

ZİNCİR MARKET HARCAMALARINDA İNDİRİMLİ GEZGİN SATIN ALICI PROBLEMİ

Özlem OKUMUŞ*^{ID}
İlker KÜÇÜKOĞLU**^{ID}

Alınma: 23.10.2024; düzeltme: 28.02.2025; kabul: 16.04.2025

Öz: Bu çalışma literatürde iyi bilinen gezgin satıcı probleminin genişletilmiş bir versiyonu olan gezgin satın alıcı problemi (GSAP) dikkate almaktadır. GSAP’de merkezi bir depodan dolaşıma çıkan satın alıcı belirli ürün talebini karşılamak üzere farklı lokasyonlarda bulunan marketleri ziyaret ederek tekrar depoya geri dönmektedir. Problemden amaç satın alıcının toplam dolaşım ve satın alma maliyetini minimize edecek satın alma ve rota planının bulunmasıdır. Yapılan bu çalışmada GSAP, zincir marketlerin promosyon uygulamaları dikkate alınarak genişletilmiştir. Bu kapsamda, gezgin satın alıcı belirli zincir market grubundan belirli sayıda ve belirli miktarda satın alma işlemi yapması durumunda indirim kazanabilmektedir. Bu sayede satın alıcının toplam maliyetinde bir düşüş sağlanabilmektedir. Zincir market harcamalarında indirimli gezgin satın alıcı problemi (ZMHİ-GSAP) olarak adlandırılan problemin çözümü için bir tabu arama (TA) algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan TA’nın ZMHİ-GSAP’nin çözümünde etkinliğini test edebilmek için bir problem seti üretilmiştir. Yapılan sayısal çalışmalarda TA, GUROBI çözücüsü ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, TA’nın kısa sürelerde daha etkin sonuçlar üretebildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gezgin Satın Alıcı Problemi, Matematiksel Modelleme, Tabu Arama Algoritması

Discounted Traveling Purchaser Problem in Market Chains

Abstract: This study addresses the traveling purchaser problem (TPP), which is a well-known extension of the traveling salesman problem as presented in the literature. In TPP, a purchaser traveling from a central depot visits a number of markets at different locations to satisfy a given product demand and then returns to the depot. The aim of the problem is to find a procurement and route plan that minimizes the total procurement and transportation cost of the purchaser. In this study, TPP is extended by considering the promotional practices of chain markets. In this context, the purchaser may earn a discount from a market chain if he/she makes a certain number of market visits and purchases a certain amount of products. In this way, a reduction in the total cost of the purchaser can be achieved. In order to solve the problem, which is called the market chain discounted traveling purchaser problem (MCD-TPP), a tabu search (TS) algorithm is proposed. A problem set has been generated to test the effectiveness of the developed TS in solving the MCD-TPP. In the computational experiments, the TS is compared to the GUROBI solver. The results show that TA is able to produce more efficient results in shorter times.

Keywords: Traveling Purchaser Problem, Mathematical Modelling, Tabu Search Algorithm

* Özlem Okumuş Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

** İlker Küçükoglu Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa
İletişim Yazarı: İlker Küçükoglu (ikucukoglu@uludag.edu.tr)

1. GİRİŞ

Gezgin satıcı probleminin genişletilmiş bir versiyonu olan Gezgin Satın Alıcı Problemi (GSAP) literatürde iyi bilinen bir kombinatoriyal optimizasyon problemidir. GSAP, çeşitli ürünleri satın almak için birden fazla marketi ziyaret etmesi gereken bir satın alıcıyı dikkate almaktadır. Gezgin satıcı probleminden farklı olarak GSAP’de ziyaret edilecek marketlerin seçimi, marketlerden satın alınacak ürünleri ve satın alıcının rotası ile ilgili kararlar alınmaktadır. Problemin amacı, satın alıcının toplam satın alma ve ulaşım maliyetini en aza indirecek satın alma ve rota planının belirlenmesidir (Manerba ve diğ., 2017).

GSAP, ilk kez Ramesh tarafından 1981 yılında ortaya konmuş ve sonrasında birçok gerçek hayat kısıtları ile genişletilerek çalışılmıştır. Bu kapsamda literatürde yer alan GSAP türleri problemde dikkate alınan kısıtlar üzerinden dört kategoriye ayrılabilir: market bazlı kısıtlar, rota bazlı kısıtlar, satın alıcı bazlı kısıtlar ve ürün bazlı kısıtlar.

Ramesh (1981) tarafından ilk defa ortaya konulan GSAP’de marketlerde var olan ürün miktarlarının sınırlı olduğu ve bir ürün talebinin birden fazla marketten sağlanabileceği varsayılmıştır. Bu problem literatürde kapasiteli GSAP olarak adlandırılmaktadır ve birçok çalışmada bu versiyon dikkate alınmıştır. Bu durumun tam tersi olarak bazı çalışmalarda markette bulunan ürünlerin ürün taleplerini karşılayabilecek kadar yeterli olduğu varsayılmıştır (Voß 1996; Choi ve Lee 2011; Kang ve Ouyang 2011). Bu problem ise kapasitesiz GSAP olarak bilinmektedir. Market bazında öne çıkan diğer bir varsayım ise marketlerden alınabilecek ürün miktarlarının belirli bir alt/üst limit ile sınırlandırılmasıdır. Gouveia ve diğ. (2011) yapmış oldukları çalışmada GSAP için satın alıcının her bir marketten alabileceği ürün sayısı için bir üst limit tanımlamıştır. Diğer yandan Riera-Ledesma ve Salazar-González (2013) ise GSAP’yi okul otobüslerinin rota planlaması için dikkate almış ve otobüsün alacağı öğrenci sayısı için bir alt sınır belirlemişlerdir. Daha yeni bir çalışma olarak Kucukoglu (2022) marketler için belirli bir ücret karşılığında hızlı servis opsiyonu tanımlamış ve satın alıcının rotasını belirli bir süre içerisinde tamamlayabilmesi için hızlı servis opsiyonunu kullanabilme imkanını tanımlamıştır. Maji ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışmada ise marketlerin gün içerisinde belirli zaman aralıklarında hizmet verdiklerini varsayarak GSAP’yi genişletmişlerdir.

GSAP için rota bazında en sık dikkate alınan kısıtlamalar aracın kapasitesi ile ilgili olmuştur. Talep miktarının fazla olması durumunda tek bir tur ile satın alıcının bütün ürünleri toplayamayacağı varsayımı ile literatürde çok araçlı veya çok turlu GSAP çalışılmıştır. Bu kapsamda Choi ve Lee (2011) ilk olarak çok araçlı GSAP’yi çalışmıştır. Sonrasında birçok çalışmada benzer problem dikkate alınmıştır. Benzer bir problem Roy ve diğ. (2023) tarafından sınıflandırılmış marketler için çalışılmıştır. Araç kısıtıyla ilgili olarak farklı bir varsayım Batista-Galván ve diğ. (2013) tarafından ortaya konmuştur. Yazarlar, tura çıkan aracın birden fazla bölmeye sahip bir konteyner tipinde olduğunu varsaymış ve buna ek olarak rotada hem toplama hem de dağıtım işlemini dikkate almışlardır. Ürünlerin toplama ve dağıtım işlemlerini dikkate alan GSAP ayrıca Palomo-Martínez ve Salazar-Aguilar (2019) tarafından dikkate alınmıştır. Başka bir çalışmada ise aracın kat edeceği toplam mesafe için bir limit dikkate alınarak GSAP genişletilmiştir (Bianchessi ve diğ., 2014). Hasanpour Jesri ve diğ. (2022) ise GSAP’de birden fazla depoyu dikkate alarak çalışmışlardır.

Satın alıcı bazında dikkate alınan kısıtlamalar rota bazında veya satın alma işlemleri bazında olabilmektedir. Mansini ve Tocchella (2009) yapmış oldukları çalışmada satın alıcı için bir bütçe limiti tanımlamışlardır. Bu varsayım göre satın alıcının marketlerden alacağı ürünlerin toplam fiyatı bütçe limitini aşmamaktadır. Benzer varsayım Choi ve Lee (2011) tarafından çoklu GSAP için dikkate alınmıştır. Kucukoglu (2022) tarafından satın alıcı için tanımlanmış süre kısıtı bu kapsamda dikkate alınabilecek diğer bir varsayım olmaktadır. Benzer bir yaklaşım Gouveia ve diğ. (2011) tarafından toplam ziyaret edilecek market sayısına bir üst sınır tanımlayarak ortaya konmuştur.

Ürün bazında dikkate alınan varsayımlar ise literatürde sınırlı sayıda bulunmaktadır. Bu varsayımlardan ilki Manerba ve Mansini (2015) tarafından bir arada bulunamayacak ürünler

kapsamında ortaya konmuştur. Benzer varsayım Gendreau ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada da dikkate alınmıştır. Bu varsayıma ek olarak Kucukoglu ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışmada GSAP bozulabilir ürünlerin tedariki kapsamında genişletilmiş ve ürünlerin taşıma ve beklernelerden kaynaklı bozulma maliyetleri de probleme dahil edilmiştir.

Yukarıda GSAP için özetlenmiş mevcut çalışmalara ek olarak günümüzde satın alma işlemleri gıda ve giyim ürünlerinin tedariki bazında dikkate alındığında daha uygun fiyatlarla ve daha fazla ürün çeşidi sunmaları nedeniyle zincir marketler gerçek hayat uygulamaları açısından önemli bir faktör haline gelmektedir. Zincir marketler, tek bir ana şirket tarafından işletilen farklı lokasyonlara sahip aynı marka adını kullanan marketler bütünü olarak tanımlanabilmektedir. Zincirin her lokasyonu aynı veya benzer çeşitlilikte ürün gamı sunmaktadır. Tüketicilere ihtiyaç anında her lokasyonda aynı veya benzer ürün tüketim mallarının benzer fiyatlarla sunulması zincir marketlerin tercih edilmesinde büyük bir önem sağlamaktadır. Zincir marketlerin müşterilere sağlamış olduğu diğer bir avantaj ise marketlerin belirli zamanlarda satış rakamlarını arttırabilmek için yapmış oldukları fiyat indirimleridir. Gıda sektörü bazında aynı zincir marketin farklı lokasyonlarından yapılan alışveriş sayısına ve tutarına bağlı olarak indirim kazanılabilen kampanyalar örnek verilebilir. Benzer şekilde giyim perakende mağazaları, üyelik kartları veya uygulamaları üzerinden yapılan her alışverişte harcama tutarı ve sayısına bağlı olarak puan kazandırabilmektedir. Bu puanlar anlık veya sonraki alışverişler için indirim sağlayabilmektedir. Gıda ve giyim sektöründe yer alan bu uygulamalara ek olarak bankalar kredi kartı üzerinden belirli mağazalardan yapılan alışverişlere puan veya indirim uygulayabilmektedir. Örneğin bir bankaya ait olan kart ile anlaşmalı yakıt istasyonlarında tek seferde belirli tutar ve üzeri yapılan belirli sayıdaki akaryakıt alımına belirlenen sabit tutar kadar indirim veya puan kazanımı sağlayabilmektedir. Bu nedenle zincir market sistemleri içerisinde yapılacak olan alışverişin miktarı ve uğranılacak marketler toplam maliyetin düşürülmesi açısından önemli bir paya sahip olabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada GSAP, zincir market uygulamaları kapsamında genişletilmiştir. Zincir Market Harcamalarında İndirimli Gezgin Satın Alıcı Problemi (ZMHİ-GSAP) olarak adlandırılan problemde ziyaret edilen marketlerin aynı zincir markette bulunması ve aynı zincir markette belirli miktarda harcamanın veya daha fazlasının yapılması üzerine indirim uygulanmaktadır. Dikkate alınan bu problem karışık tamsayılı matematiksel programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Problemin çözümünde etkin sonuç elde edebilmek için Tabu Arama (TA) meta-sezgisel algoritması kullanılmıştır. Geliştirilen çözüm yönteminin performansı farklı boyutlarda üretilen test problemleri üzerinde analiz edilmiştir.

Yukarıda belirtilmiş olan kapsam dahilinde GSAP'nin zincir market uygulamaları dikkate alınarak genişletilmesiyle literatüre katkı sağlanmıştır. Buna ek olarak geliştirilmiş olan TA ile ZMHİ-GSAP'nin çözümünde etkin sonuç üretebilecek bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Yapılmış olan kapsamlı sayısal çalışmalar ile geliştirilmiş olan çözüm yaklaşımının performansı ortaya konmuştur.

Çalışmanın ilerleyen kısımlarında ZMHİ-GSAP'nin tanımı ve geliştirilmiş olan karışık tamsayılı matematiksel model formülasyonu Bölüm 2'de, problemin çözümü için geliştirilmiş olan TA'nın detayları Bölüm 3'te, yapılan sayısal çalışmalar ve analizler Bölüm 4'te ve çalışmaya ait sonuç ve bu çalışma üzerinden yapılabilecek potansiyel gelecek çalışmalar Bölüm 5'te verilmiştir.

2. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL FORMÜLASYONU

Bu çalışma kapsamında dikkate alınan ZMHİ-GSAP, kapasiteli GSAP'nin zincir marketlerin indirimli satış politikalarını dikkate alarak genişletilmiş bir varyasyonudur. Bu kapsamda gezgin satın alıcı belirli bir zincir market şirketine ait şubelerden belirli miktarda alışveriş yapması durumunda indirim kazanabilmektedir. Bu sayede gezgin satın alıcı toplam satın alma maliyetini azaltabilme imkanı bulabilmektedir. GSAP'de olduğu gibi gezgin satın alıcı, belirli bir talebe sahip ürünleri farklı lokasyonlarda bulunan marketlerden satın alması gerekmektedir. Marketlerde

bulunan ürün çeşitleri ve miktarları farklılık gösterdiğinden satın alıcı ürün taleplerini birden fazla market üzerinden karşılayabilmektedir. Bir depo noktasından tura başlayan satın alıcı belirlediği marketlerden satın alma işlemini yaptıktan sonra depo noktasına geri dönmektedir. Problemden amaç, satın alıcının zincir market indirimleri ile birlikte toplam ulaşım ve satın alma maliyetini en aza indirecek satın alma ve rota planının oluşturulmasıdır. Dikkate alınan bu problem karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Geliştirilmiş olan matematiksel model için dikkate alınan varsayımlar:

- Satın alıcı hareketine depodan başlar, seçilmiş tüm marketlere uğradıktan sonra rotasını tamamlayıp depoya geri döner.
- Tüm marketlerin ziyaret edilmesi zorunlu değildir.
- Talep tamamen karşılanmalıdır.
- Tur başında depoda ve araçta ürün bulunmamaktadır.
- Araç kapasitesinin yeterli olduğu kabul edilmektedir.
- Marketlerde bulunan ürünlerin toplam stok miktarları ürünlerin talebini karşılayacak miktardadır.
- Her markette farklı ürün çeşitleri farklı fiyatlarda bulunmaktadır.
- Farklı lokasyonlarda bulunan marketlerden bazıları bir zincir marketin şubesi olabilmektedir.
- Her marketin kapasitesi, diğer marketlerin kapasitesinden bağımsızdır.
- Bir market zincirinde bir ürünün fiyatı zincire ait tüm marketlerde aynıdır.
- Zincir market bazında tanımlanmış olan minimum harcama tutarı ve minimum ziyaret sayısına göre satın alıcı belirlenmiş alt sınırları geçmesi halinde satın alıcıya indirim sağlanmaktadır.

ZMHİ-GSAP için geliştirilmiş olan matematiksel model kullanılmış olan parametre ve karar değişkenleri aşağıda verilmiştir.

Parametreler

$\{0\}$	Depo noktası
M	Marketler kümesi
V	Depo ve marketler kümesi; $V = \{0\} \cup M$
S	Zincir market firmalarının kümesi
L_i	Marketlerin bağlı oldukları zincir market firması etiketi; $i \in M$
K	Satın alınacak ürün çeşitleri kümesi
M_k	k ürününün mevcut olduğu marketler kümesi; $k \in K$
d_k	k ürününün talep miktarı; $k \in K$
q_{ik}	i marketinde mevcut bulunan k ürünü miktarı; $i \in M_k, k \in K$
p_{ik}	i marketinde k ürününün satış fiyatı; $i \in M_k, k \in K$
c_{ij}	i noktasından j noktasına ulaşım maliyeti; $i, j \in V, i \neq j$
h_s	s zincir market grubundan indirim sağlanabilmesi için bu zincir market grubunda ziyaret edilmesi gereken minimum market sayısı, $s \in S$
f_s	s zincir market grubundan indirim sağlanabilmesi için bu grupta yer alan marketlerden yapılması gereken minimum harcama tutarı, $s \in S$
r_s	s zincir market grubundan elde edilebilecek indirim miktarı, $s \in S$
γ	Büyük bir sayı

Karar Değişkenleri

x_{ij}	Satın alıcı i noktasından j noktasına gidiyorsa 1, aksi halde 0 değerini alan ikili değişken; $i, j \in V, i \neq j$
y_i	Satın alıcı i marketini ziyaret ederse 1, aksi halde 0 değerini alan ikili değişken; $i \in M$
z_{ik}	i marketinden satın alınan k ürünü miktarı; $k \in K, i \in M_k$

- Q_i i marketinden yapılan toplam harcama tutarı, $i \in M$
 t_i i marketinde yapılan harcama tutarı f_{L_i} miktarına eşit veya daha fazla ise 1, aksi halde 0 değerini alan ikili değişken; $i \in M$
 b_s s zincir marketi grubundan indirim kazanıldıysa 1, aksi halde 0 değerini alan ikili değişken; $s \in S$
 u_i MTZ (Miller-Tucker-Zemlin) alt tur engelleme kısıtlarından kullanılan etiket değişkeni; $i \in V$

Yukarıda tanımlanmış olan parametre ve karar değişkenleri kapsamında ZMH-GSAP için geliştirilmiş olan karışık tamsayı matematiksel model formülasyonu aşağıda verilmiştir.

$$\text{Min} \sum_{i,j \in V} c_{ij} x_{ij} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in M_k} p_{ik} z_{ik} - \sum_{s \in S} r_s b_s \quad (1)$$

S.t.

$$\sum_{i \in M_k} z_{ik} = d_k \quad k \in K \quad (2)$$

$$z_{ik} \leq q_{ik} y_i \quad k \in K, \quad i \in M_k \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V, i \neq j} x_{ij} = y_i \quad i \in M \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V, i \neq j} x_{ij} = y_j \quad j \in M \quad (5)$$

$$u_i - u_j + |\gamma| \cdot x_{ij} \leq |\gamma| - 1 \quad i \in M, \quad j \in V, \quad i \neq j \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} p_{ik} z_{ik} = Q_i \quad i \in M \quad (7)$$

$$Q_i - f_{L_i} \leq \gamma t_i \quad i \in M \quad (8)$$

$$f_{L_i} - Q_i \leq \gamma (1 - t_i) \quad i \in M \quad (9)$$

$$\sum_{\substack{i \in M \\ L_i = s}} t_i - h_s \leq \gamma b_s \quad s \in S \quad (10)$$

$$h_s - \sum_{\substack{i \in M \\ L_i = s}} t_i \leq \gamma (1 - b_s) \quad s \in S \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j \in V, \quad i \neq j \quad (12)$$

$$z_{ik} \geq 0 \quad k \in K, \quad i \in M_k \quad (13)$$

$$y_i, t_i \in \{0,1\} \quad i \in M \quad (14)$$

$$b_s \in \{0,1\} \quad s \in S \quad (15)$$

$$Q_i \geq 0 \quad i \in M \quad (16)$$

$$u_i \geq 0 \quad i \in V \quad (17)$$

Amaç fonksiyonu (1) zincir market indirimleri ile birlikte satın alıcının toplam ulaştırma ve satın alma maliyetini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Kısıt (2) her ürünün talebinin karşılandığını garantiye alır. Kısıt (3) ürün satın almak için seçilen marketin ziyaret edilmesini ve satın alınan miktarın markette bulunan stok miktarından daha fazla olmamasını sağlar. Kısıt (4) ve Kısıt (5) seçilen her market noktasına aracın bir kez gelmesini ve gitmesini garantiye alır. Kısıt (6) MTZ (Miller-Tucker-Zemlin) formülasyonu ile alt turların oluşmasını engeller (Miller ve diğ., 1960). Kısıt (7) talebin karşılanması için uğranılan her marketten alınan ürünlerin miktarı ve fiyatını market bazında hesaplayarak, toplam satın alma maliyetini hesaplar. Kısıt (8) ve kısıt (9) eğer seçili marketten yapılan harcama miktarı, indirim kazanılması için harcanması gereken minimum miktara eşit veya büyükse t_i değerini 1 yapar. Bu kısıtlarda f_s parametresine ait s indeks değeri L_i parametresi üzerinden ($s = L_i$) belirlenmektedir. Kısıt (10) ve kısıt (11) eğer toplam yapılan harcamaya bağlı seçili marketten indirim kazanıldıysa b_s değerini 1 yapar. Bu kısıtlar minimum ziyaret edilmesi gereken zincir market sayısını ve harcama tutarını sağlayan zincir marketlerde indirim kazanılmasını sağlayan şartlı koşullardır. (12)-(17) no.lu ifadeler modele ait karar değişkenlerini tanımlamaktadır.

3. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

ZMHİ-GSAP'nin çözümü için literatürde rotalama problemlerinin çözümünde etkin bir sonuçlar üretebilen tabu arama algoritması kullanılmıştır. TA algoritması ilk kez Glover tarafından 1989 yılında ortaya konmuştur (Glover, 1989, 1990). TA, çözüm zorluğu yüksek kombinatoriyal eniyileme problemlerini çözmek için iyi bilinen iteratif bir meta-sezgisel algoritmadır. TA algoritması kullanmış olduğu hafıza yapısı sayesinde çözüm uzayında arama işleminin lokal bölgede kalmasını önleyerek daha iyi çözümlerin araştırılmasını sağlamaktadır. TA, tabu listesi olarak adlandırılan yapı içerisinde yapılmasına izin verilmeyen tabu hareketleri hafızada belirli bir süre tutarak çözüm uzayında farklı noktaların araştırılmasına imkan vermektedir. Temel adımları Şekil 1'de verilmiş olan TA bir başlangıç çözümü (x^0) ile arama işlemine başlamaktadır. Üretilmiş olan başlangıç çözümü algoritmada elde edilen en iyi çözüm (x^*) olarak belirlenmektedir. Başlangıç çözümü üretildikten sonra algoritmanın ana döngüsü içerisinde her iterasyonda mevcut çözüm (x) üzerinden belirli sayıda komşu çözüm üretilmektedir. Üretilen çözümler içerisinde tabu listesi içerisinde olmayan hareketler ile üretilmiş en iyi çözüm (x') seçilerek mevcut çözüm olarak atanmaktadır. Ek olarak üretilmiş olan çözümler arasında tabu hareketle üretilmiş olsa dahi üretilen çözüm x^* 'den daha iyi bir sonuç sergiliyor ise bu çözüm x' olarak belirlenebilmektedir. Aspirasyon kriteri olarak adlandırılan bu işlem arama işleminde elde edilebilecek iyi çözümlerin tespit edilebilmesini sağlamaktadır. Elde edilen yeni çözümün algoritmada elde edilen en iyi çözümünden daha iyi olması durumunda x^* güncellenmektedir. Ana döngünün son adımında tabu listesi (TL) seçilen komşu çözüme ve tabu listesi uzunluğuna (TU) göre güncellenmektedir. Durdurma kriteri sağlanana kadar ana döngü iteratif olarak çözüm uzayında arama işlemine devam etmektedir.

ZMHİ-GSAP için geliştirilmiş olan TA'da başlangıç çözümünü üretebilmek için Pearn (1991) tarafından GSAP için ortaya konmuş olan ürün ekleme algoritması dikkate alınmış ve bu algoritma ZMHİ-GSAP için uyarlanmıştır. Adımları Şekil 2'de verilmiş olan başlangıç çözümü yaklaşımı, depo düğümünü çözüme ekleyerek işleme başlar. Ardından bütün ürünlerin talepleri

karşılana kadar K içerisinde rast gele bir ürün seçer ve bu ürünün talep miktarı karşılanan kadar ürünün en iyi fiyatla satıldığı market (i^*) tespit edilir. Markette bulunan stok miktarı (q_{i^*k}) ve ürünün kalan talep miktarına (d_k) göre satın alma işlemi gerçekleştirilir. Seçilen marketin rotada bulunmaması durumunda ilgili market rotanın sonuna eklenir. Tüm ürünlerin talebi karşılandıktan sonra elde edilen çözüme ait amaç fonksiyon değeri rota ve satın alma maliyetlerinden marketlerde yapılan harcama tutarlarına göre elde edilen indirim miktarları çıkartılarak hesaplanır.

```

1: Problem verisini içeri aktar.
2: Algoritma parametrelerini ( $TU, TL=\{\}$ ) belirle.
3: Başlangıç çözümü ( $x = x^0$ ) üret ve bu çözümü en iyi çözüm ( $x^*$ ) olarak belirle.
4: Do
5:   Mevcut çözüm üzerinde komşu çözümler üret
6:    $TL$  içerisinde bulunan hareketler ile üretilmemiş veya aspirasyon kriterine uyan en iyi çözümü ( $x'$ ) belirle.
7:    $x = x'$ 
8:   If  $f(x) < f(x^*)$  Then
9:      $x^* = x$ 
10:  End If
11:   $TL$  güncelle
12: Loop Until (Durdurma Kriteri)

```

Şekil 1:

Tabu arama algoritmasının temel adımları

```

1:  $X = \{0\}$ 
2: Do
3:    $K$  içerisinde rastgele  $k$  ürünü seç
4:   Do
5:      $i^* = 0, p^* = \gamma$ 
6:     For  $i = 1$  to  $|M|$ 
7:       If  $q_{ik} > 0$  ve  $p_{ik} < p^*$  Then
8:          $p^* = p_{ik}$ 
9:          $i^* = i$ 
10:      End If
11:    Next
12:     $d_k = d_k - \min\{q_{i^*k}, d_k\}$ 
13:     $z_{i^*k} = \min\{q_{i^*k}, d_k\}$ 
14:    If  $i^* \notin X$  Then
15:       $i^*$  marketini rotanın ( $X$ ) sonuna ekle
16:    End If
17:  Loop Until  $d_k = 0$ 
18: Loop Until  $K = \emptyset$ 
19:  $X = X \cup \{0\}$ 
20: Çözüme ait toplam maliyeti ( $f$ ) hesapla.

```

Şekil 2:

Geliştirilen TA'ya ait başlangıç çözümü oluşturma adımları

TA'nın ana döngüsü içerisinde mevcut çözüm üzerinden yeni çözümler üç farklı komşuluk yapısı ile üretilmektedir: ikili yer değiştirme, ters çevirme, kaydırma. İkili yer değiştirme yönteminde rotada bulunan iki market rassal bir şekilde seçilerek bu iki marketin yeri rotada yer değiştirilmektedir. Ters çevirme işleminde ise rota üzerinde bulunan iki market rassal bir şekilde seçilerek bu iki market ve arasında kalan marketlerin sırası ters çevrilerek rota güncellenmektedir. Kaydırma işleminde ise rotada bulunan bir market rastgele seçilerek yine rotada rastgele seçilen

diğer bir marketin önüne kaydırılmaktadır. Yeni çözüm üretmek için kullanılan bu üç farklı komşuluk yapısından birisi her iterasyonda rassal olarak seçilerek mevcut çözüme uygulanmaktadır. Mevcut rota üzerinden arama yapılmasını sağlayan bu komşuluk yapılarına ek olarak satın alma maliyetlerini iyileştirebilmek için rotada bulunan marketler ve rotada bulunmayan marketler üzerinde değişim yaparak arama yapan komşuluk yapıları da TA'da kullanılmıştır. Yukarıda belirtilmiş olan komşuluk yapılarına benzer şekilde rotadan bir marketin silinmesi, rotaya ziyaret edilmemiş marketlerden birisinin eklenmesi veya ziyaret edilmiş bir market ile ziyaret edilmemiş bir marketin çözümde yer değiştirmesi şeklinde arama işlemi yapılmaktadır. Şekil 3'te bu değişimler görsel olarak verilmiştir. Şekil 3a'da mevcut rotada ziyaret edilen bir i marketi rotadan silinmiş ve bu marketten satın alınan k ve l ürünleri rotada ziyaret edilen başka marketlerden temin edilmiştir. Şekil 3b'de ziyaret edilmemiş marketler arasından bir i marketi rotaya eklenmiş ve ziyaret edilen diğer marketlerden satın alınmış olan k ve l ürünleri yeni eklenen i marketinden temin edilmiştir. Son olarak Şekil 3c'de çözümde bulunan i marketi rotadan silinmiş ve rotaya ziyaret edilmemiş marketlerden bir j marketi rotaya eklenmiştir. i marketinden satın alınmış olan k ve l ürünleri rotada bulunan başka marketlerden temin edilirken $i-l$ marketinden satın alınmış olan n ürünü rotaya yeni eklenen j marketinden satın alınmıştır. Yapılan değişimler sonrasında satın alma işlemleri, ürün bazında en iyi fiyatı veren marketleri dikkate alarak güncellenmekte ve zincir market indirimleri güncellenen satın alma işlemlerine göre tekrar hesaplanmaktadır. Bu kapsamda rotadan bir marketin silinmesi durumunda ilgili marketten satın alınan ürünler, rotada bulunan diğer marketlerden daha yüksek fiyatta satın alınmaktadır. Fakat rotadan bir market silindiğinden ulaşım maliyetinde bir azalış oluşmaktadır. Ulaşım maliyetinden elde edilen tasarruf miktarının satın alma maliyetinde oluşan artıştan daha yüksek olması durumunda mevcut durum iyileşmektedir. Bunun tam tersi olarak rotaya yeni bir market eklenmesi durumunda ulaşım maliyetinde artış olmakla birlikte eklenen yeni marketten daha düşük fiyata ürün satın alınabilmektedir. İkili market değişiminde ise ulaşım ve satın alma maliyetlerinden elde edilebilecek tasarrufa göre mevcut çözümde iyileşme sağlanabilmektedir. Tabu listesinde bulunmayan ve aspirasyon kriterine uyan tüm olası çözümler üzerinden en iyi çözüm seçilerek mevcut çözüm olarak atanmaktadır. Seçilen çözüm için yapılmış olan hareket tabu listesine eklenerek tabu listesi güncellenmektedir.

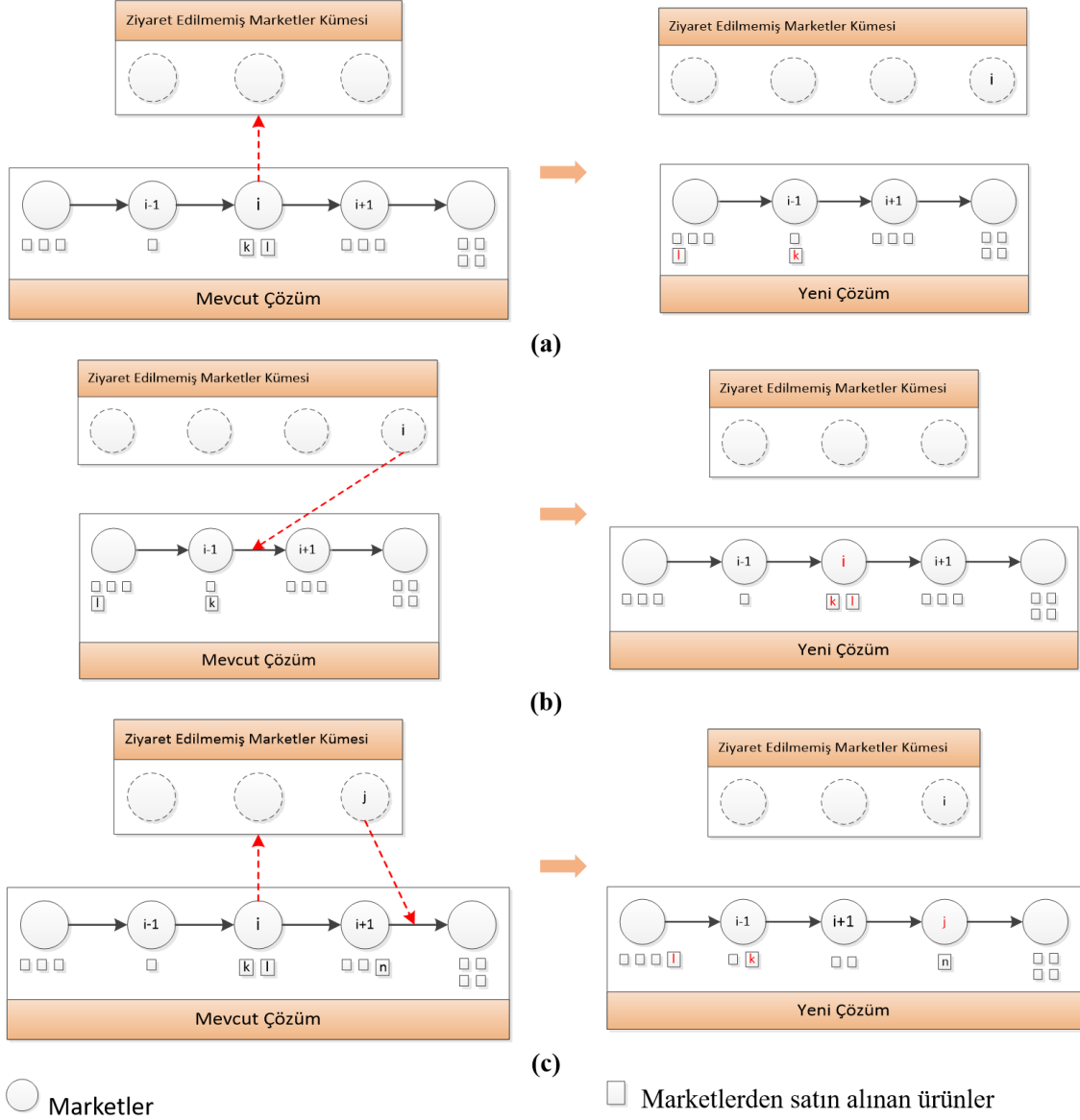
4. SAYISAL SONUÇLAR

ZMHİ-GSAP için geliştirilmiş olan TA'nın performansını test edebilmek için yapılan sayısal uygulamalarda kapasiteli GSAP için üretilmiş olan bir problem seti ZMHİ-GSAP'ye uyarlanmıştır. Üretilmiş olan test problemleri GUROBI çözücüsü ve TA ile çözülmüştür. TA'nın performansı, GUROBI sonuçları ile kıyaslanarak belirlenmiştir. Yapılan sayısal çalışmaların detayları alt bölümlerde verilmektedir.

4.1. Veri Seti

TA'nın test edilebilmesi için Laporte ve diğ. (2003) tarafından GSAP için üretilmiş olan test problemleri kullanılmıştır. Bu kapsamda "Class 4" olarak adlandırılmış olan ve 979 adet kapasiteli GSAP için örnek içeren veri seti dikkate alınmıştır. Bu veri setinde problemlerde yer alan marketlerin ve depo noktasının lokasyonları $[0,1000] \times [0,1000]$ koordinat sisteminde rassal olarak belirlenmiştir. Ulaşım maliyetleri, lokasyonların koordinat değerleri üzerinden öklid uzaklık olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde ürünlerin kaç adet markette bulunacağı $(1, |V| - 1)$ aralığında rassal olarak belirlenmiştir. Bu ürünlerin markette ne kadar ücret ile satılacağı ve ne kadar miktarda bulunduğu yine düzgün dağılım üzerinden sırasıyla $(1,500)$ ve $(1,15)$ aralığında belirlenmiştir. Son olarak ürünlerin talep miktarı $d_k = \left[\lambda \max_{i \in M_k} q_{ik} + (1 - \lambda) \sum_{i \in M_k} q_{ik} \right]$ denklemi ile hesaplanmıştır. Denklemden λ parametresi uygun bir çözümde yer alan market sayısını belirleyen bir kontrol parametresidir. Yazarlar, $|V| = \{50,100,150,200\}$, $|K| =$

$\{50,100, \dots, 350\}$ ve $\lambda = \{0,1,0,5,0,7,0,8,0,9,0,95,0,99\}$ değerlerini dikkate alarak farklı boyutta ve zorlukta problem üretmişlerdir.



Şekil 3:

Geliştirilen TA'ya ait market bazında komşu çözüm üretme operatörleri;

- a.** Rotadan market silinmesi **b.** Rotaya yeni market eklenmesi **c.** Rotadan market silinmesi ve yeni bir marketin eklenmesi

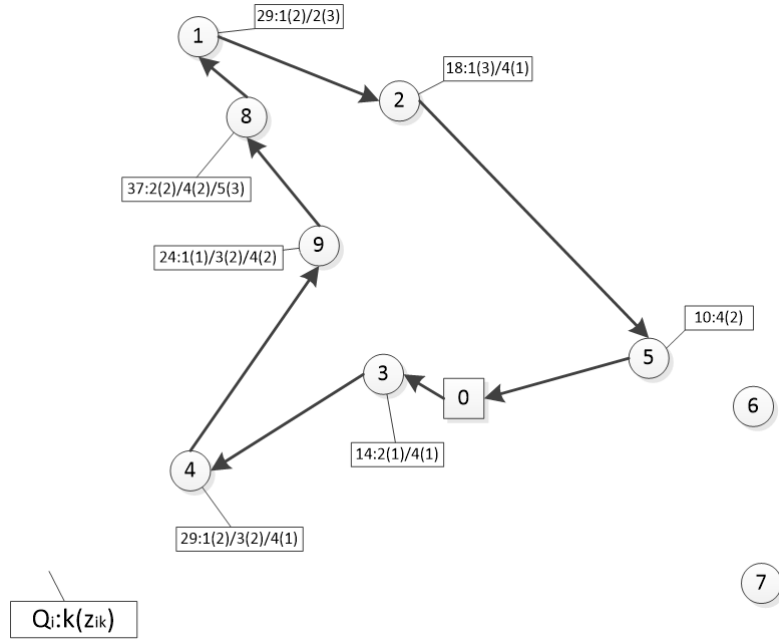
Yukarıda belirtilmiş olan GSAP problem seti ZMHİ-GSAP için adapte edilerek kullanılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak problemde yer alan zincir market sayısı $|S| = 10$ olarak belirlenmiştir. Ardından her bir market için zincir market etiketi L_i değeri $(0, |S|)$ arasında rassal olarak belirlenmiştir. Burada bir i marketinin etiket değerinin 0 olması, ilgili marketin bir zincir market şirketine ait olmadığını ifade etmektedir. Market etiketlerinin belirlenmesinin ardından zincir market şirketlerine ait h_s , f_s ve r_s bilgileri GSAP için elde edilen çözümler üzerinden hesaplanmıştır. Bir s zincir marketi için h_s değerlerinin hesaplanabilmesi için GSAP çözümünde s etiketli ile işaretlenmiş olan market sayısı (M_s^{max}) hesaplanmaktadır. Bu değere göre $h_s =$

$\max\{2, ([0,25 \times M_s^{max}], [0,75 \times M_s^{max}])\}$ denklemi ile hesaplanmıştır. Benzer şekilde bir zincir marketi s için f_s değeri, ilgili zincir markette yer alan ve GSAP çözümünde uğranılan marketlerde yapılan ortalama harcama tutarı $\bar{Q}_s$ ve maksimum harcama tutarı Q_s^{Max} üzerinden $(\bar{Q}_s, Q_s^{Max})$ aralığında rassal olarak belirlenmiştir. Son olarak bir zincir marketinden elde edilebilecek indirim miktarı $r_s = \bar{Q}_s \times \text{rnd}(0,05, 0,15)$ denklemi ile rassal olarak belirlenmiştir. Dikkate alınan bu problem üretme sistemi ile ZMHİ-GSAP için $|V| = \{50, 100, 150, 200\}$, $|K| = \{50, 100, 150, 200\}$ ve $\lambda = \{0,1, 0,5, 0,7, 0,8, 0,9, 0,95, 0,99\}$ değerleri ile toplam 560 adet örnek problem üretilmiştir. Örnek bir gösterim olarak Tablo 1’de $|V| = 10$, $|K| = 5$ ve $|S| = 2$ için üretilmiş küçük boyutlu bir probleme ait veri yer almaktadır. Problem için elde edilen optimum çözüme ait rota ve satın alma planı Şekil 4’te gösterilmektedir. Bu plana göre satın alıcı birinci market zincirine ait iki marketten (Market 1 ve Market 4) minimum harcama tutarı olan 25 birimden fazla satın alma işlemi yaparak 12 birim indirim sağlamıştır. Bu sayede toplam satın alma maliyeti 161 birim olan satın alıcı %7,45 oranında tasarruf sağlamıştır.

Tablo 1. ZMHİ-GSAP için üretilmiş örnek problem verisi

Nokta (i)	Koordinat ($\{x, y\}$)	Ürün Bilgisi ($k/p_{ik}/q_{ik}$)	Zincir Market Etiketi (L_i)
0	{50, 50}	-	-
1	{17, 95}	1/7/2 2/5/3 3/5/2	1
2	{42, 87}	1/4/3 4/6/1 5/6/2	2
3	{40, 53}	2/10/2 4/4/1	-
4	{16, 41}	1/7/3 3/5/2 4/5/1	1
5	{73, 55}	3/5/2 4/5/2 5/5/1	2
6	{86, 49}	2/5/2 4/5/1 5/5/3	1
7	{87, 27}	1/6/3 5/7/1	-
8	{23, 85}	2/6/2 3/5/1 4/5/2 5/5/3	2
9	{32, 69}	2/6/2 3/5/1 4/5/2 5/5/3	2

Talep Bilgisi: $d_k = \{8, 6, 4, 9, 3\}$
Zincir Market Bilgileri ($s/h_s/f_s/r_s$): $\{1/2/25/12 \quad 2/3/30/15\}$



Şekil 4:

Örnek problem için elde edilen optimum rota ve satın alma planı

4.2. Deney Ortamı ve TA Parametre Analizi

Yapılan tüm sayısal çalışmalar Intel® Xeon® Gold 6226R 2.90 GHz işlemciye sahip bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. ZMHİ-GSAP için geliştirilen matematiksel modelin çözümleri GUROBI 12.0 çözücüsü kullanılarak bir saatlik süre kısıtı ile elde edilmiştir. Elde edilen çözümlerin değerlendirilebilmesi için çizelgelerde yer alan $f(GRB)$ ifadesi matematiksel modelden elde edilen en iyi tam sayılı sonucu, $\%G_{opt}$ ifadesi GUROBI ile elde edilen çözümün optimalite aralığını, CPU ise çözüm zamanını göstermektedir. TA her bir problem için 10 defa çalıştırılmış ve bu koşullardan elde edilen en iyi sonuçlar dikkate alınmıştır.

Algoritmanın en temel parametresi olan tabu listesi uzunluğunu belirleyebilmek için problem seti içerisinde 10 farklı problem seçilmiş ve bu problemler TA ile beş farklı farklı tabu uzunluk değeri ($TL = \{50, 100, 150, 200, 250\}$) dikkate alınarak çözülmüştür. Elde edilen ortalama sonuçlar üzerinden $TL = 100$ olarak belirlenmiştir. Algoritmanın durdurma kriteri olan maksimum iterasyon sayısı ise 5000 olarak belirlenmiştir.

4.3. Sayısal Sonuçlar

Üretilmiş olan problem seti ilk olarak GUROBI çözücüsü ile bir saatlik zaman kısıtı altında çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, probleme ait nokta sayısı, ürün çeşidi sayısı ve λ değerine göre sınıflandırılarak Tablo 2’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 50 nokta içeren problemlerin birçoğu için GUROBI çözücüsü ile optimum sonuç elde edilebilmiştir. 50 noktadan büyük problemlerde ise ürün çeşidi sayısı arttıkça ve λ değeri bire yaklaştıkça GUROBI çözücüsü belirlenen bir saatlik zaman sınırı sonunda durarak belirli bir optimalite aralığı ile sonuç elde etmiştir. $\%G_{opt}$ değerleri dikkate alındığında λ değerinin çözüm zorluğuna önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir. Yüksek λ değerlerinde elde edilen optimalite aralığı bazı problemlerde $\%25$ ’in üzerine çıkmıştır. Bu nedenle benzer yapıda problemler için GUROBI çözücüsünün kısa işlem zamanlarında etkin çözümler üretilmediği tespit edilmiştir.

GUROBI ile yapılan sayısal çalışmaların ardından ZMHİ-GSAP için üretilmiş olan test problemleri geliştirilmiş olan TA ile çözülmüştür. TA ile elde edilen sonuçlar Tablo 3’te sınıflandırılarak verilmiştir. Tabloda verilmiş olan $f(TA)$, TA ile 10 koşumdan elde edilen en iyi sonucu; $\%G_{grb}$, $f(TA)$ ve $f(GRB)$ arasındaki yüzdelik farkı; ve CPU , $f(TA)$ ’nın elde edildiği işlem zamanını göstermektedir. Nokta sayısının $|V| = 50$ olduğu durumlarda TA’nın optimum sonuçlara yakın sonuçlar üretebildiği görülmektedir. $\%G_{grb}$ değerleri dikkate alındığında TA ile GUROBI çözümleri arasındaki maksimum sapma $\%1$ ’in altında olduğu görülmektedir. Bununla birlikte özellikle λ değeri arttıkça GUROBI çözücüsünün optimum sonuca ulaşma zamanı dakikaların üzerine çıkarken TA ile saniyeler içerisinde optimum veya optimum sonuca yakın sonuçlar üretilmiştir. Problemlerde yer alan market sayısı arttıkça GUROBI çözücüsü bir saatlik süre sınırı sonunda belirli bir optimalite aralığı ile çözüm elde etmeye başlamıştır. Diğer yandan TA’nın, GUROBI’nin elde ettiği en iyi tam sayılı çözümünden daha iyi sonuçlar elde ettiği durumlar ortaya çıkmıştır. Toplam 560 problem değerlendirildiğinde TA, 109 problem için kısa süreler içerisinde GUROBI’den daha iyi sonuç bulmuştur. Negatif olan $\%G_{grb}$ değerleri TA’nın GUROBI’den üstün olduğu durumları göstermektedir. Bu değerler dikkate alındığında özellikle problemde yer alan ürün çeşidi sayısı arttıkça TA ile elde edilen çözümlerin GUROBI ile elde edilen çözümlerden çok daha iyi olduğu görülmektedir. Özellikle en büyük problem yapısı olan $|V| = 200$ ve $|K| = 200$ durumunda elde edilen iyileşme $\%10$ ’un üzerine çıkmıştır. Bu büyüklükte TA ile bulunan çözümler ise üç dakikanın altında elde edilmiştir. Yapılan kıyaslamalar sonucunda geliştirilmiş olan TA’nın ZMHİ-GSAP için kısa sürelerde etkin sonuçlar üretebildiği görülmüştür.

Tablo 2. ZMHİ-GSAP problemlerinde GUROBI çözücüsü ile elde edilen sonuçlar

V	λ	K = 50			K = 100			K = 150			K = 200		
		$f(GRB)$	% G_{opt}	CPU	$f(GRB)$	% G_{opt}	CPU	$f(GRB)$	% G_{opt}	CPU	$f(GRB)$	% G_{opt}	CPU
50	0.1	48361.00	0.00	6.64	93917.40	0.00	7.32	139440.80	0.01	8.27	185871.60	0.01	21.65
	0.5	24509.00	0.00	41.73	43491.00	0.01	52.48	65281.40	0.01	80.72	82921.00	0.00	210.25
	0.7	13747.20	0.00	53.62	25778.60	0.00	74.96	35938.00	0.00	140.01	44585.80	0.00	354.13
	0.8	9196.60	0.00	152.72	17698.40	0.00	142.24	21765.40	0.00	138.26	30115.80	0.00	181.62
	0.9	5184.80	0.00	264.46	8285.40	0.00	173.68	10985.60	0.00	194.87	13638.20	0.00	473.38
	0.95	3300.60	0.00	316.82	4983.20	0.00	155.53	6337.00	0.00	365.23	7925.00	0.00	304.93
	0.99	2032.40	0.00	128.06	2707.40	0.00	281.94	3576.80	0.65	969.34	3980.00	0.00	481.16
100	0.1	101032.60	0.00	93.61	187910.20	0.01	116.63	284190.40	0.00	202.32	368995.00	0.01	250.29
	0.5	50635.80	0.00	359.11	92253.00	0.05	1079.99	138217.80	0.01	1173.05	179446.80	0.02	1360.03
	0.7	28600.40	0.03	1328.19	55250.60	0.00	847.43	75987.20	0.07	2476.36	97626.20	0.12	2958.27
	0.8	18169.20	0.50	1761.53	31856.80	0.12	1928.47	46898.60	0.18	2994.35	61627.00	0.07	2917.40
	0.9	10259.00	1.00	1845.96	15428.80	0.78	3134.35	24202.40	0.84	3038.38	28642.00	0.79	3600.00
	0.95	5397.20	1.62	2607.08	8616.40	3.41	3074.33	11318.80	1.87	3252.27	14420.40	2.65	3600.00
	0.99	1892.80	3.26	818.74	2919.00	0.94	1205.55	3876.40	3.98	3050.33	4413.20	4.78	3120.99
150	0.1	151658.80	0.01	993.77	289104.00	0.01	809.74	424993.60	0.01	712.75	576233.20	0.01	897.47
	0.5	76512.40	0.05	1959.10	144081.60	0.04	3024.89	214057.60	0.05	3167.12	286408.40	0.08	3426.34
	0.7	44194.40	0.39	2889.43	80043.00	0.06	3382.34	118218.00	0.21	3600.00	157581.80	0.37	3600.00
	0.8	28532.00	0.51	3412.53	52653.00	0.63	3600.00	77395.80	0.36	3186.41	99958.00	0.48	3600.00
	0.9	16462.33	1.37	3600.00	24622.40	1.15	3214.50	35556.40	1.33	3600.00	46129.20	1.62	3600.00
	0.95	7593.60	5.40	3600.00	11933.00	3.42	3600.00	16709.40	2.62	3600.00	20675.20	3.44	3600.00
	0.99	2191.00	3.33	1333.28	4757.33	3.53	3166.04	4618.20	10.26	3600.00	4894.60	7.16	3600.00
200	0.1	210143.00	0.04	3061.54	392521.40	0.02	3180.23	575108.00	2.41	2618.63	751897.60	0.03	3563.63
	0.5	108335.40	1.54	3600.00	195603.00	0.15	3600.00	282638.20	1.13	3600.00	372382.20	0.43	3600.00
	0.7	60061.20	0.44	3600.00	111554.60	0.89	3600.00	160891.60	0.73	3600.00	213339.20	1.54	3600.00
	0.8	40342.40	1.65	3600.00	73124.00	1.89	3600.00	102021.00	1.20	3600.00	141037.40	4.62	3600.00
	0.9	19873.60	2.87	3600.00	34061.00	3.28	3600.00	44071.60	3.29	3600.00	63658.00	2.79	3600.00
	0.95	9422.00	4.55	3600.00	16307.40	4.75	3600.00	23077.40	4.92	3600.00	28625.60	4.40	3600.00
	0.99	2527.60	13.44	3122.84	4181.40	13.48	3600.00	4753.60	12.75	3600.00	5579.60	7.12	3600.00

Tablo 3. ZMHİ-GSAP problemlerinde TA ile elde edilen sonuçlar

V	λ	K = 50			K = 100			K = 150			K = 200		
		$f(TA)$	% G_{grb}	CPU	$f(TA)$	% G_{grb}	CPU	$f(TA)$	% G_{grb}	CPU	$f(TA)$	% G_{grb}	CPU
50	0.1	48377,20	0,03	5,60	93961,00	0,05	8,13	139503,00	0,04	13,12	186043,40	0,09	19,37
	0.5	24605,60	0,39	5,13	43699,80	0,48	8,09	65533,60	0,39	12,53	83273,60	0,42	17,63
	0.7	13789,60	0,30	4,53	25904,80	0,50	7,62	36124,80	0,52	10,70	44684,60	0,23	13,47
	0.8	9229,80	0,37	4,22	17743,40	0,25	6,25	21857,20	0,43	8,58	30364,20	0,83	12,15
	0.9	5205,40	0,39	3,36	8317,40	0,37	5,04	11057,80	0,67	6,81	13693,40	0,41	8,65
	0.95	3306,60	0,17	2,77	5007,60	0,49	4,25	6359,00	0,35	5,53	7958,60	0,43	7,12
	0.99	2033,60	0,06	2,08	2710,80	0,12	3,12	3588,60	0,36	4,27	3992,00	0,29	5,61
100	0.1	101079,20	0,04	13,06	187952,00	0,02	23,44	284246,80	0,02	41,28	369108,20	0,03	60,14
	0.5	50782,00	0,29	14,28	92464,00	0,23	23,70	138577,00	0,26	34,97	179822,80	0,21	55,63
	0.7	28713,80	0,39	12,18	55522,40	0,49	20,82	76330,00	0,45	30,75	98058,60	0,44	42,87
	0.8	18233,00	0,35	11,00	31996,40	0,44	18,09	47163,60	0,57	27,98	62033,20	0,66	39,57
	0.9	10283,40	0,23	8,73	15505,20	0,50	15,72	24321,00	0,48	26,35	28808,00	0,58	32,28
	0.95	5412,20	0,27	6,77	8654,00	0,42	12,78	11349,60	0,29	20,98	14430,60	0,04	33,54
	0.99	1894,00	0,08	4,12	2934,20	0,51	8,69	3894,00	0,47	14,75	4402,40	-0,21	22,42
150	0.1	151748,40	0,06	25,94	289177,20	0,03	47,06	425091,80	0,02	68,02	576370,80	0,02	96,60
	0.5	76859,20	0,45	26,53	144435,80	0,25	45,02	214481,40	0,20	76,21	287056,00	0,23	104,96
	0.7	44354,80	0,35	25,45	80416,00	0,47	45,67	118594,20	0,32	58,79	157745,20	0,10	91,11
	0.8	28601,40	0,24	23,07	52810,00	0,28	42,08	77709,40	0,41	54,44	100240,80	0,28	71,16
	0.9	16541,67	0,49	18,51	24640,80	0,10	33,46	35621,80	0,13	42,59	46233,80	0,19	55,09
	0.95	7493,80	-1,32	12,95	11976,00	0,34	28,69	16752,60	0,24	31,06	20533,60	-0,71	38,02
	0.99	2196,60	0,30	7,33	4781,00	0,46	18,45	4563,00	-1,22	17,37	4866,00	-0,53	21,44
200	0.1	210245,20	0,05	47,78	392666,20	0,04	80,75	561357,20	-2,33	121,57	751924,00	0,00	165,34
	0.5	107054,80	-1,05	50,97	195894,00	0,15	85,64	280284,00	-0,80	109,76	371931,00	-0,12	162,36
	0.7	60263,40	0,33	47,42	111352,80	-0,19	80,54	160553,40	-0,22	103,74	211083,00	-1,05	155,58
	0.8	40285,60	-0,12	44,01	72600,80	-0,73	81,24	101707,80	-0,30	101,01	135616,60	-3,86	119,34
	0.9	19888,00	0,07	31,83	33792,60	-0,82	58,17	43355,80	-1,54	67,69	62806,20	-1,31	98,71
	0.95	9392,40	-0,34	22,89	16244,60	-0,30	43,09	22714,40	-1,38	53,48	28363,80	-0,86	61,67
	0.99	2517,40	-0,38	11,15	4155,20	-0,79	24,30	4657,00	-2,11	31,44	5575,80	-0,10	41,74

5. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada rotalama problemleri arasında sıklıkla çalışılmış olan gezgin satın alıcı problemi dikkate alınmış ve bu problem zincir market uygulamaları kapsamında genişletilmiştir. Literatürde ilk defa çalışılmış olan problemde satın alıcı, zincir market gruplarından belirli sayıda marketten belirli miktarda alışveriş yapması durumunda indirim kazanabilmektedir. Gerçek hayat uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan bu satış politikası sayesinde gezgin satın alıcı toplam maliyetinde tasarruf sağlayabilmektedir. Zincir market harcamalarında indirimli gezgin satın alıcı problemi (ZMHİ-GSAP) olarak adlandırılan problem karışık tamsayı matematiksel programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Geliştirilmiş olan matematiksel modelde amaç satın alıcının toplam maliyetini en aza indirecek satın alma ve rota planını bulmaktır. Dikkate alınan problemin çözümü için bir tabu arama (TA) yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan TA'nın etkinliğini test edebilmek için literatürde sıklıkla kullanılan bir GSAP problem seti ZMHİ-GSAP'ye uyarlanmıştır. Bu kapsamda 560 adet farklı boyutta problem üretilmiştir. Yapılan sayısal çalışmalarda TA, GUROBI çözücüsü ile kıyaslanmıştır. Yapılan analizler sonucunda TA'nın kısa süreler içerisinde ZMHİ-GSAP için etkin sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir.

Bu çalışma temel alınarak ZMHİ-GSAP farklı varsayımlar altında genişletilerek gelecek çalışmalar yapılabilir. Bu kapsamda marketlerin farklı indirim ve promosyon uygulamaları dikkate alınabilir. Diğer yandan kazanılan indirimin gelecek zaman dilimlerinde satın alıcıya yansıtılması durumu dikkate alınırsa bu problem periyodik olarak çalışılabilir. Farklı varsayımlar ile ZMHİ-GSAP'nin genişletilmesine ek olarak geliştirilmiş çözüm yaklaşımından daha etkin sonuçlar üretebilecek meta-sezgisel veya kesin çözüm yöntemlerinin araştırılması gelecek çalışmalar açısından bir potansiyel taşımaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar(lar), bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Özlem Okumuş çalışmanın literatür araştırması, çözüm yaklaşımının oluşturulması ve sayısal çalışmaların gerçekleştirilmesinde ve analizinde, makalenin yazımında; İlker Küçükoğlu konunun oluşturulması, sonuçların yorumlanması ve analizinde, yazım ve içeriğin oluşturulmasında katkıda bulunmuştur.

KAYNAKLAR

1. Batista-Galván, M., Riera-Ledesma, J. ve Salazar-González, J. J. (2013). The traveling purchaser problem. with multiple stacks and deliveries: A branch-and-cut approach. *Computers & Operations Research*. 40(8). 2103-2115. doi.org/10.1016/j.cor.2013.02.007
2. Bianchessi, N., Mansini, R. ve Speranza, M. G. (2014). The distance constrained multiple vehicle traveling purchaser problem. *European Journal of Operational Research*. 235(1). 73-87. doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.018
3. Choi, M.J. ve Lee, S.H. (2011). The multiple traveling purchaser problem for maximizing system's reliability with budget constraints. *Expert Systems with Applications*. 38(8). 9848-9853. doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.018
4. Gendreau, M., Manerba, D. ve Mansini, R. (2016). The multi-vehicle traveling purchaser problem with pairwise incompatibility constraints and unitary demands: A branch-and-price

- approach. *European Journal of Operational Research*. 248(1). 59-71. doi.org/10.1016/j.ejor.2015.06.073
5. Glover. F. (1989) Tabu search – Part I. *ORSA Journal on Computing*. 1(3). 190-206.
 6. Glover. F. (1990). Tabu search – Part II. *ORSA Journal on Computing*. 2(1). 4-32.
 7. Gouveia. L.. Paias. A. ve Voß. S. (2011). Models for a traveling purchaser problem with additional side-constraints. *Computers and Operations Research*. 38(2). 550-558. doi.org/10.1016/j.cor.2010.07.016
 8. Hasanpour Jesri. Z.S.. Eshghi. K.. Rafiee. M. ve Van Woensel. T. (2022). The multi-depot traveling purchaser problem with shared resources. *Sustainability*. 14(16). 10190. doi.org/10.3390/su141610190
 9. Kang. S. ve Ouyang. Y. (2011). The traveling purchaser problem with stochastic prices: Exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*. 209(3). 265-272. doi.org/10.1016/j.ejor.2010.09.012
 10. Kucukoglu. I. (2022). The traveling purchaser problem with fast service option. *Computers and Operations Research*. 141. 105700. doi.org/10.1016/j.cor.2022.105700
 11. Kucukoglu. I.. Vansteenwegen. P. ve Cattrysse. D.. (2023). The traveling purchaser problem for perishable foods. *Computers and Industrial Engineering*. 195. 110424. doi.org/10.1016/j.cie.2024.110424
 12. Laporte. G.. Riera-Ledesma. J. ve Salazar-González. J.J. (2003). A branch-and-cut algorithm for the undirected traveling purchaser problem. *Operations Research*. 51(6). 940-951. doi.org/10.1287/opre.51.6.940.24921
 13. Maji. S.. Pradhan. K.. Maity. S.. Nielsen. I.E.. Giri. D.. ve Maiti. M. (2023). Multipath traveling purchaser problem with time-dependent market structure using quantum-inspired variable length genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*. 186. 109710. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109710
 14. Manerba. D. ve Mansini. R. (2015). A branch-and-cut algorithm for the multi-vehicle traveling purchaser problem with pairwise incompatibility constraints. *Networks*. 65(2). 139-154. doi.org/10.1002/net.21588
 15. Manerba. D.. Mansini. R. ve Riera-Ledesma. J. (2017). The traveling purchaser problem and its variants. *European Journal of Operational Research*. 259(1). 1-18. doi.org/10.1016/j.ejor.2016.12.017
 16. Mansini. R. ve Tocchella. B. (2009). The traveling purchaser problem with budget constraint. *Computers & Operations Research*. 36(7). 2263-2274. doi.org/10.1016/j.cor.2008.09.001
 17. Miller. C.E.. Tucker. A.W. ve Zemlin. R.A. (1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Journal of the Association for Computing Machinery*. 7(4). 326-329.
 18. Palomo-Martínez. P.J. ve Salazar-Aguilar. M.A. (2019). The bi-objective traveling purchaser problem with deliveries. *European Journal of Operational Research*. 273(2). 608-622. doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.039
 19. Pearn. W. (1991). On the traveling purchaser problem. *Teknik Rapor*.
 20. Riera-Ledesma. J. ve Salazar-González. J.J. (2013). A column generation approach for a school bus routing problem with resource constraints. *Computers & Operations Research*. 40(2). 566-583. doi.org/10.1016/j.cor.2012.08.011
 21. Roy. A.. Maity. S.. ve Moon. I. (2023). Multi-vehicle clustered traveling purchaser problem using a variable-length genetic algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 123. 106351. doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106351
 22. Voß. S. (1996). Dynamic tabu search strategies for the traveling purchaser problem. *Annals of Operations Research*. 63(2). 253-275.