



ESNEK ZAMAN PENCERELİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN ÖNCE KÜMELE-SONRA ROTALA TEMELLİ BİR YÖNTEM ÖNERİSİ; BİR SÜPERMARKET ÖRNEĞİ

¹Serap ERCAN CÖMERT , ²Harun Reşit YAZGAN , ³Büşra ÇAKIR, ⁴Nazan SARI

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE
¹serape@sakarya.edu.tr, ²yazgan@sakarya.edu.tr, ³busra.cakir6@ogr.sakarya.edu.tr,
⁴nazansarii42@gmail.com

(Geliş/Received: 01.10.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 11.06.2019)

ÖZ: Esnek zaman pencereli araç rotalama problemi, belirli zaman aralıklarında servis görmek isteyen müşterilere, erken ya da geç hizmet verilmesine ceza maliyeti uygulanması koşuluyla izin veren zaman pencereli araç rotalama probleminin bir çeşididir. Bu çalışmada, ele alınan esnek zaman pencereli araç rotalama problemi için önce kümele-sonra rotala yöntemine dayalı bir yöntem önerilmiştir. İlk olarak müşteriler K-Means ve K-Medoids kümeleme algoritmalarına göre kümelenebilir, daha sonra ise karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli yardımıyla rotalanmıştır. Son olarak, algoritmaların etkinliğini göstermek için ANOVA testi kullanılmış ve deneysel sonuçlar, algoritmalar ile elde edilen sonuçların firmanın gerçek maliyetleri ile karşılaştırıldığında daha iyi olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Esnek Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi, K-Means Algoritması, K-Medoids Algoritması

Cluster-First Route-Second Approach For The Solution Of Vehicle Routing Problem With Soft Time Windows; A Supermarket Chain Application

ABSTRACT: The vehicle routing problem with soft time windows is a type of vehicle routing problem with time windows which allow to serve customers outside their time windows, but the penalty costs is applied for the company for early or late service. In this study, an approach consisted of two stages as "cluster-first route-second" is proposed for the vehicle routing problem with soft time windows. Firstly, customers are clustered according to K-Means and K-Medoids clustering algorithms, then routed by the help of mixed integer linear programming model. Finally, the ANOVA test is used to show the effectiveness of the algorithms and the experimental results showed that the results obtained with the algorithms provides a better solution than the actual costs of the firm.

Key Words: Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows, K-Means Algorithm, K-Medoids Algorithm

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde hem küresel hem de yerel pazarlarda yoğun bir rekabet bulunmaktadır. Rekabet ortamında işletmelerin müşterilerine daha iyi bir hizmet verebilmesi için iyi bir planlama yapılması ve güncel teknolojik gelişmelerin takip edilmesi gerekmektedir. İşletmeler, yoğun rekabetin olduğu bu müşteri odaklı pazarlarda varlıklarını koruyabilmek ve rekabet ile mücadele edebilmek için kalitelerini arttırırken maliyetlerini azaltmak zorundadırlar. İşletmelerin toplam maliyetleri

içerisinde önemli bir paya sahip olan dağıtım maliyetleri azaltılırken aynı zamanda firmaların müşterilerine en kısa sürede hizmet vermeleri gerekmektedir. Bu nedenle dağıtım maliyetlerini azaltan, aracın kat ettiği toplam mesafeyi ya da süreyi en küçükleyen ve araçların en uygun rotalarının bulunmasını sağlayan amaçlar araç rotalama probleminin (ARP) temel konuları içerisine girmektedir.

İlk kez Dantzig ve Ramser tarafından tanımlanan ARP; merkezi bir depoda bulunan aynı veya farklı kapasitelere sahip olan araçların, her biri farklı konuma ve talebe sahip olan müşteriler kümesine toplam seyahat mesafesini veya süresini en aza indirecek şekilde hizmet vererek depoya geri dönmesi için gerekli rotaların belirlenmesi problemi olarak tanımlanabilir (Toth ve Vigo, 2002a). ARP'nin sahip olduğu kısıtlara göre farklı çeşitleri vardır. Her müşteri için araç veya araçların hizmete başlayacağı en erken ve en geç zaman kısıtlarını içeren zaman pencereli araç rotalama problemi (ZPARP) bunlardan biridir. ZPARP'nin amacı, müşteri talepleri yine müşterilerin arzu ettikleri zaman aralıkları dikkate alınarak dağıtım rotalarının oluşturulmasıdır. Esnek ve sıkı zaman pencereli araç rotalama problemi ZPARP'nin farklı türleri olup, bu çalışmada esnek zaman pencereli araç rotalama problemi (EZPARP) ele alınmıştır.

Araç rotalama problemlerini çözmek için literatürde pek çok yöntem geliştirilmiştir. Yöntemlerden biri kesin çözüm yöntemleridir. Literatürde en iyi bilinen kesin çözüm yöntemleri; dal ve sınır yöntemi, dal ve kesme yöntemi, kesme düzlemi yöntemi ve dinamik programlamadır. Bu yöntemlerin performansı, araç rotalama problemleri NP-zor problem sınıfına girdiği için problemin boyutuna bağlıdır. Çözüm yöntemlerinden bir diğeri ise sezgisel yöntemlerdir. Sezgisel yöntemler; klasik sezgisel yöntemler ve meta-sezgisel yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Klasik sezgisel yöntemler olurlu çözümü daha kısa sürede bulabilmekte, fakat bulunan bu çözüm yerel en iyi değerleri içermektedir. Yapısal sezgisel yöntemler, iki-aşamalı sezgisel yöntemler ve geliştirici sezgisel yöntemler klasik sezgisel yöntemlere örnek olarak verilebilir. Meta-sezgisel yöntemler de en iyi çözüme yakın çözümleri bulabilme kabiliyetine sahiptirler. Ayrıca meta-sezgisel yöntemler çözüm uzayını tararken yerel en iyi değerlerden kurtulabilmektedirler. Genetik algoritma, karınca kolonisi algoritması, yapay arı kolonisi algoritması, parçacık sürü optimizasyonu, tabu arama algoritması ve tavlama benzetimi meta sezgisel yöntemlere örnek olarak verilebilir (Toth ve Vigo, 2002b).

Araç rotalama problemi NP-zor problem sınıfına girmekte, bu nedenle de problemi çözmek için gereken hesaplama süresi problemin boyutuyla birlikte üstel olarak artmaktadır. Bundan dolayı literatürde var olan kesin çözüm yöntemleri sadece küçük boyutlu problemleri çözebilmektedirler. Belirli sayıda müşterinin ve kısıtın olduğu gerçek hayat problemlerinde bu yöntemler en iyi çözüme ulaşma zaman almakta veya imkansız olmaktadır. Bu nedenle ele alınan çalışmada büyük boyutlu problemlerin makul sürelerde çözümüne olanak sağlamak için kümeleme analizi kullanılarak problemin boyutu küçültülmüş ve sonrasında kesin çözüm yönteminin kullanımına olanak sağlanmıştır.

Kümeleme analizi, verileri benzerliklerine göre gruplara ayırarak sınıflandırılmasını sağlayan çok değişkenli bir istatistiksel analiz yöntemidir (Kaufman ve Rousseeuw, 1990). Kümeleme analizinin amacı, gruplandırılmamış verileri benzer özelliklerine göre sınıflandırmak ve araştırmacıya işe yarar özetleyici bilgiler sunmaktır. Yapılan kümeleme işleminin başarısı, kümeler arasındaki benzerliğin az, kümelerin kendi içerisindeki benzerliğin ise fazla olmasıyla ölçülmektedir (Hair ve diğ., 1995).

Bu çalışmada 78 şubeye sahip bir süpermarket zincirinin ana depodan çıkan araçların şube taleplerinin belirli zaman aralıklarında karşılanabilmesi için uygun araç rotalarının belirlenmesi probleminin çözümü için önce kümele-sonra rotala yöntemine dayalı bir yöntem önerilmiştir. Çalışmanın geriye kalan kısmı ise şöyledir; ikinci bölümde literatür araştırmasına yer verilmiş, üçüncü bölümde ele alınan problemin tanımı ve formülasyonu yapılmış ve dördüncü bölümde önerilen çözüm yöntemi detaylı olarak anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise uygulama kısmına yer verilmiştir. Son olarak çalışmadan elde edilen bulgular sonuç kısmında özetlenmiştir.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI(LITERATURE REVIEW)

Bu çalışmada EZPARP'nin çözümü için önce kümele-sonra rotala temelli iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. İlk aşamada, kümeleme problemi kümeleme analizi yöntemlerinden K-Means ve K-Medoids algoritması kullanılarak çözülmüştür. İkinci aşamada ise rotalama problemi kesin çözüm yöntemlerinden tam sayılı doğrusal programlama modeli yardımıyla çözülmüştür. Bu nedenle literatür araştırmamız ARP'nin çözümünde kümeleme analizinin kullanıldığı çalışmalar ve EZPARP'nin çözümünde kesin çözüm yönteminin kullanıldığı çalışmalar ile sınırlandırılmıştır.

İlk olarak, ARP'nin çözümünde kümeleme analizi yöntemlerinin kullanıldığı literatürde çalışmalar incelendiğinde, Thangiah ve Salhi (2001)'nin birden çok depoya sahip araç rotalama problemi için genetik algoritmaya dayanan geliştirilmiş bir kümeleme yöntemi önerdikleri görülmektedir. Literatürdeki test problemleri kullanılarak önerilen yöntemin etkinliği değerlendirilmiştir. Önerilen kümeleme yöntemi, literatürdeki 23 problemde 11 tanesi için yeni en iyi çözümü bulmuştur. Crainic ve diğ. (2008) iki aşamalı araç rotalama problemini ele almışlardır. İki aşamalı araç rotalama problemi, klasik araç rotalama probleminin bir uzantısı olup tek bir depodan müşteriye teslimatın uydular olarak adlandırılan menzil ara bölge deposuna yönlendirilmesi ile gerçekleştirilmesi olarak adlandırılır. Ele alınan problemin çözümü için kümeleme temelli meta-sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar kümeleme temelli yöntemin iyi performans gösterdiğini ve bu iki aşamalı sistemin maliyetlerde iyileştirme sağladığını göstermiştir. Nallusamy ve diğ. (2010) çalışmalarında, çoklu gezgin satıcı problemini basit gezgin satıcı problemine dönüştürmek için kümeleme analizi yöntemlerinden K-Means algoritmasını kullanmışlardır. Kümeleme işleminden sonra ise tabu arama ve benzetimli tavlama yöntemlerini kullanarak gezgin satıcı probleminin çözümünü yapmışlar ve elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışkan (2011) çok depolu ARP'nin çözümünde karınca kolonisi ile kümeleme algoritmalarını birlikte kullanmış ve toplam maliyeti en aza indirmeyi hedeflemiştir. Yücenur ve Demirel (2011) çalışmalarında çok depolu araç rotalama probleminin çözümü için iki aşamalı bir yöntem önermişlerdir. Yöntemin birinci aşamasında, Thangiah ve Salhi (2001)'nin geliştirdiği genetik algoritma tabanlı kümeleme yöntemi kullanılarak kümeleme işlemi yapılmış, ikinci aşamasında ise karınca kolonisi optimizasyonu ile rotalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ortaya koydukları melez yöntemin performansını test problemleri üzerinde değerlendirmişlerdir. Şen (2014) kapasite kısıtlı ARP'nin çözümü için kümeleme analizi yöntemlerini GA ile destekleyerek yeni bir yaklaşım geliştirmiş ve geliştirdiği yaklaşımının geçerliliğini perakende sektöründe bir örnek olay üzerinde test etmiştir. Bozyer ve diğ. (2014) kapasite kısıtlı ARP'nin çözümü için gruplama aşamasında kümeleme analizi tekniklerinden C-means algoritmasının kullanıldığı, önce kümele sonra rotala yöntemini önermişlerdir. Cömert ve diğ. (2018) sıkı zaman pencereli ARP'nin çözümü için kümeleme analizi tabanlı iki aşamalı bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntemin geçerliliği bir örnek olay üzerinde gösterilmiştir. Ünsal ve diğ. (2018), ARP'nin bir alt dalı olan okul servisi rotalama probleminin optimizasyonu için yapay zekâ ve kümeleme analizi teknikleri kullanılarak bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem Ankara ilindeki bir okula taşımacılık hizmeti veren servis firmasından toplanan rota verileri üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçların mevcut değerlerden daha iyi olduğu iddia edilmiştir.

EZPARP literatürde ilk kez Sexton ve Choi (1986) tarafından çalışılmıştır. Sexton ve Choi (1986), çalışmalarında hem toplama hem de dağıtım işlemleri yapılmaktadır. Zaman pencerelerinin sağlanamadığı durumlarda ortaya çıkan toplam müşteri cezalarını en aza indirmek için Bender ayrıştırma yöntemini uygulamışlardır. Min (1991), EZPARP için toplam seyahat zamanını ve zaman penceresinden sapmaları en aza indirmeyi amaçlayan çok amaçlı bir matematiksel model önermiştir. Önerdiği modelin etkinliği kütüphane dağıtım sisteminde denermiştir. Fagerhalt (2001), esnek zaman pencereli çok gemili toplama ve dağıtım problemini ele almıştır. Taşıma maliyetini ve zaman pencerelerinin dışında hizmet verildiğinde ortaya çıkan ceza maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan küme ayrıştırma formülasyonu tabanlı bir optimizasyon yöntemi önermiştir. Aydemir (2006), EZPARP'nin çözümü için çok amaçlı bir matematiksel model önermiştir. Önerdiği modelin

üç adet amaç fonksiyonu bulunmaktadır ve model tam zamanında üretim sistemi uygulayan büyük bir otomotiv fabrikasının tedarikçilerden malzeme almak için kullanılan araçların rotalanmasında uygulanmıştır. Calvete ve diğ. (2007), çalışmalarında, EZPARP'nin çözümü için hedef programlama yaklaşımını kullanarak bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modeli çözmek için, önce uzun yolları hesaplayan ve ardından en iyi olanları seçen bir sıralama-takip-optimizasyon yaklaşımı önerilmiştir. Deneysel hesaplamalar bu yaklaşımın orta ölçekli problemler için yeterli olduğunu göstermektedir. Qureshi ve diğ. (2009), esnek zaman pencere araç rotalama ve çizelgeleme problemini ele almışlardır. Ele aldıkları problemin çözümü için sütun üretme temelli bir optimizasyon yaklaşımı sunmuşlardır. Önerdikleri yaklaşımın etkinliğini Solomon'un test problemleri üzerinde denemişlerdir. Qureshi ve diğ. (2010), bu çalışmalarında araçların müşterilere erken varışlarında beklenmekte, sadece geç varışlarında cezanın tahsil edildiği EZPARP'nin bir çeşidi olan yarı esnek zaman pencere araç rotalama problemi çalışmışlardır. Ele aldıkları problemin çözümü için de bir önceki çalışmalarında olduğu gibi sütun üretme temelli bir optimizasyon yaklaşımı sunmuşlardır. Taş ve diğ. (2014), çalışmalarında stokastik seyahat sürelerine sahip EZPARP'yi ele almışlardır. Problemde, hem etkili hem de güvenilir olan rotalar elde etmek için stokastik seyahat süreleri dikkate alınmıştır. Ele alınan problemin çözümü için sütun üretme yaklaşımını kullanmışlardır. Chiong ve Chong (2017), EZPARP'de bu zamana kadar çalışılmamış durum olan performans bonusu dikkate alınarak matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu matematiksel model sadece performans bonusunu EZPARP'de dikkate almakla kalmaz, aynı zamanda her bir personel arasındaki yük dengesini oluşturmayı sağlamaktadır.

EZPARP'de klasik ARP gibi NP-zor problem sınıfına girdiği için problemin kısıt ve değişken sayısı arttığında kesin çözüm yöntemleri kullanılarak çözülmesi zor hatta imkânsız hale gelmektedir. Bu nedenle çalışmamızın amacı, orta ve büyük boyutlu örnekleri makul sürelerde çözmek için kullanılabilir önce kümele-sonra rotala yöntemine dayalı bir iki aşamalı çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen çözüm yöntemi müşterileri kümeleyerek problemin boyutunu küçültmekte ve kesin çözüm yöntemi kullanılarak çözülmesine olanak sağlamaktadır.

PROBLEMİN TANIMI VE FORMÜLASYONU (PROBLEM DESCRIPTION AND FORMULATION)

Bu çalışmada, esnek zaman pencere araç rotalama problemi (EZPARP) çalışılmıştır. EZPARP, zaman pencerelerinin ceza bedelleri ödenerek aşılabildiği zaman pencere araç rotalama probleminin bir çeşididir. Eğer araç belirlenen zaman pencerelerinden daha erken gelmişse erken gelme ceza maliyetine, daha geç gelmişse geç gelme ceza maliyetine katlanmak zorundadır. Fakat deponun zaman penceresi sağlanmak zorundadır (Badeau ve diğ., 1997).

EZPARP'nin matematiksel modeli şu şekildedir (Zare-Reisabadi ve Mirmohammadi, 2015):

Dizin Kümeleri:

$N=\{0,1,\dots,n,n+1\}$:Şubeler kümesi, $\{0\}$ ana depo
 $V=\{1,2,\dots,k\}$:Araçlar kümesi

Karar

Değişkenleri:

x_{ijk} : $(i,j) \in A$ ayrıt turdaysa 1, değilse 0
 y_{ik} :Araçın i. müşteriye varış zamanı
 E_{ik} :Araçın i. müşteriye erken varış süresi
 L_{ik} :Araçın i. müşteriye geç varış süresi

Parametreler:

c_{ij} :i. müşteriden j. müşteriye seyahat maliyeti
 t_{ij} :i. müşteriden j. müşteriye seyahat süresi

S_i	:Müşteriler için servis süresi
$[e_i, l_i]$:Müşteriler için zaman pencereleri
r_i	:Erken hizmet ceza maliyeti
h_i	:Geç hizmet ceza maliyeti
f_y	:Araçın ana depodan çıkma maliyeti
Q_i	:i. müşterinin talep miktarı

Kısıtlar:

$$\min Z = \sum_{v=1}^k \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} c_{ij} X_{ij}^v + \sum_{v=1}^k \sum_{j=1}^n f_v X_{0j}^v + \sum_{i=1}^n r_i \sum_{v=1}^k E_i^v + \sum_{i=1}^n h_i \sum_{v=1}^k L_i^v$$

$$\sum_{v \in A_j} \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n X_{ij}^v = 1 \quad \forall j \in N/\{0, n+1\} \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{i0}^v = 1 \quad \forall j \in N/\{0, n+1\} \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^n X_{0j}^v = 1 \quad \forall j \in N/\{0, n+1\} \quad (3)$$

$$\sum_{v \in A_p} \sum_{i=0}^n X_{ip}^v - \sum_{v \in A_p} \sum_{j=1}^{n+1} X_{pj}^v = 0 \quad \forall p \in N/\{0, n+1\} \quad (4)$$

$$y_i^v + s_i + t_{ij}^v - y_j^v \leq (1 - X_{ij}^v)M \quad \forall v \in V, \forall i \in N/\{n+1\}, \forall j \in N/\{0\} \quad i \neq j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n d_j \sum_{i=0}^n X_{ij}^v \leq Ca_v \quad \forall v \in V \quad (6)$$

$$E_i^v \geq e_i \sum_{j=1}^{n+1} X_{ij}^v - y_i^v \quad \forall i \in N/\{0, n+1\}, \quad \forall v \in V \quad (7)$$

$$L_i^v \geq y_i^v - l_i \quad \forall i \in N/\{0, n+1\}, \quad \forall v = 1, 2, \dots, k \quad (8)$$

$$\sum_{v=1}^k y_0^v = 0 \quad (9)$$

$$X_{ij}^v \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in N, \quad \forall v \in V \quad (10)$$

$$y_i^v, E_i^v, L_i^v \geq 0 \quad \forall i \in N, \quad \forall v \in V \quad (11)$$

Bu modelde, (1) ve (4) numaralı kısıtlar her müşterinin bir araç tarafından bir kez ziyaret edilmesini sağlamaktadır. (2) ve (3) numaralı kısıtlar her düğüme bir düğümden gelinip bu düğümden de tek bir düğüme geçilmesini sağlamaktadır. (5) numaralı kısıt aracın kalan zaman dilimine ve servis süresine bağlı olarak müşteriye varış zamanını hesaplayan kısıttır. (6) numaralı kısıt azami araç kapasitesini kontrol eder. (7) ve (8) numaralı kısıtlar müşteriye varış zamanına bağlı

olarak araçların erken ve geç varış sürelerini hesaplayan kısıtlardır. (9) numaralı kısıt her araç için tur saatini sıfırdan başlatır. (10) numaralı kısıt x_{ijk} karar değişkenini ikili olarak sınırlandırırken (11) numaralı kısıt zaman değişkenlerinin negatif olmamasını sağlamaktadır. Amaç fonksiyonu ise dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm; toplam seyahat maliyetini, ikinci bölüm; gerekli olan araçların sayısını azaltarak tüm araçların sabit maliyetlerinin toplamını, üçüncü ve dördüncü bölüm; tüm müşteriler için zaman penceresi ihlali cezasını en aza indirmeyi amaçlar.

ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMİ(RECOMMENDED SOLUTION METHOD)

Bu çalışmada ele aldığımız EZARP kesin çözüm yöntemleri ile makul bir sürede çözülememiştir. Bu nedenle, önce müşterileri kümeleyerek problemi kesin çözüm yöntemi ile çözülebilir boyuta getirecek daha sonra ise kümelenmiş müşterileri rotalama işlemine tabi tutacak önce kümele-sonra rotala yöntemine dayalı iki aşamalı bir yaklaşım önerdik.

Yöntem Çizelge 1’de özetlenmiştir:

Çizelge 1. Önerilen çözüm yöntemi aşamaları

Table1. Stages of recommended solution method

1. Aşama: Kümeleme Müşterilerin birbirlerine olan mesafeleri dikkate alınarak kümeleme analizi yöntemleri kullanılarak kümelenmesidir.
2. Aşama: Rotalama 1. Aşama sonucunda kümelenen müşteriler için en uygun dağıtım rotalarının karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli yardımıyla oluşturulmasıdır.

Kümeleme Analizi(Clustering Analysis)

Kümeleme analizi, veri kümesi içerisinde bulunan bilgilerin benzerliklerine bağlı olarak homojen gruplara bölmek amacıyla kullanılan çok değişkenli bir analiz yöntemidir (Johnson ve Wichern, 1992). Kümeleme analizinde asıl amaç; kümeler arasındaki benzerlikleri en aza indirmek ve kümelerin kendi içindeki benzerliklerini ise en yüksek seviyede tutmaktır (Tatlıdil, 2002).

Verilerin benzerliklerine göre kümelere bölünmesinde kullanılacak çeşitli yöntemler vardır. En çok kullanılan kümeleme yöntemleri hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan kümeleme olarak iki grupta toplanmaktadır (Blashfield ve Aldenferder, 1978). Bu çalışmada hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemlerinden olan K-Means ve K-Medoids kümeleme algoritmaları kullanılmıştır.

K-Means algoritması en eski kümeleme yöntemlerinden biri olup J.B. MacQueen tarafından 1967 yılında geliştirilmiştir. Bu algoritmaya göre her veri sadece tek bir kümeye ait olabilmekte ve n adet veri nesnesi içeren veri kümesi, k adet kümeye bölünmektedir. K-Means algoritması dört temel adımdan oluşmaktadır (Sarıman, 2011). Bu adımlar:

Adım 1. Girilen k değeri kadar küme merkezi belirle

Adım 2. Küme merkezi dışında kalan verileri mesafelerine göre sınıflandır

Adım 3. Sınıflandırmaya göre yeni merkezler belirle

Adım 4. Merkezler kararlı hale gelene kadar 2. ve 3. adımları tekrar et.

K-Medoids algoritması ise Kaufman ve Rousseeuw tarafından 1987 yılında geliştirilmiştir. Bu algortmada veri kümesi, k adet kümeye bölünmektedir. Bu kümeleme yöntemindeki asıl amaç k adet küme içerisindeki verilerin benzerliklerinin yüksek, kümelerin ise benzersiz olmasıdır. Kümenin merkezine en yakın nokta temsilci nesnedir ve medoid olarak adlandırılır. Temsilci nesne,

kümenin diğer elemanlarına olan ortalama uzaklığı en küçük yapan kümenin en merkez noktasıdır (Işık, 2006).

K-Medoids algoritmasının işlem adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1. k adet kümenin başlangıç medoidlerini belirle

Adım 2. Her nesneyi kendisine en yakın medoide atayarak kümeleri oluştur

Adım 3. Temsilci nesne ile temsilci olmayan nesneyi değiştirerek kümelerin kararlılığını dene

Adım 4. Kümeler kararlı hale gelene kadar 2. ve 3. adımları tekrar et.

UYGULAMA(APPLICATION)

Problemin Tanımı(Definition of The Problem)

Bu çalışmada ana depodan çıkan araçların şube taleplerinin belirli zaman aralıklarında karşılanabilmesi için uygun araç rotalarının belirlenmesi problemi çözülmüştür. Şubelerin ürünleri kabul ettiği zaman aralıkları önceden bellidir. Eğer araç belirlenen zaman aralığından önce şubeye ulaşmış ise erken gelme ceza maliyetine, en geç hizmete başlama zamanından sonra ulaşmış ise geç gelme ceza maliyetine katlanmak zorundadır. Bu kısıtlar nedeniyle ele alınan problem esnek zaman pencereli araç rotalama problemidir (EZPARP).

Ele alınan problemde bir ana depo, dağıtım yapılacak olan 78 şube ve dağıtım yapacak olan araçlar bulunmaktadır. Şubelerin servis süreleri eşit ve 1 saattir. Şubelerin dağıtım yapılacak olan 21 haftalık talep verileri mevcuttur. Her şubenin ürün kabul edeceği farklı zaman pencereleri bulunmaktadır. Dağıtım gerçekleştirecek olan araçların kapasiteleri maksimum 40 palettir. Araç ana depodan çıkarak rotaya başlamalı, her şubeye tek bir araç uğramalı ve araç ana depoya döndüğünde rotayı sonlandırmalıdır.

Problemin Çözümü(Solution of The Problem)

Ele alınan problemin 1. haftadaki talep miktarları dikkate alınarak detaylı çözümü aşağıda verilmiştir. Kalan 21 hafta sonuçları ve firmadan alınan gerçek maliyetler Çizelge6'da özetlenmiştir.

Kümeleme(Clustering)

78 adet şube kümeleme analizi yöntemlerinden olan K-Means ve K-Medoids algoritmalarına göre ayrı ayrı kümelenebilirlerdir. Kümeleme işlemi sonucunda her bir kümenin sahip olduğu şubeler belirlenmiştir. Aşağıda kümeleme işlemi detaylı bir şekilde verilmiştir.

K-Means algoritmasına göre kümeleme yapılırken farklı k (küme sayısı) değerleri, küme merkezleri kararlı hale gelene kadar denenmiş ve elde edilen kümeleme sonuçlarından en uygun k değeri 11 olarak seçilmiştir. 78 şube belirlenen 11 adet kümeye sınıflandırılmıştır.

K-Means algoritması sonucunda oluşan kümeler ve uğranacak şubeler Çizelge2'de verilmiştir.

Çizelge 2. K-Means algoritması sonucunda oluşan kümeler ve uğranacak şubeler

Table 2. Clusters and related stores as a result of the K-Means algorithm

Kümelere	Şubeler
1	79-49-50-51
2	79-17-18-20-21-22-23-25-28-31-33-36-38-39-41-42-44-45-46
3	79-32-34-35-37-40-43-47-48
4	79-72-74-75-76-77-78
5	79-1-2-4-5-6
6	79-66-67-68-69-70-71-73
7	79-30-52-53-54-55-56-57
8	79-7-8-9-10-11-12
9	79-60-63-64-65
10	79-58-59-61-62
11	79-3-13-14-15-16-19-24-26-27-29

K-medoids algoritmasına göre kümeleme yapılırken farklı k (küme sayısı) değerleri, kümeler kararlı hale gelene kadar denenmiş ve elde edilen kümeleme sonuçlarından en uygun k değeri 11 olarak seçilmiştir. 78 şube belirlenen 11 adet kümeye sınıflandırılmıştır.

K-Means algoritması sonucunda oluşan kümeler ve uğranacak şubeler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. K-Medoids algoritması sonucunda oluşan kümeler ve uğranacak şubeler

Table 3. Clusters and related stores as a result of the K-Medoids algorithm

KÜMELER	ŞUBELER
1	79-30-50-51-52-53-54-56-57
2	79-17-18-20-22-23-25-36-38-41-42-44-45-46-55
3	79-16-19-21-26-27-28-31-33-39-40-43-47-48
4	79-72-75-77-78
5	79-1-2-3-4-5-6
6	79-66-67-68-69-70-71-73
7	79-74-76
8	79-7-8-9-10-11-12
9	79-60-63-64-65
10	79-49-58-59-61-62
11	79-13-14-15-24-29-32-34-35-37

Rotalama(Routing)

Bu aşamada, K-Means ve K-Medoids algoritmalarına göre kümelenen müşterilerin 1. haftadaki talep verileri dikkate alınarak kurulan karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli yardımıyla çözümlenerek araçların rotaları bulunmuştur. Çizelge 4'te K-Means algoritmasına göre, Çizelge 5'te K-Medoids algoritmasına sınıflanan müşterilere ait rota ve maliyet bilgileri yer almaktadır. 21 haftanın tümüne ait maliyetler özet şekilde Çizelge 6'da verilmiştir. Bu oluşturulan rotalardaki 79 numaralı şube ana depoyu temsil etmektedir.

Çizelge 4. K-Means algoritması sonucunda araçların izleyeceği rotalar ve maliyetler*Table 4. The routes and the total cost for each vehicle as a result of the K-Means algorithm*

KÜMELER	ARAÇLAR	ROTALAR	MALİYET (TL)
1	1	79-49-51-50-79	2442
2	1	79-39-79	23358
	2	79-44-25-17-79	
	3	79-33-22-79	
	4	79-18-42-46-21-79	
	5	79-20-31-79	
	6	79-36-38-23-79	
	7	79-28-79	
	8	79-41-45-79	
3	1	79-34-40-32-43-79	13594
	2	79-37-47-35-48-79	
4	1	79-77-75-78-72-	10752
	2	74-79 79-76-79	
5	1	79-5-6-4-1-79	5098
	2	79-2-79	
6	1	79-70-73-68-79	9536
	2	79-67-79	
	3	79-71-69-66-79	
7	1	79-54-57-30-79	9308
	2	79-55-52-53-56-79	
8	1	79-8-9-79	13836
	2	79-7-12-10-11-79	
9	1	79-60-63-79	1724
	2	79-64-65-79	
10	1	79-58-62-61-59-79	3248
11	1	79-13-19-79	17204
	2	79-3-15-16-27-79	
	3	79-26-24-14-79	
	4	79-29-79	

Çizelge 5. K-Medoids algoritması sonucunda araçların izleyeceği rotalar ve maliyetler

Table 5. The routes and the total cost for each vehicle as a result of the K-Medoids algorithm

KÜMELER	ARAÇLAR	ROTALAR	MALİYET (TL)
1	1	79-52-79	10878
	2	79-56-51-54-79	
	3	79-57-53-50-79	
	4	79-30-79	
2	1	79-44-18-79	17776
	2	79-17-45-46-79	
	3	79-55-22-25-	
	4	23-79	
	5	79-42-79	
	6	79-20-38-36-79 79-41-79	
3	1	79-27-33-79	19322
	2	79-39-79	
	3	79-16-79	
	4	79-26-31-79	
	5	79-28-79	
	6	79-48-19-21-79	
	7	79-43-40-47-79	
4	1	79-78-72-79	6050
	2	79-77-75-79	
5	1	79-4-6-3-79	6006
	2	79-5-1-2-79	
6	1	79-70-73-68-79	9356
	2	79-67-79	
	3	79-71-69-66-79	
7	1	79-74-76-79	3340
8	1	79-8-9-79	12490
	2	79-7-12-10-11- 79	
9	1	79-60-63-79	3180
	2	79-64-65-79	
10	1	79-58-79	3634
	2	79-61-49-59- 62-79	
11	1	79-34-29-14-79	14442
	2	79-32-37-35-	
	3	13-79 79-15-24-79	

Çizelge 6. Kmeans, K-Medoids algoritmalarının ve gerçek maliyetlerinin karşılaştırılması*Table 6. Comparison of Kmeans, K-Medoids algorithms and their actual costs*

Hafta	K-Means Toplam Maliyet (TL)	K-Medoids Toplam Maliyet (TL)	Gerçek Maliyetler (TL)
1	110100	106474	110400
2	107848	104591	108148
3	112652	102218	112952
4	105424	98833	105724
5	104680	101952	104980
6	107510	101800	107810
7	106822	103612	107122
8	108924	95236	109224
9	114560	98204	114860
10	105564	101664	105864
11	108184	101328	108484
12	105402	102304	105702
13	105078	98728	105378
14	110598	101074	110898
15	112752	105366	113052
16	109068	105804	109368
17	114216	103540	114516
18	108636	105810	108936
19	103800	95426	104100
20	123330	97092	123630
21	113370	105576	113670

ANOVA Testi(ANOVA Test)

Çizelge 6'daki sonuçlara SPSS programında ANOVA testi uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

$H_0: \mu_1=\mu_2=\mu_3$ (K-Means, K-Medoids algoritmaları ile bulunan toplam maliyetlerin ve firmadan alınan gerçek maliyetlerin ortalamaları arasında fark yoktur.)

$H_1: \mu_1\neq\mu_2\neq\mu_3$ (K-Means, K-Medoids algoritmaları ile bulunan toplam maliyetlerin ve firmadan alınan gerçek maliyetlerin ortalamaları farklıdır.)

Olacak şekilde hipotezler tanımlanmıştır.

Anova testi uygulandığında ilk olarak varyansların homojen olup olmadığı incelenmektedir. Varyansların homojenliği tablosu incelendiğinde (Çizelge 7) p (sig.) değeri $0,579>0,05$ olduğundan dolayı grup varyanslarının eşit olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 7. Varyansların homojenliği testi*Table 7. Test of homogeneity of variances*

LeveneStatistic	df1	df2	Sig.
,551	2	60	,579

Grup varyansları eşit olduğu için Çizelge8'deki ANOVA testinin sonuçları anlamlı olacaktır. ANOVA testi tablosundaki p (sig.) değeri $0<0,05$ olduğundan dolayı yukarıda tanımlanan hipotezlerden H_1 hipotezi kabul edilir. H_1 hipotezi kabul edildiği için K-Means, K-Medoids algoritmaları ile bulunan toplam maliyetlerin ve firmadan alınan gerçek maliyetlerin ortalamaları farklıdır diyebiliriz.

Çizelge 8. ANOVA testi sonuçları

Table 8. ANOVA test results

	Sum of Squares	df	MeanSquare	F	Sig.
Between Groups	865607898,285	2	432803949,142	24,325	,000
Within Groups	1067547406,571	60	17792456,776		
Total	1933155304,857	62			

Çizelge 9’da ele alınan problemin K-Means, K-Medoids algoritmaları ile çözümü sonucunda ve firmadan alınan gerçek maliyetlerin ortalamaları verilmiştir. Toplam maliyetlerin ortalaması K-Means algoritması ile 109453,24 TL, K-Medoids algoritması ile 101744,38 TL ve firmanın gerçek maliyetlerinin ortalaması ise 109753,24 TL olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar bize k-medoids algoritmasının daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Çizelge 9. Tanımlayıcı istatistikler

Table 9. Descriptive statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
K-Means Algoritması	21	109453,24	4567,023	996,606
K-Medoids Algoritması	21	101744,38	3414,963	745,206
Firma Maliyetleri	21	109753,24	4567,023	996,606
Total	63	106983,62	5575,144	703,505

SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada zaman pencereli araç rotalama probleminin bir çeşidi olan EZPARP ele alınmış ve çözümü için ise önce kümele sonra rotala temelli bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntem iki aşamadan oluşmaktadır. Önerilen yöntemin birinci aşamasında şubeler birbirlerine ve ana depoya olan uzaklıkları göz önüne alınarak kümelenebilir. Dolayısıyla bu süreç EZPARP’nin boyutunu küçültmekte ve kesin çözüm yöntemlerinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. İkinci aşamada ise, kümelenen müşteriler için en uygun dağıtım rotaları karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli ile oluşturulmaktadır. Önerilen yöntemin etkinliği perakende sektöründeki bir örnek olay üzerinde denenmiştir.

Perakende sektöründeki firma; bir ana depo, dağıtım yapılacak olan 78 şubeye sahiptir. Şubelerin servis süreleri eşit ve 1 saattir. Şubelerin dağıtım yapılacak olan 21 haftalık talep verileri mevcuttur. Her şubenin ürün kabul edeceği farklı zaman pencereleri bulunmaktadır. Dağıtım gerçekleştirilecek olan araçların kapasiteleri maksimum 40 palettir. Bu teslimat probleminde ilk olarak şubeler, birbirlerine ve ana depoya olan uzaklıkları göz önüne alınarak K-Means ve K-Medoids algoritmaları yardımıyla kümelenebilir. Daha sonra ise kümelenen müşteriler için en uygun dağıtım rotalarının karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli ile oluşturulmasıdır. Firmadan alınan gerçek maliyetler ile bu iki algoritmayla elde edilen sonuçlar ANOVA testi ile karşılaştırılmıştır. Toplam maliyetlerin ortalaması K-Means algoritması ile 109453,24 TL, K-Medoids algoritması ile 101744,38 TL ve firmanın gerçek maliyetlerinin ortalaması ise 109753,24 TL olarak bulunmuştur. Bu

sonuçlar bize K-Medoids algoritmasının daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Bu olumlu sonuçlar nedeniyle, önerilen yaklaşımın uygulanması firmanın maliyetlerini %7 oranında azaltacaktır.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

Aydemir, E., 2006, *Esnek Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Badeau, P., Guertin, F., Gendreau, M., Potvin, J., Taillard, E., 1997, "A Parallel Tabu Search Heuristic for The Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Transportation Research Part-C*, Vol. 5, No. 2, pp. 109-122.

Blashfield, R. K., Aldenferder, M. S., 1978, "The Literature on Cluster Analysis", *Multivariate Behavioral Research*, Vol. 13, pp. 271-295.

Bozyer, Z., Alkan, A., Fıçlalı, A., 2014, "Cluster-First, Then-Route Based Heuristic Algorithm for The Solution of Capacitated Vehicle Routing Problem", *International Journal of Informatics Technologies*, Vol. 7, pp. 29-37.

Chiang, W. C., Cheng, C. Y., 2017, "Considering the Performance Bonus Balance in the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows", *Procedia Manufacturing*, Vol. 11, pp. 2156 – 2163.

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*, Vol. 177, pp. 1720–1733.

Cömert, S.E., Yazgan, H.R., Sertvuran, İ., Şengül, H., 2018, "Sıkı Zaman Pencereci Araç Rotalama Probleminin Çözümü için Yeni Bir Yöntem Önerisi ve Bir Süpermarket Zincirinde Uygulanması", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol. 22, No. 2, pp. 1-6.

Crainic, T. G., Mancini, S., Perboli, G., Tadei, R., 2008, Clustering-Based Heuristics for The Two-Echelon Vehicle Routing Problem, Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation.

Çalışkan, K., 2011, *Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile Araç Rotalama Probleminin Maliyetlerinin Kümeleme Tekniği ile İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Fagerholt, K., 2001, "Ship Scheduling with Soft Time Windows: An Optimisation Based Approach", *European Journal of Operational Research*, Vol. 131, pp. 559- 571.

Hair, J. F. Jr., Anderson, R. E., Tatham, R. L., Black, W. C., 1995, *Multivariate Data Analysis*, 3rd ed, Macmillan Publishing Company, New York.

Işık, M., 2006, *Bölünmeli Kümeleme Yöntemleri ile Veri Madenciliği Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Johnson, A. R., Wichern, D. W., 1992, *Applied multivariate statistical analysis*, International Editions, New Jersey: PrenticeHall.

Kaufman, L., Rousseeuw, P. J., 1990, *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, New York: John Wiley & Sons Inc.

Min, H., 1991, "A Multiobjective Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows: The Case of a Public Library Distribution System", *Socio-Economic Planning Science*, Vol. 25, No. 3, pp. 179-188.

Nallusamy, R., Duraiswamy, K., Dhanalaksmi, R., Parthiban, P., 2010, "Optimization of Non-Linear Multiple Traveling Salesman Problem Using K-Means Clustering, Shrink Wrap Algorithm and Meta-Heuristics", *International Journal of Nonlinear Science*, Vol. 9, No. 2, pp. 171-177.

Qureshi, A. G., Taniguchi, E., Yamada, T., 2009, "An Exact Solution Approach for Vehicle Routing and Scheduling Problems with Soft Time Windows", *Transportation Research Part E*, Vol. 45, pp. 960–977.

Qureshi, A. G., Taniguchi, E., Yamada, T., 2010, "Exact Solution for the Vehicle Routing Problem with Semi Soft Time Windows and Its Application", *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol. 2, 5931–5943.

Sarıman, G., 2011, "Veri Madenciliğinde Kümeleme Teknikleri Üzerine Bir Çalışma K-Means ve K-Medoids Kümeleme Algoritmalarının Karşılaştırılması", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol. 15, No. 3, pp. 192-202.

Sexton, T. R., Choi, Y. M., 1986, "Pickup and Delivery of Partial Loads with Soft Time Windows", *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, Vol. 6, No. 3, pp. 369-398.

Şen, T., 2014, *Kümeleme ve Genetik Algoritma Destekli Yaklaşımlarla Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü: Perakende Zincirinde Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Taş, D., Jabali, O., Woensel, T. V., 2014, "A Vehicle Routing Problem with Flexible Time Windows", *Computers & Operations Research*, Vol.52, pp. 39-54.

Tatlıdil, H., 2002, *Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel analiz*, Ziraat Matbaacılık A.Ş., Ankara, 329-332.

Thangiah, S. R., Salhi, S., 2001, "Genetic Clustering: An Adaptive Heuristic for the Multidepot Vehicle Routing Problem", *Applied Artificial Intelligence*, Vol. 15, No. 4, pp. 361-383.

Toth, P., Vigo, D., 2002a, "An overview of vehicle routing problems-chapter 1", *The vehicle routing problem*, SIAM, Philadelphia, 1-26.

Toth, P., Vigo, D., 2002b, *The vehicle routing problem*, Philadelphia: SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications.

Ünsal, Ö., Yiğit, T., 2018, "Yapay Zeka ve Kümeleme Teknikleri Kullanılarak Geliştirilen Yöntem ile Okul Servisi Rotalama Probleminin Optimizasyonu", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Vol. 6, No. 1, pp. 7-20.

Yücenur, G. N., Demirel, N. G., 2011, "A Hybrid Algorithm with Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization for Solving Multi-Depot Vehicle Routing Problems", *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 29, pp. 340-350.

Zare-Reisabadi E., Miirmohammadi, S. H., 2015, "Site Dependent Vehicle Routing Problem With Soft Time Window: Modeling and solution Approach", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 90, pp. 177-185.