

Araştırma Makalesi / Research Article

Meta-Sezgisel Yöntemler Kullanılarak Tedarikçi Yönetimli Envanter Yaklaşımını İki Aşamalı Tedarik Zinciri Probleminin Optimizasyonu*

Harun ÖZTÜRK¹, Fatih Ahmet ŞENEL², Mahmut Sami ÖZTÜRK³

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, İşletme, Isparta, 32300, Türkiye, harunozturk@sdu.edu.tr, 0000-0003-0193-6663.

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Isparta, 32300, Türkiye, fatihsenel@sdu.edu.tr, 0000-0003-1918-7277.

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, İşletme, Isparta, 32300, Türkiye, samiozturk@sdu.edu.tr, 0000-0002-7657-3150.

Öz

Stoklar tedarik zinciri içerisinde farklı noktalarda olabildiğinden, stok yönetiminin tedarik zinciri performansı açısından oldukça önem arz ettiği söylenebilir. Tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımı, stok yönetiminde iyi bir strateji olarak görülmektedir ve birçok perakendeci tarafından uygulanmaktadır. Bu çalışmada, tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımını uygulayan iki aşamalı bir tedarik zinciri modeli ele alınmaktadır. Sınırlı depolama alanı ve sonlu taşıma sayısı varsayımları altında, tek bir tedarikçiden tek bir perakendeciye çok sayıda ürünün teslimi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmadaki amaç, kısıtlar altında toplam stok maliyetini minimum yapan sipariş ve maksimum stoksuzluk miktarlarının bulunmasıdır. Yakın optimum sonuçlar, önerilen genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmasıyla elde edilmiş ve parametre değişimlerinin sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Tedarik zinciri yönetimi, tedarikçi yönetimli envanter, genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu, doğrusal olmayan tamsayılı programlama, stoksuzluk.*

Optimization of A Two-Level Supply Chain Problem with Vendor-Managed Inventory Using Meta-Heuristic Methods

Abstract

Since inventories can be at different points in the supply chain, it can be said that inventory management is very important for supply chain performance. The vendor-managed inventory approach is considered a good strategy in inventory management and is implemented by many retailers. In this study, a two-stage supply chain model that implements the vendor-managed inventory approach is discussed. Under the assumptions of limited storage space and finite number of transport, the delivery of a large number of products from a single supplier to a single retailer occurs. The aim of this study is to find order and maximum shortage quantities that minimize the total inventory cost under constraints. Near optimum results were obtained with the proposed genetic algorithm and particle swarm optimization algorithm, and the effect of parameter changes on the results was investigated.

Keywords: *Supply chain management, vendor-managed inventory, genetic algorithm, particle swarm optimization, nonlinear integer programming, shortages.*

*Harun Öztürk/harunozturk@sdu.edu.tr

1. Giriş

Tedarik zinciri geleneksel anlamda, bu zinciri oluşturan üyelerin aldığı kararların, tedarik zincirinin diğer üyeleri üzerindeki etkisini dikkate almadan tek taraflı biçimde alındığı bir süreç olarak algılanmaktadır (Govindan, 2013). Bu süreç aynı zamanda, tedarik zincirindeki her bir üyenin kendi maliyetini optimum yapmak istemesi—maliyet optimizasyonu— olarak da adlandırılabilir (Govindan, 2013). Stok yönetimi hem araştırmacıların hem de endüstriyel işletmelerin toplam stok maliyetini düşürmek amacıyla birçok strateji geliştirdiği tedarik zinciri yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Müşteri taleplerinin zamanında ve istenilen düzeyde karşılanması müşteri hizmet düzeyinin yüksek olmasını sağlayacaktır. Bu ise, ancak eldeki stok miktarının yeterli olmasıyla mümkün olacaktır.

Araştırmalar, tedarikçi yönetimli envanter (VMI) yaklaşımının, stok düzeyini düşürerek ve müşteri hizmet düzeyini artırarak, tedarik zinciri performansını iyileştirebileceğini göstermiştir (Yao vd., 2007; Çankaya, 2020). Tedarikçi ve müşteri (perakendeci) için daha az stok maliyetleri, sipariş çevrim süresinde azalma ve daha fazla müşteri hizmet düzeyi VMI yaklaşımının sağladığı faydalar arasındadır (Sarı, 2006; Sui vd., 2010). Bu durum, VMI yaklaşımının endüstride kullanımının zamanla artmasını sağlamıştır (Çetinkaya ve Lee, 2000). VMI sisteminde, perakendecideki stok kontrolü üreticisi tarafından gerçekleştirilmektedir. VMI yaklaşımı; perakendecinin stok miktarını ve müşteri talep bilgilerini, elektronik veri değişimi gibi bilgi teknolojileri yardımıyla tedarikçisiyle paylaştığı, tedarikçinin de perakendeciye ne zaman ne kadar ürün teslimatı yapması gerektiğine karar verdiği bir tedarikçi-müşteri türü ortaklığıdır (Sarı ve Güngör, 2007; Darwish ve Odah, 2010). Bu yaklaşımla, tedarikçi, uzun vadeli satış planını oluşturmuş ve malzeme akış kontrolünü sağlamış olurken, müşteri, sipariş maliyetinden ve aşırı stok düzeyinden kendini korumuş olur (Nia vd., 2014).

Tedarikçi yönetimli envanter sisteminin karar değişkenlerine ilişkin optimum değerler, doğrusal olmayan amaç fonksiyonuna sahip optimizasyon problemlerinin çözümüyle elde edilebilmektedir. Bu tür problemler için optimum çözümü bulmak geleneksel algoritmalar dışında yeni metodolojiler gerektirmektedir (Diabat, 2014).

Pasandideh vd. (2011), VMI yaklaşımı altında tek bir tedarikçiden ve tek bir perakendeciden oluşan iki aşamalı tedarik zinciri sistemi için stoksuz kalma durumuna izin veren çok ürünlü ekonomik sipariş miktarı modeli önermişlerdir. Tedarikçinin depolama alanının, tedarikçiden perakendeciye gönderilen ürünler için sipariş (taşıma) sayısının sınırlı olması ve sabit ve değişken stoksuzluk maliyetleri problemdeki diğer varsayımlardır. Tüm bu varsayımlar altında, tedarik zincirinin toplam maliyetini minimum yapacak optimum sipariş miktarları önerilen bir genetik algoritma yardımıyla elde edilmiştir. Cárdenas-Barrón vd. (2012), aynı problemi çözmek için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Ayrıca, Pasandideh vd. (2011) tarafından geliştirilen modeldeki kısıt denklemleri için bazı düzeltmeler önermişlerdir. Sayısal çözümler sonucunda geliştirilen algoritmanın, toplam sistem maliyeti,

toplam maliyet fonksiyonunun değerlendirme sayısı ve hesaplama süresi açısından genetik algoritmadan daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Sadeghi vd. (2014), tek bir ürünün tek bir tedarikçiden çok sayıdaki perakendeciye partiler halinde teslim edildiği bir tedarik zinciri probleminde, taşıma maliyetini dikkate almışlar, talep miktarını bir yamuk bulanık sayı olarak tanımlamış ve durulaştırma yöntemi olarak merkezi yöntemi kullanmışlardır. Problem genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu ile çözülmüş ve tedarikçi yönetimli envanter ve konsinye stok yaklaşımlarının sistem performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Diabat (2014), VMI sisteminin tek satıcı ve çoklu alıcıdan oluşan iki aşamalı tedarik zinciri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Genetik algoritma ve benzetilmiş tavlama algoritmalarından yararlanarak hibrit bir algoritma önermiş ve bu algoritma yardımıyla toplam karı maksimum yapacak şekilde optimum satış miktarını bulmayı amaçlamıştır. Sayısal analiz sonucunda önerilen hibrit algoritmanın, aynı modeli çözmek için Nachiappan ve Jawahar (2007) tarafından önerilen genetik algoritmadan daha iyi performans gösterdiği ve daha iyi sonuçlar sağladığı elde edilmiştir. Yok satmaya (stoksuz kalmaya), teslim alınan siparişlerde kusurlu ürün bulunmasına ve bu ürünlerin tamirine ya da bu ürünler kadar iyi kalitedeki ürünlerin yerel bir tedarikçiden teslim alınmasına izin veren tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımli problem, Amirhosseini vd. (2018) tarafından ele alınmış ve genetik algoritma ile yayılımcı rekabetçi algoritma kullanılarak çözülmüştür. Ashraf vd. (2021), tek bir tedarikçiden tek bir perakendeciye çok sayıda ürünün tesliminin yapıldığı, yok satmaya izin veren ve tedarikçi yönetimli envanter stratejisini benimseyen iki aşamalı tedarik zinciri probleminde, sipariş ve talep miktarlarını aralık değerli tip-2 bulanık sayılar olarak tanımlamış ve yakın optimum sonuçları parçacık sürü optimizasyonu algoritmasıyla elde etmişlerdir. Nahas vd. (2023), çok sayıda tedarikçiden ve çok sayıda perakendeciden oluşan iki aşamalı tedarik zinciri probleminde, tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımının toplam sistem maliyeti ve üretim ve taşımadan kaynaklanan karbon gazı emisyon miktarları üzerindeki birlikte etkisini araştırmıştır. Benzetimli tavlama algoritması ve doğrusal olmayan eşik algoritması kullanılarak yakın optimum sonuçlar elde edilmiştir.

Literatürde, tedarikçi yönetimli envanter sistemine ilişkin matematiksel modellerin geliştirilmesi ve formülasyonunun sağlanması üzerine hem akademik hem de endüstriyel çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda asıl amacın optimuma yakın daha iyi sonuçların elde edilebilir olduğunun gösterilmesidir diyebiliriz. Bu çalışmalarda, genetik algoritma başta olmak üzere meta-sezgisel algoritmalarından oldukça fazla yararlanılarak yakın-optimum sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, ele alınan araştırmalardaki teorik modellerin uygulanabilirliğini arttırmıştır. Dolayısıyla, tedarikçi yönetimli envanter sistemlerine ilişkin problemleri çözmeye daha sağlam algoritmaların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu noktadan hareketle bu çalışmada, tedarikçi yönetimli envanter sistemi yaklaşımını dikkate alan tek bir tedarikçi ve tek bir perakendeciden oluşan iki aşamalı bir tedarik zinciri modeli ele alınmaktadır. Bu problemdeki

amaç, sınırlı depolama alanı ve sınırlı taşıma sayısı varsayımları altında tedarikçi ile perakendeci arasındaki sipariş ve stoksuzluk miktarlarını bulmaktır. Bu problemi çözmek için genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu olmak üzere iki farklı meta-sezgisel algoritma önerilmiştir. Bu durumda, Pasandideh vd. (2011) tarafından ele alınan problemin, farklı bir optimizasyon algoritmasıyla çözümünün elde edilmesi ve genetik algoritma için popülasyon büyüklüğünün ve iterasyon sayısının değişmesi, bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran önemli özelliklerdendir ve literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Bu çalışma şu şekilde organize edilmiştir: bir sonraki bölümde problemin tanımı için kullanılan semboller ve varsayımlar verilmektedir. Bölüm 3'te matematiksel model ve önerilen algoritmalar açıklanmaktadır. Bölüm 4'te sayısal analiz sonuçlarına ve duyarlılık analizlerine yer verilmektedir. Sonuç bölümünde, çalışmanın özeti ve elde edilen bulgular yer almaktadır.

2. Varsayımlar ve simgeler

Matematiksel modeli geliştirmede kullanılan semboller ve varsayımlar aşağıdaki gibidir.

Semboller:

$i = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere

n	Ürün sayısı
D_i	i . ürün talep miktarı
Q_i	i . ürün sipariş miktarı; karar değişkeni
b_i	i . ürün maksimum stoksuzluk miktarı; karar değişkeni
TC	Tedarik zinciri toplam maliyeti
KR	Perakendeci toplam maliyeti
KS	Tedarikçi toplam maliyeti
A_S	Tedarikçinin sipariş maliyeti
A_R	Perakendecinin sipariş maliyeti
π	Birim sabit stoksuzluk maliyeti
$\hat{\pi}$	Birim değişken stoksuzluk maliyeti
h_{Ri}	i . ürünün bir birimini birim zaman başına stokta tutma maliyeti
f_i	i . ürünün bir birimi için gerekli stoklama alanı
F	Tüm ürünler için maksimum depolama alanı
M	Tüm ürünler için maksimum sipariş sayısı

Varsayımlar:

1. Tedarik zinciri tek bir tedarikçi ve tek bir perakendeciden oluşmaktadır.
2. Tedarikçiden perakendeciye n tane ürün taşınmaktadır.
3. Perakendeciye gönderilecek ürünlerin miktarı ve zamanı tedarikçi tarafından belirlenmektedir.
4. VMI yaklaşımı altında tedarik zinciri toplam maliyeti tedarikçinin toplam maliyetine eşittir.
5. Stoksuz kalmaya izin verilmektedir. Karşılanamayan talep bir sonraki sipariş tesliminde tamamen karşılanmaktadır.
6. Tedarik süresi sıfırdır.
7. Talep miktarları bilinmektedir ve sabittir.
8. Tedarikçi için depolama alanı sınırlıdır.
9. Tüm ürünler için sipariş sayısı sınırlıdır.

3. Matematiksel model

Bu çalışmada ele alınan envanter probleminin bir tanımı aşağıdaki gibi yapılabilir. Tek bir tedarikçiden tek bir perakendeciye tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımı altında n tane ürün gönderilmektedir. Bu yaklaşım altında ürün miktarları ve gönderim zamanları tedarikçi tarafından belirlenmektedir. Tedarikçinin tüm ürünler için stoklama alanı sınırlıdır ve maksimum stoklama alanı F ile gösterilmektedir. Bununla birlikte, her bir ürün için sipariş sayısının sınırlı olduğu ve en fazla M tane yapıldığı varsayılmaktadır. Perakendeci, tedarikçinin gerekli siparişi zamanında sağlayamaması sonucu stoksuz kalma durumu ile karşılaşmaktadır ve stoksuz kalınan miktar bir sonraki sipariş teslim alındığında eldeki stoktan tamamen karşılanmaktadır.

Tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımı dikkate alındığında tedarikçi ve perakendeci toplam maliyetleri ve tedarik zinciri bütünleşik toplam maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Perakendeci için ortaya çıkan maliyetlerin (sipariş verme ve stokta tutma) tedarikçi tarafından katlanması nedeniyle perakendeci toplam maliyeti $KR = 0$ olmaktadır. Tedarikçi için toplam maliyet aşağıdaki gibidir.

$$KS = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_S D_i}{Q_i} + \frac{A_R D_i}{Q_i} + \frac{h_{Ri} (Q_i - b_i)^2}{2Q_i} + \frac{\hat{\pi} b_i^2}{2Q_i} + \frac{\pi b_i D_i}{Q_i} \right). \quad (1)$$

Tedarik zinciri toplam maliyeti, tedarikçi ve perakendeci maliyetleri toplamıdır ve aşağıdaki gibidir.

$$TC = KR + KS$$

$$= \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_i (A_S + A_R)}{Q_i} + \frac{h_{Ri} (Q_i - b_i)^2}{2Q_i} + \frac{\hat{\pi} b_i^2}{2Q_i} + \frac{\pi b_i D_i}{Q_i} \right). \quad (2)$$

Bu problemdeki amaç, tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımını iki aşamalı tedarik zinciri bütünleşik toplam maliyetini minimum yapacak ve tüm kısıtları sağlayacak şekilde her bir üründen verilecek sipariş miktarının ve maksimum stokluluk miktarının belirlenmesidir. Problemdeki kısıtlar aşağıdaki gibidir:

1. Tüm ürünler için depolama alanı sınırlıdır, maksimum depolama alanı F 'dir.
2. Tüm ürünler için sipariş/çevrim sayısı sınırlıdır, maksimum sipariş sayısı M 'dir.

Bu durumda, tedarik zinciri probleminin matematik formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$TC = \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_i(A_S + A_R)}{Q_i} + \frac{h_{Ri}(Q_i - b_i)^2}{2Q_i} + \frac{\hat{\pi}b_i^2}{2Q_i} + \frac{\pi b_i D_i}{Q_i} \right)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n f_i(Q_i - b_i) \leq F, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{D_i}{Q_i} \leq M,$$

$$b_i \leq Q_i$$

$$Q_i > 0: \text{Tamsayı olmak üzere, } i = 1, 2, \dots, n$$

$$b_i \geq 0: \text{Tamsayı olmak üzere, } i = 1, 2, \dots, n.$$

(3) eşitliği ile verilen formülasyon bir doğrusal olmayan tamsayılı programlama modelidir. Bu model için meta-sezgisel yöntemler kullanılarak yakın-optimum çözümler elde edilebilecektir.

3.1. Genetik algoritma

Genetik Algoritma (GA), Holland (1992) tarafından evrim teorisinden esinlenilerek geliştirilmiş bir meta sezgisel algoritmadır. GA'da kromozom, mutasyon, çaprazlama ve seçim olmak üzere 4 farklı tanımlama bulunmaktadır. Kromozomlar popülasyondaki bireyleri temsil etmektedir. Kromozomların kodlanması ile ilgili olarak, ikili, permütasyon ve değer kodlama gibi farklı stratejiler mevcuttur. Genel olarak ikili kodlama birçok problemin çözümünde uygundur. Kromozomlar genlerden oluşmaktadır. Bu çalışmada, Q ve b değerleri için ayrı ayrı 12 genlik bir kromozom yapısı kullanılmıştır. Q ve b değerleri 1 ile $2^{12}=4096$ aralığındaki tam sayılardan meydana gelmektedir. 10 farklı gözlem verisi üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Her bir gözlem için 12 gen Q değerleri, 12 gen b değerleri olmak üzere toplamda her bir birey 240 genden oluşan kromozom yapısıyla temsil edilmiştir. Şekil 1'de kromozom yapısı gösterilmiştir.

Toplam 240 adet genden oluşan kromozom yapısı	
Q değerleri için kullanılan 120 adet gen	b değerleri için kullanılan 120 adet gen

Şekil 1. Kullanılan kromozom yapısı

GA, diğer meta sezgisel algoritmalarda olduğu gibi rasgele olarak başlatılan bir başlangıç popülasyonu ile başlatılır. Bu çalışma için 1 ile 4096 arasında sayılar ikili tabanda 12 bit (gen) ile temsil edilmiştir. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması ile GA'nın çaprazlama, mutasyon ve seçim işlemleri başlatılır.

3.1.1. Çaprazlama

GA'da çaprazlama işlemi popülasyon rasgele seçilen 2 tane kromozomun (birey) çaprazlanması ile yeni bireylerin oluşturulması ile gerçekleştirilir. Çaprazlama işlemi rasgele seçilen bir veya daha fazla noktadan iki bireyin genlerinin yer değiştirilmesi ile yapılır. Böylece yeni oluşan bireylerin, çoğunlukla ebeveyn bireylerden daha iyi olması sağlanmaktadır. Bu çalışmada tek noktadan çaprazlama kullanılmıştır.

3.1.2. Mutasyon

GA'da lokal minimumlara takılmayı engellemek için mutasyon işlemi kullanılır. Mutasyon işlemi ile popülasyondaki seçilen bir bireyin kromozom yapısındaki genlerden bir veya birkaçının rasgele olarak değiştirilmesi sağlanır. Mutasyona uğrayacak olan genin rasgele belirlenmesinden sonra, seçilen genin değeri 0 ise 1'e, 1 ise 0'a dönüştürülmesi ile mutasyon gerçekleştirilmiş olur.

3.1.3. Seçim

GA'nın en önemli adımlarından sonuncusu ile seçim aşamasıdır. Her iterasyonda hangi bireylerin gelecek nesile aktarılacağına karar verilen süreç seçim aşamasıdır. Seçme işlemi için literatürde turnuva seçimi, en iyi bireylerin aktarılması, rulet tekerleği gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada turnuva seçimi yöntemi ile bir sonraki nesil belirlenmektedir. Turnuva seçiminde popülasyon büyüklüğü sabit olacak şekilde, her defasında mevcut popülasyondan rasgele olarak 2 tane birey seçilir. Seçilen bu bireylerden fitness değeri iyi olan birey gelecek nesile aktarılır. Yeni nesil istenen sayıya ulaşıncaya kadar bu işlem tekrar edilir.

GA, önceden belirlenen bir iterasyon sayısına ulaşıncaya veya belirlenen bir durdurma kriterine ulaşıncaya kadar devam ettirilir.

3.2. Parçacık sürü optimizasyonu

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması, Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilmiş literatürdeki en güçlü algoritmalarından biridir. PSO, kuş ve balık sürülerinin av arama sırasındaki göstermiş oldukları arama faaliyetlerinden esinlenilerek geliştirilmiştir. Başlangıç

popülasyonu rasgele oluşturulan PSO algoritmasında her iterasyonda popülasyondaki parçacıkların pozisyon güncellemeleri Denklem 4 ve 5'te gösterildiği şekilde gerçekleştirilmektedir.

$$\bar{x}_{n+1}^i = \bar{x}_n^i + \bar{v}_{n+1}^i \quad (4)$$

$$\bar{v}_{n+1}^i = \bar{v}_n^i + c_1 r_1 (\bar{p}_n^i - \bar{x}_n^i) + c_2 r_2 (\bar{p}_n^g - \bar{x}_n^i) \quad (5)$$

Burada, \bar{x}_n^i popülasyondaki bireylerin konumlarını temsil etmektedir. PSO'da her bir parçacığın sahip olduğu bir hız değeri vardır. Parçacıkların hız değerleri \bar{v}_n^i olarak ifade edilmektedir. ω, c_1, c_2 katsayıları sabit katsayılardır. r_1 ve r_2 ise 0-1 aralığında üretilen rasgele sayılardır. n , iterasyon adımını, i ise popülasyondaki parçacıkların indisini temsil etmektedir. Popülasyondaki her bir bireyin önceki iterasyonlar boyunca ulaşabildiği en iyi fitness değeri ve konum bilgilerini (\bar{p}_n^i) hafızada tuttuğu varsayılmaktadır. Ayrıca popülasyondaki tüm bireylerinde ulaşabildiği en iyi konum bilgisi de (\bar{p}_n^g) hafızada tutulmaktadır.

4. Sayısal analiz

Bu çalışmada ele alınan problemin geçerliliğini ve uygulanabilirliğini göstermek ve önerilen yöntemlerin performanslarını karşılaştırmak amacıyla sayısal bir analiz yapılmıştır. İlgili parametre değerleri aşağıdaki gibidir: $F = 18000$, $M = 12$, $\pi = 0$ ve $\hat{\pi} = 3$. Ayrıca diğer parametrelere ilişkin değerler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Sayısal analiz için gerekli parametre değerleri

Ürün (i)	D_i	A_{iS}	A_{iR}	h_{Ri}	f_i
1	420	1	3	4	3
2	360	2	2	9	2
3	540	3	1	7	3
4	390	5	4	2	1
5	480	2	2	4	4
6	510	4	2	6	3
7	530	1	3	5	2
8	380	2	1	3	1
9	430	3	4	2	3
10	580	4	2	8	4

Tablo 2'de iterasyon adımı 100 ve 1000 için ayrı ayrı genetik algoritma sayısal analiz sonuçları verilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere iterasyon adımı arttıkça toplam maliyette önemli ölçüde iyileşme olmaktadır. Örneğin 100 iterasyon için toplam maliyet 15469 TL iken 1000 iterasyon için toplam maliyet 11524 TL'ye düşerek yaklaşık olarak %25.5 oranında azalma göstermiştir. Ayrıca stoklama alanı ve taşıma sayısı için kısıtların sağlandığı görülmektedir. Burada P_c çaprazlama oranını ve P_M ise mutasyon oranını ifade etmektedir.

Tablo 2. GA için sayısal analiz sonuçları

P_M	P_c	n	N	Q_i	b_i	F	Zaman (s)	M	Toplam maliyet (TL)
0.05	0.66	100	30	1429, 3330, 562, 986, 1730, 3096, 1073, 3204, 1862, 2350	442, 2513, 1595, 310, 1042, 947, 675, 1100, 1229, 721	14136	0.32204	4	15469
0.25	0.85	1000	30	2048, 1024, 1024, 2048, 1024, 768, 2559, 1024, 1024, 256	1170, 770, 511, 1024, 585, 512, 2048, 521, 383, 192	11933	3.12406	6	11524

İterasyon sayısının (n) ve popülasyon sayısının (N) aynı olduğu durum için, yani $n=100$, $n=1000$ ve $N=30$, sipariş ve stoksuzluk miktarları ile toplam maliyet PSO yöntemi kullanılarak elde edilmiştir ve sonuçlar Tablo 3'de gösterilmektedir. GA yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında toplam maliyette sırasıyla yaklaşık %61 ve %76 oranında bir azalma elde edilmiştir. İki yöntemle elde edilen çözüm sonuçları karşılaştırıldığında PSO yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. GA yöntemini kullanarak daha iyi sonuçlar elde etmek için, yineleme sayısının veya popülasyonun artırılması gerektiğinden, sürece daha fazla zaman ayrılması gerekecektir.

Tablo 3. PSO için sayısal analiz sonuçları

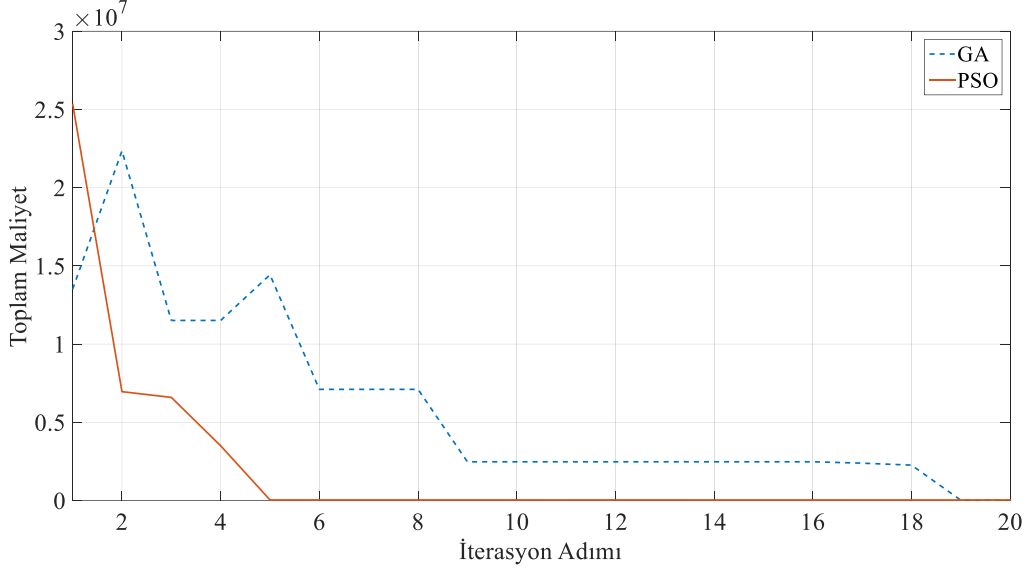
n	N	Q_i	b_i	F	Zaman (s)	M	Toplam maliyet (TL)
100	30	579, 512, 502, 724, 510, 557, 205, 506, 298, 382	194, 284, 369, 557, 336, 475, 190, 488 175, 297	2621	0.038047	12	4437
1000	30	392, 355, 322, 447, 402, 433, 454, 402, 428, 334	239, 320, 178, 176, 188, 315, 320, 172, 258, 305	3566	0.350401	12	3761

Stokta tutma maliyetindeki (h_{Ri}) değişimlerin GA ve PSO algoritmalarına göre sayısal analiz sonuçları aşağıdaki gibidir. Görüldüğü üzere iterasyon sayısı 100 iken stokta tutma maliyeti %50 oranında azaldığında GA için toplam maliyet yaklaşık olarak %12 azalırken, PSO için toplam maliyet yaklaşık olarak %34 oranında azalmıştır. İterasyon sayısı 1000 iken stokta tutma maliyeti %50 oranında arttığında GA için toplam maliyet yaklaşık olarak %50 artarken, PSO için toplam maliyet yaklaşık olarak %17 oranında artmıştır.

Tablo 4. h_{Ri} deki değişimlere göre GA ve PSO için sayısal analiz sonuçları

	h	n	Q_i	b_i	F	Zaman (s)	M	Toplam maliyet (TL)
GA	-%50	100	528, 2656, 1536, 2050, 4095, 1024, 2048, 1025, 256, 2048	224, 2048, 804, 1024, 3072, 512, 960, 512, 64, 1151	17831	3.09	5	13597
	+%50	1000	384, 3072, 448, 2048, 2562, 288, 768, 2559, 2048, 2295	256, 2560, 384, 1056, 2048, 240, 559, 2048, 1024, 2048	9781	3.11	6	17318
PSO	-%50	100	493, 261, 326, 286, 470, 521, 467, 352, 413, 410	297, 178, 141, 119, 103, 211, 370, 127, 74, 256	5926	0.33	12	2929
	+%50	1000	366, 350, 472, 460, 462, 337, 425, 257, 457, 422	227, 337, 408, 285, 362, 217, 352, 190, 302, 372	2448	0.35	12	4390

Sayısal analiz sonucunda, GA ve PSO yöntemleri karşılaştırıldığında, PSO yönteminin bu problemin çözümünde GA yöntemine göre daha uygun olduğu görülmektedir. GA yöntemiyle elde edilemeyen değerler, PSO yöntemiyle elde edilmiştir ve bu durum sonuçlarla da gösterilmiştir. Ayrıca PSO yönteminin çalışma süresi açısından GA yöntemine göre daha avantajlı olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 2’de iterasyon adımının (yineleme sayısı) artmasıyla GA ve PSO yöntemlerinden elde edilen toplam maliyet değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2. İterasyon adımıdaki değişimin toplam maliyet üzerindeki etkisi

5. Sonuç

Günümüz piyasa şartlarında rekabet edebilmek için işletmeler maliyetlerini düşürmeli ve aynı zamanda müşteri memnuniyetini de sağlamalıdır. Stok bulundurmamak işletmelerin faaliyetlerinin kesilmemesi için gereklidir ve tedarik zincirinde stoklar farklı noktalarda ve fabrikalarda bulunabilmektedir. Bu noktada, stok maliyetlerini azaltmak tedarik zincirinin performansının artırılması açısından önem arz etmektedir. Tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımını uygulamak, tedarik zinciri performansı üzerinde olumlu etki yapmakta ve zincirdeki tüm üyeler için de faydalı olabilmektedir. Bu çalışmada, sınırlı depolama alanı, sonlu taşıma sayısı ve yok satma varsayımları altında tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımını uygulayan, çok ürünlü, tek bir tedarikçiden ve tek bir perakendeciden oluşan bir tedarik zinciri problemi, meta-sezgisel yöntemler kullanılarak optimize edilmiştir. Sipariş ve maksimum stoksuzluk miktarlarının ve tedarik zinciri sistemi toplam maliyetinin yakın optimum değerleri, genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanılarak bulunmuştur. Duyarlılık analizi sonuçlarından, GA yöntemine göre PSO yöntemiyle daha kısa sürede daha iyi sonuçlar elde edilebilmiştir. PSO yönteminin daha az iterasyon ve daha az popülasyon ile problemin çözümüne olanak sağladığı söylenebilir. Elde edilen sonuçlardan, PSO yönteminin bu çalışmada ele alınan problemin çözümü için GA yöntemine göre daha uygun olduğu söylenebilir.

Çalışmada ele alınan problem balina optimizasyonu algoritması ve diferansiyel gelişim algoritması ile çözülebilir.

6. Yazar beyanı

6.1. Araştırma ve yayım etiği beyanı

Bu çalışma Etik kurul onayı gerektirmemektedir.

4.2. Çıkar çatışması beyanı

Yazarlar açısından ya da üçüncü taraflar açısından makaleden kaynaklanan çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Amirhosseini, K., Pasandideh, S. H. R., & Mohammadi, M. (2018). Solving and modeling a stochastic multiproduct vendor managed inventory problem with defective items. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(6), 339-351.

Ashraf, Z., Malhotra, D., Muhuri, P. K., & Lohani, Q. D. (2021). Interval type-2 fuzzy vendor managed inventory system and its solution with particle swarm optimization. *International Journal of Fuzzy Systems*, 23(7), 2080-2105.

Cárdenas-Barrón, L. E., Treviño-Garza, G., & Wee, H. M. (2012). A simple and better algorithm to solve the vendor managed inventory control system of multi-product multi-constraint economic order quantity model. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3888-3895.

Çankaya, S. Y. (2020). Tedarik zinciri görünürlüğü'nün çeviklik üzerindeki etkileri. *Business Economics and Management Research Journal*, 3(1), 49-62.

Cetinkaya, S., & Lee, C. Y. (2000). Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems. *Management Science*, 46(2), 217-232.

Darwish, M. A., & Odah, O. M. (2010). Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains. *European Journal of Operational Research*, 204(3), 473-484.

Diabat, A. (2014). Hybrid algorithm for a vendor managed inventory system in a two-echelon supply chain. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 114-121.

Govindan, K. (2013). Vendor-managed inventory: a review based on dimensions. *International Journal of Production Research*, 51(13), 3808-3835.

Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. MIT press.

Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization, in *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, vol. 4, pp. 1942-1948.

Nachiappan, S. P., & Jawahar, N. (2007). A genetic algorithm for optimal operating parameters of VMI system in a two-echelon supply chain. *European Journal of Operational Research*, 182(3), 1433-1452.

Nahas, N., Rekik, H., Bhar Layeb, S., Abouheaf, M., & Najum, I. (2023). A multi-vendor multi-buyer integrated production-inventory model with greenhouse gas emissions. *Optimization and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s11081-023-09846-4>.

Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Nia, A. R. (2011). A genetic algorithm for vendor managed inventory control system of multi-product multi-constraint economic order quantity model. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2708-2716.

Sadeghi, J., Sadeghi, S., & Niaki, S. T. A. (2014). Optimizing a hybrid vendor-managed inventory and transportation problem with fuzzy demand: an improved particle swarm optimization algorithm. *Information Sciences*, 272, 126-144.

Sarı, K., (2006). Ortaklaşa planlama, tahmin ve ikmal yönteminin tedarik zinciri performansına etkileri. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sarı, K., & Güngör, C. (2010). Tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımının tedarik zinciri performansına etkileri. *İTÜDERGİSİ/d*, 6(2), 29-40.

Sui, Z., Gosavi, A., & Lin, L. (2010). A reinforcement learning approach for inventory replenishment in vendor-managed inventory systems with consignment inventory. *Engineering Management Journal*, 22(4), 44-53.

Yao, Y., Evers, P. T., & Dresner, M. E. (2007). Supply chain integration in vendor-managed inventory. *Decision support systems*, 43(2), 663-674.