

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUK HAVA DEPOSUNDA YEŞİL SİPARİŞ SIRALAMA
PROBLEMİNİN YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI VE
GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serra KÖKSAL

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUK HAVA DEPOSUNDA YEŞİL SİPARİŞ SIRALAMA
PROBLEMİNİN YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI VE
GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serra KÖKSAL

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN

ŞUBAT 2023

Serra KÖKSAL tarafından hazırlanan “SOĞUK HAVA DEPOSUNDA YEŞİL SİPARİŞ SIRALAMA PROBLEMİNİN YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI VE GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜLMESİ” adlı tez çalışması 04.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “SOĞUK HAVA DEPOSUNDA YEŞİL SİPARİŞ SIRALAMA PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜLMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(20/02/2023).

(imza)

Serra Köksal



TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yürütülmesi sırasında kendi yoğun programından bana vakit ayırıp bilgi ve birikimi ile yol gösteren hocam Sayın Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN'a, ilgisi ve önerileri ile destek olan, bana olan inancını yitirmeyip beni yönlendiren hocam Sayın Arş. Gör. Furkan YENER'e teşekkürlerimi sunarım. Son olarak ayakları yere sağlam basan bir insan olmamı sağlayan, bu yoğun dönemimde her düştüğümde yanımda olan ve elimden tutup bana destek veren annem Serpil KÖKSAL'a, babam Osman KÖKSAL'a ve abim Altuğ KÖKSAL'a sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Serra Köksal



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Genetik Algoritma ile İlgili Araştırmalar	5
2.2. Yapay Arı Kolonisi ile İlgili Araştırmalar	14
3. SİPARİŞ SIRALAMA PROBLEMİ	21
3.1. Problemin Tanımlanması	21
3.2. Matematiksel Model	21
4. METASEZGİSEL ALGORİTMALAR	25
4.1. Genetik Algoritma	25
4.1.1. Tanım ve özellikleri	25
4.1.2. Genetik algoritma adımları	26
4.2. Yapay Arı Kolonisi Algoritması	27
4.2.1. Arıların doğadaki davranışı	28
4.2.2. Yapay arı kolonisi adımları	29
4.2.3. Yapay arı kolonisi algoritmasının evreleri	32
5. UYGULAMA	35
5.1. Genetik Algoritma	35
5.2. Yapay Arı Kolonisi Algoritması	41
5.3. Araştırma Bulguları	46
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	63



KISALTMALAR

ABC	: Artificial bee colony
ACO	: Ant colony optimization
AS-RS	: Automated storage retrieval systems
BBA	: Branch and bound algorithm
EVRP	: Environmental vehicle routing problem
GA	: Genetik algoritma
GA-TSP	: Genetic algorithm travelling salesman problem
GABC	: Global best guided artificial bee colony algorithm
IA	: Iterative algorithm
IABC	: Improved artificial bee colony algorithm
KA	: Karbon ayaizi
MC-ABC	: Multiple colonies artificial bee colony
MLFJSP	: Multi objective low carbon job shop scheduling problem
MOPSO	: Multi objective particle swarm optimization
NSGA-II	: Non dominated sorting genetic algorithm
MGA	: Multiple genetic algorithm
MRS	: Multi robot system
PCA	: Polynomial complexity algorithm
PCM	: Phase change material
PSO	: Particle swarm optimization
SAA	: Simulated annealing algorithm
SVR-NB	: Support vector regression neuroblastoma
TSA	: Tabu search algorithm
ULBA	: Upper and lower bound algorithm
YAKA	: Yapay arı kolonisi algoritması



SİMGELER

CO_2 : Karbondioksit

p : Anlamlılık düzeyi





TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. GA ile yapılan çalışmaların konusu ve çözüm algoritması.....	11
Tablo 2.2. GA’da kullanılan operatörler.	13
Tablo 2.3. YAKA ile yapılan çalışmaların konusu ve çözüm algoritması.....	19
Tablo 4.1. Genetik algoritma sözde kodu.....	27
Tablo 4.2. Yapay arı kolonisi sözde kodu.	29
Tablo 5.1. Probleme uyarlanan genetik algoritma sözde kodu.	35
Tablo 5.2. Bireylerin rulet tekerleğinde olan ağırlıklarının bulunması.	38
Tablo 5.3. Probleme uyarlanan yapay arı kolonisi sözde kodu.	41
Tablo 5.4. Besin kaynaklarının rulet tekerleğinde olan ağırlıklarının bulunması.	45
Tablo 5.5. Parametrelerin alabileceği en büyük ve en küçük değerler.....	47
Tablo 5.6. Parametreler.	47
Tablo 5.7. Enerji tüketimi açısından sonuçlar.	49
Tablo 5.8. GA ile t-testinin sonuçları.	51
Tablo 5.9. YAKA ile t-testinin sonuçları.	52
Tablo 5.10. GA ve YAKA ile t-testinin sonuçları.....	52



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Soğuk hava deposunda yapılan çalışmanın akışı.....	4
Şekil 4.1. Besin kaynağı arayan bal arısının davranışı, Karaboga ve Akay (2009) tarafından uyarlanmıştır.	31
Şekil 5.1. Bir kromozom yapısı.	37
Şekil 5.2. Başlangıç popülasyon örneği.	37
Şekil 5.3. Bireylerin rulet tekerleğinde olan ağırlıkları.	39
Şekil 5.4. Çaprazlama öncesi ebeveynler.	39
Şekil 5.5. Çaprazlama sonrası oluşan yeni bireyler(çocuklar).....	40
Şekil 5.6. Mutasyon operatörünün probleme uygulanması.	41
Şekil 5.7. Besin parçacığı ve besin kaynağı örneği.	43
Şekil 5.8. Başlangıç popülasyonu örneği.	43
Şekil 5.9. Besin kaynaklarının rulet tekerleğinde olan ağırlıkları.	45



SOĞUK HAVA DEPOSUNDA YEŞİL SİPARİŞ SIRALAMA PROBLEMİNİN YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORTİMASI VE GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜLMESİ

ÖZET

Çağımızın en büyük problemlerinden biri, küresel ısınmanın artmasını tetikleyen ve atmosferdeki karbondioksit miktarında artışa sebep olan sera gazıdır. Nüfusun artmasına bağlı olarak fosil yakıt kullanımının artması, ormanların yok edilmesi, sentetik gübre kullanılması, hayvanların tüketebilecekleri yeşil alanların yok edilmesi, endüstriyel faaliyetlerin artması sera gazının artmasına, dolayısıyla küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Sera gazı salınımlarını azaltmak için uygulanabilecek en önemli çözüm yollarından biri karbon ayak izinin azaltılmasıdır.

Karbon ayak izi, üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin dolaylı veya dolaysız olarak çevreye verdiği zararın bir ölçüsüdür ve karbondioksit cinsinden ifade edilmektedir. Enerji tüketimindeki artışın doğrudan bir sonucu olarak fosil yakıtların kullanımının artması karbon ayak izi miktarının artmasına neden olmakta ve küresel ısınmayı olumsuz etkilemektedir. Karbon ayak izi miktarını azaltmak için sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm kavramlarına odaklanarak yeşil kavramına katkıda bulunmak gerekmektedir. Son yıllarda doğal kaynakların tükendiğinin ve ekolojinin bozulduğunun farkına varan tüketiciler yeşil kavramına yönelmişler ve sürdürülebilirliği sağlamak için yeşil çalışmalara ağırlık vermeye başlamışlardır.

Bu çalışmada; yeşil kavramını depolara entegre ederek soğuk hava depolarının verimliliğini arttırmak amacıyla incelemeler yapılmıştır. İncelemesi yapılan soğuk hava deposunda muhafaza edilen ürünler depolanması gereken sıcaklığa ve belirli özelliklerine göre ayrı ayrı odacıklarda depolanmaktadır. Süt ve süt ürünlerinin depolandığı bu soğuk hava deposuna gelen siparişlerin herhangi bir düzen olmamasından dolayı odacıkların kapısı sürekli açılmakta ve bu sırada dış ortam ile odacıklar arasında ısı alışverişi meydana gelmektedir. Soğuk hava deposunda bulunan odacıkların en uygun sıcaklıkta sabit kalabilmesi için soğutucular fazladan enerji harcanmakta ve bu durum hem işletme maliyetini hem de yeşil kavramını olumsuz etkilemektedir. Depoya gelen siparişlerin; dışarıdan gelen ısı transferini engelleyecek ve enerji kullanımını indirgeyecek şekilde uygun bir sıralamada toplanması amaçlanmış ve bu problemi çözebilmek amacıyla yeni yeşil sipariş sıralama modeli önerilmiştir. Önerilen matematiksel model önce elle çözülmüş, daha sonra açık ve kapalı halleri LİNGO yardımıyla çözülerek test edilmiştir. Problemin çözümünde kullanılan yeşil sipariş sıralama modeli Genetik Algoritma (GA) ve Yapay Arı Kolonisi (YAKA) Algoritması ile çözülmüş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Parametrelerin optimizasyonu için deney tasarımı tekniği olan Yates Notasyonu kullanılmış ve SPSS yardımı ile istatistiği yapılmıştır.



GREEN ORDER SORTING PROBLEM IN COLD STORAGE BY ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM AND GENETIC ALGORITHM

SUMMARY

One of the biggest problems of our age is the greenhouse gas, which triggers the increase in global warming and causes an increase in the amount of carbon dioxide in the atmosphere. Along with the unconscious increase in the population, the amount of harmful substances such as carbon dioxide, methane, nitrite gas released by people into the atmosphere has increased, and it has had a negative impact on greenhouse gas emissions. Due to the increase in population, the increase in the use of fossil fuels, the destruction of forests, the use of synthetic fertilizers, the destruction of green areas where animals can consume, and the increase in industrial activities cause an increase in greenhouse gas and thus global warming. One of the most important solutions to reduce greenhouse gas emissions is to reduce the Carbon Footprint.

The carbon footprint is a measure of the direct or indirect harm caused by human activities to the environment in terms of the amount of greenhouse gases produced and is expressed in terms of carbon dioxide. The higher the carbon footprint, the greater the impact on global warming and climate change. The carbon footprint is the amount of indirect carbon dioxide emissions resulting from the burning of fossil fuels, which is the result of people's daily transportation, heating, energy consumption or the use of all kinds of products they buy. Due to the unconscious behaviors and lifestyles of the society, the use of fossil fuels has increased in recent years and this situation causes environmental pollution. As a direct result of the increase in energy consumption, the increase in the use of fossil fuels causes an increase in the amount of carbon footprint and negatively affects global warming. In order to reduce the amount of carbon footprint, it is necessary to focus on the concepts of sustainability and recycling. Although individual steps taken by people to reduce their carbon footprint may seem to have a small effect, in fact, small changes made in a person's daily life significantly reduce the amount of carbon footprint and contribute to the concept of green. One of the most effective ways to reduce carbon footprint is to gain awareness of recycling. By separating wastes such as paper, glass, bottles and packaging, a great contribution can be made to sustainable energy and efficiency. Energy use can be made efficient and balanced by reducing the use of fuel used for activities such as electricity, heating and cooling, which can be expressed as energy indirect carbon emissions, as much as possible. By using public transportation vehicles instead of individual vehicles, or by choosing vehicles with hybrid and electric motors, which have become a better alternative, carbon emissions due to fuel consumption can be reduced and an important contribution can be made to reduce carbon emissions.

In recent years, with the increase in environmental problems due to the unconscious behavior of people, consumers and institutions that are aware of the behaviors that harm the nature have emphasized the importance of sustainability and recycling and revealed the concept of green. In this period when the importance of competition increased, businesses started to focus on the concept of green supply chain in order to

ensure their sustainability. Green supply chain management integrates the traditional supply chain approach with sustainable environmental methods, covering all processes from manufacturing and production to the procurement process, from material selection to waste management. The green supply chain emphasizes the importance of the environment while creating value in the supply chain of companies. Green supply chain; it increases efficiency in activities such as purchasing, production, sales and marketing. It contributes to businesses with advantages such as producing less waste, being innovative, reducing operating costs, reusing raw materials, and increasing company profitability. The main aim of green supply chain management is to create a balanced and sustainable ecosystem based on recycling, generally by reducing carbon dioxide emissions. Green supply chain; it covers activities such as green purchasing, green production, green marketing, green packaging and reverse logistics. Green purchasing is one of the most important subgroups of the concept of green supply chain and includes activities such as purchasing more environmentally friendly and recyclable materials. Green production covers the process of producing products by evaluating the possibilities of recycling, remanufacturing and reuse from the design stage of the products. Green marketing is marketing activities that include the production, pricing, distribution and promotion of nature friendly products that will enable the business to reach its goals while offering products to the consumer, and that includes the after use of the product. Green packaging is a sustainable packaging process using materials that cause the least possible harm to the environment. On the other hand, reverse logistics are an important subgroup of the green supply chain and is the process of collecting and examining the products that are returned, expired, or disposed of because the consumer has bought a new product.

Warehouses are active role in shortening delivery times, reducing order times, and meeting customer requests in a seamless manner; centers that produce added value. Warehouses can be divided into different types such as raw material warehouse, product warehouse, textile warehouse, dangerous material warehouse, cold storage and warehouse depending on the characteristics. Cold storage, which is one of the storage types and where high energy consumption is realized, is the storage used for the instant or long term preservation of perishable foods and specially designed to extend the consumption life of foods. The coolers in the cold storages work in order to keep the products at a suitable temperature and consume high energy in the meantime. In cold storage, energy losses caused by warehouse irregularity or order picking irregularity affect the concept of green negatively.

This study integrate a green concept into warehousing and was conducted to improve energy efficiency in cold stores with milk and other dairy products. The warehouse has 12 chambers and 44 types of milk and milk products. The products stored in this cold environment are kept in separate chambers, labeled according to their characteristics; temperature is one of them. The lack of a specific order in the organization of the products in the chamber causes the doors of the chambers to be opened and closed continuously, creating heat exchange. Therefore, the chillers consume additional energy to set the chambers to the required temperature, leading to inefficiency and increased costs. A new Order Sorting Mathematical Model for a green concept was developed. The mathematical model used to solve this problem was derived from the Genetic Algorithms (GA) and Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, and the results are compared. The Yates Notation, an experimental design technique, was used to guarantee the optimization of the parameters used in the Genetic Algorithm, and the results were proved statistically. Different experimental

sets with different products and product numbers were examined, and when the results of the proposed situation from the GA and the ABC were compared, it was observed that the ABC gave better quality results than the GA. When the current situation and the proposed situation are examined, the difference between the current order order and the suggested order order in terms of daily working time of the coolers is clearly seen. Due to this situation, the amount of carbon footprint decreased and the green concept was adapted to the cold storage.



1. GİRİŞ

Bazen ısınıp bazen soğuyarak normal olmayan bir şekilde gelişim gösteren iklim sistemimiz; günümüze kadar kuraklık, yangın, sel, fırtına, deprem gibi birçok doğal felakete maruz kalmış, bu durum ise küresel ısınmanın tetiklenmesine yol açmıştır. Belirli bir bölgede milyonlarca yıl önce toprağın altına gömülmüş bitki hayvan atıklarının termokimyasal tepkimeler geçirmesi sonucu oluşan fosil yakıtların kullanımı git gide artmış, bu artış ise iklim değişikliğine yol açan sera gazının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Endüstrileşmenin hızlı bir şekilde artması, uygun arazi oluşması için ağaçların yok edilmesi, hayvanların tüketebileceği yeşilliklerin yok edilmesi, organik tarım yerine endüstriyel tarımın tercih edilmesi gibi sebepler sera etkisini arttırmakta ve dolayısıyla küresel ısınmanın artmasına neden olmaktadır (Chatterjee, 2013). İnsanların farkında olarak veya olmayarak çevreye vermiş olduğu zararlar ekolojik sistemini kötü bir şekilde etkilemekte, özellikle son yıllarda nüfusun hızlı bir şekilde artması ile insanların atmosfere bıraktıkları karbondioksit, metan, nitrit gazı gibi zararlı maddeler atmosferin ısıyı geçirme ve tutma özelliği olarak tanımlanabilen sera etkisinin artmasına neden olmaktadır. Sera gazının atmosferdeki ısıyı tutması yeryüzündeki sıcaklığın artmasına bağlı olarak iklim değişikliğine neden olmaktadır. Yeryüzündeki bu sıcaklık artışı, deniz ekosistemini de olumsuz yönde etkileyerek deniz seviyelerinde bir artışa sebep olacaktır (Chatterjee, 2013). Sera gazı salınımlarını azaltmak için uygulanabilecek en önemli çözüm yollarından birisi Karbon ayak izinin azaltılmasıdır.

Karbon ayak izi, birim karbondioksit cinsinden ifade edilen, üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin dolaylı veya dolaysız olarak çevreye verdiği zararın bir ölçüsüdür. Karbon ayak izi, evsel enerji tüketimleri ve bir yerden bir yere gerçekleşen ulaşım da dahil olmak üzere fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan dolaylı karbondioksit emisyonu miktarını ve ürünlerin yapımından bozulmalarına kadar olan dolaylı karbondioksit emisyonlarının ölçüsünü kapsamaktadır. İhtiyacımız olan enerjiyi kontrollü bir şekilde kullanarak doğaya salınan Karbon ayak izi miktarını azaltabilir, böylece çevremizi daha yeşil hale getirebiliriz (Wackernagel ve Rees, 1962). Doğal kaynakların hızlı bir şekilde tükendiği ve insanların bilinçsiz

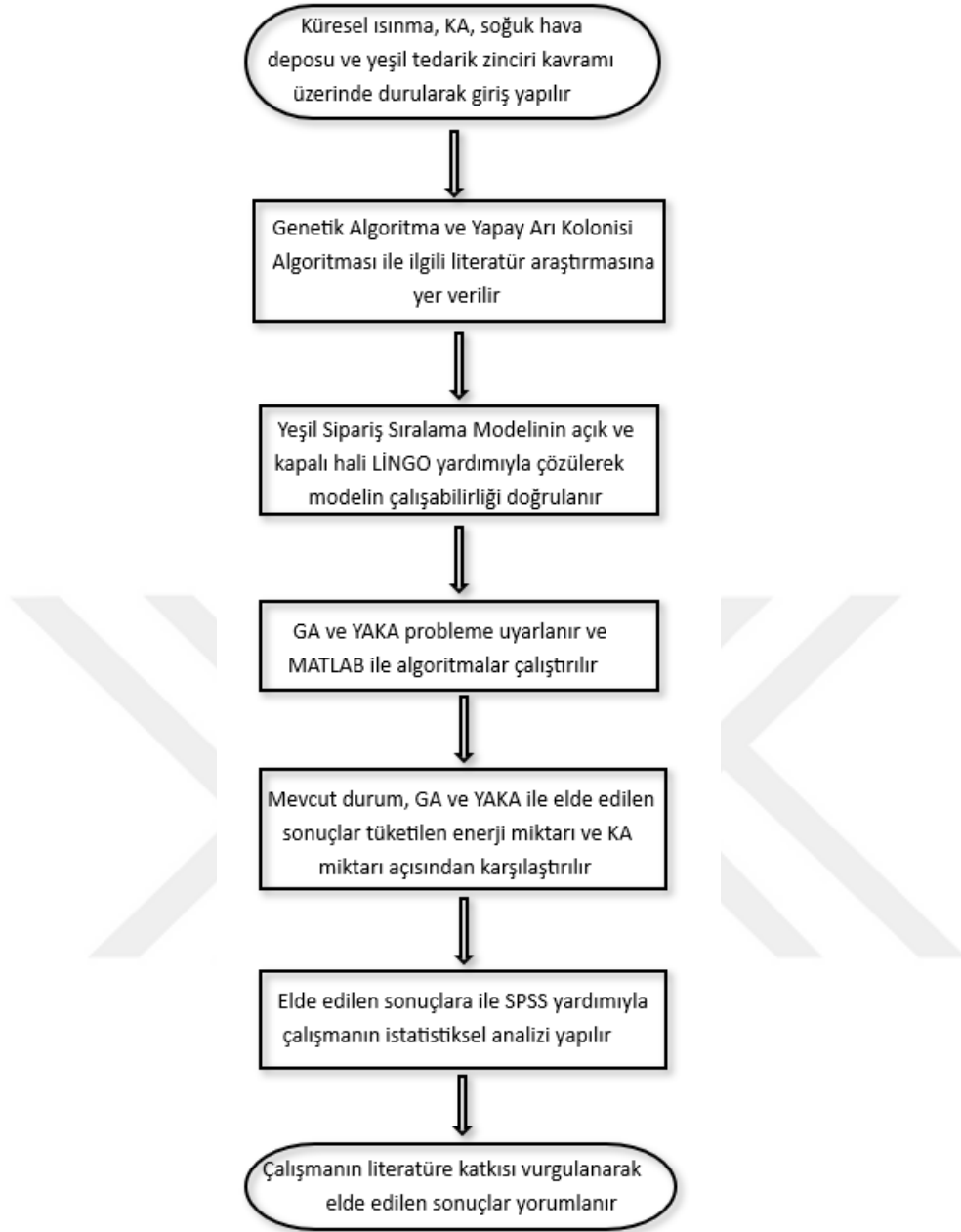
davranışlarından kaynaklanan çevre problemlerinin arttığı son dönemlerde, doğaya zarar veren durumların bilincinde olan tüketiciler, kurumlar ve devletler geri dönüşümün önemini vurgulayarak yeşil kavramını ortaya çıkartmışlardır.

Gelişen dünyaya ayak uydurabilmek ve sürdürülebilirliklerini devam ettirmek isteyen işletmeler özellikle son yıllarda yeşil tedarik zinciri kavramına önem vermeye başlamışlardır. Fosil yakıt kullanımının artmasına bağlı olarak ortaya çıkan ve zararlı olan kimyasal gazların çevreye yayılımını azaltmayı hedefleyen yeşil tedarik zinciri yönetimi; israfi önleyerek yalın bir üretim gerçekleştirmeyi sağlaması, işletmelerin maliyetlerini düşürmesi ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlaması açısından şirketler tarafından ilgi görerek önemsenen bir kavram haline gelmiştir (Zhu ve ark, 2008). Ürünlerin hammadde aşamasından üretim ortamına, üretim ortamından da tüketim merkezlerine dağıtımına kadar olan bütün faaliyetleri kapsayan ve günümüzde tedarik zinciri açısından çok önemli bir konuma sahip olan depolar; sipariş toplama sürelerinin kısalmasını, müşteri istek ve siparişlerinin daha kısa sürede ve eksiksiz olarak karşılanmasını, ürünlerin belirli bir süre için muhafaza edilmesini sağlayan yapılardır. Ticari işletmeler, ithalat ve ihracat firmaları, toptan satıcılar, nakliye firmaları gibi birçok sektör tarafından çeşitli amaçlar için kullanılan depolar; lojistik sektörü için iş süreçleri açısından hayati önem taşıyan bir bileşendir (Richards, 2017).

Üretici, tüketici, paketleyici ve dondurucunun rolünü kapsayan özel depo çeşitlerinden biri olan soğuk hava depoları; çabuk bozulabilecek ve raf ömrü kısa olan gıda maddelerinin ömürlerini uzatıp kalite kaybını azaltarak işletme faaliyetlerinin performansını iyileştirmektedir. Soğuk hava depoları sayesinde yaş sebze veya meyveler, süt ve süt ürünleri, hayvansal ürünler gibi raf ömrü kısa olan ve çabuk bozulabilen ürünler korunarak ömürleri uzatılmakta ve böylece insanlar yiyeceklerden daha uzun süre faydalanabilmektedir (Andrejić, 2011). Soğuk hava depolarının tüketiciler açısından birçok faydası bulunmasına rağmen yiyecek veya içeceklerin uygun sıcaklıkta muhafaza edilebilmesi için elektrik enerjisinin harcanması gibi yüksek maliyetlere sebep olacak etkisi de bulunmaktadır. Bu durum ise soğuk hava depolarında ürünleri muhafaza edebilmek için harcanan enerjinin işletme maliyetlerini önemli ölçüde arttırdığını göstermektedir.

Çalışmanın takip eden kısmı şu şekildedir; birinci bölümde küresel ısınmadan, karbon ayak izinden, soğuk hava depolarından ve günümüzde önem kazanan yeşil tedarik

zincirinin öneminden bahsedilerek yeşil kavramına vurgu yapılmıştır. İkinci bölümde Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi Algoritmasından yararlanarak yapılan mevcut yeşil tedarik zinciri, yeşil depo, sipariş sıralama, soğuk hava deposu, araç rotalama, depolarda gerçekleştirilen enerji tasarrufu ile ilgili literatür çalışmalarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, çalışmada ele alınan problemin tanımı yapılmış ve problemin çözümü için yeni Yeşil Sipariş Sıralama Modeli önerilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışma sırasında yararlanılan metasezgisel yöntemlerden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde, Genetik Algoritmanın ve Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının probleme uygulanma sürecinden bahsedilmiştir. GA’da kullanılan parametrelerin optimizasyonu için deney tasarımı tekniği olan Yates Notasyonu tekniğinden yararlanılmış, GA ve YAKA ‘dan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların anlamlı bir fark yaratıp yaratmadığını anlayabilmek için ise H_0 ve H_1 hipotezleri kurularak SPSS yardımı ile çalışmanın istatistiksel analizi yapılmıştır. Altıncı bölümde, çalışmanın sonuçlarından bahsedilmiştir. Soğuk hava deposunda yapılan çalışmanın akışı adım adım Şekil 1.1 ile açıklanmıştır.



Şekil 1.1. Soğuk hava deposunda yapılan çalışmanın akışı.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Genetik Algoritma ile İlgili Araştırmalar

Literatür araştırması yapılırken; yeşil tedarik zinciri, yeşil depo, sipariş sıralama, soğuk hava deposu, Genetik Algoritma, araç rotalama, depolarda gerçekleştirilen enerji tasarrufu ile ilgili çalışmalar üzerine inceleme yapılmıştır. İncelemesi yapılan bu konular, depodaki enerji tasarrufunu sağlamak için soğuk hava deposuna gelen siparişlerin mümkün olan en iyi şekilde sıralamasının yapılmasını sağlayarak soğuk hava deposunu yeşil bir depo haline getirmek amacıyla incelenmiştir. Literatür araştırmasında incelenen konular hem çevreyi korumak hem de işletmelerin kar elde etmesini sağlayıp sürdürülebilirliklerini devam ettirmeleri açısından önem arz etmektedir.

Mevcut yeşil tedarik zinciri ile ilgili literatür incelendiğinde; Lin ve Ho (2008), lojistik sektöründe hizmet veren firmalarda yeşil kavramının benimsemesi amacıyla, Tayvan’da faaliyet gösteren lojistik firmalarından gelen 162 örnek anket çalışması üzerine yeşil kavramını vurgulayan organizasyonel, teknolojik ve çevresel boyutları içeren 6 farklı faktör incelemiştir. Perks ve Smith (2010), işletmelerde yer alan departmanların yeşil kavramından ne kadar etkilendiğini değerlendirebilmek amacıyla Nelson Mandela Metropol şirketindeki çalışanların katıldığı bir anket gerçekleştirmişlerdir. Yapılan ankete göre Nelson Mandela Metropol şirketinde yeşil kavramından en az etkilenen bölümlerin tedarik zinciri yönetimi, insan kaynakları ve bilgi teknolojileri; en çok etkilenen bölümlerin ise satış, üretim ve lojistik olduğu sonucuna varılmıştır. Dekker ve ark. (2012), tedarik zinciri yönetiminin tasarım ve planlama üzerindeki verimini arttırabilmek amacıyla yeşil kavramına yönelmişlerdir. Çalışmaları sırasında çok kriterli karar verme yönteminden yararlanmışlar, çevresel yönlerin yöneylem araştırması modeline entegre edileceği çevresel alanlar belirlemişlerdir. Ramanathan ve ark. (2014), Hindistan’da bulunan geri dönüşümü sağlanabilir çantalar üreten bir firma ile dondurulmuş tropik meyve tedarikini gerçekleştiren bir firmanın yeşil kavramına uygunluk derecesini belirleyebilmek için gerekli incelemeler yapmışlar, İngiltere’de faaliyet gösteren bir firma çalışanıyla ise

firmanın çevresel hedefleri göz önünde bulundurarak çevreye salınan karbondioksit miktarını azaltma çalışmalarında gelişme olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla röportaj gerçekleştirmişlerdir.

Soğuk hava depoları ile ilgili literatür incelendiğinde; Andrejić (2011), bir soğuk hava deposunda verimliliği arttırmak amacıyla veri zarflama analizinden yararlanmış, soğuk hava depolarının verimini ölçen bir model önermiştir. Önerdiği modelin performansını değerlendirebilmek amacıyla sayısal bir örnek üzerinden çalışmalar yaparak mevcut soğuk hava deposundaki verimsizliğin kaynağının tesisin yetersizliği olduğunu belirtmiştir. Kozak ve ark. (2017)), soğuk hava deposunda bulunan ve ürünleri düşük sıcaklıkta muhafaza edebilen paketlerin muhafaza edebilme performansını ölçebilmek amacıyla deneysel ve teorik incelemeler gerçekleştirmişlerdir. İncelemiş oldukları ürünler arasından 7 tane ürünün istenilen sıcaklıkta sabit kalabilmesi için PCM'den yararlanılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Bunun için analitik model geliştirmişler, çalışmaları sonucunda erime süresini maksimuma çıkaran izolasyon/PCM kalınlığı oranını bulmuşlardır. Gaedtker ve ark. (2018), frigolu araçların hız ve sıcaklık performansını değerlendirebilmek için simülasyondan yararlanmışlar ve çalışmaları sırasında Lattice Boltzmann yönteminden faydalanmışlardır. Zhang ve ark. (2018), alternatif bir sıcaklık sisteminin soğuk hava deposu, bağımsız hava kanalı ve çok kaynaklı soğutma gibi yöntemlere dayanan değiştirilmiş tasarımlarının termodinamik analizlerini gerçekleştirmişler ve soğuk hava deposu ile çok kanallı soğutma yönteminin performansı önemli derecede arttırdığını, bağımsız hava kanallarının ise performans üzerindeki etkisinin az olduğu sonucuna varmışlardır. Cheng ve Zhai (2018), soğuk hava depolarının performansını inceleyebilmek amacıyla üç aşamalı kademeli soğuk hava deposu tasarlamışlar, üç aşamalı kademeli soğuk hava deposunu ısı transfer özellikleri açısından tek aşamalı soğuk hava deposu ile karşılaştırmışlardır. Sun ve ark. (2019), soğuk hava deposunda depolanma süresinin Eureka limonları üzerindeki etkisini değerlendirebilmek amacıyla Eureka limonunun olgunluğunu 3 seviyede incelemişler, soğuk hava deposunda depolanma süresinin uzaması ile meyve sularında bulunan sitrik asit ve süksinik asit seviyesinin arttığı, malik asit ve fumanik asit seviyesinin ise azaldığı sonucuna varmışlardır.

Mevcut yeşil depo çalışmaları ile ilgili literatür incelendiğinde; Rizzi ve Zamboni (1999), mevcut deponun iç verimliliğini arttırabilmek amacıyla kolay bozulabilir

ürünler üzerinden değerlendirme yaparak depo lojistik süreçlerinin yeniden tasarlanıp, ERP sisteminin düzeltilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Öncelikle deponun fiziksel ve mantıksal yapısını tanımlamış, daha sonra çalışmalarını gerçek bir depo üzerinde uygulamıştır. Petersen ve ark. (2005), çöp kutusu deposunda depo yerleştirme önlemlerini ve depo atama stratejilerini seyahat mesafesine ve sipariş tamamlanma süresine göre değerlendirmiş, değerlendirmeleri sırasından simülasyondan yararlanmışlardır. Fan ve ark. (2007), depolardaki enerji kullanımı azaltmak üzerine araştırmalar yaparak enerji kullanımının zaman içindeki değişimini incelemiştir. Meneghetti ve Monti (2015), mevcut soğuk hava deposunun toplam yıllık soğutma maliyetini ve sipariş toplama için harcanan enerji maliyetini minimize edebilmek amacıyla depoda bulunan koridor, sütunlar, şeritler gibi AS-RS karar değişkenlerini ve yüzey, hacim tasarımını optimize edebilecek yeşil tedarik zincirine katkıda bulunabilecek bir model önermişlerdir. Soğuk hava deposunu incelerken soğutma yüklerini, iletim, sızma, iç ve dış ürün özelliklerini göz önünde bulundurmışlar vinç uydu sistemlerini soğuk hava deposu için yer tasarrufu sağlayacak şekilde uyarlamışlardır. Rakesh ve Adil (2015), depodaki verimliliğinin deponun düzenine bağlı olarak değişebileceğini öne sürerek malzeme taşıma maliyeti ve alan kullanım maliyetini azaltabilmek amacıyla depolama seviyesi sayısını, deponun boyutunu belirleyen bir algoritma geliştirmişlerdir. Derpich ve Sepúlveda (2016), otomatik veya kısmen otomatik fabrikalarda ve dağıtım merkezlerinde dikdörtgen şeklinde depo tasarlama problem üzerine çalışmışlardır. Depolarda daha az enerji tüketen raflar tasarlamak amacıyla Lagrange dönüşümünden elde edilen doğrusal kısıtlara sahip olan ama doğrusal olmayan optimizasyon probleminin çözümünden elde edilen formüller ile yeni bir model önermişlerdir. Ayarmal ve ark. (2018), soğuk hava deposunda sürgülü kapıdan kaynaklanan sıcaklık, nem ve hava değişimi ile ilgili incelemeler yaparak soğuk hava deposunda verimliliği artırma problemi üzerine çalışmışlardır. Soğuk hava deposunda verimliliği arttırmak için 3D Navier-Stokes denkleminde yararlanmışlar, ürünlerin enerji alışverişi ile soğutulmasının pervane ve kapılardan etkilendiği sonucuna varmışlardır.

Mevcut Genetik Algoritma ile ilgili literatür incelendiğinde; Katić (1999), robotik sistemlerin performansını arttırabilmek için Genetik Algoritmayı, sinirsel sınıflandırma ve öğrenme kontrol teknikleri ile birleştirerek robotların çapak alma hareketini simülasyon yardımı ile incelemiştir. Simülasyon sonuçlarına göre Genetik

Algoritma- Sinirsel Sınıflandırma tekniğinin kendi problemi üzerinde etkili olduğu sonucuna varmıştır. Manzoni ve ark. (2012), GA'da çaprazlama operasyonunun popülasyonu güçlü bir şekilde etkilediğini düşünerek mesafe kavramını klasik tek noktalı çaprazlamaya göre tanımlamışlardır. Problemlerini çözerken doğru bir hesaplama yapabilmek için popülasyon büyüklüğünde Polinom Karmaşıklığı Algoritmasından yararlanarak bireylerin uzunluklarını vermişlerdir. Beire ve ark. (2014), demiryolu haberleşme sisteminde telsiz haber tahminlerinin optimize edilmesi probleminde Okumura-Hata modelinin kullanılabileceğini kanıtlamak için GA'dan yararlanmışlardır. GA'nın performansını en üst düzeye çıkartacak koşulları bulabilmek için farklı demiryollarında test gerçekleştirmişler ve GA'yı orijinal model üzerinde uyguladıklarında iyileşme gerçekleştiği sonucuna varmışlardır. Yang ve ark. (2018), kombinatoriyal Gezgin Satıcı Problemi üzerine çalışmışlar, problemi çözebilmek amacıyla GA ve Parçacık Sürü Optimizasyonundan oluşan hibrit bir yaklaşım önermişlerdir. Önerdikleri yeni hibrit yaklaşımı; IA, BBA, ULBA ile karşılaştırmışlar ve önerilen hibrit yaklaşımın daha kaliteli çözümler ürettiği sonucuna varmışlardır. Sana ve ark. (2019), tekrarlı bir şekilde yapılan işleri ergonomik açıdan değerlendirerek ergonomik kısıtlar içeren matematiksel model önermişler, çalışmaları sırasında Kombinatoriyal GA'dan yararlanmışlardır. Yapılan anketlerin sonucuna göre çalışanların %69'unun çalışma koşullarının iyileştiğini belirtmiştir. Yerukala ve ark. (2019), nöroblastom hastalarının hayatta kalma sürelerini tahmin edebilen, Kombinatoriyal Genetik Algoritma ile optimize edilmiş ve Destek Vektör Regresyon temelli SVR-NB adında bir yaklaşım önermişlerdir.

Depolarda araç rotalama ve Genetik Algoritma ile ilgili literatür incelendiğinde; Baker ve Ayechev (2003), basit araç rotalama problemi üzerine çalışmışlar, önermiş oldukları modeli orijinal GA ve Komşuluk Arama metodunu içeren Hibrit GA ile karşılaştırmışlardır. Hibrit GA'nın elde edilen sonuçların kalitesi ve süreleri açısından TSA ve SAA ile rekabet ettiği sonucuna varmışlardır. Jeon ve ark. (2007), eş zamanlı olarak farklı araçları, çift turları ve çoklu depoları göz önüne alarak araç rotalama problemi üzerine çalışmışlardır. Problemin çözümü için Hibrit GA modeli önermişler ve önerdikleri modeli Eilon ve Fisher tarafından önerilen mevcut problemler ile karşılaştırmışlar, önerilen Hibrit GA ile daha iyi sonuçlar elde edildiğini kanıtlamışlardır. Lee ve ark. (2012), dağıtım merkezine gelen kamyonların uygun kapıdan giriş- çıkış yapmasını sağlamak, yerleşim düzenlerini belirlemek ve

kamyonlar ile sevk edilen ürün sayısını en çok etmek için bir matematiksel model önermişlerdir. Problemlerinin çözümü için GA'dan yararlanmışlar, sonuçları değerlendirebilmek ve dağıtım merkezinin verimini arttırmak için kamyon dizisi ve kapı ataması olan kromozomlar (GA-Door Assignment), özel karakterli kromozomlar (GA-Special Character), sevkiyat kurallarına sahip olan basit kromozomlar (GA-Dispatching Rule) olmak üzere 3 farklı kromozom yapısı önermişlerdir. Önerilen bu üç farklı kromozom yapısını karşılaştırmışlar ve sevkiyat kurallarına sahip olan basit kromozomların verimlilik açısından daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır. Ahmadizar ve ark. (2015), tedarikçilere teslim edilecek ürünleri doğru bir şekilde tespit edebilmek, işletmenin nakliye ve elde bulundurma maliyetlerini minimize edebilmek ve sevk araçlarının rotasını en uygun şekilde gerçekleştirebilmek için iki seviyeli sevk aracının çapraz yerleştirme tekniği ile rotalanması problemi üzerine çalışmışlardır. Problemlerini çözerken Hibrit GA'dan yararlanmışlar ve önerdikleri bu yapının performansını farklı testler ile doğrulamışlardır.

Mevcut soğuk hava deposu ve Genetik Algoritma ile ilgili literatür incelendiğinde; Lu ve Zhao (2018), donmuş gıda taşımacılığı yapan bir şirketin soğuk zincir lojistik ağı dağıtımının rotasının belirlenmesinde Analitik GA'dan yararlanmışlar, en düşük toplam maliyete göre en uygun güzergâhı belirlemişlerdir. Xu ve ark. (2018), soğuk hava depolarında, bataryalarda, termal depolarda, gaz tribünlerinde ortak enerji mikro şebeke sisteminden doğru ve maksimum bir şekilde yararlanabilmek, maliyetleri minimize edebilmek amacıyla bir model önermişlerdir. Problemin çözümünde GA, TSA, PSO, Doğrusal Ağırlıklı Toplam Yöntemi gibi birbirinden farklı 4 modelden yararlanmışlardır. Hennen'da faaliyet gösteren gıda pazarında inceleme yaparak önerilen modelin işletme maliyetlerini azalttığı sonucuna varmışlardır.

Mevcut sipariş toplama, sipariş gruplandırma ve Genetik Algoritma ile ilgili incelendiğinde; Petersen (1999), seyahat hızının ve toplama oranının depo performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla hacime dayalı deponun performansını rastgele depo ile karşılaştırmış, çalışması sırasında GA'dan yararlanmıştır. Seyahat hızı ve toplama oranına bağlı olarak hacime dayalı depolamada rastgele depolamaya göre önemli tasarruflar sağlandığı sonucuna varmıştır. Hsu ve ark. (2005), toplam seyahat süresini en az etmek amacıyla depolara gelen müşteri siparişlerini otomatik gruplar halinde gruplandırmışlar, çalışmaları sırasında GA'dan yararlanmışlardır. Diğer yaklaşımlardan farklı olarak sipariş yakınlığı hesaplaması ve seyahat mesafesinin

tahmin edilmesini gerektirmeyen bu çalışmada GA'nın performansını birkaç örnek ile test etmişler ve kaliteli 11 adet sonuç elde edildiğini görmüşlerdir. Tsai ve ark. (2008), seyahat maliyetini ve gecikme cezasını dikkate alan sipariş toplama problemi için bir model önermişlerdir. Mümkün olan en iyi ürün toplama planını oluşturabilmek için GA-Batch ve GA-TSP algoritmalarından oluşan MGA'dan yararlanmışlardır. Farklı depo ortamları ve sipariş özelliklerine sahip dizi setleri kullanarak simülasyon tekniği ile duyarlılık analizi yapmışlar, çalışmanın sonucunda ise önerdikleri modelin diğer kıyaslama modellerine göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır. Azadnia ve ark. (2013), sipariş toplama sürecinde gecikmeleri en aza indirebilmek için dört aşamadan oluşan yeni bir yaklaşım önermişlerdir. İlk olarak, siparişler arasındaki ilişkileri vade tarihlerine göre hesaplamak için ağırlıklı birliktelik kuralı madenciliği yöntemini kullanmışlardır. Daha sonra, her parti içerisinde bulunan siparişler arasındaki ilişkileri en üst düzeye çıkarabilmek için ikili tamsayı programlamaya dayalı bir grupta model önermişlerdir. Üçüncü aşamada, en uygun seyahat yolunu belirlemek için Gezici Satıcı Problemi ile entegre bir GA'dan; son aşamada ise gecikmeyi en aza indirmek için siparişlerin sıralanmasını sağlayan GA metodundan yararlanmışlardır. Önerilen yaklaşımın çözüm kalitesini ölçebilmek için ise çeşitli karşılaştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Pan ve ark. (2015), mevcut depodaki her bir toplama bölgesinin iş yükünü dengelemek ve toplama sistemindeki parti sayısını minimize edebilmek amacıyla Grup GA'dan yararlanmışlardır. GA'nın performansını karşılaştırmak için ise simülasyon tekniğinden yararlanmışlardır. Ene ve ark. (2016), sipariş toplama sürecinde forkliftin dolaştığı mesafeyi en aza indirgeyerek enerji tüketimini azaltmak için sipariş toplama sürecinde harcanan enerjiyi, forkliftlerin tükettiği elektrik enerjisi cinsinden hesaplamışlar ve problemin çözümü için GA'dan yararlanmışlardır. GA'nın performansını ölçmek için sayısal örnekler ile çalışıp farklı boyutlardaki sipariş verileri ile karşılaştırmışlardır. Ancak mevcut çalışma incelendiğinde, sipariş toplama operasyonunda depoda kullanılan araçların donanımsal açıdan çok fazla enerji tasarrufu sağlamayacağı ve karbondioksit emisyonuna büyük bir katkısı olamayacağı için yapılan çalışmanın yeşil depo anlayışına pek katkı sağlamadığı görülmüştür. Ardjmand ve ark. (2019), sipariş toplama sisteminde sipariş gruplandırma ve toplayıcı yönlendirme sürecini incelemişler, problemin çözümü için matematiksel bir model önermişlerdir. Problemin çözümü için GA ve SAA karmasından oluşan hibrit bir yapıdan yararlanmışlardır. Önerdikleri yöntemin sonuçlarını test etmişler ve küçük boyutlu problemler için

sonuçların kalitesi açısından SAA'nın GA'ya göre daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Mevcut yeşil depo ve Genetik Algoritma ile ilgili literatür incelendiğinde; Tirkolae ve ark. (2018), sera gazı salınımını ve emisyonunu azaltmak, en uygun yolu bulup araç kullanım ve rotalama maliyetine bağlı olarak toplam maliyeti azaltmak amacıyla Çok Seyahatli Yeşil Kapasiteli Ark Yönlendirme Problemi üzerine çalışmışlardır. Başlangıç çözümünü üretmek için Tavlama Benzetimi Algoritmasından, en iyi çözümü üretmek için ise GA'dan yararlanarak Hibrit GA önermişler, önerdikleri Hibrit GA'yı test ederek algoritmanın yüksek verim ile çalıştığını görmüşlerdir. Parikhani ve ark. (2019), belirleyen bir yaklaşım önermişlerdir, bu yaklaşımda Yapay Sinir Ağı bazlı bir modeli GA ile birleştirerek optimize etmişlerdir. 1 saatlik bir test uygulayarak hava girişlerini ve hava tahminlerini test etmişlerdir.

Tablo 2.1 ile GA ile ilgili literatür araştırmasının özeti olarak nitelendirilebilen, yazarların üzerine çalışmış oldukları konuları ve problemlerinin çözümü sırasında kullanmış oldukları çözüm algoritmaları gösterilmiştir.

Tablo 2.1. GA ile yapılan çalışmaların konusu ve çözüm algoritması.

Yazar(Yıl)	Çalışmanın konusu	Çözüm algoritması
Katić (1999)	Robotik sistemler	GA, Sinirsel sınıflandırma
Petersen (1999)	Sipariş toplama	GA
Baker ve Ayechev (2003)	Araç rotalama	Hibrit GA, TSA, GA, SAA
Hsu ve ark. (2005)	Sipariş gruplama	GA
Jeon ve ark. (2007)	Araç rotalama	Hibrit GA
Tsai ve ark. (2008)	Sipariş toplama	GA-TSP, GA-Batch, MGA
Lee ve ark. (2012)	Dağıtım merkezleri	GA
Manzoni ve ark. (2012)	GA performansı	GA, PCA
Azadnia ve ark. (2013)	Sipariş toplama	GA-TSP, GA
Beire ve ark. (2014)	Tahmin Optimizasyonu	GA
Ahmadizar ve ark. (2015)	Araç rotalama	Hybrid GA
Pan ve ark. (2015)	Sipariş toplama	Grup GA
Ene ve ark. (2016)	Sipariş toplama	GA
Yang ve ark. (2018)	Gezgin satıcı problemi	GA-PSO, IA, ULBA
Tirkolae ve ark. (2018)	Araç rotalama	GA-SAA
Lu ve Zhao (2018)	Araç rotalama	Analitik GA
Xu ve ark. (2018)	Enerji verimliliği	GA, TSA, PSO
Ardjmand ve ark. (2019)	Sipariş gruplandırma	GA-SAA
Parikhani ve ark. (2019)	Eksergoekonomik optimizasyon	GA
Sana ve ark. (2019)	İş rotasyonu	GA

Literatür araştırması yaparken yeşil tedarik zincirinin diğer faaliyetleri olan; yeşil satın alma, yeşil üretim, yeşil paketleme, ters lojistik konuları hakkında birçok çalışma bulunurken yeşil depolar hakkında çok fazla bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Literatürde yeşil depolar ile ilgili yeterli çalışma yapılmaması üzerine soğuk hava deposunda uygun sipariş sıralaması yapabilmek için sipariş sıralama modellerinden yararlanılması, yapılan bu uygun sipariş sıralama sayesinde depodan mümkün olduğunca fazla yararlanarak depoda verimliliği arttırarak enerji tasarrufunun sağlanmasını, depo içindeki araçların ürün toplama süresini azaltarak fosil yakıt kullanımını azaltılmasını ve depoyu daha çevreci yani yeşil bir hale getirilmesini sağlamıştır. Soğuk hava deposunda yapılan bu çalışmada, yukarıda bahsedilen alanlar üzerine incelemeler yapılması ve literatürde yeterince çalışma bulunmayan yeşil depo kavramı üzerinde durulması çalışmayı diğer çalışmalardan farklı kılmıştır.

Genetik algoritma ile ilgili incelenen çalışmalarda kullanılan, genetik algoritmanın operatörleri olarak ifade edilen doğal seçim, çaprazlama, mutasyon yöntemleri Tablo 2.2 ile gösterilmiştir.

Tablo 2.2. GA’da kullanılan operatörler.

Yazar(Yıl)	Doğal seçim yöntemi	Çaprazlama yöntemi	Mutasyon yöntemi
Katić (1999)	Rulet Tekerleği	Düzenli Çaprazlama (Uniform)	Bir Formül
Poulos ve ark. (2001), Lee ve ark. (2012), Sana ve ark. (2019)	Geleneksel Doğal Seçim	Tek Noktalı Çaprazlama	Karşılıklı Yer Değiştirme
Baker ve Ayechev (2003)	Turnuva Yöntemi	Tek ve İki Noktalı Çaprazlama Düzenli Çaprazlama	Karşılıklı Yer Değiştirme
Ho ve ark. (2004)	Basit Sıralama Seçimi (Simple Ranking Selection)	Ortogonal Çaprazlama	Karşılıklı Yer Değiştirme
Hsu ve ark. (2005)	Rulet Tekerleği	İki Noktalı Çaprazlama	Karşılıklı Yer Değiştirme
Jeon ve ark. (2007)	Rulet Tekerleği	Pozisyona Bağlı Çaprazlama	Nokta Mutasyon
Tsai ve ark. (2008)	Rulet Tekerleği	İki Noktalı Çaprazlama Kısmi Planlı Çaprazlama	Karşılıklı Yer Değiştirme Sıralı Mutasyon
Chen ve Chien (2011)	Rulet Tekerleği	İki Noktalı Çaprazlama	Geleneksel Mutasyon
Azadnia ve ark. (2013)	Rulet Tekerleği	Tek Noktalı Çaprazlama	Karşılıklı Yer Değiştirme
Beire ve ark. (2014), Lai ve ark. (2014)	Turnuva Yöntemi	Düzenli Çaprazlama	Karşılıklı Yer Değiştirme
Victer Paul ve ark. (2014)	Geleneksel Doğal Seçim	Sıralı Çaprazlama	Karşılıklı Yer Değiştirme
Ene ve ark. (2016)	Rulet Tekerleği	Ters Etki Çaprazlama	Karşılıklı Yer Değiştirme
Hallawi ve ark. (2017)	Mini- Rulet Tekerleği	Sıralı Çaprazlama	Geleneksel Mutasyon
Yang ve ark. (2018)	Geleneksel Doğal Seçim	Kısmi Planlı Çaprazlama	Karşılıklı Yer Değiştirme
Yerukala ve ark. (2019)	Turnuva Yöntemi	Ortogonal Çaprazlama	Geleneksel Mutasyon
Parikhani ve ark. (2019), Tirkolae ve ark. (2018)	Turnuva Yöntemi	Tek Noktalı Çaprazlama	Geleneksel Mutasyon

Literatür araştırmasında incelenen çalışmalarda kullanılan doğal seçim, çaprazlama, mutasyon yöntemleri Tablo 2.2 üzerinden incelendiğinde doğal seçim yöntemi olarak genellikle Turnuva ve Rulet Tekerleği Yönteminin, çaprazlama yöntemi olarak Tek ve İki Noktalı çaprazlama yönteminin, mutasyon yöntemi olarak ise Karşılıklı Yer Değiştirme Yöntemi'nin kullanıldığı görülmüştür.

Bu çalışmada doğal seçim yöntemi olarak rulet tekerleği yönteminden, çaprazlama yöntemi olarak tek noktalı çaprazlama yönteminden, mutasyon yöntemi olarak ise karşılıklı değişim yönteminden yararlanılmıştır.

2.2. Yapay Arı Kolonisi ile İlgili Araştırmalar

Araç Rotalama ve Yapay Arı Kolonisi ile ilgili literatür incelendiğinde; Szeto ve ark. (2011), kapasiteli araç rotalama probleminin çözümü için yapay arı kolonisi yönteminden yararlanmış, orijinal yapay arı kolonisi algoritmasını geliştirerek orijinal ve geliştirilen yöntemi kıyaslamışlardır. Kıyaslamanın sonucunda gelişmiş sezgisel yöntemin orijinalinden daha iyi performans gösterdiğini ve mevcut sezgisel yöntemlerle karşılaştırıldığında iyi çözümler üretebileceği gözlemlemişlerdir. Yao ve ark. (2017), standart araç rotalama probleminden farklı olarak her bir müşteriye belirli bir zaman kısıtlaması dahilinde hizmet veren zaman pencereli araç rotalama problemi üzerine çalışmışlardır. Karmaşık ve kombinatoriyal optimizasyon problemi olan zaman pencereki araç rotalama probleminin çözümü için IABC yaklaşımını önermişler, bu algoritmayı bilinen bazı ölçütlere göre değerlendirerek geliştirilmiş yapay arı kolonisi algoritmasının etkililiğini ortaya çıkarmışlardır. Ng ve ark. (2017), trafik sıkışıklığı sorununun teslimatların gecikmesine sebep olması üzerine yeniden yönlendirme stratejisi ile kapasiteli araç rotalama problemi üzerine çalışmışlar ve problemin çözümü için trafik yoğunluğunu tahmin yoluyla ele alarak yapay arı kolonisi algoritmasından yararlanmışlardır. Yeniden yönlendirme stratejisi önermişler ve önerilen algoritmanın performansını değerlendirmek amacıyla vaka çalışması yapmışlardır. Vaka çalışması sırasında MC-ABC, orijinal Yapay Arı Kolonisi ve değiştirilmiş Yapay Arı Kolonisi algoritmasından daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır. Sedighizadeh ve Mazaheripour (2018), gezgin satıcı problemi ve araç rotalama problemi üzerinde durarak müşteriler arasındaki öncelik kısıtlamalarını göz önünde bulundurmuş, problemin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu ve yapay arı kolonisi algoritmalarından oluşan hibrit birçok amaçlı araç

rotalama modeli önermişlerdir. Önerilen algoritmanın birçok dağıtım şirketi tarafından farklı amaçlar için kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir. Davoodi ve ark. (2019), araç rotalama probleminin çözümü için Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Genetik Algoritma yöntemlerini içeren hibrit bir model önermişlerdir. Çalışmalarının ilk aşamasında 5 araç için çözüm bulabilmek amacıyla yapay arı kolonisi algoritmasından yararlanmışlar, kâşif ve gözcü arıların üretimi için en yakın komşu ve en geniş komşu yöntemini kullanmışlardır. İkinci aşamada ise çözümleri optimize edebilmek amacıyla Genetik Algoritmadan yararlanmışlardır. Gözcü arıyı üretmek için en yakın komşu ve genetik algoritma yöntemlerinin en iyi yol olduğu sonucuna varmışlardır. Chen ve ark. (2020), son yıllarda dünyayı etkisi altına alan COVID-19 virüsünün daha fazla yayılmasını önlemek için kuryeler arasındaki teması önlemek amacıyla temassız ortak dağıtım hizmeti üzerine yönelmişler ve temassız ortak dağıtım hizmeti için çok araçlı çok yollu yönlendirme problemi üzerine çalışmışlardır. Problemin çözümü için, bir tabu arama operatörü ile gömülü geliştirilmiş yapay arı kolonisi algoritması olan PEABTCS algoritması geliştirmişlerdir. Önerilen modelin performansını ölçmek için birçok simülasyon gerçekleştirmişler ve çeşitli algoritmalarla karşılaştırıldığında PEABKTS algoritmasının daha iyi performans gösterdiği tespit etmişlerdir. Zarzycki ve ark. (2021), belirlenen başlangıç noktası ile birden fazla varış noktasından biri arasındaki en uygun rotanın planlanmasını sağlamak amacıyla orijinal yapay arı kolonisi algoritması ile yeni fonksiyonlar eklenen değiştirilmiş yapay arı kolonisi arasında karşılaştırma yapmışlardır. Sonuçları gözlemleyebilmek amacıyla simülasyon yönteminden yararlanmışlar ve değiştirilmiş yapay arı kolonisi algoritmasının en uygun rotayı bulma konusunda daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır. Lei ve ark. (2022), dron ile araç rotalama problemi üzerine çalışarak işletmenin maliyetlerini azaltmak için dinamik yapay arı kolonisi algoritması adı verilen yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yeni algoritmanın performansını ölçebilmek amacıyla 112 tane deney üzerinde inceleme yapmışlar, deneyler sonucunda önerilen dinamik yapay arı kolonisi algoritmasının 37 tane yeni en iyi sonuç ürettiğini gözlemlemişlerdir.

Yeşil Araç Rotalama ve Yapay Arı Kolonisi ile ilgili literatür incelendiğinde; Zhang ve ark. (2014), kapasiteli araç rotalama problemini yeşil yani çevreci bir bakış açısıyla değerlendirerek araç rotalamanın çevre üzerindeki olumsuz etkisinin azaltmak amacıyla çevre üzerindeki en büyük etkiyi açıklayan emisyon karbon dioksit miktarını

göz önünde bulundurarak EVRP adı verilen yeni bir model önermişlerdir. Problemin çözümü için hibrit yapay arı kolonisi algoritmasından yararlanmışlar ve EVRP modeli ile yapay arı kolonisi algoritmasını kıyaslayarak hibrit algoritmanın performansını değerlendirmişlerdir. Yin ve Chuang (2016), çapraz yerleştirme ile yeşil tedarik zincirine katkıda bulunmak için yeşil araç rotalama problemi üzerine çalışmışlardır. Öncelikle daha önce üzerinde çalışılan bir sorunu ele almışlar, daha sonra araç amortisman giderleri ile işçilik maliyetlerini dahil eden işletme maliyetini yeniden tanımlamak ve çapraz yerleştirme yoluyla en düşük maliyetli yeşil araç rotalama planlamasını yapmak için yeni bir problem üzerine yoğunlaşmışlardır. Problemin çözümü için Hafızaya dayalı Yapay Arı Kolonisi algoritmasından yararlanmışlardır. Önermiş oldukları Bellek Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının literatürde mevcut olan TSA'ya göre daha yüksek yakıt verimliliği sağladığı ve daha az CO₂ salınımı yaptığı sonucuna vararak yeşil kavramına katkıda bulunmuşlardır. Ferreira ve ark. (2020), gelecekte yapılacak olan araştırmalara rehberlik edebilmek etmesi açısından yeşil araç rotalama problemi konusunda literatür araştırması yapmışlar, 76 makaleden oluşan 1744 araştırma sonucu elde etmişlerdir. Anket yoluyla elde ettikleri verileri ayrıntılı bir şekilde açıkladıklarından dolayı çalışmalarının özgün olduğunu vurgulamışlardır. Wang ve Szeto (2021), bisiklet yeniden konumlandırma problemi üzerine çalışmışlar, çalışmalarında hedeflenen envanter seviyesinden mutlak sapmanın ağırlıklı toplamını, istasyonlardaki kırık bisikletlerin neden olduğu cezayı ve yeniden konumlanan aracın CO₂ emisyonlarını en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Araç rotasını oluşturmak için Gelişmiş Yapay Arı Kolonisi algoritmasından yararlanmışlar, çözüm kalitesini artırmak için ise komşu arama operatörü kullanmışlardır. Orijinal yapay arı kolonisi algoritmasından farklı olarak gözcü arı çevresinde yeni ve daha iyi bir besin kaynağı, eskisinden ziyade mevcut tüm besin kaynakları arasında kalitesinin iyileştirilmesi için en başarısız denemelerin yerini alır; kâşif arı çevresinde, tükenen besin kaynağı, rastgele oluşturulmuş bir besin kaynağı yerine çevresinde bulunan yeni bir besin kaynağı ile değiştirilir.

Yeşil kavramı ve Yapay Arı Kolonisi ile ilgili literatür incelendiğinde; Kefayat ve ark. (2015), gaz türbini, yakıt hücreleri ve rüzgâr enerjisi gibi dağıtılmış enerji kaynaklarının dağıtım sistemlerindeki en iyi konumun bulunması ve boyutlandırılması problemi üzerine çalışmışlar ve problemin çözümü için Yapay Arı Kolonisi ve Karınca Kolonisi Algoritmasından oluşan, ACO-ABC algoritması adı verilen hibrit bir

yaklaşım önermişlerdir. Enerji kaynaklarının en iyi konumunu bulmak için ACO algoritmasından, kapasitesini hesaplamak için ise ABC algoritmasından yararlanmışlar; önerilen modeli test etmek için yapmış oldukları simülasyona göre ise önerilen hibrit yaklaşımın dağıtım optimizasyon problemlerinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışmaları sırasında güç kayıplarını en aza indirmeyi, trafo merkezleri ve kaynaklar tarafından üretilen toplam emisyonlarını en aza indirmeyi, toplam elektrik enerjisi maliyetini ve voltaj stabilitesini iyileştirmeyi hedeflemişler ve böylece yeşil kavramına katkıda bulunmuşlardır. Paliwal ve ark. (2019), doğadaki belirsizlik, dinamik piyasa teklifi ve talep profilleri nedeniyle kolay bir iş olmayan rüzgâr türbini, fotovoltaiik, dizel motor jeneratörleri ve pil depolama sisteminden oluşan bir mikro şebekede optimum enerji planlamasını üzerine çalışarak yeşil kavramına katkıda bulunmuşlardır. Çalışmaları sırasında ABC, GABC, PSO ve GA gibi algoritmalarından yararlanarak simüle edilmiştir. Simülasyon sonucuna göre GABC yönteminin arama ve işletme süreci karşılaştırmasında ABC, PSO ve GA yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Yousefi ve ark. (2020), nesnelerin internetinde veri aktarımı sırasında önemli bir konu olan enerji tasarruflu bir kümeleme mekanizması geliştirmek için yeni bir küme başı seçimi ve kümeleme modeli önermişlerdir. Çalışmaları sırasında cihazların artık enerjisini, tek atlamalı komşuların sayısını, her cihaz ile tek atlamalı komşuları arasındaki öklid mesafesini performans kriteri olarak göz önünde bulundurarak optimal küme başını belirlemek için ABC algoritmasından yararlanmışlardır. Önerilen modeli son teknoloji ile karşılaştırdıklarında önerilen modelin nesnelerin internetinde enerji tüketimini, kullanım ömrünü ve veri iletim gecikmesini iyileştirdiği sonucuna varmışlardır. Wang ve ark. (2020), literatürde önemli bir konu haline gelen demontaj karının nasıl arttırılacağı ve bu süreçte enerji tüketiminin nasıl azaltılacağı problemi üzerine çalışmışlar, yıkıcı demontaj modunu ilk kez demontaj hattına uyarlayarak kısmi yıkıcı demontaj hattı dengeleme modeli önermişlerdir. Önerilen model istasyon sayısı, pürüzsüzlük indeksi, demontaj karı ve enerji tüketimine odaklanarak demontaj hattının verimliliğini, ekonomik faydasını ve çevresel etkisini değerlendirmektedir. Önerdikleri modeli atık televizyon demontaj hattı üzerinde test etmişler ve problemin çözümü sırasında GA'dan yararlanmışlardır. GA'yı; ABC, PSO, ACO ile karşılaştırmışlar; değerlendirmeler sonucunda önerilen GA'nın daha iyi sonuç verdiğini ispatlamışlardır. İndekslerdeki değişim sayesinde önerilen demontaj modunun demontaj karını arttırabileceği ve enerji tüketimini azaltabileceği sonucuna

vararak yeşil kavramına katkıda bulunmuşlardır. Li ve ark. (2020), çok amaçlı esnek atölye çizelgeleme probleminin analizine bağlı olarak, değişken işlem hızı kısıtlaması olan MLFJSP problemi üzerine çalışmışlardır. Problemi çözerken üretim süresini, toplam karbon emisyonunu ve makine yüklemesini en aza indirmeyi amaçlamışlar; problemin çözümü için IABC tasarlamışlardır. Algoritmanın geliştirilmesine yönelik olarak daha iyi bir başlangıç popülasyonu oluşturmak için etkili bir üç boyutlu kodlama/kod çözme mekanizması ve karma bir başlatma stratejisi tasarlamışlar, işçi arı çevresindeki popülasyonun çeşitliliğini artırmak için özel çaprazlama ve mutasyon operatörleri tasarlamışlar, gözcü arı evresindeki yerel arama sürecini geliştirmek için verimli bir dinamik komşu araması uygulamışlar, kâşif arı evresini geliştirmek için ise yeni gıda kaynakları üretme stratejisi önermişlerdir. Önermiş oldukları algoritmanın performansını değerlendirmek için önerilen IABC yöntemini MOPSO, MODE ve NSGA-II ile karşılaştırmışlar, IABC yönteminin MLFJSP'yi çözmek için daha iyi bir performans gösterdiği sonucuna varmışlardır. Jiang ve ark. (2021), karmaşık süreçlere sahip esnek bir atölyede havacılık ve uzay kompleksi bileşenleri için enerji tasarruflu çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Atölyenin üretim verimliliğini arttırmak, enerji tüketimini azaltmak ve işletme maliyetleri düşürmek için parti bölme çizelgeleme modeli önermişler, kombinatoriyal problemin çözümü için Yapay Arı Kolonisi Algoritmasından yararlanmışlardır. Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için simülasyondan yararlanmışlar, önerilen model ve algoritmanın enerji tüketimini etkin bir şekilde azaltabileceği, üretim süresini kısaltabileceği ve atölyede çeşitli kaynakların kullanımını iyileştirebileceği sonucuna varmışlardır.

Sipariş Toplama, sipariş gruplama ve Yapay Arı Kolonisi ile ilgili literatür incelendiğinde; Li ve Zhou (2013), bir depoda sipariş toplama problemi üzerine çalışmışlar ve problemin çözümü için yapay arı kolonisi algoritmasını genetik algoritma ile karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sırasında simülasyondan da yararlanarak önerilen yapay arı kolonisi algoritmasının, farklı ölçekli sipariş toplama problemlerini optimize etme konusunda daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır. Saucedo ve ark. (2019), gıda bankalarındaki sipariş toplama sorununu çözmek ve optimizasyonu sağlamak için hangi parametrelerin en fazla katkı sağladığını belirlemek amacıyla dokuz parametre seti üzerinde inceleme yapmışlar, problemin çözümü için Yapay Arı Kolonisi algoritmasından yararlanmışlardır. Hojaghani ve ark. (2021), üzerinde çalışmış oldukları deponun performansını iyileştirmek ve depoya gelen siparişleri

gruplandırmak için Karma-Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama modeli önermişlerdir. Önerilen yöntem ile devir süresini ve boşta kalma süresini en aza indirmek amaçlamışlar, ek olarak blokeli bir depoda her bir bloke için bir toplayıcı ile Blokeli Depoda Çevrimiçi Sipariş Toplu İşleme adı verilen sipariş gruplama modeli önermişlerdir. Önerilen modeli YAKA ve ACO ile çözmüşler, ACO'nun daha iyi değerler verdiği sonucuna varmışlardır. Zhuang ve ark. (2021), otonom robotlardan ve bir grup çalışandan oluşan bir depoda sipariş toplama sürelerini en aza indirmek amacıyla heterojen MRS işbirlikçi görev planlaması ile ilgilenmişlerdir. Heterojen MRS'lerin işbirlikçi görev planlamasının optimal şemasını elde etmek için bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişler, elde edilen çözümlerin performansını arttırmak amacıyla tabu arama algoritmasından ve yapay bağışıklık algoritmasından bazı kavramları içine alan etkili bir hibrit yapay arı kolonisi algoritmasından yararlanmışlardır. Yapmış oldukları karşılaştırmalar sonucunda ABC-AI, ABC-TSA ve Hibrit ABC adı verilen bu üç metasezgisel algoritmanın ABC algoritmasına kıyasla önemli iyileştirmeler sağladığı sonucuna varmışlardır.

Tablo 2.3 ile YAKA ile ilgili literatür araştırmasının özeti olarak nitelendirilebilen, yazarların üzerine çalışmış oldukları konuları ve problemlerinin çözümü sırasında kullanmış oldukları çözüm algoritmaları gösterilmiştir.

Tablo 2.3. YAKA ile yapılan çalışmaların konusu ve çözüm algoritması.

Yazar(Yıl)	Çalışmanın konusu	Çözüm algoritması
Szeto ve ark. (2011)	Araç rotalama	ABC, geliştirilmiş ABC
Li ve Zhou (2013)	Sipariş toplama	ABC, GA
Zhang ve ark. (2014)	Yeşil kapasiteli araç rotalama	ABC, Hibrit ABC
Kefayat ve ark. (2015)	Çok amaçlı optimizasyon	ACO-ABC
Yin ve Chuang (2016)	Yeşil araç rotalama	Hafızaya dayalı ABC, TSA
Yao ve ark. (2017)	Zaman pencereli araç rotalama	Geliştirilmiş ABC
Ng ve ark. (2017)	Kapasiteli araç rotalama	MC-ABC, ABC
Sedighzadeh ve Mazaheripour (2018)	Araç rotalama	PSO-ABC
Davoodi ve ark. (2019)	Araç rotalama	ABC-GA
Saucedo ve ark. (2019)	Sipariş toplama	ABC
Paliwal ve ark. (2019)	Enerji Planlama	ABC,GABC, PSO, GA

Tablo 2.3. (Devamı) YAKA ile yapılan çalışmaların konusu ve çözüm algoritması.

Yazar(Yıl)	Çalışmanın konusu	Çözüm algoritması
Chen ve ark. (2020)	Yönlendirme problemi	PEABTCS
Ferreira ve ark. (2020)	Literatür Araştırması	-
Yousefi ve ark. (2020)	Enerji verimliliği	ABC
Wang ve ark. (2020)	Enerji verimliliği	GA, ABC, PSO, ACO
Li ve ark. (2020)	Atölye çizelgeleme	IABC, MOPSO, MODE NSGA-II
Jiang ve ark. (2021)	Çizelgeleme problemi	ABC
Wang ve Szeto (2021)	Yeşil araç rotalama	ABC
Zarzycki ve ark. (2021)	Rota planlama	ABC
Hojaghani ve ark. (2021)	Sipariş gruplama	ABC, ACO
Zhuang ve ark. (2021)	Sipariş toplama	ABC-AI, ABC-TSA, Hibrit ABC

3. SİPARİŞ SIRALAMA PROBLEMİ

3.1. Problemin Tanımlanması

Bu çalışma süt ve süt ürünlerinin muhafaza edildiği bir soğuk hava deposunda enerji verimliliği sağlayarak yeşil kavramının depolar üzerine uyarlanması amacıyla yapılmıştır. İncelenen bu soğuk hava deposunda muhafaza edilen ürünler depolanması gereken sıcaklıklar ve ürün çeşidi gibi özelliklerine göre, ayrı ayrı odacıklarda depolanmaktadır. Problemimize göre, soğuk hava deposuna gelen siparişlerin herhangi bir toplama sırasının olmamasından dolayı depoya ilk gelen sipariş ilk sırada toplanmaktadır. Siparişlerin plansız toplanması odacıkların kapısının sürekli açılıp kapanmasına neden olmakta ve böylece odacıklar ile dış ortam arasında ısı alışverişi meydana gelmektedir. Dış ortamdan odacıklara doğru gerçekleşen bu ısı alışverişi, ürünlerin muhafaza edilmesi gereken sıcaklık değerinden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle soğutucuların fazladan enerji harcaması gerekmekte ve bu durum enerji maliyetlerini arttırmaktadır. Soğuk hava deposunda karşılaşılan bu problem üzerine, mevcut depo içerisindeki enerji verimini arttırabilmek ve yeşil kavramını soğuk hava deposuna uyarlayabilmek amacıyla bir çalışma yapılacaktır.

3.2. Matematiksel Model

Yeşil sipariş sıralama modeli

- Parametreler

U_{kj} = k . üründen j . ürüne ulaşım süresi

T_{kin} = k ürününe i . siparişte n . sırada varış zamanı

L_{kin} = k ürününden i . siparişte n . sırada çıkış zamanı

O_{kip} = k ürünü i . siparişte p . sıradayken depo uygun sıcaklığına ulaşmadıysa amaç fonksiyonuna eklenecek değer

K_{kip} = k ürünü i . siparişte p . sıradayken depo uygun sıcaklığına ulaşmış olsa bile amaç fonksiyonuna eklenecek değer

S_k = İşlem süresi

Teta = Deponun uygun sıcaklığa ulaşacağı süre (dk)

Alfa= = Deponun uygun sıcaklığa ulaşmış olmasına rağmen amaç fonksiyonuna eklenecek sabit sayı

$$M = (L_{kip} * H_{ki} - L_{ken} * H_{ki} * X_{ip}) * X_{en} * H_{ke} \quad (3.1)$$

- İndisler

k, f, g = Ürünler

i, e, m =Siparişler

n, p, z =Sipariş sırası

k_0 = Kapı

- Değişkenler

$$X_{in} = \begin{cases} \text{i. sipariş n. sırada ise} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \\ \text{diğer} & \end{cases}$$

$$Y_{kji} = \begin{cases} \text{k. üründen j. ürüne i. siparişte gidiliyorsa} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \\ \text{diğer} & \end{cases}$$

$$H_{ki} = \begin{cases} \text{k. ürün i. siparişte ise} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \\ \text{diğer} & \end{cases}$$

$$Z = \begin{cases} G \geq \text{Teta} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \\ \text{diğer} & \end{cases}$$

$$P = \begin{cases} G \leq \text{Teta} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \\ \text{diğer} & \end{cases}$$

- Amaç fonksiyonu

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P (O_{kip} + K_{kip}) \quad \begin{matrix} \forall i, k, n & k \neq 0 \\ p = n + 1 & i \neq e \end{matrix} \quad (3.2)$$

- Kısıtlar

$$\sum_{n=1}^N X_{in} = 1 \quad \forall i \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{in} = 1 \quad \forall n \quad (3.4)$$

$$L_{kin} = 0 \quad \forall i \quad k = 0 \quad n = 1 \quad (3.5)$$

$$L_{kin} = (1 - X_{iz}) * L_{kin} \quad \forall i, n, k \quad n \neq z \quad (3.6)$$

$$O_{kip} = ((L_{kip} * H_{ki} - L_{ken} * H_{ki} * X_{ip}) * X_{en} * H_{ke}) * (1 - Z) \quad \forall i, k, n \quad k \neq 0$$

$$p = n + 1 \quad i \neq e \quad (3.7)$$

$$K_{kip} = ((\text{Alpha}) * (1 - P)) \quad \forall i, k, n \quad k \neq 0$$

$$p = n + 1 \quad i \neq e \quad (3.8)$$

$$T_{fin} = X_{in} * Y_{kfi} * [(L_{kin} + U_{kf}) * Y_{kfi}] + T_{fin} * (1 - X_{in}) + \quad \forall i, k, n, f$$

$$T_{fin} * X_{in} * (1 - Y_{kfi}) \quad k \neq f \quad (3.9)$$

$$T_{fin} = T_{fin} - T_{fin} * X_{in} * (1 - \sum_{k=0}^K Y_{kfi}) \quad \forall i, f, n \quad k \neq f \quad (3.10)$$

$$T_{fin} = T_{fin} * X_{in} \quad \forall i, f, n \quad (3.11)$$

$$L_{kin} = H_{ki} * X_{in} * (T_{kin} + S_k) \quad \forall i, k, n \quad k \neq 0 \quad (3.12)$$

$$L_{gip} = X_{mn} * X_{ip} * T_{gmn} + (1 - X_{mn}) * L_{gip} \quad \forall i, g, m, n, p \quad i \neq m$$

$$p = n + 1 \quad g = 0 \quad (3.13)$$

$$X_{in} \in \{1,0\}, Y_{kfi} \in \{1,0\}, H_{ki} \in \{1,0\}, Z \in \{1,0\}, P \in \{1,0\} \quad (3.14)$$

Önerilen model doğrusal olmayan ve binary bir model olmakla beraber, sipariş süresini minimize edecek bir amaç fonksiyonuna ve toplam on iki adet kısıta sahiptir. Denklem (3.2) ile ifade edilen amaç fonksiyonu siparişler arası kapı açılma sürelerini minimize ederek, enerjiden tasarruf sağlayıp maliyetleri düşürmeyi sağlamaktadır. Denklem (3.3) ile ifade edilen birinci kısıt, her siparişin tek bir sıraya ait olmasını sağlamaktadır. Denklem (3.4) ile ifade edilen ikinci kısıt, bir sıranın tek bir siparişe ait olmasını sağlamaktadır. Denklem (3.5) ile ifade edilen üçüncü kısıt, her siparişin rampadan çıkış zamanının sıfır olmasını sağlamaktadır. Denklem (3.6) ile ifade edilen dördüncü kısıt ile bir sipariş bir sıraya aitse başka sıraya ait olmaması ve her ürün için bu sıradaki sipariş dışındaki siparişlerin çıkış zamanının sıfır olması sağlanmaktadır. Denklem (3.7) ile ifade edilen beşinci kısıt ile siparişler arasındaki süreler farkının teta değerinden küçük olması durumunda deponun henüz uygun sıcaklığa ulaşmamış olması, klimaların çalışmasını gerektirdiği için bu değer amaç fonksiyonuna eklenmesi sağlanmaktadır. Denklem (3.8) ile ifade edilen altıncı kısıt ile siparişler arasındaki süreler farkının teta değerinden büyük olması durumunda deponun uygun sıcaklığa ulaşmış olmasına rağmen bu sıcaklıkta sabit kalabilmesi için klimaların çalışması gerektiğinden sabit bir alfa değerinin amaç fonksiyonuna eklenmesi sağlanmaktadır. Denklem (3.9) ile ifade edilen yedinci kısıt, eğer bir sipariş bir sıraya

aitse ve bir üründen diğerine gidiş söz konusu ise birinci üründen çıkış zamanıyla ulaşım süresinin toplamı ikinci ürüne varış zamanını vermektedir. Denklem (3.10) ile ifade edilen sekizinci kısıt, bir üründen diğerine gidiş söz konusu değilse ve bir sipariş bir sıraya atandıysa bir ürüne varış zamanının sıfır olduğunu göstermektedir. Denklem (3.11) ile ifade edilen dokuzuncu kısıt, bir sipariş bir sıraya atanmadıysa bir ürüne varış zamanının sıfır olduğunu göstermektedir. Denklem (3.12) ile ifade edilen onuncu kısıt; bir ürün bir siparişe aitse ve o siparişte bir sıraya atandıysa, bir üründen çıkış zamanının o ürüne varış zamanıyla işlem süresinin toplamına eşit olduğunu göstermektedir. Denklem (3.13) ile ifade edilen on birinci kısıt, sipariş toplama işlemi sonlandığında toplanan siparişin rampaya varış zamanıyla bir sonraki siparişin rampadan çıkış zamanının birbirine eşit olduğunu göstermektedir. Denklem (3.14) ile ifade edilen on ikinci kısıt ise değişkenlerin sıfır olması gerektiğini göstermektedir.

4. METASEZGİSEL ALGORİTMALAR.

4.1. Genetik Algoritma

4.1.1. Tanım ve özellikleri

Yapay zeka, doğadan ve canlılarından esinlenerek problemlere çözüm bulmayı amaçlamıştır. Yapay zekanın alt dalı olan Genetik Algoritmalar, biyolojideki evrim teorisinden esinlenerek gelişmiştir. John Holland, Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek Genetik Algoritma konusunda çalışmalar yapan ilk kişidir (Karaboğa, 2018). Holland ve arkadaşları çalışmalarının sonucunda "Adaption in Natural and Artificial Systems" isimli kitabı çıkartmışlardır (Karaboğa, 2018). Holland (1975), genetik süreci bilgisayar ortamına taşımış, basit bit dizilerini kullanarak karmaşık yapıların kodlanabileceğini göstermiştir. Bir mekanik yapıyı geliştirmek yerine, bu yapıyı belirli genetik operatörlerden geçerek başarılı ve yeni bireyler oluşturabileceğini görmüştür. Çalışmalarının sonucunu kitabında yayınladıktan sonra geliştirdiği yöntem Genetik Algoritma adını almıştır. Holland'ın öğrencisi olan Goldberg (1989), gaz boru hatlarının denetiminde, Kombinatoryal Genetik Algoritma kullanarak doktora tezini yapmış ve Genetik Algoritmanın uygulanabilirliğini ispat etmiştir. Goldberg (1989), yazmış olduğu kitabında Genetik Algoritma ile ilgili 83 adet uygulamaya yer vermiş, Genetik Algoritmanın farklı konular üzerinde uygulanabileceğini göstermiştir.

Optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılan ve metasezgisel bir yöntem olan genetik algoritma, rastgele araştırma algoritmalarının bir türüdür. Genetik Algoritma, bir başlangıç popülasyonunun oluşturulması ile başlar ve bu popülasyondaki bireyler genetik algoritmanın operatörleri olan doğal seçim, çaprazlama, mutasyon gibi operasyonlara uğrayarak en uygun yani en kaliteli bireyi bulmaya çalışır. Algoritmanın sonunda bulunan en kaliteli birey ise optimum veya optimuma yakın çözümü vermektedir. Bulunan çözüm her zaman optimum çözüm olmasa bile optimuma yakın çözümdür (Karaboğa, 2018).

4.1.2. Genetik algoritma adımları

Genetik Algoritmanın aşamaları aşağıda adım adım açıklanmıştır.

1. Başlangıç: n adet kromozom içeren başlangıç popülasyonunun rastgele bir şekilde oluşturulması
2. Uygunluk: Amaç fonksiyonundan yararlanarak her kromozom için amaç fonksiyonu değerinin (Uygunluk fonksiyonu değeri) bulunması
3. Seçilim: Rulet tekerleği tekniği, Turnuva yöntemi tekniği gibi yöntemlerden yararlanarak başlangıç popülasyonundaki bireylerin içinden kalitesi yüksek olanların hayatta kalıp, kalitesi düşük olanların ise elenmesi
4. Çaprazlama: Hayatta kalan bireyler arasında eşleşme yapılarak, bu bireylerden yeni ve melez bireylerin ortaya çıkması
5. Mutasyon: Belirlenen mutasyon olasılığına göre bireylerin kromozomundaki genlerin yer değiştirmesi
6. Kontrol: Yeni popülasyonun oluşmasının ardından sonuçlar istenileni veriyorsa Genetik Algoritmanın durdurulup yeni popülasyonun son popülasyon olarak gösterilmesi, eğer sonuçlar istenileni vermiyorsa Adım-2'ye geri dönülmesi (Potvin ve ark, 1996)

Metasezgisel bir yöntem olan genetik algoritmaya başlarken öncelikle genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli faktörlerden biri olan başlangıç popülasyonu oluşturulur. Oluşturulan başlangıç popülasyonunda bulunan her bir bireyin uyumluluk değeri hesaplanır. Daha sonra bir döngü içerisinde, popülasyon içerisinde bulunan bireylerden kaliteli olan bireylerin hayatta kalıp sayılarını arttırması ve kalitesi düşük olan bireylerin elenerek azalması için doğal seçim operasyonu, iyi çözümlerden daha iyi çözümler elde etmek için çaprazlama operasyonu ve daha önce ortaya çıkmamış olan bireylerin ortaya çıkabilmesi için mutasyon operasyonları uygulanarak yeni popülasyonlar oluşturulur. Döngü sonucunda en iyi uyumluluk değerine sahip olan birey elde edilir ve elde edilen bu birey optimum veya optimuma yakın çözümü vermiş olur. Genel adımları ile beraber Genetik algoritmanın sözde kodu Tablo 4.1 ile verilmiştir (Karaboga ve ark, 1997).

Tablo 4.1. Genetik algoritma sözde kodu.

Genetik algoritma	
begin :	
	Parametreleri belirle ve
	Başlangıç popülasyonunu oluştur
while {	
1.	Başlangıç popülasyonunu oluşturan her bir kromozomun uygunluk değerini hesapla
2.	Kalitesi yüksek olan bireylerin düşük kaliteli bireylerden ayrılması için doğal seçim operatörünü uygula
3.	Hayatta kalan bireylerden yeni bireyler elde etmek için çaprazlama operatörünü uygula
4.	Kromozomda bulunan genlerin yerini değiştirerek yeni birey elde etmek için mutasyon operatörünü uygula
5.	En iyi bireyi hafızaya al
6. } end	
	en iyi birey sonucunu ver ve SONLANDIR

4.2. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

İnsan zekasını taklit edip doğadaki davranışlardan örnek alarak elde edilen verilerle kendisini geliştirme ve yenileyebilme niteliklerine sahip makineler anlamına gelen yapay zeka, bilgisayarların insanlar gibi düşünmesini sağlayarak karmaşık sorunların tıpkı insan gibi çözmesine yardımcı olmaktadır. Yapay zekanın en önemli tekniklerinden biri ise birçok karmaşık ve farklı problemin çözümüne yardımcı olan metasezgisel algoritmalar. Doğal evrim, insanlar, bitkiler, ekosistem, böcek ve kuş gibi hayvanların davranışları metasezgisel algoritmaların gelişmesinde rol oynamaktadır (Kaya ve ark, 2022). Sürü tabanlı bir meta-sezgisel algoritmalarından biri olan Yapay Arı Kolonisi Algoritması, bal arılarının besin bulma davranışından yararlanarak sayısal problemleri optimize etmek amacıyla 2005 yılında Karaboğa tarafından bulunmuştur (Karaboga, 2010).

Nektar miktarı en fazla olan çiçek parçalarını bulmayı hedefleyen ABC algoritması; işçi arılar, gözcü arılar ve kâşif arılar olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır (Hussain ve ark, 2020). Besin kaynaklarının araştırılması ve en iyi besinin bulunması sürecinde farklı arı türleri farklı roller oynamaktadır. Besin kaynağını seçmek amacıyla dans alanında bulunan arı gözcü arı olarak, daha önce ziyaret ettiği besin kaynaklarına tekrar giden arı işçi arı olarak, rastgele bir şekilde arama yapan arı kâşif arı olarak adlandırılmaktadır (Karaboga ve Basturk, 2007). ABC algoritmasında her bir işçi arı, yeni besinler bulmak amacıyla arama uzayına gönderilerek besin kaynakları ile

eşleşmektedir. İşçi arılar, bu yeni arama sırasında daha iyi bir besin kaynağı ile karşılaşırsa önceki besin kaynağını terk etmekte ve daha kaliteli olan besin kaynağını tercih ederek kovana geri dönmektedir. İşçi arıları kovanda bekleyen gözcü arılar, işçi arıların paylaşmış olduğu mevcut besin kaynak bilgisine göre yeni besin kaynağı aramaya başlamaktadır. Gözcü arılar, işçi arıları takip etmeyi seçtiğinde işçi arı olarak döngüye devam etmekte ve işçi arıların operasyonunu tekrarlamaktadır. Görevi daha kaliteli besin kaynağı bulmak olan kâşif arılar ise kovanın yakınlarında rastgele bir şekilde besin kaynağı aramak durumundadır. Besin kaynağının tükenmesi durumunda ilgili işçi arı kâşif arı olur ve kâşif arıların operasyonunu tekrarlayarak rastgele yeni bir besin kaynağı bulmaktadır (Zhang ve ark, 2014).

4.2.1. Arıların doğadaki davranışı

ABC algoritması, bal arılarının çiçeklerden besin toplarken sergilemiş olduğu birtakım davranışlardan esinlenerek ortaya çıkmış ve temeli sürü zekasına dayanan bir algoritmadır. Doğada birçok sürü çeşidi vardır ve zeki seviyeleri sürüden sürüye değişmektedir. Kendi kendine örgütlenme kabiliyeti, kolektif davranışlar ile sonuçlanan sürü sisteminin temel özelliğidir (Bonabeau ve ark, 2003). Bal arısı sürülerinin kolektif zekasının ortaya çıkmasına yol açan minimum yem seçimi modeli; besin kaynakları, görevli arılar ve görevsiz arılar olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır (Karaboga ve Akay, 2009).

1. Besin Kaynağı: Bal arıları nektar, polen, bal gibi besin kaynakları ararken bulmuş oldukları kaynakları; besinin zenginliği, kaynağın kovana yakınlığı, besinin tadı ve kalitesi gibi birçok açıdan değerlendirirler (Tereshko ve Loengarov, 2005).
2. Görevli Arılar: Görevli arılar, mevcutta bulunmuş olan besin kaynakları ile ilişkilidir. İşçi arılar olarak da isimlendirilebilen görevli arılar, bulmuş oldukları besin kaynaklarının kovana olan uzaklığı, yönü ve kaynağın karlılığı ile ilgili bilgileri kovandaki diğer arılar ile paylaşmakla görevlidir. Görevli arılar, besin kaynağı ile ilgili olan bilgileri sallanma dansı hareketiyle diğer arılarla paylaşmaktadır. Bulunmuş olan besin kaynağının karlılığı ne kadar fazla ise görevli arının dans hareketi ve bilgilerini paylaşma olasılığı da o kadar yüksek olmaktadır (Tereshko ve Loengarov, 2005).
3. Görevsiz Arılar: Görevsiz arılar, görevli arılardan almış oldukları besin bilgilerinden faydalanarak besin kaynağı arayan arılardır. Görevsiz arılar, gözcü arı ve kâşif arı olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Gözcü arılar, kovanda bekleyerek işçi

arılar dans etme yoluyla iletmış olduğu besin bilgilerini hafızada tutup yeni kaynak aramak ile görevlidir. Kaşif arılar ise diğer arıların toplamış olduğu kaynak bilgisinden etkilenmeden kovanın çevresinde yeni besin kaynağı aramakla görevlidir. Mevcut besin kaynaklarının tükenmesi durumunda ise ilgili kaynakla ilgilenen arı kaşif arıya dönüşmektedir (Tereshko ve Loengarov, 2005).

4.2.2. Yapay arı kolonisi adımları

Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının ana adımları aşağıda belirtilmiştir (Karaboga ve Basturk, 2007).

1. Başlangıç besin kaynaklarını üretilmesi ve kontrol parametrelerine ilgili değerlerin atanması
2. Yeni besin kaynaklarının belirlenmesi için görevli arıların besin kaynağı bölgelerine gönderilmesi
3. Görevli arılardan gelen besin bilgilerine göre olasılıksal seçim için olasılık değerlerinin belirlenmesi
4. Hesaplanan olasılık değerine göre gözcü arıların besin kaynağı bölgelerine gönderilmesi
5. Terk edilecek kaynağın belirlenmesi ve ilgili arının kâşif arıya dönüştürülmesi

Genel adımları ile beraber YAKA'nın sözde kodu Tablo 4.2 ile verilmiştir (Karaboga ve Basturk, 2007).

Tablo 4.2. Yapay arı kolonisi sözde kodu.

Yapay arı kolonisi algoritması
begin:
Parametreleri belirle
do
while {
1. Yeni besin kaynaklarının bulunması için işçi arı safhası
2. İşçi arılardan almış oldukları bilgilere göre besin arayan gözcü arı safhası
3. Görevli arılardan etkilenmeyerek yeni besin kaynağı arayan kaşif arı safhası
4. En iyi besin kaynağını hafızaya al
5. } end
en iyi besin sonucunu ver ve SONLANDIR

Derviş Karaboğa tarafından geliştirilen ABC algoritması, kaliteli besin kaynağı ararken bal arılarının davranışlarından esinlenerek ortaya çıkan yeni bir sürü zekası tabanlı algoritma olarak tanımlanabilmektedir. Algoritma geliştirilirken toplam besin

kaynağı adedinin toplam görevli arı sayısına eşit olduğu, işçi arı sayısının gözcü arı sayısına eşit olduğu, besin kaynağında besinin bitmesi durumunda kaynakla ilgilenen arının kâşif arıya dönüştüğü varsayılmıştır (Karaboğa, 2018).

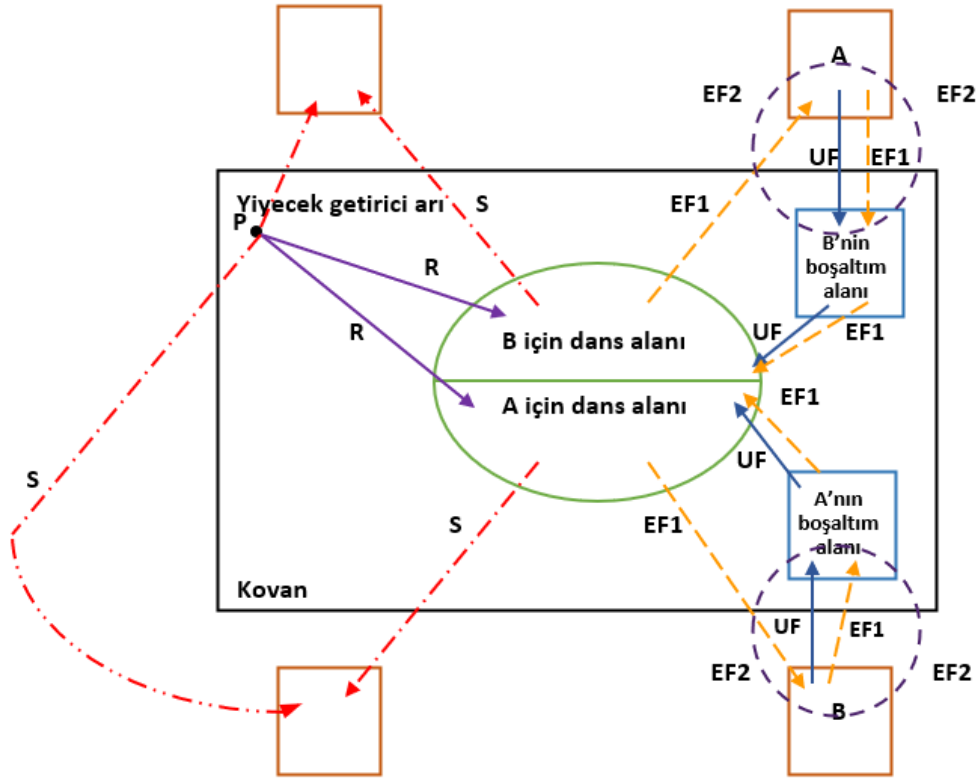
YAKA'da işçi arı, gözcü arı ve kâşif arı olmak üzere üç tür arı grubu bulunmaktadır. Daha önce ziyaret edilmiş olan besin kaynaklarını ziyaret eden arı işçi arı, işçi arının aktarmış olduğu bilgiler ile besin kaynağı arayan ve dans alanında bekleyen arı gözcü arı, hiçbir arı grubundan etkilenmeyerek rastgele bir şekil besin arayışı içerisinde olan arı kâşif arı olarak adlandırılmaktadır. Algoritmanın ilk yarısı içi ve gözcü arıları içerisinde bulunduran görevli yapay arılardan, ikinci yarısı ise kâşif arıları içerisinde bulunduran görevli arılardan oluşmaktadır (Karaboga ve Basturk, 2007).

Algoritmada en önemli olay işçi arı, gözcü arı ve kâşif arılar arasındaki bilgi alışverişidir. Arıların besinlerin kaliteleri ile ilgili bilgi aktarabilecekleri yer ise kovan içerisinde bulunan dans alanlarıdır (Karaboga ve Akay, 2009). Besin kaynağı arayışından dönen bir arı, kovanda bulunan diğer arılara bulmuş olduğu besin kaynağının yönünü, kovana olan uzaklığını ve kalitesini kuyruk dansı (Waggle Dance) adı verilen dans türü ile iletebilmektedir. Kuyruk dansı, bilgi aktaracak olan arının karnını kuvvetli bir şekilde bir yandan diğer yana salladığı, ardından sola veya sağa döndüğü ve sekiz rakamını izleme sürecinde sallanmayı tekrarlamak için geri döndüğü doğrusal bir hareket olarak tanımlanabilmektedir (Preece ve Beekman, 2014). Kuyruk dansı kovanda bulunan arılara besin kaynağının karlılığı ile ilgili bilgi vermekte ve bu karlılık durumuna göre dans alanında bekleyen arıların besin kaynağına ulaşması konusunda yardımcı olmaktadır. Kuyruk dansının süresi besin kaynağına olan mesafe arttıkça artmakta ve dans eden arının dairesel dönüş hızı ile ölçülen dansın hızı, yiyecek arayan arı tarafından algılanan kaynağın kalitesi ile ilişkilidir (Seeley, 1995).

Bal arılarının yiyecek arama davranışı söz konusu olduğunda, kendi kendine organize olma durumunun dayandığı dört özellik aşağıda belirtilmiştir (Karaboga ve ark, 2014).

1. Olumlu geribildirim: Bir besin kaynağının besin miktarı ne kadar fazla ise ilgili besin kaynağını ziyaret eden gözcü arı sayısı da o kadar fazladır.
2. Olumsuz geribildirim: Olumlu geribildirimlerin dengelenmesi konusunda yardımcı olmaktadır. Kaliteli olmayan besin kaynaklarının kullanılması arılar tarafından engellenmektedir.

3. Dalgalanmalar: Kâşif arılar, yeni besin kaynakları keşfedebilmek için rastgele bir şekilde arama süreci yönetirler.
4. Çoklu Etkileşimler: Görevli arılar, mevcut besin kaynakları ile ilgili bilgileri kovanda bulunan ve dans alanında bekleyen gözcü arılar ile paylaşır.



Şekil 4.1. Besin kaynağı arayan bal arısının davranışı, Karaboga ve Akay (2009) tarafından uyarlanmıştır.

Şekil 4.1 ile besin kaynağı arayan bal arılarının davranışları gösterilmektedir. Şekil 4.1 ile gösterilen A ve B, keşfedilmiş olan yeni besin kaynaklarını ifade etmektedir. Başlangıçta besin kaynağı arayan arılar 2 farklı yolu tercih edebilmektedir.

1. Şekil 4.1’ de “S” ile ifade edilen kâşif arılar, bazı içgüdüler veya dış ipuçları sayesinde yeni kaynaklar keşfedebilmektedir.
2. Şekil 4.1’ de “R” ile ifade edilen gözcü arılar, mevcut besin kaynaklarından gelen işçi arıların dans figürleri yardımıyla besin kaynağına gidebilmektedir.

Kaynağı keşfedip kovana döndükten sonra ilgili arı 3 farklı yolu tercih edebilmektedir.

1. Besin kaynağını terk ettikten sonra kaynağa geri dönüş yapmayan ve Şekil 4.1’de “UF” ile gösterilen görevsiz işçi arı olabilmektedir.

2. Şekil 4.1’de “EF1” ile gösterilen arı olup kuyruk dansı aracılığıyla ilgili kaynaktan elde etmiş olduğu bilgiyi kovandaki diğer arılar ile paylaşır kaynağa tekrar geri dönüş yapabilmektedir.
3. Şekil 4.1’ de “EF2” ile gösterilen arı olup bilgiyi diğer arılara aktarmadan kaynağa geri dönüş yapabilmektedir.

4.2.3. Yapay arı kolonisi algoritmasının evreleri

Adım 1: Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

YAKA’da besin kaynağının yeri problemde olabilecek olası bir çözümü temsil etmekte ve nektar miktarı ilgili olası çözümün kalitesini göstermektedir. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması aşamasında, arılar tarafından rastgele bir şekilde besin kaynağı seçilir ve nektar miktarları belirlenir. Nektar miktarları belirlendikten sonra ilgili arılar kovana gelerek besin kaynaklarının nektarları ile ilgili olan bilgileri dans figürleri ile kovanda bekleyen diğer arılara iletirler.

Başlangıç popülasyonu oluşturulurken alt ve üst sınırlar belirlenerek (4.1)) denkleminde yararlanılır, böylece alt ve üst sınırlar aşılmadan rastgele bir şekilde başlangıç popülasyonu üretilmiş olur. Burada D ile problemdeki değişkenlerin sayısı, x_i ile ise başlangıç popülasyonundaki i . besin kaynağı ifade edilmektedir. x_{min}^j ve x_{max}^j , j . yönde bulunan x_i ’nin alt ve üst sınırlarını belirtmektedir (Karaboga ve Akay, 2009).

$$x_i^j = x_{min}^j + rand[0,1](x_{max}^j - x_{min}^j) \quad \forall j = 1, 2, 3, \dots, D \quad (4.1)$$

Adım 2: İşçi arı evresi

YAKA’da, işçi arı sayısının besin kaynağı sayısına eşit olduğu kabul edilmektedir. İşçi arılar hafızalarında tutmuş oldukları besin kaynakları dışında, çevrelerinde daha fazla ve kaliteli nektarı olan besin kaynağı aramakla görevlidirler. İşçi arılar, farklı bir besin kaynağı bulduklarında yeni besin kaynağının uygunluk değerini hesaplayarak hafızasında bulunan besin kaynağı ile karşılaştırma yapar ve bir seçim gerçekleştirir. Yeni bulmuş oldukları besin kaynağının uygunluk değeri hafıza bulunan besin kaynağının uygunluk değerinden daha iyi ise işçi arı hafızasındaki besin kaynağından uzaklaşarak yeni besin kaynağına doğru yönelir. Bu değişim (4.2) denklemi ile gösterilmiştir (Karaboga ve Basturk, 2007).

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - k_{ij}) \quad (4.2)$$

Burada $k \in \{1, 2, \dots, SN\}$ ve $j \in \{1, 2, \dots, D\}$ rastgele olarak seçilmiş iki indeks, $\varphi_{ij} [-1, 1]$ aralığındaki rastgele bir sayıyı temsil etmektedir. x_{ij} , etrafında bulunan besin kaynaklarının üretimini kontrol etmektir (Karaboga ve Akay, 2009).

Adım 3: Gözcü arı evresi

İşçi arılar, güncel besin kaynaklarının uygunlukları ile ilgili bilgileri, dans ederek kovanda bekleyen gözcü arılar ile paylaşırlar. Gözcü arılar, işçi arılardan almış oldukları bilgiler doğrultusunda besin kaynaklarını belirli bir olasılıksal değere göre seçerler. Bu olasılıksal değer p_i ile gösterilmektedir ve p_i değeri, (4.3) denklemine göre hesaplanmaktadır (Karaboga ve Basturk 2007).

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n} \quad (4.4)$$

Burada fit_i , i . besin kaynağının uygunluk değerini, SN ise popülasyondaki toplam besin kaynağı sayısını ifade etmektedir. Olasılıksal değer hesaplandıktan sonra gözcü arılar, işçi arı evresinde olduğu gibi $v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - k_{ij})$ denkleminde yararlanarak besin kaynağı değişikliği yaparlar. Yeni bulmuş oldukları besin kaynağının uygunluk değeri bir önceki besin kaynağının uygunluk değerinden daha iyi ise gözcü arı yeni besin kaynağını hafızasına alır.

Adım 4: Kaşif arı evresi

YAKA’da, her iterasyon sonunda besin kaynaklarının tükenme ihtimali söz konusu olabilmektedir. Besin kaynaklarının tükenmesi durumunda işçi arılar kaşif arıya dönüşmekte ve böylece kaşif arı evresi başlamaktadır. Bu aşamada besin kaynaklarının tükenip tükenmediği eşik değeri olarak tanımlanabilen “limit” değeri ile kontrol edilmektedir. Deneme sayısı, işçi veya gözcü arıların ilgili besin kaynağındaki besinin tükenip tükenmediği ile ilgili bilgi vermekte ve görevli arıların besin kaynağı arama döngüsünde sayaç olarak nitelendirilebilen deneme sayısı, her döngü sonunda kontrol edilmektedir. Deneme sayısı değerinin limit değerini aşması durumunda besin kaynağının tükendiği varsayılmaktadır. Böyle bir durumda ilgili arı kendine rastgele bir şekilde yeni bir besin kaynağı aramak amacıyla kaşif arı haline dönüşmekte ve denklem (4.1) yardımı ile yeni besin kaynağı bularak yine görevli arı olarak döngüye devam etmektedir.



5. UYGULAMA

Süt ve süt ürünlerini depolandığı soğuk hava deposunda, ürünler depolanması gereken sıcaklıklarına göre ayrı ayrı depolanmaktadır. Depoya gelen her siparişte ürün depolarının kapısı açılmakta ve dışarıdan içeriye havanın girmesiyle depoların bulunması gereken en iyi sıcaklık değeri değişmektedir. Deponun en iyi sıcaklığa geri dönebilmesi için soğutma sistemi fazladan çalışmakta, bu durumda maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, depo içinde elektrik enerjisinden tasarruf sağlayarak işletme maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Soğuk hava deposuna gelen siparişler arasındaki sürelerin minimize edilerek, depo sıcaklıklarının en iyi sıcaklıkta sabit kalabilmesi için en uygun sipariş sıralaması problemi çözülmüştür. Bu problemin çözümünde GA'dan ve YAKA'dan yararlanılmış, yararlanılan iki algoritma üzerine karşılaştırmalar yapılmıştır. GA üzerine yapılan uygulamalar Bölüm 5.1 ile, YAKA üzerine yapılan uygulamalar Bölüm 5.2 ile açıklanmıştır.

5.1. Genetik Algoritma

Yeni önerilen yeşil sipariş sıralama modelinin çözümünde GA ve YAKA'dan yararlanılmıştır. Bu bölümde, probleme uyarlanan GA'nın uygulama aşamaları adım adım anlatılmış, problemin çözümü için uyarlanan GA'nın sözde kodu Tablo 5.1 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Probleme uyarlanan genetik algoritma sözde kodu.

Genetik algoritma
Parametreler
• chro_num: Kromozom sayısı • mut_pro: Mutasyon olasılığı • cros_pro: Çaprazlama olasılığı • order_num: Sipariş sayısı • it_num: İterasyon sayısı =10 • eniyi=1000000
{
1. populasyon = üret (chro_num) % Rassal bir şekilde popülasyon oluşturulur
2. while (it_num <10)
3. hesapla amacfonksiyonu (chro_num, populasyon)

Tablo 5.1. (Devamı) Probleme uyarlanan genetik algoritma sözde kodu.

Genetik Algoritma

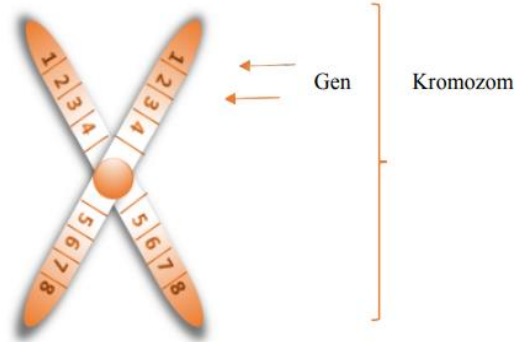
```
4. if (min(amacfonksiyonu)< eniyi)
5.   eniyi= populasyon(find(amacfonksiyonu==eniyi))
6. end
7. arapopulasyon= dogalsecilim(amacfonksiyonu, populasyon chro_num) % Rulet
   tekerleği tekniği uygulanır
8. arapopulasyon1= caprazlama(arapopulasyon, chro_num, cros_pro) % Tek nokta
   çaprazlama tekniği uygulanır
9. function [kume]=KDO(chro_num) %Ebeveynlerin(sipariş) içinde aynı
   genden(ürün) olmaması için kümeleme işlemi yapılır.
10. kume=KDO(chro_num)
11. for i= 1: order_num:-1
12.   a=find(kume== ebeveyn2(i))
13.   kume(a)=[]
14.   for k=1:order_number-I
15.     if ebeveyn2(i)== ebeveyn2(i+k)
16.       ebeveyn1(i+k)=kume(1);
17.       arapopulasyon (ebeveyn2idx,:)= ebeveyn2;
18.     else
19.     end
20.   end
21. end
22. populasyon= mutasyon(arapopulasyon1, chro_num, mut_pro) % Karşılıklı yer
   değiştirme tekniği uygulanır
23. end
24.                                     }
25. eniyi
```

Adım 1: Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

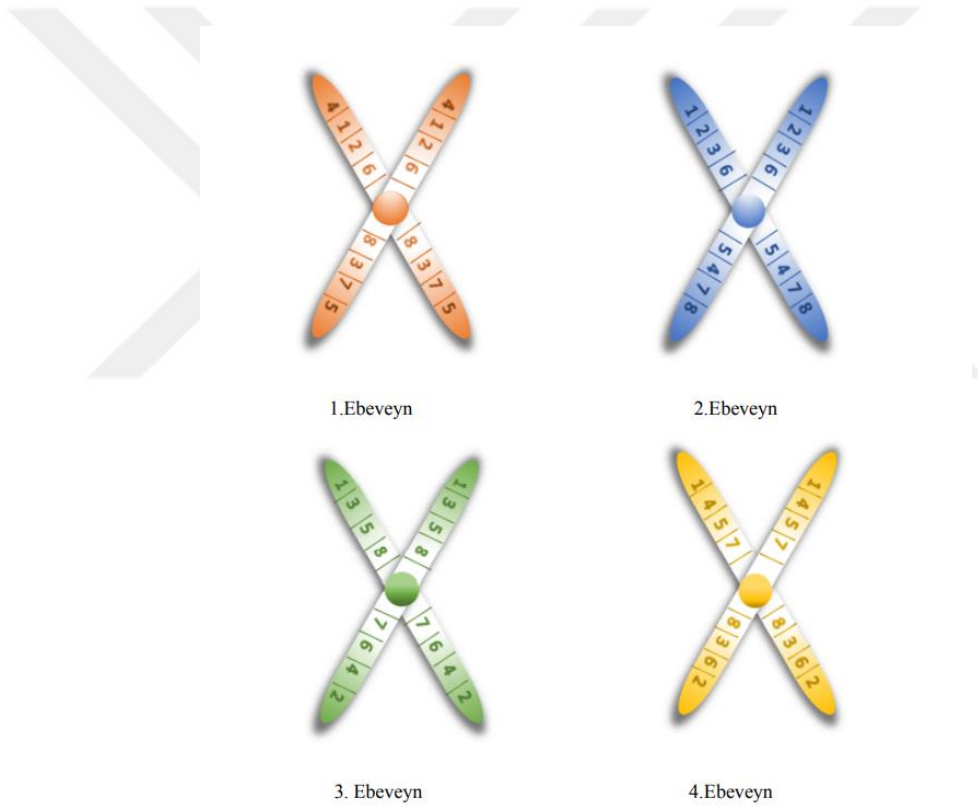
Başlangıç popülasyonu oluşturulurken kromozom ve gen bilgisine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada kromozom sayısı n olarak belirlenirken, gen sayısı kullanılan sipariş sayısı kadardır. Örneğin sipariş sayısı 8 olduğu için gen, 1-8 arasında değerler almaktadır. Her gen bir siparişi temsil etmektedir ve genlerin birleşmesiyle oluşan kromozomlar ise siparişlerin toplanma sırasını göstermektedir. Bir kromozomun içinde bir genden bir tane olduğuna dikkat edilmelidir. Çünkü kullanılan matematiksel modelin yapısına göre bir sipariş toplama setinin içinde (kromozom) bir sipariştten (gen) sadece bir tane olmalıdır. Soğuk hava deposunda yapılan bu çalışmada başlangıç popülasyonu rassal sayılardan yararlanarak rastgele bir şekilde oluşturulmuştur.

Gen ve kromozom bilgisi elde edildikten sonra gen sayısı kadar rassal üretilip bu işlem her kromozom için tekrar edilmiştir. Şekil 5.1 ile bir kromozomun yapısı gösterilmiş,

Şekil 5.2 ile 4 kromozom ve 8 genden oluşan bir başlangıç popülasyonu örneği verilmiştir.



Şekil 5.1. Bir kromozom yapısı.



Şekil 5.2. Başlangıç popülasyon örneği.

Adım 2: Uygunluk fonksiyonu değeri hesaplama

Uygunluk fonksiyonu değeri, kullanılan matematiksel modelin amaç fonksiyonundan yararlanılarak elde edilmektedir. Çalışmada kullanılan matematiksel modeldeki amaç fonksiyonu, soğuk hava deposuna gelen siparişler arasındaki süreyi minimize ederek en uygun sipariş sıralamasını bulmaktadır. Geliştirilen Genetik Algoritmadaki uygunluk fonksiyonu değeri, sipariş setine (kromozom) ait olan siparişler (gen)

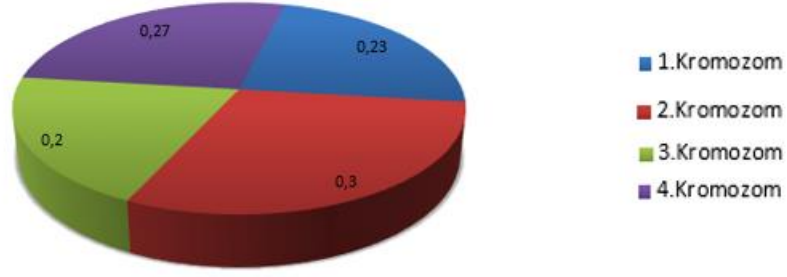
arasındaki süreler farkının toplamını vermektedir. Oluşan yeni popülasyon içerisindeki kromozomlardan uygunluk fonksiyonu değeri en az olan kromozom en iyi çözüm olmaktadır. En iyi çözüm olan kromozom ise siparişlerin toplanma sırasını vermektedir. Genetik algoritmada kullanılan uygunluk fonksiyonu ve uygunluk fonksiyonunda kullanılan parametreler, değişkenler ve indisler Bölüm 3.2 ile verilmiştir.

Adım 3: Doğal seçim

Her sipariş setine (kromozom) ait uygunluk fonksiyonu değeri hesapladıktan sonra bireyler doğal seçilime uğramakta, kaliteli bireyler hayatta kalırken kalitesiz bireyler popülasyondan elenmektedir. Soğuk hava deposunda yapılan bu çalışmada doğal seçim yöntemi olarak; rulet tekerleği yönteminden yararlanılmıştır. Rulet tekerleği tekniğinde bireyler uygunluk fonksiyonuna göre bir rulet tekerleğine yerleştiriliyormuş gibi düşünülür. Bireylerin rulet tekerleğinde kaplayacakları alanlar uygunluk fonksiyonuna göre belirlenir. Uygunluk fonksiyonu yüksek olan bireylerin kaplayacakları alanlar, uygunluk fonksiyonu küçük olan bireylere göre daha fazla olur. Her birey için rulet tekerleğinde bir delik açılır, rulet tekerleği döndürülür ve top hangi bireye ait olan deliğe girerse o birey kaliteli bir birey olarak eşleştirme havuzuna alınır (Karaboğa, 2018). Tablo 5.2 ile, Şekil 5.2 ile verilen başlangıç popülasyonu örneği için rulet tekerleği yönteminde bireylerin kapladığı alanlar bulunmuş, Şekil 5.3 ile ise rulet tekerleği üzerinde bireylerin kapladığı alanlar gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Bireylerin rulet tekerleğinde olan ağırlıklarının bulunması.

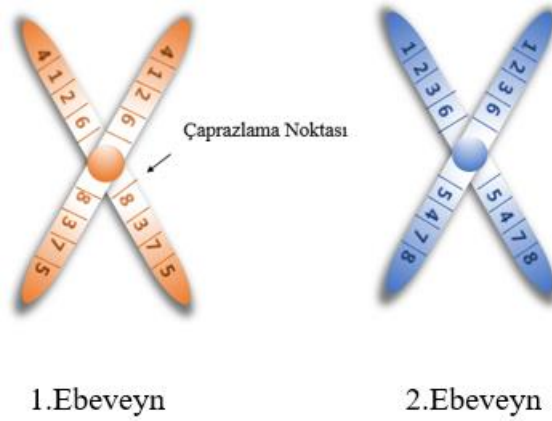
Kromozom	Uygunluk Değeri	Olasılık	Birikimli Olasılık
1	150	0,23	0,23
2	200	0,30	0,53
3	125	0,20	0,73
4	175	0,27	1,00



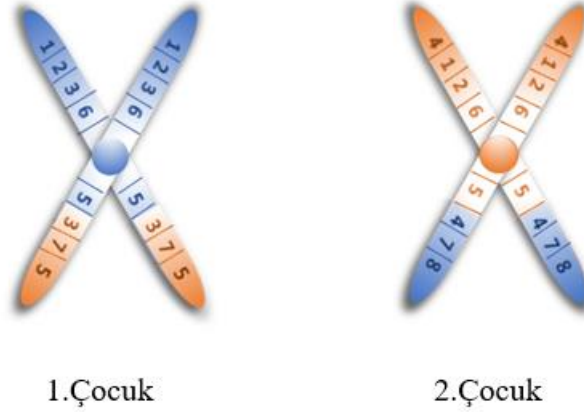
Şekil 5.3. Bireylerin rulet tekerleğinde olan ağırlıkları.

Adım 4: Çaprazlama

Doğal seçim operatörü sonrasında kaliteli olup hayatta kalan bireyler çaprazlama operatörüne uğrayarak ara popülasyonu oluşturmaktadır. Soğuk hava deposunda yapılan bu çalışmada çaprazlama yöntemi olarak tek noktalı çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde öncelikle, rassal sayılardan yararlanarak çaprazlanacak çiftler belirlenmiş ve rassal sayılardan yararlanarak çaprazlamanın yapılacağı çaprazlama noktası belirlenmiştir. Çaprazlama noktası belirlendikten sonra ebeveynlerin çaprazlama noktasından sonra olan genleri sıralamaları bozulmayacak bir şekilde kendi arasında yer değiştirmiştir. Şekil 5.4 ile çaprazlama noktası belirlenerek çaprazlama öncesi ebeveynler, Şekil 5.5 ile ise çaprazlama sonrası oluşan yeni bireyler (çocuklar) gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Çaprazlama öncesi ebeveynler.



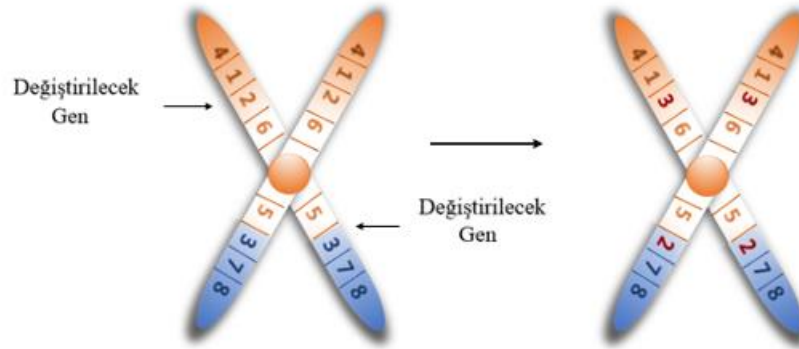
Şekil 5.5. Çaprazlama sonrası oluşan yeni bireyler(çocuklar).

Çaprazlama sonrasında oluşan yeni bireylerde bir genden 2 tane olabilmekte yani matematiksel modeli düşündüğümüzde bir sipariş toplama setinde aynı sipariş iki sıraya ait olabilmektedir. Bu durum, matematiksel modelin Denklem (3.3) ve Denklem (3.4) ile belirtilen kısıtlarına aykırıdır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için gen sayısı kadar sayılardan oluşan bir küme oluşturulmuştur. Örneğin 8 tane gen olduğu için küme 1’den 8’e kadar olan sayılardan oluşmaktadır. Öncelikle, oluşan yeni bireyin ilk geni kümeden silinerek diğer genler tek tek kontrol edilir. Yeni bireyin ilk geni 2 kez kullanıldıysa oluşturulan kümenin içindeki ilk eleman, bulunan ikinci genin yerine yazılır. Örneğin birinci çocuğun ilk geni 4 ise oluşturulan kümeden 4 geni silinir, daha sonra diğer genler tek tek kontrol edilir. 4 geninden iki tane olduğu için oluşturulan kümenin içindeki ilk eleman olan 1 geni ikinci bulunan 4 geninin yerine yazılır ve işlemler bu şekilde devam eder. Daha sonra yeni bireyin ikinci geni oluşturulan kümenin içinden silinerek işlemlere yukarıda anlatıldığı gibi devam edilir. Tüm genler tek tek kontrol edildiğinde bahsedilen sorun ortadan kaldırılmış olur.

Adım 5: Mutasyon

Çaprazlama sonrası oluşan yeni bireyler ara popülasyonu oluşturduktan sonra mutasyon operatörüne uğrayacaktır. Bu çalışmada mutasyon yöntemi olarak karşılıklı değişim yöntemi kullanılmıştır. Popülasyondaki her bireyin mutasyona uğramama ihtimali düşünüldüğünde, hangi bireylerin mutasyona gireceği rassal sayılardan yararlanarak belirlenmiştir. Daha sonra mutasyona girecek olan bireylerde rassallıktan yararlanarak iki gen belirlenmiş ve bu iki gen kendi arasında yer değiştirerek mutasyon operasyonu gerçekleşmiş, her bireyin içinde her genden bir tane olması durumu sağlanmıştır. Ara popülasyonun mutasyon operasyonuna uğraması sonucunda yeni

popülasyon oluşmuştur. Şekil 5.6 ile çaprazlama sonucu oluşan ara popülasyondaki 1. çocuk üzerinde, karşılıklı değişim tekniği gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Mutasyon operatörünün probleme uygulanması.

5.2. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yeni önerilen yeşil sipariş sıralama modelinin çözümünde GA ve YAKA'dan yararlanılmıştır. Bu bölümde, probleme uyarlanan YAKA'nın uygulama aşamaları adım adım anlatılmış, problemin çözümü için uyarlanan YAKA'nın sözde kodu Tablo 5.3 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Probleme uyarlanan yapay arı kolonisi sözde kodu.

Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Parametreler

- iscari_sayisi: İşçi arı sayısı
- gozcuarı_sayisi: Gözcü arı sayısı
- sip_sayi: Sipariş sayısı
- pop:popülasyon
- limit:100
- it_num: iterasyon sayısı
- eniyideger=1000000

1. **besinmatrisi**=randperm(sip_sayi) %Rassal bir şekilde besin matrisi oluşturulur
2. **while** (it_num < 10)
3. **amac** = amacfonk(pop,besinmatrisi)
4. **if** (min(amac) < eniyideger)
5. eniyideger= min(amac)
6. idx=find(amac==eniyideger)
7. eniyicozum=besinmatrisi(idx,:)
8. **end**
9. **for** iterasyon=1:10
10. **for** i=1:iscari_sayisi %İşçi arı safhası başlar
11. **if** r<1/3

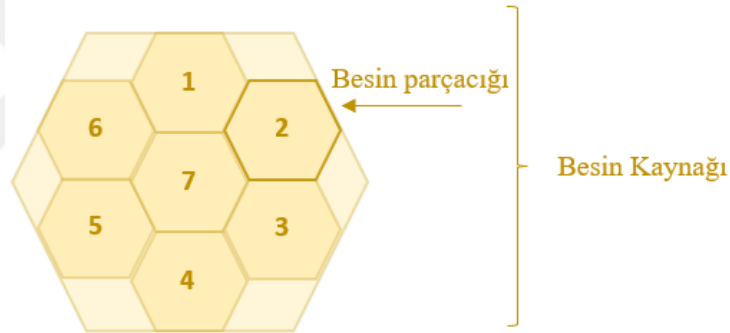
Tablo 5.3. (Devamı) Probleme uyarlanan yapay arı kolonisi sözde kodu.

Yapay Arı Kolonisi Algoritması

```
12.     yenibesin=yerdegistir(besinmatrisi,pop)
13.     else
14.     yenibesin=solakaydir(besinmatrisi, pop, sip_sayi)
15.     end
16. end
17. if min(isciari)<=eniyideger
18.     eniyideger=min(isciari);
19.     idx1=find(isciari==eniyideger)
20.     eniyicozum=yenibesin(idx1,:)
21.     denemesayisi=0;
22.     else
23.     denemesayisi=denemesayisi+1;
24. end
25. [gpop]= rulet(isciari, pop, yenibesin) % Rulet tekerleği tekniği uygulanır
26. for i=1:gozcuari_sayisi %Gözcü arı safhası başlar
27.     if r<1/3
28.     yenibesin1=yerdegistirgpop(gpop, pop)
29.     else
30.     yenibesin1=solakaydirgpop(gpop, pop, sip_sayi)
31.     end
32.     end
33. end
34.     if min(gozcuari)<=eniyideger
35.     eniyideger=min(gozcuari)
36.     idx=find(gozcuari==eniyideger)
37.     eniyicozum=yenibesin1(idx,:)
38.     denemesayisi=0;
39.     else
40.     denemesayisi=denemesayisi+1;
41.     end
42. for i=1:pop %Kaşif arı safhası başlar
43.     if denemesayisi>limit
44.     yerelarama1(besinmatrisi(i,:),amac(i)) % Yeni besin arayışı başlar
45.     if eniyideger>amac(i)
46.     eniyideger=amac(i)
47.     eniyicozum=besinmatrisi(i,:)
48.     end
49.     yerelarama2(besinmatrisi(i,:),amac(i))
50.     if eniyideger>amac(i)
51.     eniyideger=amac(i);
52.     eniyicozum=besinmatrisi(i,:)
53.     end
54.     end
55. end
56.     }
57. eniyideger
58. eniyicozum
```

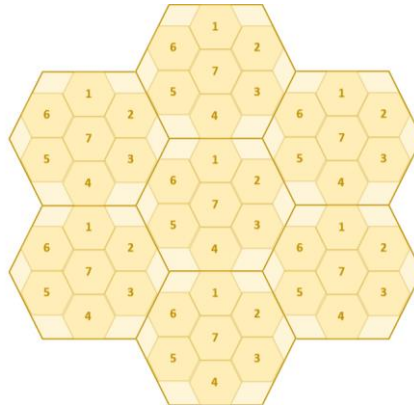
Adım 1: Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Algoritmaya başlarken ilk olarak bir başlangıç popülasyonunun oluşturulması gerekmektedir. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken besin bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada besin kaynağı sayısı “n” olarak ifade edilmekte ve her besin kaynağı, besin parçacığı adı verilen siparişlerden oluşmaktadır. Örneğin, sipariş sayısının 7 olduğunu varsaydığımızda besin kaynağı 1-7 arasındaki değerleri ifade etmektedir. Her bir besin parçacığı bir siparişi temsil etmekte ve besin parçacıklarının birleşmesi ile oluşan besin kaynakları ise siparişlerin toplanma sırasını göstermektedir. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken modelin kısıtlarına aykırılık olmaması amacıyla her sipariş seti (besin kaynağı) içerisinde her sipariştten (besin parçacığı) bir tane olmasına dikkat edilmelidir. Başlangıç popülasyonu “n” değerinden ve besin parçacığı bilgisinden yararlanarak oluşturulmuştur. Şekil 5.7 ile 7 adet besin parçacığından (sipariş) oluşan besin kaynağı (sipariş seti) örneği verilmiştir.



Şekil 5.7. Besin parçacığı ve besin kaynağı örneği.

Şekil 5.8 ile 7 besin parçacığı ve 7 besin kaynağından oluşan başlangıç popülasyonu örneği verilmiştir.



Şekil 5.8. Başlangıç popülasyonu örneği.

Adım 2: Uygunluk fonksiyonu değeri hesaplama

Rassallıktan yararlanarak başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra her bir besin kaynağının (sipariş seti) uygunluk fonksiyonu değerinin hesaplanması gerekmektedir. Uygunluk fonksiyonu değeri Bölüm 3.2 ile verilen matematiksel modelin amaç fonksiyonundan yararlanılarak elde edilmektedir. Önerilen yeşil sipariş sıralama modeli, soğuk hava deposuna gelen siparişler arasındaki süreleri minimize ederek en uygun sipariş sıralamasını bulmayı ve yeşil kavramına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Her bir besin kaynağı (sipariş seti) için hesaplanan uygunluk fonksiyonu değeri, sipariş setine (besin kaynağı) ait olan siparişler (besin parçacığı) arasındaki süreler farkının toplamını vermektedir. Popülasyonu oluşturan tüm besin kaynakları (sipariş seti) için uygunluk fonksiyonu değeri hesaplandığında uygunluk fonksiyonu değeri en az olan besin kaynağı en iyi çözüm olmakta, en iyi çözüm olan besin kaynağı ise siparişlerin toplanma sırasını vermektedir.

Adım 3: İşçi arı evresi

İşçi arılar hem mevcut besin kaynaklarını hafızalarında tutmak hem de daha kaliteli besin kaynağını aramakla görevli olan arılardır. İşçi arılar mevcut besin kaynağından farklı besin kaynağı bulduklarında, uygunluk fonksiyonu yardımıyla iki besin kaynağını karşılaştırır ve uygunluk fonksiyonu daha iyi olan besin kaynağını hafızasına alır. Başlangıç popülasyonunun uygunluk değeri hesaplandıktan sonra işçi arı evresi başlamaktadır. Bu çalışmada işçi arıların yeni besin kaynağı bulabilmesi için rassallıktan yararlanarak iki yol izlenmiştir. Rassal olarak belirlenen “r” değeri sabit bir sayıdan küçükse yer değiştirme, büyükse sola kaydırma fonksiyonu uygulanmaktadır. Rassallıktan yararlanarak ilgili fonksiyon seçildikten sonra yeni oluşan popülasyonun uygunluk değeri hesaplanır ve uygunluk fonksiyonu değeri daha iyi olan besin kaynağı (sipariş seti) hafızaya alınır.

Adım 4: Gözcü arı evresi

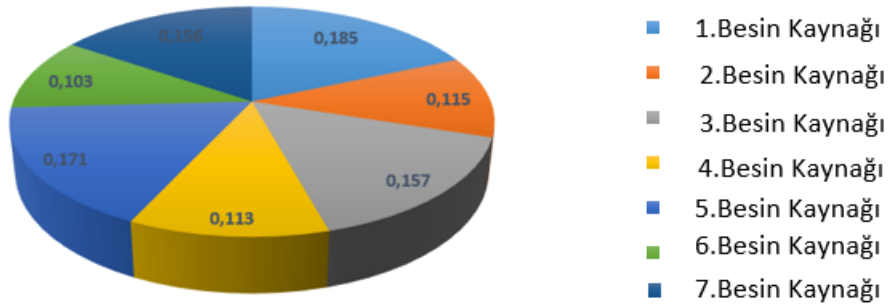
Kovanda bekleyen gözcü arılar, işçi arıların hafızalarında bulunan mevcut besin kaynağı bilgilerini belirli bir olasılığa göre seçmekle görevlidirler. Gözcü arı safhasında, işçi arı safhasından sonra oluşan yeni popülasyon üzerinden doğal seçim yöntemlerinden biri olan rulet tekerleği yöntemi uygulanır ve böylece kaliteli besin kaynağı hafızaya alınırken kalitesiz besin kaynaklarının popülasyondan elenmesi

sağlanmaktadır. Tablo 5.4 ile, Şekil 5.8 ile verilen başlangıç popülasyonu örneği için rulet tekerleği yönteminde besin kaynaklarının kapladığı alanlar bulunmuştur.

Tablo 5.4. Besin kaynaklarının rulet tekerleğinde olan ağırlıklarının bulunması.

Besin kaynağı	Uygunluk değeri	Olasılık	Birikimli olasılık
1	350	0,185	0,185
2	218	0,115	0,300
3	298	0,157	0,457
4	215	0,113	0,570
5	325	0,171	0,742
6	195	0,103	0,844
7	295	0,156	1,000

Şekil 5.9 ile ise rulet tekerleği üzerinde besin kaynaklarının kapladığı alanlar gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Besin kaynaklarının rulet tekerleğinde olan ağırlıkları.

Rulet tekerleği yöntemine göre yeni popülasyonun oluşmasından sonra, işçi arı evresinde olduğu gibi rassallıktan yararlanarak yeni bir popülasyonun oluşması sağlanır. Rassal olarak belirlenen “r” değeri sabit bir sayıdan küçükse yer değiştirme, büyükse sola kaydırma fonksiyonu uygulanmaktadır. Rassallıktan yararlanarak ilgili fonksiyon seçildikten sonra yeni oluşan popülasyonun uygunluk değeri hesaplanır ve uygunluk fonksiyonu değeri daha iyi olan besin kaynağı (sipariş seti) hafızaya alınır.

Adım 5: Kaşif arı evresi

Yapay arı algoritması besin kaynaklarını tükenme ihtimali olabilmekte ve bu durum eşik değeri olarak ifade edilen “limit değeri” ile kontrol edilmektedir. Mevcut besin kaynaklarının tükenmesi durumunda işçi arılar kaşif arıya dönüşmekte ve böylece kaşif arı evresi başlamaktadır. Kaşif arı evresinde işçi ve gözcü arı evrelerinde bulunan veya hafızaya alınan besin kaynaklarından etkilenmeyerek başlangıç popülasyonu

üzerinden sürece devam edilmektedir. İşçi ve gözcü arı evrelerinde kaliteli bireylerin hafızaya alınıp alınmamasına bağlı olarak artan deneme sayısı, limit değeriyle karşılaştırılır. Deneme sayısının limit değerinden büyük olması durumunda yerelarama1 ile, küçük olması durumunda ise yerelarama2 olarak adlandırılan metotlar ile besin kaynağı arama sürecine devam edilir. Anlatılan adımların tamamlanmasının ardından uygunluk fonksiyonu değeri en küçük olan besin kaynağı seçilir ve seçilen besin kaynağı en uygun sipariş sıralamasını verir.

5.3. Araştırma Bulguları

Genetik Algoritmada, başlangıç popülasyonu belirlenir, kromozomların uyumluluk değeri hesaplanır, daha sonra iterasyon sayısı belirlenir ve belirli bir döngü içinde doğal seçim, çaprazlama ve mutasyon operasyonları iterasyon sayısı kadar döngüye girerek yeni popülasyonlar oluşur. İterasyon sonucunda en iyi uyumluluk değerine sahip olan yani; uyumluluk değeri en küçük olan kromozom çözümü vermiş olur. Çözümü oluşturan kromozom; depoların en uygun sıcaklıkta sabit kalabilmesi için en uygun sipariş toplanma sırasını vermektedir.

Bu çalışmada; Genetik Algoritma'nın parametreleri olan kromozom sayısı, çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve iterasyon sayısının sonuçlar üzerindeki etkisini daha iyi görebilmek ve daha kaliteli sonuçlar elde edebilmek amacıyla deney tasarımı yapılmıştır. Deney tasarımı sırasında Yates Notasyonu'ndan yararlanılmış ve faktörlerin sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Yates (1937) tarafından geliştirilen Yates Notasyonu, faktöriyel bir tasarımdaki faktörlerin etkisini ölçebilmek amacıyla yararlanabilecek en iyi yöntemlerden biridir. 2^k değeri, k değişkeninden veya A, B, C, D,... şeklinde ifade edilebilen ve her biri (+) ile (-) olarak iki seviyeli faktörlerden oluşan faktöriyel tasarım olarak tanımlanmaktadır (Yates, 1937). Yates Notasyonuna göre 2^k değeri, parametrelerin optimizasyonu için yapılması gereken deney sayısını vermekte ve k değeri kullanılan parametre sayısını ifade etmektedir.

Genetik Algoritma'da kullanılan iterasyon sayısı, kromozom sayısı, mutasyon olasılığı, çaprazlama olasılığı gibi parametrelerin alabileceği en büyük ve en küçük değerler Tablo 5.5. Parametrelerin alabileceği en büyük ve en küçük değerler. gösterilmiş olup, (-) değerler parametrelerin alabileceği en küçük değeri ve (+) değerler ise parametrelerin alabileceği en büyük değerleri göstermektedir.

Tablo 5.5. Parametrelerin alabileceği en büyük ve en küçük değerler.

İterasyon sayısı		Kromozom sayısı		Mutasyon oranı		Çaprazlama oranı	
20(-)	40(+)	4(-)	20(+)	0,01(-)	0,05(+)	0,85(-)	0,95(+)

Yapılan bu çalışmada iterasyon sayısı, kromozom sayısı, mutasyon oranı, çaprazlama oranı olmak üzere 4 adet parametre kullanıldığı için k değerimiz 4'e eşittir. Bu durumda 2^4 sonucuna göre parametrelerin optimizasyonu için toplam 16 adet deney yapmamız gerekmektedir. Yapılan deney sonuçlarına göre iterasyon sayısı(-), kromozom sayısı(+), mutasyon oranı(+) ve çaprazlama oranı(+) iken Genetik Algoritmanın daha kısa sürede daha iyi sonuç verdiği görülmüş ve elde edilen sonuçlara göre Genetik Algoritma'da kullanılan kontrol parametre değerleri Tablo 5.6 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Parametreler.

Parametreler	Değer
İterasyon Sayısı	20
Kromozom Sayısı	20
Mutasyon Oranı	0,05
Çaprazlama Oranı	0,95

Liu ve ark. (2014), çalışmaları sırasında, KA miktarını hesaplarken Coe (2005)'nin ileri sürmüş olduğu, "1 litre benzinden yaklaşık olarak 8.8 kWh enerji açığa çıkar ve 1 kWh enerjiden ise yaklaşık olarak 2,32 kg CO₂ salınımı gerçekleşir" bilgisinden yararlanarak amaç fonksiyonunu sabit $((2,32/8,8)/360000)$ sayısı ile çarpmışlardır. Prabhakar ve ark. (2015), süt ve süt ürünlerinin depolandığı soğuk hava deposunda günlük soğutma enerjisi tüketiminin 32990,491 kJ olduğunu ileri sürmüştür. Prabhakar ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmanın benzerliğinden yararlanarak, bu çalışmada soğutucuların saatlik 1374,603 kJ enerji harcadığı varsayılmıştır. Bu çalışmada KA miktarı hesaplanırken Liu ve ark. (2014) ve Prabhakar ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmalardan yararlanılmış, KA miktarı amaç fonksiyonunun sabit $((2,32/(1374,603*0,0002789))/1000)$ sayısı ile çarpılmasıyla elde edilmiştir.

Sipariş ve ürün sayısına göre farklılık gösteren 10 farklı deney seti, önce yeşil sipariş sıralama modeline göre el ile çözülmüş, ardından doğal seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutularak Genetik Algoritma yardımıyla çözülmüştür. Böylece rastgelelik kullanılarak, soğuk hava deposuna gelen siparişler arasındaki süreyi en aza indirgeyen ve ürün odalarının kapılarının açılma sürelerini azaltarak

enerji tasarrufu sağlayan optimal bir sipariş sıralaması oluşturulmuştur. 10 farklı deney setinden elde edilen enerji tüketimi açışından sonuçlar Tablo 5.7 ile gösterilmektedir. Tabloda ÜS siparişte mevcut ürün sayısını, SS sipariş sayısını, SCS_{pd} soğutucuların günlük çalışma süresini, TE_{pd} tüketilen günlük enerji miktarını, KA ise karbon ayak izi miktarını ifade etmektedir.



Tablo 5.7. Enerji tüketimi açısından sonuçlar.

Mevcut durum						Önerilen durum					
Setler	SS	ÜS	SCS _{pd} (Saat)	TE _{pd} (kJ)	KA(Ton)	Genetik algoritma			Yapay arı kolonisi		
						SCS _{pd} (Saat)	TE _{pd} (kJ)	KA(Ton)	SCS _{pd} (Saat)	TE _{pd} (kJ)	KA(Ton)
Set-1	12	15	3,500	4811,111	0,0213	2,050	2817,936	0,0125	2,500	3436,508	0,0152
Set-2	13	18	6,067	8339,258	0,0369	2,650	3642,698	0,0161	2,067	2840,846	0,0126
Set-3	10	15	2,383	3109,304	0,0144	1,383	1901,076	0,0084	1,250	1718,254	0,0076
Set-4	15	10	4,350	5675,023	0,0263	3,433	4719,012	0,0208	2,900	3986,349	0,0175
Set-5	17	7	5,117	7033,385	0,0311	3,667	5040,211	0,0223	2,733	3757,248	0,0166
Set-6	10	12	2,750	3587,658	0,0166	2,017	2772,116	0,0123	1,733	2382,187	0,0105
Set-7	13	10	11,383	15647,56	0,0692	9,067	12463,07	0,0551	8,600	11821,59	0,0523
Set-8	12	12	5,917	7718,901	0,0358	4,917	6758,923	0,0298	5,100	7010,475	0,0309
Set-9	20	7	6,350	8728,729	0,0386	3,633	4994,391	0,0221	4,617	6346,084	0,0281
Set-10	15	12	7,283	9501,859	0,0441	4,550	6254,444	0,0275	5,900	8110,158	0,0357
Set-11	13	15	4,117	5658,782	0,0250	2,833	3894,709	0,0172	1,850	2543,016	0,0112
Set-12	20	20	18,300	25155,23	0,1112	15,300	21031,43	0,0930	16,033	22039,47	0,0974
Set-13	12	10	8,117	10589,03	0,0491	6,550	9003,650	0,0396	6,467	8889,558	0,0391
Set-14	15	15	13,717	18854,97	0,0834	11,133	15303,91	0,0677	12,900	17732,38	0,0784
Set-15	17	10	9,200	12646,35	0,0559	8,900	12233,96	0,0541	8,200	11271,74	0,0498
Set-16	20	10	7,567	10401,16	0,0460	5,833	8018,518	0,0355	6,150	8453,808	0,0374
Set-17	10	18	5,467	7514,496	0,0332	1,867	2565,926	0,0113	2,300	3161,587	0,0140
Set-18	20	12	8,25	11340,47	0,0501	5,383	7399,946	0,0327	6,167	8476,719	0,0375
Set-19	17	15	3,667	5040,211	0,0223	2,450	3367,777	0,0149	1,333	1832,804	0,0081
Set-20	20	18	17,533	24101,37	0,1066	15,033	20664,87	0,0914	14,933	20527,4	0,0908
Set-21	10	10	1,750	2283,055	0,0106	1,267	1741,622	0,0077	1,233	1694,885	0,0075
Set-22	17	18	16,783	23070,42	0,1020	13,150	18076,03	0,0799	13,650	18763,33	0,0830
Set-23	12	7	3,250	4467,46	0,0198	1,583	2176,455	0,0096	2,017	2772,116	0,0123

Tablo 5.7. (Devamı) Enerji tüketimi açısından sonuçlar.

Mevcut durum						Önerilen durum					
						Genetik algoritma			Yapay arı kolonisi		
Setler	ÜS	SS	SCS _{pd} (Saat)	TE _{pd} (kJ)	KA(Ton)	SCS _{pd} (Saat)	TE _{pd} (kJ)	KA(Ton)	SCS _{pd} (Saat)	TE _{pd} (kJ)	KA(Ton)
Set-24	13	7	10,917	15006,08	0,0663	8,933	12279,79	0,0543	9,467	13012,91	0,0575
Set-25	20	15	18,533	25475,98	0,1126	16,700	22955,87	0,1015	17,233	23688,99	0,1047
Set-26	10	7	9,867	13562,750	0,0600	7,917	10882,274	0,0481	7,417	10194,972	0,0451
Set-27	12	18	7,467	10263,7	0,0454	4,183	5750,423	0,0254	5,350	7354,126	0,0325
Set-28	17	12	6,833	9393,121	0,0415	6,033	8293,438	0,0367	6,017	8270,528	0,0366
Set-29	13	12	7,533	10355,34	0,0458	4,467	6139,893	0,0271	4,067	5590,052	0,0247
Set-30	15	7	3,983	5475,502	0,0242	1,433	1970,264	0,0087	1,933	2657,566	0,0117

Bu çalışmada, herhangi bir sipariş toplama düzeni olmayan bir soğuk hava deposuna yeşil kavramını uyarlayabilmek amacıyla yeni bir yeşil sipariş sıralama modeli önerilmiştir. Çalışmanın amacı, birbirine benzer siparişlerin art arda gelmesini sağlamak ve böylece soğuk hava deposunun optimum sıcaklığa ulaşması için soğutucuların fazladan çalışmasını engellemektir. Önerilen yeni yeşil sipariş sıralama modeli ile soğuk hava deposu için olabilecek en iyi sipariş toplama oluşturularak soğutucuların fazladan çalışması engellenmiş, böyle enerji tasarrufu sağlanarak işletme maliyetinin iyileşmesine katkı sağlanmıştır.

Farklı ürün ve ürün sayılarına sahip 30 farklı deney seti incelenmiş olup, mevcut durum ve GA ile YAKA'dan yararlanarak elde edilen önerilen duruma ait test sonuçları Tablo 5.7 ile gösterilmiştir. Tablo 5.7 incelendiğinde, soğutucuların günlük çalışma süresi açısından mevcut sipariş sıralaması ile önerilen sipariş sıralaması arasındaki fark açıkça görülmektedir. GA ve YAKA'dan alınan önerilen duruma ait sonuçlar karşılaştırıldığında ise YAKA'nın GA'ya göre daha kaliteli sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Önerilen model sayesinde soğutucu kapılarının açık kalma süresi azaltılarak uygun sıcaklığa ulaşmak için harcanması gereken ekstra enerji miktarı azaltılmaktadır. Bu duruma bağlı olarak ise karbon ayak izi miktarının yaklaşık %1,2 oranında azaldığı gözlemlenmiş ve yeşil konsept soğuk hava deposuna uyarlanmıştır. GA'dan yararlanarak çözülmüş olan önerilen modelin anlamlı bir fark yaratıp yaratmadığını anlamak için ise bir t testi yapılmış ve Tablo 5.8 ile gösterilmiştir.

t- Hipotez testi

H₀- Sonuçlar arasında anlamlı bir fark yoktur

H₁- Sonuçlar arasında anlamlı bir fark vardır

Tablo 5.8. GA ile t-testinin sonuçları.

	N	Mean	St dev	SE Mean
Mean of Exsisting results	30	7,9317	4,8243	0,8807
Mean of Proposed results	30	5,9438	4,4867	0,8191

Elde edilen sonuçlara göre %95 güven aralığında en düşük değer 1,625; en yüksek değer 2,35 ve p değeri 0,001 değerinden bile küçük olarak bulunmuştur. p değerinin 0,05'ten küçük olması nedeniyle ($p < 0,05$) H_0 hipotezi reddedilmekte ve H_1 hipotezi kabul edilmektedir. t testinin sonuçlarına göre, ortalama sonuçlar arasında anlamlı bir

fark olduğu ve mevcut duruma göre ortalama 1,98 saat iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. YAKA'dan yararlanarak çözülmüş olan önerilen modelin anlamlı bir fark yaratıp yaratmadığını anlamak için ise bir t testi yapılmış ve Tablo 5.9 ile gösterilmiştir.

t- Hipotez testi

H₀- Sonuçlar arasında anlamlı bir fark yoktur

H₁- Sonuçlar arasında anlamlı bir fark vardır

Tablo 5.9. YAKA ile t-testinin sonuçları.

	N	Mean	St dev	SE Mean
Mean of Exsisting results	30	7,9317	4,8243	0,8807
Mean of Proposed results	30	6,0700	4,7051	0,8590

Elde edilen sonuçlara göre %95 güven aralığında en düşük değer 1,531; en yüksek değer 2,19 ve p değeri 0,001 değerinden bile küçük olarak bulunmuştur. p değerinin 0,05'ten küçük olması nedeniyle ($p < 0,05$) H_0 hipotezi reddedilmekte ve H_1 hipotezi kabul edilmektedir. t testinin sonuçlarına göre, ortalama sonuçlar arasında anlamlı bir fark olduğu ve mevcut duruma göre ortalama 1,86 saat iyileştirme sağlandığı tespit edilmiştir. GA ve YAKA ile elde edilen sonuçlar arasında anlamlı bir fark olup olmadığını anlamak için ise bir t testi yapılmış ve Tablo 5.10 ile gösterilmiştir.

t- Hipotez testi

H₀- Sonuçlar arasında anlamlı bir fark yoktur

H₁- Sonuçlar arasında anlamlı bir fark vardır

Tablo 5.10. GA ve YAKA ile t-testinin sonuçları.

	N	Mean	St dev	SE Mean
Mean of GA results	30	5,9438	4,4867	0,8191
Mean of YAKA results	30	6,0700	4,7051	0,8590

Elde edilen sonuçlara göre %95 güven aralığında p değeri 0,001 değerinden bile küçük olarak bulunmuştur. p değerinin 0,05'ten küçük olması nedeniyle ($p < 0,05$) H_0 hipotezi reddedilmekte ve H_1 hipotezi kabul edilmektedir. t testinin sonuçlarına göre, ortalama sonuçlar arasında anlamlı bir fark olduğu, GA'dan elde edilen sonuçların ortalama 1,26 saat iyileştirme sağlayarak YAKA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, süt ve süt ürünlerinin depolandığı bir soğuk hava deposu, deponun enerji verimliliğinin artırılması amacıyla incelenmiştir. İncelenen bu soğuk hava deposunda 12 ürün odası olup 44 çeşit süt ve süt ürünü depolanmaktadır. Bu süt ve süt ürünlerinin depolanması gereken sıcaklıklara göre, ürünlerin çeşitlerine göre, saklanma koşullarına göre ayrı ayrı odalarda depolanması gerekmektedir. Soğuk hava deposunda bulunan 12 odanın sabit kalması gereken uygun bir sıcaklık değeri vardır. Sipariş toplama sırasında odaların kapısının açılması dışarıdan gelen hava nedeniyle ısı alışverişine sebep olmakta ve odaların sabit kalması gereken uygun sıcaklığı değişmektedir. Odaların sıcaklığının, sabit kalması gereken sıcaklık değerinin aşağısında veya yukarısında olması ürünlerin kalitesini etkilemekte ve enerji verimliliğini engelleyerek enerjinin fazla kullanılmasına sebep olmaktadır. Soğuk hava deposundaki bu verimsizliği ortadan kaldırıp, enerji kullanımını mümkün olan en iyi şekilde kullanmak amacıyla yeşil sipariş sıralama adında yeni matematiksel bir model önerilmiş ve test edilmiştir. Modelde benzer ürünler içeren siparişlerin art arda toplanması sağlanarak her ürün odası için odaya ilk geliş ve sonraki gelişler arasındaki süre en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Matematiksel model önce elle çözülmüş, daha sonra karşılaştırma yapılması amacıyla modelin açık ve kapalı halleri LİNGO yardımıyla test edilmiştir. Problemin çözümünde birbirinden farklı iki metasezgisel model olan GA ve YAKA'dan yararlanılmış, birbirinden farklı ürün ve sipariş içeren veri setleri kullanılarak GA ve YAKA'nın karşılaştırmaları yapılmış, Tablo 5.7 ile karbon ayak izi miktarının yaklaşık %1,2 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. GA ve YAKA, enerji tüketimi ve çalışma süresi açısından karşılaştırıldığında GA ile YAKA'ya göre daha kaliteli sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Soğuk hava deposunda yapılan bu çalışma, yeşil olması ve yeşil kavramının soğuk hava deposuna uygulanması açısından diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda; doğrusal olmayan olan Yeşil Sipariş Sıralama Modeli doğrusallaştırılarak GA'nın ve YAKA'nın performansının artırılması sağlanabilir.



KAYNAKLAR

- Ahmadizar, F., Zeynivand, M., & Arkat, J. (2015). Two-Level Vehicle Routing with Cross-Docking in a Three-Echelon Supply Chain: A Genetic Algorithm Approach. *Applied Mathematical Modelling*, 39(22), 7065–7081. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.03.005>
- Andrejić, M. (2011). Energy Efficiency of Refrigerated Warehouses. *IMK-14-Istraživanje i Razvoj*, 41(17), 47–52.
- Ardjmand, E., Bajgiran, O. S., & Youssef, E. (2019). Using List-based Simulated Annealing and Genetic Algorithm for Order Batching and Picker Routing in Put Wall Based Picking Systems. *Applied Soft Computing Journal*, 75, 106–119.
- Ayarmal, A., Melhus, O., & Chaudhuri, A. (2018). The Effects of Fan and Door Opening on A Cold Storage Room: A Numerical Study. *Proceedings of The 59th Conference on Imulation and Modelling*, 153, 201–209. <https://doi.org/10.3384/ecp18153201>
- Azadnia, A. H., Taheri, S., Ghadimi, P., Mat Saman, M. Z., & Wong, K. Y. (2013). Order Batching in Warehouses by m Minimizing Total Tardiness: A Hybrid Approach of Weighted Association Rule Mining and Genetic Algorithms. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2013/246578>
- Baker, B. M., & Ayechev, M. A. (2003). A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem. *Computers and Operations Research*, 30(5), 787–800. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(02\)00051-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(02)00051-5)
- Beire, A. R., Pita, H., & Cota, N. (2014). Optimizing Propagation Models on Railway Communications Using Genetic Algorithms. *Procedia Technology*, 17, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.10.215>
- Bonabeau, E., Dorigo, M., & Theraulaz, G. (2003). Swarm intelligence: From Natural to Artificial System. *Emerging Technology Conference*, 320.
- Chatterjee, S. (2013). Toward a Sustainable Green “Planet Earth”: On the Impact of Global Warming on Biodiversity and the Ecosystem. *SSRN Electronic Journal*, 1–31. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2292096>
- Chen, D., Pan, S., Chen, Q., & Liu, J. (2020). Vehicle Routing Problem of Contactless Joint Distribution Service During COVID-19 Pandemic. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100233>
- Chen, S. M., & Chien, C. Y. (2011). Solving The Traveling Salesman Problem Based on The Genetic Simulated Annealing Ant Colony System with Particle Swarm Optimization Techniques. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 14439–14450. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.163>

- Cheng, X., & Zhai, X. (2018). Thermal Performance Analysis of a Cascaded Cold Storage Unit Using Multiple PCMs. *Energy*, 143, 448–457. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.009>
- Coe, E. (2005). *Emission Facts: Average Carbon Dioxide Emissions Resulting from Gasoline and Diesel Fuel*.
- Davoodi, M., Malekpour Golsefidi, M., & Mesgari, M. S. (2019). A Hybrid Optimization Method for Vehicle Routing Problem Using Artificial Bbee Colony and Genetic Algorithm. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4/W18), 293–297. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-293-2019>
- Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. (2012). Operations Research for Green Logistics - An Overview of Aspects, Issues, Contributions and Challenges. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 671–679. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.11.010>
- Derpich, I. S., & Sepúlveda, J. M. (2016). A Model for Storage Facility Design with Energy Costs. *2016 6th International Conference on Computers Communications and Control*, 147–150. <https://doi.org/10.1109/ICCCC.2016.7496753>
- Ene, S., Küçükoğlu, İ., Aksoy, A., & Öztürk, N. (2016). A Genetic Algorithm for Minimizing Energy Consumption in Warehouses. *Energy*, 114, 973–980. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.045>
- Fan, X., Weber, W. D., & Barroso, L. A. (2007). Power Provisioning for a Warehouse-Sized Computer. *Proceedings International Symposium on Computer Architecture*, 13–23. <https://doi.org/10.1145/1250662.1250665>
- Ferreira, J. C., Steiner, M. T. A., & Junior, O. C. (2020). Multi-Objective Optimization for The Green Vehicle Routing Problem: A Systematic Literature Review and Future Directions. *Cogent Engineering*, 7(1), 1–33. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1807082>
- Gaedtke, M., Wachter, S., Rädle, M., Nirschl, H., & Krause, M. (2018). Application of a Lattice Boltzmann Method Combined with a Smagorinsky Turbulence Model to Spatially Resolved Heat Flux Inside a Refrigerated Vehicle. *Computers and Mathematics with Applications*, 76(10), 2315–2329. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2018.08.018>
- Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search. In *Optimization, and Machine Learning* (13th ed.). Addison-Wesley Professional.
- Hallawi, H., Mehnen, J., & He, H. (2017). Multi-Capacity Combinatorial Ordering GA in Application to Cloud Resources Allocation and Efficient Virtual Machines Consolidation. *Future Generation Computer Systems*, 69, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.future.2016.10.025>
- Ho, S.-Y., Chen, J.-H., & Huang, M.-H. (2004). Inheritable Genetic Algorithm for Biobjective 0/1 Combinatorial Optimization Problems and its Applications. *IEEE Transactions on Systems*, 34(1), 609–620. <https://doi.org/10.1109/TSMCB.2003.817090>

- Hojaghani, L., Nematian, J., Shojaie, A. . A., & Javadi, M. (2021). Metaheuristics For A New MINLP Model with Reduced Response Time for On-line Order Batching. *Scientia Iranica*, 28(5), 2789–2811. <https://doi.org/10.24200/sci.2019.51452.2185>
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems : An Introductory Analysis with Application to Biology*.
- Hsu, C. M., Chen, K. Y., & Chen, M. C. (2005). Batching Orders in Warehouses by Minimizing Travel Distance with Genetic Algorithms. *Computers in Industry*, 56(2), 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2004.06.001>
- Hussain, K., Mohd Salleh, M. N., Cheng, S., Shi, Y., & Naseem, R. (2020). Artificial Bee Colony Algorithm: A Component-Wise Analysis Using Diversity Measurement. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 32(7), 794–808. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUCI.2018.09.017>
- Jeon, G., Leep, H. R., & Shim, J. Y. (2007). A Vehicle Routing Problem Solved by Using a Hybrid Genetic Algorithm. *Computers and Industrial Engineering*, 53(4), 680–692. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.06.031>
- Jiang, X., Tian, Z., Liu, W., Suo, Y., Chen, K., Xu, X., & Li, Z. (2021). Energy-Efficient Scheduling of Flexible Job Shops with Complex Processes: A Case Study for The Aerospace Industry Complex Components in China. *Journal of Industrial Information Integration*, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100293>
- Karaboga, D. (2010). Artificial Bee Colony Algorithm. *Scholarpedia*, 6915. <https://doi.org/doi:10.4249/scholarpedia.6915>
- Karaboğa, D. (2018). *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Karaboga, D., & Akay, B. (2009). A Comparative Study of Artificial Bee Colony Algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 214(1), 108–132. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2009.03.090>
- Karaboga, D., & Basturk, B. (2007). A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. *Journal of Global Optimization*, 39(3), 459–471. <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9149-x>
- Karaboga, D., Gorkemli, B., Ozturk, C., & Karaboga, N. (2014). A Comprehensive Survey: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm and Applications. *Artificial Intelligence Review*, 42(1), 21–57. <https://doi.org/10.1007/s10462-012-9328-0>
- Karaboga, D., Güney, K., Karaboğa, N., & Kaplan, A. (1997). Simple and Accurate Effective Side Length Expression Obtained by Using a Modified Genetic Algorithm for The Resonant Frequency of an Equilateral Triangular Microstrip Antenna. *International Journal of Electronics*, 83(1), 99–108. <https://doi.org/10.1080/002072197135698>
- Katić, D. (1999). Genetic Algorithm Tuning of Connectionist Controller for Compliant Robotic Tasks. *14th World Congress of IFAC*, 32(2), 641–646. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)56109-1](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)56109-1)

- Kaya, E., Gorkemli, B., Akay, B., & Karaboga, D. (2022). A Review on The Studies Employing Artificial Bee Colony Algorithm to Solve Combinatorial Optimization Problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 115, 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105311>
- Kefayat, M., Lashkar Ara, A., & Nabavi Niaki, S. A. (2015). A Hybrid of Ant Colony Optimization and Artificial Bee Colony Algorithm for Probabilistic Optimal Placement and Sizing of Distributed Energy Resources. *Energy Conversion and Management*, 92, 149–161. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.037>
- Kozak, Y., Farid, M., & Ziskind, G. (2017). Experimental and Comprehensive Theoretical Study of Cold Storage Packages Containing PCM. *Applied Thermal Engineering*, 115, 899–912. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.127>
- Lai, G., Yuan, D., & Yang, S. (2014). A new hybrid combinatorial genetic algorithm for multidimensional knapsack problems. *Journal of Supercomputing*, 70(2), 930–945. <https://doi.org/10.1007/s11227-014-1268-9>
- Lee, K., Kim, B. S., & Joo, C. M. (2012). Genetic Algorithms For Door-Assigning and Sequencing of Trucks at Distribution Centers for The Improvement of Operational Performance. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 12975–12983. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.057>
- Lei, D., Cui, Z., & Li, M. (2022). A Dynamical Artificial Bee Colony for Vehicle Routing Problem with Drones. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 107, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104510>
- Li, Y., Huang, W., Wu, R., & Guo, K. (2020). An Improved Artificial Bee Colony Algorithm for Solving Multi-Objective Low-Carbon Flexible Job Shop Scheduling Problem. *Applied Soft Computing Journal*, 95, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106544>
- Li, Z., & Zhou, Z. (2013). An Effective Batching Method Based on the Artificial Bee Colony Algorithm for Order Picking. *2013 Ninth International Conference on Natural Computation (ICNC) An*, 386–391.
- Lin, C. Y., & Ho, Y. H. (2008). An Empirical Study on Logistics Service Providers' Intention to Adopt Green Innovations. *Journal of Technology Management and Innovation*, 3(1), 17–26.
- Liu, W. Y., Lin, C. C., Chiu, C. R., Tsao, Y. S., & Wang, Q. (2014). Minimizing the Carbon Footprint for the Time-Dependent Heterogeneous-Fleet Vehicle Routing Problem with Alternative Paths. *Sustainability*, 6(7), 4658–4684. <https://doi.org/10.3390/su6074658>
- Lu, J., & Zhao, Y. (2018). Selection of Cold Chain Logistics Distribution Center Location Based on Improved Genetic Algorithm. *MATEC Web of Conferences*, 227, 1–5. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822702018>
- Manzoni, L., Vanneschi, L., & Mauri, G. (2012). A Distance Between Populations For One-Point Crossover in Genetic Algorithms. *Theoretical Computer Science*, 429, 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2011.12.041>

- Meneghetti, A., & Monti, L. (2015). Greening The Food Supply Chain: An Optimisation Model for Sustainable Design of Refrigerated Automated Warehouses. *International Journal of Production Research*, 53(21), 6567–6587. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.985449>
- Ng, K. K. H., Lee, C. K. M., Zhang, S. Z., Wu, K., & Ho, W. (2017). A Multiple Colonies Artificial Bee Colony Algorithm For A Capacitated Vehicle Routing Problem and Re-Routing Strategies Under Time-Dependent Traffic Congestion. *Computers and Industrial Engineering*, 151–168. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.004>
- Paliwal, N. K., Singh, A. K., & Singh, N. K. (2019). A Day-Ahead Optimal Energy Scheduling in a Remote Microgrid Along with Battery Storage System via Global Best Guided ABC Algorithm. *Journal of Energy Storage*, 25, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100877>
- Pan, J. C. H., Shih, P. H., & Wu, M. H. (2015). Order Batching in a Pick and Pass Warehousing System with Group Genetic Algorithm. *Omega*, 57, 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.004>
- Parikhani, T., Gholizadeh, T., Ghaebi, H., Sattari Sadat, S., & Mohammad Sarabi, M. (2019). Exergoeconomic Optimization of a Novel Multigeneration System Driven by Geothermal Heat Source and Liquefied Natural Gas Cold Energy Recovery. *Journal of Cleaner Production*, 209, 550–571. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.181>
- Perks, S., & Smith, E. E. (2010). A Perceptual Study of The Impact of Green Practice Implementation on The Business Functions. In *Southern African Business Review* (Vol. 14, Issue 3).
- Petersen, C. G. (1999). The Impact of Routing and Storage Policies on Warehouse Efficiency. *International Journal of Operations and Production Management*, 19(10), 1053–1064. <https://doi.org/10.1108/01443579910287073>
- Petersen, C. G., Siu, C., & Heiser, D. R. (2005). Improving Order Picking Performance Utilizing Slotting and Golden Zone Storage. *International Journal of Operations and Production Management*, 25(10), 997–1012. <https://doi.org/10.1108/01443570510619491>
- Potvin, J. Y., Duhamel, C., & Guertin, F. (1996). A Genetic Algorithm for Vehicle Routing with Backhauling. *Applied Intelligence*, 6(4), 345–355. <https://doi.org/10.1007/BF00132738>
- Poulos, P. N., Rigatos, G. G., Tzafestas, S. G., & Koukos, A. K. (2001). A Pareto-optimal genetic algorithm for warehouse multi-objective optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14(6), 737–749. [https://doi.org/10.1016/S0952-1976\(01\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S0952-1976(01)00036-7)
- Prabhakar, P. K., Srivastav, P. P., & Murari, K. (2015). Energy Consumption During Manufacturing of Different Dairy Products in a Commercial Dairy Plant: A Case Study. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 34(2), 98. <https://doi.org/10.5958/0976-0563.2015.00020.2>
- Preece, K., & Beekman, M. (2014). Honeybee Waggle Dance Error: Adaption or Constraint? Unravelling The Complex Dance Language of Honeybees. *Animal Behaviour*, 94, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.05.016>

- Rakesh, V., & Adil, G. K. (2015). Layout Optimization of a Three Dimensional Order Picking Warehouse. *International Federation of Automatic Control*, 28(3), 1155–1160. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.240>
- Ramanathan, U., Bentley, Y., & Pang, G. (2014). The Role of Collaboration in The UK Green Supply Chains: An Exploratory Study of the Perspectives of Suppliers, Logistics and Retailers. *Journal of Cleaner Production*, 70, 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.026>
- Richards, G. (2017). A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse. In *Warehouse Management* (pp. 1–236).
- Rizzi, A., & Zamboni, R. (1999). Efficiency Improvement in Manual Warehouses Through ERP Systems Implementation and Redesign of The Logistics Processes. *Logistics Information Management*, 12(5), 367–377. <https://doi.org/10.1108/09576059910295805>
- Sana, S. S., Ospina-Mateus, H., Arrieta, F. G., & Chedid, J. A. (2019). Application of Genetic Algorithm to Job Scheduling Under Ergonomic Constraints in Manufacturing Industry. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(5), 2063–2090. <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0814-3>
- Sathi, Sahu, D., Huang, H. C., Lin, Y., & Ho, S. Y. (2019). Identification and Characterization of The lncRNA Signature Associated with Overall Survival in Patients with Neuroblastoma. *Scientific Reports*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41553-y>
- Saucedo, L. E. C., Sanchez-Solis, J. P., López-Ramos, F., & Rodas-Osollo, J. (2019). Implementation of an Artificial Bee Colony to Solve an Order Picking Problem. In *Metaheuristics for Order Picking Optimization in Warehouses to Smart Cities* (pp. 144–160). <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-8131-4.ch007>
- Sedighzadeh, D., & Mazaheripour, H. (2018). Optimization of Multi Objective Vehicle Routing Problem Using a New Hybrid Algorithm Based on Particle Swarm Optimization and Artificial Bee Colony Algorithm Considering Precedence Constraints. *Alexandria Engineering Journal*, 2225–2239. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.09.006>
- Seeley, T. D. (1995). *The Wisdom of the Hive: The Social Physiology of Honey Bee Colonies*. <https://doi.org/10.1353/pbm.1997.0016>
- Sun, Y., Singh, Z., Tokala, V. Y., & Heather, B. (2019). Harvest Maturity Stage and Cold Storage Period Influence Lemon Fruit Quality. *Scientia Horticulturae*, 249, 322–328. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.056>
- Szeto, W. Y., Wu, Y., & Ho, S. C. (2011). An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 215(1), 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.06.006>
- Tereshko, V., & Loengarov, A. (2005). Collective Decision-Making in Honey Bee Foraging Dynamics. *Computing and Information Systems Journal*, 9(3), 1–7.
- Tirkolaee, E. B., Hosseinabadi, A. A., Rahmani Soltani, M., Sangaiah, A. K. ., & Wang, J. (2018). A Hybrid Genetic Algorithm for Multi-Trip Green Capacitated Arc Routing Problem in The Scope of Urban Services. *Sustainability (Switzerland)*, 10(5), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su10051366>

- Tsai, C. Y., Liou, J. J. H., & Huang, T. M. (2008). Using a Multiple-GA Method to Solve The Batch Picking Problem: Considering Travel Distance and Order Due Time. *International Journal of Production Research*, 46(22), 6533–6555. <https://doi.org/10.1080/00207540701441947>
- Victer Paul, P., Ramalingam, A., Baskaran, R., Dhavachelvan, P., Vivekanandan, K., & Subramanian, R. (2014). A New Population Seeding Technique for Permutation-coded Genetic Algorithm: Service Transfer Approach. *Journal of Computational Science*, 5(2), 277–297. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2013.05.009>
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1962). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. In *Our Ecological Footprint* (pp. 1–35). New Society Publishers.
- Wang, K., Li, X., Gao, L., & Li, P. (2020). Energy Consumption and Profit-Oriented Disassembly Line Balancing for Waste Electrical and Electronic Equipment. *Journal of Cleaner Production*, 265, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121829>
- Wang, Y., & Szeto, W. Y. (2021). An Enhanced Artificial Bee Colony Algorithm for The Green Bike Repositioning Problem with Broken Bikes. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 125, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102895>
- Xu, B., Luo, S., Tian, Y., Chen, X., Xiong, B., & Zhou, B. (2018). Optimization of Joint Energy Micro-grid with Cold Storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 121(4), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/4/042001>
- Yang, Z., Xiao, M. Q., Ge, Y. W., Feng, D. L., Zhang, L., & Song, H. F. (2018). A Double-Loop Hybrid Algorithm For The Traveling Salesman Problem with Arbitrary Neighbourhoods. *European Journal of Operational Research*, 265(1), 65–80. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.024>
- Yao, B., Yan, Q., Zhang, M., & Yang, Y. (2017). Improved artificial bee colony algorithm for vehicle routing problem with time windows. *Plos One*, 12(9), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181275>
- Yates, F. (1937). Complex Experiments. *Journal of the Royal Statistical Society*, 181–223.
- Yerukala Sathipati, S., Sahu, D., Huang, H.-C., Lin, Y., & Ho, S.-Y. (2019). Identification and Characterization of the lncRNA Signature Associated with Overall Survival in Patients with Neuroblastoma. In *Scientific Reports* (Vol. 9, Issue 1). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41553-y>
- Yin, P., & Chuang, Y. (2016). Adaptive Memory Artificial Bee Colony Algorithm for Green Vehicle Routing With Cross-Docking. *Applied Mathematical Modelling*, 40, 9302–9315. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.06.013>
- Yousefi, S. M., Derakhshan, F., Aghdasi, H. S., & Karimipour, H. (2020). An Energy-Efficient Artificial Bee Colony-Based Clustering in The Internet of Things. *Computers and Electrical Engineering*, 86, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106733>

- Zarzycki, H., & Skubisz, O. (2021). A New Artificial Bee Colony Algorithm Approach for the Vehicle Routing Problem. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 307, 562–569. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85626-7_66
- Zhang, H., Zhou, R., Lorente, S., & Ginestet, S. (2018). Thermodynamic Design of Cold Storage-Based Alternate Temperature Systems. *Applied Thermal Engineering*, 144, 736–746. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.08.099>
- Zhang, S., Lee, C. K. M., Choy, K. L., Ho, W., & Ip, W. H. (2014). Design And Development Of A Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm For The Environmental Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part D*, 31, 85–99. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2014.05.015>
- Zhu, Q., Sarkis, J., & Lai, K. (2008). Green Supply Chain Management Implications for “Closing The Loop.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.06.003>
- Zhuang, Z., Huang, Z., Sun, Y., & Qin, W. (2021). Optimization for Cooperative Task Planning of Heterogeneous Multi-Robot Systems in an Order Picking Warehouse. *Engineering Optimization*, 53(10), 1715–1732. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2020.1821198>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Serra KÖKSAL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021 yılında Pavo Tasarım Üretim Elektronik Tic.A.Ş. firmasında Proje Mühendisi olarak çalışmaya başladı.
- 2023 yılında BMC Savunma Sanayi firmasında Proje Mühendisi olarak çalışmaya başladı, çalışmaya devam etmektedir.