuvveti ve çöp kamyonunun anlık hızına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Eşitlik (3.3) ile çöp kamyonunun t periyodundaki toplam tahrik kuvveti, aracın değişken kütlesine de bağlı olarak dikkate alınan ivmelenme kuvveti, aerodinamik sürtünme kuvveti, yuvarlanma sürtünmesi kuvveti, tırmanma kuvveti ve diğer bozucu kuvvetlerin toplamı şeklinde elde edilmektedir. Burada $m_v \frac{dv(t)}{dt}$ değerinin (ivmelenme kuvveti) eğer araç yavaşlıyor ise negatif değerde olacağı aşikârdır. Ayrıca bu çalışmada hızın türevi ifadesinin nümerik karşılığı kullanılmıştır. $\frac{dv(t)}{dt}$ ifadesinin nümerik karşılığı değerinin zaman adımlarına bölünmüş olarak ardışık iki değerinin arasındaki fark şeklindedir:

$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{v(t) - v(t-1)}{\Delta T} \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.4) kapsamında t periyodundaki aerodinamik sürtünme kuvveti, hava yoğunluğu, araç ön panel alanı, sürtünme sabiti ve aracın anlık hızına bağlı olarak elde edilmektedir. Eşitlik (3.5) ile t periyodundaki ilgili araç tekerleklerinin yol ile yaptığı temasın etkisini belirten yuvarlanma sürtünmesi kuvveti, aracın değişken kütlesi, yuvarlanma sürtünmesi sabiti, yerçekimi etkisi ve yolun eğimi dikkate alınarak belirtilmektedir. Son olarak Eşitlik (3.6)'da ise t periyodundaki yatay olmayan yollarda

sürüş sırasında yerçekimi nedeniyle oluşan kuvvet olarak tanımlanan tırmanma kuvveti, aracın değişken kütlesi, yerçekimi etkisi ve yolun eğimi dikkate alınarak elde edilmektedir. Burada, eğer araç bayır aşağı gidiyor ise $F_g(t)$ kuvveti negatif olacaktır.

Eşitlik (3.4)'te bahsi geçen sürtünme sabiti için tipik bir değer 0,3 şeklindedir, fakat özellikle bu değeri 0,19 gibi daha düşük seviyelere indiren araç tasarımları mevcuttur. Ayrıca bu değer motorsikletler ve otobüsler için 0,7-0,8 gibi daha yüksek seviyelere çıkmaktadır. Eşitlik (3.5)'te belirtilen yuvarlanma sürtünmesi sabitinin değerini etkileyen temel faktörler ise lastik tipi ve lastik basıncıdır. Eğer lastikler daha yüksek basınçlara ulaşacak şekilde şişirilirse aracın performansı artmakta, fakat sürüş daha az konforlu hale gelmektedir. Binek araçlar için radyal karkaslı lastiklerde bu değer 0,015 civarında iken geliştirilen özel lastiklerde 0,005'e kadar indirilebilmektedir [38].

Burada sürüş için belirtilen elektrik güç talebine sahip elektrikli aracın enerji tüketimi ve buna bağlı olarak enerji tüketimi ise aşağıdaki eşitliklerde belirtilmektedir [39]:

$$ET_t^{CK} = \frac{P_t^{CK}}{1000 \times DV^{CK}} \cdot \Delta T \quad (3.8)$$

$$ED_t^{CK} = ED_{t-1}^{CK} - ET_t^{CK} \quad (3.9)$$

$$ED_t^{CK} = ED^{CK,bas}, \text{ if } t = T^j \quad (3.10)$$

$$ED^{CK,min} \leq ED_t^{CK} \quad (3.11)$$

Burada,

DV^{CK} elektrikli çöp kamyonunun deşarj verimliliği.

ED_t^{CK} elektrikli çöp kamyonunun t anındaki enerji durumu (state-of-energy) [kW saat].

$ED^{CK,bas}$ elektrikli çöp kamyonunun başlangıç enerji durumu (state-of-energy) [kW saat].

$ED^{CK,min}$ elektrikli çöp kamyonunun asgari enerji durumu (state-of-energy) [kW saat].

ET_t^{CK} elektrikli çöp kamyonunun t anındaki enerji tüketimi [kW saat].

P_t^{CK} t periyodundaki çöp kamyonunun elektriksel güç talebi [W]

T^j elektrikli çöp kamyonunun yolculuk başlangıç zamanı [saat].

ΔT zaman aralığı süresi [saat].

şeklindedir.

Eşitlik (3.8)'de, Eşitlik (3.1) ile hesaplanan t periyodundaki çöp kamyonunun elektriksel güç talebi ve elektrikli çöp kamyonu bataryasının deşarj verimliliği kullanılarak çöp kamyonunun elektriksel enerji tüketimi elde edilmektedir. Bu tüketim verisi kullanılarak da Eşitlik (3.9) vasıtası ile ilgili çöp kamyonunun mevcut enerji durumu hesaplanmaktadır. Enerji durumunun elektrikli çöp kamyonu parklanma bölgesini terk ederken başlangıç olarak belirlenmiş bir enerji durumuna eşit olması ise Eşitlik (3.10) kullanılarak sağlanmaktadır. Son olarak elektrikli çöp kamyonunun güç talebi ile azalan enerji durumunun belirlenen bir asgari düzeyden aşağıya inmemesi kısıtı Eşitlik (3.11) kullanılarak sağlanmaktadır.

2.2 Elektrikli Çöp Kamyonu Filosu Rota Optimizasyonu Probleminin Modellenmesi

Çöp kamyonu filosu rota optimizasyonu problemi literatürde daha önce de belirtildiği gibi birçok çalışmada dikkate alınmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda dikkate alınan konseptler birbirine oldukça yakın olduğundan ötürü bu bölümde yer alan formülasyon için özel bir referans çalışma tanımlanmamıştır. Fakat ilgili çalışmaların tamamının konvansiyonel yakıtlı çöp kamyonlarının kat ettiği toplam mesafeyi minimize etmeyi amaçlayan bir matematiksel altyapıya sahip olduğu hususu burada özellikle belirtilmelidir. Burada elektrikli çöp kamyonları dikkate alındığı için literatürdeki diğer mevcut çalışmalardan farklı olarak toplam elektriksel enerji tüketimi miktarını minimize

edecek şekilde oluşturulmuş bir matematiksel formülasyon tesis edilmiştir. İlgili optimizasyon problemine ait kümeler, parametreler ve değişkenler aşağıda belirtilmiştir:

Kümeler

h elektrikli çöp kamyonları kümesi.

i, j çöp konteynerleri kümesi.

Parametreler

AK_h h elektrikli çöp kamyonunun araç kapasitesi [kg].

BET elektrikli çöp kamyonları için ortalama birim enerji tüketimi [kW saat/km].

$\Ç A_i$ i . çöp konteynerindeki çöp ağırlığı [kg].

$ET_{i,j}$ i . ve j . çöp konteynerleri arasındaki enerji tüketimi [kW saat].

$Mes_{i,j}$ i . ve j . çöp konteynerleri arasındaki mesafe [km].

N yeterince büyük bir pozitif sabit.

Değişkenler

$AA_{i,h}$ h elektrikli çöp kamyonunun i . çöp konteynerindeki çöp ağırlığı [kg].

TET ilgili rotada bütün elektrikli çöp kamyonlarının toplam enerji tüketimi [kW saat].

$x_{i,j,h}$ ikili sayı sistemi değişkeni (binary variable): i . ve j . çöp konteynerleri aynı aracın rotasındaki üst üste gelen konteynerler ise 1, aksi durumda 0.

$y_{i,h}$ ikili sayı sistemi değişkeni (binary variable): h elektrikli çöp kamyonu i . çöp konteynerinden ayrılırken 1.

Bahsi geçen elektrikli çöp kamyonu filosu rota optimizasyonu problemine ait matematiksel model Eşitlik (3.12)-(3.20)'de yer almaktadır.

$$\min TET = \sum_h \sum_i \sum_j ET_{i,j} \cdot x_{i,j,h}, \forall i \neq j \quad (3.12)$$

s. t.

$$ET_{i,j} = Mes_{i,j} \cdot BET \quad (3.13)$$

$$\sum_h \sum_j x_{j,i,h} = 1, \forall i \neq j \text{ ve } i > 1 \quad (3.14)$$

$$\sum_h \sum_j x_{i,j,h} = 1, \forall i \neq j \text{ ve } i > 1 \quad (3.15)$$

$$\sum_j x_{i,j,h} - y_{i,h} = 0, \forall i, h \quad (3.16)$$

$$\sum_j x_{j,i,h} - y_{i,h} = 0, \forall i, h \quad (3.17)$$

$$\sum_h \sum_i x_{i,0,h} = card(h) \quad (3.18)$$

$$\sum_i \zeta A_i \cdot y_{i,h} \leq AK_h, \forall h \quad (3.19)$$

$$AA_{i,h} - AA_{j,h} + \zeta A_i \leq N \cdot (1 - x_{i,j,h}), \forall i > 1, j > 1, i \neq j, h \quad (3.20)$$

Eşitlik (3.12)'de ilgili optimizasyon problemine ait amaç fonksiyonu gösterilmektedir. Buradaki amaç ilgili rotada bütün elektrikli çöp kamyonlarının toplam enerji tüketiminin minimize edilmesidir. Eşitlik (3.13)-(3.20)'de ise ilgili amaç fonksiyonunun minimizasyonunu dikkate alan probleme ait kısıtlar yer almaktadır. Eşitlik (3.13) ve (3.14)'te yer alan eşitlik kısıtları her bir çöp konteynerine sadece tek bir aracın ulaşmasını ve sadece tek bir aracın ilgili çöp konteynerinden ayrılmasını sağlamaktadır. Eşitlik (3.15) ve (3.16)'da yer alan eşitlik kısıtları ise beraberce aynı çöp konteynerine aynı aracın ulaşıp yine aynı aracın ayrılmasını sağlamaktadır. Eşitlik (3.17)'de bütün

elektrikli çöp kamyonlarının ilgili çöp toplama işlemini tamamladıktan sonra çöp boşaltım sahasına aktarım gerçekleştirip yeniden parklanma bölgesine dönmesini sağlamaktadır. Burada 0 olarak belirtilen parklanma bölgesidir, formülasyon kapsamında son çöp kutusundan boşaltım sahasına gidiş kısmı zaten bütün araçlar parklanma bölgesine geri geleceklerinden ötürü ayrıca bir kısıt olarak dikkate alınmamıştır. Eşitlik (3.19)'daki eşitsizlik kısıtı vasıtası ile her bir çöp kamyonunun alacağı toplam çöp kütlesinin araç kapasitesini aşmaması sağlanmaktadır. Son olarak Eşitlik (3.20)'de benzer formülasyonların tamamında yer alan alt tur engelleme (subtour elimination) eşitsizlik kısıtı gösterilmektedir.

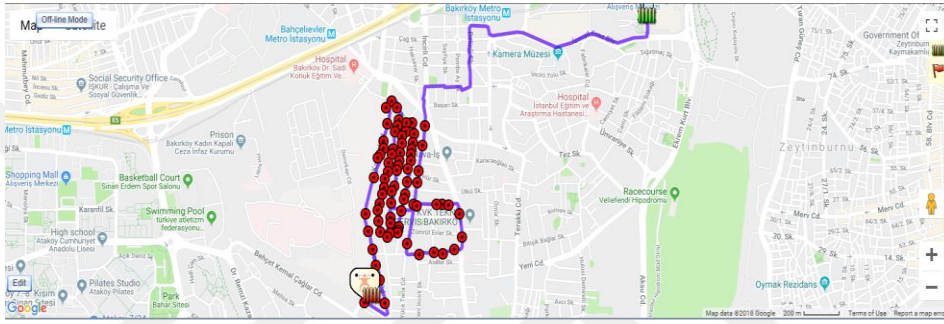
Burada Bölüm 3.1'de verilen elektrikli araç dinamiği matematiksel altyapısı vasıtasıyla elde edilen enerji tüketimi verisi, daha sonra Bölüm 4.1'de belirtildiği üzere reel uygulamalardan alınan veriler vasıtası ile ortalama bir elektriksel enerji tüketim verisine dönüştürülmüş ve bu problemin çözümüne bir girdi olarak kullanılmıştır.

DURUM ANALİZLERİ

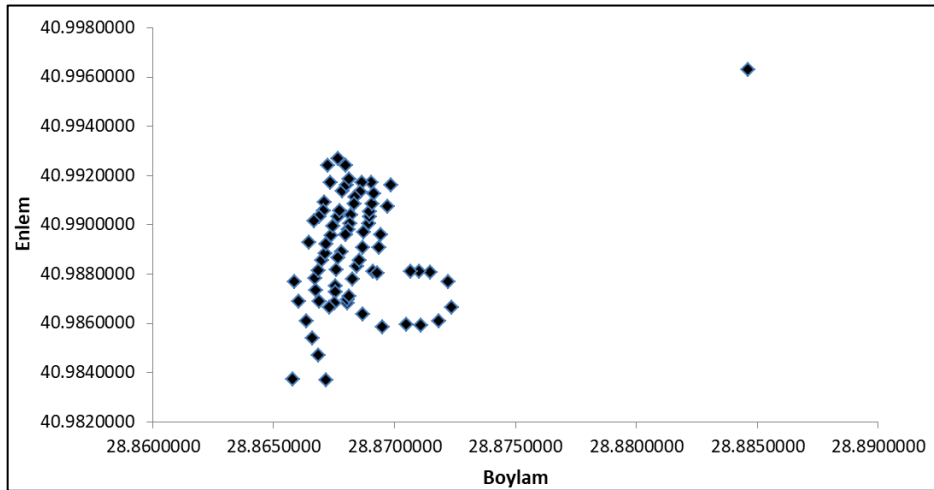
4.1 Elektrikli Araç Sürüş Dinamiklerinin Modellenmesi Vasıtasıyla Değişken Kütleyle Bağlı Olarak Elektrikli Çöp Kamyonu Enerji Tüketiminin Elde Edilmesi

Her sınıf aracın yakıt ya da enerji tüketimi birçok parametre ve değişkene bağlı olarak değişmektedir ve bu bahsi geçen değişimleri dikkate alan bir matematiksel model Bölüm 3.1 kapsamında daha önce sunulmuştur. Literatürde yer alan birçok çalışmada (örneğin [40]) özellikle yakıt tüketimleri ortalama verilen değerler ile dikkate alınmaktadır. Burada araçların darı ağırlığı dışında yolcu, yük, vb. ek faktörler nedeniyle değişen toplam ağırlıkları özellikle ivmelenme kuvveti olmak üzere toplam araç kuvveti ve dolayısıyla güç talebi ve yakıt tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu durum normal binek araçlarda sadece yolcu tabanlı yük artışı dikkate alındığında çok büyük bir yüzdeye tekabül etmez iken, özellikle bagaj vb. bölgelerdeki ağır yükler burada ciddi seviyede etkide bulunabilmektedirler. Bunun ötesinde zaten görev tanımı yük taşıma üzerine kurulu olan çöp kamyonlarında çöp konteynerlerinden çöp kütlelerini topladıkça artan araç ağırlığı bir noktadan sonra araçların yakıt tüketimini önemli oranda etkileyebilecektir. Bu durum yakıt olarak içerisinde yer alan batarya tabanlı enerji depolama sisteminde depolanmış olan elektrik enerjisini kullanan elektrikli çöp kamyonları için de elektrik enerjisi tüketiminde önemli bir değişim olarak düşünülmektedir.

Bu bağlamda, bu bölümde ilgili değişken kütleli elektrikli çöp kamyonu elektrik enerjisi tüketimi üzerine etkisini incelemek amacıyla sahadan elde edilen gerçek veriler tabanlı olarak mukayeseli bir analiz gerçekleştirilmiştir. İstanbul ili Bakırköy Belediyesi hizmet bölgesi içerisinde yer alan ve genellikle tek bir çöp kamyonunun kullanıldığı bir alandan gerçek araç kullanım verileri toplanmıştır. İlgili verilerin toplanmasında QSTARZ markasının Q1300ST model Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System – GPS) cihazı kullanılmıştır. Belirtilen çöp konteynerlerinden katı atık toplama verisi elde edilmesi için izlenen rota cihazın bilgisayar arayüzü ile Google Maps programının bütünleşik halini kullanarak Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Örnek veri toplama bölgesinde çöp konteynerlerinden katı atık toplama verisi elde edilmesi için izlenen rota



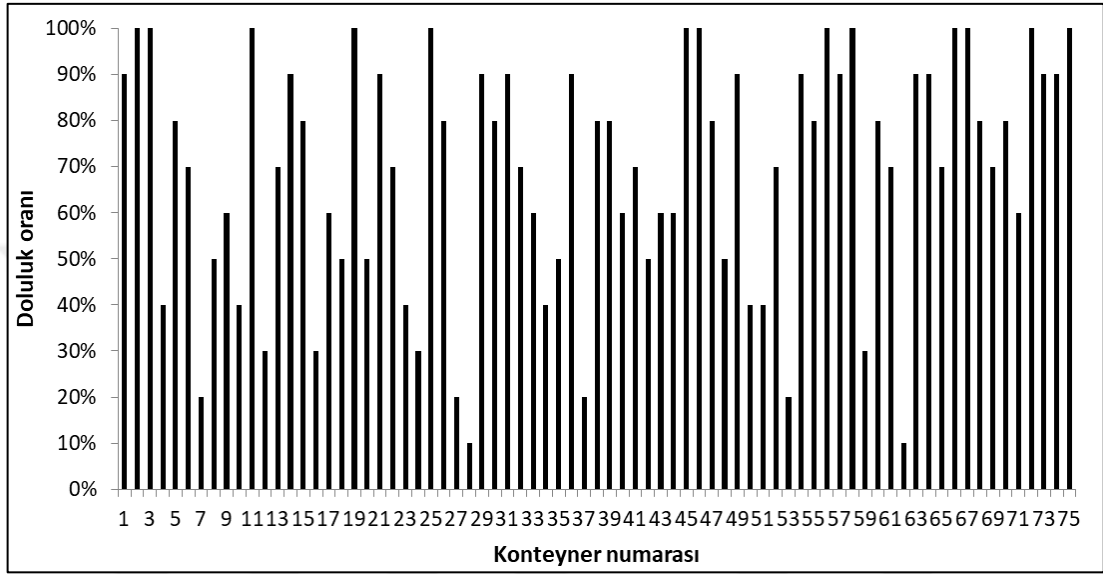
Şekil 4.2 Örnek veri toplama bölgesinde çöp konteynerlerinin konumları

Şekil 4.1’de kırmızı daireler şeklindeki işaretleme noktaları çöp konteynerlerinin konumlarını göstermektedir. İlgili konteyner konumlarının daha net görülebilmesi amacıyla ilgili konteyner konumları enlem ve boylam bilgisine göre Şekil 4.2’de gösterilmektedir. İlgili bilgiler Çizelge 4.1’de ise daha detaylı olarak aktarılmaktadır.

Çizelge 4.1 Örnek veri toplama bölgesinde çöp konteynerleri detaylı bilgileri

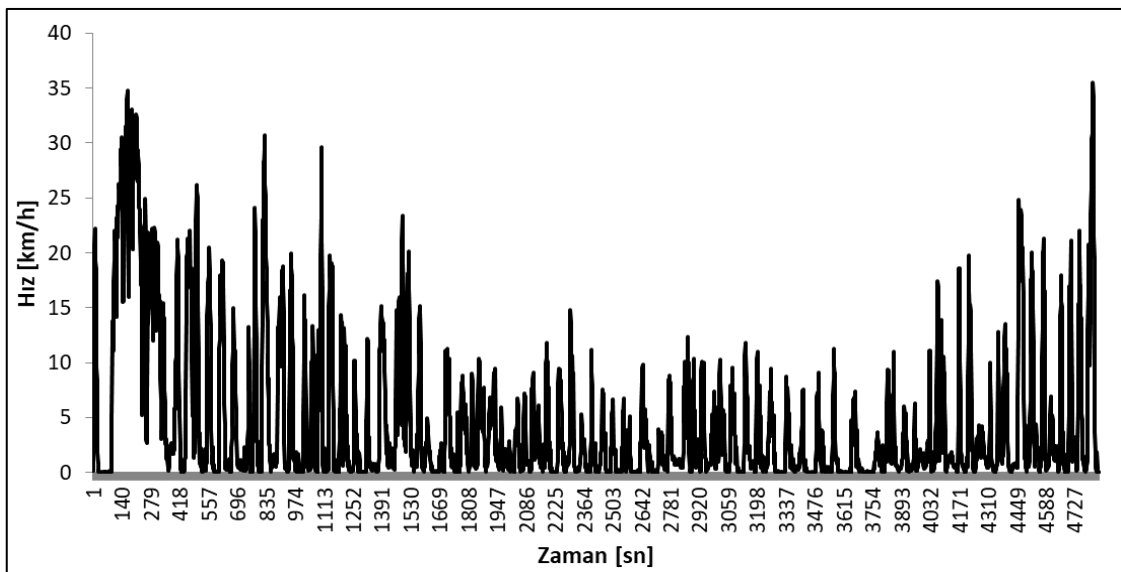
Konteyner no.	Boylam	Enlem	Konteyner no.	Boylam	Enlem
Garaj	28.8846000	40.9963010	38	28.8679930	40.9896080
1	28.8698620	40.9916020	39	28.8678100	40.9888930
2	28.8697310	40.9907340	40	28.8676580	40.9886720
3	28.8694480	40.9895990	41	28.8676130	40.9881650
4	28.8693640	40.9890560	42	28.8675710	40.9875160
5	28.8691160	40.9880990	43	28.8675680	40.9872600
6	28.8686850	40.9863580	44	28.8675280	40.9868090
7	28.8695050	40.9858580	45	28.8673300	40.9866430
8	28.8704870	40.9859470	46	28.8668870	40.9868740
9	28.8710800	40.9859060	47	28.8667450	40.9873480
10	28.8718350	40.9860700	48	28.8667250	40.9878400
11	28.8723630	40.9866430	49	28.8668400	40.9881420
12	28.8722140	40.9876780	50	28.8670070	40.9885590
13	28.8714900	40.9880700	51	28.8671300	40.9888420
14	28.8710280	40.9880910	52	28.8671820	40.9892140
15	28.8706680	40.9880950	53	28.8673880	40.9895530
16	28.8693060	40.9880250	54	28.8674450	40.9899450
17	28.8680390	40.9868200	55	28.8676600	40.9903340
18	28.8680700	40.9869430	56	28.8677260	40.9905570
19	28.8681150	40.9870860	57	28.8678600	40.9913490
20	28.8682770	40.9877980	58	28.8680230	40.9915980
21	28.8684440	40.9883160	59	28.8681240	40.9918540
22	28.8685440	40.9885460	60	28.8679920	40.9924060
23	28.8686860	40.9890870	61	28.8676630	40.9926990
24	28.8687350	40.9896820	62	28.8672590	40.9923930
25	28.8689310	40.9900420	63	28.8673630	40.9916970
26	28.8689560	40.9903250	64	28.8671040	40.9909120
27	28.8689690	40.9905470	65	28.8670780	40.9905830
28	28.8690700	40.9908390	66	28.8668780	40.9903110
29	28.8691640	40.9912510	67	28.8666880	40.9901550
30	28.8690280	40.9917200	68	28.8664490	40.9892860
31	28.8686580	40.9917180	69	28.8658800	40.9876770
32	28.8685900	40.9913250	70	28.8660430	40.9868830
33	28.8683560	40.9911330	71	28.8663450	40.9860930
34	28.8683400	40.9908280	72	28.8665980	40.9853880
35	28.8681890	40.9904050	73	28.8668400	40.9847100
36	28.8681730	40.9900450	74	28.8671680	40.9836970
37	28.8680730	40.9898190	75	28.8657950	40.9837170

Belirtilen çöp konteynerlerinin veri toplama işlemi esnasındaki doluluk oranları Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Burada ilgili doluluk oranları çöp konteyneri göz ile kontrol edilerek yaklaşık şekilde not edilmiştir. Çöp muhteviyatının değişkenliği ortalama olarak dikkate alınmış ve ortalama bir dolu konteyner çöp muhteviyatının 160 kg geldiği ilgili belediyeden alınan veriler ışığında varsayılarak bu doluluk oranlarının çarpılması ile konteyner başına çöp ağırlığı hesaplanmıştır.



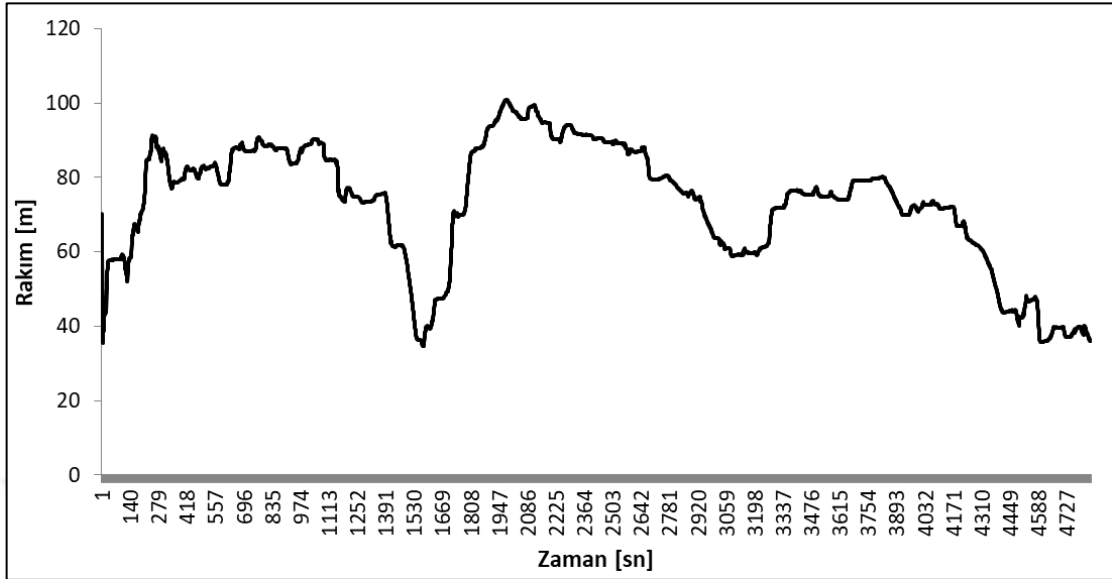
Şekil 4.3 Örnek veri toplama sürecinde çöp konteynerlerinin doluluk oranları

Çöp toplama işlemi kapsamında ilgili sürüş rotası boyunca hız-zaman grafiği Şekil 4.4'te belirtilmektedir.



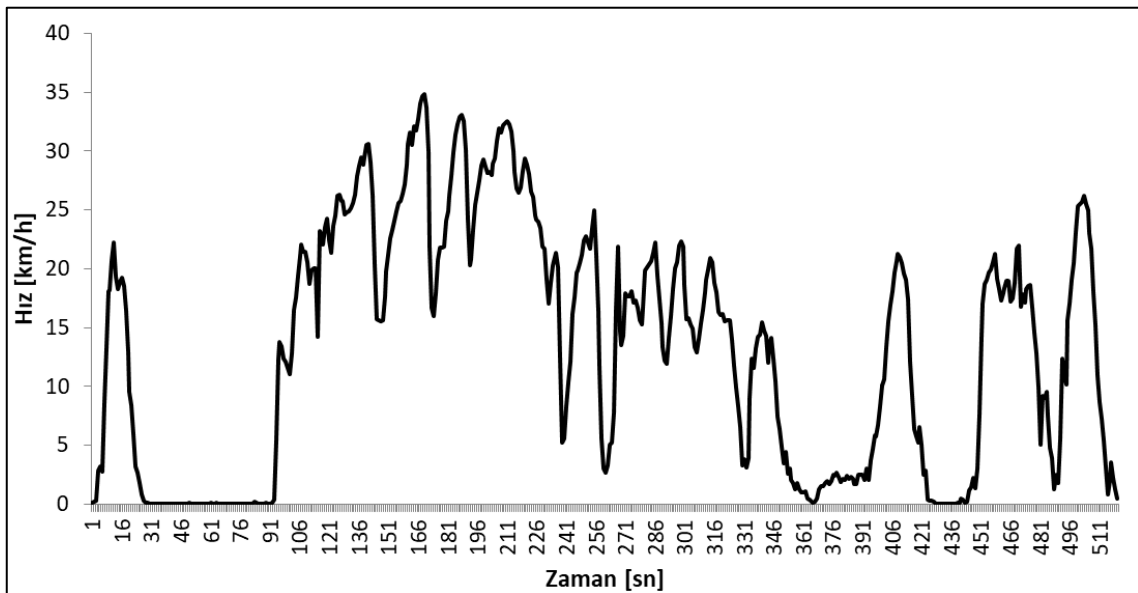
Şekil 4.4 Örnek veri toplama rotası hız-zaman grafiği

Çöp toplama işlemi kapsamında ilgili sürüş rotası boyunca rakımın zamana bağlı değişim grafiği ise Şekil 4.5'te belirtilmektedir.

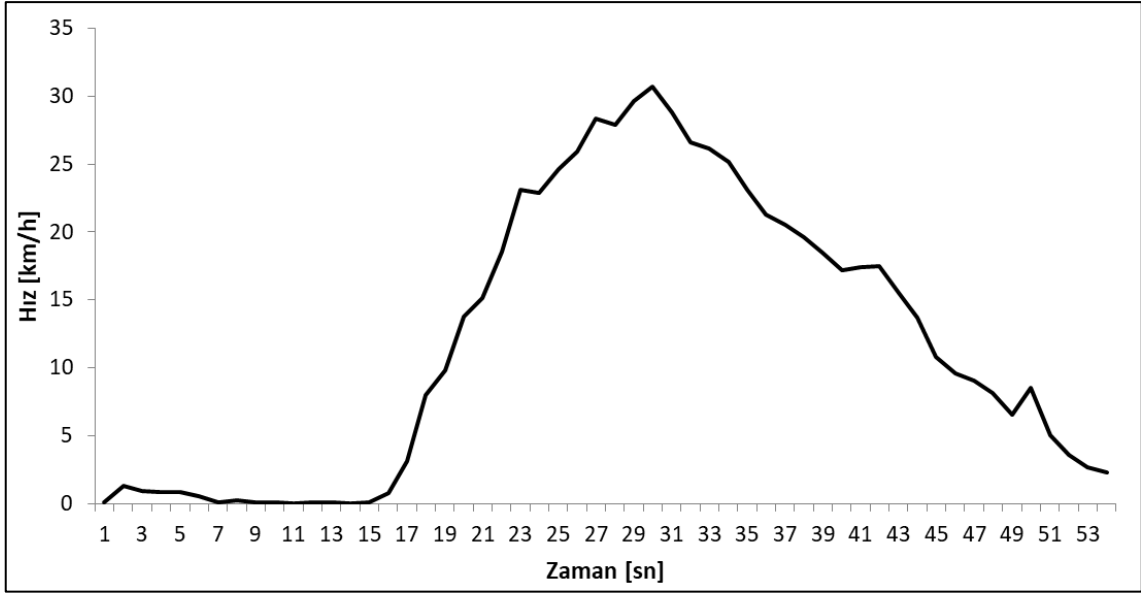


Şekil 4.5 Örnek veri toplama rotası rakım-zaman grafiği

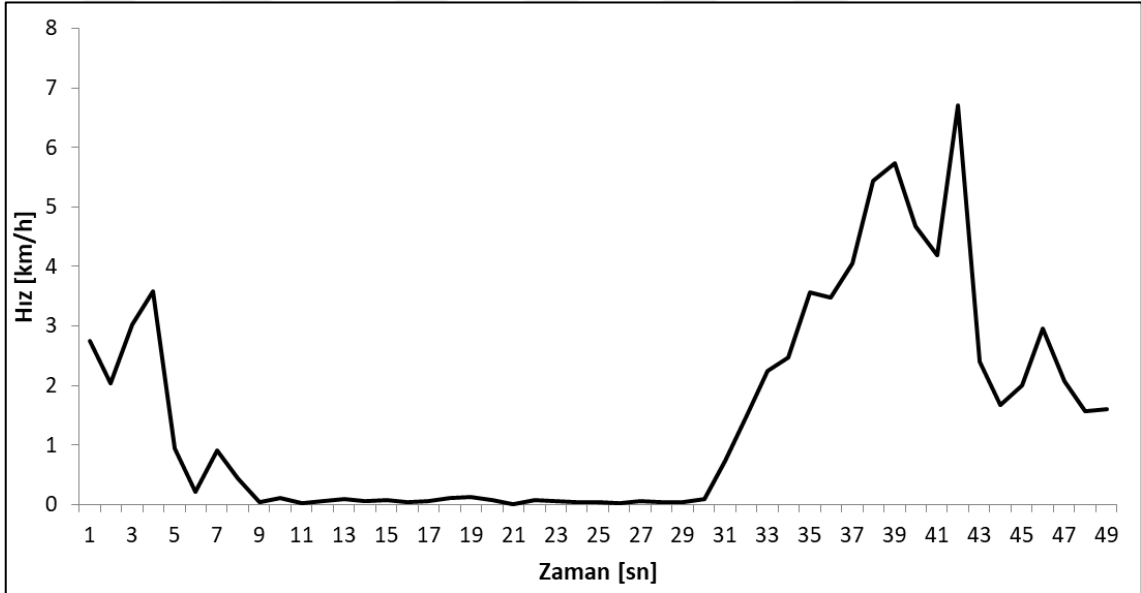
Burada bazı çöp konteynerleri arasındaki sürüş profili rastgele olarak seçilmiştir ve ilgili profiller Şekil 4.6-4.8'de daha detaylıca gösterilmektedir. Bu gösterimlerin amacı farklı konteynerler arasındaki profillerin hem hız değerleri hem de zaman açısından ne kadar farklı olabildiğini daha detaylıca aktarmaktır.



Şekil 4.6 Örnek veri toplama rotası Garaj ile 1. konteyner arası hız-zaman grafiği



Şekil 4.7 Örnek veri toplama rotası 5. ve 6. konteynerler arası hız-zaman grafiği



Şekil 4.8 Örnek veri toplama rotası 35. ve 36. konteynerler arası hız-zaman grafiği

Burada ilgili çöp kamyonunun elektrik enerjisi tüketimini belirlemek için iki yaklaşım mukayeseli olarak uygulanmıştır. İlgili çöp ağırlığını da değişken olarak dikkate alacak şekilde toplam araç kütlesinin dinamik olarak dikkate alındığı daha gerçekçi bir bakış açısı ile araç kütlesinin toplam değişiminin etkisini ihmal eden muhtelif çalışmalarda kabul durumu mukayese edilmiştir. Buna göre iki durum oluşturulmuştur:

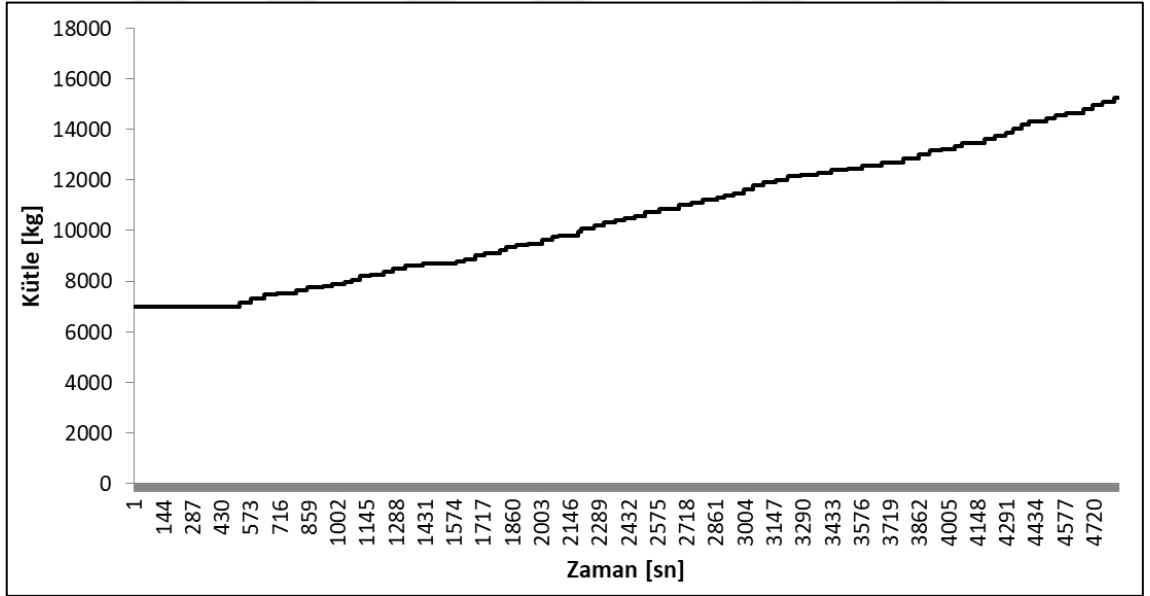
- **Durum-1:** Araç toplam kütlesindeki değişimlerin ihmal edildiği durum.

- **Durum-2:** Çöp alımı nedeniyle araç toplam kütleindeki değişimlerin dikkate alındığı durum.

Öncelikle ilgili çöp kamyonlarının dinamik sürüş modelleri kapsamında dikkate alınan parametreler Çizelge 4.2’de gösterilmektedir [17]. Burada sadece ilgili belediyeden alınan aracın boş kütlesi değeri Ref. [17]’deki parametrelerden farklı olarak ilgili belediyeden alınan verile ışığında dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.2 Çöp kamyonu dinamik sürüş modeli parametreleri

Parametre	Değer
Aracın boş kütlesi	7000 [kg]
Araç ön panel alanı	7 [m ²]
Sürtünme sabiti	0,8
Yuvarlanma sürtünmesi sabiti	0,015
Araç aktarma organları verimi	0,72
Hava yoğunluğu	1,225 [kg/m ³]
Yerçekimi katsayısı	9,81 [m/s ²]

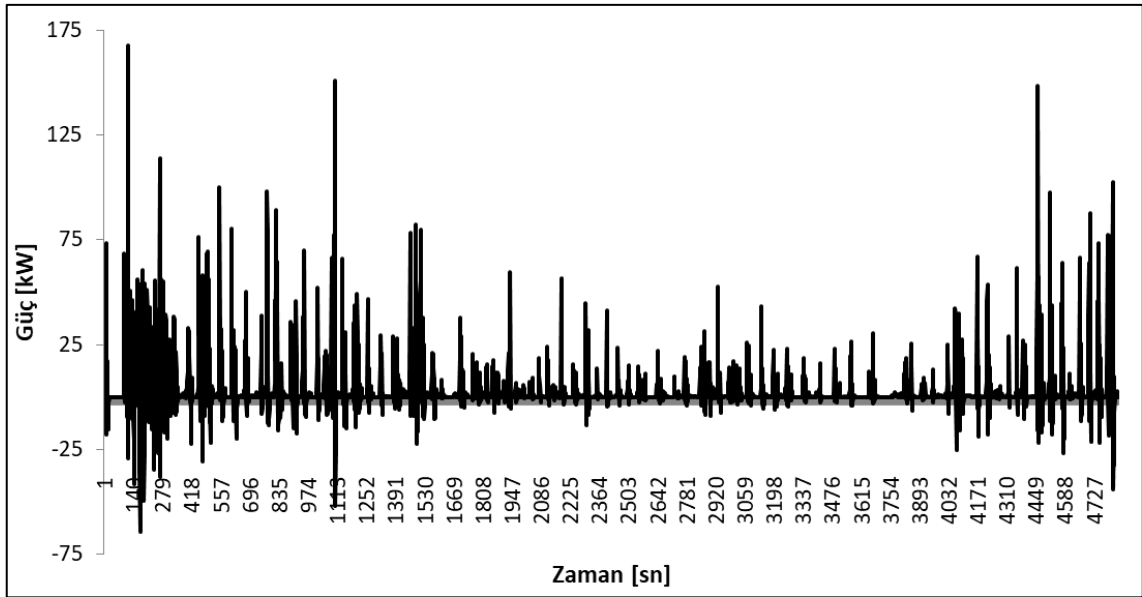


Şekil 4. 9 Durum-2 için araç toplam kütlesi değişimi

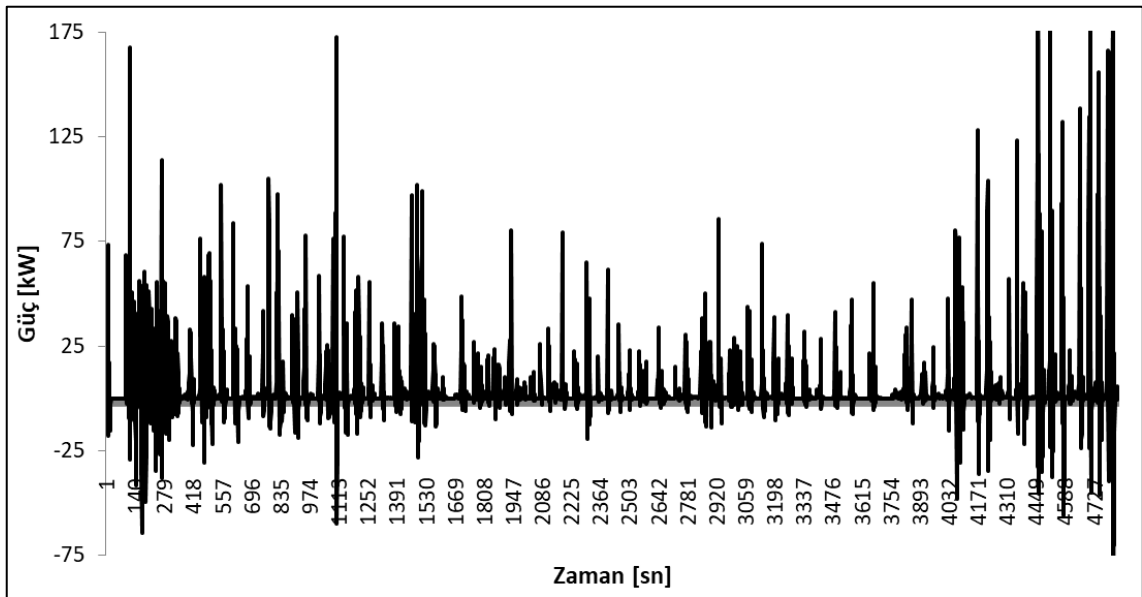
Burada Durum-1 kapsamında araç kütlesi her an aracın boş kütlesine eşit olarak dikkate alınmıştır. Durum-2’de ise daha önce Şekil 4.3 kapsamında verilen doluluk

oranlarına göre geçmiş kısımlarda açıklandığı şekilde hesaplanan ve Şekil 3.9'da gösterilen araç toplam kütlesi değişimi hesaba katılmıştır.

Burada Durum-1 ve Durum-2 için elektrikli çöp kamyonu elektrikselsel güç talebi değişimleri sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Burada negatif olan kısımlar, aracın faydalı frenleme enerjisi olarak geri kazanabildiği ve bu enerjiyi daha sonra kullanmak üzere elektrikli aracın bataryasında depolayabildiği kısımlardır.

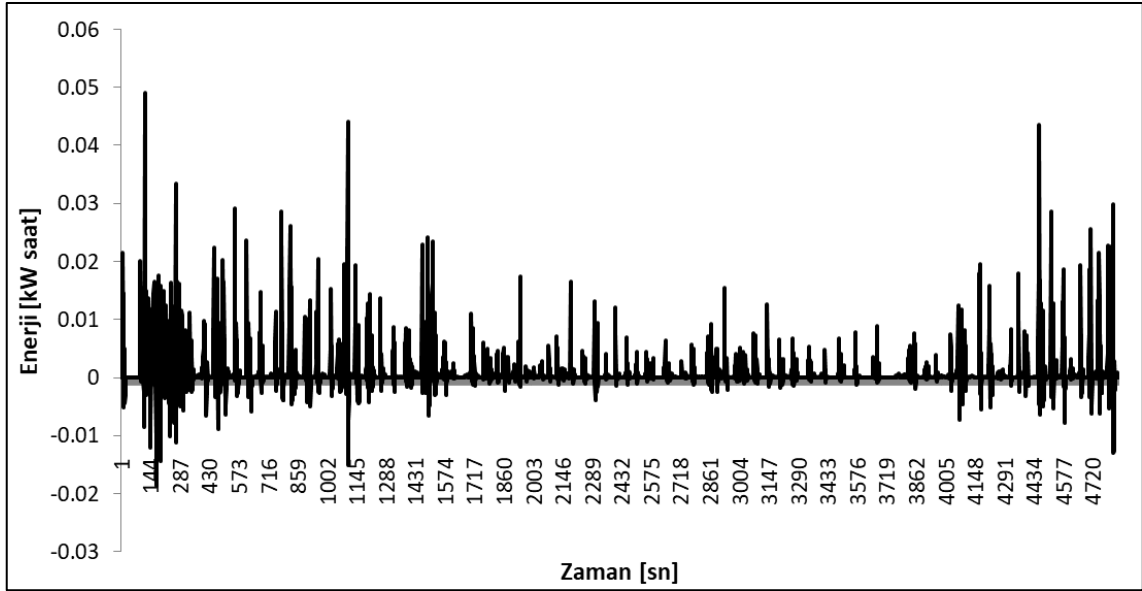


Şekil 4.10 Durum-1 için elektrikli çöp kamyonu elektrikselsel güç talebi değişimi

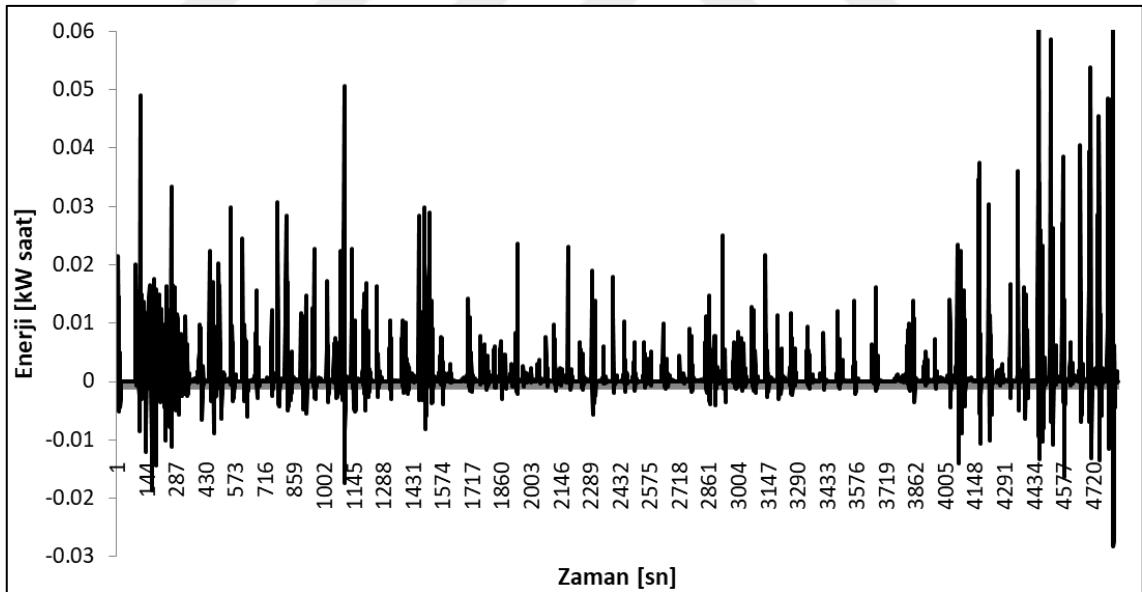


Şekil 4.11 Durum-2 için elektrikli çöp kamyonu elektrikselsel güç talebi değişimi

İlgili elektrikli çöp kamyonu batarya grubu deşarj verimliliği 0,95 olarak alınarak Durum-1 ve Durum-2 için elektrikli çöp kamyonu enerji tüketimi değişimleri sırasıyla Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te gösterilmektedir.

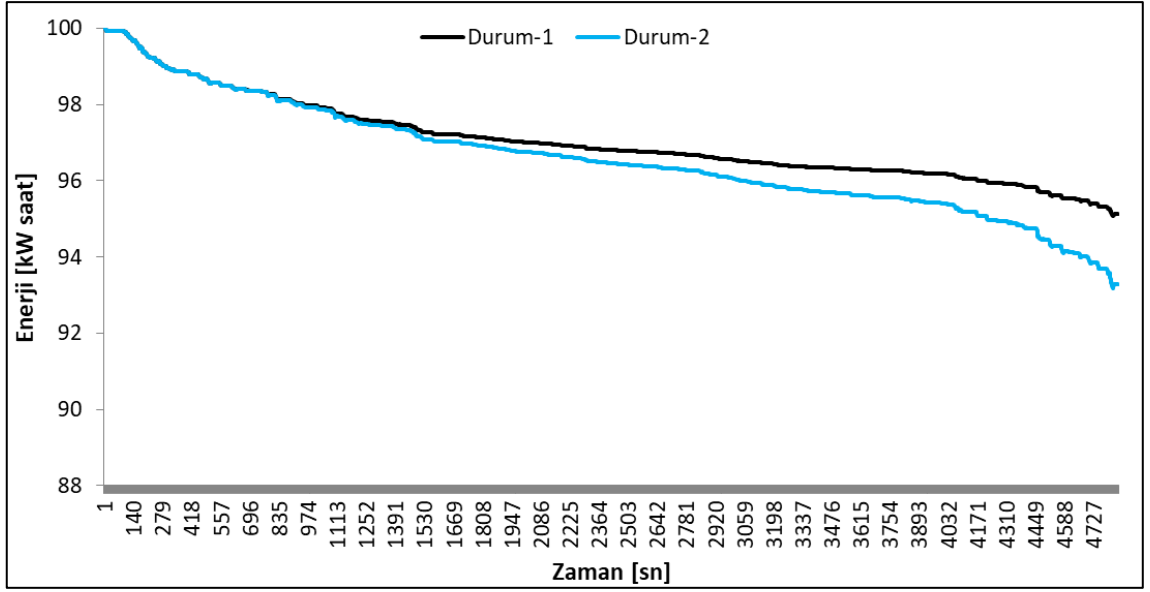


Şekil 4.12 Durum-1 için elektrikli çöp kamyonu enerji tüketimi değişimi



Şekil 4.13 Durum-2 için elektrikli çöp kamyonu enerji tüketimi değişimi

Burada son olarak her iki durum için elektrikli çöp kamyonu enerji durumu değişimi mukayeseli olarak Şekil 3.14'te gösterilmektedir. Bahsi geçen yapıda elektrikli çöp kamyonu batarya kapasitesinin piyasada yer alan hizmet araçları da irdelenerek 100 kW saat olarak dikkate alındığı hesaba katılmalıdır.



Şekil 4. 14 Durum-1 ve Durum-2 için elektrikli çöp kamyonu enerji durumu değişimleri

Burada Şekil 4.13'te belirtilen enerji tüketimlerinin toplamı Durum-1 için 4,88 kWsaat, Durum-2 için ise 6,73 kWsaat olarak hesaplanmıştır. Yani kütle değişiminin dikkate alınması ile birlikte gerçekliği %37,91 oranında artırılmıştır. İlgili rotanın tamamı 7,8 km'dir. Buna bağlı olarak ortalama elektrik enerjisi tüketimi gerçeğe daha yakın bir durum olan Durum-2 için 0,86 kWsaat/km olarak elde edilmiştir. Yani böyle bir sürüş profili ile ilgili elektrikli çöp kamyonu tam dolu bir batarya ile yaklaşık 116 km yol kat edebilecektir. Literatürde elektrikli binek araçlar için km başına ortalama elektrik enerjisi tüketimlerini belirten birçok kaynak mevcuttur (örneğin [40,41]). Fakat çöp kamyonlarını da içerecek şekilde elektrikli hizmet araçları için ortalama elektrik enerjisi tüketim değerine ait herhangi bir kaynak çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu bağlamda ilgili tüketim değerinin bundan sonraki çalışmalara da girdi sağlayabileceği düşünülmektedir.

4.2 Elektrikli Çöp Kamyonu Filosunun Örnek Bir Çöp Toplama Bölgesi İçin Rota Optimizasyonu

Bu bölümde, elektrikli çöp kamyonu filosunun rota optimizasyonuna ait Bölüm 3.2'de aktarılan optimizasyon modeli kullanılarak örnek bir çöp toplama bölgesi için durum analizi gerçekleştirilmiştir. Örnek çöp toplama bölgesi için Bölüm 4.1'de detayları belirtilen gerçek çöp toplama verisi gösterim kolaylığı açısından rastgele bir şekilde

azaltılarak kullanılmıştır. Bu bağlamda Çizelge 4.3'te detayları verilen veriler konteynerler arası mesafe bilgisi olarak kullanılmıştır. Bahsi geçen konteyner numaraları Bölüm 4.1'deki veriler ile aynılığı korumak açısından değiştirilmemiştir. İlgili mesafe değerleri ise kuşbakışı olarak enlem-boylam bilgisine göre değil, aksine GoogleMaps programına ilgili konteyner konumları etiketlenerek her bir konteyner arasındaki en kısa araçla gidilebilecek mesafenin elde edilmesiyle ortaya konulmuştur. Burada örneğin Garajdan Konteyner-11'e gitmek ile tersi rotayı izlemenin mesafeleri farklıdır. Bunun nedeni ilgili rota üzerinde tek yönlü yollar ve farklı dönüş bölgeleri var olmasıdır. Bu durum GoogleMaps programının bu bağlamda sağladığı avantaj vasıtası ile elde edilmiştir. Böylece literatürde farklı amaçlar ile rota optimizasyonu yapan çalışmalarda kullanılan simetrik mesafe matrisi girdisine göre daha gerçekçi bir yaklaşım oluşturulmuştur.

Çizelge 4.3 İlgili basitleştirilmiş örnek çöp toplama bölgesi mesafe verileri

	Garaj	1	11	21	31	41	51	61	71
Garaj	0	2,7	2,9	2,3	2,1	2,4	2,4	2,2	2,8
1	2,3	0	1	0,45	0,26	0,5	0,55	0,4	1
11	2,1	1	0	0,55	0,9	0,6	0,65	1	1
21	2,4	0,6	0,7	0	0,45	0,13	0,2	0,55	0,4
31	2,2	0,2	1,2	0,45	0	0,4	0,4	0,16	0,8
41	2,5	0,6	0,75	0,13	0,4	0	0,17	0,55	0,35
51	2,6	0,65	0,85	0,2	0,4	0,18	0	0,45	0,35
61	2,1	0,3	1,3	0,6	0,16	0,55	0,45	0	0,8
71	2,8	1	0,6	0,4	0,75	0,35	0,35	0,8	0

Burada elektrikli çöp kamyonu ortalama enerji tüketim değeri için ise Bölüm 4.1'de elde edilen ilgili değer optimizasyon probleminin girdisi olarak dikkate alınmıştır. Buna bağlı olarak elde edilen ilgili basitleştirilmiş örnek çöp toplama bölgesi enerji tüketim verileri Çizelge 4.4'te aktarılmaktadır.

Çizelge 4.4 İlgili basitleştirilmiş örnek çöp toplama bölgesi mesafe verileri

	Garaj	1	11	21	31	41	51	61	71
Garaj	0	2,328	2,501	1,983	1,811	2,070	2,070	1,897	2,415
1	1,983	0	0,862	0,388	0,224	0,431	0,474	0,345	0,862
11	1,811	0,862	0	0,474	0,776	0,517	0,561	0,862	0,862
21	2,070	0,517	0,604	0	0,388	0,112	0,172	0,474	0,345
31	1,897	0,172	1,035	0,388	0	0,345	0,345	0,138	0,690
41	2,156	0,517	0,647	0,112	0,345	0	0,147	0,474	0,302
51	2,242	0,561	0,733	0,172	0,345	0,155	0	0,388	0,302
61	1,811	0,259	1,121	0,517	0,138	0,474	0,388	0	0,690
71	2,415	0,862	0,517	0,345	0,647	0,302	0,302	0,690	0

İlgili optimizasyon modelinin çözümünde daha önce de belirtildiği üzere Generic Algebraic Modeling System (GAMS) yazılımı kullanılmıştır. GAMS, optimizasyon problemlerinin çözümünde farklı bilim dallarında ve endüstride sıklıkla kullanılan bir yazılımdır. Bahsi geçen GAMS yazılımı içerisinde ticari olarak mevcut olan CPLEX çözücüsü vasıtasıyla problem çözümü gerçekleştirilmiştir. İlgili problemin çözümünde Dell Precision T1700 model Inter Xeon 3,5 GHz işlemcili ve 8 GB RAM içeren bir iş istasyonu (Workstation) kullanılmıştır. Bahsi geçen GAMS kodu EK-A kapsamında belirtilmiştir. Buna bağlı olarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.5 $x_{i,j,h}$ değişkeninin aldığı sonuçlar

		1	2	3			1	2	3
Garaj	Garaj	0	1	1	41	Garaj	0	0	0
Garaj	1	0	0	0	41	1	0	0	0
Garaj	11	0	0	0	41	11	0	0	0
Garaj	21	0	0	0	41	21	0	0	0
Garaj	31	0	0	0	41	31	0	0	0
Garaj	41	0	0	0	41	41	0	0	0
Garaj	51	0	0	0	41	51	1	0	0
Garaj	61	1	0	0	41	61	0	0	0
Garaj	71	0	0	0	41	71	0	0	0
1	Garaj	0	0	0	51	Garaj	0	0	0
1	1	0	0	0	51	1	0	0	0
1	11	0	0	0	51	11	0	0	0
1	21	1	0	0	51	21	0	0	0
1	31	0	0	0	51	31	0	0	0
1	41	0	0	0	51	41	0	0	0
1	51	0	0	0	51	51	0	1	0
1	61	0	0	0	51	61	0	0	0
1	71	0	0	0	51	71	1	0	0
11	Garaj	1	0	0	61	Garaj	0	0	0
11	1	0	0	0	61	1	0	0	0
11	11	0	0	0	61	11	0	0	0
11	21	0	0	0	61	21	0	0	0
11	31	0	0	0	61	31	1	0	0
11	41	0	0	0	61	41	0	0	0
11	51	0	0	0	61	51	0	0	0
11	61	0	0	0	61	61	0	0	0
11	71	0	0	0	61	71	0	0	0
21	Garaj	0	0	0	71	Garaj	0	0	0
21	1	0	0	0	71	1	0	0	0
21	11	0	0	0	71	11	1	0	0
21	21	0	0	0	71	21	0	0	0
21	31	0	0	0	71	31	0	0	0
21	41	1	0	0	71	41	0	0	0
21	51	0	0	0	71	51	0	0	0
21	61	0	0	0	71	61	0	0	0
21	71	0	0	0	71	71	0	0	0
31	Garaj	0	0	0					
31	1	1	0	0	31	41	0	0	0
31	11	0	0	0	31	51	0	0	0
31	21	0	0	0	31	61	0	0	0
31	31	0	0	0	31	71	0	0	0

Çizelge 4.6 $y_{i,h}$ değişkeninin aldığı sonuçlar

	1	2	3
Garaj	1	1	1
1	1	0	0
11	1	0	0
21	1	0	0
31	1	0	0
41	1	0	0
51	1	1	0
61	1	0	0
71	1	0	0

Bahsi geçen 8 adet konteyner için normal işletim sıralamasına göre Garajdan başlanılarak 1-71 numaralı konteynerlerde çöp toplama işlemi gerçekleştirilirse enerji tüketimi 8,04 kWsaat olarak elde edilmektedir. Belirtilen optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen elektrik enerji tüketimi ise 5,49 kWsaat olarak gerçekleşmektedir. Bu bağlamda ilgili yaklaşımın uygulanması ile basitleştirilmiş örnek çöp toplama bölgesi için enerji tüketimi %31,77 oranında azaltılmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çevre Mühendisliği'nin en önemli çalışma alanlarından biri olan katı atık yönetimi, dünyada özellikle çevresel farkındalığın artması ile birlikte çok daha önemli bir konuma gelmiştir. Katı atık yönetimi sürecinin katı atıkların toplanması, taşınması, bertaraf edilmesi, vb. birçok farklı aşaması bulunmaktadır. Fakat burada en önemli aşamalardan birisi katı atıkların toplanması ve taşınması sürecidir. İlgili süreç içerisinde katı atıkların toplanmasını sağlayan çöp kamyonları ise ulaşım sektörünün diğer paydaşları gibi bir konvansiyonel yakıt tüketicisidir. Burada özellikle bahsi geçen konvansiyonel yakıt tüketimi çevresel açıdan oldukça önemli olumsuz sonuçlarında getirmektedir ve ulaşım sektörü bu tüketimde en büyük paya sahiptir. Ulaşım sektörünün farklı alanlarında bu açıdan alternatif yakıtlı araçların kullanımı ön plana çıkmaktadır ve burada elektrikli araçlar günümüzün en önemli yatırım alanlarından biri konumundadır.

Bu tez çalışmasında yukarıda verilen bilgiler ışığında elektrikli çöp kamyonları için bir rota optimizasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon probleminin çözümünde literatürde ve hatta endüstride sıklıkla kullanılan Generic Algebraic Modeling System (GAMS) yazılımından yararlanılmıştır. Konvansiyonel yakıtlı çöp kamyonlarının rota optimizasyonu için literatürde farklı çalışmalar mevcut olmasına rağmen elektrikli çöp kamyonlarını dikkate alan bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca literatürde detaylı şekilde ilgili çöp toplama alanı bilgilerine ulaşmak kolay değildir. Bu açıdan Bakırköy Belediyesi hizmet alanı içerisinde bir bölgede gerçek saha ölçümleri vasıtasıyla veri elde edilmiş ve buna bağlı olarak elektrikli çöp kamyonları için daha

sonra referans alınabilecek bir birim enerji tüketimi değeri elde edilmiştir. Bu değerin farklı kabuller altında hesaplanan değerlere göre yaklaşık %38 oranında gerçekliği artırdığı mukayeseli olarak ortaya konulmuştur.

Bunun yanı sıra optimizasyon yaklaşımının sınanması aşamasında gerçek yol bilgisi verileri girdi olarak kullanılan veriye entegre edilmiş ve daha gerçekçi bir yapıda sistem denemesi gerçekleştirilmiştir. Bahsi geçen optimizasyon algoritmasının sağladığı fayda baz durumuyla mukayeseli olarak gerçek veriler ışığında değerlendirilmiştir. İlgili elde edilen yaklaşık %32'lik fayda önemli bir değerdir ve ilgili sürecin yönetimine teknoekonomik açıdan önemli bir katkı sağlayabilecektir.

İlgili çalışmada kullanılan yaklaşımın arka planda GoogleMaps ya da Yandex gibi anlık trafik bilgisini de veren programları kullanarak rota optimizasyonunu dinamik şekilde gerçekleştiren ve güncelleştiren bir yazılım haline getirilmesi bu çalışmanın ya da bu alanda gerçekleştirilebilecek başka çalışmaların gelecek hedeflerinden biri olarak belirtilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Arslankaya, E., Ataselim, F. ve Varınca, K. B., (2007). "Katı Atık Toplama-Taşıma Araçlarının Aktarma Merkezleri ve İstanbul Trafiğinde Meydana Getirdiği Yüklerin Değerlendirilmesi", AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu (TÜRKAY 2017), 28-31 Mayıs 2007, İstanbul-Türkiye.
- [2] Sun, L. ve Karwan, M. H., (2018). "The Indefinite Period Traveling Salesman Problem", *European Journal of Operational Research*, 270:1171-1181.
- [3] Wang, Y., Chen, Y. ve Lin, Y., (2017). "Memetic Algorithm based on Sequential Variable Neighborhood Descent for the Minmax Multiple Traveling Salesman Problem", *Computers&Industrial Engineering*, 106:105-122.
- [4] Helal, N., Pichon, F., Porumbel, D., Mercier, D. ve Lefevre, E., (2018). "The Capacitated Vehicle Routing Problem with Evidential Demands", *International Journal of Approximate Reasoning*, 95:124-151.
- [5] Li, J., Wang, D. ve Zhang, J., (2018). "Heterogenous Fixed Fleet Vehicle Routing Problem based on Fuel and Carbon Emissions", *Journal of Cleaner Production*, 201:896-908.
- [6] Armağan, B. ve Demir, İ., (2005). "Evsel Katı Atık Toplama Sisteminin CBS Tabanlı Modellemesi", *İTÜ Dergisi (Mühendislik)*, 4:119-125.
- [7] Apaydın, O., Arslankaya, E., Avsar, Y. ve Gonullu, Y.A., (2004). "GIS Supported Optimization of Solid Waste Collection in Trabzon", *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4:249-254.
- [8] Apaydın, Ö., (2005). "Trabzon Şehri Katı Atık Toplama İşleminin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Destekli Optimizasyonu İçin Bir Uygulama", *Ekoloji*, 14:1-6.
- [9] Apaydın, O. ve Gonullu, M. T., (2007). "Route Optimization for Solid Waste Collection: Trabzon (Turkey) Case Study", *Global NEST Journal*, 9:6-11.
- [10] Güvez, H., Dege, M. ve Eren, T., (2012). "Kırıkkale'de Araç Rotalama Problemi ile Tıbbi Atıkların Toplanması", *International Journal of Engineering Research and Development*, 4:41-45.

- [11] Demir, E., Gültekin, D., Sandıkçioğlu, S., Sayhan, A., Yeşildağ, M., Kırca, Ö. ve Süral, H., (2000). "Yenimahalle Belediyesi Katı Atık Toplama ve Taşıma Sistemi Tasarımı", Endüstri Mühendisliği Dergisi, 12:52-64.
- [12] Hannan, M. A., Akhtar, M., Begum, R. A., Basri, H., Hussain, A. ve Scavino, E., (2018). "Capacitated Vehicle-Routing Problem Model for Scheduled Solid Waste Collection and Route Optimization Using PSO Algorithm", Waste Management, 71:31-41.
- [13] Das, S. ve Bhattacharyya, B. Kr., (2015). "Optimization of Municipal Solid Waste Collection and Transportation Routes", Waste Mangement, 43:9-18.
- [14] Ramos T. R. P., Morais, C. S. ve Povia, A. P. B., (2018). "The Smart Waste Collection Routing Problem: Alternative Operational Management Approaches", Expert System With Applications, 103:146-158.
- [15] Rodriguez, J. G., Martinez, M. G. L., Ramirez, R. V. ve Alvarez, J. E. B., (2018). "Optimal Municipal Solid Waste Energy Recovery and Management: A Mathematical Programming Approach", Computers and Chemical Engineering, 119:394-405.
- [16] Hannan, M. A., Akhtar, M., Begum, R. A., Basri, H., Hussain, A. ve Scavino, E., (2017). "Backtracking Search Algorithm in CVRP Models for Efficient Solid Waste Collection and Route Optimization", Waste Management, 61:117-128.
- [17] Ravey, A., Watrin, N., Blunier, B., Bouquain, D. ve Miraoui, A., (2011). "Energy-Source-Sizing Methodology for Hybrid Fuel Cell Vehicles Based on Statistical Description of Driving Cycles", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 60:4164-4173.
- [18] Macrina, G., Pugliese, L. D. P., Guerriero, F. ve Laporte, G., (2019). "The Green Mixed Fleet Vehicle Routing Problem with Partial Battery Recharging and Time Windows", Computers and Operations Research, 101:183-199.
- [19] Chen, T., Zhang, B., Pourbabak, H., Fard, A. K. ve Su, W., (2018). "Optimal Routing and Charging of an Electric Vehicle Fleet for High-Efficiency Dynamic Transit Systems", IEEE Transactions on Smart Grid, 9:3563-3572.
- [20] Zuo, X., Zhu, C., Huang, C. ve Xiao, Y., (2017). "Using AMPL/CPLEX to Model and Solve the Electric Vehicle Routing Problem (EVRP) with Heterogeneous Mixed Fleet", 29th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 28-30 May 2017, Chongqing-China.
- [21] Dünya Bankası, Katı Atık Yönetimine Güncellenmiş Bir Bakış Açısı, <https://www.worldbank.org/en/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>, 17 Kasım 2018.
- [22] Türkiye İstatistik Kurumu, Belediye Atık İstatistikleri, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=119&locale=tr>, 17 Kasım 2018.
- [23] Türkiye İstatistik Kurumu, Belediye Atık İstatistikleri, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24876>, 17 Kasım 2018.

- [24] Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi, Atık Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu, [http://www.turkeycomposts.org/dosya/kaynaklar/COB Atik Sektoru Mevcut Durum Degerlendirmesi Raporu 2010.pdf](http://www.turkeycomposts.org/dosya/kaynaklar/COB_Atik_Sektoru_Mevcut_Durum_Degerlendirmesi_Raporu_2010.pdf), 17 Kasım 2018.
- [25] Wikipedia, Atık Hiyerarşisi, https://en.wikipedia.org/wiki/Waste_hierarchy, 17 Kasım 2018.
- [26] Zaļoksnis, J. "Solid Waste Management", [https://www.geo.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/gzzf/videunil_gtspejigaattistiba/VidZ1000/16.LECTURE-Solid waste management.pdf](https://www.geo.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/gzzf/videunil_gtspejigaattistiba/VidZ1000/16.LECTURE-Solid_waste_management.pdf), 17 Kasım 2018.
- [27] Shin, D. Generation and Disposition of Municipal Solid Waste (MSW) in the United States–A National Survey, [http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Dolly Shin Thesis.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Dolly_Shin_Thesis.pdf), 17 Kasım 2018.
- [28] Stringfellow, T. "An Independent Engineering Evaluation of Waste-to-Energy Technologies" <https://www.renewableenergyworld.com/articles/2014/01/an-independent-engineering-evaluation-of-waste-to-energy-technologies.html>, 17 Kasım 2018.
- [29] İSTAÇ, Kompost Geri Kazanımı, <http://www.istac.istanbul/tr/temiz-istanbul/evsel-atiklar/kompost-geri-kazanimi>, 17 Kasım 2018.
- [30] İSTAÇ, Çöp Gazından Enerji Üretimi, <http://www.istac.istanbul/tr/temiz-istanbul/evsel-atiklar/copgazindan-enerji-uretimi>, 17 Kasım 2018.
- [31] Advanced Disposal, Landfill Gas-to-Energy, <https://www.advanceddisposal.com/for-mother-earth/education-zone/landfill-gas-to-energy.aspx>, 17 Kasım 2018.
- [32] BBC News, Q&A: Waste Incineration, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4622484.stm>, 17 Kasım 2018.
- [33] İSTAÇ, Aktarma İstasyonları Yönetimleri, <http://www.istac.istanbul/tr/temiz-istanbul/evsel-atiklar/aktarma-istasyonlari-yonetimi>, 17 Kasım 2018.
- [34] İSTAÇ, Avrupa Yakası Aktarma İstasyonları, http://istac.com.tr/contents/3514/aktarma-istasyonlari-yonetimi_131705036826040419.pdf, 17 Kasım 2018.
- [35] İSTAÇ, Düzenli Depolama, <http://www.istac.istanbul/tr/temiz-istanbul/evsel-atiklar/duzenli-depolama>, 17 Kasım 2018.
- [36] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Belediye Atıkları Miktarı ve Bertaraf Miktarı, <http://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/belediye-atiklari-miktari-ve-bertaraf-miktari-i-85749>, 17 Kasım 2018.
- [37] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atık Düzenli Depolama Tesis Sayısı-Belediye Sayısı-Hizmet Verilen Nüfus, <http://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/atik->

Kasım 2018.

- [38] Larminie J. ve Lowry, J., (2003). "Electric Vehicle Technology Explained", Wiley.
- [39] Erdinc, O., Paterakis, N. G., Mendes, T. D. P., Bakirtzis, A. G. ve Catalao, J. P. S., (2015). "Smart Household Operation Considering Bi-Directional EV and ESS Utilization by Real-Time Pricing-Based DR", IEEE Transactions on Smart Grid, 6:1281-1291.
- [40] Yağcitekin, B., Uzunoğlu, M., Karakaş, A. ve Erdiñç, O., (2015). "Assessment of Electrically-Driven Vehicles in Terms of Emission Impacts and Energy Requirements: A Case Study for Istanbul, Turkey", Journal of Cleaner Production, 96:486-492.
- [41] Wu, X., Freese, D., Cabrera, A. ve Kitch, W. A., (2015). "Electric Vehicles' Energy Consumption Measurement and Estimation", Transportation Research Part D, 34:52-67.

GAMS KODU

```
$Set CopKon 8
```

```
* Cop konteyneri sayisi, 0=kamyon garaji
```

```
$Set CopKam 3
```

```
* Cop kamyonu sayisi
```

```
SETS
```

```
i cop konteynerleri /Garaj,1,11,21,31,41,51,61,71/
```

```
h araclar /1*%CopKam%/
```

```
alias(i,j) ;
```

```
Scalar CopKam /3/;
```

```
*Cop konteynerlerindeki coplerin kg cinsinden agirligi
```

```
Parameter BinMass(i) ;
```

```
BinMass['1'] = 144 ;
```

```
BinMass['11'] = 160 ;
```

```
BinMass['21'] = 144 ;
```

```
BinMass['31'] = 144 ;
```

```
BinMass['41'] = 112 ;
```

```
BinMass['51'] = 64 ;
```

```
BinMass['61'] = 112 ;
```

BinMass['71'] = 96 ;

*Cop konteynerlerinin lokasyonlari arasindaki metre cinsinden mesafeler

Table ET(i,j)

Garaj	1	11	21	31	41	51	61	71
Garaj 0	2.328	2.501	1.983	1.811	2.070	2.070	1.897	2.415
1	0	0.862	0.388	0.224	0.431	0.474	0.345	0.862
11	1.811	0	0.474	0.776	0.517	0.561	0.862	0.862
21	2.070	0.517	0.604	0	0.388	0.112	0.172	0.474
31	1.897	0.172	1.035	0.388	0	0.345	0.345	0.138
41	2.156	0.517	0.647	0.112	0.345	0	0.147	0.474
51	2.242	0.561	0.733	0.172	0.345	0.155	0	0.388
61	1.811	0.259	1.121	0.517	0.138	0.474	0.388	0
71	2.415	0.862	0.517	0.345	0.647	0.302	0.302	0.690

*Cop kamyonlari ninin kg cinsinden agirlik kapasitesi (araç ağırlığı haric)

Parameter MassCap(h) ;

MassCap['1'] = 9000 ;

MassCap['2'] = 9000 ;

MassCap['3'] = 9000 ;

*i ve j aynı aracın rotasındaki üst üste gelen konteynerler ise 1, aksi durumda 0

Binary variable x(i,j,h);

*arac i konteynerinden ayrilirken 1

Binary variable $y(i,h)$;

Variables

Z

$M(i,h)$

Equations

Amac

Tekgiris

Tekcikis

Ayniarac1

Ayniarac2

Kutlesinir

Garajadonus

Masssubtour;

Amac.. $Z=e=\text{sum}(h, \text{Sum}\{(i,j)\$(\text{ord}(i) \text{ ne } \text{ord}(j)), \text{ET}(i,j)*x(i,j,h)\})$;

Tekgiris(i) $\$(\text{ord}(i)>1).. \text{Sum}(h, \text{Sum}\{j \$(\text{ord}(i) \text{ ne } \text{ord}(j)), x(j,i,h)\}) =e= 1$;

Tekcikis(i) $\$(\text{ord}(i)>1).. \text{Sum}(h, \text{Sum}\{j \$(\text{ord}(i) \text{ ne } \text{ord}(j)), x(i,j,h)\}) =e= 1$;

Ayniarac1(i,h).. $\text{sum}((j),x(i,j,h))-y(i,h)=e=0$;

Ayniarac2(i,h).. $\text{sum}((j),x(j,i,h))-y(i,h)=e=0$;

Kutlesinir(h).. $\text{sum}(i, \text{BinMass}(i)*y(i,h))=l=\text{MassCap}(h)$;

Garajadonus.. $\text{sum}((h,i), x(i,'Garaj',h))=e=\text{CopKam}$;

Masssubtour(i,j,h) $\$(\text{ord}(i)>1 \text{ and } \text{ord}(j)> 1 \text{ and } \text{ord}(i) \text{ ne } \text{ord}(j)).. M(i,h) - M(j,h) + \text{BinMass}(i) =l= 50000*(1-x(i,j,h))$;

$M.\text{up}(i,h) = \text{MassCap}(h)$;

$M.\text{lo}(i,h) = \text{BinMass}(i)$;

Model ElektrikliCopKamyonlari / all / ;

Solve ElektrikliCopKamyonlari using MIP minimazing Z;

Display x.l ;

Display y.l;

Display Z.l;

execute "xlstalk -S output.xlsx"

Execute_Unload "output.gdx" x.l y.l

Execute 'GDXXRW.EXE output.gdx O=output.xlsx SQ=N Var=x.l Rng=1!B2'

Execute 'GDXXRW.EXE output.gdx O=output.xlsx SQ=N Var=y.l Rng=2!B2'

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Oğuzhan ERDİNÇ
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.07.1992 - İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : oguzhanerdinc92@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Çevre Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	
Lisans	Çevre Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Fen-Matematik	Adile Mermerci Anadolu Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2018-Devam	Shell & Turcas Petrol A. Ş.	Madeni Yağlar Müşteri Operasyonları Uzmanı
2016-2017	MTU Motor Türbin Sanayi ve Ticaret A. Ş.	Management Trainee

YAYINLARI

Makale

1. Erdinc, O., Yetilmezsoy, K., (2017). "Analysis of Reasons and Amount of Construction and Demolition Wastes: The Case of Istanbul (Turkey)", Fresenius Environmental Bulletin, 26:3560-3568.

Bildiri

1. Erdinc, O., Yetilmezsoy, K., (2018). "Katı Atık Toplanması Sürecinde Kullanılan Taşıtların Rota Optimizasyonu Açısından İlgili Yaklaşımların Değerlendirilmesi", II. Uluslararası Multidipliner Akademik Çalışmalar Sempozyumu, 16-17 Kasım 2018, İstanbul-Türkiye.

