

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetiminde Ağ Optimizasyonu Problemine Meta-Sezgisel Yaklaşım

Seval Ene^{1*}, Nursel Öztürk²

¹ Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye,
+90 224 2942078, sevalene@uludag.edu.tr

² Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye,
+90 224 2942083, nursel@uludag.edu.tr

*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş / Received: 15 Nisan (April) 2016

Kabul / Accepted: 17 Ekim (October) 2016

DOI: 10.18466/cbayarfbe.280649

Özet

Doğal kaynakların azaldığı ve çevresel problemlerin arttığı günümüzde, yürürlüğe giren yasal düzenlemelerin de etkisiyle, iş süreçlerinin çevreye olan olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla yürütülen çevreye duyarlı stratejiler ve sürdürülebilirlik ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Tedarik zinciri yönetiminde de çevre dostu veya yeşil uygulamalar pek çok endüstri alanı için stratejik bir konudur. Tedarik zincirinde ağ optimizasyonu problemi, yeşil tedarik zincirlerinin uzun vadede veya operasyonel uygulamalarda yaratacağı çevresel etki performansına katkısı sebebiyle önemli bir çalışma alanıdır. Bu çalışmada, yeşil tedarik zincirinde ağ optimizasyonu problemi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, tasarlanacak tedarik zinciri ağında, çevre üzerindeki olumsuz etkiyi minimize edecek şekilde açılacak tesislerin yerine, sayısına ve aşamalar arası ürün akış miktarlarına karar vermektir. Çalışma kapsamında yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonu probleminin çözümü için meta-sezgisel algoritmalarından parçacık sürü algoritması ve genetik algoritmalar önerilmiştir. Probleme özgü tasarlanan algoritmalar öncelikle küçük boyutlu probleme uygulanarak test edilmiştir. Ayrıca, örnek problem üzerinde, toplam maliyet minimizasyonu ve çevresel etki minimizasyonu amaç fonksiyonlarının ağ optimizasyonu kararlarına etkisi analiz edilmiştir. Ardından, önerilen algoritmalar farklı boyutlardaki problem setlerine uygulanarak büyük boyutlu problemlerde algoritmaların performansı incelenmiştir. Problemin çözümü için önerilen meta-sezgisel algoritmalar ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda tasarlanan algoritmaların kısa işlem sürelerinde başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmaların, farklı endüstrilerin tedarik zincirlerine uyarlanarak uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler — Ağ optimizasyonu, genetik algoritmalar, meta-sezgisel algoritmalar, parçacık sürü optimizasyon algoritması, yeşil tedarik zinciri yönetimi

Meta-Heuristic Approach for Network Optimization Problem in Green Supply Chain Management

Abstract

The importance of sustainability and environmental friendly business strategies, which aims to minimize negative impact on the environment, is increased recently due to legislation, scarcity in natural resources and increased environmental problems. Environmental and green practices in supply chain management are of strategic importance for many industry fields. Green supply chain network optimization problem is a critical research area regarding the contribution on environmental performance of a chain in long

term and operational levels. This paper addresses the green supply chain network optimization problem. The purpose of this paper is determining location and number of facilities and product flow assignment decisions in terms of environmental impact minimization. In the scope of this paper, particle swarm optimization algorithm and genetic algorithm are developed to solve the green supply chain network optimization problem. In numerical experiments, firstly, the proposed algorithms are tested with small sized problem. The effects of objective functions of cost minimization and environmental impact minimization on network decisions are also analysed with the small sized problem. Then, the performance of the algorithms is assessed with larger sized problems. Experimental results of the proposed meta-heuristic algorithms showed that the algorithms give effective solutions to the problem in short processing times. Attained results indicate that the proposed algorithms can be applied to supply chains of several industries successfully.

Keywords – Genetic algorithms, green supply chain management, meta-heuristic algorithms, network optimization, particle swarm optimization algorithm

1 Giriş

Son yıllarda, çevresel problemlerin artması, doğal kaynakların azalması, ürün yaşam çevrimlerinin kısılması, üretilen atık miktarlarının artması ve yürürlüğe giren yasal düzenlemeler sebebiyle, işletmeler, globalleşen dünyada, rekabet piyasasına ayak uydurabilmek için çevre dostu stratejileri iş düzenlemelerine entegre etmeye yönelmiştir. Pek çok endüstri alanı için stratejik bir konu olan tedarik zinciri yönetiminde de, çevre dostu veya yeşil uygulamalar, yeşil tedarik zinciri yönetimi kavramını ortaya çıkarmıştır. Yeşil tedarik zinciri yönetiminin temelleri hem tedarik zinciri yönetimine hem de çevre yönetimine dayanmaktadır. Yeşil tedarik zinciri yönetimi, tedarik zinciri yönetimine çevre bilincinin entegre edilmesi olarak tanımlanmaktadır ve ürün tasarımı malzeme seçimine, üretimden ürünlerin müşteriye dağıtılmasına kadar pek çok tedarik zinciri sürecinde uygulanmaktadır [1]. Son yıllarda yeşil tedarik zinciri kavramına benzer prensipleri benimseyen, sürdürülebilir tedarik zinciri, çevresel tedarik zinciri gibi yeni kavramlar da kullanılmaya başlanmıştır [2].

Tedarik zinciri yönetiminde sıkça çalışılan konulardan biri olan ağ tasarımı problemi, tedarik zincirlerinin uzun dönem performansını etkileyen stratejik karar problemlerinden biridir. Ağ tasarımı problemi, ağ yapısında yer alan tesislerin sayısı, kapasitesi, tipi veya yerleşimi gibi parametrelerin en uygun değerlerinin belirlenmesini sağlamaktadır [3]. Klasik tedarik zincirinde, ağ tasarımı probleminde, çoğunlukla maliyet minimizasyonu veya kar maksimizasyonu gibi hedefler dikkate alınmaktadır [4]. Srivastava [1] yeşil tedarik zinciri yönetiminde

çalışılan konuları yeşil tasarım ve yeşil operasyonlar olmak üzere kategorilere ayırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre ağ tasarımı problemi, yeşil operasyonlar başlığı altında incelenmektedir. Tesis yerleşim ve kapasite paylaşım kararlarında, yapılacak ilk yatırımın ve kullanılan çevre koruma tekniklerinin uzun vadede getireceği çevresel fayda/zarar veya operasyonel seviyede yaratacağı çevresel etki, yeşil tedarik zinciri yönetiminde ağ tasarımı probleminin önemini ortaya koymaktadır [3].

Bu çalışmada, yeşil tedarik zinciri yönetiminde ağ tasarımı problemi incelenmiştir. Ağ optimizasyonunda, tesis yerleşim kararlarında yapılacak yatırımın çevresel etkisi, tesislerde yürütülen işlemlerin veya kullanılan teknolojilerin çevresel etkisi ve tesisler arası ürün akışı atamalarında taşımalardan kaynaklanan CO₂ salınımları dikkate alınmıştır. Ağ optimizasyonu problemi için optimuma yakın sonuçlar veren meta-sezgisel yaklaşımlardan parçacık sürü optimizasyonu algoritması ve genetik algoritma probleme özgü olarak tasarlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde yeşil tedarik zinciri yönetiminde ağ tasarımı konusunda literatürde rastlanan çalışmalar özetlenmiş; üçüncü bölümde incelenen problem tanımlanmış; dördüncü bölümde probleme özgü olarak tasarlanan parçacık sürü optimizasyonu algoritması ve genetik algoritma ile ilgili bilgiler verilmiş; beşinci bölümde yapılan örnek uygulama sonuçları değerlendirilerek deneysel çalışmalar özetlenmiş ve son olarak altıncı bölümde çalışmanın sonuçlarına yer verilmiştir.

2 Kaynak Araştırması

Literatürde yeşil tedarik zinciri yönetimi ile ilgili

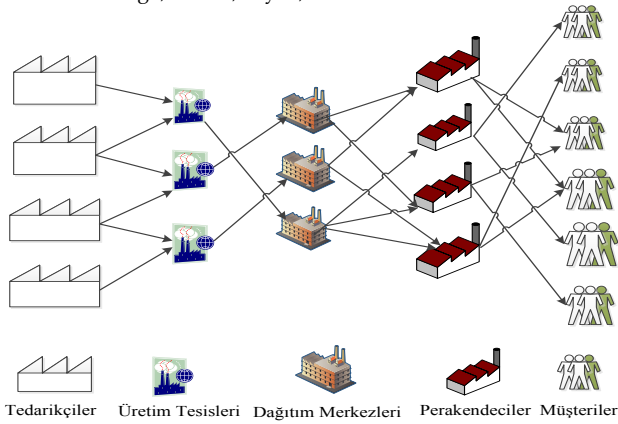
çalışmalar incelendiğinde, ağ tasarımı problemi ile ilgili farklı çözüm yaklaşımlarının kullanıldığı çeşitli çalışmalarla karşılaşmıştır. Wang ve ark. [3] yeşil tedarik zincirinde ağ tasarımı problemi için çok amaçlı optimizasyon modeli önermişlerdir. Önerilen model örnek uygulamalar ile test edilmiş ve dikkate alınan, toplam maliyet ve çevresel etki amaç fonksiyonları üzerinden duyarlılık analizi yapılmıştır. Pishvae ve Razmi [5] çevresel tedarik zinciri tasarımı için çok amaçlı bulanık matematiksel programlama modeli geliştirmişlerdir. Tedarik zinciri ağ yapısında, farklı seçeneklerin çevresel etki değerlendirmesinde yaşam döngüsü analizi kullanılmıştır. Jamshidi ve ark. [6] yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı probleminin çözümü için Taguchi yaklaşımı ve memetik algoritma tabanlı hibrid bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen algoritmadan elde edilen deneysel sonuçlar ile hibrid genetik algoritma sonuçları karşılaştırılmıştır. Elhedhli ve Merrick [7] geliştirdikleri karbon salınımlarının maliyetini dikkate alan lineer olmayan yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı modelinin çözümü için Lagrange gevşetme yöntemini kullanmışlardır. Lagrange gevşetme algoritmasında ise olurlu çözümlerin elde edilmesi için bir sezgisel yöntem kullanılmıştır. Mallidis ve ark. [8] lojistik ağ tasarım seçenekleri için stratejik seviyede ağ tasarımı ve taktik seviyede envanter planlama kararlarının maliyet ve CO₂ salınımı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın geçerliliği gerçek bir uygulama örneği ile test edilmiştir. Fahimnia ve ark. [9] karbon salınımı, enerji tüketimi ve üretilen atık miktarını dikkate aldıkları yeşil tedarik zinciri planlaması için çok amaçlı karışık tamsayı lineer olmayan matematiksel programlama modeli önermişlerdir. Önerilen modelin çözümünde ise entegre çapraz entropi yöntemi kullanılmıştır. Govindan ve ark. [10] sürdürülebilir talep paylaşımı ve sürdürülebilir stratejik ağ tasarımı problemi için çok amaçlı optimizasyon modeli önermişler ve önerilen modelin çözümü için çok amaçlı hibrid algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen hibrid algoritma, elektromanyetizma tekniği ve komşuluk arama algoritmasından oluşmaktadır. Geliştirilen algoritma örnek olay ile test edilmiştir. Martí ve ark. [11] tedarik zinciri ağ tasarımında karbon ayak izi ve tedarik zinciri duyarlılığını dikkate alan bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile farklı karbon politikalarının ağ yapısı ve maliyetler üzerine etkisi analiz edilebilmektedir. Tognetti ve ark. [12] yeşil

tedarik zincirinde ağ tasarımı problemini, ekonomik ve çevresel amaçların dengelenmesi mantığı ile incelemişlerdir. Lineer çevresel ve ekonomik optimizasyon modelleri ile amaç fonksiyonlarının potansiyel en düşük ve en yüksek seviyeleri belirlendikten sonra iki amaç fonksiyonunun dengelenmesi için çok amaçlı optimizasyon modeli uygulamışlardır. Coskun ve ark. [13] müşterileri çevresel beklentilerine göre gruplandırarak yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı probleminin çözümü için hedef programlama modeli önermişlerdir. Önerilen algoritmanın geçerliliği örnek uygulama ile test edilmiştir. Chibeles-Martins ve ark. [14] yeşil tedarik zincirlerinin tasarımı ve planlanması için iki amaçlı meta-sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir. Geliştirilen yaklaşım tavlama benzetimi algoritmasına dayanmaktadır.

Literatürde yeşil tedarik zinciri ağ tasarım problemi ile ilgili mevcut çalışmalarda, yukarıda da kısaca özetlendiği gibi, çoğunlukla matematiksel modelleme tabanlı çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Bazı çalışmalarda ise NP-Zor problem tipinde olan ağ tasarımı problemi için kesin çözümler yerine optimuma yakın sonuçlar veren meta-sezgisel yaklaşımlar kullanılmıştır. Meta-sezgisel yaklaşımların yer aldığı çalışmalarda ise genetik, memetik ve tavlama benzetimi gibi algoritmaların kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonu probleminin çözümü için literatürden farklı olarak parçacık sürü optimizasyon algoritması ve ağ tasarımı problemlerine başarılı sonuçlar verdiği bilinen genetik algoritmalar önerilmiştir. Probleme özgü tasarlanan parçacık sürü algoritması ve genetik algoritmanın sonuçları karşılaştırılarak algoritmaların performansları karşılaştırılmıştır.

3 Problem Tanımı

Bu çalışmada, çok aşamalı ve çok dönemli olarak tanımlanan, yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonu problemi ele alınmıştır. Tedarikçiler, üretim tesisleri, dağıtım merkezleri, perakendeciler ve müşterilerden oluşan tüm endüstri alanlarına uyum sağlayabilecek genel bir tedarik zinciri dikkate alınmıştır. Çalışılan tedarik zinciri ağ yapısının örnek bir gösterimi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Yeşil tedarik zinciri ağ yapısı

Tasarlanan yeşil tedarik zinciri ağ yapısı, her üründe yer alan farklı tipteki bileşenlerin tedarikçilerden temin edilmesi ile başlamaktadır. Üretim merkezinde yapılan üretim işlemleri sonucu elde edilen ürünler, dağıtım merkezlerine gönderilmektedir. Ürünler, dağıtım merkezlerinden perakendeciler aracılığı ile son kullanıcılar olan müşterilere ulaştırılmaktadır. Ağ optimizasyonu problemi kapsamında atama ve yerleşim kararları için tedarikçi, üretim tesisi, dağıtım merkezi ve perakendeci aşamaları dikkate alınmıştır.

Çalışma kapsamında, üretim tesisleri ve dağıtım merkezleri için alternatifler arasında hangilerinin açılacağı kararının, tüm ağ aşamaları arasında ise atama ve bileşen/ürün akış miktarı kararlarının verileceği kabul edilmiştir. Tüm taleplerin karşılanması gerekmektedir. Üretim tesisleri ve dağıtım merkezleri kapasite kısıtlıdır. Tedarikçilerin ise üretim merkezlerinin taleplerini karşılayabilecek kapasitede olduğu varsayılmıştır.

Yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonunda, tesis yerleşim kararlarında yapılacak yatırımın çevresel etkisi, tesislerde yürütülen işlemlerin veya kullanılan teknolojilerin çevresel etkisi ve tesisler arası taşımalardan kaynaklanan CO₂ salınımları çevresel etki göstergeleri dikkate alınmıştır.

4 Önerilen Çözüm Yaklaşımları

Problemin çözümü için pek çok optimizasyon problemine başarılı sonuçlar verdiği bilinen parçacık sürü optimizasyon algoritması ve genetik algoritma önerilmiştir ve algoritmalar ağ optimizasyonu problemine özgü olarak tasarlanmıştır.

4.1 Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

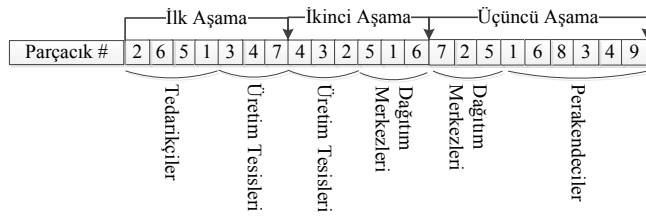
Yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı probleminin çözümü

için önerilen parçacık sürü optimizasyon yöntemi, Eberhart ve Kennedy [15] tarafından optimizasyon algoritması olarak geliştirilmiştir ve global optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Doğadaki sürülerin bir hedef ararken ortaya koydukları davranışlarının bilgisayar ortamında simüle edilmesi ile çeşitli sürü zekası algoritmaları geliştirilmiştir. Parçacık sürü optimizasyonu, organize olmuş, karmaşık sistemler olan sürülerin ortak davranışlarını ve toplumsal özelliklerini inceleyen sürü zekası yöntemlerinden biridir [16].

Parçacık sürü optimizasyon algoritmasında, her bir parçacık bir aday çözümü temsil etmektedir. Her parçacık, pozisyon ve hız vektörel bileşenlerine sahiptir. Parçacıklar problem uzayında belirlenen hızla hareket ederek iteratif olarak yeni çözümler aramaktadır. Her parçacık, arama uzayındaki konumunu ve o ana kadar bulduğu en iyi çözümü hafızasında tutmaktadır. Ayrıca, parçacık sürü optimizasyonunda sürünün bulduğu en iyi çözüm de hafızada tutulmaktadır [16].

4.1.1 Parçacık Gösterimi

Önerilen çözüm yaklaşımlarında ilk olarak, yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı problemi için öncelik tabanlı gösterime sahip parçacık sürü optimizasyon algoritması tasarlanmıştır. Öncelik tabanlı gösterim yaklaşımında, ağ optimizasyonu problemi için, her parçacık, kaynak ve depo düğümlerin öncelik değerlerinden oluşmaktadır ve parçacığın uzunluğu kaynak ve depo düğümlerin adedinin toplamına eşittir. Öncelik ataması en yüksek öncelik değerinden başlamakta ve tüm düğümlere öncelik atanana dek her iterasyonda birer azaltılarak devam etmektedir. Her iterasyonda, kaynak ve depo düğümleri arasından, en düşük birim taşıma maliyetine sahip, gönderim miktarı talep veya kapasite değerine eşit düğüm seçilerek en yüksek öncelik değerine atanmaktadır. Her atamadan sonra kaynak ve depo düğümlerinin, kapasite ve talep değerleri güncellenmektedir [17]. Bu prosedür ağ yapısındaki her aşamanın gösteriminde kullanılmaktadır. Örnek bir parçacık gösterimi Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Örnek parçacık gösterimi

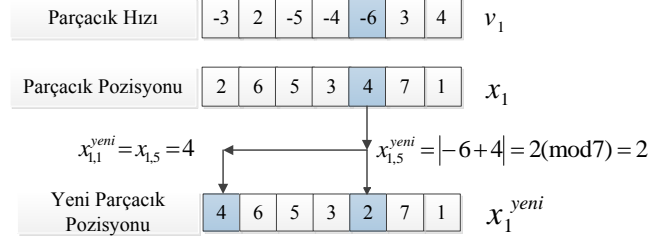
4.1.2 Hız ve Pozisyon Güncelleme

Önerilen algoritmada, parçacık hız vektörü, her aşama için $[-(x_{max}-1), (x_{max}-1)]$ aralığında yer almaktadır. Başlangıç hız vektörü rassal olarak oluşturulmaktadır. Hız vektörünün güncellenmesi denklem (1)'de verilen eşitlik ile gerçekleştirilmektedir [18].

$$v_{id}^{yeni} = wv_{id} + c_1 r_1 (p_{eni}^{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (g_{eni}^d - x_{id}) \quad d = 1, \dots, D \quad (1)$$

Denklem (1)'de, x_{id} i . parçacığın d . boyuttaki pozisyonunu, v_{id} i . parçacığın d . boyuttaki hız değerini göstermektedir. w atalet ağırlığını göstermektedir. r_1 ve r_2 , $[0, 1]$ aralığında düzgün dağılıma sahip rassal değişkenlerdir. c_1 ve c_2 , bilişsel ve sosyal faktörlerdir. p_{eni}^{id} , parçacığın d . boyutta bulunduğu en iyi uygunluk değerine sahip yerel parçacık pozisyonudur, g_{eni}^d ise sürüdeki d . boyutta o ana kadar bulunmuş en iyi uygunluk değerine sahip parçacık pozisyonudur [19].

Öncelik tabanlı parçacık gösteriminin tamsayı ve permütasyon dizilimindeki yapısı sebebiyle parçacık pozisyonunun güncellenmesi, parçacık sürü algoritmasındaki klasik yöntem ($x_{id}^{yeni} = x_{id} + v_{id}^{yeni}$) ile yapılamaz. Pozisyon güncellemesi için önerilen yaklaşımda, ilk adımda öncelikle hız vektörü tamsayıya yuvarlanmakta ve mutlak değerce en yüksek hız değeri ve boyutu belirlenmektedir. İkinci ve üçüncü adımlarda, ilgili boyuttaki pozisyon değeri ile hız değeri toplanarak maksimum pozisyon değerine göre modu alınmakta ve pozisyon güncellenmektedir. Dördüncü adımda, yeni pozisyonun eski pozisyon değeri, yeni pozisyonadaki çakışan boyut ile değiştirilmektedir. Parçacık pozisyonu güncelleme örnek gösterimi Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Parçacık pozisyonu güncelleme örneği

4.1.3 Uygunluk Değerlendirmesi

Önerilen algoritmada uygunluk değerlendirme yeşil tedarik zinciri ağında toplam çevresel etkinin minimize edilmesi olarak tanımlanmıştır. Çevresel etki değerlendirmesinde yeni açılacak tesisler için yerleşim kararlarında yapılacak yatırımın çevresel etkisi, tesislerde yürütülen işlemlerin veya kullanılan teknolojilerin çevresel etkisi ve tesisler arası taşımalardan kaynaklanan CO₂ salınımlarının çevresel etkisi parametreleri dikkate alınmıştır.

4.2 Genetik Algoritma

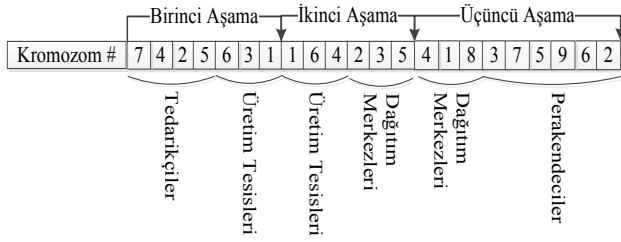
Doğal seleksiyon ve genetik temellerine dayanan arama algoritması olan genetik algoritma, John Holland ve ekibi tarafından geliştirilmiştir. Diğer optimizasyon ve arama prosedürlerinden farklı olarak, genetik algoritmada, parametrelerin kendileri ile değil, kodlanmış parametre kümeleri ile çalışılmakta, tek bir noktada değil, noktalar popülasyonunda arama yapılmaktadır [20].

Genetik algoritmada her bir aday çözüm, kromozom adı verilen dizilerde tutulmaktadır. Çözümlerin değerlendirilerek iyi çözümlerin kötü çözümlerden ayırt edilmesi için uygunluk fonksiyonu tanımlanmaktadır [21]. Genetik algoritmada, yeni bir popülasyon oluşturmak için yapılan her iterasyon nesil olarak adlandırılmaktadır [22]. Yeni bir nesil oluşturmak için kullanılan temel genetik algoritma operatörleri ise, seçim, çaprazlama ve mutasyon olarak tanımlanmaktadır [21].

4.2.1 Kromozom Gösterimi

Önerilen ikinci algoritma olan genetik algoritmada, yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı problemi için aday çözümlerin gösteriminde, önerilen parçacık sürü algoritmasındaki parçacık gösteriminde de kullanılan öncelik tabanlı kodlama yaklaşımı benimsenmiştir. Bölüm 4.1.1'de detaylı açıklanan öncelik tabanlı kodlama yaklaşımı ağ tasarımı veya optimizasyonu problemleri için önerilen ağaç veya matris yapısı gibi

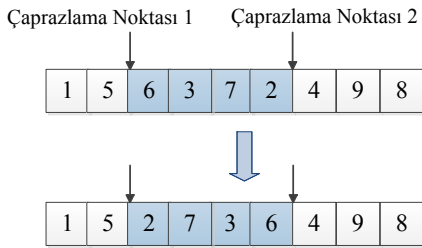
diğer aday çözüm gösterimlerine göre hesaplamalarda ve kodlamalarda hız avantajı sağlamaktadır. Şekil 4'de örnek bir kromozom gösterimi verilmiştir.



Şekil 4. Örnek kromozom gösterimi

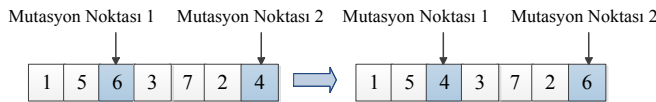
4.2.2 Çaprazlama ve Mutasyon Operatörü

Tasarlanan algoritmada, kromozom yapısına uygunluğu ve düzeltme gerektirmemesi nedeniyle, ters çevirme yöntemi çaprazlama operatörü olarak benimsenmiştir. Şekil 5'de örnek gösterimi verilen çaprazlama operatöründe, seçilen kromozom üzerinde ilgili ağ aşaması için rastgele iki nokta belirlenmekte ve bu noktalar arasında kalan genler ters çevrilerek yeni bir kromozom oluşturulmaktadır.



Şekil 5. Çaprazlama operatörü örnek gösterimi

Mutasyon operatörü ise, seçilen kromozom üzerinde, ilgili ağ aşaması için rastgele belirlenen iki noktada bulunan genlerin yerlerini birbirleriyle değiştirmektedir. Şekil 6 mutasyon örneğini göstermektedir.



Şekil 6. Mutasyon operatörü örnek gösterimi

4.2.3 Uygunluk Fonksiyonu ve Seçim

Önerilen genetik algoritmada uygunluk fonksiyonu, bölüm 4.1.3'de detaylı olarak açıklanan parçacık sürü algoritması uygunluk değerlendirmesinde olduğu gibi

yeşil tedarik zinciri ağında toplam çevresel etkinin minimize edilmesi olarak tanımlanmıştır. Algoritmada, üreme işlemi için ise rulet tekerleği seçim yöntemi kullanılmıştır. Rulet tekerleği seçim yönteminde, ilgili kromozomun uygunluk değerinin popülasyonun toplam uygunluk değerine oranlanması ile elde edilen sonraki nesillere aktarılma olasılığı, popülasyon boyutu ile çarpılarak, kopyalanacak kromozom adedi belirlenmektedir.

5 Uygulama Sonuçları

Yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonu için önerilen parçacık sürü optimizasyon algoritması ve genetik algoritma Microsoft Visual Studio ortamında C# programlama dilinde kodlanmıştır. Algoritmaların performansını etkileyen parametrelerin değerlerini belirlemek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Parçacık sürü optimizasyon algoritmasında kullanılan parçacık sürüsünün boyutu, atalet ağırlığı, bilişsel ve sosyal faktörler parametre değerleri ile genetik algoritmada kullanılan popülasyon boyutu, çaprazlama, mutasyon ve elitizm oranı parametre değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Parametre değerleri

Parçacık Sürü Algoritması		Genetik Algoritma	
Parametre	Değer	Parametre	Değer
Sürü boyutu	20	Popülasyon boyutu	100
Bilişsel faktör (c_1)	0.2	Çaprazlama oranı	0.7
Sosyal faktör (c_2)	0.2	Mutasyon oranı	0.09
Atalet ağırlığı (w)	0.9-0.1 arası lineer azalan	Elitizm oranı	0.03

Önerilen çözüm yöntemleri ile gerçekleştirilen sayısal uygulamalarda, öncelikle algoritmalar küçük boyutlu bir örnek problemde test edilmiştir. Çizelge 2'de verilen örnek probleme ait parametre değerleri rassal olarak üretilmiştir.

Örnek problemde incelenen ağ yapısında, 3 tedarikçi, 4 alternatif üretim tesisi, 6 alternatif dağıtım merkezi ve 10 perakendeci bulunmaktadır. Tedarikçilerden 3 farklı bileşen tedarik edilmektedir. Örnek problem kapsamında 3 dönemi kapsayan bir planlama çalışması yapılmıştır.

Parçacık sürü optimizasyon algoritmasının ve genetik

algoritmanın örnek problem için 100 iterasyon çalıştırılması sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3'de oluşturulan yeşil tedarik zinciri ağ yapısı ise Şekil 7'de sunulmuştur. Örnek problem için elde edilen sonuçlar, her iki algoritmanın da çevresel etki ölçütüne göre aynı kalitede çözüm ürettiğini göstermektedir. İşlem süresi açısından ise parçacık sürü algoritması daha hızlı sonuç vermiştir.

Çizelge 2. Örnek problem verileri

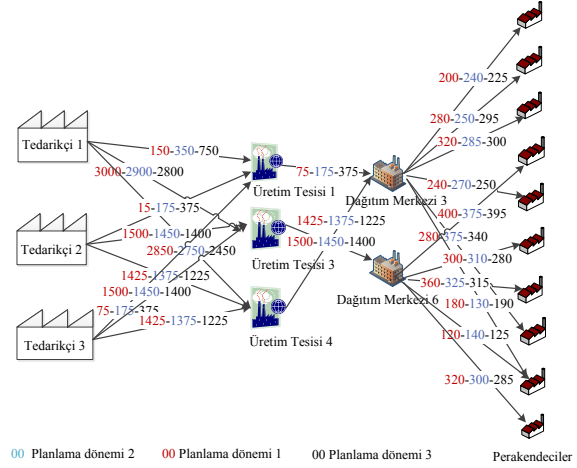
Parametre	Değer
Talep	UNIF (200,400)
Üretim tesisi açma maliyeti	UNIF (650000, 900000) <i>pb</i>
Dağıtım merkezi açma maliyeti	UNIF (250000, 400000) <i>pb</i>
Üretim tesisinin kapasitesi	UNIF (4000, 6000)
Dağıtım merkezinin kapasitesi	UNIF (2000, 4000)
CO ₂ salınım faktörü	0.427 (Aksoy ve ark.[23])
Üretim tesislerinin çevresel etki seviyeleri	0.2, 0.8, 0.5, 0.1
Dağıtım merkezlerinin çevresel etki seviyeleri	0.5, 0.8, 0.1, 0.6, 0.3, 0.2
Aşamalar arası birim mesafeler	UNIF (120, 250)
Bileşen satın alma maliyeti	40 <i>pb</i>
Birim üretim maliyeti	30 <i>pb</i>
Her üründeki bileşen adetleri	(2,1,1)
Dağıtım merkezlerinde birim operasyon maliyetleri	20 <i>pb</i>
Üretim tesislerinde yürütülen işlem ve teknolojilerin çevresel etki seviyeleri	0.3, 0.7, 0.3, 0.2
Dağıtım merkezlerinde yürütülen işlem ve teknolojilerin çevresel etki seviyeleri	0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.3
Ürün ve bileşenlerin birim ağırlık değerleri	0.1 ve 0.02

Çizelge 3. Örnek problem sonuçları

Sonuçlar	Parçacık Sürü Algoritması	Genetik Algoritma
Çevresel etki	173 668.6	173 668.6
Toplam maliyet	14 444 420	14 444 420
Algoritma işlem süresi	0.6 s	4 s
Açılan üretim tesisi adedi	3 (Üretim tesisi 1, 3 ve 4)	3 (Üretim tesisi 1, 3 ve 4)
Açılan dağıtım merkezi adedi	2 (Dağıtım merkezi 3 ve 6)	2 (Dağıtım merkezi 3 ve 6)

Örnek problem için algoritmalarından elde edilen ağ

yapısı sonuçları incelendiğinde, üretim tesisleri ve dağıtım merkezlerinin açılma kararında ilk yatırım ve süreçlerde çevresel etki değeri düşük olan tesis veya merkezlerin açılma kararının verildiği; aşamalar arası ürün akışı atama kararında ise aşamalar arası mesafeye ve ürünün ağırlığına göre CO₂ salınımını minimize edecek şekilde atamaların yapıldığı görülmektedir.



Şekil 7. Örnek problem için genetik ve parçacık sürü algoritması ile üretilen ağ yapısı

Maliyet minimizasyonu ve çevresel etki minimizasyonu amaçlarının ağ optimizasyonu kararlarına etkisini görebilmek için, önerilen algoritmalar maliyet minimizasyonu elde etmek amacıyla örnek probleme uygulanmıştır. Algoritmalarından elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de sunulmuştur.

Çizelge 4. Örnek problem karşılaştırmalı sonuçları

Sonuçlar	Parçacık Sürü Algoritması	
	Maliyet Minimizasyonu	Çevresel Etki Minimizasyonu
Çevresel etki	178 800.5	173 668.6
Toplam maliyet	14 220 205	14 444 420
Açılan üretim tesisi adedi	3 (Üretim tesisi 1, 3 ve 4)	3 (Üretim tesisi 1, 3 ve 4)
Açılan dağıtım merkezi adedi	2 (Dağıtım merkezi 4 ve 5)	2 (Dağıtım merkezi 3 ve 6)
Sonuçlar	Genetik Algoritma	
	Maliyet Minimizasyonu	Çevresel Etki Minimizasyonu
Çevresel etki	178 800.5	173 668.6

Toplam maliyet	14 220 210	14 444 420
Açılan üretim tesisi adedi	3 (Üretim tesisi 1, 3 ve 4)	3 (Üretim tesisi 1, 3 ve 4)
Açılan dağıtım merkezi adedi	2 (Dağıtım merkezi 4 ve 5)	2 (Dağıtım merkezi 3 ve 6)

Çizelge 4'de özetlenen sonuçlara göre, çevresel etki minimizasyonu durumunda, toplam maliyet, maliyet minimizasyonu durumuna kıyasla artmakta ve ağ kararları çevresel etkiyi minimize etme yönünde alınmaktadır. Maliyet minimizasyonu durumunda ise, çevresel etki değeri, çevresel etki minimizasyonu durumuna kıyasla artmakta ve ağ kararlarında dağıtım merkezleri ile ilgili kararlar toplam maliyeti minimize etme yönünde alınmaktadır. Sonuçlar, üretim tesisi ile ilgili kararların ise farklı uygunluk fonksiyonu amaçlarından etkilenmediğini göstermektedir. Önerilen genetik ve parçacık sürü algoritmaları maliyet ve çevresel etki minimizasyonu uygunluk fonksiyonu durumları için ağ kararları açısından aynı sonuçları üretmiştir. Çevresel etki ve toplam maliyet sonuçlarına göre ise maliyet minimizasyonu durumunda parçacık sürü algoritmasının daha iyi sonuç verdiği diğer sonuçlarda ise algoritmaların çözüm kalitesinin aynı olduğu görülmüştür.

Sayısal uygulamaların ikinci aşamasında, önerilen algoritmaların performansını test etmek amacıyla algoritmalar daha büyük boyutlu problem setlerine uygulanmıştır. Problem setlerinin özellikleri ile ilgili bilgiler Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Problem setlerinin özellikleri

Problem Seti	Tedarikçi Adedi	Üretim Tesisi Adedi	Dağıtım Merkezi Adedi	Perakendeci Adedi
PS 1	3	4	6	10
PS 2	3	6	10	20
PS 3	3	8	12	30
PS 4	3	12	15	40
PS 5	3	16	20	50
PS 6	3	20	25	60
PS 7	3	22	30	70
PS 8	3	25	30	80
PS 9	3	28	35	90
PS 10	3	30	35	100

Örnek problem setleri için, önerilen parçacık sürü

algoritması ve genetik algoritmadan elde edilen sonuçlar Çizelge 6'da sunulmuştur. Farklı boyutlu problem setlerine algoritmaların uygulanması ile elde edilen sonuçlar, algoritmaların büyük boyutlu problem setlerinde de hızlı ve başarılı sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Algoritmaların performansları birbirleri ile karşılaştırıldığında, PS1'de iki algoritmanın da aynı kalitede çözüm ürettiği, diğer problem setlerinden ise PS4, PS5, PS6, PS7, PS8 ve PS10'da parçacık sürü algoritmasının daha başarılı sonuç verdiği görülmektedir. Tüm problem setlerinde ise parçacık sürü algoritması, genetik algoritmaya göre daha hızlı sonuçlar üretmiştir.

Çizelge 6. Problem setlerinin sonuçları

Problem Setleri	Parçacık Sürü Algoritması		Genetik Algoritma	
	İşlem Süresi	Çevresel Etki Sonucu	İşlem Süresi	Çevresel Etki Sonucu
PS1	0.6 s	173 668.6	4 s	173 668.6
PS2	2 s	336 043.2	9 s	335 836.2
PS3	2 s	500 372.1	14 s	499 707.1
PS4	3 s	652 422.5	26 s	654 748.8
PS5	4 s	814 766.6	42 s	816 091.3
PS6	6 s	973 516.5	66 s	977 843.5
PS7	9 s	1 148 479.1	93 s	1 150 375
PS8	10 s	1 307 566.1	120 s	1 308 622
PS9	14 s	1 479 198.9	155 s	1 475 943
PS10	17 s	1 638 527.7	188 s	1 648 550

6 Sonuç

Çevre bilincinin arttığı günümüzde, çevreye duyarlı stratejiler ve uygulamaları, iş süreçlerinin çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması yönündeki çalışmalar ve sürdürülebilirlik konuları iş ve araştırma dünyasında giderek artan bir ilgiye sahiptir. Bu çalışma kapsamında da tedarik zincirlerinin çevreye olan olumsuz etkilerini minimize etmeyi hedefleyen yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonu problemi incelenmiştir. Probleme, optimuma yakın sonuçlar veren meta-sezgisel yaklaşımlar ile çözüm aranmıştır. Yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonu probleminin çözümü için ağ tasarımı problemlerine başarılı sonuçlar verdiği bilinen genetik algoritmalar ve literatürden farklı olarak parçacık sürü optimizasyon algoritması probleme özgü olarak tasarlanmıştır. Algoritmalar öncelikle küçük boyutlu probleme uygulanarak algoritmaların geçerliliği test edilmiştir. Ayrıca, örnek problem üzerinde, toplam maliyet minimizasyonu ve çevresel etki minimizasyonu amaç

fonksiyonlarının ağ optimizasyonu kararlarına ve sonuçlarına etkisi analiz edilmiştir. Son olarak, probleme özgü tasarlanan parçacık sürü algoritması ile genetik algoritma farklı boyutlardaki problem setlerine uygulanarak büyük boyutlu problemlerde algoritmaların performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmaların yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonu problemlerine başarılı sonuçlar ürettiğini ve farklı endüstrilerin tedarik zincirlerine uyarlanarak uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın devamında, yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonu için önerilen algoritmalar, geliştirilecek farklı algoritmalarla karşılaştırılarak performansları test edilebilir veya önerilen algoritmalar çok amaçlı bir yapıya dönüştürülerek birbiriyle çelişen maliyet ve çevresel etki amaçlarının dengelenmesi analiz edilebilir.

7 Referanslar

- [1] Srivastava, S.K. Green Supply Chain Management: A State-of-the-Art Literature Review. *Int. J. Manag. Rev.* 2007; 9(1), 53-80.
- [2] Govindan, K.; Khodaverdi R.; Vafadarnikjoo, A. Intuitionistic Fuzzy Based DEMATEL Method for Developing Green Practices and Performances in a Green Supply Chain. *Expert Syst. Appl.* 2015; 42, 7207-7220.
- [3] Wang, F.; Lai, X.; Shi, N. A Multi-Objective Optimization for Green Supply Chain Network Design. *Decis. Support Syst.* 2011; 51, 262-269.
- [4] Eskandarpour, M.; Dejax, P.; Miemczyk, J.; Péton, O. Sustainable Supply Chain Network Design: An Optimization-Oriented Review. *Omega-Int. J. Manage. S.* 2015; 54, 11-32.
- [5] Pishvae, M.S.; Razmi, J. Environmental Supply Chain Network Design Using Multi-Objective Fuzzy Mathematical Programming. *Appl. Math. Model.* 2012; 36, 3433-3446.
- [6] Jamshidi, R.; Fatemi Ghomi, S.M.T.; Karimi, B. Multi-Objective Green Supply Chain Optimization with a New Hybrid Memetic Algorithm Using the Taguchi Method. *Sci. Iran. E.* 2012; 19(6), 1876-1886.
- [7] Elhedhli, S.; Merrick, R. Green Supply Chain Network Design to Reduce Carbon Emissions. *Transport. Res. D-Tr. E.* 2012; 17, 370-379.
- [8] Mallidis, I.; Vlachos, D.; Iakovou, E.; Dekker, R. Design and Planning for Green Global Supply Chains Under Periodic Review Replenishment Policies. *Transport. Res. E-Log.* 2014; 72, 210-235.
- [9] Fahimnia, B.; Sarkis, J.; Eshragh, A. A Tradeoff Model for Green Supply Chain Planning: A Leanness-Versus-Greenness Analysis. *Omega-Int. J. Manage. S.* 2015; 54, 173-190.
- [10] Govindan, K.; Jafarian, A.; Nourbakhsh, V. Bi-Objective

- Integrating Sustainable Order Allocation and Sustainable Supply Chain Network Strategic Design with Stochastic Demand Using a Novel Robust Hybrid Multi-Objective Metaheuristic. *Comput. Oper. Res.* 2015; 62, 112-130.
- [11] Martí, J. M. C.; Tancrez, J-S.; Seifert, R.W. Carbon Footprint and Responsiveness Trade-Offs in Supply Chain Network Design. *Int. J. Prod. Econ.* 2015; 166, 129-142.
- [12] Tognetti, A.; Grosse-Ruyken, P.T.; Wagner, S. M. Green Supply Chain Network Optimization and the Trade-Off Between Environmental and Economic Objectives. *Int. J. Prod. Econ.* 2015; 170, 385-392.
- [13] Coskun, S.; Ozgur, L.; Polat, O.; Gungor, A. A model Proposal for Green Supply Chain Network Design Based on Consumer Segmentation. *J. Clean. Prod.* 2016; 110, 149-157.
- [14] Chibeles-Martins, N.; Pinto-Varela, T.; Barbosa-Póvoa, A.P.; Novais, A.Q. A Multi-Objective Meta-Heuristic Approach for the Design and Planning of Green Supply Chains-MBSA. *Expert Syst. Appl.* 2016; 47, 71-84.
- [15] Eberhart, R.C.; Kennedy, J. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory, Sixth Symposium on Micro Machine and Human Science, Nagoya Municipal Industrial Research Institute, Nagoya, Japan. October 4-6, 1995.
- [16] Kiranyaz, S.; Ince, T.; Gabbouj, M. *Multidimensional Particle Swarm Optimization for Machine Learning and Pattern Recognition*; Springer-Verlag, New York, USA, 2014; 321 pp.
- [17] Gen, M.; Altiparmak, F.; Lin, L. A Genetic Algorithm for Two-Stage Transportation Problem Using Priority-Based Encoding. *OR Spectrum.* 2006; 28, 337-354.
- [18] Kadavevaramath, R.S.; Chen, J.C.H.; Latha Shankar, B.; Rameshkumar, K. Application of Particle Swarm Intelligence Algorithms in Supply Chain Network Architecture Optimization. *Expert Syst. Appl.* 2012; 39, 10160-10176.
- [19] Latha Shankar, B.; Basavarajappa, S.; Chen, J.C. H.; Kadavevaramath, R.S. Location and Allocation Decisions for Multi-Echelon Supply Chain Network - A Multi-Objective Evolutionary Approach. *Expert Syst. Appl.* 2013; 40, 551-562.
- [20] Goldberg, D.E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*; Addison Wesley Longman Inc., Boston, USA, 1989; 412 pp.
- [21] Sastry, K.; Goldberg, D.E.; Kendall, G. Genetic Algorithms. In *The Search Methodologies- Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*; Burke, E.K., Kendall, G., Eds.; Springer Science+Business Media, New York, USA, 2014; 93-117.
- [22] Yang, X.S. *Nature-Inspired Optimization Algorithms*; Elsevier Inc., Waltham, USA, 2014; 300 pp.
- [23] Aksoy A.; Küçüköğlü İ.; Ene S.; Öztürk N. Integrated Emission and Fuel Consumption Calculation Model for Green Supply Chain Management. *Procedia – Soc. Behav. Sci.* 2014; 109, 1106-1109.