



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KONYA İLİ KATI ATIK TOPLAMA
SİSTEMİNİN BENZETİLMİŞ TAVLAMA
ALGORİTMASI İLE OPTİMİZASYONU**

Semih CENGİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

ÖZET

YÜKSEK LİSANSTEZİ

KONYA İLİNDE KATI ATIK TOPLAMA SİSTEMİNİN BENZETİLMİŞ TAVLAMA ALGORİTMASI İLE OPTİMİZASYONU

Semih CENGİZ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muciz ÖZCAN

2022, 77 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Muciz ÖZCAN
Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN
Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması ve teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte şehirlerde kullanılan altyapı sistemleri de günden güne farklılaşmaktadır. Üzerinde elektronik sistem olan tüm nesnelerin internete bağlanması fikriyle Endüstri 4.0 kavramı ve teknolojinin şehir altyapılarını geliştirmede kullanılması fikriyle Akıllı Kentler kavramı ortaya çıkmıştır.

Şehirlerdeki nüfusun artması ile birlikte toplanması gereken katı atıkların sayısı da artmıştır. Bu sebeple katı atık toplama araçlarının gezmeleri gereken rota, şehirlerin genişlemesiyle birlikte daha karmaşık bir hale gelmiştir. Atık toplama rotasının sürekli tekrar tekrar gezilmesi gerekliliği bu rotalardaki en küçük bir iyileştirmenin bile yakıt tüketimi için büyük bir kazanç sağlayacağı anlamına gelmektedir. Özellikle fosil yakıtların sürekli artan maliyetleri de düşünülecek olursa, rotanın kısaltılması demek tüm belediyelerdeki yakıt maliyetlerinin düşürülmesine büyük bir katkı sağlayacaktır. Ayrıca yakıt tüketiminin azalması Türkiye'nin Paris Anlaşması kapsamındaki ulusal hedefleri doğrultusunda emisyon oranını düşürmek için önemlidir.

Bu çalışmada, karmaşık problemlerde en iyi çözümlere ulaşabilmek için kullanılan sezgisel optimizasyon algoritmalarından birisi olan Benzetilmiş Tavlama (BT) Algoritması kullanılarak katı atık toplama araçlarının rotalama problemi ele alınmıştır. Metallerin tavlama işleminden esinlenerek ortaya atılan bu algoritma, en iyi çözümü araştırırken bölgesel minimum noktalarından kaçınabilme özelliği ile öne çıkmaktadır.

Uygulama bölgesi olarak Konya'nın Selçuklu İlçesi'nin Kosova Mahallesi seçilmiştir. Konteynerlerin koordinatları çıkarılarak algoritmanın çalıştırılabilmesi için gerekli konteyner mesafeleri elde edilmiştir.

Atık toplama araçların kapasitelerinin sınırlı olması sebebiyle Kosova Mahallesi 7 farklı bölgeye ayrılmıştır. Tüm bölgeler ayrı ayrı değerlendirilerek BT yöntemi ile muhtemel en iyi rotalar hesaplanmış ve çıkan sonuçlar Açgözlü Algoritma ile elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. BT Algoritmasının parametrelerindeki değişimlerin çözüme etkileri ayrı ayrı incelenmiş ve global en iyi çözüm için en verimli değişkenler tercih edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı kentler, Araç yönlendirme problemi, Atık toplama, Benzetilmiş tavlama, Endüstri 4.0, Nesnelerin interneti.

ABSTRACT

MS THESIS

OPTIMIZATION OF SOLID WASTE COLLECTION SYSTEM IN KONYA PROVINCE WITH SIMULATED ANNEALING ALGORITHM

Semih CENGİZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Muciz ÖZCAN

2022, 77 Pages

Jury

Prof. Dr. Muciz ÖZCAN

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

Rapid growth of the world's population alongside further development of technology has its effect on the infrastructure systems... which are following the demands of the modern age. With the idea of connecting all objects with electronic systems to the internet, the concept of Industry 4.0, and the idea of using technology to develop city infrastructures, the concept of Smart Cities has emerged.

With the increase in the population in cities, the number of solid wastes that need to be collected has also increased. For this reason, the route that solid waste collection vehicles have to travel has become more complex with the expansion of cities. The necessity of traveling the waste collection route over and over again means that even the smallest improvement in these routes will result in a huge gain in fuel consumption. Especially considering the ever-increasing costs of fossil fuels, shortening the route will make a great contribution to reducing fuel costs in all municipalities. In addition, the reduction in fuel consumption is important to reduce the emission rate in line with Turkey's national targets under the Paris Agreement.

In this study, the routing problem of solid waste collection vehicles was discussed using the Simulated Annealing algorithm, which is one of the heuristic optimization algorithms used to achieve the best solutions to complex problems. Inspired by the annealing process of metals, this algorithm stands out with its ability to avoid local minimum points while searching for the best solution.

Kosova District of Selçuklu District of Konya was chosen as the application area. Kosova District of Selçuklu District of Konya was chosen as the application area. The necessary container distances to run the algorithm were obtained by subtracting the coordinates of the containers.

Due to the limited capacity of waste collection vehicles, the Kosovo Neighborhood is divided into 7 different regions. All regions were evaluated separately and the best possible routes were calculated by the Simulated Annealing method and the results were compared with the results obtained by the Greedy algorithm. The effects of the changes in the parameters of the Simulated Annealing algorithm on the solution were examined separately and the most efficient variables were preferred for the global best solution.

Keywords: Smart cities, Vehiclerouting problem, Wastecollection, Simulated Annealing, Industry 4.0, Internet of things

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Konya İli katı atık toplama işlemi ihtiyacı ile ortaya çıkan optimizasyon problemine Benzetilmiş Tavlama algoritması kullanılarak yeni bir çözüm yöntemi geliştirmek için yapılmıştır. Uygulama bölgesi olarak Selçuklu İlçesi'nin, Kosova Mahallesi seçilmiştir.

Birinci bölüm yani giriş bölümünde çalışmanın kapsam ve amacına değinilmiştir. Konuyla ilgili literatür taraması yapılmış, uygulama yapılacak konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara kısaca değinilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde optimizasyon kavramına ve optimizasyon algoritmalarının özelliklerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde Benzetilmiş Tavlama Algoritması hakkında bilgi verilmiştir. Bu algoritmanın ortaya atılması, nasıl kullanıldığı, parametreleri, dikkat edilmesi gereken noktalar ve bu çalışmada nasıl kullanıldığı hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde problemin çözümü için geliştirilen yöntem açıklanmaktadır. Çözümün uygulanacağı bölge ile ilgili bilgiler verilmiştir. Altıncı bölümde çalışmanın sonuçları tartışılmış ve önerilerden bahsedilmiştir.

Tez çalışmamda danışmanlığımı üstlenen ve bütün yüksek lisans sürecim boyunca problemlerimi anlayışla karşılayan ve desteklerini esirgemeyen değerli tez danışmanım Prof. Dr. Muciz Özcan'a teşekkür ediyor ve saygılarımı sunuyorum.

Tez sürecim de dahil olmak üzere tüm hayatım boyunca bana karşılıksız destek olan ve bugünlere gelmemi sağlayan aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Semih CENGİZ
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİL VE TABLOLAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.2. Konu ile İlgili Çalışmalar	4
2. OPTİMİZASYON VE GENEL KAVRAMLAR.....	7
2.1. Optimizasyon Algoritmalarının Sınıflandırılması	8
2.1.1. Sezgisel optimizasyon algoritmaları	8
2.1.2. Sezgisel olmayan optimizasyon algoritmaları	8
2.2. Optimizasyon Algoritmalarının Çalışma Bölgesi.....	8
3. BENZETİLMİŞ TAVLAMA (BT) ALGORİTMASI	10
3.1. Standart Bir BT Algoritmasının Adımları	14
3.2. BT Algoritmasının Değişkenleri.....	14
3.2.1. BT Algoritmasının ürettiği çözümlerin gösterim şekli	15
3.2.2. Yeni çözümlerin üretilmesinde komşuluğun etkisi	15
3.2.3. Sıcaklığın değiştirilme yönteminin belirlenmesi, soğutma stratejisi ve katsayısı	16
3.3. BT Algoritmasının Özellikleri	17
3.4. Açgözlü (Greedy) Algoritma	18
4. KATI ATIK TOPLAMA SİSTEMİNDE BT ALGORİTMASININ KULLANIMI	20
4.1. Problemin Tanımlanması	20
4.2. BT Algoritması ve Açgözlü Algoritmanın Probleme Uygulanması.....	23
4.2.1. Kullanılan uygulamalar ve yazılım geliştirme ortamı	23
4.2.2. Harita verilerinin elde edilmesi ve kullanılması	25
4.2.3. BT Algoritması parametrelerinin çalışmaya etkileri	28
4.2.4. BT Algoritması ve Açgözlü Algoritma çıktıları	35
4.3. Atık Konteynerlerinin Doluluk Kontrolü	40
4.3.1. Doluluk kontrolü yapılmış sistemin çıktısı	42

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
6. KAYNAKLAR	48
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- P** : Yeni çözümün kabulü için kıyaslama değeridir
- E** : Sistem enerjisi
- e** : Euler sayısı
- k** : Boltzmann Sabiti
- T** : Sıcaklık
- T_i** : i 'inci iterasyondaki sıcaklık
- T_s** : Son sıcaklık
- T_b** : Başlangıç sıcaklığı
- T_k** : k . iterasyondaki sıcaklık
- T_{k+1}** : $k+1$. iterasyondaki sıcaklık
- α** : Soğutma oranı
- β** : Lundy ve Mees tipi soğutma katsayısı
- ε** : Donma sıcaklığı
- C_i** : i . iterasyondaki çözüm
- C_{i-1}** : $i-1$.iterasyondaki çözüm, önceki en iyi çözüm
- ΔC** : Yeni çözüm ile bir önceki çözüm arasındaki maliyet farkı
- S** : Başlangıç çözümü
- R** : 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı
- M** : Toplam iterasyon sayısı
- exp** : Üstel fonksiyon

Kısaltmalar

BT	: Benzetilmiş Tavlama
3B	: 3 Boyut
GA	: Genetik Algoritma
TS	: Tabu Arama (Tabu Search)
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
KKA	: Karınca Koloni Algoritması
SA	: Simulated Annealing (Benzetilmiş Tavlama)
GSP	: Gezgin Satıcı Problemi
GAMS	: Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (GenericAlgebraicModelingSystem)
RF	: Radyo Frekans
GPRS	: Genel Paket Radyo Servisi (General Packet Radio Service)

ŞEKİL VE TABLOLAR

Şekil 2.1 Bölgesel ve Global Minimum Noktaları	9
Şekil 3.1 Isıl işlem adımları	11
Şekil 3.2 Standart bir BT Algoritması akış diyagramı	13
Şekil 3.3 Genel bir Açgözlü algoritma akış diyagramı	19
Şekil 4.1 Kosova Mahallesi Zemine Gömülü Çöp Konteyneri	21
Şekil 4.2 Atık konteynerlerinin çöp aracına boşaltılması	22
Şekil 4.3 Pycharm ile Python geliştirme ortamının ekran görüntüsü	24
Şekil 4.4 Sırasıyla 1. Bölge Konteyner Koordinatları	26
Şekil 4.5 1. Bölge Konteynerler arası mesafeler (m)	27
Şekil 4.6 Kosova Mahallesi 1. Bölge konteynerlerin konumlarını gösteren harita	28
Şekil 4.7 Başlangıç sıcaklığı $T=1000$ alındığında bulunan uygun çözümleri gösteren grafik	30
Şekil 4.8 Başlangıç sıcaklığı $T=100$ alındığında bulunan uygun çözümleri gösteren grafik	30
Şekil 4.9 Başlangıç sıcaklığı $T=10$ alındığında bulunan uygun çözümleri gösteren grafik	30
Şekil 4.10 Başlangıç sıcaklığı $T=10$ sabit tutulup, α değiştirildiğinde oluşan uygunluk değerleri – iterasyon grafikleri	34
Şekil 4.11 BT Algoritması çalıştırıldığında oluşan çıktı	36
Şekil 4.12 Açgözlü Algoritmanın izlediği rota	37
Şekil 4.13 BT Algoritmasının izlediği rota	37
Şekil 4.14 1. Bölge için boş konteynerler tespit edildiği durumda BT Algoritmasının çıktısı	36
Şekil 4.15 1. Bölge için boş konteynerler ve dolu konteynerlerin konumları	37
Şekil 4.16 1. Bölge için BT Algoritmasının izlediği rota	374
Tablo 4.1 BT Algoritmasının başlangıç sıcaklığı değişimine verdiği tepki	29
Tablo 4.2 BT Algoritmasının soğutma katsayısı değişimine verdiği tepki	32
Tablo 4.3 BT Algoritmasının maksimum iterasyon limitine verdiği tepki	35
Tablo 4.4 Bölgelere göre elde edilen sonuçlar	39

1. GİRİŞ

Akıllı Şehir kavramı, ortaya atıldığından bu yana hem akademik çalışmalarda hem de ülkelerin gündem maddelerinde üst sıralarda yer almaktadır. Akıllı şehir projeleri, şehirlerde hayatın sürdürülebilirliği için karşılaşılabilecek sorunları açıklamak ve bu sorunlara etkili çözümler üretmeyi amaçlamaktadır. Bilgi teknolojileri alanında dünyada meydana gelen teknolojik sıçramayla birlikte akıllı şehir kavramı, şehirlerin refah hedeflerine ulaşmak için stratejik yol haritası olarak görülmektedir [1].

Dünya ekonomisini çok ciddi etkileri olmuş 5 kritik konu [2] bu gelişmelerin ortaya çıkmasındaki temel etkenler olarak görülmektedir.

- 1) Ani gelişen şehirleşme
- 2) Ekonomik yapı ve teknolojik dönüşüm
- 3) Nano teknoloji, gen ve biyoloji, yenilenebilir enerji konularındaki gelişmeler
- 4) Gelişmekte olan ülkelerdeki demografik yapının değişimi
- 5) Globalleşme

Bu kritik olayların yaşanması sonucu özellikle dijital dönüşüm sürecindeki hızlanma ile birlikte, birbirlerine doğrudan etki eden bu değerlerin kendi içlerinde otomasyonunun ötesinde birbirleri ile birlikte hareket etmesi fikri endüstri 4.0 terimini ortaya çıkarmıştır. Tüm sistemlerin zincirin halkaları gibi birbirine bağlı olması ve gerçek zamanlı olarak birlikte hareket etmesi, birbirleri ile sürekli iletişim halinde olması dolayısı ile akıllı bir yapının oluşması temel hedeftir [2].

Endüstri 4.0 kavramının gelişmesini ve ilerlemesini sağlayan temel 9 teknolojiyi şu şekilde sıralayabiliriz: Akıllı Robotlar, Simülasyon, Yatay/dikey yazılım entegrasyonu, Nesnelerin interneti, Siber güvenlik, Bulut, Eklemeli Üretim (3B baskı), Arttırılmış (zenginleştirilmiş) gerçeklik, Büyük veri ve analiz [2].

Bu gelişmeler ışığında Akıllı Şehir kavramıyla birlikte kentsel hizmetler konusunda daha bütünsel bir yaklaşım benimsenmeye başlanmıştır. Şehirlerdeki mevcut altyapı imkanlarını daha verimli kullanabilmek adına bilgi teknolojilerine başvurulmaktadır [3].

Şehirlerdeki yoğun nüfus sebebiyle ortaya çıkan sorunların en aza indirilmesi için; akıllı enerji sistemleri, akıllı ulaşım sistemleri, akıllı statlar, akıllı hastaneler, akıllı havalimanları gibi pek çok farklı alanda çalışmalar yapılmaktadır. Aynı ayrı yapılan bu çalışmaların hepsi Akıllı Şehir yapısı kurma hedefinin bir parçasıdır.

İnsanların daha konforlu, verimli, rahat ve daha güvenli bir hayat sürme amaçları teknolojik yapıların kullanımıyla birleşerek daha hızlı, hatasız ve otomatik süreçleri doğurmuş dolayısıyla bu süreçler Akıllı Şehirlerin zeminini oluşturmuştur [4].

Nüfusu kalabalık olan şehirlerde gözlemlenen problemlerden bir tanesi her geçen gün atık miktarının giderek artmasıdır. Atık toplama işleminin düzenli bir şekilde yapılması, atıkların çevreye ve insan sağlığına zarar vermemesi için önemlidir. Dolayısıyla Akıllı Şehirlerin alt yapıları için atık toplama sistemleri önemli bir rol üstlenmektedir. Kentleşmedeki artış ve doğal kaynakların kısıtlı olması sebebiyle verimli atık toplama işlemi önemlidir. Atıkların evlerden, fabrikalardan doğrudan alınması veya belirli bölgelerdeki atık konteynerlerinden toplanması gibi farklı katı atık toplama yöntemleri bulunmaktadır [5].

Katı atıklar toplanırken belirli bir güzergâh kullanılmaması, konteynerlerin doluluk durumunun önceden kontrol edilmemesi gibi sebepler hem uygulama sırasında zaman kayıplarına yol açmakta hem de gereksiz yakıt sarfiyatı sebep olmaktadır. Yakıt sarfiyatının artması ülkemizin ulusal enerji politikası için olumsuz bir durum oluşturmaktadır [6].

Nüfusun artması ve teknolojinin hızlı gelişmesi ile birlikte fosil yakıt kullanımı arttığı için doğaya salınan zararlı gazların miktarı da giderek artmıştır. Bu zararlı gazlar sebebiyle sera gazı etkisi denilen durum gerçekleşmiş, sıcaklıklar artmaya başlamış, iklim değişiklikleri gözlemlenmeye başlamıştır. Dünya genelini etkileyen bu durum insanlığın geleceği için bazı adımlar atılmasını gerektirmiştir. Bu adımlardan birisi de Paris anlaşmasıdır [7]. 2015 yılında imzalanan ve 2016 yılında yürürlüğe giren bu anlaşmaya göre, ülkeler küresel sıcaklık artışını sınırlamaya yönelik önlemler alması gerekmektedir. Bu önlemlerden birisi fosil yakıtlar sebebiyle doğaya salınan gazların miktarını kısıtlamaktır [6]. Türkiye de uluslararası enerji politikası doğrultusunda, Paris Anlaşması'nı imzalayarak taraf ülkelerden birisi olduğunu 7 Ekim 2021 tarihli resmî gazete ile duyurmuştur. Anlaşmaya göre 2030 yılına kadar emisyonların %50 azaltılması, 2050 yılına kadar da sıfır emisyon değerine ulaşılması hedeflenmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu araştırmanın amacı Akıllı Şehirlerdeki atık toplama sürecinde, katı atık konteynerlerinin doluluk durumunun belirlenip, anlık doluluk durumuna göre rastgele ortaya çıkan araç rotalama problemine BT Algoritması ile optimum bir rota çözümü

üretmektir. Bu atık toplama yöntemlerinin daha sistematik ve verimli yapılabilmesi için nesnelerin interneti kavramını da kapsayan, yukarıda bahsedilmiş akıllı bir yapı amaçlanmaktadır.

Katı atıkların toplanma işlemi hizmet sektörü için maliyetli bir iştir. Bu maliyetin takip edilmesi ve azaltılması için çeşitli atık yönetim sistemleri kullanılmaktadır. Bu atık yönetim sistemleri ile atık toplama sürecinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır [8]. Atık toplama sürecinde araçların rotalarının önemli olmasının yanında, bu süreç için kullanılan araçların tipleri de önem kazanmaktadır. Atık toplayan çöp kamyonlarının yakıt çeşidi, yakıt tüketim miktarı, karbon salınımı çevreci bir sistem oluşturmak için dikkat edilmesi gereken hususlardandır.

Ülkemizin de taraf olduğu Paris Anlaşması gereği, 2030 ve 2050 yıllarına kadar emisyon değerlerinin azaltılması gerekmektedir. Bu sebeple fosil yakıt kullanan araçların emisyon değerleri için önlemler alınması gerekmektedir. Dizel motorlu araç kullanılan atık toplama sistemlerinde de bu duruma önlem olarak ciddi adımlar atılması gerekmektedir. Araçların güzergâhlarındaki iyileştirmeler bu adımlardan birisi olarak gösterilebilir.

Atık toplama rotası optimizasyonu problemi, belirli bir bölgedeki atıkların toplanması sırasında gereksiz dolaşımın engellenmesi amacıyla çöp konteynerlerindeki doluluk miktarının önceden kontrol edilmesi sistemine dayanmaktadır. Bu sistem sayesinde zamandan ve yakıttan tasarrufun yanı sıra, çevreye salınan zararlı gazların azaltılması da amaçlanmaktadır. Tek bir güzergâh için ciddi gibi görülmeyecek bu problemin bir ilçenin tüm mahallelerinde, bir ilin tüm ilçelerinde gerçekleşmesi sebebiyle büyük bir verimsizlik örneği oluşturmaktadır [9].

Önerilen sistemin ülkemizin taraf olduğu Paris Anlaşması gereği emisyon değerlerinin azaltılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı çerçevesinde, şehirlerimizin Akıllı Şehirler haline gelebilmesi için çözülmesi gereken problemlerden birisi olan katı atık toplama/bertaraf etme probleminin giderilmesine ve bu konudaki verimliliğe katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın açıkladığı hedefler doğrultusunda, Akıllı Şehir çözümleriyle birlikte atık yönetimindeki verimsizlikleri gidererek, doğaya ve çevreye verilen zararı en alt seviyeye düşürerek, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Atık çöp toplama araçlarının rotalarının optimizasyonu ile atık türüne uygun alt yapılar oluşturulması, akıllı konteyner sistemlerinin

yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Depozitolu atık sisteminin yaygınlaştırılarak, atık toplama sistemiyle geri dönüştürülebilir atıkların verimliliğini artırmak hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda elde edilecek sonuçlardan ülkemiz için yapılması gereken geri dönüşüm fabrikalarına taşınacak atıklar için de gerçekleştirilebilir bir tez çalışması olması hedeflenmektedir.

Önerilen optimizasyon algoritmasının probleme uygulanacağı bölge Konya İl'inin, Selçuklu İlçesi'nin, Kosova Mahallesi'dir. Kosova Mahallesi'ndeki atık toplama konteynerlerinin konumlarına ve boş-dolu olma durumlarına göre çöp toplama aracının rotası her toplama işlemine başlamada optimize edilecek ve toplanması gerekli olan konteynerler arasındaki en kısa rotayı hesaplayarak atık toplama sisteminin verimini artıracaktır.

1.2. Konu ile İlgili Çalışmalar

Şehirlerdeki nüfus artışı ile birlikte Akıllı Şehirler ile ilgili yapılan çalışmalar da hız kazanmıştır. Akıllı Şehirler için önemli konulardan birisi olan şehir altyapısının geliştirilmesi konusu içerisinde, mahalle ve sokaklardaki katı atıkların toplanması süreci de önemli bir yer tutmaktadır. Katı atık toplama sürecini optimize etmek için önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde katı atık toplama süreci ile ilgili çalışmalara kısaca yer verilmiştir.

M. Altıok'un 2016 yılında hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde, katı atık toplama sistemleri için rotalama problemini ele almıştır. Uygulama bölgesi olarak, Konya İl'inin Selçuk İlçesi'nin Kosova Mahallesi ve Sancak Mahallesi'ndeki katı atık konteynerlerini tercih etmiştir. Problemin çözümü için Karınca Kolonisi Algoritması ve Genetik Algoritmayı kullanmıştır. Bu iki algoritmanın sonuçları mevcut yöntem ile kıyaslanmıştır. Çalışmada, optimizasyon algoritmalarının kullanılmasının hareket edilmesi gereken rotaları ciddi anlamda kısalttığı, bu sayede de önemli ölçüde yakıt tasarrufu sağlanabileceği gösterilmiştir [9].

Oğuzhan Erdiñç'in 2018 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, katı atık yönetim sürecini ele almıştır. Bu çalışmasında Erdiñç, konvansiyonel yakıt kullanan katı atık toplama araçları yerine elektrikli çöp araçları için katı atık toplama rotası optimizasyonu çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada elektrikli araç sürüş dinamikleri modellemiş ve rotalama problemi için bir çözüm önerisi ortaya konmuştur. Problemin çözümünde GenericAlgebraicModelingSystem (GAMS) yazılımından kullanılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda optimizasyon yaklaşımı sayesinde yaklaşık %32'lik bir fayda sağlanabileceği öngörülmüştür [8].

Mehmet Özmen'in 2021 yılında hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde, akıllı şehirlerdeki atık problemlerini ele alınmıştır. Yaptığı çalışmada atık konteynerlerinin doluluk oranlarının kontrolü sağlanarak, atık toplama araçlarının rotasını minimum seviyeye indirmeyi amaçlamıştır. Dolu konteynerlerin konumlarını tespit ederek Genetik Algoritma yardımı ile optimum rotayı oluşturmayı amaçlayan bir çalışma ortaya koymuştur. Önerilen çözüm C# programlama dili ile gerçekleştirilmiş, mesafe verileri için Google mesafe bulma ve rota çizme uygulamalarından faydalanılmıştır. Deneysel çalışma bölgesi olarak İstanbul Küçükçekmece bölgesindeki atık konteynerleri için optimum rota hesaplaması yapılmıştır [5].

Mert Kolukısaoğlu ve arkadaşlarının 2018'de yayınladığı çalışmada, katı atıkların toplanması ve geri dönüşümü konusu ele alınmıştır. Atık toplama işleminde kullanılan araçların toplama kapasiteleri ve atıkların bertaraf edilmesi gereken yere ulaştırılması sırasında kat edilen mesafeler hesaplanarak, atık toplama işleminin maliyet analizini ortaya çıkarmayı amaçlayan bir çalışma ortaya konmuştur. Atık toplama sıklığının maliyete etkisi de dikkate alınarak, atıkların bertaraf edilmesi için götürülmesi gereken tesisin yerleşkeden 30km uzakta olduğu bir durumda, katı atık toplama ve taşıma maliyetinin %30 oranında azaltılabileceği gösterilmiştir [10].

Hoang Lan Vu ve arkadaşlarının 2019 yılında yayınladıkları çalışmada, küçük bir atık toplama bölgesindeki toplama sıklığı, atık bileşimi, toplama tipi, kamyon tipi gibi 48 farklı senaryo oluşturularak bu parametrelerin çöp toplamaya etkisini araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma, atık toplama aracının çöp kapasitesinde %25 artışa gidilmesi sayesinde, aracın gezeceği rotada %4,1 ile %24,4 arasında bir kazanç sağlanabileceğini göstermektedir. Atık toplama sıklığı ve atık yoğunluğu artırıldığında ise çöp aracının kat edeceği mesafelerde %18,2'ye, çöp aracının seyahat süresinde ise %41,9'a varan tasarruf sağlanabileceği gösterilmiştir [11].

Jaydeep Lella ve arkadaşlarının 2017 yılında yayınladıkları çalışmada, kentlerdeki kontrolsüz nüfus artışının olumsuz etkileriyle birlikte kalkınmanın sürdürülebilirliği için doğal kaynak kullanımının azaltılmasına ve kaynakların israftan geri kazandırılmasına dikkat çekilmektedir. Hindistan'da akıllı şehirlerden birisi olan Vellore'de yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre, katı atık toplama rotaları ve rutin toplama yapılan bölgelerdeki seyahat mesafesi %59,12 azaltılmıştır [12].

Yin Chen ve arkadaşlarının 2018 yılında yayınladıkları çalışmada, akıllı şehirlerin araştırılması, geliştirilmesi ve uygulanmasında vazgeçilmez temellerden biri kentsel algılama teknolojisi olarak gösterilmiştir. Japonya, Fujisawa'daki katı atık toplama araçlarına yerleştirdikleri sensörler ve haberleşme sistemleri ile, akıllı şehir uygulamalarında önemli bir teknoloji olan kentsel algılama sistemini ele alarak, o bölgede bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucuna göre; bir adet proxy sunucusuna sahip olan bir katı atık toplama aracında için kurulan sistem 100Hz örnekleme hızı için 200 sensöre kadar ölçeklenebilir, sensörlerden toplanan veriler birkaç yüz mili saniye içerisinde veri sunucusuna gönderilebileceği belirtilmiştir. Çalışma 3G teknolojisi ile gerçekleştirildiği için, bu teknolojide yapılacak iyileştirmelerden olumlu etkileneceğine değinilmiştir [13].

Zubov V. V. ve arkadaşlarının 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada, katı atık toplama araçlarının mekanik yapılarının, atık toplama performansına etkisini araştırmış ve bu kapsamda çöp aracının çerçevesinin yeniden tasarlanarak, katı atık toplama kamyonu gövdesinde atıkların yandan yüklenmesini sağlayan bir yapının proses modeli gerçekleştirmiştir [14].

2. OPTİMİZASYON VE GENEL KAVRAMLAR

Algoritma, bir problemi çözmek veya belirli bir görevi yerine getirmek için tanımlanmış talimatlar bütünüdür [15]. Optimizasyon algoritmaları ise günümüzde birçok probleme çözüm üretebilmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Optimum kelimesi en iyi veya en uygun gibi anlamlara gelmektedir [16]. Optimizasyon kelimesi ise, bir problemin belirli bir çözüm alanında, belirli kısıtlar dahilinde en doğru ve en verimli şekilde çözülmesidir [17]. Optimizasyon algoritmaları ile çözülen ve en iyi çözümün arandığı problemlere ise optimizasyon problemleri denir [18].

Bir çalışmada kârın artırılmak istenmesi, maliyetin düşürülmek istenmesi, belirli bir alanı en verimli şekilde kullanma, seri üretim yapılan fabrikalarda belirli bir sürede üretilen ürün sayısını artırma gibi çalışmalar optimizasyon alanına girmektedir [19]. Optimizasyon problemleri mühendisliğin birçok dalında farklı farklı şekillerde karşımıza çıkan problemlerin modellenmesiyle oluşturulabilir. Birkaç örnek vermek gerekirse [17]; sinyal işleme uygulamaları, elektronik devre tasarımı uygulamaları, üretim planlama, ağ yönetimi ve veri tabanı uygulamaları vb.

Tüm optimizasyon algoritmalarının belirli kısıtlamaları vardır. Bazı optimizasyon algoritmaları büyük değerler için, bazıları küçük değerler için, bazıları rastgele değerler için, bazıları ayrık değerler için oluşturulmuş problemlerde etkili sonuçlar verebilir. Bu nedenle problemin doğru analiz edilip, probleme uygun bir optimizasyon algoritması oluşturmak önemlidir [15]. Uygun optimizasyon algoritmasını seçtikten sonra, algoritmanın parametrelerini, limitlerini, başlangıç ve bitiş noktalarını belirlemek de optimum çözüme ulaşabilmek için önemlidir.

Optimizasyon probleminin matematiksel olarak doğru bir şekilde ortaya çıkarılabilmesi yani modellenmesi ve probleme en iyi çözümün üretilmesi yani çözümlenmesi bu sistemlerin önemli iki bileşenidir. Model, büyük yapıların aynı özellikler korunarak daha küçük bir yapı şeklinde ifade edilebilmesidir [20]. Her optimizasyon probleminin sahip olması gereken üç temel unsur şu şekildedir; karar değişkeni, kısıtlamalar ve amaç fonksiyonu [17]. Amaç fonksiyonu optimizasyon probleminin türüne göre maksimize edilecek veya minimize edilecek yani optimumu bulunması gereken fonksiyondur [19]. Bir optimizasyon probleminde bilinmeyenleri oluşturan karar değişkenleridir ve bu bilinmeyenler amaç fonksiyonunu etkilemektedir. Optimizasyon probleminin kısıtlamaları değişkenlerin alabileceği değerleri belirlemek ve kısıtlamak demektir. Her optimizasyon probleminde bulunması zorunlu değildir [17].

2.1. Optimizasyon Algoritmalarının Sınıflandırılması

Optimizasyon algoritmaları ikiye ayrılmaktadır. Bunlar: Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları ve Sezgisel Olmayan Optimizasyon Algoritmaları.

2.1.1. Sezgisel optimizasyon algoritmaları

Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları global en iyi çözüme ulaşabilmek için rastgele çözümler üretmeye dayanır. Çözüm uzayının çok geniş olduğu problemlerde sezgisel olmayan algoritmaların kullanımı hem daha uzun sürdüğünden hem de daha maliyetli olduğundan tercih edilmemektedir [21]. Arama uzayını daha verimli ve aktif kullanılmasını sağlayan, sezgisel yöntemlerin gelişmiş haline ise metasezgisel yöntemler denir. Sezgisel yöntemler global en iyi çözümü bulmayı her zaman garanti etmezler ancak karmaşık problemler için etkin çözümler üretebilmeleri sebebiyle çokça tercih edilmektedirler. Metasezgisel algoritmalar, sezgisel ve sezgisel olmayan algoritmalara göre daha başarılı olsalar da her problemde yüksek başarı gösteremeyebilirler, bu sebeple problemin türüne göre doğru yöntemin tercih edilmesi gerekir [20]. Metasezgisel algoritma örnekleri şunlardır; Genetik Algoritma (GA), Tabu Arama (TS), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Karınca Koloni Algoritması (KKA) [19].

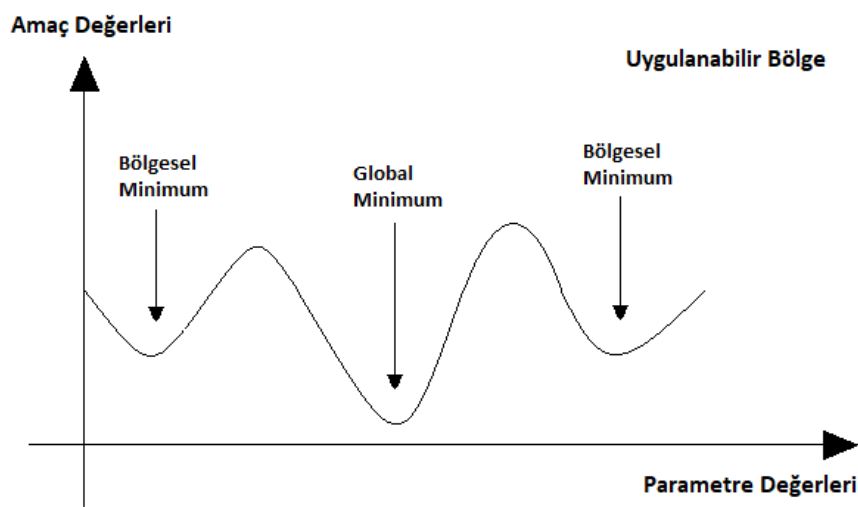
2.1.2. Sezgisel olmayan optimizasyon algoritmaları

Sezgisel olmayan optimizasyon algoritmaları amaç fonksiyonunun türevini veya eğimini kullanarak global en iyi çözümü bulmayı amaçlar. Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları geniş bir uzayda çözüm aradığı için sonuca yaklaşık değerler vermeleri beklenirken, sezgisel olmayan optimizasyon algoritmaları problemin çözümü için kesin sonuçlar verir [20].

2.2. Optimizasyon Algoritmalarının Çalışma Bölgesi

Çözüm üretilmeye çalışılan optimizasyon problemi için, tüm problem kısıtlarının sağlanabildiği seçenekleri içeren kümeye fizibil bölge veya diğer bir adıyla uygulanabilir bölge denir [17]. Kullanılacak optimizasyon algoritmasının

parametrelerinin uygun değerler arasında olduğu kabul edildiğinde, problemin türüne göre; olması gereken minimum değer arandığı minimizasyon problemleri için muhtemel çözümlerden en düşük değerler, olabilecek en yüksek değer arandığı maksimizasyon problemleri içinse muhtemel çözümlerden en büyük değerler bölgesel optimum noktaları olarak adlandırılır. Bulunan muhtemel çözüm noktalarının uygulanabilir bölge içerisindeki en iyi çözümü ise optimum çözümdür. Şekil 2.1’de uygulanabilir bölge ile ilgili terimler gösterilmiştir. Optimizasyon probleminin çözümü için ulaşmaya çalıştığımız hedef nokta Global Minimum noktasıdır.



Şekil 2.1 Bölgesel ve Global Minimum Noktaları

Optimizasyon probleminin çözümü için hazırlanmış algoritma global minimum noktasına ulaşmak yerine Şekil 2.1’de gösterilen bölgesel minimum noktalarından herhangi birisinde takılıp kalırsa, bu durum erken yakınsama olarak adlandırılır. Bulunan çözüm noktasına optimum nokta denilebilmesi için gerek ve yeter şartların sağlanması gerekmektedir. Bu şartları sağlayamayan çözümler optimum çözüm olarak değerlendirilemezler [17].

3. BENZETİLMİŞ TAVLAMA (BT) ALGORİTMASI

Yerel arama ve optimizasyon için kullanılan algoritmalar son zamanlarda doğadan ilham alarak oluşturulmaya başlanmıştır [22-23]. Doğadan ilham alan algoritmalarından birisi olan Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing) Algoritması Kirkpatrick, Gelatt ve Vecchi (1983) tarafından önerilmiştir [24]. İsminden de anlaşılacağı üzere BT Algoritması metallerin tavlama işleminden ilham alınarak ortaya çıkarılmış olasılık temelli sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır [25-26]. BT Algoritması yerel arama problemlerinde etkili sonuçlar almak için kullanılan bir algoritma çeşididir [22].

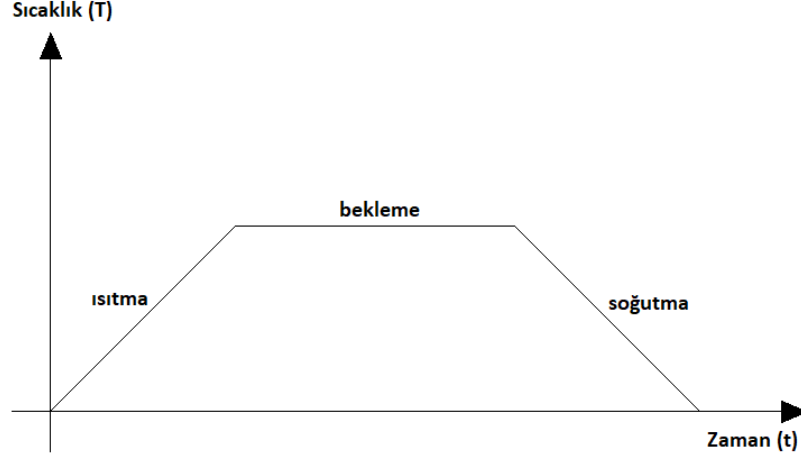
Tavlama işlemi katı bir cismi en yüksek sıcaklığına kadar ısıttıktan sonra yavaş yavaş soğutulması sürecidir. Isıtılarak en yüksek sıcaklığına getirilen katı maddenin atomların dengesiz yapısı [25-27] cisim yavaş yavaş soğutulduğunda potansiyel enerjiyi minimize ederek, cismin atomlarının rahat hareket ederek, mükemmel bir şekilde dizilmesini sağlar [22]. Bu mükemmel yapının sağlanabilmesi için soğutma işleminin oldukça yavaş gerçekleşmesi gerekir [15]. Soğutmanın hızlı gerçekleşmesi düzensizliklere yol açar, elde edilmek istenen kristal yapının bozuk olmasına sebep olur.

BT Algoritmasının en önemli özelliklerinden birisi mevcut çözümden daha maliyetli çözümleri de yeni çözüm için ihtimal olarak değerlendirebilmesi ve yerel minimum noktasına takılmamasıdır [28]. Bu sistemi oluşturabilmek için Boltzmann dağılımından faydalanılmaktadır. Denklem 3.1'de P , [0,1) aralığında rastgele bir ondalık sayı ile kıyaslanarak maliyeti daha fazla olan çözümlerin de değerlendirmeye alınabilmesini sağlar.

$$P(E) = e^{-E/(kT)} \quad (3.1)$$

Şekil 2'de ısıtma işlem adımları gösterilen, metalleri ısıtılıp yavaş yavaş soğutulmasına dayanan BT Algoritmasına bu işlemler şu şekilde yansımıştır [17]; ısıtılma süreci yani sıcaklığın yüksek olması seçiciliğin az olması demektir. Bu evrede kötü çözümler bile yüksek olasılıkla kabul edilebilir. Yavaş yavaş soğutma evresiyle birlikte seçicilik de artarak, her adımda kötü çözümlerin kabul edilebilirlik olasılığı da düşerek, sistem daha iyi çözümlere ulaşmayı sağlamış olur. Aramanın bu şekilde bir yöntemle yapılmış olması keşfedilecek arama uzayının geniş olmasını sağlarken, yerel optimuma takılmayı da engeller [27]. Yerel optimum arama algoritmalarından birisi

olan BT, global optimum noktasını ararken yerel optimumlara takılmaması özelliği nedeniyle tercih edilen arama algoritmalarından birisidir [15]. BT Algoritması, Metropolis algoritmasında gözlemlenen eksikliklerin giderilmesi ile ortaya çıkmış bir optimizasyon algoritmasıdır [28].



Şekil 3.1 Isıl işlem adımları

BT Algoritmasının ana parametreleri şu şekildedir; T sıcaklık değerini göstermektedir, alfa (α) soğutma oranını temsil etmektedir, (ϵ) donma değerini göstermektedir [28].

BT Algoritması genellikle rastgele bir çözüm kümesi oluşturulması ile başlar. Bu çözüm kümesi üretildikten sonra problem uzayında oluşturulan rastgele çözüme yakın yeni bir çözüm üretilir ve bu iki çözümün maliyetlerindeki değişim kıyaslanır. Denklem 3.2'deki C_i 'i'nci iterasyondaki yeni elde edilen çözümü ifade ederken, C_{i-1} ise $i - 1$ 'inci iterasyondaki çözümü yani, yeni çözüm elde edilmeden önceki en iyi çözümü ifade eder [29].

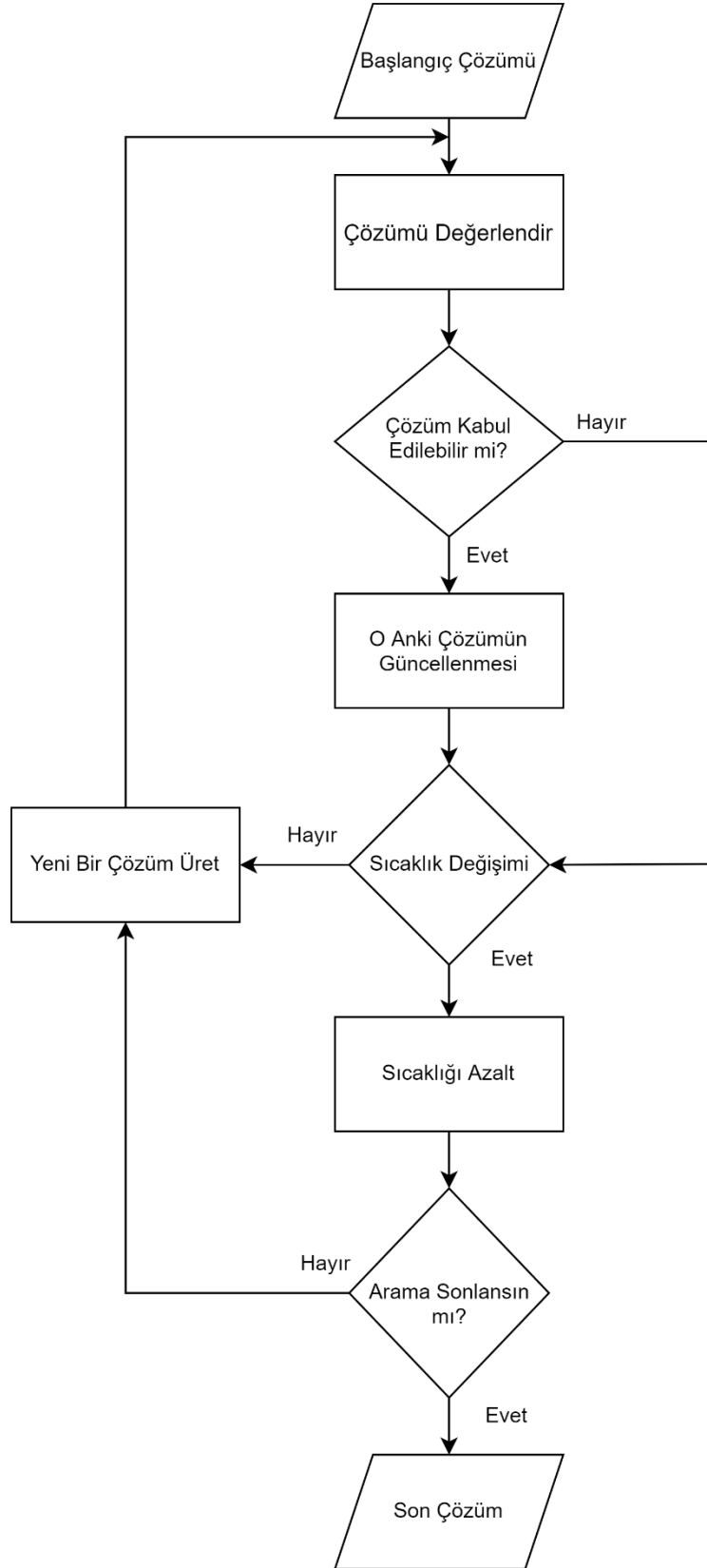
$$\Delta C = C_i - C_{i-1} \quad (3.2)$$

Yeni elde edilen çözüm maliyet açısından önceki çözüme göre avantajlı ise, o an elde olan en iyi çözüm ile yeni üretilen çözüm değiştirilir. Yeni çözüm artık en iyi çözüm olur. Yeni çözüm maliyet açısından avantajlı değilse eski çözüm Denklem 3.3 doğrultusunda en iyi çözüm olarak tutulmaya devam edilir. Yeni çözüm ve o anki en iyi çözüm arasındaki maliyet farkı ise ΔC ile ifade edilmektedir.

$$\exp(-\Delta C/T) > R \quad (3.3)$$

0 ile 1 arasında rastgele bir sayı olan R , düzgün dağıtımli olacak şekilde üretilmektedir. Sıcaklığın, yani T 'nin başlangıçta yüksek olması, bulunan yeni çözümlerin uygunluk şansını artırır. Süreç ilerledikçe T sıcaklığı düşürülür. Sıcaklık düşürüldükçe maliyeti daha düşük çözümler elde edilir, yani çözümlerdeki seçicilik giderek artar. Yakın çözümlerde daha fazla bir değişiklik gözlemlenmiyorsa Tavlama süreci tamamlanır. BT Algoritmasının adımlarını gösteren akış şeması Şekil 3.2'de verilmiştir [29].

Soğutma sürecinin nasıl işleyeceğini yani her iterasyonda sıcaklığın ne kadar düşürüleceği önceden belirlenir. İterasyon sayısı ve algoritmayı durdurma kriteri de önceden belirlenir.



Şekil 2.2 Standart bir BT Algoritması akış diyagramı

3.1. Standart Bir BT Algoritmasının Adımları

Adım 1: Başlangıç çözümü olarak rastgele bir çözüm üret. (C_{i-1})

Adım 2: Arama uzayında daha önce üretilen başlangıç çözümüne yakın yeni bir C_i çözümü üret ve bu iki çözüm arasındaki farkı hesapla (ΔC).

Adım 3: Yeni üretilen çözüm C_i , önceki en iyi çözümden C_{i-1} daha iyi ise, yani; $\Delta C > 0$ ise veya $\exp(-\Delta C/T) > R$ ise en iyi çözümü güncelle, bu şartların ikisini de sağlamıyorsa eski çözümü en iyi çözüm olarak tutmaya devam et.

Adım 4: Soğutma planına uygun bir şekilde T sıcaklığını güncelle

Adım 5: Durdurma kriterleri sağlanıyorsa son çözümü en iyi çözüm olarak kabul et ve algoritmayı sonlandır, kriterler sağlanmıyorsa Adım 2'ye dön ve daha iyi çözümler aramaya devam et.

3.2. BT Algoritmasının Değişkenleri

BT Algoritmasının belirlenen bir probleme uygulanabilmesi için, algoritmanın çalışması sırasında kullanılması gereken değişkenlerin, yani parametrelerin önceden doğru bir şekilde belirlenmesi önemlidir [30]. Standart bir BT Algoritmasını sağlıklı bir şekilde uygulayabilmek için bilmemiz gereken on iki farklı değişkenden veya terim vardır. Bunlar; başlangıç sıcaklığı, anlık sıcaklık, bitiş sıcaklığı, soğutma değeri, çözüm uzayı, aday çözüm veya alternatif, şu anki çözüm veya son çözüm, amaç fonksiyonu, tekrar limiti, aday çözümün kabul modelidir [31]. Bu değişkenler algoritmanın adımları arasındaki geçişlerin nasıl olacağına karar vermek için kullanılmakta ayrıca algoritmanın çalışmasını ne zaman sonlandırması gerektiğini belirlemek için kullanılmaktadır. Standart bir BT Algoritmasının gerçekleştirilmesi için aşağıdaki maddelerin karar vermek gerekir [16].

- Algoritmanın ürettiği çözümleri gösterim şekli
- Farklılıkların sağlanabilmesi için yeni çözüm üretiminde komşuluklara yapılan hareket
- Sıcaklığın değiştirilme yönteminin belirlenmesi, soğutma planı belirleme
- Algoritmanın çalışmasını durduracağı koşullara karar verme

3.2.1. BT Algoritmasının ürettiği çözümlerin gösterim şekli

BT Algoritmasının oluşturacağı çözümlerin gösterim şeklinin belirlenmesidir. İki farklı yöntem bulunmaktadır [29]. Bu yöntemlerden birincisi ikili dizi yönteminin kullanılmasıdır, ikinci yöntem ise vektör yöntemidir. Bu yöntemde gerçek sayılar veya tam sayılar birer vektör olarak kullanılır. Bu yöntemlerden birisine karar verilmesi her problem için farklılık gösterebilir. BT Algoritmasının çalışma performansını etkileyen önemli değişkenlerden bir tanesidir.

3.2.2. Yeni çözümlerin üretilmesinde komşuluğun etkisi

BT Algoritması en iyi sonucu bulabilmek iterasyonlar boyunca, bir öncekinden daha iyi çözümler üretmeye çalışmaktadır. Bu süreci gerçekleştirirken komşuluk hareketi ile bir önceki çözüme yakın olan yeni bir çözüm üretilip, bu üretilen çözümlerin yeterli olup olmadığı araştırılmaktadır. Bu komşuluk hareketinin bir sonraki çözümü bir önceki çözümden ne kadar farklılaştıracağı ile ilgili yöntemin önceden belirlenmesi gerekir. Algoritma çalışırken bu yöntemin etkisi sıcaklık değişimine bağımlı şekilde gözlemlenir. Başlangıçta yüksek sıcaklıkların olması sebebiyle komşuluk hareketleri daha esnek ve arama uzayında daha uzak alanlara doğru gerçekleşebilirken, sistem yavaş yavaş soğutuldukça, sıcaklığın azalması ile beraber komşuluk hareketleri kısıtlanmaya başlar. Yüksek sıcaklıkta daha uzak komşuluk hareketleri yapılmasının dezavantajı yüksek maliyetli olmasıdır. Avantajı ise sıcaklık yüksekken bölgesel en iyi çözüm noktalarına takılma ihtimali düşüktür [32]. Komşuluk hareketi yöntemlerinin çeşitlerinden birisi Yer Değiştirme, diğeri de Kaydırma yöntemidir.

3.2.2.1. Yer değiştirme yöntemi ile komşuluk etkisi

Yer değiştirme yönteminde diziden gelişi güzel bir eleman seçilir ve yine bu şekilde rastgele seçilmiş bir başka elemanla yerleri değiştirilerek yeni bir dizilim elde edilir. Örneğin (1,2,3,4,5,6,7,8,9) sayılarından oluşmuş bir dizide 8 elemanı, 5 elemanı ile yer değiştirilir ve yeni dizilim (1,2,3,4,8,6,7,5,9) şeklinde olur. Yeni bir dizi elde edilmesi yeni bir çözüm üretilmiş olduğu anlamına gelir ve yeni üretilen çözümün daha iyi olup olmadığı incelenerek algoritmanın çalışması devam ettirilir [29].

3.2.2.2. Kaydırma yöntemi ile komşuluk etkisi

Kaydırma yönteminde de yer değiştirme yönteminde olduğu gibi rastgele bir eleman seçilir ancak daha sonra bu eleman bir başkası ile yer değiştirmek yerine onun önüne kaydırılır. Örnek olarak (1,2,3,4,5,6,7,8,9) dizisini ele aldığımızda, yine 8 ve elemanlarının seçildiğini düşünelim. Kaydırmadan sonra yeni dizilim (1,2,3,4,8,5,6,7,9) şeklinde gerçekleşir. Yani ilk seçilen eleman, ikinci seçilen elemanın önüne aktarılır. Bu şekilde yeni bir dizi ve yeni bir çözüm elde edilmiş olur [22].

3.2.3. Sıcaklığın değiştirilme yönteminin belirlenmesi, soğutma stratejisi ve katsayısı

BT Algoritması metallerin tavlanmasıdan ilham alınarak ortaya atıldığı için algoritmadaki kritik parametrelerden birisi de sistemin nasıl soğutulması gerektiğine karar verilen parametredir. Soğutma katsayısı olarak da adlandırılan bu parametre α ile temsil edilir. Genellikle 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Soğutmanın çok yavaş yapılması algoritmanın çalışma süresi ve maliyeti olumsuz etkileyebileceği gibi, soğutmanın çok hızlı yapılması da en iyi çözüme ulaşmayı engelleyebilir. Bu sebeple soğutma değişkeninin belirlenmesi ve soğutma yönteminin oluşturulması BT Algoritmasının çalışması için büyük önem teşkil etmektedir.

Algoritmanın sıcaklığının değiştirilmesi ilgili; aritmetik olarak soğutma, geometrik olarak soğutma, ters fonksiyon şeklinde soğutma, logaritmik olarak soğutma, oransal olarak soğutma [33], Lundy ve Mees tipi soğutma [34] gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu bölümde sadece oransal soğutma ve Lundy ve Mees tipi soğutma açıklanacaktır.

3.2.3.1. Oransal olarak soğutma

k . ve $k + 1$. İterasyonlardaki sıcaklıklar T_k ve T_{k+1} olmakla birlikte, α soğutma katsayısı da kullanılarak sıcaklığın güncellenmesi için birbiri ile ilişkilendirilerek bir fonksiyon oluşturulmuştur. T_{k+1} sıcaklığı k 'nın her ötelemesinde Denklem 3.4 kullanılarak yeniden hesaplanmaktadır [33].

$$T_{k+1} = \alpha T_k \quad (3.4)$$

Soğutma katsayısı olan α , ötelemeler boyunca Denklem 3.5'e göre yeniden hesaplanmıştır.

$$\alpha = \exp\left(\frac{\log(T_s/T_b)}{M}\right) \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'egöre T_b başlangıç sıcaklığını temsil etmekte, T_s ise son sıcaklığı temsil etmektedir. M ise toplam iterasyon sayısını ifade etmektedir. α ise 0 ile 1 arasında değişen değerler almaktadır.

3.2.3.2. Lundy ve Mees soğutma modeli

Oransal soğutmada α ile ilişkilendirilen ilgili iterasyondaki T_k ve T_{k+1} sıcaklıkları, bu modelde ise β katsayısı kullanılarak ilişkilendirilmiştir. Her yeni iterasyonda sistemin sıcaklığı β katsayısına bağlı olarak azaltılmaktadır. Planlı soğutma için algoritmada kullanılacak bu sıcaklık değişimi Denklem 3.6 ile hesaplanmaktadır.

$$T_{k+1} = \frac{T_k}{(1+\beta*T_k)} \quad (3.6)$$

Sıcaklık değişimini etkisini ayarlamamızı sağlayan β katsayısı Denklem 3.7'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\beta = \frac{T_b - T_s}{M * T_i + T_s} \quad (3.7)$$

Denklemden T_b başlangıç sıcaklığını temsil etmekte, T_s ise son sıcaklığı temsil etmektedir. M ise toplam iterasyon sayısıdır [34].

3.3. BT Algoritmasının Özellikleri

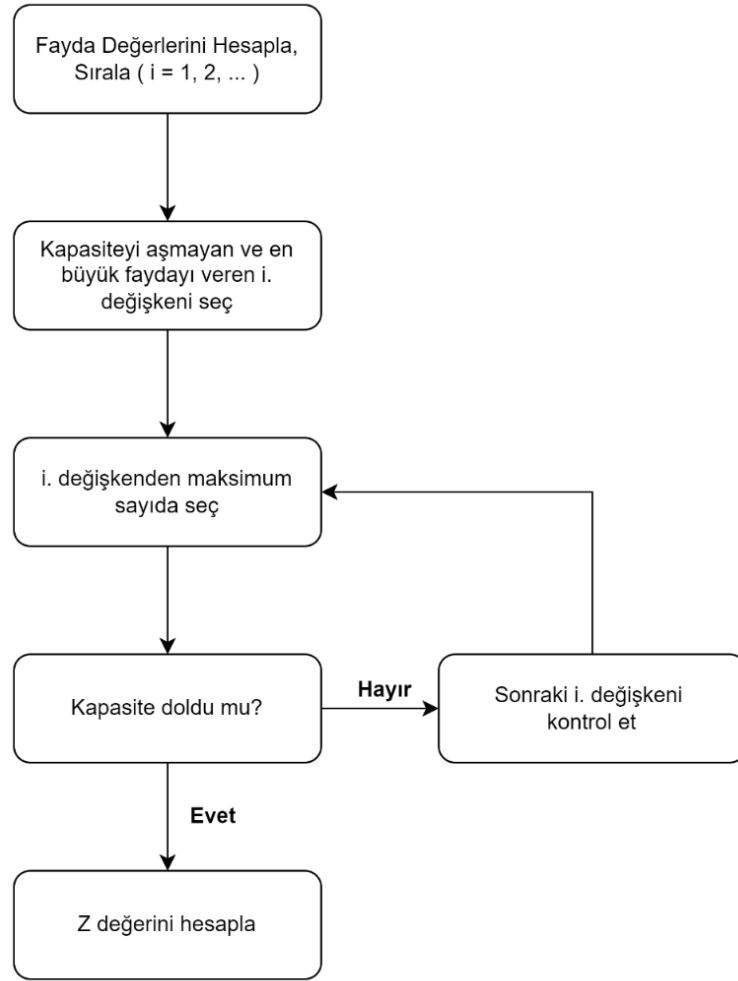
BT Algoritmasının ana özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [29]:

1. BT Algoritması sürekli, ayrık veya karma tam sayılı problemlerin çözümü için kullanılabilir.

2. Nihai sonuç başlangıç tahminlerinden etkilenmez, sadece kötü bir çözümlerle başlamak hesaplama çabasını artırabilir.
3. Tasarım değişkenlerinin pozitif olması zorunlu değildir.
4. Yakınsama, uygulanabilir durumun dışbükeyliğinden etkilenmez.
5. Tasarım değişkenlerindeki limitlere ek davranış kısıtlamaları olan problemler için genetik algoritmalar gibi kısıtsız bir eşdeğer fonksiyon üretilebilir.

3.4. Açgözlü (Greedy) Algoritma

Açgözlü algoritma, klasik sezgisel algoritmalar arasında en çok kullanılan algoritmalarından bir tanesidir. Metasezgisel algoritmalarla göre daha kısıtlı, bölgesel arama yaptıkları için klasik sezgisel algoritmalar ayrı incelenmektedirler [35]. Açgözlü Algoritmanın çalışma prensibi seçilen düğüme ulaşmaya çalışırken kapsayabileceği maksimum noktaları kapsayıp bu işi minimum maliyet ile tamamlamaktır. Bu prosedür tüm düğümler sisteme dahil edilene kadar devam ettirilir [36]. Bu algoritmanın ana amacı faydayı her zaman en iyi seviyede tutmaktır. Açgözlü algoritma çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu algoritmanın yaygın bir şekilde kullanılmasının sebebi kolay kullanımı, çoğu probleme kolay adapte edilebilir olması ve hesaplama maliyetinin düşük olmasıdır. Ayrıca Açgözlü algoritma birçok algoritma ile birlikte melez bir şekilde kullanılabilirdiği için tercih edilmektedir. Şekil3.3'te genel bir Açgözlü algoritmanın akış diyagramı verilmiştir [37].



Şekil 3.3 Genel bir Açgözlü Algoritma akış diyagramı

Problem zor olduğunda ve problemin büyük parçaları pratik zamanlarda çözülemediğinde, saatler süren beklemler yerine birkaç saniye gibi çok kısa sürelerde, kabul edilebilir sonuçlar veren Açgözlü Algoritma optimum çözüm arayışı için iyi alternatiflerden bir tanesidir. Örneğin Gezgin Satıcı Problemi yüksek bir hesaplama maliyetine sahiptir, bu problemin çözümü için sınırlı sayıda adım kullanarak Açgözlü Algoritması ile deterministik bir şekilde çözüm üretilebilir [38]. Bu çalışmada Açgözlü Algoritma BT Algoritması için başlangıç çözümü olarak kullanılmış ve iki algoritma için performans değerlendirme karşılaştırması yapılmıştır.

4. KATI ATIK TOPLAMA SİSTEMİNDE BT ALGORİTMASININ KULLANIMI

Akıllı katı atık yönetim sistemlerinde [39] çöp araçlarının en uygun rotayı seçmesi problemi bir optimizasyon problemidir [40]. Katı atık toplama araçlarının toplanması gereken çöpler için gerekli tüm konteynerlere uğramak ve topladıkları çöpü atık biriktirme alanlarına boşaltmaları sırasında izleyecekleri en kısa rotanın hesaplanması gerekmektedir.

Bu çalışmanın kapsamı, Konya İl'inin Selçuklu İlçesi'nin Kosova Mahallesi sınırları içerisinde kalan katı atık toplama konteynerlerinin toplanması için hesaplanması gereken optimum rotalar olacak şekilde belirlenmiştir. Bölgedeki konteynerlerin hepsi tek seferde bir araç ile toplanamayacağı için mahalle bölgelere ayrılmış ve her bir bölgenin toplama rotaları kendi içinde optimum olacak şekilde değerlendirilmiştir. Kosova Mahallesi toplamda 7 bölgeye ayrılmıştır. Kosova Mahallesi atık toplama sisteminin oluşturulması sırasında bölgelere ayrılırken aracın rotasını uzatacak konteynerler farklı bölgelerde değerlendirilecek şekilde gruplama yapılmıştır. Bu sayede her bölgenin toplam rota mesafesi olabilecek minimum seviyede tutulmuştur.

4.1. Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada ele alınan problem çöp aracının rotalama problemidir. Gezgin satıcı problemi (GSP) ile büyük oranda benzerlik gösterse de [41] başlangıç noktasına tekrar dönülmesine gerek olmaması gibi bazı yönlerle farklılıklar gösterir [42].

Konya İl'indeki katı atık toplama konteynerleri zemine gömülü şekilde bulunmaktadır, Şekil 4.1'de katı atık toplama konteynerlerinden birisinin fotoğrafı verilmiştir. Her bir atık konteynerinin kapasitesi yaklaşık olarak 500kg'dır [9].



Şekil 4.1 Kosova Mahallesi Zemine Gömülü Çöp Konteyneri

Bu konteynerlerin üzerinde herhangi bir doluluk ölçüm cihazı yoktur. Bu çalışmada konteynerlerin doluluk tespitinin yapılabilmesi amacıyla sensör veya sensörler kullanılması gerekliliği düşünülerek sistem kurgulanmıştır. Bu sayede önceden belirlenen doluluk seviyesinin altında kalan konteynerler hesaplanacak rotadan çıkarılacak, bu sayede sistemin verimi artırılmış olacaktır. Konteynerler toplama sırasında çöp aracının üzerinde bulunan bir vinç yardımı ile yerinden çıkarılıp, aracın atık toplama haznesine boşaltılmaktadır. Bu işlem Şekil 4.2’de gösterilmiştir [43]. Atık toplama araçları 6-8-11-13m³ gibi farklı kapasitelere sahip olabilmektedir. Bu çalışmadaki araç 13m³ kapasiteli olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.2 Atık konteynerlerinin çöp aracına boşaltılması

Oluşturulan atık toplama sisteminde katı atık toplama aracı, birinci bölgeden başlayarak, her toplama öncesi yeniden hesaplanan rotaya göre çöpleri toplamaya başlayacak, kapasitesi dolduğunda ise katı atık boşaltma alanı olan Aslım çöplüğüne boşaltım yapacaktır. Boşaltım tamamlandıktan sonra yeniden hesaplanan rotaya göre tekrar toplama yapmaya başlayacaktır. Aracın kaldığı yerden devam edip etmeyeceği yeniden hesaplanan rotanın sistemine göre belirlenecektir. Atık konteynerlerinde bulunan sensörler boşaltılmış olan konteynerleri hesaplamadan çıkaracağı için toplama işlemi nerde yarım kalırsa kalsın tekrar başladığında o anki en uygun rota yeniden belirlenmiş olacaktır.

Atık konteynerlerinin konum koordinatlarının bulunması için “Google Haritalar” uygulamasından faydalanılmıştır. Bu çalışmanın kapsamında potansiyel 137 adet nokta tespit edilmiş ve bu noktalarda yaklaşık 250 adet katı atık konteyneri bulunmaktadır. Çift yönlü yollarda iki konteyner arası mesafe aynı kabul edilirken, tek yön yollarda bulunan konteynerler arasındaki mesafe, toplama sırası değiştirildiğinde farklı olmaktadır.

4.2. BT Algoritması ve Açgözlü Algoritmanın Probleme Uygulanması

BT Algoritmasının ilk adımı olan başlangıç çözümünü üretmek için Açgözlü Algoritma (Greedy Algorithm) kullanılmıştır. BT Algoritması en iyi çözümü üretmek için öncelikle rastgele bir noktadan yani rastgele bir atık konteynerinden başlamaktadır. İlk seçilen nokta, boşta olan ve gidilebilir durumdaki noktalar içerisinde silinir ve en yakın komşuluklar aranmaya başlanır. Sıcaklık değerinin etkisine göre bulunan en yakın noktaya ilerlenir ve ilerlenen nokta boşta olan noktalar arasından çıkarılır. Boşta herhangi bir nokta kalmayana kadar bu adım tekrar tekrar gerçekleştirilir. Boşta herhangi bir nokta kalmadığı durumda yeni bir aday çözüm üretilmiş olur. Bulunan bu aday çözüm bir önceki en iyi çözümle karşılaştırılır. Eğer bir önceki çözümden daha iyi bir çözüm bulunmuşsa yeni en iyi çözüm olarak ayarlanır, eğer daha iyi bir çözüm bulunmamışsa eski en iyi çözüm korunur. Eğer algoritmanın çalışmasını durduracak sıcaklık değerine inilmemişse veya algoritmayı durduracak iterasyon sayısına ulaşılmamışsa, soğutma işlemi gerçekleşir ve yeni aday çözüm bulunması için aramaya devam edilir. Eğer önceden tanımlanan iterasyon limitine veya önceden belirlenmiş en düşük sıcaklık değerine ulaşılmışsa döngü sonlandırılır ve en son bulunan en iyi çözüm, global en iyi çözüm olarak ekranına yazdırılır.

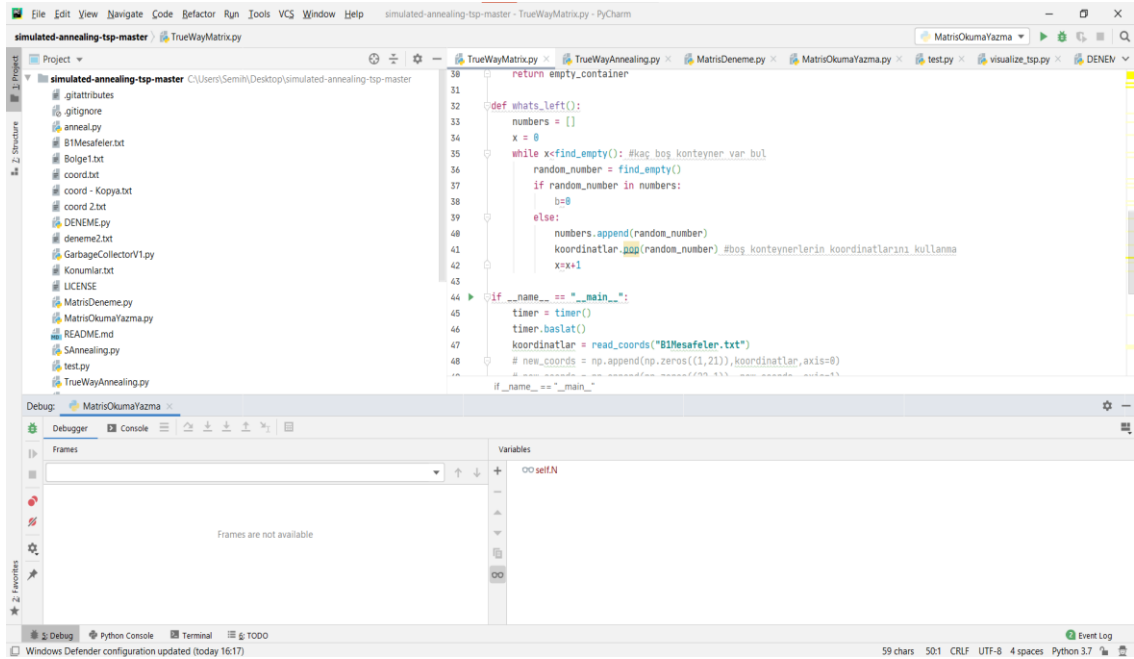
4.2.1. Kullanılan uygulamalar ve yazılım geliştirme ortamı

BT Algoritmasının çalışır bir uygulamaya dönüşebilmesi için koda aktarılmasında Python (3.6 sürümü) programlama dili kullanılmıştır. Python programlama dilinde yazılımın hızlı ve sorunsuz bir şekilde hazırlanıp çalıştırılması için ücretsiz tümleşik geliştirme ortamlarından (IDE) birisi olan Pycharm (2020.1.5 sürümü) uygulaması kullanılmıştır. Şekil4.3'te kullanılan geliştirme ortamının, uygulama hazırlanırken alınmış bir ekran görüntüsü gösterilmektedir. Algoritmanın oluşturulduğu bilgisayarın teknik özellikleri:

- İşletim sistemi: 64 Bit Windows 10 Home
- İşlemci: Intel(R) Core (TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz 2.81 GHz
- Ram: 16GB 2666Mhz

Katı atık konteynerlerinin konum koordinatları tespit edilmesi sırasında Google Haritalar uygulamasından faydalanılmıştır. Konteynerlerin konumlarının gösteriminde

ve oluşturulan rotaların gösteriminde kullanılan mahalle haritası Selçuklu Belediyesi'nin mahalle sınırları sisteminden alınmıştır [44]. Çöp konteynerleri arasındaki mesafenin ölçülmesi, hesaplanması ve araca uygun rotanın oluşturulması için gerekli harita verileri mesafe verisi üreten, kullanımı ücretsiz bir sunucuya sırasıyla başlangıç noktası ve hedef nokta bilgileri gönderilerek elde edilmiştir.



Şekil 4.3 Pycharm ile Python geliştirme ortamının ekran görüntüsü

Çöp konteynerlerinin dolu veya boş olduğunun modellenmesi için rastgele değer üretmeyi sağlayan “Random” fonksiyonu kullanılmıştır. Bu sayede algoritma her çalıştırıldığında farklı konteynerler, farklı doluluk durumunda gözlemlenmekte ve algoritma içerisinde yeni bir senaryo oluşturulabilir hale gelmektedir. Rastgele üretilen değerlere karşılık gelen konteynerler rotalama için hesaba katılacak konteynerler arasından çıkarılarak, hesaplama sistemi kalanlar için çalıştırılmaktadır. Algoritmanın çalışma performansının sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için kıyaslama yapılan kısımlarda tüm konteynerler dolu kabul edilmiştir. Rastgele değer üreten fonksiyon her çalışmada farklı konteynerleri hesaplama sisteminden çıkaracağı için BT Algoritmasının performansının bu şekilde değerlendirilmesi mümkün değildir. Ne kadar çok boş konteyner olursa aracın rotası o kadar kısalcacağı için konteyner kontrolünün önemi unutulmamalıdır.

4.2.2. Harita verilerinin elde edilmesi ve kullanılması

Bu çalışmada BT Algoritmasının optimize edeceği mesafe verileri mesafe hesaplayan bir uygulamadan faydalanılarak elde edilmiştir. Sadece kuş uçuşu uzaklıkların ölçülüp değer olarak kullanılması, tek yön yollarda herhangi bir A noktasından herhangi bir B noktasına gidileceğinde izlenecek yol ile B noktasından A noktasına gidileceğinde izlenmesi gereken mesafeden farklı uzaklıkta olabileceği için uygun değildir. Her rotalama ihtiyacında tüm çöp konteynerlerinden hangisinin toplanacağı bilinmediği için her konteynerin birbiri arasındaki mesafenin rotalama işleminden önce hesaplanması gerekmektedir. İki konteyner arasındaki mesafe için yapılacak her bir sorgu internet bağlantısı ihtiyacı gerektireceği gibi, sorgu yapılacak uygulamada da yeni bir maliyet oluşturmaktadır. Katı atık konteynerlerinin konumları sabit ve önceden bilindiği için tüm konteyner mesafeleri için tüm sorgulamalar yapılmış, veri tabanı olarak kaydedilmiştir. Bu sayede BT Algoritması her çalıştırıldığında internet ihtiyacı gerekmemektedir. Ayrıca iterasyon sayısı kadar sorgulama gerekeceği için aynı mesafe için yapılması gereken tekrarlı sorgularda ek bir maliyet oluşmasının önüne geçilmiştir. Yeni İstanbul Caddesi, Veysel Karani Caddesi ve Coşandere Caddesi arasında kalan kısım 1. Bölge olarak belirlenmiştir. Şekil4.4'de 1. Bölge olarak seçilen bölgedeki konteyner isimlendirmeleri ve koordinat bilgileri yer almaktadır. 1. Bölgede 21 adet katı atık konteyneri bulunmaktadır. Konteyner isimlendirmeler rastgele olup, uygulama içerisinde hangi adımların izleneceğini gözlemleyebilmek için bu şekilde verilmiştir. Diğer bölgelere ait konteyner konum koordinatları EK-1'de verilmiştir.

1.BÖLGE KONTEYNER KOORDİNATLARI		
1-	38.00134817340276	32.52119983957413
2-	38.001339026537586	32.52225846648771
3-	38.00070727346458	32.52315201148032
4-	37.99996183285936	32.52123673096998
5-	37.99760946535191	32.520595717032194
6-	37.99953772006359	32.52258701716178
7-	37.99981397163974	32.52321551258152
8-	38.00014573277816	32.52519534322161
9-	38.0002971252376	32.52630472968777
10-	37.999542466349716	32.52529725916028
11-	37.999372569329175	32.52391724497001
12-	37.99800452560539	32.526302955933964
13-	37.9979824673397	32.52521602263854
14-	37.99734471488008	32.524177918945206
15-	37.99628429964277	32.524444399657035
16-	37.9959151860695	32.525716969212816
17-	37.99706676126826	32.52638703670926
18-	37.99544694503087	32.52517627841824
19-	37.995679519759925	32.5236461739465
20-	37.9951047161878	32.5224971039237
21-	37.99444383421898	32.52225410076425

Şekil 4.4 Sırasıyla 1.Bölge Konteyner Koordinatları

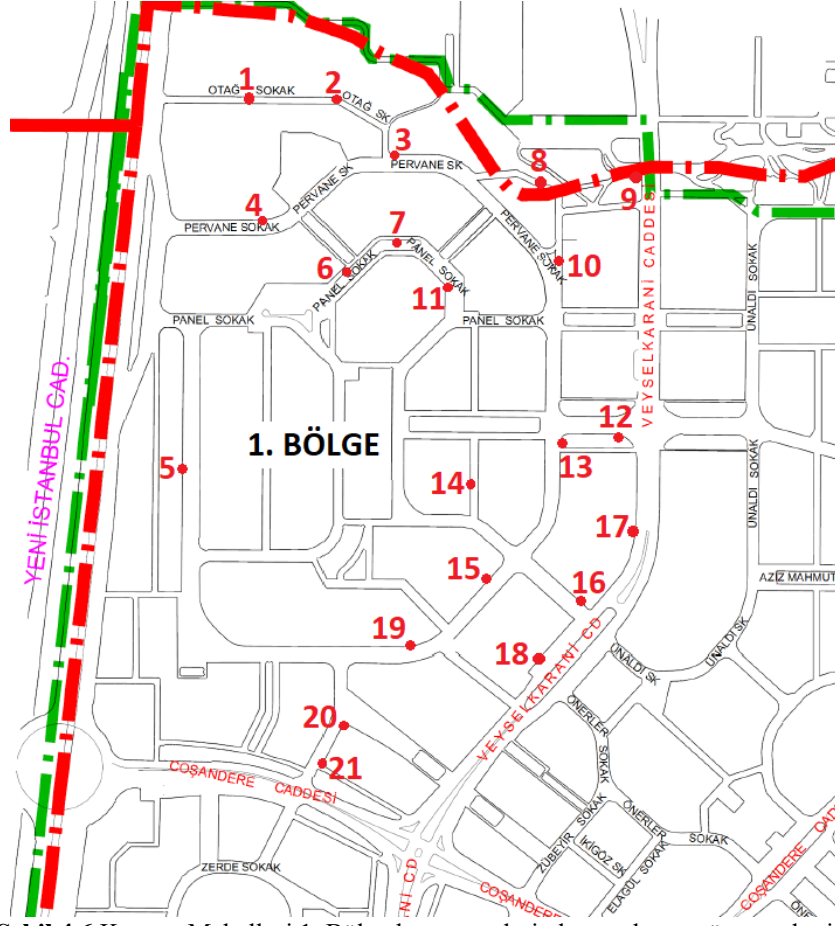
Python kodu içerisinde çöp konumlarıyla ilgili koordinat verileri kullanılarak konteynerler arası mesafeyi bulabilmek için mesafe matrisi (distancematrix) verisi sağlayan bir uygulamadan (API) yararlanılmıştır. Rota hesaplaması her zaman birinci verilen parametreden ikinci verilen parametreye doğru gidildiği kabul edilerek yapılmaktadır. Mesafe fonksiyonu çalıştırıldığında iki nokta arasında kat edilmesi gereken mesafenin yanında trafiğin yoğunluğuna göre tahmini süre de üretilmektedir ancak bu uygulamada süre verisi rota hesaplama işlemine dahil edilmemiştir.

Uygulamada konteyner koordinatlarının mesafe bulan fonksiyona girilebilmesi için “.txt” uzantılı metin belgesi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu metin belgesinin içerisinde Google Haritalar uygulaması üzerinden alınan çöp konteyner koordinatları bulunmaktadır. Python uygulamasında “.txt” dokümanı içerisindeki verileri okumak için “open” fonksiyonu kullanılmıştır. Konteyner koordinatları mesafe verisi üreten uygulamaya gönderildikten sonra oluşan veriler yeni bir matris değişkeninin içerisinde alınarak, farklı bir metin dokümanına kaydedilmiştir. Şekil 4.5’te 1. Bölgedeki konteynerler arası mesafelerin tutulduğu doküman gösterilmiştir. İlk satır ve ilk sütunda konteynerlerin isimlendirmeleri yer almaktadır. Diğer kısımlarda ise konteynerlerin birbirleri arasındaki mesafeler hassas olması adına metre cinsinden verilmiştir.

Kont.No	1. BÖLGE KONTEYNER MESAFELERİ (metre)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	93	216	396	817	377	495	416	515	483	482	715	617	776	832	897	827	1046	931	1087	1164
2	93	0	125	305	671	285	404	325	423	392	391	623	526	684	741	806	736	955	839	996	1072
3	216	125	0	193	614	175	279	200	298	267	266	498	401	560	616	681	611	830	715	871	948
4	396	305	193	0	421	172	216	393	491	461	303	691	594	753	809	874	804	1023	908	834	911
5	618	710	614	421	0	385	452	814	914	882	539	874	774	484	561	627	987	700	462	412	489
6	377	285	175	172	385	0	67	274	373	342	154	518	421	486	560	629	631	850	530	798	874
7	422	331	219	216	452	67	0	207	307	275	88	451	354	420	570	635	565	784	668	825	901
8	416	325	200	393	814	274	207	0	101	79	194	411	314	472	530	594	470	689	627	784	861
9	515	423	298	491	759	373	307	101	0	159	292	278	413	572	628	525	371	590	727	883	964
10	483	392	267	461	882	342	275	79	159	0	211	270	173	332	389	454	384	603	487	644	721
11	482	391	266	303	539	154	88	194	292	211	0	365	267	334	483	548	478	697	582	738	815
12	715	623	498	691	874	518	451	349	429	270	365	0	99	256	313	266	113	332	411	568	644
13	617	526	401	594	774	421	354	251	332	173	267	99	0	156	213	278	210	429	312	468	545
14	816	725	600	637	484	486	420	410	490	332	334	256	156	0	155	220	369	292	253	410	486
15	832	741	616	809	561	560	601	466	548	389	515	313	213	155	0	151	426	223	100	255	332
16	1540	806	681	1405	627	629	653	532	613	454	567	378	278	220	151	0	490	73	249	406	446
17	1686	1778	835	1552	1081	1605	807	685	767	608	721	532	432	374	305	154	0	219	405	669	593
18	1467	1559	1526	1333	863	1386	734	728	809	650	647	574	474	487	261	412	687	0	186	450	374
19	1391	839	715	884	462	530	571	565	646	487	484	411	312	324	100	249	525	322	0	157	233
20	1234	1326	871	1099	412	798	864	722	803	644	641	568	468	480	255	406	681	478	157	0	78
21	1158	1249	1216	1023	489	874	942	798	879	721	718	644	545	558	332	482	758	555	233	78	0

Şekil 4.5 1. Bölge Konteynerler arası mesafeler (m)

7 farklı bölgeye ayrılmış olan Kosova Mahallesi'nin her bir bölgesi için ayrı ayrı koordinat listeleri ve mesafe matrisleri oluşturulmuştur. 1. Bölge için mesafe matrisi Şekil 9'da verilmiş, diğer bölgeler için matrisler EK-2'de sunulmuştur. BT Algoritması çalıştırıldığında mesafe matrisleri işlenmekte ve bu bilgilere göre çözümler üretilmektedir. 1. Bölge için seçilen katı atık konteynerlerinin harita üzerindeki gösterimi Şekil 4.6'da verilmiştir. Diğer bölgelerdeki konteyner konum haritaları EK-3'te sunulmuştur. Bazı konteyner noktalarında ihtiyaca göre düzenlenmiş birden fazla konteyner bulunmaktadır. Birden fazla konteyner bulunan noktalarda herhangi birisinin dolu olması yeter şart olarak kabul edilecek, diğerleri yeterli doluluğa ulaşamamış olsa dahi o nokta rotaya dahil edilecektir.



Şekil 4.6 Kosova Mahallesi 1. Bölge konteynerlerin konumlarını gösteren harita

4.2.3. BT Algoritması parametrelerinin çalışmaya etkileri

BT Algoritması girdi olarak konteyner koordinatlarını almakta, çıktı olarak ise optimum rotayı üretmektedir. Algoritmayı probleme uygularken kullanılan parametreler şu şekildedir: Başlangıç Sıcaklığı (T), Soğutma Oranı (α), İterasyon sayısı, Durdurma Sıcaklığı. BT Algoritması tercih edilen başlangıç sıcaklığına göre komşulukları aramaya başlayacak, her bulduğu çözüm bir önceki ile kıyaslandıktan sonra soğutma oranına göre sıcaklık değiştirilip tekrar arama yapılacak, durdurma sıcaklığına veya iterasyon sayısına ulaşıldığında arama sonlanacaktır. BT Algoritması sezgisel bir algoritma çeşidi olduğu için kesin sonucu garanti etmez bu sebeple optimum sonucu bulmak için parametrelerin olabilecek en iyi şekilde ayarlanması gerekmektedir. En iyi sonucu elde edebilmek için algoritma grup yöntemi ile çalıştırılmıştır, yani her çalıştırma BT Algoritmasını 10 kere çağırıp global optimum çözüm için bulunan sonuçlar arasından en iyi sonuç seçilerek belirlenmektedir.

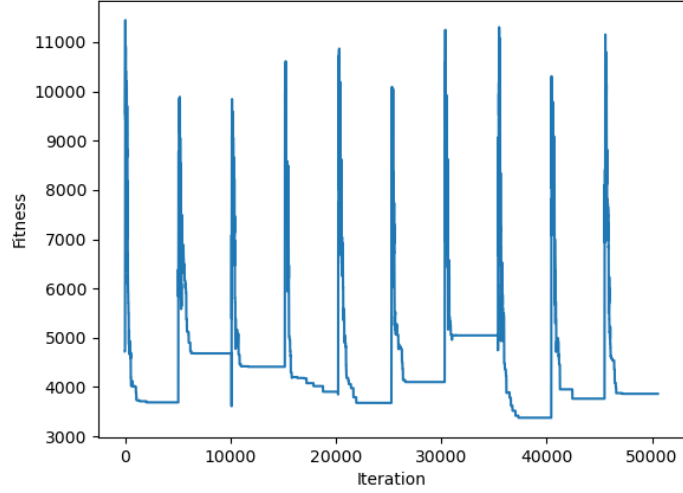
4.2.3.1. Başlangıç sıcaklığı parametresinin etkileri

Tablo 4.1’de başlangıç sıcaklığı seçimi için kullanılan farklı değerlerin çözüme ve çözüm süresine etkisi gösterilmiştir. Soğutma katsayısı ve iterasyon sayısı sabit tutulduğu durumda, başlangıç sıcaklığının çok yüksek değerde seçilmesi bölgesel minimumlara takılmayı engellese de kabul edilen çözümün uygunluk değerini de yükselttiği için, çok yüksek bir değer alınması uygun değildir.

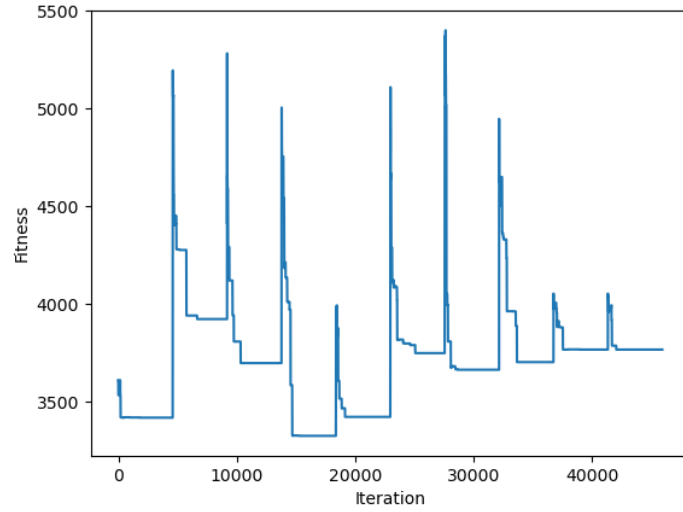
Tablo 4.1 BT Algoritmasının başlangıç sıcaklığı değişimine verdiği tepki.

En İyi Çözüm	Başlangıç Sıcaklığı (T)	Soğutma Katsayısı (α)	Maksimum İterasyon Sayısı	Algoritma Çalışma Süresi (ms)
3377	1000	0.995	5000	993.1451
3327	100	0.995	5000	881.6363
3201	10	0.995	5000	884.9562
3372	4,69	0.995	5000	754.0730
3196	2	0.995	5000	732.9159

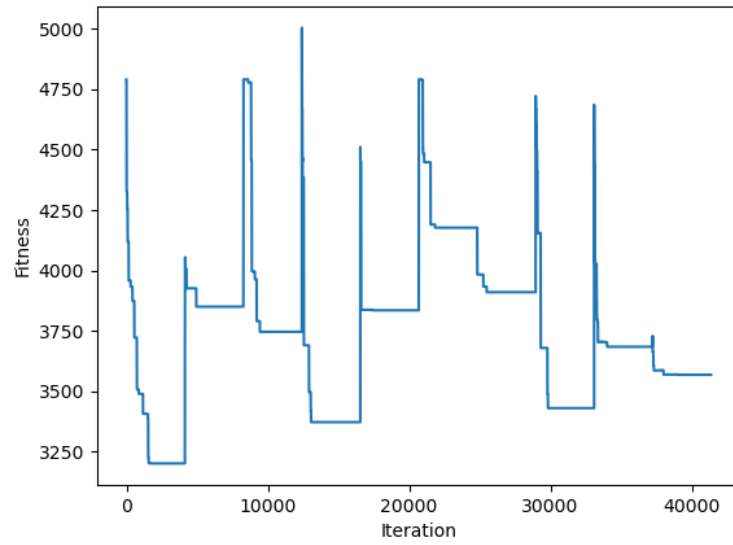
Tablo 4.1’de görüleceği üzere, başlangıç sıcaklığının çok yüksek seçilmesi arama süresini artırmasının yanı sıra çözüme de olumlu bir katkı yapmamıştır. İterasyonlar sonucu oluşan uygun çözümler incelendiğinde Şekil 4.7’de verilen uygunluk değerleri – iterasyon sayısı grafiğinde de görüleceği gibi T=1000 seçildiği durumda kabul edilebilir çözüm olarak alınan mesafeler 11000 metreyi geçmiştir. En kısa rotayı aradığımız için bu sonuç bu problemin çözümü için ihtiyacımız olan aralığın çok üzerinde bir değerdir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da sırasıyla T=100 ve T=10 durumları verilmiştir. T=100 durumunda kabul edilebilir çözümler 5500 metrenin altına inerken, T=10 durumunda ise 5000 metrenin altına inmiştir.



Şekil 4.7 Başlangıç sıcaklığı $T=1000$ alındığında bulunan uygun çözümleri gösteren grafik.



Şekil 4.8 Başlangıç sıcaklığı $T=100$ alındığında bulunan uygun çözümleri gösteren grafik.



Şekil 4.9 Başlangıç sıcaklığı $T=10$ alındığında bulunan uygun çözümleri gösteren grafik.

Sonuç olarak 1. Bölge için başlangıç sıcaklığının 10'un üzerinde seçilmesinin algoritmanın çalışmasına herhangi bir olumlu yansıması olmamıştır. $T=10$ ve altında seçildiği durumlarda algoritma daha hızlı sonuçlar vermektedir.

Soğutma katsayısı ve maksimum iterasyon sayısı sabit tutulduğu durumda, başlangıç sıcaklığı 1000 olarak belirlendiğinde aramanın tamamlanma süresi 993.1451 ms olarak gözlemlenmiştir. Başlangıç sıcaklığı 2'ye kadar adım adım düşürüldüğünde ise neredeyse her adımda çalışma süresinin giderek azaldığı ve algoritmanın daha hızlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Başlangıç sıcaklığı 2 seçildiğinde algoritmanın tamamlanma süresi 732.9159 ms olarak gözlemlenmiştir. Yani yaklaşık 260 ms daha hızlı sonuç alınmıştır.

T başlangıç sıcaklığı küçük seçildiğinde algoritmanın sonuca daha hızlı ulaşmasının birkaç sebebi var. Bu sebeplerden ilki, 3. Bölüm içerisinde bahsedilen soğutma işleminin daha fazla uygulanabilmesi. Yani başlangıç sıcaklığı yüksek seçildiğinde soğutma hızı aynı olduğu için minimum sıcaklığa ulaşana kadar algoritma daha çok tekrarlı çalıştırılabilir, bu sebeple de işlemler daha uzun sürüyor. Algoritma minimum sıcaklığa gelmeden de sonuca ulaşabilir, bu durum da bizi ikinci sebebe götürüyor.

Algoritmanın sonuca ulaşma hızını etkileyen ikinci sebep ise başlangıç sıcaklığı yüksek seçildiği durumda, BT Algoritmasının yerel minimuma takılmama özelliği sebebiyle sonuca ulaşması yavaşlamaktadır. Denklem 3.3'te açıklandığı üzere 0 ile 1 arasında rastgele bir değer alan R, muhtemel çözüm kümesine bir önceki çözümden daha maliyetli bir çözümü kabul edebilir, bu sayede yerel minimuma takılmaz ancak kabul edilen her maliyetli çözüm arama işlemini uzattığı için sonuca ulaşmak daha uzun sürecektir. Bu sebeple de BT Algoritması başlangıç sıcaklığı yüksek seçildiği durumlarda sonuca daha yavaş ulaşacaktır.

BT Algoritmasının daha hızlı sonuçlar üretmesi için başlangıç sıcaklığını düşürülmesinde dikkat edilmesi gereken konu üretilen sonuçların kabul edilebilir seviyede olmasıdır. Başlangıç sıcaklığının çok düşük seçilmesi algoritmanın yeterli arama yapmadan minimum sıcaklığa ulaşmasına sebep olarak istenilen sonucu üretemeyebilir. Bu sebeple algoritmanın hızlı çalışması kadar doğru sonuçlar üretebilmesi konusunda da gözden kaçırılmamalıdır.

4.2.3.2. Soğutma katsayısı değişkeninin etkileri

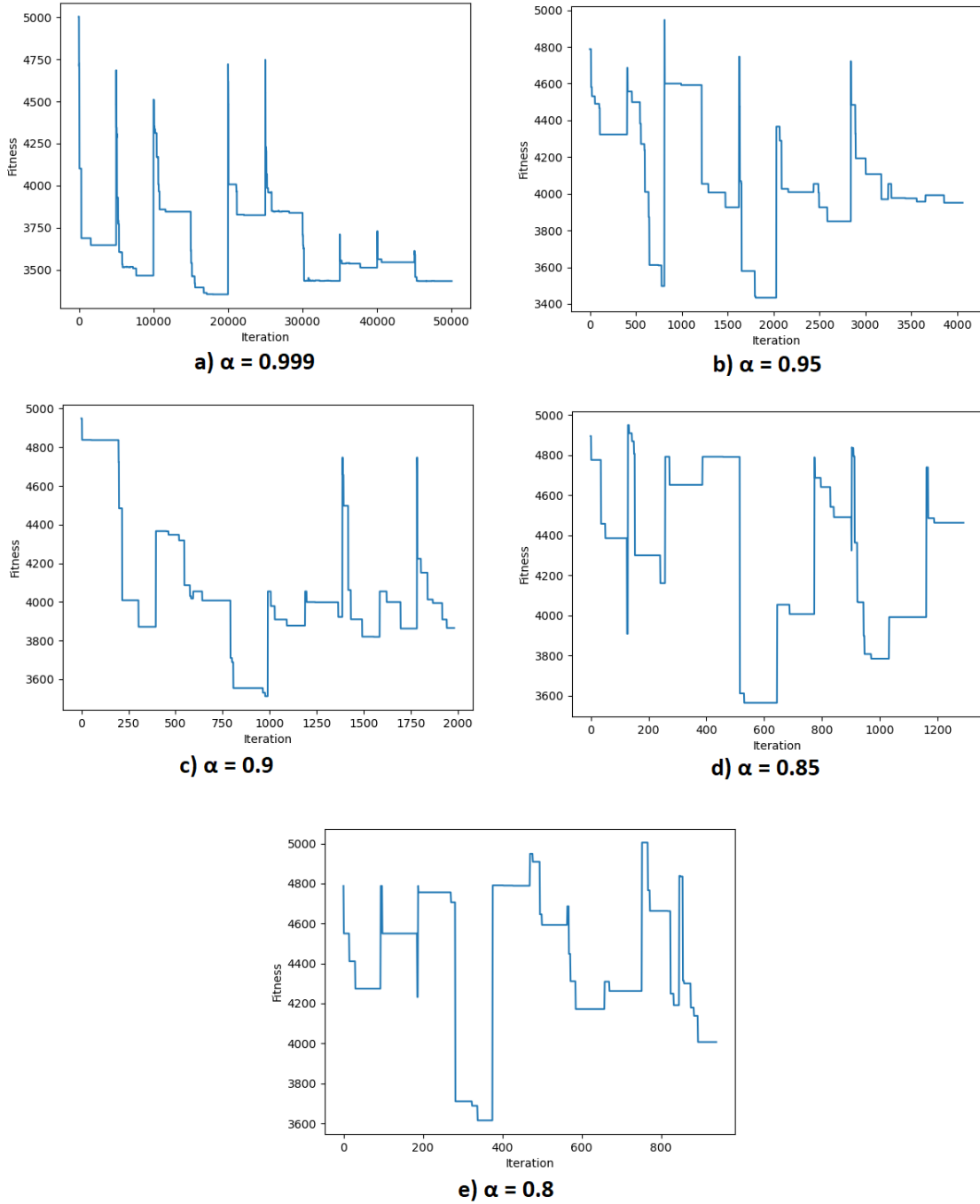
Soğutma Katsayısı (α), BT Algoritmasının arama uzayında bulduğu çözümlerin uygunluk şartlarını yavaş yavaş kısıtlayarak algoritmanın en iyi çözüme doğru yönelmesini sağlar. Soğutmanın çok yavaş yapılması algoritmayı yavaşlatıp, arama maliyetini artırırken, soğutmanın çok hızlı yapılması da ihtiyaç duyulan iterasyon sayısına ulaşmadan algoritmanın sonlanmasına sebep olur. Bu durumda algoritma, global çözüm yerine bölgesel çözümde takılı kalmış olur. Tablo 4.2’de başlangıç sıcaklığının 10 ve iterasyon sayısının 5000 sabit tutulduğu durumda soğutma katsayısının çözüme ve çalışma süresine nasıl yansıdığı gösterilmektedir. Beş farklı soğutma katsayısı seçilmiştir, bunlar sırasıyla: 0.999, 0.95, 0.9, 0.85, 0.8’dir. Soğutma katsayısı 1’e yaklaştığında soğuma çok yavaşladığı için sonuca ulaşma süresi uzamakta, soğuma oranı 0’a yaklaştığında ise soğuma hızlı gerçekleşmekte ve algoritmanın sonuca ulaşma süresi hızlanmaktadır. Bu durumun sebebi, her döngüde $T = T * \alpha$ şeklinde bir soğutma işlemi uygulanmasıdır.

Tablo 4.2 BT Algoritmasının soğutma katsayısı değişimine verdiği tepki.

En İyi Çözüm	Başlangıç Sıcaklığı (T)	Soğutma Katsayısı (α)	Maksimum İterasyon Sayısı	Algoritma Çalışma Süresi (ms)
3353	10	0.999	5000	1005.8094
3434	10	0.95	5000	83.1749
3512	10	0.90	5000	43.2564
3565	10	0.85	5000	26.6373
3615	10	0.8	5000	20.0225

Algoritmanın çalışma sürelerindeki belirgin düşüşün sebebi, algoritmanın 5000 iterasyonu tamamlamadan önce minimum sıcaklık seviyesine ulaşması ve aramanın sonlanmasıdır. Bu sebeple global en iyi çözüme ulaşabilmek için ya başlangıç sıcaklığını yükseltmek gerekirken ya da soğuma katsayısını 1’e yakın değerlerde tutmak gerekmektedir. Çizelge 2’de verilen her bir soğutma katsayısı için uygunluk kümesi – iterasyon sayısı grafikleri Şekil 4.10’da verilmiştir. Şekil 4.10-a’da $\alpha = 0.999$

olarak seçildiğinde arama işlemi maksimum iterasyon sayısı olan 5000'e kadar devam etmiştir. Şekil 4.10-b'de $\alpha = 0.95$ olarak seçildiği durumda iterasyon sayısı 400'e ulaştığında minimum sıcaklık değerine ulaşılmış ve arama sonlandırılmıştır. Şekil 4.10-c'de $\alpha = 0.9$ seçildiği durumda iterasyon 200'e ulaştığında sıcaklık minimum değere gelmiştir. Şekil 4.10-d'de $\alpha = 0.85$ seçildiği durumda iterasyon 120 civarlarında arama sonlanırken, $\alpha = 0.85$ olarak belirlendiği durumda ise, Şekil 4.10-e'de görüleceği üzere iterasyon 800-1000 arasında sonlanmıştır. Bu durum arama işleminin neden kısa sürdüğünü açıklamaktadır.



Şekil 4.10 Başlangıç sıcaklığı $T=10$ sabit tutulup, α değiştirildiğinde oluşan uygunluk değerleri – iterasyon grafikleri

4.2.3.3. Maksimum iterasyon sayısının etkisi

BT Algoritmasının sonlandırılma şartlarından birisi maksimum iterasyon limitine ulaşılmasıdır. Maksimum iterasyon limiti BT Algoritmasının hedeflenen çözüme ulaşması için arama yaparken en çok kaç kere tekrar edebileceğini belirtmektedir. İterasyon limitinin çok düşük seçilmesi yeterli soğutmanın

gerçekleşmemesine sebep olacağı için global optimuma yaklaşamamaya sebep olabileceği gibi, iterasyon limitinin çok yüksek tutulması ise algoritmanın toplam çalışma süresinin artmasına sebep olmaktadır.

Tablo 4.3'te başlangıç sıcaklığı ve soğutma katsayısı sabit tutulduğu durumda maksimum iterasyon limitinin olası en iyi çözüm ve algoritma çalışma süresine etkisi gösterilmektedir. İterasyon limiti 50 seçildiğinde BT Algoritması yeterli arama yapamadığı için en iyi çözüm için minimum çözüm değeri 3990 metre bulunmuştur. İterasyon limiti artırıldıkça çözümde iyileşme olduğu görülmektedir. Maksimum iterasyon sayısını 500'ü geçtikten sonra algoritmanın çalışma süresinin çok fazla etkilenmemesinin sebebi BT Algoritmasının verilen iterasyon limitine ulaşmadan minimum sıcaklık değerine ulaşarak aramayı sonlandırmasıdır.

Tablo 4.3 BT Algoritmasının maksimum iterasyon limitine verdiği tepki.

En İyi Çözüm	Başlangıç Sıcaklığı (T)	Soğutma Oranı (α)	Maksimum İterasyon Sayısı	Algoritma Çalışma Süresi (ms)
3990	10	0.95	50	15.3002
3727	10	0.95	500	104.2059
3664	10	0.95	1000	113.5706
3576	10	0.95	2000	100.8646
3441	10	0.95	5000	100.9953

4.2.4. BT Algoritması ve Ağgözlü Algoritma çıktıları

BT Algoritmasının başlangıç parametrelerinin sonuca etkileri araştırıldıktan sonra nihai seçim olarak $T = 4.69$, $\alpha = 0.995$, *iterasyon sayısı* = 2000 değerleri kullanılmıştır. 1. Bölge için elde edilen program çıktısı Şekil 4.11'de verilmiştir.

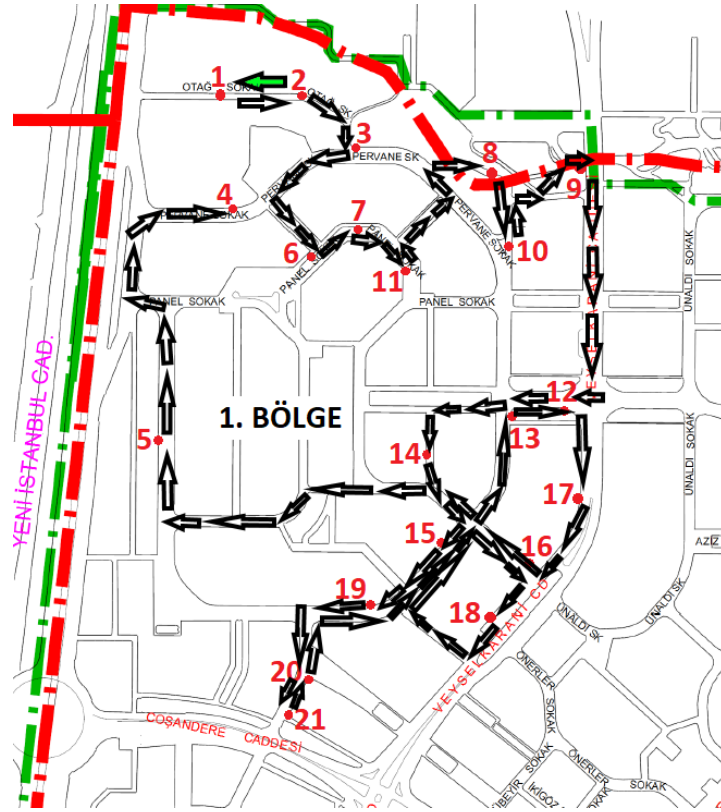
```

Greedy/Açgözlü algoritma rotası: [2, 1, 3, 6, 7, 11, 8, 10, 9, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 16, 18, 17, 5, 4]
Greedy/Açgözlü algoritma çözümü: 4838
Simulated annealing...
Best fitness / Elde edilen en iyi çözüm(metre): 3210
Greedy başlangıç çözümüne göre iyileşme oranı: 33.65%
En iyi rota: [1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 7, 6, 4, 5, 20, 21, 19, 15, 14, 13, 12, 17, 16, 18]
Çalışma süresi: 42.1810999999997 ms'de tamamlandı.
Toplam çalışma süresi: 424.8852 ms'de tamamlandı.

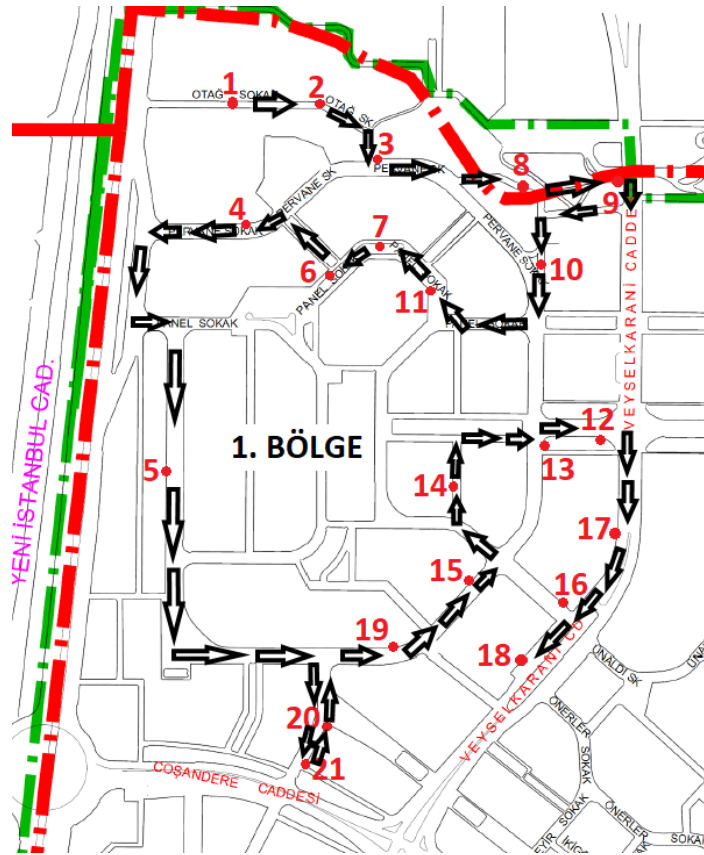
```

Şekil 4.11 BT Algoritması çalıştırıldığında oluşan çıktı

Başlangıç çözümü olarak üretilen Açgözlü Algoritma çözümü 2. konteynerden başlayıp 4 numaralı konteynerde rota tamamlanmıştır. Toplam hareket edilmesi gereken mesafe 4838 metre olarak hesaplanmıştır. Daha sonra BT Algoritması olası çözümleri hesaplamaya başlamıştır. Algoritma 10 sonuç ürettikten sonra elde edilen en iyi çözüm 1. Atık konteynerinden başlayarak 18. Atık konteynerinde son bulacak şekilde bulunmuştur. BT Algoritmasının bulduğu rotada izlenmesi gereken mesafe 3210 metre olarak hesaplanmıştır. BT Algoritması, Açgözlü algoritmaya göre %33,65 daha kısa bir mesafe önermiştir. Yani izlenmesi gereken rota yaklaşık olarak 1,6 km kısaltılmıştır. Ayrıca Şekil 4.12’de Açgözlü Algoritmanın ilerleyiş adımları, Şekil 4.13’te ise BT Algoritmasının ilerleyiş adımları gösterilmiştir. Haritalarda da görüleceği üzere Açgözlü Algoritmada aynı noktalardan tekrar geçilmesi durumu birden fazla kez gözlemlenmiştir ancak BT algoritmasında bu durum sadece bir kere gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12 Açgözlü Algoritmanın izlediği rota



Şekil 4.13 BT Algoritmasının izlediği rota

Diğer tüm bölgeler için de BT Algoritması ayrı ayrı uygulanmıştır. Elde edilen açgözlü algoritma sonuçları ve BT Algoritması sonuçları EK-4'te verilmiştir. Tüm sonuçlarda BT Algoritmasının Açgözlü Algoritmaya göre mesafe iyileştirme oranları, algoritma çalışma süreleri ve mesafeler görülebilmektedir.

Veyselkarani Caddesi, Coşandere Caddesi ve Çelikler Sokak arasında kalan 2. bölge için Açgözlü Algoritma sonucu 4467 metre olarak hesaplanmıştır. BT Algoritmasının bu bölge için sonucu 3436 metredir. Rota iyileştirme oranı %23,08'dir. 2. bölgede izlenmesi gereken rota yaklaşık 1 km kısaltılmıştır.

Veyselkarani Caddesi'nin sol tarafında, Coşandere Caddesi ve Medine Caddesi arasında kalan 3. bölgede izlenmesi gereken rota Açgözlü Algoritma tarafından hesaplandığında 3094 metre olarak bulunmuştur. BT Algoritmasının sonucu ise 2643 metredir. BT Algoritması izlenmesi gereken yolu 451 metre düşürmüştür. %17,02'lik bir verim yakalanmıştır.

4. bölge olarak belirlenen güzergâhta Açgözlü Algoritma 5870 metrelik bir rota belirlemiştir. BT Algoritması ise aynı bölgede 4202 metrelik bir güzergâh hesaplamıştır. 4. bölgede %16,71'lik bir iyileştirme gözlemlenmiştir. Bu bölgede yaklaşık 1.6 km'lik bir kazanç sağlanmıştır.

Özata Sokak ve üzerinde kalan bölge 5. bölge olarak belirlenmiştir. Bu bölgedeki tüm katı atık konteynerlerine uğrayacak şekilde Açgözlü Algoritmanın oluşturduğu rota 4280 metredir. Benzer şekilde tüm konteynerlere birer kere uğramak şartıyla BT Algoritmasının belirlediği güzergâh 3483 metre olarak bulunmuştur. Bu bölgede BT Algoritmasının Açgözlü Algoritmaya göre rotadaki iyileştirme oranı %33,88'dir. 5. bölge için Açgözlü Algoritma BT Algoritmasına göre yaklaşık 800 metre daha uzun bir rota belirlemiştir.

Veyselkarani Caddesi'nin sağında, Seher Sokak'ın altında kalan alan 6. bölge olarak seçilmiştir. Bu bölgede Açgözlü Algoritma, katı atık toplama aracının kat etmesi gereken mesafeyi 3299 metre olarak hesaplamıştır. Aynı bölge için BT Algoritmasının bulduğu sonuç ise 2363 metredir. BT Algoritması, katı atık toplama aracının kat etmesi gereken mesafeyi yaklaşık 1km daha kısa olacak şekilde hesaplamıştır. Aracın BT Algoritmasının hesapladığı rotayı kullanması hâlinde Açgözlü Algoritmanın hesabına göre %29,61 kazanç elde etmiş olacaktır.

Veyselkarani Caddesi'nin solunda, Özata Sokak'ın altında kalan bölge 7. ve son bölge olarak belirlenmiştir. Bu bölge için Açgözlü Algoritmanın hesapladığı rota 6333 metredir. BT Algoritmasının belirlediği rota ise 2998 metredir. Bu bölge için BT

Algoritması izlenmesi gereken rotayı yaklaşık olarak 3,3 km kısaltmıştır. Açgözlü Algoritmaya göre %30,62 daha kısa bir rota bulan BT Algoritması bu bölge için ciddi bir katkı yapmıştır.

Tablo 4.4 Bölgelere göre elde edilen sonuçlar

Bölgeler	Açgözlü Algoritma ile Katedilen Mesafe (m)	BT Algoritması Sonuçları (m)	Rota İçin Kısaltılan Mesafe (m)	İyileştirme Oranı (%)
1.Bölge	4838	3210	1628	33,65
2.Bölge	3411	3202	209	6,13
3.Bölge	3685	2643	1042	28,28
4.Bölge	5547	4202	1345	24,25
5.Bölge	5165	3483	1682	32,57
6. Bölge	2763	2292	471	17,05
7. Bölge	4561	2998	1563	34,27
TOPLAM	29970	22030	7940	26,49

Tablo 4.4'te görüldüğü üzere, tüm bölgelerde BT Algoritması Açgözlü Algoritma sonuçlarına göre daha optimum bir rota üretmiştir. Toplam rotada yaklaşık olarak 8km kazanç sağlanabilmektedir. Bu sayede atık toplama aracının kullanacağı yakıt miktarı azalacak, çevreye verdiği CO₂ salınımı azalacak, toplam rota süresi kısalmaktadır. Sonuçlardan da görülebileceği gibi, katı atık toplama araçlarının güzergâhları şoförün inisiyatifine bırakılmamalı [9], rastgele hareket edilmemelidir.

Katı atık toplama işlemi için çeşitli markalarda araçlar kullanılabilir. Bunlardan birisi Şekil 4.2'de verilen Ford markasının 1833 model kamyonudur. 13-15m³ çöp taşıyabilen tip araçları 18 ton kapasiteye kadar ulaşabildiği için, aracın boş hali ile dolu hali arasında ciddi yakıt tüketimi değişiklikleri olabildiğinden firma sayfasında resmi bir yakıt tüketim değeri verilmemektedir. Benzer marka ve model kullanan araç operatörlerine araçlarının yakıt tüketimi sorulmuş ve farklı cevaplara ulaşılmıştır. Aracın boş ve dolu olma durumuna göre, yakıt tüketimi 100 kilometrede 25 litre ile 40 litre arasında değişken değerler olabilmektedir. Bu değer aracın markasına, kullanımına ve hava şartlarına göre değişiklik gösterecektir. Ayrıca ilk konteynerden son konteynere kadar olan süreçte de değişiklikler olacaktır. Bu sebeple bu çalışmada aracın yakıt tüketimi ortalama olarak 30 litre /100km olarak kabul edilecektir.

Tüm konteynerlerin dolu kabul edildiği senaryoda, Tablo 4.4’de verilen, Kosova Mahallesi’nde 1 turda yaklaşık 8 km kısılacak rota için yaklaşık 2,4 litre yakıt tasarrufu sağlanması beklenmektedir. Bu çalışmanın yapıldığı tarih olan 22.05.2022’de Konya’da 1 litre dizel yakıt yaklaşık 22,2 Türk Lirası’dır. Katı atık toplama aracı sadece Kosova Mahallesi için, tek turda yaklaşık olarak 178 Türk Lirası fayda sağlayacaktır.

2021 Aralık ayı TÜİK raporuna göre Konya’da sadece merkez ilçeler olan Selçuklu, Karatay ve Meram’da toplam 221 mahalle bulunmaktadır. Kosova Mahallesi için yapılan çalışmada elde edilebilecek faydanın diğer mahalleler için de uygulanabilirliği düşünüldüğünde, sadece Kosova Mahallesi için anlamlı gibi görünmeyen yakıt tasarrufu, il geneli için anlamlı bir değer oluşturacaktır. Yakıt tasarrufu sayesinde elde edilen değer sadece maddi kazanç değil aynı zamanda emisyon değerlerinin düşürülmesi için de önemli bir adım olacaktır. Ülkemizin imzaladığı ve taraf olduğu Paris Anlaşması gereği 2030 ve 2050 hedefleri için emisyon değerlerinde anlamlı katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

4.3. Atık Konteynerlerinin Doluluk Kontrolü

Nesnelerin İnterneti ve Endüstri 4.0 kavramı ile birlikte [45] Akıllı Şehirleri yönetilebilir yapan şey sistemle ilgili yeterli veri toplamak ve bu verileri sağlıklı kararlar verebilmektir [46]. Atık toplama sistemleri gelecekte bu teknolojilerin kullanılması ile daha kolay yönetilebilir ve daha hızlı müdahale edilebilir olacaktır [47].

Atık toplama sistemi için önemli konulardan birisi de konteyner doluluk durumlarının kontrol edilmesidir. Eğer katı atık toplama aracının rotası her zaman tüm konteynerlere uğramak üzere kurgulanırsa, konteynerin boş olması durumunda gereksiz yakıt tüketimi yapılmış olur. Dar sokaklardaki dolu olup olmadığı bilinmeyen konteynerleri kontrol etmek için gereken süre de toplam rota süresini olumsuz etkilemektedir [48]. Atık konteynerlerinin doluluk durumları aktif bir şekilde kontrol edilirse, önceden belirlenmiş kabul edilebilir bir konteyner doluluk oranına göre daha kısa bir araç rotası oluşturulabilir.

Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi yeterli doluluk oranına sahip olmasa bile belirli sıklıkta tüm atık konteynerlerine uğranılması gerekir. Bu durumun sebebi atıkların çok uzun süre konteyner içerisinde beklemesinin konteynere ve çevreye verebilecek olumsuz etkileridir. Ayrıca rutin kontrollerle sensörlerden gelen verilerin doğruluğu da kontrol edilmiş olur. Herhangi bir sensör arızasında atık

konteynerlerindeki doluluk durumunun çevreyi olumsuz etkilemesi istenmeyen bir durumdur.

Atık konteynerlerinin doluluk durumlarını takip etme işlemi birçok farklı yöntemle gerçekleştirilebilir ancak bu yöntemlerin çoğunda ortak olarak yapılması gereken bazı işlemler vardır.

- I. Konteyner doluluğunu ölçecek sensör veya sensörlere ihtiyaç vardır.
- II. Doluluğu ölçen sensörlerden gelen veriyi okuyup merkezi bir sisteme veya toplama işlemi yapacak araca gönderecek haberleşmeyi sağlayabilecek elektronik bir yapıya ihtiyaç vardır.
- III. Gönderilen bu veriyi anlamlandıracak ve eğer merkezi bir yapı sunuluyorsa atık toplayıcı araca gerekli komutları veya bilgileri iletecek bir sisteme ihtiyaç vardır.

Doluluk durumunu ölçmek için farklı tipte sensörlerden faydalanılabilir. Doluluk durumunu belirleyebilecek bazı sensör tipleri şu şekildedir; ultrasonik sensör [49], kapasitif mesafe sensörleri, ağırlık ölçen sensörler. Konteyner tipi her şehirde farklılık gösterebildiği için sensör seçimi konteyner tipine bağlıdır.

Sensörlerden gelen sürekli veriyi okumak ve merkezi bir sistemle paylaşmak için haberleşme protokolüne sahip elektronik devreye ihtiyaç vardır. Bu devre sisteme özel olarak tasarlanabileceği gibi, üzerinde GPRS [50], RF haberleşme, mobil veri [51], kablosuz internet bağlantısı [48] veya bluetooth gibi kablosuz haberleşme teknolojilerinden birisi veya birkaçı bulunan herhangi bir kontrol kartı kullanılabilir [52]. Kurulacak yapıda kullanılacak sistem önceden belirlenmeli ve ihtiyaç olan teknolojiye göre doğru donanım seçilmelidir.

Tüm sensörlerden gelen verilerin toplanması ve anlamlandırılması için bulut teknolojilerine veya veri depolayan server sistemine ihtiyaç vardır. Bölgede sadece 1 adet çöp toplama aracı varsa gerekli bilgiler direkt araca gönderilebilir. Ancak çoğu sistemde birden fazla çöp toplama aracı olduğu düşünüldüğünde merkezi bir veri yapısı kurup tüm araçların bu sistemi anlık takip etmesi daha uygun bir çözüm olacaktır [53].

Bu çalışmanın ana odak noktası BT Algoritması ile rota optimizasyonu olduğu için doluluk kontrolü ve sistemdeki elemanların birbirleri ile haberleşmesi hakkında özel bir çözüm yöntemi sunulmayacaktır. Bu sebeple daha önce bu alanla ilgili yapılmış çalışmaların önerilen sisteme adapte edilebileceği kabul edilmiştir.

S. Longhi ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada [52] atık konteynerlerine yerleştirilen ve RF haberleşme ile veri aktarım noktalarına konteyner doluluk durumlarını aktaran sensörler kullandı. Yapılan çalışmaya göre, her konteynerin internet üzerinden veri gönderimi yapabilmesi için mobil hat takılması yerine, sistem RF haberleşmeli sensörlerle kısa mesafede bilgilerini en yakın veri aktarım merkezi ile paylaşacak şekilde tasarlandı. Linux işletim sistemi ile çalışan veri aktarım noktaları, topladıkları sensör bilgilerini mobil internet bağlantısı veya kablosuz bağlantı sistemi ile bilgilerin tutulduğu ve yorumlanacağı sunucuya gönderir. Herhangi bir internet tarayıcısı yardımı ile konteyner doluluk bilgilerine herhangi bir noktadan erişilebilir.

4.3.1. Doluluk kontrolü yapılmış sistemin çıktısı

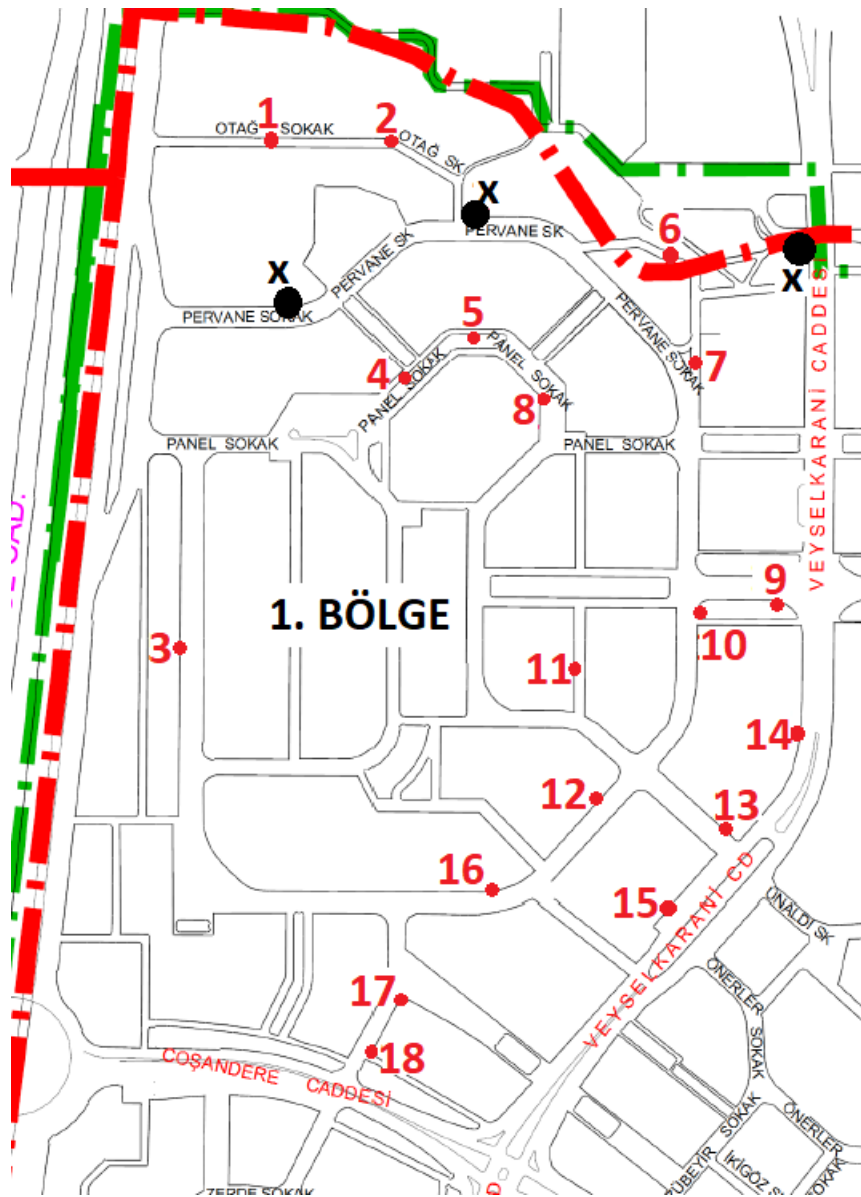
4.2. Bölümde yapılan çalışmada konteynerlerin doluluk durumlarına bakılmaksızın, toplayıcı aracın tüm konteynerlere uğradığı durumlar için BT Algoritması çıktıları verilmiştir. Bu bölümde ise sensörlerden geldiği kabul edilecek verilerle bazı konteynerlerin boş olması durumunda BT Algoritmasının çıktıları verilmiştir.

Boş konteynerler için algoritma içerisinde önce kaç adet boş konteyner olması gerektiğini belirlemek adına rastgele bir tam sayı üretilmektedir. Daha sonra belirlenen boş konteyner sayısı kadar döngü kurularak hangi konteynerlerin boş kabul edileceği yine rastgele sayı üretilerek belirlenmektedir. Aynı konteyner numarası tekrar üretilirse görmezden gelinecektir. Rastgele sayı üretilmesi sayesinde program her çalıştırıldığında farklı konteynerler boş olarak belirlenecektir.

```
Boş konteynerler: [9, 3, 4]
Iterasyon: 10/10 -----
Greedy/Açgözlü algoritma rotası: [17, 18, 16, 12, 13, 15, 10, 9, 14, 11, 7, 6, 8, 5, 4, 3, 2, 1]
Greedy/Açgözlü algoritma çözümü: 3025
Simulated annealing...
Best fitness / Elde edilen en iyi çözüm(metre): 2539
Greedy başlangıç çözümüne göre iyileşme oranı: 14.88%
En iyi rota: [1, 2, 3, 4, 5, 8, 6, 7, 10, 9, 14, 13, 15, 16, 12, 11, 17, 18]
Çalışma süresi: 91.2440999999995 ms'de tamamlandı.
Toplam çalışma süresi: 933.5868 ms'de tamamlandı.
```

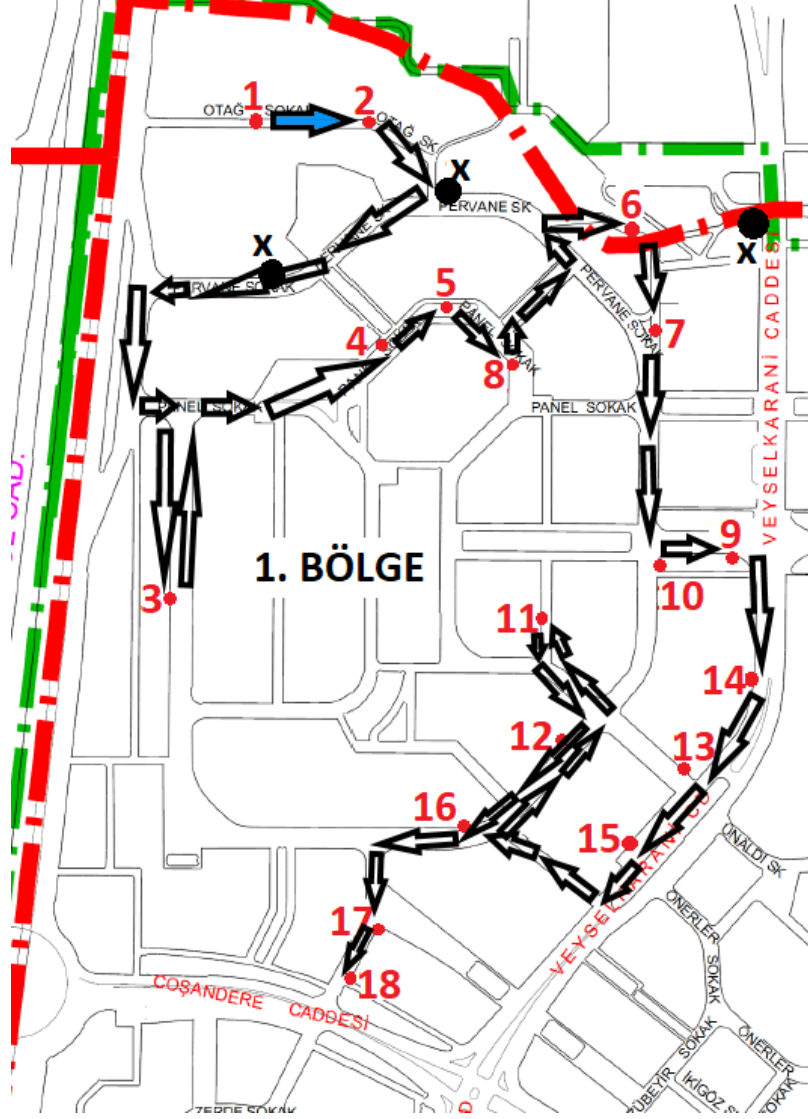
Şekil 4.14 1. Bölge için boş konteynerler tespit edildiği durumda BT Algoritmasının çıktısı

Hazırlanan program 1. Bölge için çalıştırıldığında Şekil 4.14’de görüldüğü üzere, Şekil 4.6’da verilen konteyner numaralarından 9, 3 ve 4 numaralı konteynerler boş konteynerler olarak belirlenmiştir. Bölgede toplam 21 konteyner bulunmaktadır, 3 konteyner boş olarak kabul edildiği durumda toplanacak 18 konteyner bulunacaktır. BT Algoritması en iyi rotayı 2539 metre olarak bulmuştur. Tablo 4.4’de 21 konteyner için BT Algoritmasının en iyi sonucu 3210 metre olarak gösterilmiştir. Belirtilen 3 konteynerin boş olması durumunda 1. Bölgenin rotası 671 metre kısalmaktadır. Aynı zamanda BT Algoritması, Açgözlü Algoritmaya göre %14,88 daha iyi bir sonuç elde etmiştir.



Şekil 4.15 1. Bölge için boş konteynerler ve dolu konteynerlerin konumları

Şekil 4.15'te "x" ile gösterilen noktalar boş kabul edilen atık konteynerlerini temsil etmektedir. Toplanacak konteynerler yeniden numaralandırılarak gösterilmiştir. BT Algoritmasının sonucu konteynerlerin yeni numaralarına göre belirlenmiştir.



Şekil 4.16 1. Bölge için BT Algoritmasının izlediği rota

Şekil 4.16'da boş konteynerler rotaya dahil edilmediği durumda BT Algoritmasının çizdiği rota gösterilmektedir. Bu rota hem tüm konteynerlerin dolu olduğu rotaya göre hem de Açgözlü Algoritmanın boş konteyneri dahil etmeden oluşturduğu rotaya göre daha kısadır. 671 metre çok büyük bir kazanç olarak görülmeyebilir ancak bu kazanç Kosova Mahallesi'nin 7 bölgesinden sadece birisinden elde edilen kazançtır. Sistemin Konya'daki 221 mahalleye uygulandığı düşünüldüğünde daha büyük ve daha anlamlı bir sonuç elde edileceği öngörülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şehirlerdeki nüfus arttıkça atık yönetim sistemlerinin önemi de giderek artmaktadır. Teknolojinin gelişimiyle birlikte ülkeler, yaşanabilir bir gelecek için akıllı şehir kavramına önem vermektedirler. Nesnelerin interneti kavramının ortaya çıkması ile birlikte şehir planlama için toplanabilecek veri sayısı artmış, bu sayede optimizasyon problemlerine getirilebilecek çözüm yöntemleri de çeşitlenmiştir. Şehirlerin alt yapı sistemlerinde katı atık toplama işleminin önemli bir yeri bulunmaktadır. Nüfus artışı ve hızlı şehirleşme ile birlikte bu sistemler için ihtiyaç duyulan maliyetler de sürekli artmaktadır. Katı atık toplama araçlarının oluşturduğu maliyet, atık toplama sistemi içerisinde önemli bir yet teşkil etmektedir. Bu sebeple atık toplama güzergâhlarında yapılacak optimizasyon maliyete olumlu katkı sağlayacaktır.

Teknolojinin gelişmesi ve nüfus artışı ile birlikte fosil yakıtlara olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtların kullanımındaki artış doğaya salınan zararlı gazların miktarını artırmakta ve sera etkisi oluşmasına yol açmaktadır. Bu etki yeryüzündeki sıcaklıkların giderek artmasına yol açarak iklim değişikliklerine sebebiyet vermektedir. Bütün ülkeleri ilgilendiren bu probleme çözüm için Paris Anlaşması hazırlanmıştır. Bu anlaşmaya göre iklim değişikliklerinin önüne geçilebilmesi adına ülkeler emisyon değerlerini azaltmaları gerekmektedir. Ülkemiz de 2021 yılında Paris Anlaşması'na taraf olan ülkeler arasında yerini almıştır. Bu sebeple anlaşmanın hedefleri doğrultusunda 2030 yılına kadar emisyon değerlerini yarıya indirme, 2050 yılına kadar da sıfır emisyona ulaşma hedefi bulunmaktadır.

Şehirlerin Akıllı Şehirlere dönüştürülmesi için altyapı sistemlerinin geliştirilmesi ve Paris Anlaşması gereği emisyon değerlerinin azaltılması için katı atık toplama sistemlerinin geliştirilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Bu ihtiyaca yönelik yapılacak, atık toplama sistemlerindeki geliştirmeler ile; toplam rotaların kısalması, gereksiz uğranan konteynerler mesafelerinin toplam rotadan çıkarılması bu sayede yakıt tüketiminin azaltılması, emisyon değerlerinin azaltılması, zamandan tasarruf sağlanması gibi faydalar sağlanabilecek ve sistemin anlık takibi yapılabilecektir.

Bu çalışmada Konya İl'i katı atık yönetim sisteminde optimum rota hesabı için BT Algoritması kullanılarak bir çözüm yöntemi sunulmuştur. Uygulama bölgesi olarak Selçuklu İlçesi, Kosova Mahallesi seçilmiştir. Bölgede tek katı atık toplama aracı çalıştığı kabul edilmiştir. Bu sebeple Kosova Mahallesi'ndeki tüm konteynerler doluyken bir aracın kapasitesi tüm konteynerlerdeki atıkları toplamak için yeterli

olmayacağından konteynerleri gruplandırma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Kosova Mahallesi tespit edilebilen konteyner konumlarına göre 7 farklı bölgeye ayrılmıştır. Mahalle bölgelere ayrılırken iki konteyner arası mesafeyi çok uzatan cadde geçişleri dikkate alınarak seçimler yapılmıştır.

BT Algoritmasını kodlamak için Python dili, tümleşik geliştirme ortamı olarak Pycharm uygulaması tercih edilmiştir. Öncelikle katı atık sistemini etkileyen faktörler ortaya konmuş, daha sonra da BT Algoritması bu sistemde kullanılırken, sonuçların hangi parametrelerden nasıl etkilendiği ayrı ayrı incelenmiştir. BT Algoritması kullanılarak elde edilen sonuçlar Açgözlü Algoritma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Tüm bölgelerdeki sonuçlar dikkate alındığında izlenmesi gereken yolların rastgele olmaması gerektiği açıkça görülmektedir. Herhangi bir katı atık toplama aracının izlemesi gereken rota gelişigüzel belirlenmemeli, en kısa rota hesaplanıp aracı kullanan operatörün bilgisinde sunulmalıdır. Bu sayede her bölge için tasarruf edilen yakıt miktarı az olsa da bu bölgeler toplandığında bütün şehir için ciddi bir yakıt tasarrufu sağlanmış olacaktır. Sadece Kosova Mahallesi için BT Algoritması ile hesaplanan toplam rota Açgözlü Algoritma sonuçlarına göre yaklaşık olarak 8 km daha avantajlıdır. Bu sayede sadece Kosova Mahallesi için toplam rotanın bir tur tamamlanması süresince yaklaşık 2,4 litre yakıt tasarrufu sağlanabilecektir. Konya'nın merkez ilçelerindeki mahalle sayısı 221'dir. Kosova Mahallesinde elde edilen sonucun diğer mahallelerde elde edilmesi ile tek turda 500 litreye civarı bir kazanç sağlanabileceği tahmin edilmektedir. Katı atık toplama rotasının kısalması; yakıt maliyetini düşmesine, CO₂ salınımının azalmasına, harcanması gereken zamanın kısalması sebebiyle operatör maliyetinin azalmasına anlamlı katkılar yapacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın etkisinin artması için katı atık konteynerlerine sensörler yerleştirilerek doluluk tespiti yapılması önerilmektedir. Konteynerlerdeki doluluk durumu anlık olarak takip edildiğinde henüz dolmamış konteynerlere uğranmayacağı için rota daha da kısalacak ve sistemin verimi artacaktır. Katı atık toplama aracı olarak, yeterli çöp toplayabilme adına genellikle büyük kamyonlar tercih edilmektedir. Özellikle dar sokaklarda çalışma zorlaşmaktadır. Dar sokaklardaki konteynerlerin boş olduğu tespit edildiğinde o sokağa girme ihtiyacı kalmayacağı için oluşacak gereksiz zorluklardan kaçınılmış olunur.

BT Algoritması ile en doğru sonuca ulaşılabilmesi için sistem çalıştırılırken internet bağlantısı sağlanmalı, çöp konteynerleri arasındaki mesafe ve sürelerle göre

optimum rota anlık hesaplanmalıdır. Trafik sıkışıklıkları, kaza durumları, yol çalışması gibi nadir de olsa rotayı etkileyebilecek durumların hesaplama dahil edilmesi algoritmanın en doğru sonucu üretmesini sağlayacaktır.

Yapılan çalışmanın sonuçları konteyner yıkama araç rotalama, geri dönüşüm için atık ayrıştırma konteynerleri toplama rotası, giysi atık kumbarası için araç rotalama gibi problemlere de uygulanarak çalışma sahası artırılabilir. Paris Anlaşması hedefleri doğrultusunda fosil yakıt kullanan bütün bu sistemler için optimizasyon çalışması yapılması belirlenen hedeflere ulaşma yolunda katkı sağlayacaktır. Bu sayede benzer optimizasyon problemleri için ortak bir çözüm üretilmiş olur. Çözümün uygulanması için gerekli olan teknolojik alt yapı sistemi birden fazla tip rotalama problemi için kurulursa çalışma maliyeti düşürülmüş olur ve alt yapıdan daha fazla faydalanmış olunur.

6. KAYNAKLAR

- [1] D. Can, Mapping Out Smart City Initiatives In The Turkish Context, Master Thesis, *Middle East Technical University The Graduate School Of Natural AndAppliedSciences City Planning*, Ankara, 2019.
- [2] Ö. Arkan, Endüstri 4.0 Kavramı ve Endüstri 4.0 Dönüşümünün Üretim Maliyetlerine Etkisi Üzerine Bir Vaka Çalışması: Bebek Bezi Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Muhasebe ve Finansman*, İstanbul, 2018.
- [3] O. Başkaya, Akıllı Şehirler Kapsamında Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Etkin Ulaşım Planlarının Hazırlanması Üzerine Bir Model Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı*, Eskişehir, 2019.
- [4] Y. Uyanık, Akıllı Şehirlerde Ulaşım Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi*, İstanbul, 2015.
- [5] M. Özmen, Akıllı Şehirlerde Çöp Toplama Sisteminin Genetik Algoritma ile Eniyilemesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Kültür Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Bilgisayar Mühendisliği Programı*, İstanbul, 2021.
- [6] Y. Deniz, Türkiye'nin Paris Anlaşması Sonrası Enerji Politikasında Güneş Enerjisinin Rolü ve Önemi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi Anabilim Dalı Kamu Yönetimi Programı*, İzmir, 2020.
- [7] H. Kabalu, İklim Değişikliği, Paris Anlaşması Cop21, Küresel Isınma Sorunları ve Sera Gaz Üretimi: Demokratik Kongo Cumhuriyeti Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Medeniyet Üniversitesi Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı*, İstanbul, 2019.
- [8] O. Erdinç, Sürdürülebilir Enerji ve Çevre Yönetiminde Elektrikli Çöp Kamyonu Filosunun Rota Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*

Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programı, İstanbul, 2018.

- [9] M. Altıok, Çöp Konteynerlerinden Atık Toplama İşleminde Metazsezgisel Yöntemler Kullanılarak Optimum Güzergâh Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 2016.
- [10] M. Kolukısaoğlu, K. E. Maçın, İ. Demir, Katı atık toplama sıklığının toplama- taşıma maliyetine etkisi, *Artibilim: Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1):46-56, 2018.
- [11] H. L. Vu, K. T. W. Ng, B. Fallah, A. Richter, G. Kabir, Interactions Of Residential Waste Composition And Collection Truck Compartment Design On GIS Route Optimization, *Waste Management*, 102: 613–623, 2020.
- [12] J. Lella, V. R. Mandla, X. Xhu, Solid waste collection/transport optimization and vegetation land cover estimation using Geographic Information System (GIS): A casestudy of a proposed smart-city, *Sustainable Cities and Society*, 35:336-349, 2017.
- [13] Y. Chen, J. Nakazawa, T. Yonezawa, H. Tokuda, Cruisers: An Automotive Sensing Platform For Smart Cities Using Door-To-Door Garbage Collecting Trucks, *Ad Hoc Networks*, 85: 32–45, 2019.
- [14] V. V. Zubov, A. A. Domnitskiy, R. V. Kargin, Calculation and Choice of Grip Parametersfor Garbage Truck Manipulator, *International Conference on Industrial Engineering*, 129:896 – 902, 2015.
- [15] A. K. Tafida, Overall Cost Optimization Of A Concrete Bridge Using Simulated Annealing Algorithm, Master Thesis, *Atılım University, The Graduate Of Natural And Applied Sciences*, Ankara, 2014.
- [16] D. T. Pham, D. Karaboğa, Intelligent Optimization Techniques, Genetic Algorithms, Tabu Search, Simulated Annealing And Neural Networks, *Advanced Manufacturing Series, Springer-Verlag*, London, 2000.

- [17] Y. Avcı, Sonlu Eleman Modeli Güncellemesi Tekniğinde Benzetilmiş Tavlama Algoritması Kullanılarak Mekanik Sistemlerde Hasar Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı*, İstanbul, 2008.
- [18] M. Akpamukçu, Enhancement Of Optimization Algorithms' Performances In Engineering Problems Via Different Distribution Functions, Master Thesis, *İnönü University, Graduate School Of Nature And Applied Sciences Computer Engineering Department*, Malatya, 2021.
- [19] C. Doğan, Balina Optimizasyon Algoritması ve Gri Kurt Optimizasyonu Algoritmaları Kullanılarak Yeni Hibrit Optimizasyon Algoritmalarının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kayseri, 2019.
- [20] N. Pehlivan, Göç Eden Kuşlar Optimizasyon Algoritması ve Akıllı Su Damlaları Optimizasyon Algoritması Verimlilik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*, Düzce, 2020.
- [21] Y. Çelik, İ. Yıldız, A. T. Karadeniz, Son Üç Yılda Geliştirilen Metasezgisel Algoritmalar Hakkında Kısa Bir İnceleme, *European Journal of Science and Technology*, p.p.:463-477, 2019.
- [22] B. Yılmaz, A Novel Meta-Heuristic For Graph Coloring Problem: Simulated Annealing With Backtracking, Master Thesis, *Yeditepe University, Institute of Graduate Studiesin Science and Engineering Computer Engineering Department*, İstanbul, 2011.
- [23] T. G. Stützle, Local Search Algorithms for Combinatorial Problems Analysis, Improvements, and New Applications, Ph.D. Thesis, *Darmstadt Technical University, Department of Computer Science*, Darmstadt, 1998.
- [24] S. Kirkpatrick, C.D. GelattJr., M. P. Vecchi, H. Tokuda, Optimization by Simulated Annealing, *Science*, 220:671-680, 1983.

- [25] E. Sonuç, Benzetilmiş Tavlama Algoritmasının Grafik İşlemci Ünitesi Kullanılarak Paralleleştirilmesi, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*, Karabük, 2017.
- [26] B. Haznedar, Benzetilmiş Tavlama Algoritması ile Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sisteminin (Anfis) Eğitilmesi, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kayseri, 2017.
- [27] A. F. M. Layas, Ödül ve Ağırlıklı Lineer Ceza Mekanizması İçeren Yeni Bir Benzetilmiş Tavlama Yaklaşımı ile Lsb Tabanlı Görüntü Steganografisinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*, Erzurum, 2019.
- [28] E. Çelik, Bulut Görev Çizelgelemesi İçin Benzetilmiş Tavlama Tabanlı Bir Optimizasyon Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*, Erzurum, 2018.
- [29] A. Söke, Genetik Algoritma ve Benzetilmiş Tavlama ile İki Boyutlu Giyotinsiz Kesme Problemlerine Olasılıksal Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı*, İzmit, 2003.
- [30] E. Sonuç, B. Şen, Ş. Bayır, Gezgin Satıcı Probleminin Benzetilmiş Tavlama Yöntemiyle Çözümünde Paralel Hesaplamanın Kullanılması, *Akademik Bilişim Konferansı-AB2015*, Eskişehir, 2015.
- [31] S. Şahin, Cad – Integrated Size And Shape Optimization Of Steel Lattice Energy Transmission Line Towers Using Simulated Annealing, Ph.D. Thesis, *Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences*, Ankara, 2016.
- [32] H. Lutfiyya, B. McMillen, P. Poshyanonda, C. Dağlı, CompositeStockCutting Through Simulated Annealing, *Mathematical Computing Modelling*, 16(1):57-74, 1992.

- [33] A. E. Ezugwu, A. O. Adewumi, M. E. Frıncu, Simulated Annealing based symbiotic organisms search optimizational gorithm for traveling salesman problem, *Expert Systems With Applications*, 77:189-210, 2017.
- [34] D. S. Johnson, C. R. Aragom, L. A. McGeoch, C. Schevon, Optimization by Simulated Annealing: An Experimental Evaluation; Part 1, Graph Partitioning, *Operations Research Society of America*, 37(6):865-892, 1989.
- [35] B. Durmuş, Tamsayılı Programlamada Klasik ve Greedy Sezgisel Algoritma Sonuçlarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı*, Muğla, 2018.
- [36] M. Çal, Solving A ModifiedTsp Problem By A Greedy Heuristic For Cost Minimization, Master Thesis, *Özyeğin University Graduate School of Sciences and Engineering Department of Industrial Engineering*, İstanbul, 2017.
- [37] H. O. Alwan, N. M. Farhan, M. P. Vecchi, Load Restoration Methodology Considering Renewable Energies And Combined Heat And Power Systems, *International Journal Of Engineering And Technology*, 7(2.6):130-134, 2018.
- [38] B. M. Coşar, New Greedy Algorithm To Optimize The Curriculum-Based Course Timetabling Problem, Master Thesis, *Atılım University Graduate School of Applied Sciences Department of Computer Engineering*, Ankara, 2021.
- [39] S. Murugesan, S. Ramalingam, P. Kanimozhi, Theoretical modelling and fabrication of smart waste management system for clean environment using WSN and IOT, *Materials Today: Proceedings*, xxx, 2020.
- [40] R. Nidhya, M. Kumar, R. V. Ravi, V. Deepak, Enhanced Route Selection (ERS) algorithm for IoT enabled smart waste management system, *Environmental Technology & Innovation*, 20:101116, 2020
- [41] S. Chen, C. Solving the traveling salesman problem based on the genetic Simulated annealing ant colony system with particle swarm optimization techniques, *Expert Systems with Applications*, 38:14439-14450, 2011.

- [42] X. Genga, Z. Chenb, W. Yanga, D. Shia, K. Zhaoa, Solving the traveling salesman problem based on an adaptive Simulated Annealing algorithm with greedy search, *Applied Soft Computing*, 11: 3680-3689, 2011.
- [43] «Selçuk Belediyesi,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.selcuklu.bel.tr/haberler/guncel-haberler/334/cevre-dostu-selcuklu-dan-buyuk-tasarruf.html>
- [44] «Selçuk Belediyesi,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.selcuklu.bel.tr/files_upload/ilcemizmenu/1528261420.pdf
- [45] Y. A. Fatimah, K. Govindan, R. Murniningsih, A. Setiawan, Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia, *Journal of Cleaner Production*, 269: 122263, 2020.
- [46] Y. A. Fatimah, A. Widiyantob, M. Cyber-physical System Enabled in Sustainable Waste Management 4.0: A Smart Waste Collection System for Indonesian Semi-Urban Cities, *Procedia Manufacturing*, 43:535-542, 2020.
- [47] B. Esmailian, B. Wang, K. Lewis, F. Duarte, C. Ratti, S. Behdad, The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper, *Waste Management*, 81:177-195, 2018.
- [48] İ. Aktemur, K. Erensoy, E. Koçyiğit, Optimization of Waste Collection in Smart Cities with the use of Evolutionary Algorithms, *International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, Ankara, 2020.
- [49] S. S. Chaudhari, V. Y. Bhole, Solid Waste Collection as a Service using IoT-Solution for Smart Cities, *International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*, Mumbai, 2018.
- [50] M. V. B. Delgado, J. L. R. Gazquez, P. Jimenez, P. P. Marino, Optimal Path Planning for Selective Waste Collection in Smart Cities, *Sensors (Basel)*, 19(9):1973, 2019.

- [51] S. Idvan, I. Mahmood, J. A. Zubairi, I. Matar, Optimal Management of Solid Waste in Smart Cities using Internet of Things, *Wireless Personal Communications*, 110:485–501, 2020.
- [52] S. Longhi, D. Marzioni, E. Alidori, G. D. Buo, M. Prist, M. Grisostomi, M. Pirro, Solid Waste Management Architecture using Wireless Sensor Network technology, *5th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, İstanbul, 2012.
- [53] J. M. Gutierrez, M. Jensen, M. Henius, T. Riaz, Smart Waste Collection System Based on Location Intelligence, *Procedia Computer Science*, 61:120-127, 2015.

EKLER

EK-1 Konteyner konum koordinatları

2.BÖLGE KONTEYNER KOORDİNATLARI

1- 37.999451619066384 32.52779043135901
 2- 37.99796098993808 32.52737426231064
 3- 37.996452325972754 32.52954539748507
 4- 37.99534969353405 32.52651507432425
 5- 37.994768121862904 32.525910290607015
 6- 37.99440845729242 32.52505194121574
 7- 37.993735222247174 32.525384430329076
 8- 37.99377831078172 32.526695866665506
 9- 37.993260409578035 32.528114799550245
 10-37.99274658128647 32.527354331839376
 11-37.99185833611137 32.526697074811565
 12-37.991832387640606 32.523777450230696
 13-37.990936863659286 32.52435354779407
 14-37.99101777085496 32.5251836486097
 15-37.99098089145578 32.5261676880847
 16-37.99006936755887 32.5266995902575
 17-37.99015599185135 32.526594407898344
 18-37.99019209131588 32.525229996639354

4.BÖLGE KONTEYNER KOORDİNATLARI

1- 37.988587834128744 32.528250997084974
 2- 37.98823663222018 32.526994351030076
 3- 37.98766198312443 32.52742979792185
 4- 37.986810931101516 32.52702649225587
 5- 37.98666442017864 32.526136418541114
 6- 37.98831844991093 32.525232674748416
 7- 37.98883299307735 32.524502174036066
 8- 37.98880678133141 32.52328728467862
 9- 37.98764349893554 32.5238318302247
 10-37.98748411476261 32.52383898566734
 11-37.985354932161165 32.523906825875905
 12-37.984225380963245 32.52333769055342
 13-37.98273198789055 32.523219109536065
 14-37.98104322929515 32.522090182059735
 15-37.98051961474613 32.52314159585087
 16-37.98022276081315 32.52139063474248
 17-37.97979546849408 32.521415275378764
 18-37.980648147372854 32.52044984816086
 19-37.97962245341533 32.52039657453908
 20-37.9789817054602 32.521398377387456

6.BÖLGE KONTEYNER KOORDİNATLARI

1- 37.97881474908475 32.52204525580898
 2- 37.97804053351338 32.52115239373878
 3- 37.97733764056828 32.521489925885966
 4- 37.976362555563924 32.523071834008974
 5- 37.97590851970465 32.521851278762696
 6- 37.975757173793696 32.52329811672163
 7- 37.97558600834212 32.522866019485356
 8- 37.975197977701306 32.521929305380525
 9- 37.97484885030052 32.523134659391985
 10-37.97561813929677 32.5236100600965
 11-37.97352703634975 32.52382006346213
 12-37.97273401884777 32.52379391252818
 13-37.97181852904834 32.52378435421117
 14-37.97071140742915 32.525679986056
 15-37.97095174866283 32.52423931463594
 16-37.97118450037281 32.52336154521126
 17-37.97023776247183 32.524243304489914
 18-37.96977744868605 32.525177453432505
 19-37.97022873680841 32.52604186617597

3.BÖLGE KONTEYNER KOORDİNATLARI

1- 37.99324473440018 32.52043966017691
 2- 37.99266255105178 32.521021578818214
 3- 37.99054149727754 32.522047174538464
 4- 37.990806730972004 32.52090725086649
 5- 37.99005871015995 32.52115447887746
 6- 37.99095718705073 32.51946548981643
 7- 37.98879741030072 32.52300598045488
 8- 37.9887164933774 32.52192795273763
 9- 37.98917289622717 32.52059578188603
 10-37.98855064326619 32.52059086268967
 11-37.98784508726613 32.52060419297551
 12-37.98887264786489 32.51970696237809
 13-37.98764454887357 32.519521901194004
 14-37.98746229852576 32.51878071325961
 15-37.98761889861033 32.52202969245136
 16-37.98744565675274 32.52301038193041
 17-37.98651074444889 32.523091616468804
 18-37.98616962566459 32.52202627793898
 19-37.98667752502957 32.520840752445196

5.BÖLGE KONTEYNER KOORDİNATLARI

1- 37.98425684511024 32.52081371709537
 2- 37.98425684510891 32.521980398577064
 3- 37.983913172276125 32.522982094807354
 4- 37.983021229261624 32.52197882801308
 5- 37.98303980643629 32.52072965387396
 6- 37.98289118888987 32.52028183673572
 7- 37.982445334431816 32.517865981098204
 8- 37.98212951921733 32.520199344109116
 9- 37.98196427985541 32.52070646908858
 10-37.98145930488023 32.51862266990431
 11-37.98146577887807 32.519895769445846
 12-37.98097161570534 32.51768884450653
 13-37.97976957191195 32.51845018545465
 14-37.97802229777289 32.518590313948565
 15-37.97693889387699 32.518512621280195
 16-37.97678226738015 32.518092103746405
 17-37.975847448294246 32.5184846699963
 18-37.97576080116194 32.51724686921492
 19-37.97585875008437 32.519712912479086
 20-37.97494090039294 32.51869111094524
 21-37.97495220232187 32.51711399023957

7.BÖLGE KONTEYNER KOORDİNATLARI

1- 37.9751565374048 32.520184914285586
 2- 37.97455777996741 32.519089874939134
 3- 37.9740668790369 32.518112833352525
 4- 37.97314774603592 32.51794346417401
 5- 37.97280026824147 32.51920859805373
 6- 37.97355839947968 32.519849751897425
 7- 37.973784032275056 32.52055387618816
 8- 37.97418980698909 32.521527331474886
 9- 37.97275912366564 32.52220774206229
 10-37.971165652350834 32.52216381908263
 11-37.96916844886977 32.51989969499806
 12-37.969340641304925 32.51762720727788
 13-37.968406216278396 32.5193191380563
 14-37.96735856541007 32.51923191850125
 15-37.9668489672334 32.518353920002056
 16-37.96683766405144 32.51729772704391
 17-37.96811230227523 32.51825917510059
 18-37.96783525549675 32.51734636300844
 19-37.96710008890199 32.51629802594208

EK-2 Mesafe matrisleri

2. BÖLGE KONTEYNER MESAFELERİ (metre)																		
Kont. No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	206	467	520	610	780	745	754	910	1758	1179	1706	1760	1843	1319	2028	2010	1893
2	206	0	338	390	480	650	615	862	780	1628	1049	1577	1630	1714	1189	1898	1880	1764
3	484	338	0	431	668	1010	797	525	442	1289	712	1239	1292	1376	851	1561	1543	1425
4	520	417	431	0	89	257	222	231	404	886	1122	835	888	972	1191	1157	1139	1022
5	687	498	622	89	0	170	135	144	317	799	1034	748	801	884	1103	1069	1051	935
6	743	553	676	257	170	0	118	197	870	783	1018	732	785	868	1087	1053	1035	919
7	821	632	1153	222	135	118	0	162	753	664	899	614	667	751	970	936	918	800
8	831	642	478	231	144	197	156	0	173	1021	442	971	1024	1108	583	1292	1274	1157
9	881	735	397	598	688	820	606	645	0	846	266	525	562	485	406	555	538	578
10	973	826	488	689	780	694	481	738	90	0	235	493	532	455	375	525	507	548
11	1145	997	659	861	832	713	652	909	266	581	0	258	296	220	140	289	271	313
12	1396	1249	912	645	574	454	572	718	512	423	258	0	154	214	299	422	404	307
13	1449	1302	965	799	729	608	727	1214	565	476	296	154	0	252	303	268	250	133
14	1533	1386	1048	1024	954	834	952	1097	485	560	220	214	252	0	260	232	215	94
15	1284	1137	799	1101	1030	911	1029	1048	406	621	140	299	303	260	0	150	132	174
16	1521	1332	949	1067	996	876	995	1140	555	994	289	422	268	232	150	0	19	140
17	1502	1314	931	1049	978	858	977	1123	538	977	271	404	250	215	132	19	0	123
18	1385	1196	1348	932	861	742	859	1005	948	859	315	287	133	94	174	140	123	0

3. BÖLGE KONTEYNER MESAFELERİ (metre)																			
Kont. No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	129	446	495	412	331	742	841	986	1055	1103	1069	1175	1259	954	898	987	1147	1310
2	129	0	328	317	406	325	623	722	867	937	984	950	1055	1141	834	779	868	1028	1190
3	446	328	0	135	98	322	291	391	536	605	652	618	724	809	502	447	537	696	858
4	323	376	135	0	198	136	426	526	670	740	787	753	858	944	637	582	671	831	993
5	412	410	98	198	0	225	388	487	632	701	749	715	820	906	599	544	633	793	955
6	331	325	322	136	225	0	613	713	857	927	974	940	1045	1131	824	769	858	1018	1180
7	2040	1921	1886	1166	1983	1030	0	101	244	314	393	327	472	577	227	172	260	420	583
8	1273	1267	1985	1079	1169	943	101	0	158	227	260	240	386	490	129	232	360	285	326
9	1138	1132	1130	944	1033	808	244	158	0	70	149	105	250	355	298	416	505	442	324
10	1080	1074	1071	885	975	750	314	227	70	0	80	175	193	297	228	485	574	385	231
11	1002	996	993	807	896	671	393	306	149	80	0	253	114	218	150	253	370	307	152
12	1033	1027	1024	838	928	702	327	240	105	175	253	0	145	249	360	498	588	511	362
13	887	881	879	693	783	558	431	332	262	193	114	145	0	105	221	325	441	377	223
14	839	833	830	644	734	509	558	417	336	277	199	230	93	0	307	410	527	415	309
15	1109	1102	1846	915	1004	779	228	129	286	228	150	369	221	306	0	122	220	175	215
16	1891	1773	1738	1800	1834	882	332	232	390	333	253	473	325	410	122	0	113	241	434
17	1778	1658	1623	1685	1720	1958	542	443	600	543	464	644	506	550	333	399	0	158	320
18	1839	1720	1684	1747	1781	935	384	285	442	385	307	526	377	415	175	241	354	0	186
19	1115	1109	1847	920	1009	784	500	326	324	231	152	406	227	270	215	427	435	186	0

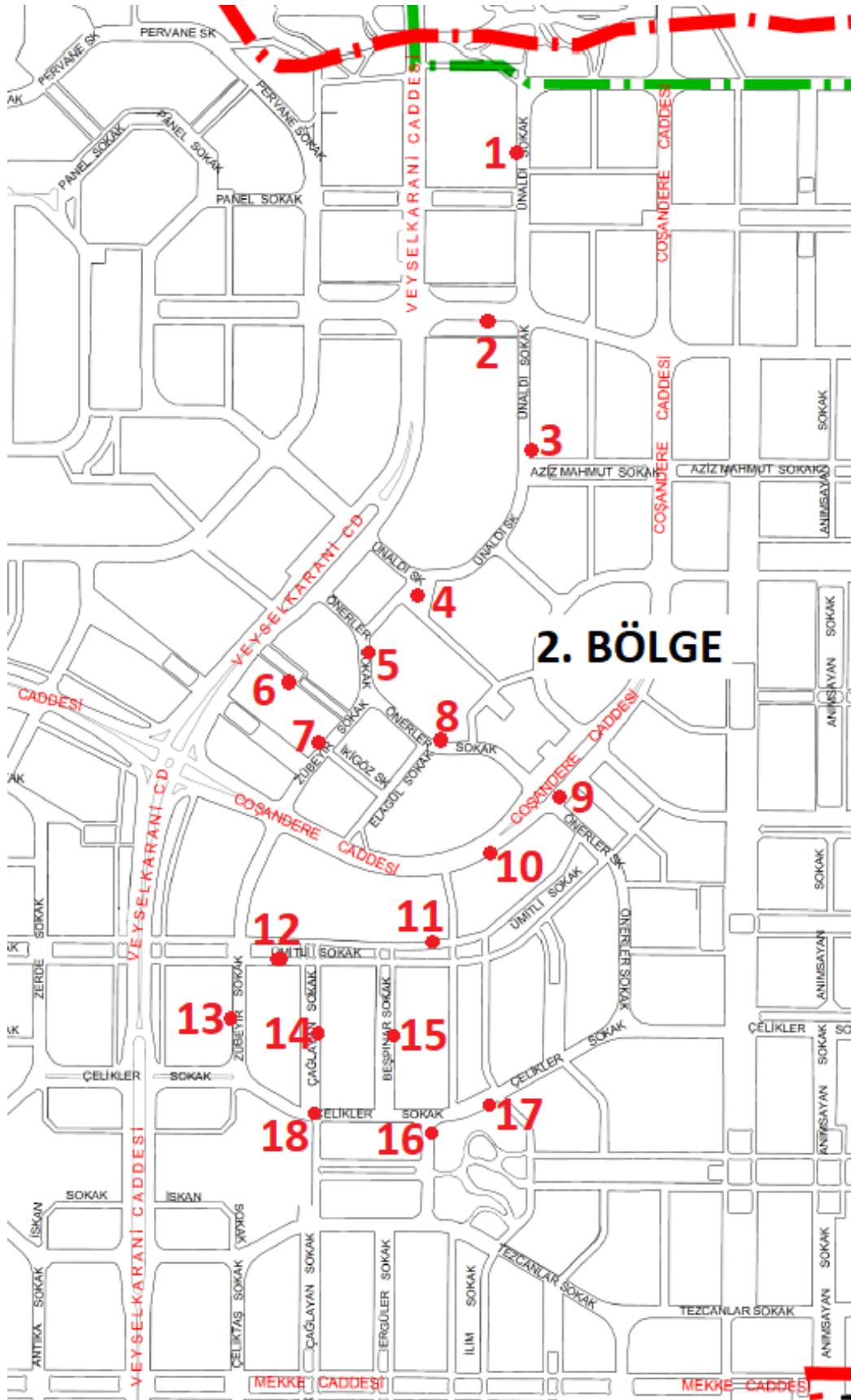
4. BÖLGE KONTEYNER MESAFELERİ (metre)																				
Kont. No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	219	213	339	430	483	579	689	528	547	1046	1033	1168	1494	1400	2165	2117	2121	2000	2015
2	219	0	103	160	250	340	324	434	349	367	866	853	988	1316	1220	1985	1938	1941	1821	1835
3	213	103	0	126	217	270	366	476	315	334	833	820	954	1281	1187	1952	1903	1906	1787	1802
4	339	160	126	0	224	327	422	722	372	356	707	694	828	1156	1061	1826	1778	1781	1661	1676
5	430	250	217	224	0	270	366	630	315	295	615	602	737	1064	970	1734	1686	1689	1570	1584
6	483	304	270	327	270	0	246	357	196	216	728	715	849	1177	1081	1846	1799	1802	1682	1696
7	579	324	366	422	366	152	0	111	224	243	1750	884	1019	2335	1252	2769	2721	2724	2604	2619
8	689	434	476	533	475	262	111	0	276	294	1639	937	1070	2224	2336	2658	2611	2614	2493	2508
9	528	349	315	372	315	196	224	185	0	119	773	760	894	1222	1128	1891	1844	1847	1728	1743
10	548	364	335	356	295	216	314	204	123	0	753	740	874	2418	1108	2852	2805	2808	2688	2702
11	884	706	671	535	443	699	548	437	357	337	0	1108	1127	775	885	1208	1161	1164	1044	1058
12	966	787	753	616	525	782	629	519	438	418	171	0	471	856	967	1289	1242	1245	1126	1141
13	1137	957	923	797	706	1559	1407	1296	1216	1196	949	778	0	352	257	604	557	1085	966	980
14	1392	1212	1179	1042	951	1207	1055	945	864	844	597	426	352	0	111	778	731	734	614	628
15	1503	1324	1289	1154	1061	1319	1166	1056	975	955	708	537	257	111	0	347	299	844	725	271
16	1747	1567	1534	1397	1305	1562	1410	1299	1219	1198	952	781	799	447	559	0	48	262	147	285
17	1699	1520	1486	1350	1258	1515	1362	1252	1171	1151	904	733	752	400	511	48	0	215	100	238
18	1484	1304	1271	1135	1043	1299	1147	1037	956	936	689	518	537	185	295	870	822	0	706	721
19	1601	1422	1388	1251	1160	1417	1264	1154	1073	1053	806	635	654	303	413	147	100	118	0	837
20	1760	1581	1547	1410	1319	1576	1423	1313	1232	1212	965	794	813	461	572	321	273	276	156	0

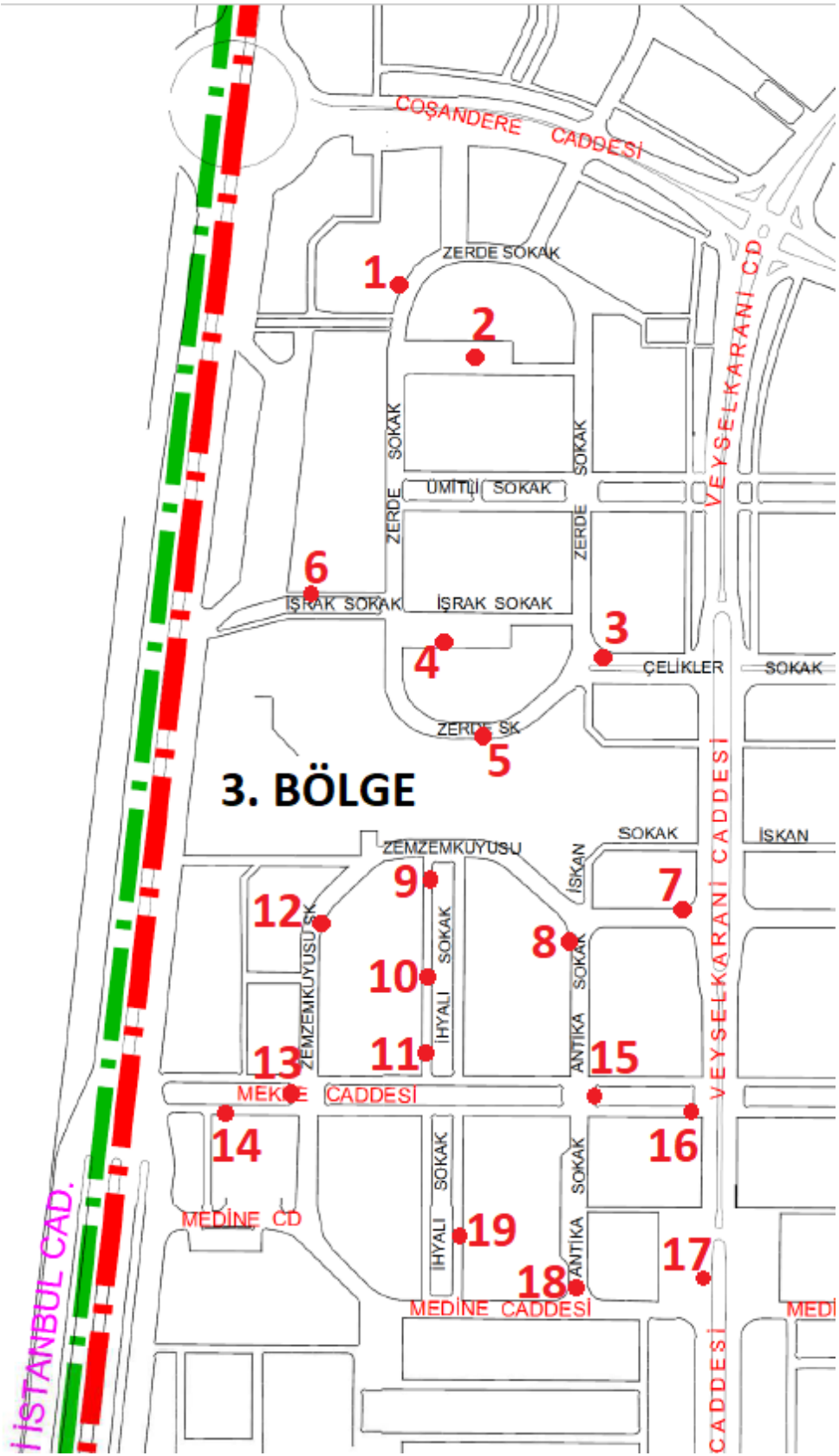
5. BÖLGE KONTEYNER MESAFELERİ (metre)																					
Kont. No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	191	244	236	138	371	468	370	680	502	450	634	682	1005	1127	1180	1338	1434	1229	1759	1545
2	191	0	128	133	241	472	597	626	578	653	601	763	953	1141	1262	1317	1474	1571	1365	1894	1680
3	244	128	0	185	294	600	626	626	578	660	741	791	953	1141	1262	1317	1474	1571	1365	1894	1680
4	239	133	185	0	109	293	440	342	664	474	421	606	654	976	1098	1152	1310	1406	1200	1731	1517
5	393	494	622	435	0	185	332	233	556	366	313	497	545	867	989	1043	1201	1297	1091	1621	1407
6	489	384	436	251	360	0	830	472	423	698	587	972	799	986	1109	1162	1320	1416	1211	1741	1527
7	495	597	725	561	633	310	0	358	680	186	297	166	365	992	1115	1168	1326	1422	1216	1747	1533
8	419	969	969	427	557	176	358	0	323	226	115	383	447	634	757	810	968	1064	858	1389	1175
9	468	570	697	476	606	225	407	50	0	275	163	431	502	977	1098	1152	1311	1407	1201	1731	1517
10	552	653	1195	560	689	310	186	226	549	0	112	155	205	860	983	1036	1194	1290	1084	1615	1401
11	499	601	1082	507	636	256	297	115	437	112	0	266	317	749	870	925	1082	1179	973	1502	1288
12	661	763	890	726	799	475	166	383	706	155	266	0	229	703	825	879	1037	1134	928	1457	1243
13	732	1382	1382	1512	868	488	365	453	737	205	317	229	0	474	596	649	808	904	698	1228	1014
14	1456	2079	2079	2208	1594	1270	1116	1482	1434	948	1060	1281	743	0	120	173	241	361	505	589	436
15	1345	1446	1839	1409	1481	1159	1004	1207	1194	836	948	1170	631	120	0	52	120	239	228	477	324
16	1293	1395	1789	1358	1431	1108	953	1156	1143	785	897	1119	580	173	52	0	137	199	245	426	273
17	1430	1878	1878	2007	1567	1244	1089	1281	1233	922	1396	1240	717	241	120	137	0	120	137	374	252
18	1356	1975	1975	1420	1493	1170	1015	1378	1330	847	960	1181	642	361	239	199	120	0	233	254	102
19	1871	1769	1769	1898	2007	1349	1526	1172	1124	1139	1286	1131	934	351	228	245	137	233	0	487	335
20	1946	1843	1843	1973	2081	1423	1222	1247	1198	1213	1361	1205	1008	374	252	269	133	229	246	0	196
21	1430	1532	1926	1494	1568	1244	1089	1292	1279	922	1034	1255	717	436	332	273	221	102	343	153	0

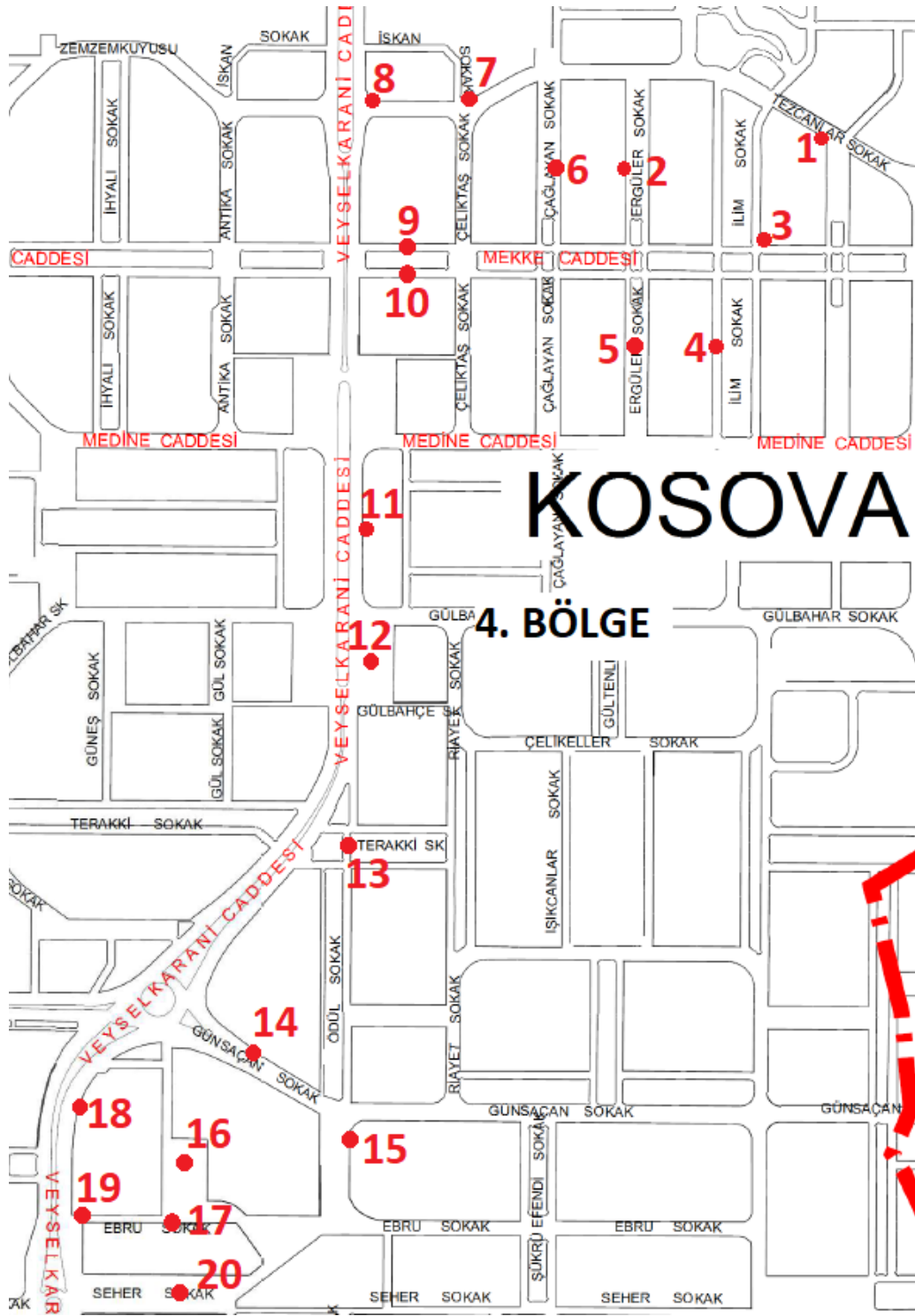
6. BÖLGE KONTEYNER MESAFELERİ (metre)																			
Kont. No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	164	264	385	508	459	501	595	605	474	712	798	910	1179	1005	1028	1108	1223	1253
2	164	0	127	331	453	405	447	541	551	420	656	744	855	1125	951	974	1052	1169	1199
3	264	127	0	273	396	347	390	482	493	363	599	686	797	1066	892	916	995	1112	1141
4	709	511	335	0	118	74	117	209	220	91	326	413	524	793	619	642	722	838	867
5	590	393	216	417	0	494	538	631	641	511	747	834	946	1215	1040	1064	1143	1259	1289
6	786	589	412	74	196	0	43	136	168	38	273	361	471	742	567	590	669	786	816
7	829	631	455	117	238	43	0	95	210	81	316	403	515	784	610	633	712	828	858
8	689	491	316	209	332	136	95	0	304	173	409	496	608	877	702	727	805	922	952
9	850	652	476	220	343	168	210	237	0	131	236	323	434	703	530	553	632	748	778
10	802	604	428	91	212	38	81	173	131	0	236	324	435	705	530	553	632	749	779
11	1038	841	664	326	448	273	316	409	236	236	0	89	198	467	293	317	396	513	542
12	1126	928	752	413	536	361	403	496	323	324	89	0	106	375	201	224	304	420	450
13	1149	951	775	524	646	471	515	536	434	435	198	106	0	281	108	119	209	326	356
14	1514	1317	1140	793	916	742	784	900	703	705	467	375	281	0	174	297	138	175	75
15	1332	1135	958	619	742	567	610	702	530	530	293	201	108	174	0	262	103	219	248
16	1173	975	799	642	765	590	633	560	553	553	317	224	119	297	262	0	160	333	372
17	1376	1179	1002	722	844	669	712	763	632	632	396	304	209	138	103	160	0	173	212
18	1604	1407	1230	806	929	754	797	992	717	717	480	388	294	182	187	310	150	0	101
19	1588	1391	1214	867	990	816	858	975	778	779	542	450	356	75	248	372	212	101	0

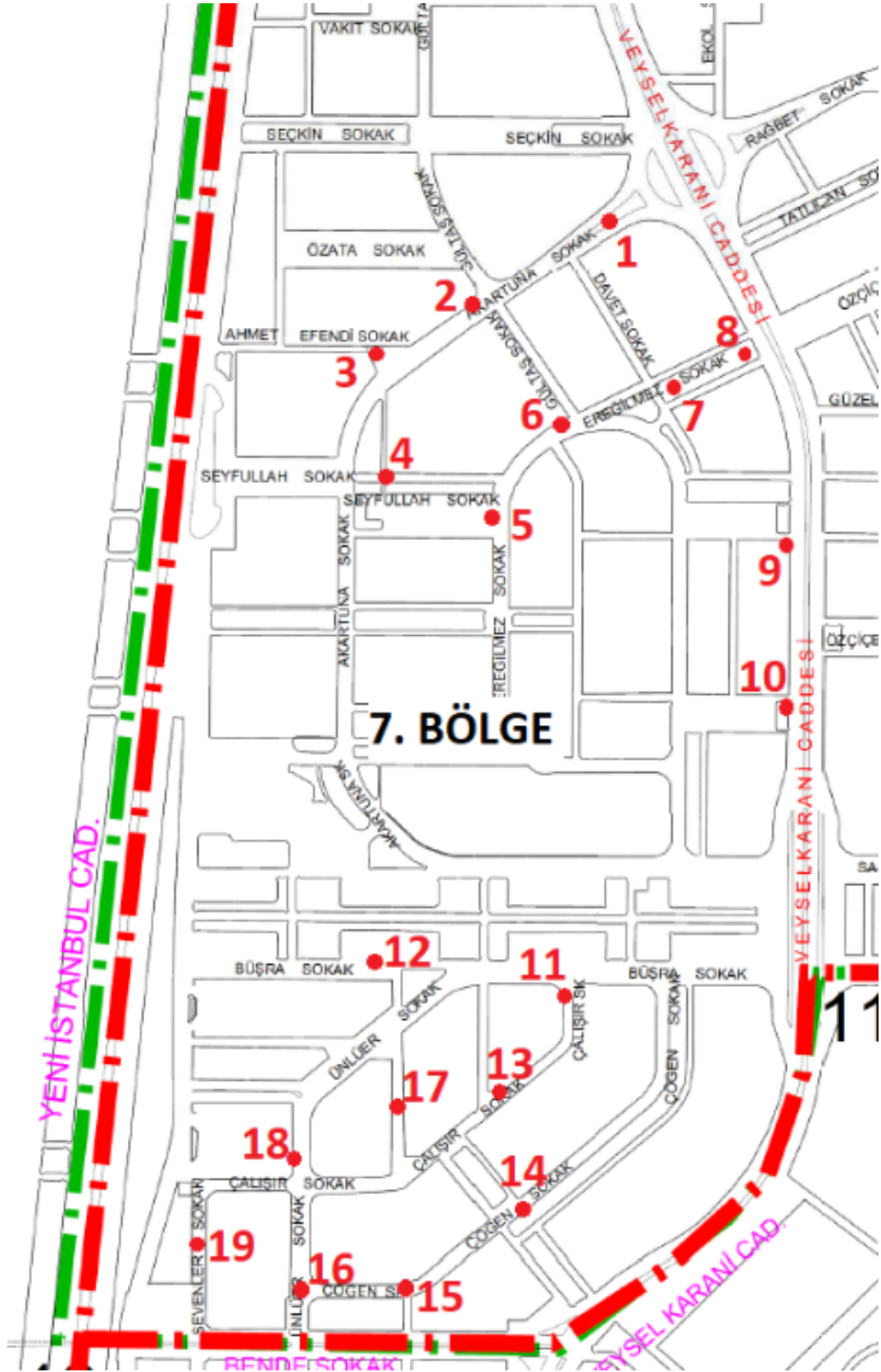
7. BÖLGE KONTEYNER MESAFELERİ (metre)																			
Kont. No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	114	219	337	444	259	301	398	1069	1247	1665	1853	1774	1945	2028	2124	1948	1978	2238
2	451	0	102	219	326	145	233	350	497	675	1093	1281	1202	1373	1456	1552	1376	1406	1666
3	557	102	0	118	232	250	338	454	602	781	1198	1387	1306	1477	1561	1657	1481	1511	1771
4	687	232	131	0	160	186	253	585	733	912	1329	1518	1437	1608	1691	1787	1611	1641	1901
5	781	326	232	160	0	106	172	268	827	1005	1423	1612	1532	1702	1786	1881	1705	1736	1996
6	596	145	250	186	106	0	67	164	374	553	970	1159	1078	1249	1333	1429	1252	1282	1543
7	525	187	292	253	172	67	0	99	308	485	903	1091	1012	1183	1266	1362	1186	1216	1476
8	588	284	389	350	268	164	99	0	210	389	806	995	915	1085	1169	1265	1088	1119	1379
9	2733	2277	2176	2119	2281	2426	2514	2630	0	178	596	784	705	875	959	1054	878	909	1169
10	2554	2098	1998	1940	2103	2247	2336	2452	2600	0	417	606	527	696	781	876	700	730	990
11	1609	1154	1052	995	1158	1302	1390	1506	1655	1833	0	217	109	263	360	403	282	341	464
12	1392	937	836	778	941	1085	1174	1290	1438	1616	217	0	326	480	510	415	499	304	476
13	1719	1263	1162	1103	1267	1411	1499	1616	1764	1943	109	326	0	154	251	293	174	227	356
14	1948	1492	1391	1334	1496	1641	1729	1845	1994	2172	263	480	154	0	96	190	175	228	356
15	1853	1398	1296	1238	1402	1547	1634	1751	1898	2077	360	510	251	96	0	96	271	206	289
16	1759	1303	1202	1144	1308	1451	1540	1656	1804	1983	403	415	293	190	96	0	217	112	239
17	1979	1524	1422	1365	1528	1672	1760	1876	2025	2203	282	454	174	175	271	217	0	151	278
18	1869	1414	1313	1255	1418	1563	1651	1768	1916	2093	337	304	227	228	206	112	151	0	173
19	1700	1245	1144	1086	1249	1394	1481	1598	1747	1925	464	476	356	356	313	218	278	173	0

EK-3 Konteyner konum haritaları, sırasıyla 2.-3.-4.-5.-6.-7. bölge









EK-4 Bölgelere göre sırasıyla (2-3-4-5-6-7) algoritma çıktıları

2. BÖLGE

Greedy/Açgözlü algoritma rotası: [3, 2, 1, 4, 5, 7, 6, 8, 9, 11, 15, 17, 16, 18, 14, 12, 13, 10]
 Greedy/Açgözlü algoritma çözümü: 3411
 Simulated annealing...
 Best fitness / Elde edilen en iyi çözüm(metre): 3202
 Greedy başlangıç çözümüne göre iyileşme oranı: 6.13%
 En iyi rota: [10, 9, 11, 15, 17, 16, 14, 18, 13, 12, 6, 7, 8, 5, 4, 3, 2, 1]
 Çalışma süresi: 50.68019999999996 ms'de tamamlandı.
 Toplam çalışma süresi: 455.6787 ms'de tamamlandı.

3. BÖLGE

Greedy/Açgözlü algoritma rotası: [17, 18, 15, 16, 8, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 12, 19, 6, 4, 3, 5, 2, 1]
 Greedy/Açgözlü algoritma çözümü: 3685
 Simulated annealing...
 Best fitness / Elde edilen en iyi çözüm(metre): 2643
 Greedy başlangıç çözümüne göre iyileşme oranı: 28.28%
 En iyi rota: [1, 2, 6, 4, 5, 3, 7, 8, 15, 16, 17, 18, 19, 11, 10, 9, 12, 13, 14]
 Çalışma süresi: 45.55350000000003 ms'de tamamlandı.
 Toplam çalışma süresi: 397.8562000000001 ms'de tamamlandı.

4. BÖLGE

Greedy/Açgözlü algoritma rotası: [12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 3, 2, 4, 5, 1, 13, 15, 14, 19, 17, 16, 18, 20]
 Greedy/Açgözlü algoritma çözümü: 5547
 Simulated annealing...
 Best fitness / Elde edilen en iyi çözüm(metre): 4202
 Greedy başlangıç çözümüne göre iyileşme oranı: 24.25%
 En iyi rota: [12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 2, 1, 3, 4, 5, 13, 14, 15, 20, 19, 17, 16, 18]
 Çalışma süresi: 53.733299999999986 ms'de tamamlandı.
 Toplam çalışma süresi: 423.14020000000005 ms'de tamamlandı.

5. BÖLGE

Greedy/Açgözlü algoritma rotası: [17, 15, 16, 14, 18, 21, 20, 19, 13, 10, 11, 8, 6, 4, 5, 7, 12, 1, 2, 3, 9]
 Greedy/Açgözlü algoritma çözümü: 5165
 Simulated annealing...
 Best fitness / Elde edilen en iyi çözüm(metre): 3483
 Greedy başlangıç çözümüne göre iyileşme oranı: 32.57%
 En iyi rota: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 8, 11, 10, 7, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 20, 19]
 Çalışma süresi: 39.65620000000003 ms'de tamamlandı.
 Toplam çalışma süresi: 386.10060000000004 ms'de tamamlandı.

6. BÖLGE

Greedy/Açgözlü algoritma rotası: [8, 7, 6, 10, 4, 5, 3, 2, 1, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 14, 19, 18, 16]

Greedy/Açgözlü algoritma çözümü: 2763

Simulated annealing...

Best fitness / Elde edilen en iyi çözüm(metre): 2292

Greedy başlangıç çözümüne göre iyileşme oranı: 17.05%

En iyi rota: [18, 19, 14, 15, 17, 16, 13, 12, 11, 9, 8, 7, 6, 10, 4, 5, 3, 2, 1]

Çalışma süresi: 34.94880000000006 ms'de tamamlandı.

Toplam çalışma süresi: 369.2237 ms'de tamamlandı.

7. BÖLGE

Greedy/Açgözlü algoritma rotası: [6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 17, 19, 12, 4, 3, 2, 5, 1]

Greedy/Açgözlü algoritma çözümü: 4561

Simulated annealing...

Best fitness / Elde edilen en iyi çözüm(metre): 2998

Greedy başlangıç çözümüne göre iyileşme oranı: 34.27%

En iyi rota: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 18, 12]

Çalışma süresi: 34.21330000000004 ms'de tamamlandı.

Toplam çalışma süresi: 375.3748 ms'de tamamlandı.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

AdıSoyadı : Semih CENGİZ
Uyruđu : TC
DođumYeriveTarihi : BURSA / 01.01.1993
Telefon : +905535216532
Faks :
e-mail : cengizsemih9@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İl	BitirmeYılı
Lise	: Şehitler Fen Lisesi, YOZGAT	2011
Üniversite	: MevlanaÜniversitesi, KONYA	2015
YüksekLisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi, KONYA	-
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016-2019	Okta Lift MakinaveMühendislik	ElektrikElektronikMühendisi
2020-	KademeAtıkTeknolojileri	ElektrikElektronikMühendisi

YABANCI DİLLER

- İngilizce B2