

BİR LOJİSTİK DAĞITIM AĞININ GENETİK ALGORİTMA İLE YENİDEN TASARLANMASI

Ahmet Mert CAM *^{ID}
Nezir AYDIN **^{ID}

Alınma: 25.12.2022; düzeltme: 08.02.2024; kabul: 11.06.2024

Öz: Lojistik yönetimi, özellikle ticaretin küreselleşmesi ve endüstriyel döngülerin hızlandığı bir ekonomik ortamda, ekonomik rekabet gücü, zaman ve hizmet kalitesi açısından hedeflerine ulaşmak isteyen herhangi bir şirket için stratejik bir konu haline gelmiştir. Bu gelişmeler, teknolojik alt yapıların gelişmesi, ticaret akışlarının artan karmaşıklığı, artan rekabet ve sürdürülebilir kalkınmadan kaynaklanan ekonomi eğilimlerden etkilenmiştir. Bu nedenle lojistik ağların tasarımı ve planlaması hem işletmeler hem de araştırmacılar için giderek daha önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada, gönderilerin üreticilerin bulunduğu şehirlerden perakendecilerin bulunduğu şehirlere, doğrudan veya yerleri model tarafından belirlenecek olan bir dizi dağıtım merkezi aracılığıyla dağıtıldığı bir deterministik model oluşturulmuştur. Her varış şehrine sadece bir dağıtım merkezi atanırken, her dağıtım merkezi birden fazla varış şehrine hizmet verebilmektedir. Model, dağıtım merkezlerinin nereye yerleştirileceğine karar vermekte ve lojistik işletme maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Model, her bir dağıtım merkezi için kapasite kısıtını dikkate almaktadır. Problemi çözmek için genetik algoritma tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. Genetik algoritma modeli Python dili ile kodlanmıştır. Genetik algoritma çözümü, Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (GAMS) tarafından elde edilen optimal çözümlerle karşılaştırılarak küçük boyutlu problemler üzerinde doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tedarik zinciri, Lojistik, Dağıtım ağı, Genetik algoritma

Re-design of a logistics distribution network with genetic algorithm

Abstract: Logistics management has become a critical part of any company that wants to achieve its goals through capacity, time, and service quality in a financial environment. These improvements have been influenced by economic tendencies stemming from the development of technological infrastructures and an increasing complication of commerce flows. Therefore, the design of logistics networks has become an important issue for both businesses and researchers. In this study, a deterministic model is created in which the shipments are distributed from origin cities to destination cities, either directly or through distribution centers whose locations will be determined by the model. While only one distribution center is assigned to each destination city, each distribution center can serve more than one destination city. The model decides where distribution centers will be located and aims to minimize logistics operating cost. The model considers capacity constraint for each distribution center. A genetic algorithm-based method has been developed to solve the problem. The genetic algorithm model is coded in Python. The genetic algorithm solution is validated on small-sized problems by comparing it with optimal solution obtained by the General Algebraic Modeling System (GAMS).

Keywords: Supply chain, Logistics, Distribution network, Genetic algorithm

* Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Beşiktaş, 34349, İstanbul, Türkiye

** College of Science and Engineering, Hamad Bin Khalifa University, 34110 Doha, Qatar
Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Beşiktaş, 34349, İstanbul, Türkiye

1. GİRİŞ

Tedarik zinciri yönetimi, son yıllarda en önemli Endüstri Mühendisliği uygulama ve araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Tedarik zinciri yönetimi disiplini gelişmeye devam ettikçe tüketiciler, ticari kuruluşlar ve hizmet sağlayıcılar için önemli olan konularda araştırmacıların bilgi birikimlerini geliştirmeleri için önemli fırsatlar doğmaya devam edecektir (Stock ve diğ., 2010). Geleneksel tedarik zincirleri, malzeme akışı, bilgi akışı ve finansal akışlar gibi maliyet ve faktörler üzerinde durmuştur (Calvo ve diğ., 2015). Bugün piyasanın geçmişten daha hızlı yanıt vermesi gerekmektedir. Geleneksel yönetim, zincirlerin mevcut ihtiyaçlarına cevap vermemektedir. Günümüz dünyasında hayatta kalmanın anahtarı, rakiplere karşı rekabet avantajına sahip olmaktır (Shakeriana ve diğ., 2016). Tedarik zinciri, malzeme, bilgi ve finansın yukarı ve aşağı akışlarında yer alan karmaşık bir ticari paydaşlar (örneğin, tedarikçiler, üreticiler, distribütörler, hizmet sağlayıcılar, depolar, müşteriler) ağıdır. Bu akışların verimli ve etkin yönetimi, tedarik zincirinin başarısının anahtarıdır. Bu nedenle, tedarik zinciri yönetimi tedarik zincirinin uygun bir tasarımı ile desteklenmelidir (Beamon ve diğ., 2016).

Tedarik zinciri ağ tasarımı, tedarik zinciri yönetimindeki en önemli planlama problemlerinden biridir (Govindan ve diğ., 2017). Etkileri önemli ve uzun süreli olduğundan, ağ tasarımı kararları en önemli tedarik zinciri kararları arasındadır. Bir tedarik zinciri tasarlariken, bir firmanın rekabet stratejisini desteklemek ve tedarik zinciri kararlarını maksimize etmek için tüm tedarik zinciri itici güçlerinin (tesisler, ulaşım, envanter, bilgi, kaynak bulma ve fiyatlandırma) birlikte nasıl kullanılması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır (Aravendan ve diğ., 2014). İki aşamalı bir tedarik zinciri yapısında, tedarikçi ve perakendeci gibi tedarik zincirinin her bir üyesinin bireysel performanslarını optimize etmek için farklı amaçları olacaktır. Bu nedenle tedarik zinciri üyeleri arasındaki koordinasyon esastır (Torun ve Canbulut, 2019). Tedarik zinciri ağ tasarım problemi, literatürde lojistik ağ tasarımı veya dağıtım ağı tasarımı terimleri altında da incelenmiş ve tesis yerleşim modelleri olarak da anılmıştır. Tedarik zinciri ağ tasarımı bağlamında tesis yerleşimi problemi, öncelikle, müşterilerin taleplerini karşılarken, bir tesisin açılması ve işletilmesi ve malzeme/mal sevkiyatının toplam maliyetlerinin en aza indirilmesi ile ilgilidir. Burada tesis terimi en geniş anlamıyla kullanılır ve fabrikalar, depolar, dağıtım merkezleri, perakende mağazaları, müşteriler ve benzerleri gibi tedarik zincirinin farklı seviyelerinde faaliyet gösteren varlıkları içermektedir. İdeal olarak, bir ağ tasarımı modellenirken, tedarik kaynaklarının ve müşterilerin konumu, potansiyel tesis konumlarının konumu, müşteri/pazara göre talep tahmini, tesise göre işçilik ve malzeme maliyetleri, tesise göre envanter maliyetleri, her bir tesis arasındaki nakliye maliyetleri, ürünün satış fiyatı, vergiler, tarifeler, istenen süre ve diğer gerekli hizmet faktörleri mevcuttur (Chopra ve diğ., 2010). Lojistik merkezlerin ortaya çıkmasında iki önemli faktör vardır. Bunlardan ilki, artan ticaret hacminin ve bunun sonucunda kentte oluşan lojistik dinamizmin olumsuz sonuçlarıdır. İkincisi, birçok farklı alanda faaliyet gösteren lojistik hizmet sağlayıcıları bir araya getirerek daha iyi bir performans düzeyine ulaşmak ve bu sayede müşteri memnuniyetini sağlamaktır (Bediroğlu ve Yıldırım, 2020). Geleceğin en önemli yakıt çözümlerinden biri olacak biyodizel merkezli Ayvaz ve diğ. (2018) yaptığı çalışmada da tedarik zinciri optimizasyonun önemi yakıt tüketimi açısından da vurgulanmıştır. Ayrıca lojistik modelle desteklenen lokasyon seçimi, tedarik zincirinin en önemli halkası olan taşımacılığın değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi yoluyla yapılmaktadır (Yıldız ve diğ., 2022).

Ağ tasarım problemi, uçtan uca tedarik zincirinin uzun süreli ve verimli yönetilebilmesi için optimizasyona ihtiyaç duyan geniş kapsamlı stratejik karar problemlerinden birisidir (Sarıkaya ve diğ.,2014). Bir tedarik zincirindeki lojistik ağ tasarımı, genellikle birden fazla ve birbirleriyle çelişen hedefler tarafından yönetilen stratejik bir karar verme problemidir. Ağ tasarımı, maliyet, kalite, hız ve esneklik olmak üzere dört faktörden etkilenir ve yönetilir (Hiremath ve diğ., 2013). Lojistik dağıtım ağı tasarımı, lojistik maliyetlerini önemli ölçüde azaltmayı ve aynı zamanda tüketici hizmetinin kalitesini iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Guerrero ve diğ., 2020). Dağıtım ağı problemleri çok karmaşıktır. Çünkü temeldeki

değişkenlerin pek çok olası kombinasyonu vardır. Örneğin, dağıtım ağının konsolide edilmesinin envanterle ilgili giderleri azaltması beklendiğinden, yönetim dağıtım merkezi sayısını azaltarak toplam lojistik maliyetlerini azaltmak isteyebilir. Ne yazık ki, daha az dağıtım merkezine sahip olmak nakliye maliyetini artırabilir. Çünkü başlangıç ve varış noktaları arasındaki daha uzun mesafeler ile daha fazla sipariş karşılanacaktır. İdeal dağıtım ağı yapısı, sistem genelindeki toplam maliyeti en aza indirmek ve belirtilen hizmet seviyesini karşılamak için depolama maliyeti, envanter maliyeti ve nakliye maliyeti arasındaki dengeyi sağlamalıdır. Hangi dağıtım merkezlerinin açılacağı ve her müşteriye hizmet vermek için hangi dağıtım merkezinin kullanılacağı belirlenmelidir. Sonuç olarak, her iki hedefi aynı anda karşılayacak şekilde bir model kurmak gerekir.

Tedarik zinciri ve lojistik yönetimi firmalar için en önemli maliyet kalemleri arasında gösterilmektedir. Bu nedenle bu faaliyetlerin etkin bir şekilde yürütülmesi ve oluşabilecek maliyetlerin de en aza indirgenmesi gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışma kapsamında tedarik zinciri ve lojistik yönetimine ilişkin faaliyetlerin hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesine katkıda bulunulması, lojistik firmalarının dağıtım ağlarının incelenmesi ve varsa geliştirilebilir noktaların tespiti amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Optimizasyon problemi her zaman bilim insanlarının araştırmalarının odak noktası olmuştur ve ortak girişimlerin dağıtım türleri üzerine yapılan araştırmalar ilk aşamadır. Wang ve Ying (2014), taşıt seyahat süresinin belirsizliğini dikkate almak için bulanık programlama modelleri ve algoritmaları kullanmış, araç teslimat maliyetlerini en aza indirme problemi ile bir bulanık programlama modeli geliştirmiş ve problemi çözmek için uyarlanabilir bir ayrık parçacık sürüsü optimizasyon algoritması benimsemiştir. Cui ve diğ. (2023), yeni bir uyarlanabilir genetik algoritmanın yerel optimizasyon yeteneğini geliştirmek için geniş bir komşuluk arama algoritması önermişlerdir. Ayrıca bu çalışma, kısıtlamaları olan esnek zaman pencereli bir lojistik dağıtım modeli kurmaktadır. Model, optimal maliyeti amaç fonksiyonu, müşteri memnuniyetini ise etkileyen faktör olarak kabul etmektedir. Deneyde, önerilen uyarlanabilir genetik algoritma, geleneksel genetik algoritmayla karşılaştırılarak önerilen algoritmanın etkinliği doğrulanmıştır. Liu ve diğ. (2014), entegre ağ tasarımı, kapasite planlama ve tersine lojistik sisteminin araç rotalama problemini, minimum maliyeti hedefleyen, ağ tasarımı/kapasite planlama ve araç rotalama problem modeli, hiyerarşik ve entegre tabu arama algoritmaları ile çözmüştür. Zhang (2022), tedarik zincirinde lojistik dağıtım planlamasının verimliliğini arttırmayı ve lojistik maliyetlerini azaltmayı amaçlayan bir çalışma yapmıştır. Lojistik dağıtımın zaman ve maliyet sorunlarının, pratik uygulamaların ihtiyaçlarını karşılama konusunda her zaman bazı sınırlamaları olduğundan araç planlama problemini çözmek için genetik algoritma tabanlı bir yöntem tasarlamıştır. Aritmetik örneklerin analizini gerçekleştirip yöntemin dağıtım maliyetini etkili bir şekilde azalttığını ve daha yüksek hesaplama hızına sahip olduğunu, lojistik dağıtım planlaması sorununu çözmeye yüksek performans gösterdiğini bulmuştur. Lojistik dağıtım planlama modelinin incelenmesi için yeni bir yaklaşım sağlamış ve bu alanda genetik algoritmanın daha iyi uygulanmasına yardımcı olmuştur. Possel ve diğ. (2018), bulanık çok dönemli, çok amaçlı bir karışık tamsayı programlama modeli oluşturdu ve modeli çözmek için Epsilon kısıtlama yöntemini ve parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasını kullanmıştır. Ran ve diğ. (2013), araştırmaya özgü sezgisel yöntemler sağlamak için noktadan noktaya güç dağıtım modelinden ve merkez elektrik modelinden yararlanan bir entegre devre sistemi geliştirmiştir. Agustina ve diğ. (2014), çapraz sevkiyat merkezinde araç çizelgeleme ve rotalama problemini çözmek için karma tamsayı doğrusal bir program modellemişlerdir. Kesin algoritmalar küçük ölçekli araç rotalama problemlerinin çözümünde etkilidir. Büyük ölçekli araç rotalama problemlerine kesin algoritmalarla sınırlı bir zaman diliminde çözüm bulmak zordur. Araştırmacıları buluşsal algoritmalar geliştirmeye motive eden şey de bu olmuştur.

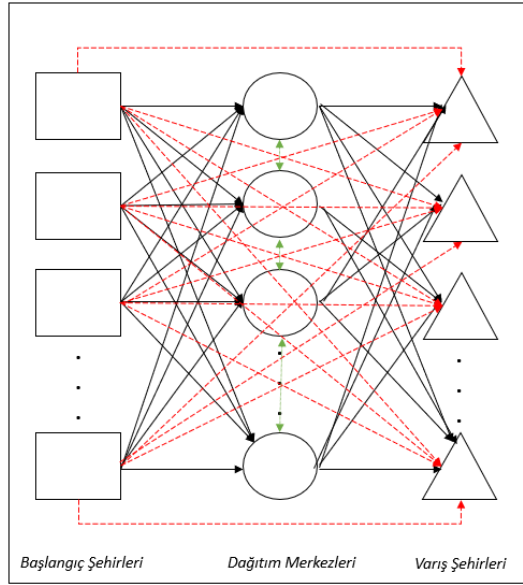
Tiwari ve Sharma (2023), NP-zor problemlerine suboptimal bir çözüm sağlayan Rota İçeri Yerel Arama, Rotalar Arası Yerel Arama ve Tabu Arama gibi optimizasyon algoritmalarını uygulamış ve karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, Tabu aramasının daha büyük örnek boyutları için diğer tekniklerden daha iyi performans gösterdiğini, ancak daha küçük örnek boyutları için Yerel aramanın, önemli ölçüde daha kısa bir süre içinde Tabu aramasıyla karşılaştırılabilir sonuçlar üretebileceğini göstermektedir. Lau ve diğ. (2010) çok depolu ve periyodik ARP'yi çözmek için hibrit bir genetik algoritma sunmuştur. Çaprazlama işlemi, mümkün olmayan çözümlerin yönetimi, değerlendirme prosedürü ve çeşitlilik konularında birçok katkı önermişlerdir. Bu katkılar iyi çözümler elde etmek için hibrit algoritmayı geliştirmektedir. Cao ve diğ. (2007) klasik genetik algoritmanın erken ve gecikmeli yakınsamasının zayıf yönlerini gidermek için geliştirilmiş bir genetik algoritma sunmuştur. Araştırmaları, kullanılan tekniğin performansının geleneksel genetik algoritmadan daha iyi olduğunu göstermiştir. Sicilia ve diğ. (2016), malların kılcal dağılımından oluşan bir ARP'yi çözmek için değişken komşuluk araması ve tabu arama meta-sezgiselliğine dayalı bir algoritma önermiştir. Ren ve diğ. (2023), toplam maliyeti en aza indirmek amacıyla araç rotalamayı optimize etmek için bir matematiksel model oluşturmuşlardır. Modeli çözmek için yeni geliştirilmiş bir karınca kolonisi optimizasyonu algoritması tasarlanmış ve başlangıç popülasyonunun kalitesini sağlamak için araçların feromonları ve sezgisel bir algoritma ile bir başlangıç çözümü üretmişlerdir. Wasil ve diğ. (2011), aynı otoparkta bulunan araçlar ile siparişlerin partiler halinde teslim edilebileceği modelde araçların hareket mesafesini azaltmayı amaçlayan tamsayı programlamaya dayalı bir sezgisel algoritma önermiştir.

Günümüz işletmeleri için işletme maliyetlerinin nasıl azaltılacağı, kârın nasıl artırılacağı ve taşımacılığın nasıl iyileştirileceği lojistik yönetiminde önemli bir konu haline gelmiştir ve bu da lojistik sektöründeki rekabetin önemini doğrudan etkilemekte ve belirlemektedir. Lojistik endüstrisi bir yandan iyi gelişme beklentileriyle karşı karşıyayken, diğer yandan da gelişimini kısıtlayan bir darboğazla karşı karşıyadır. Özellikle ekonomik küreselleşmenin ve bilgi teknolojisinin hızlanmasıyla birlikte, geleneksel ve basit taşıma ve depolama hizmetleri, verimli ve profesyonel lojistik hizmetlerinin üretilmesini ve geliştirilmesini sınırlamış ve geciktirmiştir. Endüstriyel alanda birçok lojistik merkezi, ürün dağıtımını müşteri ihtiyaçlarına göre seçer, bu da daha az kaynak kullanımı ve yüksek maliyetle sonuçlanır. Paylaşımli dağıtım modeli, malların aynı rota üzerinde taşınması, birden fazla müşteriyi taşımak için aynı kamyonun kullanılması, işletme maliyetlerini azaltır ve kaynak kullanımını ve lojistik sektörünün rekabet gücünü artırır. Lojistik dağıtım ağı problemlerinin karmaşıklığı ile başa çıkmak ve makul sürede kabul edilebilir çözümler elde etmek için yukarıda örnekleri verildiği üzere son yıllarda birçok sezgisel ve meta-sezgisel algoritma geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu çalışmadaki modelin karmaşıklığı dikkate alınarak hesaplama esas olarak genetik algoritmaya dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın literatürdeki çalışmalardan temel farkı toplam maliyeti minimize etmek için tasarlanan hem doğrudan taşımaları hem de aktarmalı taşımaları içeren bir lojistik dağıtım ağında yer alan dağıtım merkezlerinin kapanma maliyetlerinin de diğer maliyetlerle birlikte dikkate alınmasıdır.

3. PROBLEMİN TANIMI

Üçüncü taraf lojistik hizmet sağlayıcıları (3PL'ler) tedarik zinciri yönetiminde önemli bir role sahiptir. Bu nedenle 3PL'lerin müşteri taleplerini karşılayabilmek için etkin bir dağıtım ağına sahip olmaları gerekmektedir. Bu çalışmadaki problemde, bitmiş ürünler üretici/tedarikçiden müşterilere/perakendecilere doğrudan sevkiyat ve aktarmalı sevkiyat olmak üzere mevcut iki dağıtım yöntemiyle dağıtılır. Aktarmalı sevkiyatlar dağıtım merkezleri aracılığıyla yapılmaktadır. Bu tür dağıtım ağı hızlı tüketim endüstrisi, otomotiv endüstrisi ve gıda endüstrisi için yaygındır. Önceki bölümde tartışılan literatürü dikkate alarak iki aşamalı bir dağıtım ağı problemi incelenmiştir. Dağıtım merkezlerinin sayısı, konumu ve hizmet ettiği alanların lojistik dağıtım modeline dahil edilmesi, problemi NP-Zor optimizasyona dönüştürür.

Başka bir deyişle polinomsal zamanında optimal çözümü bulabilecek bir algoritmanın olmadığı bir problemdir. Bunu tam olarak çözecek bir algoritma mevcut olsa bile, özellikle problem boyutu büyüdükçe bu çok uzun zaman alacaktır. Mevcut problem, gönderilerin başlangıç şehirlerinden bir dizi dağıtım merkezlerine, dağıtım merkezlerinden de varış şehirlerine ve doğrudan başlangıç şehirlerinden varış şehirlerine dağıtımını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Varış şehirlerinin deterministik talepleri vardır ve envanter tutabilmektedirler. Depoların belirli kapasiteleri mevcuttur. Her dağıtım merkezi birden fazla varış şehrine dağıtım yapabilmektedir. Ancak her varış şehrine yalnızca bir dağıtım merkezi tarafından teslimat yapabilmektedir. Model sonsuz zaman ufkunu dikkate almaktadır. Dağıtım ağının şematik bir temsili Şekil 1’de sunulmaktadır. Dikdörtgen şekli başlangıç şehirlerini, çember şekli dağıtım merkezlerini, üçgen şekli varış şehirlerini ve oklar rotaları temsil etmektedir.



Şekil 1:
Dağıtım ağı

Model aşağıdaki varsayımlar üzerine kurulmuştur:

- Başlangıç ve varış şehirleri sabit, bilinen yerlerdedir.
- Her varış şehrinin bilinen, deterministik bir talebi vardır ve sınırsız kapasitede envanter tutabilir.
- Dağıtım merkezlerinin yerleştirilebileceği uygun şehirler vardır.
- Mevcut dağıtım merkezleri sınırlı kapasiteye sahiptir ve yeni kurulacak dağıtım merkezleri de o yerin kapasitesi dahilinde inşa edilmelidir.
- Her varış şehri yalnızca bir dağıtım merkezine atanmalıdır.
- Aktarmalı gönderiler en fazla iki dağıtım merkezine uğrama yapabilir.
- Dağıtım merkezlerine uğramadan başlangıç şehirden varış şehrine doğrudan gönderim yapılabilir.
- Dağıtım merkezlerinde biriktirmeye izin verilmez.
- Gönderilerin uğramadığı dağıtım merkezleri kapalı olmalı, uğradığı dağıtım merkezleri ise açık olmalıdır.

Problem iki ana maliyeti göz önünde bulundurur:

- Birim nakliye maliyeti
- Dağıtım merkezi açma ve kapama sabit maliyeti

Dağıtım merkezlerinin sayısının, yerlerinin ve hizmet alanlarının belirlenmesini kapsayan bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Mevcut ağ tasarımındaki bir dağıtım merkezinin kapatılması

durumunda veya yeni bir dağıtım merkezinin sıfırdan bir yere konumlandırılması durumunda ne kadar maliyet oluşturacağını araştırılması yapılmıştır. Örneğin, belirli bir bölgede talepte bir düşüş yaşanır veya komşu bir dağıtım merkezi tesisinin kapatılmasına göre daha ekonomik bir şekilde sistemin çalışma durumunun ortaya çıkması araştırılmıştır. Mevcut sistemde yeni bir dağıtım merkezi tesisi kurmak mantıklı mı, ideal konumu nerede olmalı, hizmet alanları ideal midir veya hizmet alanı sınırlarını kaydırarak ne gibi maliyet tasarrufu sağlanabilir sorularına yanıt aranmıştır.

4. MATEMATİKSEL MODEL

Problemi formüle etmek için aşağıdaki gösterimler kullanılmıştır.

İndisler:

j: Başlangıç şehri

l: Varış şehri

k: Birinci dağıtım merkezi

m: İkinci dağıtım merkezi

Parametreler:

d_{jl} : j şehirden l şehrine toplam taşınan gönderi hacmi

a_m : m dağıtım merkezi kapasitesi

a_k : k dağıtım merkezi kapasitesi

c_{jl} : j şehirden l şehrine aktarmasız birim taşıma maliyeti

c_{ml} : m şehirden l şehrine aktarmalı birim taşıma maliyeti

c_{jk} : j şehirden k şehrine aktarmalı birim taşıma maliyeti

c_{km} : k şehirden m şehrine dağıtım merkezleri arası birim taşıma maliyeti

f_m : m dağıtım merkezinin kurulum maliyeti

g_m : m dağıtım merkezi kapanma maliyeti

Karar Değişkenleri:

t_m $\begin{cases} 1 & m \text{ dağıtım merkezi kuruluyorsa,} \\ 0 & \text{kurulmuyorsa} \end{cases}$

$r_{m,l}$ $\begin{cases} 1 & m \text{ dağıtım merkezinden l dağıtım merkezine taşıma yapılıyorsa} \\ 0 & \text{yapılmıyorsa} \end{cases}$

x_{jl} : j şehirden l şehrine aktarmasız taşınan gönderi hacmi

y_{jkml} : j şehirden l şehrine aktarmalı taşınan gönderi hacmi

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_m f_m t_m + \sum_m g_m s_m + \sum_j \sum_l x_{jl} c_{jl} \\ & + \sum_j \sum_k \sum_m \sum_l y_{jkml} (c_{jk} + c_{km} + c_{ml}) \end{aligned} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j x_{jl} + \sum_k \sum_m y_{jkml} = d_{jl} \quad \forall j, l \quad (2)$$

$$\sum_j \sum_k \sum_l y_{jkml} \leq a_m t_m \quad \forall m \quad (3)$$

$$\sum_j \sum_m \sum_l y_{jkml} \leq a_k t_k \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_k \sum_j y_{jkml} \leq a_m r_{m,l} \quad \forall m,l \quad (5)$$

$$\sum_m r_{m,l} = 1 \quad \forall l \quad (6)$$

$$r_{m,l} \leq t_m \quad \forall m,l \quad (7)$$

$$t_m + s_m = 1 \quad \forall m \quad (8)$$

$$t_m \leq \sum_j \sum_k \sum_l y_{jkml} \quad \forall m \quad (9)$$

$$t_k \leq \sum_j \sum_m \sum_l y_{jkml} \quad \forall k \quad (10)$$

$$t_m \in \{0,1\} \quad \forall m \quad (11)$$

$$s_m \in \{0,1\} \quad \forall m \quad (12)$$

$$r_{m,l} \in \{0,1\} \quad \forall m,l \quad (13)$$

$$x_{jl} \geq 0 \quad \forall j,l \quad (14)$$

$$y_{jkml} \geq 0 \quad \forall j,k,m,l \quad (15)$$

Aktarmalı taşıma, aktarmasız taşıma, dağıtım merkezi açma ve dağıtım merkezi kapatma maliyetlerinden oluşan amaç fonksiyonu (1) toplam sistem maliyetini minimize etmektedir. Amaç fonksiyonunun ilk kısmı aktarmasız toplam taşıma maliyetini, ikinci kısmı aktarmalı toplam taşıma maliyetini, üçüncü kısım aktarma merkezi kurulum maliyetini, dördüncü kısmı aktarma merkezi kapatma maliyetini ifade etmektedir.

Kısıt (2), toplam gönderi hacminin aktarmalı ve aktarmasız taşınan gönderi hacminin toplamına eşit olduğunu ifade etmektedir. Kısıt (3), kısıt (4) ve kısıt (5), aktarmalı gönderilen ürün hacminin dağıtım merkezi kapasitesini aşamayacağını temsil etmektedir. Kısıt (6), her bir varış şehrine sadece bir dağıtım merkezini atamaktadır. İki farklı dağıtım merkezinden aynı şehre teslimat yapılması mümkün değildir. Kısıt (7), dağıtım merkezinin açık olduğu durumlarda dağıtım merkezi üzerinden gönderilerin aktarılabilceğini ifade etmektedir. Kısıt (8), bir dağıtım merkezinin ya açık ya da kapalı olabileceğini göstermektedir. Kısıt (9) ve Kısıt (10), aktarma yapılmayan dağıtım merkezinin kapanacağını ifade etmektedir. Kısıt (11), Kısıt

(12) ve Kısıt (13) ikili karar değişkenlerinin “0” veya “1” değerlerini alacağını ifade eder. Kısıt (14) ve Kısıt (15) numaralı kısıtlar, karar değişkenlerinin 0 veya pozitif değerler almasını sağlar.

5. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Problemi optimal olarak çözmek için model GAMS programında kodlanmış ve çözdürülmeye çalışılmıştır. Küçük problem örneklerinde sonuç alınabilmiş olsa da modelin karmaşıklığı nedeniyle tüm problemin çözümü için bir sezgisel algoritmaya ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için bir genetik algoritma (GA) geliştirilmiştir. Genetik Algoritma; lojistik, dağıtım ve araç rotalama problemlerini çözmek için akademisyenler tarafından kullanılan ana yöntemlerden biridir. Profesör Holland tarafından 1975 yılında geliştirilen fikri, doğal seleksiyon ve genetiğe dayanan küresel bir arama yöntemidir, organizmaların evrim süreci seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler tarafından simüle edilir ve uygunluk fonksiyonu kromozomların mükemmelliğini temsil etmek için kullanılır. Genetik algoritma, Darwin'in doğal evrim teorisini ve genetik çeşitlilik teorisini simüle eder ve güçlü bir sağlamlığa ve küresel optimizasyon yeteneğine sahiptir. Karmaşık çok ekstremum optimizasyon problemlerini ve kombinatorial problemleri çözmeye uygundur ve geniş bir uygulama değerleri yelpazesine sahiptir. GA, bir problem için optimal veya optimale yakın çözümü elde etmek için doğal biyolojik evrim sürecini taklit eden bir tekniktir (Saddoune ve diğ., 2011).

Genetik algoritma, çözüm uzayındaki verileri doğrudan işleyemez ve problemin kromozomlara kodlanması gerekir. Kromozom kodlama, çözülmesi gereken problemin kodlama yoluyla kromozomlar şeklinde ifade edildiği ve yapıların belirli bir şekilde düzenlenmesiyle kromozomların oluşturulduğu genetik algoritmanın ilk adımıdır. Kodlama sürecinde problem uzayındaki herhangi bir çözümün kendisine karşılık gelen bir kromozomu olması gerekir. Yaygın olarak kullanılan kromozom kodlama yöntemleri temel olarak ikili kodlamayı, tamsayı kodlamayı, kayan nokta kodlamasını ve hibrit kodlamayı içerir. Popülasyon, her nesildeki tüm sayıdaki kromozomların kümesini ifade eder. Popülasyondaki bireyler yinelemeli süreç yoluyla yeni bireyler üretmeye devam eder, ancak sabit olan yinelemeli süreç nedeniyle popülasyonun büyüklüğü değişmeyecektir (Lahrichiac ve diğ., 2015).

Her çözüm bir kromozom olarak temsil edilir ve belirli genetik operatörlere dayalı olarak bir başlangıç popülasyonundan kromozomlar eşlenerek yavrular üretilir (Kudova, 2007). GA, sürekli olarak bir çözüme daha iyi yaklaşımların üretileceği en uygun olanın hayatta kalmasına dayanmaktadır (Mirjalili, 2019).

Genetik Algoritma dört temel işleme programına karşılık gelir: kodlama, tarama, çaprazlama ve mutasyon. Kodlama: İlgili problemlerin uygulanabilir açıklamasının algoritmada nasıl ifade edileceği, yani belirli bir problemin uygun çözümünün, algoritmanın hesaplayabileceği ve karşılık gelen uzayda çalışabileceği arama alanına dönüştürülmesidir. Bu dönüştürme yöntemi ve stratejisi kodlamadır. Kodlama modu, algoritmanın kapsamlı performansının yanı sıra başlatma ayar adımlarını ve farklı operatörlerin tasarımını da doğrudan etkiler. Tarama: İşin bu bölümünün temel görevi, mevcut bütünden ideal bireyi elde etmektir, böylece sonraki yavruları ebeveyn nesli olarak geliştirmeye devam edebilir. Popülasyon açısından farklı bireylerin uygunluk durumlarına göre, ilgili ilke ve stratejilere göre önceki nesilden ideal bireyler seçilir ve bunları genetik adımlarla sonraki nesillere aktarılır. Tarama standardı, daha güçlü uyum yeteneğine sahip bireyler elde etmektir. Bu sayede daha sonraki çoğaltma konusunda daha büyük katkı sağlanabilir ve daha fazla yavru alma ihtimali oluşur. Böyle bir prosedür, biyolojinin anlamına oldukça benzeyen, en uygun olanın hayatta kalması kavramını açık bir şekilde bünyesinde barındırmaktadır. Çaprazlama: Genetik algoritmanın en kritik işlemidir. Çaprazlama işleminin yardımıyla sonraki nesillerdeki bireyler elde edilebilir ve bu bireyler açıkça önceki neslin bir dizi nitelik özelliğini miras alır. Çaprazlama, gruptaki farklı bireyler için karşılık gelen eşleştirme işleminin tamamlanmasıdır. Farklı bireyler için sahip oldukları bazı kromozomlar karşılık gelen olasılığa göre değiştirilir ve paylaşılır. bir kısmı bilgi alışverişi kavramını bünyesinde barındırır. Mutasyon: Farklı kodlama dizileri üzerindeki bazı

konumların çok küçük bir olasılığa göre ayarlanmasıdır. Örneğin ikili kodlamada 0, yeni bir birey elde edecek şekilde 1'e ayarlanır. Bu tür bir algoritma, yalnızca yeni bireylerin elde edilmesinde yardımcı bir araç olmasına rağmen, aynı zamanda genetik algoritmanın yerel uzaydaki arama performansı ile doğrudan ilgili olan çok önemli bir bağlantıdır. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri, takip eden küresel aramayı ve yerel aramayı tamamlamak için birlikte çalışır. Biyolojik alanda olduğu gibi GA'da da değişim olasılığı çok düşüktür (Kong ve diğ., 2020).

GA'nın genel akışı şu şekildedir. Başlangıç popülasyonunu oluşturmak için başlatma prosedürü kullanılır. İki ebeveyn seçilir. Yeni bir yavru oluşturmak için çaprazlama işlemi yapılır. Yavruların üzerinde mutasyon tekniği kullanılır. Daha sonra oluşturulan yavrular popülasyona eklenir. Yeni yavrular eklendikçe popülasyon büyüklüğü iterasyonlar boyunca değişir. Belirlenen bir sabit, algoritmanın başlangıcında başlatılan popülasyonun boyutunu belirtir ve popülasyona eklenebilecek izin verilen maksimum yavru sayısı belirlenir. Seçim mekanizmalarından biri uygulanır. Yineleme sayısına ulaşıldığında, GA sona erer (Koç ve diğ., 2018).

Dağıtım merkezlerinin dağılımını ve ilgili tüm karar değişkenlerini bulduktan sonra, her bir kromozom için amaç fonksiyonu değerlendirilebilmektedir. Bir minimizasyon problemi olduğu için uygunluk fonksiyonu (problemin amaç fonksiyonu) en yüksek uygunluk değerini en düşük amaç fonksiyonuna atamaktadır (Kumar ve diğ., 2018).

Evrim stratejisi, birbirleriyle üremek için bireyleri seçmeyi içermektedir. Evrim teorisinin ana itici gücü olan doğal seleksiyon sürecinde olduğu gibi, uyumlu bireylerin bir sonraki nesli üretmek için seçilme olasılıkları daha yüksektir (Demirel ve diğ., 2011). Seçilen kromozomlar daha sonra tek noktalı çaprazlamalar yoluyla birbirleriyle eşleşmektedir. Ayrıca rastgele mutasyon, kromozomların genlerinde değişikliklere neden olabilmektedir. Bu, modelin olası yerel optimuma erken yakınsamasını önlemeye yardımcı olmaktadır (Hassanat ve diğ., 2019).

Brahami ve diğ. (2020), ulaşım faaliyetleriyle ilgili maliyet ve çevresel etkinin en aza indirilmesi için çok amaçlı bir model önermişlerdir. Önerilen modeli etkili bir şekilde çözmek için, Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması'nın karma kodlama kullanan bir uyarlamasını geliştirmişlerdir. Önerilen yaklaşımın performansını değerlendirmek için farklı boyutlardaki örnekler üzerinde bir dizi sayısal deney yapmışlardır. Son olarak, problemin temel parametrelerindeki değişikliklere yanıt olarak önerilen modelin davranışını analiz etmek için bir duyarlılık analizi sunmuşlardır. Ghoseiri ve Ghannadpour (2010), problemlerini hem toplam kat edilen mesafenin hem de araç sayısının en aza indirilmesi gereken çok amaçlı bir problem olarak ele almışlardır. Baskın olmayan çözümleri bulmak için Pareto sıralama sürecini uygulayan bir Genetik Algoritma önermişlerdir. Bu yaklaşım sayesinde, gerek toplam araç sayısı gerekse toplam kat edilen mesafe konusunda olası önyargılı çözümler önlenmiştir. Karakatić ve Podgorelec (2015) tarafından Çok Depolu Araç Rotalama Problemi'nin çözümüne yönelik genetik algoritmaların araştırılması da bahsetmeye değerdir. GA'ların diğer algoritmalarla aynı seviyede olduğunu ve Çok Depolu Araç Rotalama Problemini adreslerken çok etkili olduklarını, GA'nın temel avantajının büyüyen problem boyutuyla doğrusal ölçeklendirme olduğunu ve bu nedenle büyük NP problemlerini çözmek için kesin ve diğer buluşsal yöntemlere göre tercih edildiğini iddia etmişlerdir. Okyere ve diğ. (2022) iç taşımacılıkta karayolu, demiryolu ve suyunu içeren sürdürülebilir çok modlu yük dağıtımını geliştirmek için yük taşımacılığı ve lojistik çerçevesini araştırmışlardır. Zaman, mesafe ve CO2 emisyonlarından oluşan bir genetik algoritma modeli oluşturmuşlardır. Optimum tasarım sistemi, yüksek nakliye maliyetine sahip mevcut taşıma bölme modlarını iyileştirmek için Genetik Algoritma (GA) ve Matlab (R2016a) yazılımı uyarlanarak modellenmişlerdir. Laporte ve diğ. (2009), ARP'yi çeşitli sınırlamalarla çözmek için genetik algoritmayı kullanmıştır. Tekil popülasyon oluşturmak ve başka bir rota önermek için yeni bir teknik sergilemişlerdir. Sınırlı bir otomasyonun başladığı her an; her neslin büyümesinde başka bir popülasyon yaratır ve bundan sonra bireysel popülasyon oluşana kadar büyük popülasyonu sonraki bireylere getirir.

Ayrıca kromozomu, bir araç yolunu temsil eden bir dizi müşteri olarak göstermişler ve kromozomun uygunluğu, bireyin mesafesi, müşteri miktarı ve araç tarafından gönderilen toplam miktar ile tespit etmişlerdir. Seçim seviyesinde, benzer bir bireyden gelen kromozom setlerini çaprazlamaya seçen, kromozomdaki en düşük kalitenin seçildiği ve ayırım gözetmeksizin kromozomdan çıkarıldığı ve ardından sonlandırıldığı başka bir prosedür önermişlerdir. Deneysel sonuçların iyi olduğunu keşfetmişler ve ARP'yi çoklu istasyonlarla çözmeye teşvik etmişlerdir. Sadjadi ve diğ. (2009), milk run problemini genetik algoritma kullanarak çözmüşlerdir ve sonuçlar, önerilen yöntemin lojistik maliyetini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Baniamerian ve diğ. (2017), çapraz sevkiyat ile üç kademeli tedarik zinciri problemini ortaya koymuş ve müşteri memnuniyetine odaklanan iki aşamalı bir genetik algoritma önermişlerdir. Baniamerian ve diğ. (2019), çapraz yerleştirme ile heterojen bir araç rotalama problemi üzerinde çalışmış ve değiştirilmiş değişken komşuluk araması ile hibrit bir genetik algoritma geliştirmiştir. Sonuçlar benzetilmiş tavlama (SA) algoritması ve yapay arı kolonisi (ABC) algoritması ile karşılaştırıldığında, önerilen hibrit algoritmanın diğerlerine göre anlamlı derecede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Guo (2020)'nun makalesi, e-ticaret lojistiği şehir dağıtımının mevcut ağ yapısını ve dağıtım modunu analiz etmekte ve mevcut e-ticaret lojistiği şehir dağıtımında mevcut sorunları analiz edip tartışmaktadır. Sınırlı hatlara sahip kentsel dağıtım hizmet ağı yer seçimi için iki seviyeli programlama modeli önermiştir. İki seviyeli programlama probleminin özelliklerine göre iki seviyeli programlamaya uygun genetik algoritma akışı da önermiştir. Bu makaledeki genetik algoritmanın doğrulanması yoluyla önerilen yöntem, makul bir hizmet sahası yerleşim düzeni ve dağıtım modelleri ile yol seçimini planlayabilmektedir.

Uygulamada kullanılan genetik algoritmanın sözde kodu aşağıdaki gibidir.

Adım 1: Teslimatın gerçekleşebileceği başlangıç ve varış şehirleri tespit edilir.

Adım 2: Aynı başlangıç ve varış şehrine sahip iki farklı rota rastgele oluşturulur.

Adım 3: Oluşturulan iki rotadan hareketle çaprazlama ve çeşitli mutasyonlarla yeni rotalar oluşturulur.

Adım 4: Belirlenen sınır sayısı kadar Adım 2-3 tekrar edilir.

Adım 5: Kısıtları sağlayan rotalar bir havuzda toplanır.

Adım 6: Havuzdaki tüm rotaların kendi maliyeti hesaplanır.

Adım 7: Havuzdaki tüm rotaların içerisindeki en düşük maliyetli olan rota belirlenir ve bir üst havuza aktarılır.

Adım 8: Adım 2-7 teslimatın gerçekleşebileceği tüm başlangıç ve bitiş noktaları için tekrar edilir.

Adım 9: Üst havuzun toplam maliyeti hesaplanır.

Adım 10: 2-9 adımları belirlenen sınırlar kadar tekrar edilir.

Adım 11: En düşük maliyetli üst havuz seçilir.

Adım 12: Üst havuzdaki rotalar sırayla alınır.

Adım 13: Alınan rotayla aynı başlangıç ve bitiş noktasına sahip rastgele yeni bir rota üretilir.

Adım 14: Eğer üretilen yeni rota kısıtları sağlamıyorsa Adım 13 tekrarlanır.

Adım 15: Eğer yeni rotayla üst havuzun toplam maliyeti azalmışsa eski rota Adım 13'te bulunan yeni rota ile güncellenir. Azalmamışsa eski rota korunur.

Adım 16: Belirlenen sınırlar kadar Adım 12-15 tekrar edilir.

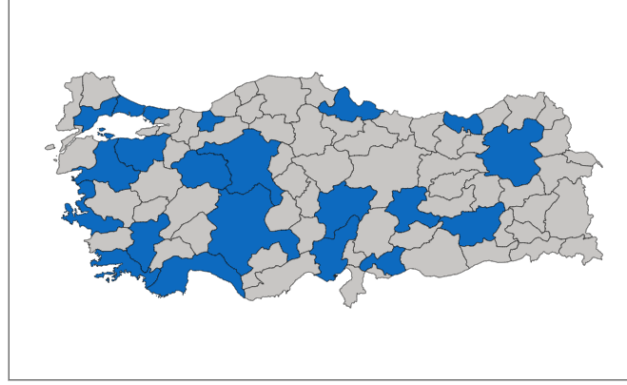
Adım 17: Havuzdaki rotalara göre açık ve kapalı dağıtım merkezleri tespit edilir.

Adım 18: Uygunluk değeri hesaplanır.

Adım 19: Tüm bu işlemlerin kaç saniye sürdüğü, toplam maliyet ve açık-kapalı olan dağıtım merkezleri ekrana yazdırılır.

6. UYGULAMA

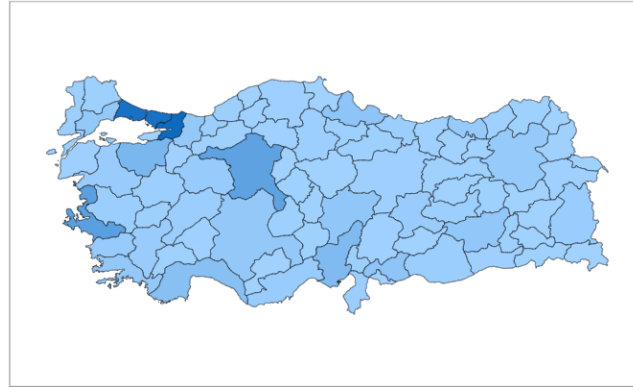
Bu bölümde, önceki bölümde geliştirilen modeli test etmek amaçlı yapılan uygulamanın çıktıları paylaşılmaktadır. Sayısal bir uygulama olarak Türkiye'nin 82 şehrinde hizmet veren bir lojistik firmasının dağıtım ağları incelenmiştir. İstanbul Anadolu ve İstanbul Avrupa iki ayrı şehir olarak kabul edilmektedir. Firmanın mevcut dağıtım ağı yapısında 22 adet dağıtım merkezi hizmet vermektedir. Bu şehirler Adana, Afyonkarahisar, Ankara, Antalya, Balıkesir, Bursa, Denizli, Diyarbakır, Düzce, Erzurum, Eskişehir, Gaziantep, İstanbul Anadolu, İstanbul Avrupa, İzmir, Kayseri, Konya, Malatya, Muğla, Samsun, Tekirdağ ve Trabzon'dur. Şekil 2'de dağıtım merkezlerinin bulunduğu şehirler harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2:

Mevcut dağıtım merkezlerinin bulunduğu şehirler

Taleplerin il bazlı yoğunluk haritası Şekil 3'te gösterilmektedir. Koyu renklendirme talebin daha fazla, açık renklendirme ise talebin daha az olduğu şehirleri simgelemektedir. Ticaretin yoğun olduğu İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa gibi şehirlerin diğer şehirlere oranla talebin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3:

Şehirlerin talep yoğunluğu.

Tüm hesaplama deneyleri, 16 gigabayt RAM ve Intel Core i7 2.8 GHz işlemciye sahip bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta GAMS programında matematiksel model kodlanmıştır.

İlk olarak bir rotaya ait taşımalar için tek bir dağıtım merkezi kullanılması senaryosu üzerinde çalışılmıştır. Matematiksel modelin tutarlılığı küçük boyutlu problemler üzerinde test

edilmiş ve doğrulanmıştır. Farklı şehir sayıları içeren testlerin ve tüm problemin optimal çözümünü elde etmek için yine GAMS programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1’de gösterilmiştir. Şehir sayısı arttıkça onunla doğru orantıda artan taşıma hacmi nedeniyle toplam maliyet de artmaktadır. Herhangi bir dağıtım merkezinin varlığı değişmemiştir. Bu senaryoda şehir sayısı arttırılsa da senaryoya ait rota olasılıkları görece daha az olmasından dolayı çözüm makul sürelerde elde edilebilmiştir. Eğer sadece tek dağıtım merkezli bir problem üzerine çalışma yapılırsa fazla sayıdaki şehir verileriyle de GAMS kodlamasının yeterli olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 1. Tek dağıtım merkezi uğramalı sonuçlar

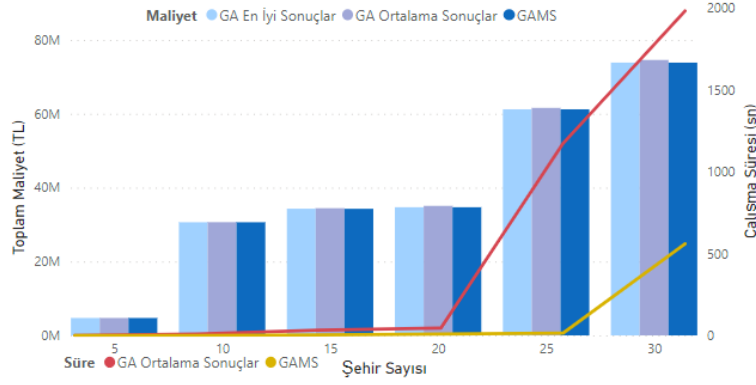
Şehir Sayısı	Toplam Maliyet (TL)	Çalışma Süresi (sn)
5	4.713.833	1
10	30.638.171	1
20	34.701.390	3
30	73.860.959	5
40	263.441.354	10
50	506.934.413	35
60	731.401.026	70
70	739.759.640	105

Bir taşıma rotasında en fazla iki dağıtım merkezine uğrama yapılabildiği senaryoda problemin karmaşıklığından ve büyüklüğünden dolayı bir süre sonra programda kapasite hatası alınmıştır. Bu nedenle tüm problemin çözümü için bir sezgisel algoritmaya ihtiyaç duyulmuştur. Bu problemin çözümü için genetik algoritma tercih edilmiştir. Genetik algoritma Python dilinde kodlanmıştır. GA'nın doğruluğu, küçük problemlerde GAMS programından elde edilen optimal sonuçlarla karşılaştırarak test edilmiştir. Son olarak, GA problemin tamamı için uygulanmıştır. GA testlerinde, her bir örnek için beş ayrı çalıştırma gerçekleştirilip raporlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir.

GAMS programında en fazla 30 şehir için yapılan testlerde sonuç elde edilebilmiştir. GAMS programı optimum sonuçlara çok hızlı bir şekilde ulaşmasına rağmen 30’dan daha fazla şehir sayısı için yapılan testlerde 2257. saniyeden sonra bilgisayar kapasitesi kaynaklı hata alınmış ve çözüm elde edilememiştir. GAMS sonuçları ile GA sonuçlarının karşılaştırılabildiği 5,10,15,20,25 ve 30 şehirlik testlerin sonuç grafiği Şekil 4’te gösterilmiştir. 20 şehire kadar olan bölümde çözüm süreleri benzerlik gösterirken GA çözüm süresi dramatik bir şekilde çok artmıştır. Süre bakımından GAMS daha verimli olsa da problemin şehir sayılarına bağlı ileri karmaşık seviyesinde çözüm elde edilememiştir. GA’da sürenin daha uzun olması göze alınarak gerçek problemin sonuçlarına ulaşılabilmiştir. Toplam maliyetlerin farklı yöntemlerdeki birbirlerine yakınlığı grafik sütunlarında görülmektedir. 5 ve 10 şehir sayılı testlerde maliyetler aynı olmasına rağmen daha fazla sayıdaki şehir içeren testlerde fark %0,01-%1,07 aralığında değişmektedir.

Genetik algoritmanın tekrar sayıları çok fazla olduğunda GAMS programında bulunan optimum çözümlerle aynı veya en fazla %0,06 uzaklıkta sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 2’de “GA En İyi Sonuçlar” başlığı altında gösterilmiştir. Genetik algoritma modelinin doğruluğu uygulanan bu testlerde kanıtlanmıştır. Elde edilen en iyi sonuçlar optimum sonuçlara çok yakın olsa da çözüm süresi oldukça uzun sürmüştür. Sonuçlara daha makul çözüm sürelerinde de ulaşabilmek için farklı parametrelerle yapılan testler sonucunda ortalama sonuçlar da elde edilmiştir. Bir bireye aynı başlangıç ve varış şehirlerine ait olası tüm rota sayısının 0,25’i kadar evrilme sayısı sınırı belirlenmiştir. Popülasyondaki bireylere kaç şehir

için uygulama yapılıyorsa o kadarlık evirilme sayısı verilmiştir. Tekrar sayıları ve havuzdan rastgele eleman alınımın sayısı 3 ile sınırlandırılmıştır. Bu parametrelerle elde edilen sonuçlar Tablo 2’de “GA Ortalama Sonuçlar” başlığı altında sunulmuştur. “% Fark” kolonları kıyaslandığında GA ortalama sonuçlar’ın uzaklığı, GA en iyi sonuçlar’a göre daha fazladır ama %1,07’yi geçmemektedir. Süreden kazanç ise özellikle 20’den fazla şehir sayısını içeren seneryolarda yaklaşık 10 kattır. Bu da kabul edilebilir seviyelerdeki parametre değişikliklerinin çözüm sürelerinde ciddi fayda sağlayabileceğini göstermektedir. Mevcutta açık bulunan 22 adet dağıtım merkezine ek olarak algoritma sonucunda Bilecik, Bolu ve Kocaeli şehirlerinde de dağıtım merkezinin kurulmasının maliyet avantajı sağlayacağı tespit edilmiştir. Şirkete ait en büyük ticaret hacminin çıkış noktasının İstanbul’da olduğu göz önünde bulundurulduğunda İstanbul’daki dağıtım merkezlerine ek olarak çevre illerinde de dağıtım merkezlerinin kurulması ihtiyacı gerçekliğe uymaktadır. Kapanması gereken herhangi bir dağıtım merkezi ise tespit edilememiştir.



Şekil 4:
Uygulama sonuçları grafiği

Tablo 2. En fazla iki dağıtım merkezi uğramalı sonuçlar

Şehir sayısı	GAMS		GA en iyi sonuçlar			GA ortalama sonuçlar		
	Toplam maliyet (TL)	Çalışma Süresi (sn)	Toplam maliyet (TL)	% Fark	Çalışma Süresi (sn)	Toplam maliyet (TL)	% Fark	Çalışma Süresi (sn)
5	4.713.833	1	4.713.833	%0,00	1	4.713.833	%0,00	1
10	30.638.171	1	30.638.171	%0,00	77	30.659.198	%0,07	10
15	34.286.329	5	34.307.625	%0,06	196	34.436.972	%0,44	34
20	34.701.390	10	34.702.307	%0,01	592	35.072.139	%1,07	47
25	61.220.511	15	61.220.511	%0,00	8842	61.608.051	%0,63	1173
30	73.856.913	561	73.864.349	%0,01	19996	74.579.906	%0,98	1981
40	-	-	267.858.913	-	61988	277.889.599	-	6774
82	-	-	733.071.263	-	107885	762.480.827	-	94728

7. SONUÇ

Bu çalışmada bir lojistik dağıtım ağı tasarımı incelenmiştir. Dağıtım merkezi konumlarının dağıtım ağı tasarımlarında büyük öneme sahip olduğu aktarılmıştır. Optimize edilecek lojistik dağıtım ağları dağıtım merkezlerinin konumlarını etkileyeceğinden dağıtım merkezi konumu ve ağ tasarım problemi beraber değerlendirilmelidir. Matematiksel model bölümünde verilen kısıtlar altında, dağıtım merkezlerinin adetleri, konumları ve servis sağladığı şehirlere göre en ideal ağ tasarımına ulaşmayı sağlayan bir model geliştirilmiştir. İncelenen araştırmalarda, ağ tasarımında kritik olanın çözümün sağlamlığı, yani optimal ağın kısıtlardaki değişkenliklere olan tepkisinin duyarlılık derecesi anlaşılmıştır. Aslında model, kritik ağ tasarımlarının niteliğini ölçümlemek için bir araçtır. Lojistik dağıtım ağları karmaşık optimizasyon modellerinden biridir. Problemin karmaşıklığının üstesinden gelmek için bir GA oluşturulmuş ve probleme optimal veya optimale yakın çözümler elde etmek için başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Yapılan testler, önerilen algoritmanın, problemleri en iyi şekilde çözen yazılım olan GAMS'in çözümlerine çok yakın olarak ulaştığını göstermektedir. Ayrıca, GAMS'in çözemediği modelin büyük örneklerini makul bir çalışma süresi içinde çözebilmiştir. Büyük örnekleri inceleyebilmek suretiyle, gerçek hayattaki uygulamalar modellenebilir ve böylesine büyük bir tedarik zincirinde karar değişkenlerinin davranışları incelenerek gerçek öngörü elde edilebilir.

Gelecekteki çalışmalarda genetik algoritma dışındaki sezgisel ve meta-sezgisel teknikler uygulanabilir. Ayrıca modelde maliyetlerin, taleplerin ve kapasitelerin belirsizliği de dikkate alınabilir ve belirsizliği içeren yeni çözüm metodolojileri geliştirilebilir. Bu da modeli daha gerçekçi hale getirebilir. Son olarak, ters ve kapalı döngü tedarik zinciri ağları için benzer çalışmalar geliştirilebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Gerçekleştirilen çalışmada Ahmet Mert CAM literatür taraması, matematiksel modelin oluşturulması, algoritmanın kullanılması, sonuçların elde edilmesi ve yazım denetimi; Doç. Dr. Nezir AYDIN matematiksel modelin kontrol edilmesi, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, sonuçların incelenmesi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

KAYNAKLAR

1. Agustina, D., Lee C. K. M. ve Piplani R. (2014) Vehicle scheduling and routing at a cross docking center for food supply chains, *International Journal of Production Economics*, 152, 29–41. doi:10.1016/j.ijpe.2014.01.002
2. Aravendan, M. ve Panneerselvam, R. (2014) Literature Review on Network Design Problems in Closed Loop and Reverse Supply Chains, *Intelligent Information Management*, 6, 104-117. doi:10.4236/iim.2014.63012
3. Ayvaz, B., Kusakcı, A.O., Ozturk, F. ve Sırakaya, M. (2018) Biyodizel Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı İçin Çok Amaçlı Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli Önerisi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(4), 55-70. doi:10.17482/uumfd.455307

4. Beamon, B.M. (1998) Supply chain design and analysis: Models and methods, *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281-294. doi:10.1016/S0925-5273(98)00079-6
5. Baniamerian A., Bashiri M. ve Zabihi F. (2017) Two phase genetic algorithm for vehicle routing and scheduling problem with cross-docking and time windows considering customer satisfaction, *Journal of Industrial Engineering International*, 14(1), 15-30. doi:10.1007/s40092-017-0203-0
6. Baniamerian A., Bashiri M. ve Tavakkoli-Moghaddam R. (2019) Modified variable neighborhood search and genetic algorithm for profitable heterogeneous vehicle routing problem with crossdocking, *Applied Soft Computing*, 75, 441-460. doi: 10.1016/j.asoc.2018.11.029
7. Beamon, B.M. (1998) Supply chain design and analysis: Models and methods, *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281-294. doi:10.1016/S0925-5273(98)00079-6
8. Bediroğlu, Y. ve Yıldırım, V. (2020) Lojistik Merkez Yer Seçimi İçin CBS & ÇÖKV Ara Yüzü Geliştirilmesi ve Ordu İli Pilot Bölge Çalışması, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 323-334. doi:10.28948/ngumuh.561680
9. Brahami, M.A., Dahane, M., Souier, M. (2022) Sustainable capacitated facility location/network design problem: a Non-dominated Sorting Genetic Algorithm based multiobjective approach. *Annals of Operations Research*, 311, 821-852, doi:10.1007/s10479-020-03659-9
10. Bräysy, O. ve Gendreau, M. (2001) Genetic algorithms for the vehicle routing problem with time windows. *Arpakannus*, (1), 33-38.
11. Calvo, M.A., Navarro, A. ve Peria, C.R. (2015) Project management and key knowledge to improve business results through the efqm excellence model, *International Journal of Project Management*, 33(8), 1638-1651. doi:10.1016/j.ijproman.2015.01.010
12. Cao, E. Ve Lai, M. (2007) An improved genetic algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up Service, *In Proceedings of the 6th Wuhan International Conference on E-Business*, 2100-2106. doi: 10.1109/ICNC.2007.209
13. Chopra, S. ve Meindl, P. (2010) *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations*, Prentice Hall, New Jersey.
14. Cui H., Qiu J., Cao J., Guo M., Chen X. ve Gorbachev S. (2023) Route optimization in township logistics distribution considering customer satisfaction based on adaptive genetic algorithm, *Mathematics and Computers in Simulation*, 204, 28-42, ISSN 0378-4754. doi:10.1016/j.matcom.2022.05.020
15. Demirel, N., Gökçen, H., Akçayol, M.A. ve Demirel, E. (2011) Çok Aşamalı Bütünleşik Lojistik Ağ Optimizasyonu Probleminin Melez Genetik Algoritma ile Çözümü, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(4), 929-936.
16. Govindan, K., Fattahi, M. ve Keyvanshokoo, E. (2017) Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions, *European Journal of Operational Research*, 263, 108-141. doi:10.1016/j.ejor.2017.04.009
17. Guerrero-Lorente, J., Gabor, A.F. ve Ponce-Cueto, E. (2020) Omnichannel logistics network design with integrated customer preference for deliveries and returns, *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107569. doi:10.1016/j.cie.2020.106433
18. Guo, K. (2020) Research on location selection model of distribution network with constrained line constraints based on genetic algorithm. *Neural Computing & Application*, 32, 1679-1689. doi:10.1007/s00521-019-04257-y

19. Ghoseiri K., Ghannadpour S.F. (2010) Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm, *Applied Soft Computing*, 10:1096–1107. doi: 10.1016/j.asoc.2010.04.001
20. Hassanat, A., Almohammadi, K., Alkafaween, E., Bunawas, E., Hammouri, A. ve Prasath, S. (2019) Choosing Mutation and Crossover Ratios for Genetic Algorithms-A Review with a New Dynamic Approach, *Information*, 10, 390. doi:10.3390/info10120390
21. Hiremath, N.C., Sahu, S. ve Tiwari, M.K. (2013) Multi Objective Outbound Logistics Network Design for a Manufacturing Supply Chain, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24, 1071-1084. doi:10.1007/s10845-012-0635-8
22. Koç, Ç., Özceylan, E., Kesen, S.E., Çil, Z.A. ve Mete, S. (2018) Forward supply Chain network design problem: Heuristic approaches, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 749-763. doi:10.5505/pajes.2018.72324
23. Kong P., Lian Z., He M., Peng X., Song J. ve Lan Y. (2020) Design optimization of composite curved rod for wind tunnel virtual flight test based on multi-island genetic algorithm, *Journal of Physics: Conference Series*, 1624(4), Article ID 042027. doi: 10.1088/1742-6596/1624/4/042027
24. Kudova, P. (2007) Clustering Genetic Algorithm, *18th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, 138-142. doi:10.1109/DEXA.2007.65
25. Kumar, M., Husian, M., Upreti, N. ve Gupta, D. (2010) Genetic Algorithm: Review and Application, *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 2(2), 451-454. doi:10.2139/ssrn.3529843
26. Kumar, S.N. ve Panneerselvam, R. (2012) A survey on the vehicle routing problem and its variants, *Intelligent Information Management*, 4(3), 66–74. doi:10.4236/iim.2012.43010
27. Lahrichiac, N., GabrielCrainicab, T., Gendreauac, M., Walter, R., CeraselaCrisanae, G., ve Vidalad, T. (2015) An integrative cooperative search framework for multi-decision-attribute combinatorial optimization: application to the mdpvrp sciencedirect, *European Journal of Operational Research*, 246(2), 400–412. doi:10.1016/j.ejor.2015.05.007
28. Laporte, G. (2009) Fifty years of vehicle routing, *Transportation Science, Canada Research Chair in Distribution Management, HEC Montreal*, 43, 408-416. doi: 10.1287/trsc.1090.0301
29. Lau, H.C., Chan, T.M., Tsui, W.T. ve Pang, W.K. (2010) Application of genetic algorithms to solve the multidepot vehicle routing problem, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 7(2), 383-392. doi:10.1109/TASE.2009.2019265
30. Liu, D., Zhao, S., Jiang, W. ve Liu, J. (2014) Research of intermodal integrated optimization model of total logistics cost based on economies of scale, *Computer Engineering & Applications*, 50(14), 255–312. doi:10.3901/JME.2014.11.093
31. Mirjalili, S. (2019) *Evolutionary Algorithms and Neural Networks*, Studies in Computational Intelligence. doi:10.1007/978-3-319-93025-1
32. Okyere, S., Yang, J. ve Adams, C.A. (2022) Optimizing the Sustainable Multimodal Freight Transport and Logistics System Based on the Genetic Algorithm, *Sustainability*, 14(18):11577, doi:10.3390/su141811577
33. Pospel, B., Wismans, L., Berkum, E. ve Bliemer, M., (2018) The multi-objective network design problem using minimizing externalities as objectives: comparison of a genetic algorithm and simulated annealing g framework, *Transportation*, 45(2), 1–28. doi:10.1007/s11116-016-9738-y

34. Ren, T., Luo, T., Jia, B., Yang, B., Wang, L. ve Xing, L. (2023) Improved ant colony optimization for the vehicle routing problem with split pickup and split delivery, *Swarm and Evolutionary Computation*, 77, 101228. doi:10.1016/j.swevo.2023.101228
35. Saddoune, M., Desaulniers, G., Elhallaoui, I ve Soumis, F. (2011) Integrated airline crew scheduling: a bi-dynamic constraint aggregation method using neighborhoods, *European Journal of Operational Research*, 212(3), 445–454. doi: 10.1016/j.ejor.2011.02.009
36. Sadjadi, S. J., Jafari, M. ve Amini, T. (2009) A new mathematical modeling and a genetic algorithm search for milk run problem (an auto industry supply chain case study), *Ce International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44(1-2), 194–200. doi:10.1007/s00170-008-1648-5
37. Sarıkaya, H.A., Çalukan, E. ve Türkbey, O. (2014) Bütünleşik Tedarik Zinciri Ağında Tesisi Yeri Seçimi İçin Bulanık Çok Amaçlı Programlama Modeli, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 150-161. doi:10.5505/pajes.2014.98853
38. Shakeriana, H., Dehnavia, H.D. ve Shaterib, F.A. (2016) Framework for the implementation of knowledge management in supply chain management, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 230, 176 – 183. doi:10.1016/j.sbspro.2016.09.022
39. Sicilia, J.A., Quemadab, C., Royoc, B. ve Escuind, D. (2016) An optimization algorithm for solving the rich vehicle routing problem based on variable neighborhood search and tabu search metaheuristics. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 291:468–477. doi: 10.1016/j.cam.2015.03.050
40. Stock, J.R., Boyer, S.L. ve Harmon, T. (2010) Research opportunities in supply chain management, *Journal of the Academy of Marketing Science*, 38, 32-41. doi:10.1007/s11747-009-0136-2\
41. Tiwari, K.V ve Sharma, S.K. (2023) An optimization model for vehicle routing problem in last-mile delivery, *Expert Systems with Applications*, 222, 119789. doi:10.1016/j.eswa.2023.119789
42. Torun, H. ve Canbulut, G. (2019) İki aşamalı tedarik zinciri koordinasyonunun bulanık talep altında analizi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(3), 1315-1328. doi:10.17341/gazimmfd.460528
43. Wang, F., Ying, Z., Teng F., (2014) Low carbon logistics distribution route optimization research based on chaos ant colony algorithm, *Journal of Investigative Medicine*, 62(1), 105.
44. Wasil, E., Gulczynski, D., Golden, B (2011) The multi-depot split delivery vehicle routing problem: An integer programming-based heuristic, new test problems, and computational results, *Computers & Industrial Engineering*, 61, 794–804. doi:10.1016/j.cie.2011.05.012
45. Wenxue, R.A.N., Xinling, S.H.I., Huasen, F.U. ve Guomin, Y.A.N.G. (2013) Application research on ant colony algorithm in logistic distribution route-optimization of fresh agricultural products, *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 7(6), 391–399. doi:10.4156/jdcta.vol7.issue6.44
46. Yıldız, K., Tabak, Ç., Yerlikaya, M.A. ve Efe, B. (2022) A Logistics Model Suggestion for A Logistics Centre to Be Established: An Application in Aegean and Central Anatolia Region, *Gazi University Journal of Science*, 35(1), 73-90. doi:10.35378/gujs.844650
47. Zhang, Y. (2022) Logistics distribution scheduling model of supply chain based on genetic algorithm, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 39(2), 83–88. doi: 10.1080/21681015.2021.1958938

