



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



ELEKTRİKLİ OTOBÜSLER İÇİN ÇOK AMAÇLI TOPLU TAŞIMA AĞ TASARIMI

Doktora Tezi

İlyas Cihan AKSOY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2023

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

ELEKTRİKLİ OTOBÜSLER İÇİN ÇOK AMAÇLI TOPLU TAŞIMA AĞ TASARIMI

İlyas Cihan AKSOY

Danışman: Doç. Dr. Yalçın ALVER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Doktora Programı

İZMİR
2023

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Elektrikli Otobüsler için Çok Amaçlı Toplu Taşıma Ağ Tasarımı” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

01/12/2023

İlyas Cihan Aksoy

ÖZET**ELEKTRİKLİ OTOBÜSLER İÇİN ÇOK AMAÇLI TOPLU TAŞIMA
AĞ TASARIMI**

AKSOY, İlyas Cihan

Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yalçın ALVER

Aralık 2023, 75 sayfa

Elektrikli otobüslerin sürdürülebilir bir ulaşım için yakın gelecekte toplu taşıma sistemlerinin en yaygın türlerinden biri olması beklenmektedir. Bununla birlikte, elektrikli otobüslerin kısıtlı sürüş mesafelerine sahip olması sebebiyle küresel çapta yaygınlaşma hızındaki kritik eşik aşılamamaktadır. Elektrikli otobüslerin duraklardaki yolcu indirme/bindirme süreleri boyunca enerji tedarik etmesine imkân tanıyan fırsat şarj stratejisi, onların kısıtlı sürüş mesafelerini uzatabilmek için verimli bir yöntemdir. Fakat, şarj cihazlarının kurulacağı duraklar belirlenirken hem işletme hem de kullanıcılar açısından daha verimli toplu taşıma ağları yaratabilmek için problem geleneksel toplu taşıma planlamasıyla beraber ele alınmalıdır. Bu bütünlük problem, optimum rotaları, frekansları ve de şarj altyapısını eş zamanlı belirlemeye odaklanan Elektrikli Toplu Taşıma Ağ Tasarımı ve Frekans Ayarlama Problemi olarak adlandırılmaktadır.

Günümüze kadar, problem için ağdaki her bir otobüsün enerji durumunu bireysel olarak değerlendirmenin ve toplu taşıma ağlarının dinamik yönlerinin otobüslerin enerji durumlarına etkisinin göz ardı edildiği birkaç çalışma yürütülmüştür. Bu sebeplerden dolayı, bu tez çalışmasında, bahsedilen araştırma eksiklikleri de hesaba katılarak problem gerçekçi ve kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır. Kompleks problemi ele almak için geliştirilen Çok Amaçlı Diferansiyel Gelişim Algoritması dinamik arz ve talebe sahip olan hipotetik bir ağ üzerinde test edilmektedir. Geliştirilen optimizasyon modelinin parametreleri için en iyi değerleri belirleyebilmek adına bir kalibrasyon süreci yürütülmektedir. Ardından, elde edilen en iyi Pareto cephesi üzerindeki üç çözüm maliyetler ve tasarım değişkenleri arasında ilişkiyi ortaya koyabilmek adına karşılaştırmalı

olarak sunulmaktadır. Ek olarak, elektrik tasarım parametreleri için farklı değerlerin operatör maliyetine etkisini daha iyi anlayabilmek için elde edilen en iyi Pareto optimal çözüm üzerinde bir hassasiyet analizi yürütülmüştür. Son olarak, dinamik arz ve talebi hesaba katmanın elektrikli toplu taşıma aę tasarımındaki önemi, statik arz ve talep ile elde edilen çıktılar ile karşılaştırılarak ortaya konulmaktadır.

Anahtar sözcükler: Elektrikli toplu taşıma aę tasarımı, elektrikli otobüsler, fırsat şarj stratejisi, diferansiyel gelişim algoritması, çok amaçlı optimizasyon.



ABSTRACT**MULTI-OBJECTIVE TRANSIT NETWORK DESIGN FOR
ELECTRIC BUSES**

AKSOY, İlyas Cihan

PhD in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yalçın ALVER

December 2023, 75 pages

Electric buses are projected to become the standard mode of transit systems for sustainable transportation in the near future. Nevertheless, due to the limited driving range of electric buses, the critical threshold for widespread adoption on a global scale cannot be overcome. Opportunity charging strategy, which enables electric buses to supply energy at stops during dwell times, appears to be an effective way to extend their limited driving range issue. However, the problem of determining stops to be equipped with a charger should be addressed simultaneously with the traditional transit network planning in order to design more efficient transit networks, from both operator and users perspectives. This integrated problem is referred to as the Electric Transit Network Design and Frequency Setting Problem, which focuses on simultaneously determining optimum routes, frequencies, and also charging infrastructure.

So far, several studies on the problem have been conducted, with the absence of evaluating the energy state of each electric bus individually and considering the impact of dynamic aspects of transit networks on buses' energy state. For these reasons, this thesis study aims to fill these research gaps in previous studies for a realistic and comprehensive analysis. The Multi-Objective Differential Evolution Algorithm (MODEA), developed to solve the complex problem at hand, is tested on a hypothetical network with dynamic demand and supply. A calibration process is conducted to identify the best configuration for the parameter values of the MODEA. Subsequently, three solutions on the best Pareto front obtained are compared to better understand the relationship between costs and design variables. Moreover, a sensitivity analysis over the best Pareto optimal solution obtained is carried out to understand better the impact of different values

for electricity design parameters on the operator cost. Lastly, the importance of considering the dynamic aspects of supply and demand in electric transit planning becomes evident when comparing findings obtained by considering static demand and supply.

Keywords: Electric transit network design problem, electric buses, opportunity charging strategy, differential evolution algorithm, multi-objective optimization.



ÖNSÖZ

Elektrikli otobüsler, içten yanmalı dizel otobüsler karşısında emisyon kaynaklı hava kirliliğini ortadan kaldırarak sürdürülebilir bir toplu taşıma hizmeti sunmaktadır. Ayrıca, ülkemiz gibi kısıtlı kaynaklara sahip ve akaryakıtta dışa bağımlı ülkeler için ekonomik bir çözüm sağlamaktadır. Bununla birlikte, elektrikli otobüslerin kısıtlı sürüş mesafelerine sahip olmaları, onların toplu taşıma ağlarına entegrasyonunu zorlaştırmakta olup, yaygın kullanımını engellemektedir. Bu problemi ortadan kaldırabilmek için, elektrikli otobüsler ile işletilen toplu taşıma ağlarının tasarımı araştırmacılar için güncel bir konudur. Ancak, yapılan çalışmalarda hatların enerji durumu ele alınmış olup, gerçek ölçekli ağlardaki dinamik yönlerin aynı hatta hizmet veren otobüslerin enerji durumlarında farklılıklar meydana getirebileceği hesaba katılmamıştır.

Bu tez çalışmasında, literatürdeki araştırma eksiklikleri de hesaba katılarak, elektrikli otobüsler ile işletilen toplu taşıma ağlarının hem işletme hem de toplam kullanıcı maliyetlerinin eş zamanlı en küçüklenmesi amacıyla çift seviyeli bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen optimizasyon modelinin testlerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, aynı hatta çalışan otobüslerin enerji durumlarında ciddi farklılıklar olduğu görülmektedir. Ağ dinamik arz ve talep yönleri ile beraber ele alındığında, statik bir değerlendirmeye göre hem toplam kullanıcı hem de işletme maliyetleri açısından ciddi artışlar olduğu ortaya konulmaktadır. Böylece, bu tez çalışması ile, elektrikli otobüsler ile işletilen gerçek ölçekli toplu taşıma ağları tasarlanırken, ağların dinamik yönlerinin dikkate alınmasının gerekliliği vurgulanmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında yürütülen çalışmaların gelecek çalışmalara katkı sağlamasını ve geliştirilen optimizasyon modelinin karar vericiler için bir karar destek sistemi olmasını dilerim.

KARAMAN

01/12/2023

İlyas Cihan AKSOY



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK.....	i
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLolar DİZİNİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
1 GİRİŞ.....	1
2 GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR	5
2.1 Toplu Taşıma Ağ Tasarım Frekans Ayarlama Problemi.....	7
2.2 Şarj Altyapısı Konumlandırma Problemi	8
2.3 Elektrikli Toplu Taşıma Ağ Tasarım Frekans Ayarlama Problemi.....	9
2.4 Araştırma Eksiklikleri ve Tez Çalışmasının Katkısı	11
3 PROBLEMİN TANIMI VE MODELLEME	14

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.1 Seferlerin Çizelgelenmesi.....	14
3.2 Toplu Taşıma Ataması	17
3.3 Şarj Altyapısı Konumlandırma Problemi	26
4 ÇÖZÜM YAKLAŞIMI	30
4.1 Rota Veri Tabanı Üretimi.....	33
4.2 Çok Amaçlı Diferansiyel Gelişim Algoritması	34
4.3 Aday Çözümlerin Değerlendirilmesi.....	36
4.4 Aday Çözümlerin Uygulanabilirlik Kontrolü.....	37
5 TESTLER	39
5.1 Parametrelerin Kalibrasyonu	43
5.2 En İyi Pareto Cephesi ve Pareto Optimal Çözümün Belirlenmesi	45
5.3 Elektriksel Parametreler ile İlgili Hassasiyet Analizi.....	53
5.4 Statik ve Dinamik Ağlar Üzerindeki Çıktıların Karşılaştırılması	56
6 SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	63
TEŞEKKÜR	71
ÖZGEÇMİŞ.....	73

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

EKLER75





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Elektrikli otobüsler için şarj stratejileri	3
3.1 Toplu taşıma ağı gösterimi için bir örnek	16
3.2 Sefer kesimleri için bir örnek	22
4.1 Pareto cephesi ve Pareto optimal çözümler için örnek bir gösterim	31
4.2 Geliştirilen çift seviyeli çözüm sürecinin akış şeması.....	33
4.3 Örnek bir kromozomun temsili.....	35
5.1 Hipotetik ağın detayları	40
5.2 Yolculuk başlangıç zamanlarının analiz peridoyu boyunca dağılımı	41
5.3 Zamana bağlı link seyahat süreleri	42
5.4 Her bir kombinasyon için ortalama hipervolüm değeri.....	44
5.5 En iyi Pareto cephesinin hipervolümü	45
5.6 En iyi Pareto cephesine ait Pareto verimliliği.....	46
5.7 En iyi Pareto cephesinin jenerasyonlar boyunca gelişimi	46
5.8 En iyi Pareto cephesinin jenerasyonlar boyunca hipervolümü	47
5.9 Her bir şarj cihazlı duraktan tedarik edilen kümülatif enerji miktarı	52
5.10 Rota 7'ye hizmet veren 1 numaralı otobüsün seferleri boyunca yolculuk aktivitesi ve enerji durumu.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

5.11 Elektrik parametreleri için hassasiyet analizi sonuçları..... 56



TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 E-TATFAP ile ilgili geçmiş çalışmaların özeti	11
3.1 Yolculuk atama modellerinin sınıflandırılması.....	18
5.1 Talep matrisi	39
5.2 Parametre değerleri.....	42
5.3 Toplam kullanıcı maliyeti için en iyi çözüm	48
5.4 En iyi Pareto optimal çözüm	49
5.5 İşletme maliyeti için en iyi çözüm.....	50
5.6 Ağdaki her bir otobüsün detaylı enerjisi durumu	52
5.7 Dinamik ve statik ağlar üzerindeki performans çıktıları	58



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
R	Rotalar kümesi
S	Duraklar kümesi
A	Linkler kümesi
Z	Sefer kesimleri kümesi
V	Tüm duraklardan gerçekleşen sefer kalkışları
V^e	Mevcut V kümesinde en erken kalkan sefer kalkışları kümesi
V_s^e	Mevcut V^e kümesinde s durağından en erken kalkan sefer kalkışları kümesi
Q	Talep kümesi
Q_s^e	e anına kadar s durağında bekleyen talep kümesi
$Q_{s,v}^e$	e anına kadar s durağında bekleyip v sefer kalkışına binmek isteyen talep kümesi
P_{s,d_q}^e	e anında q talebi için s durağından d_q varış durağına olan minimum maliyetli güzergahı oluşturan sefer kesimleri kümesi
P_{o_q,d_q}^e	e anında q talebi için o_q başlangıç durağından d_q varış durağına olan minimum maliyetli güzergahı oluşturan sefer kesimleri kümesi
\overline{P}_q	q talebinin gerçekte takip ettiği güzergahı oluşturan sefer kesimleri kümesi
B^r	r rotasına hizmet eden otobüsler kümesi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\mathbf{K}^{r,b}$	r rotasında b otobüsü ile yürütülen seferler kümesi
r	Rota indeksi
s	Durak indeksi
j	Durak sırası indeksi
a	Link indeksi
z	Sefer kesimi indeksi
v	Sefer kalkışı indeksi
q	Talep indeksi
b	Otobüs indeksi
k	Sefer indeksi
i	Zaman aralığı indeksi
$\hat{\mu}_{r,b,k,j}$	r rotasında b otobüsü ile işletilen k seferinin j 'nci durağında binen yolcu sayısı
$\check{\mu}_{r,b,k,j}$	r rotasında b otobüsü ile işletilen k seferinin j 'nci durağında inen yolcu sayısı
$t_w^{z,q}$	z sefer kesimi için q talebinin bekleme süresi
t_{iv}^z	z sefer kesiminin taşıt içi seyahat süresi
$\delta^{z,q}$	q talebinin z sefer kesimine binişi transfer yapmasını gerektiriyorsa 1, aksi halde 0

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$t_{r,b,k,j}$	r rotasındaki b otobüsünün k seferinin j 'nci durağında şarj olma süresi (sn.)
$E_{r,b,k,j}$	r rotasına hizmet eden b otobüsünün k seferinin j 'nci durağından ayrıldığı andaki kalan enerji miktarı (kWh)
$e_{r,b,k,j,j+1}$	r rotasına hizmet eden b otobüsünün k seferi boyunca j 'nci durağını $j + 1$ 'inci durağa bağlayan link üzerinde tükettiği enerji (kWh)
λ_q	q talebinin binmek istediği sefer kalkışı
γ_v	v sefer kalkışı içerisindeki boşluk
$\xi_{s,v}^e$	e anına kadar s durağında v sefer kalkışı için bekleyen yolcuların sayısı
f_r^i	i zaman aralığı, $i \in \mathbf{I}^f$, boyunca r rotasının frekansı (/sa.)
Δ_s	s durağına bir şarj cihazı kuruluyorsa 1, aksi halde 0
$l_{r,j,j+1}$	r rotasının j 'nci durağını $j + 1$ 'inci durağa bağlayan linkin uzunluğu (km)
t_a^i	i zaman aralığı, $i \in \mathbf{I}^l$, boyunca a linkinin seyahat süresi (dk.)
ω_r	$\bar{\mathbf{R}}$ kümesindeki r rotasının numarası
nB_r	r rotasındaki otobüslerin sayısı
BC	Batarya kapasitesi (kWh)
CP	Şarj gücü (kW)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
CE	Şarj cihazının verimliliği (%)
AEC	Ortalama enerji tüketimi (kWh/km)
c_e	Batarya maliyetsiz elektrikli otobüs satın alma maliyeti (€)
c_b	Batarya kapasitesi birim maliyeti (€/kWh)
c_{inv}	Dönüştürücü maliyeti (€)
c_c	Kablo uzunluğu birim maliyeti (€/m)
c_p	Şarj gücü birim maliyeti (€/kW)
SOC_{min}	İzin verilen minimum batarya doluluk oranı (%)
SOC_{max}	İzin verilen maksimum batarya doluluk oranı (%)
d_s	s durağının kendisine en yakın trafoya Öklid mesafesi (m)
f_{min}	İzin verilen en düşük frekans değeri (/sa.)
f_{max}	İzin verilen en yüksek frekans değeri (/sa.)
nR	Rota sayısı
\widehat{nI}	Frekanslar açısından zaman aralıklarının sayısı
\widetilde{nI}	Link seyahat süreleri açısından zaman aralıklarının sayısı
\hat{t}	Yolcu binişi başına geçen zaman (sn.)
\check{t}	Yolcu inişi başına geçen zaman (sn.)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
w_{iv}	Taşıt içi yolculuk süresinin ağırlığı
w_w	Bekleme süresinin ağırlığı
t_t	Transfer yapmanın cezası
ψ	Maksimum rota sapma faktörü
$nPop$	Popülasyon boyutu
nG	Maksimum jenerasyon sayısı
F	Ölçeklendirme faktörü
CR	Çaprazlama olasılığı
nZ	Referans noktalarının sayısı
F_1	P_{o_q, q_d}^e kümesini veren fonksiyon
F_2	v sefer kalkışı z sefer kesimine aitse 1, aksi halde 0
F_3	$Q_{s,v}^e$ kümesi için $\hat{Q}_{s,v}^e$ ve $\check{Q}_{s,v}^e$ kümelerini ayıran fonksiyon
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması
ÇADGA	Çok Amaçlı Diferansiyel Gelişim Algoritması
BSGA-III	Baskılanmamış Sıralama Genetik Algoritması III
KTP	Karma Tamsayı Programlama

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
TAP	Toplu Taşıma Ağ Planlama
TATFAP	Toplu Taşıma Ağ Tasarım Frekans Ayarlama Problemi
TAÇP	Toplu Taşıma Ağ Çizelgeleme Problemi
TATÇP	Toplu Taşıma Ağ Tasarım Çizelgeleme Problemi
ŞAKP	Şarj Altyapısı Konumlandırma Problemi
E-TATFAP	Elektrikli Toplu Taşıma Ağ Tasarım Frekans Ayarlama Problemi

1 GİRİŞ

Ulaşımın sürdürülebilir türlerinden biri olan toplu taşıma sistemleri, yüksek yolcu kapasiteleri sayesinde özellikle kentsel bölgelerde yolculukların büyük bir bölümünü taşıyarak trafik sıkışıklığı, hava ve gürültü kirliliği gibi ulaşım kaynaklı problemlerin yatıştırılmasında en etkili çözüm yöntemlerden biri olarak görülmektedir. Toplu taşımanın türel dağılımdaki payının arttırılarak otomobiller ile yapılan yolculukların azaltılması, sürdürülebilir toplu taşıma ağları ve kentler yaratılmasında önemli rol oynamaktadır.

Kentsel bölgelerdeki toplu taşıma sistemleri ulaşımın diğer türleri ile karşılaştırıldığında her ne kadar sürdürülebilir ve çevre dostu olsa da tüm ulaşım sektörünün yaydığı emisyonun önemli bir yüzdesi, toplu taşımanın belkemiği olan geleneksel içten yanmalı otobüsler tarafından üretilmektedir. Bu oran Lin vd. (2019) çalışmasına göre yaklaşık olarak %34'tür. Ek olarak, International Energy Agency (2022) raporlarında, tüm ulaşım sektörünün fosil yakıt tüketiminde ciddi bir yüzdeye sahip olduğu ve küresel çaptaki CO₂ salımının %40'ına sebep olduğu belirtilmektedir. Bu bilgiler ışığında, dizel otobüslerin tek başına küresel çaptaki emisyonun büyük bir yüzdesine sebep olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca, Gao vd. (2014) ve Noel ve McCormack (2014) çalışmalarında ise, dizel otobüslerin sık dur-kalk hareketlerinin ciddi bir sera gazı salımını meydana getirerek, hava kirliliği ve sağlık problemlerine yol açtığı vurgulanmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, ulaşım plancıları ve araştırmacılar tarafından odaklanılan güncel konulardan biri çevre dostu ve sürdürülebilir toplu taşıma sistemleri tasarlamak olmuştur. Bu amaçla, tüm dünya çapında ulaşım kaynaklı çevre problemlerini ortadan kaldırmak için alternatif yakıtlı araçların kullanımını teşvik eden "Kyoto Protokolü" ve "Sıfır Emisyonlu Araç Teşviki" gibi yasal düzenlemeler yürürlüğe konulmuştur (Mpousdra vd., 2018). Ancak, alternatif yakıtlı araçların kullanımı ile sera gazı salımı yine de tamamen ortadan kaldırılamamaktadır. Bu sebepten dolayı, elektrikli otobüsler çevreci ve sürdürülebilir toplu taşıma sistemleri yaratabilmek için en uygun seçenek olarak düşünülmektedir (Tzeng, Lin, & Opricovic, 2005). Bu nedenle, elektrikli otobüslerin pazardaki payı geleneksel dizel otobüslere göre son yıllarda hızlı bir şekilde artmaktadır (Bloomberg New Finance L.P., 2023).

Elektrikli otobüsler sessiz, çevreci ve enerji verimli işletim özellikleri ile kentsel ulaşım sistemleri için ideal bir teknolojidir. Bununla birlikte, elektrikli otobüslerin sürüş mesafeleri kısıtlı olmakla beraber, bu mesafe Gao vd. (2017)

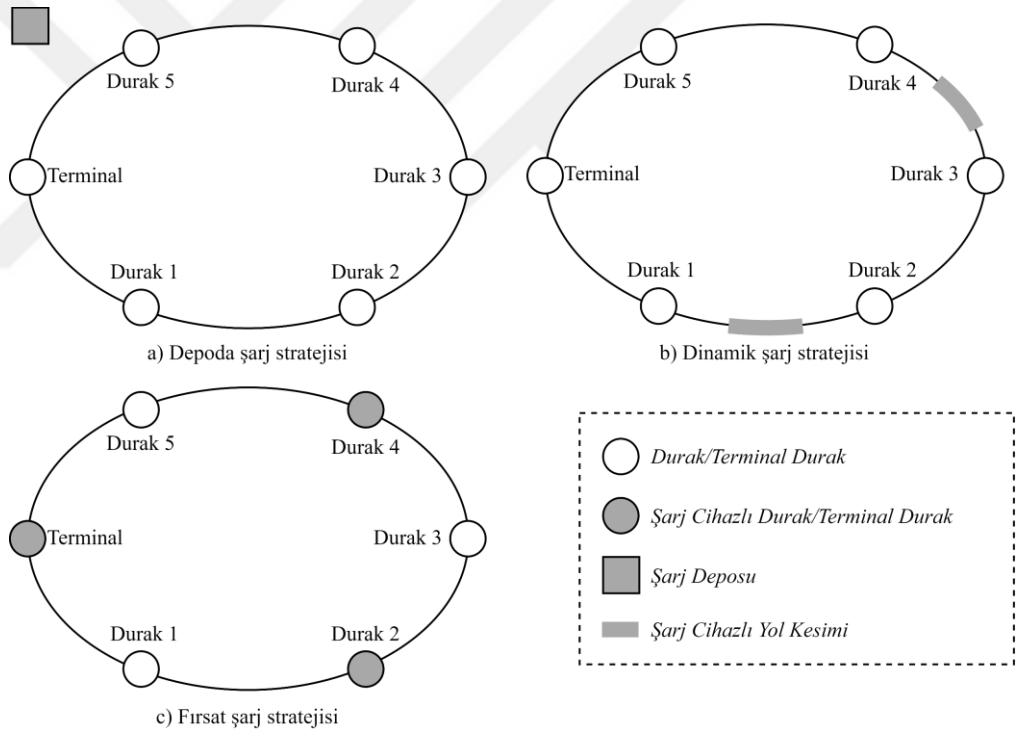
çalışmasına göre 200-300 kilometre arasındayken, Mahmoud vd. (2016) çalışmasına göre ise 40-250 kilometre arasındadır. Ek olarak, elektrikli otobüslerin enerji tüketimleri hava koşullarından ciddi ölçüde etkilenmektedir. Otobüslerin ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin, özellikle de hava sıcaklığının 0° derece altında olması durumunda ısıtma sistemlerinin sürekli çalışması, enerji tüketimini ciddi derece arttırmakta olup, otobüslerin sürüş mesafelerini kayda değer derecede azaltmaktadır (Sustainable Bus Editorial Board, 2022). Böylece, elektrikli otobüslerin gerçekçi sürüş mesafeleri düşünüldüğünde, onları tüm operasyon süresi boyunca şarj etmeden kesintisiz şekilde hizmette tutmak oldukça zor olabilmektedir. Bu durum, elektrikli otobüslerin toplu taşıma ağlarına entegrasyonunu ve dolayısıyla da tüm dünya çapında benimsenmesini zorlaştırmaktadır. Sonuç olarak, elektrikli otobüslerin kısıtlı sürüş mesafesi probleminin ortadan kaldırılması ve onların tüm operasyon süresi boyunca hizmette tutulabilmesi için, operasyon süresi içinde enerji tedarik etmeleri gerekmektedir.

Elektrikli otobüsleri şarj etmek için üç farklı strateji mevcuttur (Göhlich vd., 2018; Manzolli vd., 2022). (i) Depoda şarj stratejisinde, otobüsler depoda park halindeyken ve genellikle kablo ile şarj edilmektedir. Bu tür şarj stratejisi literatürde “gece boyu şarj” olarak da adlandırılmaktadır. Otobüslerin maksimum sürüş mesafeleri doğal olarak kısıtlıdır ve bu mesafe bataryanın kapasitesi ile orantılıdır. Bundan dolayı, bu şarj stratejisinde elektrikli otobüslerin tüm operasyon süresi boyunca kesintisiz hizmet sağlayabilmeleri için, otobüslere yüksek kapasiteli bataryalar yerleştirilmektedir. Ancak, yüksek kapasiteli bataryalar kullanmak aynı zamanda otobüslerin satın alma maliyetlerinde artışa sebep olmaktadır. Ayrıca, yüksek kapasiteli bataryalar kullanıldığında kısıtlı sürüş mesafesi problemi yine de ortadan kaldırılamamakta olup, otobüsler enerji tedarikine ihtiyaç duymaktadır (Mohamed vd., 2021). Sonuç olarak, bu tür bir strateji ya otobüsün enerji tedariki için hizmetten ayrılarak o hattın çizelgesinde gecikmelere sebep olmakta ya da hizmetin kesintisiz devam edebilmesi için yerine yedek bir otobüs ihtiyacını doğurmaktadır (Gao vd., 2017).

(ii) Dinamik şarj stratejisinde, enerji otobüslere hareket halindeyken transfer edilmekte olup, bu şarj stratejisinde otobüslerin sürüş mesafeleri teorik olarak arttırılmakta ve enerji tedariki için hizmet dışı kalınan süreler ortadan kaldırılmaktadır. Dinamik şarj stratejisi, enerji tedariki için geçirilen süreleri ortadan kaldırarak mantıklı ve avantajlı bir strateji gibi görünse de, yüksek yapım maliyetlerinden dolayı uygulanabilirlikleri oldukça güçtür (Manzolli vd., 2022).

Ayrıca, bu şarj stratejisi için en yaygın uygulama biçimi, bobinlerin bir yol kesimi boyunca kaplama altına yerleştirilmesi olmaktadır. Altyapıda gelecekte bir düzenleme yapılmak istendiğinde, yol kaplamasının kaldırılarak bobinlerin başka konumlara yerleştirilmesi parasal ve zamansal olarak yüksek maliyetlere sebep olmaktadır.

(iii) Fırsat şarj stratejisi ise, elektrikli otobüslerin terminal duraklarındaki sefer kalkış aralıklarında ya da rotaları üzerindeki duraklarda yolcu indirme/bindirme süreleri boyunca yüksek şarj gücü kullanılarak bataryalarını hızlı bir şekilde şarj etme fikrine dayanmaktadır (Liu vd., 2018). Dolayısıyla, bu şarj stratejisinde, otobüsler enerji tedarigi için hizmet dışı kalarak çizelgede bir gecikmeye sebep olmamakta veya enerji tedarikleri boyunca yerine geçecek yedek otobüslere ihtiyaç duyulmamaktadır. Üç şarj stratejisi için de örnek bir görsel aşağıdaki şekilde sunulmaktadır.



Şekil 1.1 Elektrikli otobüsler için şarj stratejileri

Şarj altyapısının toplu taşıma ağına entegrasyonu, elektrikli otobüslerin sürüş mesafesi problemini ortadan kaldırarak dizel otobüslerin sağladığı hizmet koşullarında çalışmasına imkân tanımaktadır. Bununla birlikte, elektrikli otobüslerin kısıtları ve şarj altyapısı düşünüldüğünde, dizel otobüslerle işletilmesi için tasarlanmış toplu taşıma ağlarının, daha sonra elektrikli otobüsler ile işletilmeye başlandığında, hem kullanıcılar hem de işletme açısından daha verimli

toplu taşıma ağları yaratabilmek için ağın taktiksel (örneğin rotaların güzergahları) ve stratejik (örneğin frekanslar) kararları üzerinde değişiklik yapılması muhtemeldir. Bu sebepten dolayı, elektrikli otobüsler ile işletilen ağlar tasarlanırken, toplu taşıma ağının tasarımı ve şarj altyapısının tasarımı beraber ele alınmalıdır.

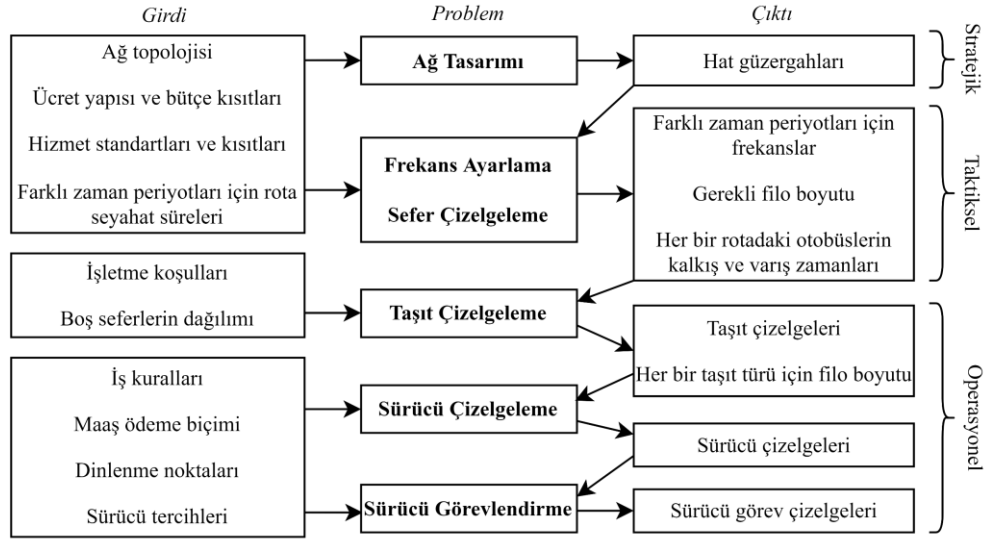
Bu bağlamda, bu tez çalışması işletme ve kullanıcı maliyetini en küçükleme amacıyla fırsat şarj stratejisini benimseyerek, tamamıyla elektrikli otobüsler ile işletilen toplu taşıma ağlarının tasarım problemine odaklanmaktadır. Bu amaçla, bütünleşik problemin çözümü için çift seviyeli bir optimizasyon modeli önerilmektedir. Çift seviyeli optimizasyon modelinin üst seviyesinde, optimum rotalar ve zamana bağlı frekanslar geliştirilen Çok Amaçlı Diferansiyel Gelişim Algoritması (ÇADGA) ile belirlenirken, alt seviyesinde ise üst seviyede ÇADGA ile yaratılan ağ üzerine yolculuk atanmakta ve yolculuk atamasından elde edilen çıktılar ile kablosuz şarj cihazlarının yerleştirileceği duraklar Karma Tamsayılı Programlama (KTP) ile belirlenmektedir. İki çözüm prosedürü arasındaki bu ilişki çift seviyeli yapı ile temsil edilmektedir. Klasik Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ve Baskılanmamış Sıralama Genetik Algoritması-III'ün (BSGA-III) seçim operatörünün birleştirilmesinden oluşan ÇADGA, çok amaçlı bütünleşik problem ile başa çıkmak için geliştirilmiş olup, şarj altyapısını tasarlamak için geliştirilen KTP, ÇADGA'nın içine gömülmüştür. Geliştirilen optimizasyon modeli dinamik arz ve talebe sahip hipotetik bir ağ üzerinde test edilmiştir.

Tez çalışmasının ilerleyen bölümleri şu şekildedir; ikinci bölümde geleneksel ve elektrikli toplu taşıma ağ tasarım problemleri ile ilgili kapsamlı bir literatür taraması sunulmaktadır. Ayrıca, geçmiş çalışmalarda araştırma eksiklikleri ortaya konularak bu tez çalışmasının literatüre sunduğu katkılar vurgulanmaktadır. Üçüncü bölümde tüm problem alt problemlere bölünerek adım adım açıklanırken, Dördüncü bölümde problemin çözümü için geliştirilen ÇADGA tanıtılmaktadır. Beşinci bölümde hipotetik test ağı tanıtılmakta ve geliştirilen optimizasyon modeline ait karşılaştırmalı sonuçlar ile hassasiyet analizlerine ait sonuçlar sunulmaktadır. Altıncı yani son bölümde ise, elde edilen sonuçlar değerlendirilmekte ve gelecekte yapılabilecek potansiyel çalışmalar için öneriler verilmektedir.

2 GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR

Ibarra-Rojas vd. (2015) toplu taşıma sisteminin işletiminden önce ele alınması gereken kararlar dizisini Toplu Taşıma Ağ Planlama (TAP) olarak adlandırmakta olup, bu planlama sürecinin stratejik, taktiksel ve operasyonel kararları kapsayan birbirine bağlı alt problemlerden oluştuğunu ifade etmektedir. Bu alt problemler aşağıdaki gibi açıklanmakta olup, alt problemler arasındaki ilişki ve her bir alt problem için girdiler ve çıktılar Şekil 2.1’de verilmektedir.

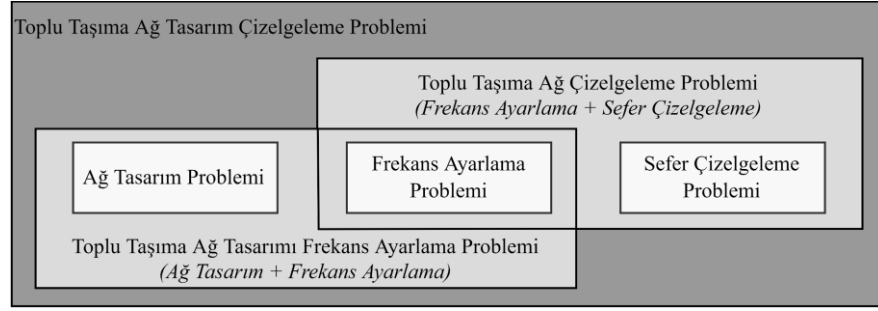
1. Ağ Tasarımı: İşletme ve kullanıcı maliyeti gibi belirli amaçlar doğrultusunda, rotalar ve rotalarla ilişkili işletme özelliklerini (duraklar arası mesafe vb.) tanımlar.
2. Frekans Ayarlama: Verilen talep verisi doğrultusunda operasyon süresinin farklı periyotlarını tanımlar (sabah zirve, zirve dışı, akşam zirve, vb.) ve her bir periyot için hatlardaki saatlik sefer kalkışlarının sayısını belirler.
3. Sefer Çizelgeleme: Duraklardaki bekleme sürelerini azaltmak, verilen frekanslara uyum sağlamak, transferleri iyi planlanmış yolculukların sayısını en iyilemek gibi farklı amaçlar doğrultusunda, seferlerin güzergahları boyunca tüm duraklara varış ve bu duraklardan kalkış zamanlarını tanımlamaktadır.
4. Taşıt Çizelgeleme: Taşıt kullanımına bağlı işletme maliyetlerini en küçükmek için taşıtların seferlere görevlendirilmesini gerçekleştirir.
5. Sürücü Çizelgeleme: Sürücü haklarına ilişkin kısıtlar (günlük mesai süresi, mola vermeden çalışma süresi, vb.) göz önünde bulundurularak, verilen bir amaç doğrultusunda seferlerin bir kümesinden oluşan günlük görevleri tanımlar.
6. Sürücü Görevlendirme: Belirli bir planlama dönemi için (örneğin bir ay), sürücü çizelgeleme ile oluşturulan görevleri sürücülerin görev çizelgelerine atar.



Şekil 2.1 TAP sürecindeki alt problemlerin aralarındaki ilişki

Toplu taşıma ağ planlamasının tüm alt problemlerini eş zamanlı ele almak ideal çözüm yoludur. Bununla birlikte, alt problemlerin NP-Zor (NP-Hard) yapılarından dolayı, birkaçının veya hepsinin birlikte çözülmesi oldukça zordur. Bundan dolayı, her bir alt problem ayrı ayrı ele alınmalıdır (Magnanti ve Wong, 1984). Bununla birlikte, bilgisayar teknolojisinde son yıllarda yaşanan gelişmeler sayesinde, güncel çalışmaların bazılarında birkaç alt problem beraber ele alınmaktadır.

Başlıca bütünleşik problemler (Farahani vd., 2013): (i) ağ tasarım ve frekans ayarlama probleminin beraber ele alındığı Toplu Taşıma Ağ Tasarım Frekans Ayarlama Problemi (TATFAP), (ii) frekans ayarlama ve sefer çizgeleme problemlerinin beraber ele alındığı Toplu Taşıma Ağ Çizgeleme Problemi (TAÇP) ve (iii) ağ tasarım, frekans ayarlama, sefer çizgeleme problemlerinin hepsini beraber ele alan Toplu Taşıma Ağ Tasarım Çizgeleme Problemi (TATÇP). TATÇP'nin bileşenleri Şekil 2.2'de verilmektedir. Bununla birlikte, yapılmış çalışmaların çoğunda, alt problemlerinin kritik role sahip olması nedeniyle TATFAP ele alınmıştır.



Şekil 2.2 TATÇP'nin bileşenleri (Guihaire ve Hao, 2008)

Elektrikli otobüslerin ortaya çıkması, yatırım maliyetlerinin en küçüklmesi amacıyla elektrik enerjisini otobüslere aktarabilmek için şarj cihazlarının toplu taşıma ağına optimum şekilde yerleştirilmesini konu alan Şarj Altyapısı Konumlandırma Problemi'ni (ŞAKP) ortaya çıkarmıştır. Problem tek başına ele alınabilir, ancak, daha verimli toplu taşıma ağları tasarlayabilmek için ŞAKP ve TATFAP beraber ele alınmalıdır. Bu iki problemin birleşimi, rota güzergahlarının, hat frekanslarının ve şarj altyapısının optimum şekilde eş zamanlı olarak belirlendiği Elektrikli Toplu Taşıma Ağ Tasarım Frekans Ayarlama Problemini (E-TATFAP) oluşturmaktadır.

Tez çalışmasının bu bölümünde E-TATFAP için gerçekleştirilmiş olan geçmiş çalışmalar sunulmaktadır. Ayrıca, bu bütünleşik problemi oluşturan TATFAP ve ŞAKP'leri için de yapılmış çalışmalar ayrı başlıklar altında sunulmaktadır. Son olarak, literatürdeki araştırma eksiklikleri ortaya konulmakta ve bu tez çalışmasının literatüre katkısı verilmektedir.

2.1 Toplu Taşıma Ağ Tasarım Frekans Ayarlama Problemi

Farahani vd. (2013), Ibarra-Rojas vd. (2015) ve Durán-Micco ve Vansteenwegen (2022) çalışmalarında görülebileceği gibi TATFAP özellikle son on yılda sıklıkla ele alınmıştır. Arbex ve da Cunha (2015) çalışmasında, iterasyonlar boyunca çelişen amaçlar (kullanıcı ve işletme maliyeti) arasında döngüsel bir şekilde değişerek işleyen Değişen Amaçlı Genetik Algoritma olarak adlandırılan yenilikçi bir yaklaşım kullanılarak problem ele alınmıştır. Jha vd. (2019) çalışmasında problemi çözebilmek için iki aşamalı bir optimizasyon modeli önerilmiştir. İlk aşamada, bir rota havuzu üretim süreci ile elde edilen rotalar arasından en iyi rotalar kümesi belirlenirken, ikinci aşamada ise frekans belirleme problemi için Çok Amaçlı Parçacık Sürü Algoritması ve Baskılanmamış Genetik Algoritma II kullanılarak Pareto cephe çözümler kümesi elde edilmiştir.

Problem tüm kullanıcılar için toplam yolculuk süresi, ağı işletmek için gerekli otobüs sayısı ve toplu taşıma hizmeti verilemeyen yolcuların ağırlıklı toplamının en küçüklenmeye çalışıldığı Nikolić ve Teodorović (2014) çalışmasında, Arı Kolonisi Algoritması'na dayalı bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Buba ve Lee (2018) çalışmasında ise, Diferansiyel Gelişim Algoritması kullanılarak tüm kullanıcılar için toplam yolculuk maliyeti ve hizmet verilemeyen talep yüzdesinin en küçüklenmesi amacıyla problem ele alınmaya çalışılmıştır. Son olarak, Capalı ve Ceylan (2020) çalışmasında ise TATFAP'i nispeten yeni bir metasezgisel olan Su Damlası Algoritması kullanılarak ele alınmıştır. Bir küçük not olarak, bu alt bölümdeki tüm çalışmaların hepsi statik arz ve talebe sahip olan Mandl Test Ağı üzerinde yürütülmüştür.

2.2 Şarj Altyapısı Konumlandırma Problemi

Bölüm 2.1'de görülebileceği gibi, son 20 yılda farklı çözüm yaklaşımları, karar değişkenleri ve amaç fonksiyonları kullanılarak TATFAP için çalışmalar yürütülmüştür. Bununla birlikte, bu çalışmalarda ciddi bir araştırma açığı mevcuttur, çünkü ilgili çalışmalarda toplu taşımanın sürdürülebilirlik hedefleri göz ardı edilmiştir. İlerleyen zamanlarda ise, sektördeki teknolojik gelişmeler ile elektrikli otobüslerin kullanımı yaygınlaşmış ve sonuç olarak araştırma yönünü ŞAKP'lerine çevrilmeye başlanmıştır. Böylece, toplu taşıma planlaması alanındaki güncel çalışmalarda elektrikli otobüslerin istihdamı dikkate alınmakta olup, bu alandaki ilk çalışmalarda genellikle verilen bir rota seti için şarj cihazlarının konumlarını belirleme ya da elektrikli otobüslerin seferlere atama problemi ele alınmaktadır.

Bu bağlamda, Kunith vd. (2016) çalışmasında, otobüs duraklarına yerleştirilmesi planlanan hızlı şarj cihazlarının hangi duraklara yerleştirileceği belirlenmiştir. Ayrıca, yerleştirilecek duraklardaki şarj cihazlarının sayısını belirlemek için karma tamsayılı programa dayalı bir optimizasyon modeli önerilmiştir ve otobüslerin duraklardaki şarj sürelerinin durak türüne göre değiştiği varsayılmıştır. Xylia vd. (2017) çalışmasında, Karma Tamsayılı Program kullanılarak, aday şarj cihazı konumlarının toplu taşıma terminalleri ve aktarma merkezleri olduğu ağlarda şarj altyapısının optimum tasarımını belirlemek amacıyla bir model önerilmiştir ve model Stockholm'deki otobüs ağı üzerinde test edilmiştir. Wang vd. (2017) çalışmasında ön tanımlı rotalar olduğu varsayılarak, sezgisel yöntemler yardımıyla şarj cihazlarının kurulacağı durakların belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, kısıtlı ve kısıtsız batarya kapasiteleri için karşılaştırma

yapılmıştır. Bi vd. (2018) çalışmasında ise yaşam boyu değerlendirme optimizasyon modeli kullanılarak duraklara kablosuz şarj cihazları yerleştirilmiştir. Elektrikli otobüs filosuna geçiş probleminin ele alındığı Pelletier vd. (2019) çalışmasında, kablosuz, kablolu ve baş üstü gibi çeşitli şarj etme seçenekleri varsayımı altında bir tamsayı program tabanlı karar destek sistemi geliştirilmiştir. Farklı şarj konumlarının (depo, terminal, duraklar) varsayımı altında yürütülen Lotfi vd. (2020) çalışmasında, karma tamsayı programlama yardımıyla batarya kapasiteleri, şarj çizelgeleri ve şarj altyapısının optimum tasarımı amaçlanmıştır. Nahum ve Hadas (2020) tarafından yürütülen çalışmada, kablosuz şarj cihazlarının optimum şekilde yerleştirileceği durakları ve yol kesimlerini belirleyen Genetik Algoritma tabanlı bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Yao vd. (2020) çalışmasında, elektrikli otobüsleri çizelgeleme problemi için, birden çok otobüs türü olduğu varsayılarak yıllık toplam çizelgeleme maliyetlerini en küçükmeye çalışan sezgisel bir algoritma kullanılmıştır. Konur (2021) çalışmasında ise, dinamik şarj stratejisi benimsenerek yatırım maliyetini en küçükmek amacıyla tüm rotaların kendi kendini şarj ettiği bir ağ elde etmek için, kablosuz şarj cihazlarının nereye yerleştirilmesi gerektiğine karar veren bir model geliştirilmiştir.

2.3 Elektrikli Toplu Taşıma Ağ Tasarım Frekans Ayarlama Problemi

Elektrikli otobüslerin toplu taşıma ağlarına başarılı bir şekilde entegre edilmesi için, TATFAP ve ŞAKP beraber ele alınmalıdır. Bu bağlamda, güncel çalışmalarda E-TATFAP'leri ele alınmaya başlanmıştır.

Bu çalışmalardan bazıları depoda şarj stratejisini benimsemişlerdir. Bunlardan ikisi olan Liu vd. (2020) ve Liu vd. (2020) çalışmalarında rotalar, frekanslar ve şarj depolarının konumları işletme ve kullanıcı maliyetlerinin eş zamanlı en küçülenmesi amacıyla Pareto Yapay Balık Sürüsü Algoritması ve Geliştirilmiş Pareto Yapay Balık Sürüsü Algoritmalarıyla belirlenmiştir. Liu vd. (2022) çalışmasında ise önerilen optimizasyon modeli yine Pareto Yapay Balık Sürüsü Algoritması'na dayalı iken, bu kez şarj depolarının konumları ve aynı zamanda bu depolardaki şarj cihazlarının sayıları Genetik Algoritma ile belirlenmiştir. Tong vd. (2021) çalışmasında ise, Takviye Öğrenmeli Genetik Algoritma kullanılarak, şarj depo konumlarının ön tanımlı olduğu varsayımı altında, yolculuk güvenilirliğini en büyükmek amacıyla E-TATFAP ele alan bir model ortaya konulmuştur.

E-TATFAP için yürütülmüş geçmiş çalışmalar içerisinde, Iliopoulou ve Kepaptsoglou (2019) ve Mpousdra vd. (2018) gibi dinamik şarj stratejini benimseyen çalışmalar da mevcuttur. Bununla birlikte, tez çalışmasının Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi, depoda şarj stratejisi çizelgelerde gecikmeye sebep olarak veya orijinal otobüs enerji tedarigi için servis dışı kaldığında hizmetin kesintisiz devam edebilmesi için yedek otobüslere ihtiyaç duyduğu için, elektrikli otobüslerin ve toplu taşıma ağının verimli kullanımını engellemektedir. Diğer bir taraftan dinamik şarj stratejisi ise yüksek kurulum ve yapım maliyetleri gerektirmektedir.

Birkaç çalışmada ise, bu tez çalışmasındaki gibi fırsat şarj stratejisi benimsenmiştir. Iliopoulou vd. (2019) çalışmasında Çok Amaçlı Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması yardımıyla verimli bir rota kümesi belirleyebilen bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Duraklarda yolcu indirme/bindirme sırasında otobüsleri şarj etmek için bir şarj cihazı ile donatılacak durakların seçimi ise bir karma tamsayılı program ile belirlenmiştir. Çalışmanın en önemli eksiklikleri, rotaların frekansları belirlenmemiştir ve şarj cihazlı duraklardaki bekleme sürelerinin ise sabit süreler olduğu varsayılmıştır. Iliopoulou ve Kepaptsoglou (2019) çalışmasında ise, aday şarj konumları olarak sadece duraklar değil aynı zamanda dinamik şarj strateji kapsamında otobüslerin hareket halindeyken şarj olmasına imkân tanıyan yol kesimleri de hesaba katılmıştır. Ek olarak, çalışmada 19 saatlik bir operasyon süresi analiz edilmiş olmasına rağmen, bu operasyon süresi boyunca talepteki dalgalanmalar göz ardı edilmiş ve her bir rota için tüm operasyon süresi boyunca bir frekans değeri belirlenmiştir. Iliopoulou ve Kepaptsoglou (2021) çalışmasında ise, Iliopoulou ve Kepaptsoglou (2019) çalışması geliştirilerek, şarj altyapısı optimize edilirken şarj cihazlı duraklardaki, kuyruklanmadan kaynaklı gecikmeler ve şarj cihazının gücündeki sapmalar da hesaba katılmıştır. Pylarinou vd. (2021) çalışmasında Genetik Algoritma kullanılarak E-TATFAP için mevcut bir toplu taşıma ağı yeniden tasarlanmıştır. Son olarak, Zhang vd. (2021) çalışmasında çift seviyeli optimizasyon modeli ile rotaların, frekansların ve şarj cihazlı durakların belirlenmesinin yanında, batarya kapasiteleri de eş zamanlı olarak belirlenmiştir. Tablo 2.1, E-TATFAP'ni ele alan geçmiş çalışmaları şarj stratejisi, karar değişkenleri, çözüm yaklaşımı ve dinamik yönlerine göre kronolojik sırada özetlemektedir.

Tablo 2.1 E-TATFAP ile ilgili geçmiş çalışmaların özeti

Çalışma	Şarj Stratejisi			Değişkenler			Analiz Süresi	Çözüm Yöntemi	Dinamik Yönlere
	DE	Dİ	FI	R	F	K			
Mpousdra vd. (2018)		X		X	X		1 saat	KTP	-
Iliopoulou vd. (2019)			X	X	X		1 saat	ÇAPSA	-
Iliopoulou ve Kepaptsoglou (2019)		X	X	X	X	X	19 saat	ÇAPSA	-
Liu vd. (2020)	X			X	X	X	13 saat	PYBSA	-
Liu vd. (2020)	X			X	X	X	13 saat	GPYBSA	-
Tong vd. (2021)	X			X			1 saat	TÖGA	-
Pylarinou vd. (2021)			X	X	X	X	1 saat	GA	-
Zhang vd. (2021)			X	X	X	X	1 saat	GA	-
Iliopoulou ve Kepaptsoglou (2021)			X	X	X	X	19 saat	ÇAPSA	-
Liu vd. (2022)	X			X	X	X	13 saat	PYBSA	Talep

DE: Depo, Dİ: Dinamik, FI:Fırsat, R:Rotalar, F:Frekanslar, K:Şarj cihazları konumları

2.4 Araştırma Eksiklikleri ve Tez Çalışmasının Katkısı

Bu tez çalışmasında, duraklarda kablosuz şarj teknolojili fırsat şarj stratejisinden faydalanarak, tamamıyla elektrikli otobüsler ile işletilen toplu taşıma ağlarında, TATFAP ve ŞAKP'nın birleşiminden meydana gelen E-TATFAP ele alınmaktadır. Önceki bölümde de görülebileceği gibi, E-TATFAP için fırsat şarj stratejini benimseyerek ve problemin çeşitli yönlerini düşünerek yürütülmüş birkaç çalışma mevcuttur. Buna rağmen ilgili çalışmalarda ciddi araştırma eksiklikleri mevcuttur. Öyle ki, bu çalışmalarda her bir otobüsün bireysel enerji durumundan ziyade hatların enerji durumu ele alınmaktadır. Bununla birlikte, gerçek ölçekli toplu taşıma ağlarında, ağların dinamik doğalarından, yani operasyon süresi (gün içi) boyunca arz ve talepteki değişimlerden dolayı, aynı rotaya hizmet eden her bir otobüs tüm operasyon süresi boyunca farklı miktarlarda enerji tüketmekte veya tedarik etmektedir. Geçmiş çalışmalarda her bir otobüsün enerji durumunun bireysel olarak değerlendirilememesinin sebebi ise, tüm operasyon süresi boyunca arz ve talepteki değişimleri hesaba katmadan hatlar bazında ortalama değerler üretebilen frekans tabanlı toplu taşıma atama modeli kullanılmasıdır. Daha basit bir şekilde söylemek gerekirse, bu atama modeli tüm operasyon süresi boyunca her bir rota için tek bir frekans değeri, her bir link için sabit bir seyahat süresi ve her bir başlangıç-varış çifti için üniform talep olduğunu varsaymaktadır.

Dinamik arzlı gerçek ölçekli toplu taşıma ağlarında, operasyon süresi boyunca değişen link seyahat süreleri ve değişen frekanslar aynı rotaya hizmet eden her bir otobüsün farklı çizelgelere (farklı sefer sayısı, farklı hizmet zamanları) sahip olmasına sebep olmaktadır. Doğal olarak bu otobüslerin her biri operasyon süresi boyunca farklı miktarda enerji tüketmektedir. Daha da önemlisi, aynı rotaya hizmet veren otobüslerin her biri farklı sayıda sefere çıkabilir. Bu da, bu otobüslerin her birinin tüm operasyon süresi boyunca farklı miktarlarda enerji tüketmesine sebep olabilir.

Benzer bir şekilde, talepteki dalgalanmaların aynı rotadaki her bir otobüsün operasyon süresi boyunca enerjinin farklı miktarlarını tedarik etmelerine sebep olması beklenen bir durumdur. Bunun sebebi, operasyon süresi boyunca örnek bir şarj cihazlı durakta inen/binen yolcu sayılarının ve dolayısıyla otobüslerin bu duraktaki bekleme sürelerinin, aynı rotanın her bir otobüsü için farklılık göstermesidir. Özetle, frekans tabanlı toplu taşıma atama modellerinde bir rotaya ait olan farklı otobüslerin toplu taşıma ağlarının dinamik yapılarından dolayı operasyon süresinin sonunda farklı enerji seviyelerine sahip olacağı göz ardı edilmektedir.

Çalışmalardaki bir diğer eksiklik ise, duraklardaki bekleme sürelerinin sabit veya ön tanımlı olmasıdır. Bununla birlikte, toplu taşıma ağlarının dinamik yapısından dolayı, örnek bir rotanın her bir seferinin her bir durağı için bekleme süreleri değişkenlik göstermektedir.

Bu eksiklikler doğrultusunda bu tez çalışmasının literatüre katkısı aşağıda listelenmektedir. Tez çalışmasının bu yönleri ile mevcut çalışmalara önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

1. Bu tez çalışmasında, operasyon süresi boyunca link seyahat süreleri, frekanslar ve talepteki değişimin etkileri hesaba katılarak, ağdaki her bir elektrikli otobüsün enerji durumunu tek tek değerlendirmeye imkân tanıyan çizelge tabanlı toplu taşıma atama modeli kullanılmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde, her bir otobüsün enerji durumuyla ilgili kapsamlı çıktılar elde edilmektedir.
2. Otobüsler için şarj cihazlı duraklarda sabit veya ön tanımlı bir şarj süresi varsayan geçmiş çalışmaların aksine, bu tez çalışmasında her bir otobüsün her bir seferinin tüm duraklarındaki bekleme süreleri hesaplanmaktadır. Bu

süreler toplu taşıma atamasından elde edilen yolcu iniş/biniş sayılarından elde edilmektedir. Şarj sürelerinin bu şekilde hesaplanması, geçmiş çalışmalar ile kıyaslandığında daha doğru ve gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır.

3. Bu tez çalışması kapsamında, Pareto optimal çözümler kümesi üretebilen çok amaçlı metasezgisel tabanlı bir optimizasyon modeli geliştirilmektedir. Geliştirilen optimizasyon modeli BSGA-III'ün seçim operatörünün DGA'nın içerisine gömülerek oluşturulmuştur. Elde edilen Pareto cephelerinin kalitesi hipervolüm indikatörü ile değerlendirilerek mevcut çalışmalardan ciddi derece ayrılmaktadır.



3 PROBLEMİN TANIMI VE MODELLEME

Bu tez çalışmasında, rotaların güzergahlarının, rotalara farklı zaman aralıkları için frekans değerlerinin ve kablosuz şarj cihazları ile donatılacak durakların eş zamanlı belirlendiği E-TATFAP ele alınmaktadır. Bu karar değişkenleri iki ayrı amaç doğrultusunda belirlenmektedir: toplam kullanıcı maliyeti (Z_1) ve işletme maliyeti (Z_2). Toplam kullanıcı maliyeti ağdaki tüm yolcuların seyahat etmelerinden kaynaklı maliyet iken, işletme maliyeti ise şarj cihazların kurulumundan kaynaklı şarj altyapı maliyeti (C_c) ile tüm ağı işletmek için gerekli elektrikli otobüs sayısına bağlı filo yatırım maliyetinin (C_f) toplamından oluşmaktadır.

Toplam kullanıcı maliyeti, talebin güzergâh seçim modeli yardımıyla seferler açısından tanımlanmış toplu taşıma ağı üzerinde dağıtıldığı bir toplu taşıma atamasından elde edilen performans çıktıları (seferlerin durakları boyunca yolcu akımları, duraklarda inen/binen yolcu sayıları, vb.) ile hesaplanmaktadır. Toplu taşıma atama süreci seferler ile temsil edilen toplu taşıma ağına ihtiyaç duyduğundan dolayı, aslında ilk olarak seferlerin çizelgelenmesi gerekmektedir. Seferlerin çizelgelenmesi aynı zamanda ağı işletmek için gerekli filo boyutunu hesaplayabilmeye ve dolayısıyla işletme maliyetinin bir bileşeni olan filo yatırım maliyetini elde edebilmeye imkân tanımaktadır. Şarj altyapı maliyeti ise, kablosuz şarj cihazlarının yerleştirileceği duraklara bağlıdır ve bu duraklar Şarj Altyapısı Konumlandırma Problemi'ni (ŞAKP) çözümlenmektedir. Toplam kullanıcı maliyetinin hesaplamasında olduğu gibi, ŞAKP de toplu taşıma atamasının performans çıktıları ile hesaplanmaktadır. Özetle, bir çözümün değerlendirilebilmesi üç süreçle mümkündür: (i) seferleri çizelgelemek, (ii) yolcuları toplu taşıma atama modeli kullanarak seferler ile temsil edilen toplu taşıma ağına atamak, (iii) ŞAKP'ni çözümlenerek şarj cihazlarının kurulacağı durakları belirlemek. Üç sürecin her biri devam eden alt başlıklarda detaylıca açıklanmaktadır.

3.1 Seferlerin Çizelgelenmesi

Problem yönlendirilmiş bir ağ üzerinde, $G = (\mathbf{S}, \mathbf{A})$, modellenmektedir. \mathbf{S} ağdaki duraklar kümesini, \mathbf{A} ise bu durakları birbirine bağlayan linkler kümesini temsil etmektedir. Bir rota ise, bir dizi duraklardan ve otobüsün bu duraklar boyunca seyrederken üzerinden geçtiği bir dizi linklerden meydana gelmektedir. Bununla birlikte, bu tez çalışmasında toplu taşıma ağı rotalar yerine, rotaların

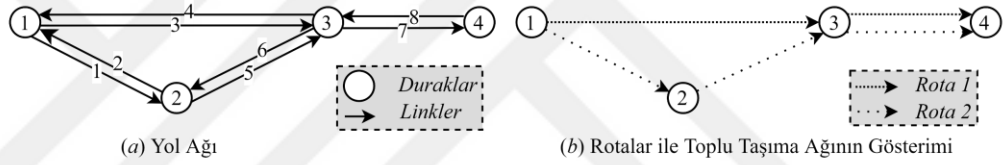
durakları bazında çizelgelenmiş varış/kalkış zamanlarına sahip olan tek bir bağlantıyı temsil eden seferler ile temsil edilmektedir. Dahası, örnek bir rotaya atanan her bir otobüs, bu rotadaki bir dizi sefere hizmet etmektedir. Bu sayede, toplu taşıma ağını seferler ile temsil etmek, operasyon süresi boyunca arz ve talepteki dinamik yönler de hesaba katılarak, her bir otobüsün enerji durumunu detaylı bir şekilde değerlendirmeye izin vermektedir. Her bir sefer, rotanın başlangıç durağından hizmetine başlayıp, ilgili rota güzergahını takip ederek rotanın son durağına varmakta ve son durağından başlangıç durağına geri dönerek hizmetini tamamlamaktadır. Ayrıca, bu seferi işleten ilgili otobüs, sefer boyunca duraklar bazındaki zaman çizelgesine bağlı kalmaktadır.

Toplu taşıma ağına dinamik yönlerini ele alabilmek için, tüm operasyon süresi zaman aralıklarına bölünmektedir. Zaman aralığı için iki farklı kavram mevcuttur: frekansların belirlenmesi ve linklerin kullanımı. Bu yaklaşım gerçek hayattaki toplu taşıma sistemlerinde olduğu gibi, link seyahat sürelerinin ve rota frekanslarının operasyon süresinin farklı zaman dilimleri boyunca değişmesine imkân tanımaktadır. Zaman aralığının ilk kavramı frekansların belirlenmesiyle ilgilidir. Öyle ki, her bir zaman aralığı i , $i \in \mathbf{I}^f$, $\mathbf{I}^f = \{1, 2, \dots, \bar{n}\}$ için her bir r , $r \in \mathbf{R}$, rotasına belirli bir frekans değeri, f_r^i , atanmaktadır. Zaman aralığının ikinci kavramında ise, her bir link a , $a \in \mathbf{A}$, her bir zaman aralığı i , $i \in \mathbf{I}^l$, $\mathbf{I}^l = \{1, 2, \dots, \bar{n}\}$, için farklı bir seyahat süresine, t_a^i , sahiptir. Hem \mathbf{I}^f hem de \mathbf{I}^l kümesindeki her bir zaman aralığı zamanda bir başlangıç ve bitiş noktasına sahiptir, dolayısıyla bir zaman genişliğini temsil etmektedir. Bununla birlikte, her iki kavram için de zaman aralıklarının genişliklerinin eşit olmak zorunda olmadığını vurgulamak önemlidir.

Bir rotadaki seferlerin çizelgesi şu şekilde oluşturulmaktadır. İlk olarak, zaman aralığı i , $i \in \mathbf{I}^f$, boyunca örnek bir r rotasındaki seferlerin başlangıç durağından kalkış zamanları, ilgili zaman aralığındaki ilgili rota için belirlenmiş olan frekans değerine bağlıdır. Daha sonra, her bir seferin başlangıç durağını takip eden duraklar bazındaki kalan çizelgesi zamana bağlı link seyahat süreleri hesaba katılarak oluşturulmaktadır. Tam bu noktada problemi basitleştirmek adına iki varsayım yapılmaktadır. İlk varsayım, henüz toplu taşıma ataması yapılmadığı için ve dolayısıyla duraklarda inen/binen yolcu sayıları bilinmediği için, seferlerin duraklardaki bekleme süreleri, seferlerin çizelgelenmesi aşamasında hesaba katılmamaktadır. Bu, örnek bir seferin örnek bir durağına varış ve kalkış zamanının aynı zaman noktası olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, eğer bu duraklarda bir şarj cihazı kuruluysa, otobüslerin bu duraklara vardıkları zaman

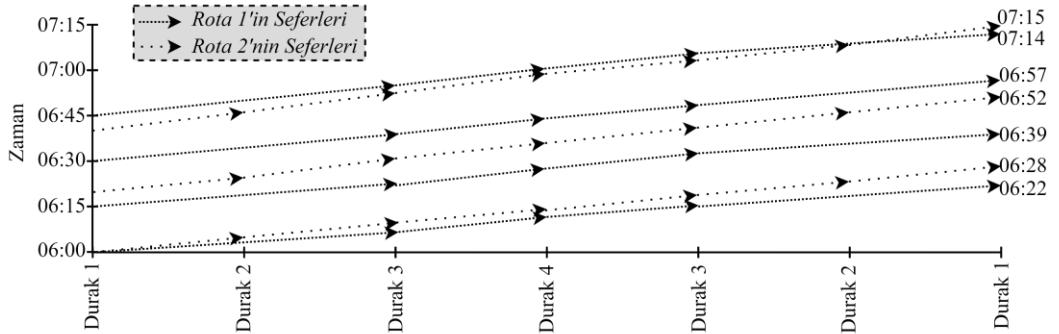
noktasında enerji durumu dik bir şekilde artmaktadır. Bir diğer varsayım ise, bir otobüs için bir linkin seyahat süresi, ilgili otobüsün linkin uç noktasına ulaştığı anın içerisinde olduğu zaman aralığındaki link seyahat süresidir.

Örneğin, 4 durak ve 8 linkten oluşan bir yol ağı ve bu ağ üzerinde 2 tane toplu taşıma rotası olduğunu varsayalım. Yol ağı ve iki rotanın güzergahları Şekil 3.1'de, sırasıyla alt şekiller (a) ve (b)'de verilmektedir. Bu örnekte, operasyon süresinin 06:00'da başlayıp 07:00'da bittiği ve bu operasyon süresi boyunca Rota 1 ve 2'nin saatlik frekans değerlerinin 4 ve 3 olduğu varsayılmaktadır. Sonuç olarak, operasyon süresi boyunca Rota 1'deki seferin kalkışları 06:00, 06:15, 06:30, 06:45'te gerçekleşmekte iken, Rota 2'deki sefer kalkışları ise 06:00, 06:20, 06:40'ta gerçekleşmektedir. Toplamda 7 seferin duraklar bazında kalan çizelgeleri ise, Şekil 3.1 (c)'de verilen 15 dakikalık zaman aralıkları boyunca değişen link seyahat sürelerine göre oluşturulmaktadır. Toplamda 7 sefer için nihai çizelgeler ise Şekil 3.1 (d)'de gösterilmektedir.



Link No	[06:00-06:15]	[06:15-06:30]	[06:30-06:45]	[06:45-07:00]	[07:00-07:15]
1	5	5	6	7	7
2	5	5	5	6	6
3	7	8	9	10	10
4	7	7	7	8	8
5	5	6	7	7	7
6	5	5	5	5	5
7	4	5	5	6	6
8	4	4	5	5	5

(c) Zamana Bağlı Link Seyahat Süreleri (dk.)



Şekil 3.1 Toplu taşıma ağı gösterimi için bir örnek

Sefer çizelgeleme sürecinin ardından, ağdaki tüm seferler için kapsamlı çizelgeler elde edilmektedir ve dolayısıyla her bir sefer için toplam hizmet süresi (dolanım süresi) de ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, örnek bir r rotasını işletebilmek için gerekli minimum otobüs sayısını hesaplamak mümkün olmaktadır. Herhangi bir r rotası için minimum gerekli otobüs sayısı, nB_r , tüm operasyon süresi boyunca ilgili rotadaki sefer kalkışlarında herhangi bir gecikme olmayacak şekilde belirlenmektedir. Bu yaklaşım ile toplu taşıma ağını sorunsuz işletebilecek en düşük filo sayısı elde edilmektedir. Bu bağlamda, tüm ağı işletebilmek için gerekli filo boyutuna bağlı olan filo yatırım maliyeti, C_f , Denklem 1'deki gibi hesaplanmaktadır. Elektrikli otobüsleri satın alma maliyeti batarya kapasitelerine bağlıdır (Lajunen, 2018). Bundan dolayı, denklemden de görülebileceği gibi, bir elektrikli otobüsün satın alma maliyeti, bataryasız satın alma maliyeti, c_e , ve batarya kapasitesi, BC , ile batarya kapasitesi birim maliyetinin, c_b , çarpımı ile hesaplanan batarya maliyetinin toplamından meydana gelmektedir.

$$C_f = \sum_{r \in \mathbf{R}} nB_r \times (c_e + BC \times c_b) \quad (1)$$

Her bir rota r için gerekli otobüs sayısı belirlendikten sonra, ilgili rotadaki her bir otobüs, o rotanın ilk seferinden son seferine kadar döngü yaparak görevlendirilmektedir. Sonuç olarak, r rotasına hizmet veren her bir otobüs b , $b \in \mathbf{B}^r$, için tüm operasyon süresi boyunca işletilmesi için görevlendirilmiş olan bir sefer kümesi, $\mathbf{K}^{r,b}$, elde edilmektedir.

3.2 Toplu Taşıma Ataması

Rotalar ve zamana bağlı frekanslar doğrultusunda ağdaki tüm seferler çizelgelendikten sonra, yolcular toplu taşıma ağına atanmalıdır. Yolculuk atama modelleri ulaşım ağlarındaki arz ve talebin etkileşimini benzetmektedir. Bu modeller her bir arz elemanı (link) için kullanıcı akımını ve performans çıktılarını, başlangıç varış (B-V) talep matrisinden ve kullanıcıların güzergâh seçim davranışından faydalanarak, hesaplamaya imkân tanımaktadır. Yolculuk atama modelleri kritik bir role sahiptir, çünkü, elde edilen çıktılar ulaşım sisteminin performansını tanımlamak için kullanılmaktadır. Böylece ulaşım projelerinin değerlendirilmesi ve projelendirilmesi için birer girdi olarak kullanılmaktadır (Cascetta, 2009).

Yolculuk atama modelleri ile ulaşım ağının performansının değerlendirilmesi, elde edilen temel çıktı amaçları ile mümkündür. (Ortúzar ve Willumsen, 2011). Yolculuk atamanın temel çıktı amaçları; ulaşım ağı üzerindeki akımları elde etmek, verilen talep için başlangıç ve varış arasındaki yolculuk maliyetlerini elde etmek ve aşırı sıkışık linkleri saptamaktır. Bununla birlikte, her bir başlangıç ve varış çifti arasında kullanılan rotaları ortaya çıkarmak, verilen bir link ya da güzergahın hangi başlangıç ve varış çiftleri arasındaki talepler tarafından kullanıldığını tahmin etmek gibi ikincil amaçları da mevcuttur.

Yolculuk atama modelleri ile benzetilen ulaşım sisteminin durumu, arz-talep etkileşimini temsil etmek için kullanılan yaklaşım ve kullanıcı davranışı (talep fonksiyonu, güzergâh seçimi, mevcut bilgilendirme) varsayımlarına bağlıdır. Tablo 3.1 farklı atama modellerinin sınıflandırmasını özetlemektedir (Cascetta, 2009).

Tablo 3.1 Yolculuk atama modellerinin sınıflandırılması

Arz Faktörü	
Hizmet Türü	Sürekli Çizelgelenmiş
Tıkanıklık Etkisi	Tıkanıklık Etkisi Var Tıkanıklık Etkisi Yok
Talep Faktörü	
Talep Sınıfları	Tek Kullanıcı Sınıfı Çoklu Kullanıcı Sınıfı
Talep Elastikliği	Sabit Talep Esnek Talep
Güzergâh Seçim Davranışı	Tamamen Yolculuk Öncesi Karma yolculuk öncesi/sırası
Güzergâh Seçim Modeli	Deterministik Olasılıksal
Dinamik Faktörler	
Gün içi Değişim	Periyot içi statik Periyot içi dinamik
Arz-Talep Etkileşimi	Kullanıcı Dengesi Deterministik Dinamik Süreç Stokastik Dinamik Süreç

Yolculuk atama modelleri için temel sınıflandırma etkeni arz ve talep arasındaki etkileşimi inceleyen yaklaşımdır. İlk yaklaşım olan kullanıcı dengesi ataması, talep, güzergâh ve link akımlarının ağda meydana gelen maliyetler ile tutarlı olduğu denge sistemini temsil etmektedir. Arz ve talep arasındaki etkileşime bir alternatif yaklaşım ise dinamik süreç atama modelleridir. Bu durumda, arz performansı, güzergâh seçimleri ve talepteki değişikliklere göre sistemin zaman içerisinde geliştiği varsayılmaktadır. Dinamik süreç, ulaşım ağının deterministik ya da olasılıksal değişkenler ile modellenmesine bağlı kalarak deterministik ya da olasılıksal dinamik süreç atama modelleri olarak adlandırılmaktadır.

Ulaşım sistemleri, özelliklerinin periyot içi değişimi ile ilgili iki farklı varsayım ile temsil edilmektedir. Ulaşım ağının analizi için ele alınan referans periyodu içerisinde arz ve/veya talepteki değişimlerin dikkate alınmadığı atama modelleri, gün içi ya da periyot içi statik olarak adlandırılmaktadır. Diğer bir taraftan, referans periyodu içerisinde arz ve talep modellerinde değişim söz konusu ise gün içi ya da periyot içi dinamik atama modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Yolculuk atama modelleri arz özellikleri ile ilgili varsayımlara dayanarak sınıflandırılabilir. İlk sınıflandırma türü ise hizmet türüdür. Sürekli hizmet türünde, ulaşım hizmetine her an ve her noktadan ulaşılabilir. En bilindik örnekleri ise, yaya ve özel taşıttır. Çizelgelenmiş hizmet türünde ise, sadece verilen zamanlarda ve verilen noktalardan ulaşılabilir. Örneğin; otobüsler, trenler ve uçaklara sadece terminallerden (otobüs durağı, istasyon, havalimanları) ve belirli zamanlarda (kalkış zamanları) ulaşılabilir.

Link performans değişkenlerinin akımdan bağımsızlığı diğer bir arz tabanlı sınıflandırma kriteridir. Link maliyeti üzerindeki akımdan bağımsızsa, yani sıkışıklık göz ardı edilirse, tıkanıklık etkisiz ağ atama modelleri, eğer link maliyetleri üzerindeki akıma bağlı ise tıkanıklık etkili atama modelleri olarak adlandırılmaktadır.

Eğer kullanıcılar birden çok sınıfa ayrılıyorsa, atama modelleri çoklu kullanıcı sınıfı olarak adlandırılmaktadır. Farklı sınıflardaki kullanıcılar farklı yolculuk davranışlarına, farklı yolculuk algılarına sahiptirler. Bu sebepten dolayı, farklı yolculuk amaçlarına ya da farklı sosyoekonomik kategorilerindeki kullanıcılara, farklı seçim modelleri uygulanır. Tek kullanıcı sınıfı atama

modellerinde ise, tüm kullanıcılar aynı seçim modellerine ve aynı yolculuk algılarına sahip olup, sadece başlangıç ve varış noktaları açısından farklılık göstermektedirler.

Sabit talep atama modelleri, talep miktarının yolculuk maliyetlerinden bağımsız olduğunu varsayarken, esnek talep atama modelleri ise, talep miktarının yolculuk maliyetlerine bağlı olarak değiştiğini varsaymaktadır. Bununla birlikte, talep miktarının yolculuk maliyetine bağlı olmadığı (yani, varış noktalarının yolculuk maliyetlerinden etkilenmediği), ancak türel seçimin mevcut türlerin maliyetlerinden etkilendiği varsayımı altında çok türlü atama modelleri ortaya çıkmaktadır.

Genellikle bir yolculuğun gerçekleştirileceği güzergâh, yolculuk sırasında ve öncesinde yapılan bir dizi karar sonucu belirlenmektedir. Bunlar, yolculuk öncesi ve yolculuk sırası güzergâh seçim davranışı olarak atfedilmektedir. Yolculuk başlamadan önce başlangıç noktasında meydana gelen yolculuk öncesi seçim, ya başlangıç noktasından varış noktasına kadar herhangi bir sapma olmaksızın takip edilecek güzergahı, ya da güzergahlar arasında yolculuk sırası seçim davranışı için karar stratejilerini kapsamaktadır. Yolculuk sırası güzergâh seçim modeli ise, yolculuk sırasında alınan bilgiler doğrultusunda alınan kararların bir sonucu olarak takip edilecek güzergahı belirleyen bir stratejidir. Çoğu model ise, yolculuk öncesi başlangıç noktasında seçilen güzergahtan varış noktasına kadar yolculuk esnasında herhangi bir sapmanın olmadığı tamamen yolculuk öncesi davranışı dikkate almaktadır.

Yolculuk seçimleri için genellikle rastgele fayda teorisine dayalı modeller kullanılmaktadır. Deterministik seçim modelleri, bir güzergahın algılanan faydasının deterministik olduğunu ve kullanıcıların maksimum faydaya sahip alternatifleri seçeceğini varsaymaktadır. Olasılıksal seçim modelleri ise, bir güzergahın algılanan maliyetini rastgele bir değişken olarak varsaymakta olup, kullanıcıların mevcut alternatifler arasından her birinin seçilme olasılığını ifade etmektedir.

Yolculuk atama modellerinin teorik olarak yukarıda anlatıldığı gibi sınıflandırılmasına karşın, ulaşım türleri açısından temel olarak iki alt başlığa ayrılmaktadır. Bu alt başlıklardan biri olan trafik atama modelleri bireysel taşıtların yol ağına tahsisine odaklanırken, bir diğeri olan toplu taşıma atama modelleri yolcuların toplu taşıma ağına tahsisine ilgilidir.

Kullanıcıların toplu taşıma ağı üzerindeki yolculuklarına ait güzergahlarının belirlenmesinde iki ana yaklaşım mevcuttur (Nuzzolo, 2002). (i) Frekans tabanlı güzergâh seçim yaklaşımında toplu taşıma hatlar açısından ele alınmaktadır. Adından da anlaşılacağı gibi, hatlar için frekansları veya kalkış aralıkları üzerinden bir değerlendirme yapılmaktadır. Dolayısıyla, bu yaklaşımda seferler ile ilgili yolculuk aşamalarının maliyetleri ve performansları hesaplanamamakta olup, hatlar açısından ortalama çıkarımlarda bulunmaktadır.

(ii) Çizelge tabanlı yaklaşımda ise, otobüslerin gerçek varış/kalkış zamanları kullanılarak toplu taşımanın performans değerlendirmesi seferler açısından ele alınmaktadır. Bu yaklaşımda arz ve talebin zamandaki değişimi hesaba katılabilmekte ve seferlerin performans çıktıları elde edebilmektedir. Dolayısıyla, ağdaki her bir otobüsün yolculuk aktiviteleri ve enerji durumları için detaylı bir analiz çizelge tabanlı güzergâh seçim modeli ile mümkündür.

Kullanıcı tipi güzergâh seçim modeli üzerindeki önemli etmenlerden biridir (Nuzzolo, 2002). Burada iki kullanıcı tipi öne çıkmaktadır; sık kullanıcılar ve nadir kullanıcılar. (i) Sık kullanıcılar sürekli olarak seyahat ettiklerinden dolayı, geçmiş tecrübelerine dayanarak rotalar, seferlerin çizelgeleri ve sistemin performansı hakkında bilgi sahibidir. (ii) Nadir kullanıcılar ise, toplu taşıma sistemini nadiren kullandıkları için sadece belli başlı rotalara ve bu rotalardaki çizelgelere aşinadırlar.

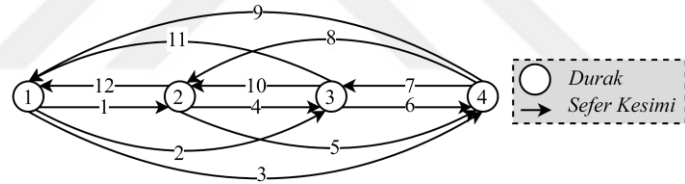
Kentsel alanlardaki yolculukların çoğunun düzenli yolculuklar olduğu düşünüldüğünde (örneğin, iş yolculuğu, okul yolculuğu), kullanıcıların büyük bir bölümünün sık kullanıcılar olduğu ve dolayısıyla tecrübelerine dayanarak bir seferin yolculuk aşamaları (ilgili sefer için bekleme süresi, araç içi yolculuk süresi, vb.) hakkında kesin bilgiye sahip olması beklendik bir durumdur. Ayrıca, son yıllarda toplu taşıma işletmelerinin çoğu, akıllı ulaşım sistemleri sayesinde otobüslerin duraklara varışları hakkında kullanıcılara gerçek zamanlı bilgi sağlamaktadır (Iliopoulou ve Kepaptsoglou, 2021). Dolayısıyla, kullanıcıların seferlere ait yolculuk aşamaları hakkında kesin ve detaylı bir bilgiye sahip olduklarını söylemek mümkündür. Kullanıcılara sağlanan gerçek zamanlı bilgi ve onların geçmiş yolculuk tecrübeleri, kendileri için minimum maliyetli güzergahı seçmelerine izin vermektedir (Brakewood ve Watkins, 2019).

Bu bilgiler ışığında, bu tez çalışmasında ağdaki her bir kullanıcının minimum maliyetli güzergahını deterministik şekilde belirleyebildiği

varsayılmakta olup, bu güzergahlar en kısa yol algoritmalarından biri olan Dijkstra Algoritması ile belirlenmektedir (Dijkstra, 1959).

Sefer tabanlı arz modeli durumunda, minimum maliyetli güzergahların en kısa yol algoritmaları ile belirlenmesi olası transferlerin varlığı sebebiyle algoritmik olarak mümkün olmamaktadır. Bu probleme bir çözüm getirebilmek adına, de Cea ve Fernandez (1993) ve Jiang ve Szeto (2016) çalışmalarından ilham alarak, sefer tabanlı toplu taşıma ağ temsiline basit bir dönüşüm uygulanarak, sefer kesimleri tabanlı toplu taşıma ağ temsili elde edilmektedir. Bu yeni ağ temsili ile, kullanıcılar kendileri için yolculuk maliyetini en küçükleme amacıyla sefer kesimlerinden meydana gelen bir güzergâh seçebilmektedirler.

Bir sefer kesimi, bir seferin herhangi bir durağından ilgili seferin daha sonraki bir durağına olan direkt bağlantıdır. Her bir sefer kesimi, z , başlangıç durağı, o_z , başlangıç durağından kalkış zamanı, t_z^1 , son durağı, d_z , ve son durağına varış zamanı, t_z^2 , bilgilerine sahiptir. Sefer kesimi için bir örnek olarak, Şekil 3.1 (d)'deki Rota 2 üzerindeki saat 06:20'de kalkan seferin her bir sefer kesimi için detayları aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Sefer Kesimi	Kalkış Zamanı	Kalkış Durağı	Varış Zamanı	Varış Durağı	Link Dizisi	Sefer Kesimi	Kalkış Zamanı	Kalkış Durağı	Varış Zamanı	Varış Durağı	Link Dizisi
1	06:20	1	06:25	2	1	7	06:36	4	06:41	3	8
2	06:20	1	06:31	3	1,5	8	06:36	4	06:46	2	8,6
3	06:20	1	06:36	4	1,5,7	9	06:36	4	06:52	1	8,6,2
4	06:25	2	06:31	3	5	10	06:41	3	06:46	2	6
5	06:25	2	06:36	4	5,7	11	06:41	3	06:52	1	6,2
6	06:31	3	06:36	4	7	12	06:46	2	06:52	1	2

Şekil 3.2 Sefer kesimleri için bir örnek

Bu tez çalışması kapsamında, yolculuk taleplerinin duraklarda başladığı ve sonlandığı varsayılmakta olup, analiz periyodu boyunca tüm taleplerin bir listesi mevcuttur. Her bir talep q , bir yolculuk başlangıç durağı, o_q , yolculuk başlangıç zamanı, t_q , ve varış durağı, d_q , bilgilerine sahiptir. Her bir talep q sefer kesimlerinden oluşan ağ üzerinde, verilen güzergâh seçim modeli ile kendisi için en az maliyetli güzergâhı belirlemektedir. Bu tez çalışmasının güzergâh seçim

modeli, Nuzzolo vd. (2012) çalışmasında açıklanmış olan yolculuk esnasında akıllı davranış gösteren ardışık sefer seçim mekanizmasına dayalıdır. Bununla birlikte bu tez çalışmasının güzergâh seçim modelinde aynı zamanda taşıt içerisinde katı bir kapasite kısıtı da düşünülmektedir. Sonuç olarak, genişletilmiş güzergâh seçim modeli aşağıdaki paragrafta anlatılmaktadır.

Bir sefer kesimi z , e zaman noktasında q talebinin başlangıç durağı o_q 'ya vardığında, q talebinin yolcusu d_q varış durağına minimum maliyetlerde varabilmek için, bu zaman noktasında sefer kesimi/kesimlerinden oluşan kendisi için minimum maliyetli güzergâhı, \mathbf{P}_{o_q,d_q}^e , belirlemektedir. Eğer durağa varan sefer kesimi z , \mathbf{P}_{o_q,d_q}^e kümesinin içerisindeyse ve eğer bu sefer kesiminin içerisinde kendisi için boş yer var ise kullanıcı bu sefer kesimine biner. Eğer kullanıcı taşıt içi kapasite kısıtlarından dolayı sefer kesimine binemezse veya gelen sefer kesimi kendisi için minimum maliyetli güzergâhta değil ise, sefer seçimi durağa ilerleyen zamanlarda yeni sefer kesimleri vardığında genişletilmiş güzergâh seçim modeli ile yeniden değerlendirilir. En az maliyetli \mathbf{P}_{o_q,d_q}^e güzergâhının maliyeti, U , şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$\mathbf{P}_{o_q,d_q}^e = \text{argmin } U(\mathbf{Z}, q) \quad (2a)$$

$$U = w_w \times t_w^q + w_{iv} \times t_{iv}^q + t_t \times nT^q \quad (2b)$$

t_w^q ve t_{iv}^q sırasıyla q talebinin \mathbf{P}_{o_q,d_q}^e güzergâhı boyunca duraklardaki toplam bekleme süresi ve toplam taşıt içi seyahat süresi iken, w_w ve w_{iv} ise bu yolculuk aşamalarına ait ağırlıklardır. Denklemden de görülebileceği gibi, minimum maliyetli güzergâh, \mathbf{P}_{o_q,d_q}^e , birden fazla sefer kesimini içerebilir. Bu, \mathbf{P}_{o_q,d_q}^e güzergâhı boyunca yolcunun transfer/transferler yapacağı anlamına gelmektedir. Böyle durumlarda, kullanıcının \mathbf{P}_{o_q,d_q}^e güzergâhı boyunca yapacağı toplam transfer sayısı, nT^q , transfer başına bir ceza değeri, t_t , ile çarpılarak güzergâhın maliyetine eklenir.

Bununla birlikte, q talebi başlangıç durağında belirlediği kendisi için minimum maliyetli güzergâhı, \mathbf{P}_{o_q,d_q}^e , birebir takip edemeyebilir. Çünkü, bu güzergâhı oluşturan sefer kesimlerinden birine kapasite kısıtlarından dolayı binemeyebilir. Bu durumda, kullanıcı binemediği ilgili sefer kesiminin durağında yine genişletilmiş güzergâh seçim modeli ile yeni bir güzergâh belirlemektedir. Yani, kullanıcının başlangıç durağında takip etmeyi planladığı güzergâh, \mathbf{P}_{o_q,d_q}^e , ile gerçekte takip ettiği güzergâh, $\overline{\mathbf{P}}_q$, aynı olmayabilir. Sonuç olarak, Denklem

3'te sunulan ve amaç fonksiyonlarından biri olan toplam kullanıcı maliyeti hesaplanırken, her bir kullanıcının gerçekte takip ettiği güzergahlar dikkate alınmaktadır.

$$\min Z_1 = \sum_{q \in \mathbf{Q}} \sum_{z \in \overline{\mathbf{P}}_q} (w_w \times t_w^{z,q} + w_{iv} \times t_{iv}^z + \delta^{z,q} \times t_t) \quad (3)$$

Burada, $t_w^{z,q}$ ve t_{iv}^z her bir q talebinin gerçekte takip ettiği güzergahı, $\overline{\mathbf{P}}_q$, oluşturan her bir z sefer kesimi için durakta bekleme süresini ve o sefer kesimi için araç içerisindeki seyahat süresini temsil ederken, $\delta^{z,q}$ ise 0-1 değişkeni olup, q talebinin z sefer kesimine binışinin transfer yapmasını gerektirip gerektirmediğini ifade etmektedir. Yukarıda açıklanan genişletilmiş güzergâh seçim modeli doğrultusunda, tüm talebin ağa atanabilmesi için, bir toplu taşıma atama süreci geliştirilmiştir. Bu süreç, ağdaki tüm duraklardan (başlangıç durakları, ara duraklar, son duraklar) kalkan sefer kalkışlarının kronolojik sırasına dayanmaktadır. Geliştirilen toplu taşıma atama süreci takip eden paragrafta açıklanmaktadır.

İlk olarak, mevcut sefer kalkışları kümesi, \mathbf{V} , içerisinde en erken gerçekleşen sefer kalkışı zamanı, e , belirlenir. Ardından, bu zaman noktasında gerçekleşen sefer kalkışları kümesi, \mathbf{V}^e , ayıklanır. Daha sonra, e zaman noktasında, her bir s durağından kalkan sefer kalkışları kümesi, \mathbf{V}_s^e , ayıklanır. Bir sefer kalkışı v , $v \in \mathbf{V}_s^e$, e zaman noktasında s durağından kalkarken, e zaman noktasına kadar s durağında bekleyen kullanıcılar kümesi, $\mathbf{Q}_{s,v}^e$, saptanır. Eğer $\mathbf{Q}_{s,v}^e$ kümesindeki yolcu sayısı, $\xi_{s,v}^e$, sefer kalkışı v 'nin içerisindeki boş yer sayısından, γ_v , küçükse $\mathbf{Q}_{s,v}^e$ kümesindeki tüm kullanıcılar bu sefer kalkışı ile ilişkili sefer kesimine binerler. Aksi halde, bu kümeye ait toplam kullanıcı sayısı, $\xi_{s,v}^e$, v seferinin içerisindeki boşluktan, γ_v , fazla ise, F_3 fonksiyonu kullanılarak, v seferine binebilecek $\widehat{\mathbf{Q}}_{s,v}^e$ ve binemeyecek $\check{\mathbf{Q}}_{s,v}^e$ talep kümeleri belirlenir.

Bu aşamada v seferine binme önceliği, FIFO (First-In First-Out) kuralları kullanılarak durağa zamansal olarak önce gelen kullanıcılara verilmektedir. Eğer $\mathbf{Q}_{s,v}^e$ kümesi içinde durağa \bar{t} anında varmış herhangi bir talep kümesi, $\widehat{\mathbf{Q}}_{s,v}^{e,\bar{t}}$, için sefer kalkışı v içerisinde yeterli boşluk kalmadı ise, bu talep kümesi içerisindeki her bir varış durağı d 'ye gidecek talebin, $\widehat{\mathbf{Q}}_{s,v}^{e,\bar{t},d}$, toplam miktarı $\xi_{s,v}^{e,\bar{t},d}$, $\gamma_v / \xi_{s,v}^{e,\bar{t}}$ oranı ile çarpılır. Çarpım sonucu ile elde edilen sefer kalkışı v 'ye binebilecek sayı kadar, $\mathbf{Q}_{i,v}^{e,\bar{t},d}$ kümesi içerisinden rastgele bir şekilde kullanıcılar seçilir ve $\widehat{\mathbf{Q}}_{s,v}^e$ kümesine eklenir. $\mathbf{Q}_{s,v}^e$ talep kümesinde, $\widehat{\mathbf{Q}}_{s,v}^e$ dışında kalan, yani sefer kalkışı v 'ye

binemeyen $\check{Q}_{s,v}^e$ talep kümesi ise, ana talep kümesi Q 'ya eklenir. Geliştirilen toplu taşıma atama sürecinin temsili kodu Algoritma 1'de verilmektedir.

Algoritma 1 Toplu Taşıma Atama Süreci

Girdi: V, Q, Z
Output: Z_1

```

1 : while  $V \neq \emptyset$ 
2 :    $V = V - V^e$ 
3 :   for  $\forall V_s^e \in V^e$ 
4 :      $Q = Q - Q_s^e$ 
5 :     for  $\forall q \in Q_s^e$ 
6 :        $P_{s,d_q}^e = F_1(e, s, d)$ 
7 :        $z = (P_{s,d_q}^e)_1$ 
8 :       for  $\forall v \in V_s^e$ 
9 :         if  $F_2(v, z) = 1$ 
10:           $\varphi_q = v$ 
11:          break
12:        end
13:      end
14:      if  $\varphi_q = \emptyset$ 
15:         $Q = Q + q$ 
16:      end
17:    end
18:    for  $\forall v \in V_s^e$ 
19:       $Q_{s,v}^e = \{q | \varphi_q = v\}$ 
20:      if  $\xi_{s,v}^e \leq \gamma_v$ 
21:        for  $\forall q \in Q_{s,v}^e$ 
22:           $z = (P_{s,d_q}^e)_1$ 
23:           $\gamma_v = \gamma_v - 1$ 
24:           $Z_1 = Z_1 + (w_w \times t_w^{z,q} + w_{iv} \times t_{iv}^z + \delta^{z,q} \times t_t)$ 
25:          if  $s(P_{s,d_q}^e) > 1$ 
26:             $Q = Q + \{d_z, t_z^2, d_q\}$ 
27:          end
28:        end
29:      else
30:         $\{\hat{Q}_{s,v}^e, \check{Q}_{s,v}^e\} = F_3(Q_{s,v}^e, \gamma_v)$ 
31:        for  $\forall q \in \hat{Q}_{s,v}^e$ 
32:           $z = (P_{s,d_q}^e)_1$ 
33:           $\gamma_v = \gamma_v - 1$ 
34:           $Z_1 = Z_1 + (w_w \times t_w^{z,q} + w_{iv} \times t_{iv}^z + \delta^{z,q} \times t_t)$ 

```

```

35:   if  $s(P_{s,d_q}^e) > 1$ 
36:        $Q = Q + \{d_z, t_z^2, d_q\}$ 
37:   end
38: end
39:    $Q = Q + \check{Q}_{s,v}^e$ 
40: end
41: end
42: end
43: end

```

3.3 Şarj Altyapısı Konumlandırma Problemi

Bu tez çalışmasındaki Şarj Altyapısı Konumlandırma Problemi (ŞAKP), hızlı şarj teknolojisini kullanarak kablosuz şarj cihazlarının kurulacağı durakların optimum şekilde belirlenmesini ele almaktadır. Böyle bir şarj türü fırsat şarj stratejisi olarak adlandırılmakta olup, otobüslerin rotadayken enerji tedarik etmesine imkân tanımaktadır. Fırsat şarj stratejisi, ara duraklardaki ve terminal duraklardaki bekleme sürelerini değerlendirerek, enerji tedarigi için otobüslerin hizmet dışı kalmalarını engellemektedir (Göhlich vd., 2018).

Fırsat şarj stratejisini benimseyerek problem için yürütülmüş geçmiş çalışmalar, hatların enerji durumlarını ele almaktadır (Iliopoulou vd., 2019; Iliopoulou vd Kepaptsoglou, 2019; Konur, 2021; Pylarinou vd., 2021). Bununla birlikte, aynı rotaya hizmet eden her bir otobüs tüm operasyon süresi boyunca farklı enerji miktarını tedarik etmektedir. Çünkü, dinamik talep aynı rotadaki her bir otobüsün duraklarda farklı bekleme sürelerine maruz kalmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı, bu tez çalışmasının ŞAKP için, tüm operasyon süresi boyunca her bir otobüsün enerji durumu bireysel olarak ele alınmakta ve tez çalışması bu yönüyle literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

Kablosuz şarj cihazlarının kurulacağı durakların belirlenmesi, kablosuz şarj cihazlarının kurulumu için gerekli maliyetleri kapsayan şarj altyapı maliyetinin, C_c , en küçüklenmesi amacıyla yürütülmektedir. Ayrıca, şarj cihazlı duraklar, ağdaki tüm otobüslerin enerji ihtiyacından kaynaklı herhangi bir aksama veya gecikme yaşamadan tüm operasyon süresi boyunca onların kesintisiz hizmetini sağlayabilmek için yeterli enerji miktarına sahip olmalarını sağlamalıdır. Bununla birlikte, nadiren de olsa, örnek bir r rotasındaki tüm seferleri işletmek için gerekli otobüsler, ilgili rotaları boyunca tüm duraklara şarj cihazı yerleştirilse dahi enerji

kısıtlarını yerine getiremeyebilir. Bu durumlarda, ilgili rotalara ek otobüs eklendiği not edilmelidir.

Bu tez çalışmasında, elektrikli otobüsler sadece rotaları üzerindeki duraklarda şarj olma imkanına sahip olmakta olup, terminal duraklardaki ardışık iki seferi arasındaki bekleme süreleri boyunca şarj olma imkanına sahip değildir. Otobüslerin bir seferi tamamladıktan sonra, rotalarının başlangıç/varış durağına çok yakın olduğu varsayılan terminal duraklarına giderek, bir sonraki görevlendirilmiş seferin kalkışına dek burada enerji tedarik etmeden dinlendiği düşünülmektedir. Elektrikli otobüslerin şarj süreleri ise şu şekilde hesaplanmaktadır: r rotasına hizmet veren bir b otobüsü, kendisinin görevli olduğu bir k seferi üzerindeki, $k \in \mathbf{K}^{r,b}$, j 'nci durağına vardığında, eğer ilgili durağa bir şarj cihazı yerleştirildiyse, otobüs o duraktaki bekleme süresi boyunca şarj olma imkanına sahiptir. r rotasına hizmet veren bir b otobüsünün k seferindeki j 'nci duraktaki bekleme süresi, toplu taşıma atamasının çıktılarından elde edilen bu durakta inen/binen yolcu sayılarını, $\hat{\mu}_{r,b,k,j}/\check{\mu}_{r,b,k,j}$, yolcu başına ortalama iniş/biniş süreleri, \hat{t}/\check{t} , ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Otobüsün ilgili duraktaki bekleme süresi veya maksimum şarj süresi, ortaya çıkan toplam biniş süresi ve toplam iniş süresinden büyük olanına eşittir.

Otobüslerin şarj olma tarzları ile ilgili, geçmiş çalışmalarda da benimsenmiş olan birkaç varsayım yapılmaktadır (Iliopoulou ve Kepaptsoglou, 2019; Iliopoulou vd., 2019; Liu vd., 2022; Zhang vd., 2021);

- Otobüsler gece boyu şarj olarak tam dolu batarya ile günlük hizmetine başlamaktadırlar.
- İki durak arasındaki bir link için enerji tüketimi, bu durakları birbirine bağlayan linklerin uzunluğuna bağlı olup, tüketilen enerji miktarı linkin uzunluğuyla orantılıdır.
- Otobüsler terminal durakları ile rotalarının başlangıç/varış durakları arasındaki kısa mesafeli yolcusuz seyahatlerinde enerji tüketmemektedirler.
- Tüm operasyon süresi boyunca batarya sağlığını koruyabilmek adına, otobüslerin batarya doluluk oranı bir alt limit, SOC_{min} , ve üst limit, SOC_{max} , arasında olmalıdır.

- Ağıdaki tüm elektrikli otobüsler aynı enerji tüketimine ve teknolojik özelliklere sahip olmakta olup, homojen bir filo yapısı olduğu kabul edilmektedir.
- Duraklara yerleştirilecek olan tüm kablosuz şarj cihazları aynıdır.

Problem şarj altyapı maliyetini en küçükleme amacıyla ele alınmakla beraber, aynı zamanda elektrikli otobüslerin enerji kısıtlarını da hesaba katmalıdır (Zhang vd., 2021). Bu amaçla, tüm operasyon periyodu boyunca her bir elektrikli otobüsün enerji durumunu düşünen bir matematiksel program geliştirilmekte olup, programın amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıda sunulmaktadır.

$$\min C_c = \sum_{s \in S} \Delta_s \times (c_{inv} + c_p \times CP + c_c \times d_s) \quad \forall s \in S \quad (4a)$$

$$t_{r,b,k,j} \leq \Delta_s \times \max\{\hat{\mu}_{r,b,k,j} \times \hat{t}, \check{\mu}_{r,b,k,j} \times \check{t}\} \quad \forall r \in \mathbf{R}, \forall b \in \mathbf{B}^r, \forall k \in \mathbf{K}^{r,b} \quad (4b)$$

$$t_{r,b,k,j} \geq 0 \quad \forall r \in \mathbf{R}, \forall b \in \mathbf{B}^r, \forall k \in \mathbf{K}^{r,b} \quad (4c)$$

$$E_{r,b,k,j+1} = E_{r,b,k,j} - e_{r,b,k,j,j+1} + \left(\frac{t_{r,b,k,j+1}}{3600}\right) \times CP \quad \forall r \in \mathbf{R}, \forall b \in \mathbf{B}^r, \forall k \in \mathbf{K}^{r,b} \quad (4d)$$

$$E_{r,b,k,j} \geq e_{r,b,k,j,j+1} + BC \times SOC_{min} \quad \forall r \in \mathbf{R}, \forall b \in \mathbf{B}^r, \forall k \in \mathbf{K}^{r,b} \quad (4e)$$

$$e_{r,b,k,j,j+1} = l_{r,j,j+1} \times AEC \quad \forall r \in \mathbf{R}, \forall b \in \mathbf{B}^r, \forall k \in \mathbf{K}^{r,b} \quad (4f)$$

$$E_{r,b,k,j} \leq BC \times SOC_{max} \quad \forall r \in \mathbf{R}, \forall b \in \mathbf{B}^r, \forall k \in \mathbf{K}^{r,b} \quad (4g)$$

$$E_{r,b,1,1} = BC \times SOC_{max} \quad \forall r \in \mathbf{R}, \forall b \in \mathbf{B}^r \quad (4h)$$

Denklem 4a, her bir şarj cihazı ile donatılacak duraklar için dönüştürücü maliyeti, c_{inv} , şarj cihazının kurulacağı durağa en yakın trafonun Öklid mesafesinin, d_s , kablo uzunluğu birim maliyeti, c_c , ile çarpımı sonucu ortaya çıkan gerekli kablo maliyeti ve şarj gücü, CP , ile şarj gücü birim maliyetinin, c_p , çarpımı ile elde edilen maliyetlerin toplamından oluşan şarj altyapı maliyetini en küçükleme amacıyla, şarj cihazlarının kurulacağı durakları belirlemektedir.

Denklem 4b, eğer herhangi bir durağa şarj cihazı yerleştirildiyse, yani $\Delta_s = 1$ ise, otobüslerin bu duraktaki maksimum şarj olabilme sürelerinin, $t_{r,b,k,j}$, otobüslerin duraklardaki toplam binen yolcu sayısı ve toplam inen yolcu sayısına bağlı olarak hesaplanan iki farklı bekleme süresinden büyük olanının süresine eşit veya bu süreden küçük olması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem 4c bu sürenin negatif bir değer olamayacağını ifade etmektedir. Denklem 4d, otobüslerin

bir duraktan ayrıldığı andaki enerji miktarları, $E_{r,b,k,j}$, ile sonraki durağa vardığı andaki enerji miktarları, $E_{r,b,k,j+1}$, arasındaki enerji korunumunu sağlamaktadır. Denklem 4e, otobüslerin bir duraktan ayrıldığı anda sahip olması gereken enerji miktarlarının, $E_{r,b,k,j}$, minimum batarya doluluk oranını, SOC_{min} , da hesaba katarak kendilerini sonraki durağa götürebilecek asgari enerji miktarına sahip olmalarını sağlamaktadır. Denklem 4f, ardışık durakları birbirine bağlayan link uzunluğunun, $l_{r,j,j+1}$, ortalama enerji tüketimi, AEC , ile çarpımından oluşan enerji tüketim modelini temsil etmektedir. Denklem 4g tüm operasyon süresi boyunca maksimum batarya doluluk oranını, SOC_{max} , düşünerek otobüslerin sahip olabileceği maksimum enerji miktarı kısıtını yerine getirmekte iken, Denklem 4h ise yine maksimum batarya doluluk oranını, SOC_{max} , hesaba katarak otobüslerin günlük hizmetlerine başladıkları andaki enerji miktarlarını tanımlamaktadır.



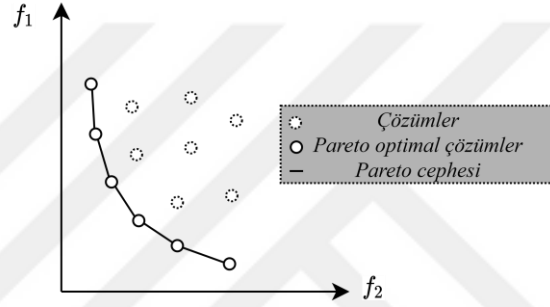
4 ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

E-TATFAP, TATFAP ve ŞAKP'lerinin birleşiminden meydana gelmekte olup, tüm aday çözümleri değerlendirmenin zaman tüketici olduğu geniş arama uzayına sahip olan çok kısıtlı bir problemdir. Dolayısıyla, problem NP-Zor (NP-Hard) sınıfındadır (Ben-Ayed vd., 1988). Bu, problem için küresel optimum çözüm veya bu çözüme yakın bir çözüme ulaşmanın oldukça zor olduğu anlamına gelmektedir (Magnanti ve Wong, 1984). Bu sebepten dolayı, metasezgiseller tüm toplu taşıma ağ tasarımı problemleri için olduğu gibi, E-TATFAPleri için de, kabul edilebilir sürelerde makul çözümler üretebilen yaklaşık çözüm algoritmalarıdır. İkinci bölümde bahsedildiği gibi, metasezgisel algoritmalar geçmiş toplu taşıma ağ tasarımı çalışmalarında sıklıkla kullanılmıştır.

Toplu taşıma kullanıcıları yolculuklarını gerçekleştirirken araç içi süre, bekleme süresi, transfer sayıları ve süresi, duraklara yürüme mesafesi gibi aşamalardan oluşan toplam yolculuk maliyetlerini en küçüklemek istemektedirler. Diğer yandan, işletmeler ise filo yatırım maliyeti, araçların işletimine bağlı yakıt/enerji giderleri, bakım giderleri, personel maaşları gibi maliyetleri en düşük seviyelerde tutmak istemektedirler. Kullanıcıların yolculuk maliyetini düşürmek, genellikle toplu taşımanın hizmet seviyesinin artmasına ve dolayısıyla işletmenin maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Aynı şekilde, işletmelerin maliyetlerini düşürme çabaları ise toplu taşımanın hizmet seviyesini azaltırken, kullanıcıların maliyetlerinde artışa sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı, toplu taşıma ağları tasarlanırken her iki amaç da hesaba katılmalı ve birbiriyle çelişen yapılarından dolayı problemin çözümü çok amaçlı optimizasyon modelleri ile ele alınmalıdır (Arbex ve da Cunha, 2015). Böyle bir problemi çözmenin zorluğu ve doğası gereği çok amaçlı yapısı düşünüldüğünde, çok amaçlı metasezgisel algoritmalar uygun bir çözüm aracı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Geçmiş çalışmaların çoğunda çelişen amaçlar (örneğin, toplam kullanıcı ve işletme maliyeti), ağırlıklı toplam metodu ile ele alınmıştır. Ancak bu metotta ağırlıkların seçimi konusu göreceli olmakta olup, bu ağırlık değerlerinin değişmesi, yani amaçlarının birbirlerine göre önemlerinin değişmesi farklı çözüm kümesine sebep olmaktadır (Miettinen, 2008). Bu sebepten dolayı, son zamanlardaki çalışmalar ise, Pareto optimal çözümler kümesini elde etmeyi amaçlamaktadır.

Bir çözüm x_* için, eğer arama uzayında tüm amaçlar için kendisinden daha iyi bir çözüm yoksa, yani tüm amaçlar için $f_i(x_*) \leq f_i(x)$, Pareto optimal çözümdür. Bir başka deyişle, arama uzayında bir amaçta artışa sebep olmadan diğer amaçlarda azalma elde edebilen başka bir çözüm yoksa, x_* Pareto optimaldir. Yani, Pareto optimal çözümler diğer çözümler tarafından baskılanmamış çözümlerdir. Çok amaçlı optimizasyonda, tek amaçlı optimizasyonun aksine bir çözüm kümesinden bahsedilir. Bu çözüm kümesi Pareto optimal çözüm kümesi ya da baskılanmamış çözümler olarak adlandırılmaktadır. Bu kümenin birleştirilmesi ile oluşan hat ise Pareto cephesi olarak adlandırılmaktadır (Yang, 2010). Pareto optimal çözümler ve bu çözümler sonucu oluşan Pareto cephesine ait örnek bir gösterim Şekil 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1 Pareto cephesi ve Pareto optimal çözümler için örnek bir gösterim

Toplu taşıma ağ planlama sürecine ait problemler diğer disiplinlerdeki problemlerden farklıdır, çünkü toplu taşıma ağları tasarlanırken kullanıcıların ağa gösterecekleri tepki göz önünde bulundurulmalıdır. Bu noktada iki olgu ön plana çıkmaktadır. Birincisi; ağın gelişimi için kararlar almak, bir diğeri ise; kullanıcıların ağ tasarım kararlarına karşı davranışlarını ya da yolculuk tercihlerini tahmin etmektir. Bu sebepten dolayı, toplu taşıma ağ tasarım problemleri çift-seviyeli ya da lider takipçi problemi olarak formüle edilmektedir.

Çift-seviyeli yapının üst seviyesi, ulaşım ağını yöneten ya da planlayan liderin problemi ya da karar vericinin problemi olarak da adlandırılmaktadır. Üst seviye problemi ölçülebilir amaçlar (toplam seyahat süresinin en küçüklenmesi gibi), kısıtlar (politik, çevresel ve fiziksel kısıtlar) ve alınacak tasarım kararlarını (yeni yollar yapmak gibi) içermektedir. Üst seviye problemi, liderin kullanıcıların davranışlarını tahmin edebileceğini varsaymaktadır. Alt seviye problemi ise takipçilerin veya kullanıcıların problemi olup, seyahati gerçekleştirip gerçekleştirilmeye, eğer gerçekleştirirse, hangi tür ve hangi rota ile gerçekleştirdiğinin problemidir. Çift seviyeli yapı, karar vericilere, kullanıcıların

toplu taşıma ağındaki değişikliklere karşı tepkilerini tahmin edebilmekte ve bu tahminler doğrultusunda ulaşım ağının geliştirebilmesine imkân tanımaktadır. Bununla birlikte, lider, kullanıcıların yolculuk tercihleri üzerinde direkt bir etkiye de sahip değildir. Diğer taraftan ise, çift seviyeli yapı, kullanıcıların lider tarafından alınan kararları tahmin etmesine imkân tanımazken, alınmış olan kararları bildikten sonra yolculuk tercihlerini belirleyebilmesine izin vermektedir. Çift seviyeli problem matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir (Farahani vd., 2013);

$$(U0) \min_u F(u, v(u)) \quad (5a)$$

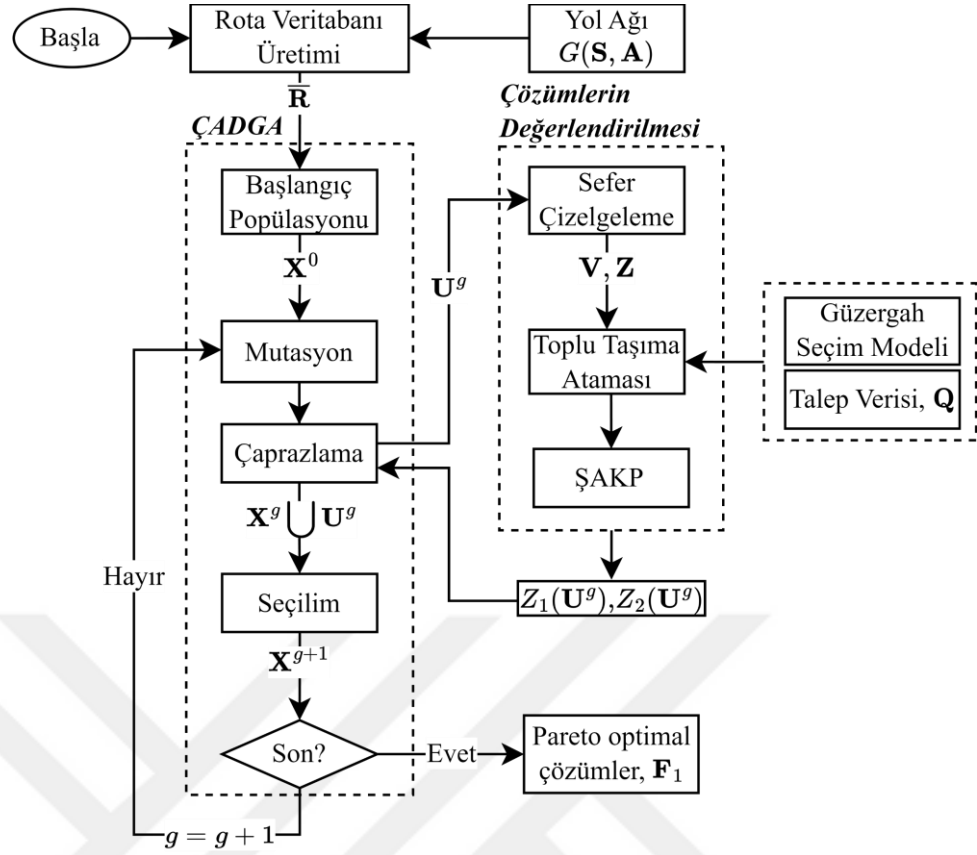
$$G(u, v(u)) \leq 0 \quad (5b)$$

$$(L0) \min_v f(u, v) \quad (5c)$$

$$g(u, v) \leq 0 \quad (5d)$$

F ve u sırasıyla, üst seviyenin ($U0$) amaç fonksiyonu ve karar değişken vektörü iken, G üst seviye kısıtlarıdır. f ve v , alt seviye probleminin ($L0$) amaç fonksiyonu ve karar değişkeni iken, g alt seviye kısıtıdır.

Yukarıda bahsedilenler doğrultusunda, bu tez çalışması kapsamında E-TATFAP için çok amaçlı ve çift seviyeli bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen optimizasyon modeli, Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ile Baskılanmamış Sıralama Genetik Algoritması III'ün (BSGA-III) seçim operatörünü hibritleştirerek oluşturulmuş olan ve Pareto optimal çözümler kümesi verebilen Çok Amaçlı Diferansiyel Gelişim Algoritma'sına (ÇADGA) dayalıdır. Çift seviyeli yapının üst seviyesinde, işletme ve toplam kullanıcı maliyetlerinin eş zamanlı en küçüklenmesi için, ÇADGA ile rotalar ve zamana bağlı frekanslar üretilirken, alt seviyede ise toplu taşıma ataması yapılmakta ve atama sonucu elde edilen çıktılar ile şarj cihazlarının yerleştirileceği duraklar belirlenmektedir. Şekil 4.2 tüm çözüm sürecinin akış şemasını göstermektedir. Çözüm sürecinin aşamaları ise, devam eden alt başlıklarda detaylıca ele alınmaktadır.



Şekil 4.2 Geliştirilen çift seviyeli çözüm sürecinin akış şeması

4.1 Rota Veri Tabanı Üretimi

Rota veri tabanı üretim sürecinde, otobüs rotalarının büyük bir kümesinin üretilmesi amaçlanmaktadır. Belirli bir başlangıç ve varış durakları için üretilen rotaların seyahat süreleri, bu duraklar arasındaki en kısa seyahat süreli rotaya mümkün oldukça yakın olacak şekilde üretilmektedir. Böylece bu yaklaşım ile üretilen bütün rotaların nispeten verimli rotalar olması sağlanmaktadır.

Rota veri tabanı üretim prosedürü şu şekildedir: tüm başlangıç ve varış durakları arasındaki en kısa seyahat süreli rota belirlenir ve ilgili rotalar, rota veri tabanı kümesine, \bar{R} , eklenir. Ayrıca, bu başlangıç ve varış durakları arasındaki, en kısa seyahat süreli rotanın maksimum rota sapma faktörü, $\psi > 1$, kadarını geçmeyen rotalar da rota veri tabanı kümesine eklenir. Bu süreye duraklardaki bekleme süreleri dahil olmayıp, sadece duraklar arasındaki seyahat sürelerinin toplamından oluşmaktadır. Ek olarak, rotaların seyahat süreleri hesaplanırken, üzerinden geçtiği linklerin serbest akım seyahat süreleri dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte, maksimum rota sapma faktörü, en kısa seyahat süreli rotadan

büyük sapmalar olmaması ve verimsiz rotaların veri tabanına eklenmesinden kaçınmak için mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır.

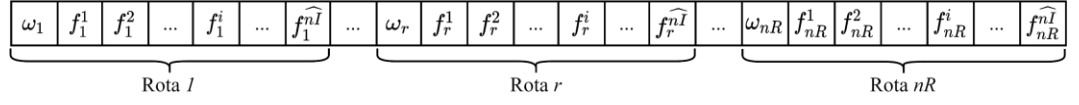
Başlangıç ve varış durakları arasındaki rotalar, Yen (1971) çalışmasında geliştirilmiş olan en kısa k güzergah algoritması ile belirlenmektedir. Aslında, burada k değeri bir anlam ifade etmemektedir çünkü örnek bir başlangıç ve varış durakları arasındaki rotaların üretimi, bu duraklar arasındaki en kısa seyahat süresinin maksimum rota sapma faktörüne karşılık gelen seyahat süresi aşılana kadar devam etmektedir.

4.2 Çok Amaçlı Diferansiyel Gelişim Algoritması

Storn ve Price (1997) çalışmasında geliştirilmiş olan Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA), sürekli problemleri çözmek için Genetik Algoritma tabanlı bir metasezgisel olup, benzer operatörler içermektedir. DGA, orijinal formunda çıktı olarak sadece bir uygunluk değerine sahip problemleri çözmek için geliştirilmiştir ve geçmiş birkaç toplu taşıma ağ tasarımı çalışmasında kullanılmıştır. Bununla birlikte, bu tez çalışmasının optimizasyon modelinde, toplam kullanıcı ve işletme maliyetlerinin en küçüklenmesi hedeflenmekte olup, bu amaçlar doğrultusunda Pareto optimal çözümler kümesi elde edilmesi amaçlanmaktadır. Dolayısıyla, DGA'nın optimizasyon modeline uyumu için, orijinal yapısında modifikasyona ihtiyaç duyulmaktadır. DGA'nı çok amaçlı problemlere uyarlama çabaları bir çok çalışmada ele alınmıştır (Ayaz vd., 2020). Bu amaçla, bu tez çalışmasında çok amaçlı DGA için bir varyantı daha geliştirilmiştir. Geliştirilen Çok Amaçlı Diferansiyel Gelişim Algoritması'nın (ÇADGA) arkasındaki fikir, Deb ve Jain (2014) çalışmasında tanıtılmış olan Baskılanmamış Sıralama Genetik Algoritması-III'ün seçim operatörüne dayanmaktadır. Geliştirilen ÇADGA'nın detayları devam eden paragraflarda açıklanmaktadır.

Jenerasyon g 'de, $nPop$ boyutlu bir ebeveyn popülasyonun \mathbf{X}^g ile temsil edildiğini varsayalım. Bu ebeveyn popülasyonundaki her bir birey veya her bir kromozom i , \mathbf{x}_i^g , $i \in \{1, 2, \dots, nPop\}$ ile temsil edilmektedir ve dolayısıyla $\mathbf{X}^g = \{\mathbf{x}_1^g, \dots, \mathbf{x}_i^g, \dots, \mathbf{x}_{nPop}^g\}$. \mathbf{x}_i^g kromozomu içerisindeki her bir gen, $x_{i,j}^g \in \mathbf{x}_i^g$, $j \in \{1, 2, \dots, nVar\}$, bir frekans değerini veya rota veri tabanı kümesindeki bir rota numarasını ifade etmektedir. Zamana bağlı frekansların ve rotaların bir kümesini içeren örnek bir kromozomun, $\mathbf{x}_i^g = \{x_{i,1}^g, \dots, x_{i,j}^g, \dots, x_{i,nVar}^g\}$, temsili Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Burada ω_r , rota r 'nin, $r \in \{1, 2, \dots, nR\}$, rota veri tabanı

kümesindeki, $\bar{\mathbf{R}}$, numarası iken, f_r^i ise zaman aralığı i boyunca, $i \in \{1, 2, \dots, \widehat{nl}\}$, r rotasının frekans değeridir.



Şekil 4.3 Örnek bir kromozomun temsili

ÇADGA, her bir geninin, $x_{i,j}^0$, rastgele bir şekilde seçildiği bir başlangıç popülasyonu, \mathbf{X}^0 , ile başlamakta olup, bu popülasyonu jenerasyonlar boyunca küresel baskılanmamış çözümlerin olduğu bölgeye doğru yönlendirmeyi amaçlamaktadır. Algoritma maksimum jenerasyon sayısına, nG , ulaşıncaya kadar sonlanmaktadır. Bu doğrultuda, g jenerasyonundaki örnek bir kromozom i , \mathbf{x}_i^g , bir sonraki jenerasyon için şu şekilde güncellenmektedir: ilk olarak ÇADGA ebeveyn popülasyonundaki, \mathbf{X}^g , herhangi iki kromozomun ağırlıklı farkını bir başka üçüncü kromozoma eklemektedir. Bu işlem mutasyon olarak adlandırılmaktadır. Mutasyon operatöründen çıkan bir mutant kromozom, \mathbf{v}_i^g , Denklem 6'daki gibi üretilmektedir.

$$\mathbf{v}_i^g = \mathbf{x}_{r_1}^g + F \times (\mathbf{x}_{r_2}^g - \mathbf{x}_{r_3}^g) \quad (6)$$

r_1, r_2, r_3 rastgele seçilen indeksler olup, $\{1, 2, \dots, nPop\}$, kümesinden seçilmektedir ve i indeksinden farklı bir değerdir. F ise, farkın ağırlığı veya ölçekleme katsayısı olup, $F \in [0, 2]$ kümesinden seçilen ve tüm optimizasyon boyunca sabit olan bir değerdir. Daha sonra, mutant kromozom, \mathbf{v}_i^g , hedef kromozom, \mathbf{x}_i^g , ile karıştırılır. Bu süreç ise, çaprazlama olarak adlandırılmaktadır. Çaprazlama operatörüne maruz kalan bir hedef kromozom sonucunda ortaya deneme kromozomu çıkmaktadır. Bir deneme kromozomu, \mathbf{u}_i^g , Denklem 7 ile tanımlanmakta olup, Denklem 8'deki gibi elde edilmektedir.

$$\mathbf{u}_i^g = \{\mathbf{u}_{i,1}^g, \mathbf{u}_{i,2}^g, \dots, \mathbf{u}_{i,nVar}^g\} \quad (7)$$

$$\mathbf{u}_{i,j}^g = \begin{cases} \mathbf{v}_{i,j}^g & \text{if } (rand(0,1) \leq CR) \text{ or } j = randi \\ \mathbf{x}_{i,j}^g & \text{if } (rand(0,1) > CR) \text{ or } j \neq randi \end{cases} \quad (8)$$

$randi$ çaprazlama sürecinin başında belirlenen ve $\{1, 2, \dots, nVar\}$ kümesinden rastgele seçilen bir indekstir. CR ise, ÇADGA'nın başında belirlenen ve $[0, 1]$ aralığından seçilen çaprazlama olasılığıdır.

Jenerasyon g boyunca üretilen her bir deneme kromozomu, \mathbf{u}_i^g , deneme kromozomları kümesinde, \mathbf{U}^g , toplanır. Ardından, bu kümedeki her bir \mathbf{u}_i^g için Z_1 ve Z_2 amaç değerleri, aday çözümleri değerlendirme süreci takip edilerek elde edilir. Daha sonra, ebeveyn kromozomlar kümesi, \mathbf{X}^g , ve deneme kromozomları kümesi, \mathbf{U}^g , \mathbf{Q}^g kümesinde birleştirilir. \mathbf{Q}^g kümesindeki kromozomların (aday çözümler olarak da adlandırılabilir) hangilerinin, bir sonraki jenerasyondaki ebeveyn popülasyonunda, \mathbf{X}^{g+1} , olacağını belirlemek için, BSGA-III'ün seçim operatöründen faydalanılmaktadır.

Seçim operatöründe ilk olarak, \mathbf{Q}^g kümesine genel bir baskınlık sıralama süreci uygulanarak farklı seviyelerdeki baskılanmamış çözüm kümeleri, yani Pareto cepheleri, $\{\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_l, \dots\}$, elde edilir. Ardından, ilk Pareto cephesinden son Pareto cephesine kadar, sırayla her bir cephedeki tüm aday çözümler \mathbf{H}^g kümesine taşınır. Eğer, herhangi bir Pareto Cephesi, \mathbf{F}_l , \mathbf{H}^g kümesine taşındıktan sonra $|\mathbf{H}^g| = nPop$ ise, bir sonraki ebeveyn popülasyon kümesi, \mathbf{X}^{g+1} , başka herhangi bir işleme gerek kalmadan \mathbf{H}^g kümesi ile başlar. Fakat, herhangi bir Pareto Cephesi, \mathbf{F}_l , \mathbf{H}^g kümesine taşındıktan sonra $|\mathbf{H}^g| > nPop$ ise, \mathbf{F}_l cephesinden \mathbf{F}_{l-1} kümesine kadar tüm aday çözümler \mathbf{X}^{g+1} kümesine eklenir, $\mathbf{X}^{g+1} = \bigcup_{j=1}^{l-1} \mathbf{F}_j$. Bir sonraki jenerasyonun ebeveyn popülasyon kümesindeki, \mathbf{X}^{g+1} , eksik kalan kromozomlar ise BSGA-III'ün kendine özgü yöntemi olan Referans Noktalar Tabanlı Sıralama yaklaşımı kullanılarak \mathbf{F}_l kümesinden seçilmektedir. Bu yaklaşım Normalizasyon, İlişkilendirme ve Boşluk Doldurma olarak isimlendirilen alt prosedürlerden oluşmaktadır. BSGA-III'ün seçim operatörüne dayalı olarak geliştirilen ÇADGA'nın özet prosedürü Algoritma 2'de verilmektedir.

4.3 Aday Çözümlerin Değerlendirilmesi

ÇADGA ile yeni bir aday çözüm üretildikten hemen sonraki takip eden aşama bu çözümün değerlendirilmesidir. Üçüncü bölümde bahsedildiği gibi, geliştirilen optimizasyon modeli birbiriyle çelişen toplam kullanıcı maliyeti, Z_1 , ve işletme maliyeti, Z_2 , amaçlarını dikkate almaktadır. Örnek bir aday çözüme ait her iki amaç açısından maliyetlerin bulunabilmesi için ilk olarak, toplu taşıma ağındaki tüm seferler çizelgeleme sürecinden geçerek aday çözümdeki rota ve zamana bağlı frekans bilgileri doğrultusunda çizelgelenir. Bu aşamanın sonunda, işletme maliyetinin, Z_2 , bir bileşeni olan ve ağdaki tüm seferleri işletmek için gerekli filo boyutuna bağlı olan filo yatırım maliyeti, C_f , elde edilir.

Algoritma 2 ÇADGA'nın Adımları**Girdi:** $nPop, nVar, F, CR, nZ$ **Çıktı:** F_1

1 :	$\mathbf{X}^0 = \text{Başlangıç Popülasyonu}(nPop, nVar)$	Original DGA'nın Adımları
2 :	while $g \leq NG$	
3 :	$\mathbf{U}^g = \emptyset, \mathbf{H}^g = \emptyset,$	
4 :	for $\forall \mathbf{x}_i^g \in \mathbf{X}^g$	
5 :	$\mathbf{v}_i^g = \text{Mutasyon}(\mathbf{x}_i^g, F)$	
6 :	$\mathbf{u}_i^g = \text{Çaprazlama}(\mathbf{x}_i^g, \mathbf{v}_i^g, CR)$	
7 :	$\mathbf{U}^g = \mathbf{U}^g \cup \mathbf{u}_i^g$	
8 :	end	
9 :	$\mathbf{Q}^g = \mathbf{X}^g \cup \mathbf{U}^g$	
10:	$\{\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_l, \dots\} = \text{Baskınlık Sıralama}(\mathbf{Q}^g)$	BSGA-III'ün Seçim Operatörü
11:	while $ \mathbf{H}^g \geq nPop$	
12:	$l = l + 1$	
13:	$\mathbf{H}^g = \mathbf{H}^g \cup \mathbf{F}_l$	
14:	end	
15:	if $ \mathbf{H}^g = nPop$	
16:	$\mathbf{X}^{g+1} = \mathbf{H}^g$	
17:	else	
18:	$\mathbf{X}^{g+1} = \cup_{j=1}^{l-1} \mathbf{F}_j$	
19:	$\mathbf{X}^{g+1} = \mathbf{X}^{g+1} \cup \text{Normalize} + \text{İlişkilendirme} + \text{Doldurma}(\mathbf{F}_l, nZ)$	
20:	end	
21:	$g = g + 1$	
22:	end	

Sonraki aşama ise, toplu taşıma atama prosedürü ile yolcuları ağa atamaktır. Toplu taşıma atamasının çıktıları, amaç fonksiyonlarından biri olan toplam kullanıcı maliyetini, Z_1 , hesaplamaya imkân tanımaktadır. Toplu taşıma atamasının performans çıktıları aynı zamanda ŞAKP'ne gönderilerek, kablosuz şarj cihazlarının kurulacağı duraklar belirlenmektedir. Böylece, işletme maliyetinin, Z_2 , bir diğer bileşeni olan şarj altyapı maliyeti, C_c , de elde edilmektedir.

4.4 Aday Çözümlerin Uygulanabilirlik Kontrolü

ÇADGA ile üretilen her bir aday çözümün geçerli ve uygun bir çözüm olabilmesi için, ilgili çözüm değerlendirilmeden önce bir dizi uygulanabilirlik

kontrolünden geçmektedir. Uygulanabilirlik kontrollerinin herhangi birini yerine getiremeyen bir aday çözüm atılır ve tüm kontrolleri sağlayan yeni bir aday çözümle yer değiştirilir. Uygulanabilirlik kontrolleri aşağıdaki gibidir.

- Bir rota içerisindeki her bir durak eşsiz olmalı. Bu koşula zaten rota veri tabanı üretim sürecinde dikkat edilmektedir. Bununla birlikte, bir durak tüm rotalar kümesi, **R**, içerisinde birden çok kez görülebilir. Yani, bir durak birden fazla rotanın güzergahında bulunabilir.
- Rotalar kümesindeki, **R**, her bir rota eşsiz olmalı. Bu, ÇADGA ile bir aday çözüm yaratırken, örnek bir rotanın, rotalar kümesinde birden çok kez olamayacağı anlamına gelmektedir.
- Ağdaki tüm kullanıcılara toplu taşıma hizmetini sağlayabilmek için ağdaki her bir durak en az bir rotada olmalıdır.
- Frekanslar izin verilen maksimum ve minimum frekans değerleri aralığında olmalıdır. Ayrıca, seferlerin başlangıç duraklarından kalkış zamanlarının kolay hatırlanabilir olması için, frekans değerleri sadece saat kalkış aralıklarını alabilir. Örneğin, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, 60 saatlik frekans değerleri gibi (Ceder, 2007).

5 TESTLER

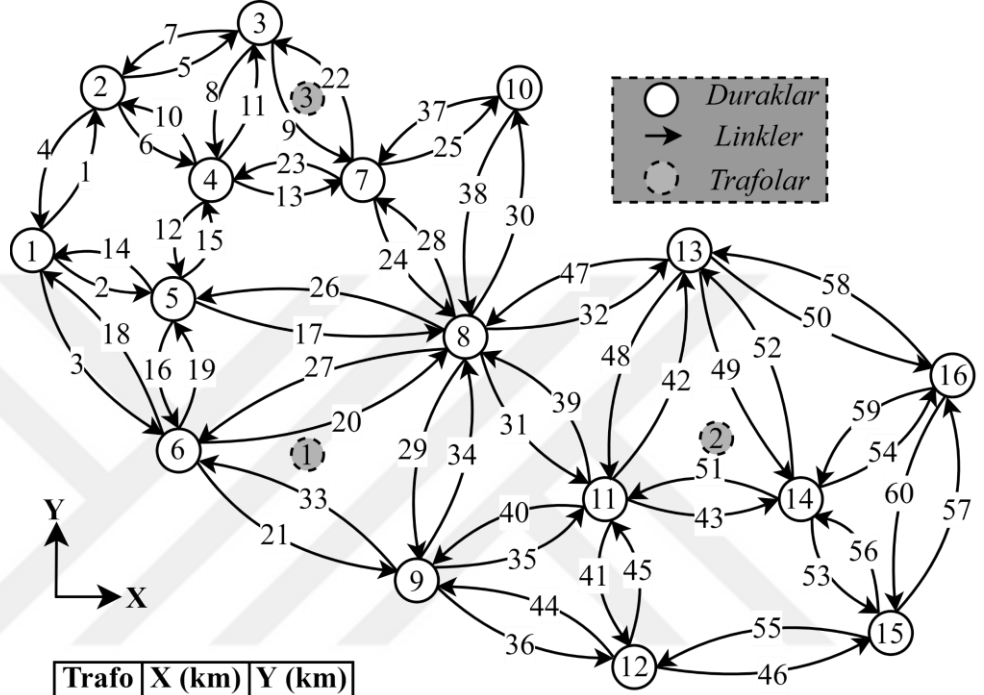
Geçmiş çalışmaların çoğunda, testler Mandl, Mumford gibi test ağlarında gerçekleştirilmiştir (Durán-Micco ve Vansteenwegen, 2022; Ibarra-Rojas vd., 2015). Bununla birlikte, bu ağlar statik talep ve statik arza sahip ağlardır. Bu sebepten dolayı, bu tez çalışması kapsamında dinamik arz ve dinamik talebin çözüm üzerindeki etkisini ortaya çıkarabilmek amaçlandığından bu ağların kullanılması uygun olmamaktadır. Dahası, literatürde dinamik arz ve dinamik talebe sahip bir ağ da mevcut değildir. Bu sebepten, geliştirilen ÇADGA, hipotetik bir şekilde yaratılmış olan bir toplu taşıma ağı üzerinde test edilmiştir.

Tablo 5.1 Talep matrisi

B-V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	150	155	218	224	152	185	143	130	148	144	146	208	195	162	146
2	150	0	149	239	216	156	191	129	136	151	133	142	225	182	158	181
3	155	149	0	237	218	140	169	146	135	172	153	167	235	199	163	192
4	218	239	237	0	157	216	106	216	206	105	216	195	148	120	197	114
5	224	216	218	157	0	206	137	223	234	87	212	227	145	115	207	124
6	152	156	140	216	206	0	149	155	139	167	148	175	237	163	148	156
7	185	191	169	106	137	149	0	190	173	101	166	174	117	83	174	104
8	143	129	146	216	223	155	190	0	151	146	146	140	222	208	149	173
9	130	136	135	206	234	139	173	151	0	165	145	136	263	194	146	199
10	148	151	172	105	87	167	101	146	165	0	172	154	95	93	167	80
11	144	133	153	216	212	148	166	146	145	172	0	153	226	195	170	183
12	146	142	167	195	227	175	174	140	136	154	153	0	229	193	162	180
13	208	225	235	148	145	237	117	222	263	95	226	229	0	139	197	124
14	195	182	199	120	115	163	83	208	194	93	195	193	139	0	186	104
15	162	158	163	197	207	148	174	149	146	167	170	162	197	186	0	163
16	146	181	192	114	124	156	104	173	199	80	183	180	124	104	163	0

Yaratılan ağ 16 durak ve 30 linkten (60 çift yönlü linkten) oluşmakta olup, yol ağı ile durakların ve trafoların konumları Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Ağ üzerindeki günlük otobüs kullanıcı sayısı 20.000'dir. Bu kullanıcıların her biri verilen bir başlangıç durağından verilen bir varış durağına ulaşmak için yine verilen bir zamanda yolculuğuna başlamaktadır ve daha sonra tam tersi yönde yeni bir yolculuk gerçekleştirmektedir. Sonuç olarak, her bir kullanıcının bu iki yönlü hareketi toplamda 40.000 yolculuk talebinin oluşmasına sebep olmaktadır.

Şekil 5.2, bu 40.000 yolculuk talebin yolculuk başlangıç zamanlarının tüm operasyon periyodu boyunca 15 dakikalık zaman aralıkları için dağılımını göstermektedir. Tablo 5.1 ise, tüm analiz periyodu boyunca her bir başlangıç ve varış durağı arasındaki toplam talep miktarını, EK-1 ise her bir talep için yolculuk başlangıç durağı, varış durağı ve yolculuk başlangıç zamanını detaylıca göstermektedir.

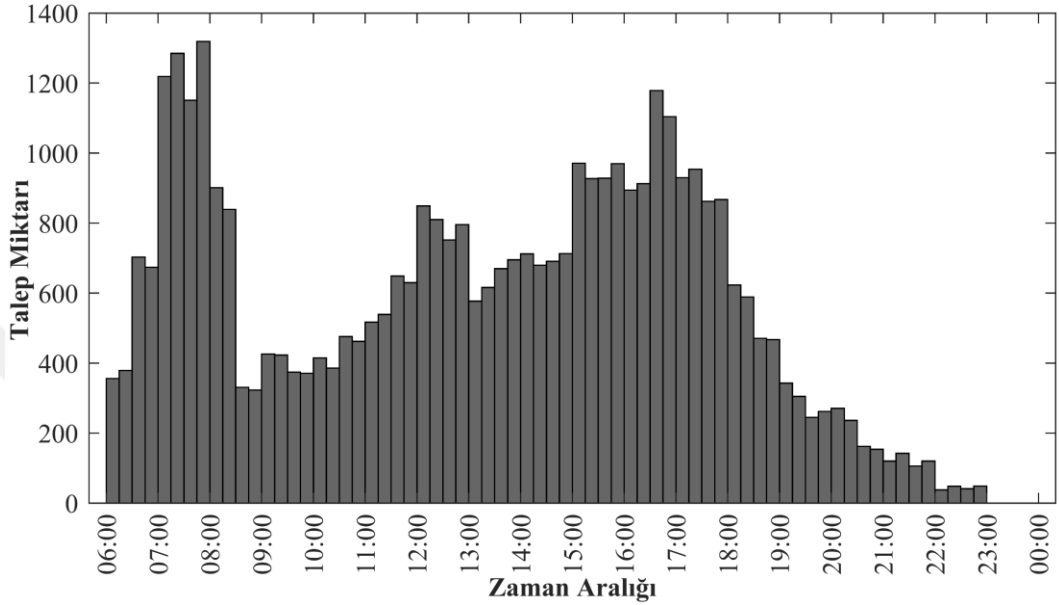


Trafo	X (km)	Y (km)
1	1.7	1.2
2	4.6	1.3
3	1.7	3.5

Durak	X (km)	Y (km)	Link No	Uzunluk (km)	Link No	Uzunluk (km)
1	0	2.5	1-4	1.044	29-34	1.513
2	0.3	3.5	2-14	1.098	30-38	1.529
3	1.5	4	3-18	1.640	31-39	1.486
4	1.2	3	5-7	1.300	32-47	1.868
5	1	2.3	6-10	1.029	35-40	1.392
6	1	1.2	8-11	1.044	36-44	1.581
7	2	3	9-22	1.118	41-45	1.019
8	2.7	2	12-15	0.728	42-48	1.655
9	2.5	0.5	13-23	0.800	43-51	1.200
10	3	3.5	16-19	1.100	46-55	1.529
11	3.8	1	17-26	1.726	49-52	1.581
12	4	0	20-27	1.878	50-58	1.802
13	4.5	2.5	21-23	1.655	53-56	0.860
14	5	1	24-28	1.220	54-59	1.118
15	5.5	0.3	25-37	1.118	57-60	1.300
16	6	1.5				

Şekil 5.1 Hipotetik ağıntı detayları

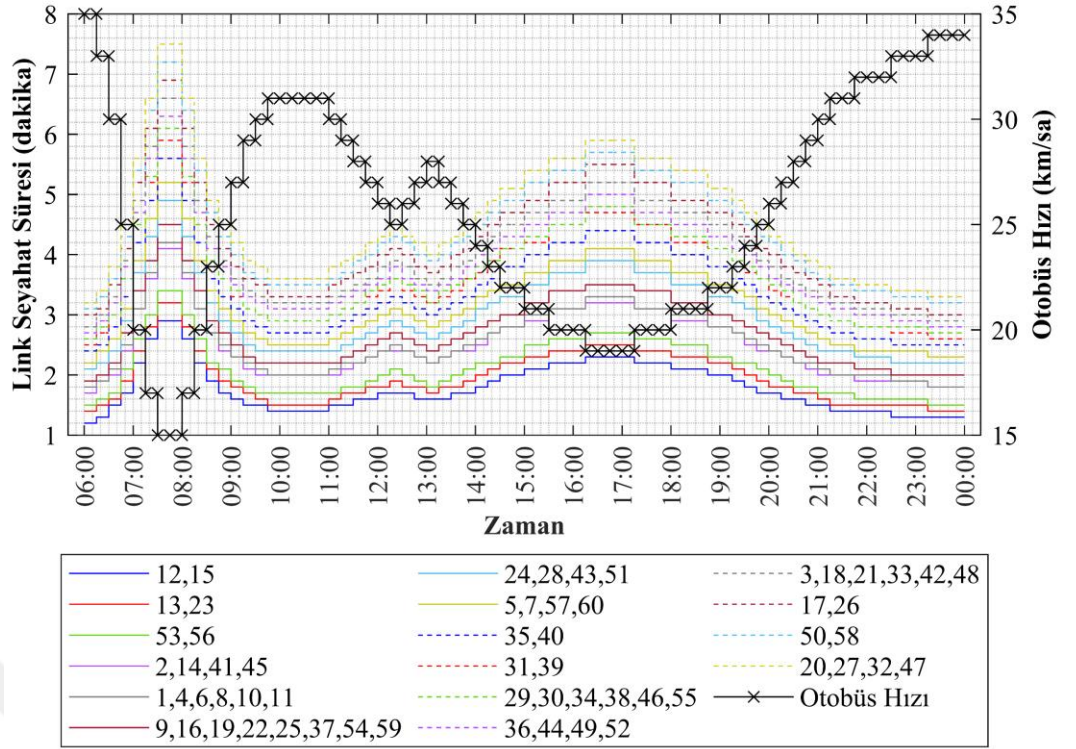
Toplu taşıma hizmeti için günlük operasyonun sabah 06:00'da başlayıp gece 00:00'a kadar devam ettiği 18 saatlik periyodu kapsamaktadır. Şekil 5.2'deki yolculuk başlangıç zamanlarının tüm operasyon süresi boyunca dağılımını göz önünde bulundurarak, her bir hat için beş farklı zaman periyodu için frekans değeri belirlenmektedir: [06:00-09:00), [09:00-12:00), [12:00-15:00), [15:00-20:00) ve [20:00-00).



Şekil 5.2 Yolculuk başlangıç zamanlarının analiz periyodu boyunca dağılımı

Her bir link için tüm operasyon süresi boyunca 15 dakikalık zaman aralıkları için seyahat süreleri Şekil 5.3'ün sol düşey ekseninde verilmektedir. Bu seyahat süreleri ise, aynı şeklin sağ düşey ekseninde sunulan ve André ve Hammarström (2000) çalışmasında sunulmuş olan şehir merkezlerindeki ortalama otobüs hızları doğrultusunda belirlenmiştir.

Önerilen optimizasyon modeli MATLAB 2021b paket programında kodlanmış olup, tüm testler 3.6 GHz CPU ve 16 GB RAM donanımlı Intel Core i7 bir bilgisayar üzerinde yürütülmüştür. 100 jenerasyon boyunca 50 popülasyona sahip bir optimizasyon koşusu ortalama olarak 24 saat sürmektedir. Parametreler için kullanılan değerler Tablo 5.2'deki gibidir.



Şekil 5.3 Zamana bağlı link seyahat süreleri

Tablo 5.2 Parametre değerleri

Parametre	Değer	Referans
Yolcu binişi başına geçen zaman (\hat{t})	3,8 sn.	Dueker vd. (2004)
Yolcu inişi başına geçen zaman (\check{t})	1,6 sn.	Dueker vd. (2004)
Şarj cihazının verimliliği (CE)	% 90	Mohamed vd. (2017)
Otobüs satın alma maliyeti (c_e)	350.000 €	Lajunen (2018)
Batarya kapasitesi birim maliyeti (c_b)	800 €/kWh	Jang vd. (2016)
Kablo uzunluğu birim maliyeti (c_c)	60 €/m	Mouhrim vd. (2019)
Dönüştürücü maliyeti (c_{inv})	30000 €	Fusco vd. (2013)
Şarj gücü birim maliyeti (c_p)	100 €/kW	Fusco vd. (2013)
Ortalama enerji tüketimi (AEC)	1.2 kWh/km	Lotfi et al. (2020)
İzin verilen maksimum batarya doluluk oranı (SOC_{max})	% 90	Mohamed vd. (2017)
İzin verilen minimum batarya doluluk oranı (SOC_{min})	% 20	Mohamed vd. (2017)
İzin verilen en düşük frekans (f_{min})	1/h	Varsayım
İzin verilen en yüksek frekans (f_{max})	12/h	Varsayım
Maksimum rota sapma faktörü (ψ)	1,2	Varsayım
Batarya kapasitesi (BC)	300 kWh	Varsayım
Şarj gücü (CP)	250 kW	Varsayım
Popülasyon boyutu ($nPop$)	50	Varsayım
Maksimum jenerasyon sayısı (nG)	100	Varsayım

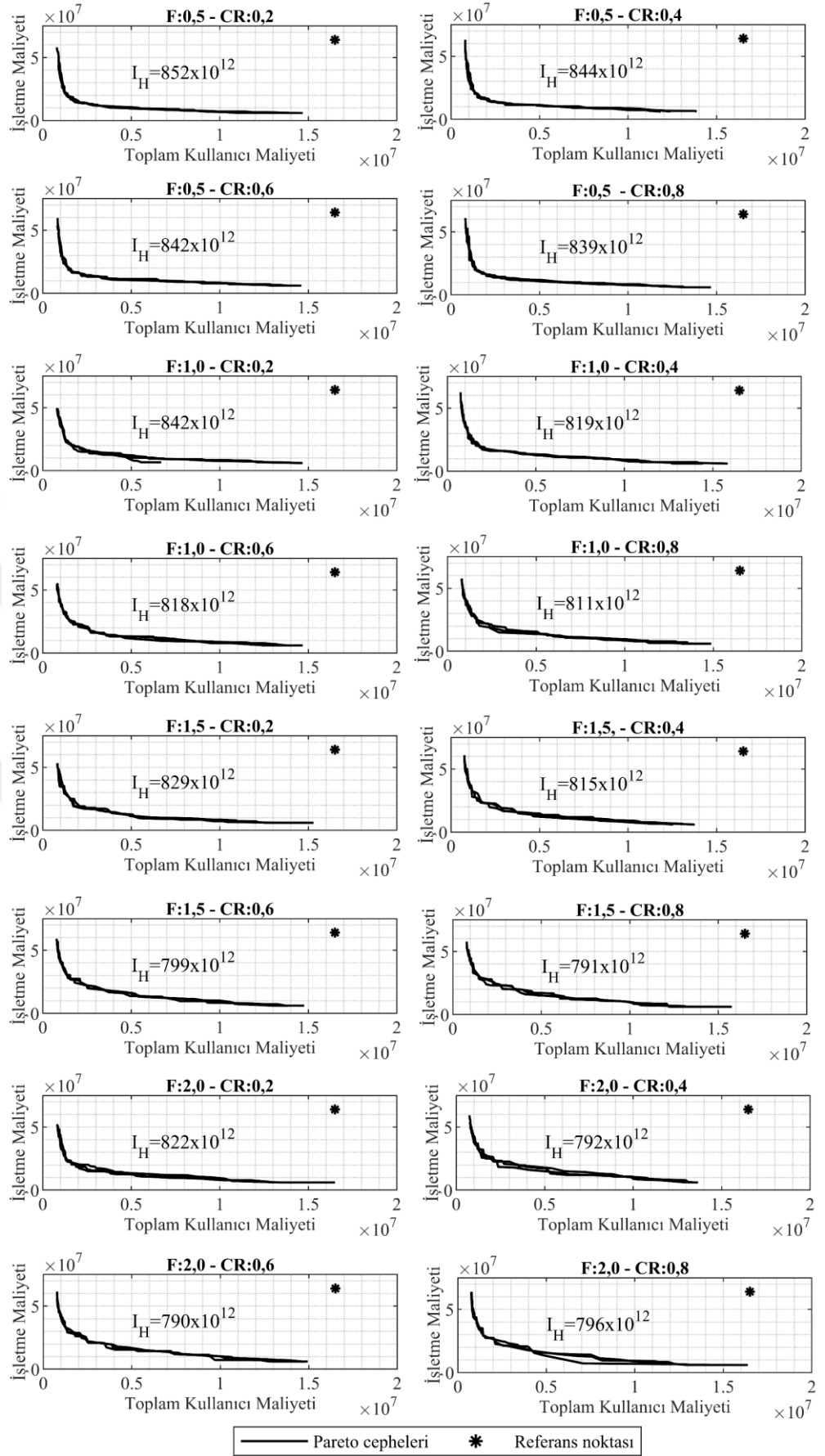
5.1 Parametrelerin Kalibrasyonu

Metasezgiseller kompleks problemleri çözmek için verimli optimizasyon algoritmalarıdır. Bununla birlikte, parametre değerlerine oldukça hassas oldukları bilindik bir durumdur. Özellikle, geniş arama uzayına sahip problemlerde, parametreler için yanlış değerlerin kullanılması optimal veya optimale yakın çözümler elde etmekte başarısız olunmasına sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı, farklı parametre değerlerinin çözüm kalitesi üzerindeki etkisini anlayabilmek ve parametreler için en iyi değerleri saptayabilmek adına, parametre değerlerinin farklı kombinasyonları kullanılarak bir kalibrasyon süreci yürütülmektedir.

Popülasyon sayısı, $nPop$, ve maksimum jenerasyon sayısı, nG , bu parametre değerlerindeki bir artışın çözümlerin kalitesini artıracığından dolayı (en azından azaltmayacağından dolayı), kalibrasyon sürecinde düşünülmemiştir. Fakat, deneme yanılma yaklaşımı ile popülasyon sayısı, $nPop$, ve maksimum jenerasyon sayısı, nG , sırasıyla 50 ve 100 olarak tanımlanmıştır. Ölçeklendirme faktörü, F , ve çaprazlama olasılığı, CR , parametrelerinin çözümlerin kalitesine etkisini anlayabilmek için, her iki parametrenin de dört farklı değeri için kombinasyonlar oluşturulmuştur, $F = \{0,5, 1,0, 1,5, 2,0\}$, $CR = \{0,2, 0,4, 0,6, 0,8\}$. Toplamda 16 kombinasyon oluşmuş olup, her bir kombinasyon için üç optimizasyon koşusu ve toplamda 48 optimizasyon koşusu yürütülmüştür.

Optimizasyonlar sonucunda elde edilen farklı Pareto cepheleri arasında bir karşılaştırma yapabilmek için Auger vd. (2009) tarafından önerilen hipervolüm indikatöründen faydalanılmıştır. Bu tez çalışmasında Pareto cephelerin böyle bir yöntem ile değerlendirilmesi literatüre önemli bir bilimsel katkı sağlamaktadır. Bilindiği gibi, hipervolüm değeri ne kadar yüksek olursa, Pareto cephesinin o kadar iyi olduğu anlamına gelmektedir, çünkü Pareto cephesinin amaç uzayında daha büyük bir alanı bastırdığı anlamına gelmektedir.

Tüm Pareto cephelerinin hipervolüm değerlerini hesaplayabilmek adına gerekli olan referans noktası, elde edilen tüm Pareto cepheleri üzerindeki çözümlerin arasından en yüksek toplam kullanıcı ve işletme maliyetleri olarak tanımlanmıştır. ÇADGA için en iyi parametreler kombinasyonu, her bir kombinasyon için elde edilen üç Pareto cephesinin ortalama hipervolüm değerleri ile belirlenmiştir. Her bir kombinasyon için ortalama hipervolüm değeri, I_H , Şekil 5.4'te sunulmaktadır.

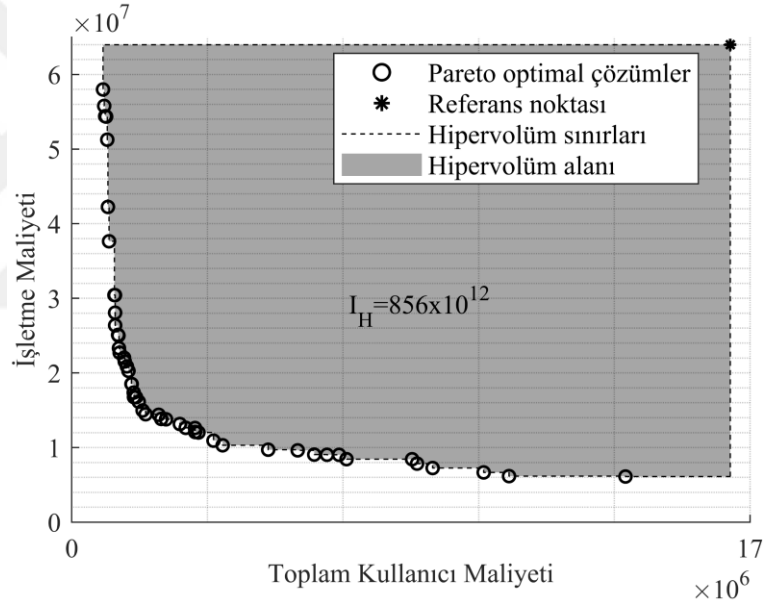


Şekil 5.4 Her bir kombinasyon için ortalama hipervolüm değeri

Şekil 5.4'te görülebileceği gibi, algoritma 852×10^{12} 'lik ortalama hipervolüm değerine sahip olan 1 numaralı kombinasyon ile yani $F = 0,5$ ve $CR = 0,2$ olduğu kombinasyon ile yürütüldüğünde daha iyi (daha baskın) Pareto cepheleri elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, sonuçlar incelendiğinde, F ve CR parametreleri azaldıkça daha iyi Pareto cepheleri elde edildiği görülmektedir.

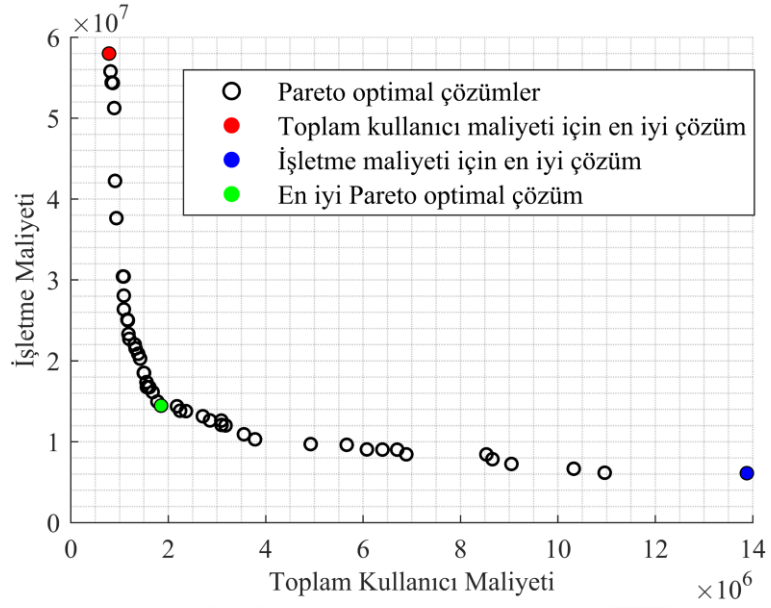
5.2 En İyi Pareto Cephesi ve Pareto Optimal Çözümün Belirlenmesi

Şekil 5.5, parametrelerin kalibrasyonu sürecinde yürütülen 48 optimizasyon koşusu arasından elde edilen, 856×10^{12} 'lik hipervolüm değerine sahip olan en iyi Pareto cephesini sunmaktadır. Bu cephe, beklendiği gibi, en iyi parametreler kombinasyonu olan 1 numaralı kombinasyon ile elde edilmiş olup, cephe üzerinde 50 tane ($nPop$ kadar) çözüm bulunmaktadır.



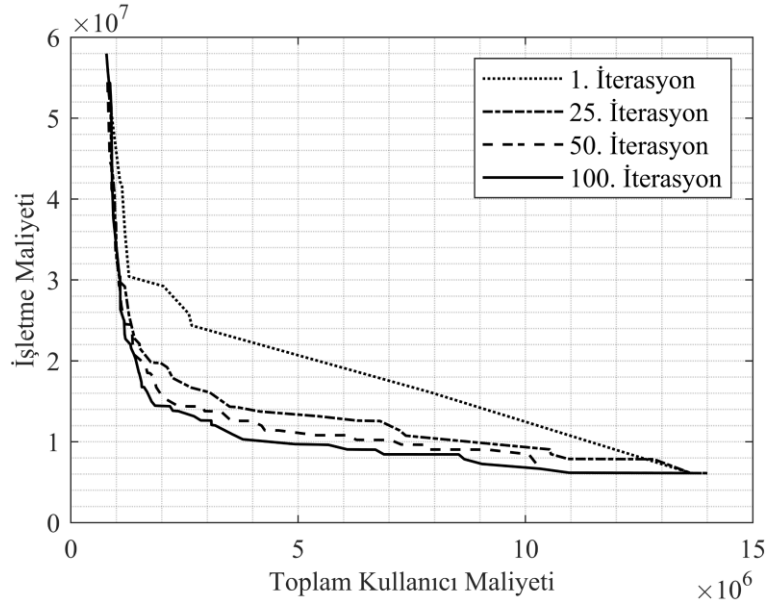
Şekil 5.5 En iyi Pareto cephesinin hipervolümü

En iyi Pareto cephesine ait Pareto verimliliği ise Şekil 5.6'da sunulmakta olup, toplam kullanıcı maliyeti (dakika) ve işletme maliyeti (€) arasındaki çelişen yapı açıkça görülebilmektedir. Maliyetler ve ağ tasarım değişkenleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için, bu cephe üzerindeki üç farklı çözüm, Tablolar 5.3-5'te detaylı şekilde ele alınmaktadır. Bu çözümler kırmızı (toplam kullanıcı maliyeti için en iyi çözüm), mavi (işletme maliyeti için en iyi çözüm) ve yeşil çözümdür (en iyi Pareto optimal çözüm). Yeşil çözüm, cephe üzerindeki tüm çözümlerin her iki amaç açısından da normalize edilmiş maliyetler için Öklid mesafesinde (0,0) noktasına en yakın olan çözümdür.

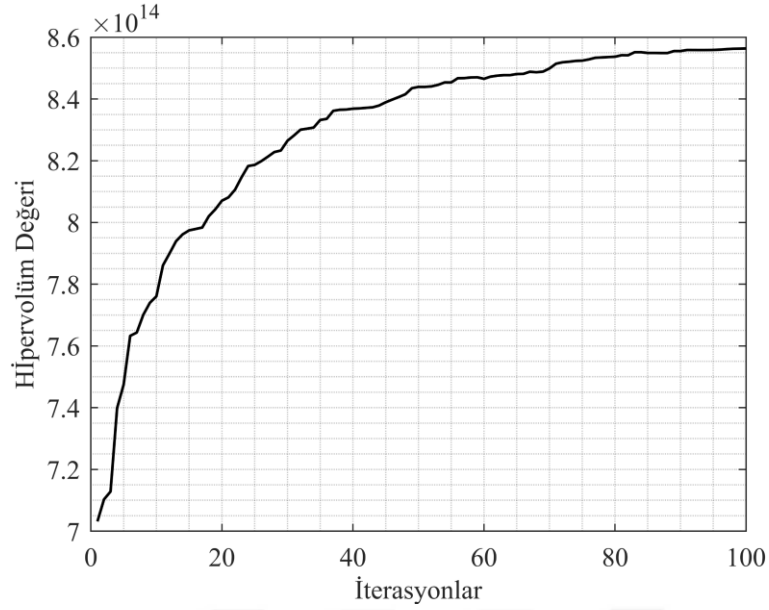


Şekil 5.6 En iyi Pareto cephesine ait Pareto verimliliği

Şekil 5.7’de en iyi Pareto cephesinin jenerasyonlar boyunca yakınsaması gösterilmekte olup, 50’nci jenerasyondan sonra cephenin gelişiminde ciddi bir yavaşlama olduğu görülmektedir. Şekil 5.8’de ise, en iyi cephenin jenerasyonlar boyunca hipervolumü verilmekte olup, deneme yanılma yaklaşımıyla belirlenen maksimum jenerasyon sayısı, nG , için 100 değerinin yeterli olduğu doğrulanmaktadır.



Şekil 5.7 En iyi Pareto cephesinin jenerasyonlar boyunca gelişimi



Şekil 5.8 En iyi Pareto cephesinin jenerasyonlar boyunca hiperövolümü

Tablolar 5.3-5'te, toplam kullanıcı maliyeti için en iyi çözüm, işletme maliyeti için en iyi çözüm ve en iyi Pareto optimal çözüm arasında karşılaştırmalı bir değerlendirme yapabilmek için, çözümlere ait detaylar verilmektedir. Bu amaçla, her bir çözüm için toplam kullanıcı maliyeti (Z_1), işletme maliyeti (Z_2), kullanıcı başına ortalama yolculuk süresi (ATT), gerekli filo boyutu (FS), direkt yolculukların yüzdesi (d_0), bir transferli yolculukların yüzdesi (d_1), iki ve üzeri transferli yolculukların yüzdesi (d_{2+}) ve şarj altyapı maliyeti (C_c) verilmektedir.

İlgili tablolardan da görülebileceği gibi, Durak 8 ağın merkezinde olduğundan dolayı potansiyel bir transfer noktasıdır, böylece üç çözümde de rotalarda sıklıkla bulunmaktadır. İşletme maliyeti ve toplam kullanıcı maliyeti için en iyi çözümlerin çıktılarını incelendiğinde hem işletme hem de toplam kullanıcı maliyetleri açısından ciddi farklılıklar mevcuttur. Beklendiği gibi, işletme maliyeti için en iyi çözümde tüm frekans değerleri 1 iken, toplam kullanıcı maliyeti için en iyi çözümde frekans değerlerinin tümü neredeyse izin verilen maksimum değeri (12/h) almıştır. Frekanslar arttıkça toplam kullanıcı maliyeti düşerken, gerekli filo boyutu ve şarj altyapı maliyeti artmaktadır. Çünkü yüksek frekanslı toplu taşıma ağlarında sefer sayısı çok olacağından dolayı daha büyük bir filo boyutuna ihtiyaç duyulmaktadır. Dahası, yüksek frekanslı ağlarda otobüs başına düşen sefer sayısı da daha çok olacağından ve dolayısıyla tüketilen enerji miktarı da artacağından dolayı, otobüslere tüm operasyon periyodu boyunca gerekli enerji miktarını sağlayabilmek için çok daha fazla şarj cihazlı durağa ihtiyaç duyulmaktadır. En iyi Pareto optimal çözüme gelince, frekanslar genellikle yolculuk başlangıçlarının

yoğun olduğu zaman dilimlerinde (17:00-20:00 zaman dilimi) nispeten yüksek iken, 20:00-00:00 zaman dilimi gibi zirve dışı saatlerde frekanslar düşüktür.

Tablo 5.3 Toplam kullanıcı maliyeti için en iyi çözüm

Rotalar	<ul style="list-style-type: none"> • 4,5,6,9,12 • 4,7,8,11,14,15 • 10,7,8,11,14,16 • 1,6,9,11,14 • 2,4,5,8,9 • 4,7,8,9,12,15 • 2,3,7,8,11,12,15 • 1,5,8,13,14,15 • 3,4,5,8,13,16 • 2,3,7,8,11,14,16
Frekanslar	$f_r^1 = \{2,12,4,6,12,12,12,12,12,6\}$ $f_r^2 = \{12,12,12,12,12,12,12,12,12,5\}$ $f_r^3 = \{12,12,12,12,12,12,12,12,12,12\}$ $f_r^4 = \{12,6,12,5,12,12,12,12,12,12\}$ $f_r^5 = \{12,12,12,12,12,12,12,12,12,12\}$
Şarj Cihazlı Duraklar	{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16}
Z_1	782.833 dakika
Z_2	57.985.904 €
ATT	12,36 dakika
d_0	% 70,17
d_1	% 29,65
d_{2+}	% 0,16
C_c	1.935.906 €
FS	95

Tablo 5.4 En iyi Pareto optimal çözüm

Rotalar	<ul style="list-style-type: none"> • 3,7,8,13,14,15 • 5,6,9,11,14,15 • 5,4,7,10 • 3,7,8,9,12 • 10,7,8,11,14,16 • 2,1,5,8,11,12,15 • 1,5,6,8,13,16 • 2,4,5,8,13,14,15 • 4,7,8,9 • 3,4,7,8,13,16
Frekanslar	$f_r^1 = \{3,1,1,1,2,2,3,3,4,1\}$ $f_r^2 = \{6,1,5,1,3,3,2,4,1,1\}$ $f_r^3 = \{3,1,1,1,1,3,3,4,4,1\}$ $f_r^4 = \{4,1,1,4,4,1,3,4,5,1\}$ $f_r^5 = \{1,1,1,1,4,1,2,2,2,1\}$
Şarj Cihazlı Duraklar	{7,13,14}
Z_1	1.850.918 dakika
Z_2	14.462.236 €
ATT	25,58 dakika
d_0	% 59,35
d_1	% 39,09
d_{2+}	% 1,56
C_c	302.236 €
FS	24

Tablo 5.5 İşletme maliyeti için en iyi çözüm

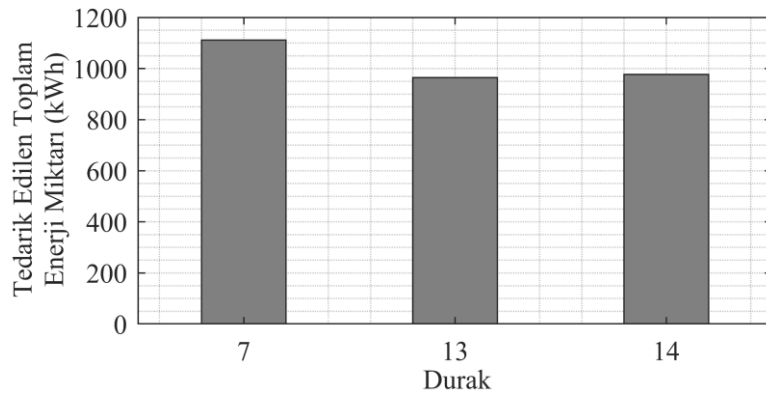
Rotalar	<ul style="list-style-type: none"> • 5,6,9,11,14,16 • 5,4,7,8,11,14,15 • 1,5,4,7,10 • 3,7,8,9,12 • 10,7,8,11,14,16 • 3,4,7,8,11,12 • 1,2,4,7,10 • 2,4,5,8,13 • 1,5,4,7,8,13,16 • 2,3,7,10
Frekanslar	$f_r^1 = \{1,1,1,1,1,1,1,1,1,1\}$ $f_r^2 = \{1,2,1,1,1,1,1,1,1,1\}$ $f_r^3 = \{1,1,1,1,1,1,1,1,1,1\}$ $f_r^4 = \{1,1,1,1,1,1,1,1,1,1\}$ $f_r^5 = \{1,1,1,1,1,1,1,1,1,1\}$
Şarj Cihazlı Duraklar	{8,14}
Z_1	13.879.368 dakika
Z_2	6.116.837 €
ATT	154,85 dakika
d_0	% 63,98
d_1	% 33,69
d_{2+}	% 2,32
C_c	216.837 €
FS	10

Tablo 5.6’da, tüm operasyon süresi boyunca en iyi Pareto optimal çözümdeki her bir otobüs için, tüketilen ve tedarik edilen enerji miktarı ile operasyon süresi sonunda kalan enerji miktarları sunulmaktadır. Tüketilen enerji miktarı, direkt olarak katedilen mesafeyle orantılı olduğundan dolayı, aynı rotaya hizmet veren ve aynı sayıda sefere çıkan otobüsler tarafından tüketilen toplam enerji miktarı da aynıdır. Bununla birlikte, bu tür otobüs grupları için operasyon süresinin sonunda kalan enerji miktarları farklı olabilir, çünkü otobüsler aynı enerji miktarını tüketebilirler bile, farklı enerji miktarlarını tedarik edebilirler. Rotalar 1, 4, 5 ve 6’daki otobüsler aynı sayıda sefere çıkarak, aynı enerji miktarlarını tüketmiş olsalar bile, operasyon süresi boyunca tedarik ettikleri enerji miktarları ve dolayısıyla operasyon süresi sonunda kalan enerji miktarları birbirinden farklıdır. Rota 6’nın otobüsleri, bu rotanın hiçbir durağına şarj cihazı yerleştirilmediğinden dolayı hiç enerji tedarik edememektedir. Buna rağmen, bu rotanın otobüsleri operasyon süresi boyunca minimum batarya doluluk oranına denk gelen 30 kWh’lık enerji kısıtını yerine getirmektedir. Rota 1 ise, tüm şarj cihazlı durakları güzergahında bulduran tek rotadır. Böylece, bu rotadaki otobüsler en fazla enerji tedarik eden otobüslerdir. Aslında, bu rotanın otobüslerin yüksek miktarlardaki enerji tedarikinin bir diğer sebebi ise, şarj cihazlı duraklarındaki yüksek yolculuk aktivitesidir. Rotalar 2, 3, ve 10’daki seferlerin işletilmesi için tek bir otobüs yeterli olmuş olup, 3 numaralı rotadaki otobüs ağdaki en fazla sefere çıkmış olmasına rağmen rotasının kısalığı sebebiyle operasyon süresinin sonunda ağda en az enerji tüketen otobüslerden birisidir. Rota 8’in otobüsleri incelendiğinde ise, bu tez çalışmasında her bir otobüsün enerji durumunun neden tek başına değerlendirildiğinin önemi ortaya çıkmaktadır çünkü bu rotada hizmet veren otobüslerin gün sonundaki kalan enerji miktarlarına bakıldığında, en yüksek ile en düşük enerji miktarı arasında 67 kWh’lık gibi ciddi bir fark bulunmaktadır.

Şekil 5.9’da, elde edilen en iyi Pareto optimal çözümdeki her bir şarj cihazlı durakta tüm operasyon süresi boyunca tedarik edilen kümülatif enerji miktarları verilmektedir. Bu çözümde, Duraklar 7, 13 ve 14’e şarj cihazları yerleştirilmiş olup, en yüksek enerji miktarı yaklaşık olarak 1100 kWh ile Durak 7’den tedarik edilmiştir. Bunun sebebi, Durak 7, 10 rotanın altısının güzergahında (Rotalar 1, 3, 4, 5, 9 ve 10) bulunmakta iken, Duraklar 13 ve 14 ise toplam dört rotanın güzergahında bulunmaktadır. Dolayısıyla, Durak 7’den enerji tedarik etmeye çalışan otobüslerin sayısı, Duraklar 13 ve 14’ten tedarik etmeye çalışanlara göre daha fazladır.

Tablo 5.6 Ağıdaki her bir otobüsün detaylı enerjisi durumu

Rota No	Rota Uzunluğu (km)	Otobüs No	Sefer Sayısı	Tedarik Edilen Enerji (kWh)	Tüketilen Enerji (kWh)	Kalan Enerji (kWh)
1	13,3	1	19	262,05	303,16	228,89
		2	19	272,31	303,16	239,15
		3	19	271,86	303,16	238,70
2	12,42	1	18	155,68	268,20	157,47
3	5,29	1	30	94,01	190,52	173,50
4	10,87	1	10	73,91	130,39	213,52
		2	10	60,98	130,39	200,58
		3	10	71,91	130,39	211,52
5	12,29	1	18	154,41	265,39	159,02
		2	18	174,28	265,39	178,89
		3	18	164,53	265,39	169,13
6	15,65	1	11	0	206,61	63,39
		2	11	0	206,61	63,39
		3	11	0	206,61	63,39
7	15,34	1	16	95,65	294,51	71,14
		2	15	83,19	276,10	77,08
		3	15	90,88	276,10	84,77
8	15,59	1	15	139,23	280,56	128,66
		2	15	142,94	280,56	132,38
		3	15	205,71	280,56	195,15
		4	14	162,83	261,86	170,97
9	7,07	1	29	131,05	245,96	155,09
		2	28	130,52	237,48	163,04
10	13,47	1	18	115,01	290,98	94,03



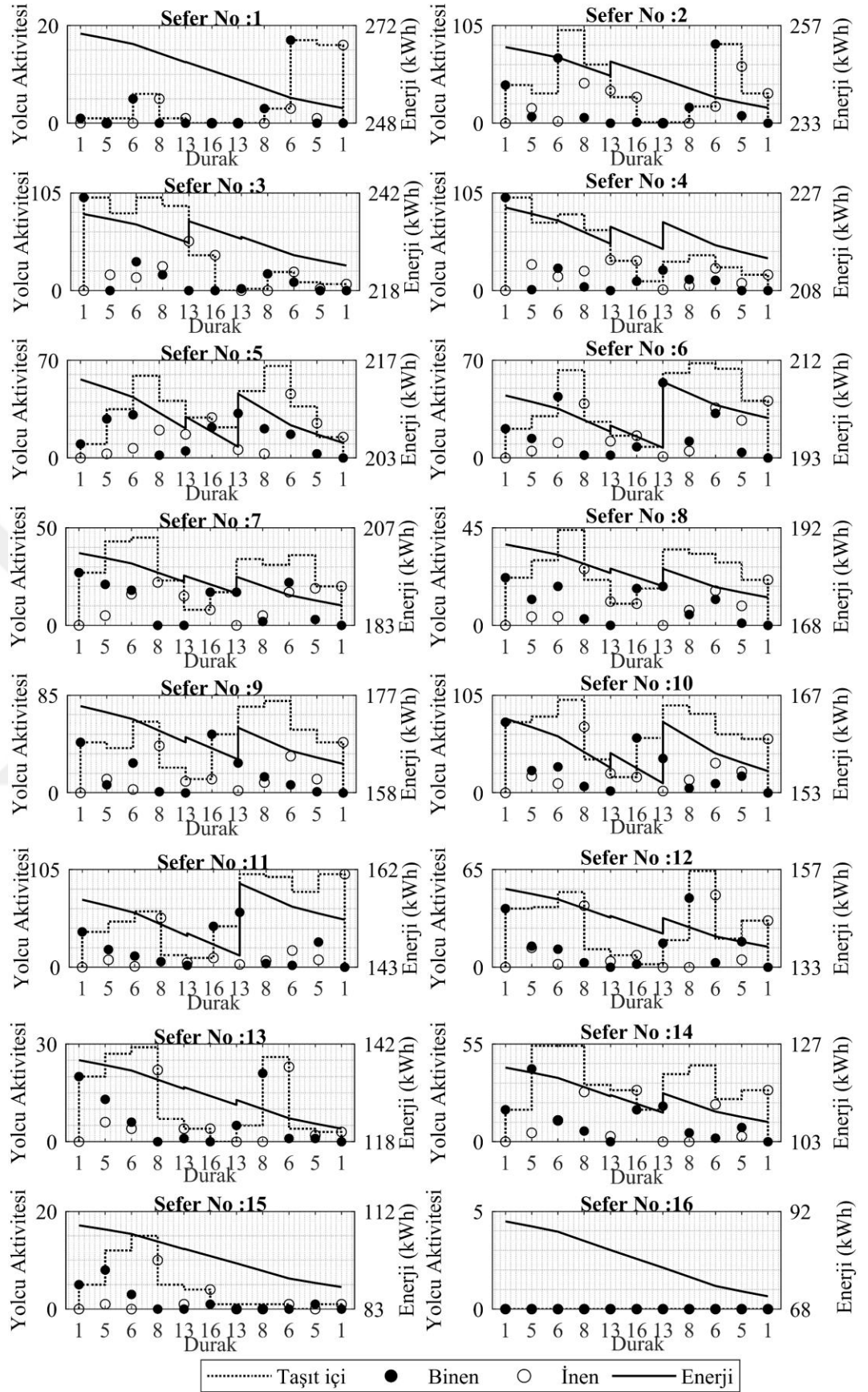
Şekil 5.9 Her bir şarj cihazlı duraktan tedarik edilen kümülatif enerji miktarı

Şekil 5.10'da, Rota 7'ye hizmet veren 1 numaralı otobüsün tüm operasyon süresi boyunca, yolculuk aktivitesi karşısındaki detaylı enerji durumu görülmektedir. Rota 7'de sadece bir şarj cihazlı durak (Durak 13) bulunmakta olup, dolayısıyla bu rotadaki otobüsler sefer başına iki kez (her yönde bir kez) şarj olabilme imkanına sahiptir. Şekilden de görülebileceği gibi, otobüs şarj cihazlı durağa vardığında, duraktaki yolculuk aktivitesi ne kadar yüksekse, tedarik edilen enerji miktarı da o kadar yüksektir. Özellikle, binen yolcu sayılarının yüksek olduğu şarj cihazlı duraklarda, enerji tedariki oldukça yüksektir (örneğin, Sefer 6 ve 11'in dönüş yönündeki 13 numaralı durakta). Bunun sebebi, binen yolcu başına geçen sürenin, inen yolcu başına geçen süreden daha fazla olmasıdır. Bununla birlikte, otobüsün son seferi boyunca şarj cihazlı durağında inen/binen yolcu olmadığından dolayı, hiç enerji tedarik edememiştir.

5.3 Elektriksel Parametreler ile İlgili Hassasiyet Analizi

Elektrik tasarım parametrelerinin işletme maliyetine etkisini daha iyi anlayabilmek adına, bir hassasiyet analizi yürütülmüştür. Bu amaçla, ŞAKP, en iyi Pareto optimal çözüm için farklı enerji tüketim oranları, batarya kapasiteleri ve şarj güçleri ile yeniden çözülmüştür.

Otobüslerin enerji tüketim oranı birkaç faktöre bağlı olarak değişmektedir. Rotanın topoğrafyası muhtemelen önemli bir etkiye sahiptir. Eğimli güzergahlar, düz güzergahlara göre daha yüksek enerji tüketim oranına sebep olmaktadır. Otobüsün seyahat hızı bir başka faktördür, öyle ki otobüslerin yüksek hızlarda seyretmesi enerji tüketim oranını artırmaktadır. Otobüslerin sıkışık trafik koşullarındaki sık dur-kalk hareketi de enerji tüketim oranını artıran bir faktördür. Ayrıca, daha ağır otobüsler daha fazla enerji tüketiceği için, yolcu yükü de enerji tüketim oranı üzerindeki faktörlerden biridir. Son olarak, hava koşulları ve dolayısıyla otobüs içerisindeki ısıtma/soğutma/iklimlendirme sistemlerinin çalışması da enerji tüketimi üzerinde etkilidir. Örneğin, yaz ve kış ayları boyunca bu sistemlerin sürekli kullanımı otobüslerin enerji tüketiminde ciddi bir artışa sebep olmaktadır. Sonuç olarak, bu faktörlerin enerji tüketim oranı üzerindeki etkisini hesaba katmak ve elektrik altyapısını tasarlarken enerji tüketim oranı için doğru bir değer belirlemek önemlidir. Bu sebepten dolayı, enerji tüketim oranı için üç farklı seviye ele alınmaktadır: düşük tüketim (1.0 kWh/km), orta tüketim (1.2 kWh/km), yüksek tüketim (1.5 kWh/km).



Şekil 5.10 Rota 7'ye hizmet veren 1 numaralı otobüsün seferleri boyunca yolculuk aktivitesi ve enerji durumu

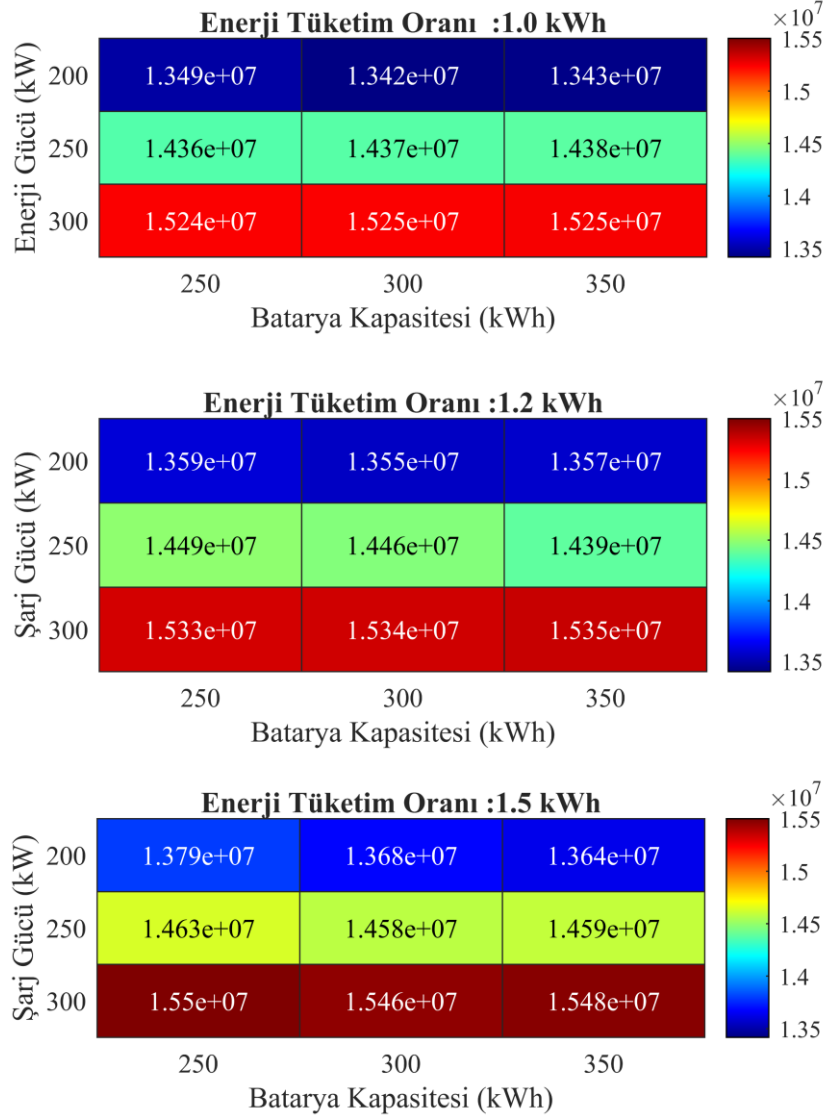
Batarya kapasitesi elektrikli otobüslerin sürüş mesafesini belirleyen en önemli faktördür. Bu, yüksek batarya kapasiteli otobüslerin daha uzun sürüş mesafesine, daha az şarj ihtiyacına ve dolayısıyla daha az şarj cihazlı durak ihtiyacına sebep olmaktadır. Diğer taraftan, düşük batarya kapasiteleri ise kısıtlı sürüş mesafesine sahip olduğundan dolayı daha sık şarj edilmeye ihtiyaç duymaktadır ve daha fazla şarj cihazlı durağa dolayısıyla yüksek şarj altyapı maliyetlerine sebep olmaktadır. Ayrıca, Denklem 1’de formüle edildiği gibi, batarya kapasitesi otobüslerin satın alma maliyetleri üzerinde son derece etkilidir. Özetle, batarya kapasitesi şarj altyapı tasarımı üzerinde ve işletme maliyeti üzerinde belirleyici olan önemli parametrelerden biridir. Bu sebepten dolayı, hassasiyet analizi için batarya kapasitesi için de üç farklı seviye düşünülmüştür: düşük kapasite (250 kWh), orta kapasite (300 kWh) ve yüksek kapasite (350 kWh).

Son olarak, yüksek şarj gücü, otobüslerin kısa sürelerde daha fazla enerji tedarik etmesine imkân tanımaktadır. Dolayısıyla, teorik olarak otobüslerin sürüş mesafesi üzerinde belirleyici bir etmendir. Böylece, şarj gücü için de üç farklı seviye düşünülmüştür: düşük şarj gücü (200 kW), orta şarj gücü (250 kW) ve yüksek şarj gücü (300 kW).

Şekil 5.11’de, 27 farklı senaryo analizinin sonuçları, her bir enerji tüketim oranı için ısı haritaları üzerinde gösterilmektedir. Her bir senaryonun sonucu oluşan işletme maliyeti gri renk barı ile temsil edilmektedir. Böyle bir gösterim, enerji tüketim oranı, batarya kapasitesi ve şarj gücü arasındaki karmaşık ilişkiyi daha iyi çözebilmeye imkân tanımaktadır. Eldeki senaryolardan biri, enerji tüketim oranınının 1.2 kWh/km, batarya kapasitesininin 300 kWh ve şarj gücününün 250 kW olduğu ve bu değerler karşısında 14.462.236 €’luk işletme maliyetine ihtiyaç duyan en iyi Pareto optimal çözümde kullanılan değerlerdir. Bu senaryo, diğerleri ile karşılaştırma yapabilmek için referans senaryo olarak da düşünülebilir.

Tüm senaryolar incelendiğinde, en iyi ve en kötü senaryolar için işletme maliyeti açısından yaklaşık olarak 2.000.000 €’luk bir fark ortaya çıkmaktadır. Beklendiği gibi, enerji tüketim oranı azaldıkça ve batarya kapasitesi ile şarj gücü arttıkça, işletme maliyeti azalmaktadır. Daha spesifik bir analiz için, referans senaryodaki aynı enerji tüketim oranı korunarak (1.2 kWh/km) ve batarya kapasitesi ve şarj gücü için farklı değerler kullanılarak daha düşük işletme maliyetleri elde etmek mümkündür. Örneğin, batarya kapasitesi ve şarj gücü için,

350 kWh ve 250 kW, 250 kWh ve 200 kW, 300 kWh ve 200 kW, 350 kWh ve 200 kW kombinasyonlarından herhangi biri kullanılsaydı işletme maliyetinde kayda değer bir azalma sağlanabilirdi. Bu, elektriksel parametreler için doğru değerler seçmenin önemini vurgulamaktadır.



Şekil 5.11 Elektrik parametreleri için hassasiyet analizi sonuçları

5.4 Statik ve Dinamik Ağlar Üzerindeki Çıktıların Karşılaştırılması

Bölüm ikide de bahsedildiği gibi, bu tez çalışması ile toplu taşıma ağının dinamik faktörleri (dinamik talep ve dinamik arz) hesaba katılarak, E-TATFAP için mevcut literatüre önemli bir katkı sağlanmaktadır. Bu amaçla, bu tez çalışmasında her bir otobüsün her bir seferinin durakları boyunca enerji durumunu

ve yolculuk aktivitesini analiz etmeye imkân tanıyan çizelge tabanlı toplu taşıma atama modeli benimsenmiştir.

Tez çalışmasının bu yenilikçi yönünün önemini gösterebilmek için, en iyi Pareto optimal çözümdeki dinamik ağ üzerinde elde edilen çıktılar, statik arz ve talebin varsayıldığı ağ üzerinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmaktadır. Statik ağda, yine en iyi Pareto optimal çözümdeki rotalar kullanılırken, operasyon süresi boyunca her bir link için sabit bir seyahat süresi, her bir rota için tek bir frekans değeri ve her bir başlangıç ve varış çifti için üniform talep varsayılmaktadır.

Statik ağ senaryosunda her bir link için Şekil 5.3'teki [13:45-14:00) zaman aralığındaki seyahat süreleri kullanılmıştır. Bu zaman aralığındaki link seyahat sürelerinin kullanılmasının sebebi, operasyon süresi boyunca en yüksek ve en düşük otobüs hızlarının 35 km/sa ve 15 km/sa olduğu düşünüldüğünde, ortalama otobüs hızı olan 25 km/sa hızın bu zaman diliminde gerçekleşmiş olmasıdır. Operasyon süresi boyunca her bir rotaya atanan tek bir frekans değeri ise, en iyi Pareto optimal çözümde ilgili rota için zamana bağlı frekans değerlerinin ortalamasıdır.

Statik ve dinamik ağlar üzerinde elde edilen performans çıktıları Tablo 5.7'de verilmekte olup, tablodan da görülebileceği gibi, toplu taşıma ağının dinamik yönlerinin hesaba katılması işletme ve toplam kullanıcı maliyetlerinde yaklaşık olarak sırasıyla, %30 ve %55'lik artışlara sebep olmaktadır. Dinamik ağlarda yolcuların büyük bir bölümünün zirve saatlerde başladığı ve dolayısıyla duraklardaki uzun kuyruklardan dolayı daha yüksek toplam kullanıcı maliyetine sebep olmasından dolayı, bu sonuç oldukça mantıklıdır. Dahası, işletme veya karar verici, zirve saatlerdeki yüksek yolcu talebini karşılayabilmesi için daha büyük bir filoya ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla, dinamik ağların statik ağlar karşısında filo yatırım maliyetinde ve işletme maliyetinde artışa sebep olması beklendik bir durumdur. Sonuç olarak, elektrikli toplu taşıma ağları dinamik yönlerin de hesaba katıldığı daha gerçekçi toplu taşıma atama modelleri ile değerlendirildiğinde, maliyetlerde, şarj altyapısı ve toplu taşıma ağ karar değişkenlerinde önemli farklılıklar meydana geldiği açıktır. Bu sebepten dolayı, elektrikli toplu taşıma ağları değerlendirilirken yatırım bütçe planlamalarında hata yapılmaması için toplu taşıma ağlarının dinamik yönleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 5.7 Dinamik ve statik ağılar üzerindeki performans çıktıları

	Dinamik Ağ	Statik Ağ
Frekanslar	$f^1 = \{3,1,1,1,2,2,3,3,4,1\}$	$f^i = \{3,1,2,2,3,2,3,3,1\}, \forall i \in I^f$
	$f^2 = \{6,1,5,1,3,3,2,4,1,1\}$	
	$f^3 = \{3,1,1,1,1,3,3,4,4,1\}$	
	$f^4 = \{4,1,1,4,4,1,3,4,5,1\}$	
	$f^5 = \{1,1,1,1,4,1,2,2,2,1\}$	
Link Seyahat Süreleri	Şekil 5.3'teki gibi	Şekil 5.3'teki [13:45-14:00)
Z_1	1.850.918 dk.	1.427.038 dk.
Z_2	14.462.236 €	9.287.378 €
Şarj Cihazlı Duraklar	{7,13,14}	{3,5,8,14}
ATT	25,58 dk.	19,91 dk.
d_0	% 59,35	% 61,58
d_1	% 39,09	% 37,78
d_{2+}	% 1,56	% 0,64
C_c	302.236 €	437.378 €
FS	24	15

6 SONUÇLAR

Günümüze kadar, tümüyle elektrikli otobüsler ile işletilen Elektrikli Toplu Taşıma Ağ Tasarımı ve Frekans Ayarlama Problemi (E-TATFAP) için sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak, bu çalışmaların hepsinde, elektrik altyapısı rotalar açısından enerji kısıtlarını düşünerek tasarlanmaktadır. Gerçek ölçekli toplu taşıma ağlarında ise, toplu taşıma ağlarının dinamik arz ve talebi sebebiyle, aynı rotaya hizmet veren otobüsler bile tüm operasyon süresi boyunca farklı enerji miktarlarını tedarik etmekte ve tüketmektedirler. Bu sebepten dolayı, bu tez çalışmasında, rotaları, zamana bağlı frekansları ve bir kablosuz şarj cihazı ile donatılacak durakları hem işletme hem de toplam kullanıcı maliyetinin eş zamanlı olarak en küçüklenmesi doğrultusunda belirlemeyi amaçlayan bir optimizasyon modeli önerilmektedir. Geliştirilen optimizasyon modelinde toplu taşıma ağının dinamik arz ve talep yönleri düşünülerek her bir otobüsün enerji durumu tek başına değerlendirilmektedir. Geliştirilen optimizasyon modeli, Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Baskılanmamış Genetik Algoritma-III'ün seçim operatörünün hibritlenmesi ile oluşturulan Çok Amaçlı Diferansiyel Gelişim Algoritması'na dayalıdır.

ÇADGA'nın parametre değerleri için bir kalibrasyon süreci yürütülmüş olup, optimizasyon koşulları $F = 0,5$ ve $CR = 0,2$ kombinasyonu ile yürütüldüğünde daha iyi Pareto cepheleri elde edildiği sonucuna varılmıştır. Elde edilen en iyi Pareto cephesinin jenerasyonlar boyunca gelişimi ve jenerasyonlar boyunca hipervolumü incelendiğinde, deneme yanılma yaklaşımı ile belirlenen popülasyon sayısının, 50, ve maksimum jenerasyon sayısının, 100, yeterli olduğu sonucuna varılmaktadır. En iyi Pareto cephesine ait Pareto verimliliği ile iki amaç fonksiyonunun birbiriyle çelişen yapıda olduğu doğrulanmaktadır.

En iyi Pareto cephesinden seçilen bir çözüm en iyi Pareto optimal çözüm olarak kapsamlı bir analize tabi tutulmaktadır. Bu çözüm çıktılarında, ağdaki tüm elektrikli otobüslerin enerji kısıtlarını yerine getirdiği açıkça gösterilmektedir. Daha önemlisi, en iyi Pareto optimal çözüme ait detaylar incelendiğinde, bu tez çalışmasının ana hipotezi olan, dinamik arz ve talebin aynı rotaya hizmet veren otobüsler arasında bile enerji durumlarında ciddi farklılıklar meydana getirebileceği ortaya konulmaktadır.

En iyi Pareto optimal çözümün elektriksel parametreler üzerinde yürütülen hassasiyet analizi ile, bu parametrelerin işletme maliyeti üzerinde son derece etkili

olduğu ortaya konulduğunda, doğru ve uygun değerler seçmenin önemi vurgulanmaktadır.

Ayrıca, dinamik arz ve talebi hesaba katan çizelge tabanlı toplu taşıma ataması ile değerlendirilmiş olan en iyi Pareto optimal çözümün hem toplam kullanıcı hem de işletme maliyeti açısından, statik arz ve talepli toplu taşıma ağından elde edilen maliyetlere göre oldukça yüksek olduğu görölmektedir. Bu analiz ile, elektrikli otobüsler ile işletilen toplu taşıma ağlarının statik faktörler dikkate alınarak tasarlanması durumunda, karar vericiler veya plancıların potansiyel yatırım maliyeti hesaplama hatalarına düşebileceği ortaya konulmaktadır.

Tez çalışmasında geliştirilen optimizasyon modeli hem işletmenin hem de kullanıcıların maliyetlerini hesaba katarak tamamıyla elektrikli otobüslerden oluşan toplu taşıma ağlarının tasarımı için bir karar destek sistemi olarak kullanılabilir. Böylece, plancılar veya karar vericiler için bir kılavuz görevi görmesi ve elektrikli otobüslerin benimsenme hızını artırarak toplu taşıma türleri arasındaki payının artması beklenmektedir. Sonuç olarak, elektrikli otobüsler dizel otobüslerin yerine geçerek kentlerdeki hava ve gürültü kirliliğini ciddi oranda düşürebilecektir. Ayrıca, gelişmekte olan ve kısıtlı kaynaklara sahip ölkemiz için sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin ulaşımda kullanılması teşvik edilerek, akaryakıtta dışa bağlılık terk edilebilecek ve ciddi miktarda parasal kaynak tasarrufu sağlanabilecektir.

Şarj cihazlarının kurulacağı durakları belirlerken, pratik bir çözüm yolu olarak yolcu iniş/binişlerinin en fazla olduğu duraklar akla gelen ilk çözüm yolu olabilir. Ancak, şarj cihazlı durakların bu şekilde basit bir yaklaşımla belirlenmesi, bu duraklardan geçmeyen rotalara hizmet veren otobüslerin enerji durumlarının göz ardı edilmesi anlamına gelmektedir. Böylece, bu tez çalışması kapsamında ŞAKP için ağdaki tüm otobüsleri ve durakları eş zamanlı olarak ele alan kapsamlı bir program geliştirilmiş ve böylece ŞAKP için karar vericilere gelişmiş bir karar destek sistemi sunulmuştur. Ayrıca, rotaları ve zamana bağlı değişen frekansları verilmiş her bir farklı ađ için ŞAKP'nin çözümünün farklı sonuçlar ortaya çıkarması beklendi bir durumdur. Dolayısıyla, ŞAKP için daha verimli çözümlerin elde edilmesi TATFAP'nin çözümüne de bağlı olup, tez çalışması kapsamında ŞAKP ve TATFAP beraber ele alınarak karar vericiler için kapsamlı bir model sunulmuştur.

Bu tez çalışması gelecekteki çalışmalar için birkaç yönü ile genişletilebilir. İlk olarak, geliştirilen optimizasyon modelinin algoritmik verimliliğini doğrulayabilmek için diğer çok amaçlı metasezgisel algoritmalar ile karşılaştırılmaya ihtiyaç duyulabilir. Bu tür bir karşılaştırmalı analiz sayesinde, geliştirilen optimizasyon modelinin performansının daha kapsamlı şekilde anlaşılmasına imkân tanınacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında, filonun tamamıyla elektrikli otobüslerden oluştuğu varsayılmıştır. Bununla birlikte, gerçek hayatta dizel otobüslerden oluşan bir filonun tamamını tek seferde elektrikli otobüslere dönüştürmek ekonomik olarak oldukça zordur. Bu sebepten dolayı, gelecek çalışmalar için filoların belirli bir yüzdesinin/kısımının elektrikli otobüslerden oluştuğu varsayılarak problemin çözülmesi ve bu elektrikli otobüslerin çalışacağı hatların ya da seferlerin de belirlenmesi daha gerçekçi bir çözüm yaklaşımı olacaktır.

Bir diğer araştırma önerisi, önerilen enerji tüketim modelinin hava koşulları, rota güzergahının topolojisi, yolcu yükü ve trafik koşulları gibi faktörler de hesaba katılarak geliştirilmesidir. Bu faktörler de enerji tüketim modeline dahil edilerek, daha gerçekçi enerji tüketim tahminlerinde bulunması sağlanacaktır.

Bu tez çalışmasında kullanılan toplu taşıma atama modeli gerçekçi ve kapsamlı bir yaklaşımı benimsemiş olmasına rağmen, metasezgisel algoritma ile üretilen çözümlerin sayısı düşünüldüğünde, önerilen optimizasyon modelinin kabul edilebilir hesaplama sürelerini aştığı açıktır. Bundan dolayı, gelecek çalışmalarda bir toplu taşıma atama süreci için gerekli hesaplama süresini azaltmak, problem için daha ileri analizlerin önünü açacaktır.

Son olarak, geliştirilen optimizasyon modelinin becerisi ile ilgili daha ileri bir değerlendirme yapabilmek için, gelecek çalışmalarda daha büyük ölçekli toplu taşıma ağları kullanılabilir. Böylece araştırmacılar, önerilen optimizasyon modelinin gerçek boyutlu ağlar üzerindeki potansiyel performansını daha derinlemesine anlayabilirler.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- André, M. and Hammarström, U.**, 2000, Driving speeds in Europe for pollutant emissions estimation, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(5): 321–335 pp.
- Arbex, R.O. and da Cunha, C.B.**, 2015, Efficient transit network design and frequencies setting multi-objective optimization by alternating objective genetic algorithm, *Transportation Research Part B: Methodological*, 81: 355–376 pp.
- Auger, A., Bader, J., Brockhoff, D. and Zitzler, E.**, 2009, Theory of the hypervolume indicator: Optimal μ -distributions and the choice of the reference point, Proceedings of the 10th ACM SIGEVO Workshop on Foundations of Genetic Algorithms, USA (Florida), 87–102 pp.
- Ayaz, M., Panwar, A. and Pant, M.**, 2020, A Brief Review on Multi-objective Differential Evolution, Proceedings of SoCTA 2018, India (Punjab), 1027-1040 pp.
- Ben-Ayed, O., Boyce, D.E. and Blair, C.E.**, 1988, A general bilevel linear programming formulation of the network design problem, *Transportation Research Part B*, 22(4): 311–318 pp.
- Bi, Z., Keoleian, G.A. and Ersal, T.**, 2018, Wireless charger deployment for an electric bus network: A multi-objective life cycle optimization. *Applied Energy*, 225(May), 1090–1101 pp.
- Bloomberg New Finance L.P.** 2023. "Electric Vehicle Outlook 2023", <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.
- Brakewood, C. and Watkins, K.**, 2019, A literature review of the passenger benefits of real-time transit information, *Transport Reviews*, 39(3): 327–356 pp.
- Buba, A.T. and Lee, L.S.**, 2018, A differential evolution for simultaneous transit network design and frequency setting problem, *Expert Systems with Applications*, 106: 277–289 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Capali, B. and Ceylan, H.**, 2020, A multi-objective meta-heuristic approach for the transit network design and frequency setting problem. *Transportation Planning and Technology*, 43(8): 851–867 pp.
- Cascetta, E.**, 2009, *Transportation System Analysis: Model and Applications*, Second Edition, Springer, New York, 742 pp.
- Ceder, A.**, 2007, *Public Transit Planning and Operation: Theory, Modelling and Practice*, First Edition, Elsevier, Oxford, 645 pp.
- de Cea, J. and Fernandez, E.**, 1993, Transit assignment for congested public transport systems, *Transportation Science*, 27(2): 133–147 pp.
- Deb, K. and Jain, H.**, 2014, An evolutionary many-objective optimization algorithm using reference-point-based nondominated sorting approach, Part I: Solving problems with box constraints, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 18(4): 577–601 pp.
- Dijkstra, E.W.**, 1959, A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1: 269–271 pp.
- Dueker, K., Kimpel, T., Strathman, J. and Callas, S.**, 2004, Determinants of Bus Dwell Time, *Journal of Public Transportation*, 7(1): 21–40 pp.
- Durán-Micco, J. and Vansteenwegen, P.**, 2022, A survey on the transit network design and frequency setting problem, *Public Transport*, 14: 155-190 pp.
- Farahani, R.Z., Miandoabchi, E., Szeto, W.Y. and Rashidi, H.**, 2013, A review of urban transportation network design problems, *European Journal of Operational Research*, 229(2): 281–302 pp.
- Fusco, G., Alessandrini, A., Colombaroni, C. and Valentini, M.P.**, 2013, A Model for Transit Design with Choice of Electric Charging System, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 87: 234–249 pp.
- Gao, Z., LaClair, T.J., Daw, C.S., Smith, D.E. and Franzese, O.**, 2014, Simulations of the Fuel Economy and Emissions of Hybrid Transit Buses over Planned Local Routes, *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, 7(1): 216–237 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gao, Z., Lin, Z., LaClair, T.J., Liu, C., Li, J.M., Birky, A.K. and Ward, J.,** 2017, Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service, *Energy*, 122: 588–600 pp.
- Göhlich, D., Fay, T.A., Jefferies, D., Lauth, E., Kunith, A. and Zhang, X.,** 2018, Design of urban electric bus systems, *Design Science*, 4: 1–28 pp.
- Guihaire, V. and Hao, J.K.,** 2008, Transit network design and scheduling: A global review, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(10): 1251–1273 pp.
- Ibarra-Rojas, O.J., Delgado, F., Giesen, R., & Muñoz, J.C.,** 2015, Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review, *Transportation Research Part B: Methodological*, 77: 38–75 pp.
- Iliopoulou, C. and Kepaptsoglou, K.,** 2019, Integrated transit route network design and infrastructure planning for on-line electric vehicles, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 77: 178–197 pp.
- Iliopoulou, C. and Kepaptsoglou, K.,** 2021, Robust electric transit route network design problem (RE-TRNDP) with delay considerations: Model and application, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 129: 103255 pp.
- Iliopoulou, C., Tassopoulos, I., Kepaptsoglou, K. and Beligiannis, G.,** 2019, Electric Transit Route Network Design Problem: Model and Application, *Transportation Research Record*, 2673(8): 264–274 pp.
- International Energy Agency.** 2022. "World Energy Outlook 2022", <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.
- Jang, Y.J., Jeong, S. and Lee, M.S.,** 2016, Initial energy logistics cost analysis for stationary, quasi-dynamic, & dynamic wireless charging public transportation systems, *Energies*, 9(7): 483 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jha, S.B., Jha, J.K. and Tiwari, M.K.**, 2019, A multi-objective meta-heuristic approach for transit network design and frequency setting problem in a bus transit system, *Computers and Industrial Engineering*, 130: 166–186 pp.
- Jiang, Y. and Szeto, W.Y.**, 2016, Reliability-based stochastic transit assignment: Formulations and capacity paradox, *Transportation Research Part B: Methodological*, 93: 181–206 pp.
- Konur, D.**, 2021, Self-charging transit network design using multiple dynamic wireless charging technologies, *Energy Systems*, (in press).
- Kunith, A., Mendelevitch, R., Kuschmierz, A. and Goehlich, D.**, 2016, Optimization of fast charging infrastructure for electric bus transportation - Electrification of a city bus network, *EVS 2016 - 29th International Electric Vehicle Symposium*, Canada (Montreal), 438–449 pp.
- Lajunen, A.**, 2018, Lifecycle costs and charging requirements of electric buses with different charging methods, *Journal of Cleaner Production*, 172: 56–67 pp.
- Lin, Y., Zhang, K., Shen, Z.J.M., Ye, B. and Miao, L.**, 2019, Multistage large-scale charging station planning for electric buses considering transportation network and power grid, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 107: 423–443 pp.
- Liu, Y., Feng, X., Ding, C., Hua, W. and Ruan, Z.**, 2020, Electric Transit Network Design by an Improved Artificial Fish-Swarm Algorithm, *Journal of Transportation Engineering Part A: Systems*, 146(8): 1–10 pp.
- Liu, Y., Feng, X., Yang, Y., Ruan, Z., Zhang, L. and Li, K.**, 2022, Solving urban electric transit network problem by integrating Pareto artificial fish swarm algorithm and genetic algorithm, *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 26(3): 253–268 pp.
- Liu, Y., Feng, X., Zhang, L., Hua, W. and Li, K.**, 2020, A pareto artificial fish swarm algorithm for solving a multi-objective electric transit network design, *Transportmetrica A: Transport Science*, 16(3): 1648–1670 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Liu, Z., Song, Z. and He, Y.**, 2018, Planning of Fast-Charging Stations for a Battery Electric Bus System under Energy Consumption Uncertainty, *Transportation Research Record*, 2672(8): 96–107 pp.
- Lotfi, M., Pereira, P., Paterakis, N.G., Gabbar, H.A. and Catalao, J.P.S.**, 2020, Optimal Design of Electric Bus Transport Systems with Minimal Total Ownership Cost, *IEEE Access*, 8: 119184–119199 pp.
- Magnanti, T.L. and Wong, R.T.**, 1984, Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms, *Transportation Science*, 18(1): 1-55 pp.
- Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M. and Kanaroglou, P.**, 2016, Electric buses: A review of alternative powertrains, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62: 673–684 pp.
- Manzoli, J.A., Trovão, J.P. and Antunes, C.H.**, 2022, A review of electric bus vehicles research topics – Methods and trends, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159: 112211.
- Miettinen, K.**, 2008, Introduction to Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches, 1-26 pp, Multiobjective Optimization, Branke, J., Deb, K., Miettinen, K. and Slowinski, R., Springer, Berlin, 470 pp.
- Mohamed, A.A.S., Wood, E. and Meintz, A.**, 2021, In-route inductive versus stationary conductive charging for shared automated electric vehicles: A university shuttle service, *Applied Energy*, 282: 116132.
- Mohamed, M., Farag, H., El-Taweel, N. and Ferguson, M.**, 2017, Simulation of electric buses on a full transit network: Operational feasibility and grid impact analysis, *Electric Power Systems Research*, 142: 163–175 pp.
- Mouhrim, N., El Hilali Alaoui, A. and Boukachour, J.**, 2019, Pareto efficient allocation of an in-motion wireless charging infrastructure for electric vehicles in a multipath network, *International Journal of Sustainable Transportation*, 13(6): 419–432 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mpousdra, A., Iliopoulou, C., Kepaptsoglou, K., Vlahogianni, E. and Tyrinopoulos, Y.**, 2018, Rapid transit network design for on-line electric vehicles, *Advances in Transportation Studies*, 46: 19–30 pp.
- Nahum, O. E. and Hadas, Y.**, 2020, Multi-objective optimal allocation of wireless bus charging stations considering costs and the environmental impact, *Sustainability (Switzerland)*, 12(6): 2318.
- Nikolić, M. and Teodorović, D.**, 2014, A simultaneous transit network design and frequency setting: Computing with bees, *Expert Systems with Applications*, 41(16): 7200–7209 pp.
- Noel, L. and McCormack, R.**, 2014, A cost benefit analysis of a V2G-capable electric school bus compared to a traditional diesel school bus, *Applied Energy*, 126: 246–255 pp.
- Nuzzolo, A.**, 2002, Transit Path Choice and Assignment Model Approaches, 93–124 pp, *Advanced Modeling for Transit Operations and Service Planning*, Lam, W.H.K and Bell, M.G.H., Emerald Group Publishing, Bingley, 345 pp.
- Nuzzolo, A., Crisalli, U. and Rosati, L.**, 2012, A schedule-based assignment model with explicit capacity constraints for congested transit networks, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 20(1): 16–33 pp.
- Ortúzar, J. de D. and Willumsen, L.G.**, 2011, *Modelling Transport*, 4th Edition, John Wiley and Sons, Chichester, 608 pp.
- Pelletier, S., Jabali, O., Mendoza, J.E. and Laporte, G.**, 2019, The electric bus fleet transition problem, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 109: 174–193 pp.
- Pylarinou, C., Iliopoulou, C. and Kepaptsoglou, K.**, 2021, Transit route network redesign under Electrification: Model and application, *International Journal of Transportation Science and Technology*, 10(4), 366–379 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Storn, R. and Price, K.**, 1997, Differential Evolution - A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces, *Journal of Global Optimization*, 11(4): 341–359 pp.
- Sustainable Bus Editorial Board.** 2022. "Electric bus range, focus on electricity consumption: A sum-up", <https://www.sustainable-bus.com/news/electric-bus-range-focus-on-electricity-consumption-a-sum-up/> (Erişim tarihi: 20 July 2022)
- Tong, P., Yan, Y., Wang, D. and Qu, X.**, 2021, Optimal route design of electric transit networks considering travel reliability, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 36(10): 1229–1248 pp.
- Tzeng, G.H., Lin, C.W. and Opricovic, S.**, 2005, Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation, *Energy Policy*, 33(11): 1373–1383 pp.
- Wang, X., Yuen, C., Hassan, N.U., An, N. and Wu, W.**, 2017, Electric Vehicle Charging Station Placement for Urban Public Bus Systems, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(1): 128–139 pp.
- Xylia, M., Leduc, S., Patrizio, P., Kraxner, F. and Silveira, S.**, 2017, Locating charging infrastructure for electric buses in Stockholm, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78: 183–200.
- Yang, X.S.**, 2010, Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications, John Wiley and Sons, New Jersey, 347 pp,
- Yao, E., Liu, T., Lu, T. and Yang, Y.**, 2020, Optimization of electric vehicle scheduling with multiple vehicle types in public transport, *Sustainable Cities and Society*, 52: 101862.
- Yen, J.Y.**, 1971, Finding the K Shortest Loopless Paths in a Network, *Management Science*, 17(11), 712–716 pp.
- Zhang, W., Zhao, H. and Song, Z.**, 2021, Integrating transit route network design and fast charging station planning for battery electric buses, *IEEE Access*, 9: 51604–51617 pp.



TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimin boyunca akademik bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım saygıdeğer hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Yalçın ALVER'e teşekkür ediyorum.

Bugüne dek emeğini ve bilgisini benden asla eksik etmemiş olan değerli hocam, ağabeyim, arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Metin MUTLU'ya, düşünceleri ve tavsiyeleri ile daima yol göstermeye çalışan saygıdeğer hocam, ablam Prof. Dr. Nermin ŐARLAK'a, tez süreci boyunca her zaman destek olmuş olan sevgili ekip arkadaşlarım Araş. Gör. Dr. Pelin ÖNELÇİN, Araş. Gör. Dr. Mervegül UYSAL ve İnş. Yük. Müh. Elia ODABAŐI'na çok teşekkür ederim.

Doğduğum andan itibaren gayretlerini ve desteklerini asla esirgememiş olan canım annem Hatice AKSOY ve canım babam Seyfi AKSOY'a teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca, bu zorlu süreçten geçmiş olan ve büyük bir anlayış göstererek tez çalışmamın tamamlanabilmesi için elinden geleni yapan sevgili eşim Araş. Gör. Dr. Begüm Terzi AKSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, tez çalışmam sırasında dünyaya gelmiş olan ve çalışmalarımın tamamlanabilmesi için kendisiyle paylaşacağım zamandan çaldığım için sevgili oğlum İlber Dora AKSOY'dan özür diliyorum.

01/12/2023

İlyas Cihan AKSOY



ÖZGEÇMİŞ

İlyas Cihan AKSOY, 2010 yılında lisans eğitimine başladığı Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimini, 2019 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda tamamladı ve hemen ardından doktora eğitimine başladı. Aynı zamanda, 2017 yılından beri Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Ana Bilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.



EKLER

Ek No

Başlık

1.....Detaylı talep verisi





q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q				
1	1	3	360	126	15	7	364	251	11	6	370	376	11	16	375	501	9	6	380	626	9	10	385	751	9	5	390	876	15	4	392
2	2	12	360	127	15	16	364	252	11	4	370	377	11	10	375	502	11	10	380	627	9	4	385	752	9	6	390	877	15	13	392
3	6	10	360	128	1	4	365	253	11	3	370	378	11	14	375	503	11	7	380	628	11	7	385	753	9	16	390	878	15	13	392
4	6	5	360	129	1	2	365	254	12	5	370	379	12	13	375	504	10	10	380	629	11	4	385	754	9	13	390	879	15	14	392
5	6	9	360	130	2	16	365	255	12	6	370	380	12	13	375	505	11	8	380	630	11	15	385	755	9	7	390	880	15	14	392
6	6	10	360	131	3	7	365	256	12	8	370	381	12	16	375	506	11	10	380	631	12	13	385	756	9	11	390	881	15	14	392
7	6	1	360	132	3	2	365	257	12	5	370	382	12	5	375	507	11	10	380	632	12	7	385	757	9	5	390	882	1	12	393
8	6	8	360	133	6	1	365	258	15	10	370	383	15	14	375	508	12	4	380	633	12	5	385	758	9	1	390	883	1	14	393
9	6	7	360	134	6	3	365	259	15	5	370	384	15	16	375	509	15	5	380	634	12	14	385	759	11	12	390	884	2	10	393
10	6	4	360	135	8	2	365	260	1	5	371	385	15	4	375	510	15	10	380	635	12	10	385	760	11	1	390	885	2	12	393
11	8	13	360	136	9	11	365	261	1	6	371	386	15	5	375	511	15	3	380	636	15	12	385	761	11	13	390	886	2	7	393
12	8	11	360	137	9	12	365	262	1	14	371	387	1	15	376	512	15	11	380	637	15	11	385	762	11	3	390	887	3	1	393
13	9	16	360	138	11	6	365	263	6	1	371	388	2	11	376	513	1	13	381	638	15	14	385	763	12	4	390	888	3	11	393
14	9	11	360	139	11	12	365	264	6	4	371	389	6	13	376	514	2	5	381	639	15	16	385	764	12	15	390	889	3	1	393
15	11	13	360	140	11	3	365	265	6	4	371	390	6	7	376	515	2	13	381	640	15	5	385	765	12	5	390	890	6	7	393
16	11	6	360	141	11	13	365	266	6	4	371	391	6	16	376	516	2	11	381	641	6	16	386	766	12	16	390	891	6	5	393
17	11	15	360	142	12	6	365	267	8	7	371	392	6	8	376	517	3	15	381	642	2	14	386	767	12	4	390	892	6	5	393
18	11	1	360	143	12	11	365	268	8	14	371	393	6	11	376	518	6	8	381	643	3	9	386	768	12	13	390	893	6	2	393
19	11	14	360	144	12	2	365	269	8	4	371	394	8	5	376	519	6	16	381	644	3	15	386	769	15	13	390	894	6	1	393
20	11	7	360	145	12	16	365	270	8	16	371	395	8	11	376	520	6	7	381	645	3	1	386	770	15	16	390	895	6	16	393
21	12	5	360	146	12	15	365	271	8	4	371	396	9	11	376	521	6	4	381	646	6	11	386	771	15	13	390	896	6	5	393
22	12	4	360	147	12	16	365	272	8	9	371	397	9	10	376	522	8	12	381	647	6	4	386	772	15	7	390	897	6	4	393
23	12	9	360	148	12	16	365	273	8	4	371	398	9	10	376	523	8	10	381	648	6	4	386	773	15	14	390	898	8	15	393
24	12	16	360	149	15	4	365	274	9	1	371	399	9	14	376	524	9	8	381	649	6	14	386	774	15	1	390	899	8	16	393
25	12	7	360	150	15	1	365	275	9	5	371	400	11	3	376	525	9	6	381	650	6	4	386	775	15	16	390	900	8	1	393
26	15	12	360	151	1	14	366	276	15	15	371	401	11	1	376	526	6	6	381	651	8	9	386	776	1	11	391	901	8	10	393
27	15	2	360	152	1	16	366	277	11	15	371	402	8	13	376	527	8	1	381	652	8	1	386	777	2	1	391	902	8	1	393
28	15	11	360	153	2	5	366	278	11	14	371	403	15	3	376	528	11	4	381	653	8	16	386	778	2	4	391	903	8	1	393
29	15	2	360	154	2	5	366	279	12	1	371	404	15	7	376	529	12	7	381	654	8	5	386	779	2	8	391	904	8	13	393
30	2	3	361	155	2	9	366	280	15	9	371	405	15	7	376	530	12	1	381	655	8	9	386	780	6	10	391	905	9	5	393
31	2	14	361	156	2	9	366	281	15	1	371	406	15	9	376	531	12	14	381	656	8	12	386	781	6	15	391	906	9	8	393
32	2	7	361	157	3	16	366	282	15	16	371	407	15	14	376	532	2	4	382	657	9	7	386	782	6	15	391	907	9	4	393
33	3	4	361	158	6	12	366	283	15	9	371	408	1	10	377	533	3	4	382	658	9	14	386	783	6	14	391	908	9	4	393
34	3	4	361	159	6	12	366	284	1	13	372	409	2	11	377	534	6	14	382	659	9	6	386	784	6	16	391	909	9	1	393
35	3	10	361	160	6	9	366	285	1	5	372	410	6	16	377	535	6	10	382	660	9	13	386	785	6	2	391	910	9	4	393
36	3	6	361	161	6	11	366	286	1	8	372	411	6	14	377	536	6	12	382	661	9	13	386	786	6	1	391	911	9	16	393
37	6	3	361	162	6	14	366	287	2	6	372	412	6	4	377	537	6	12	382	662	11	9	386	787	6	13	391	912	9	7	393
38	6	13	361	163	8	10	366	288	3	13	372	413	6	4	377	538	6	13	382	663	12	6	386	788	6	12	391	913	9	1	393
39	6	7	361	164	8	2	366	289	3	9	372	414	8	12	377	539	8	14	382	664	12	6	386	789	10	10	391	914	9	2	393
40	6	11	361	165	8	7	366	290	6	2	372	415	8	7	377	540	8	2	382	665	15	13	386	790	6	13	391	915	11	14	393
41	6	4	361	166	8	4	366	291	8	6	372	416	8	1	377	541	8	12	382	666	15	13	386	791	6	10	391	916	11	4	393
42	6	1	361	167	8	13	366	292	8	9	372	417	9	13	377	542	8	13	382	667	15	4	386	792	6	14	391	917	11	3	393
43	8	2	361	168	8	6	366	293	8	6	372	418	9	15	377	543	8	4	382	668	1	15	387	793	6	5	391	918	11	12	393
44	8	11	361	169	8	6	366	294	8	13	372	419	9	10	377	544	8	16	382	669	1	14	387	794	8	13	391	919	11	7	393
45	8	10	361	170	9	14	366	295	8	10	372	420	9	4	377	545	9	5	382	670	2	9	387	795	8	2	391	920	11	3	393
46	9	7	361	171	9	13	366	296	8	13	372	421	9	2	377	546	9	14	382	671	3	1	387	796	8	5	391	921	12	4	393
47	9	5	361	172	9	16	366	297	8	4	372	422	9	7	377	547	9	16	382	672	3	13	387	797	8	13	391	922	12	1	393
48	11	8	361	173	11	4	366	298	8	11	372	423	9	14	377	548	9	2	382	673	6	5	387	798	8	6	391	923	12	7	393
49	11	10	361	174	12	13	366	299	8	5	372	424	11	13	377	549	9	16	382	674	6	5	387	799	8	13	391	924	12	4	393
50	12	7	361	175	12	5	366	300	8	16	372	425	11	8	377	550	9	7	382	675	6	10	387	800	8	10	391	925	12	15	393
51	15	10	361	176	12	7	366	301	9	4	372	426	12	2	377	551	11	10	382	676	8	7	387	801	8	6	391	926	15	5	393
52	15	16	361	177	12	4	366	302	9	13	372	427	12	5	377																

q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq
1001	11	1	395	1126	8	6	398	1251	15	13	400	1376	9	5	403	1501	9	2	406	1626	1	15	409	1751	15	4	411	1876	9	1	414				
1002	11	14	395	1127	8	15	398	1252	15	4	400	1377	9	1	403	1502	9	16	406	1627	2	6	409	1752	15	4	411	1877	9	14	414				
1003	11	13	395	1128	8	16	398	1253	15	400	1378	9	13	403	1503	9	16	406	1628	3	7	409	1753	15	3	411	1878	9	8	414					
1004	11	7	395	1129	8	16	398	1254	15	401	1379	9	11	403	1504	11	4	406	1629	4	8	409	1754	15	14	411	1879	9	15	414					
1005	11	7	395	1130	9	4	398	1255	2	7	401	1380	9	13	403	1505	11	7	406	1630	6	4	409	1755	15	11	411	1880	9	14	414				
1006	11	10	395	1131	9	5	398	1256	3	9	401	1381	11	13	403	1506	11	2	406	1631	6	13	409	1756	15	3	411	1881	9	13	414				
1007	12	10	395	1132	9	5	398	1257	3	16	401	1382	11	9	403	1507	11	12	406	1632	8	14	409	1757	1	5	412	1882	9	13	414				
1008	12	6	395	1133	9	13	398	1258	3	16	401	1383	11	6	403	1508	11	2	406	1633	8	16	409	1758	1	14	412	1883	9	4	414				
1009	12	9	395	1134	9	13	398	1259	3	13	401	1384	11	15	403	1509	12	1	406	1634	8	2	409	1759	2	14	412	1884	9	5	414				
1010	12	14	395	1135	9	3	398	1260	6	2	401	1385	11	10	403	1510	12	13	406	1635	8	13	409	1760	2	13	412	1885	9	4	414				
1011	12	7	395	1136	9	10	398	1261	6	13	401	1386	11	5	403	1511	12	13	406	1636	8	13	409	1761	3	10	412	1886	9	1	414				
1012	12	7	395	1137	9	4	398	1262	6	14	401	1387	11	4	403	1512	12	2	406	1637	8	2	409	1762	3	4	412	1887	9	16	414				
1013	15	9	395	1138	11	5	398	1263	6	11	401	1388	12	13	403	1513	12	5	406	1638	8	4	409	1763	3	5	412	1888	11	6	414				
1014	15	13	395	1139	11	5	398	1264	6	16	401	1389	12	7	403	1514	12	13	406	1639	9	13	409	1764	6	4	412	1889	11	4	414				
1015	15	10	395	1140	11	1	398	1265	6	12	401	1390	12	14	403	1515	12	15	406	1640	9	8	409	1765	6	4	412	1890	11	13	414				
1016	15	14	395	1141	11	6	398	1266	6	13	401	1391	12	13	403	1516	12	4	406	1641	9	5	409	1766	6	10	412	1891	11	5	414				
1017	15	13	395	1142	11	5	398	1267	6	7	401	1392	12	11	403	1517	12	13	406	1642	9	16	409	1767	6	15	412	1892	11	13	414				
1018	15	5	395	1143	11	1	398	1268	8	14	401	1393	12	4	403	1518	12	14	406	1643	9	6	409	1768	6	15	412	1893	11	6	414				
1019	15	13	395	1144	12	8	398	1269	8	5	401	1394	15	4	403	1519	12	14	406	1644	9	7	409	1769	6	13	412	1894	11	8	414				
1020	15	5	395	1145	12	8	398	1270	8	5	401	1395	15	10	403	1520	12	4	406	1645	9	3	409	1770	6	10	412	1895	11	14	414				
1021	2	12	396	1146	12	16	398	1271	8	14	401	1396	15	4	403	1521	12	6	406	1646	9	4	409	1771	6	10	412	1896	11	15	414				
1022	2	4	396	1147	12	7	398	1272	8	14	401	1397	1	9	404	1522	15	7	406	1647	9	16	409	1772	8	16	412	1897	11	13	414				
1023	2	9	396	1148	12	13	398	1273	8	16	401	1398	1	4	404	1523	15	9	406	1648	9	4	409	1773	8	5	412	1898	12	5	414				
1024	2	1	396	1149	15	13	398	1274	9	4	401	1399	2	14	404	1524	15	4	406	1649	9	10	409	1774	8	4	412	1899	12	6	414				
1025	2	13	396	1150	15	12	398	1275	9	5	401	1400	2	13	404	1525	15	16	406	1650	9	15	409	1775	8	13	412	1900	12	11	414				
1026	2	13	396	1151	15	9	398	1276	9	12	401	1401	2	16	404	1526	15	5	406	1651	9	5	409	1776	8	14	412	1901	12	13	414				
1027	3	3	396	1152	15	14	398	1277	9	16	401	1402	3	12	404	1527	15	409	1652	10	16	409	1777	9	16	412	1902	12	15	414					
1028	3	5	396	1153	15	3	398	1278	9	14	401	1403	3	8	404	1528	2	13	407	1653	11	10	409	1778	9	4	412	1903	15	7	414				
1029	3	14	396	1154	15	12	398	1279	9	6	401	1404	6	10	404	1529	2	3	407	1654	11	4	409	1779	9	14	412	1904	15	13	414				
1030	3	16	396	1155	1	14	399	1280	11	7	401	1405	6	15	404	1530	2	3	407	1655	11	15	409	1780	9	6	412	1905	15	8	414				
1031	3	15	396	1156	2	6	399	1281	11	9	401	1406	6	5	404	1531	2	14	407	1656	11	5	409	1781	9	12	412	1906	15	2	414				
1032	3	10	396	1157	2	14	399	1282	11	3	401	1407	6	1	404	1532	3	13	407	1657	12	13	409	1782	9	8	412	1907	15	13	414				
1033	6	5	396	1158	2	6	399	1283	11	13	401	1408	8	3	404	1533	3	15	407	1658	12	8	409	1783	9	12	412	1908	15	14	414				
1034	6	13	396	1159	2	6	399	1284	11	4	401	1409	8	9	404	1534	3	6	407	1659	12	4	409	1784	9	6	412	1909	15	4	414				
1035	6	11	396	1160	2	12	399	1285	11	16	401	1410	8	2	404	1535	3	4	407	1660	12	7	409	1785	11	15	412	1910	1	5	415				
1036	6	4	396	1161	3	14	399	1286	12	16	401	1411	8	14	404	1536	6	13	407	1661	12	16	409	1786	11	5	412	1911	1	14	415				
1037	8	7	396	1162	3	2	399	1287	12	4	401	1412	9	5	404	1537	6	4	407	1662	12	15	409	1787	11	15	412	1912	1	5	415				
1038	8	10	396	1163	3	10	399	1288	12	11	401	1413	8	401	1538	6	15	407	1663	12	7	409	1788	11	10	412	1913	2	13	415					
1039	8	4	396	1164	3	2	399	1289	12	8	401	1414	9	2	404	1539	6	13	407	1664	12	14	409	1789	11	6	412	1914	2	12	415				
1040	8	3	396	1165	6	13	399	1290	12	9	401	1415	9	4	404	1540	6	13	407	1665	12	6	409	1790	11	5	412	1915	6	3	415				
1041	8	7	396	1166	6	12	399	1291	12	5	401	1416	9	14	404	1541	6	8	407	1666	15	13	409	1791	12	16	412	1916	6	13	415				
1042	8	10	396	1167	6	9	399	1292	12	6	401	1417	9	4	404	1542	8	16	407	1667	15	2	409	1792	12	3	412	1917	6	13	415				
1043	8	7	396	1168	8	2	399	1293	12	7	401	1418	9	4	404	1543	8	7	407	1668	15	10	409	1793	12	5	412	1918	6	4	415				
1044	9	5	396	1169	8	5	399	1294	12	9	401	1419	9	13	404	1544	8	1	407	1669	15	1	409	1794	12	11	412	1919	8	12	415				
1045	9	5	396	1170	8	4	399	1295	15	10	401	1420	9	12	404	1545	8	5	407	1670	15	3	409	1795	12	14	412	1920	8	4	415				
1046	9	4	396	1171	8	6	399	1296	15	5	401	1421	11	4	404	1546	8	5	407	1671	15	3	409	1796	12	13	412	1921	8	11	415				
1047	9	13	396	1172	8	16	399	1297	15	4	401	1422	11	14	404	1547	8	1	407	1672	1	2	410	1797	12	15	412	1922	9	15	415				
1048	9	12	396	1173	8	4	399	1298	15	401	1423	11	15	404	1548	8	1	407	1673	2	5	410	1798	15	14	412	1923	9	6	415					
1049	9	4	396	1174	8	9	399	1299	15	4	401	1424	11	4	404	1549	8	5	407	1674	2	1	410	1799	15	14	412	1924	9	15	415				
1050	9	13	396	1175	8	15	399	1300	15	13	401																								

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q
2001	6	16	417	2126	3	7	420	2251	12	2	421	2376	3	4	423	2501	11	14	424	2626	3	16	426	2751	12	3	427	2876	8	5	429	2876	8	5	429				
2002	6	16	417	2127	3	7	420	2252	12	14	421	2377	6	14	423	2502	11	15	424	2627	3	15	426	2752	12	6	427	2877	8	11	429	2877	8	11	429				
2003	6	13	417	2128	3	5	420	2253	15	1	421	2378	15	14	423	2503	11	4	424	2628	6	5	426	2753	12	14	427	2878	8	13	429	2878	8	13	429				
2004	6	7	417	2129	3	4	420	2254	15	16	421	2379	6	10	423	2504	12	5	424	2629	13	426	2754	12	5	427	2879	5	5	429	2879	5	5	429					
2005	6	16	417	2130	3	10	420	2255	15	13	421	2380	6	3	423	2505	12	7	424	2630	6	15	426	2755	12	13	427	2880	8	14	429	2880	8	14	429				
2006	6	13	417	2131	3	9	420	2256	15	3	421	2381	6	16	423	2506	12	5	424	2631	6	4	426	2756	12	5	427	2881	8	13	429	2881	8	13	429				
2007	8	1	417	2132	3	6	420	2257	15	1	421	2382	6	5	423	2507	12	4	424	2632	6	8	426	2757	15	5	427	2882	8	13	429	2882	8	13	429				
2008	8	13	417	2133	6	4	420	2258	15	6	421	2383	6	4	423	2508	12	13	424	2633	6	7	426	2758	15	10	427	2883	9	6	429	2883	9	6	429				
2009	8	15	417	2134	6	13	420	2259	15	1	421	2384	6	10	423	2509	12	4	424	2634	6	4	426	2759	15	10	427	2884	9	14	429	2884	9	14	429				
2010	8	7	417	2135	6	3	420	2260	15	8	421	2385	6	4	423	2510	12	14	424	2635	6	2	426	2760	15	4	427	2885	9	1	429	2885	9	1	429				
2011	8	2	417	2136	6	5	420	2261	15	7	421	2386	6	5	423	2511	15	16	424	2636	6	15	426	2761	15	5	427	2886	9	16	429	2886	9	16	429				
2012	8	6	417	2137	6	13	420	2262	1	2	422	2387	8	13	423	2512	15	11	424	2637	8	14	426	2762	15	3	427	2887	9	10	429	2887	9	10	429				
2013	8	5	417	2138	6	5	420	2263	1	11	422	2388	8	6	423	2513	15	1	424	2638	8	4	426	2763	15	12	427	2888	9	4	429	2888	9	4	429				
2014	9	10	417	2139	6	5	420	2264	2	4	422	2389	8	11	423	2514	15	14	424	2639	8	7	426	2764	15	16	427	2889	9	16	429	2889	9	16	429				
2015	9	5	417	2140	6	13	420	2265	2	5	422	2390	8	14	423	2515	1	2	425	2640	8	13	426	2765	15	4	427	2890	9	8	429	2890	9	8	429				
2016	9	6	417	2141	8	13	420	2266	2	6	422	2391	8	3	423	2516	1	4	425	2641	8	5	426	2766	15	2	427	2891	11	4	429	2891	11	4	429				
2017	9	14	417	2142	8	14	420	2267	2	16	422	2392	8	13	423	2517	1	15	425	2642	8	14	426	2767	15	4	427	2892	15	13	429	2892	15	13	429				
2018	9	13	417	2143	8	13	420	2268	2	3	422	2393	8	9	423	2518	1	4	425	2643	8	6	426	2768	1	3	428	2893	13	16	429	2893	13	16	429				
2019	11	4	417	2144	8	14	420	2269	2	12	422	2394	8	16	423	2519	1	11	425	2644	9	7	426	2769	1	6	428	2894	13	13	429	2894	13	13	429				
2020	11	8	417	2145	8	1	420	2270	2	7	422	2395	9	1	423	2520	1	7	425	2645	9	13	426	2770	1	13	428	2895	11	7	429	2895	11	7	429				
2021	11	4	417	2146	8	14	420	2271	2	4	422	2396	9	10	423	2521	1	8	425	2646	9	2	426	2771	1	7	428	2896	11	15	429	2896	11	15	429				
2022	11	7	417	2147	8	6	420	2272	2	16	422	2397	9	3	423	2522	2	4	425	2647	9	7	426	2772	1	14	428	2897	11	16	429	2897	11	16	429				
2023	11	14	417	2148	8	12	420	2273	2	6	422	2398	9	13	423	2523	2	5	425	2648	9	14	426	2773	1	16	428	2898	11	15	429	2898	11	15	429				
2024	11	13	417	2149	8	12	420	2274	2	14	422	2399	9	1	423	2524	2	5	425	2649	9	10	426	2774	1	5	428	2899	11	2	429	2899	11	2	429				
2025	12	4	417	2150	8	2	420	2275	2	6	422	2400	9	6	423	2525	2	16	425	2650	9	5	426	2775	2	8	428	2900	12	16	429	2900	12	16	429				
2026	12	9	417	2151	8	15	420	2276	2	15	422	2401	9	3	423	2526	2	7	426	2651	9	14	426	2776	2	4	428	2901	12	14	429	2901	12	14	429				
2027	12	9	417	2152	8	5	420	2277	2	10	422	2402	9	8	423	2527	2	15	425	2652	9	2	426	2777	2	14	428	2902	13	14	429	2902	13	14	429				
2028	12	7	417	2153	8	13	420	2278	2	4	422	2403	9	12	423	2528	2	13	425	2653	11	5	426	2778	2	4	428	2903	12	5	429	2903	12	5	429				
2029	12	13	417	2154	8	14	420	2279	2	3	422	2404	9	12	423	2529	2	13	425	2654	11	13	426	2779	2	10	428	2904	12	13	429	2904	12	13	429				
2030	12	13	417	2155	8	10	420	2280	3	12	422	2405	9	4	423	2530	2	1	425	2655	11	8	426	2780	2	8	428	2905	12	9	429	2905	12	9	429				
2031	12	16	417	2156	8	14	420	2281	3	15	422	2406	11	13	423	2531	2	5	425	2656	11	14	426	2781	2	14	428	2906	12	10	429	2906	12	10	429				
2032	12	14	417	2157	8	5	420	2282	3	1	422	2407	11	10	423	2532	2	16	425	2657	11	8	426	2782	2	16	428	2907	12	13	429	2907	12	13	429				
2033	15	4	417	2158	8	4	420	2283	3	5	422	2408	11	16	423	2533	2	10	425	2658	11	12	426	2783	2	14	428	2908	15	7	429	2908	15	7	429				
2034	15	7	417	2159	8	5	420	2284	3	1	422	2409	11	4	423	2534	3	12	425	2659	11	4	426	2784	2	8	428	2909	15	8	429	2909	15	8	429				
2035	15	7	417	2160	9	6	420	2285	3	16	422	2410	11	13	423	2535	3	4	425	2660	11	2	426	2785	2	14	428	2910	15	13	429	2910	15	13	429				
2036	15	5	417	2161	9	4	420	2286	3	13	422	2411	11	3	423	2536	3	4	425	2661	11	6	426	2786	3	5	428	2911	15	13	429	2911	15	13	429				
2037	15	14	417	2162	9	4	420	2287	3	14	422	2412	11	9	423	2537	3	13	425	2662	11	4	426	2787	3	13	428	2912	15	2	429	2912	15	2	429				
2038	1	13	418	2163	9	3	420	2288	3	4	423	2413	11	16	423	2538	3	4	425	2663	11	5	426	2788	1	1	428	2913	1	16	429	2913	1	16	429				
2039	1	16	418	2164	9	4	420	2289	6	1	422	2414	11	13	423	2539	3	16	425	2664	11	1	426	2789	3	1	428	2914	3	14	429	2914	3	14	429				
2040	2	7	418	2165	9	4	420	2290	6	2	422	2415	11	4	423	2540	6	16	425	2665	11	1	426	2790	3	8	428	2915	1	10	429	2915	1	10	429				
2041	3	6	418	2166	9	1	420	2291	6	11	422	2416	11	13	423	2541	6	13	425	2666	12	7	426	2791	3	8	428	2916	1	14	429	2916	1	14	429				
2042	3	9	418	2167	9	13	420	2292	6	14	422	2417	12	13	423	2542	6	16	425	2667	12	9	426	2792	6	16	428	2917	1	16	429	2917	1	16	429				
2043	6	3	418	2168	11	5	420	2293	6	16	422	2418	12	15	423	2543	6	14	425	2668	12	15	426	2793	6	12	428	2918	1	13	429	2918	1	13	429				
2044	6	13	418	2169	11	13	420	2294	6	13	422	2419																											

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q
4001	12	14	442	4126	2	7	444	4251	12	2	445	4376	3	9	447	4501	9	6	448	4626	2	4	450	4751	9	5	451	4876	2	15	453								
4002	12	6	442	4127	3	13	444	4252	12	13	445	4377	3	5	447	4502	9	15	448	4627	2	8	450	4752	9	10	451	4877	2	16	453								
4003	12	7	442	4128	3	16	444	4253	12	5	445	4378	3	14	447	4503	9	14	448	4628	2	10	450	4753	9	7	451	4878	2	19	453								
4004	12	3	442	4129	3	14	444	4254	15	4	445	4379	3	16	447	4504	9	11	448	4629	2	5	450	4754	9	9	451	4879	3	13	453								
4005	12	3	442	4130	3	13	444	4255	15	13	445	4380	3	14	447	4505	9	13	448	4630	2	16	450	4755	11	9	451	4880	2	13	453								
4006	12	3	442	4131	3	7	444	4256	15	16	445	4381	3	1	447	4506	11	10	448	4631	2	4	450	4756	11	16	451	4881	2	11	453								
4007	12	14	442	4132	3	1	444	4257	15	5	445	4382	3	11	447	4507	11	8	448	4632	2	5	450	4757	11	14	451	4882	2	4	453								
4008	12	14	442	4133	3	15	444	4258	15	5	445	4383	6	13	447	4508	11	4	448	4633	2	10	450	4758	11	16	451	4883	2	14	453								
4009	15	13	442	4134	3	14	444	4259	15	5	445	4384	6	1	447	4509	11	7	448	4634	2	13	450	4759	11	14	451	4884	2	9	453								
4010	15	6	442	4135	3	13	444	4260	15	9	445	4385	8	14	447	4510	11	14	448	4635	2	14	450	4760	12	16	451	4885	2	5	453								
4011	15	3	442	4136	6	13	444	4261	15	16	445	4386	8	7	447	4511	11	7	448	4636	2	14	450	4761	12	5	451	4886	3	4	453								
4012	15	2	442	4137	6	5	444	4262	15	6	445	4387	8	2	447	4512	11	14	448	4637	2	14	450	4762	12	11	451	4887	3	2	453								
4013	15	10	442	4138	6	9	444	4263	15	13	445	4388	8	16	447	4513	12	15	448	4638	2	14	450	4763	12	4	451	4888	3	5	453								
4014	15	13	442	4139	6	5	444	4264	15	9	445	4389	8	4	447	4514	12	13	448	4639	3	5	450	4764	12	3	451	4889	3	4	453								
4015	15	12	442	4140	6	4	444	4265	15	4	445	4390	8	9	447	4515	12	9	448	4640	3	16	450	4765	12	7	451	4890	3	4	453								
4016	15	4	442	4141	6	12	444	4266	1	3	446	4391	8	6	447	4516	12	5	448	4641	3	6	450	4766	12	4	451	4891	3	5	453								
4017	15	16	442	4142	8	3	444	4267	1	13	446	4392	8	3	447	4517	12	14	448	4642	3	12	450	4767	12	16	451	4892	3	16	453								
4018	15	3	442	4143	8	13	444	4268	1	4	446	4393	8	4	447	4518	12	3	448	4643	3	2	450	4768	15	4	451	4893	6	5	453								
4019	15	1	442	4144	8	13	444	4269	1	13	446	4394	8	6	447	4519	12	14	448	4644	3	10	450	4769	15	16	451	4894	6	2	453								
4020	15	12	442	4145	8	4	444	4270	1	14	446	4395	8	1	447	4520	12	5	448	4645	3	4	450	4770	15	3	451	4895	6	13	453								
4021	1	2	443	4146	8	11	444	4271	1	2	446	4396	8	1	447	4521	12	16	448	4646	3	4	450	4771	15	1	451	4896	6	5	453								
4022	1	12	443	4147	8	4	444	4272	1	15	446	4397	8	4	447	4522	12	14	448	4647	3	12	450	4772	15	14	451	4897	6	16	453								
4023	1	12	443	4148	8	7	444	4273	1	5	446	4398	9	14	447	4523	15	13	448	4648	3	4	450	4773	15	10	451	4898	6	4	453								
4024	1	7	443	4149	8	4	444	4274	1	13	446	4399	9	11	447	4524	15	7	448	4649	3	16	450	4774	15	13	451	4899	6	5	453								
4025	1	16	443	4150	8	4	444	4275	1	5	446	4400	9	4	447	4525	15	13	448	4650	3	13	450	4775	15	14	451	4900	8	12	453								
4026	1	14	443	4151	8	16	444	4276	1	8	446	4401	9	7	447	4526	15	5	448	4651	6	7	450	4776	1	14	451	4901	8	5	453								
4027	3	7	443	4152	8	13	444	4277	1	13	442	4402	9	16	447	4527	15	7	448	4652	6	12	450	4777	16	16	451	4902	14	16	453								
4028	1	16	443	4153	8	14	444	4278	2	6	446	4403	9	15	447	4528	15	14	448	4653	6	2	450	4778	1	4	452	4903	8	15	453								
4029	1	8	443	4154	8	4	444	4279	2	1	446	4404	9	3	447	4529	15	8	448	4654	6	11	450	4779	1	3	452	4904	8	9	453								
4030	1	2	443	4155	8	16	444	4280	2	9	446	4405	9	10	447	4530	15	4	448	4655	6	15	450	4780	1	14	452	4905	9	14	453								
4031	2	12	443	4156	9	10	444	4281	2	1	446	4406	9	10	447	4531	15	7	448	4656	8	13	450	4781	1	5	452	4906	9	16	453								
4032	2	5	443	4157	9	11	444	4282	2	11	446	4407	9	5	447	4532	1	15	449	4657	8	14	450	4782	1	5	452	4907	9	3	453								
4033	2	12	443	4158	9	12	444	4283	2	14	446	4408	9	13	447	4533	1	7	449	4658	8	14	450	4783	1	13	452	4908	9	4	453								
4034	2	4	443	4159	9	2	444	4284	2	3	446	4409	9	3	447	4534	1	11	449	4659	8	9	450	4784	1	13	452	4909	11	12	453								
4035	2	13	443	4160	9	13	444	4285	2	11	446	4410	9	13	447	4535	1	8	449	4660	8	11	450	4785	2	10	452	4910	11	13	453								
4036	2	4	443	4161	9	13	444	4286	3	14	446	4411	9	2	447	4536	1	14	449	4661	8	5	450	4786	2	13	452	4911	11	4	453								
4037	2	8	443	4162	9	7	444	4287	3	5	446	4412	11	13	447	4537	1	3	449	4662	8	10	450	4787	2	15	452	4912	11	16	453								
4038	2	14	443	4163	9	15	444	4288	3	7	446	4413	11	14	447	4538	2	11	449	4663	8	13	450	4788	2	1	452	4913	11	5	453								
4039	3	7	443	4164	13	14	444	4289	8	7	446	4414	11	12	447	4539	2	5	449	4664	9	10	450	4789	2	4	452	4914	11	14	453								
4040	3	14	443	4165	11	13	444	4290	6	14	446	4415	11	15	447	4540	2	8	449	4665	9	6	450	4790	2	5	452	4915	11	15	453								
4041	3	7	443	4166	11	6	444	4291	6	13	446	4416	11	7	447	4541	2	6	449	4666	9	5	450	4791	2	16	452	4916	11	5	453								
4042	3	6	443	4167	11	2	444	4292	6	13	446	4417	11	10	447	4542	2	13	449	4667	9	16	450	4792	2	10	452	4917	11	5	453								
4043	3	13	443	4168	11	16	444	4293	6	7	446	4418	11	13	447	4543	2	5	449	4668	9	7	450	4793	2	10	452	4918	12	15	453								
4044	3	6	443	4169	12	14	444	4294	6	10	446	4419	11	14	447	4544	3	1	449	4669	9	13	450	4794	2	13	452	4919	12	3	453								
4045	3	1	443	4170	12	11	444	4295	6	12	446	4420	11	7	447	4545	3	11	449	4670	11	13	450	4795	2	14	452	4920	12	5	453								
4046	6	3	443	4171	12	6	444	4296	6	12	446	4421	11	16	447	4546	3	12	449	4671	11	8	450	4796	2	6	452	4921	12	8	453								
4047	6	15	443	4172	12	4	444	4297	6	9	446	4422	11	7	447	4547	3	12	449	4672	11	16	450	4797	2	11	452	4922	12	4	453								
4048	6	11	443	4173	12	7	444	4298	6	5	446	4423	12	14	447	4548	3	15	449	4673	11	8	450	4798	2	3	452	4923	12	16	453								
4049	6	14	443	4174	12	11	444	4299	6	15	446	4424	12	3	447	4549	3	14	449	4674	11	16	450	4799	2														

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q
8001	11	9	454	5126	2	16	456	5251	1	16	458	5376	9	13	459	5501	3	1	461	5626	1	16	463	5751	11	7	464	5876	2	8	466				
8002	12	4	454	5127	2	6	456	5252	1	13	458	5377	9	13	459	5502	3	6	461	5627	1	14	463	5752	11	13	464	5877	2	15	466				
8003	12	14	454	5128	2	16	456	5253	1	13	458	5378	9	7	459	5503	3	4	461	5628	1	13	463	5753	11	14	464	5878	2	14	466				
8004	12	10	454	5129	2	13	456	5254	1	14	458	5379	9	5	459	5504	3	14	461	5629	1	7	463	5754	11	2	464	5879	3	1	466				
8005	12	6	454	5130	2	7	456	5255	1	12	458	5380	9	11	459	5505	3	15	461	5630	1	15	463	5755	11	16	464	5880	3	5	466				
8006	12	4	454	5131	3	14	456	5256	1	8	458	5381	11	15	459	5506	3	16	461	5631	2	5	463	5756	11	3	464	5881	3	6	466				
8007	12	6	454	5132	3	4	456	5257	1	16	458	5382	11	4	459	5507	6	14	461	5632	2	5	463	5757	11	7	464	5882	3	4	466				
8008	12	6	454	5133	3	4	456	5258	1	5	458	5383	11	1	459	5508	6	5	461	5633	2	14	463	5758	12	4	464	5883	3	5	466				
8009	12	4	454	5134	3	10	456	5259	2	7	458	5384	11	15	459	5509	6	16	461	5634	2	16	463	5759	12	5	464	5884	3	11	466				
8010	12	16	454	5135	3	6	456	5260	2	14	458	5385	11	3	459	5510	6	14	461	5635	2	14	463	5760	12	9	464	5885	3	15	466				
8011	12	6	454	5136	3	11	456	5261	2	10	458	5386	11	10	459	5511	6	14	461	5636	2	10	463	5761	12	1	464	5886	3	7	466				
8012	12	14	454	5137	3	2	456	5262	2	8	458	5387	12	7	459	5512	6	5	461	5637	2	15	463	5762	15	13	464	5887	3	2	466				
8013	12	1	454	5138	3	4	456	5263	2	12	458	5388	12	16	459	5513	6	13	461	5638	2	10	463	5763	15	12	464	5888	3	4	466				
8014	12	16	454	5139	3	15	456	5264	2	15	458	5389	12	1	459	5514	6	9	461	5639	2	4	463	5764	15	14	464	5889	3	13	466				
8015	12	10	454	5140	3	13	456	5265	2	5	458	5390	12	2	459	5515	6	8	461	5640	2	5	463	5765	15	3	464	5890	3	6	466				
8016	15	6	454	5141	6	8	456	5266	2	14	458	5391	15	16	459	5516	10	10	461	5641	2	11	463	5766	15	5	464	5891	3	1	466				
8017	15	7	454	5142	6	11	456	5267	2	4	458	5392	15	5	459	5517	8	15	461	5642	3	10	463	5767	15	10	464	5892	3	5	466				
8018	15	5	454	5143	6	4	456	5268	2	5	458	5393	15	8	459	5518	8	1	461	5643	3	4	463	5768	1	5	465	5893	6	3	466				
8019	15	4	454	5144	6	13	456	5269	3	4	458	5394	15	13	459	5519	8	7	461	5644	3	2	463	5769	1	2	465	5894	6	14	466				
8020	15	12	454	5145	6	7	456	5270	3	10	458	5395	1	9	460	5520	8	5	461	5645	3	7	463	5770	1	12	465	5895	6	8	466				
8021	15	7	455	5146	6	13	456	5271	3	7	458	5396	1	2	460	5521	8	11	461	5646	3	13	463	5771	1	14	465	5896	8	14	466				
8022	1	13	455	5147	8	15	456	5272	3	4	458	5397	1	7	460	5522	8	16	461	5647	3	8	463	5772	1	7	465	5897	8	15	466				
8023	1	5	455	5148	8	5	456	5273	3	13	458	5398	1	11	460	5523	8	16	461	5648	3	12	463	5773	1	5	465	5898	8	1	466				
8024	1	3	455	5149	8	11	456	5274	3	4	458	5399	1	12	460	5524	8	13	461	5649	3	14	463	5774	1	7	465	5899	8	10	466				
8025	1	5	455	5150	8	9	456	5275	3	14	458	5400	1	2	460	5525	8	4	461	5650	3	5	463	5775	1	15	465	5900	8	10	466				
8026	2	14	455	5151	8	4	456	5276	3	5	458	5401	1	5	460	5526	9	7	461	5651	3	16	463	5776	2	5	465	5901	8	4	466				
8027	2	15	455	5152	8	13	456	5277	3	16	458	5402	2	6	460	5527	9	6	461	5652	3	16	463	5777	2	6	465	5902	8	4	466				
8028	2	3	455	5153	8	4	456	5278	3	9	458	5403	1	14	460	5528	9	13	461	5653	6	8	463	5778	2	10	465	5903	9	14	466				
8029	2	3	455	5154	9	14	456	5279	3	15	458	5404	1	6	460	5529	9	5	461	5654	6	5	463	5779	2	14	465	5904	9	1	466				
8030	2	4	455	5155	9	14	456	5280	3	4	458	5405	2	7	460	5530	9	11	461	5655	6	11	463	5780	2	5	465	5905	9	10	466				
8031	2	8	455	5156	9	16	456	5281	3	1	458	5406	2	4	460	5531	9	5	461	5656	6	14	463	5781	2	3	465	5906	9	14	466				
8032	2	7	455	5157	9	13	456	5282	3	5	458	5407	2	7	460	5532	9	14	461	5657	6	9	463	5782	2	3	465	5907	9	11	466				
8033	2	1	455	5158	9	6	456	5283	6	13	458	5408	2	13	460	5533	11	12	461	5658	6	4	463	5783	2	1	465	5908	9	3	466				
8034	2	14	455	5159	9	14	456	5284	6	7	458	5409	2	12	460	5534	11	14	461	5659	6	16	463	5784	2	9	465	5909	9	7	466				
8035	2	9	455	5160	9	3	456	5285	6	8	458	5410	2	5	460	5535	11	1	461	5660	8	7	463	5785	2	13	465	5910	9	4	466				
8036	3	15	455	5161	9	4	456	5286	6	10	458	5411	2	7	460	5536	12	2	461	5661	8	4	463	5786	2	8	465	5911	9	11	466				
8037	3	12	455	5162	11	16	456	5287	6	9	458	5412	2	3	460	5537	12	14	461	5662	8	11	463	5787	2	7	465	5912	9	3	466				
8038	3	16	455	5163	11	6	456	5288	6	10	458	5413	2	13	460	5538	12	4	461	5663	8	4	463	5788	2	6	465	5913	9	6	466				
8039	3	16	455	5164	11	1	456	5289	6	16	458	5414	3	6	460	5539	12	13	461	5664	8	11	463	5789	2	11	465	5914	9	4	466				
8040	3	4	455	5165	11	7	456	5290	6	3	458	5415	3	4	460	5540	12	3	461	5665	8	14	463	5790	2	13	465	5915	9	15	466				
8041	3	6	455	5166	12	4	456	5291	6	5	458	5416	3	13	460	5541	12	3	461	5666	8	5	463	5791	2	7	465	5916	9	3	466				
8042	3	14	455	5167	12	3	456	5292	6	16	458	5417	3	13	460	5542	12	13	461	5667	8	16	463	5792	2	1	465	5917	9	2	466				
8043	3	14	455	5168	12	7	456	5293	8	15	458	5418	3	16	460	5543	15	3	461	5668	8	10	463	5793	2	9	465	5918	11	13	466				
8044	3	7	455	5169	12	13	456	5294	8	13	458	5419	3	11	460	5544	15	10	461	5669	8	13	463	5794	2	13	465	5919	11	3	466				
8045	3	8	455	5170	12	7	456	5295	8	15	458	5420	3	10	460	5545	15	10	461	5670	8	15	463	5795	2	13	465	5920	11	4	466				
8046	6	12	455	5171	12	14	456	5296	8	5	458	5421	3	13	460	5546	15	9	461	5671	9	7	463	5796	2	6	465	5921	11	13	466				
8047	6	9	455	5172	12	9	456	5297	8	1	458	5422																							

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q								
6001	6	13	467	6126	1	13	469	6251	6	7	470	6376	12	4	471	6501	3	11	473	6626	12	9	474	6751	2	3	476	6876	6	8	477
6002	8	16	467	6127	1	14	469	6252	8	14	470	6377	15	4	471	6502	3	13	473	6627	12	16	474	6752	2	7	476	6877	8	9	477
6003	8	16	467	6128	1	16	469	6253	8	3	470	6378	15	14	473	6503	3	11	473	6628	3	14	474	6753	2	14	476	6878	8	7	477
6004	8	5	467	6129	1	10	469	6254	8	3	470	6379	15	9	471	6504	3	4	473	6629	12	6	474	6754	2	8	476	6879	8	10	477
6005	8	12	467	6130	1	13	469	6255	8	4	470	6380	15	9	471	6505	3	16	473	6630	12	10	474	6755	2	8	476	6880	8	2	477
6006	8	11	467	6131	1	13	469	6256	8	4	470	6381	15	5	471	6506	3	5	473	6631	15	14	474	6756	2	7	476	6881	8	13	477
6007	8	9	467	6132	1	5	469	6257	8	9	470	6382	1	7	472	6507	3	7	473	6632	15	16	474	6757	2	9	476	6882	8	1	477
6008	8	13	467	6133	2	5	469	6258	8	7	470	6383	1	5	472	6508	3	7	473	6633	15	13	474	6758	2	11	476	6883	9	16	477
6009	9	6	467	6134	2	1	469	6259	8	14	470	6384	1	12	472	6509	3	8	473	6634	15	12	474	6759	2	6	476	6884	9	1	477
6010	9	11	467	6135	2	12	469	6260	9	13	470	6385	1	13	472	6510	3	2	473	6635	15	13	474	6760	2	6	476	6885	9	16	477
6011	9	7	467	6136	2	13	469	6261	9	14	470	6386	2	12	472	6511	3	15	473	6636	15	7	474	6761	2	13	476	6886	9	3	477
6012	9	6	467	6137	2	10	469	6262	9	5	470	6387	2	4	472	6512	3	9	473	6637	15	5	474	6762	2	16	476	6887	9	13	477
6013	9	16	467	6138	2	16	469	6263	9	2	470	6388	2	10	472	6513	3	10	473	6638	15	14	474	6763	2	5	476	6888	9	13	477
6014	9	8	467	6139	2	5	469	6264	9	16	470	6389	2	13	472	6514	3	14	473	6639	15	16	474	6764	2	7	476	6889	9	15	477
6015	9	16	467	6140	2	7	469	6265	9	3	470	6390	2	15	472	6515	6	16	473	6640	15	16	474	6765	3	1	476	6890	9	10	477
6016	9	14	467	6141	2	11	469	6266	9	13	470	6391	2	4	472	6516	6	16	473	6641	1	16	474	6766	3	4	476	6891	9	14	477
6017	11	12	467	6142	2	15	469	6267	9	4	470	6392	2	4	472	6517	6	13	473	6642	1	13	475	6767	3	5	476	6892	9	7	477
6018	11	13	467	6143	2	11	469	6268	9	16	470	6393	2	15	472	6518	6	1	473	6643	1	14	475	6768	3	16	476	6893	9	1	477
6019	11	7	467	6144	2	4	469	6269	9	14	470	6394	2	10	472	6519	8	3	473	6644	1	5	475	6769	3	6	476	6894	9	10	477
6020	11	10	467	6145	2	6	469	6270	9	5	470	6395	2	16	472	6520	8	6	473	6645	1	15	475	6770	3	13	476	6895	11	13	477
6021	11	4	467	6146	2	5	469	6271	9	4	470	6396	2	11	472	6521	8	3	473	6646	1	7	475	6771	6	4	476	6896	11	5	477
6022	12	3	467	6147	2	4	469	6272	9	8	470	6397	2	5	472	6522	8	1	473	6647	1	8	475	6772	6	5	476	6897	11	10	477
6023	12	16	467	6148	3	5	469	6273	9	10	470	6398	2	16	472	6523	8	5	473	6648	1	4	475	6773	6	4	476	6898	11	14	477
6024	12	6	467	6149	3	10	469	6274	9	7	470	6399	3	14	472	6524	8	6	473	6649	1	2	475	6774	6	5	476	6899	11	7	477
6025	12	13	467	6150	3	12	469	6275	11	4	470	6400	3	4	472	6525	8	12	473	6650	1	14	475	6775	6	13	476	6900	11	16	477
6026	12	5	467	6151	3	10	469	6276	11	13	470	6401	3	14	472	6526	8	2	474	6651	1	10	475	6776	6	6	476	6901	11	10	477
6027	13	4	467	6152	3	11	469	6277	11	13	470	6402	3	17	472	6527	12	13	473	6652	3	8	475	6777	13	13	476	6902	11	6	477
6028	12	5	467	6153	3	16	469	6278	11	5	470	6403	3	13	472	6528	9	14	473	6653	1	14	475	6778	6	9	476	6903	11	3	477
6029	12	13	467	6154	3	12	469	6279	11	3	470	6404	3	15	472	6529	9	13	473	6654	1	6	475	6779	6	4	476	6904	12	5	477
6030	12	4	467	6155	6	10	469	6280	11	4	470	6405	6	2	472	6530	9	8	473	6655	2	4	475	6780	6	1	476	6905	12	10	477
6031	12	10	467	6156	6	3	469	6281	11	4	470	6406	6	16	472	6531	9	14	473	6656	2	16	475	6781	8	13	476	6906	12	11	477
6032	12	8	467	6157	6	10	469	6282	11	16	470	6407	6	13	472	6532	9	1	473	6657	2	13	475	6782	8	7	476	6907	12	5	477
6033	15	12	467	6158	6	11	469	6283	12	14	470	6408	6	4	472	6533	9	5	473	6658	2	1	475	6783	8	5	476	6908	12	5	477
6034	15	7	467	6159	6	5	469	6284	12	8	470	6409	6	13	472	6534	9	3	473	6659	2	14	475	6784	8	10	476	6909	12	4	477
6035	15	12	467	6160	6	11	469	6285	12	6	470	6410	6	12	472	6535	9	13	473	6660	2	4	475	6785	8	5	476	6910	12	10	477
6036	15	6	467	6161	6	10	469	6286	12	6	470	6411	6	7	472	6536	9	5	473	6661	2	4	475	6786	8	5	476	6911	12	1	477
6037	1	5	468	6162	6	1	469	6287	12	14	470	6412	6	4	472	6537	11	14	473	6662	2	8	475	6787	8	4	476	6912	12	4	477
6038	1	3	468	6163	6	7	469	6288	12	7	470	6413	15	14	473	6538	11	6	473	6663	8	5	475	6788	8	4	476	6913	15	7	477
6039	1	9	468	6164	6	5	469	6289	12	11	470	6414	6	5	472	6539	11	5	473	6664	2	16	475	6789	8	13	476	6914	15	10	477
6040	1	13	468	6165	6	13	469	6290	12	1	470	6415	6	4	472	6540	11	3	473	6665	2	7	475	6790	8	9	476	6915	15	10	477
6041	1	4	468	6166	6	15	469	6291	12	7	470	6416	6	16	472	6541	11	14	473	6666	2	16	475	6791	8	12	476	6916	15	5	477
6042	1	7	468	6167	8	15	469	6292	12	10	470	6417	8	14	472	6542	11	13	473	6667	2	1	475	6792	9	4	476	6917	15	6	477
6043	1	7	468	6168	8	15	469	6293	12	4	470	6418	8	14	472	6543	11	14	473	6668	2	5	475	6793	9	1	476	6918	15	16	477
6044	1	2	468	6169	8	4	469	6294	15	3	470	6419	8	13	472	6544	11	10	473	6669	9	16	475	6794	9	16	476	6919	15	2	477
6045	1	12	468	6170	8	13	469	6295	15	7	470	6420	8	11	472	6545	11	16	473	6670	3	1	475	6795	9	10	476	6920	1	8	478
6046	1	13	468	6171	8	1	469	6296	15	7	470	6421	8	4	472	6546	11	15	473	6671	3	15	475	6796	9	13	476	6921	1	13	478
6047	1	2	468	6172	8	4	469	6297	15	14	470	6422	8	10	472	6547	12	16	473	6672	3	13	475	6797	9	2	476	6922	1	4	478
6048	2	13	468	6173	8	11	469	6298	15	13	470	6423	8	15	472	6548	12	4	473	6673	3	8	475	6798	9	6	476	6923	1	15	478
6049	2	5	468	6174	9	8	469	6299	15	16	470	6424	8	16	472	6549	12	13	473	6674	3	12	475	6799	9	16	476	6924	1	14	478
6050	2	10	468	6175	9	5	469	6300	15	3	470	6425	8	9	472	6550	12	8</													

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q
8001	2	7	495	8126	8	5	497	8251	11	4	499	8376	2	7	502	8501	1	4	504	8626	2	4	506	8751	8	13	508	8876	2	3	512
8002	2	5	495	8127	8	3	497	8252	11	6	499	8377	2	3	502	8502	1	6	504	8627	2	5	506	8752	8	6	508	8877	2	6	512
8003	2	5	495	8128	9	6	497	8253	11	16	499	8378	3	7	502	8503	3	19	504	8628	2	3	506	8753	8	10	508	8878	2	5	512
8004	3	4	495	8129	9	7	497	8254	12	7	502	8379	2	1	502	8504	1	12	504	8629	2	13	506	8754	9	14	508	8879	2	12	512
8005	3	13	495	8130	9	14	497	8255	12	14	499	8380	2	10	502	8505	2	16	504	8630	2	10	506	8755	9	16	508	8880	2	12	512
8006	3	15	495	8131	9	4	497	8256	12	4	499	8381	3	4	502	8506	2	4	504	8631	2	5	506	8756	9	14	508	8881	3	14	512
8007	3	5	495	8132	9	16	497	8257	12	4	499	8382	3	10	502	8507	2	8	504	8632	3	16	506	8757	11	8	508	8882	3	4	512
8008	3	6	495	8133	9	14	497	8258	12	13	499	8383	3	7	502	8508	2	4	504	8633	3	5	506	8758	11	5	508	8883	3	16	512
8009	3	4	495	8134	11	9	497	8259	15	5	499	8384	3	12	502	8509	2	1	504	8634	3	14	506	8759	11	14	508	8884	8	7	512
8010	3	7	495	8135	11	16	497	8260	15	13	499	8385	3	13	502	8510	2	16	504	8635	3	4	506	8760	11	5	508	8885	8	13	512
8011	3	9	495	8136	11	5	497	8261	15	4	499	8386	3	4	502	8511	2	14	504	8636	3	1	506	8761	11	10	508	8886	9	4	512
8012	3	16	495	8137	11	5	497	8262	15	6	499	8387	3	4	502	8512	2	13	504	8637	3	6	506	8762	11	5	508	8887	12	4	512
8013	6	14	495	8138	11	9	497	8263	1	7	500	8388	3	14	502	8513	2	13	504	8638	3	1	506	8763	12	10	508	8888	12	13	512
8014	6	7	495	8139	12	3	497	8264	1	7	500	8389	3	14	502	8514	2	14	504	8639	3	9	506	8764	15	10	508	8889	15	13	512
8015	6	10	495	8140	12	4	497	8265	1	4	500	8390	3	7	502	8515	2	4	504	8640	3	13	506	8765	15	8	508	8890	1	14	512
8016	6	15	495	8141	12	13	497	8266	1	2	500	8391	6	9	502	8516	3	13	504	8641	3	5	506	8766	15	16	508	8891	1	13	512
8017	8	14	495	8142	12	3	497	8267	1	13	500	8392	6	4	502	8517	3	2	504	8642	3	5	506	8767	15	6	508	8892	1	13	512
8018	8	10	495	8143	12	9	497	8268	1	10	500	8393	6	13	502	8518	3	10	504	8643	6	4	506	8768	15	5	508	8893	1	4	512
8019	8	5	495	8144	12	5	497	8269	1	5	500	8394	6	4	502	8519	3	5	504	8644	6	4	506	8769	15	13	508	8894	1	3	512
8020	8	11	495	8145	15	8	497	8270	1	7	500	8395	8	6	502	8520	3	4	504	8645	6	5	506	8770	1	8	509	8895	1	15	512
8021	8	16	495	8146	15	9	497	8271	1	7	500	8396	8	13	502	8521	3	16	504	8646	6	8	506	8771	1	16	509	8896	2	5	512
8022	8	10	495	8147	15	9	497	8272	1	16	500	8397	8	4	502	8522	3	12	504	8647	6	4	506	8772	1	13	509	8897	2	11	512
8023	8	4	495	8148	15	13	497	8273	1	2	500	8398	8	13	502	8523	3	4	504	8648	6	1	506	8773	1	13	509	8898	2	16	512
8024	8	14	495	8149	15	14	497	8274	2	15	500	8399	8	9	502	8524	3	13	504	8649	8	16	506	8774	1	15	509	8899	2	12	512
8025	9	7	495	8150	15	16	497	8275	2	4	500	8400	8	2	502	8525	6	14	504	8650	9	13	506	8775	1	14	509	8900	2	12	512
8026	9	16	495	8151	15	13	497	8276	2	8	500	8401	8	7	502	8526	6	10	504	8651	9	13	506	8776	1	3	509	8901	3	13	512
8027	9	5	495	8152	15	6	497	8277	2	8	500	8402	8	16	502	8527	6	10	504	8652	9	16	506	8777	1	15	509	8902	5	8	512
8028	9	10	495	8153	1	5	498	8278	2	5	500	8403	8	12	502	8528	6	13	504	8653	9	14	506	8778	1	11	509	8903	3	11	512
8029	11	16	495	8154	1	14	498	8279	2	14	500	8404	9	15	502	8529	8	14	504	8654	11	4	506	8779	2	3	509	8904	3	15	512
8030	11	10	495	8155	1	13	498	8280	3	4	500	8405	9	13	502	8530	8	4	504	8655	11	14	506	8780	2	4	509	8905	3	13	512
8031	11	12	495	8156	1	5	498	8281	3	13	500	8406	9	5	502	8531	8	9	504	8656	11	5	506	8781	2	5	509	8906	6	1	512
8032	11	15	495	8157	1	13	498	8282	3	4	500	8407	9	13	502	8532	8	5	504	8657	11	7	506	8782	2	7	509	8907	8	14	512
8033	12	9	495	8158	1	16	498	8283	3	2	500	8408	9	13	502	8533	8	13	504	8658	12	9	506	8783	2	15	509	8908	9	16	512
8034	12	1	495	8159	1	3	498	8284	3	13	500	8409	11	16	502	8534	9	4	504	8659	12	13	506	8784	2	1	509	8909	11	12	512
8035	12	6	495	8160	1	4	498	8285	3	8	500	8410	11	13	502	8535	9	10	504	8660	12	8	506	8785	2	14	509	8910	11	12	512
8036	12	16	495	8161	1	2	498	8286	6	13	500	8411	11	15	502	8536	9	14	504	8661	12	14	506	8786	2	8	509	8911	15	13	512
8037	12	4	495	8162	2	8	498	8287	6	5	500	8412	11	15	502	8537	9	13	504	8662	12	13	506	8787	2	14	509	8912	1	12	512
8038	15	10	495	8163	2	10	498	8288	6	11	500	8413	11	16	502	8538	11	7	504	8663	12	7	506	8788	2	1	509	8913	1	16	512
8039	15	10	495	8164	2	8	498	8289	6	7	500	8414	11	8	502	8539	11	8	504	8664	12	13	506	8789	1	15	509	8914	2	2	512
8040	15	5	495	8165	2	12	498	8290	6	1	500	8415	12	6	502	8540	11	4	504	8665	15	3	506	8790	3	5	509	8915	1	10	512
8041	15	3	495	8166	2	13	498	8291	8	16	500	8416	12	11	502	8541	12	10	504	8666	15	2	506	8791	3	16	509	8916	1	14	512
8042	15	14	495	8167	2	14	498	8292	8	5	500	8417	12	14	502	8542	12	10	504	8667	15	14	506	8792	3	13	509	8917	1	13	512
8043	15	7	495	8168	2	10	498	8293	8	5	500	8418	12	14	502	8543	12	8	504	8668	1	11	507	8793	3	16	509	8918	1	8	512
8044	1	12	496	8169	2	15	498	8294	8	13	500	8419	12	6	502	8544	12	6	504	8669	1	4	507	8794	3	4	509	8919	1	16	512
8045	1	3	496	8170	2	6	498	8295	9	15	500	8420	15	13	502	8545	15	16	504	8670	1	14	507	8795	3	8	509	8920	2	14	512
8046	1	10	496	8171	2	13	498	8296	9	14	500	8421	15	7	502	8546	15	10	504	8671	1	10	507	8796	3	6	509	8921	2	10	512
8047	1	4	496	8172	3	4	498	8297	9	13	500	8422	15	1	502	8547	15	13	504	8672	1	11	507	8797	3	6	509	8922	2	1	512
8048	1	8	496	8173	3	14	498	8298	9	14	500	8423	15	4	502	8548	1	14	505	8673	1	5	507	8798	3	2	509	8923	2	3	512
8049	1	7	496	8174	3	4	498	8299	9	7	500	8424	15	13	502	8549	1	8	505	8674	1	14	507	8799	6	12	509	8924	3	10	512
8050	1	3	496	8175	3	2	498	8300	9	15	500	8425	15	14	502																

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q				
1001	12	4	596	11226	16	4	601	11251	2	5	606	11376	14	11	610	11501	7	13	615	11626	13	6	619	11751	16	4	624	11876	2	1	630
1002	12	11	596	11227	1	2	602	11252	5	8	608	11377	14	11	610	11502	8	1	615	11627	14	3	619	11752	16	11	624	11877	4	15	630
1003	13	15	596	11228	1	14	602	11253	5	6	608	11378	15	6	610	11503	8	6	615	11628	14	6	619	11753	2	6	625	11878	4	10	630
1004	13	12	596	11229	1	12	602	11254	5	4	608	11379	2	13	611	11504	9	14	615	11629	14	8	619	11754	2	6	625	11879	5	13	630
1005	14	5	596	11230	3	14	602	11255	5	9	606	11380	3	10	611	11505	9	1	615	11630	15	7	619	11755	4	1	625	11880	5	16	630
1006	14	1	596	11231	5	14	602	11256	6	3	606	11381	4	14	611	11506	9	3	615	11631	16	11	619	11756	4	10	625	11881	5	1	630
1007	14	10	596	11232	5	14	602	11257	6	3	606	11382	5	9	611	11507	9	16	615	11632	1	13	620	11757	4	1	625	11882	5	14	630
1008	15	12	596	11233	5	14	602	11258	6	14	606	11383	5	9	611	11508	9	13	615	11633	3	12	620	11758	5	3	625	11883	6	16	630
1009	15	3	596	11234	5	15	602	11259	6	16	606	11384	5	14	611	11509	9	14	615	11634	3	13	620	11759	6	16	625	11884	6	5	630
1010	15	3	596	11235	6	2	602	11260	6	13	606	11385	5	1	611	11510	10	14	615	11635	4	15	620	11760	6	4	625	11885	6	12	630
1011	3	8	597	11236	7	14	602	11261	8	6	606	11386	5	7	611	11511	10	16	615	11636	4	7	620	11761	7	11	625	11886	6	9	630
1012	3	10	597	11237	8	9	602	11262	8	16	606	11387	6	16	611	11512	10	13	615	11637	4	15	620	11762	8	4	625	11887	7	5	630
1013	4	11	597	11238	9	16	602	11263	8	2	606	11388	9	8	611	11513	11	12	615	11638	5	16	620	11763	9	15	625	11888	7	6	630
1014	4	8	597	11239	9	5	602	11264	8	14	608	11389	9	7	611	11514	11	4	615	11639	5	15	620	11764	10	9	625	11889	8	6	630
1015	4	1	597	11240	10	12	602	11265	8	9	608	11390	9	5	611	11515	12	6	615	11640	6	12	620	11765	13	1	625	11890	8	3	630
1016	5	15	597	11241	10	6	602	11266	9	2	606	11391	9	13	611	11516	12	16	615	11641	8	14	620	11766	15	14	625	11891	8	10	630
1017	5	6	597	11242	10	16	602	11267	10	5	606	11392	10	5	611	11517	12	13	615	11642	9	4	620	11767	13	9	625	11892	9	8	630
1018	5	1	597	11243	11	10	602	11268	10	16	606	11393	11	14	611	11518	12	3	615	11643	10	9	620	11768	13	11	625	11893	10	1	630
1019	6	16	597	11244	11	13	602	11269	11	13	606	11394	11	2	611	11519	13	11	615	11644	10	16	620	11769	13	12	625	11894	11	7	630
1020	6	16	597	11245	12	9	602	11270	11	1	606	11395	12	8	611	11520	14	8	615	11645	11	5	620	11770	14	6	625	11895	11	2	630
1021	10	5	597	11246	12	7	602	11271	11	4	606	11396	13	5	611	11521	14	11	615	11646	13	11	620	11771	14	1	625	11896	11	15	630
1022	10	1	597	11247	12	7	602	11272	12	5	606	11397	13	5	611	11522	14	15	615	11647	13	6	620	11772	15	7	625	11897	11	2	630
1023	11	5	597	11248	13	4	602	11273	14	7	606	11398	14	9	611	11523	14	7	615	11648	13	1	620	11773	15	5	625	11898	12	5	630
1024	12	10	597	11249	13	2	602	11274	14	6	606	11399	15	13	611	11524	14	5	615	11649	13	9	620	11774	1	5	626	11899	12	14	630
1025	12	5	597	11250	14	5	602	11275	14	1	606	11400	15	16	611	11525	15	7	615	11650	13	1	620	11775	1	14	626	11900	13	5	630
1026	13	9	597	11251	14	2	602	11276	15	13	606	11401	2	4	612	11526	16	7	615	11651	14	12	620	11776	3	7	626	11901	13	14	630
1027	13	14	597	11252	15	10	602	11277	15	10	606	11402	3	11	612	11527	16	13	615	11652	10	11	620	11777	4	6	626	11902	13	1	630
1028	13	8	597	11253	14	13	602	11278	15	2	606	11403	3	8	612	11528	1	8	616	11653	16	5	620	11778	4	1	626	11903	13	12	630
1029	15	16	597	11254	16	4	602	11279	1	8	607	11404	4	3	612	11529	2	10	616	11654	16	12	620	11779	5	16	626	11904	14	2	630
1030	1	3	598	11255	1	13	603	11280	3	4	607	11405	6	12	612	11530	2	9	616	11655	1	6	621	11780	6	11	626	11905	14	12	630
1031	4	5	598	11256	1	6	603	11281	3	2	607	11406	8	16	612	11531	2	12	616	11656	3	5	621	11781	6	9	626	11906	14	1	630
1032	4	10	598	11257	3	16	603	11282	4	2	607	11407	9	11	612	11532	4	6	616	11657	4	15	621	11782	8	12	626	11907	14	10	630
1033	5	4	598	11258	4	11	603	11283	4	6	607	11408	9	4	612	11533	4	6	616	11658	4	13	621	11783	9	11	626	11908	15	5	630
1034	6	15	598	11259	4	7	603	11284	5	6	607	11409	11	15	612	11534	4	14	616	11659	4	13	621	11784	9	12	626	11909	16	3	630
1035	6	1	598	11260	4	14	603	11285	5	4	607	11410	11	8	612	11535	5	4	616	11660	5	2	621	11785	9	5	626	11910	16	12	630
1036	6	8	598	11261	4	8	603	11286	8	14	607	11411	11	13	612	11536	5	11	616	11661	6	13	621	11786	11	15	626	11911	16	2	630
1037	7	13	598	11262	5	15	603	11287	9	7	607	11412	13	9	612	11537	5	16	616	11662	6	4	621	11787	11	10	626	11912	16	3	630
1038	8	1	598	11263	5	1	603	11288	10	1	607	11413	13	9	612	11538	6	4	616	11663	7	10	621	11788	12	15	626	11913	1	11	630
1039	8	6	598	11264	5	15	603	11289	10	11	607	11414	13	9	612	11539	6	14	616	11664	8	7	621	11789	12	4	626	11914	1	4	630
1040	8	15	598	11265	6	13	603	11290	10	4	607	11415	14	15	612	11540	6	12	616	11665	9	10	621	11790	12	4	626	11915	2	9	630
1041	9	14	598	11266	6	4	603	11291	10	14	607	11416	15	1	612	11541	6	11	616	11666	10	11	621	11791	12	13	626	11916	3	2	630
1042	9	6	598	11267	6	16	603	11292	10	2	607	11417	15	11	612	11542	8	6	616	11667	10	12	621	11792	12	7	626	11917	4	3	630
1043	9	10	598	11268	6	14	603	11293	11	9	607	11418	16	3	612	11543	8	11	616	11668	10	12	621	11793	12	14	626	11918	4	8	630
1044	9	16	598	11269	7	13	603	11294	11	14	607	11419	16	14	612	11544	9	4	616	11669	11	7	621	11794	13	16	626	11919	5	8	630
1045	10	5	598	11270	7	5	603	11295	11	5	607	11420	1	9	613	11545	9	4	616	11670	11	10	621	11795	13	9	626	11920	5	1	630
1046	10	6	598	11271	7	10	603	11296	12	6	607	11421	2	11	613	11546	10	6	616	11671	12	9	621	11796	14	9	626	11921	5	13	630
1047	11	8	598	11272	8	4	603	11297	12	9	607	11422	3	16	613	11547	11	9	616	11672	13	4	621	11797	14	1	626	11922	6	9	630
1048	12	8	598	11273	8	13	603	11298	13	3	607	11423	3	7	613	11548	11	15	616	11673	13	9									

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q				
14001	16	8	692	14126	15	5	695	14251	12	16	698	14376	14	7	701	14501	11	15	704	14626	10	1	707	14751	11	1	710	14876	12	9	713
14002	16	10	692	14127	16	13	695	14252	12	10	698	14377	14	10	701	14502	12	2	704	14627	11	13	707	14752	11	3	710	14877	12	14	713
14003	16	4	692	14128	16	10	695	14253	12	4	698	14378	15	15	702	14503	12	4	704	14628	11	1	707	14753	14	1	710	14878	12	3	714
14004	16	12	692	14129	16	10	695	14254	13	14	698	14379	15	8	701	14504	12	4	704	14629	12	4	707	14754	14	13	710	14879	12	7	713
14005	1	5	693	14130	16	13	695	14255	14	4	698	14380	15	3	701	14505	12	15	704	14630	12	14	707	14755	15	10	710	14880	12	9	713
14006	1	5	693	14131	1	9	696	14256	14	6	698	14381	15	16	701	14506	13	15	704	14631	12	8	707	14756	15	11	710	14881	13	5	713
14007	2	5	693	14132	2	3	696	14257	14	8	698	14382	15	14	701	14507	13	6	704	14632	12	14	707	14757	15	4	710	14882	13	4	713
14008	3	13	693	14133	2	11	696	14258	14	7	698	14383	15	16	701	14508	13	16	704	14633	12	5	707	14758	16	9	710	14883	13	6	713
14009	4	1	693	14134	2	8	696	14259	14	15	698	14384	15	11	701	14509	14	13	704	14634	13	16	707	14759	16	14	710	14884	13	15	713
14010	4	9	693	14135	3	14	696	14260	15	7	698	14385	11	13	702	14510	14	8	704	14635	13	1	707	14760	16	1	710	14885	14	6	713
14011	4	8	693	14136	3	7	696	14261	15	1	698	14386	1	5	702	14511	14	1	704	14636	13	16	707	14761	16	10	710	14886	14	1	713
14012	5	16	693	14137	4	15	696	14262	15	4	698	14387	1	12	702	14512	14	11	704	14637	13	14	707	14762	1	2	711	14887	14	11	713
14013	5	15	693	14138	4	9	696	14263	15	11	698	14388	2	15	702	14513	14	12	704	14638	13	12	707	14763	1	4	711	14888	14	12	713
14014	5	6	693	14139	5	1	696	14264	15	8	698	14389	2	11	702	14514	15	6	704	14639	13	3	707	14764	1	4	711	14889	15	13	713
14015	6	4	693	14140	6	14	696	14265	16	1	698	14390	2	13	702	14515	15	16	704	14640	13	10	707	14765	1	8	711	14890	15	13	713
14016	6	12	693	14141	6	7	696	14266	16	4	699	14391	2	3	702	14516	15	10	704	14641	13	8	707	14766	4	16	711	14891	15	4	713
14017	6	9	693	14142	6	13	696	14267	1	8	699	14392	2	1	702	14517	15	13	704	14642	14	7	707	14767	4	3	711	14892	15	3	713
14018	6	1	693	14143	6	4	696	14268	1	7	699	14393	3	5	702	14518	16	7	704	14643	15	7	707	14768	4	1	711	14893	15	7	713
14019	8	16	693	14144	6	4	696	14269	2	5	699	14394	4	9	702	14519	1	3	705	14644	15	8	707	14769	4	7	711	14894	15	1	713
14020	8	15	693	14145	8	5	696	14270	2	15	699	14395	5	1	702	14520	2	13	705	14645	15	8	707	14770	5	10	711	14895	16	5	713
14021	8	12	693	14146	8	4	696	14271	2	4	699	14396	6	3	702	14521	2	1	705	14646	15	1	707	14771	5	12	711	14896	16	12	713
14022	9	2	693	14147	8	4	696	14272	2	10	699	14397	6	5	702	14522	2	13	705	14647	16	13	707	14772	6	10	711	14897	1	6	714
14023	9	1	693	14148	9	16	696	14273	3	8	699	14398	6	14	702	14523	2	8	705	14648	16	15	707	14773	6	1	711	14898	3	15	714
14024	9	8	693	14149	9	14	696	14274	3	12	699	14399	6	1	702	14524	2	8	705	14649	1	5	708	14774	7	1	711	14899	4	11	714
14025	9	16	693	14150	9	7	696	14275	3	11	699	14400	6	1	702	14525	4	8	705	14650	1	11	708	14775	8	16	711	14900	4	5	714
14026	9	12	693	14151	9	13	696	14276	3	6	699	14401	7	5	702	14526	4	15	706	14651	2	11	708	14776	8	14	711	14901	4	6	714
14027	9	6	693	14152	9	13	696	14277	3	13	699	14402	7	2	702	14527	3	5	705	14652	3	7	708	14777	9	11	711	14902	5	7	714
14028	10	5	693	14153	9	14	696	14278	3	9	699	14403	8	2	702	14528	6	4	705	14653	2	3	708	14778	9	4	711	14903	5	4	714
14029	11	15	693	14154	10	14	696	14279	4	14	699	14404	8	6	702	14529	7	14	705	14654	2	13	708	14779	9	8	711	14904	5	15	714
14030	11	4	693	14155	10	2	696	14280	4	14	699	14405	8	13	702	14530	8	14	705	14655	4	15	708	14780	9	3	711	14905	6	16	714
14031	11	14	693	14156	11	14	696	14281	4	8	699	14406	9	2	702	14531	8	14	705	14656	5	15	708	14781	9	14	711	14906	8	5	714
14032	11	5	693	14157	11	4	696	14282	4	8	699	14407	9	16	702	14532	8	4	705	14657	5	10	708	14782	9	10	711	14907	8	4	714
14033	11	15	693	14158	11	6	696	14283	5	1	699	14408	9	6	702	14533	8	16	705	14658	5	2	708	14783	9	2	711	14908	8	3	714
14034	11	16	693	14159	12	10	696	14284	6	12	699	14409	9	13	702	14534	8	14	705	14659	6	12	708	14784	10	4	711	14909	8	14	714
14035	11	4	693	14160	12	10	696	14285	6	1	699	14410	10	5	702	14535	9	14	705	14660	6	1	708	14785	11	7	711	14910	9	11	714
14036	11	12	693	14161	12	8	696	14286	7	6	699	14411	11	9	702	14536	9	8	705	14661	7	6	708	14786	11	16	711	14911	9	10	714
14037	12	13	693	14162	12	13	696	14287	8	13	699	14412	11	7	702	14537	9	16	705	14662	7	16	708	14787	12	1	711	14912	9	14	714
14038	12	14	693	14163	13	9	696	14288	8	4	699	14413	12	5	702	14538	9	3	705	14663	8	14	708	14788	12	6	710	14913	9	3	714
14039	12	16	693	14164	13	8	696	14289	8	7	699	14414	13	11	702	14539	10	7	705	14664	8	5	708	14789	12	10	711	14914	10	10	714
14040	12	5	693	14165	13	15	696	14290	8	5	699	14415	13	1	702	14540	10	1	705	14665	8	12	708	14790	12	5	711	14915	12	7	714
14041	12	16	693	14166	14	3	696	14291	8	10	699	14416	14	3	702	14541	10	7	705	14666	8	12	708	14791	12	16	711	14916	12	14	714
14042	13	1	693	14167	14	2	696	14292	9	13	699	14417	14	4	702	14542	11	13	705	14667	8	5	708	14792	12	15	711	14917	13	15	714
14043	14	1	693	14168	14	3	696	14293	11	7	699	14418	15	11	702	14543	11	10	705	14668	9	11	708	14793	13	12	711	14918	14	8	714
14044	14	2	693	14169	14	8	696	14294	11	16	699	14419	15	5	702	14544	12	6	705	14669	9	7	708	14794	13	7	711	14919	14	5	714
14045	14	16	693	14170	14	15	696	14295	12	16	699	14420	15	14	702	14545	12	5	705	14670	10	7	708	14795	13	9	711	14920	15	5	714
14046	15	2	693	14171	15	3	696	14296	12	13	699	14421	16	5	702	14546	12	16	705	14671	12	10	708	14796	13	2	711	14921	15	13	714
14047	15	2	693	14172	1	10	697	14297	12	7	699	14422	16	11	702	14547	12	7	705	14672	12	14	708	14797	13	4	711	14922	15	13	714
14048	16	7	693	14173	1	5	697	14298	12	10	699	14423	16	13	702																

q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq	q	oq	dq	lq
15001	15	8	716	15126	9	5	719	15251	1	8	722	15376	15	12	723	15501	15	5	725	15626	6	4	728	15751	10	16	730	15876	14	3	732
15002	15	8	716	15127	9	8	719	15252	2	13	722	15377	15	4	723	15502	15	1	725	15627	6	8	728	15752	10	15	730	15877	14	10	732
15003	15	4	716	15128	11	6	719	15253	4	14	722	15378	15	7	723	15503	16	2	725	15628	6	2	728	15753	10	4	730	15878	14	9	732
15004	16	7	716	15129	11	2	719	15254	4	9	722	15379	15	1	723	15504	16	14	725	15629	7	5	728	15754	10	7	730	15879	15	10	732
15005	16	7	716	15130	11	3	719	15255	4	11	722	15380	16	12	723	15505	16	7	725	15630	8	10	728	15755	10	7	730	15880	16	4	732
15006	16	7	716	15131	11	14	719	15256	5	4	722	15381	16	4	723	15506	1	2	726	15631	8	14	728	15756	10	13	730	15881	1	4	732
15007	1	11	717	15132	12	15	719	15257	5	15	722	15382	1	12	724	15507	2	16	726	15632	8	13	728	15757	11	13	730	15882	2	7	732
15008	1	10	717	15133	12	13	719	15258	5	3	722	15383	1	7	724	15508	2	10	726	15633	8	3	728	15758	12	1	730	15883	2	6	732
15009	2	11	717	15134	12	10	719	15259	6	14	722	15384	1	13	724	15509	3	1	726	15634	9	4	728	15759	12	7	730	15884	2	9	732
15010	3	2	717	15135	12	10	719	15260	6	13	722	15385	2	10	724	15510	4	9	726	15635	9	5	728	15760	12	2	730	15885	2	7	732
15011	3	5	717	15136	13	3	719	15261	8	4	722	15386	2	16	724	15511	4	1	726	15636	9	5	728	15761	12	8	730	15886	3	5	732
15012	3	5	717	15137	13	16	719	15262	8	9	722	15387	3	2	724	15512	5	11	726	15637	10	12	728	15762	13	3	730	15887	4	13	732
15013	4	11	717	15138	13	4	719	15263	9	10	722	15388	3	4	724	15513	5	4	726	15638	11	5	728	15763	13	1	730	15888	4	6	732
15014	4	2	717	15139	13	8	719	15264	9	4	722	15389	3	7	724	15514	5	7	726	15639	11	15	728	15764	13	12	730	15889	4	5	732
15015	5	12	717	15140	13	14	719	15265	9	3	722	15390	3	12	724	15515	6	13	726	15640	11	3	728	15765	13	5	730	15890	4	14	732
15016	5	6	717	15141	13	10	719	15266	9	11	722	15391	3	9	724	15516	6	7	726	15641	12	8	728	15766	13	2	730	15891	5	4	732
15017	5	14	717	15142	13	9	719	15267	9	13	722	15392	3	7	724	15517	6	3	726	15642	12	10	728	15767	13	3	730	15892	5	11	732
15018	5	14	717	15143	13	5	719	15268	9	16	722	15393	3	16	724	15518	7	9	726	15643	13	11	728	15768	14	8	730	15893	6	2	732
15019	5	15	717	15144	14	1	719	15269	9	15	722	15394	4	1	724	15519	8	12	726	15644	13	4	728	15769	14	12	730	15894	6	15	732
15020	5	11	717	15145	14	10	719	15270	10	13	722	15395	4	1	724	15520	8	2	726	15645	13	16	728	15770	14	11	730	15895	6	8	732
15021	6	16	717	15146	14	5	719	15271	10	6	722	15396	4	14	724	15521	9	12	726	15646	13	11	728	15771	14	2	730	15896	6	11	732
15022	6	16	717	15147	14	19	719	15272	11	4	722	15397	4	11	724	15522	9	4	726	15647	13	3	728	15772	14	11	730	15897	6	13	732
15023	6	8	717	15148	15	3	719	15273	11	6	722	15398	5	8	724	15523	10	16	726	15648	13	9	728	15773	14	9	730	15898	8	13	732
15024	6	3	717	15149	2	15	720	15274	11	15	722	15399	5	7	724	15524	10	7	726	15649	13	12	728	15774	14	3	730	15899	8	6	732
15025	6	13	717	15150	4	16	720	15275	11	8	722	15400	6	3	724	15525	11	9	726	15650	13	1	728	15775	14	9	730	15900	8	4	732
15026	8	5	717	15151	4	11	720	15276	11	6	722	15401	8	5	724	15526	11	8	726	15651	14	7	728	15776	14	12	730	15901	9	1	732
15027	8	5	717	15152	4	12	720	15277	12	6	722	15402	8	14	724	15527	11	4	726	15652	14	7	728	15777	14	11	730	15902	7	7	732
15028	8	10	717	15153	5	7	720	15278	12	4	722	15403	8	16	724	15528	11	14	726	15653	14	1	728	15778	15	10	730	15903	3	3	732
15029	8	9	717	15154	5	8	720	15279	12	2	722	15404	8	13	724	15529	11	15	726	15654	14	13	728	15779	16	8	730	15904	9	7	732
15030	8	13	717	15155	5	9	720	15280	12	1	722	15405	8	3	724	15530	11	2	726	15655	14	9	728	15780	1	9	730	15905	9	1	732
15031	8	14	717	15156	6	3	720	15281	12	3	722	15406	8	7	724	15531	12	6	726	15656	14	9	728	15781	1	12	730	15906	10	4	732
15032	9	2	717	15157	6	4	720	15282	12	13	722	15407	9	13	724	15532	12	16	726	15657	15	2	728	15782	1	4	730	15907	11	12	732
15033	9	3	717	15158	7	15	720	15283	13	12	722	15408	9	6	724	15533	12	9	726	15658	15	8	728	15783	2	3	730	15908	11	13	732
15034	9	5	717	15159	7	15	720	15284	13	1	722	15409	9	7	724	15534	12	7	726	15659	15	12	728	15784	2	10	730	15909	11	8	732
15035	9	15	717	15160	8	6	720	15285	13	15	722	15410	9	5	724	15535	12	3	726	15660	15	11	728	15785	3	15	730	15910	12	13	732
15036	9	1	717	15161	8	2	720	15286	13	6	722	15411	10	5	724	15536	12	9	726	15661	16	8	728	15786	3	11	730	15911	12	5	732
15037	10	4	717	15162	8	4	720	15287	13	3	722	15412	10	9	724	15537	13	11	726	15662	1	4	728	15787	4	9	730	15912	12	1	732
15038	10	4	717	15163	9	10	720	15288	13	8	722	15413	11	5	724	15538	13	8	726	15663	1	4	728	15788	4	2	730	15913	12	11	732
15039	10	7	717	15164	9	16	720	15289	13	7	722	15414	11	7	724	15539	13	5	726	15664	1	4	728	15789	4	1	730	15914	13	7	732
15040	11	3	717	15165	9	5	720	15290	13	1	722	15415	11	10	724	15540	13	4	726	15665	2	4	728	15790	5	15	730	15915	13	2	732
15041	11	3	717	15166	9	8	720	15291	13	15	722	15416	12	7	724	15541	13	8	726	15666	2	6	728	15791	5	8	730	15916	13	16	732
15042	12	11	717	15167	9	1	720	15292	13	6	722	15417	12	13	724	15542	13	1	726	15667	3	14	728	15792	5	11	730	15917	13	5	732
15043	12	14	717	15168	9	4	720	15293	13	11	722	15418	12	5	724	15543	13	15	726	15668	3	9	728	15793	5	15	730	15918	13	10	732
15044	12	16	717	15169	9	10	720	15294	13	14	722	15419	12	16	724	15544	13	2	726	15669	4	14	728	15794	5	1	730	15919	13	2	732
15045	12	13	717	15170	10	13	720	15295	13	8	722	15420	12	13	724	15545	13	9	726	15670	4	10	728	15795	6	2	730	15920	13	10	732
15046	12	3	717	15171	10	2	720	15296	13	15	722	15421	12	6	724	15546	13	15	726	15671	5	12	728	15796	6	10	730	15921	13	16	732
15047	13	11	717	15172	11	15	720	15297	14	16	722	15422	12	13	724	15547	13	3	726	15672	5	6	728	15797	7	16	730	15922	13	8	732
15048	13	8	717	15173	11	5	720	15298	14	3	722	15423	13	3	724	15548	13	6	726	15673	5	4	728	15798	8	14	730	15923	13	11	732
15049	13	8	717																												

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q								
18001	6	14	773	18126	11	7	775	18251	15	3	777	18376	11	14	780	18501	3	8	784	18626	8	5	787	18751	5	14	790	18876	7	13	793
18002	7	10	773	18127	12	15	775	18252	15	14	777	18377	12	8	780	18502	3	9	784	18627	9	15	787	18752	5	7	790	18877	8	2	793
18003	7	14	773	18128	13	5	775	18253	16	11	777	18378	13	8	780	18503	3	12	784	18628	10	9	787	18753	6	14	790	18878	9	2	793
18004	8	2	773	18129	12	5	775	18254	16	8	777	18379	13	8	780	18504	6	6	784	18629	11	13	787	18754	6	3	790	18879	11	5	793
18005	8	16	773	18130	12	2	775	18255	16	8	777	18380	13	12	780	18505	4	6	784	18630	11	1	787	18755	7	14	790	18880	11	16	793
18006	8	5	773	18131	12	10	775	18256	1	12	778	18381	13	6	780	18506	4	2	784	18631	11	9	787	18756	8	3	790	18881	12	7	793
18007	8	3	773	18132	12	14	775	18257	1	12	778	18382	13	6	780	18507	4	11	784	18632	11	8	787	18757	8	4	790	18882	12	8	793
18008	9	13	773	18133	12	1	775	18258	1	6	778	18383	14	10	780	18508	5	6	784	18633	11	7	787	18758	9	15	790	18883	12	16	793
18009	9	13	773	18134	12	4	775	18259	2	9	778	18384	15	3	780	18509	5	3	784	18634	11	12	787	18759	10	12	790	18884	13	2	793
18010	9	3	773	18135	12	3	775	18260	2	14	778	18385	15	3	780	18510	5	15	784	18635	11	3	787	18760	11	5	790	18885	13	6	793
18011	9	4	773	18136	13	1	775	18261	3	10	778	18386	15	6	780	18511	6	3	784	18636	12	16	787	18761	11	14	790	18886	13	10	793
18012	10	15	773	18137	13	11	775	18262	3	11	778	18387	16	9	780	18512	8	4	784	18637	12	2	787	18762	11	5	790	18887	13	2	793
18013	10	4	773	18138	13	1	775	18263	3	9	778	18388	16	10	780	18513	8	13	784	18638	12	5	787	18763	11	10	790	18888	13	14	793
18014	10	11	773	18139	13	16	775	18264	3	4	778	18389	16	7	780	18514	9	13	784	18639	12	6	787	18764	12	7	790	18889	13	14	793
18015	11	1	773	18140	13	4	775	18265	3	8	778	18390	16	6	780	18515	9	2	784	18640	12	5	787	18765	12	7	790	18890	15	13	793
18016	11	9	773	18141	13	8	775	18266	4	15	778	18391	16	14	781	18516	9	5	784	18641	12	2	787	18766	13	12	790	18891	15	9	793
18017	11	13	773	18142	13	4	775	18267	5	13	778	18392	2	16	781	18517	9	7	784	18642	12	4	787	18767	13	15	790	18892	15	5	793
18018	11	7	773	18143	14	4	775	18268	5	9	778	18393	3	5	781	18518	9	3	784	18643	13	10	787	18768	13	4	790	18893	15	4	793
18019	12	14	773	18144	14	11	775	18269	6	3	778	18394	4	16	781	18519	10	5	784	18644	13	16	787	18769	13	9	790	18894	16	13	793
18020	12	5	773	18145	15	2	775	18270	6	5	778	18395	4	1	781	18520	11	9	784	18645	14	14	787	18770	14	4	790	18895	16	6	793
18021	12	5	773	18146	15	10	775	18271	6	1	778	18396	4	9	781	18521	11	12	784	18646	15	14	787	18771	15	9	790	18896	16	1	793
18022	12	14	773	18147	15	3	775	18272	7	1	778	18397	4	15	781	18522	11	5	784	18647	15	4	787	18772	15	11	790	18897	16	5	793
18023	12	2	773	18148	15	9	775	18273	7	4	778	18398	5	7	781	18523	12	3	784	18648	15	11	787	18773	15	2	790	18898	16	12	793
18024	12	7	773	18149	15	1	775	18274	7	4	778	18399	5	13	781	18524	13	15	784	18649	16	2	787	18774	15	11	790	18899	1	9	794
18025	13	2	773	18150	15	10	775	18275	8	15	778	18400	5	16	781	18525	13	15	784	18650	16	3	787	18775	15	12	790	18900	1	4	794
18026	13	9	773	18151	16	6	775	18276	8	10	778	18401	6	4	781	18526	13	7	784	18651	16	14	787	18776	15	12	790	18901	2	12	794
18027	13	9	773	18152	16	8	775	18277	8	9	778	18402	6	7	781	18527	13	15	784	18652	17	12	787	18777	15	7	790	18902	3	2	794
18028	13	1	773	18153	16	2	775	18278	8	2	778	18403	6	12	781	18528	13	14	784	18653	1	6	788	18778	15	2	790	18903	2	11	794
18029	13	11	773	18154	16	8	775	18279	9	3	778	18404	6	11	781	18529	13	8	784	18654	2	4	788	18779	15	5	790	18904	3	11	794
18030	13	9	773	18155	16	13	775	18280	9	14	778	18405	6	13	781	18530	14	6	784	18655	2	16	788	18780	15	9	790	18905	4	9	794
18031	14	6	773	18156	16	13	775	18281	9	1	778	18406	6	8	781	18531	14	13	784	18656	3	4	788	18781	16	4	790	18906	4	13	794
18032	14	8	773	18157	1	5	778	18282	11	14	778	18407	6	4	781	18532	14	12	784	18657	4	11	788	18782	16	11	790	18907	4	5	794
18033	14	2	773	18158	1	12	776	18283	11	7	778	18408	6	7	781	18533	15	13	784	18658	4	8	788	18783	16	6	790	18908	4	7	794
18034	14	7	773	18159	2	5	776	18284	11	5	778	18409	7	5	781	18534	16	3	784	18659	5	8	788	18784	16	15	790	18909	5	11	794
18035	15	11	773	18160	2	12	776	18285	11	4	778	18410	7	14	781	18535	16	8	784	18660	5	9	788	18785	16	10	790	18910	6	10	794
18036	15	11	773	18161	2	13	776	18286	11	2	778	18411	8	7	781	18536	16	9	784	18661	5	2	788	18786	16	3	790	18911	6	4	794
18037	15	9	773	18162	2	6	776	18287	11	8	778	18412	8	7	781	18537	16	9	784	18662	5	4	788	18787	1	15	791	18912	6	15	794
18038	16	2	773	18163	3	8	776	18288	12	16	778	18413	9	7	781	18538	16	9	784	18663	6	7	788	18788	1	8	791	18913	6	9	794
18039	16	3	773	18164	3	11	776	18289	12	9	778	18414	9	8	781	18539	1	4	785	18664	7	5	788	18789	1	7	791	18914	3	2	794
18040	16	12	773	18165	3	9	776	18290	12	1	778	18415	9	3	781	18540	1	3	785	18665	9	12	788	18790	1	10	791	18915	6	1	794
18041	1	5	774	18166	4	16	776	18291	12	16	778	18416	9	15	781	18541	1	6	785	18666	9	3	788	18791	1	3	791	18916	6	7	794
18042	1	13	774	18167	5	10	776	18292	12	5	778	18417	9	4	781	18542	1	3	785	18667	9	15	788	18792	1	6	791	18917	8	11	794
18043	2	3	774	18168	5	6	776	18293	13	12	778	18418	10	8	781	18543	1	4	785	18668	10	15	788	18793	2	7	791	18918	8	16	794
18044	2	14	774	18169	6	10	776	18294	13	11	778	18419	12	15	781	18544	2	9	785	18669	10	2	788	18794	2	8	791	18919	9	3	794
18045	3	13	774	18170	6	11	776	18295	13	2	778	18420	13	2	781	18545	3	15	785	18670	10	12	788	18795	3	9	791	18920	10	13	794
18046	3	11	774	18171	6	13	776	18296	13	7	778	18421	15	11	781	18546	3	1	785	18671	11	13	788	18796	3	4	791	18921	10	7	794
18047	4	8	774	18172	7	2	776	18297	13	12	778	18422	15	1	781	18547	3	8	785	18672	11	16	788	18797	3	9	791	18922	12	11	794
18048	4	6	774	18173	8	12	776	18298	13	10	778	18423	16	11	781	18548	3	12	785	18673	11	5	788	18798	4	10	791	18923	13	2	794</

Table with columns q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq. Rows contain numerical data for each column.

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q
22001	7	10	863	22126	15	7	865	22251	11	14	868	22376	5	1	871	22501	2	10	874	22626	11	10	876	22751	3	2	879	22876	1	5	882
22002	8	15	863	22127	16	3	865	22252	12	7	868	22377	6	9	871	22502	2	6	874	22627	13	8	876	22752	3	15	879	22877	2	7	882
22003	8	9	863	22128	2	9	866	22253	12	1	868	22378	6	15	871	22503	2	7	874	22628	13	16	876	22753	4	2	879	22878	3	16	882
22004	8	16	863	22129	2	16	866	22254	13	8	868	22379	6	5	871	22504	3	12	874	22629	13	12	876	22754	4	13	879	22879	9	8	882
22005	8	14	863	22130	2	6	866	22255	13	12	868	22380	6	1	871	22505	4	9	874	22630	13	7	876	22755	5	11	879	22880	4	2	882
22006	8	11	863	22131	3	5	866	22256	13	9	868	22381	7	11	871	22506	4	14	874	22631	14	6	876	22756	6	2	879	22881	4	8	882
22007	9	11	863	22132	3	11	866	22257	13	6	868	22382	8	5	871	22507	4	3	874	22632	14	5	876	22757	6	14	879	22882	4	12	882
22008	9	7	863	22133	3	6	866	22258	13	9	868	22383	8	10	871	22508	5	15	874	22633	14	11	876	22758	6	11	879	22883	4	12	882
22009	11	4	863	22134	4	5	866	22259	13	16	868	22384	8	7	871	22509	5	11	874	22634	14	11	876	22759	6	4	879	22884	5	15	882
22010	11	2	863	22135	4	5	866	22260	14	1	868	22385	8	4	871	22510	6	9	874	22635	15	12	876	22760	7	15	879	22885	5	3	882
22011	12	5	863	22136	4	15	866	22261	15	8	868	22386	9	5	871	22511	7	15	874	22636	15	10	876	22761	9	13	879	22886	5	15	882
22012	12	7	863	22137	4	14	866	22262	15	12	868	22387	10	9	871	22512	7	10	874	22637	15	9	876	22762	9	4	879	22887	6	12	882
22013	12	1	863	22138	4	7	866	22263	16	15	868	22388	11	13	871	22513	7	15	874	22638	15	13	876	22763	9	14	879	22888	6	5	882
22014	13	1	863	22139	5	1	866	22264	16	9	869	22389	11	8	871	22514	8	1	874	22639	15	2	876	22764	10	9	879	22889	7	8	882
22015	13	2	863	22140	5	6	866	22265	2	13	869	22390	11	12	871	22515	8	5	874	22640	15	8	876	22765	10	12	879	22890	8	7	882
22016	13	2	863	22141	5	7	866	22266	2	12	869	22391	11	12	871	22516	9	14	874	22641	15	11	876	22766	11	7	879	22891	8	16	882
22017	13	15	863	22142	5	7	866	22267	3	4	869	22392	12	13	871	22517	9	10	874	22642	15	14	876	22767	11	13	879	22892	9	13	882
22018	13	1	863	22143	7	1	866	22268	3	15	869	22393	12	8	871	22518	10	14	874	22643	15	10	876	22768	11	2	879	22893	9	12	882
22019	13	11	863	22144	7	3	866	22269	3	8	869	22394	12	2	871	22519	11	13	874	22644	16	10	876	22769	12	2	879	22894	10	16	882
22020	13	1	863	22145	8	4	866	22270	4	9	869	22395	13	1	871	22520	12	14	874	22645	15	15	877	22770	12	16	879	22895	10	6	882
22021	14	15	863	22146	8	3	866	22271	4	3	869	22396	13	12	871	22521	12	9	874	22646	1	14	877	22771	12	3	879	22896	11	13	882
22022	14	3	863	22147	8	4	866	22272	5	11	869	22397	13	9	871	22522	12	10	874	22647	1	5	877	22772	13	1	879	22897	12	7	882
22023	15	9	863	22148	8	2	866	22273	5	9	869	22398	13	12	871	22523	12	1	874	22648	1	7	877	22773	13	4	879	22898	13	14	882
22024	15	2	863	22149	8	11	866	22274	5	6	869	22399	13	4	871	22524	12	10	874	22649	2	6	877	22774	13	3	879	22899	13	15	882
22025	15	1	863	22150	9	16	866	22275	5	8	869	22400	13	12	871	22525	13	7	874	22650	3	8	877	22775	13	14	879	22900	13	12	882
22026	15	3	863	22151	9	16	866	22276	5	9	869	22401	14	8	871	22526	13	15	874	22651	3	15	877	22776	13	14	879	22901	13	12	882
22027	15	9	863	22152	9	12	866	22277	5	8	869	22402	13	13	871	22527	13	13	874	22652	3	10	877	22777	13	3	879	22902	13	9	882
22028	16	4	863	22153	9	16	866	22278	6	9	869	22403	14	13	871	22528	13	12	874	22653	4	5	877	22778	14	9	879	22903	13	3	882
22029	16	1	863	22154	11	7	866	22279	6	13	869	22404	14	13	871	22529	13	9	874	22654	5	15	877	22779	14	9	879	22904	13	16	882
22030	1	12	864	22155	11	7	866	22280	8	12	869	22405	14	11	871	22530	14	6	874	22655	5	12	877	22780	15	8	879	22905	14	9	882
22031	1	7	864	22156	11	1	866	22281	8	3	869	22406	14	15	871	22531	14	6	874	22656	6	15	877	22781	16	8	879	22906	14	11	882
22032	2	14	864	22157	11	15	866	22282	9	14	869	22407	14	11	871	22532	14	4	874	22657	6	10	877	22782	1	4	880	22907	15	11	882
22033	3	1	864	22158	12	14	866	22283	10	13	869	22408	15	10	871	22533	15	3	874	22658	6	16	877	22783	1	12	880	22908	16	8	882
22034	3	15	864	22159	12	13	866	22284	11	12	869	22409	15	10	871	22534	15	11	874	22659	6	3	877	22784	1	2	880	22909	16	12	882
22035	4	2	864	22160	13	8	866	22285	11	5	869	22410	15	12	871	22535	15	8	874	22660	6	13	877	22785	1	5	880	22910	1	13	882
22036	4	13	864	22161	13	7	866	22286	11	6	869	22411	16	6	871	22536	16	13	874	22661	6	2	877	22786	2	9	880	22911	1	2	883
22037	4	16	864	22162	13	8	866	22287	11	13	869	22412	16	6	871	22537	16	15	874	22662	6	10	877	22787	2	3	880	22912	1	2	883
22038	4	2	864	22163	14	15	866	22288	12	15	869	22413	16	4	871	22538	1	15	875	22663	7	16	877	22788	2	16	880	22913	2	1	883
22039	4	9	864	22164	14	12	866	22289	12	9	869	22414	1	13	872	22539	2	3	875	22664	7	2	877	22789	2	3	880	22914	2	9	883
22040	4	15	864	22165	14	2	866	22290	12	10	869	22415	2	8	872	22540	3	5	875	22665	7	6	877	22790	2	4	880	22915	2	11	883
22041	4	11	864	22166	14	6	866	22291	12	10	869	22416	2	1	872	22541	3	16	875	22666	8	6	877	22791	2	10	880	22916	2	3	883
22042	4	15	864	22167	15	12	866	22292	12	7	869	22417	2	6	872	22542	3	4	875	22667	8	12	877	22792	2	13	880	22917	3	2	883
22043	4	15	864	22168	15	11	866	22293	12	11	869	22418	2	10	872	22543	3	2	875	22668	8	4	877	22793	3	11	880	22918	3	5	883
22044	5	2	864	22169	15	8	866	22294	13	1	869	22419	3	8	872	22544	3	5	875	22669	8	16	877	22794	3	10	880	22919	3	14	883
22045	5	4	864	22170	15	16	866	22295	13	11	869	22420	3	14	872	22545	4	7	875	22670	8	5	877	22795	4	6	880	22920	4	8	883
22046	6	8	864	22171	15	11	866	22296	14	1	869	22421	3	9	872	22546	4	13	875	22671	8	11	877	22796	5	6	880	22921	4	6	883
22047	7	1	864	22172	16	9	866	22297	14	1	869	22422	4	3	872	22547	5	3	875	22672	9	8	877	22797	5	13	880	22922	4	6	883
22048	8	14	864	22173	1	14	867	22298	14	11	869	22423	4	3	872	22548	5	15	875	22673	9										

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q
24001	16	5	904	24126	9	4	906	24251	10	9	908	24376	12	4	910	24501	6	16	912	24626	3	6	914	24751	1	8	916	24876	16	4	917
24002	16	1	904	24127	9	5	906	24252	10	6	908	24377	12	6	910	24502	8	16	912	24627	3	6	914	24752	1	6	916	24877	16	11	917
24003	16	3	904	24128	11	3	906	24253	10	13	908	24378	12	4	910	24503	8	11	912	24628	3	9	914	24753	2	4	916	24878	15	10	917
24004	16	11	904	24129	11	16	906	24254	11	15	908	24379	13	9	910	24504	8	9	912	24629	4	6	914	24754	2	11	916	24879	16	11	917
24005	16	11	904	24130	11	6	906	24255	11	9	908	24380	13	11	910	24505	8	11	912	24630	4	10	914	24755	2	10	916	24880	16	9	917
24006	16	8	904	24131	11	6	906	24256	11	15	908	24381	13	11	910	24506	8	14	912	24631	4	12	914	24756	2	16	916	24881	16	3	917
24007	16	8	904	24132	12	3	906	24257	11	4	908	24382	13	15	910	24507	8	2	912	24632	4	2	914	24757	2	3	916	24882	16	1	917
24008	16	3	904	24133	12	14	906	24258	11	12	908	24383	13	9	910	24508	9	6	912	24633	4	15	914	24758	2	6	916	24883	16	2	917
24009	16	15	904	24134	12	3	906	24259	11	13	908	24384	13	1	910	24509	9	13	912	24634	5	15	914	24759	2	4	916	24884	1	15	918
24010	1	2	905	24135	13	15	906	24260	11	13	908	24385	14	11	910	24510	9	2	912	24635	5	2	914	24760	2	1	916	24885	2	6	918
24011	1	12	905	24136	13	5	906	24261	11	3	908	24386	14	9	910	24511	9	2	912	24636	5	1	914	24761	3	11	916	24886	2	12	918
24012	1	12	905	24137	13	11	906	24262	12	2	908	24387	14	6	910	24512	10	15	912	24637	5	16	914	24762	3	10	916	24887	2	13	918
24013	1	8	905	24138	14	4	906	24263	12	7	908	24388	14	6	910	24513	10	8	912	24638	6	8	914	24763	3	7	916	24888	2	4	918
24014	1	12	905	24139	14	7	906	24264	13	9	908	24389	14	6	910	24514	10	16	912	24639	6	8	914	24764	3	8	916	24889	3	15	918
24015	1	7	905	24140	15	11	906	24265	13	11	908	24390	15	2	910	24515	10	2	912	24640	6	1	914	24765	3	5	916	24890	3	2	918
24016	2	2	905	24141	15	11	906	24266	13	10	908	24391	15	12	910	24516	10	3	912	24641	6	11	914	24766	3	5	916	24891	3	6	918
24017	2	14	905	24142	15	4	906	24267	13	2	908	24392	15	6	910	24517	11	2	912	24642	6	12	914	24767	3	6	916	24892	3	15	918
24018	2	7	905	24143	15	10	906	24268	13	12	908	24393	15	9	910	24518	11	6	912	24643	7	16	914	24768	4	3	916	24893	3	15	918
24019	2	4	905	24144	15	3	906	24269	13	1	908	24394	15	6	910	24519	11	15	912	24644	8	3	914	24769	4	11	916	24894	4	3	918
24020	2	9	905	24145	16	12	906	24270	13	16	908	24395	15	5	910	24520	11	13	912	24645	8	15	914	24770	4	9	916	24895	4	13	918
24021	2	15	905	24146	16	3	906	24271	14	9	908	24396	16	13	910	24521	11	13	912	24646	9	12	914	24771	4	7	916	24896	4	2	918
24022	2	4	905	24147	16	6	906	24272	14	12	908	24397	16	10	910	24522	11	12	912	24647	9	3	914	24772	4	1	916	24897	5	7	918
24023	2	11	905	24148	16	2	906	24273	14	7	908	24398	16	4	910	24523	12	11	912	24648	11	8	914	24773	5	8	916	24898	5	15	918
24024	3	15	905	24149	1	9	907	24274	15	9	908	24399	16	14	910	24524	12	9	912	24649	11	5	914	24774	5	2	916	24899	5	6	918
24025	3	16	905	24150	1	15	907	24275	15	12	908	24400	16	9	910	24525	12	7	912	24650	11	1	914	24775	5	13	916	24900	5	3	918
24026	3	8	905	24151	1	3	907	24276	16	5	908	24401	16	16	910	24526	13	6	912	24651	12	2	914	24776	5	8	916	24901	5	11	918
24027	3	8	905	24152	1	12	907	24277	16	6	908	24402	16	11	910	24527	13	3	912	24652	12	15	914	24777	5	16	916	24902	6	12	918
24028	3	5	905	24153	1	6	907	24278	16	1	908	24403	16	8	910	24528	13	1	912	24653	13	15	914	24778	5	16	916	24903	6	12	918
24029	3	13	905	24154	2	9	907	24279	16	3	908	24404	16	4	910	24529	13	1	912	24654	13	7	914	24779	5	3	916	24904	6	15	918
24030	4	8	905	24155	2	1	907	24280	16	3	908	24405	16	7	910	24530	14	3	912	24655	13	9	914	24780	6	12	916	24905	8	3	918
24031	4	14	905	24156	2	8	907	24281	16	3	908	24406	16	8	910	24531	14	8	912	24656	13	16	914	24781	7	15	916	24906	8	1	918
24032	4	9	905	24157	3	1	907	24282	16	5	908	24407	1	8	911	24532	14	11	912	24657	13	10	914	24782	8	4	916	24907	8	3	918
24033	4	15	905	24158	3	5	907	24283	16	12	908	24408	1	7	911	24533	14	8	912	24658	14	3	914	24783	8	9	916	24908	9	1	918
24034	4	10	905	24159	3	9	907	24284	1	15	909	24409	1	14	911	24534	15	3	912	24659	14	12	914	24784	8	2	916	24909	11	15	918
24035	4	2	905	24160	3	6	907	24285	1	16	909	24410	1	11	911	24535	15	16	912	24660	14	8	914	24785	8	2	916	24910	11	3	918
24036	5	15	905	24161	4	6	907	24286	1	9	909	24411	1	8	911	24536	15	7	912	24661	14	11	914	24786	9	5	916	24911	11	1	918
24037	5	12	905	24162	4	6	907	24287	1	11	909	24412	1	4	911	24537	15	7	912	24662	14	8	914	24787	9	16	916	24912	11	13	918
24038	5	12	905	24163	4	7	907	24288	2	6	909	24413	2	3	911	24538	15	8	912	24663	14	7	914	24788	9	8	916	24913	12	15	918
24039	5	12	905	24164	5	7	907	24289	2	6	909	24414	2	10	911	24539	15	7	912	24664	14	3	914	24789	9	4	916	24914	12	3	918
24040	6	8	905	24165	5	9	907	24290	2	3	909	24415	2	8	911	24540	15	7	912	24665	14	3	914	24790	10	16	916	24915	13	1	918
24041	6	12	905	24166	5	11	907	24291	2	7	909	24416	2	1	911	24541	16	5	912	24666	15	2	914	24791	10	8	916	24916	13	8	918
24042	6	3	905	24167	5	1	907	24292	2	9	909	24417	2	5	911	24542	16	13	912	24667	15	3	914	24792	11	8	916	24917	13	11	918
24043	6	1	905	24168	5	9	907	24293	3	9	909	24418	3	6	911	24543	16	12	912	24668	16	1	914	24793	11	12	916	24918	13	7	918
24044	6	1	905	24169	5	12	907	24294	3	5	909	24419	3	12	911	24544	16	2	912	24669	16	1	914	24794	11	3	916	24919	13	12	918
24045	6	9	905	24170	6	4	907	24295	3	4	909	24420	3	12	911	24545	16	11	912	24670	16	6	914	24795	12	9	916	24920	13	12	918
24046	6	2	905	24171	6	7	907	24296	3	8	909	24421	3	12	911	24546	16	8	912	24671	16	4	914	24796	12	3	916	24921	13	12	918
24047	6	9	905	24172	6	10	907	24297	4	6	909	24422	3	12	911	24547	16	11	912	24672	16	1	914	24797	12	6	916	24922	14	8	918
24048	7	5	905	24173	7	5	907	24298	4	6	909	24423	3	8	911	24548	16	2	912	24673	16	3	914	24798							

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q
26001	15	5	935	26126	13	9	937	26251	13	14	939	26376	12	11	941	26501	4	9	944	26626	5	13	946	26751	4	8	948	26876	5	2	950																
26002	15	16	935	26127	13	15	937	26252	13	2	939	26377	12	16	941	26502	4	8	944	26627	5	3	946	26752	4	8	948	26877	5	8	950																
26003	15	9	935	26128	13	12	937	26253	14	3	939	26378	12	14	941	26503	5	11	944	26628	6	11	946	26753	4	10	948	26878	6	5	950																
26004	15	9	935	26129	14	3	937	26254	14	3	939	26379	12	14	941	26504	5	6	944	26629	6	13	946	26754	5	10	948	26879	7	8	950																
26005	16	12	935	26130	14	5	937	26255	14	11	939	26380	13	3	941	26505	5	3	944	26630	6	14	946	26755	5	3	948	26880	7	3	950																
26006	16	15	935	26131	15	5	937	26256	14	9	939	26381	13	12	941	26506	5	15	944	26631	7	12	946	26756	5	15	948	26881	7	14	950																
26007	16	11	935	26132	15	1	937	26257	14	13	939	26382	13	9	941	26507	6	13	944	26632	7	4	946	26757	5	11	948	26882	8	11	950																
26008	16	12	935	26133	15	11	937	26258	14	15	939	26383	14	13	941	26508	6	7	944	26633	8	15	946	26758	5	9	948	26883	9	10	950																
26009	16	5	935	26134	15	6	937	26259	15	7	939	26384	14	7	941	26509	6	3	944	26634	8	14	946	26759	5	1	948	26884	9	16	950																
26010	16	5	935	26135	16	9	937	26260	15	8	939	26385	14	3	941	26510	9	7	944	26635	8	6	946	26760	5	11	948	26885	9	1	950																
26011	16	14	935	26136	16	14	937	26261	15	11	939	26386	15	14	941	26511	9	4	944	26636	8	12	946	26761	6	8	948	26886	10	7	950																
26012	16	3	935	26137	16	8	937	26262	15	7	939	26387	15	3	941	26512	10	1	944	26637	9	13	946	26762	6	8	948	26887	10	2	950																
26013	16	10	935	26138	16	6	937	26263	15	3	939	26388	16	6	941	26513	10	6	944	26638	9	12	946	26763	6	8	948	26888	10	9	950																
26014	16	12	935	26139	16	8	937	26264	15	1	939	26389	16	4	941	26514	12	6	944	26639	9	1	946	26764	6	2	948	26889	10	6	950																
26015	16	4	935	26140	16	4	937	26265	16	11	939	26390	16	3	941	26515	13	11	944	26640	10	9	946	26765	8	11	948	26890	11	6	950																
26016	16	3	935	26141	16	11	938	26266	16	2	939	26391	16	12	941	26516	13	16	944	26641	10	11	946	26766	6	13	948	26891	11	13	950																
26017	1	3	936	26142	1	7	938	26267	16	8	939	26392	16	9	941	26517	13	14	944	26642	11	9	946	26767	8	1	948	26892	11	9	950																
26018	1	6	936	26143	1	11	938	26268	16	9	939	26393	16	2	941	26518	13	5	944	26643	12	2	946	26768	8	9	948	26893	12	1	950																
26019	1	2	936	26144	2	5	938	26269	1	11	940	26394	16	3	941	26519	13	8	944	26644	12	9	946	26769	8	6	948	26894	12	6	950																
26020	1	6	936	26145	2	7	938	26270	1	15	940	26395	16	12	941	26520	13	14	944	26645	12	5	946	26770	9	2	948	26895	12	14	950																
26021	1	14	936	26146	2	7	938	26271	1	7	940	26396	1	15	942	26521	13	10	944	26646	12	11	946	26771	9	7	948	26896	12	7	950																
26022	2	9	936	26147	3	15	938	26272	1	11	940	26397	1	11	942	26522	14	6	944	26647	12	9	946	26772	9	8	948	26897	12	1	950																
26023	2	10	936	26148	3	6	938	26273	2	3	940	26398	2	4	942	26523	14	12	944	26648	12	9	946	26773	9	6	948	26898	12	3	950																
26024	2	5	936	26149	3	2	938	26274	2	13	940	26399	2	5	942	26524	14	1	944	26649	12	11	946	26774	9	15	948	26899	13	10	950																
26025	3	6	936	26150	4	12	938	26275	2	15	940	26400	3	8	942	26525	15	10	944	26650	13	2	946	26775	10	12	948	26900	13	6	950																
26026	3	1	936	26151	4	2	938	26276	2	13	940	26401	3	5	942	26526	15	8	944	26651	13	3	946	26776	10	3	948	26901	13	11	950																
26027	3	10	936	26152	4	2	938	26277	3	1	940	26402	3	1	942	26527	15	11	944	26652	13	12	946	26777	10	7	948	26902	13	8	950																
26028	3	15	936	26153	5	3	938	26278	3	15	940	26403	3	14	942	26528	15	13	944	26653	14	5	946	26778	10	7	948	26903	13	8	950																
26029	3	12	936	26154	5	9	938	26279	4	16	940	26404	3	15	942	26529	15	16	944	26654	14	2	946	26779	10	15	948	26904	13	5	950																
26030	3	14	936	26155	5	13	938	26280	4	13	940	26405	3	14	942	26530	15	1	944	26655	14	5	946	26780	11	5	948	26905	13	1	950																
26031	3	12	936	26156	5	3	938	26281	4	8	940	26406	4	14	942	26531	16	5	944	26656	14	2	946	26781	11	9	948	26906	14	12	950																
26032	3	4	936	26157	6	12	938	26282	4	6	940	26407	5	8	942	26532	16	15	944	26657	14	1	946	26782	12	9	948	26907	14	4	950																
26033	4	8	936	26158	6	7	938	26283	4	11	940	26408	5	4	942	26533	16	5	944	26658	14	5	946	26783	12	15	948	26908	14	9	950																
26034	4	14	936	26159	6	8	938	26284	4	6	940	26409	5	13	942	26534	16	14	944	26659	15	6	946	26784	12	11	948	26909	14	10	950																
26035	4	9	936	26160	7	1	938	26285	4	1	940	26410	6	12	942	26535	16	15	944	26660	15	12	946	26785	12	10	948	26910	14	16	950																
26036	4	10	936	26161	7	12	938	26286	4	12	940	26411	6	2	942	26536	1	9	945	26661	16	9	946	26786	12	9	948	26911	14	2	950																
26037	4	9	936	26162	8	11	938	26287	5	2	940	26412	6	2	942	26537	1	7	945	26662	16	8	946	26787	12	9	948	26912	15	1	950																
26038	4	9	936	26163	9	1	938	26288	5	8	940	26413	3	3	942	26538	1	12	945	26663	16	15	946	26788	13	5	948	26913	15	9	950																
26039	4	15	936	26164	9	7	938	26289	6	4	940	26414	8	11	942	26539	8	8	945	26664	16	1	946	26789	13	8	948	26914	15	16	950																
26040	5	11	936	26165	9	3	938	26290	6	15	940	26415	8	4	942	26540	1	4	945	26665	1	13	947	26790	13	11	948	26915	15	8	950																
26041	6	13	936	26166	9	15	938	26291	6	8	940	26416	8	6	942	26541	1	11	945	26666	1	7	947	26791	13	8	948	26916	15	6	950																
26042	6	11	936	26167	10	6	938	26292	6	15	940	26417	9	15	942	26542	1	13	945	26667	1	9	947	26792	13	10	948	26917	15	6	950																
26043	6	9	936	26168	10	11	938	26293	7	1	940	26418	9	4	942	26543	1	12	945	26668	1	13	947	26793	15	2	948	26918	16	11	950																
26044	6	5	936	26169	10	12	938	26294	7	5	940	26419	10	7	942	26544	1	15	945	26669	1	9	947	26794	15	3	948	26919	16	9	950																
26045	8	9	936	26170	10	2	938	26295	7	10	940	26420	11	4	942	26545	1	10	945	26670	1	4	947	26795	15	12	948	26920	16	2	950																
26046	8	11	936	26171	12	3	938	26296	8	16	940	26421	12	1	942	26546	2	1	945	26671	1	13	947	26796	15	3	948	26921	16	2	950																
26047	9	13	936	26172	12	7	938	26297	8	7	940	26422	12	15	942	26547	2	4	945	26672	1	4	947	26797	16	3																					

q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q	q	o _q	d _q	t _q
28001	15	4	967	28126	16	5	969	28251	3	7	972	28376	12	1	974	28501	16	12	976	28626	13	9	978	28751	13	11	980	28876	16	6	982
28002	16	2	967	28127	16	4	969	28252	3	13	972	28377	12	3	974	28502	16	3	976	28627	13	3	978	28752	13	15	980	28877	16	6	982
28003	16	2	967	28128	1	6	970	28253	3	5	972	28378	12	8	976	28503	16	1	978	28628	13	3	978	28753	14	11	980	28878	1	11	983
28004	16	13	967	28129	1	5	970	28254	3	3	972	28379	12	15	974	28504	16	9	976	28629	13	15	978	28754	14	3	980	28879	4	8	983
28005	16	1	967	28130	1	11	970	28255	4	6	972	28380	12	3	974	28505	16	3	976	28630	14	16	978	28755	14	6	980	28880	1	4	983
28006	16	10	967	28131	1	5	970	28256	4	13	972	28381	13	7	974	28506	16	6	976	28631	14	6	978	28756	14	3	980	28881	1	5	983
28007	16	15	967	28132	2	13	970	28257	4	8	972	28382	13	2	974	28507	16	12	976	28632	14	8	978	28757	14	16	980	28882	1	2	983
28008	1	4	968	28133	2	4	970	28258	4	11	972	28383	13	6	974	28508	16	8	976	28633	14	9	978	28758	14	7	980	28883	1	7	983
28009	1	11	968	28134	2	15	970	28259	5	10	972	28384	13	15	974	28509	16	1	976	28634	14	11	978	28759	15	12	980	28884	1	3	983
28010	1	11	968	28135	4	12	970	28260	5	7	972	28385	13	14	974	28510	16	8	976	28635	14	11	978	28760	15	12	980	28885	2	16	983
28011	2	12	968	28136	4	7	970	28261	5	15	972	28386	13	4	974	28511	16	8	976	28636	14	10	978	28761	15	16	980	28886	2	14	983
28012	3	16	968	28137	5	15	970	28262	6	8	972	28387	13	15	974	28512	16	1	976	28637	14	6	978	28762	16	8	980	28887	2	13	983
28013	3	9	968	28138	5	13	970	28263	6	8	972	28388	13	8	974	28513	16	2	976	28638	14	5	978	28763	16	3	980	28888	3	5	983
28014	3	4	968	28139	5	11	970	28264	6	9	972	28389	14	2	974	28514	16	9	976	28639	14	11	978	28764	16	10	980	28889	3	4	983
28015	3	1	968	28140	5	2	970	28265	7	15	972	28390	14	11	974	28515	1	4	977	28640	14	2	978	28765	16	15	980	28890	4	6	983
28016	2	4	968	28141	6	3	970	28266	7	11	972	28391	14	9	974	28516	1	12	977	28641	15	2	978	28766	16	8	980	28891	4	9	983
28017	4	8	968	28142	6	7	970	28267	7	4	972	28392	14	15	974	28517	1	12	977	28642	15	2	978	28767	16	6	980	28892	4	8	983
28018	4	15	968	28143	6	12	970	28268	8	9	972	28393	14	15	974	28518	1	11	977	28643	16	2	978	28768	16	6	980	28893	4	15	983
28019	4	7	968	28144	7	15	970	28269	8	16	972	28394	14	6	974	28519	1	14	977	28644	16	1	978	28769	16	3	980	28894	4	9	983
28020	4	15	968	28145	7	11	970	28270	8	9	972	28395	15	14	974	28520	2	7	977	28645	16	12	978	28770	16	5	980	28895	5	9	983
28021	4	2	968	28146	9	11	970	28271	8	3	972	28396	16	6	974	28521	2	5	977	28646	16	5	978	28771	16	15	980	28896	5	8	983
28022	4	1	968	28147	9	16	970	28272	9	12	972	28397	16	9	974	28522	2	14	977	28647	16	7	978	28772	16	3	980	28897	5	13	983
28023	4	11	968	28148	10	2	970	28273	9	8	972	28398	16	2	974	28523	2	6	977	28648	16	2	978	28773	1	3	980	28898	6	11	983
28024	4	1	968	28149	10	11	970	28274	10	3	972	28399	16	12	974	28524	2	5	977	28649	16	1	978	28774	1	3	980	28899	6	7	983
28025	5	12	968	28150	10	8	970	28275	11	2	972	28400	1	7	975	28525	3	12	977	28650	16	2	978	28775	1	4	980	28900	6	12	983
28026	5	11	968	28151	10	5	970	28276	11	14	972	28401	1	11	975	28526	3	10	977	28651	16	3	978	28776	2	12	980	28901	7	15	983
28027	5	10	968	28152	12	9	970	28277	11	5	972	28402	15	7	975	28527	3	15	977	28652	16	16	978	28777	2	5	980	28902	9	9	983
28028	5	14	968	28153	12	3	970	28278	12	9	972	28403	1	7	975	28528	4	5	977	28653	1	15	979	28778	2	7	980	28903	10	14	983
28029	6	3	968	28154	13	7	970	28279	12	3	972	28404	1	4	975	28529	4	6	977	28654	2	16	979	28779	3	10	980	28904	11	10	983
28030	6	2	968	28155	13	12	970	28280	12	6	972	28405	2	5	975	28530	5	16	977	28655	2	9	979	28780	3	2	980	28905	12	3	983
28031	6	2	968	28156	13	2	970	28281	12	3	972	28406	2	12	975	28531	5	3	977	28656	2	6	979	28781	3	9	980	28906	13	1	983
28032	7	1	968	28157	13	5	970	28282	12	16	972	28407	2	16	975	28532	5	8	977	28657	2	16	979	28782	3	8	980	28907	13	8	983
28033	8	9	968	28158	13	9	970	28283	12	3	972	28408	2	10	975	28533	5	13	977	28658	3	7	979	28783	4	6	980	28908	13	3	983
28034	9	4	968	28159	13	7	970	28284	13	8	972	28409	2	7	975	28534	5	15	977	28659	3	5	979	28784	4	5	980	28909	13	11	983
28035	9	8	968	28160	13	8	970	28285	13	6	972	28410	3	4	975	28535	5	12	977	28660	3	7	979	28785	4	8	980	28910	13	4	983
28036	10	6	968	28161	13	14	970	28286	13	2	972	28411	3	11	975	28536	6	11	977	28661	3	7	979	28786	5	3	980	28911	13	11	983
28037	11	14	968	28162	13	9	970	28287	13	8	972	28412	3	4	975	28537	7	11	977	28662	4	14	979	28787	5	7	980	28912	13	9	983
28038	11	9	968	28163	13	9	970	28288	13	8	972	28413	3	6	975	28538	7	8	977	28663	4	1	979	28788	6	1	980	28913	13	1	983
28039	11	4	968	28164	13	15	970	28289	11	7	972	28414	5	7	975	28539	7	3	977	28664	4	14	979	28789	6	1	980	28914	13	9	983
28040	12	8	968	28165	13	8	970	28290	13	2	972	28415	6	15	975	28540	7	5	977	28665	4	1	979	28790	7	4	980	28915	13	7	983
28041	13	7	968	28166	13	7	970	28291	13	12	972	28416	6	16	975	28541	7	16	977	28666	4	12	979	28791	8	9	980	28916	13	16	983
28042	13	15	968	28167	13	8	970	28292	14	12	972	28417	8	11	975	28542	7	4	977	28667	4	14	979	28792	8	11	980	28917	13	3	983
28043	13	8	968	28168	14	3	970	28293	14	5	972	28418	8	4	975	28543	7	14	977	28668	6	2	979	28793	8	3	980	28918	13	2	983
28044	13	7	968	28169	14	12	970	28294	14	12	972	28419	10	6	975	28544	8	7	977	28669	7	12	979	28794	9	14	980	28919	14	1	983
28045	13	9	968	28170	14	1	970	28295	14	8	972	28420	10	9	975	28545	8	9	977	28670	7	2	979	28795	10	11	980	28920	14	11	983
28046	13	6	968	28171	14	4	970	28296	15	16	972	28421	10	2	975	28546	8	11	977	28671	8	14	979	28796	10	13	980	28921	14	2	983
28047	13	1	968	28172	14	2	970	28297	15	12	972	28422	11	1	975	28547	9	8	977	28672	9	6	979	28797	10	8	980	28922	14	15	983
28048	13	11	968	28173	14	1	970	28298	16	12	972	28423	11	5	975	2854															

Table with columns: q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq, q, oq, dq, tq. Rows contain numerical data in a repeating pattern.

Table with columns q, oq, dq, tq and rows of numerical data. The table contains 10 columns and 3200 rows of data points.