

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR İMALAT SİSTEMİNDE DAĞITIM PROBLEMİNİN GENETİK
ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ**

Selin ESENOĞLU

**Danışman
Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2023**



© 2023 [Selin ESENOĞLU]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Tedarik Zinciri Probleminin Genetik Algoritma ile Çözümleri	4
2.2. Tedarik Zinciri Probleminin Diğer Algoritmalar ile Çözümleri	6
3. TEDARİK ZİNCİRİ VE GENETİK ALGORİTMA	11
3.1. Tedarik Zinciri	11
3.1.1. Tedarik zincirinin tarihsel gelişimi	12
3.1.2. Tedarik zinciri yönetimi	14
3.1.3. Tedarik zinciri yönetiminin amaçları	16
3.1.4. Tedarik zinciri modelleme	18
3.2. Genetik Algoritma.....	20
3.2.1. Kodlama	22
3.2.2. Seçim	26
3.2.3. Çaprazlama operatörü.....	29
3.2.4. Mutasyon operatörü.....	33
3.2.5. Genetik algoritma çalışma prensibi.....	35
3.2.6. Genetik algoritma parametre seçimi	39
3.2.7. Genetik algoritmanın performansını etkileyen nedenler	40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	42
4.1. Uygulama Model Verileri	42
4.1.1. Varsayımlar	43
4.1.2. Modele ait notasyonlar	43
4.2. Genetik Algoritma ile Çözümü	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ.....	70

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİR İMALAT SİSTEMİNDE DAĞITIM PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ

Selin ESENOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR

Günümüzde gelişen teknolojinin bir sonucu olarak birçok üründe arz, ürüne olan talebi geçerek işletmeler arasındaki rekabetin artmasına sebep olmaktadır. İşletmeler ise müşterilerin talep ettiği kalitenin altına düşmeden, maliyetlerini azaltarak değişen şartlarda ayakta kalmaya çalışmaktadır. İşletmeler üretim/hizmet maliyetlerini arttıran en önemli faktörlerden biri olan tedarik ağını yöneterek, mevcut tedarik zincirini en az maliyetli hale getirmeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında; tedarik zinciri yönetimi problemini çözmek amacıyla genetik algoritma yaklaşımı kullanılmıştır. Üretilen ürünlerin dağıtıcılar yardımıyla müşterilerin taleplerinin karşıladığı bir tedarik ağı ele alınmıştır. Üreticiden müşteriye doğru ilerleyen dağıtım ağının en az maliyetle gerçekleşmesi amaçlanmaktadır. Bu hedef doğrultusunda Manisa'da faaliyet gösteren üretici firmadan gerekli veriler toplanmıştır. Dağıtım ağının çözümünde sezgisel algoritmalarından biri olan genetik algoritma tercih edilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle problemin matematiksel modeli sunulmuştur, ardından genetik algoritma yaklaşımına yer verilmiştir. Problem çözümü programlama dilinde kodlanmıştır. Program çıktısına dayanarak belirtilen kısıtlar dahilinde tedarik zinciri problemi çözülmüş, üretici firmanın tedarik zinciri ağı iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sezgisel algoritmalar, genetik algoritma, tedarik zinciri optimizasyonu.

2023,70 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SOLUTION OF THE DISTRIBUTION PROBLEM IN A MANUFACTURING SYSTEM WITH GENETIC ALGORITHM

Selin ESENOGLU

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Gültekin OZDEMIR

Today, as a conclusion of developing technology, the supply of many products exceeds the demand of them, causes an increase in competition between businesses. Businesses try to survive under changing conditions by reducing the costs and without falling below quality which expected by customers. Businesses aim to make current supply chain the least costly by managing the supply network which is the one of the most significant factors that increasing the production/service costs.

In this study, genetic algorithm approach was used to solve the supply chain management problem. A supply network where the products produced meet the demands of the customers with the help of distributors is discussed. It is aimed to actualize the distribution network moving from the producer to the customer with the least cost. In the line with this aim, necessary data were collected from the manufacturer operating in Manisa. Genetic algorithm, which is one of the heuristic algorithms, was preferred in the solution of the distribution network.

Within the scope of the study, initially, the mathematical model of the problem is presented, then the genetic algorithm approach is included. The problem solution is coded in the programming language. Based on the program output, the supply chain problem has been solved within the specified constraints, and the supply chain network of the manufacturer has been improved.

Keywords: Heuristic algorithms, genetic algorithm, supply chain optimization.

2023, 70 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR'e teőekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Selin ESENOğLU
ISPARTA, 2023



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Tedarik zinciri yapısı.....	1
Şekil 3.1. Bir tedarik zinciri ağı örneği	12
Şekil 3.2. Tedarik zinciri yönetimi tarihsel gelişimi.....	13
Şekil 3.3. Tedarik zinciri yönetimi kapsamı	16
Şekil 3.4. Allel-gen-kromozom ilişkisi	22
Şekil 3.5. Kod ve çözüm uzayı	23
Şekil 3.6. Gray Kodlama.....	25
Şekil 3.7. Rulet tekeri kromozom dağılımı.....	26
Şekil 3.8. Sıralama öncesi ve sonrası kromozom dağılımı	28
Şekil 3.9. Genetik algoritmanın genel yapısı	35
Şekil 3.10. Genetik algoritma adımları	38
Şekil 4.1. Problem verilerinin görseli.....	42
Şekil 4.2. 50'lik popülasyon boyutu için iterasyon sayısı maliyet grafiği	50
Şekil 4.3. 75'lik popülasyon boyutu için iterasyon sayısı-maliyet grafiği.....	52
Şekil 4.4. 100'lük popülasyon boyutu için iterasyon sayısı-maliyet grafiği..	54
Şekil 4.5. 150'lik popülasyon boyutu için iterasyon sayısı-maliyet grafiği...	56
Şekil 4.6. Genetik algoritmanın yapay kodu	57
Şekil 4.7. Lingo programı sonucu	58
Şekil 4.8. Optimum maliyet.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Tedarik zincirinin amaçları.....	17
Çizelge 3.2. Binary kodlama.....	24
Çizelge 3.3. Permütasyon kodlama	24
Çizelge 3.4. Değer kodlama	24
Çizelge 3.5. Tek noktalı çaprazlama	30
Çizelge 3.6. İki noktalı çaprazlama.....	30
Çizelge 3.7. Pozisyona dayalı çaprazlama	30
Çizelge 3.8. Sıraya dayalı çaprazlama	31
Çizelge 3.9. Kısmi planlı çaprazlama	31
Çizelge 3.10. Dairesel çaprazlama.....	32
Çizelge 3.11. Düzgün çaprazlama	32
Çizelge 3.12. Mutasyon operatörü	33
Çizelge 3.13. Ters mutasyon.....	33
Çizelge 3.14. Komşu iki gen değiştirme mutasyonu.....	34
Çizelge 3.15. Karşılıklı değişim mutasyonu	34
Çizelge 3.16. Gen ekleme mutasyonu.....	34
Çizelge 3.17. Keyfi 2 gen değiştirme mutasyonu.....	35
Çizelge 4.1. Üretim merkezi ve dağıtım merkezi arasında birim taşıma maliyeti(pbr)	45
Çizelge 4.2. Dağıtım merkezi ve müşteri arasında birim taşıma maliyeti (pbr)	46
Çizelge 4.3. Üretim merkezi kapasitesi	46
Çizelge 4.4. Dağıtım merkezi kapasitesi.....	46
Çizelge 4.5. Müşteri talepleri.....	47
Çizelge 4.6. 50'lik popülasyon için genetik algoritma simülasyon verileri ...	48
Çizelge 4.7. 50'lik popülasyon Pm,Pc değişimi ile simülasyon verileri	49
Çizelge 4.8. 75'lik popülasyon için genetik algoritma simülasyon verileri ...	50
Çizelge 4.9. 75'lik popülasyon Pm,Pc değişimi ile simülasyon verileri	51
Çizelge 4.10. 100'lük popülasyon için genetik algoritma simülasyon verileri	52
Çizelge 4.11. 100'lük popülasyon Pm,Pc değişimi ile simülasyon verileri	53
Çizelge 4.12. 150'lik popülasyon büyüklüğü için GA simülasyon verileri	54
Çizelge 4.13. 150'lük popülasyon Pm,Pc değişimi ile simülasyon verileri	55
Çizelge 4.14. Çözümde kullanılan parametreler	56
Çizelge 4.15. Sonuçların karşılaştırılması	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

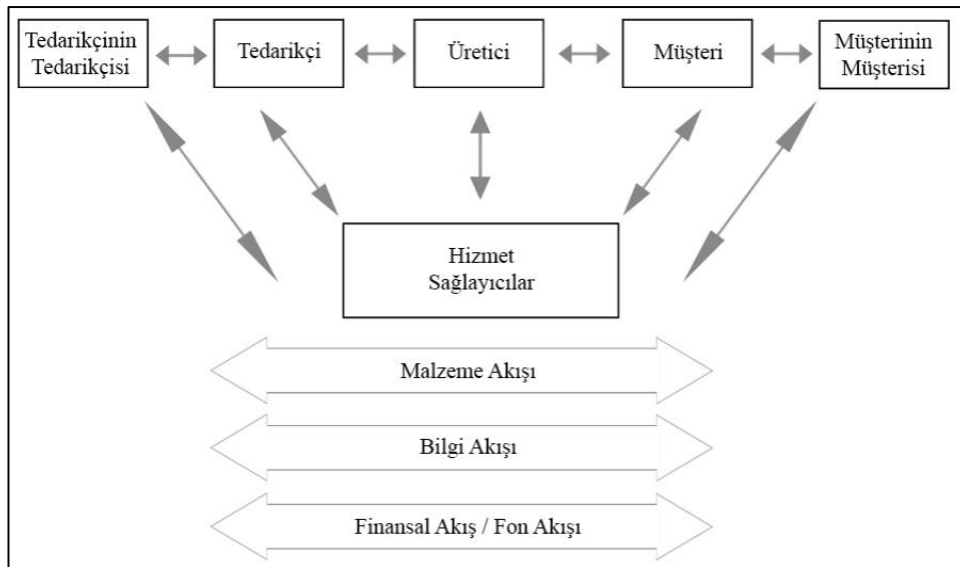
ERP	Kurumsal kaynak planlaması
GA	Genetik algoritma
MRP	Malzememe ihtiyaç planlaması
TZY	Tedarik zinciri yönetimi
p_c	Çaprazlama oranı
p_m	Mutasyon oranı



1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ve küreselleşme sonucu iş dünyasında rekabet koşulları artmıştır. Bu zor koşullarda rakiplerine karşı durup ayakta kalabilmek için firmalar, maliyetlerini düşürmesi, karlılıklarını arttırması ve değişen koşullara hızla uyum sağlamaları gerekmektedir. Hızlı değişime ve gelişime ayak uydurabilen firmalar rekabet koşullarına karşı ayakta kalabilmiş ve pazarda daha büyük kazanımlar elde edebilmiştir. Bu sebeple işletmeler öne çıkabilmek ve rekabete devam edebilmek için tedarik zincirine yönelmişlerdir (Özesen, 2009).

Tedarik zinciri kavramının literatürü incelendiğinde, tanımların değişiklik gösterdiği görülmektedir. Ancak açıklanan bu tanımların ortak noktasına bakıldığında, tedarik zincirinin tek bir süreç değil bütünleşik faaliyetlerden oluştuğu görülmektedir. Bu tanımların ortak noktasının; müşterinin talebi sonucu hammadde temininden başlayarak, bu hammaddeleri yarı mamul ve ürüne dönüştürülmesi sürecindeki bilgi ve malzeme akışının bütünleşik olarak gerçekleştirerek müşteri memnuniyetinin ve firma veriminin arttırılmasının amaçlandığı süreçler, tedarik zinciri olarak tanımlandığı görülmektedir. Tedarik zincirini başarılı yapan sistemin ortak stratejisine bütünleşik ve iş birliği ile yaklaşmasıdır. Şekil 1.1’de tedarik zincirinin genel yapısı yer almaktadır.



Şekil 1.1. Tedarik zinciri yapısı

Tedarik zinciri probleminin amacı genel olarak taşıma maliyetlerini en küçüklemek olarak tanımlanır. Problemin yapısı üreticilerin, dağıtıcıların kapasite kısıtları ve müşterilerin talep miktarı doğrultusunda çeşitlenmektedir. Literatürde problemin çözümü tek tip olmayıp problem kısıtlarına göre çok sayıda çeşidi mevcuttur. Problemi doğrusal programlama ile tanımlamak da mümkündür. Fakat üretici, dağıtıcı ve müşteri sayısı artması sonucu problemin boyutu büyümektedir ve problemi matematiksel problem ile çözmek zorlaşmaktadır. Zorlaşan bu problemlerin çözümünde metasezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Metasezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritma, Darwin'in evrim teorisi yaklaşımından esinlenerek ortaya çıkmış olup iyi nesillerin yaşamlarına devam ederken, kötü nesillerin yok olması ilkesine dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretilmesini sağlamaktadır. Böylece tek bir çözüm elde etmek yerine farklı çözümleri içeren bir çözüm kümesi üretilir. Çözümün seçilme şansı çözümün uygunluğuna göre artış gösterir fakat seçilmesini garantilememektedir.

Literatürde tedarik zinciri problemi için yaklaşık ve kesin çözümlerin elde edildiği birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada ise üretici firmadan gerçek veriler toplanarak, üretim merkezleri, dağıtım merkezleri ve müşteriler arasındaki bir tedarik zinciri ağı ele alınmıştır. Bu tedarik zinciri ağına amaç problemin en küçük maliyet ile çözülmesidir. Problemin çözümü için üretim ve dağıtım merkezleri kapasite kısıtları ele alınarak müşterilerin taleplerinin karşılandığı doğrusal bir matematiksel model önerilmiştir. İlk olarak problem sezgisel algorimalardan biri olan genetik algoritma ile kodlanarak Matlab programı ile problemin hesaplanan en iyi sonucu elde edilmiştir. Ardından model Lindo program ile çözülerek problemin kesin çözümü hesaplanmıştır. Çözümler karşılaştırıldığında problemde veri kümesinin arttığında, kesin çözümü hesaplanamaz hale geldiğinde de çözüme ulaşmak için bu problemde kullanılan genetik algortima yaklaşımı ile problemin çözümünün hesaplanabilir olduğu görülmüştür.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın konu ve amacı yer almaktadır. İkinci bölümde tedarik zinciri probleminin genetik algoritma ve diğer algoritmalar ile çözümüne ait örneklerini içeren literatür araştırması yer almaktadır. Üçüncü bölümde tedarik zinciri ve genetik algoritma hakkında detaylı bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde ise bir işletmenin verileri ele alınarak problem modellenmiş ve çözülmüştür. Ardından sezgisel yöntemlerden biri olan genetik algortima ile de problem çözülp sonuç hesaplamıştır. Son olarak beşinci bölümde çalışmanın sonuçlarına dair yorumlar yapılp bulgular özetlenmiş ve gelecek çalışma konularından bahsedilmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Tedarik Zinciri Probleminin Genetik Algoritma ile Çözümleri

Son yıllarda tedarik zinciri araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Bu araştırma alanında en popöler konulardan biri tedarik zinciri ağı ve optimizasyonudur. Bu nedenle birçok sezgisel ve matematiksel model önerilmiştir.

Chan vd. (2004), tedarik zinciri problemlerinde işletme maliyeti, müşteri memnuniyeti ve kaynak kullanımı gibi kriterleri vurgulamıştır. Bu kriterler çok sayıda ve birbiriyle ilişkilidir. Belirtilen problemde ilk olarak karar vericilerin ağırlık atamaları ve bunların ilişkilendirilmesi için analitik hiyerarşi süreci kullanılmıştır. Ağırlıkların belirlenmesinin ardından bu veriler genetik algoritmada uygulanmıştır. Optimizasyonun sonuçlarının doğruluğunu gözlemek için önerilen algoritma varsayımsal veriler ile bir tedarik zinciri problemi çözümünde kullanılmıştır.

Zhou vd. (2005), dağıtım sistemlerinde öngörülemeyen ürün iadelerinin kaçınılmaz maliyetleri arasında yer alması sonucu, müşterilerden iade edilen ürünlerin toplandığı depolara olan tedarik maliyetinin en küçüklenmesi için depo sayısının ve yerinin belirlenmesi problemini ele almıştır. Problemin çözümünde doğrusal olmayan bir karma tam sayılı programlama modeli ve aynı zamanda taleplerin belirsiz olması durumunda problemi çözebilmek için genetik algoritma önerilmiştir. Sayısal analizler ile problemin çözümünde genetik algoritmanın etkinliği gösterilmiştir.

Gen vd. (2005), müşterilerin tüm taleplerini karşılarken aynı zamanda maliyetlerin en aza indirilmesini amaçlamıştır. Problem çok ürünlü ve çok zamanlı dönemler için envanter yönetimini ve dağıtım maliyetlerini yayılan ağaç tabanlı genetik algoritma ile optimize etmiştir. Verimliliğin arttırılması için genetik algoritmanın parametreleri bulanık mantıkla desteklenerek hibritleştirilmiştir. Çalışmada uygulanan yöntem geleneksel yayılan ağaç tabanlı genetik algoritma yaklaşımıyla karşılaştırıldığında önerilen yöntemin sonuçlarının daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Gen vd. (2006), dağıtım merkezlerinden, fabrikalara ve müşterilere nakliye maliyetleri dahil olmak üzere tüm lojistik maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Problem iki aşamalı taşıma problemi olarak tanımlanmıştır. İlk olarak öncelik tabanlı bir genetik algoritma geliştirilmiş ve ardından ağırlık eşleme çaprazlama olarak isimlendirilen yeni bir çaprazlama operatörü kullanılmıştır. Ağırlık eşleme çaprazlama yönteminin öncelik tabanlı bir genetik algoritmaya performansına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca öncelik tabanlı genetik algoritma ve genetik algoritma yaklaşımlarının çözüm süresi ve kalitesi karşılaştırılmıştır.

Kannan vd. (2010), kullanılmış kurşun-asit pillerin geri kazandırılarak, ikincil kurşunun yeni pil üretiminin kullanım sürecindeki toplam tedarik zinciri maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Pillerin temininden, üretim, dağıtım ve geri dönüşüm sürecini içeren çok dönemli tersine bir tedarik zinciri ağ modeli geliştirmiştir. Bu zincirde karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli kullanılmıştır. Problem genetik algoritma ve Gams optimizasyon yazılımı ile çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Büyük boyutlu problemlerin çözümünde genetik algoritma kullanılmasını önerilmiştir.

Castillo ve Acero (2014), artan rekabet koşullarında nakliye maliyetlerinin yanında kalite maliyetini de göz önüne alarak sürecin optimize edilmesi gerektiğine değinmiştir. Tedarik zinciri ağında kaliteyi ölçebilmek için üretim ortamındaki önleme, yeniden işleme, hurda maliyetleri analitik ifadelerle hesaplamıştır. Problem tavlama algoritması ve genetik algoritma ile çözümlenmiş sonuçları karşılaştırıldığında genetik algoritmanın daha iyi performans verdiğini ve kalite maliyetlerinin süreç içerisinde etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Bahrampour vd. (2016), hammadde üreticisinden, ürün üreticisine ve ürün dağıtıcısının dahil olduğu bir tedarik zinciri ağında müşteri memnuniyetinin artırılması ve maliyetlerin azaltılmasını hedeflemiştir. Problem üç fazlı ve çok ürünlü olması sebebiyle çözümde genetik algoritma kullanılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde üç fazlı ve çok ürünlü bir tedarik zinciri ağının bu problemin çözümünde kullanılabileceği gözlenmiştir.

Rostami vd. (2020), çalışmalarında pazarda rekabetçiliğin arttırılması için yeni ürün geliştirmenin önemini vurgulamıştır. Yeni ürün geliştirme sürecinde sanal hücresele üretimi, tedarik zincirine entegre etmek için çok amaçlı matematiksel bir model sunmuştur. Önerilen modelin çok amaçlı olduğu göz önüne alındığında çözüm için hedef programlama önerilmiştir. Büyük ölçekli örneklerin üstesinden gelebilmek için genetik algoritma, değişken komşuluk araması entegrasyonu ile yeni hibrit bir genetik algorithmada uygulanmış ve iki yöntem karşılaştırılmıştır.

Biuki vd. (2020), bozulabilir ürünlerin öne çıktığı bir sektörün tedarik zinciri ağı üzerinde çalışmıştır. Model çok amaçlı bir yapı olarak ele alınmıştır. Üretim ve dağıtım merkezlerinin konumu, stok seviyeleri, ürün dağıtım ağı ile ilgili kararları belirlemek amaçlanmıştır. Çok amaçlı ve bulanık formülasyonu çözüme kavuşturabilmek için uzlaşmacı programlama ve olasılıklı programlama yaklaşımları uygulanmıştır. Problem Np-zor sınıfından olması sebebiyle çözümünde metasezgisel algoritmalarından genetik algoritma ve parçacık sürüsü optimizasyonu hibrit olarak kullanılarak çözüme kavuşturulmuştur.

Döngül vd. (2022), müşteri taleplerini belirsiz bir parametre olarak değerlendirip çok kademeli ve çok dönemli bir tedarik zinciri ağı üzerinde çalışmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, tedarik zinciri ağına farklı satınalma hacmine sahip müşteriler, farklı bir önem düzeyine sahiptir. Ele alınan bu problemin çözümünde Arayıcı Evrimsel Algoritma adlı yeni bir metasezgisel algoritma uygulanmıştır. Arayıcı evrimsel algoritma ile genetik algoritma sonuçları Gams yazılımında karşılaştırılmıştır. Arayıcı evrimsel algoritmanın hem küçük hem de büyük popülasyon boyutlarında yüksek kalitede çözümler sunmuş ve çalışma hızının da kabul edilebilir bir seviyede olduğu gözlenmiştir.

2.2. Tedarik Zinciri Probleminin Diğer Algoritmalar ile Çözümleri

Benjamin (1989), envanter ve taşıma maliyetlerini dengeleyerek üretim maliyetlerinin minimize edilmesini hedeflemiştir. Malzemelerin tedarikinden, üretim ve satış süreci içerisindeki tüm taşıma süreçleri analiz edilmiştir. Müşteri talepleri, üretim kısıtları envanter ve taşıma maliyetleri hakkında varsayımlar

yapılmıştır. Problemin çözümünde doğrusal ağ algoritmaları kullanılarak optimum sonuç elde edilmiştir.

Martin vd. (1993), müşteri taleplerini karşılarken teslimat operasyonları, üretim ve envanter maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Problemden birbirinden farklı ölçülerde nakliye araçları, birden fazla müşteri söz konusu olduğu için çözümü zor sınıftan bir problem olarak belirlenmiştir. Problemin çözümü iki aşamada sonuçlanmıştır. Birinci aşamada üretici ve müşteri talep merkezi arasındaki süreç ile sınırlı olduğu için karma tam sayılı program önerilmiştir. İkinci aşamada ise ilave kısıtları olan taşıma kapasitesi problemini içerdiği için çözümde sezgisel bir yöntem kullanılmıştır. Sonuçta iki aşamalı çözüm yaklaşımının performansı değerlendirilmiş olup gerçek hayattan bir problemde uygulanmıştır.

Chen ve Wang (1997), çelik üreticisi bir firmanın doğrusal bir programlama modeli geliştirilerek üretim sürecinin optimizasyonunu hedeflemiştir. Hammaddenin alımından başlayarak, yarı mamul, üretim süreci ve dağıtım faaliyetlerinin birbiriyle olan ilişkisi bir süreç olarak ele alınmıştır. Matematiksel modelde ise üretim maliyetleri, müşteri talep miktarı, satış fiyatları ve tesis kapasitesi verileri kullanılarak optimum üretim planlaması bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ve analizlerle modelin çelik üretim planlamasında uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Chen vd. (2004), tedarik ağında, işletme karını, müşteri memnuniyetini maksimize etmek ve stok seviyesinin optimizasyonunu sağlamak gibi hedeflere ulaşmak için çok ürünlü, çok aşamalı ve çok dönemli bir dağıtım modeli kurulmasını amaçlamıştır. Tedarik zincirinin tüm öğeleri arasında bir çözüm elde etmek için iki aşamalı bulanık küme teorisi kullanılmıştır. Problem çözümü çok amaçlı tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli olarak formüle edilmiş ve sayısal bir örnekle sonuçlar değerlendirilmiştir.

Kanyalkar ve Adil (2005), 2 farklı üretici firma ve 3 farklı tedarikçi arasındaki en uygun taşıma yöntemi ile üretici ve tedarikçi arasındaki taşınacak optimum malzeme miktarına karar verilmesini amaçlamıştır. Problemin çözümünde

doğrusal program ile perakende sektöründen dağıtım ağı için model sunulmuş ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışma çok ürünlü ve çok tesisli bir problemde minimum tedarik maliyeti ve maksimum müşteri memnuniyetinin sağlanması konusunda küresel sonuçlar ortaya koymuştur.

Kadavevaramath vd. (2012), rekabetçi bir ortamda çok dönemli ve çok ürünlü tedarik zinciri ağı optimizasyonunu amaçlamıştır. Problemin çözümünde karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama matematiksel modeli geliştirilmiştir. Benzetim tavlama ve parçacık sürü optimizasyonu olmak üzere iki farklı sezgisel algoritma kullanılmıştır. Önerilen algoritmaların etkinliği sayısal olarak da gösterilmiş olup çözüm sonuçları incelendiğinde benzetim tavlama belirlenen problem için daha verimli sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca duyarlılık analizi ile modelde yer alan δ ve γ parametrelerini değiştirilerek perakendecilerin değişen taleplerin etkisinin tespit edilmesini sağlamıştır.

Shankar vd. (2013), tedarikçiler, üretim tesisleri, dağıtım merkezleri ve müşterilerden oluşan 4 kademeli, tek ürünlü ve çok amaçlı bir optimizasyon hakkında çalışmıştır. Bu sistemde maksimum ürün taşıyarak, tüm müşteri taleplerini karşılayabilecek tesis sayısına karar verilmiş ve sevkiyat maliyetini minimize etmek amaçlanmıştır. Algoritmaya iki amaçlı fonksiyonu aynı anda optimize edebilmesi için baskın olmayan parçacık sürü optimizasyonu dahil edilmiştir. Çözümde iki amaç fonksiyonunu aynı anda optimize etmek için sürü zekâsı tabanlı çok amaçlı hibrit parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanılmıştır.

Migalska ve Pawlus (2020), hammadde kısıtları altında müşteri taleplerini karşılayarak satışını enbüyüklemeyi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda kısıtlı hammaddenin seçilen müşterilerin siparişlerine öncelik verilmesi ve kısıtlı hammaddenin açık pazarlardan satın alınıp tüm müşteri taleplerinin karşılanması olmak üzere 2 durumun ticari etkisi değerlendirilmiştir. Bu 2 farklı durum için tam sayılı doğrusal programlamaya dayalı bir optimizasyon algoritması önerilmiştir. Çalışma gerçek veriler üzerinden örneklendirilerek zorlu tedarik durumlarına karşı hızlı yanıt verdiği tespit edilmiştir.

Amini ve Kianfar (2022), bir üretici birkaç perakendeci ve birkaç müşteriyi içeren üç seviyeli tedarik zinciri ağını ele almıştır. Bu ağın tasarımında sera gazı emisyonlarının çevresel etkileri dikkate alınmıştır. Çözüm için sıralı doğrusal programlama ve sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Tedarik zinciri üyeleri arasında ki ilişkiyi belirlemek için Stackelberg ve Nash işbirlikçi oyunları kullanılmıştır. Tedarikçilerin karının işbirlikçi koşullarına bağlı olduğunu gözlemlemiştir.

Gao vd. (2022), arz ve talep dengesizliği karşısında geleneksel ve modern tedarik zinciri yöntemlerini kıyaslamıştır. Tedarik zinciri probleminin verilerini kullanarak, üç ayrı algoritma ve üç ayrı tahmin modelinin algoritma performansını üzerinde ki etkisi değerlendirmiştir. Karşılaştırmalar sonucu parçacık sürü optimizasyonu ile emtia sinir ağı tahmin modeli kombinasyonu işletmeler için tedarik sürecinde riski doğru değerlendirme yeteneği geliştirdiği sonucuna varılmıştır.

Ghasemi vd. (2022), Stackelberg oyun teorisi tekniği kullanarak COVID-19 pandemik salgını sırasında belirsizlik altında iki seviyeli bir kan tedarik zinciri ağını ele almıştır. Toplam maliyetlerin minimize edildiği ve donörlerin faydalarının maksimize edildiği yeni bir iki fazlı iki seviyeli karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Bazı parametrelerin belirsizliği karşısında yeni bir karışık olasılıklı sağlam bulanık programlama yaklaşımı geliştirilmiştir. Önerilen modelin uygulanabilirliğini görmek için gerçek bir vaka çalışmasında uygulanmıştır.

Mahmud vd. (2022), maliyetlerin küçüklenmesi ve teslimatın zamanında sağlanması üzere 2 farklı amaç fonksiyonunun mevcut olduğu bir tedarik zinciri modelini değerlendirmiştir. Problemden üretim sürecinin esnekliğini arttırarak modellemek için esnek atölye sistemi kullanılmıştır. Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonunun performansını arttıran iki yeni meta sezgisel algoritma geliştirmiştir. Önerilen algoritmaların performansı, mevcut dört algoritmayla doğrulanmış ve 45 yapay örnek çözüldükten sonra çeşitli kriterler kullanılarak değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları ve istatistiksel analizler

referans noktalı çok amaçlı parçacık sürüsü optimizasyonunun üstünlüğünü göstermiştir.

Tirkolae vd. (2022), Covid-19 salgını gibi belirsiz durumlarda, verimli bir kan tedarik zinciri ağını tasarlamayı amaçlamıştır. Talep, kapasite ve kan stok oranlarının belirsizliği altında çok kademeli bir kan tedarik zinciri ağını en uygun şekilde modellenmesi amaçlanmıştır. Tedarik zinciri ağı, kan bağışçuları, toplama tesisleri, kan bankaları, bölgesel hastaneler ve tüketim noktaları olarak belirlenmiştir. Ağ maliyetlerini en aza indirilmesi ve iş fırsatlarını en üst düzeye çıkarmasını amaçlayan yeni iki amaçlı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Aynı zamanda sorunu pandeminin özel koşullarına göre en uygun şekilde ele almak için etkileşimli olasılıksal programlama kullanılmıştır. Modeli doğrulamak için gerçek bir kan tedarik zinciri ağı üzerinde uygulanmış, elde edilen sonuçlara göre önerilen yaklaşım ağ maliyetini ve yaratılan iş sayısını karşılamak için en uygun tesis sayısını hesaplamıştır.

3. TEDARİK ZİNCİRİ VE GENETİK ALGORİTMA

3.1. Tedarik Zinciri

Tedarik zinciri ile ilgili yapılan literatür araştırmaları sonucu birbirinden farklı tanımlar göze çarpmaktadır. Bu tanımların bir kısmı bu bölümde ele alınmıştır.

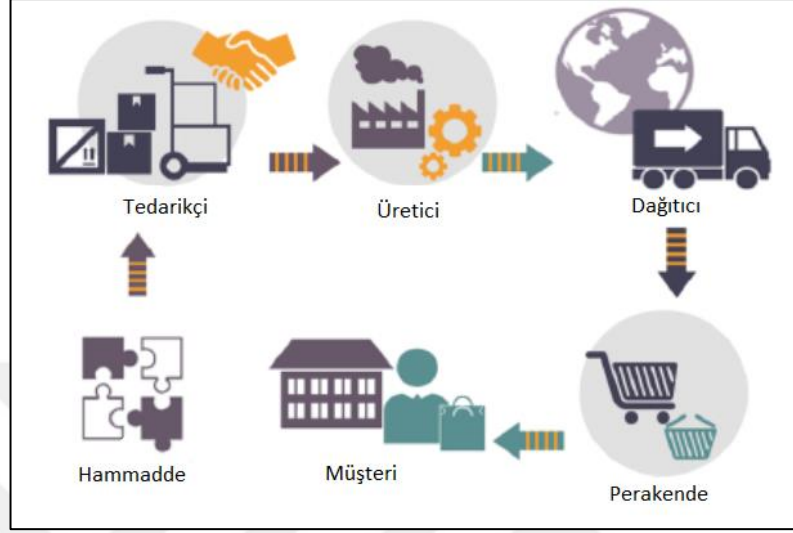
Tedarik zinciri, müşteri ve tedarikçi arası maliyeti azaltıp bilgi ve malzeme akışını iyileştirmek için birbiri ile iş birliği yapan organizasyonlardan oluşan ağ tedarik zinciri olarak adlandırılır. Tedarik zincirinin hedefi, müşteri memnuniyetinin maksimize edilmesidir. Tanımda bahsedilen ağ ifadesi, sadece tedarik zinciri içerisinde yer alan ve aynı faaliyetleri gerçekleştiren firmaların faaliyetlerini değil, bununla birlikte birbiri ile benzer faaliyetler gerçekleştiren firmaların rekabetini de içermektedir. Ek olarak tanımda tedarik zinciri katılımcılarının birbiri ile ortak hareket etmelerinin küresel bir organizasyon ağı olduğunu vurgulayarak, tedarik zincirinin stratejik ve özgün olması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu şekilde bütünleşik bir sistemi tedarik zincirinin tüm parçaları için eşit yapabilmek, bu katılımcılar arası ilişkileri düzenleyip içsel bir politika ile mümkün kılınabilir. İçsel politikada amaç iş yükünün, avantaj ve dezavantajlarının tüm parçaları arasında eşit olarak paylaşılmasıdır. Aksi durumda içsel karışıklıklar tedarik zincirinin gücünü zayıflatarak yok olmasına sebep olabilir. Tedarik zinciri, üretilen ürünlerin veya hizmetin tedarikçiler ile başlangıçtan sonuncu müşteriye kadar ki süre içerisinde birbiri ile iş birliği yaparak finansal ve fiziksel bilgiyi kapsayan süreç olarak ifade edilebilir. Tedarik zincirinde müşteri memnuniyetini sağlarken verimliliği de arttırarak daha düşük maliyetlerle çalışılması sonucu kar maksimize edilebilmektedir (Govil,2002).

Birçok firma karlı büyüme ile müşteri talebini; örgütsel ilişkiler, esnek organizasyonlar, stok yönetimi, siparişe dayalı üretim sistemi, firmalar arası ve firma içi kuvvetli iletişimi sağlayarak tedarik zinciri yönetimini geliştirmeye çalıştığını belirtmiştir (Chandra ve Kumar, 2000).

Tedarik zinciri, tedarikçiler, müşteriler ve imalatçılar arasında; kaynakları etkin bir şekilde kullanarak müşteri beklentilerinin etkin bir şekilde karşılanması ve

verimliliği arttırmak için üretim ve dağıtım zincirini oluşturabilmek için ortaya çıkmıştır (Simchi-Levi vd, 2000).

Şekil 3.1’de bir tedarik zinciri ağı örneği gösterilmektedir (Malik vd., 2018).

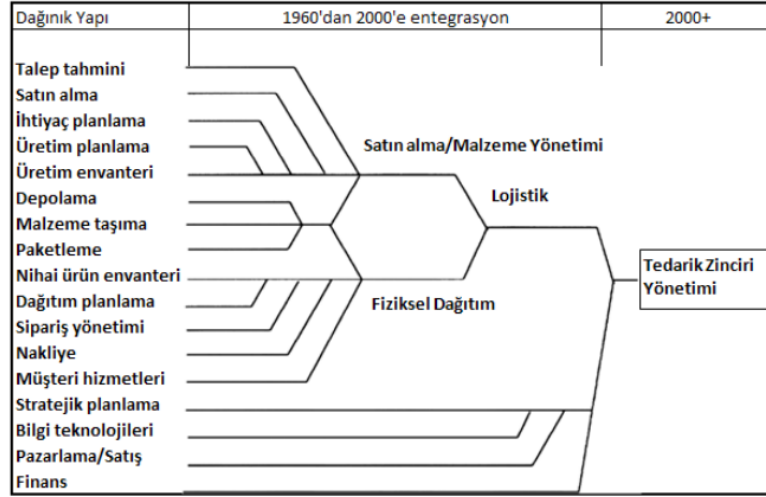


Şekil 3.1. Bir tedarik zinciri ağı örneği (Malik vd., 2008)

Sonuç olarak, tedarik zinciri kavramının literatürü incelendiğinde tanımların değişiklik gösterdiği görülmektedir. Ancak açıklanan bu tanımların ortak noktasına bakıldığında, tedarik zincirinin tek bir süreç değil bütünleşik faaliyetlerden oluştuğu görülmektedir. Bu tanımların ortak noktasının müşterinin talebi sonucu hammadde temininden başlayarak, bu hammaddeleri yarı mamul ve ürüne dönüştürülmesi sürecindeki bilgi ve malzeme akışının bütünleşik olarak yaklaşarak müşteri memnuniyetinin ve firma veriminin artırılmasının amaçlandığı süreçlerin tedarik zinciri olarak tanımlandığı görülmektedir. Tedarik zincirinin başarısı, sisteme bütünleşik ve işbirliği ile yaklaşmasıdır.

3.1.1 Tedarik zincirinin tarihsel gelişimi

Tedarik zinciri yönetimi (TZY)’nin tarihsel gelişiminde ilk aşama olarak belirlenen malzeme ihtiyaç planlaması (MRP) ardından MRP II ve kurumsal kaynak planlaması (ERP) oluşumu ile TZY gelişimi tamamlanmıştır. Şekil 3.2’de TZY tarihsel gelişiminin entegrasyonunu verilmektedir (Ballou, 2007).



Şekil 3.2. Tedarik zinciri yönetimi tarihsel gelişimi (Ballou, 2007)

1960'lı yıllarda ilk açıklama Bowersox (1960) tarafından yapılmıştır. Bowersox, fiziksel dağıtım konusu hakkındaki akımları incelemesi dışında, dağıtım fonksiyonunun firma içi veya dışında rekabetin avantaja dönüştürülebileceğini dile getirmiştir. MRP'nin oluşumu ile üretim sektöründe bilgi sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. MRP; üretici firmaların, müşteri tarafından gelen siparişler doğrultusunda ürün ağaçlarına göre ürünün hangi malzemelerden oluştuğu ve bu malzemelere hangi tarih ve hangi miktarda ihtiyaç olduğunu tespit eden sistemler olarak ortaya çıkmıştır. Tedarik zincirinin profesyonel bir şekilde yönetilmemesi 1970'li yıllara kadar devam etmiştir. Süreç içerisinde yaşanan problemlerin karışmasıyla mevcut sistem, ihtiyaçların çözümü için yetersiz kalmıştır. Böylece 1970'li yıllarda MRP II geliştirilmiştir. MRP II'de sistem insan kaynakları, satın alma, satış ve kalite kontrol, üretim maliyeti ve yeni ürün geliştirme gibi farklı fonksiyonlar eklenerek geliştirilmiştir.

Houlihan 1980'li yıllarda, işletmelerin lojistik faaliyetlerle entegre olarak tanımlaması ile tedarik zinciri kavramı tekrar gündeme gelmiştir (Houlihan, 1985).

Birden çok noktadan üretim veya dağıtım yapılan fakat bu durumun kontrolünün tek bir şirketin faaliyeti gibi kontrol eden sistem, ERP olarak tanımlanmaktadır. Bu dönemde firmalar üretim, pazarlama ve finansman konusunda dağıtım faaliyetlerinin sürdürülmesini sağlayan merkezi bir fiziksel dağıtım bölümü

oluşturmuştur. Her bir faaliyetin lojistiğini bölerek iyileştirmek yerine tüm sistemin lojistik yönetimini birleştirerek iyileştirmeleri gerektiğini anlamışlardır. Yani, ERP ile bütün sistemin maliyeti ele alınarak tüm lojistik hizmetlerinin maliyeti bakış açısı benimsenmiştir. Bu modelde tedarik zinciri ile mevcut işletmeler arasındaki iletişimi ve bilgi aktarımını zamanında hatasız ve ihtiyaç duyulan miktarın güvenli bir şekilde istenilen hedefe ulaşması sağlanmıştır (Ross, 1998).

1990'lı yıllarda ürünlerin son tüketiciye en ucuz ve en kaliteli olarak ulaşmasının dışında ürünün uygun şekilde ve zamanında teslim edilmesinin de etkisinin oldukça önemli olduğu benimsenmiştir ve işletmelerin diğer işletmeler ile iş birliği yapması sonucu kendi bölümlerini kuvvetlendirdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu bakış açısı ışığında 1990 yılında literatürde ilk defa tedarik zinciri yönetimi kavramından bahsedilmiştir (Ross, 1998).

Tedarik zinciri yönetimi 2000'li yıllarda gelişerek günümüzdeki tanımını almıştır. Hizmet ve ürünlerin hammaddeden işlenerek son ürün haline gelmesi ile son ürünlerin son müşteriye teslim edilmesine kadar ki tüm süreçlerin kalite, maliyet ve performans gibi tüm kavramların en iyileştirilmesinde kullanılan bir araç olarak tanımlanmıştır (Evcioğlu, 2020).

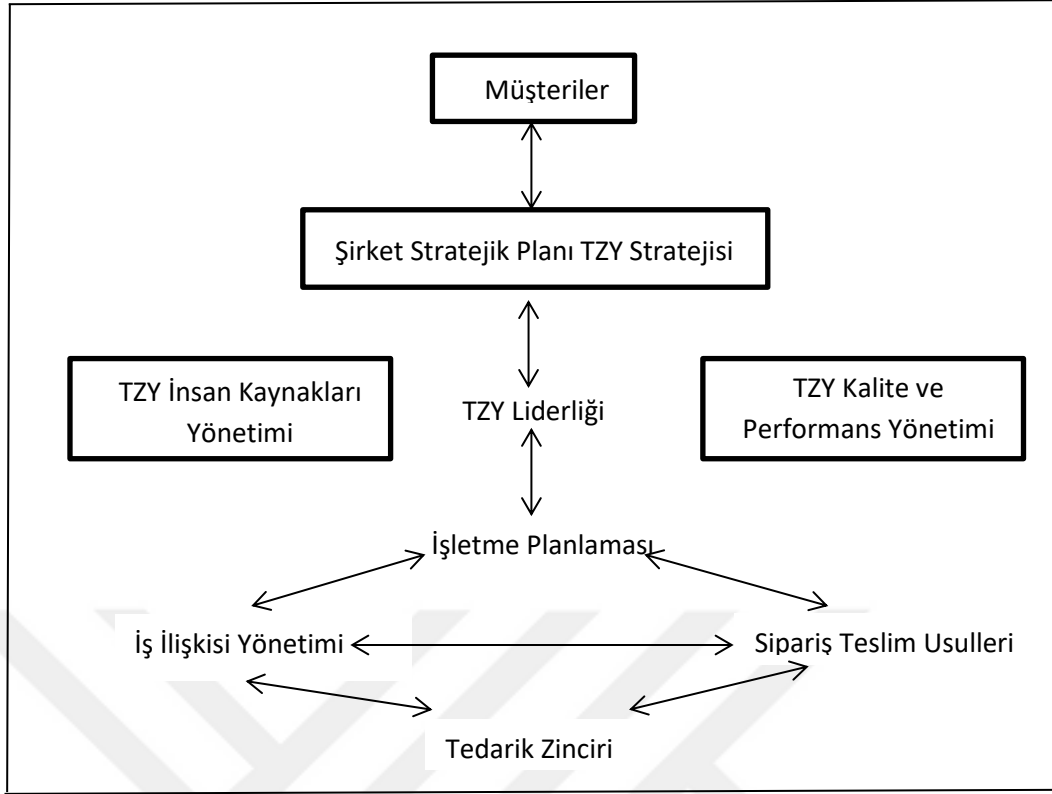
3.1.2 Tedarik zinciri yönetimi

Gelişen teknoloji ile birlikte üretici firmalar iş dünyasında rekabet edebilirliklerini arttırıp hayatta kalabilmek için farklı yollar aramışlardır. Sevkiyat, kalite, üretim süreci, üretim maliyeti ve esneklik gibi konularda rekabette kalabilmek için firma içi ve dışı faaliyetlerini planlayıp kontrol altında tutmak zorundadırlar. Bu zorlu koşullar altında firmalar, maliyetleri düşürerek, karlılıklarını arttırarak ve değişen koşullara uyum sağlayarak rakiplerine karşı üstünlük sağlayabilmektedir. Bu büyük pazarda adlarından söz ettirebilmek sadece gelişen ve değişime ayak uydurabilen firmalar için söz konusudur. İşletmeler de rekabet gücünü elinde tutabilmek ve belirlediği hedeflerine ulaşabilmek için tedarik zincirine yönelmişlerdir (Olhager, 2013).

1960'larda tedarik zinciri yönetiminin ilk aşaması olarak kabul edilen fiziksel dağıtım ilk vurgu Bowersox tarafından yapılmıştır. Bowersox, fiziksel dağıtım yönetimi ile firma içi ve firma dışında süreçler optimize edilerek rekabet üstünlüğünün sağlanabileceğini ileri sürmüştür (Bowersox, 1969).

Tedarik zinciri yönetimi; tedarik zincirinde yer alan firma dışı, firma içi ve müşteri ile ilgili her türlü satın alma, üretim, finans, lojistik vb. faaliyetlerin arasındaki süreçlerin koordineli bir şekilde yönetilmesi olarak açıklanabilir. Tedarik zincirinin yönetim felsefesi firmaların performansını arttırmak amacıyla tedarik zincirinde yer alan her bir paydaşın faaliyetini verimli ve etkin bir şekilde koordine etmek, bütünleşik bir yaklaşım ile tüm faaliyetlerin yönetmektir. Tedarik zinciri tüm mal ve hizmet akışını bir bütün olarak değerlendirilerek yönetimini sağlayan bir sistemdir. İşbirliği yapılarak firma içi ve firma dışı faaliyetlerin bir arada yönetilmesi hedeflenir. Ayrıca müşteri taleplerini karşılamak için, her talebe uygun farklı bir ürün ve hizmet üretilmesini sağlayarak, taleplerin geri beslemeli olarak sisteme kazandırılmasını amaçlamaktadır. Tedarik zinciri için maliyetin azaltılması en önemli konularda bir tanesidir. Hammadde, yarı mamül ve mamullerin ayrıca bilgi, para ve her türlü hizmetin geri ve ileri akışı maliyet oluşturur. Akışın etkin ve verimli yönetilmesini sağlayarak performansın artırılması doğrudan maliyeti düşürmektedir. Buradan yola çıkarak tedarik zincirindeki maliyetin en aza düşürülerek karın en büyüklenmesi, maliyetin tedarik zincirindeki tüm faaliyetinin bütünleşik bir bakış açısı ile yönetilmesi tedarik zinciri yönetim sistemi olarak adlandırılır (Mentzer vd., 2007).

Şekil 3.3'te tüm bu kavramlar ele alınarak tedarik zinciri yönetim sistemi şematik olarak gösterilmektedir (Paksoy, 2005).



Şekil 3.3. Tedarik zinciri yönetimi kapsamı (Paksoy, 2005)

3.1.3 Tedarik zinciri yönetiminin amaçları

Tedarik zincirinin başlıca amacı, müşteri siparişi sonrası ürün için gerekli hammadde temininden başlayarak müşteriye teslim sürecine kadar olan tüm ileri ve tersine iş süreçlerinin, bilgi ve hizmet akışının bütünlük bir bakış ile yönetilmesidir. TZY'nin birincil hedefi müşteri memnuniyetinin sağlanmasıdır. Değişen ve gelişen teknoloji ile yeniliklere uyum sağlayarak müşterinin taleplerinin öngörülmesi ve bu konuda sürekliliğin sağlanması oldukça önemlidir.

Firmaların rakiplerine karşı daha avantajlı konuma gelebilmesi için gerekli olan kalite, maliyet, üretim ve satın alma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinin ardından dağıtım faaliyetlerini daha iyi koordine ederek karlılığın artırılmasını hedefler (Başkol, 2011).

Çizelge 3.1'de tedarik zinciri yönetiminde amaçlar ve bu amaçların farklı parametrelere etkileri yer almaktadır. İşlevsel hedefler, beklenen sonuçlar ile örtüşüğünde oklar koyu renk ile gösterilmektedir (Paksoy, 2005).

Çizelge 3.1. Tedarik zincirinin amaçları (Paksoy, 2015)

İşlevsel hedefler	Hedeflerin etkisi		
	Stok	Müşteri hizmetleri	Toplam maliyet
Yüksek müşteri hizmeti	↑	↑	↑
Düşük ulaştırma maliyeti	↑	↓	↓
Düşük depolama maliyeti	↓	↓	↓
Stokların azaltılması	↓	↓	↓
Yüksek dağıtım hızı	↑	↑	↑
Düşük işgücü maliyeti	↑	↓	↓
Beklenen sonuç	↓	↑	↓

TZY görüldüğü üzere firmaların iç yapısına odaklanmasından ziyade tüm zincir üyelerine odaklanması gerektiğini vurgulamıştır. Bu nedenle daha fazla koordinasyon, uğraş ve analiz gerekmektedir (Başkol, 2011).

Tedarik zinciri yönetiminin asıl amaçları şu şekilde sıralanabilir (Karadelioğlu, 2006):

1. Rakipler arasında avantajı sağlamak,
2. Müşteri memnuniyetinin artırılması,
3. Maliyeti azaltmak,
4. Tedarik süreci içerisindeki hataları en düşük seviyeye indirmek,
5. Teslimatı müşterinin talep ettiği teslim tarihinde gerçekleştirmek,
6. Kalite performansını arttırmak,
7. Stok çevrimini arttırarak stok maliyetinin azaltılmasını sağlamak,
8. Kapasite kullanım verimliliğini sağlamak,
9. Müşteri ve tedarikçiler arası iyi bir iletişim ile iş birliği sağlamak,
10. Üretim ve taşıma süreçlerinin optimize edilmesi,
11. Sürekli iyileştirmenin sağlanması.

3.1.4 Tedarik zinciri modelleme

Tedarik zinciri; tedarikçiler, depolar, fabrikalar, dağıtım merkezleri ve müşterilerden oluşan bir sistemde müşteri talebinin depo, dağıtım merkezi ve tesis kapasitesini aşmayacak şekilde planlayan ve bunu en az zamanda ve en düşük maliyet ile sağlayan sistemlerdir. Her tedarik zinciri probleminin kendine özgü özellikleri olsa da birçoğunun aşağıda yer alan aşamaları yerine getirmesi gerekir (Lee ve Chen, 2004):

- **Problemin Tanımlanması:** Hazırlanan çalışmanın etkili olması isteniyorsa, tespit edilen problemlerin detaylı olarak incelenmesi ve çalışmanın bu duruma göre hazırlanması önemlidir. İçerisinde gereksiz bilgilerin yer alması modelin diğer modellere göre daha yavaş çalışmasına ve daha maliyetli sonuçların elde edilmesine sebebiyet verebilir.
- **Hedeflerin Belirlenmesi:** Tedarik zinciri modelinin amacı çalışılan probleme göre değişiklik gösterir. Çözümde kullanılan metotlar çalışmanın hedefine göre belirlenir.
- **Model Formülasyonu:** Problem ve hedefin belirlenmesinin ardından model farklı bakış açıları ile geliştirilebilir. Problem için toplanan verilerin doğruluğu problemin çözümü üzerinde etkisi oldukça fazladır. İlk olarak çalışmanın hedefleri için gerekli bilgilerin hangi yöntem ile elde edileceği belirlenmelidir. Ardından kısıtların gerekli olduğu zaman eklenmesi, problemin hedefine ulaşması konusunda izlenen en iyi yoldur. Veriler, kısıtlar ve çözüm metodu ile problemin sonucuna gidilebilir.

Tedarik zinciri kısıtları

Tedarik zinciri kısıtları, problemde sunulan alternatif karar seçenekleri için belirlenmiş etmenlerdir. Bu etmenler karar seçeneklerinin yapılabilirliği konusunda belirleyicidir. Bu kısıtların içerikleri aşağıdaki gibidir (Paksoy, 2005);

- **Kapasite:** Tedarik zinciri için kapasiteyi üretim, tedarik, işgücü, stok seviyesi, finans ve teknik imkânlar vb. ile ilgili durumları belirler.

- **Hizmet Uyumu:** Tedarik zincirinin asıl hedefinin müşteri memnuniyetinin sağlanması olarak düşündüğümüzde, hizmet kısıtının oldukça önemli olduğunu görüyoruz. Örnek verecek olursak; termine göre üretim, sipariş süresi, nakliyat süresi olarak belirleyebiliriz.
- **Talep Kapsamı/Miktarı:** Tedarik zincirindeki dikey bütünleşim, kendinden önceki aşamadaki tedarik kapasitesini dengeleyerek aşağı kademedeki tedarik zinciri üyelerinin kendi kademelerinde hedefe ulaşması için gereken talep miktarını, arttırılmış tüketim doğrultusunda dengelemektedir.

Tedarik zinciri karar değişkenleri

Karar değişkenleri, amaç fonksiyonunun çıktısının aralıklarının sınırlarını belirlemesi sonucu tedarik zinciri ile ilişkili fonksiyonel performansın artmasına katkısı büyüktür. Tedarik zincirinin performans ölçümleri karar değişkenlerinin fonksiyonu olarak bahsedilebilir. Aşağıda karar değişkenlerinin bazıları açıklanmaktadır (Paksoy, 2005);

- **Yer:** Fabrikaların, depoların, dağıtım merkezlerinin konumu, nerede olacağı ile ilgili karar verme sürecinde etkilidir.
- **Yerleşim:** Hangi fabrikadan, depo ve dağıtım noktasından, hangi müşteriye, pazara ve tedarikçiye hizmet edileceğini gösterir.
- **Şebeke Yapısı:** Bir dağıtım şebekesinin tedarikçiler, depolar ve birleşim noktalarının hangi kombinasyonundan oluşturulacağı belirlenir.
- **Tesis Sayısı:** Müşterilerden gelen ihtiyaçları tamamlayabilmek için kaç adet depo, dağıtım merkezi ve fabrikaya ihtiyaç duyulduğunu belirler.
- **Aşama Sayısı:** Tedarik zincirinin kaç aşamadan oluştuğunu belirlediği kısıttır.
- **Hizmet Sıklığı:** Tedarikçiden müşterilere dağıtım yapılan araçların izlediği rotayı veya zaman çizelgesinin göstergesidir.

- **Miktar:** Üretici, dağıtıcı ve tedarikçi optimum üretim, satınalma miktarı ve nakil miktarı belirlenir.
- **Stok Seviyesi:** Üretici ve dağıtıcıların hammadde, yarımamul ve mamul gibi her türlü stoğunun miktarını belirleyen değişkendir.
- **İşgücü Sayısı:** Mevcut sistemde kaç adet dağıtım aracına ihtiyaç olması gerektiğine karar verilir.
- **Dış Kaynak Kapsamı:** Tedarikçilerin hangi bilişim hizmeti ve üçüncü bir destek olarak nelerden faydalanabileceği belirlenir.

3.2. Genetik Algoritma

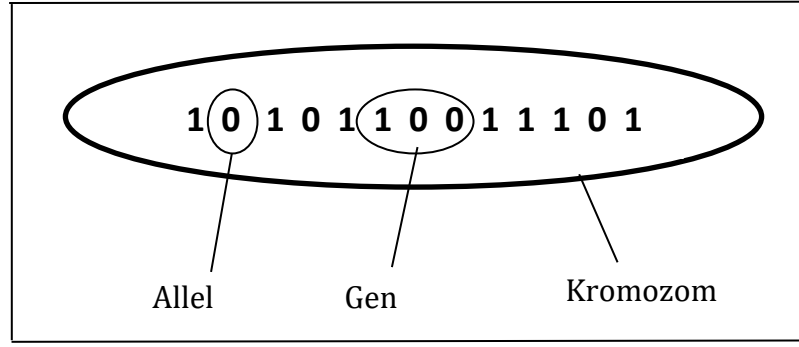
Genetik algoritma, Darwin'in evrim teorisi yaklaşımından esinlenerek ortaya çıkmıştır. J. Rechenberg tarafından hazırlanan Evrim Stratejileri adlı eserde yer alan evrensel hesaplamalar, 1975 yılında John Holland tarafından ilk kez bilgisayar ortamında ele alınmıştır. Holland, Michigan Üniversitesi'nde yaptığı çalışmaları "Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon" isimli kitabında yer vermiştir. Sonrasında doktora öğrencisi olan David Goldberg ile gaz boru hattının kontrolünü içeren bir problemi genetik algoritma ile çözmesi, buluşlarının sadece teorikte değil pratikte de faydalı olacağını gözler önüne sermiştir (Kurt ve Semetay, 2001).

Genetik algoritmanın temel kavramları: Genetik algoritmada sıklıkla kullanılan kavramlar aşağıda verilmiştir:

- **Gen:** Gen, kromozomda bulunan, kendi başına anlamlı genetik bilgi taşıyan en küçük yapı birimidir. Genetik algoritmada kullanılan genler programcının tanımlamasına göre değişkenlik gösterebilir. Örneğin; gen ikilik tabana, onluk tabandaki veya on altılık tabanda sayı değerlerinde bilgi içerebilir (Aksakal, 2014).
- **Kromozom:** Bir veya birden fazla genin bir araya gelerek bireyin tüm genetik bilgisini barındıran alleller dizisidir. Kromozomlar, alternatif aday

çözümleri göstermektedir. Genetik algoritmada optimizasyon problemi çözülürken tüm olası çözümler kromozomlar ile ifade edilir. Kromozomların içereceği veri çözümü etkileyeceği için kodlaması oldukça önemlidir (Duman, 2007).

- **Popülasyon:** Çözüm bilgilerinin içerdiği kromozomlardan oluşan topluluğa popülasyon denir. Genetik algoritmada popülasyonda bulunan kromozom sayısı ile ilgili kesin kurallar yoktur. Genellikle popülasyonun büyüklüğü algoritma boyu sabit tutulmaktadır. Problemin zorluğuna bağlı olarak programcı tarafından kromozom sayısı belirlenir. Popülasyon büyüdük, çözüme ulaşma süresi gecikir. Fakat popülasyonun çok küçük olması en iyi çözüme ulaşmadan çözümün sonlanmasına neden olmaktadır (Duman, 2007).
- **Allel:** Kromozomun en küçük birimidir. Alleller doğada XY gibi iki adet sembolden meydana gelsene de, genetik algoritma uygulamada genellikle tek sembol kullanılarak ifade edilir. Eğer kromozom ikili sistemde kodlanırsa genellikle alleller 0 ve 1 değerlerini alırlar. Sıklıkla gen ve allel kavramları birbirleriyle karıştırılmaktadır. Her ikisi de bir özelliğin kalıtsal faktörünü ifade eder, fakat allel bir genin alabileceği değişik değerlerde oluşmaktadır. Şekil 3.4'de allel, gen ve kromozom arasındaki ilişki gösterilmektedir (Aksakal, 2014).



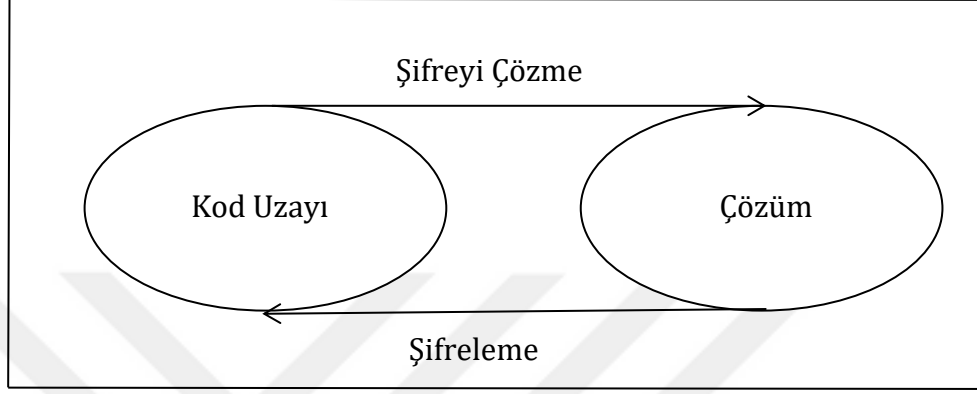
Şekil 3.4. Allel-gen-kromozom ilişkisi (Aksakal, 2014)

- **Genotip:** Bir hücrenin kalıtsal yapısına genotip denir. Kromozomlarda gizli olan bilgilerin hepsi bireyin genotipini oluşturur. Genetik algoritmada karşılığı, çözüme ilişkin her bir yapıya verilen nümerik değerlerdir (Aksakal, 2014).
- **Fenotip:** Bir hücrenin gözlenebilir özelliklerine kısacası dış görünüşüne fenotip denir. Genetik algoritmada genlerin gözükten değerlerini ifade eder (Aksakal, 2014).
- **Uygunluk fonksiyonu:** Genetik algoritmada, sonucu doğrudan etkilediği için uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi çok önemlidir. Çözüme ait değerler uygunluk fonksiyonu ile üretilir ve amaç fonksiyonu değerini ne derece karşıladığını belirlemede kullanılır. Kromozomların problemin çözümündeki başarı derecesini belirleyen bir değerlendirme işlevidir. Bir sonraki nesle aktarılacak kromozomu ve hangi kromozomun yok olacağını uygunluk fonksiyonunun değerinin büyüklüğüne göre karar verilir. Uygunluk değeri ne kadar yüksekse yaşama, çoğalma ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı o kadar yüksek olur (Yeniay, 2001).

3.2.1 Kodlama

Kurulan genetik modelin, hızlı ve güvenilir bir şekilde çalışabilmesi için kodlamanın doğru yapılması oldukça önemlidir. Bu sebeple problem uygulanmadan önce veriler uygun şekilde kodlanmalıdır. Kodlamanın yapısı probleme bağlı olarak değişmektedir. Son yıllarda birçok kodlama tekniği

geliştirilmiştir. Kodlama sırasında dikkat edilmesi gereken üç önemli nokta vardır. Bunlar, kromozomların uygunluğu kontrol edilmeli, kromozomların belirtilen şartları sağlayıp sağlamadığı incelenmeli, kodlama haritasında kromozomun tek olduğu kontrol edilmelidir. Kod ve çözüm uzayı arasındaki ilişki Şekil 3.5'te görülmektedir (Cheng vd., 1996).



Şekil 3.5. Kod ve çözüm uzayı (Cheng vd., 1996)

Binary kodlama (ikincil kodlama) : İlk kez 1975 yılında Holland tarafından önerilerek kullanılmaya başlanmıştır. Diğerlerine göre daha basit ve uygun çözüm garantisi olduğu için en sık kullanılan kodlama yöntemidir. Sayıların ikili gösterimine dayanır ve her bir kromozom 0 veya 1 karakter dizininden oluşmaktadır. Uygun olmayan çözümlerle ilgilenmek için iki yol vardır. Birincisi, uyumun görünüşünü değiştirmeden uygun olmayan çözümlerin uyumunu cezalandırmak için ceza fonksiyonu oluşturmaktır. İkincisi ise, uygun olmayan çözümü, uygun çözüme dönüştürmek için sezgisel operatörler tasarlamaktır. Birinci yol zor olduğu için genellikle sezgisel operatör tasarlama yolu tercih edilir (Duman, 2007).

Binary kodlama çok değişkenli fonksiyonların en iyilenmesinde değişkenlerin alt ve üst sınırlarına bağlı olarak çok uzun olabilir. Ayrıca gezgin satıcı, çizelgeleme, kareli atama gibi kombinatoriyal en iyileme problemlerinde ikili düzende kodlama, araştırma uzayını tam olarak temsil edememektedir. Bu sebeplerden dolayı çok sık kullanılan kodlama yöntemi olsa da bu dezavantajları nedeniyle permütasyonlu kodlama daha sık kullanılmaktadır. Çizelge 3.2'de binary kodlama yöntemi gösterilmektedir (Duman, 2007).

Çizelge 3.2. Binary kodlama

Kromozom A	1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1 0 1
Kromozom B	1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 0 1

Permütasyon kodlama: Gezgin satıcı, çizelgeleme, kareli atama gibi sıralama problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Fonksiyon ve kısıtlı optimizasyon problemlerinde ikili kodlamaya göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Permütasyon kodlamada her kromozom tamsayı/gerçek sayı değerlerinden oluşan bir diziyle gösterilir (Duman, 2007).

Örneğin gezgin satıcı probleminde “şehirlerarasındaki uzaklıklar bilinirken, tüm şehirleri birleştiren minimum yol uzunluğu ne olmalıdır?” sorusuna cevap aranmaktadır. Burada kromozomlar, şehirlerin hangi sırada ziyaret edilebileceğini gösteren permütasyonlar şeklinde kurulmalıdır. Çizelge 3.3'te permütasyon kodlama yöntemi gösterilmektedir (Duman, 2007).

Çizelge 3.3. Permutasyon kodlama

Kromozom A	1 5 3 2 6 4 7 9 8 1
Kromozom B	8 5 6 7 2 3 1 4 9 2

Değer kodlama: Değer kodlamada kromozomlar problemle ilgili olarak seçilen gerçek sayılar, rakamlar, semboller ve harfler gibi değerlerden oluşan diziler şeklinde kodlanır. Eğer problem karmaşık değerler içeriyorsa ikili kodlama kullanılması zorluk yaratacağı için bu kodlama yöntemi tercih edilmektedir. Çizelge 3.4'te değer kodlama yöntemi gösterilmektedir (Sivanandam ve Deepa, 2008).

Çizelge 3.4. Değer kodlama

Kromozom A	1.2351 5.1247 0.1475 2.1456
Kromozom B	A B C D E F T G H Y L M J A
Kromozom C	(geri) (ileri) (sağ) (ileri) (sol)

Ağaç kodlama: Evrimleşen programlama ya da ağaçla ifade edilebilecek bir yapı için kullanılır. Örneğin genetik programlamada ağaç kodlama işlevler veya programlama dilindeki komutlar gibi her kromozom bazı nesnelere ağaçtır. Genellikle matematiksel ifadeler ve bilgisayar programları gibi yapıları temsil etmek için uygundur (Uyumaz 2017).

Gray kodlama: Adını mucidi olan Frank Gray'dan almıştır. İkili kodlamanın kullanılabileceği problemler için uygundur. İkili kodlamada mutasyon işleminde değerlerin değişimi belirli kısıtlar ile gerçekleşirken gray kodlama bu sorunu ortadan kaldırmaktadır. 00000111 kromozomu yerine 00001000 kromozomu değerinin elde edilmesi tek bir mutasyonda ikili kodlama için mümkün olmazken gray kodlamada 0100 yerine 1100 değerinin elde edilmesi tek bir mutasyon ile gerçekleşebilmektedir. Şekil 3.6'da gray kodlama yöntemi gösterilmektedir (Uyumaz 2017).

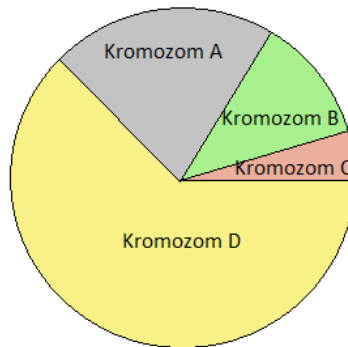
1 bit	Simetri	2 bit	Simetri	3 bit	Simetri	4 bit
0	0	0 0	0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0 0
1	1	0 1	0 1	0 0 1	0 0 1	0 0 0 1
	1	1 1	1 1	0 1 1	0 1 1	0 0 1 1
	0	1 0	1 0	0 1 0	0 1 0	0 0 1 0
			1 0	1 1 0	1 1 0	0 1 1 0
			1 1	1 1 1	1 1 1	0 1 1 1
			0 1	1 0 1	1 0 1	0 1 0 1
			0 0	1 0 0	1 0 0	0 1 0 0
					1 0 0	1 1 0 0
					1 0 1	1 1 0 1
					1 1 1	1 1 1 1
					1 1 0	1 1 1 0
					0 1 0	1 0 1 0
					0 1 1	1 0 1 1
					0 0 1	1 0 0 1
					0 0 0	1 0 0 0

Şekil 3.6. Gray Kodlama (Uyumaz, 2017)

3.2.2 Seçim

Başlangıç popülasyonu belirlendikten sonra, yeni popülasyonlar oluşturabilmek için önceki popülasyondan gelen bazı kromozomların yeni popülasyonlara aktarımı gereklidir. Buradaki asıl sorun aktarılacak kromozomun seçiminin nasıl yapılacağı ile ilgilidir. Seçme, yeni kromozomları üretmek için gerekli bir işlemdir. Darwin'in evrim teorisinden anlaşıldığı üzere şartlara uyum sağlayıp, hayatta kalabilen en iyi kromozom ebeveynler yeni oğul kromozomları oluşturur. Yani seçme işleminde uyumu yüksek kromozomlar diğerlerine göre daha yüksek olasılıkla seçilir. Böylece uyumun yüksek olduğu arama uzaylarında yoğunlaşılır (Goldberg ve Holland 1988). Aşağıda seçim yöntemleri açıklanmaktadır.

Rulet tekeri seçim yöntemi: Holland tarafından önerilen bu yöntem en sık kullanılan seçim yöntemidir. Rulet tekeri ismi daireyi uygunluk değerlerine göre dilimleyip çevirdiğimizde olacaklara benzetildiği için verilmiştir. Bu yöntemde seçim işlemi bireylerin uygunluk değerlerine göre gerçekleşmektedir. Uygunluk değeri daha yüksek olan kromozomların seçilme şansı daha yüksektir. Fakat uygunluk değeri en büyük olanın seçileceği garanti edilemez. Arama uzayı içerisinde yer alan tüm kromozomlar bir rulet tekerine yerleştirildiğini düşünelim. Rulet tekeri üzerindeki her bir kromozomun kapladığı alan kromozomun uygunluğu ile orantılıdır. Daha uygun olan kromozomlar daha geniş alana sahiptir. Rulet tekerini pasta grafiği ile gösterebiliriz. Şekil 3.7'te rulet tekeri kromozom dağılımı gösterilmektedir (Duman, 2007).

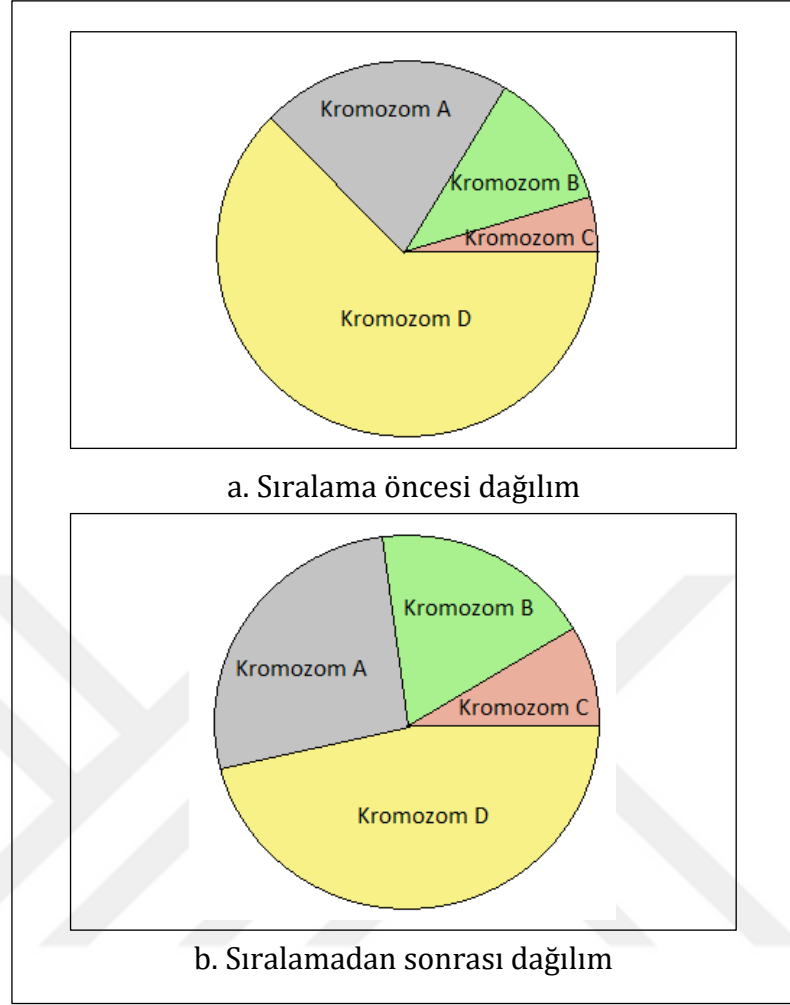


Şekil 3.7. Rulet tekeri kromozom dağılımı

Bir bilye rulet tekerine atılmakta ve bilyenin durduğu yerdeki kromozom seçilir. Daha uygun olan kromozomlar böylece daha fazla sayıda seçilecektir. Rulet tekerleği seçim adımları aşağıdaki gibidir (Duman, 2007):

- a. Tüm kromozomların uygunluk değerleri bir tabloya yazılır,
- b. Yazılan uygunluk değerleri toplanır,
- c. Tüm kromozomların uygunluk değerleri toplama bölünerek [0,1] aralığında sayılar elde edilir. Bu sayılar kromozomların seçilme olasılıklarıdır. Elde edilen sayılar bir tabloda tutulur,
- d. Seçilme olasılıklarını tuttuğumuz tablodaki sayılar birbirine eklenerek rastgele bir sayıya kadar ilerlenir. Bu sayıya ulaşıldığında ya da geçildiğinde son eklenen sayının ait olduğu çözüm seçilmiş olur.

Sıralı (rank) seçim yöntemi: Sıralı seçim yöntemi ilk olarak Baker tarafından önerilmiştir. Rulet tekeri seçiminde en iyi uygunluk değeri %90 oranında alana sahip olduğu durumda, diğer kromozomların ebevyn olarak seçilme şansı oldukça düşüktür. Bu dezavantajlarını ortadan kaldırmak için sıralı seçim yöntemi kullanılmıştır. Bu seçim yönteminde kromozomlar uygunluk değerlerine göre sıralanır ve her bireyin beklenen değeri sahip olduğu uygunluk değerinde ki sıra ile doğru orantılıdır. Seçim işlemi bu sıra dikkate alınarak yapılır. En yüksek uygunluk 1, ikincisi 2 vb. şeklinde kromozomlar sıralanır. En iyi kromozomdan başlanır ve bir orantılı seçim yöntemi kullanılarak yeni popülasyon oluşturulur. Popülasyondaki birey sayısının artması en iyi ve en kötü kromozom arasında ki seçilme olasılığını arttırmaktadır. Şekil 3.8'de sıralama yöntemi uygulanmadan önce ve sonraki kromozom dağılımı gösterilmektedir (Akoğlu, 2006).



Şekil 3.8. Sıralama öncesi ve sonrası kromozom dağılımı

Tüm kromozomların seçilme şansı vardır. Fakat bu yöntem en iyi kromozomlar arasında fazla fark bulunmamasından dolayı lokal optimuma takılabilir ve yavaş çalışır (Akoğlu, 2006).

Turnuva seçim yöntemi: Turnuva seçim yöntemi popülasyon büyüklüğü fazla olduğu durumlarda tercih edilir. Popülasyon içerisinde k-adet kromozom rassal olarak seçilerek, uygunluk değerine göre turnuvaya sokulur. Uygunluk değeri en yüksek olan kromozom ebeveyn kromozom olarak seçilir ve diğerleri atılır. Bu k değerinin büyük olması yüksek uygunluktaki kromozomların ebeveynleri oluşturmasına, küçük olması ise düşük uygunluktaki kromozomların yeniden üremeye seçilmesine sebep olmaktadır. İstenilen yığın genişliğine ulaşıncaya kadar bu işlem devam ettirilir (Kahraman ve Özdağlar, 2004).

Sabit durum seçim yöntemi: Sabit durum seçiminde ana fikir popülasyonda yer alan kromozomların birçoğunu yeni nesle aktarmaktır. Bu sebeple belirgin bir ebeveyn seçme yöntemi değildir. Her yeni nesilde uygunluk değeri yüksek kromozomlar yavruları oluşturmak için seçilir ve düşük uygunluk değerine sahip yavru kromozomların yerine yeni oluşan kromozomlar yerleşir. Popülasyonun geri kalan miktarı yeni nesle aktarılır (Biroğul, 2005).

Seçimlilik (elitizm) yöntemi: En iyi kromozomların ilk önce kopyalanıp sonra yeni nesle aktarıldığı bir yöntemdir. Çünkü çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerle yeni kromozomlar oluştururken, en iyi kromozomlar bozulabilir veya kaybedilme olasılığı vardır. Geri kalan kromozomlarda bu yöntem ile üretilir. Seçkinlik en iyi kromozomların kaybolmasını önlediği için genetik algoritmanın başarısını hızlı bir şekilde arttırmaktadır (Biroğul, 2005).

3.2.3 Çaprazlama operatörü

Çaprazlama operatörü iki kromozomun bir araya gelerek, karşılıklı olarak yer değiştirmesidir. Böylece iki yeni kromozom üretilir. Çaprazlama yapılacak konum rassal olarak seçilecek olup çaprazlama yapılmadan önce çaprazlama oranı (Pc) belirlenmelidir. Literatürde bu oran genellikle %50-%95 oranlarında uygulanmıştır. Çaprazlamanın amacı en iyi uyuma sahip kromozomların bir sonraki nesle aktarılabilmesi için kromozomlar arasındaki gen değişimi ile popülasyonun kalitesinin en iyi tutulmaya çalışılmasıdır. Mevcut iyi kromozomların özellikleri birleştirilerek daha uygun kromozomlar oluşur (Biroğul, 2005).

Tek noktalı çaprazlama: Çaprazlamalar arasından en temel ve en basit olan yaklaşımdır. Kromozomlar rassal olarak seçilen bir noktadan kesilir ve bu pozisyona çaprazlama noktası adı verilir. İlk ebeveyn kromozomun çaprazlama noktasından önce gelen gen dizilimi ve ikinci ebeveyn kromozomun çaprazlama noktasından sonraki gen dizilimi kopyalanarak yeni kromozomlar oluşturulur. Diğer oluşan yeni kromozom ise bu kombinasyonun tersi ile oluşturulur (Günay, 2013).

Eğer çaprazlama noktası uygun olarak seçilmezse oluşan çocuk kromozomların kalitesi düşük ve sağlıksız olur. Bu yüzden çaprazlama noktasının doğru tespit edilmesi önemlidir. Çizelge 3.5'te tek noktalı çaprazlama yöntemi gösterilmektedir (Sivanandam ve Deepa, 2008).

Çizelge 3.5. Tek noktalı çaprazlama

Kromozom A	1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0
Kromozom B	1 1 0 1 0 1 1 0 1 1
Kromozom A'	1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1
Kromozom B'	1 1 0 1 0 0 1 0 0 0

İki noktalı çaprazlama: İki noktalı çaprazlama, 1 ve N arasında rassal olarak iki nokta seçilir ve seçilen noktalar çaprazlama noktası olarak kabul edilir. Belirlenen bu çaprazlama noktaları arasında kalan bölümler yer değiştirir ve iki yeni kromozom elde edilir. Çizelge 3.6'da iki noktalı çaprazlama yöntemi gösterilmektedir (Kaya, 2006).

Çizelge 3.6. İki noktalı çaprazlama

Kromozom A	1 0 1 0 1 1 0 1 1
Kromozom B	0 0 1 0 1 0 1 0 1
Kromozom A'	1 0 1 0 1 0 1 1 1
Kromozom B'	0 0 1 0 1 1 0 0 1

Pozisyona dayalı çaprazlama: Pozisyona dayalı çaprazlama, kalıp olarak sabit kalacak bir kromozom belirlenir. Kalıpta belirlenen noktalar dizide sabit kalır, diğer noktalar ise iki kromozom arasında yer değiştirir. Böylece yeni kromozomlar oluşur. Çizelge 3.7'de pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi gösterilmektedir (Kaya, 2006).

Çizelge 3.7. Pozisyona dayalı çaprazlama

Kromozom A	3 4 7 1 1 0 4 8 9 2 3 3
Kromozom B	0 0 1 4 7 2 8 9 2 1 0 0
Kalıp	1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0
Kromozom A'	3 4 7 4 7 2 4 8 2 1 3 0
Kromozom B'	0 0 1 1 1 0 8 9 9 2 0 3

Sıraya dayalı çaprazlama: Sıraya dayalı çaprazlama yöntemi kromozomu oluşturan karakterlerin sıralamasının önem taşıdığı durumlarda sıklıkla kullanılır. Bu yöntem ilk olarak 1985 yılında Davis tarafından önerilmiştir. Pozisyona dayalı yöntemde olduğu gibi {0,1} kalıp uygulaması bu yöntemde de kullanılır. Kalıpta 1 değerleri çaprazlama için kullanılacak değerleri göstermektedir (Kaya, 2006).

Örneğin; B kromozomunda sırasıyla çaprazlanacak genler 7, 5 ve 1'dir. Kromozom A'da bulunan 1, 5, 7 numaralı genler aynı sıra ile değiştirilerek A' kromozomu oluşturulur. Aynı işlem A kromozomu için tespit edilirse 1, 5 ve 6 çaprazlanacak genleri kromozom B'de 5, 6 ve 1 genlerinin sırasını değiştirerek kromozom B' oluşturulur. Çizelge 3.8'de sıraya dayalı çaprazlama yöntemi gösterilmektedir (Kaya, 2006).

Çizelge 3.8. Sıraya dayalı çaprazlama

Kromozom A	1 3 5 7 2 8 4 6 9
Kromozom B	7 4 5 6 8 9 3 1 2
Kalıp	1 0 1 0 0 0 1 0
Kromozom A'	7 3 5 1 2 8 4 6 9
Kromozom B'	7 4 1 5 8 8 3 6 9

Kısmi planlı çaprazlama: Kısmi planlı çaprazlama yöntemi Goldberg tarafından geliştirilmiştir ve ilk olarak gezgin satıcı probleminde kullanılmıştır. Bu yöntemde iki adet rassal olarak çaprazlama noktası seçilir. Bu noktaların ayırdığı alt dizilere eşleştirme bölgesi denir. Alt diziler her biri ebeveyn kromozomlar arasında çaprazlanır ve yeni kromozomlar oluşur. Ebeveynler için eşleştirme bölgeleri arasındaki eşleştirme ilişkisi belirlenir ve bu ilişkiye göre yeni oluşan kromozomlar hazır hale gelir. Çizelge 3.9'da kısmi planlı çaprazlama yöntemi gösterilmektedir (Dursun, 2009).

Çizelge 3.9. Kısmi planlı çaprazlama

Kromozom A	2 8 6 4 5 7 1 3
Kromozom B	8 7 2 1 3 4 5 6
Kromozom A'	2 8 2 1 3 7 1 3
Kromozom B'	8 7 6 4 5 4 5 6

Dairesel çaprazlama: Dairesel çaprazlama yöntemi Oliver isimli araştırmacı tarafından önerilmiş ve Davis, Goldberg ve Lingle isimli araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde birinci kromozomdaki ilk gen seçilir ve bu gen yeni oluşacak kromozoma eklenir. Bu gene karşılık gelen ikinci kromozomdaki gen belirlenir ve bu değer de yeni oluşacak kromozom üzerine yerleştirilerek dairesel bir şekilde tüm genler belirlenir. Son olarak kromozomda boş kalan yerler karşılıklı olarak değiştirilerek işlem tamamlanır. Çizelge 3.10'da dairesel çaprazlama yöntemi gösterilmektedir (Engin, 2001).

Çizelge 3.10. Dairesel çaprazlama

Kromozom A	9 8 2 1 7 4 5 10 6 3
Kromozom B	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Kromozom A'	9 * * 1 * 4 * * 6 *
Kromozom B'	1 * * 4 * 6 * * 9 *
Kromozom A''	9 2 3 1 5 4 7 8 6 10
Kromozom B''	1 8 2 4 7 6 5 10 9 3

Düzgün çaprazlama: Düzgün çaprazlama yönteminde hangi allelin hangi ebeveynden geleceği bir maskeye göre belirlenir. Bu maske kromozom ile aynı boyuttadır ve Bernoulli dağılımına göre belirlenir. Eğer maskede '1' değeri varsa o gen birinci ebeveynden kopyalanacağını, '0' ise genin ikinci ebeveynden kopyalanacağı anlamına gelmektedir. Çizelge 3.11'de düzgün çaprazlama yöntemi gösterilmektedir (Goldberg ve Holland 1988).

Çizelge 3.11. Düzgün çaprazlama

Kromozom A	9 8 2 1 7 4 5 10 6 3
Kromozom B	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Kromozom A'	9 * * 1 * 4 * * 6 *
Kromozom B'	1 * * 4 * 6 * * 9 *
Kromozom A''	9 2 3 1 5 4 7 8 6 10
Kromozom B''	1 8 2 4 7 6 5 10 9 3

3.2.4 Mutasyon operatörü

Mutasyon, canlıların genetik materyalinde, radyasyon veya diğer çevresel etkenler nedeniyle, kromozomlarında aniden meydana gelen kalıtsal değişimlere denir. Bu işlem sırasında kromozomlarında yer alan genlerin sayısında bir değişiklik olmaz. Kromozomlar bir süre sonra aynı kromozom dizilimini tekrarlayabilir. Bu durum, arama uzayında hep aynı yerlerin taranmasına sebep olur. Mutasyon en yakın optimal çözümü bulmak konusunda fayda sağladığı gibi kromozomlarda bulunan bilgilerin yok olmasını da önler. Eğer kromozomlarda mutasyon yapılmazsa çaprazlama sonucu oluşan yeni kromozomlar birbirlerinin kopyası olur ve çeşitlilik ortadan kalkar. Çaprazlama operatöründen farklı olarak mutasyon sadece bir kromozoma uygulanmaktadır (Goldberg ve Holland 1988).

Genetik algoritmada arama uzayı için yeni çözüm noktaları elde etmek yani lokal optimum değerlerine takılmasını önlemek amacıyla kromozomda yer alan genlerin bir veya birkaçının değeri rassal olarak değiştirilir. İkili düzende kodlamanın kullanıldığı bir kromozomdan örnek verecek olursak, allel değeri 1 ise 0 ya da tam tersi olarak değiştirilerek çocuk kromozomlar elde edilir (Goldberg ve Holland 1988). Çizelge 3.12'de mutasyon operatörü gösterilmektedir (Kaya, 2006).

Çizelge 3.12. Mutasyon operatörü

Kromozom	Genler
Mutasyondan Önce	1 1 0 1 1 1 1 0 0
Mutasyondan Sonra	1 1 0 0 1 1 1 0 0

Ters mutasyon: Kromozom üzerinden rasgele iki pozisyon seçilir ve bu iki pozisyon iki ucu arasından ters çevrilerek elde edilir. Çizelge 3.13'de ters mutasyon yöntemi gösterilmektedir (Engin, 2001).

Çizelge 3.13. Ters mutasyon

Kromozom	Genler
Mutasyondan Önce	7 3 2 9 10 1 6 4 5 8
Mutasyondan Sonra	7 3 1 10 9 2 6 4 5 8

Komşu iki gen değiştirme mutasyonu: Kromozom dizisinden rasgele olarak seçilen iki komşu genin yer değiştirmesi sonucu oluşur. Permütasyon problemlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Çizelge 3.14'de komşu iki gen değiştirme mutasyonu gösterilmektedir (Engin, 2001).

Çizelge 3.14. Komşu iki gen değiştirme mutasyonu

Kromozom	Genler
Mutasyondan Önce	1 4 7 8 9 6 3 2 5 8
Mutasyondan Sonra	1 4 7 9 8 6 3 2 5 8

Karşılıklı değişim mutasyonu: Kromozom üzerinden rasgele iki farklı gen seçilir ve bu genler kendi aralarında yer değiştirmesi sonucu oluşur. Çizelge 3.15'de yer değişim mutasyonu yöntemi gösterilmektedir (Engin, 2001).

Çizelge 3.15. Karşılıklı değişim mutasyonu

Kromozom	Genler
Mutasyondan Önce	1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1
Mutasyondan Sonra	1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1

Gen ekleme mutasyonu: Rasgele olarak seçilen bir gen yine rasgele olarak seçilen bir pozisyona eklenir ve diğer genler sağa veya sola kaydırılır. Çizelge 3.16'da gen ekleme mutasyonu yöntemi gösterilmektedir (Engin, 2001).

Çizelge 3.16. Gen ekleme mutasyonu

Kromozom	Genler
Mutasyondan Önce	1 2 3 4 5 6 7 8 9
Mutasyondan Sonra	1 2 7 3 4 5 6 8 9

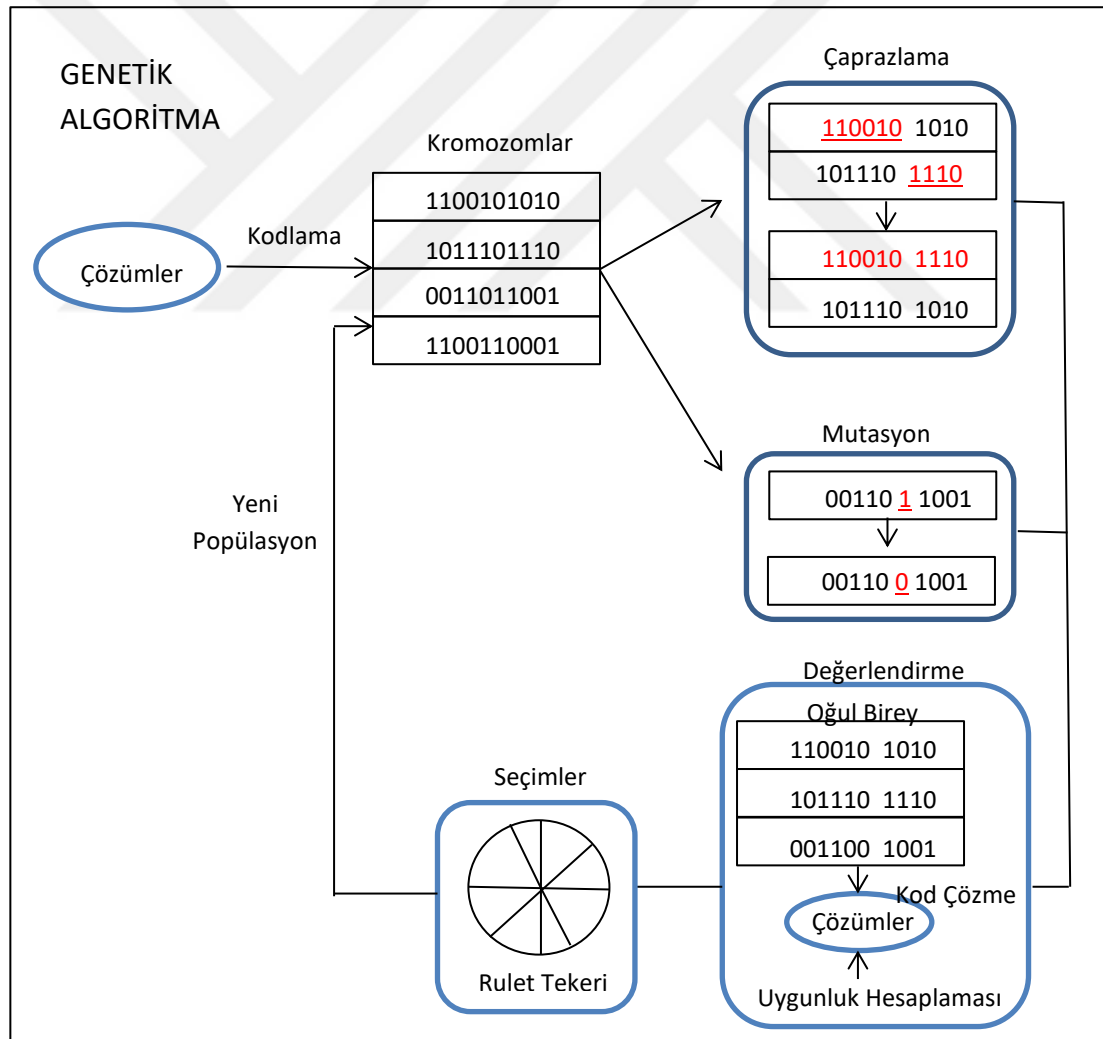
Keyfi 3-gen değiştirme mutasyonu: Rasgele seçilen 3 genin yine rasgele olarak yerinin değiştirilmesi işlemidir. Çizelge 3.17'de keyfi 3-gen değiştirme mutasyonu yöntemi gösterilmektedir (Engin, 2001).

Çizelge 3.17. Keyfi 3-gen değiştirme mutasyonu

Kromozom	Genler
Mutasyondan Önce	A B C D E F G H
Mutasyondan Sonra	A G C B E F D H

3.2.5 Genetik algoritma çalışma prensibi

Genetik algoritma, sezgisel yöntemlerden biri olup, çözümü zor problemlerin çözüldüğü ve çok çeşitli uygulama alanına sahip olduğundan dolayı geçtiğimiz yüzyılda birçok farklı alanlarda uygulanmıştır. Genetik algoritmanın genel yapısı Şekil 3.9’da verilmiştir (Gen ve Cheng, 1996).



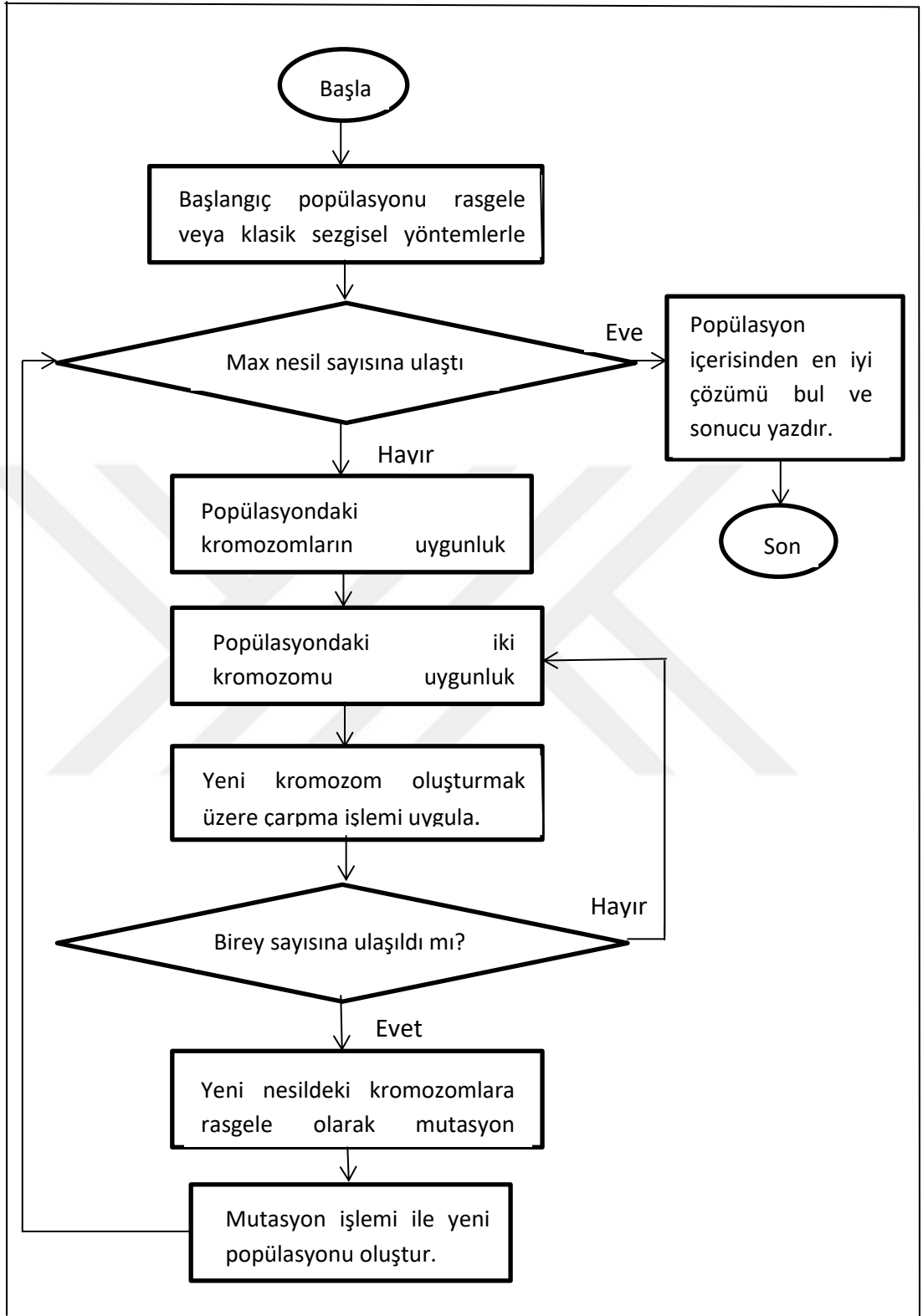
Şekil 3.9. Genetik algoritmanın genel yapısı

Bu tez kapsamında ilgilenilen problem, olasılıklı algoritmalar sınıfında Np-zor problemler olarak kabul edilir. Genetik algoritma genel olarak aşağıdaki 10 temel aşamadan oluşmaktadır (Biroğul, 2005).

- İlk olarak çözüm grubunun oluşması için popülasyon belirlenmelidir. Popülasyonda bulunacak kromozom sayısı hakkında kesin yargılar yoktur. Fakat genellikle 100 ve 300 adet arasında önerilmektedir. Popülasyon klasik sezgisel yöntemler kullanılarak ya da rasgele olarak üretilmelidir. Popülasyonun büyüklüğünün belirlenmesinin ardından probleme göre kromozomlar kodlar kullanılarak ifade edilmelidir.
- Genetik algoritmanın ana yapısını oluşturan ve probleme özgü olan en önemli kısım uygunluk değerinin hesaplanmasıdır. Kromozomların ne kadar iyi olduklarını bulmak için uygunluk değeri hesabı yapılır. Genetik algoritmanın başarısı bu hesabın hassas ve verimli olmasına bağlıdır.
- Uygunluk değerine göre kromozomlar rasgele olarak seçilerek eşlenmesi işlemi yapılır. Bu seçimi yapmak için rulet tekeri seçimi, turnuva yöntemi, sıralı seçim vb. birçok yöntem kullanılabilir.
- Genetik çeşitliliğin sağlanması için çaprazlama ve mutasyon operatörleri çok önemlidir. Çaprazlama iki kromozom arasında rasgele olarak belirlenen parçaların değiştirilmesidir. Mutasyon ise aynı kromozom içerisinde genlerin dışarıdan değiştirilmesidir.
- Kromozomun üzerinde yapılan gen değişimleri sonucu ilk neslin bilgileri aynı olmalıdır. Bunun için çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin kullanılmasının ardından çözüm uzayından çok uzaklaşarak çözümün zorlaşmasını engellemek için kromozomlara tamir operatörü kullanılması gerekebilir.
- Eski kromozomlar popülasyon içerisinden çıkartılarak yerine yeni oluşturulan kromozomlar yerleştirilir ve yeni popülasyon oluşturulur. Böylece popülasyon içerisindeki kromozom sayısı hep sabit kalır.

- Çözüm uzayı içerisinde en iyi seçilen kromozom bir sonraki popülasyona aktarılır.
- Yeni oluşturulan popülasyonun içerisindeki kromozomların uygunluk oranı hesaplanır ve neslin başarısı elde edilir.
- Genetik algoritma istenilen durdurma kriteri sağlanana kadar işlemleri tekrarlanır.
- Genetik algoritmanın durmasının ardından, süreçteki en iyi kromozom çözüm olarak kabul edilir.

Şekil 3.10'de genetik algoritmanın adımları yer almaktadır (Biroğul, 2005).



Şekil 3.10. Genetik algoritma adımları (Biroğul, 2005)

3.2.6 Genetik algoritma parametre seçimi

Genetik parametrelerin seçimi algoritmanın performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu parametreler kontrol parametresi olarak adlandırılmaktadır. Hangi probleme hangi parametrenin daha uygun olduğu daha önceden yapılarak doğruluğu ispatlanmış deney sonuçlarından veya deneme yanılma yöntemiyle bulunabilir (Altıparmak vd. 2006).

Popülasyon boyutu: Popülasyon boyutu popülasyondaki kromozom sayısını belirtmektedir. Popülasyon boyutunun küçük olması genetik algoritmanın çaprazlama olasılığı azaltacak ve çözüm küçük bir arama uzayı içerisinde elde edilecektir. Bu durum genetik algoritmanın performansını azaltır. Popülasyon boyutunun büyük olduğu durumda ise aramanın etkinliğini artırır ve zamansız yakınsamayı önler. Fakat her iterasyonda kromozomların değerlendirilmesi yapılacağı için programın çalışma hızını yavaşlatmaktadır (Emel ve Taşkın, 2002).

Çaprazlama olasılığı: Çaprazlama olasılığı, popülasyon içerisindeki kromozomların ne kadar sıklıkla yapılacağını ifade eder. Çaprazlama ebeveyn kromozomların iyi genlerini alarak daha iyi yeni kromozomlar elde etmek için yapılır. Eğer çaprazlama yapılmazsa yeni oluşacak kromozomlar ebeveynlerinin aynısı olur. Çaprazlama olasılığı genellikle 0,5 ve 0,9 değerleri arasında tercih edilir (Bäck, 1996).

Mutasyon olasılığı: Mutasyon olasılığı, popülasyondaki genetik çeşitliliği arttırmak için kromozomların ne sıklıkla mutasyon geçireceğini ifade eder. Kromozomlara mutasyon yapılmazsa oluşan yeni kromozomlar çaprazlamadan sonra değiştirilmeden üretilir. Eğer mutasyon varsa, yeni oluşan kromozomların bir veya daha fazla parçası değiştirilir ve çeşitlilik artar. Popülasyon boyutu 20'den büyük olduğunda mutasyon olasılığı 0,05 değerinden büyük, 20'den küçük olduğu durumlarda ise mutasyon olasılığı 0,002 değerinden küçük alındığı durumlarda performansın arttığı gözlenmiştir (Bäck, 1996).

Seçim stratejisi: Seçim stratejisi sonraki nesilde yaşamına devam edecek kromozomların belirlenmesi için yapılan seçim işlemidir. Çaprazlama ve

mutasyon operatörleri kromozomların seçilmesinden sonra gerçekleşir. Seçim stratejisi genetik algoritmanın performansını etkilemektedir. Literatürde birçok seçim yöntemi vardır bunlardan bazıları; sıralı seçim, rulet seçimi ve turnuva seçim yöntemidir (Emel ve Taşkın, 2002).

Sonlandırma kriteri: Sonlandırma kriteri genetik algoritmanın sonlandırılmasının gerekli olup olmadığını belirler. Örneğin üretilecek maksimum nesil sayısına ulaşıldığında, çaprazlama sonrasında oluşacak program ağaçlarının maksimum derinliğe ulaşması ve mutasyon sonrasında maksimum derinliğin olduğu durumlar bir sonlandırma kriteri olarak ele alınabilir. Genetik algortmada kromozomlar istenilen uygunluk değerine ulaştığı zaman sonlandırma kriteri devreye girer ve programı sonlandırır (Emel ve Taşkın, 2002).

Fonksiyon ölçeklendirme: Kompleks yapıya sahip uygunluk fonksiyonlarında değerlendirme yapmak zorlaşır, bu problemlerde uygunluk fonksiyonu ölçeklendirilerek basitleştirilebilir böylece daha kolay çözümler elde edilir (Kulluk, 2003).

3.2.7 Genetik algoritmanın performansını etkileyen nedenler

Genetik algoritmaların performansını etkileyen nedenler aşağıdaki gibi kısaca özetlenebilir (Kulluk, 2003):

- Kromozom sayısı: Kromozom sayısının artması çalışma süresini arttırmaktadır. Kromozom sayısını azaltmaksa kromozom çeşitliliğini yok etmektedir.
- Mutasyon oranı: Kromozomlar birbirine benzemeye başladığı halde çözüm noktalarının uzağında bulunduğu durumlarda mutasyon işlemi uygulanır. Mutasyon oranının yüksek olması genetik algoritmayı kararlı bir noktaya ulaştırmaz.
- Kaç Noktalı Çaprazlama Yapılacağı: Normalde çaprazlama tek noktada yapılmaktadır. Fakat bazı problemlerde çok noktalı çaprazlamanın daha

faydalı olduğu gözlenmiştir. Çaprazlama sonucu elde edilen bireylerin nasıl değerlendirileceği, elde edilen iki kromozomun birden kullanılıp kullanılmayacağı bazen önemli olmaktadır.

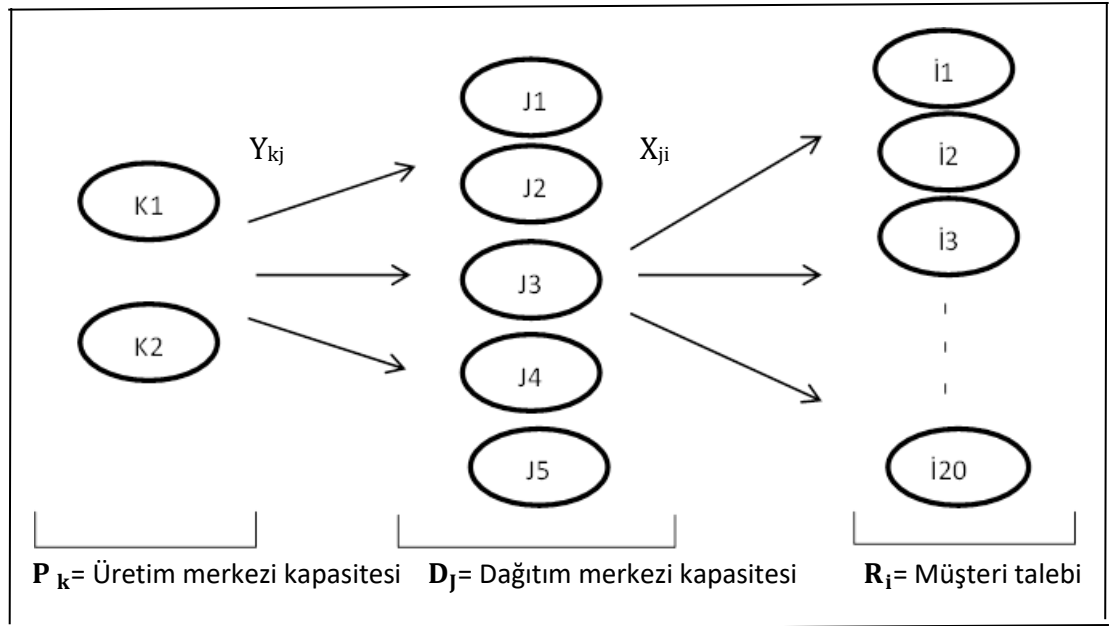
- Nesillerin birbirinden ayrık olup olmadığı: Her nesil bir önceki nesle bağlı olarak yaratılır. Bazı durumlarda yeni nesli eski nesille birlikte yeni neslin o ana kadar elde edilen bireyleri ile yaratmak yararlı olabilir.
- Parametre kodlanmasının nasıl yapıldığı: Kodlamanın nasıl yapılacağı oldukça önemlidir. Bazen bir parametrenin doğrusal ya da logaritmik kodlanması gibi genetik algoritmanın performansını etkileyebilir.
- Kodlama gösteriminin nasıl yapıldığı: İkilik düzen, kayan nokta aritmetiği ya da gray kodu gibi kodlama yöntemleri ile gösterim genetik algoritmanın performansını etkileyen noktalardır.
- Başarı değerlendirmesinin nasıl yapıldığı: Akıllıca yazılmamış bir değerlendirme işlevi çalışma zamanını uzatabileceği gibi çözüme hiçbir zaman ulaşmamasına neden olabilir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Uygulama Model Verileri

Tez kapsamında, Manisa’da faaliyet gösteren üretici bir firmanın bulunduğu tedarik zinciri ele alınmıştır. Ağın tasarımı için geliştirilen matematiksel model ile müşteri, dağıtım merkezi, üretim merkezi arasındaki dağıtım ağının en uygun çözümünün bulunması amaçlanmıştır. Üretim merkezleri, dağıtım merkezleri ve müşteriler arasındaki dağıtım ağında, taşıma maliyetleri, üretim ve dağıtım merkezi kapasite kısıtları, müşteri talepleri ele alınarak modellenmiştir. Modelin çözülmesi ile hangi üreticiden, hangi dağıtımcıya ve hangi müşteriye dağıtım yapılırsa problem en düşük maliyet ile çözülmüş olacağı tespit edilecektir.

İlgili firma iki üretim merkezi ile müşterilerinin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Üretim merkezinde üretilen ürünler, beş farklı dağıtım merkezi ile yirmi farklı müşteriye ulaşmaktadır. Üretim merkezinden müşteriye doğru gerçekleşen bu akış sırasında taşıma maliyeti en azlanarak en düşük maliyet ile taşıma yapabilecek çözüm aranmaktadır. Şekil 4.1’de problem verileri görselleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Problem verilerinin görseli

4.1.1 Varsayımlar

Modelin yapısını anlamayı kolaylaştırması açısından, içerdiği çeşitli notasyonların ve varsayımların tanımlanması yararlı olacaktır.

- 1- Üretim merkezinden müşteriye yapılan dağıtım sırasında taşıma seçeneği tek tip olduğu varsayılmıştır.
- 2- Tüm tedarik ağı üç aylık yaz dönem aralığında gerçekleştirmektedir.
- 3- Dağıtıcı aynı anda farklı müşterilerin ürünlerini taşıyabilir.
- 4- Dağıtım merkezlerinin depolama alanı bulunmamaktadır.

4.1.2 Modele ait notasyonlar

İlgili modelde kullanılacak olan indis, parametre, karar değişkenleri ve kısıtlar aşağıda verilmiştir:

İndisler:

k : Üretim merkezi	(k=1,2)
j : Dağıtım merkezi	(j=1,2,3,4,5)
i : Müşreti	(i=1,2,3, ... ,20)

Parametreler:

a_{ji} :	j'inci dağıtım merkezinden i'nci müşteriye birim dağıtım maliyeti
b_{kj} :	k'inci üretim merkezinden j'inci dağıtım merkezine birim dağıtım maliyeti
P_k :	k'inci üretim merkezinin kapasitesi
D_j :	j'inci dağıtım merkezinin kapasitesi
R_i :	i'nci müşterinin talebi

Karar değişkenleri:

x_{ji} :	j'inci dağıtım merkezinden i'nci müşteriye dağıtım yapılacak ürün miktarı
y_{kj} :	k'inci üretim merkezinden j'inci dağıtım merkezine dağıtım yapılacak ürün miktarı.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_{i,j} a_{ji} x_{ji} + \sum_{j,k} b_{kj} y_{kj} \quad (4.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j x_{ji} \geq R_i , \quad \forall_i \quad (4.2)$$

$$\sum_i x_{ji} \leq D_j , \quad \forall_j \quad (4.3)$$

$$\sum_j y_{kj} \leq P_k , \quad \forall_k \quad (4.4)$$

$$\sum_k y_{kj} = \sum_i x_{ji} , \quad \forall_{i,j,k} \quad (4.5)$$

$$x_{ji}, y_{kj} \geq 0 , \quad (4.6)$$

Amaç fonksiyonu, üretim merkezleri, dağıtım merkezleri ve müşteriler arasında oluşan tedarik zinciri dağıtım ağının maliyetinin en azlanmasını ifade etmektedir (Eşitlik 4.1). Her bir dağıtım merkezinden her bir müşteriye dağıtım yapılacak ürün miktarı, müşterinin talebine eşit ya da büyük olması gereklidir. Müşterinin talebinin karşılanmama ihtimali mümkün değildir (Eşitlik 4.2). Her bir dağıtım merkezinden her bir müşteriye dağıtım yapılacak ürün miktarı, dağıtım merkezinin kapasitesine eşit ya da küçük olması gereklidir. Dağıtım merkezinin kapasitesinden fazla ürünü taşınması mümkün değildir (Eşitlik 4.3). Her bir üretim merkezinden her bir dağıtım merkezine dağıtım yapılacak ürün miktarı, üretim merkezinin kapasitesine eşit ya da küçük olması gereklidir. Dağıtım merkezinin, üretim merkezinin kapasitesinden daha fazla ürünü taşınması mümkün değildir (Eşitlik 4.4). Her bir üretim merkezinden her bir dağıtım merkezine dağıtım yapılacak ürün miktarı, her bir dağıtım merkezinde her bir müşteriye dağıtım yapılacak ürün miktarına eşittir. Dağıtım merkezlerinin depolama özelliği yoktur (Eşitlik 4.5). Son olarak modelde her bir üretim merkezinden her bir dağıtım merkezine dağıtım yapılacak ürün miktarı ve her bir dağıtım merkezinden her bir müşteriye dağıtım yapılacak ürün miktarı negatif olmamalıdır (Eşitlik 4.6).

4.2. Genetik Algoritma ile Çözümü

Bu bölümde tedarik zinciri problemine genetik algoritma ile çözüm için önerilen yöntem açıklanacak, ardından örnek bir problem için bu yaklaşımla elde edilen sonuçlara yer verilecektir.

Manisa'da yer alan üretici firmanın veri kümesi ele alınarak çözüm yaklaşımı ayrıntılı olarak sunulacaktır. Ele alınan problemde 20 müşteri, 2 üretim merkezi ve 5 dağıtım merkezi mevcuttur. Üretim merkezi, dağıtım merkezi ve müşteri arasında gerçekleşen tedarik zinciri ağında taşıma maliyetinin en azlanması hedeflenmektedir.

Gizlilik anlaşması gereği, söz konusu firmaya ait gerçek veriler modele yaklaşık değerlerle dahil edilecektir.

Çizelge 4.1'de üretim merkezleri ve dağıtım merkezleri arasındaki birim taşıma maliyetleri, Çizelge 4.2'de ise dağıtım merkezi ve müşteri arasındaki birim taşıma maliyetleri yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Üretim merkezi ve dağıtım merkezi arasında birim taşıma maliyeti(pbr)

	1. Dağıtım Merkezi	2. Dağıtım Merkezi	3. Dağıtım Merkezi	4. Dağıtım Merkezi	5. Dağıtım Merkezi
1.Üretim Merkezi	39	44	38	40	32
2.Üretim Merkezi	30	42	44	32	31

Çizelge 4.2. Dağıtım merkezi ve müşteri arasında birim taşıma maliyeti(pbr)

	1. Dağıtım Merkezi	2. Dağıtım Merkezi	3. Dağıtım Merkezi	4. Dağıtım Merkezi	5. Dağıtım Merkezi
1. Müşteri	63	53	62	75	40
2. Müşteri	51	40	58	63	51
3. Müşteri	55	61	49	51	79
4. Müşteri	43	51	33	45	64
5. Müşteri	45	43	50	53	51
6. Müşteri	38	61	40	63	35
7. Müşteri	45	79	60	36	48
8. Müşteri	53	47	55	57	35
9. Müşteri	59	66	44	47	44
10. Müşteri	76	57	65	68	57
11. Müşteri	40	66	67	44	69
12. Müşteri	40	75	58	38	57
13. Müşteri	38	63	73	57	61
14. Müşteri	82	71	56	58	64
15. Müşteri	34	57	64	60	50
16. Müşteri	35	34	39	35	66
17. Müşteri	48	48	40	33	41
18. Müşteri	43	32	37	74	38
19. Müşteri	55	46	50	53	42
20. Müşteri	33	59	40	65	54

Üretim merkezi kapasitesi Çizelge 4.3'te, dağıtım merkezi kapasitesi, Çizelge 4.4'te ve müşteri talepleri Çizelge 4.5'te yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Üretim merkezi kapasitesi

	Üretici Kapasitesi (adet)
1.Üretici	4.200
2.Üretici	4.800

Çizelge 4.4. Dağıtım merkezi kapasitesi

	Dağıtıcı Kapasitesi (adet)
1.Dağıtıcı	1.680
2.Dağıtıcı	1.460
3. Dağıtıcı	1.750
4. Dağıtıcı	1.780
5. Dağıtıcı	1.690

Çizelge 4.5. Müşteri talepleri

	Müşteri Talebi (adet)
1.Müşteri	431
2. Müşteri	472
3. Müşteri	154
4. Müşteri	478
5. Müşteri	357
6. Müşteri	133
7. Müşteri	217
8. Müşteri	325
9. Müşteri	490
10. Müşteri	499
11. Müşteri	161
12. Müşteri	495
13. Müşteri	496
14. Müşteri	294
15. Müşteri	424
16. Müşteri	152
17. Müşteri	277
18. Müşteri	477
19. Müşteri	429
20. Müşteri	490

Çizelge 4.5'te, müşterilerin talep ettiği miktarlar belirtilmiştir. Dağıtım merkezleri bu talepleri karşılamak zorundadır. Talepleri karşılarken çizelgede belirtilen dağıtım merkezi kapasitesini aşması mümkün değildir. Üretim merkezleri için de kapasite kısıtı olduğu için, dağıtım merkezleri üretim merkezlerinin ürettiği ürün kadar taşıma gerçekleştirebilir. Genetik algoritma ile problem, üretim merkezi ve dağıtım merkezi kısıtları ve müşterinin tüm talepleri karşılanacak şekilde modellenmiştir.

Literatürde genetik algoritmanın parametre değerlerini belirlemek için kesin bir yöntem tespit edilememiştir. Çaprazlama oranı (Pc) genellikle %50 ile %95 arasında bir sayıdır. Küçük bir oran kullanıldığında çözüme ulaşma süresi gecikmektedir. Büyük oranlar kullanıldığında ise en iyi çözüme ulaşılmasının gözden kaçmasına neden olabilir (Biroğlu, 2005). Mutasyon oranı ise (Pm) mutasyonun ne sıklıkla yapılacağını gösteren bir parametredir. Mutasyon, çaprazlamaya göre daha az sıklıkla gerçekleşmektedir. Mutasyon oranı Pm genellikle 0,01 ile 0,1 arasında bir sayıdır. Küçük bir oran kullanıldığında yerel

eniye tuzayına dūſme durumu sōz konusu olabilir. Būyūk oranlar kullanıldığında ise genetik algoritma rasgele bir aramaya dōnūſebilir (Kalaycı, 2006).

Çaprazlama ve mutasyon oranı problemin özelliklerine göre deęiſkenlik göstereceğinden ve çōzūme ulaſmayı etkileyeceği için pek çok programda kullanıcılara bırakılmıſtır. Genellikle deneme-yanılma yöntemi ile elde edilen bir tecrūbe sonucu karar verilmektedir. Buradaki çalışmada da benzer bir yaklaşım uygulanmıſtır. En iyi çōzüm veren çaprazlama ve mutasyon oranlarını tespit etmek için değerler denenerek sonuçlar karſılaſtırılmıſtır.

Popūlasyon būyūklūęü 50 olarak belirlendiğinde endūſük maliyet, mutasyon oranı 0,09, çaprazlama oranı ise 0,4 olduęunda elde edildięi gör÷lmektedir. Bu deęerler kullanıldığında endūſük maliyet 542.435,8 olarak hesaplanmaktadır. Çizelge 4.6'de 50'lik popūlasyon boyutu sim÷le edilirken kullanılan veriler özetlenmiſtir.

Çizelge 4.6. 50'lik popūlasyon būyūklūęü için GA sim÷lasyon verileri

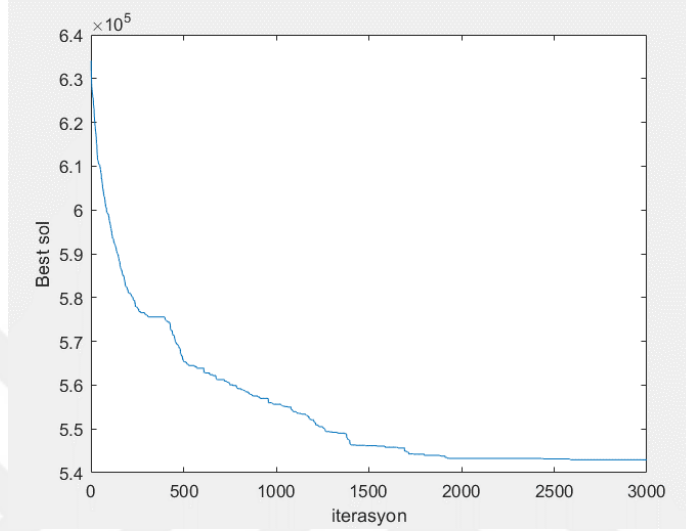
Sim÷lasyon Verileri	
Popūlasyon Būyūklūęü	50
Mutasyon Oranı	0,09
Çaprazlama Oranı	0,4
İterasyon Sayısı	3000

Çaprazlama oranı ve mutasyon oranının deęiſmesi sonucu hesaplanan maliyet verileri Çizelge 4.7'de yer almaktadır.

Çizelge 4.7. 50'lik popülasyonda Pm, Pc değişimi ile simülasyon verileri(x10⁴)

Pc=0,9	Pc=0,8	Pc=0,7	Pc=0,6	Pc=0,5	Pc=0,4	Pc=0,3	Pc=0,2	Pc=0,1	
582.750,8058	585.593,2150	592.490,8157	580.320,9214	575.591,8160	578.912,3614	580.326,2145	588.788,2644	586.235,3297	Pm=0,01
575.103,7579	576.821,3024	578.628,3579	579.293,1088	577.134,3271	576.364,3024	579.413,6088	580.934,3269	582.450,3524	Pm=0,02
558.893,9414	560.317,0254	565.321,3571	569.806,2281	567.632,2478	565.248,3514	562.831,7603	569.638,3512	571.753,0635	Pm=0,03
559.334,4075	560.621,3562	561.140,2646	560.742,3621	559.773,5789	560.878,2353	562.031,4615	560.425,2684	561.397,2569	Pm=0,04
550.972,1314	548.681,3652	547.691,7067	550.123,3547	552.327,1641	551.369,3256	550.213,5061	551.952,3564	551.723,6512	Pm=0,05
546.346,5819	548.712,3652	552.997,0148	549.632,5710	544.999,8198	545.369,6521	546.265,2665	547.697,3128	549.227,0517	Pm=0,06
553.219,9125	545.782,5138	544.908,9539	545.472,4947	543.034,9970	543.308,4911	547.389,5351	545.034,5489	548.657,3367	Pm=0,07
547.760,3052	545.097,7050	548.470,4272	554.565,1731	547.490,9927	543.200,5731	549.037,5724	543.737,0010	546.502,8999	Pm=0,08
544.122,7452	543.569,3143	543.771,3468	547.444,5600	546.871,2932	542.435,8941	544.794,8106	546.003,6022	550.061,4213	Pm=0,09
549.197,9027	548.180,3930	544.936,5779	544.680,2291	551.661,4475	548.497,0741	547.358,9293	546.849,9662	543.684,1958	Pm=0,1

2696. iterasyonda hesaplanan en iyi sonuç elde edilmiştir. Daha sonra genetik algoritma çalıştırılmaya devam edilip durdurma kriteri olan 3.000. Iterasyona gelindiğinde de en iyi sonuç değişmemiştir. Sonuç; 31 saniyede hesaplanmıştır. Şekil 4.2’de 50’lik popülasyon büyüklüğü için iterasyon sayısına karşılık hesaplanan maliyet yer almaktadır.



Şekil 4.2. 50’lik popülasyon büyüklüğü için iterasyon sayısı-maliyet grafiği

Popülasyon büyüklüğü 75 olarak belirlendiğinde endüşük, maliyet mutasyon oranı 0,09, çaprazlama oranı ise 0,5 olduğunda elde edildiği görülmektedir. Bu değerler kullanıldığında endüşük maliyet 541.046,67 olarak hesaplanmaktadır. Çizelge 4.8’de 75’lik popülasyon büyüklüğü simüle edilirken kullanılan veriler özetlenmiştir.

Çizelge 4.8. 75’lik popülasyon büyüklüğü için genetik GA simülasyon verileri

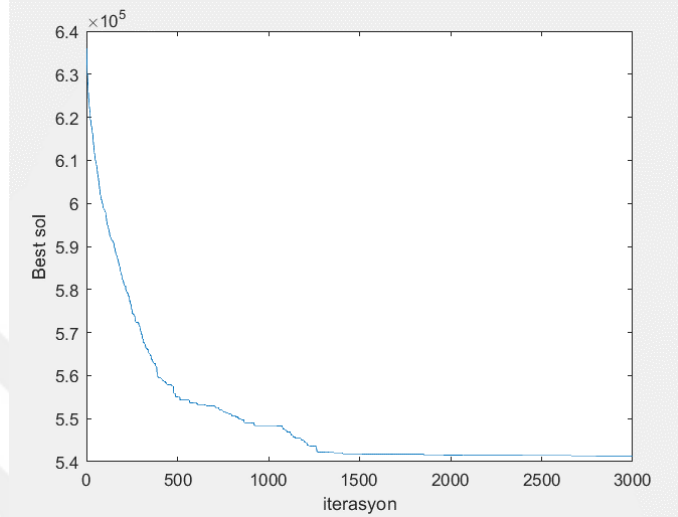
Simülasyon Verileri	
Popülasyon Büyüklüğü	75
Mutasyon Oranı	0,09
Çaprazlama Oranı	0,5
İterasyon Sayısı	3000

Çaprazlama oranı ve mutasyon oranının değişmesi sonucu hesaplanan maliyet verileri Çizelge 4.9’da yer almaktadır.

Çizelge 4.9. 75'lik popülasyonda Pm, Pc değişimi ile simülasyon verileri (x10⁴)

Pc=0,9	Pc=0,8	Pc=0,7	Pc=0,6	Pc=0,5	Pc=0,4	Pc=0,3	Pc=0,2	Pc=0,1	
584.345,9521	584.102,3620	583.969,2103	583.005,6689	586.357,2594	585.652,3214	586.012,3204	586.963,0214	587.658,0236	Pm=0,01
575.369,0245	574.021,3651	573.250,2587	572.360,2314	576.203,6951	577.601,2773	575.230,3652	577.426,4812	576.230,3217	Pm=0,02
560.125,3257	558.930,7107	557.852,0325	553.996,2905	555.236,2057	557.724,9849	556.587,2789	559.987,2470	558.358,2647	Pm=0,03
560.932,5201	566.820,3010	556.928,0325	555.513,2808	554.015,3684	566.206,8943	557.171,3628	556.356,9471	556.475,3269	Pm=0,04
549.678,3528	549.397,0575	550.142,3605	551.124,7196	549.578,2038	548.354,4875	547.362,0268	546.021,7620	547.098,3204	Pm=0,05
548.952,3698	548.504,7654	547.935,2156	545.500,9282	546.915,2304	548.632,0318	548.828,5362	544.741,5587	545.982,0369	Pm=0,06
542.389,3504	546.203,5333	550.114,9363	542.348,4244	545.755,8111	549.198,0720	543.364,5846	543.204,1709	552.230,6900	Pm=0,07
547.022,7692	542.118,7030	549.865,1059	542.532,2902	545.769,7305	541.941,1195	548.876,6034	548.297,9883	545.189,4429	Pm=0,08
545.812,0440	545.457,8431	541.910,9207	543.940,1282	541.045,6690	545.059,3775	551.847,3557	541.478,2201	550.410,9642	Pm=0,09
548.174,2388	542.586,7616	543.395,6851	544.577,8497	541.548,0933	545.907,3404	544.845,9824	548.297,4161	543.651,7424	Pm=0,1

2817. iterasyonda hesaplanan en iyi sonuç elde edilmiştir. Daha sonra genetik algoritma çalıştırılmaya devam edilip durdurma kriteri olan 3.000. iterasyona gelindiğinde de sonuç değişmemiştir. Sonuç 49 saniyede hesaplanmıştır. Şekil 4.3'te 75'lik popülasyon büyüklüğü için iterasyon sayısına karşılık hesaplanan maliyet yer almaktadır.



Şekil 4.3. 75'lik popülasyon büyüklüğü için iterasyon sayısı-maliyet grafiği

Popülasyon büyüklüğü 100 olarak alındığında endüyük maliyet, çaprazlama oranı 0,5, mutasyon oranı ise 0,09 olduğunda elde edildiği görülmektedir. Bu değerler kullanıldığında endüyük maliyet, 540.319,04 olarak hesaplanmaktadır. Çizelge 4.10'de 100'lük popülasyon büyüklüğü simüle edilirken kullanılan veriler özetlenmiştir.

Çizelge 4.10. 100'lük popülasyon büyüklüğü için GA simülasyon verileri

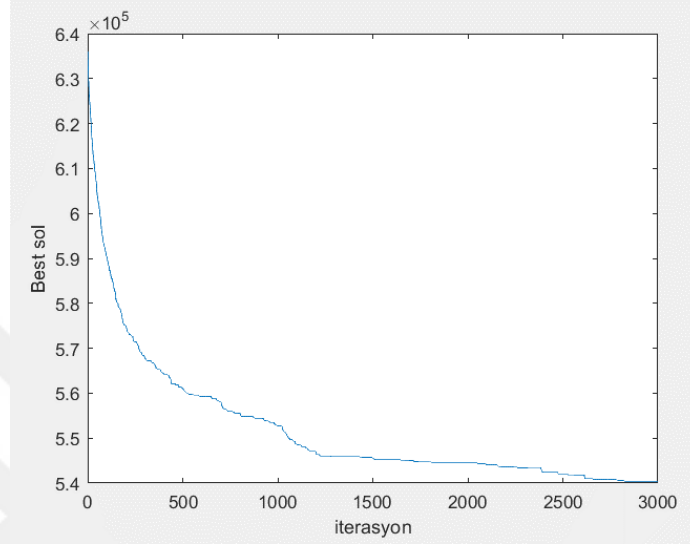
Simülasyon Verileri	
Popülasyon Büyüklüğü	100
Mutasyon Oranı	0,09
Çaprazlama Oranı	0,5
İterasyon Sayısı	3.000

Çaprazlama oranı ve mutasyon oranınının değişmesi sonucu hesaplanan maliyet verileri Çizelge 4.11'da yer almaktadır.

Çizelge 4.11. 100'lük popülasyonda Pm, Pc değişimi ile simülasyon verileri (x104)

Pc=0,9	Pc=0,8	Pc=0,7	Pc=0,6	Pc=0,5	Pc=0,4	Pc=0,3	Pc=0,2	Pc=0,1	
580.183,0511	586.337,5105	585.261,0256	584.970,2166	582.362,2012	581.231,0245	576.536,1634	578.284,0367	579.652,3205	Pm=0,01
567.848,7817	579.497,5189	574.261,3028	572.115,3949	574.241,3208	575.369,4521	578.435,7626	578.961,0250	579.120,3621	Pm=0,02
553.709,6745	564.922,0194	563.578,2684	564.141,7542	562.365,2569	560.297,3650	558.325,8608	558.967,5691	559.325,4715	Pm=0,03
551.916,0989	564.416,8296	562.239,2579	560.107,5465	558.269,2569	556.236,2578	554.445,1975	554.625,0369	553.832,8061	Pm=0,04
555.117,2519	561.279,8358	548.639,0236	546.544,4181	546.379,3605	547.239,6048	548.564,3658	549.973,6336	550.236,1597	Pm=0,05
545.731,2773	547.893,4740	546.839,0256	546.613,1085	546.985,2684	547.312,0043	550.125,3650	552.715,5270	552.124,6581	Pm=0,06
546.658,3030	545.432,9170	543.000,7107	545.514,1395	545.216,2681	545.642,9079	545.354,2649	545.275,5915	546.124,6584	Pm=0,07
546.060,6381	544.537,5711	545.984,9657	545.359,3542	542.416,7034	541.932,9393	543.122,7505	548.358,0569	550.451,6249	Pm=0,08
543.820,7545	543.617,5628	545.228,3494	544.581,3483	543.737,2847	541.858,6146	540.319,0369	542.252,0035	544.063,0563	Pm=0,09
545.232,0336	542.018,4683	543.734,9757	541.273,8450	547.770,3209	549.368,3127	546.538,8646	547.927,4501	545.057,6531	Pm=0,1

2923. iterasyonda hesaplanan en iyi sonuç elde edilmiştir. Daha sonra genetik algoritma çalıştırılmaya devam edilip durdurma kriteri olan 3.000. iterasyona gelindiğinde de optimum sonuç değişmemiştir. Sonuç 65 saniyede hesaplanmıştır. Şekil 4.4'te 100'lük popülasyon büyüklüğü için iterasyon sayısına karşılık hesaplanan maliyet yer almaktadır.



Şekil 4.4. 100'lük popülasyon büyüklüğü için iterasyon sayısı-maliyet grafiği

Popülasyon büyüklüğü 150 olarak alındığında endüşük maliyet, çaprazlama oranı 0,5, mutasyon oranı ise 0,09 olduğunda elde edildiği görülmektedir. Bu değerler kullanıldığında endüşük maliyet 538.123,91 olarak hesaplanmaktadır. Çizelge 4.12'da 150'lik popülasyon büyüklüğü simüle edilirken kullanılan veriler özetlenmiştir.

Çizelge 4.12. 150'lik popülasyon büyüklüğü için GA simülasyon verileri

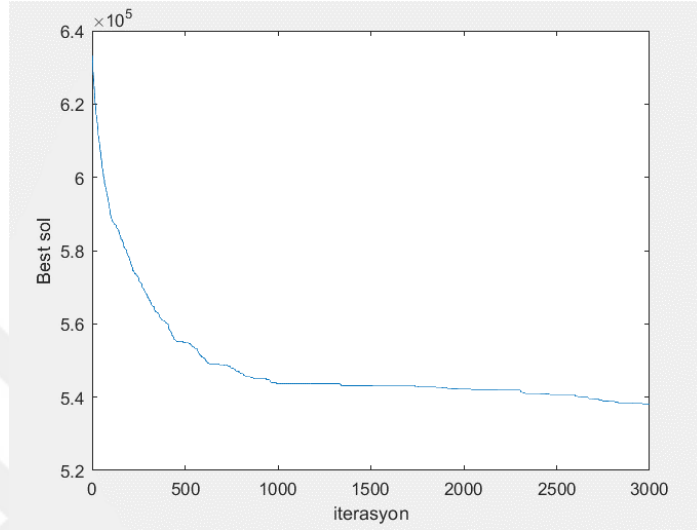
Simülasyon Verileri	
Popülasyon Büyüklüğü	150
Mutasyon Oranı	0,09
Çaprazlama Oranı	0,5
İterasyon Sayısı	3.000

Çaprazlama oranı ve mutasyon oranının değişmesi sonucu hesaplanan maliyet verileri Çizelge 4.13'da yer almaktadır.

Çizelge 4.13. 150'lik popülasyonda Pm, Pc değişimi ile simülasyon verileri (x104)

Pc=0,9	Pc=0,8	Pc=0,7	Pc=0,6	Pc=0,5	Pc=0,4	Pc=0,3	Pc=0,2	Pc=0,1	
581.236,0325	580.320,3620	579.672,0899	579.369,0360	580.396,3620	581.523,3692	580.013,9768	581.363,3201	581.784,9458	Pm=0,01
557.369,0260	557.159,3210	556.330,5790	555.369,0260	556.210,3200	554.814,2978	555.023,6270	556.253,3102	557.249,6206	Pm=0,02
556.667,8242	560.125,3690	563.116,1783	560.321,5620	555.632,3214	551.871,4096	554.632,3219	555.259,3024	557.247,7959	Pm=0,03
563.372,2258	550.963,3201	548.220,1236	548.631,0320	547.236,0232	549.190,1193	548.362,2369	549.102,3652	549.798,7412	Pm=0,04
543.379,7568	544.320,3652	545.362,0352	546.291,2615	545.920,3690	545.203,6930	546.557,8955	545.236,0325	542.697,7880	Pm=0,05
541.212,2274	543.038,9567	542.653,2690	541.256,3358	540.174,2786	542.562,3025	545.362,3259	548.302,5310	546.215,3205	Pm=0,06
542.198,9111	541.986,2350	541.866,9425	542.631,3025	543.669,2819	541.576,7194	541.549,5667	545.243,2824	543.089,3256	Pm=0,07
547.222,0913	541.916,7757	541.449,3699	542.357,4360	544.100,7965	542.770,3976	544.250,8123	543.308,5523	543.131,4667	Pm=0,08
543.954,1217	544.908,8251	539.337,2973	544.386,2807	542.388,8047	538.123,9129	543.684,2507	542.067,2707	539.640,9576	Pm=0,09
543.976,5410	542.815,5642	541.826,7268	540.725,8582	544.545,9730	540.034,0669	539.806,8561	541.636,2577	539.859,6510	Pm=0,1

2971. iterasyonda hesaplanan en iyi sonuç elde edilmiştir. Daha sonra genetik algoritma çalıştırılmaya devam edilip durdurma kriteri olan 3.000. iterasyona gelindiğinde de eniyi sonuç değişmemiştir. Sonuç 93 saniyede hesaplanmıştır. Şekil 4.5'te 150'lik popülasyon büyüklüğü için iterasyon sayısına karşılık hesaplanan maliyet yer almaktadır.



Şekil 4.5. 150'lik popülasyon büyüklüğü için iterasyon sayısı-maliyet grafiği

Elde edilen sonuçlara değerlendirildiğinde minimum maliyetin elde edilmesi için kullanılması gereken parametreler belirlenmiştir.

Kullanılan parametreler: Problemin çözümünde kullanılan parameterler Çizelge 4.14'te yer almaktadır.

Çizelge 4.14. Çözümde kullanılan parametreler

Popülasyon büyüklüğü	150
Mutasyon oranı	0,09
Çaprazlama oranı	0,5
İterasyon sayısı	3000
Başlangıç popülasyonu	Rassal belirlenmiştir
Seçim yöntemi	Turnuva seçim
Mutasyon yöntemi	Birden çok noktadan mutasyon
Çaprazlama yöntemi	Üniform çaprazalma

Yeni bir popülasyon oluşturabilmek için eski popülasyondaki bazı kromozomların yeni popülasyona aktarılması gerekmektedir. Burada önemli

olan nokta hangi kromozomun aktarılacağına nasıl belirleneceğidir. En iyi kromozomun yeni popülasyona aktarılması ile ilgili birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada genetik algoritmanın arama performansının en iyi olması için seçim baskısı ve popülasyonun çeşitliliğinin ayarlanabileceği ideal bir yöntem olan turnuva seçim yöntemi kullanılmıştır. Çeşitliliğin artırılması için seçilen bu kromozomlar üzerinde çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygulanmalıdır. Çaprazlamada mevcut gen potansiyelini araştırmak için kullanılmaktadır. Mutasyonda ise mevcut genlerden yeni genetik materyal ortaya çıkararak popülasyona çeşitlilik katılması sağlanmaktadır. Çalışmada en yüksek oranda çeşitliliği sağlayabilmek için birden çok noktadan mutasyon işlemi uygulanmıştır. Çaprazlama işleminde yine çeşitliliği arttırabilmek, n noktada çaprazlanmayı sağlayabilmek için üniform çaprazlama işlemi uygulanmıştır.

Problemin, genetik algoritma ile çözümünde Matlab paket programlamayı kullanılmıştır. 12Gb Ram ve 1,60 Ghz işlemci hızına sahip bir bilgisayarda test edilmiştir.

Basit bir genetik algoritma yapısının bilgisayar programında kullanılan yapay kodu Şekil 4.6'de örnek olarak verilmiştir (Dasgupta ve Michalewicz,1997).

```
Başla
t=0
İlk çözüm uzayı P(t)'yi oluştur
İlk çözüm uzayı P(t)'nin uygunluk değerini hesapla
Sonlandırma kriteri sağlanana kadar
Başla
t=t+1
P(t-1)'den P(t)'yi seç
P(t)'yi operatör ile değişime uğrat
P(t)'nin uyum değerini hesapla
Dur
```

Şekil 4.6. Genetik algoritmanın yapay kodu

Bu problemi çözmek için kullanılan genetik algoritmanın akış şeması şöyledir:

1. Problemin çözümünde kullanılacak üretici, dağıtıcı ve müşteri hakkında gerekli veriler girilir.
2. En iyi çözüm elde edebilmek için popülasyon büyüklüğü, (P_m) ve (P_c) değerleri denenerek en uygun değerler tespit edilmiştir. Popülasyon büyüklüğü 150, $P_m=0,09$ ve $P_c=0,5$ olarak alınmıştır.
3. Belirlenen değerler girilir ve başlangıç pozisyonu oluşturulur.
4. Her 150 birey için uygunluk değeri hesaplanır.
5. Mevcut popülasyondan çaprazlama ve mutasyon yapılacak kromozomun seçilmesi için turnuva seçim yöntemi kullanılır.
6. Seçilen kromozomlar arasında 0,5 çaprazlama oranıyla çaprazlama işlemi gerçekleştirilip yeni kromozomlar oluşturulur.
7. 0,09 mutasyon oranıyla seçilen kromozomlar arasında mutasyon işlemi gerçekleştirilip yeni kromozomlar yeni popülasyonda yerini alır.
8. Yeni bireylerin uygunluk değeri hesaplanır.
9. Döngü durdurma kriterini sağlayana kadar devam eder.
10. Durdurma kriterini sağladığında en iyi bireyler ekrana yazdırılır. Böylece genetik algoritma için eniyi sonuca ulaşılır.

Bu araştırmada modelin doğrusal olması ve veri sayısının uygun olması sebebiyle problem sezgisel algoritmalar dışında doğrusal programlama ile de çözülebilir. Fakat veri sayısı artınca problem karmaşıklaşacağı için bu durum mümkün olmayacaktır. Bu sebeple sezgisel algoritmayı test etmek ve sezgisel algoritmanın ürettiği çözümün eniyi çözüme olan uzaklığını incelemek için problemin Lindo Paket Programı ile çözümü de elde edilmiştir. Lindo Paket Programı ile elde edilen eniyi çözüm değeri Şekil 4.7'de yer almaktadır.

```
LP OPTIMUM FOUND AT STEP      41  
  
OBJECTIVE FUNCTION VALUE  
  
1)      525649.0
```

Şekil 4.7. Lingo paket programı sonucu

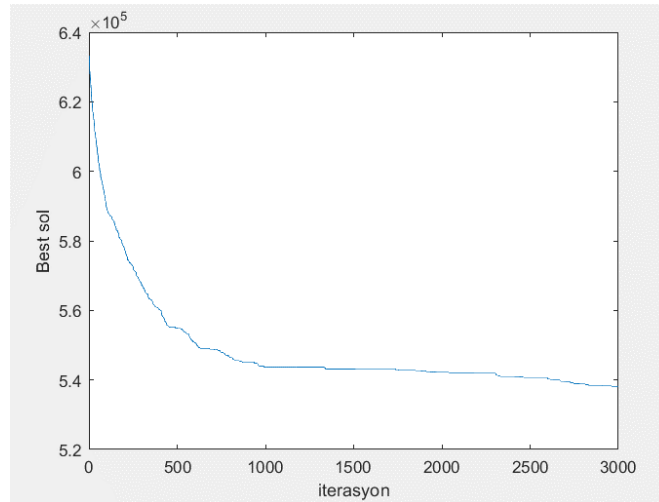
Sezgisel algoritma ile elde edilen çözümlerin Lindo paket programı çözümünü ile karşılaştırması Çizelge 4.15’de verilmektedir.

Çizelge 4.15. Sonuçların karşılaştırılması

Pop. Büyük lüğü	GA Min. Sonucu	GA Max Sonucu	GA Ort Sonucu	Lingo Sonucu	Sonuç Farkı	İterasyon Sayısı	Süre (sn)
50	542.435,89	547.301,45	545.051,37	525.649,00	3,09%	2696	31
75	541.046,67	546.823,19	543.734,99	525.649,00	2,85%	2817	48
100	540.319,04	543.497,93	541.909,97	525.649,00	2,72%	2923	64
150	538.123,91	542.684,25	540.948,07	525.649,00	2,32%	2971	93

Lindo paket programı ile hesaplanan çözümde popülasyon büyüklüğü 150 olduğunda genetik algortmada hesaplanan çözüm arasından %2 oranında fark hesaplanmıştır. Bu durumda sezgisel algoritmanın başarı ile çalıştığını görülmektedir. Veri sayısı artırıldığında, kesin çözümü hesaplanamayan problemlerde de bu algoritma kullanılarak en iyi çözüme bir hata ile yaklaşılabilmektedir.

Şekil 4.8’deki grafikte 150 popülasyon boyutu ile 0,5 çaprazlama oranı ve 0,09 mutasyon oranı ile hesaplanan en iyi sonuç bulunmuştur. Eniyi maliyet 3000’inci iterasyonda hesaplanmıştır. Eniyi çözüm, 538.123,91 birim olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. Optimum maliyet

Bu modelde üretici, dağıtıcı ve müşteri arasındaki tedarik ağında kapasite kısıtları dikkate alınarak en uygun dağıtım planı sunulmaktadır. Böylece üreticiden müşteriye dağıtım maliyetleri düşürülmesi sağlanmıştır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllardaki küreselleşen dünya ile lojistik yönetimi, firmalar arası rekabet için önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Depolama, nakliye, sigortalama, gümrükleme gibi müşteri için ürüne değer katmayan fakat ürün satış fiyatının artışına sebep olan birçok maliyet bulunmaktadır. Firmalar maliyetleri azaltarak piyasada rekabet edebilirliğini arttırmak için etkin bir lojistik yönetimine ihtiyaç duymaktadır. Bu yönetim sistemi ile üretim/hizmet maliyetlerinin düşürülmesi dışında, müşteri memnuniyetinin artması gibi önemli etkileri de vardır. Bu sebeple günümüzde lojistik yönetimi ile ilgili yapılan çalışmaların sayısı giderek artmaktadır.

Lojistik faaliyetlerini temel alan tedarik zinciri ağı problemleri için günümüzde birçok metot ve yazılım geliştirilmiştir. Bu metotlar, problemin amaç ve kısıtlarına bağlı olarak zorluk derecesinde çeşitlilik gösterebilir. Literatürde çok sayıda tedarik zinciri problemi ve bu problemlerin çözümü için geliştirilen çok sayıda algoritmalar mevcuttur. Ancak bu algoritmalar pratikte uygulandığında eniyi çözümü verip vermediğinden emin olunamamaktadır. Bu sebeple araştırmacılar, hala tedarik zinciri problemlerinden en doğru sonuçları yansıtan algoritmaları üretmek için çalışmaktadır.

Genetik algoritma, bu uygulamada Tedarik Zinciri Problemine eniyi çözüm bulabilmek için kullanılmıştır. Genetik algoritmalar, karışık optimizasyon problemlerine çözüm bulabilmek için geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise performans kriterlerinin genetik algoritmanın çalışma prensibine etkisini görebilmek için genetik algoritmada küçük sayılabilecek bir örnek üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmada ileride bu konuda yapılacak çalışmalara bir başlangıç teşkil etmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Genetik algoritmanın en doğru şekilde çalışması için problemin karar değişkeninin ve amaç fonksiyonunun uygun bir yöntemle kodlanması gereklidir.

Amaç fonksiyonu her problemde farklılık gösterir. Burada ele alınan problemde ise amaç fonksiyonu endüşük maliyetin hesaplanmasıdır.

Genetik algoritmalar rasgele bir başlangıç popülasyonu belirlenmesi ile başlar. Bu popülasyona çaprazlama, seçme ve mutasyon gibi yöntemler uygulanarak problemin her aşamasında en iyi çözüme doğru gidiş sağlanır. Bu çalışmada da rasgele bir başlangıç popülasyonu oluşturulmuştur ve eniyi sonuca ulaşmak amacıyla en uygun çaprazlama ve mutasyon oranı birçok denemeden sonra elde edilmiştir.

Eniyi sonucu bulabilmek amacıyla çalışmada popülasyon büyüklüğü değiştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Popülasyonda kromozom sayısı az olduğunda genetik algortmada çözüm aranan uzayın sadece bir kısmını gezebilir ve çaprazlama uygulamak için seçenek azdır. Kromozom sayısı arttırıldığında ise genetik algoritmanın yavaş çalıştığı görülmüştür. Buradan yola çıkıldığında çaprazlama ve mutasyon oranında olduğu gibi popülasyon büyüklüğünün değiştirilmesinin de genetik algoritmanın performansını etkilediği sonucuna varılmıştır.

Genetik algortmada, problemin çözümünde algoritmanın ne zaman sonlanacağına karar vermek için kesin bir sonlandırma kriteri yoktur. Sonucun yeterince iyi olması durumunda algoritmanın durması için kriter olarak görülebilir. Bu çalışmada 3000. iterasyon durdurma kriteri olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi belirli bir iterasyondan sonra algoritmanın sonucunun değişmemesidir.

Genetik algoritmalar, eniyi çözümü bulmayı garanti etmese de yakın bir sonuç bulduğu bir çok araştırmada ispatlanmıştır. Çalışmada problemin ilk olarak kesin çözümü hesaplanmıştır. Ardından problem genetik algoritma ile çözülüp sonuçlar karşılaştırıldığında, algoritmanın çözüme %2 oranında yaklaştığını görülmektedir. Buradan yola çıkıldığında bu problemin çözümünde kullanılan genetik algoritma veri sayısı arttırılarak problemin karmaşıklaştığı durumlarda da eniyi sonuç verilebileceği görüşmüştür.

Bu çalışmada varsayımlar ve kısıtlar ile sonuca ulaşılmış olup genetik algoritma ile problemin amaç fonksiyonu enazlanmıştır. Kısıtların geliştirilmesiyle problemin sonucu kusursuza yakın hale getirilebilir. Problemden bir ürün için tek sezonluk veriler ele alınarak tasarlanmıştır. Bu sebeple sezonlar arası ürün talebinde oluşabilecek değişiklikler göz önüne alınmamıştır. Gelecek çalışmalarda birden fazla sezon ele alınarak üretici kapasitesi ve dağıtıcı kapasitesi sabit tutulup müşteri talebini “Bulanık Mantık” ve “Olasılık Teorisi” gibi farklı yaklaşımların da probleme dahil edilerek problemin geliştirilmesi sağlanabilir.



KAYNAKLAR

- Akoğlu K., 2006. Konteyner Limanının Depolama Sahasının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Manisa.
- Aksakal, B., 2014. Bir Firmanın Zaman Pencereleli Belirli Talepli Araç Rotalama Probleminin Genetik Algoritma Kullanılarak Çözülmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, İstanbul.
- Alp, T., 2019. Geleneksel Tedarik Zincirinden Yeşil Tedarik Zincirine Dönüşüm ve Entegre Et Tesisinde Pilot Bir Uygulama. Yaşar Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106s, İzmir.
- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Paksoy, T., 2006. A Genetic Algorithm Approach for Multi Objective Optimization of Supply Chain Networks. Computers and Industrial Engineering, 51(1), 197-216.
- Amini, H., Kianfar, K., 2022. A Variable Neighborhood Aearch Based Algorithm and Game Theory Models for Green Supply Chain Design. Applied Soft Computing, 277(1), 119-127.
- Aydemir, E., 2009. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Isparta.
- Bäck, T., 1996. Evolutionary Algorithms in Theory and Practice, Oxford University Press, 134p, New York.
- Bahrampour, P., Safari, M., Taraghdari, M.B., 2006. Modeling Muti-Product Multi Stage Supply Chain Network Design. Procedia Economics and Finance, 36, 70-80.
- Ballou, R.H., 2007. The Evolution and Future of Logistics and Supply Chain Management. European Business Review, 19(4), 332-348.
- Başkol, M., 2011. Bir Rekabet Aracı Olarak Tedarik Zinciri Yönetimi: Strateji ve Yaklaşımlar. Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 3(5), 13-27.
- Benjamin, J., 1989. An Analysis of Inventory and Transportation Costs in a Constrained Network. Transportation Science, 23(3), 177-183.
- Biroğlu, S., 2005. Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s, Ankara.

- Biuki, M., Kazemi, A., Alinezhad, A., 2020. An Integrated Location-Routing-Inventory Model for Sustainable Design of a Perishable Products Supply Chain Network. *Journal of Cleaner Production*, 260, 305-3016.
- Bowersox, D.J., 1969. Reading in Physical Distribution Management: The Logistic of Marketing. *Journal of Marketing*, 33(1), 63-70.
- Castillo, V.K., Acero, H.J., 2014. A Metaheuristic Based Approach for the Capacitated Supply Chain Network Design Problem Including Imperfect Quality and Rework. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 9(4), 31-45.
- Chan, F.T.S., Kumar, N., Tiwari, M.K., Lau, H.C.W., Choy, K.L., 2008. Global Supplier Selection: A Fuzzy-AHP Approach. *International Journal of Production Research*, 46(14), 3845-3855.
- Chan, F.T.S., Chung, S.H., Wadhwa, S., 2004. A Hybrid Genetic Algorithm for Production and Distribution. *Omega*, 33(4), 345-355.
- Chandra, C., Kumar, S.M., 2000. Supply Chain Management in Theory and Practice: a Passing Fad or a Fundamental Change, *Industrial Management Data Systems*, 100(3), 100-114.
- Chen, C.L., Lee, W.C., 2004. Multi Objective Optimization of Multi-Echelon Supply Chain Networks, with Uncertain Product Demands and Prices. *Computers and Chemical Engineering*, 28(6), 1131-1144.
- Chen, M., Wang, W., 1997. A Linear Programming Model for Integrated Steel Production and Distribution Planning. *International Journal of Operations Production Management*, 17(6), 592-610.
- Ciravoğlu, G., 2006. Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamaları ve Performans Üzerine Etkilerinin Analizi. *Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 174s, Edirne.
- Döngül, S.E., Artanbaş, E., Öztürk, B.M., 2022. Multi-Echelon and Multi-Period Supply Chain Management Network Design Considering Different Importance for Customers Management Using a Novel Meta-Heuristic Algorithm. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(2), 870-874.
- Dasgupta, D., Michalewicz, Z., 1997. *Evolutionary Algorithms in Engineering Applications*. Springer, 576p, Heidelberg.
- Duman, C., 2007. Genetik Algoritma İle Tesis Yerleşimi Tasarımı ve Bir Uygulama. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 119s, İstanbul.

- Dursun, P., 2009. Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminin Genetik Algoritma İle Modellenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, İstanbul.
- Engin, O., 2001. Akış Tipi Çizelgeleme Poblemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Arttırılmasında Parametre Optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 233s, İstanbul.
- Emel, G.G., Taşkın, Ç., 2002. Genetik Algoritma ve Uygulamala Alanı. Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21(1), 129-152.
- Ervural, B., 2012. Tedarik Zinciri Tasarımı ve Montaj Hattı Dengeleme Entegrasyonuna Sezgisel Bir Yaklaşım. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 110s, Ankara.
- Evcioğlu, H.E., 2020. Tedarik Zinciri Ağlarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Tedarikçi Seçimi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 143s, Ankara.
- Gao, Q., Xu, H., Li, A.,2022. The Analysis of Commodity Demand Predication in Supply Chain Network Based on Particle Swarm Optimization Algorithm. Journal of Computational and Applied Mathematics, 400.
- Gen, M., Cheng, R., 1996. Genetic Algorithms and Engineering Design. John Wiley-Sons, 442p, Newyork.
- Gen, M., Altiparmak, F., Lin, L., 2006. A Genetic Algorithm for Two-Stage Transportation Problem Using Priority-Based Encoding. OR Spectrum, 28(3), 337-354.
- Gen, M., Syarif, A., 2005. Hybrid Genetic Algorithm for Multi-Time Period Production Distribution Planning. Computers Industrial Engineering, 48(4), 799-809.
- Ghasemi, P., Goodarzian, F., Abraham, A., Khanchehzarrin, S.,2022. A Possibilistic Robust Fuzzy Programming Model for Designing a Game Theory Based Blood Supply Chain Network. Applied Mathematical Modelling, 112, 282-303.
- Goldberg, D., Holland J., 1988. Genetic Algorithms and Machine Learning. Kluwer Academic Press. 99p, Netherlands.
- Günay, N.S., 2013. Genetik Algoritma ile Araç Rotalama Problemlerinin Çözümü İçin Görsel Rotalama Yazılımı Geliştirme. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 134s, İstanbul
- Govil, M., Proth,J.M., 2002. Supply Chain Design and Management:Strategic and Tactical Perspectives. Academic Press. 246p, California.

- Houlihan J.B., 1985. International Supply Chain Management. International Journal of Physical Distribution Materials Management, 15(1), 22-38.
- Hugos, M.H., 2006. Essential of Supply Chain Management. John Wiley-Sons, 356p, New Jersey.
- Kadadevaramath, R.S., Chen, J.C.H., Shankar, B.L., Rameshkumar, K., 2012. Application of Particle Swarm Intelligence Algorithms in Supply Chain Network Architecture Optimization. Expert Systems with Applications, 39 (11), 10160-10176.
- Kahraman, A.M., Özdağlar, D., 2004. Su Dağıtım Sistemlerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(3), 1-18.
- Kalaycı, T.E., 2006. Yapay Zeka Teknikleri Kullanan Üç Boyutlu Grafik Yazılımları İçin Extensible 3D (X3D) Altyapı Oluşturması ve Gerçekleştirilmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 138s, İzmir.
- Kannan, G., Sasikumar, P., Devika, K., 2010. A Genetic Algorithm Approach for Solving a Closed Loop Supply Chain Model: A Case of Battery Recycling. Applied Mathematical Modelling, 34(3), 655-670.
- Kanyalkar, A.P., Adil, G.K., 2005. Tedarik Zincirinde Dağıtım Ağları Tasarımı Üzerine Bir Uygulama. Beykoz Akademi Dergisi, 3 (1), 67-84.
- Karadelioğlu, H., 2006. Tedarikçi Değerlendirmede Temel Ölçütlerin Araştırılması ve Analizi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 125s, Sakarya.
- Kaya, İ., 2006. Çok Aşamalı Proseslerde Örnek Hacmin Belirlenmesi Üzerine Bir Model ve Genetik Algoritma Yardımıyla Çözüm Önerisi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2(15), 435-456.
- Kulluk, S., 2003. Tesis Yerleşimi Problemlerinde Genetik Algoritmalar ve Bir Genetik Algoritma Uygulaması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 160s, Ankara.
- Kurt, M., Semetay, C., 2001. Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları. Mühendislik ve Makina, 42(502), 19-24.
- Mahmud, S., Chakraborty, R.K., Abbasi, A., Ryan, M.J., 2022. Swarm Intelligent Based Metaheuristics for a Bi-Objective Flexible Job Shop Integrated Supply Chain Scheduling Problems. Applied Soft Computing, 121.
- Malik S., Kanhere S.S., Jurdak R., 2018. ProductChain: Scalable Blockchain Framework to Support Provenance in Supply Chains, 2018 IEEE 17th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA), 1-3 November, Cambridge, 1-10.

- Martin, C.H., Dent, D.C., Eckhart, J.C., 1993. Integrated Production, Distribution, and Inventory Planning at Libbey-Owens-Ford. Institute for Operations Research and the Management Science Interface, 23(3), 68-78.
- Migalska, A., Pawlus, W., 2020. Supply Chain Optimization to Mitigate Electronic Components Shortage in Manufacturing of Telecommunications Network Equipment. International Symposium on Industrial Electronics, 08 August, Wroclaw, 54-130.
- Min, S., Mentzer, T.J., Ladd, T.R., 2007. A Market Orientation in Supply Chain Management. Journal of The Academy of Marketing Science, 35(1), 507-522.
- Olhager, H., 2013. Evolution of Operations Planning and Control: From Production to Supply Chains. Journal of Production Research, 51(23), 6836-6843.
- Özesen, E., 2009. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi ve Ambalaj Sanayinde Bir Uygulama. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 114s, İstanbul.
- Paksoy, T., Özceylan, E., Gökçen, H., 2012. Supply Chain Optimisation with Assembly Line Balancing. International Journal of Production Research, 50 (11), 3115-3136.
- Paksoy, T., 2005. Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıdı Altında Stratejik Bir Üretim Dağıtım Modeli. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 14, 435-454.
- Ross, D.F., 1998. Competing Through Supply Chain Management: Creating Marketwinning Strategies Through Supply Chain Partnership. Kluwer Academic Publishers, 287p, USA.
- Rostami, A., Paydar M.M., Gangraj, E., 2020. A Hybrid Genetic Algorithm for Integrating Virtual Cellular Manufacturing with Supply Chain Management Considering New Product Development. Computers Industrial Engineering, 145, 106565.
- Uyumaz, D., 2017. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Paralel Genetik Algoritma ile Çözümü. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Karabük.
- Vural, M., 2005. Genetik Algoritma Yönetimi ile Toplu Üretim Planlama. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 103s, İstanbul.

- Shankar, L.B., Basavarajappa, S., Chen, C.H., Kadavevaramath R.S., 2013. Location and Allocation Decisions for Multi-Echelon Supply Chain Network – A Multi-Objective Evolutionary Approach. *Expert Systems with Applications*, 2(40), 551-562.
- Simchi, L.E., Kaminsky, P., Simchi, L.D., 2000. Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies. *Journal Of Business Logistics*, 22(1), 97-99.
- Sivanandam, S., Deepa, S., 2008. *Applications of Genetic Algorithms*. Springer, 402p, Heidelberg.
- Tirkolaee, E.B., Golpira, H., Javanmardan A., Maihami, R., 2022. A Socio-Economic Optimization Model for Blood Supply Chain Network Design During the COVID-19 Pandemic: An Interactive Possibilistic Programming Approach for a Real Case Study. *Socio-Economic Planning Sciences*. Corrected Proof, In Press.
- Yeniay, Ö., 2001. A Comparison of the Performances Between a Genetic Algorithm and the Taguchi Method Over Artificial Problems. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 25(6), 561-568.
- Zhou, G., Cao Z., Qi, F., Cao, J., 2005. A Genetic Algorithm Approach on a Logistics Distribution System with Uncertain Demand and Product Eeturn. *World Academic Union*, 2(2), 99-108.