

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNDE SEZGİSEL YÖNTEMLERİN KULLANIMI VE BİR UYGULAMA

USE OF HEURISTIC METHODS IN VEHICLE ROUTING PROBLEMS AND AN APPLICATION

*Bilge Meydan*¹

²Ars. Grv. Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, bilge.meydan@dpu.edu.tr, Orcid: 0000-0003-1478-5999

MAKALEBİLGİSİ

Anahtar Kelimeler

Araç Rotalama Problemleri,
Clarke ve Wright Kazanım
Algoritması, Akaryakıt İkmal
Rotalaması.

Jel Kodları:

R41, L91

Makale Geçmişi:

Başvuru Tarihi: 24 Kasım 2023
Düzeltilme Tarihi: 10 Aralık 2023
Kabul Tarihi: 23 Aralık 2023

ARTICLE INFO

Keywords

Vehicle Routing Problems, Clarke
and Wright Saving Algorithm,
Fuel Replenishment Routing.

Jel Codes:

R41, L91

Article History:

Received: 24 November 2023
Received in revised form:
10 December 2023
Accepted: 23 December 2023

ÖZET

Lojistik faaliyetleri işletmelerin ürettiği ürün ve hizmeti müşteri talepleri doğrultusunda belirtilen noktalara ulaştırmada ister kendi lojistik ağını ister lojistik hizmetini dışarıdan tedarik etsin en büyük maliyet kalemlerinden biridir. Lojistik faaliyetlerini gerçekleştirirken hem müşteri memnuniyetini sağlamak hem de kat edilen yolun maliyetinden tasarruf etmeyi sağlayan Araç Rotalama Problemleri (ARP) uygulamaları işletmelere büyük fayda sağlamaktadır. Bu çalışmada, farklı ihtiyaçlara yönelik ARP modelleri tanıtılmış, çözüme destek olarak kullanılan sezgisel ve meta sezgisel yaklaşımlar incelenen çalışmalar üzerinden açıklanarak detaylı bir literatür sunulmuştur. Ankara'da 45 akaryakıt istasyonu için ikmal dağıtımını yapan tankerlerin rotalaması Clarke ve Wright kazanım algoritması tabanlı ve iyileştirme sezgisellerinin kullanıldığı bir çözücü yardımıyla gerçekleştirilmiş ve parametre duyarlılıkları farklı senaryolar altında incelenmiştir. Bu çalışma ile sezgisel yaklaşımın talep değişkenliği, araç kapasitesi, iterasyon ve derinlik sayısı parametrelerinin rotalamada çözüm süresi, oluşturulan rota sayısı ve kat edilen mesafeye nasıl etki ettiği gösterilmiştir.

ABSTRACT

Logistics activities are one of the biggest cost items for businesses in delivering the products and services they produce to the demand points whether they procure their own logistics network or outsource the logistics service. Vehicle Routing Problems (VRP) applications, which enable both customer satisfaction and saving on the cost of the distance traveled while carrying out logistics activities, provide great benefits to businesses. Firstly in this study presents a literature review compiling studies examining VRP models for different needs and heuristic and meta-heuristic approaches used to support the solution. Then, an empirical study has been carried out that fuel replenishment routing for 45 fuel stations in Ankara with the help of a solver based on the Clarke and Wright saving algorithm and improvement heuristics. This study has examined parameter sensitivities under different scenarios and it has indicated how demand variability, vehicle capacity, number of iterations and depth parameters affected the solution time in routing, the number of routes created and the distance traveled.

Atf vermek için / To cite: Meydan, B. (2023). Araç rotalama problemlerinde sezgisel yöntemlerin kullanımı ve bir uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi İİBF Dergisi*, 12,163-176. DOI: 10.58627/dpuiibf.1395353



Küresel kaynakların kıt olması sebebiyle maliyetlerin artması işletmeleri özellikle tedarik zinciri yönetiminde daha zor bir rekabet ortamına getirmektedir. Sadece kaliteli ürün sunmanın yeterli olmadığı, alternatiflerin arttığı rekabet ortamında mal veya hizmet götürülen müşterinin taleplerinin hızlı ve etkin karşılanmadığı takdirde rakibin tercih edilmesi riski güçlü bir tedarik zinciri kurulmasını zorunlu hale getirmektedir. Rekabetin artması ile varlığını korumak ve pazardaki payını genişletmek isteyen her işletme tedarik zinciri yönetiminin önemini anlamış ve güçlü bir tedarik zinciri yönetimi kurmanın yollarını aramıştır. Öte yandan müşteri kaybetmemek ve pazardaki payını arttırmak için çalışılan tedarikçilerin de bu kanal içinde hızlı ve etkin yönetilmesi işletmeleri ilgilendiren konulardan biri olmuştur. Bununla birlikte işletmelerin sürdürülebilirlik politikası kapsamında tersine tedarik zinciri kurmaya başlaması, tedarik zincirini daha da karmaşık bir hale getirmiş ve yönetimi zorlaştırmaya başlamıştır. Tedarik zinciri yönetiminin karmaşık ve dinamik yapısı gereği yönetiminin zorluğu yönetime destek sistemlerin kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Tedarik zinciri yönetiminin en önemli unsuru olan lojistik faaliyetlerinin etkili bir şekilde yürütülmesi çok önemlidir. Bulunduğu pazara ürettiği ürünü ulaştırmak isteyen işletmeler lojistik maliyetlerini olabildiğince azaltarak rakiplerine karşı avantajlı konuma geçmek ve pazara hâkim olmak istemektedir. Daha uygun rotalardan gidilerek lojistik maliyetinin azaltılması için geliştirilen matematiksel yöntemlerden yararlanmak işletmelerin işlerini büyük ölçüde kolaylaştırmıştır. Bu bağlamda işletmelerin tedarik zinciri yönetimi ile ilgili sorunlarına yardımcı olabilecek kesin sonuç veren algoritmalar, sezgisel veya meta sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Lojistik planlamada en etkili çözüm sunan matematiksel modellerden biri de Gezgin Satıcı Problemi (TSP) (Dantzig, Fulkerson ve Johnson, 1959)'nin özel bir versiyonu olan Araç Rotalama Problemleri (ARP) (Dantzig ve Ramser, 1959)'dir. Faaliyet gösterilen pazarda talep noktalarına mal ve hizmet götüren araçların kat ettiği mesafenin uygun rotaların oluşturulması ile azaltılması ve araç kapasitelerinin etkin kullanımı ile daha az araç kullanılması lojistik maliyetinin azaltılmasında büyük fayda sağlamaktadır. ARP'nin temel prensibi müşteri talepleri karşılanırken depodan çıkan araçların kapasitesini aşmadan dağıtımını gerçekleştirerek başlangıç deposuna dönmelerini en az maliyetle gerçekleştirmektir. Bununla beraber her aracın rotasında müşteriye sadece bir kez uğraması esastır.

Her sektörün ihtiyacına uygun özel bir çeşidi olmamasına rağmen tedarik zincirinin yapısına ve faaliyet gösterilen sektörün ihtiyaçlarına uygun farklı Araç Rotalama Problemleri (ARP) modelleri kullanılmaktadır. Faaliyet gösterilen işin niteliğine ve gerekliliklerine göre uygun ARP modelinin kullanılması işletmeler için önemlidir. Hizmet götüreceği araçların kapasite kısıtı varsa Kapasite Kısıtlı ARP (Toth ve Vigo, 1997), müşteri taleplerinin belli bir zaman aralığında karşılanması gerekiyorsa Zaman Pencereli ARP (Desrochers, Desrosiers ve Solomon, 1992) kullanılmalıdır. Talep noktalarında dağıtımın yanında iade/toplama işlemi de gerçekleşecekse Dağıtım-Toplamalı ARP (Min, 1989), bir müşterinin talebinin farklı araçlar tarafından parçalı sevkiyatlar halinde karşılanması tek seferde ve bir araç tarafından karşılanmasından daha uygunsa Bölünmüş ARP (Dror, Laporte ve Trudeau, 1994) kullanılması daha uygun olacaktır. Öte yandan ulaşılabilecek talep noktası sayısı arttıkça çözüm olasılıkları polinomsal arttığından Araç Rotalama Problemleri'nin NP-Zor problemler sınıfında kabul edilir. Bu sebeple büyük ölçekli problemlerde kesin çözüm veren algoritmalar ile optimal sonuç almak zorlaşmakta, kısa sürede uygun çözüm bulmak ne yazık ki mümkün olmamaktadır. Bu tür problemlerin çözümü için optimale yakın sonuç veren farklı sezgisel ve meta sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı öncelikle farklı ihtiyaçlara yönelik ARP modelleri ve sezgisel yaklaşımların kullanıldığı ARP uygulamaları ile ilgili kapsamlı bir literatür sunmak, daha sonra Ankara'daki bir akaryakıt firmasının çeşitli semtlerdeki 45 istasyonuna akaryakıt ikmal yapan araçların rotalamasını yapmaktır. Temel ARP yöntemleri ile 45 istasyonluk rotalama problemi çözülemediğinden Clarke ve Wright (1964) kazanım algoritması ve iyileştirme sezgisellerini kullanan bir çözücü ile elde edilen çözüm farklı senaryolar altında değerlendirilecektir. Uygulama için seçilen Kapasite Kısıtlı ARP modeli ile sezgisel yöntemler olmadan uzun saatler süren iterasyonların optimal sonuca ulaşmamasına karşın sezgisel yöntemle saniyeler içinde çözüldüğü görülmüş bunun üzerine farklı senaryolar altında parametre duyarlılığı yapılmıştır. Çalışmada kat edilecek yol, optimal rota sayısı ve çözüm süresinin talep, araç sayısı, mesafe değerlerinin değişkenliğine duyarlılığı incelenmiştir. Duyarlılık analizi bulunan rota sayısı ve çözüm süresi üzerinden değerlendirilmiştir.

1. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bir tedarik zincirini iyi yönetmek şüphesiz ki en önemli unsuru olan lojistik ağı iyi yönetmekten geçmektedir. Lojistik ağı; hammaddelerin tedarikçiden alınması, alınan hammaddelerin üretim sahasına getirilmesi, üretilen ürünlerin dağıtım merkezlerine taşınması ve müşterilerin talebine göre ürün sevkiyatının gerçekleştirilmesi süreçlerini kapsamaktadır. Bu süreçte işletmelerin dağıtım kanalını iyi yönetmeleri, dağıtım maliyetlerinin düşmesinde en önemli etkidir (Tan, 2000). Lojistik filusunda yer alan araçlar için optimal rotanın bulunması ve en az maliyetle dağıtımın tamamlanmasını sağlayan en etkili yöntem ise ilk olarak Dantzig ve Ramser, (1959) tarafından tanımlanan Araç Rotalama Problemleri'dir.

Araç Rotalama Problemleri (ARP), tedarik zincirine sahip her işletmenin, operasyonları sırasında dağıtım kanalının yönetilmesi ile ilgili karşılaştığı sorunların üstesinden gelebilmesini kolaylaştırmak amacıyla ortaya çıkmıştır. ARP'nin temel mantığı bir

depodan çıkan araçların, araç kapasite kısıtları doğrultusunda müşterilerin taleplerini karşıladıktan sonra başlangıç depoya dönmesi üzerine kuruludur. Buna göre ARP'nin temel kısıtları şu şekilde açıklanabilir:

- Araçlar belli bir bölgede yer alan depodan harekete başlar
- Her müşterinin talebi yalnızca bir araç tarafından karşılanmaktadır
- Araçların hareketi depoya dönmesi ile sona erer
- Araçların kapasiteleri homojendir
- Araçların her biri belli bir kapasiteye ve gidilebilecek maksimum menzil uzunluğuna sahiptir

Bu kısıtlar altında araçların aldığı toplam yolun minimize edilmesi ARP'nin temel amacıdır. Bu temel kısıtların her işletmenin faaliyet gösterdiği sektöre, araçların kapasitesine ve yapılan işin özelliğine göre düzenlenmesi ile Temel ARP'den doğan farklı ARP türleri oluşmuştur.

1.1. Araç Rotalama Problemleri Türleri ve Uygulamaları

İşletmelerin faaliyet gösterdikleri iş koluna göre dağıtım kanalları da farklılaşmaktadır. Farklı dağıtım kanallarında doğan spesifik ihtiyaçlar, kesin sonuç veren algoritmaların yapılan işlerle ilgili kısıtlara göre tasarlanmasına ihtiyaç doğmuştur. Bunun üzerine Temel Araç Rotalama Problemleri'nden doğan farklı ARP türleri literatüre girmiştir. Temel ARP modeline bazı kısıtlar eklenerek geliştirilen yeni modellerde yapılan işin niteliğine göre bazen ARP türlerinin birkaçının beraber kullanıldığı görülmektedir.

Bir dağıtımın belli bir zaman aralığında yapılması önem taşıyorsa, rotaların bu kısıta göre oluşturulması gerekir. Bunun için taleplerin erken ya da geç teslimatı söz konusu olmamasını gerektiren Zaman Pencereci ARP yöntemi ilk olarak Solomon, (1987) tarafından geliştirilmiştir. Zaman Pencereci ARP, her bir müşteriye hizmet götürülebilecek servis süresi başlangıç ve bitiş zamanlarının belirli ve kısıtlı olduğu türüdür. Servis süresi boyunca araç o müşterinin bulunduğu yerde kalmalıdır. Problemin bazı versiyonlarında tüm müşterilere sözü edilen başlangıç-bitiş zamanları arasında hizmet götürülmek zorundadır. Ayrıca araç ilgili talep noktasına açılış saatinden önce varmışsa açılışa kadar beklemelidir. Bazı versiyonlarında ise belli bir ceza maliyetine katlanılarak açılış ve kapanış saatleri dışında veya bu zaman diliminin dışına taşarak da servis yapılabilmektedir. Gerçek hayatta evde sağlık hizmetleri, bozulabilecek ürünlerin teslimatı, evde bakım hizmetleri, otobüs ve servis taşımacılığı, atık toplama hizmetleri gibi alanlarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Liu, Chen, Por, ve Ku, 2023). Calvete, Galé, Oliveros, ve Sánchez-Valverde, (2007) araç kapasitesini ve işgücünü tam olarak kullanırken, gün içinde müşterilerin önceliklerine göre servis yapan; toplam dağıtım ve seyahat maliyetini en küçüklemeyi amaçlayan esnek zaman pencereci araç rotalama problemlerine amaç programlama yöntemi ile çözüm aramışlardır. Tang, Pan, Fung ve Lau, (2009) çalışmasında bulanık zaman pencereci araç rotalama problemi üzerinde durmuştur. Tek depo ve homojen filo kısıtlarına sahip bulanık zaman pencereci araç rotalama problemlerinde, toplam mesafeyi azaltmayı ve servis kalitesini arttırmayı amaçlamışlardır. Azi, Gendreau ve Potvin, (2010) çalışmasında zaman pencereci ve araçların çoklu kullanımını ele alan araç rotalama problemini dal-fiyat yaklaşımı ile çözmüştür.

Dağıtım-Toplamalı ARP modeline ise geri dönüşümlü ürünlerin dağıtımının ve toplanmasının yapılmasında (depozitolu plastik ve cam ürünleri) veya hem yüklemenin hem dağıtımın ulaşılan her noktada yapılması gerektiği durumlarda (kargo taşımacılığı, yolcu taşımacılığı) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konudaki ilk çalışma stokastik araç rotalama problemi olarak ilk kez Dror, Laporte, ve Trudeau, (1989) çalışması ile literatüre girmiştir. Literatürde Dağıtım-Toplamalı ARP modeli ile farklı gerçek hayat problemlerine uygun modellerle yapılmış uygulamalar karşımıza çıkmaktadır. Hoff ve Løkketangen, (2006) çalışmasında Norveç mineral su dağıtıcısı bir şirket için Bölünebilir Dağıtım-Toplamalı ARP yönteminden yola çıkarak sezgisel modelleme yapmıştır. Battarra, Erdoğan, Laporte, ve Vigo, (2010) çalışmasında bisiklet dağıtımını konu alan ve aracın içine dikey yerleştirilmesi ile problemi modelleyen bir Dağıtım-Toplamalı ARP uygulaması yapmıştır. Bu çalışmaya göre önce hangi müşteriye gidileceği belirlenir, ardından iadeler için aracın arkasında boş alan oluşturulur ve iadeler arka kapıdan alınır. Nagy, Wassan, Sperenza ve Salhi, (2015) çalışmasında Bölünebilir Dağıtım-Toplamalı ARP ve Parçalı Dağıtım-Toplamalı ARP yöntemlerinden yararlanarak, bu yöntemlerin maliyet minimizasyonuna etkileri karşılaştırılmıştır. Tavakkoli-Moghaddam, Saremi ve Ziaee, (2006) çalışmasında müşterileri iade ve dağıtım olarak bölerek dağıtım noktalarına teslimat yapan, iade noktalarından da iade toplayan araç rotalaması üzerine çalışmıştır. Martinovic, Aleksic ve Baumgartner, (2008) çalışmasında tek talep prensibi ile kargo taşımacılığı üzerinde çalışmış ve müşterileri kargo teslim ve kargo kaynağı olarak sınıflandırmıştır. Mahmoudi ve Zhou, (2016) çalışmasında belli bir süre içinde hem dağıtım ve iade işlemini gerçekleştirecek araç rotalaması problemi olan Zaman Pencereci Dağıtım-Toplamalı ARP modeli ile çalışmıştır. Abraham, Jos ve Mangalathu, (2012) çalışmasında de bozulabilecek ürünler için havayolu ile kargo taşımacılığı konusunu Zaman Pencereci Dağıtım-Toplamalı ARP modelinden yararlanılarak çalışmıştır.

Dağıtım operasyonların niteliğine göre müşterilere birden fazla araçla farklı günlerde teslimat yapılmasının daha düşük maliyetle sağlanması muhtemeldir. Literatürde bu durum, Homojen/Heterojen Filolu Bölünmüş Dağıtımlı ARP olarak karşımıza çıkmaktadır. Heterojen filolu modellerde dağıtım ağında kullanılan araçların kapasiteleri birbirinden farklı olmakta ve bu kapasiteler göz önünde bulundurularak bölünmüş dağıtım yapılmaktadır. Homojen filolu modellerde ise dağıtım ağındaki araçların kapasiteleri aynı olmasına rağmen müşteri talebinin birden fazla araç tarafından parçalı sevkiyatlarla karşılanması maliyetin düşmesi açısından önemlidir. Belfiore, Tsugunobu ve Yoshizaki, (2009) çalışmasında heterojen filoya sahip bir parekende firmasının 549 mağazaya dağıtım problemine Zaman Pencereci ve Bölünmüş ARP ile dağıtım yapılması ele alınmıştır. Veri setinin büyük olması sebebiyle ilk çözümlerin Dağılım Araştırması sezgiseli ile yapılması önerilmiştir. Prins,

(2009) çalışmasında hem Heterojen Filolu ARP hem de her tip için sınırsız sayıda araç bulunan Araç Karışımı problemini çözen iki memetik algoritmayı (yerel arama ile melezleştirilen genetik algoritmalar) sunmuştur. Algoritmalar, devreden çıkarmalar olmadan kodlanmış kromozomlara ve bu turları uygun gezilere ayıran ve onlara araçları atayan optimal bir değerlendirme prosedürüne dayanmaktadır. İkinci algoritma, arama çeşitlendirmek için çözüm uzayda bir mesafe ölçüsü kullanmaktadır. Bu modelleri iki problemin ayrı ayrı çözüldüğü standart modellere göre daha iyi sonuçlar alındığı belirtilmiştir. Archetti, Savelsbergh ve Speranza, (2006) çalışmasında bir müşterinin talebinin araç kapasitesinden daha büyük olabileceği, ancak her müşterinin en az kaç kez ziyaret edileceği Homojen Filolu Bölünmüş ARP'nin varyantını incelemiştir. Minimum gerekli ziyaret sayısından daha fazlasına izin vererek gerçekleştirilebilecek maliyet tasarruflarının göstermiştir. Ayrıca talepler araç kapasitesinden az veya eşit olana kadar bu müşterilere tam yük geri dönüşü kullanarak, araç kapasitesinden daha büyük talepleri olan müşterilerle ilgilenen basit sezgiselin performansını analiz etmiştir.

Bir işletmenin lojistik ağında müşteri talepleri birden fazla depodan karşılanabilir. Bu durumda hangi deponun hangi müşterilere hizmet vereceği rotalama yapılırken dikkate alınmalıdır. Bu tip problemlerde Çoklu Depolu ARP yöntemi kullanılmaktadır. Ho, Ho, Ji ve Lau, (2008) çalışmasında Çoklu Depolu ARP'yi verimli bir şekilde ele almak için iki melez genetik algoritma geliştirmiştir. Birinci algoritmada çözümlerin rastasal oluşturulmuş, ikinci algoritmada ise Clarke ve Wright kazanım metodu ve en yakın komşu buluşsal yöntemi başlatma prosedürü için dâhil edilmiştir. Farklı problem boyutlarına sahip algoritmaları karşılaştırmak için bir hesaplama çalışması yapılmıştır. Crevier, Cordeau ve Laporte, (2007) çalışmasında araçların güzergah boyunca ara depolarda doldurulabileceği Çok Depolu ARP'nin bir uzantısını ele almaktadır. Adaptif bellek ilkesini, alt problemlerin çözümü için bir tabu arama yöntemini ve tamsayı programlamayı birleştiren bir sezgisel önerme önermektedir.

Ayrıca gerçek hayat problemlerinde karşılaşılan diğer özel sorunlara çözüm geliştiren çalışmalar da literatürde mevcuttur. Chu, (2005) taleplerin araç kapasitelerini aştığı zamanlarda maliyeti fazla artırmayan taşıeron firmalardan araç temininin faydalı olacağını savunarak, toplam maliyet fonksiyonunu en küçükleme amacına sahip optimal taşıeron araç miktarını belirlemeyi amaçlayan sezgisel bir algoritma önermiştir. Kang, Lee, Lee ve Lee, (2008), tam zamanında araç rotalama problemi üzerinde durmuşlardır. Problemlerinde ağırlıklı toplam seyahat zamanını ve müşterilere yapılan servisteki gecikmeleri minimize etmeyi amaçlamıştır. Zamanında servis yapamayan araçların ceza maliyetine katlanmalarını sağlamıştır. Tavakkoli-Moghaddam, Safaei ve Gholipour, (2006), kapasite kullanımının sınırsız olduğu ve heterojen filoların yol maliyetlerini en küçükleyen yol uzunluğunun kullanıldığı kapasite kısıtlı araç rotalama problemine doğrusal tamsayı modeli ile çözüm aramıştır. Önerilen modeli, en yakın komşuluğu esas alan melez tavlama benzetimi ile çözmüştür. Wang ve Shen (2007), zaman ve yakıt kısıtlarının bulunduğu elektrikli otobüslerin rotalanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Problemin çözümünde temel karınca kolonisi algoritmasını esas alan çoklu karınca kolonisi algoritmasını, ikili (bipartite) grafik yöntemini ve ikili grafik yöntemine yardımcı algoritma olan Ford-Fulkerson algoritmasını kullanmıştır. Osvald ve Stirn (2008), kolay bozulabilen sebzelerin dağıtımının yapıldığı bir algoritma geliştirmiştir. Tek depolu, homojen filolu, müşteriler için esnek zaman pencere ve depo için sıkı zaman penceresi kısıtları içeren bir problem kurmuşlardır. Problemin çözümü için tabu arama yaklaşımını kullanmıştır. (Dündar, Soysal, Ömürgönülşen ve Kanellopoulos, (2022) dağıtım operasyonları sürecinde dinamik rotalamada yakıt tüketimini azaltarak çevreye daha az zarar veren bir model sunmuştur.

ARP modellerinin veri seti büyüdükçe kesin algoritmalarla optimal rota bulmasının zor olmasından dolayı araştırmacıların bu modelleri sezgisel yaklaşımlarla optime yakın rotalar bulmaya çalıştığı görülmektedir. Dror ve Trudeau, (1986) müşteri taleplerinin belli olmadığı, değişken olduğu durumlarda ARP modelini kullanmak üzere Clark ve Wright kazanım algoritmasından yararlanarak çözüm bulmuştur. Cordeau, Gendreau, Laporte, Potvin ve Semet, (2002) ARP'de kullanılan klasik ve modern sezgisel yaklaşımları doğruluk, sonuç verme hızı, basitlik ve esneklik açısından karşılaştırarak bu alanda çalışacak araştırmacılara bir rehber oluşturmayı amaçlamıştır. Cordeau, Laporte, Savelsbergh ve Vigo, (2007) ARP'de kullanılan klasik sezgiselleri ve metasezgiselleri açıklamış daha sonra Zaman Pencere ve stok rotalama problemi ve stokastik ARP'de sezgisel ve meta sezgisel kullanımını örneklerdirerek açıklamıştır. Pisinger ve Ropke, (2007) ARP'nin tüm çeşitlerini çözebilecek uyarlanabilir büyük komşuluk arama (ALNS) yaklaşımına dayalı birleşik bir sezgisel geliştirmiştir. Laporte, (2009) ARP'nin 50 yıldaki gelişimini özetlediği çalışmasında klasik yöntemler, sezgiseller ve meta sezgiselleri açıklayarak karşılaşılan problemlere nasıl çözüm sunulduğunu göstermiştir. Kumar ve Panneerselvam, (2012) Zaman Pencere ve stok rotalama için benzetilmiş tavlama algoritması, tabu arama, genetik algoritma ve karınca kolonisi yaklaşımını içeren hibrid bir sezgisel yöntem sunmuştur. Mańdziuk, (2018) çalışmasında yeni dönemde yükselen Monte Carlo simülasyonu, oyun teorisi ve iki seviyeli hipersezgisellerin ARP'de kullanımını tartışmıştır. Soysal, Çimen, Ömürgönülşen ve Belbağ, (2019) Zaman Pencere ve Kapasite Kısıtlı ARP modelini klasik Kısıtlı Dinamik Programlama ve Simülasyon Bazlı Kısıtlı Dinamik Programlama ile çözerek güncel iki sezgiselin emisyon azaltmadaki performansını karşılaştırmıştır. Grondys, (2020) bir firmanın merkez deposundan yüksek indirimli 25 mağazasına yapılacak sevkiyatın rotalamasını Clark ve Wright sezgiseli kullanarak çözmüştür.

1.2. Akaryakıt Sektöründe ARP Uygulamaları

Akaryakıt istasyonları için ikmal rotalamasında genellikle Zaman Pencere ve stok rotalama modeline başvurulduğu görülmüştür. İstasyon sayısının fazla olması nedeniyle klasik modelin optimal sonuç vermekte yetersiz kalması sebebiyle sezgisel ve meta sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Cornillier, Laporte, Boctor ve Renaud, (2009) veri seti büyüdüğünde sorunun tek aşamada çözülmemesine karşın iki sezgisel önermiştir. İlk sezgiselde nispeten küçük örnekler için uygun alt rotalamayı önceden yaparak

asıl problemde yaylar arası rotalama yapmaktadır. İkinci sezgisel ise en uygun rotalamaların aday kümesini oluşturmak için coğrafi olarak alanı ayrıştırarak daha büyük örnekler için kullanmayı mümkün kılmaktadır. Annouch ve Bellabdaoui, (2017) çalışmasında 12 istasyonun haftalık LPG ikmal rotalaması için komşuluk arama algoritması ile sezgisel yöntemler incelenmiş ve en iyi sonucun Aç Gözlü algoritma kullanılarak üretildiği gözlenmiştir. Al-Hinai ve Triki, (2020) petrol ikmal probleminde hizmet sıklığını da bir karar değişkeni olarak ele aldığı iki aşamalı sezgisel bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntemle öncelikle problemin karmaşıklığını azaltmak adına istasyonlara yapılan ziyaretlerin periyodikliğini ve sıklığı belirlenir, ardından alınan toplam yolu en aza indirecek şekilde tankerlerin istasyonları ziyaret etmesini sağlar. Xu, Xu, Wang, Liu ve Lv, (2020) birden çok depodan çıkan araçlarla filo paylaşımı Zaman Pencere ARP modeli için genetik algoritma ve parçacık sürüşü yaklaşımlarını birleştiren bir hibrid çözüm üretmek için çözüm sunmuştur. Wei, vd. (2021) otoyol petrol isyasyonlarının ikmal rotalaması için yükleme, boşaltma, nakliye ve gecikme ceza maliyetlerini dikkate alan bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Xu, Lin, ve Zhu, (2022) petrol dağıtımında arzın sınırlı olduğu bir dinamik ARP modeli için işletme maliyetini, istasyon memnuniyetini ve hizmet önceliğini dikkate alan çok aşamalı bir ön model önermiştir. Xu, Lin, Li, Shang, ve Shen, (2022) petrol arzı ktlığını içeren ve birden çok deponun kullanıldığı petrol dağıtım probleminde istasyon önceliğini ve yumuşak zaman pencere dağıtım dikkate alarak belirsiz talep varlığında çok amaçlı bir robust optimizasyon modelinin geliştirilmesini sağlamıştır. Che, Wang, Mu, Zhang ve Feng, (2022) depolar arası açık rotalara sahip çok depolu bir petrol dağıtım problemine ele alarak boş tankerlerin başlangıç deposuna dönerken daha uzun yol kat etmesinin önüne geçen en yakın depoda rotasını sonlandırmasına imkan veren bir karma tam sayılı model geliştirerek tabu arama tabanlı uyarlanabilir büyük komşu arama (T-ALNS) yöntemi geliştirmiştir.

2. METOD VE AMPİRİK UYGULAMA

Akaryakıt ikmal rotalamasını ele alan çalışmaların çoğunlukla erken ya da geç hizmet verilmesinin bekleme ya da ceza maliyeti kısıtı olarak dâhil olduğu Zaman Pencere ARP Yöntemi kullandığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı ise zaman pencere bir teslimat rotalaması yapmaktan ziyade ceza ve bekleme maliyetlerini göz ardı ederek Kapasite Kısıtlı ARP'nin 45 istasyonun rotalamasını yapmada sonuç vermediği test edilmiş olup alternatif sezgisel yöntemle farklı senaryolar altında parametre duyarlılığını tartışmaktır. Uygulamada kullanılan istasyonlar arası mesafe matrisi Google Harita'lar üzerinden adresleri alınarak oluşturulmuş, talep bilgileri için literatürde yer alan talep verilerinden hipotetik olarak türetilmiştir.

2.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemleri'nin Matematiksel Açıklaması

Kapasite Kısıtlı ARP'de tüm müşterilerin taleplerinin tam olarak ve tek bir araç tarafından karşılanacağı, taleplerin deterministik olduğu ve önceden bilindiği, araçların tek tip olduğu ve tüm araçların tek bir merkez depodan çıktığı varsayılmaktadır. Amaç fonksiyonu, tüm müşterilerden gelen talebin tamamını minimum toplam maliyetle (rotaların uzunluğunun veya yolculuk süresinin ağırlıklı fonksiyonu) karşılama amacına göre formüle edilmektedir.

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} X_{ij} \quad (2.1)$$

$$\sum_{i \in V} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in V} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (2.3)$$

$$\sum_{i \in V} X_{i0} \leq K \quad (2.4)$$

$$\sum_{j \in V} X_{0j} \leq K \quad (2.5)$$

$$u_i - u_j + CX_{ij} \leq C - d_j \quad \forall i, j \in V \setminus \{0\}, i \neq j, d_i + d_j \leq C \quad (2.6)$$

$$d_i \leq u_i \leq C \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (2.7)$$

Problemin ilk 5 kısıtı Toth ve Vigo, (2002) çalışmasından, (2.6) ve (2.7) kısıtları ise (Miller, Tucker ve Zemlin, (1960) tarafından düğümler arası alt turlar oluşmasını engelleyen MTZ kısıtları eklenerek problem nihai hale getirilmiştir.

Temel ARP G (G = V,A) evreninde modellenir. V = {0,1,...,n} müşteri taleplerini tanımlayan düğüm setini, A ise bir düğümden diğer düğüme giden yay setini tanımlamaktadır. V setinde i = 1,2,...,n müşterileri temsil ederken 0 numaralı düğüm depo kabul edilir ve tek bir depodan dağıtım yapıldığı varsayılır.

c_{ij} , i ve j noktaları arasındaki bir yay üzerindeki gidilecek yol matrisidir. Her zaman 0'dan büyük veya 0'a eşittir. Bir aracın çıktığı düğüme geri dönmesi istenmeyen bir durum olduğundan, c_{ii} genellikle çok yüksek bir sayı olarak tanımlanır.

Her bir müşterinin talebi d_i ile ($d_i \geq 0, \forall i$) gösterilmektedir. Deponun talebinin olmadığı ($d_0 = 0$) kabul edilir.

X_{ij} karar değişkenlerini göstermektedir.

K araç sayısını belirtmektedir.

C araç kapasitesini belirtmektedir.

Her bir aracın yolculuk başlangıç noktasının depo olacağı, her bir müşterinin yalnız 1 kez ziyaret edileceği ve tek seferde tüm talebinin karşılanacağı, araçların kapasite sınırlarını (C) aşmayacakları varsayılmaktadır.

2.2. Clarke ve Wright Kazanım Yaklaşımı

Clarke ve Wright kazanım algoritması Temel ARP yönteminde veri seti büyüyünce çözüm olasılıklarının polinomsal olarak artmasından dolayı problemin kesin optimal sonuç verememesi üzerine optimal sonuca yakın bir rota çizdirerek maliyeti azaltmayı hedefleyen bir sezgisel yöntemdir. Temel ARP'de i ve j noktaları arasına hizmeti ayrı rotalardan götürmenin maliyeti c_{ij} olmak üzere; kazanım algoritması ayrı rotaları birleştirerek rota sayısını azaltan ve bu sayede maliyetten tasarruf eden bir yaklaşımdır. 0 depo olmak üzere; denklem 2.8'de ayrı rotalardan hizmet götürmenin toplam maliyeti, 2.9'da ayrı rotaları birleştirerek hizmet götürmenin maliyeti ve 2.10'da ise kazanım algoritması verilmiştir.

$$C_1 = c_{0i} + c_{i0} + c_{0j} + c_{j0} \quad (2.8)$$

$$C_2 = c_{0i} + c_{ij} + c_{j0} \quad (2.9)$$

$$S_{ij} = C_1 - C_2 = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij} \quad (2.8)$$

Tasarruf algoritmasının mantığı gereği ilk adımda talep noktalarının ikili olarak ($i - j$) arasındaki mesafenin maliyeti hesaplanır, daha sonra tüm ikililer maliyete göre azalan şekilde sıralanır. Sıralamada aşağı inildikçe her seferinde bir ikili dikkate alınır. Eğer bir $i - j$ ikilisi arasında önceden kurulmuş bir bağlantı varsa ve yeni bağlantıyı kurmak için diğer bağlantıyı silmek gerekmiyorsa, toplam talep doğrultusunda aracın kapasitesini aşmayacak şekilde iki rota birleştirilir. Küçük ölçekli problemlerde rota birleştirmeden elde edilen tasarruf anlamlı bir fark göstermese de özellikle büyük ölçekli problemlerde ayrı rotalardan gitmek yerine aracın i 'den sonra j 'ye gitmesini sağlayan komşuluk yaklaşımının maliyette ciddi fark yarattığı söylenebilir.

2.3. Bir Akaryakıt Firmasının Dağıtım Rotalaması İçin Sezgisel Çözüm Bulunması Ve Parametre Duyarlılık Testleri

ARP için çözüm yaklaşımları kesin algoritmalar, sezgiseller, meta-sezgiseller, benzetim ve gerçek zamanlı çözüm yöntemleri şeklinde sınıflandırılabilir. ARP, çözümü zor problemler (NP-hard) sınıfına girmektedir. Bu tip problemlerde veri seti büyüdükçe Genellikle istasyon sayısının 15'i geçtiği durumlarda çözüm olasılıkları da polinomsal olarak arttığından ARP modelinin kesin sonuç vermesi mümkün olmamaktadır (Cornillier, Laporte, Boctor ve Renaud, 2009). Uygulamada daha çok meta-sezgiseller kullanılmasına karşın, nispeten daha küçük örnekler için kesin algoritmalar da kullanılmaktadır (Jaegere, Defraeye ve Van Nieuwenhuysse, 2014).

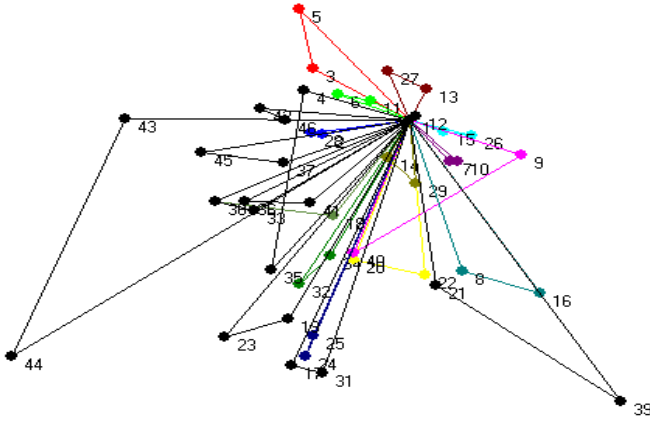
Bu çalışmada bir akaryakıt firmasının Ankara'da faaliyet gösteren 45 istasyonuna akaryakıt dağıtım rotalaması kesin çözüm veren algoritma ile yapılmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda akaryakıt sektörünün zaman penceresine bağlı ceza maliyetlerini içeren özel kısıtlarına bakılmaksızın temel olan Kapasite Kısıtlı ARP modeli ile bir dağıtım rotalaması tasarlanarak toplam gidilecek yolun minimize edilmesi hedeflenmiştir. Ancak modelin 45 istasyon için dağıtım rotalaması yapması oldukça uzun sürmüş ve kesin optimum çözüm alınamamıştır. Bunun üzerine bu veri seti için kesin çözüm veren algoritmaların uygun çözüm bulamadığı, sezgisel kullanarak optimale yakın sonuç alınmanın daha doğru olacağına karar verilmiştir. Çözüm için Larry Snyder tarafından geliştirilen Clark ve Wright Kazanım algoritması tabanlı, çeşitli iyileştirme sezgiselleri içeren VRP Solver çözücüsü kullanılmış ve saniyeler içinde uygun rotalama ve referans sonuçlar elde edilmiştir. Temel dağıtım rotalama problemine bağlı kalınarak; 7 farklı senaryo altında parametre duyarlılığı incelenmiştir. Toplam gidilecek yol, optimal rota sayısı ve çözüm süresinin talep, araç sayısı, menzil değerlerinin değişkenliğine duyarlılığı incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2.3.1. Senaryo 1: Sabit Talepli ARP

Ankara ilinde yer alan 45 istasyon için talebin 140 birim m^3 olduğu, araç kapasitesinin 300 birim seçildiği, aracın alabileceği maksimum rota uzunluğuna kısıtlama getirilmediği senaryoya göre model çalıştırılmıştır. Talebin sabit olduğu senaryoya ait seçilen parametre değerleri Tablo 1'de, bulunan rotalar ise Şekil 1'de görülmektedir.

Tablo 1. *Senaryo 1 Değişken Değerleri*

Senaryo 1	Talep	Araç Kapasitesi	Toplam Yol	Rota Sayısı	Çözüm Süresi	Araç Toplam Yol Limiti	Derinlik	İterasyon
	Sabit 140	300	751,47	23	0,24	100000	3	3

**Şekil 1.** *Senaryo 1 Sabit Talepli ARP Çözümü*

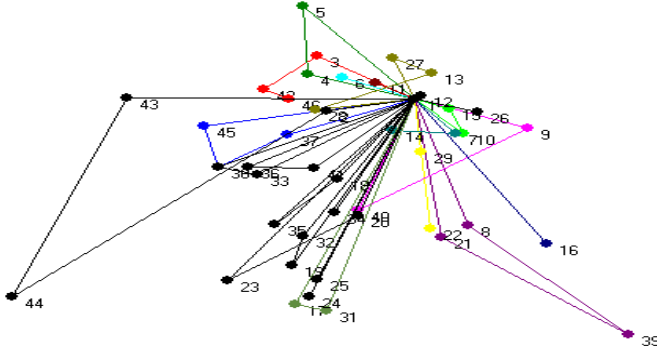
Buna göre 0,24 saniyede elde edilen sonuçta 23 rota oluşmuş ve toplam alınacak yol 751,47 km olarak kaydedilmiştir. İlk senaryoda problemin baz çözümü elde edilmiş olup, 1. senaryodan sonra rota sayısı, çözüm süresi ve toplam yolun; araç kapasitesi, menzil, derinlik ve iterasyon sayısına duyarlılığı incelenecektir.

2.3.2. Senaryo 2: Değişken Talepli ARP

Bir önceki senaryodan farklı olarak; Ankara ilinde yer alan 45 istasyon için talebin değişken olduğu, araç kapasitesinin 300 birim seçildiği, aracın alabileceği maksimum rota uzunluğuna kısıtlama getirilmediği ikinci senaryoya göre model çalıştırılmıştır. Talebin değişken olduğu senaryo için seçilen parametre değerleri Tablo 2’de, bulunan rotalar ise Şekil 2’de görülmektedir.

Tablo 2. *Senaryo 2 Değişken Değerleri*

Senaryo 2	Talep	Araç Kapasitesi	Toplam Yol	Rota Sayısı	Çözüm Süresi	Araç Toplam Yol Limiti	Derinlik	İterasyon
	Değişken	300	822,43	24	0,11	100000	3	3



Şekil 2. Değişken Talepli ARP Çözümü

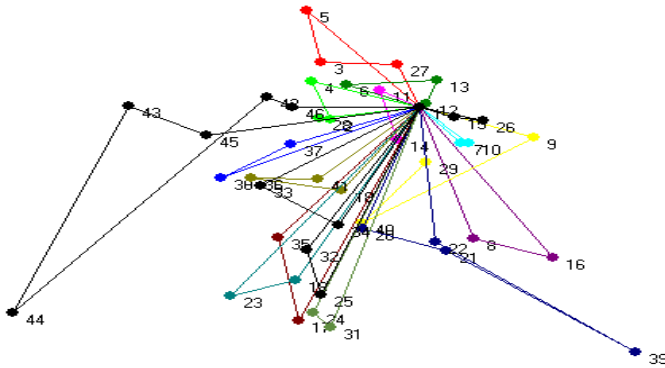
Buna göre 0,11 saniyede elde edilen sonuçta 24 rota oluşmuş ve toplam alınacak yol 822,43 km olarak kaydedilmiştir. Talepler istasyonlara göre değişkenlik gösterdiğinde 1 ekstra rota kullanılmış, gidilecek yol %9 artmış, çözüm süresi ise 0,24 sn'den 0,11 sn'ye düşmüştür.

2.3.3. Senaryo 3: Değişken Talepli – Araç Kapasitesi Artırılmış ARP Çözümü

İkinci senaryodan farklı olarak; araç kapasitesinin 400 birim seçildiği, aracın alabileceği maksimum rota uzunluğuna kısıtlama getirilmediği üçüncü senaryoya göre model çalıştırılmıştır. Talebin değişken olduğu aynı zamanda dağıtım yapmak için daha yüksek kapasiteli araçların seçildiği senaryoya ait seçilen parametre değerleri Tablo 3'te, bulunan rotalar ise Şekil 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Senaryo 3 Değişken Değerleri

Senaryo 3	Talep	Araç Kapasitesi	Toplam Yol	Rota Sayısı	Çözüm Süresi	Araç Toplam Yol Limiti	Derinlik	İterasyon
	Değişken	400	654,09	17	0,15	100000	3	3



Şekil 3. Değişken Talepli Araç Kapasitesi Artırılmış ARP Çözümü

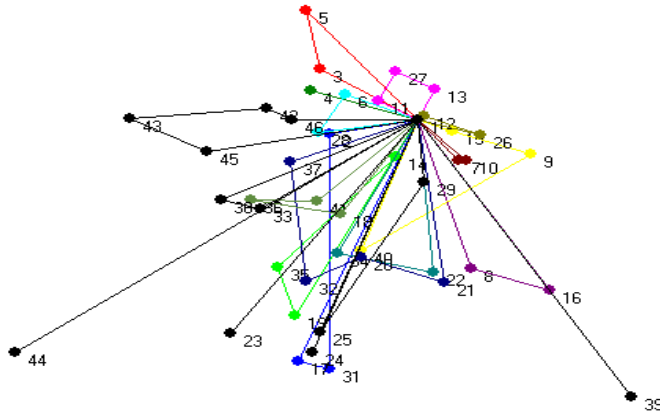
Buna göre 0,15 saniyede elde edilen sonucta 17 rota oluşmuş ve toplam alınacak yol 654,09 km olarak kaydedilmiştir. Araç kapasitesi 300 birimden 400 birime çıkartıldığında, artırıldığında; kullanılan 7 rotadan vazgeçilmiş, gidilecek yol %20 azalmış, çözüm süresi ise 0,11 sn'den 0,15 sn'ye çıkmıştır.

2.3.4. Senaryo 4: Araçların Alacağı Yolun Belirli Olduğu ARP Çözümü

Önceki senaryolardan farklı olarak bu senaryoda aracın gidebileceği maksimum yol uzunluğuna kısıtlama getirilmiştir. Buna göre; kapasitesi 400 birim olan araçların gidebileceği maksimum rota uzunluğu 50 km olarak belirlenerek model çalıştırılmıştır. Talebin değişken, araç kapasitesinin artırılmış, araçların belli bir menzilde dağıtım yapacağı senaryoya ait seçilen parametre değerleri Tablo 4'te, bulunan rotalar ise Şekil 4'te görülmektedir.

Tablo 4. Senaryo 4 Değişken Değerleri

Senaryo 4	Talep	Araç Kapasitesi	Toplam Yol	Rota Sayısı	Çözüm Süresi	Araç Toplam Yol Limiti	Derinlik	İterasyon
	Değişken	400	750,6	20	0,34	50	3	3



Şekil 4. Menzilin Belli Olduğu ARP Çözümü

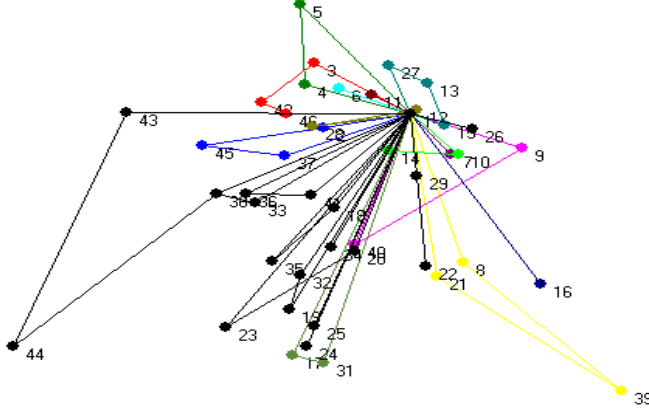
Buna göre 0,34 saniyede elde edilen sonucta 20 rota oluşmuş ve toplam alınacak yol 750,6 km olarak kaydedilmiştir. Araç kapasitesi 3. Senaryoya aynı olmasına rağmen, araçların menzili azaltıldığında 3 rota daha kullanılmış, gidilecek yol %14 artmış, çözüm süresi ise 0,15 sn'den 0,34 sn'ye çıkmıştır.

2.3.5. Senaryo 5: Derinlik ve İterasyon Sayısının Düşürüldüğü ARP Çözümü

Vrp Solver çözücüsünün çalışma prensibi ilk fazda bir çözüm bulmak, 2. Fazda bu çözümü iyileştirerek optimal rotayı ve en kısa yolu bulmak üzerine kuruludur. Bu prensip derinlik ile iterasyonların çarpılmasıyla oluşturulur. Veri seti çözücüye yüklendiğinde önerilen derinlik ve iterasyon sayısı 3'tür. Bu senaryoda önceki senaryolardan farklı olarak bu senaryoda problemin iterasyon sayısı ve derinliği 3'ten 1'e düşürülmüştür. Aracın gidebileceği maksimum yol uzunluğuna ise kısıtlama getirilmemiştir. Buna göre; kapasitesi 300 birim olan araçlarla model çalıştırılmıştır. Talebin değişken, araç kapasitesi düşük araçlarla dağıtım yapılan senaryoda değişken ve iterasyon değerlerinin değiştirildiği parametre değerleri Tablo 5'te, bulunan rotalar ise Şekil 5'te görülmektedir.

Tablo 5. *Senaryo 5 Değişken Değerleri*

Senaryo 5	Talep	Araç Kapasitesi	Toplam Yol	Rota Sayısı	Çözüm Süresi	Araç Toplam Yol Limiti	Derinlik	İterasyon
	Değişken	300	839,95	24	0	100000	1	1

**Şekil 5.** *Derinlik ve İterasyon Sayısının Düşürüldüğü ARP Çözümü*

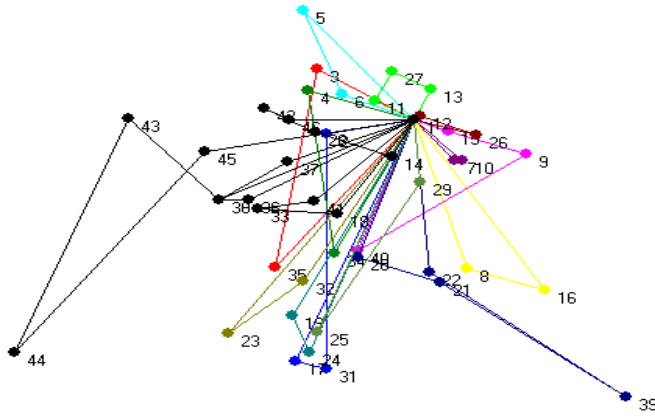
Buna göre 0,00 saniyede elde edilen sonuçta 24 rota oluşmuş ve toplam alınacak yol 839,95 km olarak kaydedilmiştir. İterasyon ve derinlik sayısı 3'ten 1'e düşürüldüğünde, diğer kriterlerin aynı olduğu 2. senaryoya göre gidilecek yol %2 artmış, aynı sayıda rota kullanılmış, çözüm süresi ise 0,11 sn'den 0,0 sn'ye düşmüştür. İterasyonun ve derinlik sayısının ilk fazdaki haliyle kalması istenip, iyileştirme fazları engellendiğinde çözüm süresi azalmasına rağmen, gidilecek yolda artış gözlenmiştir. %2'lik farkın iyileştirme fazları ile ortadan kalktığı görülmektedir.

2.3.6. Senaryo 6: Araç Kapasitesinin, Derinlik ve İterasyon Sayısının Artırıldığı ARP Çözümü

Diğer senaryolardan farklı olarak bu senaryoda hem araç kapasitesi hem de problemin iterasyon sayısı ve derinliği artırılmıştır. Aracın gidebileceği maksimum yol uzunluğuna ise kısıtlama getirilmemiştir. Buna göre; kapasitesi 400 birim olan araçlarla derinlik ve iterasyon 20 olarak belirlenerek model çalıştırılmıştır. Talebin değişken, araç kapasitesinin artırılmış, araçların belli bir menzil sınırlaması olmadığı, derinlik ve iterasyon sayısının artırıldığı senaryoya ait seçilen parametre değerleri Tablo 6'da, bulunan rotalar ise Şekil 6'da görülmektedir.

Tablo 6. *Senaryo 6 Değişken Değerleri*

Senaryo 6	Talep	Araç Kapasitesi	Toplam Yol	Rota Sayısı	Çözüm Süresi	Araç Toplam Yol Limiti	Derinlik	İterasyon
	Değişken	400	641,62	17	8,31	100000	20	20



Şekil 6. *Kapasite, Derinlik ve İterasyonun Arttırıldığı ARP Çözümü*

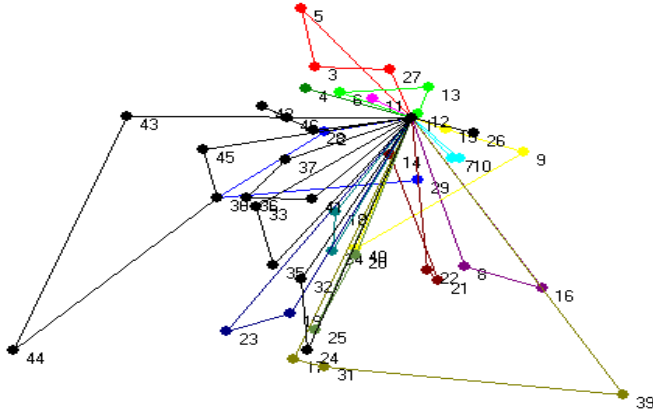
Buna göre 8,31 saniyede elde edilen sonuçta 17 rota oluşmuş ve toplam alınacak yol 641,62 km olarak kaydedilmiştir. Buna göre iterasyon ve derinlik sayısının 3 olduğu durumda diğer tüm kriterlerin aynı olduğu 3. Senaryoya karşılaştırıldığında; iterasyon ve derinlik sayısı 3'ten 20'ye çıkarıldığında, gidilecek yol %2 azalmış, aynı sayıda rota kullanılmış, çözüm süresi ise 0,15 sn'den 8,31 sn'ye çıkmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki daha fazla derinlik ve daha fazla iterasyon yapılmasında problemin sonucunda kayda değer bir fark gözlenmemiş, buna rağmen çözüm süresi artmıştır. Bu iyileşmenin kaynağının da Senaryo 3'te de değinildiği üzere araç kapasitesinin artırılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

2.3.7. Senaryo 7: Araç Kapasitesinin Artırılıp, Derinlik ve İterasyon Sayısının Azaltıldığı ARP Çözümü

Bu senaryoda diğerlerinden farklı olarak araç kapasitesi artırılmış, problemin iterasyon sayısı ve derinliği azaltılmıştır. Aracın gidebileceği maksimum yol uzunluğuna ise kısıtlama getirilmemiştir. Buna göre; kapasitesi 400 birim olan araçlarla derinlik ve iterasyon 1 olarak belirlenerek model çalıştırılmıştır. Talebin değişken, araç kapasitesinin artırılmış, araçların belli bir menzil kısıtlaması olmadığı senaryoda derinlik ve iterasyon değerlerinin minimum seviyeye indirildiği senaryoya ait seçilen parametre değerleri Tablo 7'de, bulunan rotalar ise Şekil 7'de görülmektedir.

Tablo 7. *Senaryo 7 Değişken Değerleri*

Senaryo 7	Talep	Araç Kapasitesi	Toplam Yol	Rota Sayısı	Çözüm Süresi	Araç Toplam Yol Limiti	Derinlik	İterasyon
	Değişken	400	694,44	19	0	100000	1	1



Şekil 7. *Kapasitenin Arttırılıp Derinlik ve İterasyonun Azaltıldığı ARP Çözümü*

Buna göre 0,00 saniyede elde edilen sonuçta 19 rota oluşmuş ve toplam alınacak yol 694,44 km olarak kaydedilmiştir. İterasyon ve derinlik sayısının yine 1 olduğu, araç kapasitesinin 300 birim olduğu, diğer tüm kriterlerin aynı tutulduğu 5. Senaryoya göre 5 rota kullanılmaktan vazgeçilmiş ve gidilecek yol %17 azalmıştır. Senaryo 6'da düşünülen teori burada ispatlanmıştır. İterasyon sayıları dahil diğer tüm değişkenlerin aynı olduğu, kapasite sayısının Senaryo 5'e göre arttırıldığı bu senaryoda ortaya çıkan farkın araç kapasitesinden kaynaklandığı kanıtlanmıştır. VRP Çözücünde toplam gidilecek yol, rota sayısı ve çözüm süresinin araç kapasitesi parametresine iterasyon sayısı ve derinliğe göre daha fazla duyarlı olduğu gözlenmiştir.

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Rekabetçi piyasada bir işletmenin tedarik zincirini iyi yönetmesi, piyasada daha güçlü olması için en önemli unsurdur. İşletmelerin ürettiği ürünü talep noktalarına ulaştırmadaki lojistik maliyeti ise en önemli maliyet kalemlerinden biridir. Lojistik faaliyetlerinde işletmelerin müşteri taleplerini en az maliyetle karşılamasına yardımcı olmak için Araç Rotalama Problemleri modelleri ile rotalama yapılmaktadır. Yöneylem araştırmalarının günümüzde en çok çalışılan konularından biri olan Araç Rotalama Problemleri (ARP)'nin farklı sezgisel ve meta sezgisel yaklaşımlarla çözülmesi çözüm süresini kısaltarak optimize en yakın rotalamayı sunmaktadır.

Bu çalışmada işletmelerin faaliyet alanlarına özel kısıtlarla geliştirilmiş farklı ARP modelleri incelenen çalışmalar üzerinden tanıtılmıştır. ARP'nin veri seti büyüdükçe çözüm bulması zorlaştığından sezgisel ve meta sezgisel yöntemler olmaksızın uygun rota bulması imkansızdır. İncelenen literatürde ARP modellerinin çözümü için kullanılan sezgisel yaklaşımlara yer verilmiştir. Akaryakıt ikmal dağıtımında tercih edilen ARP modelleri ve sezgisel yaklaşımları kullanan çalışmalar bu alanda çalışacak araştırmacılara kaynak oluşturmak için sunulmuştur.

Çalışmada amprik bir uygulama olarak bir akaryakıt firmasının 45 istasyonunun Kapasite Kısıtlı ARP yöntemi ile rotalamasını yapmak amaçlanmıştır. Veri setinin büyüklüğü sebebiyle sonuca ulaşamadığından, optimale en yakın rotalamayı oluşturan sezgisellerden Clarke ve Wright algoritmasına başvurulmuştur. Problem Larry Snyder tarafından geliştirilen Clarke ve Wright tabanlı, iyileştirme sezgisellerinin de bulunduğu Vrp Solver yardımıyla çözümlenerek farklı senaryolar altında parametre duyarlılığı test edilmiştir. Nihai amacın en az yol kat ederek hizmetin tamamlanması olmak üzere; istasyonların talep değişkenliği, araç kapasitesi, araçların yol limiti parametrelerinin alınan toplam yola etkisi ölçülmeye çalışılmıştır. Bunun yanı sıra problemin çözüm süresine etki eden iterasyon ve derinlik sayısı gibi parametrelerin duyarlılığı da hesaba katılarak toplam yol, bulunan uygun rota sayısı ve problemin çözüm süresine nasıl etki ettiği duyarlılık testleriyle gösterilmeye çalışılmıştır. Yapılan uygulama sonucunda alınan toplam yola en çok etki eden parametrenin araç kapasitesi parametresi olduğu görülmüştür. Taleplerin istasyonlar için değişken olduğu durumda, tüm istasyonlar için sabit talep olduğu duruma göre alınan yolun %9 arttığı ve 1 rotanın daha eklendiği görülmektedir. Ancak talebin değişken olduğu durumda bile kapasitesi daha fazla olan bir araçla ikmal yapıldığında toplam kat edilen yolun %20 azaldığı ve 7 rotadan vazgeçildiği görülmüştür. En optimal çözüme araç kapasitesi arttırıldığında ulaşıldığı görülmüştür.

Yapılan uygulamada Kapasite Kısıtlı ARP modeli seçilmiştir. Akaryakıt ikmal rotalamasında istasyon taleplerinin zamanında karşılanması da önemli olduğundan gelecek çalışmalarda Zaman Pencereci ARP modeli seçilerek istasyonlara erken ya da geç ulaşmanın ceza maliyeti ve istasyonlardaki bekleme süresinin de hesaba katılması ile rotalama daha farklı oluşturulabilir. Sadece kat edilen toplam yolun en aza indirilmesini hesaba katan bu model dışında araçların yakıt tüketimi hesaba katılarak

maliyetten ne kadar tasarruf edildiği de gösterilebilir. Bunun yanı sıra farklı sezgisel yöntemler denenerek alınan yolun ve çizilen rotaların karşılaştırılması yapılabilir.

YAZAR BEYANI

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı: Bu çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır.

Etik Kurul Onayı: Bu araştırma etik kurul izni gerektiren analizleri kapsamadığından etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Yazar Katkıları: Yazar çalışmanın tümünü tek başına gerçekleştirmiştir.

Çıkar Çatışması: Yazar açısından ya da üçüncü taraflar açısından çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Abraham, A., Jos, B., & Mangalathu, G. (2012). The Pickup And Delivery Vehicle Routing Problem For Perishable Goods In Air-Cargo Industry. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 790-794.
- Al-Hinai, N., & Triki, C. (2020). A two-level evolutionary algorithm for solving the petrol station replenishment problem with periodicity constraints and service choice. *Annals of Operations Research*, 286(1-2), 325-350.
- Annouch, A., & Bellabdaoui, A. (2017). Variable Neighborhood Search heuristic for the full truckload problem in liquefied petroleum gas supply. *International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA)* (pp. 193-198). Rabat, Morocco: IEEE.
- Archetti, C., Savelsbergh, M., & Speranza, M. (2006). Worst-Case Analysis for Split Delivery Vehicle Routing Problems. *Transportation Science*, 226-234.
- Azi, N., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2010). An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. *European Journal of Operational Research*, 756-763.
- Battarra, M., Erdoğan, G., Laporte, G., & Vigo, D. (2010). The Traveling Salesman Problem with Pickups, Deliveries, and Handling Costs. *Transportation Science*, 383-399.
- Belfiore, P., Tsugunobu, H., & Yoshizaki, Y. (2009). Scatter search for a real-life heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and split deliveries in Brazil. *European Journal of Operational Research*, 750-758.
- Calvete, H. I., Galé, C., Oliveros, M.-J., & Sánchez-Valverde, B. (2007). A goal programming approach to vehicle routing problems with soft time windows. *European Journal of Operational Research*, 1720-1733.
- Che, A., Wang, W., Mu, X., Zhang, Y., & Feng, J. (2022). IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Tabu-Based Adaptive Large Neighborhood Search for Multi-Depot Petrol Station Replenishment With Open Inter-Depot Routes, 24(1), 316-330.
- Chu, C.-W. (2005). A heuristic algorithm for the truckload and less-than-truckload problem. *European Journal of Operational Research*, 657-667.
- Clarke, G., & Wright, J. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operation Research*, 12, 568-581.
- Cordeau, J., Laporte, G., Savelsbergh, M., & Vigo, D. (2007). Vehicle routing. *Handbooks in operations research and management science*, 14, 367-428.
- Cordeau, J.-F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.-Y., & Semet, F. (2002). A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society*, 53, 512-522.
- Cornillier, F., Laporte, G., Boctor, F., & Renaud, J. (2009). The petrol station replenishment problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 36(3), 919-935.
- Crevier, B., Cordeau, J.-F., & Laporte, G. (2007). The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes. *European Journal of Operational Research*, 756-773.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- Dantzig, G. B., Fulkerson, D., & Johnson, S. (1959). On a linear-programming, combinatorial approach to the traveling-salesman problem. *Operations Research*, 7, 58-66.
- Desrochers, M., Desrosiers, J., & Solomon, M. (1992). A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *Operations research*, 40(2), 342-354.
- Dror, M., & Trudeau, P. (1986). Stochastic vehicle routing with modified savings algorithm. *European Journal of Operational Research*, 23(2), 228-235.
- Dror, M., Laporte, G., & Trudeau, P. (1989). Vehicle routing with stochastic demands: Properties and solution frameworks. *Transportation science*, 23(3), 166-176.
- Dror, M., Laporte, G., & Trudeau, P. (1994). Vehicle routing with split deliveries. *Discrete Applied Mathematics*, 50(3), 239-254.
- Dündar, H., Soysal, M., Ömürçünülşen, M., & Kanellopoulos, A. (2022). A green dynamic TSP with detailed road gradient dependent fuel consumption estimation. *Computers & Industrial Engineering*, 168, 108024.
- Grondys, K. (2020). Optimization of Vehicle Routes for Inter-warehouse Operations Using the Clark and Wright's Saving Algorithm. *Global Journal of Entrepreneurship and Management*, 1(2), 16-26.
- Ho, W., Ho, G., Ji, P., & Lau, H. (2008). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 547-558.
- Hoff, A., & Løkketangen, A. (2006). Creating Lasso-solutions for the Traveling Salesman Problem with Pickup and Delivery by Tabu Search. *Central European Journal of Operations Research*, 125-140.
- Jaegere, N. D., Defraeye, M., & Van Nieuwenhuysse, I. (2014). The Vehicle Routing Problem: State Of The Art Classification And Review. KU Leuven - Faculty of Economics and Business. Leuven (Belgium): FEB Research Report KBI.

- Kang, K. H., Lee, B., Lee, Y., & Lee, Y. (2008). A heuristic for the vehicle routing problem with due times. *Computers & Industrial Engineering*, 421-431.
- Kumar, S., & Panneerselvam, R. (2012). A survey on the vehicle routing problem and its variants. *Intelligent Information Management*, 4, 66-74.
- Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation science*, 43(4), 4008-416.
- Liu, X., Chen, Y., Por, L., & Ku, C. (2023). A systematic literature review of vehicle routing problems with time windows. *Sustainability*, 15(15), 12004.
- Mahmoudi, M., & Zhou, X. (2016). Finding optimal solutions for vehicle routing problem with pickup and delivery services with time windows: A dynamic programming approach based on state-space-time network representations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 19-42.
- Mańdziuk, J. (2018). New shades of the vehicle routing problem: Emerging problem formulations and computational intelligence solution methods. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 3(3), 230-244.
- Martinovic, G., Aleks, I., & Baumgartner, A. (2008). Single-Commodity Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery Service. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*, 1-18.
- Miller, C., Tucker, A., & Zemlin, R. (1960). Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems. *JACM*.
- Min, H. (1989). The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points. *Transportation Research Part A: General*, 23(5), 377-386.
- Nagy, G., Wassen, N., Sperenza, M., & Salhi, S. (2015). The Vehicle Routing Problem with Divisible Deliveries and Pickups. *Transportation Science*, 271-294.
- Osvald, A., & Stirn, L. (2008). A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of Food Engineering*, 285-295.
- Pisinger, D., & Ropke, S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & operations research*, 34(8), 2403-2435.
- Prins, C. (2009). Two memetic algorithms for heterogeneous fleet vehicle routing problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 916-928.
- R.Tavakkoli-Moghaddam, Safaei, N., & Gholipour, Y. (2006). A hybrid simulated annealing for capacitated vehicle routing problems with the independent route length. *Applied Mathematics and Computation*, 445-454.
- R.Tavakkoli-Moghaddam, Saremi, A., & Ziaee, M. (2006). A memetic algorithm for a vehicle routing problem with backhauls. *Applied Mathematics and Computation*, 1049-1060.
- Solomon, M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations research*, 35(2), 254-265.
- Soysal, M., Çimen, M., Ömürganülşen, M., & Belbağ, S. (2019). Performance comparison of two recent heuristics for green time dependent vehicle routing problem. *International Journal of Business Analytics (IJBAN)*, 6(4), 1-11.
- Tan, K. C. (2000). A Framework Of Supply Chain Management Literature. *European Journal Of Purchasing & Supply Chain Management*, 39-48.
- Tang, J., Pan, Z., Fung, R., & Lau, H. (2009). Vehicle routing problem with fuzzy time windows. *Fuzzy Sets and Systems*, 683-695.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). The vehicle routing problem. In *Society for Industrial and Applied Mathematics* (pp. 13-15). Philadelphia.
- Toth, P., & Vigo, D. (1997). An exact algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. *Transportation science*, 31(4), 372-385.
- Wang, H., & Shen, J. (2007). Heuristic approaches for solving transit vehicle scheduling problem with route and fueling time constraints. *Applied Mathematics and Computation*, 1237-1249.
- Wei, X., Liao, Q., Zhang, H., Liang, Y., Wang, B., Xu, N., & Yuan, M. (2021). MILP formulations for highway petrol station replenishment in initiative distribution mode. *Petroleum Science*, 18, 994-1010.
- Xu, G., Xu, M., Wang, Y., Liu, Y., & Lv, Q. (2020). Collaborative multidepot petrol station replenishment problem with multicompartments and time window assignment. *Journal of Advanced Transportation*, 1-22.
- Xu, X., Lin, Z., & Zhu, J. (2022). DVRP with limited supply and variable neighborhood region in refined oil distribution. *Annals of Operations Research*, 1-25.
- Xu, X., Lin, Z., Li, X., Shang, C., & Shen, Q. (2022). Multi-objective robust optimisation model for MDVRPLS in refined oil distribution. *International Journal of Production Research*, 60(22), 6772-6792.