

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YEŞİL DEPO YERİ BELİRLEME VE ARAÇ ROTALAMA
PROBLEMLERİNİN GA VE SEZGİSEL METOTLARLA
ÇÖZÜLMESİ: BOYA İMALAT FİRMASINDA UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba HAVUÇ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Harun Reşit YAZĞAN

Aralık 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEŞİL DEPO YERİ BELİRLEME VE ARAÇ
ROTALAMA PROBLEMLERİNİN GA VE SEZGİSEL
METOTLARLA ÇÖZÜLMESİ: BOYA İMALAT
FİRMASINDA UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba HAVUÇ

Enstitü Anabilim Dalı

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez ~~21.12~~ 21.12.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Özden ÜSTÜN
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Harun Reşit YAZGAN
Üye



Doç. Dr.
Özer UYGUN
Üye



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Tuğba HAVUÇ

21/12./2018



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN'a ve desteğini esirgemeyen Büşra Gülnihan DAŐÇCIOĞLU'na teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen ve bu aşamaya gelmemde büyük paya sahip olan sevgili aileme sonsuz teşekkür eder ve minnettarlığımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Yer Seçimi ve Rotalama Problemleri.....	4
2.2. Yeşil Lojistik	12
BÖLÜM 3.	
YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMLERİ	16
3.1. Yer Seçimi ve Rotalama Problemleri.....	16
3.2. Yer Seçimi Problemleri	18
3.2.1. P-Medyan Problemleri	20
3.3. Rotalama Problemleri.....	21
3.3.1. Araç rotalama problemleri	21
BÖLÜM 4.	
ÖNERİLEN MODEL.....	23

4.1. Yakıt Tüketimi ve CO ₂ Emisyon Modeli.....	23
4.2. P-Medyan Matematiksel Model	26
4.3. Kapasiteli Yeşil Yer Seçimi ve Araç Rotalama Matematiksel Modeli.....	27
BÖLÜM 5.	
PROBLEM VE ÇÖZÜM ÖNERİSİ	31
5.1. Çözüm Algoritmaları.....	32
5.1.1. Klasik sezgisel algoritma	33
5.1.2. Genetik algoritma.....	36
BÖLÜM 6.	
UYGULAMA	39
BÖLÜM 7.	
SONUÇ	51
KAYNAKLAR	54
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a_{ij}	: j. müşteriden i. depoya dönüldüğünü gösteren değişken
c_{ij}	: i-j düğümleri arasındaki seyahatin maliyeti
d_{ij}	: i-j düğümleri arasındaki mesafe
D_j	: j. müşterinin talebi
E	: Birim enerji başına düşen toplam emisyon maliyeti miktarı
f_{ij}	: Müşterinin i-j arasında olduğunu gösteren serbest değişken
Q	: Aracın kapasitesi
t_{ij}	: i-j düğümleri arasında aracın taşıdığı yük miktarı, serbest değişken
x_{ij}	: i-j düğümleri arasında yolun kullanıldığını gösteren değişken
Y_i	: i. deponun kullanımı ile ilgili değişken
Z_j	: Rotanın son müşterisinde olup olmadığını tanımlayan değişken
W_i	: i. deponun kapasitesi
ARP	: Araç rotalama problemi
BT	: Benzetimli tavlama
CO ₂	: Karbondioksit
GA	: Genetik algoritma
KA	: Komşuluk arama
KKO	: Karınca kolonisi optimizasyonu
MA	: Memetik Algoritma
PSO	: Parçacık sürü optimizasyonu
YSP	: Yer seçimi problemi
YSRP	: Yer seçimi ve rotalama problemi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Yer seçimi ve rotalama modeli	16
Şekil 3.2. Yer seçimi modeli	18
Şekil 3.3. Araç rotalama modeli.....	22
Şekil 4.1. Küçük modelin lindo ile gösterimi	31
Şekil 5.1. Nesnelere arası program akışı.....	33
Şekil 5.2. Klasik sezgisel akış şeması	34
Şekil 5.3. Ana ekranda rotaların oluşturulması.....	35
Şekil 5.4. Ana ekranda Trabzon'dan çıkan ilk aracın rotası	35
Şekil 5.5. Rotalar oluşturulduktan sonra dağıtım emirleri ara yüzü	36
Şekil 5.6. Genetik algoritma akış diyagramı	37
Şekil 6.1. Klasik sezgisel algoritmaya göre maliyetlerin gösterimi	42
Şekil 6.2. Genetik algoritma sonuçlarına göre maliyetlerin gösterimi.....	44
Şekil 6.3. MapMyRide yazılımı ekran görüntüsü	45
Şekil 6.4. Klasik sezgisel yöntemlere göre maliyetlerin gösterimi	47
Şekil 6.5. Genetik algoritma sonuçlarına göre yeşil maliyetlerin gösterimi	49

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Yer seçimi ve rotalama problemi literatür araştırmaları.....	11
Tablo 2.2. Yeşil lojistik literatür araştırmaları	15
Tablo 4.1. Yakıt emisyon oranlarının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin tanımı	23
Tablo 5.1.Yapılan işlemler ve kullanılan programlar	32
Tablo 6.1. Depolar, Kapasiteleri ve İşletme Maliyetleri.....	40
Tablo 6.2. Müşteri Talepleri (Ton)	40
Tablo 6.3. Lindo programı sonucunda depolara atanan müşteriler.....	41
Tablo 6.4. Klasik sezgisel algoritmaya göre maliyetler (TL)	42
Tablo 6.5. Klasik sezgisel algoritma ile en iyi rotalar.....	43
Tablo 6.6. Genetik algoritmalara göre maliyetler (TL).....	44
Tablo 6.7. Genetik algoritma ile en iyi rotalar	45
Tablo 6.8. Lingo programı sonucunda yeşil depolara atanan müşteriler	46
Tablo 6.9. Klasik sezgisel yöntemle göre yeşil maliyetler (TL)	48
Tablo 6.10. Klasik sezgisel yöntemle göre en iyi yeşil rotalar	48
Tablo 6.11. Genetik algoritmalara göre yeşil maliyetler (TL).....	49
Tablo 6.12. Genetik algoritma ile en iyi yeşil rotalar	50

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yer seçimi ve rotalama problemleri, yeşil yer seçimi ve rotalama problemleri, klasik sezgisel yöntem, genetik algoritma

Yer seçimi ve rotalama problemleri, lojistik problemlerinin en önemli konularından olup farklı yaklaşımlarla ve çözüm yöntemleri ile geliştirilerek daha özel hale getirilmiş problemlerdir.

Bu çalışmada; verimlilik ve karlılık oranlarını arttırmak için bir boya firmasının lojistik biriminde, kara lojistiğinin en önemli problemlerinden olan depo yeri seçimi ve rotalama problemine farklı yaklaşımlarla çözümler aranmaktadır. İki farklı model önerilmiştir. İlk modelde şehirlerarası km'leri dikkate alarak çözüm yolu önerisi getirilmiştir. İkinci modelde ise çevreye karşı farkındalığı arttırmak için dünyada hızla artan küresel ısınmanın en önemli sebeplerinden olan sera gazlarından CO₂ emisyon miktarlarını yolların eğimini dikkate alarak azaltan çözüm yolu önerisi getirilmiştir.

Yer seçimi ve rotalama problemine, depo-yer seçimi ve atama problemi, kapasiteli araç rotalama problemi olmak üzere kademeli yaklaşım önerilmiştir. Birinci aşamada problem Mixed-Integer Linear Programming (MILP)'de çözülerek atama yapılmıştır. Sonuç olarak tüm şehirler uygun depolara tahsis edilmiştir. İkinci aşamada kapasiteli araç rotalama problemi sezgisel algoritma ve genetik algoritma yöntemleri kullanılarak çözülmüştür. Önerilen modeller Marmara Bölgesi'nde boya fabrikasında uygulanmıştır. Sonuç olarak önerilen genetik algoritmaların model 1 ve model 2'de klasik sezgisel yöntemden daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

THE SOLUTION OF GREEN LOCATION AND ROUTING PROBLEM USING GA AND HEURISTIC ALGORITHMS: APPLICATION IN A PAINT PRODUCTION COMPANY

SUMMARY

Keywords: Location and routing problems, green location and routing problems, classical heuristic method, genetic algorithm

Location and routing problems are one of the most important issues of logistics problems and solved using different approaches.

In this study, location and routing problems were solved in a logistic department of a paint firm to increase the productivity and profitability rates. Two different models were proposed. The first model was only related with kms among cities. At the second model, in order to raise awareness on the environment, greenhouse gases that are one of the most important reasons of global warming in the world, was included into the model to reduce CO₂ emissions by taking into account the inclination of roads.

A hierarchical approach was proposed to solve these problems. At the first level, an assignment to problem (MILP) was solved. As a result, all the cities were assigned to proper storages. At the second level, capacitated routing problem was solved using a heuristic and genetic algorithm. The proposed models were applied in a real life paint factory, in Marmara region, Turkey. The results illustrate that the proposed genetic algorithm produced better result than the classical heuristic method for model 1 and model 2.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyanın sürekli olarak değişim içerisinde olması, insanlığı da peşinden sürüklemektedir. Alternatiflerin çoğalması, istek ve ihtiyaçların sürekli olarak değişmesi, zamanın çok daha önemli hale gelmesi, memnuniyet kavramının hassaslaşması, teknoloji ve bilimin gelişmesi ile birlikte hayatta ki çabaların yönelimini de değiştirmektedir. Hayatta kalmayı ve hatta kar marjını yükselterek büyümeyi amaçlayan imalat veya hizmet sektörü, insanlığın bu değişimine cevap verecek nitelikte olmalıdır. Tüketicilerin değişen ihtiyaçlarına en iyi şekilde cevap verebilmek için üretilen mamullerin, hizmetlerin ve bilgilerin üreticinin üretim merkezlerinden veya depo alanlarından, tüketici merkezine veya depo alanlarına en verimli şekilde ulaştırılmasının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi süreçlerini içeren lojistik bölümleri veya lojistik sektörleri son zamanlarda dünyada ve ülkemizde önemini arttırmaktadır.

Ülkemizdeki şirketler lojistiğini ya taşıeron lojistik şirketleriyle ya da kendi bünyesindeki lojistik bölümleri ile kontrol etmektedir. Kendi bünyelerinde lojistik bölümleri ile çalışan firmalar ise lojistik faaliyetlerini genellikle geçmişten gelen tecrübeleri ışığında gerçekleştirmektedirler. Sürekli değişen ve gelişen dünya piyasasında zaman ve israf kavramları ile müşteri memnuniyetinin daha çok önem kazanması, şirketlerin tüm tedarik zinciri süreçlerini etkilemesi ile birlikte artık tecrübelerinde ötesinde hem sürdürülebilirlik hem de ekonomi açısından iyileştirme faaliyetlerinin yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Kara lojistiğini yoğunlukla kullanan şirketlerin lojistik bölümlerinde ise depo-yer seçimi ve atanması, araçların rotalanmasını içeren yer seçimi ve rotalama problemleri (YSRP) önemli problemlerdendir.

Bununla birlikte sürdürülebilirliği arttırmak için son zamanlarda küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin artması ile birlikte YSRP’de sera gazlarının salınımının azalmasını amaçlayan yeşil çalışmaların önem kazandığı görülmektedir. Sürekli değişen dünyada, yeryüzünde yaşayan insan nüfusunun artması atmosferde hayati birtakım önemli gelişmeleri de beraberinde getirmektedir. İnsan nüfusunun artması ile birlikte ihtiyaçlar artmakta ve yön değiştirmektedir. Bu yönelimi ve ihtiyaçları karşılamaya çalışan kontrolsüz çaba doğal kaynakların azalmasına hatta yok olmasına sebep olmaktadır. Bitki örtüsünün yok edilmesi, üretimden çok tüketimin artması, sanayileşmenin artması ile zararlı gazların salınımı gibi nedenler küresel ısınmaya ve dolayısıyla iklim değişikliğine sebep olmaktadır.

Küresel ısınma, başlıca atmosfere salınan gazların neden olduğu düşünülen sera etkisinin sonucunda, Dünya üzerinde yıl boyunca kara, deniz ve havada ölçülen ortalama sıcaklıklarda görülen artışa verilen isimdir. Mevcut küresel ısınma eğiliminin ana nedeninin, “sera etkisi” nin insani genişlemesi olduğu kabul edilmektedir. Sera etkisine katkıda bulunan gazlar; su buharı (H₂O), Metan (CH₄), Nitroz oksit (N₂O), Karbondioksit (CO₂), endüstriyel kaynaklı sentetik bileşikler olan Kloroflorokarbonlar (CFC)’dir. Karbondioksit, solunum ve volkanik patlamalar gibi doğal süreçler kadar insanların da sebep olduğu ormanların azalması ve fosil yakıtları artması ile serbest bırakılan önemli bir ısı tutucu (sera) gazıdır.

Sera gazlarından CO₂ miktarının yıllar boyunca büyük oranda artışı NASA gibi kuruluşlar tarafından gözlemlenmiştir. Sanayileşmenin artması ise en önemli etkenlerdendir. Küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin önemli bir boyut kazandığını fark eden ülkeler ilk olarak 1987’de Montreal Protokolü ile başlayarak 2015’deki Paris Anlaşması’na kadar farklı anlaşma süreçleri geçirmişlerdir. Son olarak emisyon azalımı hususunda, gelişmiş ülkelerin mutlak emisyon azalımı hedeflerini sürdürmeleri; gelişmekte olan ülkelerin ise emisyon azalımı hedeflerini yükselterek farklı milli koşulları uyarınca, zaman içinde tüm sektörleri kapsayacak yeni, artırılmış hedefler benimsemelerini telkin etmişlerdir (Ek-2).

Ülkemizde ise temelde, doğal kaynak kullanımının azaltılması, toprağa, suya, havaya verilen zararların minimum düzeye indirilmesini amaçlayan, risk analizleri tabanında kurulan bir yönetim modeli olan ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemi firmalar tarafından uygulanmaktadır. Standartlar Ek-1 de yer almaktadır. Bu standartlar ve yaptırımlar altında karbondioksit emisyonunu azaltmayı hedefleyen çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkemizde boya üretimi yapan bir firma lojistik biriminde iyileştirmeler yapmak ve akabinde depo yerlerinin ve rotalarının planlanmasını geçmişten gelen tecrübelerden değil de teknolojik yapı ile kontrol etmek, önerilen yöntemlerden hangi yapıyı kullanması gerektiğine karar verme sürecinde ise en iyi yöntemin bulunması gerekmektedir. Aynı zamanda lojistik süreçlerinde CO₂ salınımını azaltarak dünyada farkındalık yaratmak temel hedefler arasındadır.

Gerçekleştirilecek yaklaşımda mesafe maliyet matrisleri, yolların eğimlerine bağlı olarak emisyon maliyet matrisi, firmaya ait depo kapasiteleri ve maliyetleri, araç kapasiteleri ve müşteri talepleri dikkate alınmıştır. Firma depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama problemini kademeli olarak ele almıştır. Sezgisel iki yöntem geliştirerek CO₂ salınımını dikkate alan yeşil maliyetlerin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada Bölüm 2’de yer seçimi ve rotalama problemleri ve yeşil lojistik ile ilgili literatürdeki çalışmalar yer almaktadır. Bölüm 3’de rotalama, yer seçimi, yer seçimi ve rotalama problemleri anlatılmıştır. Bölüm 4’de önerilen modeller detaylı olarak gösterilmiş ve Bölüm 5’te problem ve çözüm yöntemi anlatılmıştır. Bölüm 6’da aşamalı olarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Son bölüm olan Bölüm 7’de ise önerilen yöntem ve elde edilen sonuçlar hakkında yorum yapılmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde yer seçimi ve rotalama ile ilgili literatürde yapılmış farklı çalışmalar incelenmiştir. Yine duyarlılığı arttırmak amaçlı çalışılacak olan yeşil lojistik konusu ile ilgili literatür bilgileri de yer almaktadır.

2.1. Yer Seçimi ve Rotalama Problemleri

Depoların konumlanması ile depolara müşteri merkezlerinin atanması ve atanan müşteri merkezlerine hizmet etmek için rotaların oluşturulduğu lojistik problemlerdir. Amaç konumlandırma maliyetleri ve rotalama maliyetlerini en aza indirmektir. Maliyet, mesafe, kapasite, zaman gibi kriterlere dayandırılmaktadır. Gerçek problemlerde depo yeri seçimi ve rotalama çalışmalarının kademeli olarak ele alındığı görülmektedir. Lojistik operasyonlarının en önemli problemlerindendir.

Yer seçimi ve rotalama problemleri NP-Zor sınıfı problemlerindendir (Srivastava, 1986). Ve NP-Zor problemleri olan iki farklı depo yeri seçimi ve rotalama problemlerini ele almaktadır.

Yer seçimi ve rotalama problemleri Maranzara (Maranzara, 1964), Watson-Gandy and Dohrn (1973), Laporte (1988, 1989), Berman ve ark. (1995) and Min ve ark. (1998) tarafından çalışılmıştır. Balakrishnan ve ark. (1987), yapmış olduğu çalışmada önce yer seçimi ve ardından rotalama yaparak kademeli bir yaklaşım sunmuştur. Yer seçimi ve rotalama problemlerini entegre bir şekilde ilk defa Salhi ve Rand (1989) çalışmıştır. Salhi ve Nagy yaptığı çalışmaya göre 2007 yılına kadar olan yer seçimi ve rotalama problemine en iyi çözüm arayan çalışmalarda önemli ilerlemeler kaydedilmesine rağmen yeterli kısıtların hala ele alınmadığı vurgulanmıştır (Nagy ve Salhi, 2007). Yakın zamanlarda daha çok ilgi gören yer

seçimi ve rotalama problemlerinin farklı konu ve sektörlere göre çalışmaları literatürde incelenip, özet olarak Tablo 2.1.'de oluşturulmuş ve açıklanmıştır.

Sağlık sistemleri ve acil durum yönetiminde ilaç depolama ve dağıtım, dağıtım stratejilerine göre en verimli şekilde gerçekleştirmek hedeflenmiştir. Ceselli ve ark.'nin yapmış olduğu çalışmada, hizmet heterojen bir araç filosuyla hastaların evlerine yapıldığı gibi merkez depolara da yapılmaktadır. Oluşturulan modelde geliştirilen algoritmalar (dal-kesme) farklı veri setlerinde çalıştırılarak karşılaştırma yapılmış ve geliştirilen algoritmaların esnek olduğu sonucuna varılmıştır (Ceselli ve ark., 2013). Sağlık sektöründe yapılmış olan farklı bir çalışma ise Veenstra ve ark. yapmış olduğu çalışmadır. Bu çalışmada Hollanda'da bulunan bir firmanın hastanelere sunmuş olduğu bir hizmeti ele almaktadır. Bu hizmet hastalara hastanelerden depolara veya evlere ilaç dağıtımıdır. Burada ki problem hangi depoların açılması gerektiği ve bu depoların nasıl rota izlemesi gerektiğidir. Hastanın durumu, eve çıkan hastaların evde bulunduğu süreleri, teslimi yapan özel kişilerin bulundurulduğu, kapasiteleri gibi kısıtları göz önüne almaktadır. Amaç seyahat ve depo maliyetlerinin en aza indirmektir. Kurulan modeli dal-sınır algoritması ve komşuluk arama (KA) algoritması yaklaşımları ile çözülmüşlerdir. Lojistik şirketinin verileri ile sezgisel yaklaşımın, dal-sınır algoritmasından %3.64 daha iyi sonuç verdiği iddia edilmektedir (Veenstra ve ark., 2018).

Afet öncesi, afet durumunda ve afet sonrasında oluşan acil lojistik konusuna dâhil olan afet yönetiminde genel olarak çalışmalar tek bir durumda yapılmaktadır. Caunhye ve ark.'nin yapmış olduğu çalışmada afet öncesi ve afet durumunda gerçekleşecek tüm belirsizlikleri ortadan kaldırarak iki aşamalı bir yer seçimi ve rotalama problemine yaklaşım sunmuşlardır. İlk aşamada modelde depolar kurulmuş ve stok seviyelerini belirlenmiş, ikinci aşamada ise gerçekleşecek en kötü ihtimallere göre teslim edilecek ürünleri miktar ile rotalamayı sağlamışlardır. Amaç tesis maliyetini azaltmak ve en kısa mesafede ihtiyaçları karşılamaktır. Model jenerik yazılım ile çözülebilen tek aşamalı bir karma tamsayı modelle çözülmüştür (Caunhye ve ark., 2016). Deprem sonrası dağıtım üzerine çalışılan, ara depolarda ikmal yapabilmeyi sağlayan, yer seçimi ve rotalama problemlerinden (YSRP) olan

kapsama turu yer seçimi ve rotalama problemi, Nedjati ve ark.'nin yapmış olduğu çalışmada bekleme sürelerini en aza indirmek hedef alınarak modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin küçük boyutlu örnekleme GAMS ile çözülerek doğruluğunu ispatlamışlardır. Genetik Algoritmanın (GA) geliştirilmiş algoritması olan hakim olunmamış sıralama genetik algoritmasının 2N iyileştirme ve ilk cephe iyileştirme algoritmaları ile farklı örneklem büyüklüğünde çalıştırılarak, miktar, kalite, çeşitlilik ve yayılma performansı sonuçlarına göre kıyaslamışlardır. Sunulan hakim olunmamış sıralama genetik algoritmasının-ilk cephe iyileştirme algoritması yaklaşımının, kalite, miktar, çeşitlilik ve yayılma açısından en iyi sonuçlar verdiği ve olan hakim olunmamış sıralama genetik algoritmasının-2N iyileştirme algoritmasının çalışma süresi bakımından en iyi sonuçlar ispatlanmıştır (Nedjati ve ark., 2017).

Tedarik zincirinin önemli konularından olan çapraz bağlama merkezlerinin yer seçimi ve müşteri talebini en az maliyette karşılamayı hedefleyen problem Mousavi ve Tavakkoli-Moghaddam tarafından çalışılmıştır. İlk durumda sabit masraflar göz önünde bulunarak çapraz merkezlerin yerlerini belirlemişlerdir. İkinci durumda ise araç işletme ve rotalama, nakliye maliyetleri göz önünde bulundurularak en uygun rotalar oluşturmuşlardır. Problemin çözümü için benzetimli tavlama (BT) ve tabu arama (TA) algoritmalarından oluşan hibrit simüle edilmiş algoritma (HSA) yaklaşımını oluşturmuşlardır. Sunulan algoritmanın optimal çözümleri bulmasında etkin olduğu iddia edilmiştir (Mousavi ve Tavakkoli-Moghaddam, 2013). Marikanis, stokastik talepli yer seçimi ve rotalama problemine yerel kombinasyonel genişleyen komşuluk topolojisi parçacık sürü optimizasyonu yaklaşımını çalışmıştır. Yerel tabanlı topolojilere göre üzerinde çalışmış 3 farklı örneklem kümesinde parçacık sürü algoritmasının (PSO) çeşitleri çalıştırılarak karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımın, kıyaslanan diğer metasezgisellere göre daha kaliteli sonuçlar verildiği görülmüştür (Marinakis, 2015). Rekabet piyasasında değişen ve belirsizleşen müşteri taleplerine göre müşteriye en kısa zamanda hizmet vermek, hizmet kalitesini ve tedarikçi güvenilirliğini arttırmaktadır. Dolayısıyla tedarik zincirinde taleplerin belirsizliği konuları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Ghaffari Nasab'ın yapmış olduğu çalışmada müşteri taleplerinin belirsizliğini en aza indirerek maliyetleri düşürmüştür. Bu çalışmada lojistikte verimliliği arttırmak için bulanık yöntem ile belirsizlikler

azaltılıp en iyi yer seçimi ve rotalamayı gerçekleştirmek için BT algoritmasını geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritma farklı veri setlerinde denenmiş ve etkinliği gösterilmiştir (Ghaffari-Nasab ve ark., 2013). Nasab ve ark.'nin yapmış olduğu diğer bir çalışmada ise bulanık müşteri taleplerine göre dinamik kapasiteli yer seçimi ve lokasyon probleminde bulanık şans kısıtlı programlama modeli ele almışlardır. Depolar arasındaki rotaların tahmininde karınca kolonisi sistemi ve ilave edilen mesafelerin tahmininde kullanılan stokastik simülasyon algoritması geliştirmişlerdir. Oluşturulan melez algoritmanın etkinliğini ispatlamışlardır (Nadizadeh ve Nasab, 2014). Yine tedarik zincirinde önemli olan diğer problem ise tesisler bozulduğunda, yeniden atamalara ihtiyaç duyulması ile başlangıçta kendilerine atanan müşterileri oluşacak problemlere karşı korumak için mevcut diğer operasyonel tesis yollarına tekrar yerleştirilmesidir. Zhang ve ark.'nın çalışmasında var olan tesislerin acil durumlardaki yedek planları ile oluşturulan çok depolu araç rotalama problemini ele almışlardır. Olasılıkları planlamış ve kısıtları oluşturmuşlardır. Karışık tamsayılı programlama modeli ve daha sonra BT algoritması sunulmuştur. Küçük örneklerde Gurobi'nin MIP çözücüsünde daha iyi sonuçlar alındığını iddia etmişlerdir (Zhang ve ark., 2015). Hasani ve ark. yapmış olduğu çalışmada montaj fabrikalarına tedarikçiden gelen doğrudan ve dolaylı (çapraz) olarak bilinen iki sevkiyat stratejisi ile yer seçimi ve rotalama problemini ele almışlardır. Otomotiv firmalarında Just-In-Time'ın yaygınlaşmasıyla tedarikçinin yer seçimi ve rotalama problemlerini aynı anda düşünülmesi gerektiği savunmuşlardır. Bu çalışmada tedarikçi büyük parçalı ürünleri doğrudan, küçük parçalı ürünleri ise konsolide eden lojistik stratejisi geliştirerek kapasite kısıtları altında modeli oluşturmuşlardır. GAMS ile doğrulanmış olan modele, büyük boyutlu problemleri çözmek için, biyocoğrafya tabanlı optimizasyona dayanan bir algoritma önerilmiş ve verimliliği ve performansı parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ile karşılaştırmışlardır. Biyocoğrafya tabanlı optimizasyona dayanan algoritmanın performansının PSO'dan daha iyi olduğu iddia edilmiştir (Goodarzi ve Zegordi, 2016).

Yer seçimi ve rotalama çalışmalarının diğer bir konusu dağıtım şebekelerinin yer seçimi ve rotalarının tasarımı problemidir. Karaoğlan ve ark.'nin yapmış olduğu çalışmada geliştirilen modelde dal-kesme algoritması ile alt sınırlarla karşılaşılması

sebebiyle BT, GA ve tamsayı programlama formülasyonuna dayanan bir memetik algoritma yaklaşımı üzerinde çalışmışlardır. Memetik algoritmanın verdiği çözümlere bakılarak uygulanabilir olduğu ve hesaplama süresi açısından optimal çözüm elde etmekte kullanılabileceği vurgulanmıştır (Karaoğlan ve Altıparmak, 2015). Havayollarında, telekomünikasyon gibi şebekelerinin dağıtım merkezlerinde çalışılan p-hub medyan problemleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Kartal ve ark. aynı günde eş zamanlı topla ve dağıtım modeli tasarlayarak CPLEX'te test edilmişlerdir. Üç farklı ülkedeki veri seti, BT algoritmasının geliştirilmesi ile sunulan çok başlangıçlı BT algoritması yaklaşımı ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) algoritmasının geliştirilmesi ile sunulan KKO yaklaşımı algoritması kıyaslanmıştır. KKO'nun CPLEX'e göre daha iyi sonuçlar verdiği iddia edilirken çok başlangıçlı BT algoritmasına göre, özellikle örneklem büyüdüğünde performansının düştüğü vurgulanmıştır (Kartal ve ark. 2017). Şehir lojistiğinde akış engelleyici yer seçimi ve rotalama problemi olarak bilinen; birincil katman, ara katman ve nihai teslimin yapıldığı üç katmandan oluşan çok varlıklı yer seçimi ve rotalama problemi ele alınmıştır. Yer seçimi, rotalama ve atama maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan bu problemde ara tesisi kullanmadan nihai teslim yerine geçmeye izin verilmemiştir. Tesislerin ve araçların kapasitelerinin bulunduğu ve müşteri kapasitesi araç kapasitesini geçmediği savunulmuştur. Oluşturan model CPLEX ile doğrulanmış dal-kesme algoritması yaklaşımı çözülmüş ve akış engelleme ile nakliye dağıtım tasarımı yenilikler getirildiği iddia edilmektedir (Boccia ve ark., 2018).

Yu ve Lin, tüm müşterilere hizmet ettikten sonra depoya dönmeden lojistiği tamamlayan, yer seçimi ve araç rotalamanın bir çeşidi olan açık_yer seçimi ve araç rotalama problemini ele alınmışlardır. Başlangıç çözümünün oluşmasında aç gözlü algoritması kullanılmış ve BT algoritmasına dayandırılan üç yerel arama ile yeni bir algoritma yaklaşımı çalışmışlardır. BT buluşsal yöntemi bu problemde test etmişler ve sonuçları CPLEX sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Çözüm kalitesi ve zamanı açısından BT algoritmasını tercih edilmesinin uygun olduğu ispatlamışlardır (Yu ve Lin, 2015). Farham ve ark. zaman kısıtları altında belirli depo ve araç kapasiteleri dâhil edilerek fiyatlandırmaya yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Test verileri

literatürdeki verilerden alınarak sonuçları karşılaştırmışlar ve 5 depo 50 müşteri de iyi sonuçlar elde ettiklerini raporlamışlardır. Fakat veri seti büyüdüğünde ve zaman penceresi aralığı arttığında sonuçların optimum değeri bulamada zorlanacağını ve sezgisel yaklaşım ile daha iyi sonuçlar bulunacağını önermiştir (Farham ve ark., 2018).

Tehlikeli atık yönetiminde toplam çevresel riski ve maliyeti en aza indirmeye hedefleyen yer seçimi ve rotalama probleminde kullanılmış yağlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Zhao ve Verter'in yapmış olduğu çalışmada tesis yeri, kapasiteler, nakliye harcamaları toplam maliyeti oluştururken, oluşacak olumsuz bir durumda insanlara ve çevreye etkisi toplam riski oluşturmuştur. Üretim düğümü, depolama ve entegre tesisi olmak üzere üçlü katmanda tasarlanmışlardır. Farklı örnek setlerini CPLEX ile çözüp karşılaştırmışlardır (Zhao ve Verter, 2015). Rabbani ve ark.'nın yapmış olduğu çalışmada bir merkez depo, talep düğümleri, arıtma, geri dönüşüm, elden çıkarma merkezlerinin olduğu, kapasiteli heterojen filoya sahip araçlarla yer seçimi ve rotalama problemini atık yönetme konusu açısından ele almışlardır. Atık toplama ile ilgili maliyetleri, tesislerin sabit maliyetleri, tesisler arasında oluşan rota maliyeti, çalışan insanların üzerlerine aldığı riskleri azaltmayı amaçlamışlardır. Küçük ölçekli model GAMS yazılımı ile çözülmüş ve sezgisel yaklaşımlar ile devam edilmiştir. Hakim olunmamış sıralama genetik algoritma II ve çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu (MOPSO) algoritması modele uygulanmış ve kıyaslanmıştır. İlk aşamada MOPSO optimum sonuçlar üretirken, veri seti büyüdükçe hakim olunmamış sıralama genetik algoritma II'nin optimuma yakın değerler ürettiği vurgulanmıştır (Rabbani ve ark., 2018).

Doğada oluşan Sera gazları, gürültü kirlilikleri gibi problemlere ve alternatif enerjinin kullanılmasına çözüm olarak üretilen elektrikli araçlarının iki önemli problemi olan rotalama esnasında ki sürüş süresinin ayarlanması ve şarj alanlarının oluşturulması konuları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Schiffer ve Walther'in yapmış olduğu çalışmada rotalama kararları, lojistik filolarının kısıtlamaları ve elektrikli araçların kısıtlamaları altında yeni bir model sunarak maliyeti en aza indirmeyi hedeflemişlerdir (Schiffer ve Walther, 2017). Wang ve ark. yapmış olduğu

çalışmada heterojen filoya sahip düşük karbonlu yer seçimi ve rotalama probleminde, topla dağıt problemi, zaman penceresi kısıtları altında ele almıştır. GA ve değişken KA algoritmaları tabanlı iki fazdan oluşan hibrit bir optimizasyon yaklaşımı sunulmuştur. Hibrit yaklaşımının ve geleneksel değişken KA algoritmasının performansları karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımın ortalama %3,32 oranında iyileştirildiğini iddia etmişlerdir (Wang ve Li, 2017). Gıda şirketlerinin, bozulabilir gıdaların tedarik zincirinde iki kademeli yer seçimi ve rotalama problemi ele alınarak her kademesinde sürdürülebilir lojistik gerçekleştirilmektedir. Govindan ve ark.'nin yapmış olduğu çalışmada üretim yerinden araçlarla ara depolara dağıtılan ürünler, ara depolardan müşterilere dağıtılmaktadır. Bu dağıtımlar sırasında maliyetleri ve emisyon miktarının zaman kısıtları altında en aza gerçekleştirmeyi hedeflemişlerdir. Oluşturulan model melez algoritmalarla çözülmüş ve karşılaştırılmıştır (Govindan ve ark., 2014).

Araç kapasitesi, tesis kapasite gibi kısıtlar belirli müşteri talepleri altında depo yeri seçimi ve dağıtımının planlandığı çalışmalara kapasiteli yer seçimi ve rotalama problemi denilmektedir. Barreto ve ark. küme analizi yaparak müşteri noktalarını iyileştiren çalışmada yine küme analizine dayalı ardışık sezgisel bir yöntem önermiştir (Barreto ve ark., 2007).

Hem yer seçimi problemi (YSP) hem de araç rotalama problemini (ARP) birlikte çözen YSRP için Yu ve ark. BT sezgiselini geliştirmişlerdir. Geliştirilen BT'yi farklı veri setleriyle, literatürde ki algoritmalarla karşılaştırmışlardır. BT'nin hem örneklem büyüklüğü hem de performans açısından kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır (Yu ve ark., 2010). Derbel ve ark. YSP ve ARP'nin kapasite kısıtları ile çözmeyi hedefleyen klasik YSARP'ye iyileştirilmiş bir GA yaklaşımı geliştirmişlerdir. GA'da yerel optimuma takılmayı önlemek, en uygun çözüme yakınsamayı sağlamak için yinelemeli yerel aramayı, GA ile hibrit yaparak yeni bir sezgisel yöntem iddia etmişlerdir. Literatürde ki 5 problem kümesinde test edilen yeni yöntem katkıda bulunduğunu vurgulamış ve geliştirmiş oldukları farklı bir algoritmaya göre daha iyi sonuçlar elde edildiğinin ispatlamışlardır (Derbel ve ark., 2012). Thig ve ark., yer seçimi problemi ve çok depolu araç yönlendirme probleminden oluşan kapasiteli yer

seçimi ve rotalama probleminde çoklu karınca kolonisi algoritmasını geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma literatürdeki çalışmaların veri seti ile çalıştırarak kıyaslamışlardır. Dört örnekte incelen çoklu karınca kolonisi algoritmasının çoğu kıyaslamada başarılı sonuçlar elde edildiği iddia etmişlerdir. Özellikle ($n \geq 200$) örneklemlerde kaliteli sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır (Thig ve Chen, 2013).

Dağıtımın yapılacağı kapasiteli araçlar aynı miktarda (homojen) veya farklı miktarlarda (heterojen) kısıtlandırılmaktadır. Contardo ve ark., depolardan dağıtım merkezlerine, dağıtım merkezlerinden müşterilere iki aşamalı olacak şekilde homojen filoya sahip bir ağ düzeni önermişlerdir. Küçük modellerde ($n < 50$) dal-kesme algoritmasının iyi sonuçlar verdiği, fakat alt ve üst sınırları verimli düzeyde kullanmak için uyarlamalı büyük boyutlu komşuluk araması (KA) meta-sezgisel yöntem önermişlerdir. Yöntemlerin veri setlerinde kıyaslanması ile KA'nın üstünlüğünü vurgulamışlardır (Contardo ve ark., 2012).

Tablo 2.1. Yer seçimi ve rotalama problemi literatür araştırmaları

Yöntem	Çalışmalar
Kesin Çözümler	Farham ve ark. (2018), Veenstra ve ark. (2018), Boccia ve ark. (2018), Caunhye ve ark. (2016), Karaoglan ve Altıparmak (2015), Yu ve Lin (2015), Zhao ve Verter (2015), Ceselli ve ark (2014), Contardo ve ark. (2012)
Sezgisel Algoritmalar	
Aç Gözlü	Yu ve Lin (2015)
GA	Rabbani ve ark. (2018), Wang ve Li (2017), Nedjati ve ark. (2017), Derbel ve ark. (2012), Karaoglan ve Altıparmak (2015),
PSO	Rabbani ve ark. (2018), Nedjati ve ark. (2017), Marinakis (2015), Govindan ve ark. (2014), Hasani ve ark. (2016).
KA	Veenstra ve ark. (2018), Wang ve Li (2017), Govindan ve ark. (2014), Contardo ve ark. (2012)
BT	Kartal (2017), Yu ve Lin (2015), Zhang ve ark. (2015), Karaoglan ve Altıparmak (2015), Ghaffari-Nasab ve ark. (2013), Mousavi ve Tavakkoli- Moghaddam (2013), Yu ve ark. (2010)
MA	Karaoglan ve Altıparmak (2015),
KKO	Nadizadeh ve Nasab (2014), Kartal (2017), Ting ve Chen (2013)
TA	Mousavi ve Tavakkoli- Moghaddam (2013)
Diğer Çalışmalar	Maranzara (1964), Watson-Gandy, Balakrishnan ve ark. (1987), Laporte (1988, 1989), Berman ve ark. (1995), Min ve ark. (1998) Balakrishnan ve ark. (1987), Salhi ve Rand (1987), Nagy ve Salhi(2007), Barreto ve ark. (2007)

2.2. Yeşil Lojistik

Lojistik, ürünleri tedarik zinciri boyunca taşımak için gereken tüm faaliyetlerin bütünleşmiş yöntemidir. Tipik bir ürün için bu tedarik zinciri, bir hammadde kaynağından üretim ve dağıtım sistemi ile tüketim noktası ve ilgili tersine lojistik arasında uzanır. Lojistik faaliyetler, yük taşımacılığı, depolama, stok yönetimi, malzeme taşıma ve ilgili tüm bilgi işlemlerini içermektedir. Lojistiğin temel amacı, bu faaliyetleri müşteri gereksinimlerini minimum maliyetle karşılayacak şekilde koordine etmektir. Geçmişte bu maliyet tamamen parasal olarak tanımlanmıştır. Çevre ile ilgili duyarlılık arttıkça, şirketler daha çok iklim değişikliği, hava kirliliği, gürültü, titreşim ve kazalarla ilişkili lojistiğin dış maliyetlerini daha fazla hesaba katma ihtiyacı hissetmektedir. Bundan dolayı da çevrenin tüm olumsuzluklarını azaltmaya yönelik sürdürülebilir lojistik çalışmaları önem kazanmıştır.

Karayolu taşımacılığının yapılmasında dört büyük karar önerilmektedir. Lojistik sistemlerin stratejik planlaması, tedarikçilerin ve dağıtımçıların seçimi, ürün akışının programlanması ve taşımanın yönetimidir (McKinnon ve Woodburn, 1996). Küreselleşen ekonomide her alanda sürdürülebilir çalışmalar yapmayı hedefleyen şirketler lojistikte de sürdürülebilirliği yeşil lojistik alanında hedeflemektedirler. El-Berishy ve ark. sürdürülebilirlik ve yeşil lojistik arasındaki güçlü ilişkinin varlığını vurgulamışlardır (El-Berishy ve ark., 2013). Yeşil lojistikle ilgili önerilen kararları genişleterek üretilen ve tüketilen malların ağırlıkları ile oluşan toplam yükleri CO₂ emisyonu ile ilişkilendirilmektedir (Piecyk ve McKinnon, 2010). Sbihi ve Eglese yaptığı çalışmada yeşil lojistiğin kapsadığı alanları ve kombinatoriyel optimizasyon teorilerinin ve tekniklerinin etkili bir şekilde kullanılmasının gerekliliğini savunmuştur (Sbihi ve Eglese, 2009).

Otomotiv sektöründe de montaj ve ambalaj sürelerini iyileştirmek için yeşil alternatifleri kullanarak hem çevresel hem de ekonomik hedefleri vurgulamışlardır (Chhabra ve ark., 2017).

Küresel bir problem haline gelen sera gazlarının emisyon problemi, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve fosil yakıtlara bağımlılık konusundaki AB yönergesi ile yeşil araç rotalama problemlerinin, araç rotalama problemlerine alternatif hale gelmesini sağlamıştır. Yeşil araç rotalama ile ilgili literatür çalışması aşağıda verilmektedir.

Erdoğan ve Miller-Hooks, yaptıkları çalışmada düşük maliyetli turlar oluşturmaya yardımcı olacak araçlar ile çalışan bir dağıtım firmasının maliyetlerini azaltmaya çalışmaktadırlar. Geliştirdikleri tekniklerle turların yakıt tüketimini azaltmayı hedeflemektedirler ve sonuçta araçların sürüş menzili arttıkça daha az araçla daha fazla müşteriye hizmet verileceğini iddia etmişlerdir (Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012). Montoya ve ark., Erdoğan ve Miller-Hooks'ın yapmış olduğu bu çalışmada küçük örneklerle optimale ulaşamadığını savunmuşlardır. Buna istinaden yeni teknikler geliştirerek karşılaştırmakta ve iyileştirmelerin olduğunu ispatlamışlardır (Montoya ve ark., 2015). Poonthalir ve Nadarajan yapmış oldukları çalışmada değişken hız ortamında çalışılmış ve üçgen dağılımı kullanılarak simüle edilen değişken hız kısıtlaması olan iki amaçlı Yakıt Verimli Yeşil Araç Yönlendirme Problemini (F-GVRP) geliştirmişlerdir. Hedef programlama kullanarak hem yol maliyetini hem de yakıt tüketimini en aza indirecek şekilde modellediğini iddia etmişlerdir. Bu çalışmayı bir dizi yakıt ikmal istasyonuna yakıt ikmal yapabilen ve yolculuk süresini zaman sınırı içinde devam ettirebilen; Yapay Yakıt İstasyonlarını (AFS) kullanan Erdoğan ve Miller-Hooks'un çalışmasına alternatif olarak geliştirmişlerdir. Bir depoda bulunan bir dizi homojen araç için düşük maliyetli rota tasarladıklarını vurgulamışlardır (Poonthalir ve Nadarajan, 2018).

Kentlerde gürültü, hava kirliliği gibi problemlerin artması ile birlikte, kentsel yolcu taşımacılığında yeşil araç kullanımını arttırmaya yönelik, Jovanović ve ark. çevre koşullarının karmaşık girdilerini göz önünde bulundurarak yeşil ARP girdilerini bulanık mantık yöntemi ile düzenleyen yeni bir model tasarladıklarını iddia etmişlerdir (Jovanović ve ark., 2014).

Ulaşımında teknolojinin gelişmesi ile birlikte yakıt tüketimini iki açıdan azaltmayı hedefleyen akıllı ulaşım sistemleri geliştirilmiştir. Her bir aracı yolun durumuna göre en uygun hızda tıkanıklığı azaltmayı ve ikinci olarak yeşil yakıt verimliliği için sürücüye en kısa yol mesafeleri yerine en kısa zaman süresi ile alternatif yollar sunmayı desteklemektedir. Jabbarpour ve ark., yakıt tüketimi, trafik sıkışıklığından dolayı durdurulan araçların sayısı, araçların seyahat mesafesi, hız, zaman ve bu parametrelerin CO₂ emisyonuna etkisini vurgulamışlardır (Jabbarpour ve ark. 2015).

Trafik çeşitliliği ve araç çeşitliliğine bağlı olarak salınan CO₂ oranının artmasını en aza indirmek amacıyla araç rotalama modelleri geliştirilmeye başlanmıştır. Heterojen yeşil araç rotalama ve çizelgeleme problemi olarak da adlandırılan bu çalışmayı, Xiao ve Konak, araç tipleri, CO₂ emisyonları/modelleri, yük kapasiteleri, yakıt deposu kapasiteleri ve zamanın kullanılabilirliğinin göz önünde bulundurarak, müşteri-taşıt ataması, rota seçimi, seyahat süresi planlaması gibi çeşitli operasyonel kararlar için toplam CO₂ emisyonlarını en aza indirmeyi hedeflediklerini iddia etmişlerdir (Xiao ve Konak, 2016). Turkensteen'in yaptığı çalışmada yakıt tüketimi, aracın hızı gibi faktörlerinde dahil olduğu kapsamlı modal emisyon modeli (The Comprehensive Modal Emissions Model) olan CMEM parametrelerin etkisi ile ölçümler ve verimlilik analizleri yapmışlardır. CMEM uygulamasında bu tür hesaplamaları sadece hız dalgalanmaları göz ardı edilebilir olduğunda güvenle kullanabileceğini ancak ulaştırma bilimindeki çalışmaların bunu çok gerçekçi bulmadığını vurgulamışlardır (Turkensteen, 2017).

Jabir ve ark. yapmış oldukları çalışmada çok depolu sistemde ekonomik maliyeti, rotalarda ortaya çıkan emisyon maliyetini ve hem ekonomik maliyeti hem de rotalarda ortaya çıkan emisyon maliyetini en az yapacak üç amaç fonksiyonu model geliştirdiklerini iddia etmişlerdir. Müşteri taleplerinin homojen araçlar ve depolar tarafından karşılandığı ve oluşturulan üç modelin sonuçları verildiği ispatlanmıştır (Jabir ve ark., 2017).

Anlatmış olduğumuz literatürde yeşil lojistik ve yeşil araç rotalama ile ilgili yöntem ve yapılmış çalışmalar aşağıdaki Tablo 2.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. Yeşil lojistik literatür araştırmaları

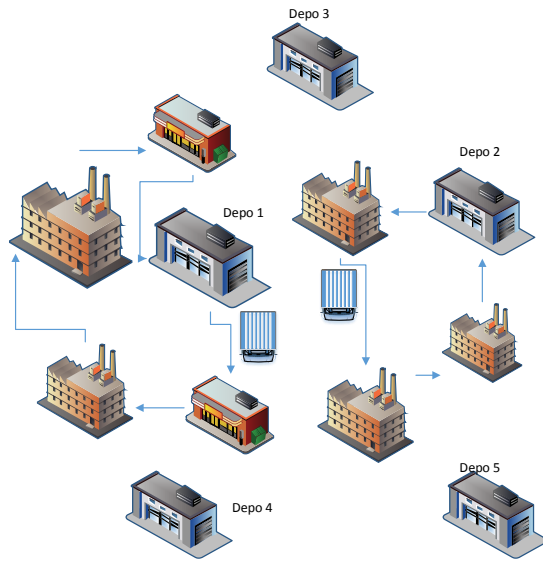
Yöntem	Çalışmalar
Kesin Çözümler	Xiao ve Konak (2016)
Sezgisel Algoritmalar	
Clarke and Wright	Erdoğan ve Miller-Hooks (2012)
PSO (with greedy mutation operatör)	Poonthalir ve Nadarajan (2018)
Anfis ve Kruskal's	Jovanović ve ark. (2014)
Birden çok alanlı	Montoya ve ark. (2015).
KA	Xiao ve Konak (2016) Jabir ve ark. (2017)
KKO	Jabbarpour ve ark (2015), Jabir ve ark. (2017)
Diğer Çalışmalar	McKinnon ve Woodburn (1996), Piecyk ve McKinnon (2010), Sbihi ve Eglese (2009), El-Berishy ve ark. (2013), Chhabra, Garg, Singh (2017)

BÖLÜM 3. YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMLERİ

Bu bölümde yer seçimi ve araç rotalama problemleri, rotalama problemleri ve yer seçimi problemlerinden detaylı olarak bahsedilecektir.

3.1. Yer Seçimi ve Rotalama Problemleri

Literatür de detaylı bir şekilde bahsetmiş olduğumuz yer seçimi ve rotalama problemine örnek olarak Şekil 3.1.'de kapasiteli yer seçimi ve rotalama problemi gösterilmiştir. Aynı miktarda kapasiteli araçlar ile müşteri talepleri göz önünde bulundurularak maliyet ve kapasite açısından optimum depo-yer seçimi ve ataması yapılmış, optimum rotalar oluşturulmuştur. Özdeş beş depodan maksimum kapasitede en iyi iki depo ile tüm müşterilerin talepleri karşılanmış ve servis depoda başlayıp depoda tamamlanmıştır.



Şekil 3.1. Yer seçimi ve rotalama modeli

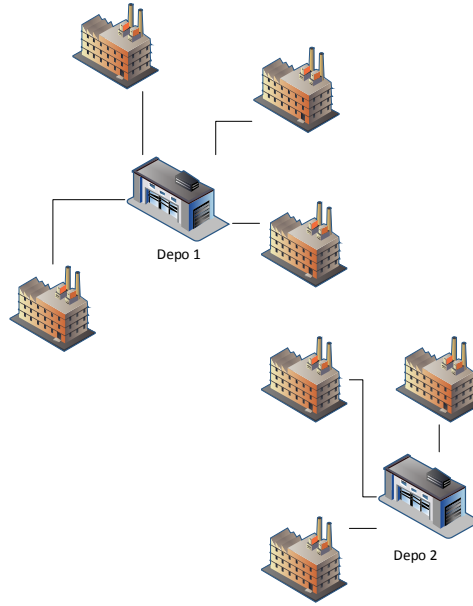
Lopes'in yaptığı çalışmaya göre yer seçimi ve rotalama problemlerinin sınıflandırılması aşağıdaki gibidir (Lopes ve ark., 2013).

- Standart Olmayan Hiyerarşik Yapı
- Ulaştırma - Yer Seçimi Problemleri
- Birden Çok Yer Seçimi Problemleri
- Araç Rotalama - Atama Problemi
- Çok Seviyeli Yer Seçimi- Rotalama Problemi
- Standart Hiyerarşik Yapı
- Belirsizlikle İlgilenen Modeller
 - Gezgin Satıcı Yer Seçimi Problemi
 - Stokastik Yer Seçimi- Rotalama Problemi
 - Dinamik Yer Seçimi- Rotalama Problemi
- Deterministik Modeller
 - Gidiş- Dönüş Yer Seçimi Problemi
 - Kapasiteli (kapasite kısıtlı) Yer Seçimi- Rotalama Problemi
 - Yer Seçimi- Ayrıt Rotalama Problemi
 - Hamilton Yer Seçimi Problemi
 - Düzlemsel Yer Seçimi- Rotalama Problemi
 - Yeşil Döngü Yer Seçimi- Rotalama Problemi
 - Genel Yer Seçimi- Rotalama Problemi

Bu çalışma ise deterministik modellerden olan kapasiteli yer seçimi-rotalama problemi sınıfında yer alan depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama problemi, yeşil döngü yer seçimi-rotalama problemi sınıfında yer alan yeşil depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama problemi olmak üzere iki farklı konu kendi içerisinde kademeli olarak ele alınmıştır.

3.2. Yer Seçimi Problemleri

Rekabet ortamında, tesis ağının stratejik seçiminin müşterilerin isteğini karşılamada, üretim ve işletme maliyetlerinin düşürülmesinde ve işletmelerin sistemlerinin gelişmesinde anlamlı bir etkiye sahiptir.



Şekil 3.2. Yer seçimi modeli

Şekil 3.2.'de yer seçimi problemine örnek bir model tasarlanmıştır. Yedi farklı müşteri noktasının mesafe maliyetlerinin en az olacak şekilde dört müşterinin depo bire, diğer üç müşterinin depo ikiye atanması uygun olduğu gösterilmiştir.

Yer seçimi çalışmaları tesis yeri ve tesis düzeni olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Mehrez, 1987). Tesis düzeni, tesisin içerisinde ilişkisel ağırlıklarına göre departmanların düzeni, bir depodaki ürünlerin düzeni, üretim içerisinde hatların düzeni şeklinde farklı konuları ele alan problemlerdir. Tesis yeri seçimi, bir bölgedeki müşteri taleplerini karşılamak için, hizmet verecek tesislerin konumlandırılmasıdır. En iyi hizmeti verecek (tesis maliyet, seyahat maliyeti, zaman..) tesislerin yerlerinin bulunması tesis yeri problemleridir. Tesis sayısı, kapasitesi önceden belirlenmekte ya da talepler doğrultusunda belirlenmektedir. Bir

müşteri talebi doğrultusunda bir tesisten hizmet alabileceği gibi birden fazla tesisten de hizmet alabilmektedir.

Yer seçimi problemleri iyi bilinen NP-Hard sınıfı optimizasyon problemlerindedir. Tesis yeri problemlerini ilk çalışmayı 1929'da Weber yapmıştır (Friedrich, 1929). Bu çalışmada bir depo belirleyerek müşteri ve depo arasında ki mesafeyi en aza indirmeye çalışmıştır. Weber'in yapmış olduğu çalışmadan yola çıkan Cooper (Cooper, 1967) gibi araştırmacıların geliştirmiş olduğu modeller sayesinde yer seçimi problemlerine olan ilgiyi arttırmışlardır.

- Sistemde kaç adet tesis bulunmaktadır?
- Tesisler nerede olmalıdır?
- Her bir tesisin kapasitesi nedir?
- Müşteri talepleri tesislere nasıl tahsis edilmelidir?
- Birden fazla tesis müşteriye hizmet edebilir mi?

Kurulması istenilen modele göre bu sorunlardan bir kaç ya da hepsi modele dâhil edilebilir.

Yer seçimi problemlerinde genel olarak aşağıda belirtilen sorunlar çalışılmıştır. Acil insani lojistik, afet (Boonmee ve ark., 2017), mobil tesis yerleştirme (Halper ve ark., 2015), sağlık lojistiği (Veenstra ve ark., 2018), liman-karayolu lojistiğinde terminallerin yerleştirilmesi (Teye ve ark., 2017) gibi farklı konularda çalışmalar yapılmıştır.

Yer seçimi problemlerinde depo yerlerinin belirlenmesinde ekonomik, matematik, coğrafya, şehir planlamaları, sosyoloji gibi konuların haricinde birçok etken olmasından dolayı sınıflandırma yapmak oldukça zordur. Tesis yeri problemlerinde farklı sınıflandırmalar bulunmaktadır. Arabani'nin yapmış olduğu çalışmaya göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Arabani ve Farahani, 2012).

- Statik yer seçimi problemi
 - Sürekli yer seçimi problemleri
 - Tek tesis yeri problemi
 - Çok tesisli tesis yer seçimi problemi
 - Tesis yerleşim problemi
 - Ayrık yer seçimi problemleri
 - Karasel atama problemi
 - Tesis yerleşim problemi
 - Şebeke temelli tesis yeri seçimi problemleri
 - Medyan problemi
 - Kapsama problemi
 - Merkez problemi
 - Ana dağıtım üssü yer seçim problemi
 - Hiyerarşik yer seçimi problemi
 - Dinamik tesis yeri seçimi problemleri
 - Dinamik deterministik yer seçimi problemi
 - Tesis yeri değişim problemi
 - Çok dönem (kesikli zaman) ile tek dönem (sürekli zaman) yer seçimi problemleri
 - Zaman bağımlı yer seçimi problemleri
 - Stokastik, olasılıklı ve bulanık yer seçimi problemleri

3.2.1. P-Medyan Problemleri

Yer belirleme problemlerinde etkin kullanım alanı olan P-Medyan problemleri, p tesislerinin yerlerini belirlemeyi hedefleyen, müşteri düğümleri ile atanan depolar arasında ki talep ağırlıklı toplam mesafeyi en aza indirmeyi sağlayan klasik modellerdendir. P değişken değerlerine sahip NP-Hard sınıfı problemlerdendir (Current ve ark., 2004).

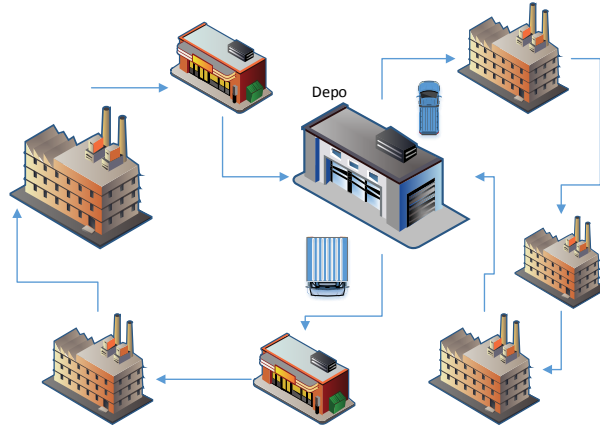
İlk olarak Hakimi yapmış olduğu çalışmada, polis karakolu kurulumunda en iyi yerin iletişim ağının bir tepe noktasında olduğunu göstermiştir (Hakimi, 1964). Öğrencilerinde kaldıkları yerlerden, kısıtlı sayıdaki okullara atanmasını sağlayan okul yeri problemlerine (Ndiaye ve ark., 2012), bir gıda firmasında depo yeri problemlerine (Durak ve Yıldız, 2015) çözüm bulmuşlardır.

3.3. Rotalama Problemleri

Belirli bir yol boyunca göndermek veya doğrudan yönlendirmek anlamına gelen rotalama İngilizce kökenli bir kelimedir. Günümüzde kullanıldığı konulara göre farklı anlamlar yüklenmektedir. Rotalamanın başlıca konuları; stok rotalama problemleri (Archetti ve ark., 2018), üretim rotalama problemleri (Absi ve ark., 2018), internet rotalama problemleri (Hui Wang ve An, 2018), rotor rotalama problemleri (Tóthmérész, 2018), gemi rotalama problemleri (Lin ve Chang, 2018), uçak rotalama problemleri (Safaei, 2017), araç rotalama problemleridir (Domínguez-Martín ve ark., 2018). Bu çalışma da araç rotalama problemi üzerinde duracağız.

3.3.1. Araç Rotalama Problemleri

NP-hard problemleri sınıfında olan ARP, ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından “Kamyon yükleme problemi” olarak ortaya çıkmıştır. Benzin dağıtım araçlarından oluşan filonun terminallerden, çok sayıda servis istasyonuna rotalanmasını minimum mesafede, istasyonların taleplerini karşılayarak optimum rotayı bulduğunu iddia etmiştir (Dantzig ve Ramser, 1959). Clarke ve Wright, sunulan bu yaklaşımı farklı kapasitedeki araçlarla rotalayarak kamyon atamanında ötesinde rotalamanın asıl konusu olan “Araç rotalama problemi” ilk defa çalışmışlardır (Clarke ve Wright, 1964).



Şekil 3.3. Araç rotalama modeli

Şekil 3.3.'te bir merkez depodan birden fazla müşterinin ihtiyacını sağlayan örnek bir ARP modeli gösterilmiştir. En az mesafe maliyeti ve araç kapasitesi kısıtları ile dört müşterinin ve üç müşterinin farklı rotalardan ihtiyaçları sağlanarak tüm müşteriler hizmet almıştır. Rotalar depoda başlayıp depoda bitmiştir.

Yapılan ilk çalışmalardan yola çıkarak ARP'nin bir depo noktasından, müşteri taleplerinin araçlarla en kısa mesafede, optimum rota ile dağıtımını tasarlanmıştır. Zamanla müşteri taleplerinin esnek olması, dağıtım araçlarının ve güzergâhlarının artması, sınırlı sayıdaki kaynaklarla hizmet verilmesi büyük bir lojistik problemi haline gelmiştir. Bu sebeple rotalama problemleri firmalar için gün geçtikçe önemini arttırmakta ve çalışma konuları çeşitlenmiştir. Araç rotalama problemleri çeşitleri Canhong ve ark.(Lin ve ark., 2014) yapmış olduğu çalışmalarına göre sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

- Kapasiteli (kapasite kısıtlı) Arp
- Zaman bağımlı Arp
- Topla ve Dağıt Arp
- Çok Depolu Arp
- Stokastik Arp
- Periyodik Arp
- Dinamik Arp
- Zaman Pencere Arp
- Envanter Rotalama Problemleri

- Filo Büyüklüğü ve Karışık Araç Rotalama Problemi
- Genelleştirilmiş Arp
- Çok kompartımanlı Arp
- Bölge Temelli Arp
- Bölünmüş talepli Arp
- Bulanık Arp
- Açık Arp
- Yükleme Kısıtlı Arp
- Yeşil Araç Rotalama Problemi
- Çok Aşamalı (kademeli) Arp

BÖLÜM 4. ÖNERİLEN MODEL

4.1. Yakıt Tüketimi ve CO₂ Emisyon Modeli

Yeni dünyanın problemlerinden ve geleceği olumsuz etkileyen en önemli problemlerinden olan küresel ısınmayı, yüksek oranda arttıran sera gazları emisyonunu, lojistik açısından azaltmayı hedefleyen farklı yakıt ve CO₂ emisyon modelleri yaklaşımları sunulmaktadır. Nie ve Li aracın ve motorun özelliklerini dikkate alan maliyeti en aza indirmeyi hedefleyen bir yaklaşım önermişlerdir (Nie ve Li, 2013). Yolların eğim formülasyonlarını modele entegre etmişlerdir.

Değişkenler

P	: Motorun toplam gücü
f	: Yakıt oranı
g	: Yerçekimi ivmesi, $N * m/s^2$, 9.81
c_1, c_2, c_3 ve c_4	: Sabit değer, -, 0.7, 44.73, 0,0089, 659,9
η	: Motor verimliliği, -, 0.45
ρ	: Hava yoğunluğu, km/m^3 , 1.247
e_{CO_2}	: CO ₂ emisyon oranı

Yakıt emisyon oranlarının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin tanımı aşağıdaki Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Yakıt emisyon oranlarının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin tanımı

Parametreler	Kısaltmalar	Birim	Değer
Araca Bağlı Parametreler			
Ön alan	A	m^2	4,9941
Sürüklenme katsayısı	c_d	-	0,3
Sabit katsayı	K_0	$J/rev/I$	200
Sabit katsayı	K_I	$J/rev/I$	30
Motor hızı	N	J/rev	2600
Motor silindir hacmi	V	I	5,193
Yarım aks performansı	j		0,04
Jant çapı	d	m	19,5

Tablo 4.1. (Devamı)

Sabit değer	\bar{r}		10
Sabit değer	r		2
Sabit değer	v_h	km/s	30,900
<u>Yakıt özel parametreleri</u>			
Alt ısıl değer	λ	J/g	46607
<u>Operasyonel parametreler</u>			
Eğim	G		0
Güçlendirme verimliliği	ϵ		0,85
Düzenli durumlarda yakıt hava oranı	ϕ_a		1,13
Düzenli durumlarda yakıt hava oranı	ϕ_0		0,1
Kütle	Z	kg	1500
Yardımcı güç	P_a	W	152868,47
<u>Değişkenler</u>			
Hız	v	m/s	90
İvme	a	m/s^2	0,00001
	θ		0,017
	e_0		1143,77
Hava-yakıt denklik oranı	φ		1

Formüller

Kapsamlı emisyon modeli, aracın toplam motor gücü olan P 'yi yakıt oranı olarak ifade edilen f 'ye aşağıdaki formüle ile dönüştürmektedir.

$$f = \varphi * P/\gamma \quad (4.1)$$

P ile ifade edilen motorun toplam çıktısı; motorun çekme kuvveti olarak adlandırılan P_t , sürtünmeye karşı motora güç sağlayan P_w ve araç aksesuarlarının gücünü sağlayan P_a olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.

$$P = \sum_{i=0}^3 (\alpha_i * v^i) + \beta * a * v \quad (4.2)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

Formülde yer alan faktörlerin hesabı aşağıda verilmektedir.

$$\alpha_0 = P_a/\eta; \quad (4.3)$$

P_a parametresi araç aksesuarının gücü, η parametresi motor verimi olarak ifade edilmektedir.

Toplam motor çıktısı hesabında kullanılan α_1 ve α_2 parametresini elde ederken aracımızın kullanacağı yolun eğimini günümüzdeki makalelerdeki gibi sabit alıp ihmal etmek yerine hesaba katmak için ele alınan formüle entegre edilmektedir. İller arası kullanılan yolu, yokuş yukarı, düz ve yokuş aşağı olacak şekilde üç parçaya ayırıp her bir parça için uygun olacak eğim formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$\alpha_{11} = Z * g * (\sin \alpha) * (G + c_1) / (\eta * \epsilon) + c_4 * K_0 * V * \theta * (r + c_3 * v_h^2); \quad (4.4)$$

$$\alpha_{21} = Z * g * (\sin \alpha) * c_1 / (c_2 * \eta * \epsilon) - 2 * c_3 * c_4 * V * \theta * v_h; \quad (4.5)$$

Yukarıda verilen formüller yolun yokuş yukarı alınacak kısımları için geçerli olacaktır.

$$\alpha_{12} = Z * g * (-\sin \alpha) * (G + c_1) / (\eta * \epsilon) + c_4 * K_0 * V * \theta * (r + c_3 * v_h^2); \quad (4.6)$$

$$\alpha_{22} = Z * g * (-\sin \alpha) * c_1 / c_2 * \eta * \epsilon - 2 * c_3 * c_4 * V * \theta * v_h; \quad (4.7)$$

Aracın yokuş aşağı kullanacağı yollar için α_1 ve α_2 parametrelerine entegre edilmektedir.

$$\alpha_{13} = Z * g * (G + c_1) / \eta * \epsilon + c_4 * K_0 * V * \theta * (r + c_3 * v_h^2); \quad (4.8)$$

$$\alpha_{23} = Z * g * c_1 / (c_2 * \eta * \epsilon) - 2 * c_3 * c_4 * V * \theta * v_h; \quad (4.9)$$

Yolun düz kısmında ise eğim sıfır olarak alınmaktadır. Daha sonra elde edilen formüller toplanarak α_1 ve α_2 parametreleri elde edilmektedir.

$$\alpha_1 = \alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13} \quad (4.10)$$

$$\alpha_2 = \alpha_{21} + \alpha_{22} + \alpha_{23} \quad (4.11)$$

$$\alpha_3 = (\rho * c_d * A) / (2 * \eta * \epsilon) + c_3 * c_4 * K_0 * V * \theta; \quad (4.12)$$

$$\beta = Z * (1 + e_0) / (\eta * \epsilon) \quad (4.13)$$

Yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu ise aşağıda verilen formüllerle hesaplanmaktadır.

$$F(v, a) = f/v = \phi/\lambda * \left(\sum_{i=0}^3 \alpha_i * v^{i-1} + \beta * a \right) \quad (4.14)$$

$$E_{CO_2}(v, a) = e_{CO_2}/v = \gamma_1 * F(v, a) + \gamma_0/v \quad (4.15)$$

4.2. P-Medyan Matematiksel Model

Çok depolu problemde tesis yeri seçiminde, p-medyan modelinde müşteri düğümleri ile atanan depoların talep ağırlıklı mesafelerini en aza indirmeyi hedeflenmektedir. j müşteri düğümleri, i aday depo yerleri için klasik p-medyan modeli aşağıdaki gibidir.

Parametreler;

x_{ji} : i ve j düğümleri arasında yolun kullanıldığını gösteren parametre

$$x_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{eğer eğer j müşterisi i deposuna atanmışsa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

y_i : i. deponun kullanımı ile ilgili parametre

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer i. depo kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

Kısıtlar;

$$\text{Min } \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I d_{ji} * x_{ji} \quad (4.16)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ji} = 1, \quad \forall j \in J \quad j=\{j|j=1,2,\dots,J\} \quad (4.17)$$

$$x_{ji} \leq y_i, \quad \forall j \in J, \forall i \in I \quad i=\{i|i=1,2,\dots,I\} \quad (4.18)$$

$$\sum_{i=1}^I y_i = p \quad (4.19)$$

Amaç fonksiyonunda talep ağırlıklı mesafe maliyetinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır (4.16). Tüm düğümler atanan depolar tarafından bir hizmet görmektedir (4.17). Atanan depodan hizmet gören düğüm noktasının depoya

bağlanması sağlanmaktadır (4.18). Toplam atanan depolar p'ye eşitlenmektedir (4.19).

Parametreler;

x_{ji} : i ve j düğümleri arasında yolun kullanıldığını gösteren parametre

$$x_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ müşterisi } i \text{ deposuna atanmışsa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

y_i : i. deponun kullanımı ile ilgili parametre

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i. \text{ yeşil depo kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

Emisyon maliyetine en aza indirmeye hedefleyen i aday depo yerleri için p-medyan modeli aşağıdaki gibidir.

Kısıtlar;

$$\text{Min } \sum_{i=1}^I E_{CO_2}(v, a) \quad (4.20)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ji} = 1, \quad \forall j \in J \quad j=\{j|j=1,2,\dots,J\} \quad (4.21)$$

$$x_{ji} \leq y_i, \quad \forall j \in J, \forall i \in I \quad i=\{i|i=1,2,\dots,I\} \quad (4.22)$$

$$\sum_{i=1}^I y_i = p \quad (4.23)$$

Amaç fonksiyonunda emisyon maliyetini en aza indirmek hedeflenmektedir (4.20).

Tüm düğümler atanan depolar tarafından bir hizmet görmektedir (4.21). Atanan

depodan hizmet gören düğüm noktasının depoya bağlanması sağlanmaktadır (4.22).

Toplam atanan depolar p'ye eşitlenmektedir (4.23).

4.3. Kapasiteli Yeşil Yer Seçimi ve Araç Rotalama Matematiksel Modeli

Kapasiteli yeşil yer seçimi ve araç rotalamının matematiksel modeli aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

Setler;

- I : Depo Seti
 J : Müşteri Seti
 V : I ve J Setlerinin Düğüm Kümesi

Parametreler;

- c_{ij} : i-j düğümleri arasındaki seyahatin maliyeti
 d_{ij} : i-j düğümleri arasındaki mesafe
 E : Birim enerji başına düşen toplam emisyon maliyeti
 D_j : j. müşterinin talebi
 Q : Aracın kapasitesi
 W_i : i. deponun kapasitesi

Değişkenler;

- x_{ij} : i ve j düğümleri arasında yolun kullanıldığını gösteren değişkendir

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i - j \text{ yolu kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$
 a_{ij} : j. müşteriden i. depoya dönüldüğünü gösteren değişkendir

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j. \text{müşteriden depoya dönülüyorsa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$
 f_{ij} : j. müşterinin i. depodan başlayan rota ile hizmet alıp almadığını tanımlayan değişkendir

$$f_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j. \text{ depodan gelen rotadaysa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$
 z_j : Rotanın son müşterisinde olup olmadığını tanımlayan değişkendir
 y_i : i. deponun kullanımı ile ilgili değişkendir

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i. \text{ depo kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$
 t_{ij} : i-j düğümleri arasında aracın taşıdığı yük miktarı, serbest değişkendir

Kısıtlar;

$$\text{Min } E_{CO_2}(v, a) = e_{CO_2}/v = \gamma_1 * F(v, a) * + \gamma_0/v \quad (4.24)$$

$$\sum_{i=1}^V x_{ij} = 1, \quad \forall j \in J \quad (4.25)$$

$$\sum_{k=1}^J x_{jk} + \sum_{i=1}^I a_{ij} = \sum_{i=1}^V x_{ij}, \quad \forall j \in J \quad (4.26)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = \sum_{j=1}^J a_{ij}, \quad \forall i \in I \quad (4.27)$$

$$x_{ij} + x_{ji} \leq 1, \quad \forall i, j \in V \quad (4.28)$$

$$\sum_{i,j=1}^V x_{ij} \geq |J| \quad (4.29)$$

$$\sum_{i=1}^I f_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in J \quad (4.30)$$

$$\sum_{i=1}^V t_{ij} = \sum_{i=1}^V t_{jk} + D_j, \quad \forall i \neq j \quad \forall j \in J \quad (4.31)$$

$$t_{ij} \leq Q * x_{ij}, \quad \forall i, j \in V \quad (4.32)$$

$$\sum_{i=1}^I t_{ij} \leq W_i * y_i, \quad \forall i \in I \quad (4.33)$$

$$\sum_{k=1}^V x_{jk} = 1 - z_j, \quad \forall j \in J \quad (4.34)$$

$$1 + a_{ij} \geq f_{ij} + z_j, \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.35)$$

$$x_{ij} \leq f_{ij}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.36)$$

$$\sum_{i=1}^I y_i \geq \frac{\sum_{j=1}^J D_j}{\sum_{i=1}^I W_i} \quad (4.37)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} \leq \frac{W_i}{Q}, \quad \forall i \in I \quad (4.38)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} \geq \frac{\sum_{j=1}^J D_j}{Q}, \quad \forall i \in I \quad (4.39)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in V \quad (4.40)$$

$$y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (4.41)$$

$$z_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (4.42)$$

$$a_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.43)$$

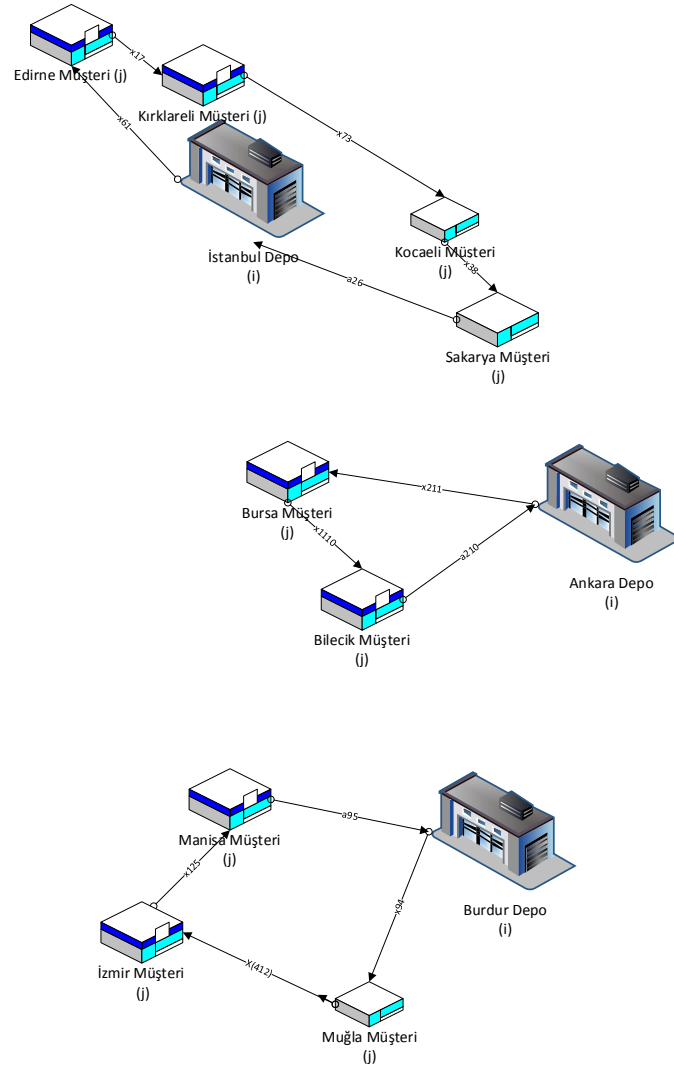
$$f_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.44)$$

$$t_{ij} \in R, \quad \forall i, j \in V \quad (4.45)$$

Kapasiteli yeşil yer seçimi ve araç rotalama modelinde, yakıt tüketimi ve yakıt tüketimi ile ilgili toplam emisyon miktarını en aza indirmeyi hedeflemiştir (4.24).

Karmaşık tam sayılı doğrusal model ile kısıtlar oluşturulmuştur. Denklem (4.25)'de her müşterinin bir rota tarafından ziyaret edilmeli kısıtını sağlamıştır. Denklem (4.26)'de talep çıktısının yaylarının toplamı giriş yaylarının toplamına eşit olmalıdır. Bu yay bir normal bir \times yayı veya depoya gelen α yayı olabilir. Denklem (4.27)'de bir tesisten çıkan yayların toplamı, depoya gelen a yaylarının toplamına eşit olmalı şartı sağlanmıştır. Denklem (4.28)'de j düğümlerindeki akış dengesi sağlanmıştır. Denklem (4.29)'da tüm müşteri düğümlerinin rota oluşturması için homojen olan aktif araç sayısı belirlenmiş ve böylece rotaların radial döngüde olması engellenmiştir. Denklem (4.30)'da bir rotaya olan talebin bir tesise bağlanması sağlanmıştır. Denklem (4.31)'de yük akış dengesi sağlanmaktadır. i - j arasındaki yük akışı t_{ij} ile temsil edilmekte ve akış bir araç tarafından sağlanmıştır. Denklem (4.32)'de yük taşıyan aracın maksimum kapasitesine göre akış dengesi sağlanmıştır. Denklem (4.33)'de tesisin kurulum kararına ile toplam yük akışı depo kapasitesine göre sınırlandırılmıştır. Denklem (4.34)'de bulunulan düğümden çıkış yayı talep edilmediğinde, rotaların son düğümü olarak tanımlanmasının sağlanmıştır. Denklem (4.35)'de j müşterisinin rotadaki son müşteri olması durumunda a yayı ile bir geri dönüşü olması gerekliliğini sağlamıştır. Denklem (4.36)'da eğer i tesisi ile j müşteri arasındaki yay aktif ise denklem aracılığı ile i tesisi j müşterisine bağlanmıştır. Denklem (4.37)'de taleplerin ve depo kapasitelerinin toplamına göre kurulması gereken depo sayısı belirlenen depo sayısı ile sınırlandırılmıştır. Denklem (4.38)'de deponun hizmet vereceği güzergâh sayısı, deponun ve yük taşıyan aracın kapasitesine göre sınırlandırılmıştır. Denklem (4.39)'da gidilecek toplam yol sayısı tüm müşterilerin talebini karşılaması için yeterli olmalıdır. Denklem (4.40), (4.41), (4.42), (4.43), (4.44)'de değişkenlerin ikili değişken olması sağlanmıştır. Denklem (4.45)'de değişkenin serbest değişken olması sağlanmıştır.

Kapasiteli yer seçimi ve rotalama matematiksel modeli Lindo Optimizasyon programında, Bölüm 6'daki verilerden yararlanarak 3 aday depo ve 9 müşteri düğümü olmak üzere uygulanmış ve model doğrulanmıştır. Küçük örneklemin şeması Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Küçük modelin lindo ile gösterimi

BÖLÜM 5. PROBLEM VE ÇÖZÜM ÖNERİSİ

Bu çalışmada üreticinin depo yerlerinin, belirli araç kapasitesi ile müşteri taleplerini karşılayacak maliyet ve sürdürülebilirlik açısından en iyi seçimin yapılması gereklidir. Yer seçiminde var olan depoların en iyi kullanımı veya yeni depo yerlerinin tahsisi konuları ele alınmaktadır. Depo-yer seçimi-atama problemleri NP-Zor problem sınıfına girmektedir.

Birden fazla tüketicinin talebini karşılamak için, üreticinin depo yerinden çıkan aracın oluşacak en iyi rota boyunca dağıtımının planlanması, teslimatı konuları ele alınmaktadır. Araç rotalama problemleri NP-Zor problem sınıfına girmektedir.

Bu çalışmada yer seçimi ve rotalama probleminde depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama problemlerinin kademeli olarak çözülmesi önerilmiş ve iki farklı model oluşturulmuştur. Klasik Model A ve yeşil kısıtların dikkate alındığı Model B olmak üzere iki farklı model Tablo 5.1.'de gösterildiği gibi modeller, adımlar, yapılan işlem ve kullanılan programlar özetlenmiştir.

Model A da birinci adımda depo-yer seçimi ve atama problemi, Bölüm 4.2.'de bulunan P-Medyan ile oluşturulan MILP modeli Lindo optimizasyon programında depo-müşteri seçimi ve atamaları yapılmıştır. En iyi atama sonuçları Tablo 6.3.'de gösterilmiştir. İkinci adımda Kapasiteli Araç Rotalama Probleminin çözümü için müşteri sayısının ve kısıtların artması ile önerilen MILP modelin kısa sürede cevap üretememesinden dolayı, sezgisel yöntemlere geçiş yapılmıştır. Bu amaçla bir tanesi klasik diğeri de genetik algoritmaya dayılı iki farklı sezgisel metot ile çözüm aranmıştır.

Model B de birinci adımda emisyon maliyetlerini dikkate alan modeller geliştirilmiştir. Problemin çözümü için yakıt tüketimi ve CO₂ emisyon maliyeti dijital harita programı (MapMyRide) yardımı ile alınmış ve mesafe maliyetleri hesaplanmıştır. Emisyon maliyetlerinin hesaplanması Bölüm 4.1’de detaylı olarak anlatılmıştır. İkinci adımda Depo-Yer Seçimi ve Atama Problemi, Bölüm 4.2.’de bulunan yeşil P-Medyan ile oluşturulan MILP modeli Lindo optimizasyon programında depo-müşteri atamaları yapılmıştır. En iyi atama sonuçları Tablo 6.8.’de gösterilmiştir. Üçüncü adımda Kapasiteli Yeşil Araç Rotalama Probleminin çözümü için müşteri sayısının ve kısıtların artması ile önerilen MILP modelin kısa sürede cevap üretememesinden dolayı, sezgisel yöntemlere geçiş yapılmıştır. Bu amaçla bir tanesi klasik diğeri de genetik algoritmaya dayılı iki farklı sezgisel metot ile çözüm aranmıştır.

Tablo 5.1.Yapılan işlemler ve kullanılan programlar

Modeller	Adım	Yapılan işlem	Kullanılan Programlar
Model A		Klasik Depo-Yer Seçimi-Atama ve Araç Rotalama Problemi	
	A1	Depo-Yer Seçimi ve Atama Problemi: MILP, P-Medyan	Lindo
	A2	Rotalama: Çözüm Algoritmaları A2.1 Sezgisel Algoritma A2.2 Genetik Algoritma	C# Matlab
Model B		Yeşil Depo-Yer Seçimi-Atama ve Araç Rotalama Problemi	
	B1	Yakıt Tüketimi ve CO ₂ Emisyon Maliyetinin Hesaplanması	MapMyRide
	B2	Depo-Yer Seçimi ve Atama Problemi: MILP, P-Medyan	Lindo
	B3	Rotalama: Çözüm Algoritmaları B3.1 Sezgisel Algoritma B3.2 Genetik Algoritma	C# Matlab

Her iki modelde de önerilen çözüm algoritmaları aşağıda açıklanmıştır.

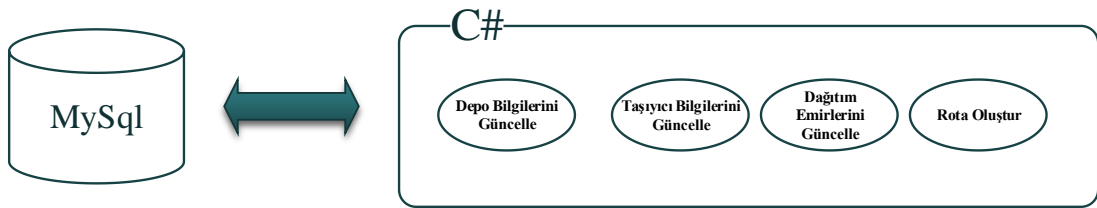
5.1. Çözüm Algoritmaları

Geliştirilen klasik sezgisel ve genetik algoritma çözüm algoritmaları aşağıda açıklanmaktadır.

5.1.1. Klasik sezgisel algoritma

Depo-yer seçimi-atanması ve rotalama probleminin Bölüm 4.3.'de ki kısıtları ve klasik sezgisel algoritma ile oluşturulmuş taşıma dağıtım sistemi ara yüzleri aşağıda bulunmaktadır.

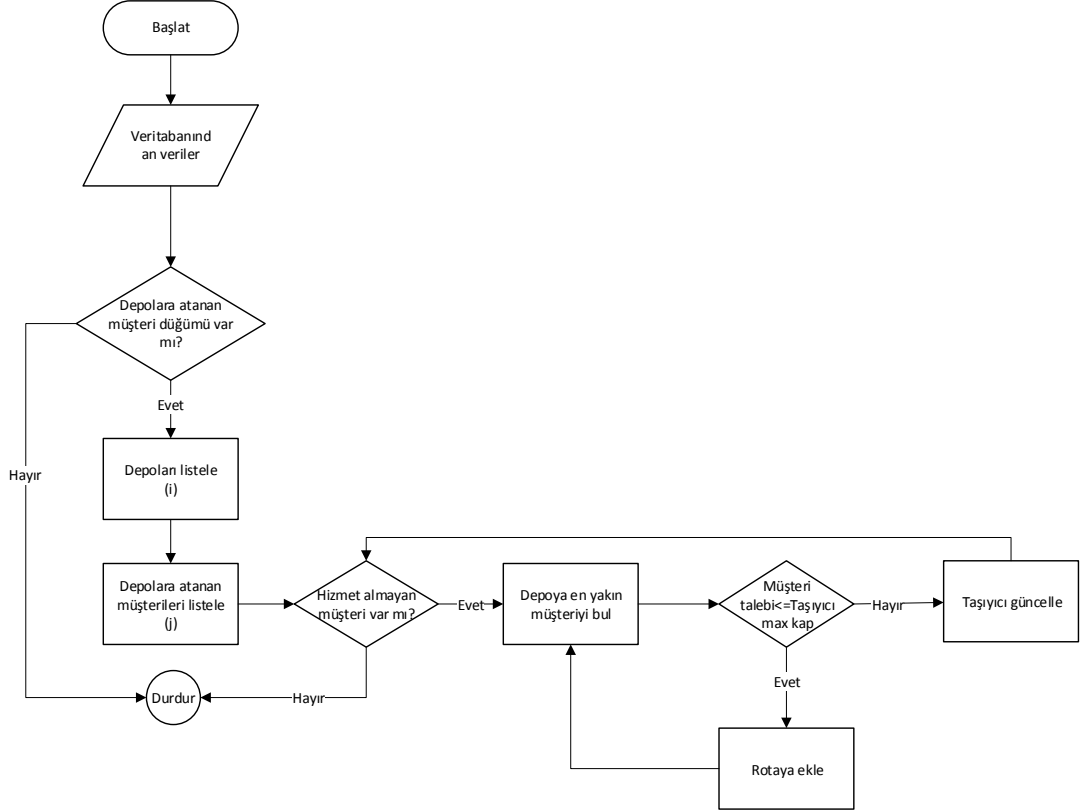
Depo-yer seçimi-ataması ve rotalama probleminin klasik sezgisel algoritma ile kurulan programda veriler veri tabanı programından çekilerek algoritma süresince veri tabanını güncellemektedir. Yazılım programında müşterilere ait bilgilerin bulunduğu dağıtım emirleri, depolara ait bilgilerin bulunduğu depo işlemleri, araçlara ait bilgilerin bulunduğu teslimat işlemleri yer almaktadır. Verilere göre rota oluştur ve rota iptal et butonları bulunmaktadır. Kullanılan nesnelere arası ilişki Şekil 5.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Nesnelere arası program akışı

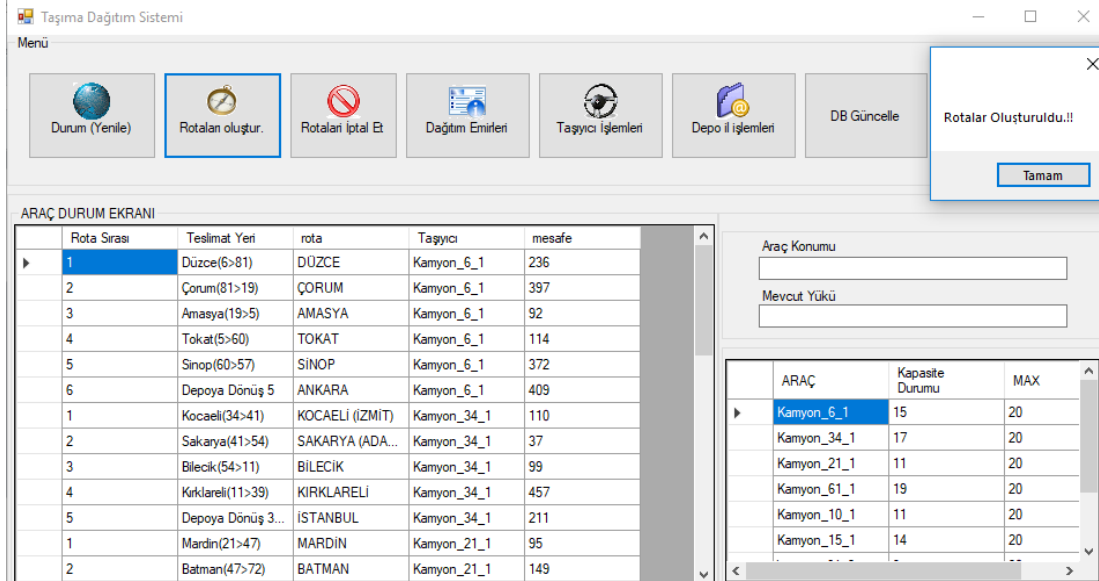
Klasik sezgisel algoritmanın akış şeması şekilde verilmiştir. Rotaları oluştur komutu ile başlayan akışta veri tabanından çekilen veriler işlenmektedir. İlk olarak güncellenmiş olan depo ve müşteri bilgileri listelenmektedir. Eğer liste oluşturacağı bir veri yoksa algoritma durdurulur. Eğer liste oluşturacağı veriler varsa algoritma devam eder ve depolardan hizmet almayan müşteriler var olup olmadığı bilgisi sorulur. Eğer var olan müşteri bilgilerinde hizmet alması gerektiği güncellenmemişse algoritma durdurulur veya hizmet alması gerektiği bilgisi güncellenmişse atanmış olduğu depodan en yakınlık ilişkisine göre algoritma devam eder. Depoya en yakın müşteri bulunur ve araç kapasitesi kontrolü yapılır. Eğer müşteri talebi araç kapasitesini geçmiyorsa rota oluşturulmaya başlanır. Aynı depoya atanmış, son gelinen müşteri düğümüne en yakın olan diğer müşterinin kontrolü yapılmaktadır. Eğer bu müşteriye gelene kadarki toplam müşteri talebi araç kapasitesini aşmıyorsa rota oluşturulmaya devam edilir. Eğer toplam müşteri talebi araç kapasitesini

aşırıyorsa algoritma taşıyıcıyı günceller ve rota oluşturmak için döngüye devam eder. Bu döngü ise her depoya atanan müşteriler hizmet alana kadar devam eder. Hizmet verilecek müşteri bittiğinde algoritma durdurulur. Algoritmanın akış şeması Şekil 5.2.'de verilmiştir.



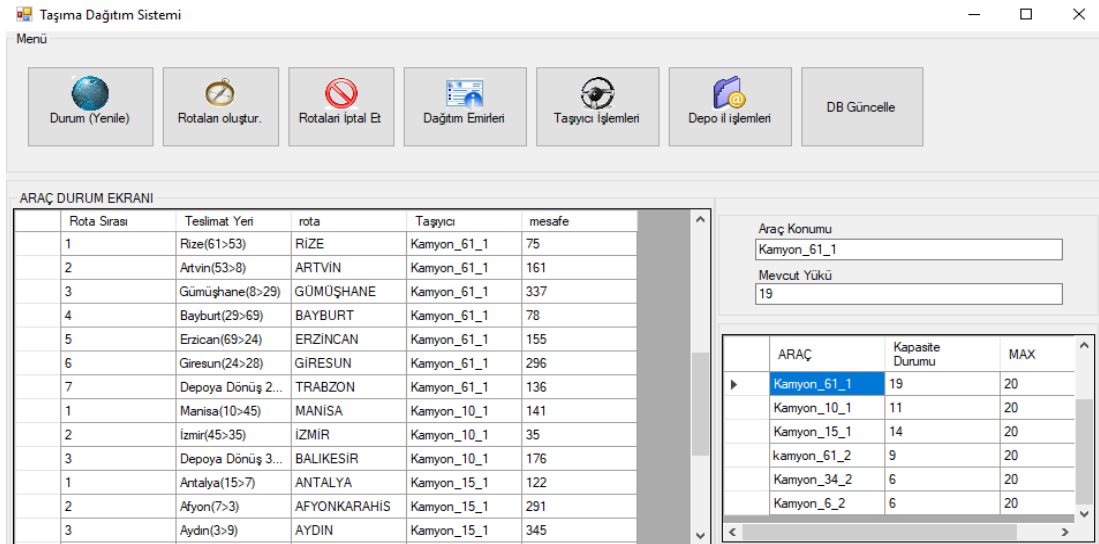
Şekil 5.2. Klasik sezgisel akış şeması

Rota oluşturulduktan sonra ana ekran rotalar ve araçların durumları verilmektedir.



Şekil 5.3. Ana ekranda rotaların oluşturulması

Araç durum ekranında Ankara depodan çıkacak 20 ton maksimum kapasitedeki kamyonla Ankara – Düzce – Çorum – Amasya – Tokat – Sinop – Adana – Ankara toplam 15 ton kapasitede teslimat yapılmalıdır.



Şekil 5.4. Ana ekranda Trabzon'dan çıkan ilk aracın rotası

Trabzon depodan çıkacak 20 ton maksimum kapasitedeki araçla ilk 19 ton yüklenerek Trabzon – Rize – Artvin –Gümüşhane – Bayburt – Erzincan – Giresun – Trabzon teslimatlar yapılmalıdır

Teslimatlar

Ekle Kaydet Sil

Teslimat : Edime Yük Miktarı : 6 Teslim Edildi : Teslim Edilmedi

Teslim Noktası : EDİRNE Çıkış Depo : İstanbul Taşıyıcı No : Kamyon_34_2

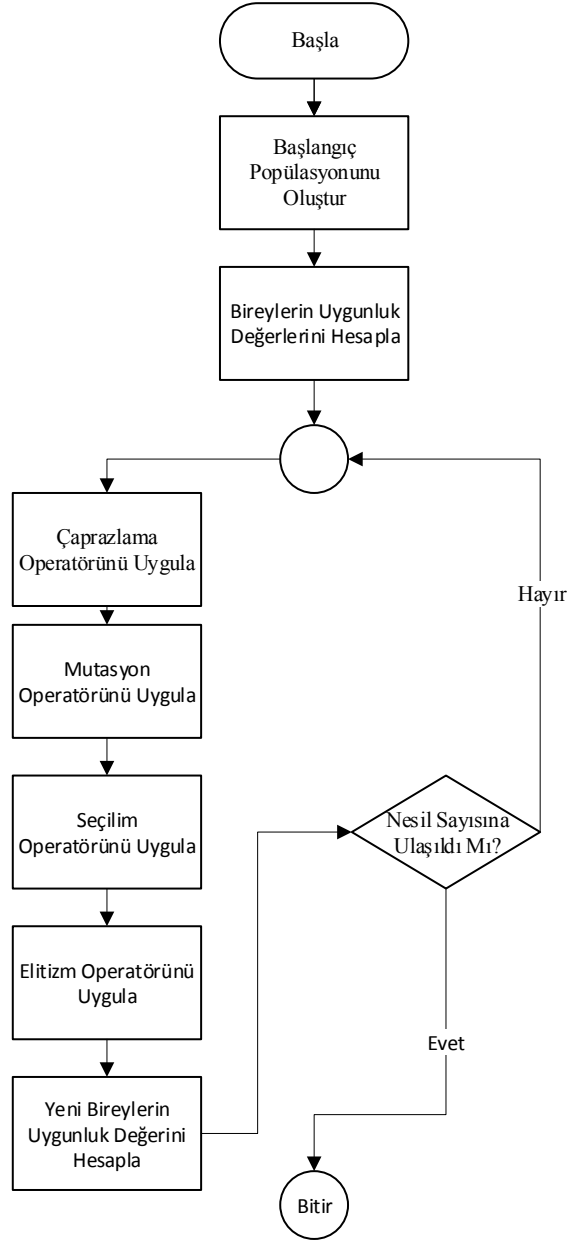
Dosyano	teslimatlar	yukmiktari	tarih	teslimdurumu	arac	iladi
11	Edime	6		Teslim Edilmedi.	Kamyon_34_2	EDİRNE
12	Kırklareli	2		Teslim Edilmedi.	Kamyon_34_1	KIRKLARELİ
14	Sakarya	4		Teslim Edilmedi.	Kamyon_34_1	SAKARYA
16	Kocaeli	7		Teslim Edilmedi.	Kamyon_34_1	KOCAELİ
18	Düzce	2		Teslim Edilmedi.	Kamyon_6_1	DÜZCE
21	Bilecik	4		Teslim Edilmedi.	Kamyon_34_1	BİLELİK
22	Manisa	4		Teslim Edilmedi.	Kamyon_10_1	MANİSA
23	Adana	6		Teslim Edilmedi.	Kamyon_6_2	ADANA
24	Afyon	2		Teslim Edilmedi.	Kamyon_15_1	AFYON
25	Amasva	4		Teslim Edilmedi.	Kamyon 6 1	AMASYA

Şekil 5.5. Rotalar oluşturulduktan sonra dağıtım emirleri ara yüzü

Dağıtım emirlerinde de taşıyıcılar ile ilgili bilgiler güncellenmektedir.

5.1.2. Genetik algoritma

Depo-yer seçimi-ataması ve kapasiteli araç rotalama problemi çözümü için geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan genetik algoritma sezgiselinin Matlab 2018 programında kullanılan operatörleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Genetik algoritma akış diyagramı

Başlangıç popülasyonun oluşturulmasında her bireyin genişliği değişken sayısı kadar [1 x değişken sayısı], kromozom yapısı oluşturulurken permütasyon kodlama tekniği kullanılmış ve bireyler rassal oluşturulmuştur. Popülasyonun genişliği ise toplam popülasyonun büyüklüğü kadardır [popülasyon genişliği x değişken sayısı]. Popülasyonun başlangıç aralığı müşteri ve depo sayısı kadar oluşturulmuştur. Başlangıç popülasyonunun uygunluk değeri hesaplanmıştır. Popülasyon büyüklüğü 200, elit sayısı 25, durdurma koşulu 1000 iterasyon olarak düzenlenmiş fakat 250 nesilde bir iyileşme olmazsa durdurma koşulu sağlanmıştır.

Çaprazlama operatöründe ebeveynlerin kromozom yapısındaki rassal seçilen iki noktada ki yapı alınmış, kromozom üzerinde genlerin değişimi yapılmıştır ve böylece iki noktada çaprazlama işlemi uygulanmıştır. Mutasyon operatöründe çaprazlama işlemi yapılan ebeveynin rassal olarak iki noktada seçilen genlerinin değiştirilmesi ile yeni bireyler oluşturulmuştur. Oluşan yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanmış ve rulet tekerleği yöntemi ile seçim operatörü uygulanmıştır. Popülasyon genişliği 200 olarak oluşturulan yapıda 25 elit (en iyi) bireyin yeni nesle aktarılması sağlanmıştır. Durdurma sağlanıncaya kadar bu işlemlerle yeni nesil üreilmeye devam edilmiştir. En iyi değer elde edilince durdurma sağlanmış ve en iyi değere sahip popülasyondaki bireyler rotalarımızı oluşturmaktadır.

BÖLÜM 6. UYGULAMA

Ülkemizde havayolu, denizyolu, karayolu, demiryolu, boru hattı yolu, bilişim teknolojileri ve haberleşme yolu ile lojistik hizmetleri verilmektedir. Yük ve yolcu taşımacılığında ön planda olan karayolu, denizyolu, havayolu taşımacılığında ülkemizde günden güne artış olduğu görülmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre karayolu taşımacılığında 2001-2016 yılların arasında devlet yolu, il yolu ve otoyolda Kara Yolları Genel Müdürlüğü kontrolünde toplamda 3 060 867 ton yük ve 3 531 472 kişi yolcu taşındığı görülmüştür ve bu yıllar arasında Karayolunda kilometre başına yük taşımacılığında %3,32, yolcu taşımacılığında %3,76 oranında artış görülmektedir.

Lojistik faaliyetlerin karayolu ile yapan firma verimlik artırma çalışmalarına önem göstermesi ile birlikte tüm bölümlerde iyileştirmeler yapılmasını ve bu iyileştirmeler sonucunda kalitede ve sürdürülebilirlikte artma ve maliyette azalmayı istemektedir. En maliyetli bölümlerden olan lojistik bölümünde ise en önemli problemin depo yeri seçimi ve rotalama olduğu tespit edilmiştir. İki soruya cevap aranmaktadır. İlk olarak “En uygun depo yerlerinin seçimi ve atanmasını ve en iyi rotaları nasıl oluşturabiliriz?”, ikinci olarak firmanın bir boya firması olması ve kimyasal üretiminin ülke çapında yüksek olması ile birlikte yerelde ve dünyada çevreye verdiği zararı azaltmak için farkındalık yaratmak istemesi sonucunda “Sürdürülebilirlik açısından en önemli dünya problemlerinden olan CO₂ emisyonunu azaltmada yer seçimi ve rotalama problemleri ile ne oranda katkı sağlayabiliriz?” problemlerine çözüm aramaktadırlar.

Bu tez çalışmasında depo ve rotalama probleminin için önerilen çözüm aşamaları ülkemizde boya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın gerçek verileri üzerinde gösterilmiştir. Hâlihazırda firmanın 8 deposu bulunmaktadır. Bu depoların

kapasiteleri ve maliyetleri bulunduğu bölgelere ve desteklere göre farklıdır. Depolara ait kapasite ve aylık işletme maliyeti bilgileri Tablo 6.1.'de verilmektedir.

Tablo 6.1. Depolar, Kapasiteleri ve İşletme Maliyetleri

Depoların bulunduğu iller	Kapasite(Ton)	Maliyet (TL)
Ankara	110	7051,395
Diyarbakır	80	4702,794
İstanbul Avrupa	60	5559,943
Trabzon	55	4596,984
Balıkesir	80	6941,396
Burdur	80	6215,306
Erzurum	80	6777,412
Kastamonu	60	4800,447

Araçları maksimum 20 ton taşıma kapasitesine sahip kamyonlardır.

Firmanın müşteri taleplerine ait bilgiler aşağıdaki Tablo 6.2.'de verilmektedir.

Tablo 6.2. Müşteri Talepleri (Ton)

Adana	6	Çorum	4	Kocaeli	7	Sinop	3
Afyon	2	Edirne	6	Manisa	4	Tokat	2
Amasya	4	Erzincan	2	Mardin	4	Bayburt	4
Artvin	5	Giresun	3	Muğla	2	Batman	2
Adıyaman	3	Gümüşhane	4	Ordu	3	Düzce	2
Aydın	4	Hatay	2	Rize	2	Antalya	6
Bilecik	4	İzmir	7	Sakarya	4		
Bursa	6	Kırklareli	2	Samsun	6		

Hâlihazırda, ele alınan firmada hangi depodan hangi illere hizmet verileceği daha çok tecrübeye göre yapılmakta, sürekli olarak da iyileştirme ihtiyacı hissedilmektedir. Bu tezde incelenen problemin çıkış noktası bu probleme çözüm aranmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zaman da firmanın çevreye duyarlılık hassasiyetlerinden çıkararak rotalama da yeşil düşüncenin uygulamasını istenmiş bu sebeple de rotalamayı CO₂ emisyonunun en aza indirilmesi hedefleyen bir rotalama çözümü karşılık oluşturmak için bu çalışmada yeşil rotalama problemi çözülmüştür.

Bahsettiğimiz depo-yer seçimi-atanması ve kapasiteli araç rotalama problemleri Tablo 5.1 gösterilen adımlar takip edilerek çözülmüştür. Bundan sonraki kısımda problemin adım adım çözümü anlatılacaktır.

MODEL A

Adım A1: Depo-Yer Seçimi ve Atama

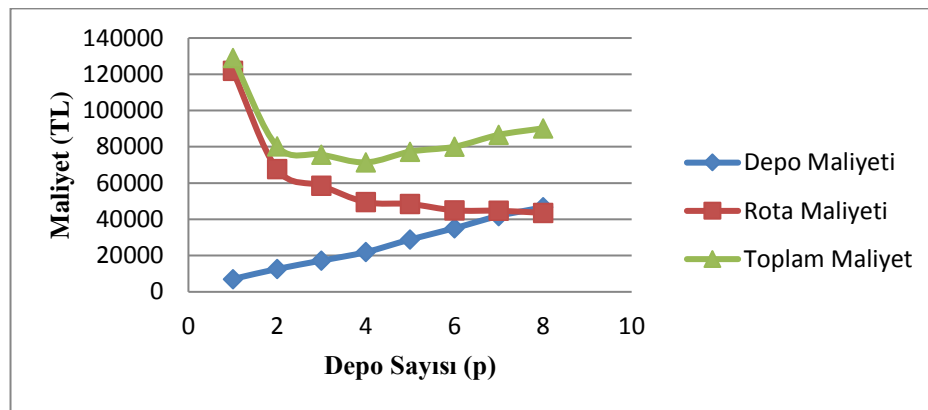
Depolara müşterilerin atanması P-Medyan Modeli ile Lindo 14.0 optimizasyon programında Bölüm 4.2. deki kısıtlara göre hesaplanmıştır. Maliyetlere göre en uygun depo atamaları Tablo 6.3.'de ki gibidir.

Tablo 6.3. Lindo programı sonucunda depolara atanan müşteriler

Depo Sayısı	Depo Yeri	Atanan Müşteriler
1	Ankara	Tüm Müşteriler
2	Ankara	Adana, Adıyaman, Afyonkarahisar, Amasya, Antalya, Artvin, Aydın, Çorum, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Hatay, Mardin, Muğla, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tokat, Bayburt, Batman, Düzce
	İstanbul	Bilecik, Bursa, Edirne, İzmir, Kırklareli, Kocaeli, Manisa Sakarya
3	Ankara	Adana, Adıyaman, Afyonkarahisar, Amasya, Antalya, Aydın, Çorum, Hatay, Muğla, Sinop, Tokat, Düzce
	İstanbul Trabzon	Bilecik, Bursa, Edirne, İzmir, Kırklareli, Kocaeli, Manisa, Sakarya Artvin, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Mardin, Ordu, Rize, Samsun, Bayburt, Batman
4	Ankara	Adana, Afyonkarahisar, Amasya, Antalya, Aydın, Çorum, Muğla, Sinop, Tokat, Düzce
	Diyarbakır	Adıyaman, Hatay, Mardin, Batman
	İstanbul Trabzon	Bilecik, Bursa, Edirne, İzmir, Kırklareli, Kocaeli, Manisa, Sakarya Artvin, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize, Samsun, Bayburt
5	Ankara	Adana, Afyonkarahisar, Amasya, Çorum, Sinop, Tokat, Düzce
	Diyarbakır	Adıyaman, Hatay, Mardin, Batman
	İstanbul	Bilecik, Edirne, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya
	Trabzon Balıkesir	Artvin, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize, Samsun, Bayburt Antalya, Aydın, Bursa, İzmir, Manisa, Muğla
6	Ankara	Adana, Amasya, Çorum, Sinop, Tokat, Düzce
	Diyarbakır	Adıyaman, Hatay, Mardin, Batman
	İstanbul	Bilecik, Edirne, Kırklareli, Kocaeli (İzmit), Sakarya (Adapazarı)
	Trabzon	Artvin, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize, Samsun, Bayburt
	Balıkesir Burdur	Bursa, İzmir, Manisa Afyonkarahisar, Antalya, Aydın, Muğla
7	Ankara	Adana, Amasya, Çorum, Sinop, Tokat, Düzce
	Diyarbakır	Adıyaman, Hatay, Mardin, Batman
	İstanbul	Bilecik, Edirne, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya
	Trabzon	Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize, Samsun
	Balıkesir	Bursa, İzmir, Manisa
	Burdur Erzurum	Afyonkarahisar, Antalya, Aydın, Muğla Artvin, Erzincan, Bayburt
8	Ankara	Adana
	Diyarbakır	Adıyaman, Hatay, Mardin
	İstanbul	Bilecik, Edirne, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya
	Trabzon	Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize
	Balıkesir	Bursa, İzmir, Manisa
	Burdur	Afyonkarahisar, Antalya, Aydın, Muğla
	Erzurum Kastamonu	Artvin, Erzincan, Bayburt Amasya, Çorum, Samsun, Sinop

Adım A2.1: Klasik Sezgisel Algoritma Yöntemi İle Araç Rotalama

Klasik depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama probleminde P-Medyan yöntemi ile depolara müşterilerin atanması ve depolara atanan müşterilerin rotalarının geliştirilen sezgisel yöntemle çözülmesi sonucunda depo maliyeti, oluşan rotaların maliyeti ve toplam maliyetin sonuçlarının grafiği Şekil 6.1.'de gösterilmiştir. Depo maliyetleri Tablo 6.1.'deki işletme maliyeti ve kapasite verilerine, müşteri talepleri Tablo 6.2.'deki verilere göre hesaplanmıştır.



Şekil 6.1. Klasik sezgisel algoritmaya göre maliyetlerin gösterimi

Şekil 6.1.'de depo sayısının artması ile birlikte depo maliyetleri artmaktadır. Açılan depo sayılarının artması ile birlikte rota maliyeti azalmaktadır. Oluşan toplam maliyet eğrisinden, toplam maliyetin en az olduğu nokta Ankara, İstanbul, Trabzon, Diyarbakır depolarının bulunduğu 4. nokta olduğu görülmektedir.

Tablo 6.4.'de 8 depo noktasının en iyi depo-yer seçimi-atanması ve kapasiteli araç rotalama probleminin en iyi sonuçları verilmiştir. Rota maliyeti gidilen mesafelerde harcanan yakıtın maliyetleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.

Tablo 6.4. Klasik sezgisel algoritmaya göre maliyetler (TL)

p	Depo Maliyeti	Rota Maliyeti	Toplam Maliyet
1	7051,395	121920	128971,395
2	12611,338	67650	80261,338
3	17208,322	58515	75723,322
4	21911,116	49505	71416,116 (min)
5	28852,512	48460	77312,512
6	35067,818	44955	80022,818
7	41845,23	44725	86570,23
8	46645,677	43550	90195,677

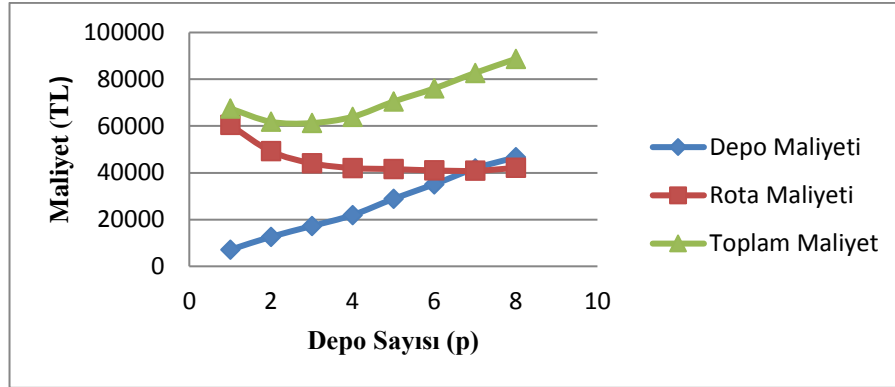
Tablo 6.4.'e göre 71416,116 TL ile Ankara, İstanbul, Trabzon' a depoların kurulması önerilmiştir. Önerilen üç deponun en iyi rotaları Tablo 6.5.'de verilmiştir. Tabloya göre Düzce, Afyonkarahisar, Antalya, Muğla, Aydın, Manisa müşterilerinin ilk rota, Çorum, Amasya, Tokat, Sinop, Adana müşterilerinin ikinci rota ile Ankara depodan hizmet almaları önerilmiştir. Kocaeli, Sakarya, Bilecik, Kırklareli müşterilerinin ilk rota, Edirne, Bursa, İzmir müşterilerinin ikinci rota ile İstanbul depodan hizmet almaları önerilmiştir. Rize, Artvin, Gümüşhane, Bayburt, Erzincan, Giresun müşterilerinin ilk rota, Ordu, Samsun müşterilerinin ikinci rota ile hizmet almaları önerilmiştir. Mardin, Batman, Adıyaman, Hatay müşterilerinin Diyarbakır depodan hizmet almaları önerilmiştir.

Tablo 6.5. Klasik sezgisel algoritma ile en iyi rotalar

Depolar	Rotalar
Ankara	Düzce – Afyonkarahisar – Antalya – Muğla – Aydın– Manisa-Ankara Çorum – Amasya – Tokat – Sinop – Adana – Ankara
İstanbul	Kocaeli – Sakarya – Bilecik – Kırklareli – İstanbul Edirne – Bursa – İzmir –İstanbul
Trabzon	Rize – Artvin – Gümüşhane – Bayburt – Erzincan – Giresun – Trabzon Ordu – Samsun – Trabzon
Diyarbakır	Mardin – Batman – Adıyaman – Hatay – Diyarbakır

Adım A2.2: Genetik Algoritma Yöntemi İle Araç Rotalama

Klasik depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama probleminde P-Medyan yöntemi ile depolara müşterilerin atanması ve depolara atanan müşterilerin rotalarının geliştirilen genetik algoritma yöntemi ile çözülmesi sonucunda depo maliyeti, oluşan rotaların maliyeti ve toplam maliyetin sonuçlarının grafiği Şekil 6.2.'de gösterilmiştir. Depo maliyetleri Tablo 6.1.'deki işletme maliyeti ve kapasite verilerine, müşteri talepleri Tablo 6.2.'deki verilerine göre hesaplanmıştır.



Şekil 6.2. Genetik algoritma sonuçlarına göre maliyetlerin gösterimi

Şekil 6.2.'de depo sayısının artması ile birlikte depo maliyetleri artmaktadır. Açılan depo sayılarının artması ile birlikte rota maliyeti azalmaktadır. Oluşan toplam maliyet eğrisinden, toplam maliyetin en az olduğu nokta Ankara, İstanbul, Trabzon depolarının bulunduğu 3. nokta olduğu görülmektedir.

Tablo 6.6.'de 8 depo noktasının en iyi depo-yer seçimi-atanması ve kapasiteli araç rotalaması probleminin en iyi sonuçları verilmiştir. Rota maliyeti gidilen mesafelerde harcanan yakıtın maliyetleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.

Tablo 6.6. Genetik algoritmalarla göre maliyetler (TL)

p	Depo Maliyeti	Rota Maliyeti	Toplam Maliyet
1	7051,395	60455	67506,395
2	12611,338	49190	61801,338
3	17208,322	44060	61268,322 (min)
4	21911,116	42025	63936,116
5	28852,512	41580	70432,512
6	35067,818	41000	76067,818
7	41845,23	40845	82690,23
8	46645,677	42075	88720,677

Tablo 6.6.'ye göre 61268,322 TL ile Ankara, İstanbul, Trabzon' a depoların kurulması önerilmiştir. Önerilen üç deponun en iyi rotaları Tablo 6.7.'de verilmiştir. Tabloya göre Düzce, Afyonkarahisar, Aydın, Muğla, Antalya, Amasya müşterilerinin ilk rota Sinop, Çorum, Tokat, Adıyaman, Hatay, Adana, müşterilerinin ikinci rota ile Ankara depodan hizmet alması önerilmiştir. Manisa, İzmir, Bursa müşterilerinin ilk rota Bilecik, Sakarya, Kocaeli müşterilerinin ikinci rota, Edirne, Kırklareli müşterilerinin üçüncü rota ile İstanbul depodan hizmet alması önerilmiştir. Bayburt, Erzincan, Mardin, Batman, Artvin, Rize müşterilerinin ilk rota, Ordu,

Samsun, Giresun, Gümüşhane müşterilerinin ikinci rota ile Trabzon depodan hizmet alması önerilmiştir.

Tablo 6.7. Genetik algoritma ile en iyi rotalar

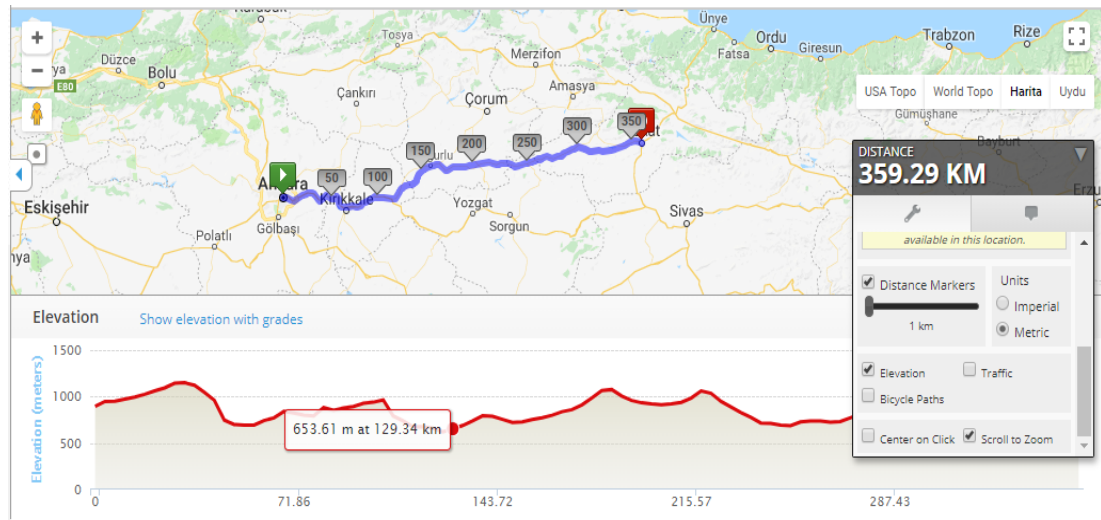
Depolar	Rotalar
Ankara	Düzce- Afyonkarahisar- Aydın- Muğla- Antalya- Amasya- Ankara Sinop- Çorum- Tokat- Adıyaman- Hatay- Adana- Ankara
İstanbul	Manisa- İzmir- Bursa- İstanbul Bilecik- Sakarya- Kocaeli- İstanbul Edirne- Kırklareli- İstanbul
Trabzon	Bayburt- Erzincan- Mardin- Batman- Artvin- Rize- Trabzon Ordu- Samsun- Giresun- Gümüşhane- Trabzon

Depo-yer seçimi-atanması ve kapasiteli araç rotalama probleminin çözümü için geliştirilen klasik sezgisel yöntemin, genetik algoritma yöntemine göre toplam maliyetin yüksek olduğu görülmüştür.

MODEL B

Adım B1: Yakıt Tüketimi ve CO₂ Emisyon Maliyetinin Hesaplanması

Yakıt tüketimi ve CO₂ emisyon maliyetini hesaplamak için yolların eğimlerinden yararlanılmıştır. Eğimi bulmak için dijital harita programı destek olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.3. MapMyRide yazılımı ekran görüntüsü

Şekil 6.3.' de bahsedilen program yardımıyla Ankara-Tokat arası mesafe örnek olarak gösterilmektedir. Bulunan mesafenin yaklaşık olarak en yüksek ve en alçak olduğu noktalar alınarak yol üçe bölünmekte ve örnekte gösterildiği gibi 129,34 km de 653,61 yüksekliği noktalar alınarak eğimler hesaplanmaktadır. Ülkemizde bulunan tüm iller arası yakıt ve CO2 emisyon tüketim maliyeti Bölüm 4.1 de ki formüllere göre hesaplanmıştır ve hesaplanan veriler Ek_3'te verilmiştir.

Adım B2: Depo-Yer Seçimi ve Atama Problemi

Yeşil depolara müşterilerin atanması P-Medyan yöntemi ile Lindo 14.0 optimizasyon programında Bölüm 4.2. deki kısıtlara göre hesaplanmıştır. Maliyetlere göre en uygun yeşil depo atamaları Tablo 6.8.'de ki gibidir.

Tablo 6.8. Lingo programı sonucunda yeşil depolara atanan müşteriler

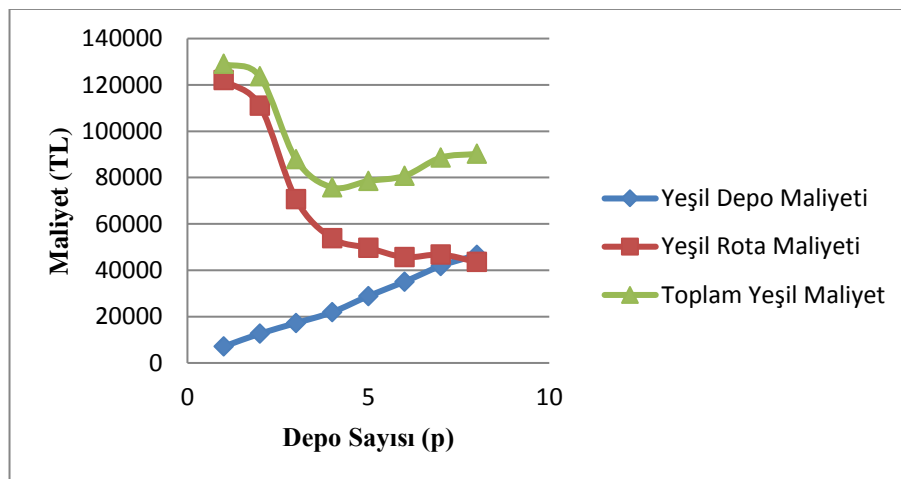
Depo Sayısı	Depo Yeri	Atanan Müşteriler
1	Ankara	Tüm Müşteriler
2	Ankara	Adana, Adıyaman, Afyon, Amasya, Antalya, Artvin, Aydın, Çorum,, Erzincan, Giresun, Hatay, Mardin, Muğla, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tokat, Bayburt, Batman
	İstanbul	Bilecik, Bursa, Çorum, Edirne, Gümüşhane, İzmir, Kırklareli, Kocaeli, Manisa, Düzce
3	Ankara	Adana, Adıyaman, Afyon, Amasya, Antalya, Aydın, Çorum, Hatay, Muğla, Sinop, Tokat
	İstanbul	Bilecik, Bursa, Edirne, İzmir, Kırklareli, Kocaeli, Manisa, Sakarya, Düzce
	Trabzon	Artvin, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Mardin, Ordu, Rize, Samsun, Bayburt, Batman
4	Ankara	Adana, Afyon, Amasya, Antalya, Aydın, Çorum, Muğla, Sinop, Tokat
	Diyarbakır	Adıyaman, Hatay, Mardin, Batman
	İstanbul	Bilecik, Bursa, Edirne, İzmir, Kocaeli, Manisa, Sakarya, Kırklareli, Düzce
5	Trabzon	Artvin, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize, Samsun, Bayburt
	Ankara	Adana, Afyonkarahisar, Amasya, Çorum, Sinop, Tokat
	Diyarbakır	Adıyaman, Hatay, Mardin, Batman
	İstanbul	Bilecik, Edirne, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Düzce
6	Trabzon	Artvin, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize, Samsun, Bayburt
	Balıkesir	Antalya, Aydın, Bursa, İzmir, Manisa, Muğla
	Ankara	Adana, Amasya, Çorum, Sinop, Tokat
	Diyarbakır	Adıyaman, Hatay, Mardin, Batman
	İstanbul	Bilecik, Edirne, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Düzce
	Trabzon	Artvin, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize, Samsun, Bayburt
Balıkesir	Bursa, İzmir, Manisa	
Burdur	Afyonkarahisar, Antalya, Aydın, Muğla	

Tablo 6.8.(Devamı)

7	Ankara	Adana, Amasya, Çorum, Sinop, Tokat
	Diyarbakır	Adıyaman, Hatay, Mardin, Batman
	İstanbul	Bilecik, Edirne, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Düzce
	Trabzon	Artvin, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize
	Balıkesir	Bursa, İzmir, Manisa
	Burdur	Afyonkarahisar, Antalya, Aydın, Muğla
	Erzurum	Bayburt
8	Ankara	Adana, Tokat
	Diyarbakır	Adıyaman, Hatay, Mardin, Batman
	İstanbul	Bilecik, Edirne, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Düzce
	Trabzon	Artvin, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize
	Balıkesir	Bursa, İzmir, Manisa
	Burdur	Afyon, Antalya, Aydın, Muğla
	Erzurum	Bayburt
	Kastamonu	Amasya, Çorum, Samsun, Sinop

Adım B3.1: Klasik Sezgisel Algoritma Yöntemi İle Rotalama

Yeşil depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama probleminde P-Medyan yöntemi ile depolara müşterilerin atanması ve depolara atanan müşterilerin rotalarının geliştirilen klasik sezgisel algoritma yöntemi ile çözülmesi sonucunda depo maliyeti, oluşan rotaların maliyeti ve toplam maliyetin grafiği Şekil 6.4.'de gösterilmiştir. Depo maliyetleri Tablo 6.1.'deki işletme maliyeti ve kapasite, müşteri talepleri Tablo 6.2.'deki verilerine göre hesaplanmıştır.



Şekil 6.4. Klasik sezgisel yöntemle maliyetlerin gösterimi

Şekil 6.4.'de depo sayısının artması ile birlikte depo maliyetleri artmaktadır. Açılan depo sayılarının artması ile birlikte rota maliyeti azalmaktadır. Oluşan toplam

maliyet eğrisinden, toplam maliyetin en az olduğu nokta Ankara, Diyarbakır, İstanbul, Trabzon depolarının bulunduğu 4. nokta olduğu görülmektedir.

Tablo 6.9.'da 8 depo noktasının en iyi depo-yer seçimi-atanması ve araç rotalama probleminin en iyi sonuçları verilmiştir. Rota maliyeti gidilen mesafelerde harcanan yakıtın maliyetleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır

Tablo 6.9. Klasik sezgisel yöntemle göre yeşil maliyetler (TL)

p	Depo Maliyeti	Rota Maliyeti	Toplam Maliyet
1	7051,395	121996	129047,395
2	12611,338	111043	123654,338
3	17208,322	70678	87886,322
4	21911,116	53861	75772,116 (min)
5	28852,512	49673	78525,512
6	35067,818	45668	80735,818
7	41845,23	46759	88604,23
8	46645,677	43589	90234,677

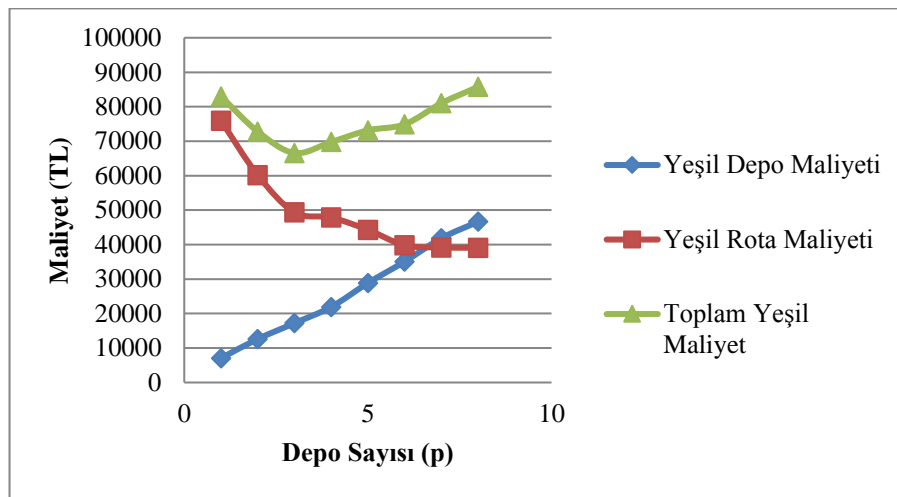
Tablo 6.9.'a göre 74772,116 TL ile Ankara, Diyarbakır, İstanbul, Trabzon' a yeşil depoların kurulması önerilmektedir. Önerilen dört deponun en iyi rotaları Tablo 6.10.'da verilmiştir. Tabloya göre, Çorum, Amasya, Tokat, Sinop, Afyonkarahisar, Aydın müşterilerinin ilk rota, Antalya, Muğla, Adana, Manisa müşterilerinin ikinci rota ile Ankara depodan hizmet alması önerilmiştir. Kocaeli, Sakarya, Düzce, Bilecik, Kırklareli müşterilerinin ilk rota, Bursa, Manisa, İzmir müşterilerinin ikinci rota ile İstanbul depodan hizmet alması önerilmiştir. Rize, Artvin, Gümüşhane, Bayburt, Erzincan, Giresun müşterilerinin ilk rota, Ordu, Samsun müşterilerinin ikinci rota ile hizmet alması önerilmiştir. Mardin, Batman, Adıyaman, Hatay müşterilerinin Diyarbakır depodan hizmet alması önerilmiştir.

Tablo 6.10. Klasik sezgisel yöntemle göre en iyi yeşil rotalar

Depolar	Rotalar
Ankara	Çorum- Amasya- Tokat- Sinop- Afyonkarahisar-Aydın- Ankara Antalya- Muğla- Adana- Ankara
İstanbul	Kocaeli- Sakarya-Düzce- Bilecik- Kırklareli- İstanbul Bursa- Manisa- İzmir – İstanbul
Trabzon	Rize- Artvin- Gümüşhane- Bayburt- Erzincan- Giresun- Trabzon Ordu- Samsun- Trabzon
Diyarbakır	Mardin- Batman- Adıyaman- Hatay- Diyarbakır

Adım B3.2: Genetik Algoritma Yöntemi İle Rotalama

Yeşil depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama probleminde P-Medyan yöntemi ile depolara müşterilerin atanması ve depolara atanan müşterilerin rotalarının geliştirilen genetik algoritma yöntemi ile çözülmesi sonucunda depo maliyeti, oluşan rotaların maliyeti ve toplam maliyetin sonuçları Şekil 6.14.'de gösterilmiştir. Depo maliyetleri Tablo 6.1.'deki işletme maliyeti ve kapasite verilerine, müşteri talepleri Tablo 6.2.'deki verilerine göre hesaplanmıştır.



Şekil 6.5. Genetik algoritma sonuçlarına göre yeşil maliyetlerin gösterimi

Şekil 6.5'e göre depo sayısının artması ile birlikte depo maliyetleri artmaktadır. Açılan depo sayılarının artması ile birlikte rota maliyeti azalmaktadır. Oluşan toplam maliyet eğrisinden, toplam maliyetin en az olduğu nokta Ankara, İstanbul, Trabzon depolarının bulunduğu 3. nokta olduğu görülmektedir.

Tablo 6.11.'de 8 depo noktasının en iyi depo-yer seçimi-atanması ve araç rotalama probleminin en iyi sonuçları verilmiştir. Rota maliyeti gidilen mesafelerde harcanan yakıtın maliyetleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır

Tablo 6.11. Genetik algoritmalarla göre yeşil maliyetler (TL)

p	Depo Maliyeti	Rota Maliyeti	Toplam Maliyet
1	7051,395	75915,92	82967,31
2	12611,338	60184,95	72796,29
3	17208,322	49365,21	66573,54 (min)
4	21911,116	47850,00	69761,12
5	28852,512	44293,67	73146,18
6	35067,818	39819,80	74887,62
7	41845,23	39167,00	81012,23
8	46645,677	39100,00	85745,68

Bu tabloya göre 66573,54 TL ile Ankara, İstanbul, Trabzon' a depoların kurulması önerilmiştir. Önerilen üç deponun en iyi rotaları Tablo 6.12.'de verilmiştir. Afyonkarahisar, Aydın, Muğla, Antalya, Çorum müşterilerinin ilk rota, Sinop, Amasya, Tokat, Adıyaman, Hatay, Adana müşterilerinin ikinci rota ile Ankara depodan hizmet alması önerilmiştir. İzmir, Manisa, Bursa müşterileri ilk rota, Kocaeli, Sakarya, Düzce, Bilecik müşterilerinin ikinci rota, Edirne, Kırklareli müşterilerinin üçüncü rota ile İstanbul depodan hizmet alması önerilmiştir. Rize, Artvin, Batman, Mardin, Erzincan, Bayburt müşterilerinin ilk rota, Giresun, Samsun, Ordu, Gümüşhane müşterilerinin ikinci rota ile Trabzon depodan hizmet alması önerilmiştir.

Tablo 6.12. Genetik algoritma ile en iyi yeşil rotalar

Depolar	Rotalar
Ankara	Afyonkarahisar- Aydın- Muğla- Antalya – Çorum- Ankara Sinop- Amasya - Tokat- Adıyaman- Hatay- Adana- Ankara
İstanbul	İzmir- Manisa- Bursa- İstanbul Kocaeli- Sakarya-Düzce- Bilecik- İstanbul Edirne- Kırklareli- İstanbul
Trabzon	Rize- Artvin- Batman- Mardin- Erzincan- Bayburt- Trabzon Gümüşhane- Samsun- Ordu- Giresun- Trabzon

Yeşil depo-yer seçimi-atanması ve kapasiteli araç rotalama probleminin çözümü için geliştirilen klasik sezgisel yöntemin, genetik algoritma yöntemine göre toplam yeşil maliyetin yüksek olduğu görülmüştür.

Önerilen her iki modelde çözüm yöntemlerinde genetik algoritmanın geliştirilen sezgisel yonteme göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sezgisel bir yöntem olan klasik sezgisel algoritmanın ilk bulduğu yerel minimum değeri ile birlikte aramayı durdurması ve en iyi değeri verdiği, metasezgisel yöntem olan genetik algoritmanın ise ilk bulduğu yerel minimum değerinin haricinde çözüm uzayında nesil sayısı boyunca globalde arama yapıp diğer yerel minimum değerleri bulması ile daha iyi değer verdiği savunulmuştur.

BÖLÜM 7. SONUÇ

Bu çalışmada depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama problemi ve yeşil depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama problemi olmak üzere iki farklı probleme, tamsayı matematiksel model ve sezgisel ve metasezgisel çözüm yöntemleri geliştirilerek cevap aranmıştır.

Ülkemizde boya sektöründe faaliyet gösteren firmanın lojistik bölümünde maliyetlerini azaltmak ve çevre dostu firma farkındalığını edinmek için emisyon maliyetlerini azaltmak amacıyla stratejiler geliştirmiştir. En önemli lojistik problemlerden biri olan depo yeri seçimi-ataması ve rotalama problemlerine maliyeti azaltma ve sürdürülebilirliği artırma açısından emisyon maliyetini dikkate alan/almayan modellere en iyi çözümler aranmıştır. NP-Zor sınıfı problemlerinden olan yer seçimi ve rotalama problemine farklı yaklaşımlar sunulmuştur. Depo ve maliyetleri, depo ve araç kapasiteleri, müşteri talepleri, emisyon maliyetlerini etkileyen yolların eğimleri ve parametre kısıtları göz önünde bulundurulmuştur.

Depo-yer seçimi-ataması ve kapasiteli araç rotalama problemi modelinde, depo-yer seçimi ve atamasında p-medyan matematiksel modeli, kapasiteli araç rotalama da ise kapasiteli araç rotalama matematiksel modeli geliştirilerek Lindo optimizasyon programı ile çözülmüştür. Bundan farklı olarak kapasiteli araç rotalama probleminin çözümü için, C# programında en yakın mesafeyi temel alan klasik sezgisel yöntem ve Matlab programında genetik algoritma yöntemi olmak üzere iki farklı çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Aynı işlemler yeşil depo-yer seçimi-ataması ve kapasiteli araç rotalama problemi modelinde de yeşil kısıtlar göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama probleminin ve yeşil depo-yer seçimi-atama ve kapasiteli araç rotalama probleminin çözümünde

klasik sezgisel yönteme göre genetik algoritma yöntemi ile daha iyi sonuçlar alındığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Absi, N., Archetti, C., Dautère-Pères, S., Feillet, D., Speranza, M. G. 2018. Comparing sequential and integrated approaches for the production routing problem. *European Journal of Operational Research*, 269 (2): 633-646.
- Arabani, A.B., Farahani, R.Z. 2012. Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1):408- 420.
- Archetti, C., Christian, M., Speranza, M.G. 2018. Inventory routing with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 268(1): 314-324.
- Barreto, S., Ferreira, C., Paixão, J., Santos, B.S. 2007. Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 179(3): 968-977.
- Boccia, M., Crainic, T. C., Sforza, A., Sterle, C. 2018. Multi-commodity location-routing: Flow intercepting formulation and branch-and-cut algorithm. *Computers & Operations Research*, 89: 94-112.
- Boonmee, C., Arimura, M., Asada, T. 2017. Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24: 485-498.
- Caunhye, A. M., Zhang, Y., Li, M., Nie, X. 2016. A location-routing model for prepositioning and distributing emergency supplies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 90:161-176.
- Ceselli, A., Righini, G., Tresoldi, E. 2014. Combined location and routing problems for drug distribution. *Discrete Applied Mathematics*, 165: 130-145.
- Chhabra, D., Garg, S. K., Singh, R K. 2017. Analyzing alternatives for green logistics in an Indian automotive organization: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 167: 962-969.
- Clarke, G., Wright, J. W. 1964. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12 (4): 568-581.

- Contardo, C., Hemmelmayr, V., Crainic, T. G. 2012. Lower and upper bounds for the two-echelon capacitated location-routing problem. *Computers & Operations Research*, 39 (12): 3185-3199.
- Cooper, L. 1964. *Heuristic Methods for Location-Allocation Problems*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 6 (1): 37-53.
- Current, J. , Daskin, M. , Shilling D. 2004. *Discrete Network Location Models*. Z. Drezner, H.W. Hamacher (Eds.), *Facility Location: Applications and Theory*, S, Springer Science & Business Media, 83-120.
- Dantzig, G. B., Ramser, J. H. 1959. The truck dispatching problem. *Management Science*, 6 (1): 80,91.
- Derbel, H., Jarboui, B., Hanafi, S., Chabchoub, H. 2012. Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem. *Expert Systems with Applications*, 39 (3): 2865-2871.
- Domínguez-Martín, B., Rodríguez-Martín, I., Salazar-González, J.J. 2018. The driver and vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 92: 56-64.
- Durak, S., Yıldız, M. 2015. P- Medyan Tesis Yeri Seçim Problemi: Bir Uygulama. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 7 (2): 43-64.
- Erdogan, S., Miller-Hooks, E. 2012. A Green Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48 (1): 100- 114.
- El-Berishy, N., Rügge, I., Scholz-Reiter, B. 2013. The Interrelation between Sustainability and Green Logistics. *IFAC Proceedings Volumes*, 46 (24): 527-531.
- Farham, M. F., Süral, H., Iyigun, C. 2018. A column generation approach for the location-routing problem with time Windows. *Computers & Operations Research*, 90: 249-263.
- Friedrich, C.J. 1929. *Alfred Weber's Theory Of The Location Of Industries*. The University Of Chicago Press Chicago, Illinois, 114-115.
- Ghaffari-Nasab, N., Ahari, S. G., Ghazanfari, M., 2013. A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands. *Scientia Iranica*, 20 (3): 919-930.
- Gao, S., Wanga, Y., Cheng, J., Inazumi, Y., Tang, Z. 2016. Ant colony optimization with clustering for solving the dynamic location routing problem. *Applied Mathematics and Computation*, 285: 149-173.

- Goodarzi, A. H., Zegordi, S. H. 2016. A location-routing problem for cross-docking networks: A biogeography-based optimization algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 102: 132-146.
- Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., Devikab, K. 2014. Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*, 152: 9-28.
- Hakimi, S. 1964. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*, 12 (3): 450-459.
- Halper, R., Raghavan, S., Sahin, M. 2015. Local search heuristics for the mobile facility location problem. *Computers & Operations Research*, 62: 210-223.
- Hasani, A., Seyed, G., Zegordi, H. 2016. A location-routing problem for cross-docking networks: A biogeography-based optimization algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 102: 132-146.
- Wang, H.J., An, C. 2018. study on geographic properties of internet routing. *Computer Networks*, 133: 183-194.
- Jabbarpour, M. R., Noor, R. M., Khokhar, R.H. 2015. Green vehicle traffic routing system using ant-based algorithm. *Journal of Network and Computer Applications*, 58: 294-308.
- Jabir, E., Panicker, V.V., Sridharan, R. 2017. Design and development of a hybrid ant colony-variable neighbourhood search algorithm for a multi-depot green vehicle routing problem. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57: 422-457.
- Jovanović, A. D., Pamučar, D. S., Pejčić-Tarle, S. 2014. Green vehicle routing in urban zones – A neuro-fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, 41 (7): 3189-3203.
- Karaoglan, I., Altiparmak, F., 2015. A memetic algorithm for the capacitated location-routing problem with mixed backhauls. *Computers & Operations Research*, 55: 200-216.
- Kartal, Z., Hasgul, S., Ernst, A. T. 2017. Single allocation p-hub median location and routing problem with simultaneous pick-up and delivery. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 108: 141-159.
- Lin, C., Choy, K.L., Ho, G.T.S., Chung, S.H., Lam, H.Y. 2014. Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41 (4): 1118-1138.

- Lin, D.Y., Chang, Y.T. 2018. Ship routing and freight assignment problem for liner shipping: Application to the Northern Sea Route planning problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 110: 47-70.
- Lopes, R. B., Ferreira, C., Santos, B. S., Barreto, S. 2013. A taxonomical analysis, current methods and objectives on location-routing problems. *International Transactions in Operational Research*, 20 (6):795-822.
- Marinakis, Y. 2015. An improved particle swarm optimization algorithm for the capacitated location routing problem and for the location routing problem with stochastic demands. *Applied Soft Computing*, 37: 680-701.
- McKinnon, A. C., Woodburn, A. 1996. Logistical restructuring and road freight traffic growth: An empirical assessment. *Transportation*, 23 (2): 141–161.
- Mehrez A., 1987. Facility Location Problems: Review., Description, and Analysis. *Geography Research Forum*, 8:113-129.
- Mousavi, S. M., Tavakkoli- Moghaddam, R. 2013. A hybrid simulated annealing algorithm for location and routing scheduling problems with cross-docking in the supply chain. *Journal of Manufacturing Systems*, 32 (2): 335-347.
- Montoya, A., Guéret, C., Mendoza, J.E., Villegas, J. G. 2016. A multi-space sampling heuristic for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 70: 113-128.
- Nadizadeh, A., Nasab, H. 2014. Solving the dynamic capacitated location-routing problem with fuzzy demands by hybrid heuristic algorithm. *European Journal of Operational Research*, 238 (2): 458-470.
- Nagy,G., Salhi, S. 2007. Location-routing: Issues, models and methods. *European Journal of Operational Research*, 177 (2): 649-672.
- Ndiaye, F., Mbaye Ndiaye, B., Ly, I. 2012. Application of the p-Median Problem in School Allocation. *American Journal of Operations Research*, 2: 253-259.
- Nedjati, A., Izbirak, G., Arkat, J. 2017. Bi-objective covering tour location routing problem with replenishment at intermediate depots: Formulation and meta-heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 110: 191-206.
- Nie,Y., Li, Q. 2013. An eco-routing model considering microscopic vehicle operating conditions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 55:154-170.
- Peng, Z., Manier, H., Manier, M.-A. 2017. Particle swarm optimization for capacitated location-routing problem. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (1): 14668-14673.

- Piecyk, M. I., McKinnon, A. C. 2010. Forecasting the carbon footprint of road freight transport in 2020. *International Journal of Production Economics*, 128 (1): 31-42.
- Poonthalir, G. , Nadarajan , R. 2018. A Fuel Efficient Green Vehicle Routing Problem with varying speed constraint (F-GVRP).*Expert Systems with Applications*, Volume 100: 131-144.
- Qlarke, G, Wright, J. W. 1964. Scheduling Of Vehicles From A Central Depot To A Number Of Delivery Points. *Operations Research*, 12 (4): 568-581.
- Rabbani, M., Heidari, R., Farrokhi-Asl, H., Rahimi, N. 2018. Using metaheuristic algorithms to solve a multi-objective industrial hazardous waste location-routing problem considering incompatible waste types, *Journal of Cleaner Production*, 170: 227-241.
- Safaei, N., Jardine, A.K.S. 2017. Aircraft routing with generalized maintenance constraints. *Omega*. 80: 111-122.
- Salhi, S., Rand, G.K., 1989. The effect of ignoring routes when locating depots. *European Journal of Operational Research*, 39(2):150-156.
- Sbihi, A., Eglese, R.W. 2010. Combinatorial optimization and Green Logistics. *Annals of Operations Research*, 175(1):159-175.
- Schiffer, M., Walther, G. 2017. The electric location routing problem with time windows and partial recharging. *European Journal of Operational Research*, 260(3): 995-1013.
- Srivastava, R. 1986. Algorithms For Solving The Location - Routing Problem . The Ohio State University. Business Administration, M.B.A., Master Thesis.
- Ting, C-J., Chen, C-H. 2013. A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem. *International Journal of Production Economics*, 141 (1): 34-44.
- Teye, C., Bell, M., Bliemer, M. 2017. Urban intermodal terminals: The entropy maximising facility location problem. *Transportation Research Part B*, 100: 64-81.
- Tóthmérés, L. 2018. Algorithmic aspects of rotor-routing and the notion of linear equivalence. *Discrete Applied Mathematics*, 236: 428-437.
- Turkensteen, M. 2017. The accuracy of carbon emission and fuel consumption computations in green vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 262 (2): 647-659.

- Veenstra, M., Roodbergen, K-S., Coelho L.-C., Zhu, S.-X. 2018. A simultaneous facility location and vehicle routing problem arising in health care logistics in the Netherlands. *European Journal of Operational Research*, 268 (2):703-715.
- Yu, V.F., Lin S.Y. 2015. A simulated annealing heuristic for the open location-routing problem. *Computers & Operations Research*, 62: 184-196.
- Yu, V.F., Lin, S.W., Lee, W., Ting, C.J. 2010. A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 58 (2): 288-299.
- Zhao, J., Verter, V. 2015. A bi-objective model for the used oil location-routing problem. *Computers & Operations Research*, 62: 157-168.
- Zhang, Y., Qi, M., Lin, W.-H., Miao, L. 2015. A metaheuristic approach to the reliable location routing problem under disruptions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 83:90-110.
- Wang, Z., Lia, X. 2017. Carbon reduction in the location routing problem with heterogeneous fleet, simultaneous pickup-delivery and time Windows. *Procedia Computer Science*, 112: 1131-1140.
- Xiao, Y., Konak, A. 2016. The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 88: 146-166.

EKLER

EK 1: TS EN ISO 14000 Serisi Standartları

Ürünün, hammaddeden başlayıp nihai ürün haline getirilerek müşterilere sunulmasına kadar geçen sürecin her aşamasında çevresel faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörlerin gerekli muayeneler ve önlemler ile kontrol altına alınarak çevreye verilen zararın en aza indirilmesini sağlayan bir sistemin kurulmasını tarif eden ve Uluslararası Standartlar Organizasyonu tarafından yayınlanmış olan standartlar serisidir.

ISO 14000 bir ürün standardı değil sistem standardıdır ve ne üretildiğinden ziyade, nasıl üretildiği ile ilgilenir. Çevre performansının izlenmesi ve sürekli iyileştirilmesi temeline dayanır. Çevre faktörlerine ilişkin olarak ilgili mevzuat ve kanunlar tarafından tanımlanmış koşullara uymayı şart koşar

TS EN ISO 14000 Serisi Standartları:

- ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi-Özellikler ve Kullanım Kılavuzu
- ISO 14004 Çevre Yönetimi - Çevre Yönetim Sistemleri- Prensipler, Sistemler ve Destekleyici Teknikler İçin Genel Kılavuz
- ISO 14020 Çevre Etiketleri ve Beyanları-Genel Prensipler
- ISO 14031 Çevre Yönetimi-Çevre Performans Değerlendirmesi-Kılavuz
- ISO 14040 Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme Genel Prensipler ve Uygulamalar
- ISO 19011 Kalite ve Çevre Tetkiki İçin Kılavuz

Sera gazlarının ile ilgili uzaklaştırma, azaltma ve hesaplama ile ilgili firmalara ISO 14064 standartları uygulanmaktadır. Aşağıda açıklanmaktadır.

ISO 14064-1 Sera Gazları – Bölüm 1: Sera Gazı Emisyonlarının Ve Uzaklaştırmalarının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanmasına Ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz Ve Özellikler Standardı

ISO 14064-1, sera gazı envanterlerinin kuruluş veya şirket seviyesinde tasarımılanması, geliştirilmesi, yönetilmesi ve raporlanması için ilkeler ve şartlar hakkında ayrıntılı bilgi verir. Bu standart, sera gazı yönetimini iyileştirmek amacıyla sera gazı emisyon sınırlarının belirlenmesi, bir kuruluşun sera gazı emisyonlarının ve uzaklaştırmalarının hesaplanması ve şirketin özel tedbirlerinin veya faaliyetlerinin tanımlanması için gerekleri içerir. Bu standart ayrıca, doğrulama faaliyetleri için envanter kalite yönetimi, rapor etme, iç tetkik ve kuruluşun sorumluluklarına ilişkin şartları ve kılavuzu içerir.

Sera Gazı Emisyonu olan şirketler sanayiciler firmalar bu ISO 14064-1 Standardına göre Sera Gazı Emisyonlarının azaltılması uzaklaştırılması ve hesaplanması metotlarına göre çalışmalar yaparlar.

ISO 14064-2 Sera Gazları - Bölüm 2: Sera Gazı Emisyon Azaltmalarının Veya Uzaklaştırma İyileştirmelerinin Proje Seviyesinde Hesaplanmasına, İzlenmesine Ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz Ve Özellikler Standardı

ISO 14064-2, sera gazı emisyonlarını azaltmak veya sera gazı uzaklaştırmalarını artırmak için özel olarak tasarımılanmış sera gazı projelerine veya projeye dayalı faaliyetlere odaklanmaktadır. ISO 14064-2, projenin temel senaryolarını belirlemek ve bu temel senaryolara göre projenin performansını izlemek, değerlendirmek ve rapor etmek için ilkeleri ve şartları içermekte ve geçerli kılınacak ve doğrulanacak sera gazı projeleri için bir temel oluşturmaktadır.

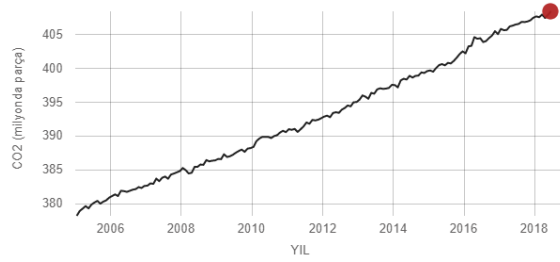
ISO 14064-3 Sera Gazları – Bölüm 3: Sera Gazı Beyanlarının Doğrulanmasına Ve Onaylanmasına Dair Kılavuz Ve Özellikler Standardı

ISO 14064-3, sera gazı envanterlerini doğrulama ve sera gazı projelerini geçerli kılma veya doğrulama için ilkelere ve gereklere dair ayrıntılı bilgi verir. Bu standart, sera gazına ilişkin geçerli kılma veya doğrulama sürecini tarif eder, geçerli kılma veya doğrulama planlaması, değerlendirme işlemleri ve kuruluşun veya projenin sera gazı beyanlarının değerlendirmesi gibi bileşenleri belirtir. ISO 14064-3, sera gazı beyanlarını geçerli kılmak veya doğrulamak için kuruluşlar veya bağımsız kullanıcılar tarafından kullanılabilir.

http://www.standartkalite.com/iso14001_nedir.htm

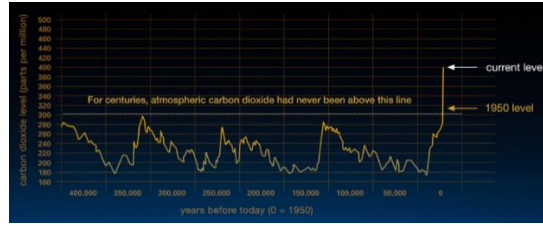
EK 2:Küresel Isınma ve İklim Değişikliği

NASA'nın 2018 yılına ait CO₂ verisi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Şekle göre her geçen yıl atmosferdeki CO₂ miktarı artmakta olduğu görülmüştür.



Atmosferdeki CO₂ miktarı
(<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>)

Sanayileşmenin küresel ısınmaya etkisi NASA'nın 2018 verilerine göre aşağıda verilmektedir.



Sanayileşmenin Küresel Isınmaya Etkisi
(<https://climate.nasa.gov/evidence/>)

Yukarıdaki şekilde buz çekirdeklerinde yer alan atmosferik numunelerin karşılaştırılmasına ve daha yakın zamanda yapılan doğrudan ölçümlere dayanarak, Atmosferik CO₂'nin Sanayi Devrimi'nden bu yana arttığına dair kanıt sağlamıştır.

Küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin önemli bir boyut kazandığını fark eden ülkeler ilk olarak 1987'de Montreal'de tanzim ve tadil edilmiş hali ile Ozon Tabakasını İncelten Maddeler le ilgili Protokol olan "Montreal Protokolü" kabul edilmiştir. 1988'de Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından ortaklaşa "Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli" kurulmuştur. 1992 yılında New York'ta Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kabul edilmiştir. Bu sözleşmeye katılan taraflar 2007 yılında tekrardan Kyoto Protokolü gerçekleştirmişlerdir. Kyoto Protokolü'ne göre küresel ısınmanın önemli bir

gerçeklik olduğu dolayısıyla küresel ısınma ve iklim değişikliğinde mücadeleye yönelik karbondioksit ve sera gazlarının salınımı ile ilgili taraflar arasında yasal yaptırımlar ve belirli taahhütler verilmiştir. Böylece ülkelerin emisyon faaliyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir.

2015 yılında tüm ülkelerin katkılarına dayanacak bir sistemin öngörüldüğü, BMİDÇS 21. Taraflar Konferansı sonucunda Paris Anlaşması ile en kapsamlı uzlaşa sağlanmıştır. Paris Anlaşması'nın uzun dönemli hedefi, endüstriyelleşme öncesi döneme kıyasen küresel sıcaklık artışının 2°C'nin olabildiğince altında tutulmasıdır. Bu hedef fosil yakıt (petrol, kömür) kullanımının tedricen azaltılarak, yenilenebilir enerjiye yönelmesini gerektirmektedir. Anlaşma, ulusal katkılar, azalımı, uyum, kayıp/zarar, finansman, teknoloji geliştirme ve transferi, kapasite geliştirme, şeffaflık, durum değerlendirmesi konularına ilişkin uygulanacak modelleri belirlenmek üzere bir çerçeve oluşturulmuştur. Emisyon azalımı hususunda, gelişmiş ülkelerin mutlak emisyon azalımı hedeflerini sürdürmeleri; gelişmekte olan ülkelerin ise emisyon azalımı hedeflerini yükselterek farklı milli koşulları uyarınca, zaman içinde tüm sektörleri kapsayacak yeni, artırılmış hedefler benimsemelerini telkin etmektedir.(<http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>)

ÖZGEÇMİŞ

Tuğba Havuç, 28.05.1994'de Zile'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli'nde tamamladı. 2011 yılında Kandıra Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitiminde başladı.