





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bir Perakendeciye İletilen E-Ticaret Sipariş Kargo Atamalarında Kombinatoriyal Optimizasyon ve Sezgisel Metot Karşılaştırması

 Batuhan KOCAOĞLU^a,  Didem CİVELEK^{b,*}

^a *Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İktisadi İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, İstanbul Topkapı Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE*

^b *Endüstri Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: didemcivelek@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1238224

Öz

Çoklu rekabet ve pandemi sürecinin getirdiği yeni normalleşme süreci ile birlikte çok kanallı çevrimiçi satış hacmi hızla büyümekte çevrimiçi ve mobil alışverişler daha çok tercih edilir hale gelmektedir. Bu çalışmada online olarak iletilen siparişlerin, müşterilere ulaştırma aşamasında kullanılan kargo firmalarına atanması konusu ele alınmıştır. Çalışma kapsamında minimum maliyetle siparişlerin uygun kargo firmalarına atanması için ilk aşamada bir kombinatoriyal optimizasyon modeli geliştirilmiştir. İkinci aşamada ise sezgisel bir algoritma olan açgözlü algoritma (Greedy) ile modelleme yapılmıştır. Bu iki çözüme ilişkin sonuçlar maliyet ve süre bazında incelenmiştir. Sonuç olarak; 1) Sabit lokasyon sayısı ve gelen sipariş sayısının artırılması senaryosunda optimizasyon modeli ve sezgisel algoritma saniyeler seviyesinde çözüm üretmiş, optimizasyon sonuçları sezgisel algoritma sonuçlarına göre maliyet iyileştirmesinde %3 ile %5,6 arasında daha iyi sonuçlar üretmiştir. 2) Sipariş ve lokasyon sayısının aynı anda değiştirilmesi örnekleminde ise sipariş sayısı ve lokasyon arttıkça optimizasyon algoritmasının çözüm süreleri uzamış, optimizasyon sonuçları sezgisel algoritma sonuçlarına göre maliyet iyileştirmesinde %9 ile %12 arasında daha iyi sonuçlar üretmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açgözlü Algoritma, Kombinatoriyal Optimizasyon, Atama Problemleri, Sezgisel Algoritma

Comparison of Combinatorial Optimization and Heuristic Method in E-Commerce Order Cargo Assignment to a Retailer

ABSTRACT

With the new normalization process brought by the pandemic and multiple competition, the volume of multi-channel online sales is rapidly growing and online and mobile shopping is becoming more preferred. In this study, the assignment of orders transmitted online to the cargo companies used in the delivery stage is examined. In the scope of the study, a combinatorial optimization model was developed for assigning orders to the appropriate cargo companies with minimum cost in the first stage. In the second stage, a greedy algorithm is used to model the problem. Results of these two solutions are analyzed in terms of cost and time. As a result; 1) When the number of fixed locations and the number of incoming orders are increased, the optimization model and the heuristic algorithm produced solutions in seconds, the optimization results produced better results in terms of cost improvement between 3% and 5.6% compared to the results of the heuristic algorithm. 2) In the case of changing the number of orders and locations at the same time, the solution times of the optimization algorithm increased as the number of orders and locations increased, the optimization results produced better results in terms of cost improvement between 9% and 12% compared to the results of the heuristic algorithm.

I. GİRİŞ

Elektronik Ticaret Bilgi Sistemi tarafından 2022 yılı ilk 6 ayına göre açıklanan rapora göre Türkiye’de e-ticaret hacmi bir önceki yılın aynı dönemine göre %116’lık artış göstermiştir. Yine aynı rapora göre; 2022 yılı ilk 6 ayında sipariş adetlerinde ise %38 artış meydana gelmiştir. Gıda ve süpermarket harcama özelinde bakıldığında ise %124 artış olduğu görülmüştür. Satış hacmi ve sipariş adetlerindeki artış göz önüne alındığında e-ticaret üzerinden hizmet veren firmaların bu zincirde birtakım iyileştirmeler yapması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Yapılan bir analize göre küresel e-ticaret pazarının ise yıllık %13,5 büyüme ile 2024 yılına kadar 6388 milyar doları aşacağı öngörüler arasındadır [1].

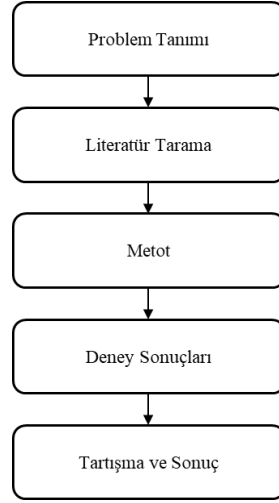
Firmalar operasyonlarını verimli hale getirirken kaliteden ödün vermeden, müşteri memnuniyetini en üst seviyede tutmayı hedeflemektedir. Bunun yanı sıra firmalar için bir diğer önemli unsur maliyettir. Firmalar sistem büyüdükçe ve süreçler karmaşıklaştıkça maliyet minimizasyonu, ciro maksimizasyonu gibi hedeflerle en kaliteli hizmeti verecek çözüm arayışına yönelmektedir.

Teknolojinin hızla gelişmesi, dijitalleşmesi, tüketicilerin alışveriş deneyimlerindeki beklentilerini de arttırmaktadır. İnternet alışverişinin artması ile birlikte operasyonların bu artışa uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Çevrimiçi veya mobil olarak iletilen siparişlerin toplanması, fatura işlemlerinin yapılması, kargoya iletilmesi ve müşteriye teslim çalışmalarının doğru ve en hızlı şekilde yapılması önemlidir. Tüm bunlar yapılırken firmanın maliyetlerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çevrimiçi hizmet veren perakende firmaları siparişlerin müşterilere ulaştırılması aşamasında çeşitli kargo firmaları ile çalışmaktadırlar. Bu aşamada lojistik maliyetlerinin düşürülmesi perakendecilere önemli maliyet avantajları sunacağından rekabette de öne geçmelerine yardımcı olacaktır.

E-ticaret sitelerinin çalışma sistematigi incelendiğinde firmaların çalıştığı belli kargo firmaları bulunmaktadır. Bu firmaların bir kısmına bakıldığında kargo ücretini müşterinin ödemesi karşılığında kargo firması seçeneğini müşteriye bırakmaktadırlar. Diğer e-ticaret firmaları ise müşteriye kargo firması seçeneği sunmadan anlaştığı firmalar içerisinde lokasyon ve maliyet açısından en uygun firmayı seçmek için kendileri bir çalışma yürütmektedir [2].

Bu çalışma ile çevrimiçi hizmet veren perakende firmasına gelen siparişlerin kargo firmalarına atama işlemlerini kendi içerisinde yürüten e-ticaret firmaları için bu atama işlemlerinin optimizasyon ve sezgisel algoritma yardımı ile yapılması ile;

- 1) Mevcut durumda bu işlemler manuel olarak yapıldığı için kullanılan işgücünün daha verimli değerlendirilmesine yardımcı olacağı,
- 2) Mevcut duruma kıyasla bir maliyet avantajı sağlayacağı tespit edilmiştir.



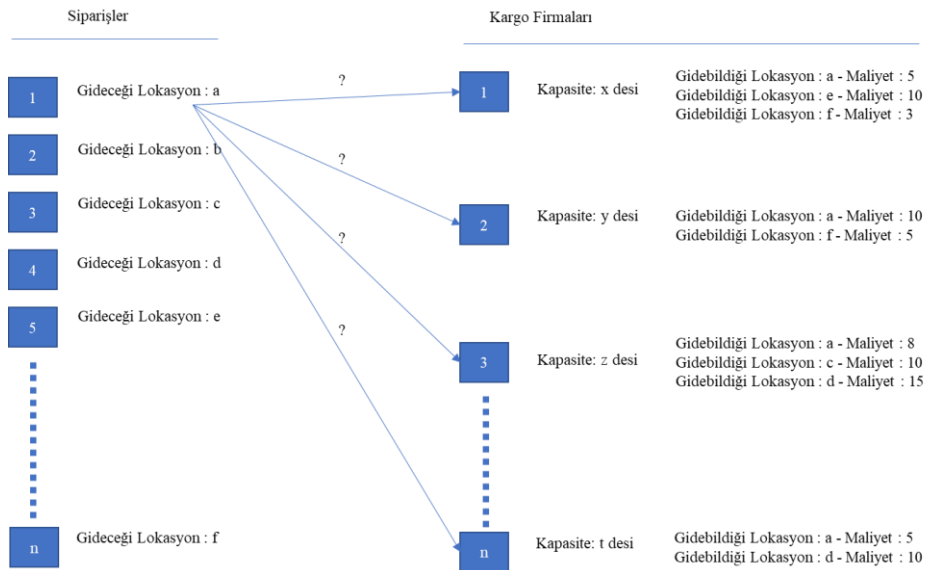
Şekil 1. Makale Akış Şeması

Şekil 1’ de bulunan makale akış şemasında görüldüğü gibi bu makale Problem Tanımı, Literatür Tarama, Çözüm Metotları, Deneysel Sonuçları, Tartışma ve Sonuç bölümlerinden oluşmaktadır.

A. PROBLEM TANIMI

Perakende sektöründe tüketicilerin çevrimiçi verdiği siparişler tüketicinin seçmiş olduğu tarih ve saat aralığında teslim edilmektedir. Bu tip siparişler müşterinin yakın olduğu mağaza lokasyonunda hazırlanıp firmanın kendi araçları ile dağıtılmaktadır. Bu işleyişe ek olarak bazı marketler internet siteleri üzerinden aldıkları siparişleri mağaza yerine depolardan göndermekte ve bu siparişleri anlaşmalı oldukları kargo firmaları ile müşterilerine teslim etmektedir. Bu durumda e-ticaret kanalı üzerinden gelen siparişlerin anlaşmalı oldukları kargo firmalarına atanması problemi ortaya çıkmaktadır. Mevcut durumda günlük gelen siparişlerin atanma süresinin uzun olması, aynı zamanda yapılan atamalarda hata payının yüksek olması durumu bu işi otomatize etme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada e-ticaret üzerinden hizmet veren bir perakende firmasına müşteriler tarafından iletilen siparişlerin gün içerisinde kargo firmalarına atamalarının yapılmasını içermektedir. Firmanın bir deposu bulunmaktadır ve siparişler buradan kargolanmaktadır.



Şekil 2. Problem Tanımı

Şekil 2' de Problem Tanım görselinde görüldüğü gibi siparişler ve kargo firmaları bulunmaktadır. Kargo firmalarının her ilçede teslimat şubesi olmaması nedeniyle her kargo firmasının gittiği belirli lokasyonlar bulunmaktadır. Kargoların gittiği lokasyonlara göre desu başına maliyetleri bulunmaktadır. Kargo firmalarının günlük bir kapasiteleri mevcuttur. Firmanın amacını minimum maliyet ile her siparişi mutlaka bir kargo firmasına atamak oluşturmaktadır. Şekil 2' de görüldüğü gibi siparişin hangi firmaya atanması gerektiği sorusunun yanıtını bulmak amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

II. LİTERATÜR TARAMA

Yöneylem ve modelleme çalışmaları belirlenen problem için en uygun çözümün bulunmasını amaçlayan yöntemleri içermektedir. Mevcut güncel hayat ve karmaşık problemlere matematiksel model, algoritma ve istatistikî bilimsel yöntemleri kullanarak çözümler sunulmaktadır. Bu problemlerde en uygun çözümü aradığımız problemler optimizasyon problemleri olarak adlandırılmaktadırlar [3].

Optimizasyon modelleri karar değişkenlerinin yapısına göre kesikli optimizasyon ve sürekli optimizasyon modelleri olmak üzere iki başlıkta sınıflandırılabilirler. Kombinatoryal optimizasyon problemleri kesikli optimizasyon modelleri olarak ifade edilmektedir. En kısa yol problemi, gezgin satıcı problemi, atölye çizelgeleme problemleri, atama problemleri ve araç rotalama problemleri kombinatoryal optimizasyon problemleri olarak adlandırılmaktadırlar. Bu problemlerin türlerine göre amaç fonksiyonu maksimizasyon veya minimizasyon olabilmektedir.

Sezgisel algoritmalar en kısa sürede bulduğu en iyi çözüme ilişkin sonuçları iletirler ve optimum çözümü bulmayı garanti etmezler. Sezgisel algoritmaların tavlama benzetimi, genetik algoritmalar, karınca kolonisi, parçacık sürü optimizasyonu, çok yönlü ve hibrit metotları, yapay arı kolonisi, açgözlü algoritma gibi türleri bulunmaktadır. Açgözlü algoritma, benzetimli tavlama, yapay arı kolonisi, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritmalar atama problemlerinde kullanılan sezgisel algoritmalar [4].

Siparişlerin belirlenen kısıtlar çerçevesinde kargo firmaları ile eşleştirilmesi çalışmaları literatürde atama problemleri olarak adlandırılmaktadır. Atama problemlerinin çözümünde ise matematiksel modelleme, sezgisel algoritmalar veya bir takım hibrit algoritmalar kullanılmaktadır.

Tablo 1. Literatür Özeti

Makale	Yazar	Konu	Yöntem
[5]	Zhang, Fu,Chen,Mei, 2020	Bu çalışmada e-ticaret siparişlerinin depo içerisindeki en uygun konumlara atanma işlemi yapılmıştır.	Yapay Balık Sürüsü
[6]	Dethlefs, Ostermeier, Hübner, 2022	Bu çalışmada gelen siparişlerin depolara ataması ve araç rotalamasını da dikkate alarak bir çözüm geliştirilmiştir.	Karma Tam Sayılı Programlama
[7]	Karsu, Azizoglu, 2019	Burada tüm ajanlar	

		üzerindeki yüklerin karelerinin toplamının minimize edildiği bir atama modeli çalışması yapılmıştır.	Tam Sayılı Doğrusal Programlama ve Doğrusal Olmayan Programlama
[8]	Erten, 2021	Bu çalışmada ürün tedarik edilecek yan sanayi firmalarına iş yükü atamalarının ve işlerin atandığı firmaların sayısını minimizasyon işlemi yapılmıştır.	Tam Sayılı Programlama
[4]	Özçelik, Gündüz,2019	Bu çalışmada ürünlere uygun çeşitli kutuların uygun olacak raflara ataması yapılmıştır.	Açgözlü Algoritma
[9]	Hodzapfel, Kuhn, Sternberk, 2018	Bu çalışmada perakendede farklı depo merkezi türlerine ait dağıtım minimum maliyetle ürün ataması yapılmıştır.	Karma Tam Sayılı Programlama
[10]	Özçelik, Saraç, 2017	Bu çalışmada farklı yeteneklere sahip ajanların ve tek ajana atanması gereken kısıtların olduğu durumlar için bir atama modeli geliştirilmiştir.	Hedef Programlama
[11]	Liu, He, Shen, 2018	Bu çalışmada günlük yemeklerin kuryelere atanması ve teslimatın planlanmasına yönelik bir atama modeli geliştirilmiştir.	Karma Tam Sayılı Programlama
[12]	Cosmi, Oriolo, Piccialli, Ventura, 2022	Bu çalışmada siparişlerin kuryelere atanması konusunda bir model geliştirilmiştir.	Tam Sayılı Programlama
[13]	Khandelwal, Tiwari, Jain, Dube, Sachdeva, 2022	Bu çalışmada kurye atamaları üzerinde yöneylem araştırması tekniklerinin denenmesi konusunda bir çalışma yapılmıştır.	Tam Sayılı Programlama
[14]	Kurniawan, Puspitasari, 2020	Bu çalışmada mesafeleri ve kurye kapasitelerini dikkate alarak siparişlerin kuryelere atanması konusunda bir atama	Tam Sayılı Doğrusal Programlama

		modeli geliştirilmiştir.	
[15]	Lou, Jie, Zhang, 2020	Bu çalışmada siparişlerin kuryelere atanması ve kuryelerin işgücünün optimize edilmesi konusunda bir model geliştirilmiştir.	Karma Tam Sayılı Programlama

Atama problemlerine ilişkin literatür özeti Tablo 1’de yer almaktadır. Tabloda yer alan çalışmalarda atama problemlerine ilişkin çeşitli yöntemlerle çözülmüş problemler yer almaktadır. Literatürde atama problemlerinin farklı alanlarda uygulanmasına yönelik birçok çalışma mevcuttur. Tabloda paylaşılan atama problemlerine bakıldığında; siparişlerin depoda uygun konuma atanması, siparişlerin uygun tedarikçiye atanması, siparişlerin depoya atanması, ürünlerin raflara atanması problemleri yer almaktadır. Bu problemler belirli kısıtlar altında optimizasyon ve sezgisel algoritmalar ile modellenmişlerdir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde bir e-ticaret sitesi üzerinden verilen siparişlerin kargo firmalarına atanmasına yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma; mevcut literatürde bulunan atama problemlerinin çözüm yöntemlerinin e-ticaret siparişlerinin kargo firmalarına atanması problemine uygulanması açısından yenilikçi bir çalışmadır.

Tablo 1’de yer alan siparişlerin kuryelere atanması çalışmalarına bakıldığında ise yemek siparişlerinin veya gün içerisinde verilen gıda siparişlerin kuryelere atanmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde çalışanların iş yükü kısıtları, siparişlerin rotası, siparişlerin teslim süreleri dikkate alınarak modellendiği görülmüştür. Geliştirilen çalışma kapsamında siparişlerin kargo firmalarına atamaları kargo firma kapasitesi, kargo firmasının gittiği lokasyon kısıtları dikkate alınarak geliştirilmiştir.

III. METOT

A. SİPARİŞ-KARGO ATAMA OPTİMİZASYON MODELİ

Atama problemleri genellikle kombinatorial optimizasyon problemleri olarak kabul edilmektedir. Bu problemlerin büyüklüklerine göre bazı durumlarda makul sürede çözüm bulunamaz. Bu nedenle NP-zor problemler olarak da adlandırılmaktadırlar [16]. Atama problemlerine genel olarak bakıldığında personele vardiya atama, araçlara kargo atama, raflara ürün atanması, kargoların depo içerisinde bulunan konumlara atanması, mağaza veya depolara ürün atanması gibi çalışmalara rastlanmaktadır.

Sipariş kargo atama optimizasyon modeli, bir atama problemi olarak modellenmiştir.

Modele ait indisler; sipariş, kargo firmaları ve lokasyonlardan oluşmaktadır.

Modele ait indisler:

i : Gelen siparişler, $i = \{1, \dots, I\}$

j : Kargo firmaları, $j = \{1, \dots, J\}$

k : Lokasyonlar, $k = \{1, \dots, K\}$

Modele ait kümeler; sipariş-lokasyon durumlarının olduğu ikili kümelerden oluşmaktadır.

Modele ait kümeler:

Y_{ik} : i siparişinin k lokasyonu gittiği durumların kümesi

Modelin parametrelerini siparişin desisi, kargo firması bazında kapasiteler,

Modelin parametreleri; siparişlerin desileri, kargo firmalarının kapasiteleri, siparişin gideceği lokasyon, kargo firmalarının gidebildiği lokasyonlar, kargo firmasının gittiği lokasyonlar bazında desi maliyetlerinden oluşmaktadır.

Modelin parametreleri:

d_i : i siparişinin desisi

C_j : j kargo firmasının kapasitesi

y_{ik} : i siparişinin k lokasyonuna gitmesi

t_{jk} : j kargo firmasının k lokasyonuna gitmesi

p_{jk} : j kargo firmasının k lokasyonuna gitmesinin desi maliyeti

Modelin karar değişkenlerini; siparişin kargo firmasına verilip verilmeme durumu ve siparişin o kargo firmasına verildiğinde oluşturduğu maliyeti oluşturmaktadır.

Karar değişkenleri:

z_{ijk} : i siparişinin j kargo firması k lokasyonuna gitmesinin maliyeti

x_{ij} : i siparişinin j kargo firması verilmesi 1 diğer durumda 0

$$\text{En küçük } \sum_i^I \sum_j^J \sum_k^K z_{ijk} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j^J x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_i^I x_{ij} * d_i \leq C_j \quad \forall j \quad (3)$$

$$z_{ijk} \geq d_i * p_{jk} (y_{ik} + x_{ij} - 1) \quad \forall i, j, k \text{ ve } (i, k) \in Y_{ik} \quad (4)$$

$$(2 - y_{ik} - x_{ij}) * M + t_{jk} - 1 \geq 0 \quad \forall i, j, k \text{ ve } (i, k) \in Y_{ik} \quad (5)$$

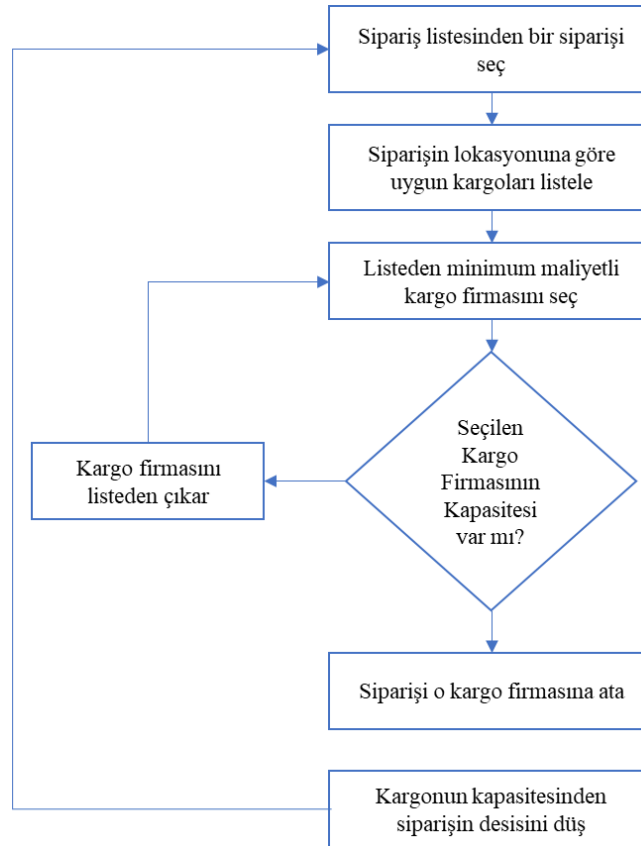
Modelin amaç fonksiyonu (1) maliyet minimizasyonu üzerine kurulmuştur. Burada amaç fonksiyonu siparişin gideceği lokasyona göre atanacağı kargo firmasının taşıma maliyetini minimize etmeyi hedeflemektedir. (2) numaralı kısıt her siparişin mutlaka bir kargo firmasına atanması gerektiğini göstermektedir. (3) numaralı kısıt her kargo firmasına atanan kargoların desi toplamının toplam kargo firmasının kapasitesini aşmaması gerektiğini göstermektedir. (4) numaralı kısıt amaç fonksiyonundaki siparişin kargo firmasına atanması durumunda kargo firmasının o lokasyona olan taşıma maliyetinin hesaplanmasını göstermektedir. (5) numaralı kısıt kargo firmasının sadece siparişin gideceği lokasyona gittiği durumlarda atamasını yapması gerektiğini göstermektedir.

Modelin varsayımları ise aşağıdaki gibidir.

- 1) Kargo firmalarının desu bazında çalıştığı varsayılmıştır.
- 2) Siparişlerin özel durumlarının olmadığı varsayılarak modelleme yapılmıştır (Kırılabilir ürünler, boyut, içerik olarak özel kargo firması ile taşınması gereken özel ürünler modele dahil edilmemiştir)
- 3) Lokasyon bazında bazı kargo firmalarının maliyet avantajı olsa da müşteri memnuniyeti açısından o firmalarla çalışılmama tercihi modele dahil edilmemiştir, her firma maliyet avantajı dışında eşit şekilde alınmıştır.

B. SİPARİŞ- KARGO ATAMA AÇĞÖZLÜ ALGORİTMA MODELİ

Sezgisel algoritmalar ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu tip algoritmaların çözüm süresi uzun olan veya makul sürede optimal bir çözüm elde edilemeyen problemlerde optimum çözümü garanti etmeden yaklaşık bir çözüm bulmak için kullanıldığı tespit edilmiştir. Diaz ve Fernandez [17] tarafından genel atama problemlerini NP-zor problemler olarak nitelendirerek bu problem çözümü için tabu arama sezgisel algoritma ile probleme çözüm getirmişlerdir. Özçelik ve Gündüz [4] tarafından, gerçek bir hayat problemi olan fabrikada kutuların raflara atanması probleminde problem boyutunun büyük olması ve matematiksel olarak çözülememesi nedeniyle açğözlü algoritma ile probleme çözüm getirilmiştir. Hızlı çözüm üretmesi ve kısıt sayısının az olması nedeniyle kolay uygulanabilir olması nedeniyle problem sezgisel algoritmaların içinden açğözlü algoritma ile modellenmiştir. Açğözlü arama tekniğinin mantığında ilgili aşamada eldeki seçenekler içinden en iyi olan seçilir. Açğözlü algoritmalarda amaç fonksiyonuna göre minimum ya da maksimum değer tercih edilebilir.



Şekil 3. Sezgisel Algoritma Akış Şeması

Şekil 3'te görüldüğü gibi; Gün içerisinde gelen siparişlerden bir tanesi seçilir, siparişin gideceği lokasyona göre uygun kargo firmaları listelenir, bu kargo firmaları arasından minimum maliyetli olan kargo firmasının kapasitesi varsa siparişin o kargo firmasına ataması yapılır. Kargo firmasının kapasitesi uygun değilse bir sonraki minimum maliyetli kargo firmasının kapasitesi kontrol edilir. Bu şekilde minimum maliyet ve kapasite doğrultusunda siparişlerin ilgili kargo firmalarına atamaları yapılır. Tüm atamalar tamamlandığında döngü sona erer. Bir lokasyona gidecek ortalama kargo sayısı o lokasyona gidecek kargo firmalarının kapasitesini karşılayacak şekildedir. Lokasyon bazında öngörülen sipariş miktarı baz alınarak aynı bölge için birden fazla kargo firması ile anlaşma sağlanması nedeniyle algoritma sonucunda her siparişin kapasite dışında kalmayacak şekilde ataması yapılabilmektedir.

IV. DENEY SONUÇLARI

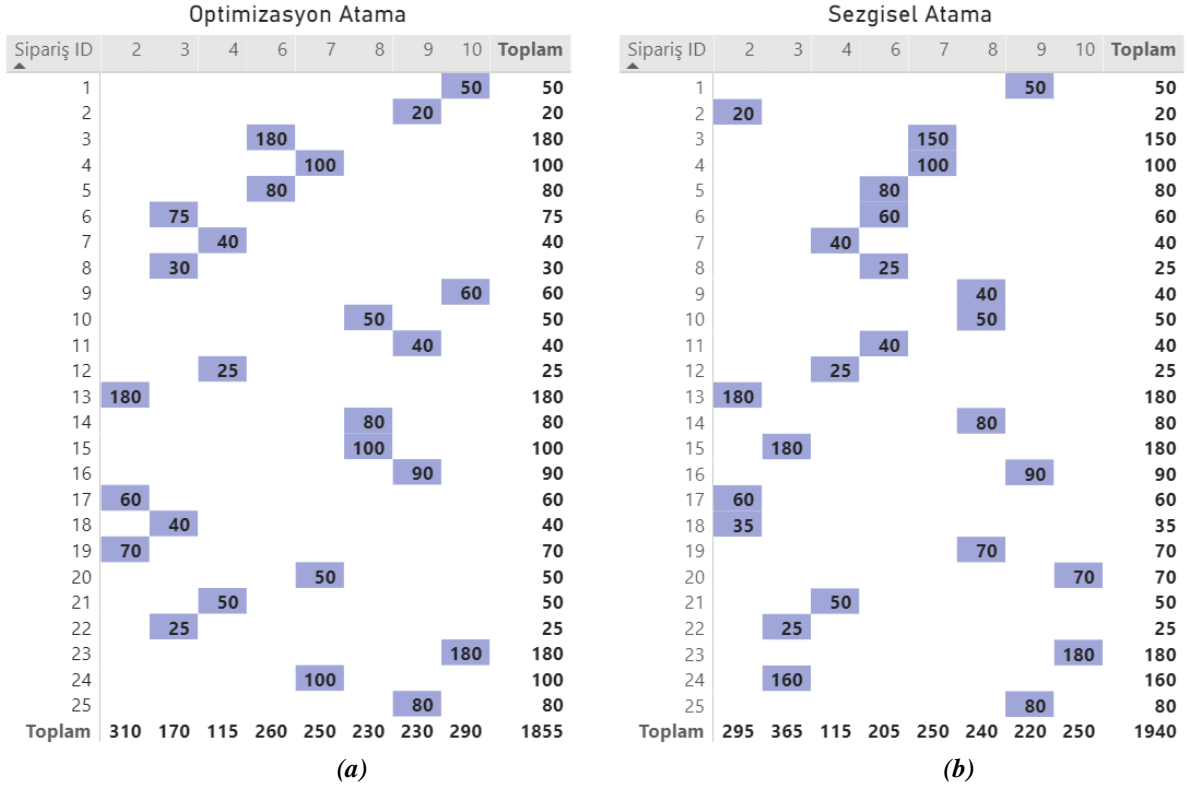
Çalışmalar optimizasyon ve sezgisel algoritma çözümleri üzerinde iki farklı senaryoda testler gerçekleştirilmiştir. Algoritmalar Python üzerinde kodlanmıştır. Optimizasyon çözümü için SCIP (Solve Constraint Integer Programs) optimizasyon çözücü kütüphanesi kullanılmıştır. Modeller i7 işlemci 16 GB ram 250 GB disk özelliklerine sahip bir dizüstü bilgisayarda çalıştırılmıştır.

İlk senaryoya göre siparişlerin gidebileceği lokasyon sayısı sabit tutulmuştur. Gelen sipariş sayısında değişim yapılmıştır.

Tablo 2. Senaryo 1 ve Sonuçları

Sipariş Sayısı	Kargo Firma Sayısı	Lokasyon Sayısı	Maliyet Sezgisel (₺)	Maliyet Optimizasyon (₺)	Fark Değeri (%)
25	10	25	1.940	1.855	4,4
50	10	25	3.330	3.185	4,4
100	10	25	9.731	9.353	3,9
200	10	25	19.329	18.460	4,5
300	10	25	30.991	30.048	3,0
400	10	25	41.021	39.109	4,7
500	10	25	50.846	48.904	3,8
600	10	25	62.192	59.958	3,6
1000	10	25	104.178	98.328	5,6
2000	10	25	204.412	195.585	4,3
3000	10	25	326.711	310.320	5,0

Yapılan değişiklikler ve sonuçlara ilişkin veriler Tablo 2'de yer almaktadır. Tablo 2 detaylı olarak incelendiğinde denenen veriler kapsamında optimizasyon çözümü ile sezgisel algoritmadan maliyet açısından %3 ile %5,6 arasında iyi bir sonuç elde edilmiştir. Bu veriler ile iki algoritma da saniyeler seviyesinde sonuç üretmiştir.



Şekil 4. (a) Optimizasyon Algoritması ve (b) Sezgisel Algoritma Sonuçlarına İlişkin Örnek Atamalar

Şekil 4 (a)'da Tablo 1'de yer alan 25 adet siparişin Optimizasyon algoritması ile atama sonuçları, Şekil 4 (b)'de Tablo 1'de yer alan 25 adet siparişin sezgisel algoritma ile atama sonuçları yer almaktadır. Optimizasyon algoritması tüm problemi ele aldığı için optimal açıklığı sıfır olup maliyeti 1855 olarak bulmuştur. Açgözlü sezgisel algoritma da ise gelen siparişlerin tümüne bakmaktansa sıradaki ilk sipariş için en uygun çözümü bulduğu için maliyeti 1940 olarak bulmuştur.

İkinci senaryoya göre hem sipariş hem lokasyon sayıları paralel olarak artırılmıştır.

Tablo 3. Senaryo 2 ve Süre Sonuçları

Sipariş Sayısı	Kargo Firma Sayısı	Lokasyon Sayısı	Süre Sezgisel (saniye)	Süre Optimizasyon (saniye)	Fark Değeri (%)
1000	10	100	4	223	98,2
1500	10	150	4	227	98,2
2000	10	200	6	229	97,4
2500	10	250	7	247	97,2
3000	10	300	8	536	98,5
3500	10	350	17	610	97,2
3800	10	380	17	1184	98,6
3900	10	390	20	24 saatte olurlu bir çözüm bulunamamıştır	--

Yapılan değişiklikler ve algoritma çözüm sürelerine ilişkin veriler Tablo 3'te yer almaktadır. Burada sipariş sayıları ve siparişlerin lokasyonları eş zamanlı olarak artırılmıştır. Elde edilen verilere göre

sezgisel algoritma saniyeler bazında çözüm üretmiştir. Problemin boyutu arttıkça optimizasyon algoritmasının çözüm sürelerinde artış meydana gelmiştir. Optimizasyon algoritmasında 3900 sipariş 10 kargo firması 390 lokasyon senaryosu çalıştırılmış ve 24 saat içerisinde olurlu bir çözüm bulunamamıştır. Optimizasyon sipariş lokasyon sayısı artırıldıkça optimizasyon algoritmasının çözümünün saatler sürdüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4. Senaryo 2 ve Maliyet Sonuçları

Sipariş Sayısı	Kargo Firma Sayısı	Lokasyon Sayısı	Maliyet Sezgisel (₺)	Maliyet Optimizasyon (₺)	Fark Değeri (%)
1000	10	100	140.613	123.334	12,3
1500	10	150	214.041	189.733	11,4
2000	10	200	277.251	242.103	12,7
2500	10	250	373.846	326.060	12,8
3000	10	300	438.851	396.980	9,5
3500	10	350	528.425	480.805	9,0
3800	10	380	604.598	548.359	9,3

Yapılan değişiklikler ve algoritma maliyetlerine ilişkin veriler Tablo 4’te yer almaktadır. Burada sipariş sayıları ve siparişlerin lokasyonları eş zamanlı olarak arttırılmıştır. Maliyetlere bakıldığında optimizasyon algoritma sonuçlarının sezgisel algoritma sonuçlarına göre %9 ile %12,8 arasında bir maliyet avantajı sağladığı tespit edilmiştir.

V. TARTIŞMA VE SONUC

Bu çalışmada siparişlerin kargo firmalarına atanması probleminde optimizasyon ve sezgisel olmak üzere iki yaklaşım ile çözüm getirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde problemdeki sipariş ve lokasyon sayılarındaki değişime göre kullanımı tercih edilecek algoritma da değişiklik göstermektedir. Problemin büyüklüğü arttıkça optimizasyon algoritmasının çözüm süresi artmakta bazı durumlarda çözüm veremez hale gelmektedir. Bu tarz büyük problemler için optimizasyon çözümünden %9 ile %12,8 arasında daha maliyetli aç gözlü algoritmanın seçilmesinin daha mantıklı olacağı tespit edilmiştir. Çalışmanın neticesinde firmanın günlük aldığı sipariş miktarı ve bu siparişlerin gittiği lokasyonlar dikkate alındığında optimizasyon algoritmasının günlük sipariş atamasında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bazı zamanlarda meydana gelen gün içerisinde gelen sipariş ve siparişlerin lokasyon sayısının optimizasyon çözüm limitlerini aşması durumunda sezgisel algoritmanın kullanılması öngörülmektedir.

Böyle bir çalışmanın mevcut sistemde ataması yapılan siparişlerin manuel işlemlerden kaynaklı hata oranlarının düşürülmesine, bu çalışmayı yapmak için kullanılan işgücünün daha verimli olarak kullanılabilmesine olanak sağlayacaktır.

Mevcut literatür çalışmaları incelendiğinde; literatürde çeşitli alanlarda atama problemleri yer almasına rağmen e-ticaret sitesinden verilen siparişlerin kargo firmalarına atanmasına yönelik optimizasyon ve sezgisel algoritma çözümü yer almaması nedeniyle bu çalışma ile literatüre katkı sağlanmıştır.

Mevcut durumda siparişlerin kargo firmalarına atamaları tüm siparişler dikkate alınmadan yapılmaktaydı, geliştirilen çözüm ile tüm siparişler, lokasyonları ve maliyetler dikkate alındığı için maliyet ve süre açısından kullanıcılara katkı sağlayacak bir çözüm geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın geliştirilmesi kapsamında matematiksel modelde varsayım olarak kabul edilen kargo firmalarının deseni bazında çalışma varsayımı; kargo firmalarının farklı desimler için farklı maliyetlendirme politikası modele dahil edilerek yeni bir çalışma yapılma potansiyeli bulunmaktadır.

Kargo firmalarının eşit ağırlıkta değerlendirilmesi sadece maliyet avantajına göre atama yapılması varsayımı; kargo firmalarının çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi ve bunun çıktısı olarak modele kargo firmalarının ağırlıklarının dahil edilmesi çalışmalarını için de yeni bir çalışma gerçekleştirilme potansiyeli bulunmaktadır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] Statista, 2021. *Küresel Perakende E-Ticaret Pazar Büyüklüğü 2014–2023/Statista*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.statista.com/statistics/379046/worldwide-retail-e-commerce-sales>.
- [2] eticaret sitesi, *Kargo Anlaşması Nedir, Nasıl Yapılır?* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.eticaret sitesi.com/kargo-anlasmasi-nedir-nasil-yapilir/>.
- [3] M. Berberler, “Sırt Çantası Problem Türleri ve Uygulamaları”, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, Türkiye, 2009.
- [4] T. Över Özçelik ve G. Gündüz, "Sezgisel Algoritmaları Kullanarak Raf Optimizasyonu Çalışması ve Bir Yazılım Uygulaması", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sayı. 16, ss. 977-982, 2019.
- [5] S. Zhang, L. Fu, R. Chen, Y. Mei, “Optimizing the cargo location assignment of retail e-Commerce based on an artificial fish swarm algorithm”, *Mathematical Problems in Engineering*, 2020.
- [6] C. Dethlefs, Ostermeier, M., A. Hübner, “Rapid fulfillment of online orders in omnichannel grocery retailing”, *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 100082, 2022.
- [7] Ö. Karsu, M. Azizoglu, “An Exact Algorithm For The Minimum Squared Load Assignment Problem”, *Computers and Operations Research*, 106, p. 76-90, 2019.
- [8] K. Erten, (2021). “Uygunluk kısıtlı çok kaynaklı genelleştirilmiş atama problemi için bir tavlama benzetimi algoritması”, Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Türkiye, 2021.
- [9] A. Holzapfel, H. Kuhn and M. G Sternbeck, “Product Allocation to Different Types of Distribution Center in Retail Logistics Networks”, *European Journal of Operational Research*, 264: 948-966, 2018.
- [10] F. Özçelik, T. Saraç, “Farklı Yeteneklere ve Önceliklere Sahip Ajanların ve Aynı Ajana Atanması Gereken İşlerin Olduğu Çok Kaynaklı Genelleştirilmiş Atama Problemi için Bir Hedef Programlama Modeli”, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5(1), 75-90, 2017.
- [11] S. Liu, L. He and Z. J. M. Shen, “Data-Driven Order Assignment for Last Mile Delivery”, *SSRN Electronic Journal*, 2018.
- [12] M. Cosmi, G. Oriolo, V. Piccialli and P. Ventura, “Assigning Orders to Couriers in Meal Delivery via Integer Programming”, 2022.

- [13] R. Khandelwal, A. Tiwari, M. Jain, R. Dube and A. Sachdeva, “A Study on the Application of Operations Research in Courier Service Industry”, *International Journal of Environmental Economics, Commerce and Educational Management (ECEM)*, 9(12), 1-6, 2022.
- [14] V. R. B. Kurniawan and F. H. Puspitasari, “A Mathematical Model for Delivery Zone Groups Based on Courier Assignment Optimization: A Case Study in a Logistics Service Provider”, *Spektrum Industri*, 18(2), 183, 2020.
- [15] Z. Lou, W. Jie and S. Zhang, “Multi-objective optimization for order assignment in food delivery industry with human factor considerations”, *Sustainability*, 12(19), 7955, 2020.
- [16] G. Qu, D. Brown and N. Li, “Distributed greedy algorithm for multi-agent task assignment problem with submodular utility functions”, *Automatica*, 105, 206-215, 2019.
- [17] A. J. Diaz and E. Fernández, “A tabu search heuristic for the generalized assignment problem”, *European Journal of Operational Research*, 132(1), 22-38, 2001.