

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

**İKİ AŞAMALI SOĞUK TEDARİK ZİNCİRİNDE
NSGA-II ALGORİTMA UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ash ACERCE

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı

MAYIS 2024

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

**İKİ AŞAMALI SOĞUK TEDARİK ZİNCİRİNDE
NSGA-II ALGORİTMA UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ash ACERCE

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Berrin DENİZHAN

MAYIS 2024

Aslı ACERCE tarafından hazırlanan “İki Aşamalı Soğuk Tedarik Zincirinde NSGA-II Algoritma Uygulaması ” adlı tez çalışması 16.05.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Dr. Öğr. Üyesi Hatice ESEN Kocaeli Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Berrin DENİZHAN (Danışman) Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Sema Kır Sakarya 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 “İki Aşamalı Soğuk Tedarik Zincirinde NSGA-II Algoritma Uygulaması” 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, etik kurul onay belgesi aldığımı çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(16/05/2024)

Aslı ACERCE



Anneme ve rahmetli babama



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim başından sonuna kadar değerli bilgi ve deneyimlerini benimle fazlası ile paylaşan, eğitimim boyunca her konuda desteğini esirgemeyen, çalışmanın ilk aşamasından son aşamasına kadar yardımcı olan, profesyonel çalışma hayatımla birlikte çalışmamı en zorlandığım zamanlarda bile bırakmamamı sağlayan ve teşvik ederek beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Berrin DENİZHAN'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tüm eğitim hayatım süresince beni destekleyen, maddi ve manevi gözetmeksizin fedakarlıktan kaçınmayan, ellerinden gelenin fazlasını yapan, bu günlere gelmem için hayatlarını köklü bir şekilde değiştiren rahmetli babam Ömer ACERCE ve değerli annem Halime ACERCE 'ye çok teşekkür ederim. Aynı zamanda benden desteklerini esirgemeyen kardeşlerim Rumeysa ACERCE, Osman ACERCE 'ye, nişanlım Muhammet TUNCAY' a ve tüm arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Aslı ACERCE



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xii
SİMGELER	xiv
TABLO LİSTESİ	xvi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY.....	xx
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
Tedarik Zinciri Yönetimi.....	1
Soğuk Tedarik Zinciri Yönetimi	3
İki Aşamalı Soğuk Tedarik Zinciri Yönetimi.....	5
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
İki Aşamalı Soğuk Tedarik Zinciri	7
İki Aşamalı Soğuk Tedarik Zincirinde Meta Sezgisel Algoritmalar	8
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
İki Aşamalı Soğuk Tedarik Zinciri Problemi	9
1.1. Matematiksel Model	9
1.2. Genetik Algoritma	14
1.3. NSGA-II ve Uygulama Adımları	17
Varsayımlar	22
2.1. Kullanılan Veri Seti	23
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	24
Soğuk Tedarik Zincirinde NSGA-II Uygulama Sonuçları	24
BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	29
KAYNAKLAR.....	31
ÖZGEÇMİŞ.....	35
3.4.	
3.5.	
3.6.	
4.1.	

KISALTMALAR

2E-VRP	: İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi
GA	: Genetik Algoritma
NSGA-II	: Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması II
TZY	: Tedarik Zinciri Yönetimi





SİMGELER

A	: Yaylar kümesi (i, j)
C	: Tedarikçi-depo-tedarikçi hat taşıma yönlendirme maliyeti
c_{ij}	: (i, j) yayı üzerindeki yönlendirme maliyetleri
d_i^t	: i müşterisinin t periyodundaki talebi
G	: g tarafından endekslenen ürün yaşları kümesi
H	: Depoda envanter tutma kapasitesi
h^g	: g ürün yaşı için depoda birim envanter tutma maliyeti
I^g	: t periyodunda depoda tutulan g yaşı miktarı.
K	: k ile endekslenen araçlar kümesi
N	: i, j, l ile endekslenen düğümler kümesi
Q^k	: k aracının kapasitesi
R_i	: i'nin ziyaret kombinasyonları kümesi
s_i^{kt}	: i müşterisinin t periyodunda k aracının konumu
T	: t ile endekslenen dönemler kümesi
u^t	: t dönemindeki tedarikçi-depo araç sayısı
v_i^{gkt}	: k aracı ile t periyodunda i müşterisine teslim edilen g yaşı miktarı
w^t	: t periyodunda tedarikçiden depoya teslim edilen miktar



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3. 1. Matematiksel modelde kullanılan kümeler ve açıklamaları.....	9
Tablo 3. 2. Matematiksel modelde kullanılan parametreler ve açıklamaları.....	10
Tablo 3. 3. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve açıklamaları	10
Tablo 3. 4. Algoritma değişken değerleri	22
Tablo 3. 5. Algoritma ile model çözümünde kullanılan veriler.....	23



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1. Tedarik zinciri temel bileşenleri (Yıldırım, 2021).....	2
Şekil 1. 2. İki aşamalı soğuk tedarik zinciri	5
Şekil 3. 1.Genetik Algoritmanın adımları akış şeması.....	16
Şekil 3. 2.Sırasıyla Çaprazlama ve Mutasyona Örnek Gösterim	17
Şekil 3. 3. Elitizm aşamaları	18
Şekil 3. 4. Baskınlık derecelendirmesi örneği.....	19
Şekil 3. 5. Yoğunluk mesafesi örneği	20
Şekil 3. 6. NSGA-II Algoritması akış şeması	21
Şekil 4. 1. Depo, tedarikçi ve rastgele belirlenen müşteri konumları	25
Şekil 4. 2. 1.Periyottaki müşteri talep tahmin grafiği	26
Şekil 4. 3. Her iterasyonda elenen birey sayıları.....	26
Şekil 4. 4. NSGA-II sonucunda maliyet değişim grafiği	27
Şekil 4. 5. Araç 1'e ait tüm periyotlardaki rotaları	28



İKİ AŞAMALI SOĞUK TEDARİK ZİNCİRİNDE NSGA-II UYGULAMASI

ÖZET

Anahtar Kelimeler: İki Aşamalı Envanter Sistemi, Soğuk Tedarik Zinciri, Çok Amaçlı Fonksiyon, Meta-Sezgisel Algoritma, NSGA-II

İki aşamalı soğuk tedarik zinciri; dondurulmuş gıda, taze/yeşil ürün veya ilaç gibi dikkat gerektiren ürünlerin taşınması, depolanması ve dağıtılması aşamalarını içeren bir sistemdir. Üzerinde çalışılan iki aşamalı soğuk tedarik zincirinde üç temel eleman mevcuttur. Bu elemanlar; bir tedarikçi, bir depo ve birden fazla müşteridir. İki aşamalı soğuk tedarik zincirlerinde birçok ürünün tedarik planlaması yapılabilmektedir. Çalışmada kalitesi aşamalı olarak düşen taze/yeşil bir ürünün taşınacağı kabul edilmiştir. İki aşamalı soğuk tedarik zincirinde; maliyet en küçüklemesi, ürün kalitesi optimizasyonu, ürün taşıma koşulları optimizasyonu, ürün depolama koşulları optimizasyonu, vb. gibi birden fazla amaç fonksiyonu belirlenebilmektedir. Birden fazla amaç fonksiyonun optimize edilebilmesi için kurulmuş olan matematiksel modelde maliyetleri ve ürün yaşlarını minimize eden iki ayrı amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Literatürde özellikle geleneksel çözüm yöntemleri birden fazla amaç fonksiyonu içeren matematiksel modellerin çözümünde iyi bir performans göstermemektedir. Bu nedenle iki aşamalı soğuk tedarik zinciri için kurulan matematiksel modelin çözümü için; Genetik Algoritma geliştirilerek oluşturulan Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması II (NSGA-II) kullanılmıştır. Belirli talep altında, 7 günlük periyot için yapılacak olan planlama NSGA-II ile optimum planlamaya ulaşılmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar; NSGA-II'nin iki aşamalı soğuk tedarik zincirindeki ortalama performansının literatürde yer alan geleneksel çözümlere göre yüksek olduğu ve önemli ölçüde optimum sonuca ulaşılmasını sağladığını göstermiştir.

NSGA-II APPLICATION IN A TWO ECHELON COLD SUPPLY CHAIN

SUMMARY

Keywords: Two-Echelon Inventory System, Cold Supply Chain, Multi-objective Function, Meta-Heuristic Algorithm, NSGA-II

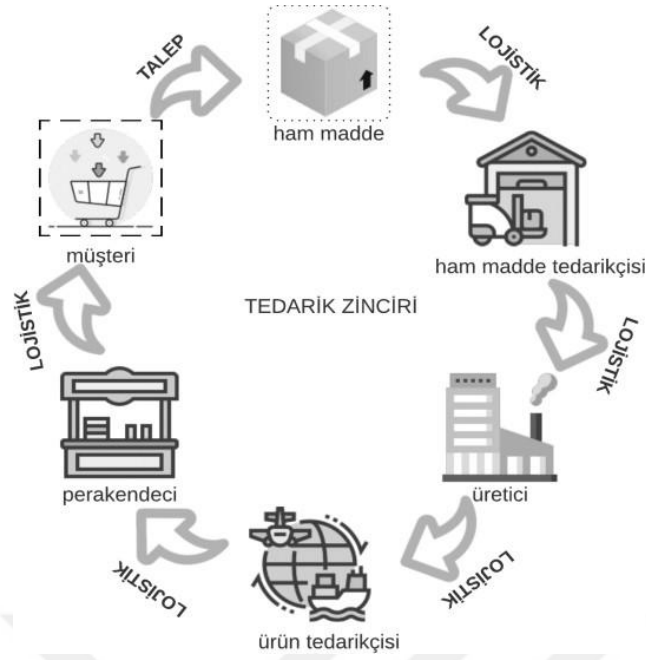
The two-stage cold supply chain is a system that includes the transportation, storage and distribution of products that require attention, such as frozen food, fresh/green produce or pharmaceuticals. There are three basic elements in the two-stage cold supply chain studied. These elements are a supplier, a warehouse and multiple customers. In two-stage cold supply chains, supply planning of many products can be made. In the study, it is assumed that a fresh/green product with gradually decreasing quality will be transported. In a two-stage cold supply chain, multiple objective functions such as cost minimization, product quality optimization, product transportation conditions optimization, product storage conditions optimization, etc. can be determined. In order to optimize multiple objective functions, two separate objective functions that minimize costs and product ages were created in the mathematical model. In the literature, especially traditional solution methods do not perform well in solving mathematical models with more than one objective function. For this reason, the Non-Dominant Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II), which was created by developing a Genetic Algorithm, was used to solve the mathematical model for the two-stage cold supply chain. Under certain demand, the planning to be made for a 7-day period was tried to reach the optimum planning with NSGA-II. The results of the study show that the performance of NSGA-II in the two-stage cold supply chain is higher than the traditional solutions in the literature and it provides a significant optimum result.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tüketimin her geçen gün artması ve teknolojinin ilerlemesi ile birlikte tedarik zincirlerinin yapısında değişiklik meydana gelmektedir. Meydana gelen değişiklikler sonucunda tedarik zinciri yönetiminde farklı noktalarda birçok problem oluşmaktadır. Oluşan bu problemleri çözebilmek için Tedarik Zinciri Yönetimi daha detaylı incelenerek yeni çözüm yöntemleri türetilmiştir.

Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), firmalara ait olan tüm tedarik zincirinin uzun vadeli performansını arttırmayı hedefleyen, bir firma içerisindeki ve tedarik zincirindeki firmalar arasındaki geleneksel iş faaliyetlerinin sistematik planlamasını kapsamaktadır (Ling ve Li, 2007). TZY, tüm iş faaliyetlerini ve firmaların birbirine bağlılığını Kabul ederek bir firmalar ağı genelinde temel iş faaliyetlerinin yönetimini içermektedir (Croxtton vd., 2001). TZY’de sürdürülebilirlik ve dayanıklılığı Kapsamlı bir tedarik zinciri ve tedarik zinciri karar verme karmaşıklığı modelinin geliştirilmesi, tedarik zinciri karmaşıklığının itici güçlerini ve bunu etkili bir şekilde yönetme stratejilerini anlamak için gereklidir (Manuj ve Şahin, 2011).



Şekil 1. 1. Tedarik zinciri temel bileşenleri (Yıldırım, 2021)

Şekil 1.1’de örnek bir Tedarik Zincir Yönetiminin temel bileşenleri gösterilmiştir.

Privett ve Gonsalvez 2014 yılında yaptıkları çalışmada TZY sistemindeki karmaşıklık sonucunda ortaya çıkan on temel sorunu belirlemiş ve önceliklendirmişlerdir:

- Koordinasyon eksikliği: sistemin içerisinde var olan bileşenler arasında parçalanma
- Envanter yönetimi: miktar envanter seviyeleri, kullanılabilirlik yönetimi ve stok sayıları belirleme hataları
- Talebin çoğunluklar bilinmemesi ve / veya tahmin edilmesi
- İnsan kaynağının uzmanlık, eğitim ve personel kısıtlarına bağlılığı
- Sipariş yönetiminde planlama, sipariş ve takip dahil olmak üzere meydana gelen hatalar
- Kısıtlıktan kaçınma: Stokta ürün kalmaması, kısıtlılar (pahalı) acil durum siparişlerine neden olması, sık ikmal yapılması, sık sipariş oluşturma veya yüksek envanterin oluşması
- Son kullanma tarihi
- Depo yönetiminde prosedürler ve organizasyon dahil olmak üzere oluşan hatalar

- Hem depolama hem de nakliye sırasında takip ve arıza dahil olmak üzere sıcaklık kontrolünde oluşan hatalar
- Sevkiyat görünürlüğünün; nakliye sırasındaki, olası gecikmedeki ve varıştaki görünürlüğü dahil olmak üzere az olması

Sonuç olarak, tedarik zincirlerinin ve tedarik zinciri yönetiminin anlaşılması ve yönetilmesi çok yönlüdür. Aynı zamanda sürdürülebilirlik, esneklik, karmaşıklık, risk yönetimi ve sosyal sonuçlara ilişkin hususları da içermektedir. Bu ve bunun gibi faktörler, tedarik zinciri yönetimine yönelik kapsamlı ve etkili bir yaklaşım geliştirilmesinde büyük bir öneme sahiptir.

Soğuk Tedarik Zinciri Yönetimi

Soğuk Tedarik Zinciri, belirli bir sıcaklık aralığında tutulması gereken ürünlerin üretiminden tüketiciye ulaşana kadar geçen süreçte korunmasını sağlayan bir tedarik zinciri türüdür. Soğuk Tedarik Zinciri, dondurulmuş gıda, taze/ yeşil ürün ilaç ve diğer bozulabilir ürünlerin üretiminden, depolanmasına, dağıtımına ve tüketimine kadar olan süreçte gereken uygun sıcaklık koşullarının sağlanmasını ve sürdürülmesini içeren bir süreçtir. Soğuk tedarik zinciri, gıda güvenliğini sağlamak, ürünlerin raf ömrünü uzatmak ve maliyetleri düşürmek için kritik öneme sahiptir. Bu tedarik zincirinde, ürünlerin belirli sıcaklık ve diğer koşullara uygun bir şekilde tanınması gerekmektedir. Literatürde yapılmış olan çalışmalarda soğuk tedarik zinciri yönetiminde tedarik zinciri iş birliğinin önemi vurgulanmaktadır. Soğuk tedarik zinciri iş birliği, tedarik zinciri içerisinde mevcut olan faaliyetlerin sorunsuz bir şekilde gerçekleştirmek ve genel bir tedarik zinciri başarısı elde edebilmek için önemlidir (Kabadayı ve Dağ, 2020).

Soğuk tedarik zinciri, ürünlerin hassas olması sebebiyle özellikle riskli olabilir, bu nedenle etkili bir tedarik zinciri yönetim stratejisi gereklidir. Tedarik zinciri entegrasyonu, üreticilerin faaliyetlerini hem tedarikçiler hem de müşterilerle entegre etmek için kullandıkları bir dizi iş faaliyetleri olarak düşünülmektedir (Hazir ve Demir, 2019). Soğuk tedarik zinciri, ürünlerin belirli sıcaklık koşullarına uygun bir şekilde taşınmasını gerektirdiğinden, tedarik zinciri entegrasyonunun bu özel gereksinimleri karşılamak için nasıl kullanılabileceği üzerine çalışmalar da büyük önem arz

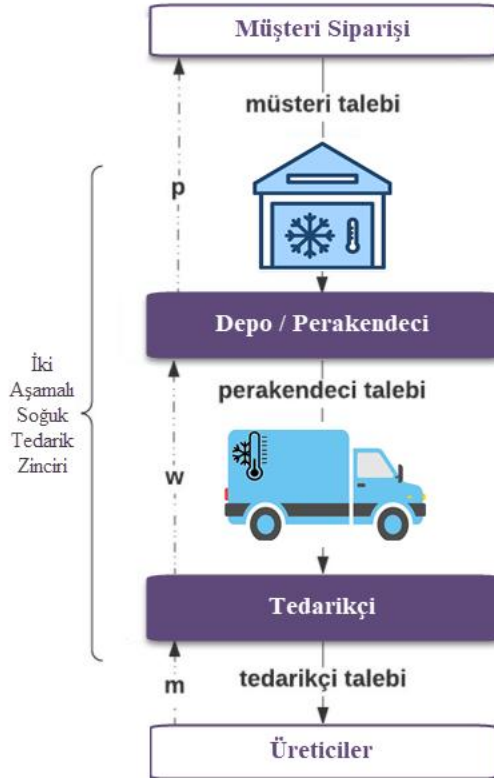
etmektedir. Bu bağlamda, soğuk tedarik zinciri yönetimi, sürdürülebilirlik, risk yönetimi, tedarik zinciri entegrasyonu ve iş birliği gibi çeşitli faktörleri içeren kapsamlı bir yaklaşım gerektirir. Bu faktörlerin etkili bir şekilde yönetilmesi, ürün kalitesi, güvenliği ve tedarik zinciri verimliliği açısından kritik öneme sahiptir.

Soğuk tedarik zincirlerinde, taşınan ürün ve sistemde mevcut olan birçok faktörden dolayı birçok sorun meydana gelebilmektedir. Soğuk Tedarik Zincirin Yönetiminde de meydana gelen yaygın problemler bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Sıcaklık kontrolü: Ürünlerin belirli sıcaklık aralığında tutulması gerektiği için sıcaklık kontrolü Soğuk Tedarik Zinciri için kritik bir faktördür. Sıcaklık belirlenmiş olan sıcaklık aralığının dışına çıkması durumunda ürünlerin kalitesini ve etkinliğini ciddi şekilde etkileyebilir.
- Nem seviyeleri: Özellikle ilaçlar, kimyasallar ve taze/yeşil ürünler için nem seviyesinin kontrol altında tutulması büyük bir önem arz etmektedir. Ürünler için uygun olmayan nem seviyeleri ürünlerin bozulmasına veya etkisizleşmesine neden olabilmektedir.
- Işık şiddeti: Bazı ilaçlar ve kimyasallar ışık etkisi altında kalitesi bozulabilir veya kullanılmaz hale gelebilir. Bu nedenle ürün için en uygun ışık şiddeti için kontrol altında tutulması gerekmektedir.
- Karbondioksit seviyeleri: Özellikle fermantasyon veya kimyasal reaksiyon geçirebilen ürünlerde, karbondioksit seviyelerinin izlenmesi kritik bir öneme sahiptir. Karbondioksit seviyesinin yüksek olması ürünlerin kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.
- İzlenebilirlik eksikliği: Ürünlerin tedarik zincirinin her adımında izlenebilirliğinin eksik olması, gerekli durumlarda yapılması gereken müdahalelerin zamanında yapılamaması neden olmaktadır.
- Sağlık riskleri ve güvenlik endişeleri: Ürünlerin kalitelerinin bozulması veya etkisizleşmesi, sağlık ve güvenlik risklerine neden olabilmektedir. Bu sebepten ötürü soğuk tedarik zinciri yönetiminin optimum seviyede sağlanması hayati öneme sahiptir.

İki Aşamalı Soğuk Tedarik Zinciri Yönetimi

İki aşamalı soğuk tedarik zinciri, soğuk tedarik zincirinin iki farklı aşamadan oluşarak yönetilmesini ve ürün / ürünlerin taşınmasını içeren bir tedarik zincir modeli olarak tanımlanabilir. Bu tür bir tedarik zincirinde tedarikçiler, soğuk hava depoları, dağıtım / taşıma araçları ve müşteriler gibi elemanlar yer almaktadır. Şekil 1.2.'de örnek bir **1.3** aşamalı soğuk tedarik zinciri problemi gösterilmiştir. İki aşamalı soğuk tedarik zincirlerinde birçok ürünün tedarik planlaması yapılabilmektedir. Çalışmada kalitesi aşamalı olarak düşen taze/yeşil bir ürünün taşınacağı kabul edilmiştir. İki aşamalı soğuk tedarik zincirinde; maliyet en küçükleme, ürün kalitesi optimizasyonu, ürün taşıma koşulları optimizasyonu, ürün depolama koşulları optimizasyonu, vb. gibi birden fazla amaç fonksiyonu belirlenebilmektedir.



Şekil 1. 2. İki aşamalı soğuk tedarik zinciri

Bu çalışma, bir tedarikçi ve bir depoya sahip, belirli bir talep altında ve pazarda bir ürün satan iki aşamalı bir soğuk tedarik zinciri üzerinde çalışmayı amaçlamaktadır. Tedarikçiden alınan taze/yeşil ürün müşteri dağıtımından önce tek bir depoda depolanacaktır. Tedarik zinciri üzerinde taşınacak olan ürünün kalitesi kademeli olarak azaldığı kabul edilmiştir. Bu nedenle taze / yeşil ürünlerin ara depoda tutulma sürelerinin kısa olması amaçlanmaktadır. Beklenen maliyeti en küçükleme için ve en

iyi çözüme ulaşabilmek için bir matematiksel model önerilmiştir. Matematiksel modelin çözümü için meta sezgisel algoritmalarından bir tanesi olan Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması II (NSGA-II) kullanılmıştır. Yapılan çözüm sonucunda elde edilen sonuçlar çalışmada gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerinden önerilerde bulunulmuştur.

Hazırlanan çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1’de çalışmanın konusu, amacı ve önemi yer almaktadır. Bölüm 2’de iki aşamalı soğuk tedarik zinciri modeli uygulamaları, yöntemler, Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması II (NSGA-II) ve tedarik zincirine ait örnekleri içeren kaynak araştırması yer alacaktır. Bölüm 3’te, çalışmada kullanılan iki aşamalı soğuk tedarik zinciri modeli ve kullanılan NSGA-II hakkında detaylar verilecektir. Bölüm 4’te ise modelin NSGA-II uygulama ve sonuçları verilecektir. En son bölüm olan Bölüm 5’te çalışmanın sonuçlarına dair sonuç ve öneriler ile, araştırma bulguları özetlenecek ve gelecek çalışmalardan bahsedilecektir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

İki Aşamalı Soğuk Tedarik Zinciri

Liu, Chen ve arkadaşları 2021 yılında yayımladıkları çalışmalarında iki aşamalı soğuk tedarik zincirinde müşterilere taze ürün ulaştırma amacı ile dinamik bir plan modeli sunmuşlardır.

2020 yılında Wang ve Wen yaptıkları çalışmada soğuk tedarik zincirlerinde maliyetleri ve karbon emisyonlarını performans ölçütleri olarak kabul ederek soğuk tedarik zinciri için araç rotalama probleminin çözümüne ulaşmayı amaçlamışlardır. Belirledikleri kısıtlar ve performans ölçütleri altında oluşturulan iki aşamalı heterojen filolu araç rotalama probleminin modeli oluşturulmuş ve çözüme ulaşmak için Adaptif Genetik Algoritma (AGA) yaklaşımını önermişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda soğuk zincirde yer alan lojistik işletmeleri, hükümetler ve tüketicilere soğuk tedarik zincirlerinin gelişimini iyileştirmeye destek olmak amacıyla önerilerde bulunmuşlardır.

Liu ve arkadaşları (2021) yayımladıkları makalede; müşterilere taze ürün ulaştırmanın, ele aldıkları iki aşamalı soğuk tedarik zinciri modelinin en temel amacı olduğunu belirtmişlerdir. Kurdukları iki aşamalı soğuk tedarik zincirinde iş birliği içerisinde olan bir üretici ve bir perakendeci bulunmaktadır. Çalışmada üretici optimum ürün tazeliğini koruma çabasına karar verirken, perakendeci ise optimum reklam çabası seviyesine karar vermektedir. Merkezi olmayan karar modunda hem tazelik faktörünün hem de çabanın optimum seviyelerinin, kâr marjındaki düşüş sebebi ile önemli ölçüde azalttıklarını göstermişlerdir. Bu problem çözebilmek için dinamik bir kontrol modeli önerisinde bulunmuşlardır. Aynı zamanda dinamik lineer bonus şeması geliştirmişlerdir.

Jaigirdar ve arkadaşları 2022 yılı içerisinde yayımlandıkları çalışmada sürdürülebilir bir tedarik zinciri için yıllık tedarik zinciri maliyetini, soğuk hava deposu kurulum maliyetini azaltmayı ve uygun bir dağıtım sistemi kurarak bozulabilir ürünlerin tazeliğini korumayı amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada çok kademeli ve çok ürünli bir üç amaç fonksiyonlu optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Kurulan optimizasyon modelinde tedarik zinciri dağıtım ağı probleminin çözümü için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Modeli geriye kalan bölümü için

ağırlık toplam yöntemi dikkate alınmış ve CPLEX optimizasyon stüdyosu kullanılarak çözüme ulaşılmıştır.

Theeb ve arkadaşları pandemi döneminde dikkat edilmesi gereken hususlardan biri olan aşı dağıtımını üzerinde durarak 2023 yılında bir çalışma yayımlamıştır. Gelişmekte olan ülkelerde acil aşı ihtiyacını karşılamayan zayıf altyapı ve diğer zorlukları gidermek için kalıcı depoların inşa edilmesinin pratik olmadığını savunmuşlardır. Aşı tedarikindeki belirtilen sorunların giderilmesi için iki kademeli araç rotalama problemi (2E-VRP) ile aşı tedarik zincirini (VSC) birleştirilerek yeni birçok amaçlı Karışık Tamsayılı Lineer Programlama (MILP) modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model ile müşteri taleplerinin en optimum seviyede karşılanması hedeflenmiştir. Kurulan model bir ticari matematiksel programlama çözücüsü olan CPLEX ve bir sezgisel yöntem ile çözülerek elde edilen sonuçlar çözüm kalitesine göre karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmanın etkinliğini gösterebilmek için bir vaka çözümlenmiş ve sonuçlar ile birlikte %11,97'lik bir iyileşme tespit edilmiştir.

İki Aşamalı Soğuk Tedarik Zincirinde Meta Sezgisel Algoritmalar

2021 yılında Yıldırım hazırlamış olduğu tez çalışmasında iki aşamalı olan bir ilaç tedarik zincirini ele almıştır. Ele alınan tedarik zincirinde temel amaç tedarik zinciri süreçlerinde elde edilen toplam kârı maksimize etmektir. Çalışma içerisinde dağınık merkezli model, merkezi model, sosyal iş birliği modeli ve ekonomik iş birliği modeli olmak üzere dört farklı model oluşturulmuş ve oluşturulan her model için ayrı ayrı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolar Genetik Algoritma kullanılarak çözülmüştür ve elde edilen sonuçlar kârlılık dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

İki Aşamalı Soğuk Tedarik Zinciri Problemi

Kurulan modelin temel amaçları;

- Rotalama ve envanter maliyetlerini minimize etmek,
- Araç Kullanım sayısını minimize etmek,
- Bozulan taze / yeşil ürün sayısı minimize etmektir.

3.1.

Matematiksel Model

Matematiksel modeli problemlerin çözümleri için kullanılan mühendislik yöntemlerinden bir tanesidir. Aynı zamanda diğer çözüm yöntemleri için bir temel oluşturarak problemi temsil etmektedir. Çalışma için yapılan kabuller ve varsayımlar doğrultusunda kurulan matematiksel modelde S.U.K Rohmer ve diğerlerinin 2019 yılında yayımladıkları “A Two-echelon Inventory Touting Problem for Prishable Products” çalışmasında kurdukları optimizasyon modeli referans alınmıştır. Referans alınan matematiksel modele bir yeni amaç fonksiyonu eklenmiştir. Kurulan matematiksel modelde kullanılan kümeler ve kümelere ait açıklamalar Tablo 3.1’de özetlenmiştir.

Tablo 3. 1. Matematiksel modelde kullanılan kümeler ve açıklamaları

Küme	Açıklama
N	i, j, l ile indekslenen düğümler kümesi {depo:0; müşteri: 1, ..., n}
A	yaylar kümesi $(i, j): i, j \in N, i \neq j$
T	t ile indekslenen dönemler kümesi
K	k ile indekslenen araçlar kümesi: $k \in \{1, \dots, m\}$
G	g tarafından endekslenen ürün yaşları kümesi
R_i	i ’nin ziyaret kombinasyonları kümesi

Matematiksel modelde kullanılan parametre değişkenleri ve parametre değişkenlerine ait açıklamalar Tablo 3.2’de yer almaktadır.

Tablo 3. 2. Matematiksel modelde kullanılan parametreler ve açıklamaları

Parametre	Açıklama
c_{ij}	(i, j) yayı üzerindeki yönlendirme maliyetleri: $i, j \in \{0, \dots, n\}$.
C	tedarikçi-depo-tedarikçi hat taşıma yönlendirme maliyeti
d_i^t	i müşterisinin t dönemindeki talebi
Q^k	k aracının kapasitesi ($k=0$: tedarikçi-depo; $k=1,2,3$:depo-müşteri)
H	depoda envanter tutma kapasitesi
h^g	g ürün yaşı için depoda birim stok tutma maliyeti (bozulma maliyeti dahil)
a^{rt}	t günü r ziyaret kombinasyonuna aitse 1’e eşit

Aynı zamanda Tablo 3.3.’te matematiksel modeldeki değişkenler ve açıklamalar gösterilmiştir.

Tablo 3. 3. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve açıklamaları

Değişken	Açıklama
x_{ij}^{kt}	j müşterisi i müşterisinden hemen sonra k aracı tarafından t döneminde ziyaret edilmişse 1’e eşit.
y_i^{kt}	k aracı t döneminde i müşterisini ziyaret ederse 1’e eşit
z_i^r	i müşterisinin r ziyaret kombinasyonu seçilmişse 1’e eşit
u^t	t dönemindeki tedarikçi-depo araç sayısı.

v_i^{gkt}	k aracı tarafından t döneminde depodan i müşterisine teslim edilen g yaşı miktarı
w^t	t döneminde tedarikçiden depoya teslim edilen miktar.
I^{gt}	t döneminde depoda tutulan g yaşı miktarı
s_i^{kt}	i müşterisinin t zaman diliminde k aracının rotasındaki konumu

3.2.1. Amaç fonksiyonları

Matematiksel modelde iki farklı amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Denklem 3.1 oluşturulan amaç fonksiyonlarından ilkidir. Bu amaç fonksiyonundaki amaç iki aşamalı soğuk tedarik zincirinin toplam maliyetini minimize etmektedir. Denklem 3.1 hat taşıma maliyeti, stok tutma maliyeti ve müşterilere yapılan dağıtım maliyetlerini içermektedir.

Denklem 3.2 amaç fonksiyonunda ise temel amaç soğuk tedarik zincirinde mevcut olan ürünlerin yaşlarını minimize etmektir. Bu sayede sistemde bozulan ürün miktarı azaltılarak ürün israfı en aza indirilmektedir.

$$\text{Minimise } \sum_{t \in T} Cu^t + \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} h^g I^{gt} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} C_{ij} x_{ij}^{kt} \quad (3.1)$$

$$\text{Minimise } \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} v_i^{gkt} \quad (3.2)$$

3.2.2. Kısıtlar

Belirlenen amaç fonksiyonları ile birlikte optimum sonuçlara ulaşabilmek için mevcut durumları ve kabulleri modele yansıtabilmek için kısıtlar büyük öneme sahiptir. Bu çalışma için toplamda 18 adet kısıt belirlenmiştir. Belirlenen kısıtlar altında amaç fonksiyonlarının çözümüne ve tedarik zincirinde optimum hat taşıma ve depolama planına ulaşılabilecektir. Denklem 3.3 ve Denklem 3.4 ürünün yaşı ile ilgili depolama / envanter kısıtlarıdır. Denklem 3.3 ile birlikte belirlenen sabit bir yaşa gelen ürünler envanterden düşürülerek müşterilere dağıtılmaması sağlamaktadır. Bu kısıt sayesinde kullanıcılara kalitesi düşmüş olan ürünlerin iletilmesi önlenmektedir.

$$I^{gt} = I^{g-1,t-1} - \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} v_i^{g-1,k,k-1} \quad g \in G \setminus \{0\}, t \in T \setminus \{0\} \quad (3.3)$$

$$I^{0t} = w^t \quad t \in T \quad (3.4)$$

Denklem 3.5 envanterin güncellenmesi için depoya yapılacak olan teslimatı belirlemek amacıyla eklenmiş olan bir kısıttır. Tedarikçiden depoya yapılan teslimatları belirlenmesini de sağlamaktadır.

$$I^{gt} \geq \sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{k \in K} v_i^{gkt} , \quad g \in G , t \in T \quad (3.5)$$

Denklem 3.6 ve Denklem 3.7 envanter seviyesinin en azından aynı periyottaki müşteri teslimatlarını karşılamasını sağlamaktadır. Aynı zamanda bulunan çözümde depo için sabit olan envanter kapasitesinin aşılmamasını sağlamaktadırlar.

$$\sum_{g \in G} I^{g0} = w^0 \quad (3.6)$$

$$\sum_{g \in G} I^{gt} \leq H , \quad t \in T \quad (3.7)$$

Bulunan optimum çözüme ait teslimat planında her bir müşterinin talebinin karşılanma şartı Denklem 3.8 ile matematiksel modele dahil edilmiştir.

$$\sum_{r \in R_i} a^{rt} d_i^t z_i^r = \sum_{g \in G} \sum_{k \in K} v_i^{gkt} , \quad i \in N \setminus \{0\}, t \in T \quad (3.8)$$

Denklem 3.9 ile birlikte optimum çözüm için depoya teslim edilebilecek ürün miktarı depo kapasitesi ve mevcut envanter bağlı olarak kısıtlanmasını sağlanmıştır.

$$w^t \leq H - \sum_{g \in G} I^{g,t-1} , \quad t \in T \quad (3.9)$$

Denklem 3.10 ve Denklem 3.11 ile depoya ve müşteriye teslimat için kullanılacak olan araçların, sabit olarak belirlenmiş olan araç kapasitesi kısıtı eklenmiştir.

$$\sum_{g \in G} \sum_{i \in N \setminus \{0\}} v_i^{gkt} \leq Q^k y_0^{kt}, \quad k \in K, t \in T \quad (3.10)$$

$$w^t \leq Q^0 u^t, \quad t \in T \quad (3.11)$$

Her bir müşteriye teslimat yapılacak her periyotta yapılacak olan teslimat yalnızca tek bir araçla yapılabilir kabulü Denklem 3.12 ile kısıt olarak modele eklenmiştir. Denklem 3.12 tek bir araç kısıtını karşılar iken Denklem 3.13 ise her teslimatın o periyotta aktif olan araç ile teslimat yapılacağı kısıtını koymaktadır.

$$\sum_{k \in K} y_i^{kt} \leq 1, \quad i \in N \setminus \{0\}, t \in T \quad (3.12)$$

$$y_i^{kt} \leq \sum_{j \in N} x_{ij}^{kt} \leq 1, \quad i \in N, k \in K, t \in T \quad (3.13)$$

Her bir müşteri için talepleri doğrultusunda bir teslimat planı atanacaktır. Denklem 3.14 bu atama için her bir müşteriye tek bir teslimat ataması yapılmasını sağlamaktadır. Denklem 3.15 ise Denklem 3.14 e bağlı olarak her müşteriye atanan teslimat planına uyulmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{r \in R_i} z_i^r, \quad i \in N \setminus \{0\} \quad (3.14)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^{kt} - \sum_{r \in R_i} a^{rt} z_j^r = 0, \quad j \in N \setminus \{0\}, t \in T \quad (3.15)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij}^{kt} - \sum_{l \in N} x_{jl}^{kt} = 0, \quad k \in K, t \in T, j \in N \quad (3.16)$$

Denklem 3.3 ve Denklem 3.16 aralığındaki tüm kısıtlara ek olarak modele eklenmiş olan kısıtlar optimum çözüme ulaşabilmek için eklenmiş olan değişkenlerin negatif olmaması sağlayan kısıtlardır.

3.2.3. Varsayımlar

Bu başlık altında çalışmada dikkate alınan varsayımlar açıklanmıştır. İki aşamalı soğuk tedarik zincirinde tedarikçi, üreticilerden yeşil ürünü topladığından tek olarak kabul edilmiştir. Tedarikçiden alınan taze/yeşil ürün müşteri dağıtımından önce tek bir depoda depolanacaktır. Deponun merkezde olduğu yarıçapı 25 km olan dairesel alanın çevresinde müşteriler yer almaktadır. Her bir müşterinin depoya olan uzaklığı bu daire içerisinde yer almaktadır. Tüm müşterilerin talepleri normal dağılıma uygun olmak üzere belirlidir. Her bir müşteriye yapılacak olan iki ardışık teslimat periyotları arasındaki aralık 2 periyot olacaktır. Aynı zamanda her bir müşteriye yapılan ziyaretlerde aynı periyotta birden fazla araç ile teslimat yapılamaz. Tedarik zinciri üzerinde taşınacak olan ürünün kalitesi kademeli olarak azaldığı kabul edilmiştir. Her bir ürünün kalite ölçütünü belirletebilmek için her ürünün yaşı mevcut olacaktır. Ürünler depoya teslim edildiklerinde yaşları sıfır olarak kabul edilmiştir. Bir ürün depoya teslim edildikten sonra her geçen periyotta ürün yaşları sabit olarak 1 artmaktadır. Depoda ürün yaşı, son kullanma tarihini %33 oranından fazla olacak şekilde tamamladıysa ilgili ürünler müşterilere teslim edilemeyecek olup depo envanterinden düşülecektir.

Genetik Algoritma

Genetik Algoritma (GA) tarihte ilk olarak John Holland tarafından 1970'li yıllarda ortaya atılmış bir meta-sezgisel algoritmadır. Darwin'in evrim teorisinden yola çıkılarak geliştirilen ve evrimsel algoritma olarak da bilinen GA, canlılar arasındaki gen değişimini model olarak kullanarak, bilgisayara dayalı problem çözer. GA, geleneksel çözüm yöntemleri ile çözülmesi zor olan, özellikle kümeleme ve çok büyük optimizasyon problemlerinin daha hızlı ve kolay çözülmesine olanak sağlamaktadır (Ayuçlu & Ekmekçi, 2020).

GA' da matematiksel modeli çözüme ulaştırmak için amaç fonksiyonunun kısıtlara uygun tanımlanması, gen ve kromozom yapısının oluşturulması gerekir (Şahin & Eroğlu, 2014).

3.3.1. Gen

Gen probleme ait en küçük bilgiyi taşır. Bu yapıları programcı GA' nın kullanıldığı programa tanımlaması gerekir. Yapısında tam sayı, gerçel sayı, ikili tabanlı sayı gibi farklı sembolik ifadeler içerebilir.

3.3.2. Kromozom

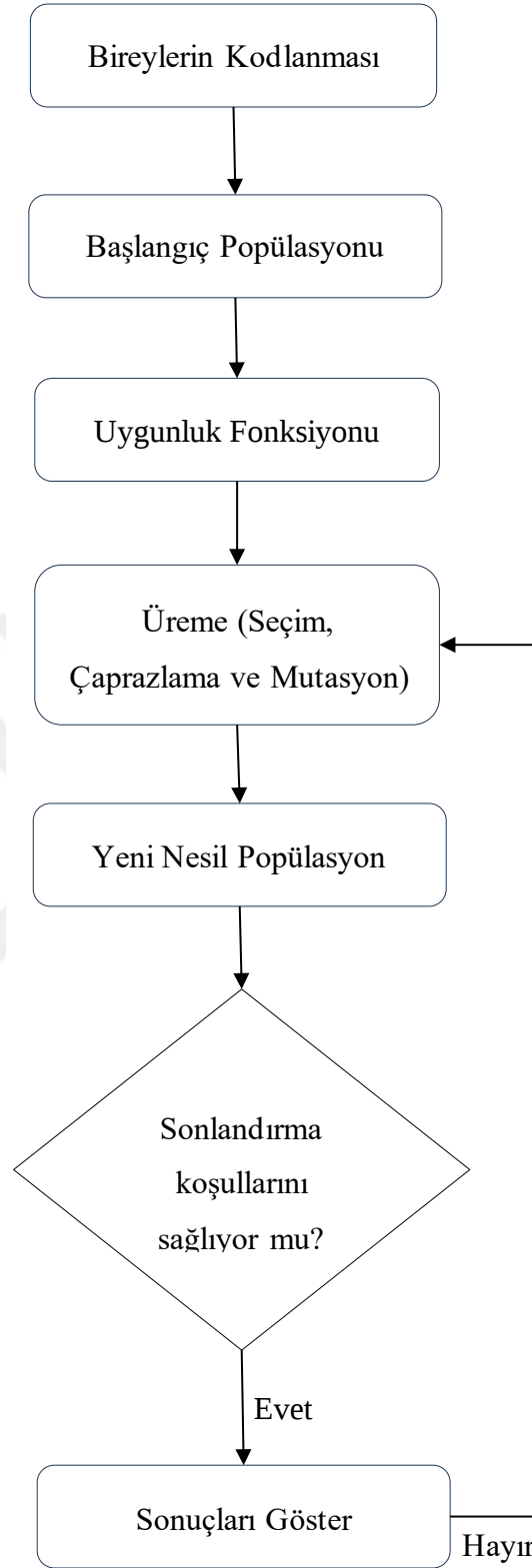
Kromozom birden fazla gen yapısının bir araya gelmesi ile oluşur. Problemin veya matematiksel modelin çözümüne ait bilgilerin bulunduğu dizilerdir. Kromozomlar aynı zamanda birey olarak da adlandırılabilir.

3.3.3. Popülasyon

Popülasyon kromozomların / bireylerin bir arada bulunduğu yapılara denir. Popülasyon büyüklüğü GA'yı programlayan kişi tarafından belirlenir.

3.3.4. GA'nın çalışma prensibi ve adımları

Belirli bir problemi çözmek için olası birkaç çözüm yolu belirlenir. Her bir çözüm alternatifini test edecek şekilde bir program yazılır. Bu program çalıştırılır ve sonuçlara göre amaç fonksiyonuna uymayan alternatifler elenerek geriye kalanlar arasında kod alışverişi gerçekleşir. Canlılar arasındaki gen alışverişine benzeyen bu süreç alternatif çeşitliliğine neden olur. GA'nın çalışma adımları Şekil 3.1'de akış şeması üzerinde gösterilmiştir (Balcı, 2019).



Şekil 3. 1.Genetik Algoritmanın adımları akış şeması

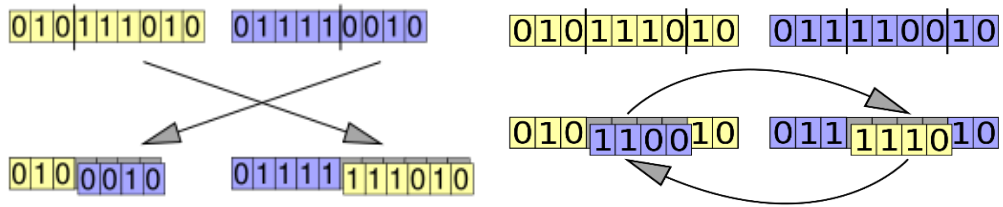
Şekil 3.1.'de GA akış şemasındaki adımlar aşağıda detaylandırılmıştır.

Adım 1: İlk olarak arama uzayındaki tüm olası çözüm alternatifleri kodlanarak bireyler oluşturulur.

Adım 2: Adım 1’de oluşturulan bireylerden rastgele bireyler seçilir ve bir araya getirilerek başlangıç popülasyonu oluşturulur. Oluşturulan popülasyonun büyüklüğünün boyutu algoritma adımlarının hızını etkileyebilmektedir. Popülasyonda birey sayısının fazla olması algoritma adımlarının uzun zaman almasına neden olur ancak çözüm kalitesini artırır.

Adım 3: Her bir birey için uygunluk (fitness) değerleri hesaplanır. Uygunluk fonksiyonu belirlenen çözümlerin uygunluk derecelerinin ölçülmesini sağlar. Bireyin sisteme uyarlanmasıyla elde edilecek sonucu verir. Bu fonksiyon sayesinde birey içerisinde eksik bilgiler giderilerek sayısal değerler alabilir.

Adım 4: Yeniden üreme işleminde en önemli kısım seçim operatörüdür. Bu operatör ile algoritmadaki birey çeşitliliği artacak, böylece çözüm uzayında farklı bölgeler aranabilecektir. Literatürde birbirinden farklı seçim yöntemleri mevcuttur. Uygunluk fonksiyonu yüksek olan bireyler yeni nesle aktarılır. Yeni nesildeki bireyler sırasıyla çaprazlama ve mutasyon aşamalarından geçirilir. Çaprazlama, iki birey arasındaki gen alışverişi sonucu yeni bireyin oluşturulmasıdır. Bir çözüm uzayında çaprazlama işlemi çaprazlama oranına ve mutasyona uğrayacak kromozom sayısı mutasyon oranına göre belirlenmektedir. Çaprazlama ve mutasyona örnek gösterimi Şekil 3.2.’de verilmiştir.



Şekil 3. 2.Sırasıyla Çaprazlama ve Mutasyona Örnek Gösterim

Adım 5: Adım 4’ye bireylerin üzerinde yapılan üreme işlemlerinden sonra yeni nesil popülasyonu oluşturulur.

Adım 6: Optimum çözüme ulaşılan kadar Şekil 3.1.’deki döngü tekrarlanır. İstenilen başarı elde edildiğinde döngü sonlandırılır.

NSGA-II ve Uygulama Adımları

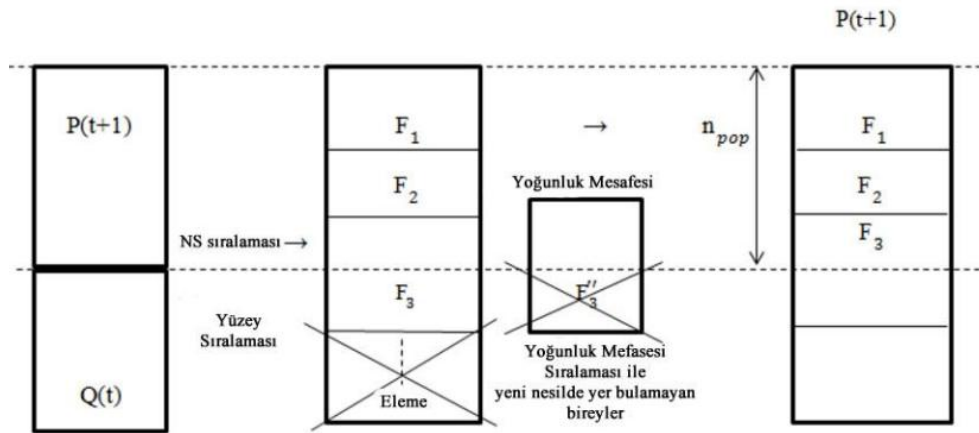
Bu başlık altında problemin çözümü için kullanılmış olan Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması II (NSGA-II: Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) anlatılacaktır. Yapılan anlatım sonrasında NSGA-II çözüm adımları detaylandırılacaktır.

3.4.

NSGA-II algoritması, Deb ve arkadaşları tarafından 2002 yılında yayımladıkları çalışma ile literatüre kazandırılan çok amaçlı bir meta-sezgisel algoritmadır. NSGA-II algoritması, Srinivas ve Deb'in 1995 yılında geliştirmiş olduğu NSGA algoritmasını geliştirmeleri sonucunda ortaya çıkmıştır. NSGA-II algoritmasının temel yapısı Genetik Algoritma (GA) tabanlıdır. Genetik Algoritmanın temel adımlarına; baskınlık derecelendirmesi ve yığılma uzaklığı hesaplaması adımları dahil edilmiştir.

3.4.1. Elitizm

Elitizm uygulanırken çok dikkat edilmelidir. Elitizm kontrolsüz bir şekilde kullanılırsa, popülasyondaki birey çeşitliliği azalabilir. Bu durum da aynı uygunluk değerine sahip olan bireylerin artmasına yol açabilir. Elitizmin, en iyi sonucu veren bireylerin seçilerek bir sonraki nesle aktarılmasında GA'nın başarısına önemli ölçüde katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir (Zitzler, 1999). Şekil 3.x'te Elitizm aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3. 3. Elitizm aşamaları

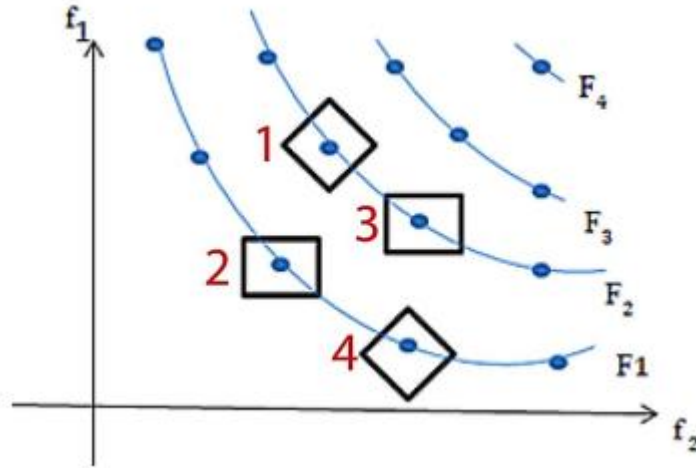
Şekil 3.3'teki Elitizm aşamalarını üzerinden elitizmi incelemek gerekirse F_1 ve F_2 içerisinde yer alan bireyler yeni popülasyona ait olan P_{t+1} içerisine sığabilmektedir. Ancak F_3 'te bulunan bireyleri boyutu P_{t+1} 'i aşmaktadır. F_3 içerisindeki bireylerin baskınlık dereceleri birbirlerine eşit olduğundan ve yeni popülasyon boyutunu geçtiği için F_3 'ün içerisindeki bireylerin bir kısmının elenmesi gerekmektedir. Bu noktada eleme için diğer bir kriter olan yoğunluk mesafesi devreye girmektedir.

F_3 içerisindeki bireyler için eleme işleminde öncelikle bireyler kendi aralarında yoğunluk mesafelerine göre karşılaştırılırlar ve yoğunluk mesafelerine göre büyükten

küçüğe doğru sıralanır. Yoğunluk mesafesi büyük olan bireyler yeni popülasyona aktarılırken yoğunluk mesafesi küçük olan bireyler ise elenir.

3.4.2. Baskınlık derecelendirmesi

Baskınlık derecelendirmesi ile birlikte popülasyonda yer alan bireylerin kendi aralarında karşılaştırmanın bir yöntemidir. Her bireyin kaç kez diğer bireyler tarafından mağlup edildiği sayılır. Eğer hiç mağlup olmayan bir birey veya bireyler var ise bu bireyler birinci sıraya ve F_1 'e yerleştirilir. Böylece F_1 içerisinde yer alan bireylerin rütbeleri 1 olarak kabul edilmektedir. F_1 içerisinde yer alan bireyler karşılaştırma yapılan popülasyon içerisinde çıkarılır. Bu sayede yapılacak olan diğer karşılaştırmalarda F_1 bireylerinin etkisi ortadan kaldırılır. Böylece geriye kalan bireylerden mağlup edilemeyenler F_2 'yi oluşturur. Popülasyondaki tüm bireyler bir sıralamaya yerleştirilene kadar bu işlem tekrar edilir.

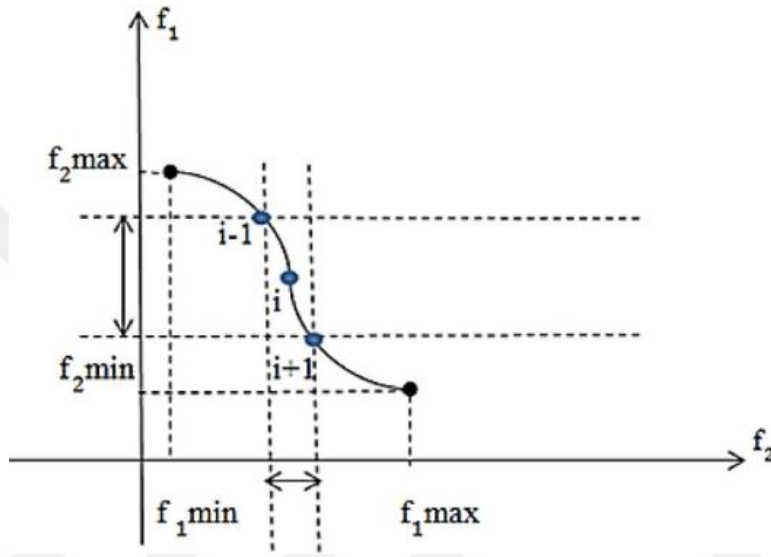


Şekil 3. 4. Baskınlık derecelendirmesi örneği

Bir baskınlık derecelendirmesi örneği Şekil 3.4.'te verilmiştir. f_1 ve f_2 uzayında n -baskınlık derecelendirmesi olmadığında 2 ve 3 çözümleri / bireyleri arasında seçim yapılabilirdi. 2 çözümü 3'ü baskıladığı dolay seçilebilirdi. Ancak 1 ve 4 çözümleri birbirlerine üstünlük sağlama durumu yoktur. Yani aralarında belirgin bir baskınlık durumu yoktur. Bu nedenle, çözümler arasında seçim rütbelendirme ile birlikte gerçekleştirilebilir.

3.4.3. Yoğunluk Mesafesi (crowding distance)

Bir bireyin bir sonraki nesle aktarılabilmesi için verilen baskınlık derecesinin düşük olması gerekmektedir. Baskınlık derecesi eşit olan bireyler arasında seçim yapabilmek için NSGA-II algoritmasında yoğunluk mesafesi (crowding distance) kullanılabilmektedir. Yoğunluk mesafesi, eşit rütbeye sahip bireyler arasında önceliklendirme yapmak için kullanılır. Şekil 3.5.'te yoğunluk mesafesi örneği gösterilmiştir.



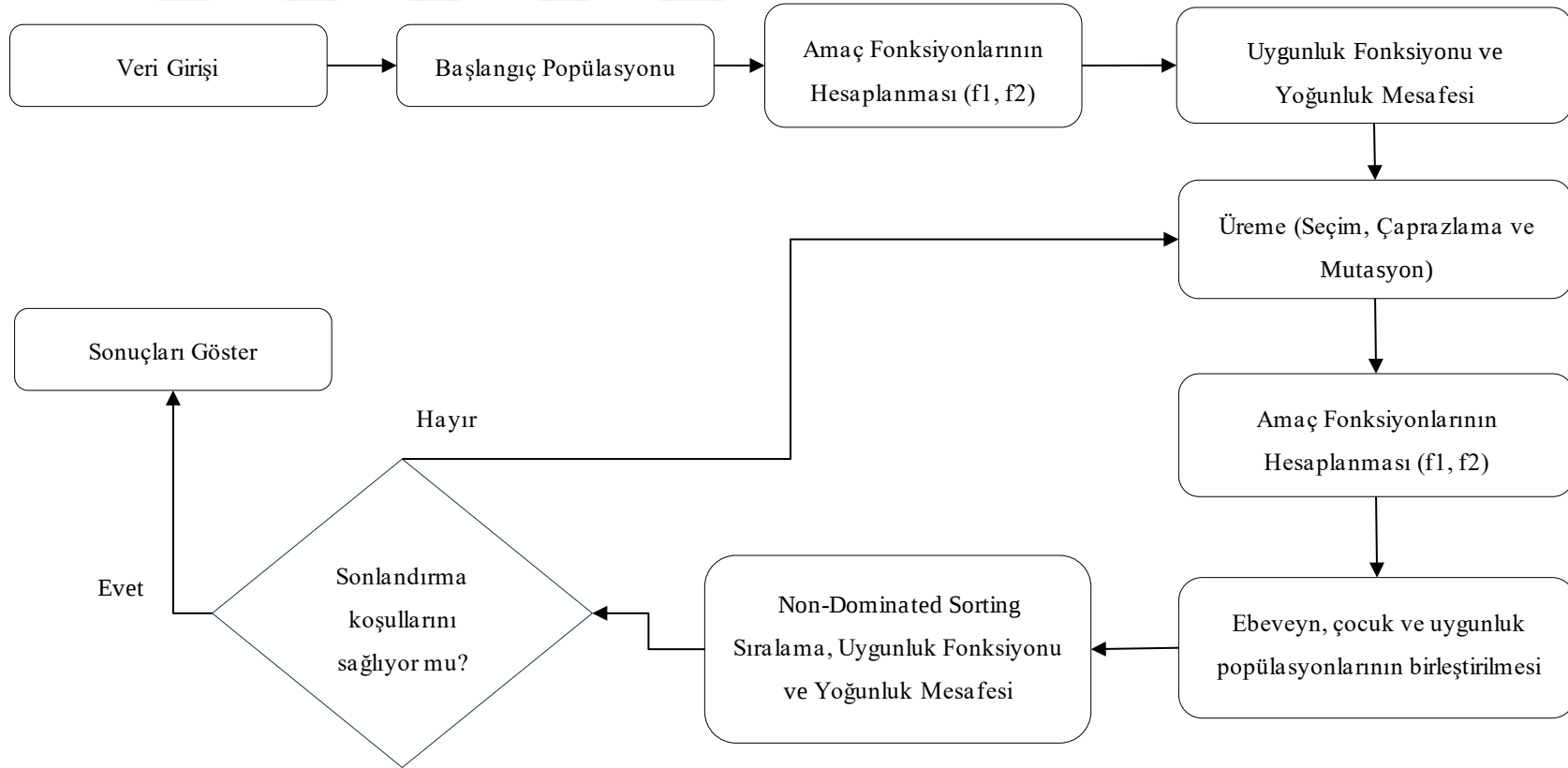
Şekil 3. 5. Yoğunluk mesafesi örneği

Yoğunluk mesafesi seçili bireyin bir önceki ve sonraki komşu bireyi ile popülasyonda mevcut olan ilk ve son bireyine göre hesaplanmaktadır. Yapılan hesap Denklem 3.17'de gösterilmiştir. Denklem 3.17'ye göre yığılma uzaklığı hesaplanan bireyler büyükten küçüğe olacak şekilde sıralanır. Sıralama sonucunda en üst sırada yer alan bireylerin diğer bireyler ile örtüşme oranları daha yüksek olup bu nedenle bir sonraki nesle aktarılma konusunda öncelik tanınır.

$$d_i^1 = \frac{|f_1^{i+1} - f_1^{i-1}|}{f_1^{max} - f_1^{min}}$$

$$d_i^2 = \frac{|f_2^{i+1} - f_2^{i-1}|}{f_2^{max} - f_2^{min}} \quad (3.17)$$

$$d = d_i^1 + d_i^2$$



Şekil 3. 6. NSGA-II Algoritması akış şeması

Varsayımlar

Modelde tek tedarikçi, tek depo ve çoklu müşteri bulunmaktadır. Modelin çoklu araç altında çalıştığı kabul edilmiştir. Müşteri talepleri Normal Dağılıma uygundur ve bu doğrultuda tahmin edilmiştir. İki aşamalı soğul tedarik zinciri modeli 7 günlük periyot için planlanması amaçlanmaktadır. Tedarikçinin depoya olan uzaklığı 32 km'dir. Deponun 25 km yarıçaplı bir dairenin merkezinde bulunduğu kabul edilmektedir. Bu kabul doğrultusunda her bir müşterinin depoya maksimum uzaklığı 25 km'dir. Müşterilerin depoya göre konumları rastgele belirlenmektedir. Depoya gelen ürünlerin müşteri talepleri doğrultusunda depodan çıkarılırken First-in First-out kuralı kabul edilmiştir. Bir ürünün SKT tarihi yani yaşı (g) 7 olduğunda o ürünün tamamen bozulmuş olduğu kabul edilecektir. Aynı zamanda Netlog Lojistik firmasından alınan verilere göre; yeşil / taze ürün pazarında ürün yaşı en fazla %33 oranında tamamlanan ürünler müşteriler tarafından kabul edilebilmektedir. Pazar ile ilgili alınan bu bilgi doğrultusunda ürün yaşı 3'e eşit ve büyük olan yeşil / taze ürünler stoktan düşürülerek maliyeti azaltabilmek için belirlenen alternatif çözümlere yönlendirilecekleri kabul edilmiştir.

NSGA-II Algoritması için kullanılan algoritma değişkenleri için verilen değerleri Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3. 4. Algoritma değişken değerleri

Parametre	Değer
İterasyon Sayısı	1000
İyileştirme olmadan geçen maksimum iterasyon sayısı	200
Popülasyon sayısı	100
Mutasyon Oranı	0,1'den küçük olacak şekilde program tarafından belirlenmektedir
Çaprazlama	Tek nokta çaprazlama

Seçim	Baskınlık derecelendirmesi, yığılma uzaklığı ve elitizm
-------	---

Kullanılan Veri Seti

Kullanılan veri setinde 1 haftalık günlük planlamaya ihtiyaç duyulduğundan periyot haftanın 7 gününü temsil etmesi amacıyla 7 olarak belirlenmiştir. Mevcut olan araçlardan optimum fayda alabilmek için araç sayısı sabit kabul edilmiştir. Yeni araç alımı veya kiralaması yapılmayacaktır. Tüm araçların kullanılma zorunluluğu yoktur.

3.6.

Tablo 3. 5. Algoritma ile model çözümünde kullanılan veriler

Parametre	Değer
t (periyot)	7
Müşteri sayısı	15
k (araç sayısı)	6
H (depo envanter kapasitesi)	800
k aracının kapasitesi	350

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

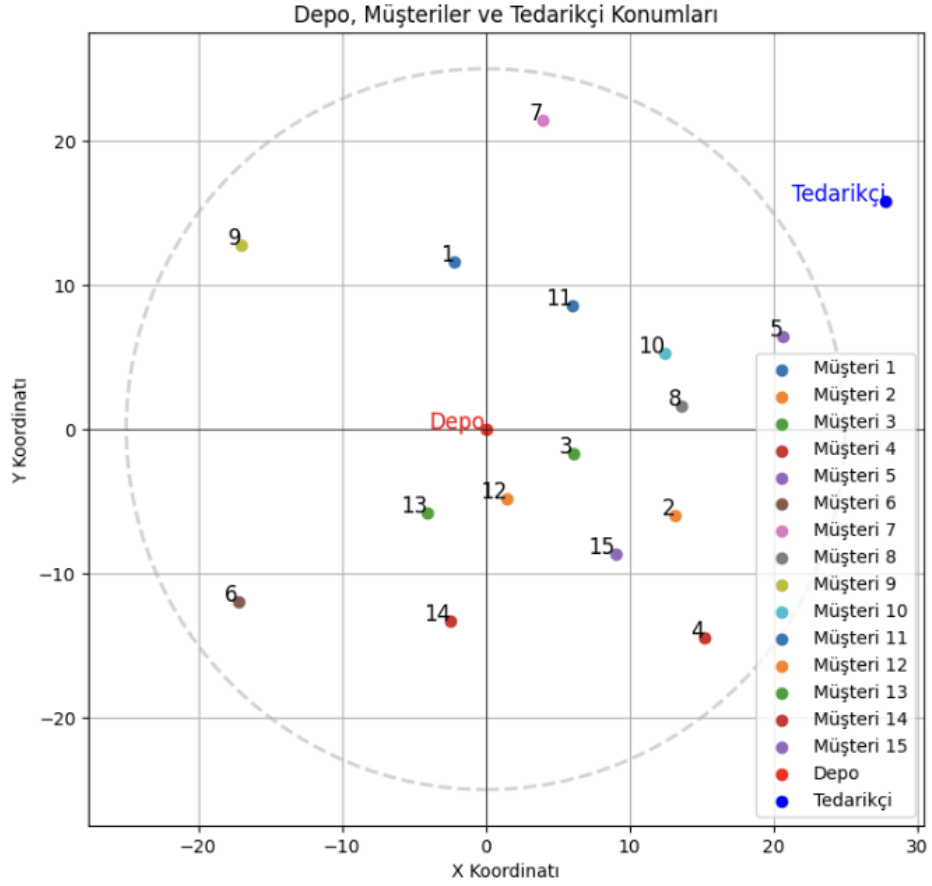
Soğuk Tedarik Zincirinde NSGA-II Uygulama Sonuçları

Algoritma ile modelin çözümlenirken Tablo 3.4.'te özetlenmiş olan Algoritma değişken değerleri kullanılmıştır. Tablo 3.4.'teki algoritma değişken değerleri belirlenirken model üzerinden değerler değiştirilerek denemeler yapılmıştır. Tablo 4.1.'de iterasyon sayısı için yapılmış olan deneme sonuçları özetlenmiştir. Yapılan 41 testler sonucunda elde edilen sonuçlara göre, iterasyon sayısı 1000'e eşit ve büyük olan değerleri için aynı sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Elde edilen bu tespit sonucunda iterasyon sayısının 1000'den fazla olmasının algoritmayı ağırlaştıracağından iterasyon sayısının 1000 olmasına karar verilmiştir.

Tablo 4. 1. İterasyon sayısı belirleme test sonuçları

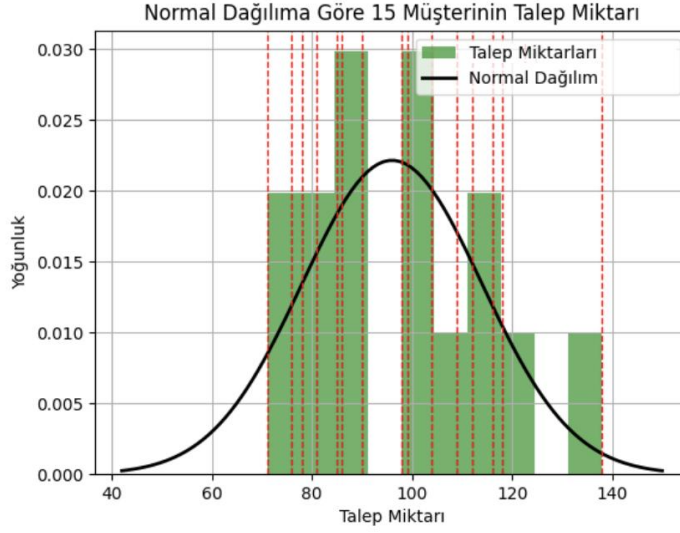
İterasyon Sayısı							
Sonuç	600	800	900	1000	1100	1200	2000
Maliyet	895.159	654.483	603.199	589.787	589.787	589.787	589.787
Ortalama Araç Sayısı	7	6	6	5,5	5,5	5,5	5,5

Yarıçapı 25 km olan bir dairenin merkezinde depo olacak şekilde 15 adet müşterinin konumları rastgele olarak belirlenmiştir. Rastgele olarak belirlenen müşteri konumları Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Aynı zamanda Şekil 4.1.'de depoya 32 km uzaklıkta olan tedarikçinin konumu da gösterilmiştir.



Şekil 4. 1. Depo, tedarikçi ve rastgele belirlenen müşteri konumları

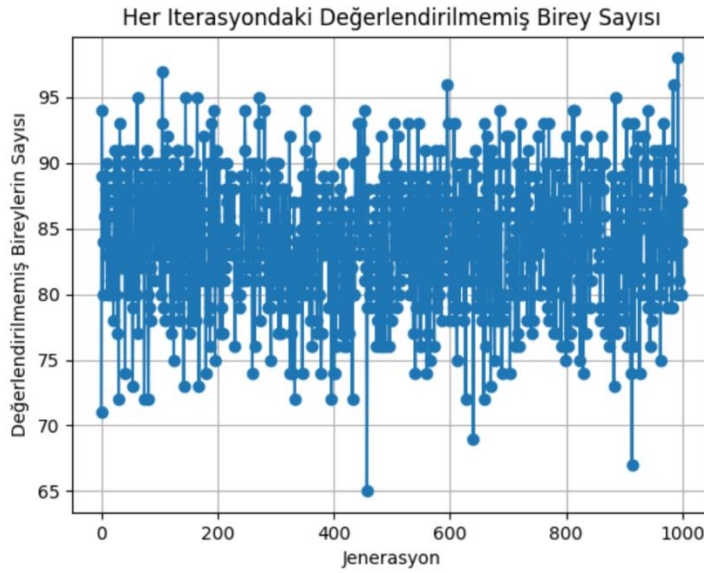
Müşteri talepleri normal dağılıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Normal dağılıma uyan müşteri taleplerinin ortalaması 98 birim ve standart sapması 18 birimdir. Normal dağılıma uygun olarak belirlenmiş olan 1. Periyot müşteri talep tahminleri Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



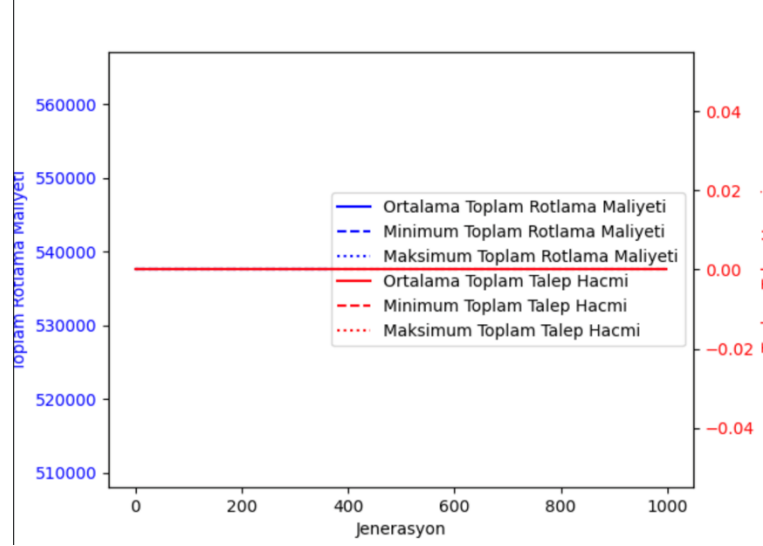
Şekil 4. 2. 1.Periyottaki müşteri talep tahmin grafiği

Algoritma içerisinde kullanılan diğer sabit veriler Tablo 3.5.'te verilmiştir.

Algoritma sonucunda NSGA-II algoritmasındaki seçim operatörlerinin (Baskınlık derecelendirmesi, yığılma uzaklığı ve elitizm) sonucunda her iterasyonda elenerek değerlendirmeye girmemiş olan birey sayıları Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



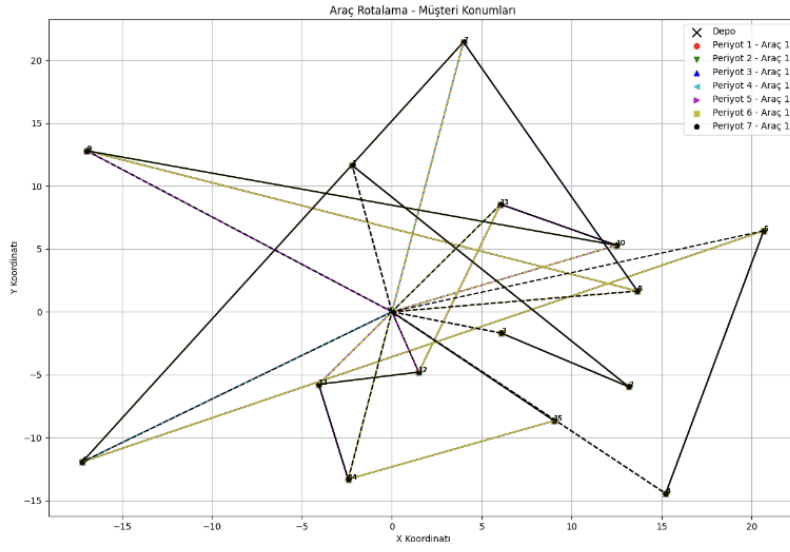
Şekil 4. 3. Her iterasyonda elenen birey sayıları



Şekil 4. 4. NSGA-II sonucunda maliyet değişim grafiği

Matematiksel modelin Tamsayılı Programlama yöntemi ile çözümünden elde edilen toplam maliyet bozulmuş ürün maliyeti dahil olacak şekilde 1.073.197,00 olarak bulunmuştur. NSGA-II algoritmasının çalıştırılması sonucunda elde edilen maliyet değişim grafiği Şekil 4.4.'te gösterilmiştir. Bu grafiğe göre NSGA-II algoritması ile maliyet en aza indirilebilmiştir. Her ne kadar grafik üzerinde maliyet en aza indirilmemiş gibi görünse de Tamsayılı Programlama ile yapılan çözüm ile aralarında fark bulunmaktadır. NSGA-II algoritması ve yeşi / taze ürün pazarından alınan bilgiler doğrultusunda bozulmuş ürün maliyeti ortadan kaldırıldı denilecek kadar en aza indirilmiştir. NSGA-II algoritması sayesinde bozulmuş ürün maliyeti en aza indirilmiş ve müşterilere iletilemeyen ürünler ile ne yapılacağı konusunda önerilerde bulunulmuştur.

Maliyet en aza indirilirken araçların her periyottaki rotaları da tespit edilebilmiştir. Modelde yer alan Araç 1'in tüm periyotlardaki rotalarının grafiği Şekil 4.5.'te verilmiştir.



Şekil 4. 5. Araç 1'e ait tüm periyodlardaki rotaları

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde özellikle geleneksel çözüm yöntemleri birden fazla amaç fonksiyonu içeren modellerin çözümünde iyi bir performans göstermemektedir. Bu nedenle iki aşamalı soğuk tedarik zinciri için kurulan modelin çözümü için; Genetik Algoritma geliştirilerek oluşturulan Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması II (NSGA-II) kullanılmıştır. Belirli talep altında, 7 günlük periyot için yapılacak olan planlama NSGA-II ile optimum planlamaya ulaşılmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar; NSGA-II'nin iki aşamalı soğuk tedarik zincirindeki maliyeti en aza indirme ve rotalama performansının literatürde yer alan geleneksel çözümlere göre yüksek olduğu ve önemli ölçüde optimum rotalama sonucuna ulaşılmasını sağladığını göstermiştir.

NSGA-II algoritması meta sezgisel algoritma olan ve problem çözümlerinde çok sık kullanılan Genetik Algoritmanın geliştirilmiş bir versiyonu olarak tanımlanabilir. Genetik algoritma ne kadar çok problemin çözümünde sıklıkla kullanılsa da bazı eksik noktalarını giderebilmek için eklemeler yapılmış ve NSGA-II algoritması oluşturulmuştur. Bu nedenle NSGA-II algoritması da geleneksel yöntemler ve Genetik Algoritma ile çözülmesi zor olan problemlerin çözümünde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu tez çalışmasında ise NSGA-II algoritmasının iki aşamalı soğuk tedarik zinciri problemi için verdiği çözüm sonuçları incelenmiştir. Literatürde yer alan geleneksel yöntemlere göre NSGA-II ile maliyeri en aza indirme ve rotalama konusunda daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Maliyetin ve bozulmuş ürün maliyetinin en aza indirilmesi konusunda NSGA-II algoritmasında iyi bir performans alınmıştır.

Belli bir yaşa ulaşmış olan taze/yeşil ürünlerin envanterden düşülerek müşterilere iletilmemesi için matematiksel modele yeni bir amaç fonksiyonu ve kısıtlar eklenmiştir. Matematiksel modele eklenen bu amaç fonksiyonu ve kısıtlar ile NSGA-II algoritması ile çözüme ulaşılmıştır. Bu sayede bozulmuş ürün maliyeti en aza indirilmiş ve israf ortadan kaldırılmıştır. Belli bir yaşa ulaşmış olan taze/yeşil ürünler farklı şekillerde değerlendirilebilir. Aşağıda bazı değerlendirme önerileri listelenmiştir;

- İndirimli satış
- Bağışlama

- İşlenmiş ürün üretilmesi: Belli bir yaşa ulaşmış olan ürünler işlenmiş ürünlere dönüştürülerek değerlendirilebilir. Örneğin, meyveler reçel veya meyve suyu yapımında kullanılabilir.
- Kompost ve hayvan yemi üretilmesi
- Enerji üretimi: Biyogaz tesislerinde belli bir yaşa gelmiş veya bozulmuş taze/yeşil ürünler ile enerji üretimi yapılabilir. Bu sayede hem ilgili ürünler değerlendirilmiş olur hem de enerji üretimine katkı sağlanabilir.

Gelecekte hazırlanabilecek çalışmalarda; belli bir yaşa gelmiş ürünlerin hangi alanda değerlendirileceği konusunda model üzerinde detaylı çalışmalar yapılarak yeni bir seviye eklenebilir. Eklenen bu seviye ile bozulmuş veya belli bir yaşa gelmiş ürünlerin hangi alanda sisteme katkı sağlayacağı planlanabilir. Modelin geliştirilmesi ile birlikte NSGA-II algoritması tekrar değerlendirilebilir, modelin optimum çözümüne ulaşabilmek için farklı algoritmalar kullanılabilir veya yapay zekâ ile entegre bir sistem kullanılarak çözüme ulaşılabilir.

İlerleyen süreçlerde yapılacak olan akademik çalışmalar için, yazılan algoritmanın dinamik bir yapı olması sayesinde farklı iki aşamalı tedarik zinciri problemlerinin çözümünde de kullanılabilmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda yapılan tez çalışmasında yer alan problem ve problemin çözümü için oluşturulan model çok amaçlı optimizasyon problemi olarak akademik çalışmalarda kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Ahmetoğlu, H. (2018). Belge Benzerliği Sonuçlarının NSGA-II ile Çok Amaçlı Optimizasyonu (Yüksek Lisans Tezi). Van, Türkiye: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Avuçlu, E., & Ekmekçi, D. (2020). Geleceğin Dünyasında Bilimsel Ve Mesleki Çalışmalar. Bursa , TÜRKİYE: Ekin Basım Yayım Dağıtım.
- Bakan, İ., & Şekkeli, Z. (2019, Haziran 15). Blok Zincir Teknolojisi ve Tedarik Zinciri Yönetimindeki Uygulamaları. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 11(18), s. 2847-2877.
- Balcı, G. (2019). Cost Optimization of Flyback Converter Using Genetic Algorithm (Yüksek Lisans Tezi).
- Croxtan, K. L., García-Dastugue, S. J., Lambert, D. M., & Rogers, D. S. (2001, Temmuz 1). The Supply Chain Management Processes. *he International Journal of Logistics Management*, s. 13-36.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), s. 182 - 197.
- Hazır, K., & Demir, D. (2019). Şirketlerin Tedarik Süreçleri ve Talep Yönetiminde Web Entegrasyon Seviyeleri ve Performansa Etkileri: Mersin Serbest Bölge Örneği. *Uluslararası İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 5(1), s. 148-166.
- Jaigirdar, S., Das, S., Chowdhury, A., Ahmed, S., & Chakraborty, R. (2022). Multi-objective multi-echelon distribution planning for perishable goods supply chain: A case study. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 10(1), s. 2020367.
- Kabadayı, N., & Dağ, S. (2020). Dealership Performance Evaluation in Supply Chain with DEMATEL and ELECTRE Methods. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 26(1), s. 241-253.

- Ling, D., & Li, B. (2007). Study on Internet Technology-oriented Military Materials Supply Chain Management. *2007 International Conference on Service Systems and Service Management* (s. 1-5). Chengdu, Çin: IEEE.
- Liu, C., Chen, W., Zhou, Q., & Mu, J. (2021). Modelling dynamic freshness-keeping effort over a finite time horizon in a two-echelon online fresh product supply chain. *European Journal of Operational Research*, 293(2), s. 511-528.
- Manuj, I., & Şahin, F. (2011, Temmuz 14). A model of supply chain and supply chain decision-making complexity. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(5), s. 511-549.
- Privett, N., & Gonsalvez, D. (2014, Aralık 25). The top ten global health supply chain issues: Perspectives from the field. *Operations Research for Health Care*, 3(4), s. 226-230.
- Roltek, T. (2024, Şubat 12). Soğuk Zincir İzleme. Roltek: <https://www.roltek.com.tr/blog/soguk-zincir-izleme/> adresinden alındı
- Şahin, Y., & Eroğlu, A. (2014). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Metasezgisel Yöntemler : Bilimsel Yazın Taraması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(4), s. 337-355.
- Theeb, N., Abu-Aleqa, M., & Diabat, A. (2023). Multi-objective optimization of two-echelon vehicle routing problem: Vaccines distribution as a case study. *Computers & Industrial Engineering*, s. 109590.
- Trendbox. (2024, Ocak 25). Tedarik Zinciri Yönetimi Temelleri ve İşletmelere Etkisi. Trendbox: <https://trendbox.io/blog/tedarik-zinciri-yonetimi-temelleri-ve-isletmelere-etkisi/> adresinden alındı
- Wang, Z., & Wen, P. (2020). Optimization of a low-carbon two-echelon heterogeneous-fleet vehicle routing for cold chain logistics under mixed time window. *Sustainability*, 12(5), s. 1967.
- Yıldırım, E. (2021). İki aşamalı ilaç tedarik zincirinde genetik algoritma uygulaması (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi.
- Zitzler, E. (1999, Kasım 11). Evolutionary Algorithms for Multiobjective Optimization: Methods and Applications (Doktora Tezi). Zürih, İsviçre: Swiss Federal Institute of Technology.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Aslı ACERCE

ÖĞRENİM DURUMU:

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

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021 yılından bu zamana kadar AMP Yazılım firmasında İş Analisti olarak çalışmakta.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Acerce A. ve Denizhan B. (2023, 25-26, Aralık). 3RD International Conference On Scientific And Academic Research ICSAR 2023. *All Sciences Academy*, Konya, Turkey.