

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI KALİTE SÜT TIPLERİNİ İÇEREN SÜT TOPLAMA
PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DUYGU TOPALOĞLU

DENİZLİ, TEMMUZ 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**FARKLI KALİTE SÜT TİPLERİNİ İÇEREN SÜT TOPLAMA
PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DUYGU TOPALOĞLU

DENİZLİ, TEMMUZ 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Duygu TOPALOĞLU tarafından hazırlanan “FARKLI KALİTE SÜT TIPLERİNİ İÇEREN SÜT TOPLAMA PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİLERİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 09.07.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Olcay POLAT
Pamukkale Üniversitesi
Üye
Prof. Dr. Bilge BİLGEN
Üye
Doç. Dr. Can Berk KALAYCI


.....

.....

.....
.....
.....
.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
17/07/2019.. tarih ve 29/132-2 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



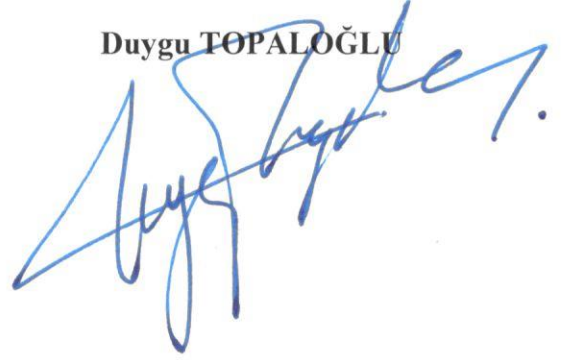
Prof. Dr. Uğur YÜCEL ✓.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 217M578 ve PAÜ BAP tarafından 2019FEBE024 'nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Duygu TOPALOĞLU



ÖZET

**FARKLI KALİTE SÜT TİPLERİNİ İÇEREN SÜT TOPLAMA
PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİLERİ**
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DUYGU TOPALOĞLU
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ.DR. OLCAY POLAT)

DENİZLİ, TEMMUZ - 2019

Süt toplama problemi, farklı yerlerde bulunan çiğ sütlerin, probleme özgü kısıtlar altında işlenmek üzere tankerler aracılığı ile süt işleme merkezine götürülmesi ile ilgilenmektedir. STP' de, tankerlere ilişkin günlük araç rotaları oluşturulurken, hangi çiftlik/süt toplama merkezlerindeki, hangi kalitedeki sütlerin, hangi tip tankerler tarafından, hangi tanklarda toplanacağı ve bu tankerlerin ziyaret sıralarının ne olacağı gibi kararlar verilmektedir.

Süt toplama problemi, problemin doğasına özgü yükleme ve uyumsuzluk kısıtlarını dikkate alan zengin bir araç rotalama problemidir. Literatürde küçük çaptaki problemler basitleştirilerek ya da sıralı olarak çözülmüştür. Araç Rotalama Problemi (ARP)'nin gelişmiş türü olarak yapılan çalışmalarda ise STP problemini diğer problemlerden ayıran uygulamada önemli olan kısıtların ihmal edildiği gözlemlenmiştir. Problemin çözümünde karar problemlerinin eş zamanlı çözümünü gerçekleştiren bir çalışma henüz bulunmamaktadır. Karar problemini sıralı bir şekilde çözen çalışmalarda ise süt toplama problemine has araç rotalama kısıtları, uyumsuzluk kısıtları ve yükleme kısıtları aynı anda dikkate alınmamış çoğunlukla ihmal edilmiştir. Bu tez çalışmasında ise probleme özgü kısıtlarla birlikte eşzamanlı karar verebilen bir model geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Süt toplama problemi, Matematiksel Modelleme, Araç rotalama problemi

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODEL SUGGESTIONS FOR MILK COLLECTION PROBLEM INCLUDING DIFFERENT QUALITY MILK TYPES

MSC THESIS

DUYGU TOPALOĞLU

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR:ASSOC. PROF.DR. OLCAY POLAT)

DENİZLİ, JULY 2019

Milk collection problem (MCP) is related to the problem of transporting raw milk from different locations to the milk processing center via tankers for processing under the problem specific constraints. MCP is concerned with decisions of selecting farms/milk collection centers to be visited, milk quality to be selected, type of tanker to be used; tanks to be stored; and finally, the visiting sequence to be optimized.

MCP is a rich variant of vehicle routing problem that additionally considers incompatibility and loading constraints, critical in practice, specific to MCP. In the literature, minor problems are solved by simplifying or sequentially. In the studies conducted as an advanced type of Vehicle Routing Problem (ARP), it was observed that the constraints that are important in the application that differentiate STP problem from other problems have been neglected. There is not yet a study to solve the problem simultaneously. In the studies that solve the problem sequentially, vehicle routing constraints, mismatch constraints and loading constraints, which are unique to milk collection problems, were not neglected at the same time and were mostly neglected. In this thesis, a model that can make concurrent decisions together with problem-specific constraints has been developed.

KEYWORDS: Milk collection problem, Mathematical Model, Vehicle Routing Problem

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1 Araç Rotalama Problemleri Literatür Taraması	5
2.2 Süt Toplama Problemine Yönelik Literatür Taraması	7
3. SÜT TOPLAMA PROBLEMİ KISITLARI.....	29
3.1 Araç rotalama kısıtları	29
3.2 Uyumsuzluk kısıtları	31
3.3 Yükleme kısıtları	31
4. MATEMATİKSEL MODEL	35
4.1 Temel Matematiksel Model (Model 1)	36
4.2 Tank Bazında Bölünebilir Talepli Matematiksel Model (Model 2)...	39
4.3 Geliştirilmiş Matematiksel Model (Model 3).....	44
5. UYGULAMA	52
5.1 Model 1 Uygulaması	52
5.2 Model 2 Uygulaması	55
5.3 Model 3 Uygulaması	56
5.4 Modellerin Karşılaştırılması.....	60
6. DENEY SETİ ANALİZLERİ.....	64
7. DUYARLILIK ANALİZLERİ.....	75
7.1 Talep Değişimi Etkisi	75
7.2 Araç Değişimi Etkisi	78
7.3 Zaman Limiti Değişimi Etkisi.....	79
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	102
9. KAYNAKLAR.....	104
10. EKLER.....	114
EK A. Veri Setleri	114
11. ÖZGEÇMİŞ.....	124

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: 2010–2018 yılları arası üretilen çiğ süt miktarları (TÜİK, 2019)	1
Şekil 1.2: 2010-2018 Yılları arası aylık süt üretim tablosu (TÜİK, 2019)	2
Şekil 1.3: Süt üretimindeki farklılıklar (OECD-FAO 2019).....	3
Şekil 2.1: Dört tanka sahip örnek bir süt tankeri.....	8
Şekil 2.2: Örnek bir süt toplama ağı*	10
Şekil 3.1: Farklı sayıda tankları olan tankerlerin tank yükleme sıralaması	32
Şekil 5.1: Model 1 temel veri seti temsili harita görünümü.....	52
Şekil 5.2: Model 1 set 1 temsili ağ haritası	54
Şekil 5.3: Model 2 temel veri seti temsili ağ haritası.....	55
Şekil 5.4: Model 3 tank doluş sıralaması set 1	58
Şekil 5.5: Model 3 temel veri seti temsili ağ haritası.....	58

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Literatürde süt toplama problemi konusunda yapılan çalışmaların karşılaştırmalı analizi	25
Tablo 4.1: Kısıt özet tablosu	35
Tablo 5.1: Model 1 örnek problem verileri (Temel veri seti)	53
Tablo 5.2: Model 1 tanker- tank kapasiteleri (Temel veri seti).....	53
Tablo 5.3: Model 1 temel veri seti sonuçlar.....	54
Tablo 5.4: Model 1 temel veri seti tanker-tank atama sonuçları.....	54
Tablo 5.5: Model 2 temel veri seti sonuçlar.....	55
Tablo 5.6: Model 2 temel veri seti tanker- tank atama sonuçları.....	56
Tablo 5.7: Model 3 örnek problem verileri (Temel veri seti)	57
Tablo 5.8: Model 3 temel veri seti tanker- tank kapasiteleri (Temel veri seti) .	57
Tablo 5.9: Model 3 temel veri seti yakıt tüketim verileri	57
Tablo 5.10: Model 3 temel veri seti sonuçlar.....	59
Tablo 5.11: Model 3 temel veri seti tanker- tank atama sonuçları.....	59
Tablo 5.12: Model 3 temel veri seti tankerlerin süt alım oranları.....	59
Tablo 5.13: Temel veri seti düğüm bilgileri.....	60
Tablo 5.14: Temel veri seti tanker bilgileri.....	61
Tablo 5.15: Model sonuçları rotalama bilgileri.....	61
Tablo 5.16: Model sonuçları atama -tank dolum oranları bilgileri	62
Tablo 6.1: Üretici sayısı değişimi	64
Tablo 6.2: Set uygulama sonuçları (Set 5 – Set 8).....	64
Tablo 6.3: Model 1 deney seti analizi sonuçları	66
Tablo 6.4: Model 2 deney seti analizi sonuçları	67
Tablo 6.5: Model 3 deney seti analizi sonuçları	71
Tablo 7.1: Veri seti talep değişimi	76
Tablo 7.2: Set uygulama sonuçları (Set 5 – Set 8).....	76
Tablo 7.3: Tanker bilgileri (Set 9 – Set 11)	78
Tablo 7.4: Set uygulama sonuçları (Set 9 – Set 11).....	79
Tablo 7.5: Set uygulama sonuçları (Set 11 – Set 14).....	80
Tablo 7.6: Model 3 maliyet sonuçları	81
Tablo 7.7: Model 1 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16	82
Tablo 7.8: Model 2 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16	85
Tablo 7.9: Model 3 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16	93
Tablo A.1: Temel veri seti düğüm bilgileri.....	114
Tablo A.2: Temel veri seti tanker bilgileri.....	114
Tablo A.3: Set 1 düğüm bilgileri	115
Tablo A.4: Set 1 tanker bilgileri.....	115
Tablo A.5: Set 2 düğüm bilgileri	115
Tablo A.6: Set 2 tanker bilgileri.....	116
Tablo A.7: Set 3 düğüm bilgileri	116
Tablo A.8: Set 3 tanker bilgileri.....	116
Tablo A.9: Set 4 düğüm bilgileri	117
Tablo A.10: Set 4 tanker bilgileri.....	117
Tablo A.11: Set 5 düğüm bilgileri	118
Tablo A.12: Set 5 tanker bilgileri.....	118

Tablo A.13: Set 6 düğüm bilgileri	118
Tablo A.14: Set 6 tanker bilgileri.....	119
Tablo A.15: Set 7 düğüm bilgileri	119
Tablo A.16: Set 7 tanker bilgileri.....	119
Tablo A.17: Set 8 düğüm bilgileri	120
Tablo A.18: Set 8 tanker bilgileri.....	120
Tablo A.19: Set 9 düğüm bilgileri	120
Tablo A.20 Set 9 tanker bilgileri.....	121
Tablo A.21: Set 10 düğüm bilgileri.....	121
Tablo A.22: Set 10 tanker bilgileri.....	121
Tablo A.23: Set 11 düğüm bilgileri.....	122
Tablo A.24: Set 11 tanker bilgileri.....	122
Tablo A.25: Set 12-13-14-15-16 düğüm bilgileri	122
Tablo A.26: Set 12-13-14-15-16 tanker bilgileri	123

KISALTMA LİSTESİ

ADP	:	Akaryakıt Dağıtım Problemleri
ARP	:	Araç Rotalama Problemi
ASÜD	:	Ambalajlı Süt ve Süt Ürünleri Sanayicileri Derneği
BAKA	:	Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı
ÇKARP	:	Çok Kompartmanlı Araç Rotalama Problemi
GSP	:	Gezgin Satıcı Problemi
KTRP	:	Kamyon Ve Treyler Rotalama Problemi
KYP	:	Konteynır Yükleme Problemi
OECD	:	Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü
STP	:	Süt Toplama Problemi
TAP	:	Tanker Atama Problemi
TGK	:	Türk Gıda Kodeksi
TRP	:	Tanker Rotalama Problemi
YRP	:	Yerleşim Rotalama Problemi
ZARP	:	Zengin Araç Rotalama Problemi

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında emeği çok fazla olan, bursiyer öğrencisi olarak projesinde çalışma fırsatı bulduğum, bana olan güveni sayesinde çalışmalarımı ilerletebildiğim değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Olcay POLAT'a

Lisans eğitimim esnasında bilgi ve tecrübelerini bizlerle paylaşan ve bu bilgilerle yüksek lisans çalışmalarımın temelini oluşmasını sağlayan Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü hocalarıma,

TÜBİTAK projesinde birlikte çalışma şansı bulduğum, projenin saha çalışmalarını birlikte tamamladığımız değerli proje arkadaşlarım sayın Seda Gökçe AKÇOK, Mehmet Anıl AKBAY ve Mustafa TOLGAY'a, tezin son okumasını yapan değerli meslektaşım Rabia Sude ÖZTÜRK'e

Projenin saha analizleri kapsamında bize destek olan Denizli'nin önde gelen süt ve süt ürünleri üretim firması yetkililerine, firmayı temsilen sahada bizimle birlikte çalışan sayın Onur KAHRAMAN ve süt teknolojileri ile ilgili bilgi ve tecrübelerini bizimle paylaşan sayın Hande BOYHAN'a,

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde 217M578 numaralı proje ile deste sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na ve 2019FEBE024 numaralı proje ile destek sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne,

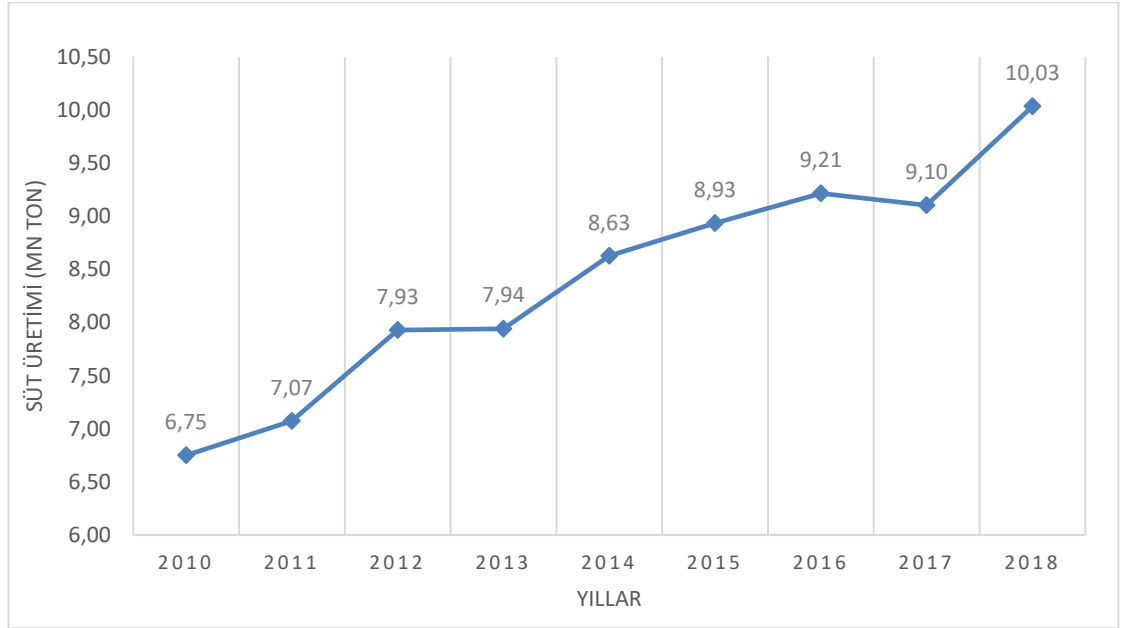
Bilim adamı olmak isteyen bir çocuk yetiştiren ve bu çocuğa ulaşabileceği bütün imkanları sunan sevgili annem ve babama, tez savunmamda benden daha heyecanlı olan ve her daim bana inanan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

“Eğer daha uzağı görebiliyorsam bu, benden önceki devlerin omuzlarında durduğum içindir.” (Newton)

Duygu TOPALOĞLU

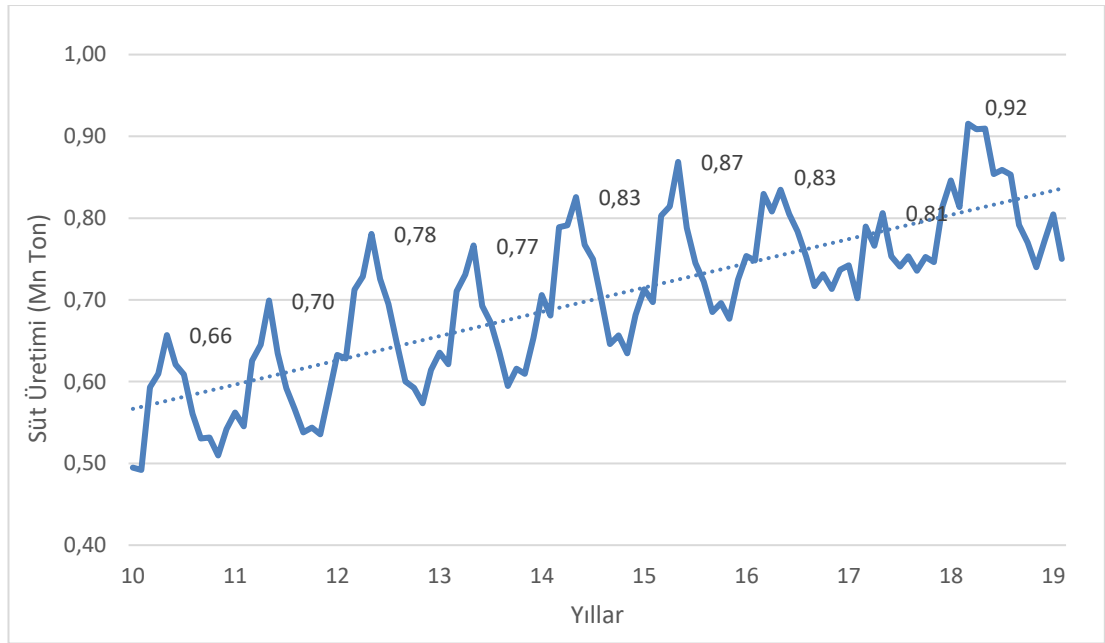
1. GİRİŞ

Türkiye’de süt endüstrisi, üretim değeri açısından gıda sanayisinin %15’ini oluşturmaktadır. Sütün tüketilmesi gereken temel bir besin maddesi olması ve ekonomik açıdan ülke ekonomisine ciddi düzeyde katma değer sağlaması sektörün önemini artırmaktadır (BAKA, 2011). Ülkemizde süt ürünleri üretimi ve tüketimi her geçen yıl artmaktadır. Şekil 1.1’de 2010–2018 yılları arasında üretilen inek sütünün yıllık üretim miktarı değişimleri sunulmaktadır. Süt üretiminde gözlemlenen değişikliklerin sebepleri arasında mevsimsel değişikliklerin yanında ekonomik değişikliklerde bulunmaktadır. Değişikliklerin süt üretimine yansımış olan etkisine rağmen, grafikte belirgin olarak gözlemlenebileceği üzere süt ve süt ürünleri sofralarımızın vazgeçilmez parçası olmaktadır.



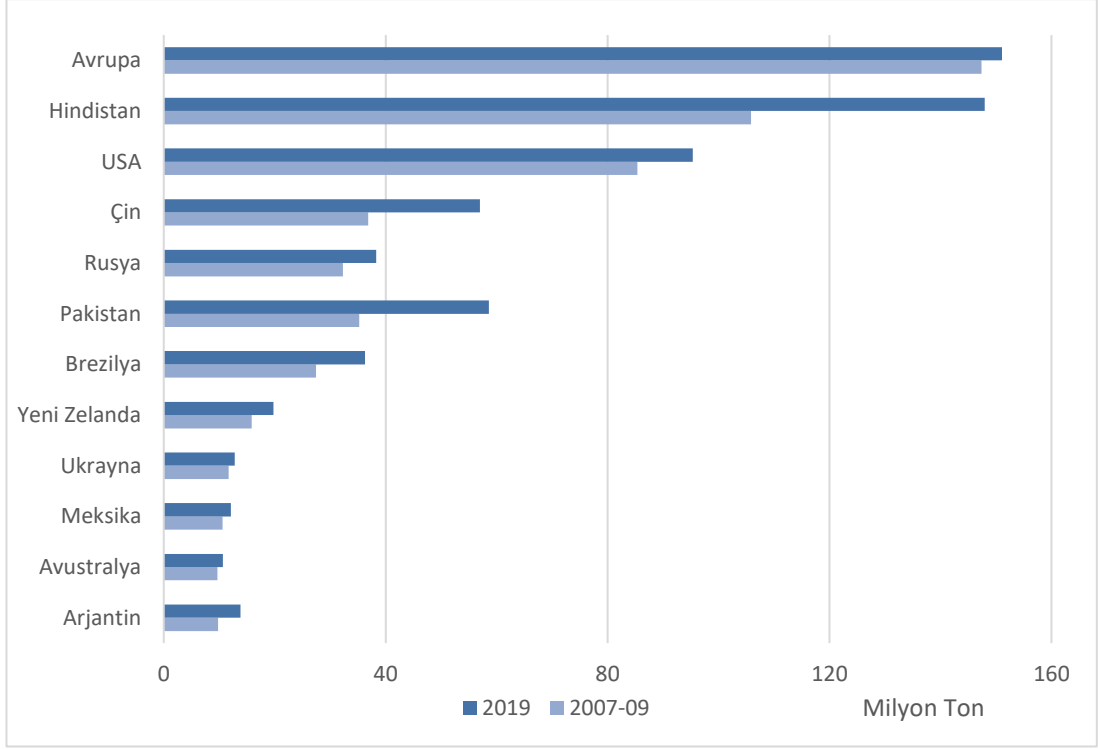
Şekil 1.1: 2010–2018 yılları arası üretilen çiğ süt miktarları (TÜİK, 2019)

Süt üretiminde mevsimlere bağılı olarak oluşan değişiklikler Şekil 1.2 ile 2010–2018 yılları verileri kullanılarak sunulmaktadır. Üretim miktarının mevsimsel bazda oluşan değişkenliği nedeni ile sektörel planlamalarının dikkatli bir şekilde hazırlanması gerekmektedir. Artan üretim ve talep miktarları yanında çabuk bozulabilir ürünler olması nedeni ile süt ve süt ürünlerinin tedarik zincirinin, üreticiden son tüketiciye kadar dikkatli bir şekilde planlanması ve kontrol edilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.2: 2010-2018 Yılları arası aylık süt üretim tablosu (TÜİK, 2019)

2010 yılında yayımlanan OECD 2010–2019 (OECD-FAO) Tarımsal Tahmin raporunda süt üretiminin, küresel olarak kümes hayvanı eti üretimi hariç diğer önemli emtia sektörlerine göre daha hızlı artmakta olduğu ve bu artıştaki arzın büyük miktarının gelişmekte olan ülkeler tarafından sağlanacağı vurgulanmaktadır (Şekil 1.3). Çin, Hindistan, Pakistan, Arjantin ve Brezilya küresel süt üretiminin yarısından fazlasını gerçekleştirmektedir. 2007–2009 arası üretimle kıyaslandığında 2019 yılında üretilmesi beklenen ilave 170 milyon ton sütün %80’lik kısmı gelişmekte olan ülkelerden sağlanacaktır.



Şekil 1.3: Süt üretimindeki farklılıklar (OECD-FAO 2019)

Özetle üretim miktarı giderek artan ve gıda tüketimimizde temel oluşturan sütün kalitesinin korunması ve var olan kalitesinin geliştirilmesinde çiğ sütün taşıma aşamasının verimli tasarlanması önemlidir. Literatürde bu konu ile ilgili çalışmaların başlangıcı 1950'lere dayanmaktadır.

Süt toplama problemi, farklı yerlerde bulunan çiğ sütlerin, işlenmek üzere tankerler aracılığı ile süt işleme merkezine probleme özgü kısıtlar altında götürülmesi ile ilgilenmektedir. STP' de, tankerlere ilişkin günlük araç rotaları oluşturulurken, hangi çiftlik/süt toplama merkezlerindeki, hangi kalitedeki sütün, hangi tip tankerler tarafından, hangi tanklarda toplanacağı ve bu tankerlerin ziyaret sıralarının ne olacağı gibi kararlar verilmektedir.

Literatürde küçük çaptaki problemler basitleştirilerek ya da sıralı olarak çözülmüştür. Araç Rotalama Problemi (ARP)'nin gelişmiş türü olarak yapılan çalışmalarda ise STP problemini diğer problemlerden ayıran uygulamada önemli olan kısıtların ihmal edildiği gözlemlenmiştir. Problemin çözümünde karar problemlerinin eş zamanlı çözümünü gerçekleştiren bir çalışma bu tez çalışmasına kadar henüz bulunmamaktadır.

Karar problemini sıralı bir şekilde çözen çalışmalarda ise süt toplama problemine has araç rotalama kısıtları, uyumsuzluk kısıtları ve yükleme kısıtları aynı anda dikkate alınmamış çoğunlukla ihmal edilmiştir. Bu tez çalışmasında ise probleme özgü kısıtlarla birlikte eşzamanlı karar verebilen bütünleşik bir model geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde süt toplama probleminin literatürüne odaklanmış bir literatür taraması, geliştirilmiş modellerin tanıtımı, verilen modellerin uygulama sonuçları ve çalışma neticesinde elde edilen bulgular paylaşılacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Süt toplama problemi ile ilgili yapılmış olan literatür çalışmalarından önce bu problemin doğasında bulunan ve literatürde daha yaygın olarak ele alınmış temel problemlerin özetleri Bölüm 2.1’de sunulacaktır.

Literatür taraması bölümünün devamında ise Süt Toplama Problemi için yapılmış olan çalışmaların detaylı bir analizi Bölüm 2.2’de sunulacaktır.

2.1 Araç Rotalama Problemleri Literatür Taraması

1954 yılında Dantzig, Fulkerson ve Johnson tarafından yayınlanan, araç rotalama probleminin literatürdeki ilk çalışması olan yayında, ilgili problem gezgin satıcı probleminin daha geniş versiyonu olarak çözülmüştür (Ekşioğlu ve diğ. 2009). Bu çalışmanın ardından araç rotalama problemleri literatürde giderek artan bir oranla çalışılmaya devam edilmektedir.

Rotalama problemleri Laporte ve Osman tarafından yapılan çalışmada dört ana gruba ayrılarak kategorize edilmiştir. Bu gruplar; gezgin satıcı problemi, araç rotalama problemi, Çinli postacı problemi ve kırsal postacı problemidir (Laporte ve Osman 1995). Bilgisayar teknolojsinin giderek gelişmesi ve matematiksel modellerin gerçek hayata yakınlaştırılması için giderek artan çalışmaların neticesinde araç rotalama problemlerine gerçek hayat kısıtları ilave edilerek problemlerin içerikleri zenginleştirilmiştir. Araç rotalama problemlerinin sınıflandırılması ile ilgili ayrıntılı çalışma Ekşioğlu ve diğ. (2009) tarafından, zengin araç rotalama problemlerinin sınıflandırılması ile ilgili çalışma Lahyani ve diğ. (2015^b) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Süt toplama problemi literatürde bulunan farklı problemlerin kısıtlarını içeren bunun yanısıra kendine ait kısıtları da bulunan bir araç rotalama problemidir. Süt toplama problemi literatürde farklı sınıflar altında çalışılmıştır. Ayrıntılı bilgisi süt toplama probleminin literatür taraması kısmında paylaşılacak olan bu problemlerden öne çıkanların genel tanımlaması şu şekildedir:

Yerleşim Rotalama Problemleri

Yerleşim rotalama problemlerinde amaç bir düğüm seti içerisinde bir veya daha fazla depoyu yerleştirmek ve seçilen depolardan düğümlere yapılacak olan teslimatlar için oluşturulacak rotaları en küçüklemeektir. Amaç depo kurulum maliyetlerinin, araç edinme maliyetlerinin ve rotalama maliyetlerinin toplamının en küçüklemeektir. (Laporte ve diğ. 1986).

Zengin Araç Rotalama Problemleri

Literatürde yapılmış olan birçok zengin araç rotalama problemi çalışmasında yazarlar elen alınan sorunun zenginliğini belirtip problemin matematiksel modelini kurmaya yönelmişlerdir (Lahyani ve diğ. 2015^b). Yapılan çalışmalarda verilen tanımlamalardan yola çıkıldığında zengin araç rotalama problemleri rotalama kısıtlarının yanısıra uygulanan problemlerin doğasına ait kısıtları da çözüme dahil ederek gerçek hayat problemlerini modelleyen optimizasyon problemleridir.

Kamyon ve Treyley Rotalama Problemleri

Kamyon ve treyley rotalama problemlerinde müşterilerin bulunduğu konuma sınırlı ulaşımın olması, ilgili konumda bulunan yasal sınırlamalar vb durumlar nedeni ile düğümleri ziyaret edecek araçlarla ilgili kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu problem tipinde müşteriler temel olarak 2 gruba ayrılmaktadır, ilk gruptaki müşterileri sadece kamyon ziyaret edebilirken diğer gruptaki müşterileri hem kamyon hem de treyley ziyaret edebilmektedir. KTRP problemlerinde amaç her bir müşterinin uyumlu olan araç tarafından ziyaret edilecek şekilde optimum maliyetle rotayı oluşturmaktır.

Akaryakıt Dağıtım Problemleri

Akaryakıt dağıtım problemlerinde amaç farklı kapasitelerdeki araçları belirlenen zaman dilimlerinde ilgili düğümlere minimum maliyetle ulaştırmaktır. Akaryakıt dağıtım şirketleri farklı petrol ürünlerini karıştırmadan daha önceden belirlenen sözleşme şartlarına uygun bir şekilde teslim etmek zorundadır. Bu problem tipinde amaç fonksiyonu minimum rotalama ve zaman aşımı maliyeti oluşturarak karı maksimize etmektir. Bu problemle her istasyonda sunulacak olan en az ürün miktarının belirlenmesi, ürünlerin kompartmanlara ataması ve rotalarının oluşturulması sağlanır (Cornillier ve diğ. 2009).

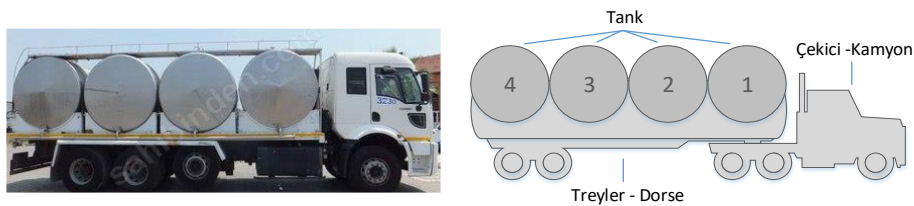
2.2 Süt Toplama Problemine Yönelik Literatür Taraması

İnsan beslenmesinde çok önemli bir yere sahip olan süt, hijyenik koşullarda üretilmediği, saklanmadığı, toplanmadığı ve işlenmediği durumlarda insan sağlığı açısından zararlı olabilmektedir (ASÜD, 2010). Sütün hijyenik kalitesinin ve bakteri seviyesinin belirlenmesi için süt analizleri yapılmaktadır. Bakteri seviyesi ile süt verimi arasındaki yakın ilişki ekonomik yönden de önem arz etmektedir. Günümüzde, elektronik hücre sayım ekipmanlarının ve bilgisayar uygulamalarının gelişmesiyle, üreticiler tarafında bakteri seviyeleri kolaylıkla tespit edilebilir duruma gelmiştir. Bu sayede çiftliklerin de elde edilen çiğ sütlerin kalitesi kolaylıkla ölçülebilmektedir. Türk Gıda Kodeksi, çiğ sütlerde bakteri seviyesini belirleyen somatik hücre sayısının mililitrede 500.000 adetten az olmasını talep ederken (TGK, 2006), daha düşük sayıda somatik hücreye sahip çiğ sütler için üreticiler daha yüksek fiyatlar talep edebilmektedirler (Pirisi ve diğ. 2007). Bu durum, daha kaliteli süt ve süt ürünleri üretmek isteyen süt işleyicilerinin, çiğ sütleri üretim çiftliklerinde kalitesine ve bakteri sayısına göre sınıflandırmalarına neden olmaktadır (Endrizzi ve diğ. 2012).

Süt üretim çiftliklerinde günlük olarak sağılan çiğ sütler, sağımdan hemen sonra ilgili ölçümler sonrasında sütün 6°C'nin altında soğutulmasına izin veren tanklarda depolanmaktadır. Süt soğutma tankına sahip olmayan küçük çaplı kırsal çiftliklerde ise çiğ sütler, sağımdan sonra en geç 2 saat içerisinde bölgesel süt toplama merkezlerine götürülmekte ve orada depolanmaktadır (ASÜD, 2010).

Süt toplama merkezlerine kırsal çiftliklerden getirilen çiğ sütlerin bakteri seviyelerinin ve kalite düzeylerinin (somatik hücre sayısı, ph, protein, katılan süt miktarı, yağ, yağsız kuru madde, yoğunluk, donma noktası, laktoz, iletkenlik vb.) soğutma tanklarına aktarılmadan önce elektronik cihazlarla belirlenmesi gerekmektedir. Bakteri seviyesi izin verilen üst sınırın üstünde ise bu sütler bertaraf edilmekte, üst sınırın altında kalan çiğ sütler ise önceden belirlenmiş kategorilere göre sınıflandırılmaktadır. Herhangi bir sınıflandırma işleminin yapılmaması, farklı çiftliklerden alınan sütlerin karıştırılması durumunda ise soğutma tankında toplanan çiğ sütlerin kalitesi, karıştırılan sütler arasında en fazla bakteri seviyesine sahip olan çiğ süt üzerinden değerlendirilmektedir.

Çiftliklerde ve süt toplama merkezinde yer alan soğutma tanklarında kalite tiplerine göre ayrı ayrı veya yaygın olarak karıştırılarak depolanan çiğ sütler, sezonluk anlaşma imzalanan süt işleme tesisleri tarafından süt tankerleri ile toplanmaktadır. Üzerlerinde bir ya da birden fazla sayıda (genellikle 3, 4 ya da 5) izolasyonlu süt taşıma tankı olan süt tankerleri, gün içerisinde farklı sayıdaki çiftlik ve süt toplama merkezlerini ziyaret ederek buralardaki tanklarda yer alan soğutulmuş sütleri almaktadır. Kullanılan tankerlerde şoför mahalline en yakın tanka 1 numara verilerek aracın içerdiği tank sayısı adedince numaralandırma işlemi yapılmaktadır. Bu uygulamaya göre dört adet tank içeren bir aracın numaralandırılması Şekil 2.1'de verilmiştir.



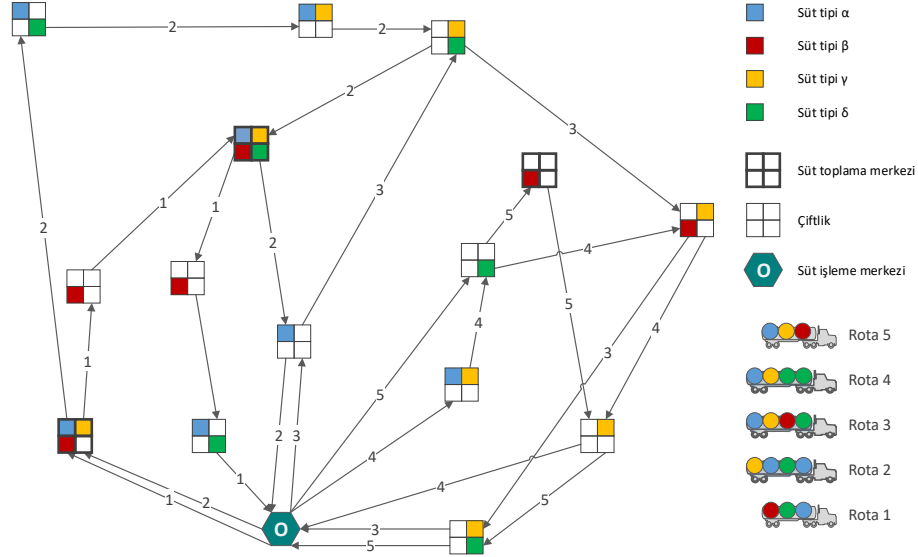
Şekil 2.1: Dört tanka sahip örnek bir süt tankeri

Süt işleme merkezleri, kurumsal politikalarına göre farklı kalite tiplerindeki sütleri hiçbir sınıflandırma olmadan karıştırarak veya farklı kalite sınıfları altında karıştırmadan toplamaktadır. Ülkemizde yaygın olarak farklı kalitedeki çiğ sütler karıştırılarak depolanmakta, toplanmakta ve işlenmektedir. Bu durum daha önce de belirtildiği üzere, çiğ sütün kalitesinin düşmesine ve böylece çiğ sütlerden elde edilen süt ve süt ürünlerinin de kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Çiğ sütlerin çiftliklerden ve süt toplama merkezlerinden süt işleme merkezlerine taşınması sırasında kullanılan süt tankerlerinin yakıt tüketimleri, tank içi sıcaklık kontrollü sistemleri dolayısı ile diğer tankerlere göre daha yüksek düzeydedir. Farklı sayıda ve farklı kapasitelerde tanklara sahip olabilen bu süt tankerlerinin şoförleri, kendilerine günlük olarak verilen süt işleme merkezinden başlayan servis rotalarını izin verilen toplama süresini aşmadan tamamlamakta ve toplanan sütleri süt işleme merkezlerine teslim etmektedir.

Süt işleme merkezlerinde, günlük araç rotaları oluşturulurken, hangi çiftlikteki hangi kalitedeki sütün hangi tip tanker tarafından hangi tankta toplanacağı ve bu tankerlerin ziyaret sıralarının ne olacağı ile ilgilenilmektedir. Süt toplama operasyonlarına ilişkin verilmesi gereken bu kararlar, literatürde Süt Toplama Problemi (STP) içerisinde kendine yer bulmuştur (Jones, 1953; Sankaran ve Ubgade, 1994; Butler ve diğ. 1997; Butler ve diğ. 2005; Claassen ve Hendriks, 2007; Hoff ve Løkketangen, 2007; Caramia ve Guerriero, 2010).

Çiğ sütün raf ömrünün kısa olması, bozulabilir olması ve farklı kalitelere olması sadece süt taşıma maliyetlerini değil, süt işleme merkezlerinin sürekli üretim maliyet ve kalitelere de etki etmektedir. Sütün bozulabilir bir ürün olması nedeniyle, süt toplama problemi süt ürünleri tedarik zincirinde hayati bir öneme sahiptir ve süt ürünleri endüstrisi için çözülmesi güç bir lojistik planlama problemidir. Şekil 2.2’de, 1 adet süt işleme merkezi, 2 adet süt toplama merkezi, 13 adet çiftlik, 4 farklı süt tipi ve 2 farklı tanker tipi için STP’nin çözülmesi ile oluşturulmuş 5 farklı rotayı içeren örnek bir süt toplama ağı verilmiştir.



Şekil 2.2: Örnek bir süt toplama ağı*

*Toplama ağında yer alan süt tiplerinin daha net gösterilebilmesi amacıyla şekil renkli olarak tasarlanmıştır.

STP basit bir matematiksel ifadeyle, farklı bölgelerde yer alan çiftliklerde veya süt toplama merkezlerinde toplanan farklı kalite tipindeki günlük çiğ sütlerin, probleme özgü kısıtlar altında farklı kapasitedeki tankerler aracılığı ile süt işleme merkezlerine ulaştırılması ile ilgilenmektedir. Bu nedenle STP, çiftliklerin ilgili koşullar göz önüne alınarak tankerlere atanması içeren Tanker Atama Problemi (TAP)'ni ve tankerlerin rotalarını belirlemeyi amaçlayan Tanker Rotalama Problemi (TRP) olmak üzere iki alt problemi kapsamaktadır. Caramia ve Guerriero (2010), ele alınan bu problemin çözümü için, ilk aşamada TAP ve sonrasında TRP olmak üzere iki aşamalı bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Caramia ve Guerriero (2010) tarafından önerilen bu modelin ayrıntıları, bu tez kapsamında ele alınan problemin temel hatlarının daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıda örnek olarak verilmiştir:

TAP, çiftliklere üretim miktarları, süt özellikleri ve yol koşulları kısıtlarına göre uygun tankerlerin atanmasını içermektedir. Belirtildiği gibi süt toplama operasyonunda kullanılan tankerler farklı özellik ve kapasitelere sahip olabilmektedir. Bazı tankerler sadece tek bir tanka sahip iken bazı tankerler birden fazla tanka sahip olabilmektedir. Ayrıca bazı bölgelerde yer alan çiftliklere yol koşullarından dolayı sadece küçük kapasiteli kamyonlar hizmet verebilirken, bazı büyük ölçekli bölgesel süt toplama merkezlerine daha büyük kapasiteli tankerler hizmet verebilmektedir. Farklı çiftliklerden toplanan sütlerin içerdikleri bakteri miktarları ve kaliteleri bir birbirinden oldukça farklı olabilmektedir. Bu durum da süt işleme merkezlerinde üretilen süt ürünlerinin kalitesini doğrudan etkilemektedir (Endrizzi ve diğ. 2012). Bu nedenle, çiftliklerden elde edilen farklı kalitedeki çiğ sütlerin toplama sırasında tanklarda karıştırılmaması büyük önem arz etmektedir. Böyle durumlarda ya birden fazla tanka sahip olan tankerler kullanılmakta ya da bir tankere sadece tek tip çiğ süt doldurulmaktadır. Bu kapsamda TAP, toplam kullanılan tanker sayısını aşağıda tanımlanan kısıtları sağlayarak en küçükleme amaçlamaktadır. Bu kısıtlar:

- Anlaşmalı olunan her çiftliğin/toplama merkezinin ürettiği tüm farklı tiplerdeki sütler toplanmalıdır.
- Tankerlere ve tanklara atanan toplam süt miktarları ilgili kapasiteyi aşmamalıdır.
- Her çiftliğe en az bir tanker hizmet vermelidir.
- Uygun çiftliğe uygun tanker hizmet vermelidir.
- Farklı tiplerdeki sütler birbirleri ile karıştırılmamalıdır. Farklı kalitedeki sütlerin çiftliklerde karıştırılması durumunda ise süt kalitesi, en düşük kalitedeki sütün kalitesi üzerinden değerlendirilmektedir.

Tanımlanan bu kısıtlar altında TAP'a ilişkin modelde kullanılan notasyonlar şu şekildedir:

İndisler

$i \in I$	Tankerler kümesi ($I = I^{tr} \cup I^{wt}$; I^{tr} çoklu tankerler ve I^{wt} kamyonlar)
$J \in j$	Süt tipleri kümesi
$s \in S$	Çiftlikler kümesi ($S = S^{tr} \cup S^{wt}$; S^{tr} çoklu tankerler tarafından ziyaret edilebilen çiftlikler ve S^{wt} kamyonlar tarafından ziyaret edilebilen çiftlikler)
$k \in K_i$	Tanklar kümesi ($K_i = K_i^{tr} \cup K_i^{wt}$; K_i^{tr} çoklu tankerlere ilişkin tanklar ve K_i^{wt} kamyonlara ilişkin tanklar)

Parametreler

Q_{js}	s 'inci çiftlikten alınması gereken j tipindeki toplam süt miktarı
c_{ik}	i 'inci tankerin k 'inci tankının toplam kapasitesi

Değişkenler

y_{ikjs}	i 'inci aracın k 'inci tankında j tipinden s 'inci çiftlikten alınan toplam süt miktarı
z_{is}	1: eğer tanker i çiftlik s 'e hizmet verirse; 0: diğer durumlarda.
x_{ikj}	1: eğer süt tipi j i 'inci tankerin k 'inci tankına atanırsa; 0: diğer durumlarda.
R_i	1: eğer i 'inci tanker kullanılırsa; 0: diğer durumlarda.

Tanımlanan bu notasyonlar dahilinde TAP için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli şu şekildedir (Caramia ve Guerriero, 2010):

$$\min \sum_{i \in I} R_i \quad (1)$$

Kısıtlar altında

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K_i} y_{ikjs} = Q_{js} \quad \forall j \in J, s \in S \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} y_{ikjs} \leq c_{ik} x_{ikj} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K_i \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} z_{is} \geq 1 \quad \forall s \in S \quad (4)$$

$$\sum_{s \in S^{tr}} z_{is} \geq R_i \quad \forall i \in I^{tr} \quad (5)$$

$$y_{ikjs} \leq z_{is} c_{ik} \quad \forall i \in I, k \in K_i, j \in J, s \in S \quad (6)$$

$$\sum_{s \in S} z_{is} \leq R_i |S| \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ikj} \leq 1 \quad \forall i \in I, k \in K_i \quad (8)$$

$$y_{ikjs} = 0 \quad \forall i \in I^{tr}, k \in K_i^{wt}, j \in J, s \in S^{wt} \quad (9)$$

$$x_{ikj} \in \{0,1\}, y_{ikjs} \in R^+, R_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, k \in K_i, j \in J, s \in S \quad (10)$$

Verilen modelde, Kısıt (1) kullanılan tanker sayısını en küçüklemeyi hedefleyen amaç fonksiyonudur. Kısıt (2) çiftliklerin ürettikleri tüm farklı tiplerdeki ürünlerin teslim alınması gerektiğini tanımlamaktadır. Kısıt (3) her bir tanka atanan toplam süt miktarının, tankın toplam kapasitesinden daha fazla olamayacağını tanımlamaktadır. Kısıt (4) her bir çiftliğe en az bir tankerin hizmet vermesi gerektiğini tanımlamaktadır. Kısıt (5) uygun tankerin uygun müşteriye hizmet vermesini garanti altına alır. Kısıt (6) ve Kısıt (7) çiftlikler ve tanker arasındaki atama kısıtını ifade etmektedir. Kısıt (8) farklı tiplerdeki sütlerin karıştırılmaması gerektiğine yönelik kısıt ifade etmektedir. Eşitlik (9) tankerler ve kamyonlar arasında aktarma yapılamayacağını ifade eden kısıttır. Eşitlik (10) model değişkenlerin doğasını tanımlar.

TRP, probleme ilişkin ikinci aşama olarak TAP ile tankerlerin çiftliklere atanmasından sonra devreye girmektedir. TRP, tıpkı gezgin satıcı problemi (GSP) gibi modellenebilmektedir. Bu problemde amaç her bir tankere ilişkin hali hazırda belirlenmiş olan çiftliklere yapılacak olan ziyaretlere ilişkin toplam sürenin en küçülenmesidir. TRP'ye ilişkin modelde kullanılan ek notasyonlar şu şekildedir:

İndisler

$s, s' \in S_i$ i 'nci aracın uğraması gereken çiftlikler kümesi

Parametreler

t_s s çiftliğinde geçirilen hizmet süresi

$d_{ss'}$ Çiftlik s ve s' arasındaki bağlantının mesafesi

v Ortalama tanker hızı

Değişkenler

$w_{iss'}$ 1: Eğer çiftlik s ve s' arasındaki bağlantı i . tanker tarafından kullanılmışsa; 0: diğer durumlarda.

Tanımlanan bu notasyonlar dahilinde TRP için her bir i tankeri için karma tam sayılı programlama modeli şu şekildedir (Caramia ve Guerriero, 2010):

$$\min \sum_{i \in I} \left\{ \sum_{s \in S} z_{is} t_s + \sum_{s \in S} \sum_{s' \in S} \frac{d_{ss'}}{v} w_{iss'} \right\} \quad (11)$$

Kısıtlar altında

$$\sum_{s \in S_i} w_{is_0s} = 1 \quad \forall i \in I \quad (12)$$

$$\sum_{s \in S_i} w_{iss_0} = 1 \quad \forall i \in I \quad (13)$$

$$\sum_{s' \in S_i} w_{iss'} = 1 \quad \forall i \in I, s \in S_i \quad (14)$$

$$\sum_{s' \in S_i} w_{is's} = 1 \quad \forall i \in I, s \in S_i \quad (15)$$

$$w_{iss'} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \quad s, s' \in S_i \quad (16)$$

Tanımlanan modelde, Kısıt (11) tankerlere ilişkin toplam servis süresini en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Kısıt (12) ve Kısıt (13) birlikte tankerlerin depodan harekete başlayıp tüm yüklerini aldıktan sonra depoya geri dönmelerini garanti altına alır. Kısıt (14) ve Kısıt (15), çiftliğe giren ve çıkan tankerin aynı olmasını garanti altına alır. Son olarak, Kısıt (16) değişkenlerin doğasını tanımlamaktadır.

STP, literatürde genelde yerleşim-rotalama problemleri (YRP), zengin araç rotalama problemleri (ZARP) ve kamyon ve treyler rotalama problemleri (KTRP) arasında kendisine yer bulmuştur. Literatürde YRP ile ilgili güncel detaylı bir literatür taraması Prodhon ve Prins (2014) tarafından, ZARP ile ilgili güncel detaylı bir literatür taraması Lahyani ve diğ. (2015^b) tarafından, KTRP ile ilgili güncel detaylı bir literatür Cuda ve diğ. (2015) tarafından yapılmıştır.

Uyumsuzluk kısıtları arasında yer alan konum gereksinimleri kavramı genellikle KTRP literatürü kapsamında incelenmektedir. Çoklu tank taşıma kavramı ve farklı ürün tipi kavramları ise akaryakıt dağıtım problemi (ADP) ve çok kompartımanlı ARP (ÇKARP) literatürlerinde de yer almaktadır. Ancak ilgili literatürler incelendiğinde ADP’de müşteri talepleri genellikle çok yüksek olmakta ve tanklar genellikle tek bir müşteriye tahsis edilmektedir (Cornillier ve diğ. 2009; Popović ve diğ. 2012; Benantar ve diğ. 2016). Bu durumda, aynı ürün tipinden dahi olsa aynı tankta farklı müşterilere ilişkin talepler birleştirilememektedir. ÇKARP literatürü ise karıştırılmayan ürünler için genellikle esnek olan kompartıman boyutlarının belirlenmesine odaklanmıştır (Fallahi ve diğ. 2008; Coelho ve Laporte, 2015; Henke ve diğ. 2015; Silvestrin ve Ritt, 2017; Ostermeier ve diğ. 2018; Henke ve diğ. 2019). Lahyani vd. (2015^a) çalışmasında Tunus’da üreticilerden farklı tiplerde üretilen yağların toplanması için çoklu tank taşıyan tankerlerle, çok periyodlu model önerisi geliştirmiştir. Çalışma bu kısımları ile STP’ye benzerlik gösterse de STP yapısındaki diğer kısıtlar modelde yer almamaktadır. Gerekli durumlarda yakın kalitedeki süt tiplerinin karıştırılarak ortak tanklarda toplanabilmesi esnekliği ve yükleme kısıtları STP’ni, ADP ve ÇKARP’dan önemli ölçüde farklılaştırmaktadır.

Yükleme kısıtları ise araç ağırlık-yakıt ilişkisi kavramı hariç genellikle tanker ile taşınan sıvı durumlarında söz konusudur (Azadi ve diğ. 2014; Sowińska ve Piechna, 2015; RMS, 2016). Sıvı gıda ürünlerin taşınmasında var olan sanitasyon uygulamaları, problemi akaryakıt ve diğer kimyasal ürünlerin tankerlerle taşınmasından ayırmaktadır. Tankerlerde çalkanmadan sıvı taşınmasını sağlayacak yan bariyerler söz konusudur. Bu bariyerler gıda dışındaki diğer sıvıları taşıyan tankerlerde minimum taşıma kısıtı olmasının önüne geçmektedir. Ancak bu bariyerlere, süt tankerlerinde temizlik ve hijyen zorlukları nedeni ile izin verilmemektedir. Bu durumda tanklar belli oranların altında yüklenememektedir. Bu durum tank-doluluk oranı kavramı bakımından STP’yi önemli ölçüde benzer problemlerden ayırmaktadır. Ancak ilgili literatür detaylı olarak incelendiğinde, STP’de oldukça kritik öneme sahip bu kavramların ARP literatüründe yer almadığı görülmektedir.

Literatürde sadece ARP ve konteynır yükleme probleminin (KYP) birlikte ele alındığı kısıtlı sayıdaki çalışmada yüklemeye sırasında araç dingillerine düşen ağırlıkların dikkate alındığı ve dengelendiği görülmektedir (Iori ve Martello, 2010; Pollaris ve diğ. 2015, 2016). Ancak bu iki boyutlu ya da üç boyutlu KYP'ne özgü bu çalışmalar, STP'deki tanker ve tanklara sıvı yüklenmesi durumuna doğrudan benzeşmemektedir. Yükleme kısıtlarında yer alan araç ağırlık-yakıt ilişkisi kavramı ARP literatüründe son on yılda önemli ölçüde öne çıkmıştır. Enerji minimizasyonu ARP (Kara ve diğ. 2007; Kuo, 2010; Xiao ve diğ. 2012), çevre kirliliği rotalama problemi (Bektaş ve Laporte, 2011; E. Demir ve diğ. 2014; Koç ve diğ. 2014), yeşil ARP (Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012; Lin ve diğ. 2014; Leggieri ve Haouari, 2017) gibi varyasyonlar araçların enerji tüketimlerini mesafe, yük, hız, yol koşulları, emisyon miktarları ve yakıt tüketimi faktörleri ile birlikte ele almışlardır. ARP literatürü detaylı olarak incelendiğinde ilgili kısıtlardan bazıları diğer rotalama problemlerinde gözükse de bu kısıtların ortak olarak sadece STP'nin doğasında yer aldığı görülmektedir (Golden ve diğ. 2008; Toth ve Vigo, 2014; Coelho ve diğ. 2016). Bu nedenle, bu tezin literatür özeti kapsamında sadece doğrudan STP ile ilgilenilen çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir.

STP literatüründe yer alan ilk çalışmalar, bir süt toplama aracının bölgelerde yer alan çiftlikleri ziyaret sıralamasının belirlenmesine yönelik çalışmalardır. Jones (1953), çalışmasında bölgesel süt toplama maliyet kalemlerini belirlemiş ve bu maliyetleri kullanarak tankerlere atanmış çiftliklerin ziyaret sırasını oluşturmuştur. Kalra ve Singh (1988), çalışmalarında Hindistan'ın North-West bölgesinde yer alan çiftliklerin ziyaret sıralamasının belirlenmesini amaçlamışlardır. Coltman ve diğ. (1994), çalışmalarında çiftliklerin ziyaret çizelgelerinin etkinliklerini analiz edilmesi için sezgisel bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem Amerika Birleşik Devletleri'nin, Ohio şehrindeki çiftliklerin ziyaret çizelgelerinin etkinlerinin test edilmesinde kullanılmıştır. Foulds ve Wilson (1997) çalışmasında çiftliklerde üretilen sütlerin hangi işleme tesislerine gönderilmesi gerektiğini belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla problem bir tam sayılı matematiksel programlama modeli olarak tanımlanmış ve problemin çözümünde sezgisel yöntemlerden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında Yeni Zelanda'daki çiftliklerde sağılan sütlerin işleme tesislerine atanmasına yönelik vaka analizi çalışması yapılmıştır.

Basnet ve diğ. (1999), daha sonraki çalışmalarında süt toplama tankerlerinin çizelgelenmesi için bir tam sayılı matematiksel programlama modeli önermişlerdir. Yazarlar çalışmalarında, Dal sınır algoritmasından yararlanarak tankerlerin Yeni Zelanda'daki çiftlikleri ziyaretlerine ilişkin tamamlanma zamanını en küçükleyerek çizelgelemeye çalışmışlardır.

Literatürde yukarıda yer alan çizelgeleme çalışmaların dışında STP'de yer alan farklı optimizasyon problemlerini içeren çalışmalar da söz konusudur. Örneğin, Basnet ve diğ. (1999), daha sonraki çalışmalarında süt toplama tankerlerinin çizelgelenmesi için bir tam sayılı matematiksel programlama modeli önermişlerdir. Bořková (2009) ve Zhihua (2011) süt toplama merkezlerinin bölgesel yerleşimlerinin belirlenmesi konusunda çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Lore ve diğ. (2006), White ve diğ. (2008), Tsukamoto ve diğ. (2009) ve Frye (2013) çalışmalarında süt toplama sırasında dikkat edilmesi gereken koşul ve kuralları analiz etmişlerdir. Bunların yanında, Thomson ve diğ. (2005) ve Endrizzi ve diğ. (2012) çalışmalarında toplanan sütün kalitesinin, farklı sütlerin karıştırılmasının, sütlerin toplama merkezlerinde bekleme sürelerinin ve süt işleme merkezine ulaştırılma sürelerinin üretilen ürünlerin kalitesine olan etkilerini incelemiştir. Mumtaz ve diğ. (2014) çalışmalarında süt toplama problemini YRP olarak ele almışlardır. Problem 0-1 tam sayılı programlama şeklinde modellenmiş ve rastsal olarak yaratılmış deney setleri geliştirilen model yardımı ile çözülmüştür.

Ayrıca, literatürde süt toplama araçlarında karar destek sistemi yazılımlarına yönelik çalışmalar da yer almaktadır. Butler ve diğ. (2005), süt toplama problemi için coğrafi bilgi sistemleri ile entegre bir karar destek sistemi tasarlamıştır. Adenso-Díaz ve diğ. (1998), Hammervoll (2009) ve Malairajan ve diğ. (2013) süt toplama sistemlerinin maliyetlendirilmesine ilişkin karar destek sistemi önerileri geliştirmiştir. Quinlan ve diğ. (2012), İrlanda'daki bölgesel süt toplama maliyetlerinin tahmin edilmesi ve süt toplama araçlarının karbon salınımlarının tespit edilmesine yönelik bir simülasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Dooley ve diğ. (2005) çalışmalarında çiftliklerde A ve B tip olmak üzere 2 farklı süt üretildiği durumda birlikte ve ayrı ayrı toplamının taşıma maliyetine olan etkisini atama problemi olarak incelemişlerdir. Problemin çözümü için bir Genetik Algoritma sezgiseli geliştirmişlerdir. Todde ve diğ. (2017) çalışmalarında bir süt toplama rotasının enerji ve karbon etkisini incelemiştir. Etkin rotalama ve üretim planlaması ile önemli çevresel kazanımlar sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır.

Rautela ve diğ. (2017) çalışmalarında Hindistan'da yer alan bir kooperatifin müşterilerine içme sütü dağıtımını incelemişlerdir. Kooperatifin dağıtım problemini zaman pencereli ARP problemi olarak ele almışlar, dağıtım noktalarını önce kümelendirmişler ve daha sonra ise GSP ile her bir küme için matematiksel modeller yardımı ile çözüm aramışlardır. Palhares ve AraÚjo (2018) süt endüstrisinde yer alan mandıra ürünlerinin dağıtılması bir GSP modeli kurmuşlar ve probleminin çözümü için En Yakın Komşuluk Algoritması temelli bir yaklaşım önermişlerdir.

Huiling ve diğ. (2018) pastörize süt dağıtım problemi için bir matematiksel model geliştirmiş ve Guangzhou, Çin bölgesinde yer alan bir vakanın çözülmesi için Hibrit Genetik Algoritma temelli bir yaklaşım önermiştir. Burduk ve diğ. (2018) çalışmalarında toplama merkezlerinde toplanan sütlerin mandıralara, mandıraların üretim planları dikkat edilerek en kısa sürede ulaştırılmasını sağlamayı hedefleyen bir model önerisi sunmuştur. Greedy ve Tavlama Benzetimi algoritması ile probleme çözüm aramışlardır. O'Callaghan ve diğ. (2018) çalışmalarında İrlanda'da yer alan 50 süt çiftliğinden sütlerin toplanması için ARP temelli bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Temel seviyedeki problemin çözümü için açık kaynak kodlu Excel çözücüsünden yararlanmışlardır. Caria ve diğ. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada İtalya Sardunya bölgesinde hali hazırda var olan STP rotalarının araç bazında iyileştirilmesi için Karınca Kolonisi Optimizasyonu temelli bir karar destek sisteminden faydalanılmıştır. Karar destek sisteminin var olan rotaların performansını %6-8 oranında iyileştirdiği belirtilmiştir.

Literatürdeki STP ile birinci dereceden ilgili olan tüm yayınlar incelendiğinde problemin, GSP, ARP ve KTRP varyasyonları olarak ele alındığı görülmektedir. Tablo 2.1'de literatürde STP konusunda yapılan bu kritik çalışmaların karşılaştırmalı analizi yer almaktadır.

Bu tablo kapsamında süt toplama problemi literatüründe yer alan çalışmalar konuya temel problem yaklaşımı, matematiksel modelleme, araç rotalama kısıtları, uyumsuzluk kısıtları, yükleme kısıtları, çözüm metodu, çözüm yaklaşımı, amaç fonksiyonu, ele alınan vaka ve çalışmanın yayınlandığı dergi/konferansa göre sınıflandırılmıştır. Bu tabloda yer alan çözüm yaklaşımı ise probleme nasıl çözüm arandığı kavramı ile ilgilenmektedir. Bu kapsamda rotalama ya da atama kavramları problemi alt problemlere indirgeme yolu ile çözüldüğünü, önce-sonra kavramları problemin sıralı olarak çözüldüğünü ve eş zamanlı kavramı ise probleme bütünleşik bir çözüm arandığını ifade etmektedir.

Tablo 2.1 incelendiğinde, STP literatüründe yer alan çalışmaların önemli bir bölümünün problemi, araç rotalama kısıtları üzerinden ele aldığı, problemin doğasında yer alan uyumsuzluk kısıtlarının ve yükleme kısıtlarının ihmal edildiği görülmektedir (Vásquez ve Valencia, 2014; Lahrichi ve diğ. 2015; Masson ve diğ. 2016). Bu kapsamda yer alan çalışmalar, problemin çözümü aşamasında ya problemi alt problemlere (atama veya rotalama) indirgemişler ya da problemi sıralı (önce atama, sonra rotalama) olarak çözmüşlerdir. Bu çalışmalarla hızlı çözümler elde edilebilirken, çözüm kaliteleri eş zamanlı çözümlere göre oldukça düşük olmaktadır. Aynı zamanda probleme özgü uyumsuzluk ve yükleme kısıtlarının ihmal edilmesi çözümün pratikte uygulanmasını olanaksız hale getirmektedir.

Tarantilis ve Kiranoudis (2007) ve Dayarian ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmalarda ise problem heterojen ARP olarak ele alınmış ve atama ve rotalama problemi eş zamanlı olarak çözülmüştür. Ancak bu çalışmalarda yine uyumsuzluk kısıtları ve yükleme kısıtları dikkate alınmamıştır. Bu nedenle bu çalışmalar çözüm kalitesi olarak daha iyi sonuçlar üretirken, probleme özgü kısıtların dikkate alınmaması nedeni ile elde edilen sonuçlar uygulanabilirlikten uzaktır.

Diğer yandan, Hoff ve Løkketangen (2007), Caramia ve Guerriero (2010), Pasha ve diğ. (2014) ve Amiama ve diğ. (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda bazı araç rotalama kısıtları ile birlikte konum kısıtları da dikkate alınmıştır. Caramia ve Guerriero (2010) da çalışmalarında farklı sütlerin karıştırılmadan toplamasını da dikkate almıştır. Ancak, çözüm aşamasında problem, önce atama sonra rotalama problemi olarak ele alınmıştır. Bu durum, probleme özgü uygunsuzluk kısıtlarının dikkate alınması sayesinde pratikte daha geçerli çözümler elde edilmesini sağlamış olmasına rağmen, diğer çözümlerde de olduğu gibi çözüm kalitesini düşürmüştür. Amiama ve diğ. (2015) çalışmalarında da farklı süt kalitelerini dikkate almış ancak farklı sütlerin farklı özellikte ancak tek tank taşıyan tanklarla ayrı rotalarda taşınmasına izin vermişlerdir.

Bansal ve diğ. (2017) problemi zaman limitli ARP olarak ele almıştır. Talebin bulanık olduğu durumlar için Karınca Kolonisi Optimizasyonu temelli bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yazarlar her ne kadar süt talebini bulanık olarak modelleseler de STP'nin pratik uygulamadaki kısıtlarını modellerine dahil etmemişlerdir. Rothenbächer ve diğ. (2018) problemi zaman pencereli KTRP olarak ele almasına rağmen literatürde yer alan diğer KTRP çalışmalarından farklı olarak eş zamanlı bir çözüm yaklaşımı geliştirmiştir. Ancak yazarlar çalışmalarında konum gereksinimlerini öngörmelerine rağmen STP probleminin doğasında önemli rol oynayan uyumsuzluk ve yükleme kısıtlarını ihmal etmişlerdir.

Expósito ve diğ. (2018) çalışmasında problemi periyodik zaman limitli ARP olarak ele almış, problemin çözümü için ise Grasp ve Değişken Komşuluk Arama temelli bir algoritma geliştirmişlerdir. Huang ve diğ. (2019) bir süt toplama kooperatifi için STP ve toplanan sütlerin mandıralara taşıma problemini birlikte ele almış, problemi zaman limitli topla dağıt ARP olarak modellemişlerdir. STP'ye özgü diğer kısıtların yer almadığı daha çok zaman boyutunun öne çıktığı modellerinin çözümü için kazanç sezgiseli ve Gurobi çözücüsünü birlikte kullanmışlardır.

Paredes-Belmar ve diğ. (2016) çalışmalarında farklı süt tiplerini tek tank ile araç rotalama kısıtları ile birlikte ele almıştır. Farklı süt tiplerini getirilerine göre birlikte ya da ayrı ayrı toplama kararı vermişlerdir. Küçük çaplı problemlerin çözümünde dal&kesme yaklaşımı uygularken, büyük çaplı problemlerin çözümünde önce yerleşime göre kümelenir, sonra talebe göre ata ve sonra problemi parçalı olarak çöz esaslı bir sezgisel önermişlerdir. Paredes-Belmar ve diğ. (2017) çalışmalarında Paredes-Belmar ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmalara ek olarak toplama merkezi kısıtlarını dikkate alarak problemi YRP olarak çözmüşlerdir. Bu iki çalışmada problemin pratik uygulamasında önem arz eden çoklu tank taşıma ve yükleme kısıtları dikkate alınmamıştır.

Sethanan ve Pitakaso (2016) çalışmalarında süt toplama problemi için toplam maliyet fonksiyonu belirlenirken yakıt maliyetleri ve temizleme maliyetleri birlikte dikkate alınmışlardır. Bu çalışmada da sıcaklık kontrollü araçlar birden fazla tanktan oluşmaktadır. Yazarlar araçların yakıt maliyetlerini tanker yükünden bağımsız olarak sadece mesafe üzerinden ele almıştır. Dikkate alınan klasik kısıtlarla birlikte, farklı toplama merkezlerinden toplanan çiğ sütler, temizlik sebebiyle aynı tankta taşınamaz kısıtını modele eklenmişlerdir. Ancak bu çalışma kapsamında süt kalitesi dikkate alınmadan, doğrudan farklı merkezlerden alınan sütlerin karıştırılmasını engelleyerek çözüm arayan bu yaklaşım, uygulamada gerekli araç sayısını oldukça artırmaktadır. Örneğin 4 tanka sahip bir araç, sadece 4 farklı çiftliğe ya da toplama merkezine uğrayabilmektedir. Bu durum özellikle küçük ve orta çaplı çok fazla sayıda kırsal çiftliğin bulunduğu durumlarda toplam taşıma maliyetlerini önemli ölçüde artırmaktadır. Yazarlar yakın tarihte yayınlanan yeni çalışmalarında ise bir tanka iki farklı çiftlikten süt eklenebilmesine izin vermişlerdir (Chokanat ve diğ. 2019). Yine farklı kalitedeki süt tiplerini dikkate almadıkları çalışmalarında problemi KTDP olarak modellemişler ve problemin çözümü için bir Diferansiyel Gelişim Algoritması önermişlerdir.

Tez kapsamında geliştirilen modelle benzer kalitedeki sütlerin birlikte toplanması sağlanarak araçların daha verimli kullanılıp toplam araç sayısının azaltılması ve toplam maliyetin minimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Literatürdeki tüm bu çalışmalarda, süt toplama operasyonlarında kullanılan tankerlerin sürüş ve trafik güvenliklerini ve yakıt maliyetlerini doğrudan etkileyen yükleme kısıtları dikkate alınmamıştır. Bu durum elde edilen çözümlerin pratikte uygulanmasını neredeyse imkânsız hale getirmekte ya da uygulanan çözümlerin tanker ve sürücüler üzerinde yukarıda belirtildiği gibi hayati güvenlik riskleri içermesine neden olmaktadır.

Literatürde süt toplama probleminin doğasında yer alan araç rotalama, uygunsuzluk ve yükleme kısıtlarını birlikte ele alan bir çalışma henüz bulunmamaktadır. Bunun yanısıra problem kapsamında yer alan alt problemlerin çözümünde ise genellikle indirgeme veya sıralı çözüm yaklaşımı benimsenmiş, eş zamanlı çözüm ise sadece farklı süt tipleri ihmal edilerek oluşturulan heterojen araç rotalama probleminde uygulanmıştır. Bu tez çalışması ile literatürde tanımlanan bu eksiklerin giderilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Süt toplama problemine yönelik yapılan literatür çalışmasında kısmen bahsedilen problemin doğasına özgü olarak üç gruba ayrılan kısıtlar Bölüm 3'te ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tablo 2.1: Literatürde süt toplama problemi konusunda yapılan çalışmaların karşılaştırmalı analizi

	Temel problem	Araç rotalama kısıtları											Uyumsuzluk kısıtları			Yükleme Kısıtları			Çözüm yöntemi	Çözüm yaklaşımı	Amaç fonksiyonu	Vaka	Dergi / Konferans
		Matematiksel model	Çoklu periyod	Çoklu depo	Farklı araç kapasitesi	Zaman penceresi	Zaman limiti	Bölünebilir talep	Sabit filo	Stokastik Talep	Stokastik Stire	Çoklu tank taşıma	Konum gereksinimi	Farklı süt tipleri	Tank doluluk oranı	Tank dolum sırası	Tanker girilik-yakıt ilişkisi						
Sankaran ve Ubgade (1994)	ARP	-				✓												Sezgisel kara kutu yaklaşımlar	Sadece rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Pradesh, Hindistan	Interfaces	
Rennie (1995)	ARP	-					✓											Tam teslim sezgiseli ve Greedy algoritması	Sadece rotalama	Enk. Toplam Mesafe	Kauri, Yeni Zelanda	Conference on OR Society	
Butler ve diğ. (1997)	GSP	TP	✓															Dal&Sınır	Sadece rotalama	Enk. Toplam Mesafe	Dublin, İrlanda	Computational Optimization and Applications	
Prasertsri ve Kilmer (2004)	GSP	-		✓		✓						✓						Çoklu ekleme algoritması, Sıra ve rota gelişim algoritması	Sadece rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Florida, A.B.D.	Journal of Agribusiness	
Claassen ve Hendriks (2007)	ARP	KTD P	✓	✓														Special Ordered Sets-1 algoritması, Dal&Sınır	Sadece atama	Enk. Toplam Sapma	Hollanda	European Journal of Operational Research	
Hoff ve Løkketangen (2007)	KTR P	-		✓	✓							✓						Yasaklı Arama, Genelleştirilmiş atama algoritması	Önce atama, sonra rotalama	Enk. Toplam Mesafe	Çözüm yok	Conference on Proc Sixth Triennial Sympos Transportation Anal	
Tarantilis ve Kiranoudis (2007)	ARP	-			✓							✓						Genelleştirilmiş rota kurulum algoritması	Eş zamanlı atama ve rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Atina, Yunanistan	European Journal of Operational Research	

Tablo 2.1: Literatürde süt toplama problemi konusunda yapılan çalışmaların karşılaştırmalı analizi (devam)

	Temel problem	Araç rotalama kısıtları										Uyumsuzluk kısıtları			Yükleme Kısıtları				Çözüm yöntemi	Çözüm yaklaşımı	Amaç fonksiyonu	Vaka	Dergi / Konferans
		Matematiksel model	Çoklu periyod	Çoklu depo	Farklı araç kapasitesi	Zaman penceresi	Zaman limiti	Bölünebilir talep	Sabit filo	Stokastik Talep	Stokastik Süre	Çoklu tank taşıma	Konum gereksinimi	Farklı süt tipleri	Tank doluluk oranı	Tank dolum sırası	Tanker girlik-yakıt ilişkisi						
Sankaran ve Ubgade (1994)	ARP	-				✓												Sezgisel kara kutu yaklaşımlar	Sadece rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Pradesh, Hindistan	Interfaces	
Rennie (1995)	ARP	-					✓											Tam teslim sezgiseli ve Greedy algoritması	Sadece rotalama	Enk. Toplam Mesafe	Kauri, Yeni Zelanda	Conference on OR Society	
Butler ve diğ. (1997)	GSP	TP	✓															Dal&Sınır	Sadece rotalama	Enk. Toplam Mesafe	Dublin, İrlanda	Computational Optimization and Applications	
Prasertsri ve Kilmer (2004)	GSP	-		✓		✓												Çoklu ekleme algoritması, Sıra ve rota gelişim algoritması	Sadece rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Florida, A.B.D.	Journal of Agribusiness	
Claassen ve Hendriks (2007)	ARP	KTD P	✓	✓														Special Ordered Sets-1 algoritması, Dal&Sınır	Sadece atama	Enk. Toplam Sapma	Hollanda	European Journal of Operational Research	
Hoff ve Løkketangen (2007)	KTR P	-		✓	✓								✓	✓				Yasaklı Arama, Genelleştirilmiş atama algoritması	Önce atama, sonra rotalama	Enk. Toplam Mesafe	Çözüm yok	Conference on Proc Sixth Triennial Sympos Transportation Anal	
Tarantilis ve Kiranoudis (2007)	ARP	-			✓													Genelleştirilmiş rota kurulum algoritması	Eş zamanlı atama ve rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Atina, Yunanistan	European Journal of Operational Research	

Tablo 2.1: Literatürde süt toplama problemi konusunda yapılan çalışmaların karşılaştırmalı analizi (devam)

	Temel problem	Araç rotalama kısıtları											Uyumsuzluk kısıtları			Yükleme Kısıtları			Çözüm yöntemi	Çözüm yaklaşımı	Amaç fonksiyonu	Vaka	Dergi / Konferans
		Matematiksel model	Çoklu periyod	Çoklu depo	Farklı araç kapasitesi	Zaman penceresi	Zaman limiti	Bölünebilir talep	Sabit filo	Stokastik Talep	Stokastik Süre	Çoklu tank taşıma	Konum gereksinimi	Farklı süt tipleri	Tank doluluk oranı	Tank dolum sırası	Tanker girilme-yakıt ilişkisi						
Caramia ve Guerriero (2010)	KTRP	DP			✓	✓		✓					✓	✓	✓				Matematiksel model tabanlı sezgisel	Önce atama, sonra rotalama	Enk. Toplam Mesafe ve Enk. Araç Sayısı	Calabria, İtalya	Interfaces
Pasha ve diğ. (2014)	KTRP	-	✓	✓	✓											✓			Yasaklı arama	Önce atama, sonra rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Møre, Norveç	Annals of Management Science
Vásquez ve Valencia (2014)	GSP	-						✓											Genetik algoritma	Sadece rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Barranquilla, Kolombiya	Sistemas & Telemática
Lahrichi ve diğ. (2015)	ARP	0-1 TP	✓	✓			✓												Birleştirilmiş yasaklı arama	Önce atama, sonra rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Quebec, Kanada	Journal of the Operational Research Society
Amiama ve diğ. (2015)	ARP	-			✓	✓							✓	✓					Tavlama benzetimi temelli karar destek	Önce rotalama, sonra atama	Enk. Toplam Maliyet	Galicia, İspanya	Transportation Letters
Dayarian ve diğ. (2015)	ARP	0-1 TP		✓	✓	✓													Sütun türetme yöntemi	Eş zamanlı atama ve rotalama	Enk. Toplam Mesafe	Rastsal, Küçük çaplı	European Journal of Operational Research
Masson ve diğ. (2016)	ARP	0-1 TP	✓	✓	✓		✓												Uyarlanmış geniş komşu arama yöntemi	Önce rotalama, sonra atama	Enk. Toplam Mesafe	Quebec, Kanada	European Journal of Operational Research
Sethanan ve Pitakaso (2016)	ARP	0-1 TP			✓	✓							✓						Modifiye edilmiş diferansiyel gelişim algoritması	Eş zamanlı atama ve rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Rastsal, Küçük çaplı	Computers and Electronics in Agriculture

Tablo 2.1: Literatürde süt toplama problemi konusunda yapılan çalışmaların karşılaştırmalı analizi (devam)

	Temel problem	Araç rotalama kısıtları										Uyumsuzluk kısıtları			Yükleme Kısıtları			Çözüm yöntemi	Çözüm yaklaşımı	Amaç fonksiyonu	Vaka	Dergi / Konferans
		Matematiksel model	Çoklu periyod	Çoklu depo	Farklı araç kapasitesi	Zaman penceresi	Zaman limiti	Bölünebilir talep	Sabit filo	Stokastik Talep	Stokastik Süre	Çoklu tank taşıma	Konum gereksinimi	Farklı süt tipleri	Tank doluluk oranı	Tank dolum sırası	Tanker girilme-yakıt ilişkisi					
Paredes-Belmar ve diğ. (2016)	ARP	KTD P		✓								✓						Dal&Kesme, Sıralı sezgisel algoritma	Önce küme, sonra eş zamanlı atama ve rotalama	Enb. Toplam Kar	Rastsal ve Şili	Transportation Research Part E
Paredes-Belmar ve diğ. (2017)	YRP	KTD P		✓							✓	✓						Dal&Kesme, Sıralı sezgisel algoritma	Önce küme, sonra eş zamanlı atama ve rotalama	Enb. Toplam Kar	Rastsal ve Şili	Computers and Electronics in Agriculture
Bansal ve diğ. (2017)	ARP	0-1 TP			✓			✓			✓							Karınca Kolonisi Optimizasyonu	Eş zamanlı atama ve rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Rastsal ve Haryana, Hindistan	Int. J. of Advanced Operations Management
Rothenbächer ve diğ. (2018)	KTR P	KTD P	✓		✓					✓								CPLEX, Sütun türetme yöntemi	Eş zamanlı atama ve rotalama	Enk. Toplam Değişken Maliyet	Rastsal ve Bavyera, Almanya	Transportation Science
Expósito ve diğ. (2018)	ARP	-	✓		✓													Grasp, Değişken Komşuluk Arama	Eş zamanlı atama ve rotalama	Enk. Toplam Süre	Rastsal	Int. Conference on Computer Aided Systems Theory
Chokanat ve diğ. (2019)	ARP	KTD P			✓					✓								Diferansiyel Gelişim Algoritması	Eş zamanlı atama ve rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Rastsal	AgriEngineering
Huang ve diğ. (2019)	ARP	0-1 TP			✓					✓								Python, Gurobi IP, Kazanç sezgiseli	Eş zamanlı atama ve rotalama	Enk. Toplam Süre	Endonezya	Transportation Research Part E
Bu Tez Çalışması	ARP	KTD P		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	CPLEX,	Eş zamanlı atama ve rotalama	Enk. Toplam Maliyet	Bölgesel, rastsal, literatür	Yöneylem araştırması, endüstri mühendisliği ve ulaştırma dergileri

3. SÜT TOPLAMA PROBLEMİ KISITLARI

Literatür taraması bölümünde STP problemi için daha önce yapılmış olan çalışmalarla ilgili bir sınıflandırılma yapılmıştır. Yapılan sınıflandırmada STP'nin farklı problem başlıkları altında ele alındığı vurgulanmıştır. Bu bölümde problemin doğası ile uyumlu olan kısıtlar tanımlanarak, STP hakkında genel bir tanımlama yapılmıştır.

Literatür taraması bölümünde detaylı olarak tanımlanan süt toplama probleminin kısıtları problemin doğası gereği araç rotalama kısıtları, uyumsuzluk kısıtları ve yükleme kısıtları olarak sınıflandırılabilir. Bu kapsamda süt toplama probleminin kısıtları şu şekildedir:

3.1 Araç rotalama kısıtları

Çoklu periyot kavramı; Çiftliklerin ele alınan dönemde farklı frekanslarla ziyaret edilebilmesini ifade etmektedir. Süt toplama işlemi, soğutucu tank kapasitesi düşük, mesafe olarak yakın olan süt toplama merkezlerinde sabah ve akşam olmak üzere günde iki kere yapılırken, mesafenin uzak olduğu noktalarda günde bir kere yapılmaktadır.

Çoklu depo kavramı; Süt toplama ağında birden fazla süt işleme tesisinin yer almasını ifade etmektedir. Farklı süt ürünleri üreten firmaların farklı kalitelere sütleri ihtiyacı olmaktadır. Bu nedenle rotalama işlemleri esnasında bu üreticilerin konumlarına göre ağ oluşturulmalıdır.

Farklı araç kapasitesi kavramı; Süt toplamada kullanılan tankerlerin heterojen olmasını tanımlamaktadır. Daha önce saha analizleri kısmında verildiği gibi süt toplama işlemi esnasında bölgenin özelliklerine ve toplayan kurumun ihtiyacına göre farklı tiplerde araçlar tercih edilmektedir.

Zaman penceresi kavramı; STP’de iki yapı da kullanılmaktadır ve servis sürelerini içeren zaman limiti, diğeri ise üreticilere hizmet verilecek merkezlerin açık olduğu hizmete başlama aralıklarını gösteren zaman penceresidir. Zaman pencereleri mevsim şartlarına göre değişen sağım saatleri ve soğutma işlemlerinin sürelerinden dolayı sütün toplama işlemlerinin zaman aralıkları değişmektedir. Dolayısı ile bir aracın süt toplama işlemine başlaması için sütün taşınmasına izin verilen soğukluğa ulaşması gerekmektedir.

Zaman limiti kavramı; Rotadaki ilk konumdan toplanan sütlerin mandıraya ulaştırılması için geçerli yol sürelerini ifade etmektedir. Uygulamada ayrıca rota süresinin toplam zaman limiti olan 10 saatin üstüne çıkması durumunda ise ikinci şoför maliyeti sisteme dahil edilmektedir. Bu süreler mevsim koşullarına ve gelişen araç soğutma teknolojilerine göre güncellenebilmektedir.

Bölünebilir talep kavramı; Çiftliklerde bir tank kapasitesinden fazla olan süt miktarlarının farklı ziyaretlerle toplanabilmesine izin verilmesi anlamında kullanılacaktır. Aynı zamanda süt toplama merkezlerine birden fazla ziyarete izin verilmesi için kullanılmaktadır.

Sabit filo kavramı; Süt toplama ağının ağın fabrikanın elinde bulunan araç filosu kullanarak tasarlanması için kullanılmaktadır. Ancak zaman ve kapasite kısıtları nedeniyle çözüm bulunamayan durumlarda iki farklı alternatif üzerinde durulmaktadır: birinci alternatif ücret karşılığı günlük araç ve şoför kiralınması, ikinci alternatif ise sadece karlılığı yüksek olan çiftliklerin ziyaret edilmesidir. Uygulamada üreticiler ile sezonluk anlaşmalar yapıldığından dolayı saha analizlerinde sezon başında araç kiralama opsiyonun kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle araç artışının yaşanmadığı, mevcut araçlarla rotalama yapıldığı görülmüştür.

3.2 Uyumsuzluk kısıtları

Konum gereksinimi kavramı; Kırsalda yer alan bazı çiftlikler coğrafi koşullar nedeniyle sadece küçük 10 tonluk tankerler tarafından ziyaret edilebilmektedir. 10 tonluk küçük tankerler bütün çiftlikleri ziyaret edebilirken, büyük 20 ton kapasiteli tankerler sadece yol koşullarının müsait olduğu çiftlikleri ziyaret edilebilmektedir. Bu kısıt araç boyutları ve merkezlerin izin verdiği en yüksek araç boyu üzerinden modellenmiştir.

Çoklu tank taşıma kavramı; Saha analizi yapılan firmalarda, yukarıda belirtildiği gibi farklı tip tankerler vardır ve bu tankerler farklı kapasitede tanklar taşımaktadır. Bir tankerin tüm tanklarına aynı tip süt yüklenebildiği gibi, farklı tanklarına farklı süt tipleri yüklenebilmektedir.

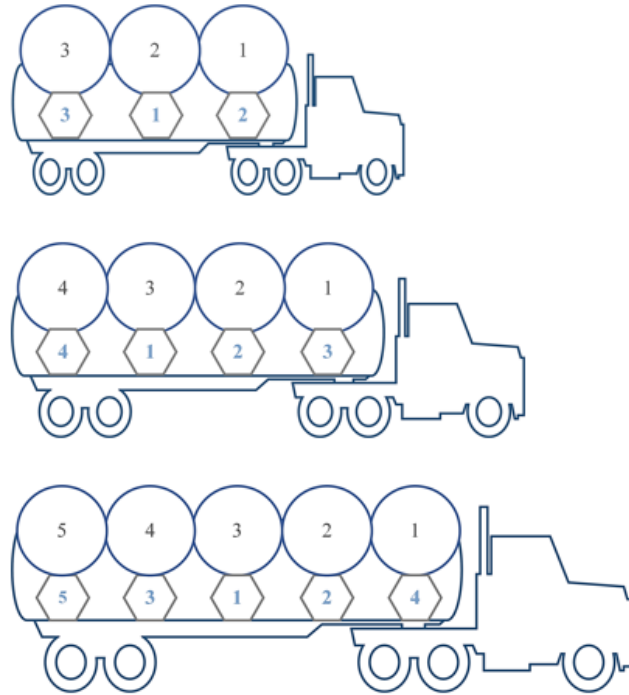
Farklı süt tipleri kavramı; Sütler kalitelerine göre karıştırılarak, 2, 3 veya 4 farklı tipte toplanabilmektedir. Kaç farklı tipte süt toplanacağı ise talebe göre belirlenmektedir. Hangi kaliteden ne kadar talep olduğu sisteme girilerek, sistemin bu talepleri karşılayacak en uygun çözümü bulması çalışılmaktadır. Bu çözüm sırasında gerekli durumlarda ise farklı kalitedeki sütleri karıştırarak toplanmasını sağlayacaktır. Örneğin 100 ton A kalite toplanabilecek süt arzının olması, 50 ton A kalite süt işleme talebinin olması durumunda, 50 ton A kalite olarak karıştırılmadan toplanacak, kalan 50 ton A kalite süt arzı ise bir alt kalite süt olan B kalite süt ile karıştırılarak toplanacaktır. Burada unutulmaması gereken nokta sütlerin karıştırılması durumunda, karışımın karışımdaki en alt kalite sütün kalitesine düşmesidir.

3.3 Yükleme kısıtları

Çiğ sütlerin tankerlere yüklenmesi ve tankerlerin hareketleri sırasında ortaya çıkan kısıtları tanımlamaktadır. Bu kısıtlardan tezde verilen modele uygulanan kısıtlar;

Tank doluluk oranı kavramı; Tankerlerin seyirleri sırasında tanklarda yer alan sütün belirli doluluk seviyelerinin altında veya üstünde olmasını ifade etmektedir. Sütün tank içinde aşırı derece çalkalanması durumunda tankerin sürüş güvenliği titreşim nedeni ile tehlikeye girebilmektedir, bu durum ayrıca çiğ süt içeriğinin istenmeyen şekilde ayrışmasına neden olmaktadır, benzer şekilde tankın tamamen dolu olması da sütün bozulma sürecini hızlandırabilmektedir. Bu nedenle herhangi bir tankın en fazla kapasitesinin %95'i kadar doldurulmasına izin verilecektir. Kalan %5'lik bölüm sütün bozulmadan taşınabilmesi ve sütün genleşebilmesi için boş bırakılacaktır. Herhangi bir tankın ilk yükleme doluluk oranı tank tipine bağlı olarak %10 ile %50 arasında değişkenlik göstermektedir.

Tank dolum sırası kavramı; Tankerlerde yer alan tankların doldurulma sırası seyir güvenliği bakımından büyük önem arz etmektedir. 4 tankın olduğu bir tankerde sürücüye en yakın tank, 1 olarak numaralandırılırken, en uzak, en arkada yer alan tank 4 olarak numaralandırılır. Bu durumda tankerin doldurulma sırası, sırasıyla 2, 3, 1 ve 4 numaralı tankerler şeklinde olacaktır. 5 tankın olduğu bir tanker için dolum sırası, sırasıyla 3, 2, 4, 1 ve 5 numaralı tankerler şeklinde olacaktır. Dolum sıralaması ile ilgili görsel Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Farklı sayıda tankları olan tankerlerin tank yükleme sıralaması

Tankerdeki tankların yükleme sırasına uygun olarak, sıradaki tank en az %50 dolmadan, bir sonraki tankın dolumuna başlanmamaktadır. Bu kuralın tek istisnası sıradaki çiftlikten yüklenecek farklı kalitedeki süt miktarının, yüklenecek tank kapasitesinin en az %50'si kadar olmasıdır. Aksi halde kapasitesi %50'nin altında olan tankın süt tipinden doluma devam edilmektedir. Tank doluluk oranı ve tank dolum sırası kısıtları birlikte problemin pratiğe uygun bir şekilde çözülmesi bakımından oldukça önemlidir.

Tanker ağırlık-yakıt ilişkisi kavramı; Tanker ağırlığının yakıt tüketim değerlerine etkisi Bölüm 4.3'te verilen geliştirilmiş modele dahil edilmiştir. Toplanan sütlerin belirli bir sürede fabrikaya getirilmesi zorunlu olduğundan dolayı süt toplama işlemi genellikle en uzaktaki çiftlikten başlamaktadır. Tankerler en uzak çiftliğe giderken boş araç yükü doğrultusunda yakıt tüketmekte, çiftliklere uğrayıp süt topladıkça yakıt tüketimleri artmaktadır.

Tez kapsamında tanker hızları sabit kabul edilmiş olup, tanker ağırlığı doğrultusunda yakıt tüketimi etkisi dikkate alınmıştır. Xiao ve diğ. (2012) tarafından geliştirilen yakıt tüketim formülasyonu kullanılmıştır. İlgili makalede yazarlar önerdikleri formülasyonlarında aracın boş ve tam dolu olması durumundaki yakıt tüketim değerlerini tespit etmekte, ara noktadaki yakıt tüketim değerlerini ise boş ve dolu değerler doğrultusunda doğrusal olduğunu varsayarak hesaplamaktadırlar. STP için uyarlanmış formülasyonda p_i^0 i . tankerin boş yakıt tüketimi, p_i^* i . tankerin tam dolu olması durumundaki yakıt tüketimi ve c_{ik} konu ve kapsam bölümünde de verilen i . tankerin k . tankının kapasitesi olmak üzere i . tankerin herhangi bir yük altındaki yakıt miktarının belirlenmesi için 'de yer alan α_i yakıt tüketim katsayısı hesaplanabilir.

$$\alpha_i = \frac{p_i^* - p_i^0}{\sum_{k \in K_i} c_{ik}} \quad \forall i \in I \quad (17)$$

Bu formülasyonun modele eklenmesi ile amaç fonksiyonu maliyet minimizasyonu olarak güncellenmelidir. İlgili formülasyonun dahil edilmesi ile güncellenen amaç fonksiyonunda $w_{iss'}$ yine çiftlik s ve s' arasındaki bağlantının i . araç tarafından kullanılıp kullanılmadığını ifade ederken, c^0 birim yakıt ücretini, $t_{ss'}$ çiftlik s ve s' arasındaki ulaşım süresini ve $e_{iss'k}$ i . tankerin çiftlik s ve s' arasında seyahat ederken k tipinden taşıdığı toplam süt miktarını ifade etmektedir.

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{s' \in S} c^0 t_{ss'} \left(p^0 w_{iss'} + \sum_{k \in K_i} \alpha_i e_{iss'k} \right) \quad (18)$$

Bölüm 4.3'te verilen geliştirilmiş modelde uygulanan formülasyonda aracın boş ve tam dolu olması durumundaki yakıt tüketim değerlerini tespit edilip, ara noktadaki yakıt tüketim değerlerinin ise boş ve dolu değerler doğrultusunda doğrusal olduğunu varsayılarak hesaplanmıştır.

Tez kapsamında hazırlanan bütünleşik modelle literatürde ilk kez olan, STP'nin doğasını önemli ölçüde etkileyen ARP kısıtları, uyumsuzluk kısıtları ve yükleme kısıtları birlikte dikkate alınmıştır. Literatürde, yaygın olarak yer alan ARP kısıtlarının yanı sıra tanker ve tank kapasiteleri, farklı tiplerdeki sütlerin ayrı ayrı toplanması ve çiftlik/süt toplama merkezlerin coğrafi koşullarına uygun tankerlerin atamasının yapılması gibi uyumsuzluk kısıtları, tank doluluk oranı, tank dolum sırası ve tanker ağırlık-yakıt ilişkisi gibi problemin doğasında yer alan kritik yükleme kısıtları, mevcut literatürdeki matematiksel modellerde tanımlanmamış durumdadır. Bu tez kapsamında problemin doğasına özgü olarak tanımlanan kısıtlar birlikte kullanılarak bütünleşik model oluşturulmuştur.

4. MATEMATİKSEL MODEL

Süt toplama problemini bütünleşik bir model olarak tasarlayabilmek için ilk olarak temel model (Model 1) tasarlanmıştır. Tasarlanan Model 1 süt toplama problemi kısıtlarından araç rotalama problemi kısıtları ve uyumsuzluk kısıtlarının bir kısmını içermektedir.

Hazırlanan ilk modelin ardından problemi derinlemesine ele alabilmek için model yapısında değişikliğe gidilerek tankerlerin tanklarına müdahale edebilen karar değişkenleri yeni modele dahil edilmiştir (Model 2). Bu karar değişkenlerinin modele dahil edilmesi ile modelde tankların yüklemelerine doğrudan ulaşılmaktadır.

Tankların yüklemelerine doğrudan ulaşılması ile geliştirilmiş model ortaya koyulmuştur (Model 3). Model 3'te problem tanımları kısmında verilen araç rotalama kısıtları, uyumsuzluk kısıtları ve yükleme kısıtları dahil edilmiş durumdadır.

Modeller tarafından sağlanan kısıtların özet bilgisi Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Kısıt özet tablosu

Kısıt	Model	Model	Model	
	1	2	3	
ARP Kısıtları	Çoklu Periyod Kavramı			
	Çoklu Depo Kavramı			
	Farklı Araç Kapasitesi Kavramı	✓	✓	✓
	Zaman Penceresi Kavramı			✓
	Zaman Limiti	✓	✓	✓
	Bölünebilir Talep Kavramı	✓*	✓	✓
	Sabit Filo Kavramı	✓	✓	✓
Uyumsuzluk Kısıtları	Konum Gereksinimi Kavramı		✓	
	Çoklu Tank Taşıma Kavramı	✓	✓	✓
	Farklı Süt Tipleri Kavramı	✓	✓	✓
Yükleme Kısıtları	Tank Doluluk Oranı Kavramı		✓	✓
	Tank Dolum Sırası Kavramı			✓
	Tanker Ağırlık-Yakıt İlişkisi kavramı			✓

* Model 1 talebi tanker bazında bölmektedir.

4.1 Temel Matematiksel Model (Model 1)

Temel matematiksel model (Model 1), süt toplama probleminin doğasında yer alan kısıtlardan araç rotalama ve yükleme kısıtlarını aşağıda verilen varsayımlar altında içermektedir. Bölünebilir talepli oluşturulan Model 1’de talepler tankerler bazında bölünebilir tasarlanmıştır. Oluşturulan bu model ile farklı süt tipleri içeren üreticilerin sütleri, belirlenen zaman limiti altında birbirine karıştırılmadan mümkün olan en kısa rota kullanılarak toplanabilmekte, yapılan toplama işlemi esnasında üretimi fazla olan üreticilerin ürünleri farklı tankerler tarafından toplanabilmektedir. Bu tasarım Model 1’in tankerlere yaptığı yüklemeyi belirlerken, tankerlerin üstünde tanklara yapılan yüklemenin ayrı ayrı belirsiz olmasına neden olmaktadır. Oluşturulan Model 1’in varsayımları şu şekildedir;

Her bir noktadan;

- Toplanacak çiğ süt miktarı belirli ve sabittir.
- Anlaşmalı olunan her çiftliğin/toplama merkezinin ürettiği tüm farklı tiplerdeki sütler toplanmalıdır.
- Çiğ sütler tiplerine göre ayrılarak, ideal sıcaklık koşullarında toplamaya hazır halde bekletilmektedir.
- Bir üreticide her tip süt bulunması mümkündür.
- Farklı tiplerdeki sütler birbirleri ile karıştırılmamalıdır.
- Farklı üreticilerden alınan aynı tip çiğ sütlerin karıştırılmasına izin verilmektedir.
- Tankerlere ve tanklara atanan toplam süt miktarları ilgili kapasiteyi aşmamalıdır.
- Tüm tankerler tüm konumları ziyaret edebilir.
- Her tanker rotasına üretim merkezinden başlar ve rotasını burada bitirir.
- Bir tanker bir konumu sadece bir kere ziyaret edebilir. Ancak aynı konum farklı tankerler tarafından ziyaret edilebilir.
- Çiğ süt toplama işlemi belirlenen süre zarfında tamamlanmak zorundadır.
- Servis süreleri talebin bölünebilirliğinde bağımsız sabit alınmıştır.
- Zaman penceresi dikkate alınmamıştır.
- Tanker ağırlık-yük ilişkisi dikkate alınmamıştır.
- Tanker tank yüklemesi dikkate alınmamıştır.
- Tank minimum ve maksimum yükleme kısıtları dahil edilmemiştir.

Model 1'e ilişkin notasyonlar, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda sırası ile verilmiştir.

İndisler

$i, j \in N$	Düğüm Seti (0: Üretim Merkezi, 1, ..., N : Üretici (Çiftlikler/ Süt Toplama Merkezleri))
$k \in K$	Araç Seti (Tankerler)
$l \in L$	Araç Bölümleri Seti (Tanklar)
$m \in M$	Çiğ süt tipleri

Parametreler

a_{ij}	Düğüm arası mesafe
Q_{kl}	k tankerinin l tankının kapasitesi
d_{im}	i . üreticide bulunan m tipi çığ süt miktarı
s_i	i . üreticide yapılacak süt alım işlemi için harcanacak süre
V	Tankerlerin ortalama hızı
T	Sütün taşınmasında kullanılabilir en fazla süre

Karar Değişkenleri

x_{ijk}	1: Eğer i . düğümden j . düğüme gidiliyorsa 0:dd
z_k	1: Eğer tanker k ağda kullanılırsa; 0: dd
w_{klm}	1: Eğer tanker k da bulunan tank l ' ye m tipi çığ süt tipi atanırsa; 0: dd
y_{ik}	1: Eğer i . düğüm k . tank tarafından ziyaret edilirse 0:dd
f_{ik}	i . düğümden k . araca yapılan yükleme oranı

Yukarıda verilen notasyonlar doğrultusunda Karma Tamsayılı Doğrusal Model olarak tasarlanan, çok tanklı bölünebilir talepli farklı ürün tipleri içeren matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$\text{minimize } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} a_{ij} x_{ijk} \quad (19)$$

k.a.

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} x_{ijk} \geq 1 \quad \forall j \in N/\{0\} \quad (20)$$

$$\sum_{j \in N/\{0\}} x_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (21)$$

$$\sum_{i \in N/\{0\}} x_{i0k} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (22)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq |N| z_k \quad \forall k \in K \quad (23)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ijk} \geq z_k \quad \forall k \in K \quad (24)$$

$$\sum_{m \in M} w_{klm} \leq z_k \quad \forall k \in K, l \in L \quad (25)$$

$$f_{jk} \leq \sum_{i \in N} x_{ijk} \quad \forall j \in N/\{0\}, k \in K \quad (26)$$

$$\sum_{k \in K} f_{ik} = 1 \quad \forall i \in N/\{0\} \quad (27)$$

$$\sum_{i \in N/\{0\}} d_{im} f_{jk} \leq \sum_{l \in L} Q_{kl} w_{klm} \quad \forall k \in K, m \in M \quad (28)$$

$$\sum_{i \in N/\{0\}} \sum_{j \in N} (a_{ij} x_{ijk})/V + \sum_{i \in N/\{0\}} \sum_{j \in N} s_i x_{ijk} \leq T \quad \forall k \in K \quad (29)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} + \sum_{j \in N} x_{jik} = 2y_{ik} \quad \forall i \in N, k \in K \quad (30)$$

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z, i < j} x_{ijk} \leq \sum_{i \in Z} y_{ik} - y_{zk} \quad Z \subseteq N \setminus \{0\}, z \in Z, k \in K \quad (31)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} x_{iik} = 0 \quad (32)$$

$$f_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in K \quad (33)$$

$$x_{ijk}, y_k, w_{klm} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, k \in K, l \in L, m \in M \quad (34)$$

Amaç fonksiyonu toplam kat edilen mesafeyi en küçükmeye çalışmaktadır. (20) numaralı kısıt her noktanın en az bir kez ziyaret edilmesini sağlar. (21) ve (22) numaralı kısıtlar rotanın depodan başlayıp depoda bitmesini sağlamaktadır. (23) ve (24) numaralı kısıt tankeri kullanımda olduğu süre boyunca hizmet etmesini sağlamaktadır. (25) numaralı kısıt bir tanka yalnızca bir tip çiğ süt yüklenilmesine izin verir. (26) ve (27) numaralı kısıtlar bir noktanın birden fazla kez ziyaret edilerek talebinin karşılanmasını mümkün kılar. Her bir ziyarette belirli bir miktar talep toplanır. Kısıt (28) toplanan çiğ süt miktarının atanan tankın kapasitesini geçmemesini sağlar. Kısıt (29) çiğ sütün taşınabileceği maksimum sürenin altında üretim merkezine ulaşmasını sağlar. (30) numaralı kısıt düğümler arası akışı, kısıt (31) alt tur eliminasyonunu sağlamaktadır. Kısıt (32) modeli hızlandırmak için yazılmıştır. (33) ve (34) numaralı kısıtlar değişkenlerin doğasını tanımlamaktadır.

4.2 Tank Bazında Bölünebilir Talepli Matematiksel Model (Model 2)

Temel matematiksel modelde gerçekleştirilemeyen üreticilerin taleplerinin tankerler bazında yapılabilmesine izin vermek için modelde temel bir değişikliğe gidilerek karar değişkenleri revize edilmiş çok tanklı bölünebilir talepli matematiksel model ortaya koyulmuştur. Bu kapsamda Lahyani ve diğ. (2015^a)'nin zeytinyağı toplama problemi için ve Coelho ve Laporte (2015)'nin yakıt dağıtım problemi için geliştirdiği ÇKARP modellerinden faydalanılmıştır. Model üreticilerin taleplerini bölerken tank bazında bölümlenme yaptığı için modelin çalışması kolaylaştırılmıştır. Bölünebilir taleplerin tanklar bazında takibini yapabilen Model 2'de süt toplama probleminin doğasında bulunan araç rotalama kısıtlarının tamamı uyumsuzluk ve yükleme kısıtlarının bir kısmı sağlanmaktadır. Oluşturulan Model 2'nin varsayımları şu şekildedir;

Her bir noktadan

- Toplanacak çiğ süt miktarı belirli ve sabittir.
- Anlaşmalı olunan her çiftliğin/toplama merkezinin ürettiği tüm farklı tiplerdeki sütler toplanmalıdır.
- Çiğ sütler tiplerine göre ayrılarak ideal sıcaklık koşullarında toplamaya hazır halde bekletilmektedir.
- Bir üreticide her tip süt bulunması mümkündür.

- Farklı tiplerdeki sütler birbirleri ile karıştırılmamalıdır.
- Farklı üreticilerden alınan aynı tip çiğ sütlerin karıştırılmasına izin verilmektedir.
- Tankerlere ve tanklara atanan toplam süt miktarları ilgili kapasiteyi aşmamalıdır.
- Tüm tankerler tüm konumları ziyaret edebilir.
- Her tanker rotasına üretim merkezinden başlar ve rotasını burada bitirir.
- Bir tanker bir konumu sadece bir kere ziyaret edebilir. Ancak aynı konum farklı tankerler tarafından ziyaret edilebilir.
- Çiğ süt toplama işlemi belirlenen süre zarfında tamamlanmak zorundadır.
- Zaman penceresi dikkate alınmamıştır.
- Servis süreleri talebin bölünebilirliğinden bağımsız sabit alınmıştır.
- Tanker ağırlık yük ilişkisi dikkate alınmamıştır.
- Tanker tank yüklemesi dikkate alınmamıştır.
- Tank minimum ve maksimum yükleme kısıtları dahil edilmemiştir.

Çoklu tanklı tankerlerle yapılacak olan bölünebilir talepli araç rotalama probleminde $G=(N, A)$ yönlü bir serim olsun Burada N düğüm kümesi ($N=\{0, \dots, n\}$) ve A ayrıt kümesidir. Ayrıt kümesinin gösterimi $A=\{(i,j):i \in N, j \in N \setminus \{0\}, i \neq j\}$ şeklinde ve problemin diğer notasyonları verildiği gibidir.

İndisler

$i, j \in N$	Düğüm Seti (0: Üretim merkezi, 1, ..., N : Üretici (Çiftlikler / Süt Toplama Merkezleri))
$k \in K$	Araç Seti (Tankerler)
$l \in L$	Araç Bölümleri Seti (Tanklar)
$m, h \in M$	Çiğ süt tipleri

Parametreler

a_{ij}	Düğümler arası mesafe
Q_{kl}	k tankerinin l tankının kapasitesi
d_{im}	i . üreticide bulunan m tipi çiğ süt miktarı
s_i	i . üreticide yapılacak süt alım işlemi için harcanacak süre
V	Tankerlerin Ortalama Hızı
T	Sütün taşınmasında kullanılabilecek en fazla süre
P	Çok büyük bir sayı

Karar Değişkenleri

x_{ijk}	1: Eğer i . düğümden j . düğüme gidiliyorsa 0:dd
-----------	--

w_{klm}	1: Eğer k . tankın l . tankerine m tipi çiğ süt yüklenirse 0:dd
z_{iklm}	1: Eğer i . düğümdeki m tipi çiğ süt k . tankın l . tankerine yüklenirse 0:dd
y_{ik}	1: Eğer i . düğüm k . tank tarafından ziyaret edilirse 0:dd
b_{im}	1: Eğer i . Düğümde ki m tipi süt atanırsa 0:dd
f_{iklm}	i . üreticiden alınarak k . tankerin l . tankına yüklenen m tipi çiğ süt oranı

Yukarıda verilen notasyonlar doğrultusunda Karma Tamsayılı Doğrusal Model tasarlanan çok tanklı tank bazında bölünebilir talepli farklı ürün tipleri içeren matematiksel model verilmiştir.

$$\text{minimize } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} a_{ij} x_{ijk} \quad (35)$$

k.a.

$$z_{iklm} \leq y_{ik} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K, \quad (36)$$

$$l \in L, m \in M$$

$$z_{iklm} \leq w_{klm} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K, \quad (37)$$

$$l \in L, m \in M$$

$$w_{klm} \leq \sum_{i \in N \setminus \{0\}} z_{iklm} \quad k \in K, l \in L, m \in M \quad (38)$$

$$\sum_{m \in M} w_{klm} \leq 1 \quad k \in K, l \in L \quad (39)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} + \sum_{j \in N} x_{jik} = 2y_{ik} \quad \forall i \in N, k \in K \quad (40)$$

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z, i < j} x_{ijk} \leq \sum_{i \in Z} y_{ik} - y_{zk} \quad Z \subseteq N \setminus \{0\}, z \in Z, k \in K \quad (41)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{jik} \leq y_{ik} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (42)$$

$$x_{i0k} \leq 2y_{ik} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (43)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} z_{iklm} \leq 0 \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, m \in M: D_{im} = 0 \quad (44)$$

$$y_{ik} \leq y_{0k} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (45)$$

$$y_{ik} \leq \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} z_{iklm} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (46)$$

$$y_{ik} \leq \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} w_{klm} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (47)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{0\}} y_{ik} \leq \sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} z_{iklm} \quad k \in K \quad (48)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} x_{iik} = 0 \quad (49)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} f_{iklm} = b_{im} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, m \in M \quad (50)$$

$$b_{im} P \geq d_{im} \quad \forall i \in N, m \in M \quad (51)$$

$$b_{im} \leq d_{im} \quad \forall i \in N, m \in M \quad (52)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{m \in M} d_{im} f_{iklm} \leq Q_{kl} \quad k \in K, l \in L \quad (53)$$

$$z_{iklm} \geq f_{iklm} \quad \forall i \in N, k \in K, l \in L, m \in M \quad (54)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{j \in N} (a_{ij} x_{ijk})/V + \sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{j \in N} s_i x_{ijk} \leq T \quad k \in K \quad (55)$$

$$f_{iklm} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, m \in M, \quad k \in K, l \in L \quad (56)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (57)$$

$$w_{klm}, z_{iklm}, y_{ik}, b_{im} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, k \in K, m \in M \quad (58)$$

Amaç fonksiyonun (35) hedefi toplam yolu en küçüklemektir. Ancak k. tanker i. üreticiyi ziyaret ederse, i. üreticinin ürettiği m tipi süt k. tankerin l. tankına yüklenebilir şartı kısıt (36) ile, k. tankerin l. tankına m tipi süt atanırsa, i. üreticinin ürettiği m tipi ürün ilgili araca yüklenir şartı kısıt (37) ile sağlanmaktadır. Kısıt (38) eğer k aracının l tankına m tipi süt atanması yapılırsa, üreticilerin m tipi sütlerinin bu tanka yüklenebilmesini, kısıt (39) bir tanka birden fazla tip süt atanmamasını sağlamaktadır. Kısıt (40) ve (41) akışlar arası dengeyi ve alt tur eliminasyonunu sağlamaktadır. (42) ve (43) numaralı kısıtlar akışı sağlamaktadır. Kısıt (44) bir üreticinin üretimi yoksa atama yapılmamasını sağlar.

Kısıt (45) tankerlerin ziyaretlerini tamamladıktan sonra depoya dönmelerini sağlamaktadır. Kısıt (46) ve (47) i. Üreticinin k. tanker tarafından ziyaret edilmesi halinde, ilgili aracın l. tankına m tipi çiğ süt atanmasını ve yüklenmesini sağlamaktadır. (48) numaralı k aracına yapılan şehir atamaları bu aracın tanklarına yapılan atamalar arasında ilişki kurmayı sağlamaktadır. Kısıt (49) düğümlerin kendi içinde atanmasını engelleyerek modeli hızlandırmaktadır.

Kısıt (50), (51) ve (52) talebin bölünebilirliğini sağlamaktadır. Kısıt (53) tankere yapılan yüklemenin kapasiteyi geçmesini engellerken, kısıt (54) bölünen taleple yapılan atamalar arasındaki ilişkiyi kurmaktadır. Sütün belirlenen zaman limiti altında üretim merkezine ulaştırılması kısıtı (55) numaralı kısıt ile sağlanmaktadır. (56), (57) ve (58) numaralı kısıtlar değişkenlerin doğası gereği kullanılan kısıtlardır.

Modelde verilen kısıtlardan (36) ile (39) numaralı kısıtlar arasında bulunanlar düğümlerin atanmasını sağlayan kısıtlardır. (40) ve (41) numaralı kısıtlar akış ve alttur eliminasyon kısıtlarıdır.

Modelin akış dengelerinin sağlanması için modele (42) ile (48) arasındaki kısıtlar eklenmiştir. Talebin bölünebilirliğini ve kapasite aşılması şartları kısıt (50) ile (54) arasındaki kısıtlar tarafından sağlanır.

4.3 Geliştirilmiş Matematiksel Model (Model 3)

Çok tanklı bölünebilir talepli matematiksel modelde problem tanımları kısmında verilen araç rotalama kısıtları ve uyumsuzluk kısıtlarının belirli kısımları tanımlanmışken yükleme kısıtları uygulanmamıştır.

Geliştirilmiş modelde eksik kalan araç rotalama ve uyumsuzluk kısıtları ile birlikte yükleme kısıtları da modele dâhil edilerek tez önerisinde verilen bütünleşik matematiksel model ortaya koyulmuştur. Oluşturulan Model 3'ün varsayımları şu şekildedir;

Her bir noktadan;

- Toplanacak çiğ süt miktarı belirli ve sabittir.
- Anlaşmalı olunan her çiftliğin/toplama merkezinin ürettiği tüm farklı tiplerdeki sütler toplanmalıdır.
- Çiğ sütler tiplerine göre ayrılarak ideal sıcaklık koşullarında toplamaya hazır halde bekletilmektedir.
- Bir üreticide her tip süt bulunması mümkündür.
- Farklı tiplerdeki sütler birbirleri ile karıştırılmamalıdır.
- Farklı üreticilerden alınan aynı tip çiğ sütlerin karıştırılmasına izin verilmektedir.
- Tankerlere ve tanklara atanan toplam süt miktarları ilgili kapasiteyi aşmamalıdır.
- Her tanker rotasına üretim merkezinden başlar ve rotasını burada bitirir.
- Bir tanker bir konumu sadece bir kere ziyaret edebilir. Ancak aynı konum farklı tanker tarafından ziyaret edilebilir.
- Çiğ süt toplama işlemi belirlenen süre zarfında tamamlanmak zorundadır.
- Servis süreleri talebin bölünebilirliğinden bağımsız sabit alınmıştır.

Çoklu tanklı araçlarla yapılacak olan bölünebilir talepli araç rotalama probleminde $(G = (N, A))$ yönlü bir serim olsun Burada N düğüm kümesi $(N = \{0, \dots, n\})$ ve A ayrıt kümesidir. Ayrıt kümesinin gösterimi $A = \{(i, j): i \in N, j \in N \setminus \{0\}, i \neq j\}$ şeklinde ve problemin diğer notasyonları aşağıda yer almaktadır.

İndisler

$i, j \in N$ Düğümler Seti (0: Üretim merkezi, 1,..., N : Üretici (Çiftlikler / Süt Toplama Merkezleri))

$k \in K$ Araç Seti (Tankerler)

$l \in L$ Araç Bölümleri Seti (Tanklar)

$m, h \in M$ Ürün Tipleri

$o \in O$ Tank Yükleme Sıralaması

Parametreler

a_{ij} Düşümler arası mesafe

Q_{kl} k tankinin l tankının kapasitesi

d_{im} i . üreticide bulunan m tipi çiğ süt miktarı

s_i i . üreticide yapılacak süt alım işlemi için belirlenen servis süresi

E_i i . üreticiye yapılacak en erken ziyaret

G_i i . üreticiye yapılacak en geç ziyaret

T Sütün taşınmasında kullanılabilen en fazla süre

TB_k k aracının boyutu

UB_i i . üreticiyi ziyaret edebilecek maksimum tanker boyutu

T_{kl}^{min} Tankların minimum dolum oranları

T_{kl}^{max} Tankların en fazla dolum oranı

YS_{kl} Tankların yükleme sıralaması

σ_k Tanker kullanım maliyeti

γ_k Birim yakıt maliyeti

α_k Yakıt tüketim katsayısı

η_k^d Tankerlerin dolu yakıt tüketim miktarı

η_k^b Tankerlerin boş yakıt tüketim miktarı

V Tankerlerin ortalama hızı

P Çok büyük bir sayı

Karar Değişkenleri

x_{ijk} 1: Eğer i . düğümden j . düğüme gidiliyorsa 0:dd

w_{klm} 1: Eğer k . tankın l . tankine m tipi çiğ süt yüklenirse 0:dd

z_{iklm} 1: Eğer i . düğümdeki m tipi çiğ süt k . tankın l . tankine yüklenirse 0:dd

y_{ik} 1: Eğer i . düğüm k . tank tarafından ziyaret edilirse 0:dd

b_{im} 1: Eğer i . düğümdeki m tipi süt atanırsa 0:dd

f_{iklm} i . üreticiden alınarak k . tankinin l . tankına yüklenen m tipi çiğ süt oranı

Ym_{ikl} i . üreticiden k . tankinin l . tankına yüklenen yük miktarı

Tm_{ikl}	i . üreticide bulunan k . tankerin l . tankının taşıdığı yük miktarı
Tmm_{ikl}^-	Toplam miktarın eksiği ceza değişkeni
Tmm_{ikl}^+	Toplam miktarın fazlası ceza değişkeni
TYM_{ijk}	i . Düğümünden j . düğüme geçerken k aracında ki toplam yük miktarı
h_{ik}	k . aracın i . düğüme hizmet vermeye başladığı an.
p_{klo}	1: Eğer k aracının l bölümüne yükleme işlemi o . sırada yapılırsa 0:dd
Tms_{ikl}^-	Belirlenen sıranın sonrası ceza değişkeni
Tms_{ikl}^+	Belirlenen sıranın öncesi ceza değişkeni

Geliştirilmiş matematiksel modelde, eklenen yeni kısıtlarla birlikte amaç fonksiyonu güncellenerek maliyet minimizasyonu haline getirilmiştir. Sadece en kısa yolu bulmak gerçek hayat için yeterli olmayacaktır. Bu yol üzerinde taşınan yük miktarının oluşturduğu maliyeti de minimize etmek gerekmektedir. Bu nedenle süt toplama probleminin kısıtlarından yükleme kısıtlarının tanıtıldığı Bölüm 4.3'te verilen Xiao ve diğ. (2012) tarafından geliştirilen formül bu modele uygulanmıştır.

Formülün bu modele uygulanmış olan hali şu şekildedir;

Tankerlerin yakıt tüketim katsayılarının hesaplanması için kullanılan formül (59) nolu denklemde verilmiştir.

$$\alpha_k = \frac{\eta_k^d - \eta_k^b}{\sum_{l \in L} Q_{kl}} \quad \forall k \in K \quad (59)$$

Her bir tanker için yakıt tüketim katsayısı hesaplandıktan sonra amaç fonksiyonunda yapılan güncelleme (60) nolu denklemde verilmiştir.

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} \gamma_k \frac{a_{ij}}{V} (\eta_k^b x_{ijk} + \alpha_k TYM_{ijk}) \quad (60)$$

Yukarıda verilen notasyonlar doğrultusunda Karma Tamsayı Doğrusal Model olarak tasarlanan geliştirilmiş model süt toplama probleminin doğasında bulunan araç rotalama kısıtlarını, yükleme ve uyumsuzluk kısıtlarını içermektedir.

Geliştirilmiş çok tanklı, farklı süt tiplerini içeren yükleme sıralaması konum gereksinimi koşullarını belirlenen zaman penceresinde tamamlayan model verilmiştir. Geliştirilmiş Model (Model 3)'te minimum dolum olarak sahadaki bilgiler doğrultusunda tank dolum oranı kısıtı ve sıralı yükleme kısıtı modellenmiştir. Belirtilen minimum yüklemenin bozulması durumunda ve aynı şekilde belirtilen sıranın bozulması durumunda çözüm belirli bir katsayı ile cezalandırılmıştır.

$$\begin{aligned} \text{minimize } Z = & \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} \gamma_k \frac{a_{ij}}{V} (\eta_k^b x_{ijk} + \alpha_k TYM_{ijk}) + \sum_{k \in K} \sigma_k Y_{0k} \\ & + \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} Tms_{ikl} P + \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} Tmm_{ikl} P \end{aligned} \quad (61)$$

k.a.

$$z_{iklm} \leq y_{ik} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K, \quad (62)$$

$$l \in L, m \in M$$

$$z_{iklm} \leq w_{klm} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K, \quad (63)$$

$$l \in L, m \in M$$

$$w_{klm} \leq \sum_{i \in N/\{0\}} z_{iklm} \quad k \in K, l \in L, m \in M \quad (64)$$

$$\sum_{m \in M} w_{klm} \leq 1 \quad k \in K, l \in L \quad (65)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} + \sum_{j \in N} x_{jik} = 2y_{ik} \quad \forall i \in N, k \in K \quad (66)$$

$$\sum_{i \in Z} \sum_{j \in Z, i < j} x_{ijk} \leq \sum_{i \in Z} y_{ik} - y_{zk} \quad Z \subseteq N \setminus \{0\}, z \in Z, k \in K \quad (67)$$

$$\sum_{j \in N} x_{jik} \leq y_{ik} \quad \forall i \in N, k \in K \quad (68)$$

$$x_{i0k} \leq y_{ik} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (69)$$

$$x_{ijk} \leq y_{ik} \quad \forall i, j \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (70)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} z_{iklm} \leq 0 \quad \forall i \in N/\{0\}, m \in M: D_{im} = 0 \quad (71)$$

$$\sum_{m \in M} w_{klm} = 0 \quad k \in K, l \in L: Q_{kl} = 0 \quad (72)$$

$$\sum_{m \in M} z_{iklm} = 0 \quad \forall i \in N, k \in K, l \in L: Q_{kl} = 0 \quad (73)$$

$$y_{ik} \leq y_{0k} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (74)$$

$$y_{ik} \leq \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} z_{iklm} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (75)$$

$$y_{ik} \leq \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} w_{klm} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (76)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{0\}} y_{ik} \leq \sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} z_{iklm} \quad k \in K \quad (77)$$

$$x_{iik} = 0 \quad \forall i \in N, k \in K \quad (78)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} f_{iklm} = b_{im} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, m \in M \quad (79)$$

$$b_{im} P \geq d_{im} \quad \forall i \in N, m \in M \quad (80)$$

$$b_{im} \leq d_{im} \quad \forall i \in N, m \in M \quad (81)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{0\}} d_{im} f_{iklm} \leq Q_{kl} T_{kl}^{max} \quad k \in K, l \in L, m \in M \quad (82)$$

$$z_{iklm} \geq f_{iklm} \quad \forall i \in N, k \in K, l \in L, m \in M \quad (83)$$

$$z_{iklm} \leq f_{iklm} P \quad \forall i \in N, k \in K, l \in L, m \in M \quad (84)$$

$$Ym_{ikl} = \sum_m d_{im} f_{iklm} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K, l \in L \quad (85)$$

$$Tm_{ikl} \geq Ym_{ikl} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K, l \in L \quad (86)$$

$$Tm_{ikl} + Ym_{jkl} - P(1 - x_{ijk}) \leq Tm_{jkl} \quad \forall i \in N, \forall j \in N \setminus \{0\}, k \in K, l \in L \quad (87)$$

$$Tm_{ikl} + Ym_{jkl} + P(1 - x_{ijk}) \geq Tm_{jkl} \quad \forall i \in N, \forall j \in N \setminus \{0\}, k \in K, l \in L \quad (88)$$

$$Tm_{ikl} - Tmm_{ikl}^+ + Tmm_{ikl}^- = \sum_m z_{iklm} Q_{kl} T_{kl}^{min} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K, l \in L \quad (89)$$

$$\sum_m z_{iklm} P \geq Tm_{ikl} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K, l \in L \quad (90)$$

$$Tm_{ikl} = 0 \quad i = 0, k \in K, l \in L \quad (91)$$

$$\sum_o p_{klo} = \sum_{m \in M} w_{klm} \quad k \in K, l \in L \quad (92)$$

$$\sum_l p_{klo} \leq 1 \quad k \in K, o \in O \quad (93)$$

$$\sum_o o * p_{klo} \geq YS_{kl} \sum_{m \in M} w_{klm} \quad k \in K, l \in L \quad (94)$$

$$Tm_{ikl} - Tms_{ikl}^+ + Tms_{ikl}^- = Tm_{ikl+1} \quad \forall i \in N, k \in K, l \in 1 \dots L - 1, \quad (95)$$

$$TYM_{ijk} \leq x_{ijk}P \quad \forall i \in N, \forall j \in N, k \in K \quad (96)$$

$$\sum_{i \in N, i \neq j} TYM_{ijk} = \sum_l Tm_{jkl} \quad \forall j \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (97)$$

$$y_{ik} * TB_k \leq UB_i \quad \forall i \in N, k \in K \quad (98)$$

$$\sum_{i \in N/\{0\}} \sum_{j \in N} (a_{ij} x_{ijk})/V + \sum_{i \in N/\{0\}} s_i y_{ik} \leq T \quad k \in K \quad (99)$$

$$h_{ik} + a_{ij} - P(1 - x_{ijk}) + s_i \leq h_{jk} \quad \forall i, j \in N, k \in K \quad (100)$$

$$h_{ik} \geq E_i * y_{ik} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (101)$$

$$h_{ik} \leq G_i * y_{ik} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K \quad (102)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, k \in K \quad (103)$$

$$0 \leq f_{iklm} \leq 1 \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, k \in K, l \in L, m \in M \quad (104)$$

$$Ym_{ikl} \geq 0, Tm_{ikl} \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in K, l \in L \quad (105)$$

$$TYM_{ijk} \geq 0 \quad \forall i, j \in N, k \in K \quad (106)$$

$$h_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in K \quad (107)$$

$$w_{klm}, z_{iklm}, y_{ik}, b_{im}, p_{klo} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, k \in K, l \in L, m \in M \quad (108)$$

$$Tms_{ikl}^-, Tms_{ikl}^+, Tmm_{ikl}^-, Tmm_{ikl}^+ \in R \quad \forall i \in N, k \in K, l \in L \quad (109)$$

Amaç fonksiyonu (61) aracın boş ve dolu yakıt maliyetini en küçüklemeyi ve sabit araç maliyetini en küçüklemeyi hedeflemektedir. Aynı zamanda sıralama ve minimum dolum kısıtlarının sağlabilmesi için ceza fonksiyonları içermektedir.

Ancak k . tanker i . üreticiyi ziyaret ederse, i . üreticinin ürettiği m tipi süt k . tankerin l . tankına yüklenebilir şartı kısıt (62) ile k . tankerin l . tankına m tipi süt atanırsa, i . üreticinin ürettiği m tipi ürün ilgili araca yüklenir şartı kısıt (63) ile sağlanmaktadır. Kısıt (64) eğer k aracının l tankına m tipi süt ataması yapılırsa, üreticilerin m tipi sütlerinin bu tanka yüklenebilmesini, kısıt (65) bir tanka birden fazla tip süt atanmamasını sağlamaktadır. Kısıt (66) ve (67) akışlar arası dengeyi ve alttur eliminasyonunu sağlamaktadır.

Kısıt (68) model içi akışı kontrol eder. (69) numaralı kısıt k aracının bir üreticiye atanması durumunda rotasının başlangıç ve bitişinin depoda olmasını sağlarken, kısıt (70) depodan sonra ki duraklar için akışı sağlamaktadır.

(71) numaralı kısıt bir üreticinin üretimi yoksa atama yapılmamasını sağlarken, kısıt (72) bir tankerin mevcut tank kapasitesi kadar yükleme yapılmasını, kısıt (73) ise tankerin tankının olmadığı durumda atama yapılmamasını sağlamaktadır.

Kısıt (74) tankerlerin ziyaretlerini tamamladıktan sonra depoya dönmelerini sağlamaktadır. Kısıt (75) ve (76) i . üreticinin bir tanker tarafından ziyaret edilmesi halinde, bu aracın ilgili l tankına m tipi çiğ süt atanmasını ve yüklenmesini sağlamaktadır. (77) numaralı k aracına yapılan şehir atamalarla bu aracın tanklarına yapılan atamalar arasında ilişki kurmayı sağlamaktadır. Kısıt (78) düğümlerin kendi içinde atanmasını engelleyerek modeli hızlandırmaktadır.

Kısıt (79), (80) ve (81) talebin bölünebilirliğini sağlamaktadır. Kısıt (82) k . tankerinin l . tankına yüklenen çiğ süt miktarı ilgili tankın en fazla dolum miktarını aşamaz. Kısıt (83) ve (84) yapılan yükleme ile atamalar arasında ilişkiyi kurmaktadır.

Kısıt (85) k . aracın l . tankına i . üreticide yapılan yükleme miktarının hesaplanmasını sağlamaktadır. Kısıt (86) toplanan miktarın yüklenen miktara eşit ya da bu miktardan fazla olmasını sağlamaktadır. Kısıt (87) ve (88) düğümler arası toplanan miktarlar arasında ilişki kurulmasını sağlamaktadır. Kısıt (89) ve (90) toplanan miktar ile kapasite arasında ilişki kurar. Kısıt (91) başlangıçta toplanan miktarın 0 olmasını sağlamaktadır.

Kısıt (92) ve (93) sıralama değişkeni ile atama değişkeni arasında ilişki kurmakta ve sıralama değişkeninin her tank için bir değer almasını sağlamaktadır.

Kısıt (94) ve (95) tanklar arasında sıralama ilişkisinin kurulmasını sağlamaktadır. Kısıt (96) toplanan yük miktarı ile atamalar arasında ilişkisini kısıt (97) ise k aracındaki toplam yük miktarının tanklarda bulunan yüklerin toplamına eşit olmasını sağlamaktadır.

Kısıt (98) konum gereksinimini kontrol etmektedir, eğer k tankinin boyutu i üreticisini ziyaret etmeye uygunsa k aracı i düğümüne atanır.

(99) Sütün belirlenen zaman limitinin altında üretim merkezine ulaştırılması kısıttır. Kısıt (100) j üreticisine yapılan hizmetin başlama anının, i üreticisine yapılan ziyaretten sonra olacağını göstermektedir. Kısıt (101) ve (102) i üreticisine yapılacak ziyaretin belirlenen zaman pencereleri aralığında olmasını sağlamaktadır.

Kısıt (103), (104), (105), (106), (107), (108) ve (109) değişkenlerin doğasını tanımlamaktadır.

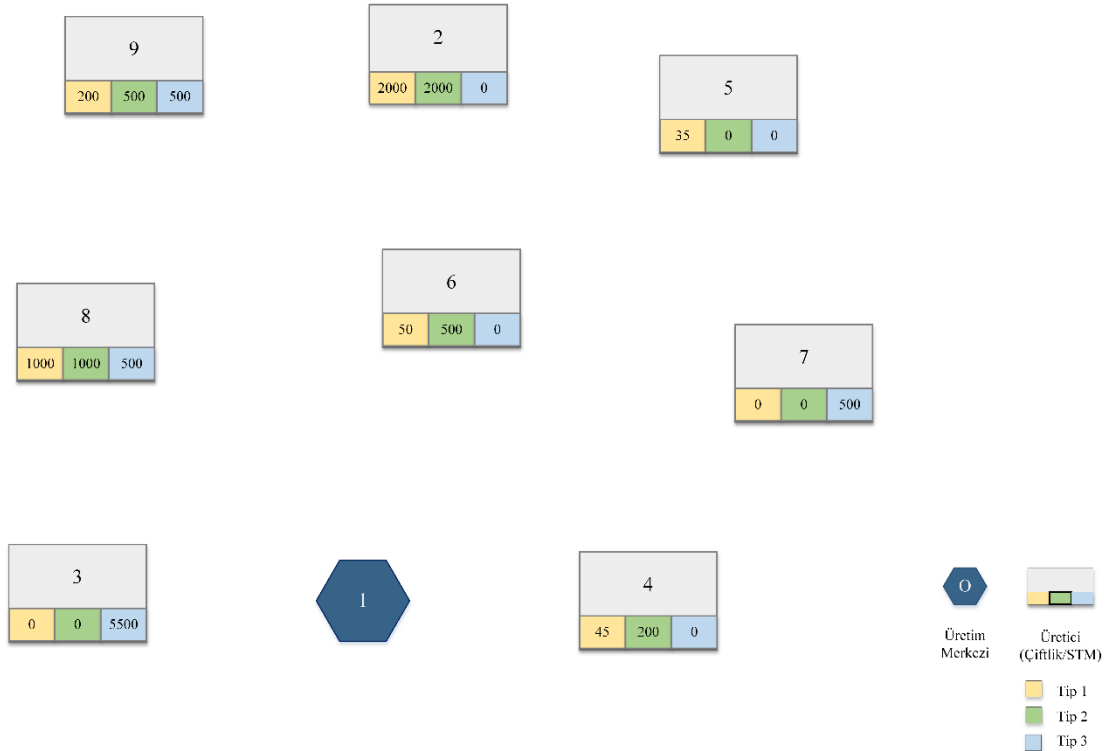
5. UYGULAMA

Bu bölümde Bölüm 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilen matematiksel modellerin oluşturulan veri setlerinde uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bölüm 5'te ilk olarak modellerin birebir uygulaması ve sonuçları verilecek sonrasında modellerin birbirleri ile kıyaslaması ve yapılan duyarlılık analizlerinin sonuçları paylaşılacaktır.

5.1 Model 1 Uygulaması

Temel matematiksel modelin algoritması oluşturulduktan sonra oluşturulan model ilk olarak dokuz düğüm içeren bir temel veri setinde çalıştırılmıştır. Örnek veri setinde bulunan dokuz noktadan birincisi süt ürünleri üretim merkezini, geriye kalan sekiz nokta ise üreticileri temsil etmektedir.

Örnek problemin ağ üzerinde görünümü Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1: Model 1 temel veri seti temsili harita görünümü

Her bir üretim merkezinin kendine ait bir servis süresi bulunmaktadır. Ve bu servis süreleri talebin bölünebilirliğinden bağımsız ele alınmaktadır. Servis süreleri ele alınan problem açısından önemli bir kısıttır. Belirlenen süreler altında üretici firmaya ulaştırılmayan süt bozulmaktadır. Bu nedenle tüm taşıma işlemleri örnek problem için 3000 dakika olarak belirlenen sürenin altında gerçekleştirilmek zorundadır. Veri setinde kullanılan tankerlerin hızları sabit 60 km/sa. olarak belirlenmiştir. Problem verileri Tablo 5.1’de paylaşılmıştır.

Tablo 5.1: Model 1 örnek problem verileri (Temel veri seti)

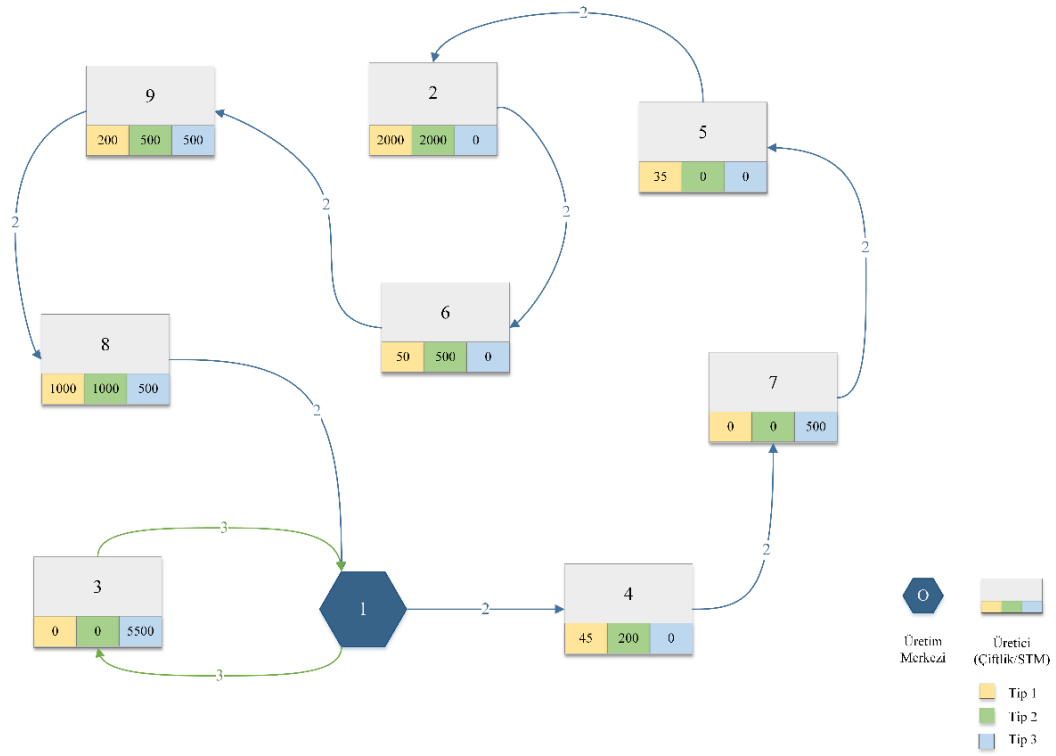
Düğümler	Süt Tipi (lt)			Servis Süreleri (dk)	Yerleşim	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3		X	Y
1	0	0	0	1	0	0
2	2000	2000	0	15	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	457.692	977.378
4	45	200	0	15	336.499	148.107
5	35	0	0	25	867.212	241.269
6	50	500	0	25	919.882	547.194
7	0	0	500	10	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	376.221	264.250
9	200	500	500	25	998.429	979.084

Süt işleme merkezi kapasiteleri ve tank sayıları birbirinden farklı dört tankere sahiptir. Tankerlerin içerdikleri tank sayıları ve tank kapasite bilgileri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2: Model 1 tanker- tank kapasiteleri (Temel veri seti)

Tanker	Tank (lt)		
	1	2	3
Tanker 1	5000		
Tanker 2	5000	5000	5000
Tanker 3	2000	2000	2000
Tanker 4	4000	4000	

Örnek problem GAMS 23.4.3 versiyonunda CPLEX 12.1.0 çözücüsü kullanılarak 12 saniyede çözümlenmiştir. Çözüm sonucu oluşan ağ haritası Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2: Model 1 set 1 temsili ağ haritası

Tablo 5.3: Model 1 temel veri seti sonuçları

Tanker	Rota								Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)		
Tanker 2	1	8	9	6	2	5	7	4	1	319,843	131	
Tanker 3	1	3	1								215,848	21
Toplam									535,691	152		

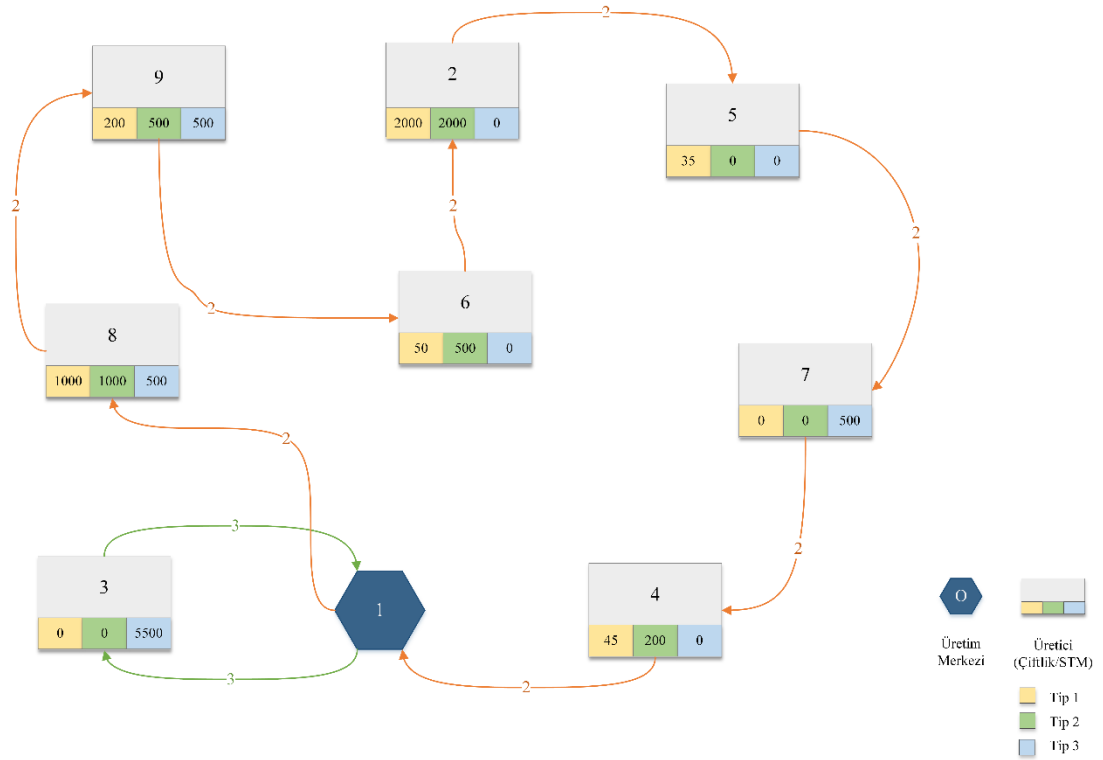
Tablo 5.4: Model 1 temel veri seti tanker-tank atama sonuçları

Tanker	Atanan Süt Tipi			Kapasite Kullanım Oranı (lt/kapasite)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3
Tanker 2	Tip 2	Tip 1	Tip 3	84%	67%	30%
Tanker 3	Tip 3	Tip 3	Tip 3	-	-	-

Model 1’de uygulama için alınan ilk veri setinde 3 numaralı üreticinin talebinin 5500 olması modeli zorlamaktadır. Model bu üreticiye tek bir tanker atayarak problemi çözmüş olsa da bu araca yapılacak olan yükleme kullanıcının tercihine bırakılmış durumdadır. Bu nedenle verilen Tablo 5.4’te tanker 3 için kapasite kullanım oranları verilmemiştir.

5.2 Model 2 Uygulaması

Model 1’de verilen örnek problem (Temel Veri Seti) verileri model 2 uygulamasında da kullanılmıştır. Örnek problem GAMS 23.4.3 versiyonunda CPLEX 12.1.0 çözücüsü kullanılarak 8,36 saniyede çözümlenmiştir. Çözümleme sonucunda oluşan ağ haritası Şekil 5.3’te verilmiştir.



Şekil 5.3: Model 2 temel veri seti temsili ağ haritası

Model 2’den alınan sonuçlar;

Tablo 5.5: Model 2 temel veri seti sonuçlar

Tanker	Rota									Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)
Tanker 2	1	8	9	6	2	5	7	4	1	319,843	131
Tanker 3	1	3	1							215,848	21
Toplam										535,691	152

Tablo 5.6: Model 2 temel veri seti tanker- tank atama sonuçları

Tanker	Atanan Süt Tipi			Kapasite Kullanım Oranı (lt/kapasite)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3
Tanker 2	Tip 3	Tip 2	Tip 1	30%	84%	67%
Tanker 3*	Tip 3	Tip 3	Tip 3	75%	100%	100%
Split Oranı	27,30%	36,40%	36,40%			

* Model tank bazında bölünebilir talep oluşturduğu için, tanker 3'te tank bazında yapılan atamalar modelin çıktısında bulunmaktadır.

Model 2'nin kurulmasının temel nedeni Model 1' de tam olarak elde edilemeyen bölünebilir talep oranlarının netleştirilmesidir. Model 1 ve Model 2'de aynı veri seti ile yapılan uygulama sonucunda, en kısa mesafe her iki model tarafından 535.691 olarak bulunmuştur.

Modellerin performanslarının kıyaslaması duyarlılık analizi bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

5.3 Model 3 Uygulaması

Her üreticide farklı tip ürünler ve çiğ süt aktarımında harcanacak servis süreleri bulunmaktadır. Bu süreler daha önce de belirtildiği üzere sütün kalitesinin korunması açısından büyük bir önem arz etmektedir. Bu nedenle çiğ süt toplama işlemi belirlenen 3000 dakikanın altında yapılmalıdır. Veri setinde kullanılan tankerlerin hızları sabit 60 km/sa olarak belirlenmiştir. Örnek problemi temsilen gösteren harita daha önce Şekil 5.1Şekil 5.'de verilmiştir.

Geliştirilmiş modelin testinde kullanılan örnek problem verileri Tablo 5.7'de paylaşılmıştır. Model 3'te, temel veri setinde bulunan problem verilerine ek olarak her noktanın en erken ve en geç geliş süreleri probleme eklenmiş, mevcutta bulunan tankların minimum dolun oranları ve yükleme sıralaması modele eklenerek genişletilmiş matematiksel model;(Model 3) ortaya koyulmuştur.

Tablo 5.7: Model 3 örnek problem verileri (Temel veri seti)

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyut Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	0	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	0	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	0	400	1500	998.429	979.084

Üretim merkezinde dört farklı tanker tipi vardır. Her tanker ile ilgili kapasite, dolun sıralaması, minimum dolun oranları bilgisi Tablo 5.8’de, tankerlerin yakıt tüketimi ile ilgili veriler Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.8: Model 3 temel veri seti tanker- tank kapasiteleri (Temel veri seti)

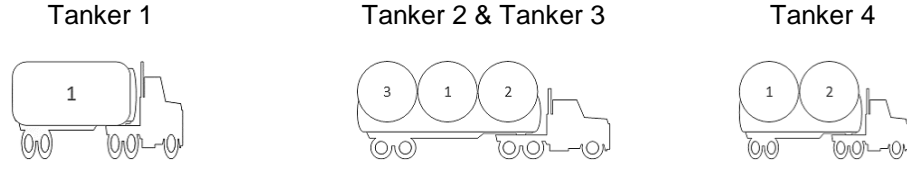
Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Min. Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800

Tablo 5.9: Model 3 temel veri seti yakıt tüketim verileri

Tankerler	Boş (100km/lt)	Dolu (100km/lt)	α
Tanker 1	20	26	0,0012
Tanker 2	30	36	0,0004
Tanker 3	20	26	0,0010
Tanker 4	30	36	0,00075

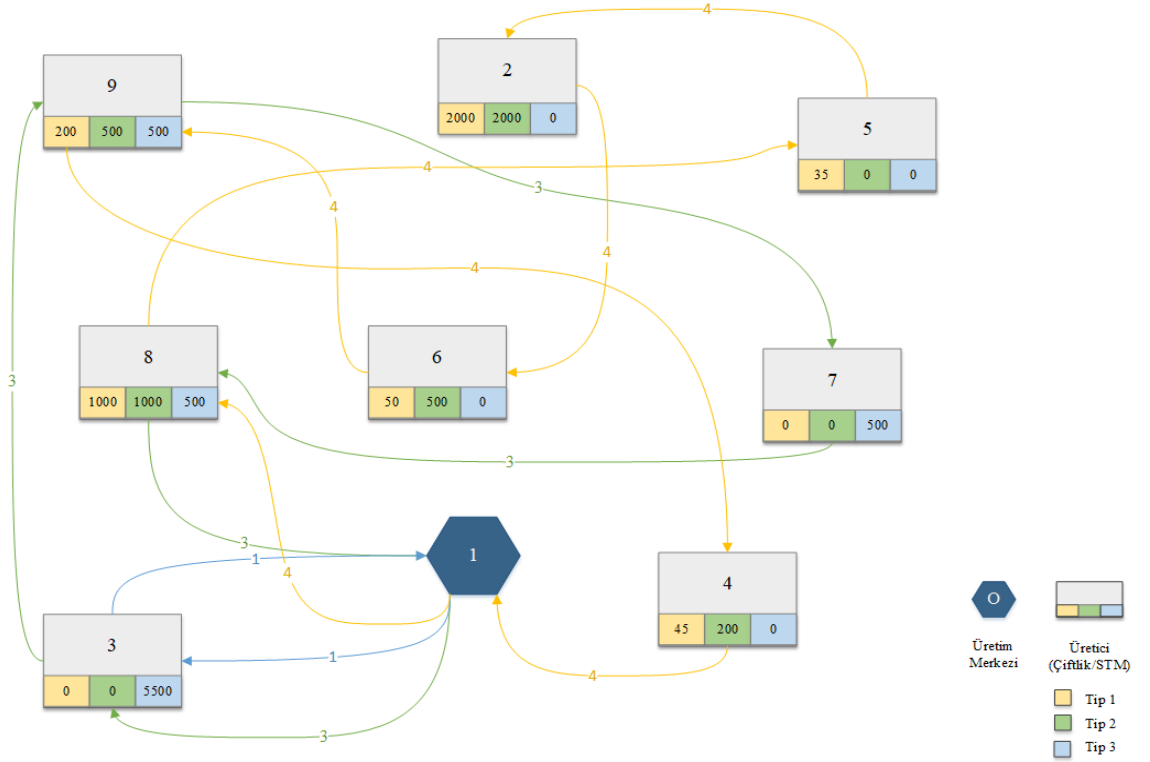
Tez çalışması kapsamında yapılan saha araştırmaları sırasında elde edilen bilgilere dayanarak tankların yükleme sıralaması çekere en yakın olan noktanın ilk yüklenmesi ve bu nokta belirli bir oranın üzerine çıktığında sürücü kısmına yakın olan tanka yükleme yapılması şeklindedir.

Sahadan alınan veriye dayanarak oluşturulan tankların yükleme sıralaması Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4: Model 3 tank doluş sıralaması set 1

Örnek problem GAMS 23.4.3 versiyonunda CPLEX 12.1.0 çözücüsü kullanılarak 145,97 saniyede çözümlenmiştir. Çözümleme sonucunda oluşan ağ haritası Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5: Model 3 temel veri seti temsili ağ haritası

Matematiksel modelin sonuçları Tablo 5.10 Tablo 5.10'da tanker ve tank atamalarının sonuçları Tablo 5.11'de verilmiştir. Matematiksel modelin sonuçlarını incelediğimizde yükleme sınırlamaları, talep fazlalıkları nedenleri üreticilerin ürünleri model tarafından parçalı bir şekilde toplanmaktadır. Talep bölünmesi ilgili ayrıntılı bilgi ve tankların yükleme sıralaması Tablo 5.12'de verilmiştir.

Tablo 5.10: Model 3 temel veri seti sonuçlar

Tanker	Rota							Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)
Tanker 1	1	3	1					215,8	21
Tanker 3	1	3	9	7	8	1		314,3	71
Tanker 4	1	8	5	2	6	9	4 1	316,9	121
Toplam								846,986	213

Tablo 5.11: Model 3 temel veri seti tanker- tank atama sonuçları

Tanker	Atanan Süt Tipi			Yükleme Sırası			Toplam Yük Miktarı (lt)			Kapasite Kullanım Oranı (lt/kapasite)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3
Tanker 1	Tip 3			1			3500			70%		
Tanker 3	Tip 3	Tip 3	Tip 2	2	1	3	1900	1600	1000	95%	80%	50%
Tanker 4	Tip 1	Tip 2		2	1		3330	3200		83%	80%	

Tablo 5.12: Model 3 temel veri seti tankerlerin süt alım oranları

Tanker 1	Tank 1	Düğümler	1	3	1							
		Alım Oranı (%)	-	63,6	-							
Tanker 3	Tank 1	Düğümler	1	3	9	7	8	1				
		Alım Oranı (%)	-	18,2	50	90,9	39	-				
	Tank 2	Düğümler	1	3	9	7	8	1				
		Alım Oranı (%)	-	18,2	50	9,1	61	-				
Tanker 4	Tank 3	Düğümler	1	3	9	7	8	1				
		Alım Oranı (%)	-	-	-	-	100	-				
Tanker 4	Tank 1	Düğümler	1	8	5	2	6	9	4	1		
		Alım Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	-	
	Tank 2	Düğümler	1	8	5	2	6	9	4	1		
		Alım Oranı (%)	-	-	-	100	100	100	100	100	-	

Model 3'te ilk iki modelden farklı olarak yükleme ile ilgili kısıtlar eklenmiş ve model genişletilmiş olarak çözüme ulaşılmıştır. Model 3 tez önerisinde belirtilen araç rotalama kısıtları, uyumsuzluk kısıtları ve yükleme kısıtlarını içermektedir.

Matematiksel modelin sonuçları incelendiğinde amaç fonksiyonun ulaşabildiği minimum maliyet değeri 22.274,656 birim olarak belirlenmiştir. Belirlenen maliyet değerinin 20.108,60 birimlik kısmı tanker boşken oluşan taşıma maliyetini, 2.121,006 birimlik kısmı tanker doluyken oluşan taşıma maliyetini, 45 birimlik kısmı tanker kullanım maliyetini oluşturmaktadır.

5.4 Modellerin Karşılaştırılması

Süt toplama probleminin çözümü için verilen modellerde her bir model bir öncekinin üzerinde değişiklikler yapılarak oluşturulmuştur. İlk yapılan matematiksel model probleme klasik araç rotalama problemi ve bölünebilir talep kısıtları yaklaşımı oluştururken, ikinci modelde bu yaklaşım daha ayrıntılı hale getirilerek sürecin tank bazında incelenbilmesini mümkün kılınmıştır. Genişletilmiş model olarak verilen 3. Model de ise tez önerisinde matematiksel modelde olması hedeflenen tüm kısıtlar modele eklenmiştir. Modellerde sunulan kısıtlarla ilgili bilgiler daha önce Tablo 4.1’de verilmiştir.

Modellerin farklı veri setlerinde oluşturacağı çözümleri görmek amacıyla duyarlılık analizi bölümü oluşturulmuştur. Duyarlılık analizi bölümünde modeller talep artışı, tanker sayısı artışı ve zaman limitinin daraltılması olarak üç ana grupta sınanmış ve ilgili sonuçlar Bölüm 7’de paylaşılmıştır.

Bölüm 5’te modellerin uygulaması için kullanılan veri seti, oluşturulan ilk veri setidir. Bu set, diğer veri setleri ile kıyaslama yapılabilmesi için temel veri seti olarak kabul edilmiştir. Bu veri setinin içeriği Tablo 5.13 Tablo 5.13’de tanker bilgileri Tablo 5.14’de verilmiştir.

Tablo 5.13: Temel veri seti düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	0	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	0	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	0	400	1500	998.429	979.084

Tablo 5.14: Temel veri seti tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Temel veri seti için Model 1,2 ve 3 ten alınan sonuçlar Tablo 5.15 Tablo 5.15'te verilmiştir.

Tablo 5.15: Model sonuçları rotalama bilgileri

		Tanker									Rota		Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)
Model 1	Tanker 2	1	8	9	6	2	5	7	4	1	319,843	131		
	Tanker 4	1	3	1							215,848	21		
	Toplam											535,691	152	
Model 2	Tanker 2	1	8	9	6	2	5	7	4	1	319,843	131		
	Tanker 3	1	3	1							215,848	21		
	Toplam											535,691	152	
Model 3	Tanker 1	1	3	1							215,848	21		
	Tanker 3	1	3	9	7	8	1				314,25	71		
	Tanker 4	1	8	5	2	6	9	4	1		316,888	121		
	Toplam											846,986	213	

Temel veri seti incelendiğinde üreticilerin talep dağılımlarında ikinci ve sekizinci üreticinin taleplerinin yüksek olduğu, özellikle üçüncü üreticinin talebinin ise modelde verilen tankerlerin tank kapasitelerinden fazla olduğu gözlemlenmektedir. Modellerin bu duruma oluşturdukları çözümler ve yapılan atamalar Tablo 5.16'da verilmiştir.

Tablo 5.16: Model sonuçları atama -tank dolum oranları bilgileri

	Tanker	Atanan Süt Tipi			Kapasite Kullanım Oranı (lt/kapasite)		
		Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3
Model 1	Tanker 2	Tip 2	Tip 1	Tip 3	84%	67%	30%
	Tanker 4	Tip 3	Tip 3	Tip 3	-	-	-
Model 2	Tanker 2	Tip 3	Tip 2	Tip 1	30%	84%	67%
	Tanker 3	Tip 3	Tip 3	Tip 3	92%	92%	92%
Model 3	Tanker 1	Tip 3			70%		
	Tanker 3	Tip 3	Tip 3	Tip 2	95%	80%	50%
	Tanker 4	Tip 1	Tip 2		83%	80%	

Modellerin sonuçları incelendiğinde temel matematiksel modelin (Model 1) ve bölünebilir talepli modelin (Model 2) sonuçlarının aynı olduğu ancak tank atamalarının farklı olduğu ortaya koyulmuştur. Bu farklılığın temel nedeni modellerin çalışma prensibinde yapılmış olan değişikliktir.

Model 1 oluşturulurken farklı süt tiplerini karıştırmadan toplayabilen fazla talebi farklı tankerlere atayarak çözebilen bir yapıda kurulmuştur. Model 1'in temel veri setine ait sonuçları daha ayrıntılı bir şekilde Bölüm 5.1'de verilmiştir. Model 1 bu veri setinde optimum sonuca ulaşabilmek için üçüncü üreticiye tek bir tanker ataması yapmıştır. Üçüncü üreticiye atanan üç numaralı aracın her biri 2000 litre hacminde üç tankı bulunmakta ve üçüncü üreticinin talebi olan 5500 litreyi tek başına taşıyabilmektedir. Ancak yapılan atamanın oranları model tarafından verilemediği için verilen tabloda kapasite kullanım oranları veri kısmı boş bırakılmıştır. Model 1 optimum sonuca GAMS 23.4.3 versiyonunda CPLEX 12.1.0 solver'ı kullanılarak 12,41'sn de ulaşmıştır.

Model 2 oluşturulurken yapılan ilk çalışma, farklı süt tiplerinin atanmasını tank bazında gerçekleştirmesini sağlamaktır. Böylece tanker bazında kontrol yerine tank bazında kontrol sağlanılarak tüm süreçlerin geliştirilmesi mümkün kılınmıştır.

Temel veri setinin çözümünde, model 2 problemi iki ve üç numaralı tankerleri kullanarak çözmüştür. Üç numaralı tanker sadece talebi çok fazla olan üçüncü üreticiye atanmış, geriye kalan diğer üreticileri iki numaralı tanker ziyaret etmiştir. Üç numaralı araca yaptığı atamalarda kullandığı talep bölme oranı bilgileri Bölüm 5.2’de de verildiği üzere sırasıyla %27,30, %36,40 ve %36,40 şeklindedir. Model 2 optimum sonuca GAMS 23.4.3 versiyonunda CPLEX 12.1.0 Solver’ı kullanılarak 8,36sn’de ulaşmıştır.

Bölünebilir talepli modele (Model 2), süt toplama probleminin doğasında yer alan ve detayları Bölüm 3’te verilen kısıtlar eklenerek Model 3 oluşturulmuştur. Eklenen yeni kısıtlarla birlikte tanklara yapılacak olan yüklemelerin alt ve üst sınırları olmasının yanı sıra sürüş güvenliğini sağlayabilmek için tankların yükleme sıralaması bulunmaktadır. Aynı zamanda problemin şartlarından biri olan tankerlerin bir üreticiyi ziyaret edebilmesinin de zaman kısıtı ve coğrafi koşullar nedeni ile konum kısıtı bulunmaktadır. Modele yeni eklenen kısıtlarla model gerçek hayat kısıtlarına yaklaştırılırken bulunan optimum çözüm değeri artış göstererek 846,98 km olmuştur. Model 3 optimum sonuca GAMS 23.4.3 versiyonunda CPLEX 12.1.0 solver’ı kullanılarak 145,97’sn de ulaşmıştır.

6. DENEY SETİ ANALİZLERİ

Modellerde bulunan düğüm sayısı artışı ile modellerin oluşturacağı çözümleri incelemek amacıyla deney setleri oluşturulmuştur. Oluşturulan deneysel veri setleri set 5,6,7 ve 8 şeklindedir. Veri setlerinde yapılan değişimler Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: Üretici sayısı değişimi

Düğüm	Temel Set (lt)			Veri Seti 5 (lt)			Veri Seti 6 (lt)			Veri Seti 7 (lt)			Veri Seti 8 (lt)		
	Süt Talebi			Süt Talebi			Süt Talebi			Süt Talebi			Süt Talebi		
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 1	Tip 2	Tip 3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2000	2000	0	2000	2000	0	2000	2000	0	100	4200	0	100	4200	0
3	0	0	5500	0	0	5500	0	0	5500	0	0	500	0	0	500
4	45	200	0	45	200	0	45	200	0	45	200	0	45	200	0
5	35	0	0	35	0	0	35	0	0	35	0	0	35	0	0
6	50	500	0	50	500	0	50	500	0	50	500	0	50	500	0
7	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	500
8	1000	1000	500	1000	1000	500	1000	1000	500	1000	1000	500	1000	1000	500
9	200	500	500	200	500	500	200	500	500	200	500	500	200	500	500
10				0	300	0	0	300	0	0	30	0	0	30	0
11							30	100	200	30	100	200	30	100	200
12										100	300	500	100	300	500
13													100	50	500

Üretici sayısının artmasıyla veri setlerinin ürettiği sonuçlar Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2: Set uygulama sonuçları (Set 5 – Set 8)

Düğüm Sayısı	T.Set	Rota Uzunluğu (km)			Servis Süresi (dk)			Model Çalışma Süresi (sn)		
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
	9	535,691	535,69	846,978	152	152	213	12,41	7,89	153,28
	Set 5	535,897	535,897	860,448	167	167	253	93,42	19,89	312
	Set 6	535,580	535,580	864,433	197	197	283	806,17	283,58	930,22
	Set 7	540,798*	539,784	863,513*	232*	213	338*	2999,58*	1136,94	2999,55*
	Set 8	559,371*	556,321*	868,084*	285*	287*	408*	2999,06*	2998,83*	2998,56*

* Model veri setinde optimum sonuç **üretmemiştir**.

Düğüm sayısının 10 ve 11 olması durumunda bütün modeller çalışmıştır. Düğüm sayısı 12 olduğunda Model 1 2999,58 sn, Model 3 2999,55 sn çalıştırılmış, ilgili zaman kapsamında optimum çözüm üretememişlerdir. Düğüm sayısının artışı ile modeller veri setleri için çözüm üretemez hale gelmişlerdir.

Toplam düğüm sayısı 12 olduğunda model 2 1136,94 sn çalışarak en kısa mesafeyi 539,784 km olarak bulmuştur. Düğüm sayısı 13'e çıkarıldığında modeller problem için en iyi sonucu üretememişlerdir.

Modellere yapılan analizlerle, modellerin mevcut teknolojik koşullar altında düğüm sayısı artışına optimum sonucu bulabilecek sonuçlar üretemediğini ortaya koymuştur. Problemin doğasına özgü kısıtlar modellere eklendikçe modellerin oluşturduğu çözüm giderek daha küçük deney setleri için sonuç üretebilmektedir. Bu nedenle modeller düğüm sayısının artışında belirli bir noktadan sonra optimum sonuç üretememişlerdir.

Deney setlerinin ayrıntılı sonuçları model 1 için Tablo 6.3Tablo 6.3'te, model 2 için Tablo 6.4Tablo 6.4'te ve model 3 için Tablo 6.5'te verilmiştir. Modellerin kullandıkları veri setleri ekler bölümünde paylaşılmıştır. (Ek A)

Tablo 6.3: Model 1 deney seti analizi sonuçları

Tanker												Atanan Süt Tipi			Kapasite Kullanım Oranı (lt/kapasite)			Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)
												Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3			
Temel Set	Tanker 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 2	Tip 1	Tip 3	84%	67%	30%	319,843	131	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	-								
Temel Set	Tanker 3	Rota	1	3	1							Tip 3	Tip 3	Tip 3	-	-	-	215,848	21	
		A. Oranı (%)	-	100	-															
Toplam																	535,691	152	12,41	
Set 1	Tanker 2	Rota	1	4	10	7	5	2	6	9	8	1	Tip 3	Tip 1	Tip 2	30%	67%	90%	320,049	146
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-							
Set 1	Tanker 3	Rota	1	3	1								Tip 3	Tip 3		-	-		215,848	21
		A. Oranı (%)	-	100	-															
Toplam																	535,897	167	93,42	
Set 2	Tanker 2	Rota	1	4	10	5	2	7	8	1			Tip 1	Tip 2	Tip 3	15%	100%	16%	219,529	96
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	57	-										
Set 2	Tanker 3	Rota	1	8	6	11	9	3	1				Tip 3	Tip 2	Tip 1	70,8%	76,5%	35,5%	316,051	101
		A. Oranı (%)	-	43	100	100	100	100	-											
Toplam																	535,58	197	806,17	
Set 3	Tanker 2	Rota	1	4	10	5	2	7	8	1			Tip 1	Tip 2	Tip 3	15%	100%	16%	219,529	96
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	57	-										
Set 3	Tanker 3	Rota	1	8	12	6	11	9	3	1			Tip 1	Tip 3	Tip 2	40,0%	91,5%	96,0%	321,269	136
		A. Oranı (%)	-	43	100	100	100	100	100	-										
Toplam																	540,798*	232	2999,58	
* Model 1 veri seti 7 için mevcut kaynak şartları altında optimum sonuç üretmemiştir.																	-	-	-	

Tablo 6.3: Model 1 deney seti analizi sonuçları (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi									Kapasite Kullanım Oranı (lt/kapasite)			Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)				
		Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3										
Set 4	Tanker 2	Rota	1	10	7	5	2	6	12	13	1	Tip 2	Tip 1	Tip 3	100%	7%	28%	253,306	160	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	77	100	-									
	Tanker 3	Rota	1	4	8	12	11	9	3	1		Tip 1	Tip 3	Tip 2	65,0%	90,0%	93,0%	306,065	125	
		A. Oranı (%)	-	100	100	23	100	100	100	-										
														Toplam	559,371*	285	2999,06			
	* Model 1 veri seti 8 için mevcut kaynak şartları altında optimum sonuç üretememiştir.																			

Tablo 6.4: Model 2 deney seti analizi sonuçları

Tanker													Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)		
		Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2						Tank 3	
Temel Set	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 3	30%	319,843	131			
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	100	-	-							
		Tank 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 2	84%					
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	-	-	100	-							
		Tank 3	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	67%					
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	-	100	-							
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	1							Tip 3	75%	215,848	21			
			A. Oranı (%)	-	27	-													
		Tank 2	Rota										Tip 3	100%					
			A. Oranı (%)	-	36	-													
		Tank 3	Rota										Tip 3	100%					
			A. Oranı (%)	-	36	-													
													Toplam	535,691	152	7,89			

Tablo 6.4: Model 2 deney seti analizi sonuçları (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)											
Set 1	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	5	7	10	4	1	Tip 1	67%	320,049	132
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	-	-	100	-	-				
		Tank 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	10	4	1	Tip 3	30%		
		A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	100	100	-	-	-				
		Tank 3	Rota	1	8	9	6	2	5	7	10	4	1	Tip 2	84%		
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	-	-	-	100	-	-				
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	1								Tip 3	75%	215,848	21
		A. Oranı (%)	-	27	-												
		Tank 2	Rota	1	3	1								Tip 3	100%		
		A. Oranı (%)	-	36	-												
		Tank 3	Rota	1	3	1								Tip 3	100%		
		A. Oranı (%)	-	36	-												
												Toplam		535,897	153	19,89	
Set 2	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	7	2	5	10	4	1			Tip 3	20%	219,529	96
		A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-				
		Tank 2	Rota	1	8	7	2	5	10	4	1			Tip 2	100%		
		A. Oranı (%)	-	57	-	100	-	100	100	-	-	-	-				
		Tank 3	Rota	1	8	7	2	5	10	4	1			Tip 1	24%		
		A. Oranı (%)	-	100	-	100	100	-	100	-	-	-	-				

Tablo 6.4: Model 2 deney seti analizi sonuçları (devam)

Tanker												Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)		
Set 2 (devam)	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	9	11	6	8	1			Tip 1	14%				
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	100	-	-								
		Tank 2	Rota	1	3	9	11	6	8	1			Tip 2	77%	316,051	101		
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	100	43	-								
		Tank 3	Rota	1	3	9	11	6	8	1			Tip 3	60%				
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	-	-	-								
												Toplam		535,580	197	283,58		
Set 3	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	7	6	2	5	10	4	1	Tip 2	99%				
			A. Oranı (%)	-	-	-	100	100	-	100	100	-						
		Tank 2	Rota	1	8	7	6	2	5	10	4	1	Tip 1	25%	236,784	121		
			A. Oranı (%)	-	100	-	100	100	100	-	100	-						
		Tank 3	Rota	1	8	7	6	2	5	10	4	1	Tip 3	20%				
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	-	-	-						
												Toplam		539,784	213	1136,94		
Set 4	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	13	12	6	2	5	7	10	4	1	Tip 1	6%			
			A. Oranı (%)	-	100	-	100	100	100	-	-	100	-					
		Tank 2	Rota	1	13	12	6	2	5	7	10	4	1	Tip 2	100%	253,321	176	
			A. Oranı (%)	-	100	-	100	100	-	-	100	100	-					
		Tank 3	Rota	1	13	12	6	2	5	7	10	4	1	Tip 3	3%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	100	-	-	-					

Tablo 6.4: Model 2 deney seti analizi sonuçları (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)									
Set 4 (devam)	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	9	11	12	8	1	Tip 3	85%	303	111	2998,83
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	-					
		Tank 2	Rota	1	3	9	11	12	8	1	Tip 1	67%			
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	100	100	-					
		Tank 3	Rota	1	3	9	11	12	8	1	Tip 2	95%			
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	-	100	-					
			Toplam									556,321*	287		

* Model 2 veri seti 4 için mevcut kaynak şartları altında optimum sonuç üretememiştir.

Tablo 6.5: Model 3 deney seti analizi sonuçları

Tanker												Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)		
Temel Set	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	3	1						Tip 3	1	70%	215,848	21			
			A. Oranı (%)	-	63,6	-													
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	9	7	8	1				Tip 3	2	95%	314,25	71		
			A. Oranı (%)	-	18,2	50	90,9	39,1	-										
		Tank 2	Rota	1	3	9	7	8	1				Tip 3	1	80%				
			A. Oranı (%)	-	18,2	50	9,1	60,9	-										
		Tank 3	Rota	1	3	9	7	8	1				Tip 2	3	50%				
			A. Oranı (%)	-	-	-	-	100	-										
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1			Tip 1	2	83%	316,88	121	
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	-								
		Tank 2	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1			Tip 2	1	80%			
			A. Oranı (%)	-	-	-	100	100	100	100	-								
Toplam															846,978	213	153,28		
Set 1	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	8	10	2	4	1				Tip 2	1	57%	215,473	61		
			A. Oranı (%)	-	100	100	66,8	100											
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	8	4	5	2	6	9	1			Tip 1	2	83%	330,725	121	
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	23	50	50									
		Tank 2	Rota	1	8	4	5	2	6	9	1			Tip 1	1	83%			
			A. Oranı (%)	-	-	-	-	77	50	50									
Tank 3	Rota	1	8	4	5	2	6	9	1			Tip 2	3	83%					
	A. Oranı (%)	-	-	-	-	-	100	100											

Tablo 6.5: Model 3 deney seti analizi sonuçları (devam)

Tanker												Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)		
Set 1 (devam)	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	3	9	7	8	1			Tip 3	2	95%					
			A. Oranı (%)	-	50	90,9	90,9	28,2											
	Tank 2	Rota	1	3	9	7	8	1			Tip 3	1	80%	314,25	71				
		A. Oranı (%)	-	50	9,1	9,1	71,8												
													Toplam	860,448	253	312			
Set 2	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	8	10	2	4	1			Tip 2	1	58%	215,473	61			
			A. Oranı (%)	-	100	100	70	100	-										
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	8	4	5	2	6	11	9	1	Tip 1	2	84%				
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	23	50	50	50	-							
		Tank 2	Rota	1	8	4	5	2	6	11	9	1	Tip 1	1	84%	333,615	136		
			A. Oranı (%)	-	50	-	-	77	50	50	50	-							
	Tank 3	Rota	1	8	4	5	2	6	11	9	1	Tip 2	3	85%					
		A. Oranı (%)	-	50	-	-	30	100	100	100	-								
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	3	9	11	7	8	1			Tip 3	2	90%				
			A. Oranı (%)	-	50	50	50	50											
Tank 2		Rota	1	3	9	11	7	8	1			Tip 3	1	90%	315,345	86			
		A. Oranı (%)	-	50	50	50	50												
													Toplam	864,433	283	930,22			

Tablo 6.5: Model 3 deney seti analizi sonuçları (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)											
Set 3	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	8	3	9	11	12	7	1	Tip 3	1	54%	331,121	121		
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100									
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	11	12	4	1	Tip 1	2	78%	316,926	171
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	-					
		Tank 2	Rota	1	8	5	2	6	9	11	12	4	1	Tip 2	1	80%		
			A. Oranı (%)	-	-	-	23,8	37	23	90,	41,4	42,5	-					
		Tank 3	Rota	1	8	5	2	6	9	11	12	4	1	Tip 2	3	80%		
			A. Oranı (%)	-	-	-	14,3	63	77	9,1	58,6	57,5	-					
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	10	2	1					Tip 2	2	90%	215,466	46	
			A. Oranı (%)	-	100	100	61,9											
		Tank 2	Rota	1	8	10	2	1					-	1	-			
			A. Oranı (%)	-	-	-	-											
					Toplam	863,513*	338*	2999,55*										
* Model 3 veri seti 3 için mevcut kaynak şartları altında optimum sonuç üretmemiştir.																		
Set 4	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	3	9	11	13	12	7	8	1	Tip 3	1	64%	332,93	156	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	-							
	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	2	10	8	1					Tip 2	1	62%	215,466	46	
			A. Oranı (%)	-	54	100	81,8	-										
		Tank 2	Rota	1	2	10	8	1					-	-				
			A. Oranı (%)	-	-	-	-	-										
Tank 3	Rota	1	2	10	8	1					-	-						
	A. Oranı (%)	-	-	-	-	-												

Tablo 6.5: Model 3 deney seti analizi sonuçları (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)													
Set 4 (devam)	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	5	2	6	9	11	12	13	8	4	1	Tip 2	2	95%			
			A. Oranı (%)	-	-	23,4	90,9	9,1	50	50	50	9,1	50	-						
		Tank 2	Rota	1	5	2	6	9	11	12	13	8	4	1	Tip 2	1	95%	319,688	206	
			A. Oranı (%)	-	-	23,4	9,1	90,9	50	50	50	9,1	50	-						
		Tank 3	Rota	1	5	2	6	9	11	12	13	8	4	1	Tip 12	3	83%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-					
	Toplam																	868,084*	408*	2998,56*
	* Model 3 veri seti 4 için mevcut kaynak şartları altında optimum sonuç üretememiştir.																			

7. DUYARLILIK ANALİZLERİ

Bu bölümde, modellerin oluşturulan 12 farklı veri seti için çözümleri ve bu çözümlerin karşılaştırmalı sonuçları paylaşılacaktır. Modellerin aynı veri seti üzerinde ki sonuçları ile ilgili olarak paylaşılan bu bölümden sonra, duyarlılık analizi bölümünde her bir modelin belirlenen veri setlerinde ki performansları değerlendirilecektir. Modellerde kullanılan veri setleri ekler bölümünde (Ek A) paylaşılmıştır.

Temel matematiksel modelin (Model 1), oluşturulan veri setleri için bulmuş olduğu sonuçlar hakkında hazırlanan özet bilgi Tablo 7.7’te verilmiştir. Model 1 tank bazında atama yaptığı için daha önce örneği temel veri setinde verildiği üzere, bir üreticide yaptığı tank bazında bölüm bilgilerine ulaşamamaktadır.

Bölünebilir talepli matematiksel modelin (Model 2), oluşturulan veri setleri için bulmuş olduğu sonuçlar hakkında hazırlanan özet bilgi Tablo 7.8’de verilmiştir.

Model 3 problemin doğasına özgü kısıtları içermekte olduğu için bulduğu amaç fonksiyonu değerleri ilk iki modelden farklıdır. Model 3 daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi araç rotalama, uyumsuzluk ve yükleme kısıtlarını eş zamanlı olarak gerçekleştirmektedir. Bu durum problemin çözümü için gerekli olan sürenin artmasına ve bulunan rotaların diğer modellere kıyasla daha uzun olmasına neden olmaktadır. Model 3’ün veri setlerine uygulanması neticesinde elde edilen veriler Tablo 7.9 Tablo 7.9’da paylaşılmıştır.

7.1 Talep Değişimi Etkisi

Modellerin talep değişimi ile bulduğu sonuçlar veri seti 5 – veri seti 8 arasında incelenmiştir. Veri setlerinde uygulanan talep değişimi ile bilgileri Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1: Veri seti talep değişimi

Temel Set (lt)			Veri Seti 5 (lt)			Veri Seti 6 (lt)			Veri Seti 7 (lt)			Veri Seti 8 (lt)		
Süt Talebi			Süt Talebi			Süt Talebi			Süt Talebi			Süt Talebi		
Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 1	Tip 2	Tip 3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	2000	0	2000	2000	0	500	2000	100	2000	2000	0	2000	2000	0
0	0	5500	0	0	5500	50	1000	5500	0	0	5500	0	100	5500
45	200	0	45	200	0	45	450	450	45	200	0	100	200	0
35	0	0	35	0	0	350	50	200	3500	1000	0	3500	1000	0
50	500	0	50	500	0	250	500	450	50	500	0	100	500	0
0	0	500	0	0	500	50	1200	500	0	500	500	0	500	500
1000	1000	500	3000	3000	3000	1000	1000	500	2000	2000	2500	3000	3000	3000
200	500	500	200	500	500	200	500	500	200	500	500	200	500	500

Tablo 7.2: Set uygulama sonuçları (Set 5 – Set 8)

	Rota Uzunluğu (km)			Servis Süresi (dk)			Model Çalışma Süresi (sn)		
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
T. Set	535,691	535,69	846,978	152	152	213	12,41	7,89	153,28
Set 5	627,643	627,643	915,308	168	152	194	27,22	23,09	664,94
Set 6	-	571,286	-	-	187	-	-	12,42	2999,94
Set 7	746,402	706,532	831,927*	178	158	243*	136,61	78,38	2999,87*
Set 8	-	720,336	992,187*	-	194	253*	-	94,53	3000,03*

* Model veri setinde optimum sonuç **üretmemiştir**.

Temel veri seti ve veri seti 5 için Model 1 ve Model 2'nin bulmuş olduğu optimum sonuçlar aynıdır. Model 2'nin Model 1'den temel farklılığı daha öncede belirtildiği gibi üretici talebini tank bazında bölebilmesidir. Bu farklılık üreticilerin talepleri çok büyük olduğunda temel veri seti ve veri seti 5 için, sonuçlarda farklılık oluşturmazken veri seti 7 için farklılık oluşturmuştur. Veri seti 7 için, Model 1 talep bölme işlemini sadece 5. üreticide gerçekleştirip optimum sonucu üç tanker kullanarak 746,402 km bulmuştur. Model 2 veri seti 7'de talep bölme işlemini 3. ve 8. üreticide gerçekleştirip, üç tanker kullanarak en kısa mesafeyi 706,532 km bulunmuştur.

Model 2'nin bu rotayı oluşturabilmesinin nedeni modele eklenen tank bazında talep bölümü yapabilme özelliğidir. Bu özelliğin model sonuçlarına etkisinin en iyi gözlemlendiği veri seti sonuçları veri seti 6'nın sonuçlarıdır. Veri seti 6'da her üreticide her tip süttten bulunmaktadır. Uygulama sonuçları incelendiğinde veri seti 6 için optimum sonucu bulan model sadece Model 2 olmuştur.

Sonuçlarda olan bu farklılıklar toplam talebin kapasiteyi zorlaması ile çok daha kolay fark edilir hale gelmiştir. Model 3 diğer iki modele kıyasla farklı kısıtları içerdiği için sonuçları da tüm veri setlerinde farklı olmuştur. Model 3'ün uygulandığı veri setleri sonuçlarından genel talep-kapasite oranı %43 olan temel veri seti'nin en kısa rotası 846,978 iken, genel talep-kapasite oranı %62 olan veri seti 5'in en kısa rotası 915,308 olmuştur. Model 3 veri seti 7 ve 8 için optimum sonuca belirlenen kaynak şartları altında ulaşamamıştır.

Toplam talebin genel kapasiteye oranının %77 olduğu veri seti 8'de Model 1 ve Model 2 mevcut koşullar altında sonuç üretememiştir.

7.2 Araç Değişimi Etkisi

Tankerlerin sayısının artması durumunda modellerin vereceği tepkileri ölçmek için veri seti 9,10 ve 11 oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setlerindeki tanker değişim bilgileri Tablo 7.3'te verilmiştir.

Tablo 7.3: Tanker bilgileri (Set 9 – Set 11)

Tankerler	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutları (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)			
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α	
Temel Set	1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
	2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
	3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
	4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075
Set 9	1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
	2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
	3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
	4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075
	5	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Set 10	1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
	2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
	3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
	4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075
	5	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
	6	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Set 11	1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
	2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
	3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
	4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075
	5	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
	6	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
	7	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Model’de ki tanker sayısının artışıyla oluşan taleple etkileşiminin, modellerin performanslarına olan etkilerini ölçebilmek için referans alınan veri seti temel veri setidir. Temel veri setinde dört tanker bulunmaktadır. Veri seti 9’da tanker sayısı beşe yükseltilmiş, takip eden her bir veri setinde tanker sayısı bir artırılarak veri seti 11’de tanker artışı ile ilgili yapılan analiz sonuçlandırılmıştır. Modellerin tanker sayısı artışı ile oluşturdukları çözümler Tablo 7.4’te verilmiştir. Model 1 ve model 2 tanker artışında her set için çözüm üretebilirken model 3 altıncı aracın modele ilave edilmesiyle sonuç üretememiştir.

Tablo 7.4: Set uygulama sonuçları (Set 9 – Set 11)

	Tanker Sayısı	Rota Uzunluğu (km)			Servis Süresi (dk)			Model Çalışma Süresi (sn)		
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
T. Set	4	535,691	535,691	864,433	152	152	213	12,41	7,89	153,28
Set 9	5	535,691	535,691	846,978	152	152	213	37,94	27,19	605,94
Set 10	6	535,691	535,691	804,65*	152	152	223*	146,86	68,39	2999,7*
Set 11	7	535,691	535,691	805,94*	152	152	198*	400,45	88,05	2999,7*

* Model veri setinde optimum sonuç **üretememiştir**.

7.3 Zaman Limiti Değişimi Etkisi

Veri seti 12,13,14, 15 ve 16’da modellerin zaman limitlerine olan tolerans düzeyleri ölçülmüştür. Model 1 ve model 2 sadece zaman limiti kısıtı içerirken model 3 zaman limiti kısıtının yanısıra zaman penceresi kısıtı da içermektedir. Modellerin performans değişimlerini gözlemek amacıyla model 3’te bulunan zaman penceresi kısıtının modeli etkilememesi için zaman pencereleri en geniş aralığa çekilmiştir.

Veri seti 12’de zaman limiti 2000, veri seti 13’de zaman limiti 1500 dk, veri seti 14’te zaman limiti 1000 dk olarak alınmıştır. Veri setlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 7.5’te verilmiştir.

Tablo 7.5: Set uygulama sonuçları (Set 11 – Set 14)

	Zaman Limiti	Rota Uzunluğu (km)			Servis Süresi (dk)			Model Çalışma Süresi (sn)		
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
T. Set	3000	535,691	535,69	846,978	152	152	213	12,41	7,89	153,28
Set 12	2000	535,691	535,691	855,345	152	152	291	19,81	9,41	177,88
Set 13	1500	535,691	535,691	855,345	152	152	291	17,36	9,31	183,89
Set 14	1000	535,691	535,691	855,345	152	152	291	17,95	9,22	168,14
Set 15	300	578,436	539,297	1012,04	152	152	213	33,16	8,8	711,14
Set 16	150	-	665,274	-	-	153	-	-	64,13	-

12, 13 ve 14 numaralı setlerin çözümlerinde modellerin çözüm performanslarında ciddi bir değişim görülmemiştir.

15 ve 16 numaralı setlerin çözümünde ise modellerin buldukları sonuçlar değişmektedir. Model 1, 15 numaralı setin çözümünde zaman limitini aşmamak için, 4 numaralı aracın 7 numaralı üreticinin talebini de almasını sağlamış ve minimum rotayı 578, 436 km bulmuştur. Model 2, 15 numaralı setin çözümünde tank bazlı atama yapabilmesi neticesinde mevcut atamalarını değiştirmeden sadece şehirlerin sıralamasında 8 numaralı şehrin sıralamasını değiştirerek zaman limiti kısıtının aşılmamasını sağlamış ve minimum rotayı 539,297 km bulmuştur.

Model 3, 15 numaralı setin çözümünde belirlenen 300 dk zaman limitini aşmamak için kullandığı tanker sayısını artırarak çözüm üretmiştir. Bu durumda tankerlerin aldığı toplam km artmış olsada belirlenen zaman limiti sağlanmış olur. 16 numaralı setin uygulanmasında sadece Model 2 çözüme ulaşabilmiş, Model 1 ve Model 3 bu set için çözüm üretememişlerdir.

Tablo 7.6: Model 3 maliyet sonuçları

	Toplam Maliyet	Boş Tanker Maliyeti	Dolu Tanker Maliyeti	Tanker Kullanım Maliyeti	Ceza Dolum Maliyeti	Ceza Sıra Maliyeti	Rota Uzunluğu (km)	Model Çalışma Süresi (sn)
T.Set	22.274,61	20.108,60	2.121,01	45,00	0,00	0,00	846,978	153,28
Set 1	24.237,97	22.394,56	1.783,41	60,00	0,00	0,00	915,308	664,94
Set 2	32.428,81	27.063,87	2.073,13	60,00	3.181,82	50,00	1114,819 *	2999,94*
Set 3	25.330,00	23.021,70	2.263,30	45,00	0,00	0,00	831,927 *	2999,87*
Set 4	27.744,19	24.976,43	2.459,13	45,00	263,64	0,00	992,187*	3000,03*
Set 5	22.552,47	20.351,46	2.156,01	45,00	0,00	0,00	860,448	312
Set 6	22.680,81	20.442,11	2.173,70	45,00	0,00	20,00	864,433	930,22
Set 7	20.952,34	19.424,92	1.442,42	45,00	0,00	40,00	863,513*	2999,55*
Set 8	22.923,19	19.515,94	1.381,35	45,00	1.945,91	35,00	868,084*	2998,56*
Set 9	22.274,61	20.108,60	2.121,01	45,00	0,00	0,00	846,978	605,94
Set 10	20.627,88	18.724,25	1.758,63	45,00	100,00	0,00	804,652*	2999,78*
Set 11	20.791,65	18.750,01	1.896,64	45,00	100,00	0,00	805,94*	2999,78*
Set 12	22.147,47	20.275,78	1.826,69	45,00	0,00	0,00	855,345	148,02
Set 13	22.147,47	20.275,78	1.826,69	45,00	0,00	0,00	804,652*	2999,78*
Set 14	22.217,42	20.275,78	1.896,64	45,00	0,00	0,00	805,94*	2999,78*
Set 15	27.161,66	25.279,72	1.721,94	60,00	100,00	0,00	1012,045	711,14
Set 16	-	-	-	-	-	-	-	-

* Model veri setinde optimum sonuç **üretmemiştir**.

Tüm çözümlerde Model 3 maliyeti küçüklemeyi hedeflemiştir. Model 3'ün veri setlerinde bulmuş olduğu maliyetler Tablo 7.6'da özetlenmiştir. Modelin kurulum aşamasında hedeflendiği üzere tankerlerin dolu yük maliyetini azaltmış böylece hem sürüş güvenliği sağlanmış hem de toplam maliyette azalma meydana gelmiştir.

Tablo 7.7: Model 1 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16

	Tanker										Atanan Süt Tipi			Kapasite Kullanım Oranı (lt/kapasite)			Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)	
											Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3				
Temel Set	Tanker 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 2	Tip 1	Tip 3	84%	67%	30%	319,843	131	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	-								
	Tanker 3	Rota	1	3	1							Tip 3	Tip 3	Tip 3	-	-	-	215,848	21	
		A. Oranı (%)	-	100	-															
Toplam																	535,691	152	12,41	
Set 5	Tanker 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	Tip 2	Tip 3	83%	100%	56%	319,843	131	
		A. Oranı (%)	-	60	100	100	100	100	100	100	100	-								
	Tanker 3	Rota	1	8	1							Tip 1	Tip 3	Tip 2	60%	60%	60%	91,952	16	
		A. Oranı (%)	-	40	-															
	Tanker 4	Rota	1	3	1							Tip 3	Tip 3		-	-	-	215,848	21	
		A. Oranı (%)	-	100	-															
Toplam																	627,64	168	27,22	
Set 6	Model 1 veri seti 2 için çözüm üretememiştir.																	-	-	-
Set 7	Tanker 2	Rota	1	8	9	6	7	5	1			Tip 3	Tip 1	Tip 2	70%	100%	86%	314,394	101	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	78,6	-											
	Tanker 3	Rota	1	3	1							Tip 3	Tip 3	Tip 3	-	-	-	215,848	21	
		A. Oranı (%)	-	100	-															
	Tanker 4	Rota	1	5	2	4	1					Tip 2	Tip 1		70%	60%		216,16	56	
		A. Oranı (%)	-	21,4	100	100	-													
Toplam																	746,40	178	136,61	

Tablo 7.7: Model 1 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 12 (devam)

	Tanker	Atanan Süt Tipi			Kapasite Kullanım Oranı (lt/kapasite)			Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)										
		Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3													
		Set 8	Model 1 veri seti 4 için çözüm üretememiştir.									-	-	-						
Set 9	Tanker 3	Rota	1	3	1						Tip 3	Tip 3	Tip 3	-	-	-	215,848	21		
		A. Oranı (%)	-	100	-															
	Tanker 5	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	Tip 3	Tip 2	67%	30%	84%	319,843	131	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	-									
																Toplam	535,691	152	37,94	
Set 10	Tanker 4	Rota	1	3	1						Tip 3	Tip 3		-	-		215,848	21		
		A. Oranı (%)	-	100	-															
	Tanker 5	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	Tip 2	Tip 3	67%	84%	30%	319,843	131	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	-									
																Toplam	535,691	152	146,86	
Set 11	Tanker 2	Rota	1	4	7	5	2	6	9	8	1	Tip 3	Tip 2	Tip 1	30%	84%	67%	319,843	131	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	-									
	Tanker 5	Rota	1	3	1							Tip 3	-	Tip 3	-	-	-	215,848	21	
		A. Oranı (%)	-	100	-															
																Toplam	535,691	152	400,45	

Tablo 7.7: Model 1 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 12 (devam)

Set	Tanker	Rota	Atanan Süt Tipi									Kapasite Kullanım Oranı (lt/kapasite)			Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)			
			Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3									
Set 12	Tanker 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	Tip 3	Tip 2	67%	30%	84%	319,843	131	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	-								
	Tanker 3	Rota	1	3	1							Tip 3	Tip 3	Tip 3	-	-	-	215,848	21	
		A. Oranı (%)	-	100	-															
Toplam														535,691	152	19,81				
Set 13	Tanker 2	Rota	1	4	7	5	2	6	9	8	1	Tip 2	Tip 3	Tip 1	84%	30%	67%	319,843	131	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	-								
	Tanker 3	Rota	1	3	1							Tip 3	Tip 3	Tip 3	-	-	-	215,848	21	
		A. Oranı (%)	-	100	-															
Toplam														535,691	152	17,36				
Set 14	Tanker 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 3	Tip 1	Tip 2	30%	67%	84%	319,843	131	
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	-								
	Tanker 4	Rota	1	3	1							Tip 3	Tip 3		-	-		215,848	21	
		A. Oranı (%)	-	100	-															
Toplam														535,691	152	17,95				
Set 15	Tanker 2	Rota	1	9	6	2	5	8	4	1	Tip 2	Tip 3	Tip 1	84%	20%	67%	316,785	121		
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	-									
	Tanker 4	Rota	1	7	3	1						Tip 3	Tip 3	-	-			261,651	31	
		A. Oranı (%)	-	100	100	-														
Toplam														578,436	152	33,16				

Tablo 7.7: Model 1 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 12 (devam)

Tanker	Atanan Süt Tipi			Kapasite Kullanım Oranı (lt/kapasite)			Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3			
	Set 16	Model 1 veri seti 16 için çözüm üretememiştir.							

Tablo 7.8: Model 2 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16

Tanker												Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)			
Temel Set	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 3	30%	319,843	131			
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	100	-	-							
		Tank 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1						Tip 2	84%
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	-	-	100	-							
		Tank 3	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1						Tip 1	67%
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	-	100	-							
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	1							Tip 3	75%	215,848	21			
			A. Oranı (%)	-	27	-													
		Tank 2	Rota											Tip 3				100%	
			A. Oranı (%)	-	36	-													
		Tank 3	Rota											Tip 3				100%	
			A. Oranı (%)	-	36	-													
												Toplam	535,691	152	7,89				

Tablo 7.8: Model 2 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

		Tanker											Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)	
Set 5	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	100%	319,843	131		
			A. Oranı (%)	-	89	100	100	100	100	-	100	-						
		Tank 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 2	100%				
			A. Oranı (%)	-	60	100	100	100	-	100	-							
		Tank 3	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 3	80%				
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	100	-	-							
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	8	1							Tip 2	60%	91,952	16		
			A. Oranı (%)	-	40	-												
		Tank 2	Rota	1	8	1							-	-				
			A. Oranı (%)	-	-	-												
		Tank 3	Rota	1	8	1							Tip 1	17%				
			A. Oranı (%)	-	11	-												
Tanker 4	Tank 1	Rota	1	3	1							Tip 3	100%	215,848	21			
		A. Oranı (%)	-	73	-													
	Tank 2	Rota	1	3	1							Tip 3	38%					
		A. Oranı (%)	-	27	-													
													Toplam	627,643	152	23,09		
Set 6	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	3	9	6	2	5	7	8	4	1	Tip 3	100%	345,609	151	
			A. Oranı (%)	-	42	100	100	100	100	100	100	100	-					
		Tank 2	Rota	1	3	9	6	2	5	7	8	4	1	Tip 2	94%			
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	100	100	100	-	100	-					
		Tank 3	Rota	1	3	9	6	2	5	7	8	4	1	Tip 1	49%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	-					

Tablo 7.8: Model 2 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

		Tanker										Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)
Set 6 (devam)	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	3	8	1					Tip 3	80%	225,677	36	
			A. Oranı (%)	-	58	-	-									
		Tank 2	Rota	1	3	8	1					Tip 2	50%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	-									
Toplam												571,286	187	12,42		
Set 7	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	7	4	1	Tip 1	100%	305,54	120	
			A. Oranı (%)	-	91	100	100	100	-	100	-					
		Tank 2	Rota	1	8	9	6	2	7	4	1	Tip 3	80%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	100	-	-					
		Tank 3	Rota	1	8	9	6	2	7	4	1	Tip 2	74%			
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	100	100	100	-					
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	1					Tip 3	75%	215,848	21		
			A. Oranı (%)	-	27	-										
		Tank 2	Rota	1	3	1					Tip 3	100%				
			A. Oranı (%)	-	36	-										
		Tank 3	Rota	1	3	1					Tip 3	100%				
			A. Oranı (%)	-	36	-										
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	5	1					Tip 2	100%	185,144	17	
			A. Oranı (%)	-	100	100	-									
		Tank 2	Rota	1	8	5	1					Tip 1	95%			
			A. Oranı (%)	-	9	100	-									
Toplam												706,532	158	78,38		

Tablo 7.8: Model 2 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)											
Set 8	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	3	9	6	2	5	7	4	1	Tip 3	100%	341,095	136	
			A. Oranı (%)	-	73	100	-	-	-	100	-	-	-				
		Tank 2	Rota	1	3	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	100%			
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	100	74	-	100	-	-				
		Tank 3	Rota	1	3	9	6	2	5	7	4	1	Tip 2	96%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	100	100	-				
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	5	8	1						Tip 1	95%	287,289	42
			A. Oranı (%)	-	-	-	63	-									
		Tank 2	Rota	1	3	5	8	1						Tip 1	100%		
			A. Oranı (%)	-	-	100	37	-									
		Tank 3	Rota	1	3	5	8	1						Tip 3	75%		
			A. Oranı (%)	-	27	-	-	-									
Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	1								Tip 3	75%	91,952	16	
		A. Oranı (%)	-	100	-												
	Tank 2	Rota	1	8	1								Tip 2	75%			
		A. Oranı (%)	-	100	-												
				Toplam		720,336	194	94,53									
Set 9	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	66%	319,843	131	
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	-	100	-	-				
		Tank 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 3	30%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	100	-	-	-				
		Tank 3	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 2	84%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	-	-	100	-	-				

Tablo 7.8: Model 2 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker												Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)	
Set 9 (devam)	Tanker 5	Tank 1	Rota	1	3	1						Tip 3	100%				
			A. Oranı (%)	-	91	-											
		Tank 2	Rota			3						Tip 3	10%	215,848	21		
			A. Oranı (%)	-	9,1	-											
		Tank 3	Rota			3											
			A. Oranı (%)	-	-	-											
Toplam														535,691	152	27,19	
Set 10	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 2	84%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	-	-	100	-	-				
		Tank 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 3	30%	319,843	131	
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	100	-	-					
		Tank 3	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	67%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	-	100	-					
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	1						Tip 3	75%				
			A. Oranı (%)	-	27	-											
		Tank 2	Rota	1	3	1						Tip 3	100%	215,848	21		
			A. Oranı (%)	-	36	-											
		Tank 3	Rota	1	3	1						Tip 3	100%				
			A. Oranı (%)	-	36	-											
Toplam														535,691	152	68,39	
Set 11	Tanker 5	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 3	30%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	100	-	-					
		Tank 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	67%	319,843	131	
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	-	100	-					
Ta nk 3	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 2	84%					

Tablo 7.8: Model 2 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker												Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)	
Set 11 (devam)	Tanker 7	Tank 1	Rota	-	100	100	100	100	-	-	100	-	Tip 3	100%	215,848	21	
			A. Oranı (%)	-	73	-											
		Tank 2	Rota	1	3	1							Tip 3	38%			
			A. Oranı (%)	-	27	-											
	Toplam													535,691	152	88,05	
	Set 12	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 2	84%	319,843	
A. Oranı (%)				-	100	100	100	100	-	-	100	-					
Tank 2			Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	67%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	-	100	-					
Tank 3			Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 3	30%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	100	-	-					
Tanker 4		Tank 1	Rota	1	3	1							Tip 3	100%			
			A. Oranı (%)	-	73	-											
	Tank 2	Rota	1	3	1							Tip 3	38%				
		A. Oranı (%)	-	27	-												
Toplam													535,691	152	9,41		
Set 13	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 2	84%	319,843	131	
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	-	-	100	-					
		Tank 2	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 3	30%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	-	-	-	100	-	-					
		Tank 3	Rota	1	8	9	6	2	5	7	4	1	Tip 1	67%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	-	100	-					

Tablo 7.8: Model 2 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)										
Set 13 (devam)	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	3	1	Tip 3	75%	215,848	21	9,31					
		A. Oranı (%)		-	27	-										
		Tank 2	Rota	1	3	1	Tip 3	100%								
	A. Oranı (%)		-	36	-											
	Tank 3	Rota	1	3	1	Tip 3	100%									
	A. Oranı (%)		-	36	-											
Toplam				535,691	152	9,31										
Set 14	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	4	7	5	2	6	9	8	1	Tip 2	84%	319,843	131
		A. Oranı (%)		-	100	-	-	100	100	100	100	-				
		Tank 2	Rota	1	4	7	5	2	6	9	8	1	Tip 1	67%		
		A. Oranı (%)		-	100	-	100	100	100	100	100	-				
	Tank 3	Rota	1	4	7	5	2	6	9	8	1	Tip 3	30%			
	A. Oranı (%)		-	-	100	-	-	-	100	100	-					
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	3	1							Tip 3	100%		
		A. Oranı (%)		-	73	-										
Tank 2		Rota	1	3	1							Tip 3	38%			
A. Oranı (%)		-	27	-												
Toplam				535,691	152	9,22										
Set 15	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	4	8	7	5	2	6	9	1	Tip 2	84%	319,843	131
		A. Oranı (%)		-	100	100	-	-	100	100	100	-				
		Tank 2	Rota	1	4	8	7	5	2	6	9	1	Tip 3	30%		
	A. Oranı (%)		-	-	100	100	-	-	-	100	-					
	Tank 3	Rota	1	4	8	7	5	2	6	9	1	Tip 1	67%			
	A. Oranı (%)		-	100	100	-	100	100	100	100	-					

Tablo 7.8: Model 2 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)							
Set 15	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	3	1	Tip 3	100%	215,848	21	8,8		
			A. Oranı (%)	-	73	-							
	Tank 2	Rota	1	3	1	Tip 3	38%						
		A. Oranı (%)	-	27	-								
				Toplam	539,297	152	8,8						
Set 16	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	5	2	6	9	1	Tip 2	60%	308,606	91
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	100	-				
		Tank 2	Rota	1	5	2	6	9	1	Tip 1	46%		
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	-				
		Tank 3	Rota	1	5	2	6	9	1	Tip 3	10%		
			A. Oranı (%)	-	-	-	-	100	-				
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	4	8	1			Tip 2	60%	95,017	31
			A. Oranı (%)	-	64	100	-						
		Tank 2	Rota	1	4	8	1			Tip 3	25%		
			A. Oranı (%)	-	36	100	-						
		Tank 3	Rota	1	4	8	1			Tip 1	52%		
			A. Oranı (%)	-	-	100	-						
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	3	7	1			Tip 3	100%	261,651	31
			A. Oranı (%)	-		100	-						
		Tank 2	Rota	1	3	7	1			Tip 3	50%		
			A. Oranı (%)	-		-	-						
				Toplam	665,274	153	64,13						

Tablo 7.9: Model 3 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16

Tanker		Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)							
Temel Set	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	3	1		Tip 3	1	70%	215,848	21		
			A. Oranı (%)	-	63,6	-								
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	9	7	8	1	Tip 3	2	95%	314,25	71
			A. Oranı (%)	-	18,2	50	90,9	39,1	-					
		Tank 2	Rota	1	3	9	7	8	1	Tip 3	1	80%		
			A. Oranı (%)	-	18,2	50	9,1	60,9	-					
		Tank 3	Rota	1	3	9	7	8	1	Tip 2	3	50%		
			A. Oranı (%)	-	-	-	-	100	-					
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 1	2	83%
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	-			
		Tank 2	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 2	1	80%
			A. Oranı (%)	-	-	-	100	100	100	100	-			
Toplam										846,978	213	153,28		
Set 5	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	7	9	1		Tip 3	1	20%	290,62	36	
			A. Oranı (%)	-	100	100	-							
	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	1			Tip 2	2	60%	91,952	16	
			A. Oranı (%)	-	100	-								
		Tank 2	Rota	1	8	1			Tip 3	1	60%			
			A. Oranı (%)	-	100	-								
Tank 3	Rota	1	8	1			Tip 1	3	43%					
	A. Oranı (%)	-	71	-										

Tablo 7.9: Model 3 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker											Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)		
Set 5 (devam)	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	1						Tip 3	2	95%				
			A. Oranı (%)	-	34,5	-												
		Tank 2	Rota	1	3	1							Tip 3	1	90%	215,848	21	
			A. Oranı (%)	-	32,7	-												
		Tank 3	Rota	1	3	1							Tip 3	3	90%			
			A. Oranı (%)	-	32,7	-												
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1		Tip 1	2	80%			
			A. Oranı (%)	-	29	100	100	100	100	100	100	-				316,888	121	
		Tank 2	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1		Tip 2	1	80%			
			A. Oranı (%)	-	-	-	100	100	100	100	100	-						
Toplam																915,308	194	664,94
Set 6	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	8	3	6	7	4	1		Tip 3		69%	289,789	86		
			A. Oranı (%)	-	100	33,6	52,5	90,9	90,9									
	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	2	8	1					Tip 2		40%				
			A. Oranı (%)	-	90,9	18,2	-											
		Tank 2	Rota	1	2	8	1					Tip 1		20%	213,628	31		
			A. Oranı (%)	-	-	100	-											
	Tank 3	Rota	1	2	8	1					-		**					
		A. Oranı (%)	-	-	-	-												
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	6	9	2	7	5	4	1	Tip 3		95%			
			A. Oranı (%)	-	14,5	47,5	100	100	18,2	100	9,1	-						
		Tank 2	Rota	1	3	6	9	2	7	5	4	1	Tip 2		93%	348,281	136	
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	9,1	100	100	100	-						
Tank 3		Rota	1	3	6	9	2	7	5	4	1	Tip 1		72%				
		A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	-	100	100	-							

Tablo 7.9: Model 3 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)										
Set 6 (devam)	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	7	3	1	Tip 2		71%						
		A. Oranı (%)	-	81,8	81,8	100	-										
	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	7	3	1	Tip 3		71%	263,121	46				
		A. Oranı (%)	-	-	-	51,8	-										
											Toplam	1114,819 *	299*	2999,94*			
	* Model 3 veri seti 6 için mevcut kaynak şartları altında optimum sonuç üretememiştir.																
Set 7	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 1	2	78%			
			A. Oranı (%)	-	100	21,4	51	9,1	59,2	9,1	-						
		Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 1	1	78%	316,88	121
			A. Oranı (%)	-	-	78,6	49	90,9	40,8	90,9	-						
		Tanker 3	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 2	3	64%		
			A. Oranı (%)	-	-	-	100	100	100	100	-						
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	5	7	8	1				Tip 2	2	88%			
			A. Oranı (%)	-	100	100	12,5	-									
		Tanker 2	Tank 1	Rota	1	5	7	8	1				Tip 2	1	88%	191,808	51
			A. Oranı (%)	-	-	-	87,5	-									
		Tanker 3	Tank 1	Rota	1	5	7	8	1				Tip 3	3	85%		
			A. Oranı (%)	-	-	-	68	-									
Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	3	9	7	1			Tip 3	2	95%				
		A. Oranı (%)	-	32	52,9	9,1	9,1	-									
	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	3	9	7	1			Tip 3	1	88%	322,609	71	
		A. Oranı (%)	-	-	47,1	90,9	90,9	-									
										Toplam	831,927 *	243*	2999,87*				
* Model 3 veri seti 7 için mevcut kaynak şartları altında optimum sonuç üretememiştir.																	

Tablo 7.9: Model 3 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker											Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)	
Set 8	Tanker 2	Tank 1	Rota	1	8	9	6	2	5	4	1	Tip 1	2	95%	340,148	121	
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	12,5	31,7	90,9	-						
		Tank 2	Rota	1	8	9	6	2	5	4	1	Tip 2	1	95%			
			A. Oranı (%)	-	81,4	9,1	100	28,2	100	100	-						
		Tank 3	Rota	1	8	9	6	2	5	4	1	Tip 1	3	83%			
			A. Oranı (%)	-	-	-	-	87,5	68,3	9,1	-						
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	2	3	9	7	8	1	Tip 2	2	95%	388,918	86		
			A. Oranı (%)	-	71,8	100	9,1	9,1	9,1	-							
		Tank 2	Rota	1	2	3	9	7	8	1	Tip 3	1	95%				
			A. Oranı (%)	-	-	18,2	100	9,1	11,8	-							
		Tank 3	Rota	1	2	3	9	7	8	1	Tip 1	3	58%				
			A. Oranı (%)	-	-	-	81,8	90,9	9,5	-							
Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	7	3	1			Tip 3	2	95%	263,121	46			
		A. Oranı (%)	-	88,2	90,1	12,7	-										
	Tank 2	Rota	1	8	7	3	1			Tip 3	1	95%					
		A. Oranı (%)	-	-	-	69,1	-										
													Toplam	992,187*	253*	3000,03*	
* Model 3 veri seti 8 için mevcut kaynak şartları altında optimum sonuç üretememiştir.																	
Set 9	Tanker	Tank 1	Rota	1	3	1					Tip 3	1	70%	215,848	21		
			A. Oranı (%)	-	63,6	-											

Tablo 7.9: Model 3 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)											
Set 9 (devam)	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	9	7	8	1	Tip 3	2	95%	314,25	71	605,94			
			A. Oranı (%)	-	18,2	50	90,9	39,1	-									
		Tank 2	Rota	1	3	9	7	8	1							Tip 3	1	80%
			A. Oranı (%)	-	18,2	50	9,1	60,9	-									
		Tank 3	Rota	1	3	9	7	8	1							Tip 2	3	50%
			A. Oranı (%)	-	-	-	-	100	-									
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 1				2	83%	
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100	-							
		Tank 2	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 2				1	80%	
			A. Oranı (%)	-	-	-	100	100	100	100	-							
Toplam												846,978				213	605,94	
Set 10	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	1	Tip 1	2				313,72	106	263,121
			A. Oranı (%)	-	100	100	30,8	100	100	-								
		Tank 2	Rota	1	8	5	2	6	9	1	Tip 2	1	95%					
			A. Oranı (%)	-	-	-	50	80	100	-								
		Tank 3	Rota	1	8	5	2	6	9	1	Tip 3	3	25%					
			A. Oranı (%)	-	-	-	-	-	100	-								
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	3	7	8	1			Tip 3	2	81%					
			A. Oranı (%)	-	50	50	50	-										
		Tank 2	Rota	1	3	7	8	1			Tip 3	1	81%					
			A. Oranı (%)	-	50	50	50	-										

Tablo 7.9: Model 3 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)											
Set 10 (devam)	Tanker 6	Tank 1	Rota	1	8	6	2	4	1	Tip 2	2	72%	227,811	71				
			A. Oranı (%)	-	100	20	14,3	22,5	-									
		Tank 2	Rota	1	8	6	2	4	1							Tip 1	1	72%
			A. Oranı (%)	-	-	-	69,2	100	-									
		Tank 3	Rota	1	8	6	2	4	1							Tip 2	3	44%
			A. Oranı (%)	-	-	-	35,7	77,5	-									
	Toplam												804,652*	223*	2999,78*			
	* Model 3 veri seti 10 için mevcut kaynak şartları altında optimum sonuç üretmemiştir.																	
	Set 11	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	8	5	2	9	1	Tip 1	2	79%	311,95	81			
				A. Oranı (%)	-	80	100	27,5	100	-								
Tank 2			Rota	1	8	5	2	9	1	Tip 2							1	75%
			A. Oranı (%)	-	-	-	50	100	-									
Tank 3			Rota	1	8	5	2	9	1	Tip 3							3	25%
			A. Oranı (%)	-	-	-	-	100	-									
Tanker 6		Tank 1	Rota	1	2	6	8	4	1	Tip 1	2	87%	230,869	71				
			A. Oranı (%)	-	72,5	100	20	100	-									
		Tank 2	Rota	1	2	6	8	4	1							Tip 2	1	85,9
			A. Oranı (%)	-	50	100	20	9,1	-									
	Tank 3	Rota	1	2	6	8	4	1	Tip 2							3	49%	
		A. Oranı (%)	-	-	-	80	90,9	-										

Tablo 7.9: Model 3 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker									Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)	
Set 11 (devam)	Tanker 7	Tank 1	Rota	1	3	7	8	1	Tip 3	2	81%	263,121	46		
			A. Oranı (%)	-	50	50	50	-							
	Tank 2	Rota	1	3	7	8	1	Tip 3	1	81%					
		A. Oranı (%)	-	50	50	50	-								
Toplam											805,94*	198*	2999,78*		
* Model 3 veri seti 11 için mevcut kaynak şartları altında optimum sonuç üretememiştir.															
Set 12	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	7	9	3	1	Tip 3	1	90%	312,78	76		
			A. Oranı (%)	-	100	100	63,6	-							
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	8	1	Tip 3	2	73%					
			A. Oranı (%)	-	18,2	90,9	-								
		Tank 2	Rota	1	3	8	1	Tip 3	1	52%					
			A. Oranı (%)	-	18,2	9,1	-								
	Tank 3	Rota	1	3	8	1	Tip 2	3	50%						
		A. Oranı (%)	-	-	100	-									
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 1	316,888	166	
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100					
Tank 2		Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 2	80%			
		A. Oranı (%)	-	-	100	100	100	100	100						
Toplam											855,345	291	177,88		
Set 13	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	7	9	3	1	Tip 3	1	90%	312,78	76		
			A. Oranı (%)	-	100	100	63,6	-							

Tablo 7.9: Model 3 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)							
Set 13 (devam)	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	8	1	Tip 3	2	73%	225,677	49		
			A. Oranı (%)	-	18,2	90,9	-							
		Tank 2	Rota	1	3	8	1	Tip 3	1	52%				
			A. Oranı (%)	-	18,2	9,1	-							
		Tank 3	Rota	1	3	8	1	Tip 2	3	50%				
			A. Oranı (%)	-	-	100	-							
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 1	2	83%
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100				
		Tank 2	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 2	1	80%
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	100	100	100				
					Toplam					855,345	291	183,89		
Set 14	Tanker 1	Tank 1	Rota	1	7	9	3	1	Tip 3	1	90%	312,78	76	
			A. Oranı (%)	-	100	100	63,6	-						
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1	3	8	1	Tip 3	2	73%				
			A. Oranı (%)	-	18,2	90,9	-							
		Tank 2	Rota	1	3	8	1	Tip 3	1	52%				
			A. Oranı (%)	-	18,2	9,1	-							
		Tank 3	Rota	1	3	8	1	Tip 2	3	50%				
			A. Oranı (%)	-	-	100	-							
	Tanker 4	Tank 1	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 1	2	83%
			A. Oranı (%)	-	100	100	100	100	100	100				
		Tank 2	Rota	1	8	5	2	6	9	4	1	Tip 2	1	80%
			A. Oranı (%)	-	-	100	100	100	100	100				
						Toplam					855,345	291	168,14	

Tablo 7.9: Model 3 duyarlılık analizi sonuçları Set 5-Set 16 (devam)

Tanker		Atanan Süt Tipi	Yükleme Sırası	K.Oranı (lt/kapasite)	Rota Uzunluğu (km)	Servis Süresi (dk)	Model Çalışma Süresi (sn)	
Set 15	Tanker 1	Tank 1	Rota	1 6 2 4 1	227,579	56		
		A. Oranı (%)	- 100 100 100 -					
	Tanker 2	Tank 1	Rota	1 2 6 5 4 1	242,231	81		
			A. Oranı (%)	- 100 100 100 100 -				
		Tank 2	Rota	1 2 6 5 4 1	-	-	-	
			A. Oranı (%)	- - - - - -				
		Tank 3	Rota	1 2 6 5 4 1	-	-	-	
			A. Oranı (%)	- - - - - -				
	Tanker 3	Tank 1	Rota	1 8 9 1	280,584	41		
			A. Oranı (%)	- 100 100 -				
		Tank 2	Rota	1 8 9 1	Tip 1	60%		
			A. Oranı (%)	- 100 100 -				
Tank 3		Rota	1 8 9 1	Tip 3	50%			
		A. Oranı (%)	- 100 100 -					
Tanker 4	Tank 1	Rota	1 3 7 1	261,651	31			
		A. Oranı (%)	- 63,6 60 -					
	Tank 2	Rota	1 3 7 1	Tip 3	55%			
		A. Oranı (%)	- 36,4 40 -					
set 16					Toplam	1.012,045	213	711,14
	Model 3 set 16 için çözüm üretememiştir.				-	-	-	

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında literatürde farklı başlıklar altında kısmi olarak çalışılmış olan süt toplama problemi, problemin doğasına özgü yeni kısıtlar dahil edilerek eş zamanlı bütünlük bir matematiksel model kurularak çözülmüştür.

Yapılan tez çalışmasında kurulan ilk model ile problemin saha kısıtlarının uygulamasında modelle ilgili izlenmesi gereken yöntemler belirlenmiştir. Bu nedenle kurulan ilk model talebi bölme işlemi tanker bazında yapabilirken diğer modellerde talep bölme işlemi tank bazına indirgenerek problemin gerçekçiliği ve çözümün uygulanabilirliği artırılmıştır.

Kısıtların gerçeğe yaklaştırılması noktasında Model 2 Model 1'e kıyasla çok daha verimli ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Duyarlılık analizi kısmında Model 2'nin ortaya koymuş olduğu sonuçlara bakıldığında değişkenlere uyumluluk noktasında Model 1 ve Model 3'e kıyasla çok daha başarılı sonuçlar ortaya koymuştur.

Günümüz koşullarında en kısa yolu sağlamanın yanı sıra, en güvenli, ürünün kalitesini koruyacak ve toplam maliyeti en düşük seviyede tutacak çözümler daha gerçekçi ve uygulanabilir olmaktadır. Bu bağlamda tasarlanan Model 3'le tankerlerin yakıt tüketimi ve tanker kullanım maliyetleri minimize edilirken, şoförün güvenliği ve sütün kalitesi korunmaktadır. Model 3'ün performansı düğüm sayısı, tanker sayısı artışlarında modelin çözümlendiği bilgisayar ve zaman koşulları altında düşmüştür. Aynı modelin çok daha iyi teknolojik koşullarda uygulanması ile daha hızlı sonuçlar alınması mümkündür.

Problemin doğası göz önüne alındığında ilerleyen araştırmalar için yapılabilecek çalışmalardan bir tanesi süt tiplerinin karıştırılmaması kısıtının maliyete olan etkisini ölçmek ve bu etkinin maliyet minimizasyonu ile başa baş gelen noktasında süt tiplerinin karıştırılması hakkında karar verebilen bir model oluşturmak olacaktır.

Aynı zamanda süt toplama problemi sahada gerçekleşen birçok değişken parametreye bağlı bir problem olduğu için, toplanacak süt tipleri ve miktarlarının, filoda bulunan tanker sayısının, mevsimsel koşullar nedeni ile yollarda oluşacak çeşitli problemlerin göz önüne alınacağı bulanık bir model çalışması da yapılabilir.

Süt toplama merkezlerinin uzaklığına ve bu merkezlerde toplanan sütün miktarına bağlı olarak bazı noktalarda sabah ve akam alım yapılırken, bazı noktalarda sadece sabah alım yapılmaktadır. Aynı zamanda sahada süt toplayan tankerler topladıkları sütleri birden fazla süt işleme tesisine bırakabilmektedir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda süt toplama problemi çok periyotlu ve çok depolu olarak çalışılabilir.

Problemin içerdiği kısıtların zorluğu, veriler arttıkça problemin zmszlemesi ve mevcut teknolojik koşullar göz önüne alındığında süt toplama problemine gerçek hayat koşullarında bir çözüm getirebilmek için ilgili problem sezgisel yöntemlerle çalışılmalıdır.

Literatür inceleme bölümünde ayrıntılı olarak verildiği gibi, henüz tam olarak tüm kısıtları üzerinde alıılmamı olan süt toplama problemi hakkında yapılan ve bütünleşik matematiksel model sunan bu tez çalışmasının, problemin derinlemesine alıılmasında katkısı olması beklenmektedir.

9. KAYNAKLAR

Adenso-Díaz, B., González, M., García, E., "A Hierarchical Approach to Managing Dairy Routing", *Interfaces*, 28 (2), 21-31, (1998).

Amiama, C., Pereira, J.M., Carpenente, L., Salgado, J., "Spatial decision support system for the route management for milk collection from dairy farms", *Transportation Letters*, 7 (5), 279-288, (2015).

ASÜD., *Çiğ Süt Üretimi İyi Hijyen Uygulamaları Rehberi*, Ambalajlı Süt ve Süt Ürünleri Sanayicileri Derneği, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, (2010/6).

Azadi, S., Jafari, A., Samadian, M., "Effect of parameters on roll dynamic response of an articulated vehicle carrying liquids", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28 (3), 837-848, (2014).

BAKA., *Süt ve Süt Ürünleri Sektör raporu*, Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, (2011/2).

Bansal, S., Goel, R.K., Katiyar, V. "A novel method to handle route failure in fuzzy vehicle routing problem with hard time windows and uncertain demand", *International Journal of Advanced Operations Management*, 9 (3), 169-187, (2017).

Basnet, C., Foulds, L.R., Wilson, J.M., "An exact algorithm for a milk tanker scheduling and sequencing problem", *Annals of Operations Research*, 86 (0), 559-568, (1999).

Bektaş, T., Laporte, G., "The Pollution-Routing Problem", *Transportation Research Part B: Methodological*, 45 (8), 1232-1250, (2011).

Benantar, A., Ouafi, R., Boukachour, J., "A petrol station replenishment problem: new variant and formulation", *Logistics Research*, 9 (1), 6, (2016).

Bošková, I., "Effects of the length of the milk collection route on the choice of the locality of milk processing", *Agricultural Economics (Zemědělská Ekonomika)*, 55 (10), 501-507, (2009).

Burduk, A., Bożejko, W., Pempera, J., Musiał, K., "On the simulated annealing adaptation for tasks transportation optimization", *Logic Journal of the IGPL*, 26 (6), 581-592, (2018).

Butler, M., Herlihy, P., Keenan, P.B., "Integrating information technology and operational research in the management of milk collection", *Journal of Food Engineering*, 70 (3), 341-349, (2005).

Butler, M., Williams, H.P., Yarrow, L.-A., "The Two-Period Travelling Salesman Problem Applied to Milk Collection in Ireland", *Computational Optimization and Applications*, 7 (3), 291-306, (1997).

Caramia, M., Guerriero, F., "A Milk Collection Problem with Incompatibility Constraints", *Interfaces*, 40 (2), 130-143, (2010).

Caria, M., Todde, G., Pazzona, A., "Modelling the Collection and Delivery of Sheep Milk: A Tool to Optimise the Logistics Costs of Cheese Factories", *Agriculture*, 8 (1), 5, (2018).

Chokanat, P., Pitakaso, R., Sethanan, K., "Methodology to Solve a Special Case of the Vehicle Routing Problem: A Case Study in the Raw Milk Transportation System", *AgriEngineering*, 1 (1), 75-93, (2019).

Claassen, G.D.H., Hendriks, T.H.B., "An application of Special Ordered Sets to a periodic milk collection problem", *European Journal of Operational Research*, 180 (2), 754-769, (2007).

Clarke, G., Wright, J.W., "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", *Operations Research*, 12 (4), 568-581, (1964).

Coelho, L.C., Renaud, J., Laporte, G., "Road-based goods transportation: a survey of real-world logistics applications from 2000 to 2015", *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 54 (2), 79-96, (2016).

Coltman, R.T., Schnitkey, G.D., Miranda, M.J. "Scheduling efficiencies of Farm-to-plant milk collection in Western Ohio", *Agribusiness*, 10 (2), 179-191, (1994).

Cornillier, F., Laporte, G., Boctor, F.F., Renaud, J., "The petrol station replenishment problem with time windows", *Computers & Operations Research*, 36 (3), 919-935, (2009).

Cuda, R., Guastaroba, G., Speranza, M.G., "A survey on two-echelon routing problems", *Computers & Operations Research*, 55 (0), 185-199, (2015).

Dayarian, I., Crainic, T.G., Gendreau, M., Rei, W., "A column generation approach for a multi-attribute vehicle routing problem", *European Journal of Operational Research*, 241 (3), 888-906, (2015).

Demir, E., Bektaş, T., Laporte, G., "The bi-objective Pollution-Routing Problem", *European Journal of Operational Research*, 232 (3), 464-478, (2014).

Demiral, M.F., "Süt Endüstrisinde Optimizasyon İmkanları ve Bir Model Önerisi", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5 (8), 36-57, (2013).

Demirbaş, N., Gölge, E., Tosun, D., Çukur, F., "Food safety practices in milk collection centers in Turkey: a case study", *British Food Journal*, 110 (8), 781-789, (2008).

Demirbas, N., Tosun, D., Cukur, F., Gölge, E., "Practices in milk collection centres for quality milk production: a case from the Aegean Region of Turkey", *New Medit*, 8 (3), 21-27, (2009).

Dooley, A.E., Parker, W.J., Blair, H.T., "Modelling of transport costs and logistics for on-farm milk segregation in New Zealand dairying", *Computers and Electronics in Agriculture*, 48 (2), 75-91, (2005).

Endrizzi, I., Fabris, A., Biasioli, F., Aprea, E., Franciosi, E., Poznanski, E., . . . Gasperi, F., "The effect of milk collection and storage conditions on the final quality of Trentingrana cheese: Sensory and instrumental evaluation", *International Dairy Journal*, 23 (2), 105-114, (2012).

Erdoğan, S., Miller-Hooks, E., "A Green Vehicle Routing Problem", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48 (1), 100-114, (2012).

Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A., The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483, (2009).

Expósito, A., Raidl, G.R., Brito, J., Moreno-Pérez, J.A., "GRASP-VNS for a Periodic VRP with Time Windows to Deal with Milk Collection". *Cham*, Year, (2018).

Foulds, L.R., Wilson, J.M., "A variation of the generalized assignment problem arising in the New Zealand dairy industry", *Annals of Operations Research*, 69 (0), 105-114, (1997).

Frye, C.P. Regulatory requirements for milk production, transportation and processing Manufacturing Yogurt and Fermented Milks (pp. 49-69): *John Wiley & Sons*, (2013).

Golden, B.L., Raghavan, S., Wasil, E.A., *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*, New York, USA: Springer Science & Business Media, (2008).

Hammervoll, T., "Application of an operational trip planning software to a transportation problem for a Norwegian dairy", *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*, 6 (3), 287-295, (2009).

Henke, T., Speranza, M.G., Wäscher, G., "The multi-compartment vehicle routing problem with flexible compartment sizes", *European Journal of Operational Research*, 246 (3), 730-743, (2015).

Henke, T., Speranza, M.G., Wäscher, G., "A branch-and-cut algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with flexible compartment sizes", *Annals of Operations Research*, 275 (2), 321-338, (2019).

Hoff, A., Løkketangen, A., "A tabu search approach for milk collection in western Norway using trucks and trailers", *Proc. Sixth Triennial Sympos. Transportation Anal.(TRISTAN VI)*, Phuket Island, Thailand, (2007).

Huang, K., Wu, K.-F., Ardiansyah, M.N., "A stochastic dairy transportation problem considering collection and delivery phases", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, In Press, (2019).

Huiling, Z., Dinglan, W., Changgui, L., Yanchun, W., "Research on Optimization of Pasteurized Milk Cold Chain Logistics Distribution Network", *15th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 21-22 July, (2018).

Iori, M., Martello, S., "Routing problems with loading constraints", *TOP*, 18 (1), 4-27, (2010).

Jones, J.B., "Economics of Milk Distribution From Farm To Dairy", *International Journal of Dairy Technology*, 6 (2), 72-78, (1953).

Kalra, K.K., Singh, R.V., "Milk transportation routes management", *Agricultural Systems*, 28 (4), 259-271, (1988).

Kazancoglu, Y., Ozkan-Ozen, Y.D., Ozbiltekin, M., "Minimizing losses in milk supply chain with sustainability: An example from an emerging economy", *Resources, Conservation and Recycling*, 139 270-279, (2018).

Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O., Laporte, G. "The fleet size and mix pollution-routing problem", *Transportation Research Part B: Methodological*, 70 239-254, (2014).

Kuo, Y., "Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem", *Computers & Industrial Engineering*, 59 (1), 157-165, (2010).

Lahrichi, N., Gabriel Crainic, T., Gendreau, M., Rei, W., Rousseau, L.-M., "Strategic analysis of the dairy transportation problem", *Journal of Operational Research Society*, 66 (1), 44-56, (2015).

Lahyani, R., Coelho, L. C., Khemakhem, M., Laporte, G., & Semet, F., "A multi-compartment vehicle routing problem arising in the collection of olive oil in Tunisia", *Omega*, 51, 1-10. (2015^a).

Lahyani, R., Khemakhem, M., Semet, F., "Rich vehicle routing problems: From a taxonomy to a definition", *European Journal of Operational Research*, 241 (1), 1-14.b, (2015^b).

Laporte, G., Nobert, Y., & Arpin, D., "An exact algorithm for solving a capacitated location-routing problem", *Annals of Operations Research*, 6(9), 291-310, . (1986).

Laporte, G., & Osman, I. H., "Routing problems: A bibliography", *Annals of Operations Research*, 61(1), 227-262, (1995).

Leggieri, V., Haouari, M., "A practical solution approach for the green vehicle routing problem", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 104 97-112, (2017).

Lin, C., Choy, K.L., Ho, G.T.S., Chung, S.H., Lam, H.Y., "Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and future trends", *Expert Systems with Applications*, 41 (4), 1118-1138, (2014).

Lore, T.A., Kurwijila, L.R., Omore, A., *Hygienic milk handling and transportation: a training guide for milk transporters in Eastern Africa*. Nairobi ,Kenya, (2006).

Malairajan, R.A., Ganesh, K., Punnniyamoorthy, M., Anbuudayasankar, S.P., "Decision Support System for Real Time Vehicle Routing in Indian Dairy Industry: A Case Study", *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJISSCM)*, 6 (4), 77-101, (2013).

Masson, R., Lahrichi, N., Rousseau, L.-M., "A two-stage solution method for the annual dairy transportation problem", *European Journal of Operational Research*, 251 (1), 36-43, (2016).

Mumtaz, M.K., Lahore, D., Jalil, P.M.N., Chatha, K.A., "Designing the Milk Collection Network using Integrated Location Routing Approach". *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Bali, Indonesia, January 7 - 9, (2014).

O’Callaghan, S., O’Connor, D., Goulding, D., "Distance Optimisation Of Milk Transportation from Dairy Farms to A Processor Over a National Road Network", *Agriculture & Food*, 6 (0), 279-296, (2018).

OECD-FAO, The Organisation for Economic Co-operation and Development, "Agricultural Outlook 2010–2019", (15.05.2019), "http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/ENGLISH_outlook.pdf"

Ostermeier, M., Martins, S., Amorim, P., Hübner, A., "Loading constraints for a multi-compartment vehicle routing problem", *OR Spectrum*, 40 (4), 997-1027, (2018).

Palhares, R.A., Araújo, M.C.B., "Vehicle Routing: Application of Travelling Salesman Problem in a Dairy". *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 16-19 Dec. (2018).

Paredes-Belmar, G., Lüer-Villagra, A., Marianov, V., Cortés, C.E., Bronfman, A., "The milk collection problem with blending and collection points", *Computers and Electronics in Agriculture*, 134 109-123, (2017).

Paredes-Belmar, G., Marianov, V., Bronfman, A., Obreque, C., Lüer-Villagra, A., "A milk collection problem with blending", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 94 26-43, (2016).

Pasha, U., Hoff, A., Løkketangen, A., "A Hybrid Approach for Milk Collection Using Trucks and Trailers", *Annals of Management Science*, 3 (1), 85, (2014).

Pirisi, A., Lauret, A., Dubeuf, J.P., "Basic and incentive payments for goat and sheep milk in relation to quality", *Small Ruminant Research*, 68 (1–2), 167-178, (2007).

Polat, O., Gunther, H.-O., Kulak, O., "The feeder network design problem: Application to container services in the Black Sea region", *Maritime Econ Logistics*, (2014).

Polat, O., Kalayci, C.B., Kulak, O., Günther, H.-O., "A perturbation based variable neighborhood search heuristic for solving the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery with Time Limit", *European Journal of Operational Research*, 242 (2), 369-382, (2015).

Pollaris, H., Braekers, K., Caris, A., Janssens, G.K., Limbourg, S., "Vehicle routing problems with loading constraints: state-of-the-art and future directions", *OR Spectrum*, 37 (2), 297-330, (2015).

Pollaris, H., Braekers, K., Caris, A., Janssens, G.K., Limbourg, S., "Capacitated vehicle routing problem with sequence-based pallet loading and axle weight constraints", *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 5 (2), 231-255, (2016).

Prasertsri, P., Kilmer, R.L., "Scheduling and Routing Milk from Farm to Processors by a Cooperative", *Journal of Agribusiness*, 22 (2), 93-106, (2004).

Prodhon, C., Prins, C., "A survey of recent research on location-routing problems", *European Journal of Operational Research*, 238 (1), 1-17, (2014).

Quinlan, C., Keane, M., O' Connor, D., Shalloo, L., "Milk transport costs under differing seasonality assumptions for the Irish Dairy Industry", *International Journal of Dairy Technology*, 65 (1), 22-31, (2012).

Rautela, A., Sharma, S.K., Bhardwaj, P., "Vehicle routing approach for an efficient distribution: a case of a state-owned Indian cooperative dairy", *International Journal of Procurement Management*, 10 (6), 776-789, (2017).

Rennie, S., "Optimal dispatching and routing of milk tankers for northland dairy board", *Proceedings of the 30th Annual Conference of the Operational Research Society of New Zealand*, (1995).

RMS. *Heavy vehicle driver handbook*. Sydney, Avusturalya: Roads and Maritime Services, (2016).

Rothenbacher, A.-K., Drexl, M., Irnich, S., "Branch-and-Price-and-Cut for the Truck-and-Trailer Routing Problem with Time Windows", *Transportation Science*, 52 (5), 1174-1190, (2018).

Sankaran, J.K., Ubgade, R.R., "Routing Tankers for Dairy Milk Pickup", *Interfaces*, 24 (5), 59-66, (1994).

Sayin, C., Mencet, M.N., Karaman, S., "The roles of milk collection centers in milk distribution channels in Turkey: A case study of Antalya", *African Journal of Agricultural Research*, 6 (1), 174-180, (2011).

Sethanan, K., Pitakaso, R., "Differential evolution algorithms for scheduling raw milk transportation", *Computers and Electronics in Agriculture*, 121 245-259, (2016).

Sowińska, M., Piechna, J., "Numerical Analysis of Fluid Motion Inside Partially Filled Container Which is Moving in Unsteady Way", *Archive of Mechanical Engineering*, 62 (4), 477-508, (2015).

TGK., *Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği*, Türk Gıda Kodeksi. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Ankara, (2006).

Thomson, N.A., Woolford, M.W., Copeman, P.J.A., Auld, M.J., "Milk harvesting and cow factors influencing seasonal variation in the levels of free fatty acids in milk from Waikato dairy herds", *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 48 (1), 11-21, (2005).

Todde, G., Caria, M., Gambella, F., Pazzona, A., "Energy and Carbon Impact of Precision Livestock Farming Technologies Implementation in the Milk Chain: From Dairy Farm to Cheese Factory", *Agriculture*, 7 (10), 79, (2017).

Toth, P., Vigo, D., *Vehicle routing: problems, methods, and applications*, SIAM, (2014).

Tsukamoto, C., Rula, S., Asano, H., Ando, K., "Evaluation of Milk Quality in Delivering Sterilized Milk with Soft Tank Transportation System", *Journal of Food Science*, 74 (7), S303-S308, (2009).

TÜİK "Süt ve Süt Ürünleri Miktarı (Ton), Türkiye İstatistik Kurumu", <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>, Alındığı tarih: 15.05.2019.

Vásquez, R.R., Valencia, M.C., "Model of routing for raw milk collection using genetic algorithms", *Sistemas & Telemática*, 12 (31), 77-87, (2014).

White, C.H., Kilara, A., Hui, Y., Chandan, R.C., Manufacturing yogurt and fermented milks. *John Wiley & Sons*, (2008).

Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., Xu, Y., "Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem", *Computers & Operations Research*, 39 (7), 1419-1431, (2012).

Yu, B., Yang, Z.Z., "An ant colony optimization model: The period vehicle routing problem with time windows", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47 (2), 166-181, (2011).

Zhihua, Q., "Research on location of fresh milk collection station -Based on integer programming". *Management Science and Industrial Engineering (MSIE)*, 2011 International Conference on, Year, 8-11 January, (2011).

EKLER

10. EKLER

EK A. Veri Setleri

Bu bölümde deney seti analizi ve duyarlılık analizi bölümünde kullanılan veri setleri sırası ile paylaşılmıştır.

Tablo A.1: Temel veri seti düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084

Tablo A.2: Temel veri seti tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Deney Seti Analizleri Set 1 - Set 4

Tablo A.3: Set 1 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084
10	0	300	0	15	0	400	1500	574.582	240.938

Tablo A.4: Set 1 tanker bilgileri

Tankerler	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Tablo A.5: Set 2 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	100	4200	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084
10	0	30	0	15	0	400	1500	574.582	240.938
11	30	100	200	15	0	3000	1500	900.367	860.861
12	100	300	500	35	0	3000	1500	678.493	560.583

Tablo A.6: Set 2 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutları (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Tablo A.7: Set 3 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	100	4200	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084
10	0	30	0	15	0	400	1500	574.582	240.938
11	30	100	200	15	0	3000	1500	900.367	860.861
12	100	300	500	35	0	3000	1500	678.493	560.583

Tablo A.8: Set 3 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/Kapasite)			Tanker Boyutları (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Tablo A.9: Set 4 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	100	4200	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084
10	0	30	0	15	0	400	1500	574.582	240.938
11	30	100	200	15	0	3000	1500	900.367	860.861
12	100	300	500	35	0	3000	1500	678.493	560.583
13	100	50	500	35	0	3000	1500	606.304	601.788

Tablo A.10: Set 4 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Duyarlılık Analizleri Set 5 - Set 16

Tablo A.11: Set 5 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	3000	3000	3000	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084

Tablo A.12: Set 5 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Tablo A.13: Set 6 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	500	2000	100	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	50	1000	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	450	450	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	350	50	200	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	250	500	450	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	50	1200	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084

Tablo A.14: Set 6 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Tablo A.15: Set 7 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	3500	1000	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	500	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	2000	2000	2500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084

Tablo A.16: Set 7 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Tablo A.17: Set 8 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	100	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	100	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	3500	1000	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	100	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	500	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	3000	3000	3000	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084

Tablo A.18: Set 8 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

Tablo A.19: Set 9 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084

Tablo A.20 Set 9 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075
Tanker 5	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	10000	30	36	0,0004

Tablo A.21: Set 10 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084

Tablo A.22: Set 10 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,0008
Tanker 5	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 6	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001

Tablo A.23: Set 11 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084

Tablo A.24: Set 11 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	5000			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,0008
Tanker 5	5000	5000	5000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 6	2000	2000	2000	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 7	4000	4000		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,0008

Tablo A.25: Set 12-13-14-15-16 düğüm bilgileri

Düğüm	Süt Talebi (lt)			Servis Süresi (dk)			Tanker Boyutu Üst Sınırı (cm)	Koordinat Düzlemi	
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Servis	Erken Geliş	Geç Geliş		X	Y
1	0	0	0	1	0	3000	1500	0	0
2	2000	2000	0	15	0	300	1500	975.690	411.985
3	0	0	5500	20	0	200	800	457.692	977.378
4	45	200	0	15	100	500	1000	336.499	148.107
5	35	0	0	25	0	500	1500	867.212	241.269
6	50	500	0	25	0	300	1000	919.882	547.194
7	0	0	500	10	100	400	800	766.775	360.531
8	1000	1000	500	15	0	500	1000	376.221	264.250
9	200	500	500	25	100	400	1500	998.429	979.084

Tablo A.26: Set 12-13-14-15-16 tanker bilgileri

Tanker	Kapasite (lt)			Dolum Sıralaması			Minimum Dolum Oranı (lt/kapasite)			Tanker Boyutu (cm)	Tanker Yakıt Bilgileri (100km/lt)		
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 1	Tank 2	Tank 3		Boş	Dolu	α
Tanker 1	500			1	0	0	0,1	0	0	600	20	26	0,0012
Tanker 2	500	500	500	2	1	3	0,4	0,5	0,3	1000	30	36	0,0004
Tanker 3	200	200	200	2	1	3	0,4	0,5	0,3	800	20	26	0,001
Tanker 4	400	400		2	1	0	0,2	0,5		800	30	36	0,00075

11. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Duygu TOPALOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi : DENİZLİ 16/06/1991

Lisans Üniversitesi : ERCİYES ÜNİVERSİTESİ

Elektronik posta : duygutopaloglu91@gmail.com

İletişim Adresi : Adalet Mahallesi 10076 Sokak no:2
Kat:3 Denizli

Yayın Listesi :

- Polat, O., Kalaycı, C.B., Bilgen, B., Topaloğlu, D., “A Mathematical Model For The Milk Collection Problem Wirth Various Milk Types”, 16th International Logistics and Supply Chain Congress (LMSCM2018),