T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BÜTÜNLEŞİK OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI

Mustafa YILDIRIM

DANIŞMAN
Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2020

Bu çalışma, Tarih girmek için burayı tıklatın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Şükrü Alp BARAY
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Seçkin POLAT
İstanbul Teknik Üniversitesi
İşletme Fakültesi

Prof. Dr. Şakir ESNAF
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Tufan V. KOÇ
İstanbul Teknik Üniversitesi
İşletme Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Bu çalışma tedarik zinciri yönetiminde karar almaya yardımcı yöntemlerin geliştirilebilmesi için yapılan çalışmalara katkı yapabilecek yeni bir yöntem önermek amacıyla yapılmıştır. Tedarik zinciri olarak ifade edilen organizasyonları oluşturan bileşenlerin birbirleri ile etkileşimlerini dikkate alarak tüm zincirin ortak amacının gerçekleştirilmesi için alınması gereken kararların tespitinde kullanılan matematiksel modellerin karmaşık yapılarından dolayı daha iyi çözümlerin bulunabilmesini sağlayacak yöntemler sürekli geliştirilmektedir. Bu geliştirmeler ile bir yandan işletmelere daha etkin tedarik zinciri yönetimi yetenekleri sağlanırken, bir yandan da bilimsel gelişmenin önü açılmaktadır. Tedarik zinciri yönetiminde daha iyi kararların alınabilmesi ve yapılan araştırmalara katkı sağlayabilmek ve tedarik zinciri probleminin yapısına ve çözümüne yeni bir bakış getirebilmek amacıyla "Kelebek Etkisi Algoritması" önerilmiştir. Önerilen algoritma örnek bir tedarik zinciri probleminde denenerek, problemin sonuçlarını iyileştirici yapıda olduğu gösterilmiştir. Algoritmanın ana fikri ve yapısı, farklı karmaşık problemlerin çözümü için de denenebilecek yapıdadır.

Bu çalışmanın yapımında bilimin ışığı ile yol gösteren ve teşviki ile daha hızlı yol almamı sağlayan, birlikte çalışmaktan onur duyduğum danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY'e çok teşekkür ederim. Çalışmanın başından itibaren tüm gelişmeleri izleyen, beni dinleyen, önerileri ve motive eden yorumları ile çok önemli katkılarda bulunan değerli hocalarım Prof. Dr. Şükrü Alp BARAY ve Prof. Dr. Seçkin POLAT'a teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışmayı yapabilmemi sağlayan akademik eğitimime çok değerli katkılar sağlayan ve derslerine girme şansını yakaladığım tüm hocalarıma teşekkür ediyorum. Yazılım konusunda desteği ve zamanını esirgemeyen Liman Teknik Danışmanlık Hizmetleri Tic. Ltd. Şti. sahibi İsmail GÜLSOY'a ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışmayı gerçekleştirirken bana olan inancı, sevgisi, desteği ve sabrı için eşime, şirinlikleri ve sevgileriyle beni motive eden çocuklarıma, hayatı, duruşu, öğrenmeyi ve öğretmeyi öğreten babama, bana olan inançlarını, sevgilerini ve desteklerini her zaman yanımda hissettiğim anneme, kardeşlerime ve tüm aileme teşekkür ederim.

Temmuz 2016 Mustafa YILDIRM

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. BÜTÜNLEŞİK BİR YAPI OLARAK TEDARİK ZİNCİRİ VE BİLEŞENLERİ **4**
3. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ VE OPTİMİZASYON **6**
3.1. TEDARİK ZİNCİRİNİN OPTİMİZASYONU İÇİN OLUŞTURULAN MATEMATİKSEL MODELLER 7
3.1.1. Çözüm İçin Oluşturulan Matematiksel Modellerin Yapıları 9
3.1.1.1. Problemin Tek Matematiksel Modelde Birleştirilmesi 9
3.1.1.2. Çok Aşamalı Tedarik Zinciri İçin Çok Amaçlı Modellerin Kullanılması 13
3.1.1.3. Bileşen Problemlerinin Dikkate Alındığı Çalışmalar (Dağıtılmış Karar Verme, Oyun Teorisi Yaklaşımları, Ayrıştırma Decomposition Yöntemleri, vb.,) 16
3.1.1.4. Dinamik Çözümler ve Ajan Teknolojileri Yöntemi Kullanan Çalışmalar 18
3.1.1.5. Simülasyon Yöntemi Kullanan Çalışmalar 20
3.1.2. Modellerde Kullanılan Amaç Fonksiyonları/Parametreler/Değişkenler 21
3.2. KARMAŞIK BİR PROBLEM OLARAK TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİ 25
3.3. TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİNE BİLEŞEN PROBLEMLERİ AÇISINDAN BAKIŞ 27
4. KARMAŞIK PROBLEMLERİN ÇÖZÜMÜNE YENİ BİR BAKIŞ **30**
5. TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİNİN BİLEŞEN PROBLEMLERİ İLE İLİŞKİSİ VE YENİ BİR YAKLAŞIM ÖNERİSİ **34**
6. TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNE YENİ YAKLAŞIM ÖNERİSİNİN BİR ÖRNEK ÜZERİNDE İNCELENMESİ **38**

6.1. ÖRNEK PROBLEMİN MATEMATİKSEL MODELİ.....39
6.2. ÖRNEK PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ 47
7. TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM: KELEBEK ETKİSİ ALGORİTMASI 58
7.1. KELEBEK ETKİSİ ALGORİTMASININ YAPISI VE ADIMLARI.....60
7.2. KELEBEK ETKİSİ ALGORİTMASI İLE TEDARİK ZİNCİRİ ALGORİTMASININ ÇÖZÜLMESİ 61
8. TARTIŞMA VE SONUÇ 74
KAYNAKLAR.....79
EKLER 84
EK 1. İTERASYON DETAYLARI VE SONUÇ TABLOSU.....84
EK 2. KELEBEK ETKİSİ ALGORİTMASI AKIŞ DİYAGRAMI 95
ÖZGEÇMİŞ 100

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Temsili Tedarik Zinciri Görünümü. 5

Şekil 3.1: Tedarik Zincirinde Optimize Edilmesi Gereken Problemler. 8

Şekil 3.2: Problemin Tek Matematiksel Modelde Birleştirilmesi. 10

Şekil 3.3: Çok Aşamalı Zincir İçin Çok Amaçlı Model. 13

Şekil 3.4: Dağıtılmış Karar Verme Modeli. 17

Şekil 3.5: Dinamik Çözümler-Ajan Teknolojileri Modeli.....19

Şekil 3.6: Simülasyon Yöntemi Modeli. 20

Şekil 4.1: Temsili Tedarik Zinciri Çözüm Uzayı. 31

Şekil 4.2: Einstein-Rosen Köprüsü.....32

Şekil 4.3: Minkowski Uzayı. 33

Şekil 5.1: Tedarik Zinciri Problemi ile Bileşen Problemlerinin Matematiksel Modellerinin Temsili İlişkisi. 35

Şekil 5.2: Bileşen Problemlerinin Çözümleri ile Tedarik Zinciri Probleminin Çözülmesi. 35

Şekil 5.3: Bileşenlerin Çözüm Uzayları İlişkisi ve Genel Tedarik Zinciri Problemi Çözüm Uzayı. 36

Şekil 6.1: Örnek İçin Tasarlanan Tedarik Zinciri Yapısı. 38

Şekil 6.2: Örnek Tedarik Zinciri Probleminin Bileşen Yapısı ve Tedarik Zinciri Performans Denklemi. 39

Şekil 6.3: 3 Bileşenli Tedarik Zinciri Problemi İçin Alternatif Çözüm Kombinasyonları. 56

Şekil 6.4: Tüm Alternatif Çözüm Kombinasyonlarının Denenmesi İçin Algoritma Döngüsü.....57

Şekil 7.1: Tamamlanma Zamanı ve Tedarik Zinciri Maliyeti İlişkisi 72

Şekil 7.2: Toplam Gecikme ve Tedarik Zinciri Maliyeti İlişkisi 72
Şekil 7.3: Toplam Rota ve Tedarik Zinciri Maliyeti İlişkisi 73
Şekil 7.4: Tedarik Zinciri Maliyeti ve Tamamlanma Zamanı İlişkisi 73

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Problemi Tek Matematiksel Modelde Birleştiren Çalışmalar. 10

Tablo 3.2: Çok Aşamalı Zincir İçin Çok Amaçlı Modellerin Kullanan Çalışmalar. 14

Tablo 3.3: Bileşen Problemlerinin Dikkate Alındığı Çalışmalar. 17

Tablo 3.4: Dinamik Çözümler ve Ajan Teknolojileri Yöntemi Kullanan Çalışmalar. 19

Tablo 3.5: Simülasyon Yöntemi Kullanılan Çalışmalar. 21

Tablo 3.6: İncelenen Çalışmalarda Kullanılan Parametreler. 21

Tablo 3.7: İncelenen Çalışmalarda Kullanılan Değişkenler. 23

Tablo 3.8: İncelenen Çalışmalarda Kullanılan Amaç Fonksiyonları. 25

Tablo 6.1: Genetik Algoritma Parametre Büyüklükleri İçin Önerilen Değerler (Nabiyev, 2010). 48

Tablo 6.2: Makine Hazırlık Süreleri (Dakika Cinsinden). 51

Tablo 6.3: Ürünlerin Makinelerdeki Birim İşlem Süreleri (Dakika Cinsinden). 51

Tablo 6.4: Sipariş Hazırlama Süreleri. 51

Tablo 6.5: Lokasyonlar Arası Uzaklık Matrisi- $w_{b,e}$ (km). 51

Tablo 6.6: Sipariş Bilgileri. 52

Tablo 6.7: Makine Hazırlık Süreleri – $h_{k,i,s}$ (dk). 52

Tablo 6.8: Üretim İşlem Süreleri – $p_{i,k}$ (dk). 53

Tablo 6.9: Paketleme Süreleri- PT_i. 53

Tablo 6.10: İş Müşteri İlişkisi- $JCA_{i,b}$. 53

Tablo.6.11: Seçilen Bazı Çözüm Kombinasyonlarının Çözüm Değerleri. 55

Tablo 7.1: Geliştirilecek Kombinasyonların Bulunduğu Çözüm 1 Tablosu. 63

Tablo 7.2: Geliştirilen Çözüm Kombinasyonlarının Kaydedildiği Çözüm 2 Tablosu. 63

Tablo 7.3: Geliştirme Döngüsünde Değerlendirmek Üzere Oluşturulan Alternatif Çözüm Kombinasyonlarının Kaydedildiği Geçici Alternatif Tablosu. 63

Tablo 7.4: En Yüksek İyileştirme İhtimalinin Olduğu Değişkenin Bulunması İçin Kullanılacak İş-Maliyet Tablosu. 64

Tablo 7.5: Alternatif Tablosunun Dolu Hali. 66

Tablo 7.6: Çözüm 2 Tablosunun Yeni Çözüm Kombinasyonu eklenmiş Hali. 66

Tablo 7.7: Yeni Makine Hazırlık Süreleri (Dakika Cinsinden).....67

Tablo 7.8: Ürünlerin Makinelerdeki Yeni Birim İşlem Süreleri (Dakika Cinsinden).....68

Tablo 7.9: Yeni Sipariş Bilgileri.....68

Tablo 7.10. Yeni Makine Hazırlık Süreleri – $h_{k,i,s}$ (dk).....68

Tablo 7.11. Yeni Üretim İşlem Süreleri – $p_{i,k}$ (dk).....69

Tablo 7.12. Yeni Paketleme Süreleri- PT_i.....69

Tablo 7.13. Yeni İş Müşteri İlişkisi- $JCA_{i,b}$. 69

Tablo 7.14. İterasyonlarda Elde Edilen En İyi Çözüm Kombinasyonları. 70

SİMGE LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
U	: *Ürün indisi u ∈{1, 2, … , U}*
i ve s	: *İş indisi; i ve s ∈{1, 2, …, n}*
j	: *Sıra indisi; j ∈{1, 2, …, n}*
k	: *Makine indisi; k ∈{1, 2, …, m}*
e ve b	: *Müşteri indisi; e ve b ∈{1, 2, …, B}*
t	: *Kamyon indisi; t ∈{1, 2, …, L}*

Verilen Değerler	Açıklama
$p_{i,k}$	: *i.işin k.makinedeki birim işlem süresi,*
$h_{k,i,s}$	: *k. makinede i. işten s. işe geçişte hazırlık süresi,*
PT_i	: *i. işin birim paketleme işlem süresi,*
d_i	: *i. işin teslim süresi*
Q_i	: *i. işin parça adedi*
v	: Kamyon kapasitesi,
$JCA_{i,b}$	: $\begin{cases} 1, & eğer\ i\ iş\ b.müşteriye\ aitse; \\ 0, & değilse \end{cases}$
$w_{b,e}$	: *b. müşteriden veya depodan, e. müşteri veya depoya olan uzaklık*
UPC	: *Birim zaman başına birim işletme maliyeti,*
UDC	: *Birim zaman başına birim gecikme maliyeti,*
UTC	: *Birim uzaklık başına birim taşıma maliyeti,*,

Değişkenler	Açıklama
$C_{k,j}$	: k. makinede j. sıradaki işin üretim tamamlanma zamanı
r_i	: i. işin üretim tamamlanma zamanı,
$CMAX$	: Tüm işlerin üretim tamamlanma zamanı,
RTS_j	: j. sıradaki işin paketlenip, sevke hazır olduğu zaman,
RJ_i	: i. işin paketlenip, sevke hazır olduğu zaman,
T_i	: i. işin gerçekleşen gecikmesi,

TQ : Tüm işlerin toplam parça adedi,

V_t : t. kamyonun kapasitesi,

$SQ_{j,t}$: j. sıradaki işin t. kamyona yüklenen miktarı,

$CIT_{b,t}$: $\begin{cases} 1, & eğer\ b.müşterinin\ bir\ işi\ t.kamyona\ yüklendiyse; \\ 0, & değilse \end{cases}$

NOC_t : t. kamyondaki müşteri adedi,

$x_{i,j}$: $\begin{cases} 1, & eğer\ i\ işi\ j.sırada\ üretilirse; \\ 0, & değilse \end{cases}$

$O_{i,j}$: $\begin{cases} 1, & eğer\ i\ işi\ j.sırada\ paketlenirse; \\ 0, & değilse \end{cases}$

$TR_{t,b,e}$: $\begin{cases} 1, & eğer\ t.kamyonda\ b\ noktasından\ e\ noktasına\ hareket\ varsa; \\ 0, & değilse \end{cases}$

ÖZET

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BÜTÜNLEŞİK OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI

DOKTORA TEZİ

Mustafa YILDIRIM

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY

Mal veya hizmet üretiminin gerçekleşmesini sağlayan tedarik zincirlerinde, bileşenlerin katkısı göz önüne alınarak tedarik zincirinden beklenen performans açısından en iyi sonucu veren kararların verilebilmesi için birçok yöntem araştırılmıştır. Araştırılan yöntemlerle hem matematiksel yöntemler geliştirilirken hem de tedarik zinciri yönetimi konusunda gelişmeler sağlanmaktadır. Bu tez çalışmasında literatürde bileşen problemlerini de göz önüne alarak yapılan tedarik zinciri optimizasyonu çalışmaları değerlendirilerek matematiksel modelleri amaç, parametre ve değişkenleri açısından özetlenmiş ve incelenen çalışmalarda kullanılan modeller, yapıları açısından gruplandırılmıştır. Tedarik zinciri problemi, mevcut çalışmaların oluşturduğu bu sınıfların dışında bir yöntemle incelenmeye çalışılmıştır. Tedarik zincirinin optimizasyonunda tedarik zincirini oluşturan bileşenlerin birbiri ile olan ardıllık ilişkisi kullanılarak yeni bir yöntem önerilmiştir. Tedarik zinciri problemi ardıl alt problemlere bölünerek, bu problemlerin çözüm uzaylarında yapılan seçimlerin kombinasyonu ile ana problemin çözümü aranmıştır. Önerilen yöntem örnek bir tedarik zinciri problemi üzerinde denenerek sonuçları tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tedarik zinciri bileşenlerinin amaçlarının birbiri ile çeliştiği, bir bileşende oluşan problemde elde edilecek en iyi sonucun, tedarik zinciri performansı için en iyi olmayabileceği, yani yerel optimumların, genel optimumu

veremeyebileceği gösterilmiştir. Tedarik zinciri bileşenlerinin problemleri bir zaman çizgisinde düşünülerek, alternatif kararların kombinasyonlarını tarayarak tedarik zinciri probleminin çözümünü arayabilmek için "Kelebek Etkisi Algoritması" önerilmiştir. Önerilen algoritma örnek problem üzerinde denenerek çözüm için uygunluğu gösterilmiştir. Tedarik zinciri problemi gibi karmaşık problemlerin çözümünün aranmasında, problemin ardıl problemlere bölünerek çözülmesi yaklaşımı ile yenilikçi ve geliştirilebilir bir çözüm bulunması amaçlanmıştır.

Temmuz 2020, 116. sayfa.

Anahtar kelimeler: Tedarik Zinciri Yönetimi, Optimizasyon, Kelebek Etkisi Algoritması

SUMMARY

AN INTEGRATED OPTIMIZATION APPROACH IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Ph.D. THESIS

Mustafa YILDIRIM

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Industrial Engineering

Supervisor : Prof. Dr. ;Mehmet Mutlu YENİSEY

For the supply chains that ensure the production of goods or services, many methods have been researched to make decisions that give the best results in terms of performance expected from the supply chain by considering the contribution of the components. With the researched methods, improvements are made both in developing mathematical methods and in supply chain management. In this thesis, studies examining supply chain optimization that considers component problems are investigated. The mathematical models used in the studies examined are summarized in terms of objectives, parameters and variables and are grouped in terms of their structures. The supply chain problem is tried to be analysed by a method other than these groups formed by the studies examined. In the optimization of the supply chain, a new method is proposed using the succession relationship of the components that make up the supply chain. The supply chain problem is divided into successive subproblems and the solution of the main problem is sought through the combination of the choices made in the solution spaces of these subproblems. The proposed method is tried on a sample supply chain problem and the results are discussed. According to the results obtained, it is seen that the objectives of the supply chain

components conflict with each other's. It is shown that the best result to be obtained in a problem in a component may not be the best for supply chain performance, that is, local optimizations may not provide the overall optimum. "Butterfly Effect Algorithm" has been proposed in order to search for the solution of the supply chain problem by scanning the combinations of alternative decisions by considering the problems of the supply chain components in a timeline. The proposed algorithm is tested on the sample problem and its suitability for the solution is shown. In order to contribute to the research of the solution of complex problems such as supply chain problem, it is aimed to find an innovative and developable solution with the approach of solving the problem by dividing it into successive problems.

July 2020, 116. pages.

Keywords: Supply Chain Management, Optimization, Butterfly Effect Algorithm

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi, çok uzak mesafelerdeki işletmelerin birlikte çalışabilmesi, dünyanın bir yanında maliyetler düşük iken, bir başka tarafında AR-GE'nin ilerlemesi gibi nedenlerden dolayı çok kompleks tedarik zincirleri ortaya çıkabilmekte ve bu da "Tedarik Zinciri Yönetimini ilgi çeken bir konu haline getirmektedir. Uzak mesafelerin yakınlaşması ile birlikte pazarlar çeşitlenirken, rekabet de artmıştır. Farklı tedarik alternatifleri, daha ucuz işçilik, pazarın çeşitlendirilmesi gibi kararlarda alternatifler artarken, bu alternatifler arasında doğru kombinasyonların seçimi ve sürdürülebilir ve rekabetçi bir tedarik zincirinin tasarlanması ve etkin yönetilmesi çözülmesi gereken bir problem haline gelmektedir.

Tedarik zinciri optimizasyonu, optimizasyon yöntemlerindeki yeni geliştirmeler ve farklı tedarik zincirleri ile ilgili ihtiyaçlarla birlikte bilimsel araştırmalar için her zaman ilgi çekici bir konu olmuştur. Konu ile ilgili yayınlanan bilimsel çalışmaların sayısı ve içerik çeşitliliği de bunu göstermektedir. Yapılan çalışmalarda iki motivasyon noktası öne çıkmaktadır. Bunların ilki; farklı tedarik zinciri organizasyonlarının ihtiyaçlarını karşılayabilecek, yenilikçi ve rekabetçi çözümler bulmaya çalışmaktır. Diğeri ise; tedarik zinciri organizasyonlarının oluşturduğu karmaşık ve çözümü zor matematiksel problemlerin çözümü için yeni yöntemler geliştirmek veya mevcut yöntemleri geliştirmektir.

Firmalar arası ilişkilerde yeni ticaret yöntemleri, tedarik alternatiflerinin artması, yeni dağıtım kanalları ile birlikte yeni pazar fırsatları, müşteri taleplerinin ve hizmet beklentilerinin sürekli farklılaşması ile birlikte tedarik zinciri tasarımında ve tedarik zinciri yönetimi yöntemlerinde sürekli yeni araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı sektörlerden veya alanlardan tedarik zinciri problemleri için, yeni metotlar veya iyileştirilmiş metotlar ile çözümler arayan bilimsel çalışmalar oldukça fazladır. Bu çalışmalarla tedarik zinciri yöntemlerinin gelişmesine ve firmaların ve organizasyonların bu gelişmelerden faydalanabilmesine önemli katkılarda bulunulmaktadır.

Karmaşık problemlerin çözümü ile ilgili bilimsel araştırmalar açısından en önemli motivasyon noktalarından birisi, incelenen karmaşık problemlerin global en iyi çözümünün nümerik olarak hesaplanma zorluğudur. Bu zorluğun aşılması için sürekli yeni teknolojilerle birlikte sezgisel algoritmalar ve yapay zeka gibi birçok yöntem araştırılarak, daha iyi çözümün bulunmasına yönelik çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Global en iyi çözümün ulaşılamaz olduğu düşüncesi, bu alanda sürekli geliştirme yapabilmek için araştırma yapılmasını teşvik eden heyecan verici bir hedef oluşmasını sağlamaktadır. Bu hedefe ulaşmak için yapılan çalışmalarla oldukça etkileyici yeni yöntemlerin bulunması mümkün olmuştur. Tedarik zinciri optimizasyonu da karmaşık problemlerin çözümünün araştırılması yönünden ilgi çekici bir alandır. Birden çok bileşenin, akışlarla birbirine bağlanarak oluşturduğu tedarik zincirinin, belirlenen bir amacı en iyi nasıl yerine getirebileceği sorusu ile ortaya çıkan problem, çözümü oldukça zor, karmaşık bir problem ile ifade edilebilir. Bu tam da karmaşık problemlerin çözümleri ile ilgilenen bilimsel çalışmaların görmek isteyeceği bir meydan okumadır. Böylece hem karmaşık problemlerin çözümü ile ilgili gelişmelerin sağlanmasına olanak sağlayan, hem de birçok farklı sektör veya alandan tedarik zinciri yöneticilerinin faydalanabileceği yenilikleri meydana getiren bilimsel çalışmalar sürekli artmaktadır. Nitekim yayınlanan bilimsel çalışmalara bakıldığında bu etki görülebilmektedir.

Tedarik zincirinin optimizasyonuna yönelik çalışmalarda çoğu zaman özgün ve ihtiyaca yönelik bir tedarik zinciri tanımlanıyor. Tedarik zincirlerinin oluşturduğu problemlere yaklaşımlarda da yeni optimizasyon teknikleri ve geliştirilmiş algoritmalarla incelenen problem açısından ve önceki çalışmaların önerdiği algoritma ve tekniklere kıyasla iyi sonuçlar alındığı gösterilmeye çalışılmaktadır. Mutlak en iyiye ulaşmanın çok zor olması, en iyiye ulaşma yöntemi ve yolunun da mutlak olmadığını gösterir. Bu yüzden önceki çalışmaların ve yöntemlerin geliştirilmesi yerine tedarik zinciri probleminin yapısına yönelik farklı bir bakış getirilebilir veya yeni çözüm yöntemleri önerilebilir.

Tedarik zinciri bileşenlerinin ve tüm tedarik zincirinin oluşturduğu matematiksel denklemler, birbirleri ile ilişkileri ve bütünsel olarak oluşturdukları sistemin özgün tasarımları ile yeni

yöntemlerin bulunmasını sağlayabilir. Tedarik zinciri probleminin sonucu, aslında bileşenler için verilen kararların bir kombinasyonudur. Her bir bileşenin kararını belirleyen problemin çözümü, tedarik zincirinde bir sonraki bileşenin kararını belirleyen problemin çözümü için belirleyicidir. Bu tez çalışmasında bu kararlar kombinasyonu ile tedarik zincirinin optimizasyonuna farklı bir bakış getirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın 2. bölümünde tedarik zinciri ve bileşenleri ile ilgili genel bilgilere değinilmiştir. 3. bölümde tedarik zinciri yönetiminde optimizasyon konusu incelenmiştir. Literatürde tedarik zincirinin optimizasyonu ile ilgili bazı çalışmalar incelenerek model yapıları açısından sınıflandırılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan matematiksel modellerde kullanılan amaç fonksiyonu, parametre ve değişkenler de çeşitliliği gözler önüne sermek amacıyla incelenmiştir. Tedarik zinciri probleminin karmaşıklığı ile ilgili tespitlerde bulunulmuştur. Bölüm sonunda da tedarik zinciri problemi ile problemi oluşturan alt bileşenlerin problemlerinin ilişkisi incelenmiştir. 4. bölümde karmaşık problemlerin çözüm uzayında daha iyi çözümlerin nasıl arandığı ile ilgili bilgi verilerek, çözümün aranmasında yeni bir bakış açısı önerilmiştir. 5. bölümde, 4. bölümde önerilen yeni bakış açısıyla tedarik zinciri probleminin çözümünün, bileşen problemleri kullanılarak nasıl aranabileceği tarif edilmiştir. 6. bölümde örnek bir tedarik zinciri probleminin matematiksel modeli kurulup, bileşen problemleri ile tedarik zinciri probleminin çözülmesi için yöntem belirlenerek çözümler incelenmiştir. Bileşen problemlerinde seçilen farklı çözümlerin tedarik zinciri probleminde yaptığı etki ve oluşan çözüm kombinasyonlarının çeşitliliği gösterilmiştir. 7. bölümde ise, 6. bölümde incelenen tedarik zinciri probleminin çözümleri için bulunabilecek çözüm kombinasyonları arasından tedarik zinciri problemi için daha iyi sonuçların aranabilmesini sağlayabilecek yeni bir algoritma önerilmiştir. “Kelebek Etkisi Algoritması” olarak adlandırılan algoritmanın adımları tarif edilmiş ve sonrasında 6. bölümde incelenen tedarik zinciri problemi için algoritma adımları özelleştirilmiştir. Örnek problem çözülerek sonuçları incelenmiştir.

2. BÜTÜNLEŞİK BİR YAPI OLARAK TEDARİK ZİNCİRİ VE BİLEŞENLERİ

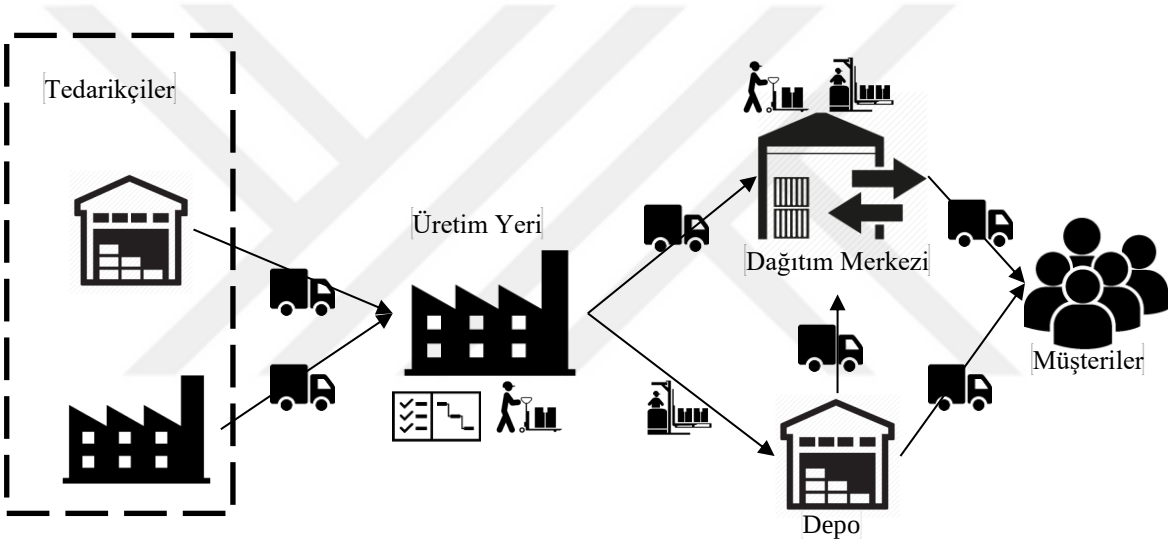
Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyi'nin (Council of Supply Chain Management Professionals- CSCMP) yaptığı tanıma göre; dünyadaki her ürünün müşteriye ulaşması için birden çok organizasyonun kümülatif eforu gerekir ve bu organizasyonlar tedarik zincirini oluştururlar. Tedarik zinciri, müşterilerini memnun etmek için mal ve hizmet üreten şirket içinde ve farklı şirketler arasında birbirleriyle ilişkili süreçler dizisidir. Daha açık olarak, tedarik zinciri bir şirketin müşteri ilişkileri, sipariş yerine getirme ve tedarik ilişkileri süreçlerini kendi tedarikçileri ve müşterileri ile bağlayan hizmet, malzeme, para ve bilgi akış ağıdır (Krajewski ve diğ., 2014). Yani birbirinden bağımsız gibi görünen bileşenlerin, belirli bir amacı gerçekleştirmek için birbirine bağlanması sonucu bir bütün gibi davranması ihtiyacı doğmaktadır. Böyle bir yapı da tedarik zinciri olarak adlandırılmaktadır.

Tedarik zinciri, hammaddenin ortaya çıkarılmasından, son müşteriye kadar birçok şirketi/ kuruluşu kapsar. Tedarik zinciri, genel olarak bakılınca üretim aşaması ve dağıtım aşaması olarak iki bölüm gibi görünür. Üretim aşaması tüm üretim ve depolama aşamalarını kapsarken, dağıtım aşaması, ürünü müşteriye ulaştıran tüm depo ve dağıtıcıları kapsar (Hübner, 2007). Fakat aslında her bir bileşen kendi başına bir organizasyonu ifade eder. Her organizasyon verdiği kararla akış yönündeki bir sonraki bileşeni etkiler. Nihayetinde verilen kararların tamamı ise tüm tedarik zincirini etkiler.

Tedarik zincirinin yapısının tarif edilmesinde faaliyet alanına göre çeşitlilik olabilmektedir. Fakat temelde genel kabul gören yapısı ile tedarik zinciri; tedarikçiler, üretim yerleri, depolar, dağıtım merkezleri ve müşterilerden oluşan bir yapı ile tarif edilmektedir. Şekil 2.1'de örnek bir tedarik zinciri yapısı görülmektedir.

Tedarik Zinciri kavramının tanımı gibi tedarik zincirini oluşturan temel bileşenler için de Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyi'nin (Council of Supply Chain Management Professionals -CSCMP) yaptığı tanımlar aşağıdaki gibidir:

- Tedarikçi: Kuruluşa ürün ya da hizmeti tedarik eden birey ya da organizasyon.
- Üretim Yeri: İçinde bulunan iş merkezleri ve ekipmanlar ile ürünlerin üretilmesinin ya da montajlanmasının gerçekleştiği yer.
- Depo: Ürünlerin kabul edildiği, stoklandığı, sevk edildiği ve siparişlerin hazırlandığı yer.
- Dağıtım Merkezi: Ürünlerin sevk edileceği yere gönderilmeden önce bekletildiği depo.
- Müşteri: Ticari partner, aracı, son müşteri ya da kullanıcı.



Şekil 2.1: Temsili Tedarik Zinciri Görünümü.

Tedarik zincirini oluşturan bu bileşenlerin her biri bir süreç olarak tarif edilebilir. Bu süreçler, hizmet, malzeme, bilgi ve para akışları ile birbirine bağlıdır. Tedarik zincirinden beklenen müşteri memnuniyeti, minimum maliyet gibi performansların gerçekleşebilmesi için bu süreçlerin birbirine olan akışlarının yönetilmesi gerekmektedir (Krajewski ve diğ., 2014). Bu gereklilik de tedarik zinciri yönetimi kavramını ortaya çıkarmaktadır.

3. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ VE OPTİMİZASYON

Mal veya hizmet üretiminin gerçekleşmesini sağlayan birbiri ile ilişkili tüm işletme ve organizasyonların bir bütün olarak tanımlanması ve yönetilebilmesi için tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi kavramları kullanılmaktadır. Bu kavramlarla tanımlanan yapılar çok fazla çeşitlilik oluşturabilmektedir. Ayrıca tedarik zincirinin nasıl yönetilmesi gerektiği ile ilgili de çok çeşitli yaklaşımlar ve bilimsel çalışmalar bulunmaktadır. Bu çeşitlilikten ötürü tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi kavramları ile ilgili birçok tanımlama yapılmıştır. Bu farklı tanımlamalar birbirleri ile çakışmamakta, fakat konunun çok kapsamlı olmasından ötürü tam ve kapsayıcı bir tanımlama yapmak zor olduğundan farklı tanımlamalar ortaya çıkmıştır. En çok kabul gören tanımlardan biri olan Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyi'nin (Council of Supply Chain Management Professionals -CSCMP) yaptığı tanımlara baktığımızda hammaddeden başlayarak son müşteriye, son ürünün teslimine kadar uzanan ve malzeme ve bilgi akışı ile birbirine bağlı birçok bileşenden oluşan yapıya tedarik zinciri, bu yapı ile ilgili tüm aktivitelerin uyumlu ve yüksek performanslı bir iş modeli ile yönetilebilmesi için entegrasyonu ve koordinasyonu da tedarik zinciri yönetimi olarak tanımlanmaktadır. Tanımdan anlaşılabileceği üzere; birlikte iş yapan bileşenlerin, doğru kararlar verebilmek için bir bütün olarak görülmesi gerekiyor. Bu bütünlükle birlikte ilişkilerin modellenerek tanımlanması ve ortaya çıkan problemin optimize edilmesi gerekiyor.

Tedarik zincirinin yönetilmesi için alınan kararlar stratejik, taktiksel ve operasyonel kararlar olarak ayrılabilir. Stratejik ve taktiksel kararlar uzun ve orta vadeli ve daha çok tedarik zincirinin tasarımını belirleyen kararları ifade ederken, operasyonel kararlar yıllık, haftalık, hatta günlük planları belirleyen kararlardır (Hübner, 2007). Tedarik zinciri yönetiminde alınacak kararların belirlenmesi için yapılan çalışmalar, kararın stratejik, taktiksel ya da operasyonel olmasına göre değişmektedir. Hangi seviyedeki kararlar olursa olsun, ortaya çıkan problem, bir optimizasyon problemi olarak tanımlanabilmektedir.

3.1. TEDARİK ZİNCİRİNİN OPTİMİZASYONU İÇİN OLUŞTURULAN MATEMATİKSEL MODELLER

Tedarik zinciri optimizasyonu ile ilgili birçok çalışmada çözüm için tasarlanan tedarik zinciri bir matematiksel model gibi düşünülüp, ortaya çıkan karmaşık, çözümü zor problem için çeşitli yöntemlerle çözüm aranmaktadır. Kullanılacak çözüm yöntemi için problemin matematiksel olarak nasıl ifade edileceği önemlidir.

Tedarik zincirinden beklenen amacın (ürünlerin üretilip, müşterilere ulaştırılmasında zamanında teslim, düşük maliyet, rekabetçi avantajlar sağlanması vb.,) gerçekleşmesi için, zincirdeki akışın doğru yönetilmesi gerekmektedir. Tedarik zinciri, birbirine bağlı tesisler şeklinde ifade edilebileceği gibi, birbirine bağlı faaliyetler zinciri şeklinde de ifade edilebilir. Tedarik zinciri, hammadde ve ara mamullerin, değer katan dönüşümlerle en baştan, nihai tüketiciye kadar ulaşmasını sağlayan, birbirine zincir şeklinde bağlı süreçlerden oluşmaktadır. Bu süreçlerin her biri bir optimizasyon problemini oluşturmaktadır.

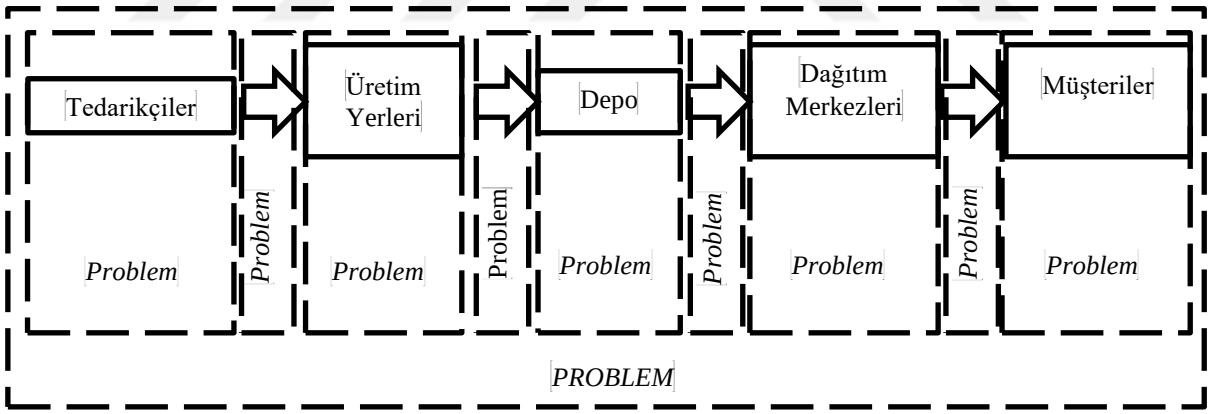
Her bir sürecin optimizasyonu ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Nümerik optimizasyonlar, sezgisel algoritmalar, yapay zeka, bulanık mantık gibi bir çok yöntemle optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Örneğin; üretim yerlerinde ürünlerin hangi sıra ile ve ne zaman üretileceği, bir çizelgeleme problemi olarak optimize edilir. Depolarda tutulması gereken ürün miktarları optimize edilir. Dağıtım merkezlerinin sayısı ve yeri optimize edilir. Bunların yanında üretim yerlerinden depolara ve/veya dağıtım merkezlerine hangi ürünlerin, hangi sırayla, ne zaman, hangi kanalla gönderileceği, elleçleme, araç yükleme gibi kararlar, belirlenen performans kriterlerine göre optimize edilir.

Tedarik zinciri yapısı içerisinde karşılaşılan bazı örnek problemler aşağıdaki gibidir:

- Tedarikçi seçimi problemi
- Tedarikçilerden gelen ürünlerin miktarı ve taşınması problemi
- Üretim yeri seçimi problemi

- Üretim çizelgeleme problemi
- Talep tahmin problemi
- Elleçleme, istifleme, sipariş hazırlama süreçleri problemi
- Depo yeri seçimi problemi
- Stok kontrol problemi
- Depolama, istifleme problemi
- Dağıtım merkezi lokasyon ve adet problemi
- Dağıtım ve sevkiyat problemi (gezgin satıcı, sırt çantası, en kısa yol, …)
- Diğerleri…

Tüm ilgili süreçlerin birleşerek oluşturduğu tedarik zinciri de bir problemi oluşturmaktadır. Tüm tedarik zincirinden beklenen performansın gerçekleşmesi için, zincirin tamamını temsil eden problemin optimize edilmesi gerekir. Birbirine bağlı faaliyetler zincirindeki her bir bileşenin optimizasyonu, zincirin optimizasyonuna hizmet etmelidir. Tedarik zinciri bünyesindeki problemler ve tedarik zinciri probleminin örnek bir tedarik zinciri yapısındaki temsili görünümü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Tedarik Zincirinde Optimize Edilmesi Gereken Problemler.

Zinciri oluşturan tüm bileşenlerin kapsamlı bir şekilde göz önüne alınması ile yapılan optimizasyon çalışmalarında problem, gerçek hayat problemlerini kapsayacak şekilde genişletilmeye çalışılsa da problemin zorluğu ve gerçek hayattaki zincirlerin yapısının çok çeşitli olması nedeniyle, en kapsamlı modelin kurulumu ve optimize edilmesi amacı sürekli devam etmektedir.

Literatür çalışmalarında mümkün olduğunca zinciri oluşturan bileşenlerin birden fazlasının dikkate alınarak oluşturulduğu modeller ve bu modellerin optimizasyonu ile ilgili konular karşımıza çıkıyor. Problem, gerçek hayata yakınlığı ve zorluğu nedeniyle birçok bilimsel çalışmanın yapıldığı bir alandır. Literatürde yapılan çalışmalara baktığımızda probleme farklı açılardan bakılarak çözümler aranmıştır. Araştırma için; Supply Chain, Logistic, Process Improvement, Holistic, Distributed, Decentralised, Two Echelon, Multi Echelon, Bi-Level, Multi Period, Integrated, Collaborative, Cooperative, Coordination, Optimisation, Heuristic anahtar kelimeleri ile bulunan makaleler incelenmiştir.

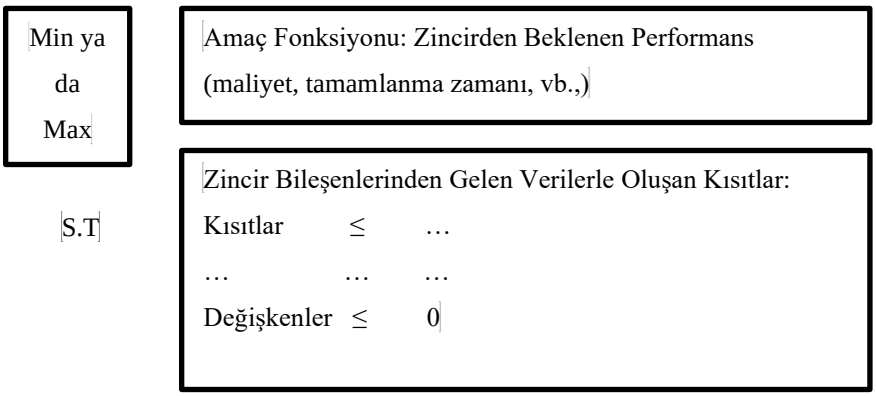
3.1.1. Çözüm İçin Oluşturulan Matematiksel Modellerin Yapıları

Bir problemin çözümü için en önemli adım, problemi tanımlamaktır. İncelenen çalışmalar, tedarik zinciri problemi tanımlanırken çözüm yöntemine zemin oluşturacak şekilde tasarlanan matematiksel model yapıları açısından aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Problemin tek matematiksel modelde birleştirilmesi
- Çok aşamalı tedarik zinciri için çok amaçlı modellerin kullanılması
- Bileşen problemlerinin dikkate alındığı çalışmalar (Dağıtılmış Karar Verme, Oyun Teorisi Yaklaşımları, Ayrıştırma (Decomposition Yöntemleri, vb.,)
- Dinamik Çözümler ve Ajan Teknolojileri Yöntemi Kullanan Çalışmalar
- Simülasyon yöntemi kullanan çalışmalar

3.1.1.1. Problemin Tek Matematiksel Modelde Birleştirilmesi

İncelenen çalışmalarda en fazla bu yöntemle oluşturulan matematiksel model kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu tedarik zincirinden beklenen performansın optimizasyonudur. Zincirde dikkate alınan tüm bileşenlerle ilgili değişkenler ve kısıtlar modele dahil edilmiştir. Matematiksel modelin temsili görünümü Şekil 3.2'deki gibidir.



Şekil 3.2: Problemin Tek Matematiksel Modelde Birleştirilmesi.

İncelenen çalışmalarda çok farklı tedarik zinciri ve lojistik problemlerine bu bakış açısı ile çözüm arandığı görülmektedir. Tablo 3.1'de bu çalışmalarla ilgili detaylı bilgi mevcuttur.

Tablo 3.1: Problemi Tek Matematiksel Modelde Birleştiren Çalışmalar.

Kaynak	İçerik
Yu ve Li,, 2000 Anahtar Kelimeler: Goal programming, Robust optimisation, Stochastic programming, Logistic problem	Dayanıklı (robust) optimizasyon problemini geliştirerek, daha iyi bir hesaplama performansı sağlayan model geliştirmişlerdir. Deterministik lojistik model, olasılıklara bağlı senaryolar ile yeniden oluşturulmuştur. Amaç programlama ile çözüm aranmış. İleriki çalışmalar için; daha geniş problemlerin çözümünde lineer olmayan denklemlerin çözümünde bulanık küme teorisi önerilmiştir.
Hwang., 2002 Anahtar Kelimeler: Logistics system design, Stochastic set-covering problem, vehicle roting problem	Depo/Dağıtım merkezlerinde ve araç rotalama çizelgesindeki hizmet seviyesine bağlı olarak lojistik sistemin tasarımını oluşturan problemin çözümü araştırılmıştır. Müşteriler öbekler haline getirilerek tekil tedarik merkezi problemine dönüştürülmüş. Geliştirilmiş bir araç rotalama çözümü uygulanmış. Genetik Algoritma ile Gezgin Satıcı Problemi olarak fabrikaların belirli bir hizmet seviyesinin altına düşmeden ne üreteceğini belirlemiştir.
Moon ve diğ., 2002 Anahtar Kelimeler: Integrated process planning and scheduling, Supply chain, Traveling salesman problem, Genetic algorithm	Çok tesisli tedarik zincirinin karşılıklı amaçlarını karşılamak için güçlü koordinasyon ve iş birliğini tek bir şirket gibi sağlayan entegre süreç planlama ve çizelgeleme modeli önerilmiş. Toplam gecikmeyi minimize edecek şekilde matematiksel model oluşturulmuş. En iyi çözümler için genetik algoritma tabanlı sezgisel kullanılmış. Çok sayıda fabrikada üretilen ürünlerin çizelgelenmesinde problemi gezgin satıcı problemi olarak çözmüş. Çok fabrikalı bir üretim ağında işlerin çizelgelenmesinde kullanılan yöntemle toplam gecikmeyi minimize eden global optimum çözüm aranmıştır.
Syarif ve diğ., 2002 Anahtar Kelimeler: Logistics, Supply Chain management, Genetic algorithm, Production/distribution system	Lojistik zinciri ağı, 0-1 karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ile formulize edilmiş. Fabrika ve dağıtım merkezi seçimi ve en az maliyetle talebi karşılayacak dağıtım ağı dizaynını içeriyor. Çözüm metodu olarak Prüfer numarası gösterimini kullanarak yayılan ağaç tabanlı genetik algoritma önerilmiş. Fabrika ve dağıtım merkezi seçimini yapan ve seçilenler için minimum maliyetle atamaları yapan matematiksel model kurulup, SP-GA ile çözülmüştür.

Tablo 3.1 (devam): Problemi Tek Matematiksel Modelde Birleştiren Çalışmalar.

Sausa ve diğ., 2003 Anahtar Kelimeler: Birth-and-death processes, fuzzy optimization, logistic processes, weighted fuzzy aggregation	Bu çalışmada lojistik süreç optimizasyonu probleminin doğum-ölüm süreci şeklinde modellenebileceği gösterilmiş. Gelen ürünlerin müşterilere dağıtılırken önceliklendirme yapılması problemi çözülmüştür.
Torabi ve diğ., 2006 Anahtar Kelimeler: Flexible flow line; Lot and delivery scheduling; Supply chain; Hybrid genetic algorithm; Finite horizon	Parti ve teslim çizelgeleme problemini tek tedarikçili, çok ürünlü, esnek akış hattı olan ve ürünlerin bir montaj hattına gönderildiği bir tedarik zincirinde, elde tutma, hazırlık ve taşıma maliyetlerini minimize edecek şekilde çözmek için bir hibrit genetik algoritma önermişlerdir.
Cochran ve Ramanujam, 2006 Anahtar Kelimeler: Integer programming; Logistics; Supply chain; Packing heuristics	3PL, konteyner boyutu, paketleme seçimi, istifleme ve paletleme gibi değer katan hizmet alımı seçimi gibi kararlar, tedarik zincirini ve alınacak kararları etkilemektedir. Bu kararlar da birbirinden bağımsız değildir. Bu çalışmada paketleme için sezgisel geliştirilmiş. Taşıma ve paketleme ile ilgili tüm maliyetleri (merkez, taşıma ve durak maliyetleri) minimize edecek şekilde doğru paketleme, paletleme, konteyner seçimi ve yüklemesini belirleyen bir model oluşturularak çözümü sağlanmış, BD sezgiseli ile çözüm aranmıştır.
Aliev ve diğ., 2007, Anahtar Kelimeler: Supply chain management; Aggregate production–distribution planning; Genetic algorithm; Fuzzy mathematical programming	Tümleşik üretim-dağıtım planlama üzerine bir çalışma yapılmıştır. Karşılaşılan belirsiz pazar talebi, kapasiteler, işlem zamanları ve çözümü etkileyen tüm belirsiz faktörler dikkate alınmış. Bunun için bulanık model kullanılmış ve genetik algoritma ile yakın optimal çözümler aranmış. Hem üretimin hem de dağıtımın kısıtlarını içeren tek bir model kurulmuştur.
Silva ve diğ., 2007 Anahtar Kelimeler: Logistic systems; Fuzzy weighted aggregation; Dispatching rules; Meta-heuristics	Üretilen ürünlerin müşterilere dağıtımında müşteri önceliğini ve gecikmeyi dikkate alarak en iyi dağıtımın yapılması problemi incelenmiş. Problem, sıralama kuralı, genetik algoritma, karınca kolonisi algoritması ile çözülmüş. Problem, çizelgeleme problemi olarak incelenmiş. Yani ürünler siparişe göre gelse de siparişlerin önceliğine göre teslim çizelgelemesi için sezgisel kullanılmış. Lojistik problemi, siparişlerin toplanması ve ürünlerin müşterilere doğru teslim zamanlarına göre atanması olarak tanımlanmış. Bu çalışma lojistik sistemlerin optimize edilmesinde ağırlıklandırılmış bulanık karar fonksiyonunun kullanımını göstermiştir. Optimizasyon stratejisi sıralama kuralları ya da sezgiseller olsa da ağırlıklandırılmış bulanık fonksiyonun kullanımının sistemi iyileştirdiği gösterilmiş. Diğer çizelgeleme problemlerine de uygulanabileceği önerilmiştir.
Moon ve diğ., 2008 Anahtar Kelimeler: Process planning; Scheduling; Evolutionary search approach; Supply chain; Topological sort	Bu çalışmada süreç planlama ve çizelgeleme tek bir model ile ifade ediliyor. Optimal kaynak seçimi, iş sırası ve çizelgeye karar verilerek tamamlanma zamanının minimize edilmesi amaçlanmış. Çözüm için yeni bir topolojik sınıflandırma tabanlı evrimsel aşama yaklaşımı geliştirilmiştir. Daha kompleks süreç planlama ve çizelgeleme problemlerinin çözümü için önerilmiştir.
Silva ve diğ., 2008 Anahtar Kelimeler: Rescheduling; Logistic system; Genetic algorithms; Ant colony optimization; Optimization	Lojistik çizelgeleme probleminin online yeniden çizelgelenmesinde genetik algoritma ve karınca kolonisi algoritmasının karşılaştırılması yapılmış. Tedarik zincirinde en önemli problemlerden biri, lojistik alt süreçlerin optimizasyonudur. Bu planlama, elleçleme ve tedarik zinciri noktaları arasındaki stokların kontrolünü sağlayan kompleks bir çizelgeleme problemidir. Çalışma, ürünlerin bir çapraz yükleme noktasında geliş zamanlarına göre ve sipariş teslim zamanlarına göre çizelgelenmesi problemini inceliyor. Gecikmiş işlerin ve gecikmenin zamanında teslim edilen ürünlere oranı şeklinde maliyet fonksiyonunu minimize eden bir model kullanıyor.

Tablo 3.1 (devam): Problemi Tek Matematiksel Modelde Birleştiren Çalışmalar.

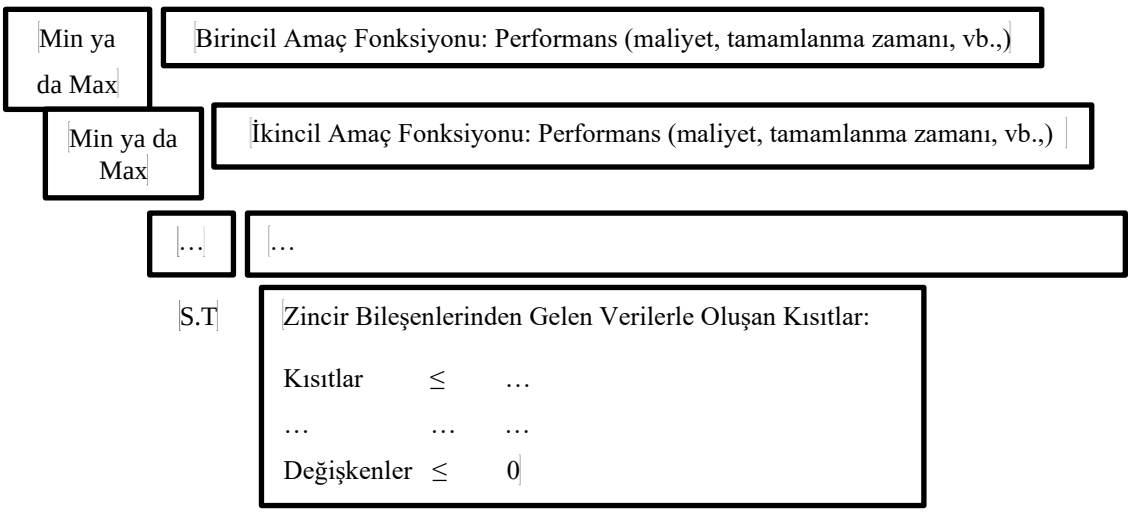
Chiang ve diğ., 2009 Anahtar Kelimeler: Stochastic supply chain, Metaheuristic, Simulation, Newspaper logistics	Gazete dağıtım problemi iki seviyeli ve üç seviyeli tedarik zinciri problemi olarak ele alınmış. Model, dağıtım maliyetlerini minimize edecek şekilde oluşturulmuş. Tabu tarama meta sezgiseli ile çözüm aranmış. Üretim ve dağıtım problemlerindeki stokastik veriler göz önüne alınarak çözüm aranmıştır.
Bashiri ve Tabrizi, 2010 Anahtar Kelimeler: Distribution center location, Theory of Constraints, Equity model, Particle Swarm Optimization (PSO)	Tedarik zinciri dizaynında kısıt teorisi düşüncesi uygulanmaya çalışılmıştır. Çalışmada yeni bir dağıtım merkezinin konumlandırılması problemi üzerinden çalışma yapılmıştır. Model tekli doğrusal olmayan modele dönüştürülüp, sayısal çözümü için parçacık sürü optimizasyonu kullanılmıştır.
Kadadevaramath ve diğ., 2012 Anahtar Kelimeler: Supply chain management, Particle swarm optimization/intelligence, Integration, Optimization	3 aşamalı tedarik zinciri ağ tasarımı problemi, parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanılarak çözülmüştür. Toplam maliyeti minimize eden, toplam tedarik zinciri yürütme maliyeti hesaplaması ile oluşan amaç fonksiyonu ve kısıtları, 3 aşamalı tedarik zincirini kapsayacak şekilde kurulmuştur. 4 farklı PSO algoritması ile problem çözülüp, genetik algoritma ile karşılaştırılmıştır.
Ullrich, 2013 Anahtar Kelimeler: Supply Chain Scheduling, Parallel machines, Vehicle routing, Time windows, Total tardiness, Genetic algorithm	Toplam gecikmeyi minimize edecek şekilde üretim ve dağıtım çizelgelemesi problemi incelenmiştir. Bu iki problemin entegre çözümü ile ayrıştırma metodu kullanılarak ardışık alt problemler halinde çözülerek birleştirilmesi yöntemleri karşılaştırılmıştır. Entegre çözüm için Genetik Algoritma kullanılmıştır. Entegre çözümle problemin tek modelde ifade edilmesi ve sezgisellerle çözümünün daha iyi olduğu gösterilmiştir.
Cheng ve diğ., 2015 Anahtar Kelimeler: Scheduling, Production, Distribution, Ant colony optimization, Heuristics	Üretim ve dağıtım çizelgelemesinde, her 2 çizelgenin de toplam maliyeti minimize edecek şekilde yapılabilmesi için problem tek bir matematiksel model olarak kurulmuş. Çözümü için geliştirilmiş bir karınca kolonisi algoritması önermişlerdir.
Mousavi ve diğ., 2015 Anahtar Kelimeler: Distributer–retailer supply chain, Mixed integer-binary nonlinear programming, Location allocation problem, Inventory control problem, Meta-heuristic algorithms	Dağıtıcı-perakendeci tedarik zinciri ağında sezonsal çoklu ürün konum atama-envanter kontrol problemi, çoklu periyotları içerecek şekilde planlama ufkunda modellenmiş. Tedarik zinciri maliyetini minimize eden iki aşamalı tedarik zincirindeki kısıtları göz önüne alan bir model kurulmuş. Modelin çözümü için modifiye edilmiş meyve sineği algoritması kullanılıp, PSO ve benzetilmiş tavlama algoritmaları ile karşılaştırılmış. Problemin bulanık olarak modellenmesi önerilmiş. Envanter yönetimi için en iyi yaklaşımın da belirlenmesi geliştirme için önerilmiş. Belirli ortam ve belirsiz ortam karşılaştırmasının da yapılması önerilmiştir.
Puga ve Tancrez, 2017 Anahtar Kelimeler: Location, Supply chain network design, Location–inventory model, Risk pooling, Conic quadratic mixed-integer program	Belirsiz talep altında geniş tedarik zincirinin dizaynı için konum-envanter problemi analiz edilmiş. Lokasyonu, atamayı ve envanter kararlarını entegre eden ve taşıma maliyetlerini, çevrim stoğunu, emniyet stoğunu, sipariş almayı ve üretim yeri açmayı içeren bir sürekli, doğrusal olmayan formülasyon verilmiş. Model doğrusal yapılarak, her bir iterasyonda, bir sonraki iterasyonun değişken tahminini yaparak doğrusal modeli çözen bir sezgisel önerilmiş. Etkinliğinin ölçülmesi için sonuç, problemin konik kuadratik formülasyonu ile karşılaştırılmış. Çoklu taşıma modları, perakendecilerde ve dağıtım merkezlerinde kapasite kısıtları ya da çoklu ürünlerle modelin genişletilebileceği önerilmiştir.

Tablo 3.1 (devam): Problemi Tek Matematiksel Modelde Birleştiren Çalışmalar.

Khalifehzadeh ve Fakhrzad, 2019 Anahtar Kelimeler: Supply chain planning, Selective Firefly Algorithm (SFA), Stochastic demand rate, Fuzzy available time, Multi chance constraint	Karmaşık bir problem olan Üretim-Dağıtım Ağı problemi incelenmiştir. Problem tüm tedarik zinciri bileşenlerini içerecek şekilde ve karma tam sayılı doğrusal programlama ile modellenmiştir. Sistemin toplam maliyetini optimize etmek üzere bir model oluşturulmuştur. Problem belirsizlikleri içerecek şekilde tanımlanarak, çözümü için Ateşböceği Algoritmasının (Firefly Algorithm) geliştirilmiş bir hali olarak Seçici Ateşböceği Algoritmasını (Selective Firefly Algorithm) önermişlerdir. Tedarik zinciri bileşenleri iç ve dış müşteri şeklinde ayırılarak çözüm aranmıştır.
Guemri ve diğ., 2019 Anahtar Kelimeler: Metaheuristics Probabilistic Tabu Search Cross-Docking Assignment Problem Combinatorial Optimization	Çalışmada Çapraz Yükleme Atama problemi incelenmiştir. Gelen araçların, kapasite ve atama kısıtlarını dikkate alarak malzeme elleçleme maliyetini minimize edecek şekilde hangi kapıya atanması gerektiğini bulacak model oluşturulmuştur. Problemin çözümü için yeni bir komşuluk yapısı ile oluşturulmuş Olasılıksal Tabu Tarama sezgiseli önerimiştir. Elde edilen sonuçlar önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.
Son zamanlarda yayınlanmış diğer çalışmalar: Abbasi ve diğ., 2020, Amiri ve diğ., 2020, Wang ve diğ., 2020	

3.1.1.2.Çok Aşamalı Tedarik Zinciri İçin Çok Amaçlı Modellerin Kullanılması

Diğer ilgi çeken çalışma alanı ise; zinciri oluşturan bileşenlerin amaçlarını ayrı ayrı ifade eden ve aynı matematiksel modelde optimize etmeye çalışan çok aşamalı, çok amaçlı matematiksel model çözümleridir. Tedarik zinciri bileşenlerinin amaçları veya tedarik zincirinin optimizasyonu için belirlenen performans tanımlamaları ayrı amaç fonksiyonları olarak tanımlanır. Bu ayrı amaç fonksiyonları, aynı kısıt denklemleri ile sırayla çözülür. Her bir amaç fonksiyonu, kısıt denklemlerinin bir alt aşama amaç fonksiyonunun çözümünden sonra geldiği halini kullanır. Matematiksel modelin temsili görünümü Şekil 3.3'teki gibidir.



Şekil 3.3: Çok Aşamalı Zincir İçin Çok Amaçlı Model.

Tablo 3.2'de gösterilen çalışmalar, tedarik zinciri problemini bu şekilde modelleyen çalışmalardan bazılarıdır.

Tablo 3.2: Çok Aşamalı Zincir İçin Çok Amaçlı Modellerin Kullanan Çalışmalar.

Kaynak	İçerik
Altıparmak ve diğ., 2006 Anahtar Kelimeler: Supply chain network; Genetic algorithm; Multi-objective optimization	Tedarik zinciri ağı optimize edilirken problem 3 aşamalı optimizasyon problemine dönüştürülmüş. Maliyet minimizasyonu, hizmet seviyesi maksimizasyonu, kapasite kullanım maksimizasyonu amaçları belirlenmiş. NP-Hard olan bu problem genetik algoritma ile çözülüp, benzetilmiş tavlama yöntemi ile karşılaştırılmış. Çoklu optimizasyon problemlerinde pareto optimal çözümler arasında seçim için ağırlıklandırma yöntemi önerilmiştir.
Sheu, 2007 Anahtar Kelimeler: Logistical distribution; Pre-route customer classification; Fuzzy clustering; Multi-objective optimization; En-route goods delivery	Bulanık öbekleme ile müşterilerin gruplanması, grup bazında müşteri hizmet önceliklerinin tanımlanması ve çok amaçlı optimizasyon metodu ile ürün teslimatlarının rotalanması problemi çözülmüştür.
Roghanian ve diğ., 2007 Anahtar Kelimeler: Bi-level programming; Multi-objective decision-making; Multi-level multi-objective decision-making; Fuzzy decision approach; Stochastic programming; Supply chain management	Bu çalışmada olasılıklı, çift seviyeli, doğrusal, çok amaçlı programlama problemi ve tedarik zincirinde uygulaması incelenmiş. Modelde pazar talebi, bir fabrikanın üretim kapasitesi ve ürünler için her fabrikadaki ulaşılabilir kaynak, rassal değişkenlerdir. Model, bulanık karar verme yaklaşımı ile çözülmüştür.
Xu ve diğ., 2008 Anahtar Kelimeler: Multi-objective optimization; Supply chain networks; Random fuzzy variable; Prufer number; Genetic algorithm	Taşıma maliyetleri ve müşteri talebi rassal bulanık değişkenler olduğunda, aynı anda sabit fabrika maliyetleri, sabit dağıtım merkezi maliyetleri, iç ve dış dağıtım maliyetlerini minimize eden, kabul edilebilir teslim zamanları ile müşteri hizmet seviyesini maksimize eden ağ stratejisini bulma problemi incelenmiş. Tedarik zincirindeki her aşamanın kendi amaçları var ve bu amaçlar sıklıkla birbiriyle çakışır. Lokasyon maliyeti artınca dağıtım merkezi sayısı azalır. Taşıma maliyetleri artınca da dağıtım merkezi sayısı azalır. Toplam maliyet ve müşteri hizmet seviyesi amaçları çakıştığı için problemin çözümü çoklu amacın dengesindedir. Tedarik zinciri ağı problemi çok amaçlı programlama ile formulize edilmiş. Tedarik zinciri ağı dizayn problemi için, rassal bulanık çoklu amaçlı karma tam sayılı lineer olmayan programlama modeli oluşturulmuş. Rassal bulanık müşteri talebi ve fabrikalar arası taşıma maliyetleri şartları altında müşterilerin taleplerini minimum toplam maliyet ve maksimum hizmet seviyesinde karşılayan çok amaçlı tedarik zinciri ağı dizayn problemini çözmek için Prüfer sayısı gösterimi ile yayılan ağaç tabanlı genetik algoritma kullanılmıştır.
Selim ve diğ., 2008 Anahtar Kelimeler: Collaborative planning; Supply chain; Production–distribution model; Fuzzy goal programming	İşbirlikçi modellerin kurulumu ile tedarik zincirinin daha efektif ve gerçekçi bir yapıya kavuşması sağlanabileceği fikrinden hareketle. işbirlikçi üretim-dağıtım problemi çok amaçlı programlama modeli ile ele alınmış, Karar vericilerin amaçları için belirsiz istek düzeyleri, bulanık amaç programlama yaklaşımı ile modelde birleştirilmiştir. Çalışmadaki üretim-dağıtım gibi lokasyon-rota, lokasyon-stok, stok-taşıma, tedarikçi seçimi-stok kontrol gibi modellerle çözümler önerilmiştir.

Tablo 3.2 (devam): Çok Aşamalı Zincir İçin Çok Amaçlı Modellerin Kullanan Çalışmalar.

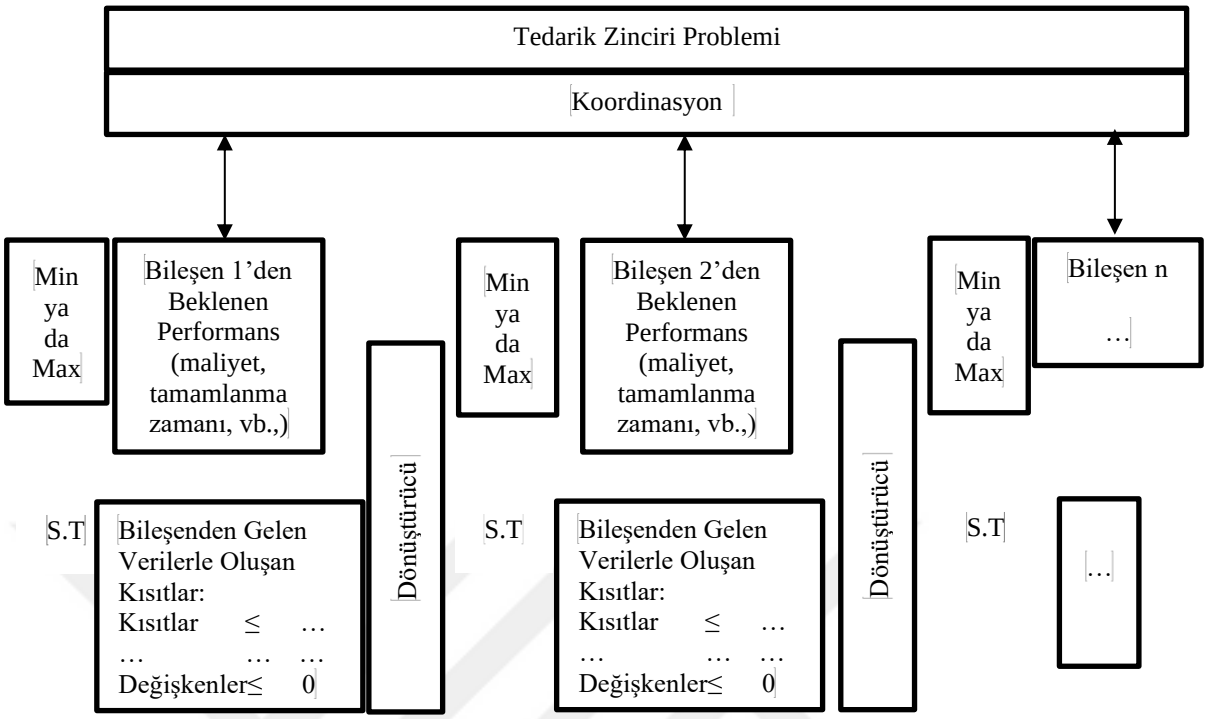
Farahani ve Elahipanah, 2008 Anahtar Kelimeler: Supply-chain management; Distribution; Bi-objective; Optimization; Genetic algorithm	Tedarik zincirinde tam zamanında dağıtım problemi incelenmiştir. 3 aşamalı tedarik zincirinde dağıtım ağının kurulması için 2 amaçlı model kurulmuştur. Birinci amaç fonksiyonu maliyeti minimize ederken, ikincisi birikmiş siparişleri ve fazla üretimleri minimize etmeye çalışır. Çok periyotlu, çok ürünlü, çok kanallı ağda teslim süreleri ve kapasite kısıtları vardır. Hibrit baskın olmayan sınıflama genetik algoritması tam zamanındalık özelliğini gecikme ve erken gelme maliyetleri ile almış. 1999-2005 arası tüm çalışmaları problem tanımlaması, kısıtlar, çıktılar, amaç fonksiyonları açısından özetlemiş. Envanter kontrolü ve dağıtım planlama başlıca lojistik süreçlerdir. Ürünler geçici olarak depolarda bekletilir. Daha sonra perakendecilere gönderilir. Her depo ihtiyaca göre birden fazla perakendeciye hizmet verebilir. Perakendecilere ihtiyacı kadar ürünü zamanında sağlarken kapasiteyi de dikkate alan bir sistem oluşturulmaya çalışılmıştır. Kapasite eksiklikleri oluştuğunda depolar perakendecileri erken de olsa, geç de olsa beslemelidir. Biriken siparişler ya da elde tutma maliyeti farklı depolardan tedarik edilen ürünlerin fiyatlarına göre değişir. Karar değişkenleri farklı periyotlarda depolardaki ürün seviyeleri ve amaç fonksiyonu toplam maliyetin minimizasyonuıdur. Model çok amaçlı genetik algoritma ile çözülmüş. Dikkate alınan kriterlerin artırılması veya olasılıksallığın göz önüne alınmasıyla modelin geliştirilebileceği önerilmiştir.
Moncayo-Martinez ve Zhang, 2011 Anahtar Kelimeler: Supply chainconfiguration, Multi-objective optimisation, Ant colony, Meta-heuristics	Kompleks alt montaj işlemlerinden ve parçalarından oluşan bir ürün ailesi için tedarik zinciri dizaynı tanımlamada yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Çok amaçlı tedarik zinciri dizayn problemi, toplam maliyet ve toplam zamanı içeren iki amaç fonksiyonlu model, bir Pareto Karınca Kolonisi sezgiseli ile çözülmüştür. Tedarik zincirindeki diğer bileşenlerin eklenmesi ve belirsizliklerin eklenmesi ile modelin geliştirilmesi önerilmiştir.
Pasandideh ve diğ., 2015 Anahtar Kelimeler: Supply chain management, Reliability, Multi-objective optimization, Mixed integer linear programming, GAMS, MODM	Çoklu ürünlü, çoklu periyotlu, 3 aşamalı, üretim yerleri, dağıtım merkezleri ve müşteri noktalarını içeren tedarik zinciri ağının çok amaçlı optimizasyonu amaçlanmış. Müşterilere sevk edilen ortalama ürün sayısını maksimize ederken, toplam maliyeti minimize eden 2 amaç fonksiyonlu model oluşturulmuştur. Problem çok amaçlı tam sayılı doğrusal programlama modeli olarak kurulup, 6 farklı çok amaçlı karar verme yöntemi ile çözülerek, performansları karşılaştırılmıştır. NSGA-II, MOPSO gibi meta sezgisellerle çözüm, parametrelerden birinin bulanık olarak değerlendirilmesi, Erlang ve Weibull gibi olasılık dağılımlarının da göz önüne alınması çalışmaları önerilmiştir.
Chan ve diğ., 2016 Anahtar Kelimeler: Genetic algorithm, Supply chain management, Multi-objective programming, Heuristic, Transportation, Logistics	Çalışmada çoklu zaman periyotlu, çoklu ürünlü ve belirsiz talepli, 3 aşamalı tedarik zinciri dağıtım problemi modellenmiştir. Problemin daha gerçekçi olması için çoklu araç tipi eklenerek araç seçimi ve yüklenmesi de probleme dahil edilmiş. Toplam tedarik zinciri maliyetini minimize eden bir model kurulup, baskın olmayan kümeleme genetik algoritma (Non-Dominated GA-NSGA-II) ile çözülmüş. Modelin daha gerçekçi olması için hala yapılabilecekler olduğu belirtiliyor. Talep tahmininin üstel düzeltme ile yapılabileceği belirtilmiştir. Perakendecilerin talebinin trend veya sezonsallık olmadan belirli bir seviyede kabul edilebileceği belirtiliyor. Modelin bunları içerecek şekilde genişletilebileceği öneriliyor. Herhangi iki lokasyon arasında tek bir yol olduğu farz ediliyor. Çoklu yol olmasının daha gerçekçi olacağı öngörülüyor. Talep senaryolarındaki belirsizliğin göz önüne alınması ile modelin daha gelişeceği belirtiliyor. Daha büyük taşımalar için kamyon seçimi ve yüklenmesi üzerine vaka çalışmaları yapılabileceği öngörülüyor.

Tablo 3.2 (devam): Çok Aşamalı Zincir İçin Çok Amaçlı Modellerin Kullanan Çalışmalar.

Cheraghalipour ve diğ., 2019 Anahtar Kelimeler: Rice supply chain, Agricultural supply chain, Bi-level programming, Optimization, Evolutionary algorithm, Hybrid meta-heuristics	Zirai tedarik zinciri yöntemi örneği olarak pirincin tedarik zinciri incelenmiş ve çok seviyeli bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Modelde iki karar vericiye göre toplam maliyetin minimizasyonu amaçlanmıştır. Modelin çözümü için Genetik Algoritma sezgiseli, Parçacık Sürü Optimizasyonu sezgiseli, bu iki sezgiselin hibrid versiyonları ve Parçacık Sürü Optimizasyonunun hareket mantığını kullanarak seçimin yapıldığı bir Genetik Algoritma yöntemi olan GPA sezgiselinin modifiye edilmiş hali kullanılarak çözümü araştırılmıştır.
Tautenhain ve diğ., 2019 Anahtar Kelimeler: Sustainable supply chain, Matheuristic, Multi-objective optimization	Sürdürülebilir tedarik zincirinin tasarımı ve planlaması problemi, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler dikkate alınarak incelenmiştir. Problem çok amaçlı olarak modellenmiştir. Optimizasyonu için Matheuristic (matematiksel programlama ve sezgisellerin birlikte kullanılması ile oluşturulan sezgisel yöntem) önerilmiştir.
Son zamanlarda yayınlanmış diğer çalışmalar: Ardakani ve diğ., 2020	

3.1.1.3.Bileşen Problemlerinin Dikkate Alındığı Çalışmalar (Dağıtılmış Karar Verme, Oyun Teorisi Yaklaşımları, Ayrıştırma Decomposition Yöntemleri, vb.,)

Zinciri oluşturan her bir sürecin kendi başına optimize edildiği, fakat optimizasyon problemlerinin tüm zincirin problemini optimize edebilmesi için koordine edilmeye çalışıldığı çalışmalar da vardır. Her bir bileşenin optimum kararı verilirken, zincirde etkilediği bileşeni ve genel problem de göz önüne alınır. Bileşenlerin birbiri ile nasıl haberleşeceği ve optimizasyon stratejileri aranmıştır. Önerilen çalışmanın temeli bu yöntemlere yakındır. Yaklaşımın temsili bir görünümü Şekil 3.4'teki gibidir.



Şekil 3.4: Dağıtılmış Karar Verme Modeli.

Tedarik zinciri problemini bu yaklaşımla inceleyen çalışmaların bazıları ile ilgili bilgiler Tablo 3.3'te görülebilir.

Tablo 3.3: Bileşen Problemlerinin Dikkate Alındığı Çalışmalar.

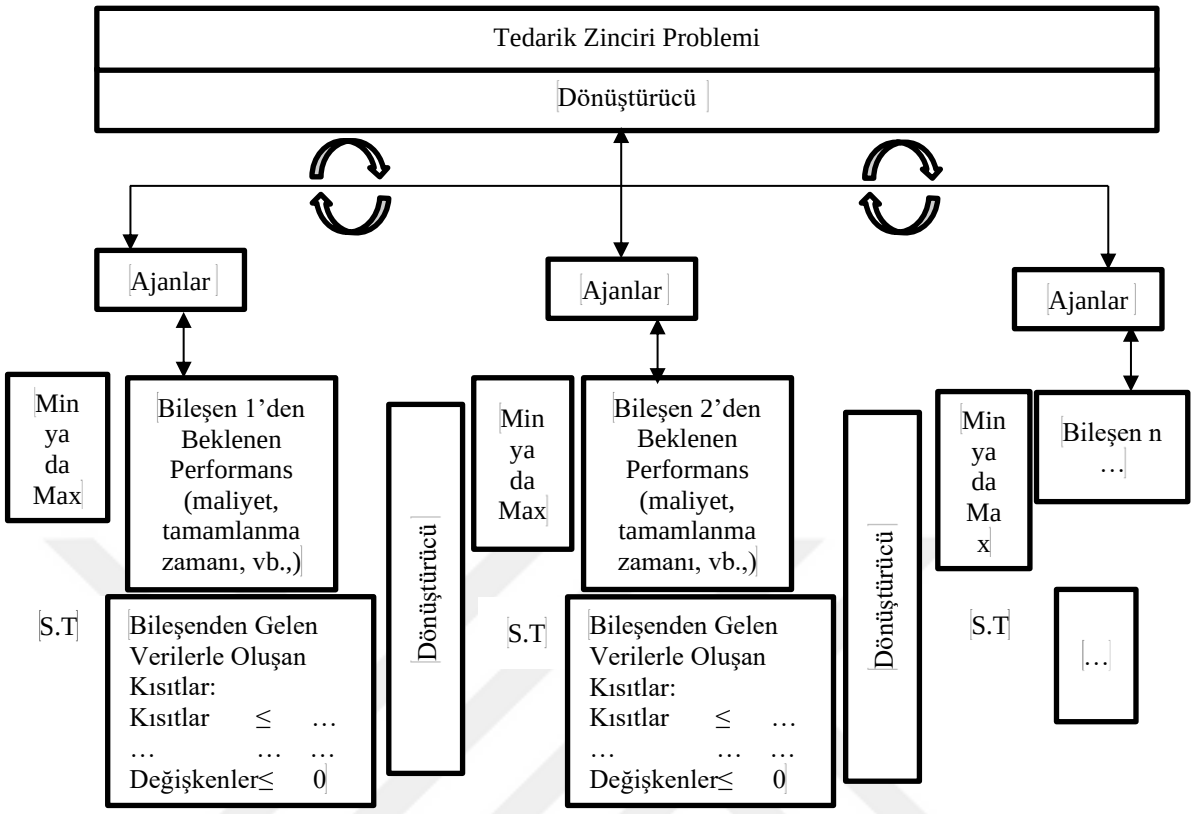
Kaynak	İçerik
Schneeweiss,, 2003 Anahtar Kelimeler: Distributed decision making; Supply chain management; Coordination	Bu çalışmada dağıtılmış karar verme problemlerinin farklı sınıflarının tedarik zincirinde tanımlanması yapılmıştır. Tedarik zincirini oluşturan parçalar arası koordinasyon ele alınmış. Tüm ilişkiler, dağıtılmış karar verme durumu olarak ele alınıp, sınıflandırılmış. Oyun teorisi kullanılarak bu sınıflandırmalar için modeller oluşturulmuş. Dağıtılmış karar verme problemleri, tedarik zinciri yönetimi açısından senaryolaştırılmış ve lojistik ağ dizaynında tedarik zinciri bileşenlerinin arasındaki ilişkinin tanımlanması için önerilmiştir. Tedarik zincirinde farklı senaryolara farklı modeller önerilmiş. Oyun teorisi ile oluşturulan modellerin dağıtılmış karar verme temelli tedarik zincirlerinde geliştirilebileceği öngörülmüştür.
Ydstie ve diğ., 2006 Anahtar Kelimeler: Distributed control, supply chain management, self-optimization, optimal control, inventory control, flow control.	Birçok çalışmada tedarik zincirinde karar vermedeki kompleks durumu azaltmak için dağıtılmış iş yapıları ve yazılım çözümleri araştırılmış. Dağıtılmış kararlar, alt optimal çözümlere götürür. Bu çalışmada bunun gerekli olmadığı gösterilmiş. Karar vericiler, yazılım ve fiziksel aygıtların entegre edilmesi ile optimal dağıtılmış karar vermenin sağlanabileceği gösterilmiş. Bu çalışmada tedarik zincirine, farklı süreç ve ürünleri üreten, birbirlerine yukarı ve aşağı yönlü bağlı organizasyonların oluşturduğu bir ağ olarak bakılmıştır. Ağ denklemleri ile ve değer katan ağ (VAN) olarak tedarik zinciri modellenmiş. Dağıtılmış karar verme süreçleri, geri besleme döngüleri ve model kestirimci kontrol ile kompleks tedarik zincirleri için önerilmiştir.

Tablo 3.3 (devam): Bileşen Problemlerinin Dikkate Alındığı Çalışmalar.

Silva ve diğ., 2009 Anahtar Kelimeler: Ant colony optimization, Distributed optimization, Supply chain management, Logistics and operations management	Tedarik zinciri, dağıtılmış optimizasyon problemi olarak ele almış. Bu çalışmada tedarik zincirinin farklı dağıtılmış optimizasyon problemleri olarak tanımlamaya dayalı ve farklı birçok partner arasındaki işbirliğine ulaşmak için karınca kolonisi optimizasyonu kullanan çoklu ajan tedarik zinciri yönetimi metodolojisi tanımlanmıştır. Optimizasyon işlemi sırasında karınca kolonisi optimizasyonu algoritması, tedarik zinciri partnerleri arasındaki bilgi alışverişini sağlayacak özel bilgi içermeyen bir feromon matrisi üretir. Tedarik zincirinde 3 sistem bulunur: lojistik sistem, tedarikçileri ve dağıtıcıları. Lojistik sistem, genel atama optimizasyonu problemi; tedarik sistemi, üretim çizelgeleme optimizasyonu problemi; dağıtım sistemi, araç rotalama problemi olarak tanımlanmıştır. Tedarik zincirini oluşturan partnerler, her biri kendi içinde optimizasyon problemini çözerken, diğerleri ile senkron olabilmesi için amaç fonksiyonları arasında bir dönüştürücü tanımlanmalıdır. Karınca kolonisi optimizasyonu ile her bir alt süreçte yapılan optimizasyon ile oluşan feromon matrisi, diğer alt süreçlerin optimizasyonunda kullanılmıştır. Yöntem simulasyon ile test edilmiştir. Diğer sezgisellerle geliştirilmesi önerilmiştir.
Saharidis, 2011	Akış tipi tedarik zincirlerinde, bileşenlerin bir önceki bileşenden ürün gelmemesi durumunda ürünü alt yüklenicilerden alabilmesi ile daha karmaşıklaşan tedarik zinciri problemini incelemişlerdir. Problemlere merkezi politika ve her bir bileşenin yerel optimumunun bulunduğu dağıtılmış politika yönünden bakılmıştır. Her iki politika ile ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiştir. Dağıtılmış politikada birbirini izleyen alt problemler ayrı problemlerde optimize edilmeye çalışılmış ve ilk problemin çıktısı, izleyen alt sürecin girdisi olarak çözülmüş.
Giri ve Bardhan, 2017 Random yield, Demand uncertainty, Three-echelon supply chain, Semi-integrated channel	Bir tedarikçi, bir üretici ve bir perakendeciden oluşan tedarik zinciri problemi tasarlanarak incelenmiştir. Oyun teorisi yaklaşımları ile tedarik zincirinin belirsiz talep altında merkezi ya da tam koordine, merkezsizleştirilmiş ya da tamamen koordinasyonsuz ve alt tedarik zinciri koordineli yapılarının performansı test edilmiştir.
Sun ve Wang, 2019 Anahtar Kelimeler: Supply chain network design, Assembly line balancing, Transportation problem, Matheuristic, Decomposition, Differential evolution	Üreticiler, montaj hatları ve müşterileri içeren, 3 aşamalı, montaj hattı dengeleme problemini içeren bir tedarik zinciri ağı tasarımı problemi incelenmiştir. Problem bir üst seviye ve iki alt seviye probleme ayrıştırılmıştır. Üst seviye problemde montaj hatlarına atama miktarı belirlenirken, alt seviye problemlerinde hat dengeleme problemi ve aşamalar arası taşıma problemi bulunmaktadır. Problemin çözümü için Ayrıştırma (Decomposition) tabanlı sezgisel önerilmiştir.
Son zamanlarda yayınlanmış diğer çalışmalar: Belieres ve diğ., 2020, Mahmoodi, 2020, Pakseresht ve diğ., 2020, Yuan ve diğ., 2020	

3.1.1.4.Dinamik Çözümler ve Ajan Teknolojileri Yöntemi Kullanan Çalışmalar

Yine zincir bileşenlerinin kendi içinde çözümlerini arayan ve bu çözümlerin tüm zincirin performansına katkı yapmasını sağlayan diğer bir araştırma alanı da ajan teknolojileri ile problemin çözümünün dinamik aranmasıdır. Bu yaklaşımın da temsili bir görünümü Şekil 3.5'teki gibidir.



Şekil 3.5: Dinamik Çözümler-Ajan Teknolojileri Modeli.

Ajan teknolojileri ile tedarik zinciri problemini inceleyen çalışmalardan bazıları ile ilgili bilgiler Tablo 3.4'teki gibidir.

Tablo 3.4: Dinamik Çözümler ve Ajan Teknolojileri Yöntemi Kullanan Çalışmalar.

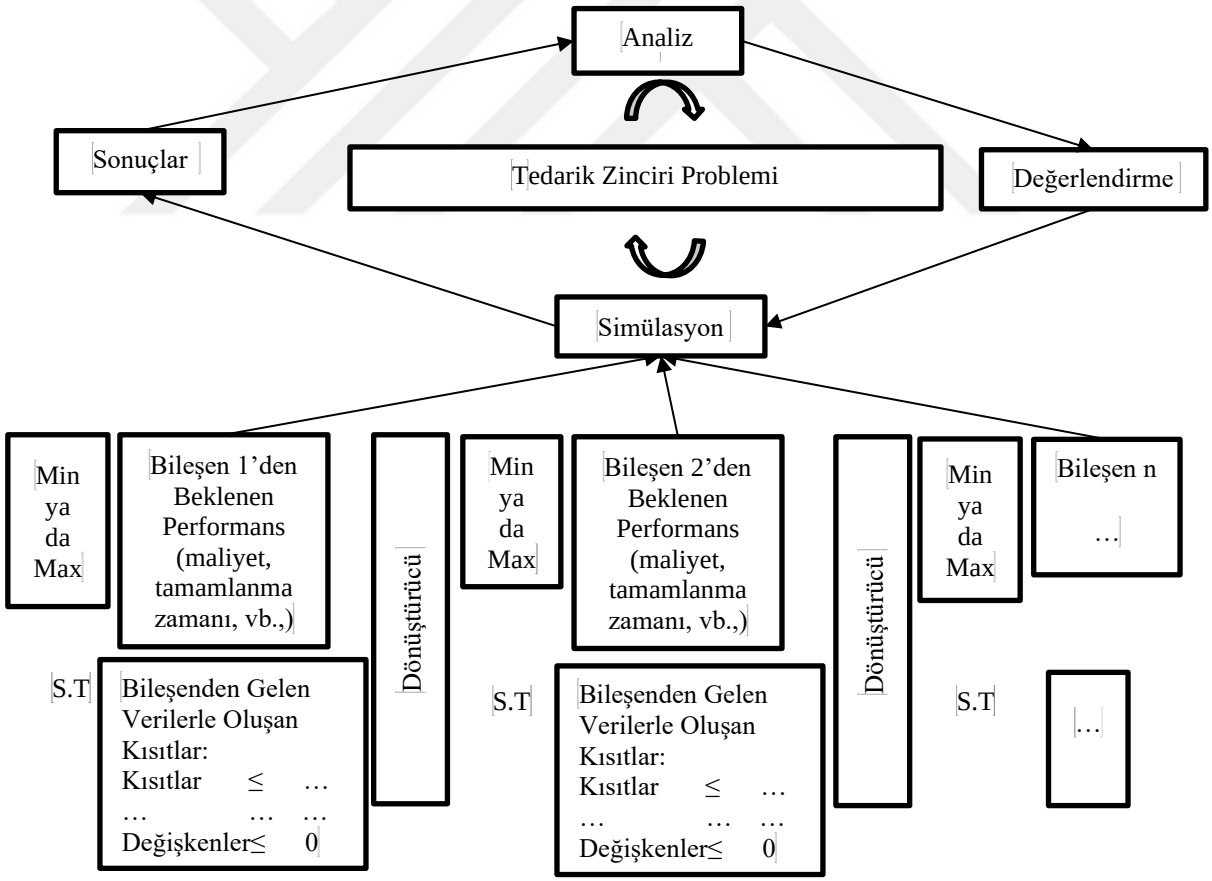
Kaynak	İçerik
Karageorgos ve diğ.,, 2003 Anahtar Kelimeler: Agent-based systems, Enterprise integration, Manufacturing systems, Interaction protocols, Holonic systems	Ajan teknolojisi yöntemi ile değişen ihtiyaçlara göre hareket edebilme ve alternatiflerin azaltılabilmesi fikrinden hareketle sadece üretim çizelgesini dikkate almayan, aynı zamanda lojistik hizmet sağlayıcıların ulaşılabilirliğini ve maliyetini de dikkate alan ajan tabanlı teknoloji yaklaşımı (lojistik ve üretim planlama için) sunulmuştur. Önerilen çalışma, kurumlar arası taşımada alt yüklenici lojistik hizmet sağlayıcıları ile çalışan sanal üretim organizasyonlarında vaka çalışması olarak uygulanmıştır. Tedarik zinciri "Holonic System" olarak düşünülerek her bir bileşendeki mevcut durumların ajan etkileşimlerine göre global optimumu sağlayacak tepkiselleştirme, yerelleştirme ve uyumluluğu sağlaması incelenmiştir. Daha kompleks senaryolar için yöntemin geliştirilmesi önerilmiştir.
Smirnov ve diğ., 2004 Anahtar Kelimeler: Configuration; Game with fuzzy coalitions; Constraint satisfaction; Genetic algorithm; Multi-agent system; Cooperative supply chain	Dinamik, esnek ve güçlü bir sistem olarak işbirlikçi tedarik zincirinin dinamik konfigürasyonu problemi ele alınmış. Tedarik zinciri bileşenlerinin her birinin kendi kazancını maksimize edecek şekilde bulanık koalisyonlarla oyun teorisi kullanılmış. Aynı yöntemle doğrusal olmayan ilişkilerle kurulacak bir modelin geliştirilmesi, gelecek çalışması olarak önerilmiştir.

Tablo 3.4 (devam): Dinamik Çözümler ve Ajan Teknolojileri Yöntemi Kullanan Çalışmalar.

Mangina ve Vlachos, 2005 Anahtar Kelimeler: Intelligent agents; Beverage network optimisation food logistics; Supply chain management	Bu çalışmada yiyecek ve içecek tedarik zincirinin optimize edilmesi araştırılmış. Tedarik zincirindeki akıllı ajan uygulamaları araştırılmış ve içecek lojistik ağındaki performansı optimize etmek için bir çoklu ajan sistemi tanımlanmış. Ajan teknolojisi çalışmalarında tedarik zincirinin bileşenleri arasında dinamik ve esnek çözümler oluşması için bileşenler arasındaki ilişkilerde kazanç-kayıp durumlarına göre model oluşturulmuştur.
Saraeian ve diğ., 2019 Anahtar Kelimeler: Business process management system, Autonomous and combinatorial optimal Neural network, Cellular learning automata, Multi-agents	Kapalı çevrim tedarik zinciri örneği olarak lastik geri dönüşüm fabrikası örneği, önerilen çözüm için incelenmiştir. Modelde belirsizlik altında iş süreçleri yönetiminde karlılık artırılırken, kirliliği azaltacak çözüm aranmıştır. Çok katmanlı perseptron yapay sinir ağı ya da optimal hücresel öğrenme otomatına dayalı çoklu ajan sistemleri ile konu incelenerek, daha önce aynı örnek üzerinde yapılan bir çalışma iyileştirilmiştir.

3.1.1.5.Simülasyon Yöntemi Kullanan Çalışmalar

Zincirin bileşenleri optimize edilirken, zincirin performansının arandığı diğer bir yöntem de simülasyondur. Yöntemin temsili bir görümü Şekil 3.6'daki gibidir.



Şekil 3.6: Simülasyon Yöntemi Modeli.

Simülasyon yöntemi ile tedarik zinciri problemini inceleyen çalışmalardan bazıları ile ilgili bilgiler Tablo 3.5'teki gibidir.

Tablo 3.5: Simülasyon Yöntemi Kullanılan Çalışmalar.

Kaynak	İçerik
Petrovic ve diğ., 1999 Anahtar Kelimeler: Supply Chain, Fuzzy Sets, Control Concepts	Tüm tesislerin birbirine seri olarak bağlandığı bir üretim tedarik zinciri ele alınmış. Tedarik zincirinin belirsizlik altında performansı ve müşteri talebinin, tedarikçilerden yapılacak teslimlerin ve Pazar talebinin belirsiz olması durumu incelenmiş. Her depo noktasının merkezsizleştirilmiş kontrolü ve kısmi kontrolü konsepti ile hareket edilmiş. Belirsizlikler bulanık kümeler ile yorumlanmış. Belirlenen ön kabullerle özel bir simülasyon çalıştırılarak sistem incelenmiştir.
Frazzon ve diğ., 2016 Anahtar Kelimeler: Inventory control, Production planning and scheduling; Supply chains and networks; Modeling, simulation, Control and monitoring of manufacturing processes	Üretim ve lojistik süreçlerin optimal çizelgelerini tanımlamada simülasyon tabanlı bir prosedür önerilmiş. Prosedür, doğrusal programlama, ayrık olay simülasyonu ve sayısal deneyi kombine eden simülasyon-optimizasyon hibrit tabanlı bir modeldir. Sistem simülasyonları iterasyon şeklinde çalıştırıyor. Gerçek senaryoya göre kurulan sistemin, stokastik senaryoya göre tıkanacağı yerleri gerçekçi şekilde ortaya çıkarıyor. Matematiksel modelin çözümü için genetik algoritmanın kullanılabileceği öngörülmüştür.
Son zamanlarda yayınlanmış diğer çalışmalar: Franco ve Alfonso-Lizarazo, 2020	

3.1.2. Modellerde Kullanılan Amaç Fonksiyonları/Parametreler/Değişkenler

Tedarik zincirinin optimizasyonu ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında genel olarak tedarik zincirini oluşturan birden fazla bileşenin durumunun matematiksel bir modelde ifade edilmesi ve bu matematiksel modelin çeşitli yöntemlerle optimize edilmeye çalışıldığı görülmektedir. Tedarik zinciri bileşenlerinin oluşturduğu problemleri aynı anda optimize etmeye çalışan tüm çalışmalarda uygulanacak yönteme uygun, örnek bir tedarik zinciri senaryosu tasarlanıyor. Tasarlanan tedarik zinciri senaryosuna göre çalışmalarda kullanılan parametreler, değişkenler ve amaç fonksiyonlarının çeşitliliği de artıyor. Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de incelenen çalışmalarda kullanılan parametreler, değişkenler ve amaç fonksiyonu değerleri görülebilmektedir.

Tablo 3.6: İncelenen Çalışmalarda Kullanılan Parametreler.

Tedarikçiler	-**Tedarikçi Kapasiteleri** (Syarif ve diğ., 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) (Xu ve diğ., 2008) (Farahani ve Elahipanah, 2008) -**Tedarikçi Satın Alma Maliyetleri** (Farahani ve Elahipanah, 2008)
Tedarikçi-Fabrika Arası	-**Bir Tedarikçiden, Bir Fabrikaya Taşıma (Satın Alma) Maliyeti** (Yu ve Li, 2000) (Altiparmak ve diğ., 2006) (Xu ve diğ., 2008) -**Gereken Teslim Süresi** (Farahani ve Elahipanah, 2008) -**Taşıma Maliyetleri** (Farahani ve Elahipanah, 2008) -**Uzaklıklar** (Farahani ve Elahipanah, 2008)

Tablo 3.6 (devam): İncelenen Çalışmalarda Kullanılan Parametreler.

Fabrikalar	**-İşlem Süreleri** (Moon ve diğ., 2002) (Torabi ve diğ., 2006) (Selim ve diğ., 2008) (Moon ve diğ., 2008) (Cheng ve diğ., 2015) (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Hazırlık Süreleri** (Moon ve diğ., 2002) (Torabi ve diğ., 2006) (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Fabrika Üretim Kapasiteleri** (Syarif ve diğ., 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) (Roghanian ve diğ., 2007) (Xu ve diğ., 2008) (Mousavi ve diğ., 2015) **-Fabrika Sabit Maliyetleri** (Syarif ve diğ., 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) (Xu ve diğ., 2008) **-Hazırlık Maliyetleri** (Torabi ve diğ., 2006) (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Üretilen Ürünler** (Moon ve diğ., 2002) (Chan ve diğ., 2016) **-Ürün Parti Büyüklükleri** (Cheng ve diğ., 2015) (Mousavi ve diğ., 2015) **-Makine Kapasiteleri** (Cheng ve diğ., 2015) **-Ürünlerin İşlem Sıraları** (Moon ve diğ., 2008) **-Makinler Arası Taşıma Süreleri** (Moon ve diğ., 2002) **-Hammadde Kullanım Miktarı (ürün ağacı)** (Altiparmak ve diğ., 2006) (Xu ve diğ., 2008) **-Üretim Maliyetleri** (Yu ve Li, 2000) (Syarif ve diğ., 2002) (Selim ve diğ., 2008) (Pasandideh ve diğ., 2015) (Chan ve diğ., 2016) **-Fabrika Lokasyonları** (Hwang, 2002) **-Toplam Çalışma Süresi** (Selim ve diğ., 2008) **-Ürün Parti Büyüklükleri** (Moon ve diğ., 2002) **-Stok Elde Tutma Maliyeti** (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Alternatif Makineler** (Moon ve diğ., 2002) **-Elleçleme Maliyetleri** (Torabi ve diğ., 2006) **-Öncelik İlişkileri** (Moon ve diğ., 2002) **-Fazla Mesai Süresi** (Selim ve diğ., 2008) **-Parça Sayısı** (Torabi ve diğ., 2006) **-Fazla Mesai Maliyeti** (Selim ve diğ., 2008) **-Fabrika Sayısı** (Torabi ve diğ., 2006) **-Toplam Ulaşılabilir Üretim Zamanı** (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Planlama Ufku Uzunluğu** (Torabi ve diğ., 2006) **-Fabrika Stok Kapasitesi** (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Birim Eksiklik Maliyeti** (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Bütçe** (Mousavi ve diğ., 2015)
Fabrika-Depo/Dağıtım Merkezi Arası	**-Taşıma Maliyetleri** (Yu ve Li, 2000) (Hwang, 2002) (Syarif ve diğ., 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) (Xu ve diğ., 2008) (Farahani ve Elahipanah, 2008) (Selim ve diğ., 2008) (Pasandideh ve diğ., 2015) (Mousavi ve diğ., 2015) **-Teslim Süresi** (Hwang, 2002) (Chan ve diğ., 2016) (Puga ve Tancrez, 2017) **-Uzaklıklar** (Hwang, 2002) (Farahani ve Elahipanah, 2008) (Mousavi ve diğ., 2015) (Chan ve diğ., 2016) **-Taşıma Kapasitesi** (Hwang, 2002) (Selim ve diğ., 2008) (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Kamyon Sayısı** (Hwang, 2002) **-Ürün Hacimleri** (Pasandideh ve diğ., 2015) (Mousavi ve diğ., 2015)
Depo/Dağıtım Merkezleri	**-Depo/Dağıtım Merkezi Kapasiteleri** (Syarif ve diğ., 2002) (Roghanian ve diğ., 2007) (Farahani ve Elahipanah, 2008) (Selim ve diğ., 2008) (Pasandideh ve diğ., 2015) (Mousavi ve diğ., 2015) **-Depo/Dağıtım Merkezi Sabit Maliyetleri** (Syarif ve diğ., 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) (Xu ve diğ., 2008) (Puga ve Tancrez, 2017) **-Stok Elde Tutma Maliyeti** (Torabi ve diğ., 2006) (Farahani ve Elahipanah, 2008) (Selim ve diğ., 2008) (Bashiri ve Tabrizi, 2010) (Pasandideh ve diğ., 2015) (Mousavi ve diğ., 2015) (Chan ve diğ., 2016) (Puga ve Tancrez, 2017) **-Sipariş Birikme Birim Maliyeti** (Selim ve diğ., 2008) (Mousavi ve diğ., 2015) **-Yıllık Akış** (Xu ve diğ., 2008) **-Başlangıç Stoğu** (Chan ve diğ., 2016) **-Maksimum İzin Verilebilir Sipariş Birikmesi** (Farahani ve Elahipanah, 2008) **-İhtiyaç Duyulan Stok** (Roghanian ve diğ., 2007) **-Depo/Dağıtım Merkezi Kapasitesi** (Farahani ve Elahipanah, 2008) **-Depo /Dağıtım Merkezi Kurma Maliyeti** (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Araç Tipine Göre Sabit Çalıştırma Maliyetleri** (Chan ve diğ., 2016)

Tablo 3.6 (devam): İncelenen Çalışmalarda Kullanılan Parametreler.

Depo/Dağıtım Merkezi-Müşteri Arası	-**Taşıma Maliyetleri** (Hwang, 2002) (Syarif ve diğ., 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) (Torabi ve diğ., 2006) (Xu ve diğ., 2008) (Farahani ve Elahipanah, 2008) (Selim ve diğ., 2008) (Chiang ve diğ., 2009) (Bashiri ve Tabrizi, 2010) (Pasandideh ve diğ., 2015) (Chan ve diğ., 2016) (Puga ve Tancrez, 2017) -**Teslim Süresi** (Xu ve diğ., 2008) (Chiang ve diğ., 2009) (Bashiri ve Tabrizi, 2010) (Chan ve diğ., 2016) (Puga ve Tancrez, 2017) -**Uzaklıklar** (Hwang, 2002) (Farahani ve Elahipanah, 2008) (Chiang ve diğ., 2009) (Mousavi ve diğ., 2015) (Chan ve diğ., 2016) -**Maksimum İzin Verilebilir Teslimat Süresi** (Altiparmak ve diğ., 2006) (Xu ve diğ., 2008) -**Teslimat Araç Kapasitesi** (Cheng ve diğ., 2015) (Chan ve diğ., 2016) (Puga ve Tancrez, 2017) -**Araç Çalıştırma Maliyeti** (satın alma, bakım vb.,) (Chiang ve diğ., 2009) -**Taşıma Kapasitesi** (Selim ve diğ., 2008) -**Teslimat Lokasyonları** (Chiang ve diğ., 2009) -**Araç Tipine Göre Seyahat Süresi** (Chan ve diğ., 2016) -**Ürün Hacimleri** (Pasandideh ve diğ., 2015) (Mousavi ve diğ., 2015)
Müşteriler	-**Müşteri Talep Miktarı** (Yu ve Li, 2000) (Hwang, 2002) (Syarif ve diğ., 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) (Torabi ve diğ., 2006) (Roghanian ve diğ., 2007) (Farahani ve Elahipanah, 2008) (Selim ve diğ., 2008) (Bashiri ve Tabrizi, 2010) (Pasandideh ve diğ., 2015) (Mousavi ve diğ., 2015) (Chan ve diğ., 2016) (Puga ve Tancrez, 2017) -**Satış Rakamı** (Selim ve diğ., 2008) -**İhtiyaç Duyulan Hizmet seviyesi** (Hwang, 2002) (Bashiri ve Tabrizi, 2010) -**Müşteri Varış Zamanı** (Hwang, 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) -**Talep Değişimi** (Hwang, 2002) (Puga ve Tancrez, 2017) -**Müşteri Sayısı** (Hwang, 2002) -**İzin Verrilen Sürede Ulaşılabilir Müşteriler** (Xu ve diğ., 2008) -**Günlük Talep Değişkenliği** (Bashiri ve Tabrizi, 2010) -**Müşteri Konumları** (Mousavi ve diğ., 2015) -**Kayıp Satış Maliyeti** (Mousavi ve diğ., 2015)

Tablo 3.7: İncelenen Çalışmalarda Kullanılan Değişkenler.

Tedarikçi-Fabrika Arası	-**"s" Tedarikçisinden, "k" Fabrikasına Taşınan Miktar** (Yu ve Li, 2000) (Xu ve diğ., 2008) (Farahani ve Elahipanah, 2008) -**Taşıma Sayıları** (Bashiri ve Tabrizi, 2010) -**Ölçülen Öklid Uzaklıkları** (Bashiri ve Tabrizi, 2010)
Fabrikalar	**Üretilen Miktar** (Yu ve Li, 2000) (Syarif ve diğ., 2002) (Roghanian ve diğ., 2007) (Selim ve diğ., 2008) (Pasandideh ve diğ., 2015) -**Tamamlanma Zamanı** (Moon ve diğ., 2002) (Moon ve diğ., 2008) (Cheng ve diğ., 2015) -**Ürünün Belirli Bir Fabrikada Üretilmesi Durumu (0-1)** (Pasandideh ve diğ., 2015) (Mousavi ve diğ., 2015) -**Dönem Sonu Stok Miktarı** (Pasandideh ve diğ., 2015) -**Üretim Gecikmesi** (Moon ve diğ., 2002) -**Üretim Sırası** (Torabi ve diğ., 2006) -**Toplam Hazırlık Maliyeti** (Torabi ve diğ., 2006) -**Yapılan Fazla Mesai** (Selim ve diğ., 2008) -**Seçilen Fabrika (0-1)** (Syarif ve diğ., 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) -**Seçilen Makine (0-1)** (Moon ve diğ., 2002) (Moon ve diğ., 2008) -**Makinedeki Ürün Sırası** (Torabi ve diğ., 2006) -**Ürün Parti Büyüklükleri** (Torabi ve diğ., 2006) -**Fabrikadaki Üretim Sırası** (Moon ve diğ., 2002) -**Seçilen Operasyon (0-1)** (Moon ve diğ., 2002) -**Fabrika Açık Olma Durumu (0-1)** (Xu ve diğ., 2008) **Üretim Başlangıç Zamanları** (Torabi ve diğ., 2006)

Tablo 3.7 (devam): İncelenen Çalışmalarda Kullanılan Değişkenler.

Fabrikalar	**-Seçilen Üretim Sırası (0-1)** (Torabi ve diğ., 2006) (Cheng ve diğ., 2015) **-Seçilen Makine Üretim Sırası (0-1)** (Torabi ve diğ., 2006) **-Ürün Parti Büyüklükleri** (Torabi ve diğ., 2006) **-Üretim Çevrim Sayısı** (Torabi ve diğ., 2006) **-Bir İşin Belirli Bir Partide Üretilmesi Durumu (0-1)** (Cheng ve diğ., 2015) **-Fabrika Konumu** (Mousavi ve diğ., 2015) **-Üretim ve Dağıtım Çevrim Uzunluğu** (Torabi ve diğ., 2006)
Fabrika-Depo/Dağıtım Merkezi Arası	**-j Fabrikasından Alınıp, k Depo/Dağıtım Merkezi'ne Gönderilen Miktar** (Yu ve Li, 2000) (Syarif ve diğ., 2002) (Xu ve diğ., 2008) (Farahani ve Elahipanah, 2008) (Selim ve diğ., 2008) (Pasandideh ve diğ., 2015) (Puga ve Tancrez, 2017) **-Bir Fabrikadan Bir Depo/Dağıtım Merkezine Taşıma Yapılması Durumu (0-1)** (Selim ve diğ., 2008) **-Taşıma Sayıları** (Bashiri ve Tabrizi, 2010) **-Ölçülen Öklid Uzaklıkları** (Bashiri ve Tabrizi, 2010) **-Üretim ve Dağıtım Çevrim Uzunluğu** (Torabi ve diğ., 2006)
Dağıtım Merkezleri	**-Seçilen Depo/Dağıtım Merkezi (0-1)** (Hwang, 2002) (Syarif ve diğ., 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) (Chan ve diğ., 2016) **-Dağıtım Merkezi Lokasyonu** (Hwang, 2002) (Bashiri ve Tabrizi, 2010) **-Bir Ürüne Ait Birikmiş Siparişler** (Farahani ve Elahipanah, 2008)(Selim ve diğ., 2008) **-Bir Ürüne Ait Fazlalık Üretimler** (Farahani ve Elahipanah, 2008) **-Dönem Sonu Stok Miktarı** (Pasandideh ve diğ., 2015) (Chan ve diğ., 2016) **-Dağıtım Merkezinde Tutulan Stok** (Roghanian ve diğ., 2007) (Selim ve diğ., 2008) **-Dağıtım Merkezi Açık Olma Durumu (**Xu ve diğ., 2008) **-Bir Ürünün Fazlalık Üretim Ya da Birikmiş Sipariş Olması Durumu (0-1)** (Farahani ve Elahipanah, 2008) **-Üretim ve Dağıtım Çevrim Uzunluğu** (Torabi ve diğ., 2006) **-Depo/Dağıtım Merkezinin Kurulması Durumu (0-1)** (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Depo/Dağıtım Merkezi Toplam Akış** (Puga ve Tancrez, 2017)
Depo/Dağıtım Merkezi-Müşteri Arası	**-k Depo/Dağıtım Merkezi'nden l Müşterisine Taşınan Miktar** (Syarif ve diğ., 2002) (Xu ve diğ., 2008) (Pasandideh ve diğ., 2015) (Chan ve diğ., 2016) (Puga ve Tancrez, 2017) **-Seçilen Araç (0-1)** (Hwang, 2002) **-Bir Dağıtım Merkezinden Bir Müşteriye Dağıtım Yapılması Durumu (0-1)** (Xu ve diğ., 2008) (Selim ve diğ., 2008) (Chiang ve diğ., 2009) (Cheng ve diğ., 2015) **-Taşıma Sayıları** (Bashiri ve Tabrizi, 2010) **-Yenileme Aralığı** (Bashiri ve Tabrizi, 2010) **-Ölçülen Öklid Uzaklıkları** (Bashiri ve Tabrizi, 2010) **-Bir İşin Belirli Bir Dağıtımda Gönderilmesi Durumu (0-1)** (Cheng ve diğ., 2015) **-Araç Tipi Seçilme Durumu (0-1)** (Chan ve diğ., 2016) **-Yapılan Araç Taşıma Sayısı** (Puga ve Tancrez, 2017)
Müşteriler	**-Varış Zamanı** (Chiang ve diğ., 2009) **-Satış Miktarı** (Selim ve diğ., 2008) **-Talebin Zamanında Karşılanması Durumu (0-1)** (Chan ve diğ., 2016) **-Biriken/ Eksik kalan Siparişler** (Pasandideh ve diğ., 2015) **-Seçilen Müşteri (0-1)** (Altiparmak ve diğ., 2006) (Chan ve diğ., 2016) **-Fiyat Seviyelerine Göre Ürünlerin Müşterilere Satılma Durumu (0-1)** (Mousavi ve diğ., 2015) **-Birikmiş Sipariş %si** (Mousavi ve diğ., 2015)

Tablo 3.8: İncelenen Çalışmalarda Kullanılan Amaç Fonksiyonları.

<table>
<tr><td>Tedarikçiler</td><td></td><td rowspan="8">-TZ Maliyeti Minimizasyonu (Yu ve Li, 2000) (Syarif ve diğ., 2002) (Altiparmak ve diğ., 2006) (Torabi ve diğ., 2006) (Xu ve diğ., 2008) (Farahani ve Elahipanah, 2008) (Selim ve diğ., 2008) (Chiang ve diğ., 2009) (Bashiri ve Tabrizi, 2010) (Cheng ve diğ., 2015) (Pasandideh ve diğ., 2015) (Mousavi ve diğ., 2015) (Chan ve diğ., 2016) (Puga ve Tancrez, 2017)
-Karlılık Maksimizasyonu (Selim ve diğ., 2008)
-Öngörülen Zamanda Sevk Edilen Müşteri Talebi %si (Altiparmak ve diğ., 2006) (Chan ve diğ., 2016)
-Fabrika ve Dağıtım Merkezlerinin Kapasite Kullanım Oranları (Altiparmak ve diğ., 2006)
-Müşteri Hizmet Seviyesi (Xu ve diğ., 2008)
-Tam Zamanında Üretim (Farahani ve Elahipanah, 2008)
-Stok Minimizasyonu (Bashiri ve Tabrizi, 2010)
-Müşteriye Sevk Edilen Sipariş Adedinin Maksimizasyonu (Pasandideh ve diğ., 2015)</td></tr>
<tr><td>Tedarikçi-Fabrika Arası</td><td></td></tr>
<tr><td>Fabrikalar</td><td>-Toplam Dönüşüm Zamanı Minimizasyonu (Moon ve diğ., 2002)
-Minimum Maliyetle Makine Seçimi (Moon ve diğ., 2002)
-Gecikme Minimizasyonu (Moon ve diğ., 2002)
-Üretim Maliyeti Minimizasyonu (Roghanian ve diğ., 2007)</td></tr>
<tr><td>Fabrika-Depo/Dağıtım Merkezi Arası</td><td rowspan="2">-Hizmet Seviyesini Karşılayan Minimum Depo Dağıtım Merkezi Sayısı (Hwang, 2002)
-Toplam Taşıma Maliyeti (Hwang, 2002)</td></tr>
<tr><td>Dağıtım Merkezleri</td></tr>
<tr><td>Depo/Dağıtım Merkezi-Müşteri Arası</td><td></td></tr>
<tr><td>Müşteriler</td><td></td></tr>
</table>

Çok aşamalı tedarik zincirlerini inceleyen çalışmalarda her bir tedarik zinciri bileşenini, bileşenlerin birbiri ile ilişkilerini ve genel tedarik zinciri sistemini ifade edecek genel geçerli modeller olmadığı görülmektedir. Tüm modeller, tasarlanan veya diğer bir deyişle incelenen tedarik zincirinin şartlarına ve denenecek yönteme uygun olarak varsayımlarla belirlenip, bu varsayımlara uygun şekilde tasarlanmaktadır.

3.2.KARMAŞIK BİR PROBLEM OLARAK TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİ

Tedarik zinciri hammaddenin ortaya çıkarılmasından, son müşteriye kadar birçok şirketi/kuruluşu kapsar. Tedarik zincirinin bileşenleri arttıkça yapının karmaşıklığı da artar. Bu da tedarik zincirinin yönetilmesinde fabrika yerleşiminden, detaylı üretim ve satın alma kararlarına kadar değişen konularda karar vermenin zorluğunu artırmaktadır (Hübner, 2007). Karar vermede oluşan zorluk, yapının bir optimizasyon problemi olarak ele alınması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Tedarik zinciri gibi çok aşamalı bir sistemin optimizasyonunda, problemin modellenmesi çözümün başlangıcını oluşturur. Daha sonra ortaya çıkan model çözülmeye çalışılır. Tedarik zinciri yapısı itibariyle karmaşık bir sistemdir. Birbiri ile ilişkili birçok bileşenden oluşan bu yapının oluşturduğu sistemi ifade edebilecek matematiksel model de karmaşık olacaktır. Oluşan matematiksel modellerle ifade edilen problemlerin çözümü, model yapılarındaki karmaşıklığa bağlı olarak oldukça zorlu hesaplama eforu gerektirebilmektedir.

Karmaşık matematiksel modellerin çözümü ve çözüm için denenen yöntemler, birçok bilimsel çalışmanın konusu olmuştur. Matematiksel bir modelle ifade edilebilen bir problemin çözümü, matematiksel ifadesinin tanımladığı bir çözüm uzayındadır. Bu çözüm uzayındaki en iyi çözümün bulunması bazı problemler için çok zor olabilmektedir. Matematiksel modellerin çözümü için kullanılan birçok nümerik hesaplama metodu mevcutken, bazı matematiksel modeller için en iyi çözümün bulunmasının nümerik olarak hesaplanamayacağı farklı problemler için birçok çalışmada kanıtlanmıştır. Bir problemin nümerik hesaplama metotları ve uygun çözümlerinin tümünün denenebileceği arama algoritmaları ile en iyi çözümünün kabul edilebilir bir sürede bulunamayacağı görüldüğünde problem NP (Non-Polynomial) problem olarak tanımlanmaktadır. Nümerik olarak hesaplanması çok zor olan NP problemler için yapay zekâ, sezgisel algoritmalar gibi yöntemler denenmektedir. Bu yöntemler, karmaşık problemler için genel optimumu garanti etmese de bulunmuş en iyi çözüm, en düşük CPU zamanı, en az iterasyon gibi performans kriterleri ile karşılaştırılarak sürekli geliştirilmektedir.

Optimizasyon için incelenen tedarik zincirinin oluşturduğu matematiksel modeller, çözüm açısından karmaşık, yani nümerik olarak hesaplanması zor (Non Polynomial-NP) modeller olabilmektedir. Bu da tedarik zincirinin optimizasyonu problemini, karmaşık modellerin çözümü açısından ilgi çekici bir konu haline getirmektedir. Bu yüzden karmaşık tedarik zinciri modellerinin optimize edilmesi ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı ile ilgili incelemelere 3.1. bölümde değinilmişti.

Tedarik zincirinin her bir bileşeninin kendi iç problemlerine baktığımızda, aslında her bir bileşen ayrı ayrı karmaşık bir problemle ifade edilebilmektedir. Göz önüne alınan faktörler ve varsayımlarla her bir bileşen için ayrı bir problem tanımlanabilir. Örneğin; tedarikçiler bileşeninde tedarikçi seçiminde hem maliyet açısından hem hız açısından hem de kalite açısından hangi tedarikçiden ne kadar ürün alınacağı çözülmesi zor bir problem olarak modellenebilir. Üretim yeri bileşeninde hem üretim maliyeti açısından hem tamamlanma zamanının minimizasyonu açısından hem de gecikmeler açısından siparişlerin hangi sıra ile üretileceğini belirleyen çizelgeleme problemi de yine çözülmesi zor bir problemdir. Üretim çizelgeleme ile ilgili birçok çalışmada çok çeşitli yöntemlerle çözümler aranmıştır. Depo bileşeninde hangi üründen ne kadar stok tutulması gerektiği, eldeki ürünlerin hangi siparişlerle eşleştirileceği gibi konular da matematiksel olarak modellenip, özel yöntemlerle çözülmesi gereken problemler oluşturur. Dağıtım merkezi ve sevkiyat bileşenlerinde siparişlerin hem gecikme açısından hem de sevkiyat maliyetleri açısından hangi sıra ile dağıtılacağının belirlenmesi, gezgin satıcı problemi, sırt çantası problemi gibi çok bilinen problemleri ifade etmektedir.

Tedarik zincirini optimize etmek için yapılan çalışmalarda, global en iyi çözümü bilinmeyen problemler bir araya getirilerek, global en iyi çözümü bilinmeyen ve tüm bileşenlerin problemlerini temsil eden bir model oluşturuluyor. Bileşenlerin problemlerinin zorluk derecelerinin toplamının, tedarik zincirini ifade eden genel problemin zorluk derecesini belirleyeceği söylenemez. Fakat bir problemdeki değişkenler ve kısıtlar arttıkça problem daha da zorlaşacaktır. Çünkü problemin oluşturduğu çözüm uzayının boyutları artacaktır. (n) boyutlu bir problem, (n-1) boyutlu bir probleme göre daha karmaşıklaşacaktır. Bu yüzden optimize etmek üzere oluşturulan tedarik zinciri problemi ne kadar çok bileşeni ve durumu kapsarsa, çözümünün zorluk derecesi de o kadar artacaktır.

3.3.TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİNE BİLEŞEN PROBLEMLERİ AÇISINDAN BAKIŞ

Bir tedarik zinciri, kendi kararlarını veren parçaların oluşturduğu lojistik ağ olarak tanımlanabilir. Birbirleriyle malzeme ve bilgi akışlarıyla haberleşirler ve Tedarik Zinciri Yönetimi aktiviteleri ile kontrol ve koordine edilirler (Schneeweiss, 2003). Kontrol ve

koordinasyon faaliyetleri ise tedarik zincirinin beklenen performans kriterlerine uygun sonuçlar vermesini sağlayabilecek kararlar alınabilmesini amaçlar. Alınan kararlarda tedarik zincirinin yapısındaki bileşenlerin ve tüm etkenlerin göz önüne alınması gerekir.

Tedarik zincirinde birçok bileşen vardır. Bu bileşenlerin her birinin amacı farklı olabilir ve bu amaçlar da çoğu zaman birbiri ile çelişebilir. Bu yüzden bu bileşenlerin amaçlarına göre koordine edilmesi ihtiyacı doğmaktadır (Altiparmak ve diğ., 2006). Tedarikçilerden müşterilere uzanan tüm bileşenlerin, bu bileşenlerin hizmet ettiği mal veya hizmet üretmek için bir araya gelmiş organizasyonun amacına hizmet etmesi için gerçekleştirmek zorunda oldukları entegrasyon ve koordinasyon zorlu bir problemdir. Her bir bileşenin kendi süreci içerisinde katkının pozitif olması için gerçekleşmeye zorladığı bir optimizasyon varken, bu çabaların tüm organizasyonun performansını artırmada ortaya çıkarabileceği pozitif katkıyı garanti etmesi beklenir. Aksi durumda tüm organizasyonun performansını artırmayacak ya da azaltacak bir yerel optimizasyon çabası boşuna olacak ya da yapılmaması gereken bir faaliyet olacaktır.

Tedarik zincirindeki bir bileşeni oluşturan işletmenin performansı, malzeme ve hizmetin bu işletmeden tedarik zincirinin diğer bileşenine akışını belirlemektedir. Örneğin işletmede ne kadar stok tutulması gerektiğinin cevabı elde stok tutmanın avantaj ve dezavantajlarının ödünleştirilmesiyle bulunur. Bu avantaj ve dezavantaj dengesi göz önüne alınırken, stokun ya da stoksuzluğun tedarik zincirinin diğer bileşenlerine olan etkisinin de dikkate alınması gerekir (Krajewski ve diğ., 2010). Başka bir örnek vermek gerekirse; tedarikçi seçiminde maliyet, hizmet seviyesi gibi kararlar etkili olurken, bulunan optimum kararlar, tedarikçilerden gelen ürünleri kullanacak olan üretim bölümünün optimum kararlar almasına etki edecektir. Tedarikçi probleminde bulunan optimum karar, üretimin problemi için gereksiz iyi olabilir veya tedarikçi problemi için iyi olmayan kararlar, üretimin probleminin daha iyi bir sonuca ulaşmasını sağlayabilir. Üretim yerleri, üretim maliyetlerini düşünerek tamamlanma zamanını minimize etmeye çalışırken, bu üretim sırası en az maliyetli rota açısından veya siparişlerin gecikme performansı açısından iyi olmayabilir. Üretim çizelgesine göre optimum sırada üretilen ürünler, elleçleme maliyetini artırabilir. Yine sevk planına göre daha çok ürünün beklemesine neden olup, stok maliyetini artırabilir.

Tedarik zinciri problemi gibi birden çok problemin etkileşim halinde olduğu sistemlerde bazı problemlerin en iyi değerine ulaşmasına gerek olmayabilir. Bir tedarik zinciri bileşeni, tedarik edeceği bir ürünü nereden alacağını belirlerken, eğer en az maliyetli seçenek için beklemesi gerekiyorsa, daha yüksek maliyetli olanı tercih etmesi kendi yerel problemi için optimal olabilir. Fakat bu seçim global problemde aynı etkiyi gerçekleştirmeyebilir. Örneğin; gecikmiş siparişler varken erken üretilmiş bir siparişin maliyetinin de göz önüne alınması gerekir (Saharidis, 2011). Tedarik zincirini temsil eden bir problemin çözümü aranırken, bu çakışmaların dengesinde, tedarik zincirinin bileşenlerinin performanslarından ödünleştirerek bir çözüm aranır ve tüm tedarik zincirinden beklenen performansın en iyileştirilmesine çalışılır.

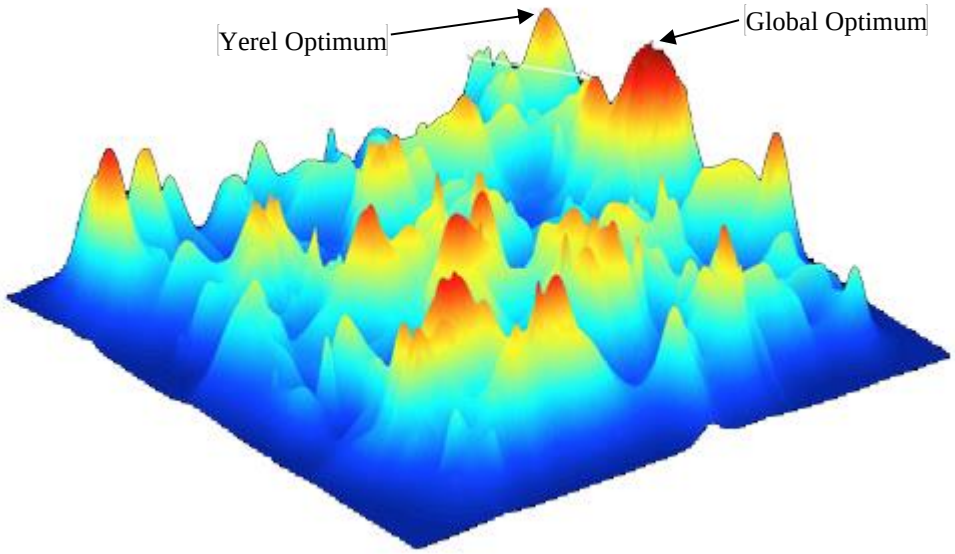
4. KARMAŞIK PROBLEMLERİN ÇÖZÜMÜNE YENİ BİR BAKIŞ

Karmaşık problemlerin optimizasyonu için doğadan esinlenmiş birçok algoritma geliştirilmiştir. Arı kolonilerindeki yönlendirici arılar, karıncaların feromon yoğunluğuna göre yiyeceğe en kısa yoldan ulaşması, genetik mutasyonla en iyi gen kromozomunun oluşması, kuş sürülerinin davranışları, bağışıklık sisteminin çalışma prensibi, beynimizdeki sinirlerin bağlantıları ile öğrenme kabiliyetleri gibi doğadaki yöntemler taklit edilerek birçok başarılı çalışmalar yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar, nümerik olarak en iyi sonucu hesaplanamayan karmaşık problemlerin çözüm uzayında daha iyi bir sonuç bulunabilmesi için sürekli geliştirilmektedir.

Karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan sezgisellerde genel olarak çözüm uzayına dağıtılan olurlu çözümlerin çözüm uzayı içerisinde daha iyi bir çözüm noktası araması mantığı vardır. Bu olurlu çözümlerin hem komşuluğunda daha iyi bir çözüm aranırken, aynı zamanda aralarında en iyi çözüme sahip olurlu çözüme doğru yönlendirilmesi sağlanır. Dağıtılan çözümler çözüm uzayında yer değiştirirken, karşılaşacakları yeni daha iyi çözümleri buldukça diğer çözümleri etkiler ve aralarındaki en iyi çözüm değişebilmektedir. Böylece dağıtılan olurlu çözümlerin bir ekstremum noktasında toplanması beklenir. Karmaşık bir problemin çözüm uzayında sezgiseller ile en iyi çözüm aranırken tek emin olunan bilgi, arama boyunca denenen çözümlerin, çözüm uzayının içinde olmasıdır. Denenen çözümlerin karşılaştırılmaları ve denenen sezgisel algoritmadaki yöntemle daha iyi bir sonuca evirilmelerinde, bulunan en iyi çözümün, çözüm uzayındaki en iyi çözüm olduğu, yani global en iyi olduğu garanti edilememektedir. Bu yüzden en iyi sonucu bulmaya yönelik birçok bilimsel araştırma yapılmaya devam etmektedir.

Sezgisel algoritmalardaki iterasyonlarla iyileştirilen çözümlerin iyi bir çözüm etrafında toplanmalarını sağlayan etmenlerden biri başlangıç çözümünün yani çözümlerin ilk dağılımının ne çözümsüzlüğe gidecek kadar dağınık ne de kötü bir yerel ekstremuma takılacak kadar dar olmamasını sağlamaktır. Problemin boyutu arttıkça her iki hataya da düşme olasılığı artacaktır. Çözüm uzayının yapısı, çözüm için denenen yöntemin de başarısını etkilemektedir. Konveks

veya konkav yapı, semer noktaları gibi özellikleri nedeniyle çözüm adımları etkilenebilmektedir. Artan boyutların grafiksel gösterimi imkansızdır. Çünkü ancak 3. boyuta kadar grafiksel gösterim yapılabilir. 4 ve daha fazla boyuta sahip denklemlerin grafiksel görünümü insan algısının dışındadır. Yine de fikir vermesi açısından çok karmaşık bir tedarik zinciri probleminin oluşturduğu 3 boyutlu bir grafik, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi karmaşık bir çözüm uzayı oluşturabilir. Böyle bir çözüm uzayında sezgisel algoritmaların başlangıç çözümü için çözüm uzayına dağıttığı çözümler üzerinden yapılan bir arama yerel ekstremumlara takılabilir. Yerel ekstremumlardan kaçınacak bir yöntem de çözümlerin bir ekstremum noktada toplanmasını engelleyip, sonuca ulaşmayı geciktirebilir. Bu zorluklardan en az şekilde etkilenecek şekilde daha iyi sonuçlara ulaşılabilmek için sezgisel algoritmalar yeni çalışmalarla sürekli iyileştirilmektedir.



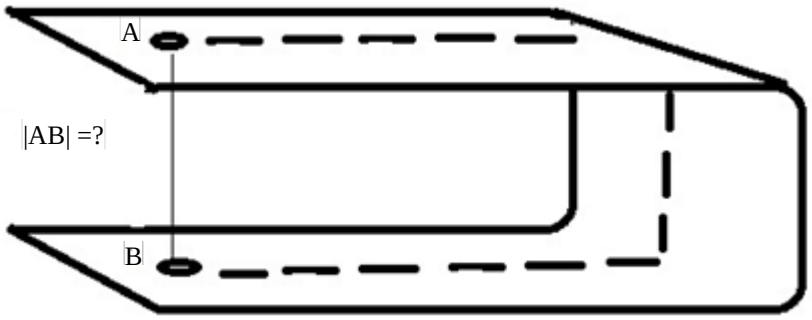
Şekil 4.1: Temsili Tedarik Zinciri Çözüm Uzayı[1].

Karmaşık problemlerin çözüm zorluğu nedeniyle iyi çözümlere ulaşmada arama sezgisellerinin geliştirilmesinin yanında bu sezgisellerin daha iyi çözüme ulaşmalarını sağlayacak yapısal iyileştirmeler de düşünülebilir. Bilinen çözüm uzayı arama algoritmalarında çözüm noktalarının en iyi çözüme yakınsaması ile ilgili işlemlerde Öklid geometrisi kuralları uygulanmaktadır. Bu kurallar 3. boyuttan ötesi için doğru kabul edilmektedir. Üst boyutlarda

[1] kevinbinz.com

bilinen kuralların dışına çıkılıp, çıkılamayacağına üst boyutlardan bakabilme yeteneğimiz olmadığı için emin olamayız.

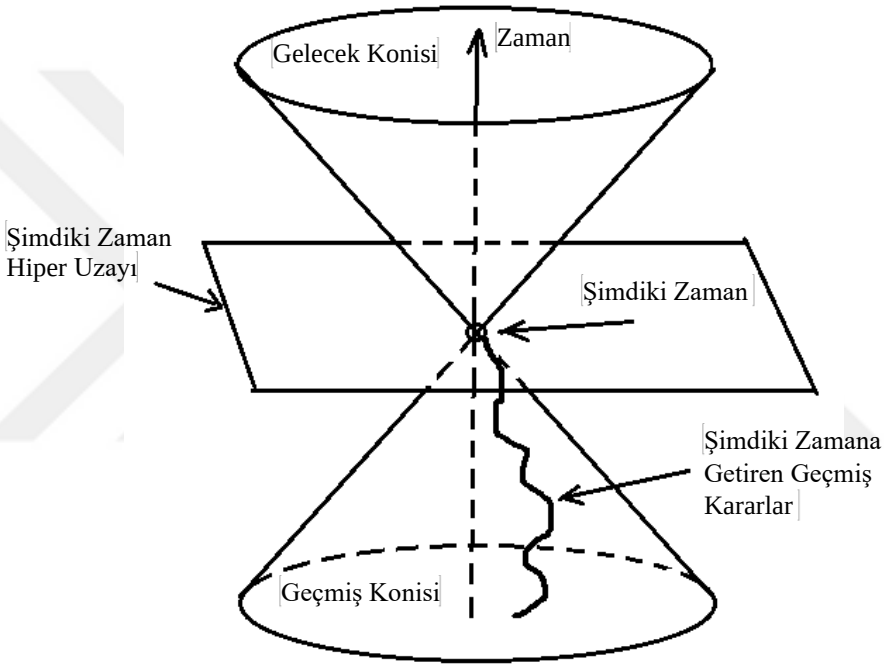
Kâğıt deneyi olarak bilinen Einstein-Rosen Köprüsü fikri üst boyutlardan bakmanın farkını açıkça gösterebilmektedir. 2 boyutlu dünyada yaşayan birisi için Şekil 4.2'deki A ve B noktaları arasındaki en kısa mesafe, düzlem üzerinde kesikli çizgi ile tarif edilebilmektedir. Fakat 3 boyutlu dünyadan bakabildiğimiz için A ve B noktalarının, 2 boyutlu dünyada yaşayan birinin sandığından daha yakın olduğunu görebilmekteyiz. Çok boyutlu problemlerin de çözüm uzayını dikkate alarak çözüm aradığımızda, noktalar arası uzaklık, komşuluk gibi kavramlar, 3 boyutlu dünyada ispatlayabildiğimizin ötesinde olabilir. Algılayamadığımız boyutlarda komşuluk, yakınsama, gradient vektörü gibi hesaplamalar daha iyi sonuçlara, daha kolay ulaşabilecek şekilde yapılabilir. Fakat boyutların geometrik davranışlarını algılayamadığımızdan en doğru yöntemi bilememekteyiz. Kâğıt deneyindeki gibi 2 boyutu algılayabilen biri A noktasından B noktasına ulaşmak için düzlemi tarayacak şekilde ilerleyebilir, yada rassal çözüm dağılımı ile B noktasını bulmaya çalışabilir. Fakat biz 3. boyutu algılayabildiğimiz için çok kısa ve kesin bir yol çizebilmekteyiz.



Şekil 4.2: Einstein-Rosen Köprüsü.

Boyutlarla ilgili yaygın düşünceye göre 4. boyut zamandır. Bazı bilim adamlarına göre ise zaman tüm boyutların yönünü ifade etmektedir. Fakat incelememiz için zamanın 4. boyut olduğu fikrini kabul edelim. Zamanın göreleliği de bir boyut olduğu fikrini kabul etmemizi kolaylaştırmaktadır. 4. Boyut olan zaman boyutunda hız, yön, konum gibi tanımlamaları yapamıyoruz. Çünkü zaman boyutunda sürekli hareket ediyoruz ve konumumuzu ve hızımızı değiştiremiyoruz. Tanımlayabilmemiz için 5. boyuta çıkmamız gerekmektedir.

Hızını ve yönünü bilmesek de zaman boyutunun nasıl çalıştığına dair fikir yürütülebilmektedir. Geçmişte olan sonsuz sayıda alternatiften seçtiklerimizle şimdiki zamana geliriz ve gelecekte de yine sonsuz sayıda alternatif vardır. Ne geçmişteki sonsuz alternatifin ne de gelecekteki sonsuz sayıda alternatifin tamamı bilinememektedir. Hem geçmişteki alternatiflerin hem de gelecekteki alternatiflerin bir kısmı ancak elimizdeki kısıtlı bilgi ile tahmin edilebilir. Hayatımızda "keşke" ile başlayan cümleler geçmişteki alternatiflerin tahminini, "umarım" ile başlayan cümleler de geleceğin tahminini ifade eder. Böyle bir tanımlama Hermann Minkowski tarafından öne sürülen Şekil 4.3'teki Minkowski Uzayı gösterimi ile resmedilebilir.



Şekil 4.3: Minkowski Uzayı.

Karmaşık problemlerin çözüm uzayı da Minkowski Uzayında gösterilen şimdiki zaman hiperuzayı gibi düşünülebilir. Karmaşık problemi oluşturan alt karar değişkenlerinde sonsuz alternatif arasından alınan kararlarla, problemin çözüm uzayında, yani hiperuzayında bir noktaya ulaşılır. Problemin sonucuna götüren kararlar bir zaman çizgisine yayılarak birbirinin ardılı şeklinde tanımlanabilirse, farklı karar kombinasyonları ile ana problemin çözüm uzayında farklı noktalara ulaşılabilir ve bu karar kombinasyonları, çözüm uzayında ulaştıkları noktanın uygunluğuna göre kıyaslanarak en iyi karar kombinasyonunun aranması yoluyla ana problem için iyi sonuçlar aranabilir.

5. TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİNİN BİLEŞEN PROBLEMLERİ İLE İLİŞKİSİ VE YENİ BİR YAKLAŞIM ÖNERİSİ

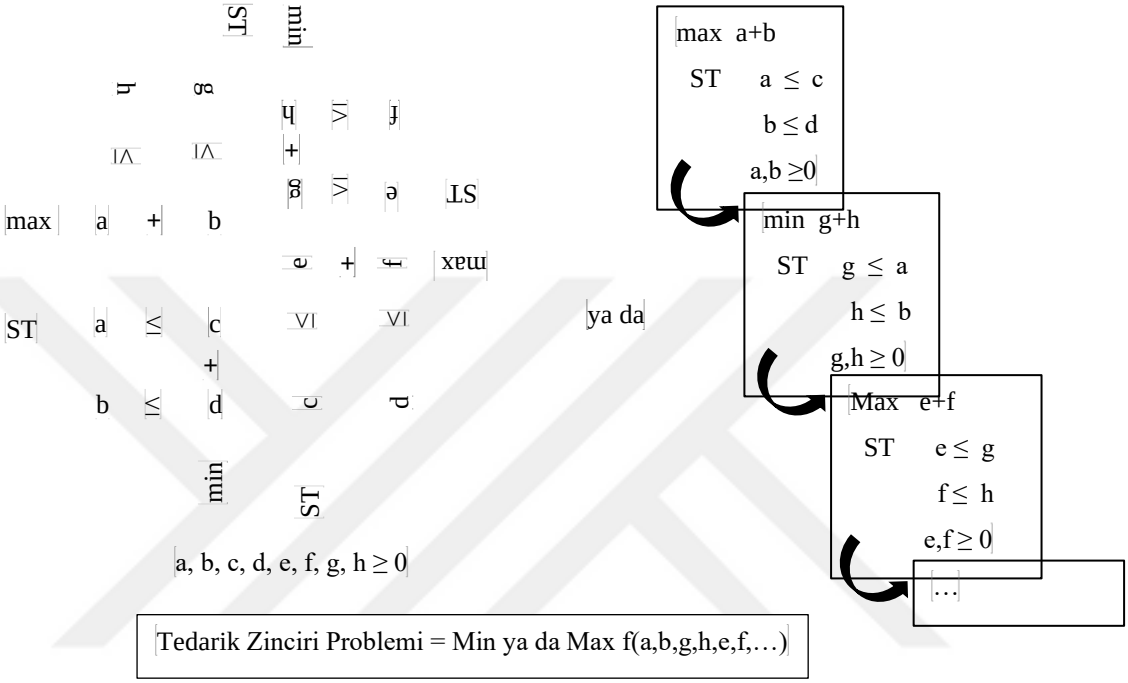
Tüm evren ve içindeki her şey, bir üst boyut olan zaman boyutunda ilerlemektedir ve aldığımız kararlarla zaman boyutunda yer değiştiririz ve bugünkü şartlarımıza ulaşırız. Tedarik zincirinde ilk bileşenden son bileşene kadar alınan kararlar bir sonraki bileşenin kararını etkilediği gibi, tedarik zincirinden beklenen performansı da etkilemektedir. Bu yapısı ile tedarik zinciri optimizasyon problemi bir zaman çizgisi ile incelenebilir.

Tedarik zinciri problemini, bileşenlerin çözüm uzayını içerisinde barındıran bir üst boyut olarak düşünebiliriz. Bileşenlerin her biri için verdiğimiz kararlar sonucunda tedarik zinciri boyutunda bir değere ulaşırız. Tedarik zincirinin optimizasyonu da bu olurlu çözümlerin seçim kombinasyonları içindedir. Bu bakış açısı ile tedarik zinciri problemi, çözümü nispeten daha kolay olabilecek ardıl problemlerin bir fonksiyonu olarak düşünülebilir. Böylece tedarik zinciri probleminin çözüm uzayında sadece Öklid geometrisine göre yer değiştirerek değil de alt problemlerde alınacak kararlarda yapılacak değişikliklere göre çözümlerin yer değiştirmesiyle de iyi sonuçlar aranması fikrine ulaşabiliriz. Böyle bir fonksiyon ilişkisi temsili olarak Şekil 5.1'deki gibi gösterilebilir.

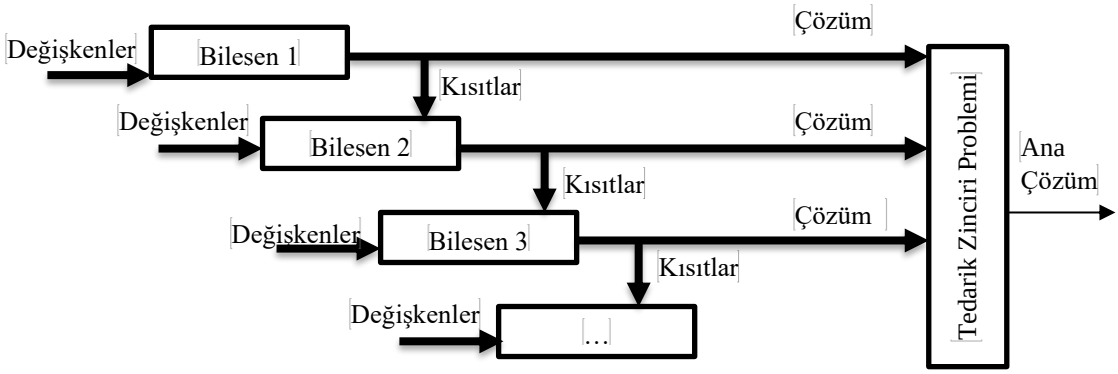
Bileşenlerin problemlerinin çözümleri kendinden sonraki bileşenin çözümünü etkiler. Aynı zamanda ilgili bileşende dikkate alınan çözüm tedarik zinciri probleminin de çözümünün bir parçasıdır. Bu şekilde ardıl bir ilişkiyle birbirine bağlı bileşen problemleri, tedarik zinciri probleminin arkasındaki mekanizmayı oluştururlar. Bu mekanizma temsili olarak Şekil 5.2'deki gibi gösterilebilir.

Tedarik zincirini oluşturan süreçlerdeki her akış, kendinden önceki sürecin sonucu ile bağlantılı olarak gerçekleşir. Tedarik zinciri problemi, birbirinin ardılı olan ve her biri bir tedarik zinciri karar verme bileşenini temsil eden ve çözümü nispeten tedarik zinciri problemine göre daha kolay alt problemler zinciri şeklinde tanımlanabilir. Tedarik zincirinde bir bileşenin çözümü

aslında bir sonraki bileşenin başlangıç çözümüdür. Örneğin; üretim çizelgeleme probleminin sonuçları, aslında dağıtım probleminin başlangıç çözümüdür. Bileşenlerin birbirinin ardılı şeklinde çözümünün aranması ile temsili olarak Şekil 5.3'te göründüğü gibi daha basit çözüm uzaylarının oluşması beklenebilir.



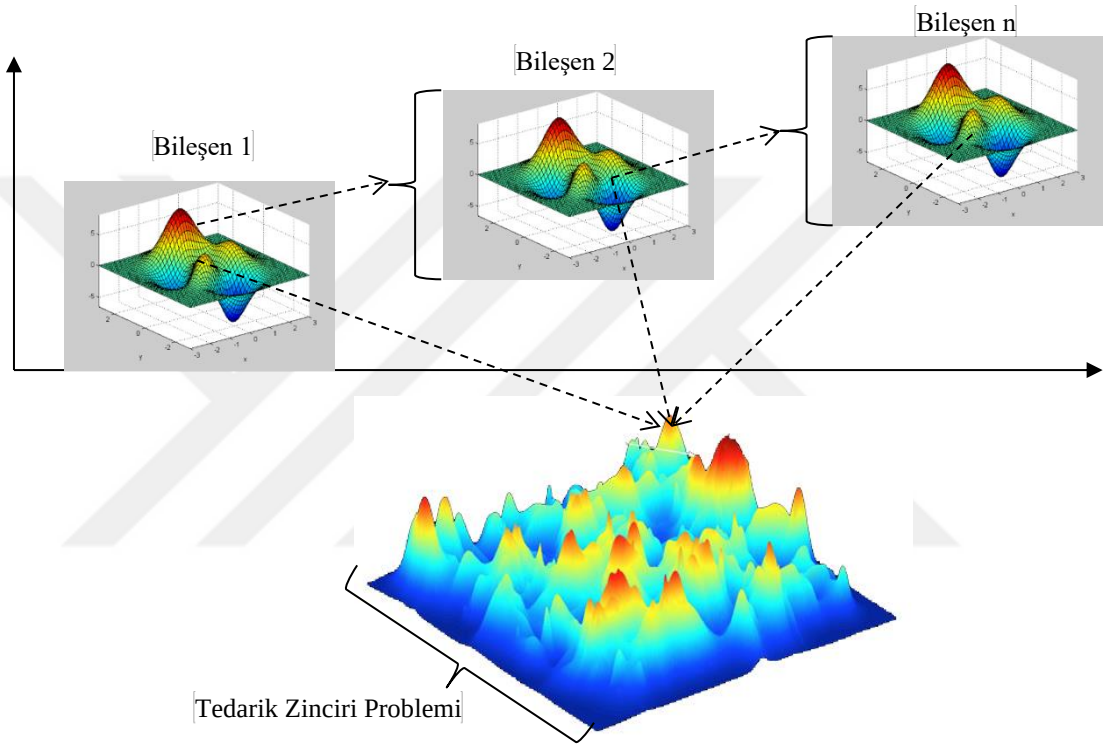
Şekil 5.1: Tedarik Zinciri Problemi ile Bileşen Problemlerinin Matematiksel Modellerinin Temsili İlişkisi.



Şekil 5.2: Bileşen Problemlerinin Çözümleri ile Tedarik Zinciri Probleminin Çözülmesi.

Bu düşüncede önemli bir husus, ilk bileşende seçilen çözümün, bir sonraki bileşenin çözüm uzayını değiştirebilme ihtimalidir. Bu şekilde tedarik zinciri bileşenlerini birbirinin ardılı şeklinde modelleyip, her biri için bulunan mümkün çözümleri ile bir sonraki bileşenin çözüm uzayını oluşturup, oluşan yeni çözüm uzayındaki çözümlerden bir mümkün çözüm seçerek

genel tedarik zinciri probleminin hiperuzayında sonuçları denemek, en iyi çözüme ulaşmada farklı bir bakış getirebilir. Bu seçimlerde her bir bileşen için seçilen çözüm bileşenin yerel optimumunu bulma davranışına göre değil, kendinden sonraki bileşenin ve kendisinin gerçekleştirdiği değerin tedarik zinciri problemi değerini iyileştirmesine göre değiştirilmesi gerekir. Bu yüzden bileşen probleminin çözüm uzayında seçilen çözüm, ilgili bileşen için iyi bir değer olmayabilir.



Şekil 5.3: Bileşenlerin Çözüm Uzayları İlişkisi ve Genel Tedarik Zinciri Problemi Çözüm Uzayı[2].

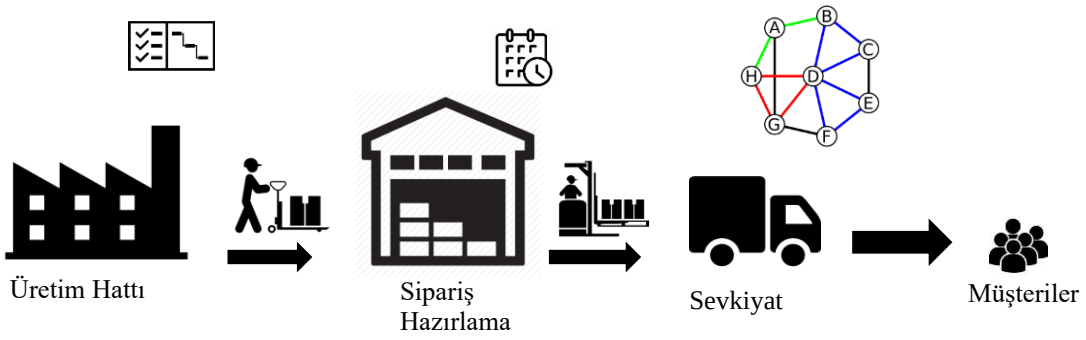
Tedarik zincirinin her bir bileşeninin çok boyutlu ve karmaşık bir problem oluşturabileceğinden ve bu bileşenlerin iyi çözümlerinin birbiri ile çakışabileceğinden bahsedilmişti. Tedarik zinciri problemini oluşturan alt problemlerden çözüm kombinasyonları oluşturarak tedarik zinciri problemini değerlemek için, alt problemlerin sezgisel yöntemlerle çözülmesi, sezgisel yöntemde denenen çözümlerin kaydedilmesi ve çözümler arasından bir kombinasyon seçimi uygulanabilir. Böylece seçilen çözümlerin tedarik zinciri problemini ulaştırdığı değer elde edilebilir.

[2] towardsdatascience.com (Yalnızca küçük çözüm uzayı resimleri)

Önerilen yöntem ana problemin alt problemlere bölünmesi özelliği ile Benders Decomposition metodunu hatırlatabilir. Benders (1962), kombinatoryal optimizasyon problemlerini çözmek için ayrışma temelli bir algoritma önerdi. Benders Decomposition metodu, bir problemi bir ana probleme ve bir dizi alt probleme ayıran büyük karma-tamsayılı doğrusal problemler için bir çözüm stratejisidir. Ana problem, orijinal problemdeki değişkenlerin bir alt kümesini dikkate alan orijinal problemin gevşemesi ve alt problemin optimal objektif fonksiyon değerinin bir tahminidir. Yöntemde orijinal problemin gevşetilmiş halinin çözüm uzayına, iterasyonlarda yapılan değerlendirmelere göre kesmeler yapılmaktadır (Belieres et al., 2020). Önerilen yöntemin Bendes Decomposition metodundan farkı öncelikle oluşturulan alt problemlerin birbirinin ardılı olması gerekliliğidir. Ayrıca Benders Decomposition metodunda orijinal problem gevşetilerek uygun olmayan çözümleri de içeren bir çözüm uzayı oluşturuluyor. Kelebek Etkisi Algoritmasında ise kullanılan çözüm kombinasyonlarının tamamı olurlu çözümlerden oluşmaktadır. Ek olarak, Kelebek Etkisi Algoritmasının çözüm mekanizması, Benders Ayrıştırma yönteminden önemli ölçüde farklıdır.

6. TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNE YENİ YAKLAŞIM ÖNERİSİNİN BİR ÖRNEK ÜZERİNDE İNCELENMESİ

Bileşen problemlerini dikkate alarak alınan kararlardan hareketle tedarik zinciri probleminin çözümü yönteminin denenmesi için Şekil 6.1'deki gibi örnek bir tedarik zinciri tasarlanmıştır. Çözümünün araştırılması için oluşturulan tedarik zincirinin bileşenleri; üretim, sipariş hazırlama ve sevkiyat bölümlerinden oluşmaktadır. Üretim, belirli adette makine ile ürünleri üreten seri imalat atölyesidir. Sipariş hazırlama bölümü ise üretim bantlarından çıkan ürünleri, farklı müşterilere hazırlayarak, sevke hazır hale getirmektedir. Sevkiyat bölümü ise belirli kapasiteli bir adet kamyonu dolduracak kadar ürün hazırlandığında tüm hazır ürünleri yükleyerek, ürünleri sevk etmektedir.

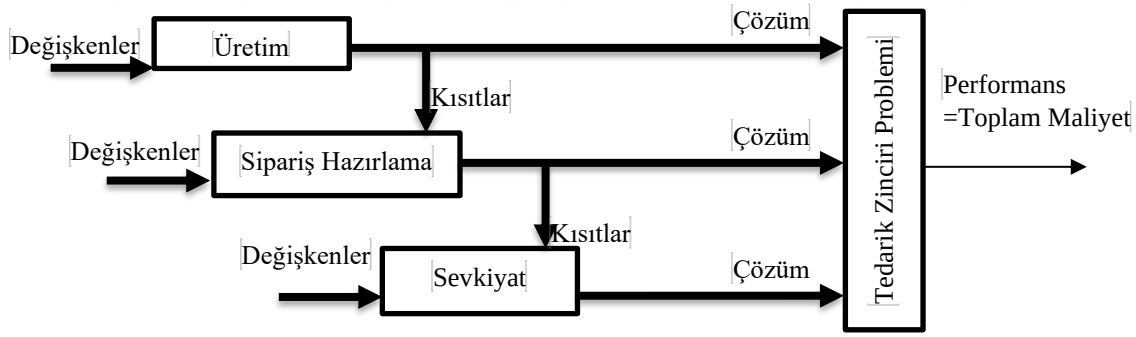


Şekil 6.1: Örnek İçin Tasarlanan Tedarik Zinciri Yapısı.

Siparişlerde her bir müşterinin, hangi üründen ne kadar istediği ve hangi tarihlerde teslimin istendiği tanımlıdır. Siparişlerde istenen her ürün, siparişe göre üretim olarak tanımlanmaktadır. İmalat bölümünde tüm ürünlerin makine işlem sıraları aynıdır. Her bir ürünün, her bir makinedeki işlem süreleri belirlidir. Her bir makinede, bir üründen diğerine geçişte hazırlık zamanları tanımlıdır. İmalat bölümünün amacı, toplam tamamlanma zamanını minimize etmeye çalışmaktır. Sipariş hazırlama bölümü, üretim hattından çıkan ürünleri müşterilere sevk edilmek üzere hazırlamaktadır. Sipariş hazırlama işlem süreleri de göz önüne alınarak üretimden çıkan ürünlerin hangi sırada hazırlanacağına karar verilir. Sipariş hazırlama bölümünün amacı, gelen ürünleri minimum gecikme maliyeti ile sonuçlanacak şekilde müşterilere dağıtmaktır. Sevkiyat bölümü, sipariş hazırlama bölümünün hazırladığı ürünleri hazırlanış sırasına göre kamyonlara yükleyerek, müşterilere dağıtmaktadır. Kamyonların adet

bazlı kapasiteleri vardır. Ürünler kamyonlara yerleştirilirken sıradaki hazırlanmış sipariş kalemi, ilgili kamyonun kalan kapasitesinden fazla ise, ilgili sipariş kalemi bölünerek kamyonun kalan kapasitesi doldurulur ve kalan miktar bir sonraki kamyona yüklenir. Yani sipariş hazırlama bölümünden gelen ürünler bekletilmeden geliş sırasına göre araçlara yüklenmektedir. Hem sevkiyat depodan müşterilere hem de müşteriler arasındaki mesafeler tanımlanmıştır. Sevkiyat bölümünün amacı, her hazır kamyon için en iyi rotayı belirleyerek, toplam sevkiyat maliyetini minimize etmektir.

Her bir bölümün amacının üstünde tedarik zincirinin genel bir amacı da vardır. Tedarik zincirinde oluşan organizasyonun işleri minimum maliyetle bitirmesi hedeflenir. Bu yüzden her bir bileşende verilen kararlarla oluşan toplam maliyetin minimizasyonu hedeflenir. Çalışmada tedarik zincirinin maliyeti; üretimde oluşan işletme maliyeti, toplam gecikme ceza maliyeti ve toplam sevkiyat maliyetinin toplamları olarak tasarlanmıştır. Denenecek çözümün uygulanacağı tedarik zincirinin bileşen problemi ilişkileri Şekil 6.2'deki gibidir.



Şekil 6.2: Örnek Tedarik Zinciri Probleminin Bileşen Yapısı ve Tedarik Zinciri Performans Denklemi.

6.1. ÖRNEK PROBLEMİN MATEMATİKSEL MODELİ

İncelenen tedarik zinciri problemi tüm tedarik zincirini ifade edecek şekilde karma tamsayılı doğrusal programlama olarak modellenmiştir. Ortaya çıkan tedarik zinciri üretim-taşıma planlama probleminin matematiksel modeli, önerilen yaklaşımla yeniden düzenlenmiştir. Problem, bileşenlerin problemleri göz önünde bulundurularak alt problemlere bölünmüştür. Tedarik zinciri problemi de bu alt problemlerden etkilenen bir fonksiyon olarak gösterilmiştir.

***İndisler**:*

Ürün indisi u ∈ {1, 2, … , U}

İş indisi; i ve s ∈ {1, 2, …, n}

Sıra indisi; j ∈ {1, 2, …, n}

Makine indisi; k ∈ {1, 2, …, m}

Müşteri indisi; e ve b ∈ {1, 2, …, B}

Kamyon indisi; t ∈ {1, 2, …, L}

Verilen Değerler:

$p_{i,k}$; $i.işin\ k.makinedeki\ birim\ işlem\ süresi$,

$h_{k,i,s}$; $k.makinede\ i.işten\ s.işe\ geçişte\ hazırlık\ süresi$,

PT_i ; $i.işin\ birim\ paketleme\ işlem\ süresi$,

d_i ; $i.işin\ teslim\ süresi$,

Q_i ; $i.işin\ parça\ adedi$,

v; $kamyon\ kapasitesi$,

$$JCA_{i,b} = \begin{cases} 1, & eğer\ i\ iş\ b.müşteriye\ aitse; \\ 0, & değilse \end{cases}$$

$w_{b,e}$; $b.müşteriden\ veya\ depodan, e.müşteri\ veya\ depoya\ olan\ uzaklık$,

UPC; birim zaman başına birim işletme maliyeti,

UDC; birim zaman başına birim gecikme maliyeti,

UTC; birim uzaklık başına birim taşıma maliyeti,

Değişkenler:

$C_{k,j}$; $k.makinede\ j.sıradaki\ işin$ üretim tamamlanma zamanı,

r_i ; $i.işin$ üretim tamamlanma zamanı,

$CMAX$; tüm işlerin üretim tamamlanma zamanı,

RTS_j ; $j.sıradaki\ işin\ paketlenip, sevke\ hazır\ olduğu\ zaman$,

RJ_i ; $i.işin\ paketlenip, sevke\ hazır\ olduğu\ zaman$,

T_i ; $i.işin\ gerçekleşen\ gecikmesi$,

TQ ; tüm işlerin toplam parça adedi,

V_t ; $t.kamyonun\ kapasitesi$,

$SQ_{j,t}$; $j.sıradaki\ işin\ t.kamyona$ yüklenen miktarı,

$$CIT_{b,t} = \begin{cases} 1, & eğer\ b.müşterinin\ bir\ işi\ t.kamyona\ yüklendiyse; \\ 0, & değilse \end{cases}$$

NOC_t ; $t.kamyondaki$ müşteri adedi,

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, & eğer\ i\ işi\ j.sırada\ üretilirse; \\ 0, & değilse \end{cases}$$

$$O_{i,j} = \begin{cases} 1, & eğer\ i\ işi\ j.sırada\ paketlenirse; \\ 0, & değilse \end{cases}$$

$$TR_{t,b,e} = \begin{cases} 1, & eğer\ t\ kamyonunda\ b\ noktasından\ e\ noktasına\ hareket\ varsa; \\ 0, & değilse \end{cases}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i,j} = 1 \qquad (\forall\, j\ için, j \in \{1, 2, \ldots, n\}) \tag{6.1}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{i,j} = 1 \qquad (\forall\, i\ için, i \in \{1, 2, \ldots, n\}) \tag{6.2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i,0} = 0 \tag{6.3}$$

$$\sum_{j=1}^{n} C_{0,j} = 0 \quad (6.4)$$

$$\sum_{k=1}^{m} C_{k,0} = 0 \quad (6.5)$$

$$C_{k,j} = \left(\sum_{i=1}^{n} x_{i,j} * p_{i,k}\right) + \max\left\{ C_{k-1,j} , C_{k,j-1} + \sum_{i=1}^{n} x_{i,j} * \sum_{s=1}^{n} x_{s,j-1} * h_{k,i,s} \right\} \ (\forall\ k \text{ için, } k \in \{1, 2, \ldots, m\} \text{ ve } \forall j \text{ için, } j \in \{1, 2, \ldots, n\}) \quad (6.6)$$

$$r_i = \sum_{j=1}^{n} C_{m,j} * x_{i,j} \quad (\forall i \text{ için, } i \in \{1, 2, \ldots, n\}) \quad (6.7)$$

$$CMAX \geq C_{m,n} \quad (6.8)$$

$$\sum_{i=1}^{n} O_{i,j} = 1 \quad (\forall j \text{ için, } j \in \{1, 2, \ldots, n\}) \quad (6.9)$$

$$\sum_{j=1}^{n} O_{i,j} = 1 \quad (\forall i \text{ için, } i \in \{1, 2, \ldots, n\}) \quad (6.10)$$

$$\sum_{i=1}^{n} O_{i,0} = 0 \quad (6.11)$$

$$RTS_j = \left(\sum_{i=1}^{n} O_{i,j} * PT_i\right) + \max\left\{ r_i , \sum_{i=1}^{n} O_{i,j-1} * PT_i \right\} \quad (\forall j \text{ için, } j \in \{1, 2, \ldots, n\}) \quad (6.12)$$

$$RJ_i = \sum_{j=1}^{n} RTS_j * O_{i,j} (\forall i \text{ için, } i \in \{1, 2, \ldots, n\}) \quad (6.13)$$

$$T_i = \max\{ 0 , RJ_i - d_i \} \quad (\forall i \text{ için, } i \in \{1, 2, \ldots, n\}) \quad (6.14)$$

$$TQ = \sum_{i=1}^{n} Q_i \quad (6.15)$$

$$L \geq \frac{TQ}{v} \quad (6.16)$$

$$V_t = v \quad (\forall t \text{ için, } t \in \{1, 2, \ldots, L\}) \quad (6.17)$$

$$\sum_{j=1}^{n} SQ_{j,0} = 0 \quad (6.18)$$

$$\sum_{t=1}^{T} SQ_{0,t} = 0 \quad (6.19)$$

$$SQ_{j,t} = \min\left\{\sum_{i=1}^{n} O_{i,j} * (Q_i - \sum_{t=0}^{t-1} SQ_{j,t}) , V_t - \sum_{j=0}^{j-1} SQ_{j,t}\right\} \ (\forall t \text{ için, } t \in \{1, 2, \ldots, L\} \text{ ve } \forall j \text{ için, } j \in \{1, 2, \ldots, n\}) \quad (6.20)$$

$$CIT_{b,t} = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{JCA_{i,b} * SQ_{j,t} * O_{i,j}}{\max\{SQ_{j,t},\ \varepsilon\}} \quad (6.21)$$

($\forall$ b için, $b \in \{1, 2, \ldots, B\}$ ve $\forall$ t için, $t \in \{1, 2, \ldots, L\}$)

$$TR_{t,b,e} = 0 \text{ (b=e ise, } \forall t \text{ için, } t \in \{1,2,\ldots,L\}) \quad (6.22)$$

$$\sum_{e=0}^{B} TR_{t,0,e} = 1 \ (\forall t \text{ için, } t \in \{1, 2, \ldots, L\}) \quad (6.23)$$

$$\sum_{b=0}^{B} TR_{t,b,0} = 1 \ (\forall t \text{ için, } t \in \{1, 2, \ldots, L\}) \quad (6.24)$$

$$NOC_t = \sum_{b=1}^{B} CIT_{b,t} \quad (\forall t \text{ için, } t \in \{1, 2, \ldots, L\}) \quad (6.25)$$

$$\sum_{b=0}^{B} \sum_{e=0}^{B} TR_{t,b,e} * CIT_{b,t} = NOC_t + 1 \ (\forall t \text{ için, } t \in \{1, 2, \ldots, L\}) \quad (6.26)$$

$x_{i,j}, O_{i,j}, CIT_{b,t}, TR_{t,b,e}, JCA_{i,b} \in \{0,1\}$;

$RTS_j, PT_i, RJ_i, T_i, d_i, C_{k,j}, p_{i,k}, h_{i,s}, r_i, TQ, Q_i, V, V_t, SQ_{j,t}, w_{b,e}, NOC_t \geq 0,\ L \geq 0$ *ve tam sayı* ;

$\varepsilon \geq 0$ *ve çok k*üçü*k bir sayı* (6.27)

$$\textbf{\textit{Amaç Fonksiyonu}} = \min(CMAX * UPC + \sum_{i=1}^{n} T_i * UDC + \sum_{t=1}^{L} \sum_{b=0}^{B} \sum_{e=0}^{B} TR_{t,b,e} * w_{b,e} * UTC) \quad (6.28)$$

(6.1) numaralı denklem üretim sırasının her birinde yalnızca bir iş olmasını sağlar. (6.2) numaralı denklem ise bir işin yalnızca bir sıraya atanmasını sağlar. (6.3), (6.4) ve (6.5) numaralı denklemler (6.6) numaralı denklem için oluşturulmuştur. (6.6) numaralı denklem, önceki makinedeki bitiş zamanını, aynı makinedeki önceki işin bitiş zamanını ve işlem süresini dikkate alarak, j. sıradaki işin tamamlanma zamanını hesaplar. (6.7) numaralı denklem, her işin son makineden çıkış zamanını hesaplayarak tamamlanma zamanlarının hesaplanmasını sağlar. (6.8) numaralı denklem son makinedeki son sıradaki işin tamamlanma zamanını kullanarak genel tamamlanma zamanının hesaplanmasını sağlar. (6.9) numaralı denklem paketleme sırasının her birinde yalnızca bir iş olmasını sağlar. (6.10) numaralı denklem ise bir işin yalnızca bir sıraya atanmasını sağlar. (6.11) numaralı denklem (6.12) numaralı denklem için oluşturulmuştur. (6.12) numaralı denklem sıradaki işin üretimden çıkış zamanını, önceki sıradaki işin paketlemesinin bitiş zamanını ve ilgili sıradaki işin paketleme işlem süresini dikkate alarak,

sıradaki işin sevke hazır olma zamanının hesaplanmasını sağlar. (6.13) numaralı denklem her bir işin paketlenip, sevke hazır olduğu zamanın belirlenmesini sağlar. (6.14) numaralı denklem, her bir işin pozitif gecikmesini hesaplar. (6.15) numaralı denklem sevk edilecek ürün miktarını belirler. (6.16) numaralı denklem sevk edilecek ürün miktarına ve kamyon kapasitesine bağlı olarak kaç adet kamyon gerekli olduğunu hesaplar. (6.17) numaralı denklem her bir kamyonun kapasite değişkeninin tanımlanmasını sağlar. (6.18) ve (6.19) numaralı denklemler (6.20) numaralı denklem için oluşturulmuştur. (6.20) numaralı denklem j. sıradaki işin t. kamyona yüklenen miktarının hesaplanmasını sağlar. (6.21) numaralı denklem, yükleme planına göre her bir kamyonda hangi müşterilerin olduğunun belirlenmesini sağlar. (6.22) numaralı denklem rotada bir duraktan yine aynı durağa hareket olmasını önler. (6.23) numaralı denklem her rotanın depodan başlamasını sağlar. (6.24) numaralı denklem her bir rotanın depoda bitmesini sağlar. (6.25) numaralı denklem her bir kamyondaki müşteri adedini belirler. (6.26) numaralı denklem her bir rotadaki durak adedini, kamyondaki müşteri adedinden 1 fazlasına eşitleyerek, tüm duraklara uğramadan oluşacak rotaların elenmesini sağlar. (6.27) numaralı denklemlerde pozitif olma ve {0,1} tamsayı olma şartları belirtilmiştir. (6.28) numaralı denklemde amaç fonksiyonu gösterilmiştir. Amaç fonksiyonunda üretim planına bağlı olarak üretim maliyeti, sipariş hazırlama planı nedeniyle oluşan gecikmelerin maliyeti ve tüm ürünlerin dağıtımı ile oluşan rota uzunluklarının getirdiği maliyetin toplamının minimizasyonu hedeflenmektedir.

Oluşan tedarik zinciri üretim-taşıma planlama problemi, içerdiği alt bileşenlere göre birbirinin ardılı alt problemlere bölünebilir. Aşağıda bu yaklaşımla tedarik zinciri probleminin alt problemleri ile matematiksel modelleri gösterilmektedir. Ardıl bileşeni etkileyen değişkenler bold karakterlerle gösterilmiştir.

Üretim bileşeninin matematiksel modeli tamamlanma zamanının minimizasyonunu hedefleyen n iş m makineli permütasyon tipi, sıra bağımlı hazırlık zamanlarını dikkate alan akış tipi çizelgeleme problemi (n/m/F/prmu, SDST/Cmax) olarak karma tamsayılı doğrusal programlama şeklinde modellenebilir:

$$\min CMAX$$

S.T.

$\sum_{i=1}^{n} x_{i,j} = 1 \qquad (\forall j \text{ için}, j \in \{1, 2, \ldots, n\})$

$\sum_{j=1}^{n} x_{i,j} = 1$ *(∀ i için, i ∈ {1, 2, …, n})*

$\sum_{i=1}^{n} x_{i,0} = 0$

$\sum_{j=1}^{n} C_{0,j} = 0$

$\sum_{k=1}^{m} C_{k,0} = 0$

$C_{k,j} = \left(\sum_{i=1}^{n} x_{i,j} * p_{i,k}\right) + \max\{ C_{k-1,j} , C_{k,j-1} + \sum_{i=1}^{n} x_{i,j} * \sum_{s=1}^{n} x_{s,j-1} * h_{k,i,s}\}$ *(∀ k için, k ∈ {1, 2, …, m} ve ∀ j için, j ∈ {1, 2, …, n})*

$\boldsymbol{r_i} = \sum_{j=1}^{n} C_{m,j} * x_{i,j}$ *(∀ i için, i ∈ {1, 2, …, n})*

$CMAX \geq C_{m,n}$

$x_{i,j} \in \{0,1\}$ $C_{k,j} , p_{i,k} , h_{i,s} , \boldsymbol{r_i} \geq 0$ *(∀ i, s, j, k için)*

Sipariş Hazırlama bileşeninin matematiksel modeli de gecikmeyi minimize etmeyi hedefleyen tek makine çizelgeleme problemi (n/1/∑T) olarak karma tamsayılı doğrusal programlama şeklinde modellenebilir:

$$\min \sum_{i=1}^{n} T_i$$

S.T.

$\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{O_{i,j}} = 1$ *(∀ j için, j ∈ {1, 2, …, n})*

$\sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{O_{i,j}} = 1$ *(∀ i için, i ∈ {1, 2, …, n})*

$\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{O_{i,0}} = 0$

$RTS_j = \left(\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{O_{i,j}} * PT_i\right) + \max\{ \boldsymbol{r_i} , \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{O_{i,j-1}} * PT_i \}$ *(∀ j için, j ∈ {1, 2, …, n})*

$RJ_i = \sum_{j=1}^{n} RTS_j * \boldsymbol{O_{i,j}}$ *(∀ i için, i ∈ {1, 2, …, n})*

$T_i = \max\{ 0 , RJ_i - d_i\}$ *(∀ i için, i ∈ {1, 2, …, n})*

$\boldsymbol{O_{i,j}} \in \{0,1\}$, RTS_j, PT_i, RJ_i, T_i, d_i, $\boldsymbol{r_i} \geq 0$

Sevkiyat bileşeninin matematiksel modeli ise tüm kamyonlar için rotaların belirlendiği ve toplam rota uzunluğunun minimizasyonunu hedefleyen bir gezgin satıcı problemi olarak karma tamsayılı doğrusal programlama şeklinde modellenebilir:

$$\min \sum_{t=1}^{L} \sum_{b=0}^{B} \sum_{e=0}^{B} TR_{t,b,e} * w_{b,e}$$

S.T.

$TQ = \sum_{i=1}^{n} Q_i$

$L \geq \frac{TQ}{v}$

$V_t = v \qquad (\forall\, t \text{ için}, t \in \{1, 2, \ldots, L\})$

$\sum_{j=1}^{n} SQ_{j,0} = 0$

$\sum_{t=1}^{T} SQ_{0,t} = 0$

$SQ_{j,t} = \min\{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{O_{i,j}} * (Q_i - \sum_{t=0}^{t-1} SQ_{j,t}), V_t - \sum_{j=0}^{j-1} SQ_{j,t}\}$ $(\forall\, t \text{ için}, t \in \{1, 2, \ldots, L\} \text{ ve } \forall\, j \text{ için}, j \in \{1, 2, \ldots, n\})$

$CIT_{b,t} = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{JCA_{i,b} * SQ_{j,t} * \boldsymbol{O_{i,j}}}{\max\{SQ_{j,t},\ \varepsilon\}}$ $(\forall\, b \text{ için}, b \in \{1, 2, \ldots, B\} \text{ ve } \forall\, t \text{ için}, t \in \{1, 2, \ldots, L\})$

$TR_{t,b,e} = 0$ (b=e ise, $\forall\, t \text{ için}, t \in \{1,2,\ldots,L\}$)

$\sum_{e=0}^{B} TR_{t,0,e} = 1$ $(\forall\, t \text{ için}, t \in \{1, 2, \ldots, L\})$

$\sum_{b=0}^{B} TR_{t,b,0} = 1$ $(\forall\, t \text{ için}, t \in \{1, 2, \ldots, L\})$

$NOC_t = \sum_{b=1}^{B} CIT_{b,t}$ $(\forall\, t \text{ için}, t \in \{1, 2, \ldots, L\})$

$\sum_{b=0}^{B} \sum_{e=0}^{B} TR_{t,b,e} * CIT_{b,t} = NOC_t + 1$ $(\forall\, t \text{ için}, t \in \{1, 2, \ldots, L\})$

$\boldsymbol{O_{i,j}}, CIT_{b,t}, TR_{t,b,e}, JCA_{i,b} \in \{0,1\}$;

$TQ\ , Q_i\ , v\ , V_t\ , SQ_{j,t}\ , w_{b,e}\ , NOC_t\ \geq 0\ ,\ L\ \geq 0\ ve\ tam\ sayı\ ;$

$\varepsilon\ \geq 0\ ve\ çok\ k$üçü$k\ bir\ sayı$

Tedarik zinciri problemini ifade eden denklem ise:

$$\min(CMAX * UPC + \sum_{i=1}^{n} T_i * UDC + \sum_{t=1}^{L}\sum_{b=0}^{B}\sum_{e=0}^{B} TR_{t,b,e} * w_{b,e} * UTC)$$

Tedarik zinciri problemi, birbirinin ardılı şeklinde modellenmiş bu 3 alt problemin önceki problemin çözümünden gelen değişkenleri kullanarak sırayla çözümü ve tedarik zinciri probleminin de bu 3 alt problemin sonucuna bağlı olarak hesaplanması ile çözülebilir.

6.2. ÖRNEK PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

Tedarik zinciri problemi birbirinin ardılı alt problemler halinde ifade edildiği için her bir bileşen malzeme akış sırasıyla çözülerek ve seçilen çözümün ardıl problemin çözümünde kullanılarak tedarik zinciri problemi, 5. bölümde önerilen yaklaşımla çözülebilir. Bileşenlerin alternatif çözüm kombinasyonlarının kullanılabilmesi için birbirinin ardılı şeklinde tasarlanan tedarik zinciri bileşeni problemlerinin, en iyi çözümü ararken uğradığı değişimlerin hafızada tutulması gerekmektedir. Bileşenlerden birinin çözümünde en iyiden geriye doğru atılacak bir adım, diğer bileşenlerin çözümlerini değiştirecektir ve global tedarik zinciri problemini, önceki çözüme nazaran iyileştirebilecektir. Çözüm alternatiflerini kaydedilebilmesi ve çözümleri iyi bir sonuç verebilecek şekilde geliştirebilmesi nedeniyle bileşen problemleri Genetik Algoritma yöntemi ile çözülecektir.

Genetik Algoritma ile problemlerin çözümü tasarlanırken, Chen ve diğ. (1993) tarafından önerilen Genetik Algoritma tabanlı sezgisel kullanılmıştır. Kullanılan sezgiselde çaprazlama oranı = 1 ve mutasyon oranı "0" yerine Tablo 6.1'de görülen değerlerden Grefenstette'in önerdiği oranlar kullanılmıştır. Bir diğer farklılık olarak da yeni jenerasyon üretilirken, çözümü kötüleştiren yeni nesiller elenmiştir (elitist yöntem). Üretim için kullanılan sezgiselde Chen ve diğ. (1993) çalışmasındaki tek bir kromozom için kullanılan Dannenbring yöntemi yerine işlem kolaylığı için en kısa işlem süresine göre sıralama kullanılmıştır. Çaprazlama, mutasyon ve

rassal seçimler 0-1 aralığındaki normal dağılıma ($\mu = 0,5$ ve $\sigma = 0,2$) uygun değerler kullanılarak oluşturulmuştur. Çaprazlanacak kromozomların seçiminde rulet tekerleği yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 6.1: Genetik Algoritma Parametre Büyüklükleri İçin Önerilen Değerler (Nabiyev, 2010).

Parametreler	Negnevitsky	D.Jong	Michalewicz	Schaffer	Grefenstette
Populasyon Büyüklüğü	50	50-100	50-100	20-30	30
Çaprazlama Oranı	0,7	0,6	0,5-1,0	0,75-0,95	0,95
Mutasyon Oranı	0,001-0,01	0,001	0,001-0,01	0,005-0,01	0,01

Aşağıda adımları belirtilen algoritma hem üretim hem sipariş hazırlama hem de sevkiyat bölümlerinin çözümü için kullanılmıştır.

1. Başlangıç popülasyonlarını oluştur.

(Üretim için hesaplamalar (Gen sayısı = İş Sayısı))

1.1. Campell-Dudek-Smith algoritmasına göre makine sayısı-1 adet kromozom üret.
1.2. Her işin makinelerdeki toplam sürelerini bularak en kısa işlem süresine göre sırala ve yeni kromozom olarak ekle.
1.3. Birinci popülasyondan başlayarak sırayla her kromozomun rassal 2 elemanını yer değiştirerek yeni kromozomlar üret ve popülasyon sayısına ulaşınca dur ve Adım 2'ye git.

(Sipariş hazırlama için hesaplamalar (Gen sayısı = İş Sayısı))

1.1. İşleri sipariş hazırlama süresine göre küçükten büyüğe sıralayarak, Kromozom1'i oluştur.
1.2. İşleri sipariş hazırlama süresine göre büyükten küçüğe sırala, Kromozom2'yi üret.
1.3. İşleri teslim tarihlerine göre en yakın tarihten, en uzak tarihe göre sırala, Kromozom3'ü üret.
1.4. İşleri üretimden gelen sıraya göre sırala, Kromozom4'ü üret.
1.5. Birinci popülasyondan başlayarak sırayla her kromozomun rassal 2 elemanını yer değiştirerek yeni kromozomlar üret ve popülasyon sayısına ulaşınca dur ve Adım 2'ye git.

(Sevkiyat için hesaplamalar (Gen sayısı = her bir kamyon için uğraması gereken müşteri sayısı))

1.1. Sipariş hazırlama bileşeninde seçilen çözümün ürettiği sıraya göre işleri kamyon kapasitesi kadar parçalara ayır.
1.2. Her bir kamyondaki müşterileri belirle.
1.3. Her bir kamyon için:
1.3.1. Kamyondaki müşteri sıralarından oluşan 5 rassal sıra belirle ve ilk 5 Kromozomu oluştur.
1.3.2. Birinci popülasyondan başlayarak sırayla her kromozomun rassal 2 elemanını yer değiştirerek yeni kromozomlar üret ve popülasyon sayısına ulaşınca dur.
1.4. Her bir kamyon için Adım 2'ye giderek algoritmanın devam eden diğer adımlarını çalıştır.

2. Oluşan popülasyondaki kromozomların performanslarını hesapla.
3. Her kromozomun en kötü kromozomun performansına olan uzaklığını hesaplayarak uygunluk fonksiyonu değerini hesapla.
4. Her kromozomun uygunluk fonksiyon değerini toplam uygunluk fonksiyon değerine bölerek, seçilme olasılıklarını hesapla.
5. Seçilme olasılığına bağlı olarak bir çift kromozom seç.
6. Çaprazlama oranına bağlı olarak, seçilen kromozom çiftine Goldberg'in PMX operatörünü uygula (PMX Operatörü: rassal seçilen 2 gen arasındaki tüm genlerin çiftler arasında yer değiştirmesi).
7. Çaprazlamadan sonra değişiklik yapılmayan genler arasında tekrarlı olanları sırayla kromozomda bulunmayan genlerle yer değiştir.
8. Yeni kromozomların performansı, eski kromozomlardan kötü ise eski kromozomları, iyi ise yeni kromozomları yeni jenerasyona ekle.
9. Mutasyon oranına göre, eğer mutasyona uğratılacaksa rassal seçilecek 2 geni yer değiştir.
10. Yeni jenerasyonda popülasyon sayısına ulaşılmadıysa Adım 5'e git, ulaşıldıysa Adım 11'e git.
11. Jenerasyon sayısına ulaşıldıysa Adım 12'ye git, ulaşılmadıysa Adım 2'ye git.
12. Son jenerasyondaki en iyi kromozomu ve çözümü raporla, tüm jenerasyonlardaki kromozomların çözümlerini ve performanslarını raporla.

Genetik algoritmanın üretim için kullanılmasında problem akış tipi üretim çizelgeleme problemi olarak çözülürken, işlerin çözümlerde denenen sırada yerleştirilmesi ile tamamlanma zamanları hesaplanmıştır. Sipariş hazırlama probleminde ise yine işlerin çözümlerde denenen sıra ile hazırlanması durumunda üretimden gelme zamanları ve sipariş hazırlama süreleri de dikkate alınarak oluşan gecikme performansı dikkate alınmıştır. Sevkiyat bölümünde ise sipariş hazırlama bölümünden gelen sıraya göre oluşan her kamyon yüklemesi için kamyonların yükünü aldıkları müşterilerin sırası çözümlerde denenmiştir ve oluşan rotaya göre maliyetler dikkate alınmıştır. Her kromozom için çözüm denenirken, kromozomdaki sıranın başına ve sonuna depo durağı eklenerek tam tur olması sağlanmıştır.

Tedarik zincirindeki bileşenler için tasarlanan çözümlerin, genel tedarik zinciri performansını ölçecek şekilde kullanılması için aşağıdaki adımlar izlenerek denenen çözümler karşılaştırılacaktır:

1. Genetik Algoritma parametrelerini ve problem parametrelerini gir.
2. Üretim çizelgeleme problemini çöz (Genetik Algoritma).
3. Üretim çizelgeleme çözümlerine göre bir jenerasyondan bir kromozom seç.
4. Seçilen kromozomun oluşturduğu çözüm değerlerine göre sipariş hazırlama problemini çöz (Genetik Algoritma)
5. Sipariş Hazırlama çözümlerine göre bir jenerasyondan bir kromozom seç.
6. Seçilen kromozomun oluşturduğu çözüm değerlerine göre işleri kamyon kapasitesini dikkate alarak kamyonlara ata.
7. Her bir kamyon için belirlenen müşterilere hangi sırayla gidilmesi gerektiğini belirlemek için (Genetik Algoritma ile) problemleri çöz.
8. Oluşan üretim tamamlanma zamanına göre işçilik maliyetini, sipariş hazırlama probleminde seçilen çözümün gecikme maliyetini ve kamyonlardan gelen rota maliyetlerini toplayarak “Tedarik Zinciri Maliyeti” olarak raporla.

Yöntem örnek bir problemde denenmiştir. Örnek problemde Bir makinede bir ürünün üretiminden, diğer bir ürünün üretimine geçişte hazırlık sürelerinin olduğu kabul edilmiştir.

Hazırlık süreleri örnek problemde tüm makineler için aynı kabul edilmiştir. Hazırlık süreleri ile ilgili değerler Tablo 6.2'deki gibidir.

Tablo 6.2: Makine Hazırlık Süreleri (Dakika Cinsinden).

		Ürünler (u)				
		1	**2**	**3**	**4**	**5**
Ürünler (u)	**1**		5	10	5	10
	2	5		7	8	9
	3	10	7		10	8
	4	5	8	10		5
	5	10	9	8	5	

Her bir ürünün, her bir makinedeki birim işlem süreleri de tanımlıdır. Hangi ürünün, hangi makinede ne kadar sürede işlenebildiğini gösteren değerler dakika cinsinden Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

Tablo 6.3: Ürünlerin Makinelerdeki Birim İşlem Süreleri (Dakika Cinsinden).

	Makineler (k)									
Ürünler (u)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	6	8	6	5	6	4	6	5	7	6
2	5	6	5	7	4	5	5	4	6	5
3	6	5	4	6	6	7	6	7	6	4
4	9	7	5	4	7	7	6	6	6	5
5	5	7	5	7	8	5	7	8	5	8

Ürünlerin sipariş hazırlama bölümünde hazırlanırken yapılan paketleme işleminin de süre alacağı kabul edilmiştir. Bu yüzden ürünlerin birim başına dakika cinsinden sipariş hazırlama sürelerinin Tablo 6.4'teki gibi olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 6.4: Sipariş Hazırlama Süreleri.

Ürünler (u)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Paketleme Süresi (dk)	12	9	15	10	13

Sevkiyat bölümünde kamyonun bir müşteriden diğerine gitmesi durumunda alacağı mesafenin hesaplanması için sipariş hazırlama bölümünün deposunun da dahil olduğu lokasyonlar arası mesafeler kilometre cinsinden matris formunda Tablo 6.5'de gösterilmiştir.

Tablo 6.5: Lokasyonlar Arası Uzaklık Matrisi- $\boldsymbol{w_{b,e}}$ (km).

Lokasyonlar		Depo (e)	Müşteriler (e)						
	$\boldsymbol{w_{b,e}}$	0	1	2	3	4	5	6	7
Depo (b)	0		80	50	45	60	75	60	70
Müşteriler (b)	1	80		30	20	30	25	35	25
	2	50	30		45	20	25	30	40
	3	45	20	45		25	30	20	35
	4	60	30	20	25		40	25	30
	5	75	25	25	25	40		30	20
	6	60	35	30	20	25	30		30
	7	70	25	40	35	35	20	30	

Hangi müşterinin, hangi üründen ne miktarda ve ne zaman teslim edilmek üzere ürün istediğine dair sipariş bilgileri Tablo 6.6'dadır.

Tablo 6.6: Sipariş Bilgileri.

İş No **(i, s)**	Müşteri **(b, e)**	Ürün (u)	Teslim Tarihi (d_i)	Miktar Q_i
1	1	1	28.01.2019	10
2	7	2	29.01.2019	19
3	5	3	28.01.2019	28
4	5	4	29.01.2019	50
5	1	5	28.01.2019	19
6	6	1	28.01.2019	10
7	2	2	28.01.2019	17
8	4	3	28.01.2019	50
9	2	4	30.01.2019	15
10	4	5	30.01.2019	28
11	6	1	29.01.2019	50
12	7	2	29.01.2019	18
13	3	3	29.01.2019	15
14	5	4	30.01.2019	28
15	3	5	29.01.2019	12

Sipariş bilgilerine göre siparişlerdeki her bir satır bir iş olarak modelde kullanılmaktadır. Yani her biri bir işi (i, s ∈ {1, 2, …, n}) temsil etmektedir. Sipariş bilgilerine göre makine hazırlık süreleri (tüm makineler için aynı), birim işlem süreleri ve paketleme işlem süreleri Tablo 6.7, 6.8 ve 6.9'daki gibi yeniden düzenlenmiştir.

Tablo 6.7: Makine Hazırlık Süreleri – $h_{k,i,s}$ (dk).

		İşler (s)														
	$h_{k,i,s}$	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
İşler (i)	**1**	0	5	10	5	10	0	5	10	5	10	0	5	10	5	10
	2	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9
	3	10	7	0	10	8	10	7	0	10	8	10	7	0	10	8
	4	5	8	10	0	5	5	8	10	0	5	5	8	10	0	5
	5	10	9	8	5	0	10	9	8	5	0	10	9	8	5	0
	6	0	5	10	5	10	0	5	10	5	10	0	5	10	5	10
	7	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9
	8	10	7	0	10	8	10	7	0	10	8	10	7	0	10	8
	9	5	8	10	0	5	5	8	10	0	5	5	8	10	0	5
	10	10	9	8	5	0	10	9	8	5	0	10	9	8	5	0
	11	0	5	10	5	10	0	5	10	5	10	0	5	10	5	10
	12	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9
	13	10	7	0	10	8	10	7	0	10	8	10	7	0	10	8
	14	5	8	10	0	5	5	8	10	0	5	5	8	10	0	5
	15	10	9	8	5	0	10	9	8	5	0	10	9	8	5	0

Tablo 6.8: Üretim İşlem Süreleri – $\boldsymbol{p_{i,k}}$ (dk).

$\boldsymbol{p_{i,k}}$	Makineler **(k)**									
İşler **(i, s)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	6	8	6	5	6	4	6	5	7	6
2	5	6	5	7	4	5	5	4	6	5
3	6	5	4	6	6	7	6	7	6	4
4	9	7	5	4	7	7	6	6	6	5
5	5	7	5	7	8	5	7	8	5	8
6	6	8	6	5	6	4	6	5	7	6
7	5	6	5	7	4	5	5	4	6	5
8	6	5	4	6	6	7	6	7	6	4
9	9	7	5	4	7	7	6	6	6	5
10	5	7	5	7	8	5	7	8	5	8
11	6	8	6	5	6	4	6	5	7	6
12	5	6	5	7	4	5	5	4	6	5
13	6	5	4	6	6	7	6	7	6	4
14	9	7	5	4	7	7	6	6	6	5
15	5	7	5	7	8	5	7	8	5	8

Tablo 6.9: Paketleme Süreleri- $\boldsymbol{PT_i}$.

İşler **(i, s)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Paketleme Süresi PT_i	120	171	420	500	247	120	153	750
İşler **(i, s)**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	
Paketleme Süresi PT_i	150	364	600	162	225	280	156	

İşlerle müşteri ilişkisini belirten $JCA_{i,b}$ matrisi de Tablo 6.10'daki gibi oluşmuştur.

Tablo 6.10: İş Müşteri İlişkisi- $\boldsymbol{JCA_{i,b}}$.

$JCA_{i,b}$	Müşteriler (b,e)						
İşler (i,s)	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0
7	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0
11	0	0	0	0	0	1	0
12	0	0	0	0	0	0	1
13	0	0	1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1	0	0
15	0	0	1	0	0	0	0

Hesaplamalar, Delphi 7 programlama dili kullanılarak yazılan bir program ile yapılmıştır. Hesaplamalar 24.01.2019 günü yapılmıştır (teslim süresi hesaplaması için). Genetik Algoritma hesaplamaları için Populasyon Sayısı = 60, Jenerasyon Sayısı = 20 alınmıştır. Çaprazlama Oranı %95 ve Mutasyon Oranı %1 kabul edilmiştir.

Örnek problemde 5 farklı ürün (u ∈ {1,2…5}), 7 farklı müşteri (b, e ∈ {1,2,…7}) tarafından talep edilmektedir. 10 adet makine (k ∈ {1,2,…,10}) vardır. Girilen siparişlerle problem 15 iş (i, s ∈ {1,2,…,15}), 10 makine problemi haline gelmektedir. Üretim probleminde Genetik Algoritma ile 15 adet iş gen olarak alınıp, kromozomlarda dizilimine göre üretilmesi durumunda oluşacak tamamlanma zamanı hesaplanarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Sipariş hazırlama probleminde de yine 15 adet iş, üretim probleminde seçilen çözümden gelen tamamlanma zamanlarına göre sipariş hazırlama kromozomundaki dizilimlerinde işleme tabi tutulduklarında sipariş hazırlama süreleri de dikkate alındığında işlem bitiş zamanlarına göre oluşturdukları gecikme maliyetine göre değerlendirilmiştir. Sevkiyat problemi hesaplamaları için ise, önce sipariş hazırlama probleminde seçilen kromozomdaki iş sırasına göre hazır siparişler, yine aynı sırada kapasitesi (v, V_t; $t \in \{1, 2, \dots, L\}$) 100 adet/kamyon alınan kamyonlara yüklenir. Bir kamyonun kalan kapasitesi, sıradaki sipariş miktarından az ise siparişin miktarının kalan kamyon kapasitesi kadarı ilgili kamyona yüklenir ve kalan sipariş bir sonraki araca yüklenir. Tüm yüklemelere göre her bir kamyonun hangi müşterilere uğrayacağı belirlenmiş olur. Böylece her bir kamyon için sipariş hazırlama deposundan başlayarak, gitmesi gereken müşterilere uğrayıp, yine depoya dönecek şekilde bir rota belirlenmesi gerekir. Sevkiyat problemi de kamyonların belirlenen rotalarında katettikleri mesafelere göre oluşturdukları sevkiyat maliyetinin tutarına göre değerlendirilir.

Üretim problemi çözüldüğünde bulunan tamamlanma süresine göre üretim problemi sonucundan toplam işletme maliyetinin hesaplanması için birim üretim işletme maliyeti (UPC) 25 TL/dk olarak alınarak üretim tamamlanma zamanı ile birim üretim işletme maliyeti çarpılmıştır. Sipariş hazırlama faaliyetleri sonucu oluşan toplam gecikme maliyetinin

hesaplanması için bir işin gecikme maliyeti (UDC) 5TL/dk alınarak sipariş hazırlama probleminin çözümünden elde edilen toplam pozitif gecikme miktarı ile çarpılmıştır. Sevkiyat probleminde de kilometre başına nakliye masrafı (UTC) 15 TL/km alınarak sevkiyat probleminin çözümünün verdiği kamyon rotalarından hesaplanan toplam yol ile çarpılıp, toplam nakliye maliyeti hesaplanmıştır. Tedarik zinciri probleminin sonucu olarak da hesaplanan toplam işletme maliyeti, toplam gecikme maliyeti ve toplam nakliye maliyeti toplanmıştır.

Programın çalıştırılması ile her aşamada bulunan bir çözüm (kromozom) seçilerek, diğer aşamanın çözümü çalıştırılmıştır. Farklı çözüm kombinasyonları ile elde edilen tedarik zinciri maliyet değerleri Tablo 6.7'deki gibidir.

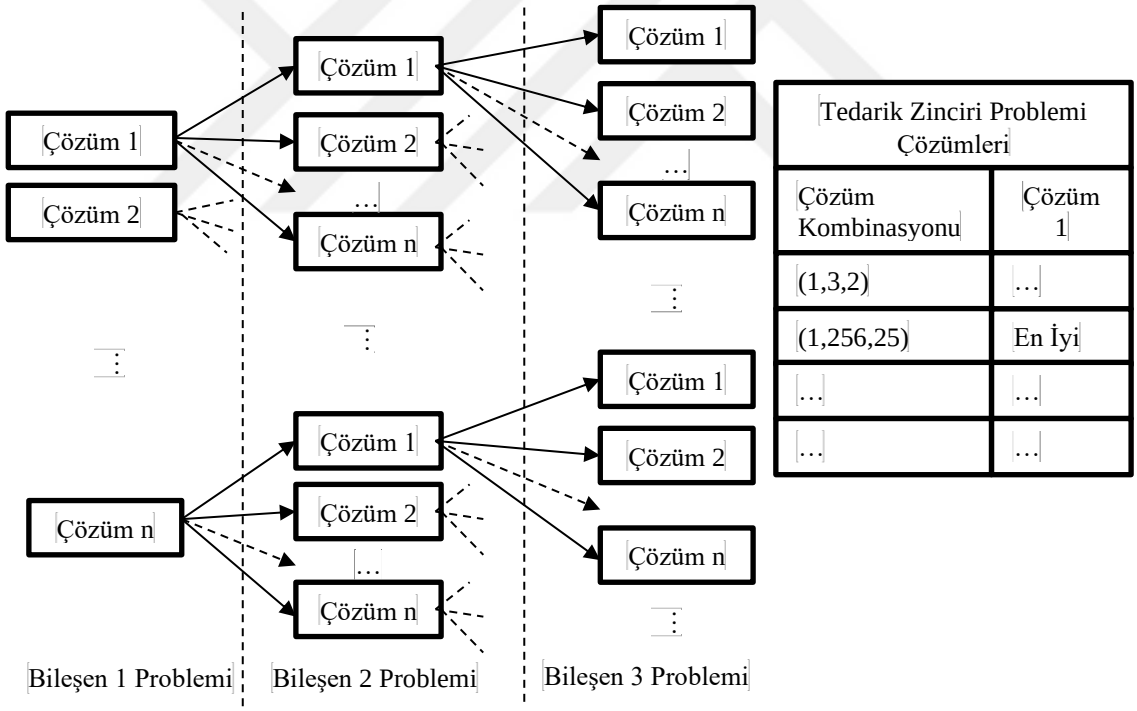
Tablo.6.11: Seçilen Bazı Çözüm Kombinasyonlarının Çözüm Değerleri.

Üretim Aşamasından Seçilen Jenerasyon/ Kromozom	Seçilen Çözümün Getirdiği Tamamlanma Zamanı CMAX	Üretimden Seçilen Çözüme Bağlı Olarak Çözülen Sipariş Hazırlama Aşamasından Seçilen Jenerasyon/ Kromozom	Seçilen Çözümün Getirdiği Toplam Gecikme T_i	Sipariş Hazırlamadan Seçilen Çözüme Bağlı Olarak Çözülen Sevkiyat Aşamasında Bulunan Toplam Rota Uzunluğu $TR_{t,b,e} * w_{b,e}$	Tedarik Zinciri Performans Değeri (İşçilik*Maliyeti + Gecikme*Maliyeti + Sevkiyat*Maliyeti) Toplamı
20/55 (En İyi)	**4866**	**20/50 (En İyi)**	**795**	**750**	137.325
20/55 (En İyi)	**4866**	9/38 (Rastgele)	1000	**755**	140.425
20/55 (En İyi)	**4866**	1/56 (En Kötü)	2240	**745**	158.975
1/48 (Rastgele)	4983	**20/60 (En İyi)**	2114	**735**	159.960
1/48 (Rastgele)	4983	1/28 (En Kötü)	2711	**760**	169.040
1/56 (En Kötü)	5328	**20/60 (En İyi)**	0	**745**	**136.925**

Sonuçların gösterildiği tabloya bakıldığında üretim çizelgeleme için bulunan en kötü çözümden başlanarak oluşturulan çözüm kombinasyonunun tedarik zinciri maliyeti açısından denenen kombinasyonlar arasında en iyi çözümü verdiği görülmektedir. Buradan tedarik zinciri için en iyi sonucun, bileşenler için en iyi sonuçların toplamı olmadığı görülmektedir. Çünkü bileşenlerin tek başına amaçları birbiri ile çakışmaktadır. Denenen yöntem, tedarik zinciri

problemlerinin yapısına uygun şekilde bazı bileşenler için yerel olarak kötü kararlar alınsa da tedarik zinciri ana probleminin iyileştirilebildiğini göstermektedir. Ayrıca bu yöntemle tedarik zinciri problemi için en iyi sonucun taranabilmesini sağlayacak çözüm alternatifleri oluşturulabilir.

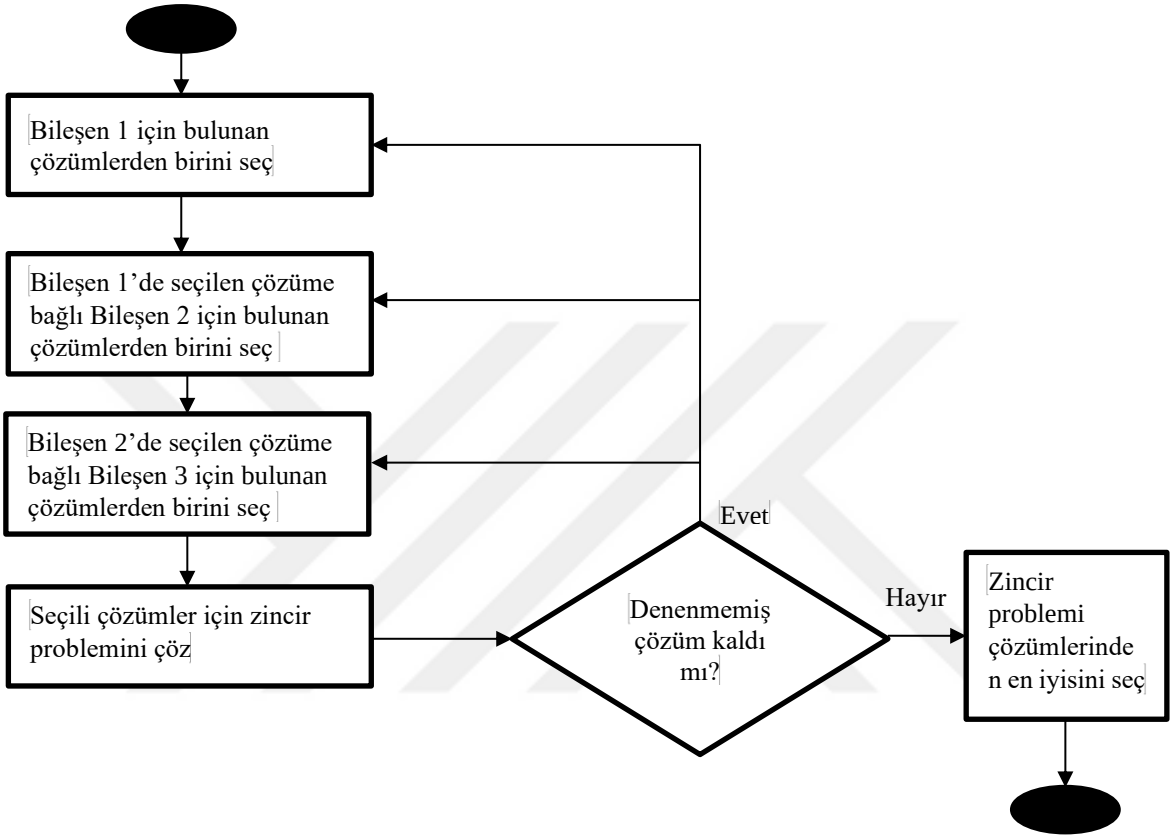
Denenen yöntemle tedarik zinciri probleminin optimum çözümü, farklı bir yolla aranmıştır. Her bir bileşenin genetik algoritma ile oluşturduğu çözümler, farklı kombinasyonlarla bir araya getirilerek karşılaştırılmıştır. Tüm çözüm kombinasyonları arasında en iyi kombinasyonun bulunması ile çözüm aranmalıdır. Şekil 6.3.'te görüldüğü gibi bu kombinasyonlar, her bir çözüm için sezgiselle denenen alternatif çözüm sayısı kadar kombinasyon sayısını artıracak şekilde dallanmaktadır.



Şekil 6.3: 3 Bileşenli Tedarik Zinciri Problemi İçin Alternatif Çözüm Kombinasyonları.

Çözüm için denenen 3 bileşenli tedarik zinciri probleminin bu şekilde tüm çözüm kombinasyonların sayısı 1.728.000.000'dir. Şekil 6.4'teki gibi bir algoritma döngüsü ile tüm kombinasyonların denenmesi ve en iyi sonucun bulunması için 1.440.000 adet döngü çalıştırılması gerekmektedir. Bu sayıda döngü ve sonucun değerlendirilmesi, bilgisayar işlemcilerinin kapasiteleri açısından zorlayıcı olacaktır. Her bir döngünün süresi 1 saniyeye bile

indirilebilse, tüm döngülerin denenmesi 16 günden fazla sürecektir. Biraz daha büyük bir problem için bu süre çok daha artacaktır. Bu zorluğun aşılabilmesi için çözüm kombinasyonlarının aranmasında bir yöntem gerekmektedir.



Şekil 6.4: Tüm Alternatif Çözüm Kombinasyonlarının Denenmesi İçin Algoritma Döngüsü.

7. TEDARİK ZİNCİRİ PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM: KELEBEK ETKİSİ ALGORİTMASI

Önceki bölümde bileşen problemlerinin çözümleri ile en iyi sonucu aranan tedarik zinciri probleminde oluşan 1.728.000.000 alternatif çözümden hangisinin en iyisi olduğunu bulmak için tüm çözümlerin test edilmesi yerine çözüme daha hızlı gidilebilmesini sağlayacak bir sezgisel algoritma kullanmak daha uygulanabilir olacaktır. Bunun için şimdiye kadar birçok başarılı çalışmanın yapıldığı doğadaki optimizasyon davranışlarını taklit eden sezgisel algoritmaların kullanılabilirliği incelenebilir. Bunun yanında aranılan optimizasyon davranışı, problemin yaşandığı yerde de gizli olabilir.

Doğadaki optimizasyonlar gibi yaptığımız işlerin kendi doğasında da optimizasyon davranışları vardır. İnsanlar bireysel olarak veya toplu olarak hareket ettiklerinde karşılaşılan zorlu durumları aşmak için içinde bulunduğu şartları en iyileyecek davranışlar sergilemektedir. Bu davranışların başarısını etkileyen en önemli faktör ise deneyimdir. Çoğu işletmede belirli kurallarla bir iş planı yapılsa da değişen şartlar veya taleplere karşın planlar bozulup, tecrübeli personellerin müdahaleleri ile günün kurtarıldığı durumlar olabilmektedir. İşletmelerde sürekli birkaç olaya müdahale ederek, sürecin daha iyi sonuçlanması beklenir. Örneğin; geciken bir sipariş acilen üretimde ön sıraya alınır. Daha sonra bu müdahaleden dolayı başka yolunda giden siparişlerin planı kötüye gider. Oluşan yeni olumsuzluklar çözülmeye çalışılır. Rutin olmayan geçici fazla çalışmalarla açık kapatılmaya çalışılır. Tecrübeli ve yetenekli sorumluların müdahaleleri ile krizler en az zararla atlatılmaya çalışılır. Tecrübeli personeller kriz ortamlarında, kullanılan yazılımlarda hesaba katılmayan durumları çözmek için asıl plana müdahalede bulunabilmektedir. Tecrübeli personellerin başarısını sağlayan deneyimleri, onların hangi müdahaleyi yaparsa ne sonuç vereceğini, hangi şartları görmezden gelebileceklerini bilmelerini sağlıyor. Aslında deneyimleriyle yaptıkları müdahale, bir geçmiş-gelecek simülasyonu yapılması anlamına gelmektedir. Minkowski uzayındaki gibi geçmişteki sürecin başındaki sonsuz alternatiften, sürecin sonundaki sonsuz alternatife doğru en iyi seçim alternatifleri, yapılan seçimlerin sonuçlarına göre belirlenmektedir.

İşletmelerdeki kriz durumlarında deneyimle yapılan müdahaleler “Kelebek Etkisi” filmini hatırlatmaktadır. J. Mackye Gruber ve Eric Bress tarafından yazılan ve yönetilen 2004 yapımı Kelebek Etkisi filminde başrolde Ashton Kutcher’ın canlandırdığı Evan Treborn karakteri geçmişe gidebildiğini keşfediyor. Geçmişe giderek hayatındaki kötü olayları düzeltmeye çalışıyor. Fakat her geçmişe gittiğinde düzelttiği kötü olaylar, tekrar şimdiki zamana döndüğünde başka çok kötü olayların gerçekleşmesine neden olabiliyor. Tüm denemelerinin sonunda düzeltmeye çalıştığı geçmişten biraz daha geriye gidip, başta yaptığı iyi bir tercihi kötü bir tercihle değiştirerek herkesin hayatını düzeltiyor. Filmde Evan geçmişteki olaylarda değişiklikler yaparak, şimdiki hayatını optimize etmiştir. Hayatındaki değişkenler arasında en kötüsünü bulup, iyileştirmeye çalışmış ve hayatının erken bir dönemindeki kazancı için kötü bir seçimi tercih edip, herkes için eni iyi sonuca ulaşmıştır.

Film zamanda yolculukla ilgili bazı paradoksları görmezden gelse de kaos teorisi ile ilgili çok önemli biri olan Edward Norton Lorenz’in anolojisi ile ortaya çıkan ve filme ismini veren Kelebek Etkisi teorisini başarılı bir şekilde filmde kullanmıştır. Lorenz, sebepler zincirindeki en ufak bir değişikliğin sonuca olan etkisinin tahmin edilebileceğinden çok farklı olabileceğini tarif etmek için, Amazon ormanlarındaki bir kelebeğin kanat çırpışının, Texas’ta bir kasırgaya neden olabileceği anolojisini öne sürmüştür.

Birbirinin ardılı şeklinde ifade edilebilen problemlerin çözümünde çözüm kombinasyonları arasında arama yapmak için yeni bir algoritma olarak “Kelebek Etkisi Algoritması” önerilmiştir “Kelebek Etkisi” terimi daha çok kaos ve tahmin edilemezliği ifade etse de çözüm kombinasyonlarının taranması için bu çalışmada önerilecek algoritmanın yapısı “Kelebek Etkisi” filmindeki gibi en iyi seçim kombinasyonunu bulmaya çalışmaktadır. Bu yüzden önerilen yeni algoritma “Kelebek Etkisi Algoritması” olarak adlandırılmıştır. Kelebek Etkisi Algoritması, çözüm uzayında komşuluk arama yerine, birbirinin ardılı şeklinde bölünebilen çok boyutlu problemler için her bir bileşende verilen kararlarda değişiklikler yaparak ana problemi optimize etmek için karar kombinasyonu arama fikri üzerine bina edilmiştir.

7.1. KELEBEK ETKİSİ ALGORİTMASININ YAPISI VE ADIMLARI

Kelebek Etkisi algoritmasının adımlarını tarif etmeden önce algoritmanın çalışma prensibini özetle ifade etmekte yarar var. Algoritmada öncelikle belirli sayıda çözüm kombinasyonlarından oluşan bir çözüm kümesi oluşturuluyor. Bu çözüm kümesinde bulunan her bir kombinasyondaki değerlerle tedarik zinciri problemi çözülüyor. Her bir çözüm kombinasyonunda tedarik zinciri problemi çözüm değerine en kötü katkıyı yapan değişken ve bağlı olduğu bileşen bulunuyor. Bulunan bileşenin oluşturduğu problemin olurlu çözümleri arasından ilgili değişkenin daha iyi bir değer aldığı çözüm seçilerek mevcut kombinasyondan daha iyi bir kombinasyon aranıyor. Her iterasyonda çözüm kümesindeki tüm kombinasyonlar gelişmeye zorlanarak daha iyi çözümler aranıyor. Algoritmanın adımları farklı problemler için de çerçeve olabilmesi amacıyla genelleştirilmiş ifadeler kullanılmış haliyle aşağıdaki gibidir:

0. Problemi birbirinin ardılı problemler halinde bileşenlere böl ve problemi bu ardıl problemlerin sonuçlarının fonksiyonu şeklinde ifade et.
1. İlk bileşen için bir sezgisel algoritma ile optimizasyon çalıştır ve denenen tüm olurlu çözümleri kaydet.
2. Denenen çözümlerden bileşen performansına göre en iyi, en kötü, ortalama ve rassal bir çözümü seç ve her biri için Adım 3'ü tekrarla.
3. Seçilen çözümün değerlerini kullanarak bir sonraki problemin çözümünü aynı sezgiselle ara ve denenen tüm olurlu çözümleri kaydet.
4. Son bileşene kadar Adım 2 ve 3'ü tekrar et. Son bileşende ise en iyi, en kötü, ortalama ve rassal bir çözüm yerine sadece en iyi çözümü al.
5. Oluşturulan çözüm kombinasyonlarının bileşen değerleri ile ana problemin değerlerini hesapla ve çözüm tablosuna yaz. ($4^{(\text{Bileşen Sayısı } -1)}$ kadar çözüm kombinasyonu oluşturulmuş olur.)
6. Çözüm tablosundaki bir kombinasyonu seç.
7. Seçilen kombinasyonu alternatifler tablosuna yaz.
8. Seçilen kombinasyondaki son bileşen hariç her bileşen için verilen kararlardaki değişkenleri bir değerlendirme kriteri ile ana probleme yaptıkları katkı açısından değerlendir. Aralarından en kötü katkıyı yapanı bul.
9. En kötü katkıyı yapan kararın bulunduğu bileşende bulunan olurlu çözümlerden ilgili değişkenin ana probleme daha iyi katkı yaptığı bir çözümü seç.

10. Seçilen çözümün değerlerini kullanarak ardıl problemin çözümünü aynı sezgiselle ara ve denenen tüm olurlu çözümleri kaydet.
11. Denenen çözümlerden en iyi, en kötü, ortalama ve rassal bir çözümü seç.
12. Son bileşene kadar Adım 10 ve Adım 11'i tekrarla. Son bileşende ise sadece en iyi çözümü al.
13. Oluşturulan çözüm kombinasyonlarının değerleri ile ana problemin değerini hesapla ve alternatif tablosuna yaz.
14. En kötü katkıyı yapan kararın bulunduğu bileşenden geriye doğru ilk bileşene kadar her bir bileşen için, adım 8'de belirlenen değişkenin ana probleme katkısını iyileştirebilecek bir alternatif çözümü seç ve adım 10'a git. Birinci bileşen için işlem yapıldıktan sonra adım 15'e git.
15. Birinci bileşen için bulunan çözümlerden rassal olarak birini seç ve seçilen çözümdeki değerlerle ardıl bileşen problemini aynı sezgiseli kullanarak çöz ve tüm uygun çözümleri (kromozomları) kaydet. Bu rassal çözüm seçimi ve seçilen çözümle ardıl problemin çözülmesi mekanizmasını son bileşene kadar sürdür. Son bileşen için en iyi çözümü seç. Bu rassal çözümlerden oluşan çözüm kombinasyonunu alternatifler tablosuna ekle.
16. Alternatifler tablosundaki çözüm kombinasyonlarının ana problem için verdiği değerler açısından en iyisini yeni çözüm tablosuna yaz.
17. Önceki çözüm tablosunda işlem yapılmamış çözüm varsa Adım 6'ya git. Tüm çözümlerle ilgili işlem yapıldıysa eski ve yeni çözüm tablosunu karşılaştır. En iyi çözüm açısından iyileşme sağlanamadıysa veya belirli sayıda çözüm tablosu oluşturma iterasyonu sağlandıysa algoritmayı bitir ve Adım 18'e git. Yoksa eski çözüm tablosunu yenisi ile değiştir ve Adım 6'ya git.
18. Ardıl problemler için bulunan çözümleri ve ana problem için bulunan çözümü raporla.

Algoritmanın akış diyagramı şeklinde gösterimi EK 2'de gösterilmiştir.

7.2. KELEBEK ETKİSİ ALGORİTMASI İLE TEDARİK ZİNCİRİ ALGORİTMASININ ÇÖZÜLMESİ

6. bölümde incelenen tedarik zinciri probleminin çözüm kombinasyonlarının taranması için bir yöntem bulunması gerekiyordu. Çözüm kombinasyonları arasında bir arama yapmak için Kelebek Etkisi Algoritması kullanılmıştır. Algoritmada özetle her bileşen için genetik algoritma

ile bulunan mümkün çözümlerin kombinasyonlarından bir başlangıç çözüm kümesi oluşturularak, çözüm kümesindeki her bir çözüm kombinasyonu için tedarik zinciri maliyetine etki eden en maliyetli kalem bulunup, bulunan maliyet kaleminin iyileştirildiği yeni çözüm kombinasyonları taranarak daha iyi bir çözüm kümesi oluşturulmaya çalışılmaktadır. Böylece 1.728.000.000 alternatif çözüm kombinasyonu arasından iyi sonuçların aranmasına algoritmik bir mekanizma sağlanmıştır.

Kelebek Etkisi Algoritmasının adımları, ilgili tedarik zinciri probleminin çözümünde kullanılmak üzere özelleştirilmiştir. Algoritmada geçen bileşen problemleri çözümü için 6. bölümde incelenen problemin çözümü için kullanılan Genetik Algoritma kullanılmıştır. İncelenen tedarik zinciri problemi için özelleştirilen Kelebek Etkisi Algoritması adımları aşağıdaki gibidir:

0. Başlangıç çözüm kümesini oluştur.
    0.1. Tamamlanma zamanını (CMAX) minimize edecek üretim çizelgesini çalıştır ve tüm kromozomları kaydet.
    0.2. Kromozomları tamamlanma süresi (CMAX) performanslarına göre küçükten büyüğe sırala.
    0.3. Sırayla en iyi, en kötü, ortalama performansa en yakın kromozomu ve bir adet de normal dağılıma göre rassal bir kromozomu seç. (Aynı performans değerine sahip kromozomlardan en son türetilmişi seç, yani jenerasyon ve kromozom sayısı büyük olanı seç.)
        0.3.1. Seçilen üretim kromozomları ile sırayla pozitif toplam gecikmeyi (Tardiness-$\sum_{i=1}^{n} T_i$) minimize edecek sipariş hazırlama problemi çizelgesini çalıştır ve tüm kromozomları kaydet.
        0.3.2. Sipariş hazırlama çizelgesi kromozomlarını gecikme ($\sum_{i=1}^{n} T_i$) performanslarına göre küçükten büyüğe sırala.
        0.3.3. Sırayla en iyi, en kötü, ortalama performansa en yakın kromozomu ve bir adet de normal dağılıma göre rassal bir kromozomu seç. (Aynı performans değerine sahip kromozomlardan en son türetilmişi seç, yani jenerasyon ve kromozom sayısı büyük olanı seç.)
            0.3.3.1.Seçilen her bir kromozom için sevkiyat çizelgesini çalıştır.

0.3.3.2.En iyi toplam rota uzunluğunu $\sum_{t=1}^{L}\sum_{b=0}^{B}\sum_{e=0}^{B} TR_{t,b,e} * w_{b,e}$ veren kromozomu seç.

0.4. Seçilen üretim kromozomu, sipariş hazırlama kromozomu ve sevkiyat kromozomu ile birlikte Tedarik zinciri maliyetini Çözüm 1 tablosuna yaz.

Adım 0'da yapılan hesaplamalarla Tablo 7.1'deki Çözüm 1 tablomuzda 16 adet çözüm oluşur ($4^{(\text{Bileşen Sayısı-1})} = 4^{(3-1)} = 16$):

Tablo 7.1: Geliştirilecek Kombinasyonların Bulunduğu Çözüm 1 Tablosu.

Çözüm 1 Tablosu				
Sıra	Üretim Kromozomu	Sipariş Hazırlama Kromozomu	Sevkiyat Kromozomu	Tedarik Zinciri Maliyeti
Kombinasyon 1	Kromozom …	Kromozom …	Kromozom …	…
Kombinasyon 2	Kromozom …	…		…
…				
Kombinasyon 16	Kromozom …	…		…

0.5. Yeni çözümlerin kaydedilmesi için Çözüm 2 tablosunun boş halini oluştur.

Tablo 7.2: Geliştirilen Çözüm Kombinasyonlarının Kaydedildiği Çözüm 2 Tablosu.

Çözüm 2 Tablosu				
Sıra	Üretim Kromozomu	Sipariş Hazırlama Kromozomu	Sevkiyat Kromozomu	Tedarik Zinciri Maliyeti
Kombinasyon1				
Kombinasyon 2				
…				
Kombinasyon 16				

Çözüm 1 tablosundaki ilk kombinasyondan sonuncu kombinasyona kadar aşağıdaki adımlar yürütülür.

1. Çözüm 1 tablosundan sıradaki çözüm kombinasyonunu seç.
2. Alternatif tablosunu boş olarak oluştur.

Tablo 7.3: Geliştirme Döngüsünde Değerlendirmek Üzere Oluşturulan Alternatif Çözüm Kombinasyonlarının Kaydedildiği Geçici Alternatif Tablosu.

Alternatif Tablosu				
Sıra	Üretim Kromozomu	Sipariş Hazırlama Kromozomu	Sevkiyat Kromozomu	Tedarik Zinciri Maliyeti
Alternatif 1				
Alternatif 2				
…				
Alternatif 7				

3. Çözüm 1 tablosundan bu döngüde seçtiğimiz çözüm kombinasyonu değerlerini Alternatif Tablosunda Alternatif 1 olarak gir.
4. Bir önceki çözüm kümesinden bu döngüde seçtiğimiz çözümün oluşturduğu değerlere göre iş-maliyet tablosunu oluştur.

Tablo 7.4: En Yüksek İyileştirme İhtimalinin Olduğu Değişkenin Bulunması İçin Kullanılacak İş-Maliyet Tablosu.

İş-Maliyet Tablosu		
İşler (i)	Üretim Problemindeki Üretim Sırasına Göre Son makinedeki Boş Kalma Maliyetleri (Üretim Kromozomundan bulunur)	Sipariş Hazırlama Problemindeki Sıraya Göre Oluşan Gecikme Maliyetleri (Sipariş Hazırlama Kromozomundan bulunur)
1	$((\sum_{j=1}^{n} C_{m,j} * x_{1,j}) + p_{1m} - (\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} C_{m,j-1} * x_{i,j-1})) * UPC$	$T_1 * UDC$
2		
…		
n	$((\sum_{j=1}^{n} C_{m,j} * x_{n,j}) + p_{nm} - (\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} C_{m,j-1} * x_{i,j-1})) * UPC$	$T_n * UDC$

5. İş-Maliyet Tablosundaki en yüksek maliyeti bul. Bu maliyetle ilgili i işini belirle (En muhtemel iyileştirmeyi sağlayabilecek değişken). Aynı sütunda eşit değer varsa ilk işi al, aynı işin üretim boş kalma ve gecikme maliyetleri eşitse üretim boş kalma maliyetini dikkate al. Eğer en yüksek maliyetli değer gecikme maliyetleri sütununda ise 6.'ya git, eğer en yüksek değer üretim boş kalma maliyetleri sütununda ise 7.'ye git.
6. Eğer ilgili en yüksek maliyet sipariş hazırlama gecikme maliyetleri sütununda ise:
   6.1. En yüksek maliyeti oluşturan i işinin sipariş hazırlama kromozomunda hangi sırada olduğunu belirle,
   6.2. Alternatif sipariş hazırlama kromozomlarını sırasıyla tara ve i işinin daha ön sırada olduğu ilk kromozomu seç ve 6.3.'e git, eğer hiç uygun kromozom yoksa bir önceki çözüm kümesinden bu döngüde seçtiğimiz çözüm kombinasyonu değerlerini Alternatif tablosundaki sıradaki satıra gir ve 6.4.'e git,
   6.3. Seçilen kromozoma göre sevkiyat çizelgesini çalıştır, en düşük rota uzunluğuna sahip sevkiyat çizelgesi kromozomunu seç, tedarik zinciri maliyetini hesapla ve yeni bulunan çözüm kombinasyonu alternatifini Alternatif tablosundaki sıradaki satırına yaz.

6.4. En yüksek maliyeti oluşturan i işinin üretim kromozomunda hangi sırada olduğunu belirle,

6.5. Alternatif üretim kromozomlarını sırasıyla tara ve i işinin daha ön sırada olduğu ilk kromozomu seç ve 6.6.'ya git, eğer hiç uygun kromozom yoksa bir önceki çözüm kümesinden bu döngüde seçtiğimiz çözüm kombinasyonu değerlerini Alternatif tablosundaki sıradaki 4 satıra değerleri aynı olacak şekilde gir ve Adım 8'e git.

6.6. Seçilen üretim kromozomuna göre sipariş hazırlama çizelgesini çalıştır ve tüm çözümleri kaydet.

6.7. Kaydedilen sipariş hazırlama çizelgesi kromozomlarını gecikme performanslarına göre küçükten büyüğe sırala.

6.8. Sırayla en iyi, en kötü, ortalama performansa en yakın kromozomu ve bir adet de normal dağılıma göre rassal bir kromozomu seç. (Aynı performans değerine sahip kromozomlardan en son türetilmişi seç, yani jenerasyon ve kromozom sayısı büyük olanı seç.)

6.8.1. Seçilen her bir kromozom için sevkiyat çizelgesini çalıştır.

6.8.2. En iyi rota uzunluğuna sahip kromozomu seç.

6.8.3. Seçilen üretim kromozomu, sipariş hazırlama kromozomu ve sevkiyat kromozomu ile birlikte tedarik zinciri maliyetini Alternatif tablosuna yaz.

6.8.4. Bir sonraki seçili sipariş hazırlama kromozomuna geç ve Adım 6.8.1'e git. Tümü için işlem yapıldıysa Adım 8'e git.

(7 adet alternatif bulundu)

7. Eğer ilgili en yüksek maliyet üretim boşta kalma maliyetleri sütununda ise:

7.1. En yüksek maliyeti oluşturan i işinin üretim kromozomunda hangi sırada olduğunu ve i işinden bir önceki s işini belirle,

7.2. Alternatif üretim kromozomlarını sırasıyla tara ve s ve i işinin artarda olmadığı ilk kromozomu seç ve 7.3.'e git, eğer hiç uygun kromozom yoksa bir önceki çözüm kümesinden bu döngüde seçtiğimiz çözüm kombinasyonu değerlerini Alternatif tablosundaki sıradaki 4 satıra değerleri aynı olacak şekilde gir ve Adım 8'e git,

7.3. Seçilen üretim kromozomuna göre sipariş hazırlama çizelgesini çalıştır ve tüm kromozomları kaydet.

7.4. Kaydedilen sipariş hazırlama kromozomlarını gecikme performanslarına göre küçükten büyüğe sırala.

7.5. Sırayla en iyi, en kötü, ortalama performansa en yakın kromozomu ve bir adet de normal dağılıma göre rassal bir kromozomu seç. (Aynı performans değerine sahip

kromozomlardan en son türetilmişi seç, yani jenerasyon ve kromozom sayısı büyük olanı seç.)

7.5.1. Seçilen her bir kromozom için sevkiyat çizelgesini çalıştır.
7.5.2. En iyi rota uzunluğuna sahip kromozomu seç.
7.5.3. Seçilen üretim kromozomu, sipariş hazırlama kromozomu ve sevkiyat kromozomu ile birlikte tedarik zinciri maliyetini Alternatif Tablosuna yaz.
7.5.4. Bir sonraki seçili sipariş hazırlama kromozomuna geç ve Adım 7.5.1'e git. Tümü için işlem yapıldıysa Adım 8'e git.

8. Kayıtlı üretim kromozomlarından normal dağılıma göre rassal olarak bir üretim kromozomu seç. Belirlenen kromozomdaki değerlere göre sipariş hazırlama çizelgesini çalıştır ve tüm çözümleri kaydet. Yeni kaydedilen sipariş hazırlama kromozomlarından rassal olarak bir kromozomu seç. Seçilen sipariş hazırlama kromozomundaki değerlere göre sevkiyat çizelgesini çalıştır. En iyi sevkiyat kromozomunu seçip, tedarik zinciri maliyeti ile birlikte alternatif tablosuna yaz.
9. Alternatif tablosundaki en iyi çözüm, yeni Çözüm 2 tablosundaki sıradaki satıra yazılır. (Maliyet ve kromozom değerleri temsilidir.)

Tablo 7.5: Alternatif Tablosunun Dolu Hali.

Alternatif Tablosu (Değerler temsilidir)				
Sıra	Üretim Kromozomu	Sipariş Hazırlama Kromozomu	Sevkiyat Kromozomu	Tedarik Zinciri Maliyeti
Alternatif1	Kromozom10	Kromozom260	Kromozom1200	150000
Alternatif 2	**Kromozom12**	**Kromozom524**	**Kromozom1200**	**148000 (En iyi)**
…				
Alternatif6	Kromozom561	Kromozom854	Kromozom1200	152000
Alternatif 7				

Tablo 7.6: Çözüm 2 Tablosunun Yeni Çözüm Kombinasyonu eklenmiş Hali.

Çözüm 2 Tablosu (Değerler temsilidir)				
Sıra	Üretim Kromozomu	Sipariş Hazırlama Kromozomu	Sevkiyat Kromozomu	Tedarik Zinciri Maliyeti
Kombinasyon1	**Kromozom12**	**Kromozom524**	**Kromozom1200**	**148000**
Kombinasyon 2				
…				
Kombinasyon 16				

10. Çözüm 1 tablosunda sıradaki çözümü alarak Adım 1'e git. Çözüm 1 tablosundaki çözüm kombinasyonlarının hepsi denendiyse önceki çözüm tablosu Çözüm 1'i ve yeni çözüm tablosu Çözüm 2'yi karşılaştır. Eğer her 2 tablo da kromozom kombinasyonları açısından aynı ise, yani çözüm tablosundaki çözüm kombinasyonları geliştirilememişse veya verilen bir iterasyon sayısına ulaşılmışsa programı bitir ve Adım 12'ye git, yoksa Adım 11'e git.

11. Çözüm 2'deki çözüm kombinasyonlarını Çözüm 1'deki değerlerle yer değiştir. Çözüm 2 tablosunun boş halini oluştur, yeni elde edilen Çözüm 1 tablosunu kullanarak Adım 1'e git.
12. Son çözüm tablosundaki en iyi tedarik zinciri maliyetini veren çözüm kombinasyonunu sonuç olarak göster.

Tedarik zinciri problemi için özelleştirilmiş algoritma adımlarında, daha önce genelleştirilmiş ifadelerle tarif edilen algoritma adımlarında Adım 8'de belirtilen değerlendirme kriteri için üretim ve sipariş hazırlama problemleri dikkate alınarak Tablo 7.4'teki gibi bir İş-Maliyet tablosu oluşturulmuştur. Tabloda işlerin değerlendirilen çözüm alternatifinde işleme alındığı sıra itibariyle üretimde son makinedeki seçili çizelge nedeniyle oluşturduğu boş zamanların maliyeti ve sipariş hazırlamada oluşturduğu gecikme maliyeti hesaplanarak iyileştirmenin hangi iş için yapılabileceğine karar verilmiştir. Böylece üretim problemi için CMAX'ı etkileyecek şekilde en fazla boşta kalma maliyetine neden olan iki işin peş peşe gelmediği alternatifler ve sipariş hazırlama için ise en fazla gecikmeye neden olan işin sırasının daha önce olduğu alternatifler taranarak daha iyi çözümlerin aranması sağlanmıştır.

6. bölümde incelenen problemin aynısı, bazı verilerde yapılan değişikliklerle Kelebek Etkisi Algoritması ile çözülmüştür. Sonuçlar hesaplanırken kullanılan Genetik Algoritmada alternatif sonuçların dağınık olması için elitist olmayan yöntem kullanılmıştır. Farklı olarak birim üretim işletme maliyeti (UPC) 10 TL/dk, bir işin gecikme maliyeti (UDC) 1 TL/dk, sevkiyat probleminde de kilometre başına nakliye masrafı UTC) 50 TL/km alınmıştır. Değiştirilen diğer veriler Tablo 7.7, Tablo 7.8 ve Tablo 7.9'da gösterilmiştir. Örnek problemin Kelebek Etkisi Algoritması ile çözümü için Delphi 7 programlama dili kullanılarak bir program derlenmiştir. Algoritmadaki tüm rassal seçimler, 0-1 aralığındaki normal dağılıma ($\mu = 0,5$ ve $\sigma = 0,2$) uygun değerler kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 7.7: Yeni Makine Hazırlık Süreleri (Dakika Cinsinden).

Ürünler (u)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1		5	10	5	15
2	5		7	8	9
3	10	7		25	8
4	5	8	25		5
5	15	9	8	5	

Tablo 7.8: Ürünlerin Makinelerdeki Yeni Birim İşlem Süreleri (Dakika Cinsinden).

	Makineler (k)									
Ürünler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6	4	6	9	14	4	6	12	7	6
2	5	6	8	7	4	5	5	8	6	5
3	8	10	7	11	6	14	6	7	15	4
4	2	7	5	4	7	7	6	6	6	5
5	7	3	12	7	2	14	7	3	13	8

Tablo 7.9: Yeni Sipariş Bilgileri.

İşler (i,s)	Müşteri **(b, e)**	Ürün (u)	Teslim Tarihi (d_i)	Miktar Q_i
1	5	1	22.07.2020	30
2	7	2	23.07.2020	15
3	5	3	24.07.2020	45
4	1	4	23.07.2020	20
5	1	5	24.07.2020	50
6	6	1	21.07.2020	10
7	2	2	21.07.2020	35
8	4	3	22.07.2020	5
9	2	4	21.07.2020	25
10	6	5	22.07.2020	12
11	4	1	24.07.2020	28
12	3	2	22.07.2020	45
13	7	3	23.07.2020	12
14	5	4	23.07.2020	55
15	3	5	23.07.2020	22

Sipariş bilgilerine göre siparişlerdeki her bir satır bir iş olarak modelde kullanılmaktadır. Yani her biri bir işi (i, s ∈ {1, 2, …, n}) temsil etmektedir. Yeni değerler ve sipariş bilgilerine göre makine hazırlık süreleri (tüm makineler için aynı), birim işlem süreleri ve paketleme işlem süreleri Tablo 7.10, 7.11 ve 7.12'deki gibi yeniden düzenlenmiştir.

Tablo 7.10. Yeni Makine Hazırlık Süreleri – $h_{k,i,s}$ (dk).

		İşler (s)														
	$h_{k,i,s}$	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
İşler (i)	**1**	0	5	10	5	15	0	5	10	5	15	0	5	10	5	15
	2	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9
	3	10	7	0	25	8	10	7	0	25	8	10	7	0	25	8
	4	5	8	25	0	5	5	8	25	0	5	5	8	25	0	5
	5	15	9	8	5	0	15	9	8	5	0	15	9	8	5	0
	6	0	5	10	5	15	0	5	10	5	15	0	5	10	5	15
	7	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9
	8	10	7	0	25	8	10	7	0	25	8	10	7	0	25	8
	9	5	8	25	0	5	5	8	25	0	5	5	8	25	0	5
	10	15	9	8	5	0	15	9	8	5	0	15	9	8	5	0
	11	0	5	10	5	15	0	5	10	5	15	0	5	10	5	15
	12	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9	5	0	7	8	9
	13	10	7	0	25	8	10	7	0	25	8	10	7	0	25	8
	14	5	8	25	0	5	5	8	25	0	5	5	8	25	0	5
	15	15	9	8	5	0	15	9	8	5	0	15	9	8	5	0

Tablo 7.11. Yeni Üretim İşlem Süreleri – $p_{i,k}$ (dk).

$p_{i,k}$	Makineler **(k)**									
İşler **(i, s)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	6	4	6	9	14	4	6	12	7	6
2	5	6	8	7	4	5	5	8	6	5
3	8	10	7	11	6	14	6	7	15	4
4	2	7	5	4	7	7	6	6	6	5
5	7	3	12	7	2	14	7	3	13	8
6	6	4	6	9	14	4	6	12	7	6
7	5	6	8	7	4	5	5	8	6	5
8	8	10	7	11	6	14	6	7	15	4
9	2	7	5	4	7	7	6	6	6	5
10	7	3	12	7	2	14	7	3	13	8
11	6	4	6	9	14	4	6	12	7	6
12	5	6	8	7	4	5	5	8	6	5
13	8	10	7	11	6	14	6	7	15	4
14	2	7	5	4	7	7	6	6	6	5
15	7	3	12	7	2	14	7	3	13	8

Tablo 7.12. Yeni Paketleme Süreleri- PT_i.

İşler **(i, s)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Paketleme Süresi PT_i	360	135	675	200	650	120	315	75
İşler **(i, s)**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	
Paketleme Süresi PT_i	250	156	336	405	180	550	286	250

İşlerle müşteri ilişkisini belirten $JCA_{i,b}$ matrisi de Tablo 7.13'teki gibi oluşmuştur.

Tablo 7.13. Yeni İş Müşteri İlişkisi- $JCA_{i,b}$.

$JCA_{i,b}$	Müşteriler (b,e)						
İşler (i,s)	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	1	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0
7	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	1	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	1	0	0
15	0	0	1	0	0	0	0

Algoritma örnek problem için Delphi 7 programlama dilinde derlenmiş ve 10 iterasyon ile sınırlandırılmıştır. 20.07.2020 tarihi başlangıç olarak esas alınıp elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. Tablo 7.14'te her bir iterasyonda bulunan en iyi tedarik zinciri maliyeti ve bu maliyeti veren bileşen çözümleri gösterilmiştir.

Tablo 7.14. İterasyonlarda Elde Edilen En İyi Çözüm Kombinasyonları.

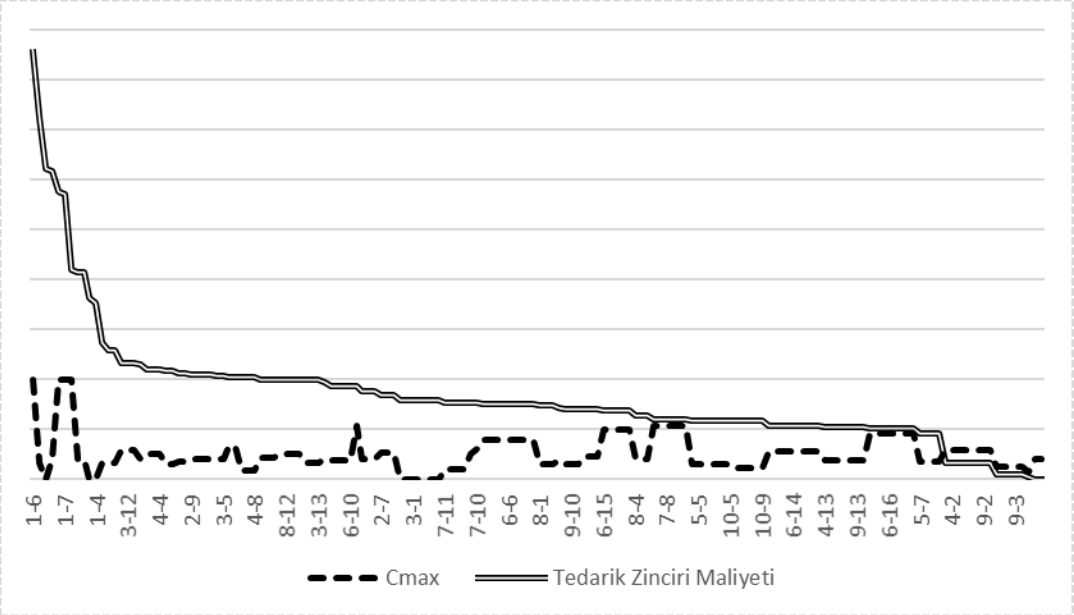
İterasyon No	Üretim Tamamlanma Zamanı CMAX	Toplam Gecikme $\sum_{i=1}^{n} T_i$	Toplam Rota Uzunluğu $\sum_{t=1}^{L} \sum_{b=0}^{B} \sum_{e=0}^{B} TR_{t,b,e} * w_{b,e}$	Tedarik Zinciri Maliyeti
1	6238	52194	875	158324
2	6529	43228	865	151768
3	6537	33114	875	142234
4	6537	33114	875	142234
5	6371	30201	910	139411
6	6371	30201	910	139411
7	6371	30201	910	139411
8	6371	30201	910	139411
9	6452	30393	865	138163
10	6452	30393	865	138163

Çözüm tablolarındaki 16 adet çözüm kombinasyonunda iterasyonlar boyunca iyileştirme alternatifleri taranmış ve 10. iterasyon sonunda program durdurularak sonuçlar raporlanmıştır. Her bir iterasyonda bulunan 16 çözüm ve bu çözümlerle ilgili değerleri, kromozom dizilimleri ve sonuç raporu detaylı olarak EK 1'de gösterilmiştir.

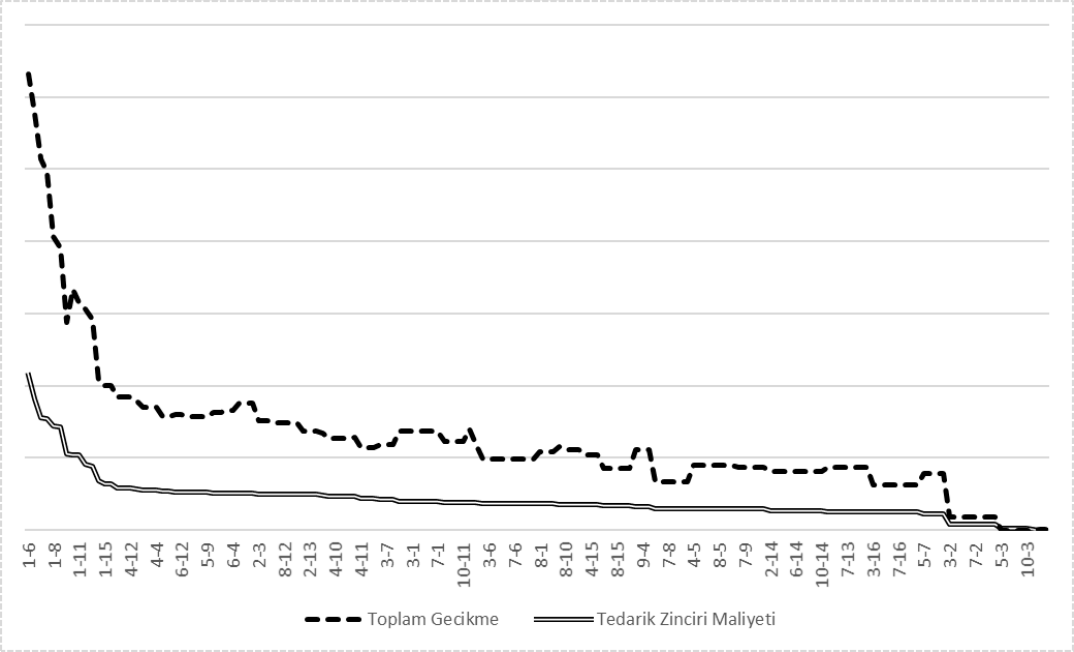
Her bir iterasyonda bileşen problemleri için bulunan çözümleri arasından en iyi, en kötü, ortalama ve rassal çözümler seçilerek tedarik zinciri maliyetini azaltacak çözüm kombinasyonları aranmıştır. İterasyonlarda elde edilen çözümlerden görüldüğü üzere üretim işletme maliyetleri artarken, sipariş hazırlama ve sevkiyat problemleri için daha iyi çözümlerin oluşması sağlanmış ve sonuçta tedarik zinciri maliyeti için daha iyi sonuçları elde edilebildiği çözüm kombinasyonları bulunmuştur. Hatta son iki iterasyonda hem üretim problemi için daha geç işin bitirildiği hem de sipariş hazırlama problemi için daha fazla gecikmeye neden olan alternatife geçilerek daha iyi bir toplam rota uzunluğunu veren kombinasyon bulunmuş ve daha iyi bir tedarik zinciri maliyeti elde edilmiştir.

Program boyunca elde edilen 160 çözüm (10*16) için tedarik zinciri maliyetleri, tamamlanma zamanları, toplam gecikme değerleri ve toplam rota uzunluklarının değerlerinin gelişmelerinin birbirleriyle ilişkileri incelenmiştir. Grafiksel gösterimle karşılaştırma yapılabilmesi için normalleştirilmiş değerleri kullanılmıştır.

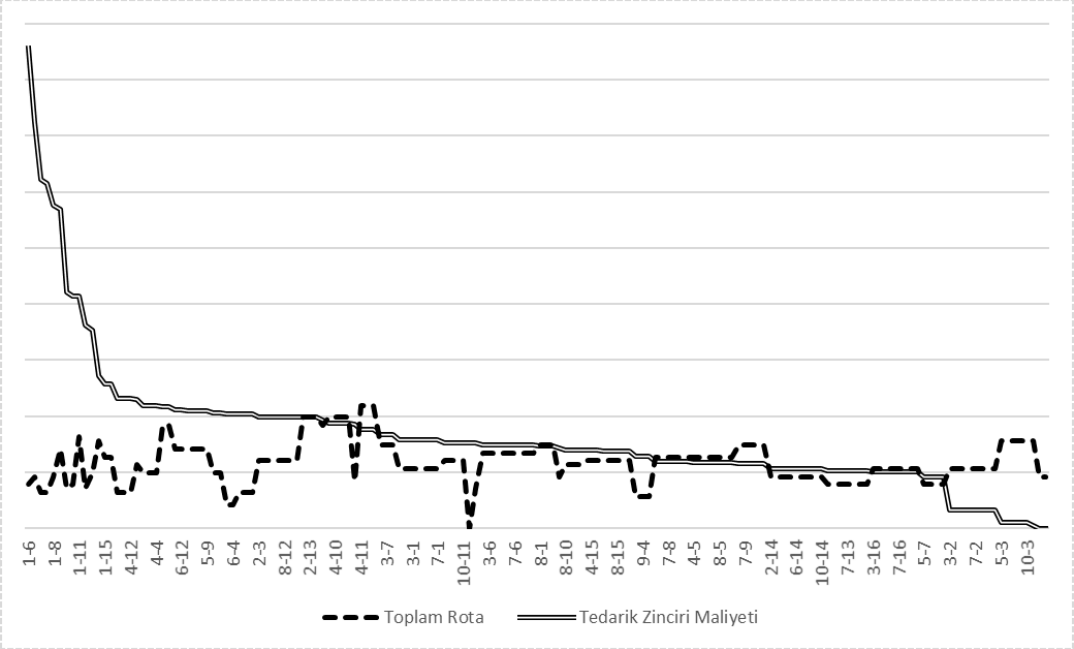
Şekil 7.1'de görüldüğü üzere bulunan tüm tedarik zinciri değerlerini en kötüden en iyiye sıraladığımızda, çözümlere karşılık gelen tamamlanma zamanı değerlerinin tedarik zinciri maliyetinin değişimi ile orantılı olmadığı görülmektedir. Aynı etki Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te diğer bileşenler için de görülebilir. Yine iterasyonlar boyunca bulunan tüm tamamlanma zamanı değerlerini en kötüden en iyiye sıraladığımızda, karşılık gelen tedarik zinciri maliyetlerindeki değişim davranışı Şekil 7.4'te görülebilir. Şekillerdeki grafiklerden anlaşılabileceği üzere algoritma bileşen problemleri çözümlerini, kendi yerel problemlerini iyileştirme davranışından çıkararak, tedarik zinciri maliyetini iyileştirecek şekilde gelişmelerini sağlamıştır. Yerel optimumlar, genel optimumu sağlamamaktadır. Hatta yerel optimumlar, ardıl problemlerde ortaya çıkardıkları sonuçlarla genel problemin daha kötü sonuçlar almasına bile neden olabilmektedirler.



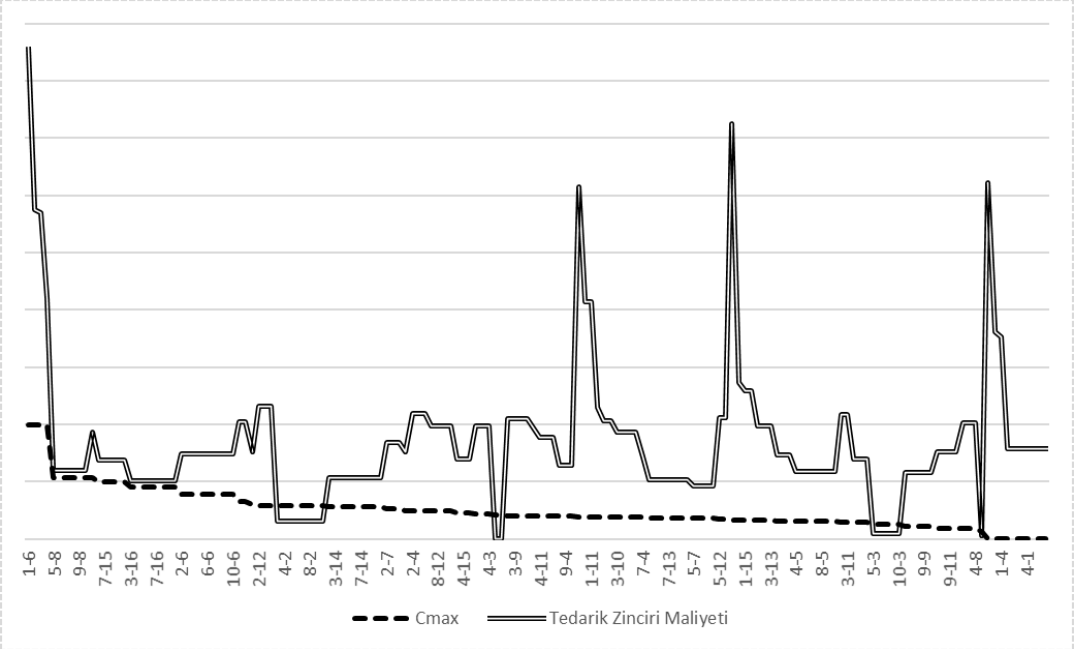
Şekil 7.1: Tamamlanma Zamanı ve Tedarik Zinciri Maliyeti İlişkisi



Şekil 7.2: Toplam Gecikme ve Tedarik Zinciri Maliyeti İlişkisi



Şekil 7.3: Toplam Rota ve Tedarik Zinciri Maliyeti İlişkisi



Şekil 7.4: Tedarik Zinciri Maliyeti ve Tamamlanma Zamanı İlişkisi

8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Algoritma mevcut haliyle tedarik zinciri yönetimi problemleri için iyi çözümlerin bulunmasına yardımcı olabilecek yapıdadır. Sonuçlardan görüldüğü üzere iterasyonlar devam ettikçe çözüm kümesi elemanları daha iyi bir çözüm kombinasyonuna evirilmeye çalışmaktadır. Daha iyi bir çözüm kombinasyonuna evirilmeye çalışırken bileşenler kendi en iyi çözümlerinden uzaklaşabilmektedir. Tedarik zinciri bileşenleri kendi en iyi sonuçlarından feragat etseler de tedarik zinciri genel probleminin performansını en iyileyecek şekilde değişmektedir. Algoritma iterasyonlar boyunca tedarik zinciri bileşenlerinin kendi yerel iyi sonuçlarından ödünleştikleri ve tedarik zinciri probleminin değerini en iyilemeye yönelik bir denge hali aramaktadır.

Tedarik zinciri problemi, ihtiva ettiği bileşenlerin özel durumları arttıkça çözümü daha zor problem haline gelecektir. Problemin karmaşıklığını artıran ve çözümün daha da zorlaşmasına neden olan birçok özel durum, incelenen problemlerde varsayımlarla elenmektedir. Önerilen yeni yöntemle daha fazla bileşenden oluşan ve bu bileşenlerin özel durumlarını da dikkate alan tedarik zinciri problemleri incelenebilir. Tedarik zinciri bileşenlerinin birbirleri ile ilişkileri ve tedarik zinciri probleminin bu ilişkilerle olan bağlantısını kullanarak problemi tedarik zinciri yapısına uygun olarak tarif eden yöntem, çözüm için de uygulanabilir farklı bir bakış açısı getirmektedir. Tedarik zinciri yönetiminde karar vermeye yardımcı olabilecek yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

Algoritmada bileşenlerdeki çözümlerden oluşan başlangıç çözüm kombinasyonlarının belirlenmesi için birinci bileşende en iyi, en kötü, ortalama ve rassal bir alternatif çözüm seçilip, her bileşen için bu çözümlere bağlı ardıl problemin çözümleri arasından yine en iyi, en kötü, ortalama ve bir adet de rassal çözüm seçilerek son bileşene kadar çözüm kombinasyonları oluşturulmuştur. Değerlendirme kriteri ile herhangi bir bileşende genel problemi iyileştirecek bir değişiklik bulunduğunda, değişikliğin bulunduğu bileşenden ileriye ve geriye doğru çözüm kombinasyonları alternatiflerini çeşitlendirmek için yine başlangıç çözüm kombinasyonlarının oluşturulmasında kullanılan mekanizma çalıştırılmıştır. Bir bileşende bir çözüm alternatifi belirlendikten sonra ardıl bileşenlerin çözümleri arasında bu mekanizma ile çözüm

kombinasyonlarının çeşitlendirilmesinin nedeni, ana problemin karmaşık problem olmasından dolayı daha iyi çözümlerin bulunması için farklı bir yöntemin denenmesidir. Karmaşık problemlerde en iyi çözümün garanti edilememesi nedeniyle daha iyi sonuçların elde edilmeye çalışıldığı birçok bilimsel çalışmanın olduğundan bahsedilmişti. Birbirinin ardılı şeklinde ifade edilen karmaşık bir problemde de bir bileşende alınan bir kararın, hem kendi yerel en iyi sonucu olduğu, hem ardıl bileşenlerin problemlerin en iyi sonuca ulaşmasını sağlayacağı, hem de en önemlisi ana problemin en iyi sonuca ulaşmasını sağlayacak kararlar zincirini sağlayacağı garanti edilemez. Bu yüzden her bileşende kendi yerel probleminin en iyilenmesi davranışından farklı bir şekilde, alternatif çözümlerle ardıl problemler çözülerek çözüm kombinasyonu alternatifleri türetilmesi yoluyla daha iyi çözüm kombinasyonları aranmıştır. Bileşenlerin tek bir matematiksel modelde birleştirildiği karmaşık problemin çözüm uzayında çözüm alternatiflerinin bir ekstremum noktada toplanması fikrinden farklı olarak, bileşenlerin kendi çözüm uzayındaki çözüm bulma hareketlerini, genel tedarik zinciri probleminin çözüm uzayında oluşturduğu etkiye göre gerçekleştirerek ve alternatif çözümler türeterek denenen her bir çözüm kombinasyonu ile ana problemin çözüm uzayında farklı bir noktaya ulaşılmıştır. Denenen çözüm kombinasyonun uygunluğu ve yeni çözüm kombinasyonunun değerlendirilmesi de ana problemin çözüm uzayında ulaştığı noktaya göre yapılmıştır. Bu şekilde ana problem bir zaman çizgisine yayılarak alternatif kararlarla problemin Minkowski uzayındaki gibi sonsuz alternatif arasından akıllıca seçimlerle iyi bir kader çizgisine sahip olması sağlanmaya çalışılmıştır ve probleme kendi kaderini belirleme gücü verilmiştir.

Algoritmanın çözüm kombinasyonları türetmek için kullandığı mekanizma geliştirmeye açık bir konudur. Ardıl problemlerde çözüm alternatiflerinden en iyisinin, ana problem için en iyi tercih olamayabileceği ve ardılı olan problemlerde iyi bir çözüm kombinasyonu zinciri oluşmasını garanti edemeyeceği düşüncesinden hareketle en iyi, en kötü, ortalama ve bir adet rassal çözüm alınarak işlemlere devam edilmiştir. Bu seçim iyi çözüm kombinasyonunun bulunma ihtimali açısından çok önemlidir. Seçim yöntemi bu ihtimali artırmak üzere geliştirebilir. Bu seçim aynı zamanda iterasyonlarda denenen çözüm kombinasyonu sayısını da etkilemektedir. Mevcut çözüm yapısı ile çözüm tablosundaki alternatif kombinasyon adedi $4^{(\text{Bileşen Sayısı} - 1)}$ adet olmaktadır. Çözüm kombinasyonu alternatifi sayısının, hesapsal zorluklara ve çözümün geliştirilememesi hatalarına neden olmadan, çözüm uzaylarında daha iyi çözüm

kombinasyonlarını bulabilecek alternatif çözümler türetebilmesini sağlayacak şekilde artırılması ile de algoritma geliştirilebilir.

Mevcut yapısı itibariyle algoritma için en kritik nokta; başlangıç için üretim çizelge alternatiflerinin, yani ilk bileşen çözümlerinin iyi seçilebilmesidir. Çünkü tüm çözüm kombinasyonlarının hareket noktası ilk bileşen için bulunan alternatif çözümlerdir. Bu yüzden ilk bileşenin çözümlerinin hem bileşen probleminin sonucu için iyi bir değere ulaşabilmesi, hem de alternatif çözümlerin denenebilmesi için çözüm uzayında iyi bir dağılıma sahip olması, yani çözüm alternatifleri arasında yerel bileşen problemi için çok iyi sonuçlar veren çözümlerin yanında bulunan en iyi ve en kötü çözüm alternatiflerinin arasındaki dağılımının, ardıl bileşenlerinde farklı çözüm alternatifleri türetilebilmesini sağlayarak daha iyi çözüm kombinasyonlarının bulunmasını sağlayacak çeşitlilikte olması gerekir. Aynı sebepler ardıl bileşen problemlerinin çözüm alternatifleri için de geçerlidir. İncelenen tedarik zinciri problemi için, hem alternatif çözümlerin hafızada tutulabilmesi özelliği, hem de yerel problemler için iyi sonuçlar verebilme yeteneği nedeniyle Genetik Algoritma kullanılmıştı. Çözüm alternatifleri türetilmesi için farklı sezgiseller veya yöntemler denenerek daha iyi bir çözüm kombinasyonu üretme mekanizmasının kurulabilmesi araştırılabilir. Yine çözüm dağılımlarının çeşitliliği için bilinen yöntemler modifiye edilerek algoritmada kullanılabilir.

Algoritmada diğer bir önemli nokta, çözüm kümesindeki kombinasyonlarda yapılacak iyileştirmenin yönteminin, yani değerlendirme kriterinin belirlenmesidir. Örnek problemde son makinedeki kayıp zamanlar ve sipariş hazırlamada oluşan gecikmeler kullanılmıştı. Ana probleme en kötü katkıyı yapan etmeni tarif etmek için hangi alt kararın kullanılacağının belirlenmesi, çözümleri geliştirilebilmesi için önemlidir. Belirlenen etmenin geliştirilmesi için bileşen çözümlerinde alternatif çözümün seçilmesinin de yönteminin tarif edilmesi gerekmektedir. İncelenen örnek problemde bir İş-Maliyet tablosu, çizelgelenen işlerin karar verilen sıraları itibariyle ana probleme yaptıkları olumsuz katkı açısından değerlendirilmişti. En kötü katkıyı yapan iş bulunduktan sonra ilgili işin farklı sırada olduğu alternatif çözümler denenmişti. Genelleştirilmiş ifade ile belirtilen değerlendirme kriteri, yöntem olarak genelleştirilememektedir. Bunun yerine incelenen probleme göre tasarlanması gerekmektedir.

Yine algoritma adımlarında kullanılan rassallıkların da yöntemi, yeri ve hangi dağılıma uyduğu da iyi bir sonuca ulaşabilmek için önemlidir. Rassal seçimler, çözümlerin gelişme yönünde kaçırılan daha iyi bir sonucun yakalanabilmesi ihtimalini sağlamasının yanında iyi bir sonuca giden gelişme yönünün kaybedilmesine de neden olabilir. Algoritmada rassal seçimler için 0-1 aralığındaki normal dağılıma ($\mu = 0,5$ ve $\sigma = 0,2$) uygun değerler kullanılmıştı. Rassal seçimlerin kullanıldığı yere göre farklı dağılımlar da değerlendirilebilir. Bunun yanında rassal seçimlerin yeri ve sıklığı da incelenen probleme göre incelenebilir bir konudur.

Önerilen Kelebek Etkisi Algoritması ile çözülen tedarik zinciri probleminde çözüm tablolarında bulunan çözüm kombinasyonlarının iterasyonlar boyunca gelişimleri incelendiğinde çözüm kombinasyonlarının bir süre iyileşmeseler bile, rassal alternatiflerin de değerlendirmeye katılmasından ötürü ilerleyen iterasyonlarda daha iyi bir çözüm kombinasyonuna evirilebildiği görülmüştür. Bu yüzden algoritmanın durdurma kriteri de önem arz etmektedir.

Tüm bu önerilerle birlikte önerilen algoritma geliştirmeye açık bir yapıdadır. İncelenen problemin yanında farklı tedarik zinciri problemleri için de uyarlanabilir ve geliştirilebilir. Tedarik zinciri problemlerinin çözümü için hem problemin tasarımı hem de çözüm yaklaşımı açısından farklı bir yöntem önerilmiştir. Bu yeni bütünleşik optimizasyon yaklaşımı, tedarik zinciri yönetiminde karar almaya yardımcı yöntemlerle ilgili yeni araştırmalara da yardımcı olabilir.

Karmaşık problemlerde en iyi sonucun garanti edilemeyişi, yeni yöntemlerin ve bakış açılarının denenmesi için teşvik edici bir unsurdur. En iyi sonucun ulaşılamazlığı, sürekli yeni yöntemlerin doğabilmesini sağlamıştır. Yeni yöntemler tedarik zinciri yönetimi gibi birçok alanda karşılaşılan sorunların çözümüne yardımcı olurken hem bilimsel hem de ticari açıdan kazanımlar sağlamıştır. Kelebek Etkisi Algoritması da karmaşık problemlerin çözümü için yeni bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Ana problemin gelişme yapısı ve birbirinin ardılı şeklinde alt problemlerle ifade edilebilmesi nedeniyle tedarik zinciri problemlerinin çözümü için iyi bir fikir verebilmektedir. Tedarik zinciri problemlerinin yanında birbirinin ardılı problemler

halinde ifade edilebilen ve bu ardıl problemlerin bir fonksiyonu halinde performansının test edilebildiği farklı karmaşık problemler için de yeni bir çözüm yaklaşımı getirebilir.

KAYNAKLAR

Abbasi, B., Babaei, T., Hosseinifard, Z., Smith-Miles, K., Dehghani, M., 2020, Predicting solutions of large-scale optimization problems via machine learning: A case study in blood supply chain management, *Computers and Operations Research*, 119, 104941

Aliev, R.,Fazlollahi, B., Guirimov, B.,Aliev, R., 2007, Fuzzy-genetic approach to aggregate production–distribution planning in supply chain management, *Information sciences*, 177, 4241–4255

Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Paksoy, T., 2006, A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks, *Computers & industrial engineering*, 51, 196–215

Amiri, S.A.H.S., Zahedi, A., Kazemi, M., Soroor, J., Hajiaghaei-Keshteli, M., 2020, Determination of the optimal sales level of perishable goods in a two-echelon supply chain network, *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106156

Ardakani, E.S., Seifbarghy, M., Tikani, H., Daneshgar, S., 2020, Designing a multi-period production-distribution system considering social responsibility aspects and failure modes, *Sustainable Production and Consumption*, 22, 239–250

Bashiri, M., Tabrizi, M., 2010, Supply chain design: A holistic approach, *Expert systems with applications*, 37, 688–693

Belieres, S., Hewitt, M., Jozefowiez, N., Semet, F., Woensel, T.V., 2020, A Benders decomposition-based approach for logistics service network design, *European Journal of Operational Research*, 286, 523–537

Benders, J.F., 1962, Partitioning procedures for solving mixed variables programming problems, *Numerische Mathematik*, 4., 238–252

Chan, F., Jha, A., Tiwari, M., 2016, Bi-objective optimization of three echelon supply chain involvingtruck selection and loading using NSGA-II with heuristics algorithm, *Applied soft computing*, 38, 978–987

Chen, C.L., Vempati, V.S., Aljaber, N., 1993, An application of genetic algorithms for flow shop problems, *European journal of operational research* 80 (1995) 389-396

Cheng, B., Leung, J., Li, K., 2015, Integrated scheduling of production and distribution to minimize total cost using an improved ant colony optimization method, *Computers & industrial engineering*, 83, 217–225

Cheraghalipour, A., Paydar, M.M., Hajiaghaei-Keshteli, M., 2019, Designing and solving a bi-level model for rice supply chain using the evolutionary algorithms, *Computers and electronics in agriculture*, 162, 651–668

Chiang, W., Russell, R., Xu, X., Zepeda, D., 2009, A simulation/metaheuristic approach to newspaper production and distribution supply chain problems, *International journal of production economics*, 121, 752–767

Cochran, J., Ramanujam., B., 2006, Carrier-mode logistics optimization of inbound supply chains for electronics manufacturing, *International journal of production economics*, 103, 826–840

Farahani, R., Elahipanah, M., 2008, A genetic algorithm to optimize the total cost and service level for just-in-time distribution in a supply chain, *International journal of production economics*, 111, 229–243

Franco, C., Alfonso-Lizarazo, E., 2020, Optimization under uncertainty of the pharmaceutical supply chain in hospitals', *Computers and Chemical Engineering*, 135, 106689

Frazzon, E., Albrecht, A., Hurtado, P., 2016, Simulation-based optimization for the integrated scheduling of production and logistic systems, *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1050–1055

Giri, B.C., Bardhan, S., 2017, Sub-supply chain coordination in a three-layer chain under demand uncertainty and random yield in production, *International journal of production economics*, 191, 66–73

Guemri, O., Nduwayo, P., Todosijevic, R., Hanafi, S., Glover, F., 2019, Probabilistic Tabu Search for the Cross-Docking Assignment Problem, *European journal of operational research*, 277, 875–885

Hübner, R., 2007, *Strategic supply chain management in process ındustries an application to specialty chemicals production network design*, Springer, Berlin, ISBN 978-3-540-72180-2

Hwang, H., 2002, Design of supply chain logistics system considering service level, *Computers & industrial engineering*, 43, 283-297

Kadadevaramath, R., Chen, J., Shankar, B., Rameshkumar, K., 2012, Application of particle swarm intelligence algorithms in supply chain network architecture optimization, *Expert systems with applications*, 39, 10160–10176

Karageorgos, A., Mehandjiev, N., Weichhart, G., Hammerle, A., 2003, Agent-based optimisation of logistics and production planning, *Engineering Applications of artificial intelligence*, 16, 335–348

Khalifehzadeh, S., Fakhrzad, M.B., 2019, A modified firefly algorithm for optimizing a multi stage supply chain network with stochastic demand and fuzzy production capacity, *Computers & industrial engineering*, 133, 42–56

Krajewski, L.J., Ritzman, L.P. and Malhotra, M.K., 2014, *Üretim Yönetimi: Süreçler ve Tedarik Zincirleri*, (Çev. S. Birgün), Nobel Akademik Yay., Ankara, ISBN:978-605-133-370-0, (Orijinal Yayın Tarihi: 2010)

Mahmoodi, A., 2020, Stackelberg–Nash equilibrium of pricing and inventory decisions in duopoly supply chains using a nested evolutionary algorithm, *Applied Soft Computing Journal*, 86, 105922

Mangina, E., Vlachos, I., 2005, The changing role of information technology in food and beverage logistics management: beverage network optimisation using intelligent agent technology, *Journal of food engineering*, 70, 403–420

Moncayo-Martinez, L., Zhang, D., 2011, Multi-objective ant colony optimisation: a meta-heuristic approach to supply chain design, *International Journal of production economics*, 131, 407–420

Moon, C., Kim, J., Hur, S., 2002, Integrated process planning and scheduling with minimising total tardiness in multi plants supply chain, *Computers & industrial engineering*, 43, 331-349

Moon, C., Lee, Y., Jeong, C., Yun, Y., 2008, Integrated process planning and scheduling in a supply chain, *Computers & industrial engineering*, 54, 1048–1061

Mousavi, S., Alikar, N., Niaki, S., Bahreininejad, A., 2015, Optimizing a location allocation-inventory problem in a two-echelon supply chain network: a modified fruit fly optimization algorithm, *Computers & industrial engineering*, 87, 543–560

Nabiyev, V., 2010, *Yapay zeka insan-bilgisayar etkileşimi*, 3rd ed., Seçkin, Ankara, ISBN: 978-975-02-1156-0

Pakseresht, M., Mahdavi, I., Shirazi, B., Mahdavi-Amiri, N., 2020, Co-reconfiguration of product family and supply chain using leader–follower Stackelberg game theory: Bi-level multi-objective optimization, *Applied Soft Computing Journal*, 91, 106203

Pasandideh, S., Niaki, S., Asadi, K., 2015, Optimizing a bi-objective multi-product multi-period three echelon supply chain network with warehouse reliability, *Expert systems with applications*, 42, 2615–2623

Petrovic, D., Roy, R., Petrovic, R., 1999, Supply chain modelling using fuzzy sets, *International journal of production economics*, 59, 443-453

Puga, M., Tancrez, J., 2017, A heuristic algorithm for solving large location–inventory problems with demand uncertainty, *European journal of operational research*, 259, 413–423

Roghanian, E., Sadjadi, S., Aryanezhad, M., 2007, A probabilistic bi-level linear multi-objective programming problem to supply chain planning, *Applied mathematics and computation*, 188, 786–800

Saharidis, G., 2011, *Supply chain management: centralised vs decentralised planning and scheduling*, Supply chain management, In: Li, P. (ed.), Part 1, InTech, India, ISBN 978-953-307-184-8, 3-26

Saraeian, S., Shirazi, B., Motameni, H., 2019, Optimal autonomous architecture for uncertain processes management, *Information sciences*, 501, 84–99

Sausa, J., Palm, R., Silva, C., Runkler, T., 2003, Optimizing logistic processes using a fuzzy decision making approach, *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, part a: humans and system*, 33 (2), 245-256

Schneeweiss, C., 2003, Distributed decision making in supply chain management, *International journal of production economics*, 84, 71–83

Selim, H., Araz, C., Ozkarahan, I., 2008, Collaborative production–distribution planning in supply chain: A fuzzy goal programming approach, *Transportation research*, E(44), 396–419

Sheu, J., 2007, A hybrid fuzzy-optimization approach to customer grouping-based logistics distribution operations, *Applied mathematical modelling* 31, 1048–1066

Silva, C., Sousa, J., Runkler, T., 2007, Optimization of logistic systems using fuzzy weighted aggregation, *Fuzzy sets and systems*, 158, 1947 – 1960

Silva, C.,, Sousa, J., Runkler, T., 2008, Rescheduling and optimization of logistic processes using GA and ACO, *Engineering applications of artificial intelligence*, 21, 343–352

Silva, C., Sousa, J., Runkler, T., Costa, J., 2009, Distributed supply chain management using ant colony optimization, *European journal of operational research*, 199, 349–358

Smirnov, A., Sheremetov, L., Chilov, N.,Cortes, J., 2004, Soft-computing technologies for configuration of cooperative supply chain, *Applied soft computing* 4, 87–107

Sun, B., Wang, L., 2019, A decomposition-based matheuristic for supply chain network design with assembly line balancing, *Computers & industrial engineering*, 131, 408–417

Syarif, A., Yun, Y., Gen, M., 2002, Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree based genetic algorithm approach, *Computers & industrial engineering*, 43, 299-314

Tautenhain, C.P.S., Barbosa-Povoa, A.P., Nascimento, M.C.V., 2019, A multi-objective matheuristic for designing and planning sustainable supply chains, *Computers & industrial engineering*, 135, 1203–1223

Torabi, S., Ghomi, F., Karimi, B., 2006, A hybrid genetic algorithm for the finite horizon economic lot and delivery scheduling in supply chains, *European journal of operational research*, 173, 173–189

Ullrich, C.A., 2013, Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows, *European journal of operational research*, 227, 152–165

Wang, W., Xu, X., Peng, Y., Zhou, Y., Jiang, Y., 2020, Integrated scheduling of port-centric supply chain: A special focus on the seaborne uncertainties, *Journal of Cleaner Production*, 262, 121240

Xu, J., Liu, Q., Wang, R., 2008, A class of multi-objective supply chain networks optimal model under random fuzzy environment and its application to the industry of Chinese liquor, *Information sciences*, 178, 2022–2043

Ydstie, B., Jillson, K., Dozal-Mejorada, E., 2006, Distributed decision making in supply chain networks, *International symposium on advanced control of chemical processes*, 2-5 April 2006 Gramado Brazil, IFAC, 929-935

Yu, C., Li, H., 2000, A robust optimisation model for stochastic logistic problems, *International journal of production economics*, 64, 385-397

Yuan, Y., Yang, J., Li, Y., Li, W., 2020, Necessary conditions for coordination of dual-channel closed-loop supply chain, *Technological Forecasting & Social Change*, 151, 119823

EKLER

EK 1. İTERASYON DETAYLARI VE SONUÇ TABLOSU

İterasyon No : 1 **İterasyon Detayı**

Çöz.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom.	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	2.362	{10,9,2,1,4,13,15,14,7,11,8,6,12,5,3}	52.194	52.194
2	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	1.202	{3,5,14,12,1,11,7,15,9,4,13,10,2,6,8}	112.967	112.967
3	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	1.707	{10,9,2,3,13,15,14,7,4,1,8,11,6,5,12}	79.515	79.515
4	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	1.721	{2,1,10,9,11,13,4,14,8,6,7,15,3,5,12}	77.262	77.262
5	356	{6,3,14,10,4,13,15,9,1,11,7,12,5,2,8}	7.270	72.700	2.260	{6,4,13,14,15,10,9,12,7,1,2,8,3,5,11}	76.611	76.611
6	356	{6,3,14,10,4,13,15,9,1,11,7,12,5,2,8}	7.270	72.700	1.246	{5,14,1,11,3,13,2,12,7,4,9,10,15,6,8}	131.839	131.839
7	356	{6,3,14,10,4,13,15,9,1,11,7,12,5,2,8}	7.270	72.700	1.764	{6,4,9,14,8,12,10,2,7,1,13,15,3,5,11}	93.138	93.138
8	356	{6,3,14,10,4,13,15,9,1,11,7,12,5,2,8}	7.270	72.700	1.332	{6,7,9,14,8,12,10,2,4,1,13,15,3,5,11}	95.612	95.612
9	970	{9,1,8,6,13,4,15,5,2,14,3,11,7,10,12}	6.441	64.410	2.169	{8,6,4,9,13,1,15,11,7,10,14,2,3,5,12}	58.983	58.983
10	970	{9,1,8,6,13,4,15,5,2,14,3,11,7,10,12}	6.441	64.410	1.202	{3,5,14,12,1,11,7,15,9,4,13,10,2,6,8}	110.012	110.012
11	970	{9,1,8,6,13,4,15,5,2,14,3,11,7,10,12}	6.441	64.410	1.862	{6,9,14,15,7,12,2,13,4,10,11,1,3,5,8}	80.809	80.809
12	970	{9,1,8,6,13,4,15,5,2,14,3,11,7,10,12}	6.441	64.410	1.587	{8,6,2,10,13,4,12,7,14,1,9,11,15,5,3}	83.864	83.864
13	435	{8,6,11,2,1,4,15,5,12,14,10,7,9,13,3}	6.412	64.120	2.213	{6,8,2,1,4,15,12,7,10,13,9,14,3,11,5}	52.291	52.291
14	435	{8,6,11,2,1,4,15,5,12,14,10,7,9,13,3}	6.412	64.120	1.202	{3,5,14,12,1,11,7,15,9,4,13,10,2,6,8}	123.212	123.212
15	435	{8,6,11,2,1,4,15,5,12,14,10,7,9,13,3}	6.412	64.120	1.636	{6,8,2,1,12,4,5,7,14,15,10,13,9,11,3}	62.463	62.463
16	435	{8,6,11,2,1,4,15,5,12,14,10,7,9,13,3}	6.412	64.120	1.798	{6,8,2,1,4,13,12,7,14,15,10,9,3,11,5}	63.369	63.369

Çöz.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C02,C01,C07,C05,C06},{C02,C05,C07,C01,C03},{C02,C04,C06,C03},{C05,C01,C03},{C05}	875	43.750	158.324
2	{C01,C05},{C05,C03},{C04,C02,C05,C03},{C03,C01,C07,C06,C02},{C04,C06}	845	42.250	217.597
3	{C02,C05,C07,C06},{C02,C05,C03,C07},{C04,C01,C05,C02},{C06,C04,C01,C03},{C03}	850	42.500	184.395
4	{C02,C05,C07,C06,C04},{C04,C01,C05,C07},{C03,C06,C05,C02,C04},{C05,C01,C03},{C03}	870	43.500	183.142
5	{C06,C05,C07,C01,C03},{C02,C06,C03},{C03,C04,C07,C05,C02},{C04,C01,C05},{C04}	850	42.500	191.811
6	{C01,C05},{C04,C05},{C03,C07,C05,C02},{C03,C01,C06,C02},{C06,C04}	855	42.750	247.289
7	{C02,C01,C05,C06},{C03,C06,C07,C05,C02,C04},{C03,C07,C05,C02},{C05,C01,C04},{C04}	900	45.000	210.838
8	{C06,C05,C02},{C03,C04,C07,C05,C06},{C07,C05,C01,C03},{C04,C01,C05},{C04}	865	43.250	211.562
9	{C06,C02,C01,C05,C07,C04},{C03,C06,C05,C02,C04},{C05,C07},{C05,C01,C03},{C03}	880	44.000	167.393
10	{C01,C05},{C05,C03},{C04,C02,C05,C03},{C03,C01,C07,C06,C02},{C06,C04}	845	42.250	216.672
11	{C02,C05,C06,C03},{C03,C07,C02},{C06,C07,C05,C01,C04},{C05,C01},{C01,C04}	915	45.750	190.969
12	{C03,C01,C04,C07,C06},{C02,C05,C03},{C03,C05,C02,C04},{C05,C01,C03},{C05}	855	42.750	191.024
13	{C07,C05,C06,C04,C01,C03},{C02,C07,C06,C03},{C02,C05,C07},{C04,C01,C05},{C01}	940	47.000	163.411
14	{C01,C05},{C05,C03},{C03,C05,C02,C04},{C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C06}	865	43.250	230.582
15	{C04,C06,C07,C05,C03},{C03,C01,C02},{C02,C06,C07,C05,C03},{C02,C05,C07,C04},{C05}	890	44.500	171.083
16	{C06,C03,C05,C07,C01,C04},{C02,C05,C03},{C03,C06,C05,C02},{C05,C01,C04},{C01}	910	45.500	172.989

İterasyon No : 2 **İterasyon Detayı**

Çöz.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom.	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	2.362	{10,9,2,1,4,13,15,14,7,11,8,6,12,5,3}	52.194	52.194
2	551	{15,10,2,7,13,4,9,5,12,3,11,1,6,14,8}	6.497	64.970	3.571	{10,15,2,13,4,7,9,5,6,11,1,8,14,3,12}	52.682	52.682
3	952	{6,9,13,15,1,4,2,5,12,7,3,11,14,10,8}	6.466	64.660	3.145	{6,13,9,15,1,2,12,7,4,8,14,10,3,5,11}	54.518	54.518
4	667	{8,6,10,2,1,4,9,5,12,14,3,11,7,13,15}	6.496	64.960	2.901	{8,6,2,10,4,14,1,13,7,11,9,12,15,5,3}	57.698	57.698
5	889	{6,13,15,2,1,4,9,5,12,7,3,11,14,10,8}	6.441	64.410	3.299	{6,13,2,1,9,5,12,15,4,8,11,10,14,7,3}	56.507	56.507
6	370	{8,6,10,9,13,2,7,15,12,14,4,5,1,11,3}	6.648	66.480	3.016	{6,8,9,2,15,10,13,14,12,4,1,11,3,7,5}	45.982	45.982
7	141	{8,11,10,1,13,4,9,15,6,2,7,14,12,5,3}	6.513	65.130	3.073	{8,11,13,15,10,7,4,2,9,14,1,6,5,12,3}	49.168	49.168
8	717	{6,2,10,1,13,4,15,5,12,14,3,11,7,9,8}	6.329	63.290	3.128	{6,2,10,4,1,5,12,7,8,13,9,15,3,14,11}	58.565	58.565
9	576	{8,6,10,1,13,4,2,15,5,3,7,12,11,14,9}	6.451	64.510	3.521	{6,8,2,15,13,4,1,10,11,12,9,7,14,5,3}	55.461	55.461
10	575	{8,6,10,1,13,4,2,15,5,3,7,12,11,14,9}	6.451	64.510	3.048	{8,10,6,4,2,15,1,7,12,11,13,9,14,5,3}	51.817	51.817
11	625	{8,6,2,1,4,9,15,5,12,14,7,11,13,10,3}	6.389	63.890	3.135	{8,6,2,4,1,12,9,10,14,11,15,13,7,5,3}	55.534	55.534
12	512	{8,15,2,7,13,4,9,5,12,3,11,1,6,10,14}	6.545	65.450	3.203	{13,2,7,4,15,9,12,1,6,11,8,10,3,5,14}	60.005	60.005
13	435	{8,6,11,2,1,4,15,5,12,14,10,7,9,13,3}	6.412	64.120	2.213	{6,8,2,1,4,15,12,7,10,13,9,14,3,11,5}	52.291	52.291
14	713	{8,6,9,2,13,4,10,5,12,7,14,11,1,15,3}	6.529	65.290	3.387	{6,8,13,4,2,10,9,12,7,11,1,15,3,5,14}	43.228	43.228
15	435	{8,6,11,2,1,4,15,5,12,14,10,7,9,13,3}	6.412	64.120	1.636	{6,8,2,1,12,4,5,7,14,15,10,13,9,11,3}	62.463	62.463
16	564	{8,1,10,13,9,4,7,15,12,14,6,3,11,2,5}	6.791	67.910	3.302	{8,1,9,7,10,4,12,15,13,6,2,3,14,5,11}	50.946	50.946

Çöz.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C02,C01,C07,C05,C06},{C02,C05,C07,C01,C03},{C02,C04,C06,C03},{C05,C01,C03},{C05}	875	43.750	158.324
2	{C02,C01,C07,C06,C03},{C06,C01,C02},{C05,C06,C04},{C05,C03},{C03}	800	40.000	157.652
3	{C02,C05,C07,C06,C03},{C02,C07,C01,C03},{C06,C05,C01,C04},{C04,C01,C05},{C04}	885	44.250	163.428
4	{C07,C05,C01,C04,C06},{C04,C07,C05,C02},{C03,C04,C02},{C05,C01,C03},{C05}	870	43.500	166.158
5	{C06,C07,C05,C01,C02},{C03,C01},{C04,C01,C05,C06,C03},{C02,C05},{C05}	870	43.500	164.417
6	{C03,C04,C07,C06,C02},{C07,C05,C03},{C04,C01,C05,C03},{C02,C01,C05},{C01}	895	44.750	157.212
7	{C03,C06,C07,C04,C02},{C02,C01,C05,C07},{C06,C05,C01},{C03,C01,C05},{C05}	905	45.250	159.548
8	{C06,C01,C05,C07},{C02,C01,C03},{C03,C04,C07,C05,C02},{C04,C05},{C04}	845	42.250	164.105
9	{C06,C04,C07,C05,C01,C03},{C02,C04,C06,C05,C03},{C05,C02},{C05,C01},{C05}	900	45.000	164.971
10	{C03,C04,C07,C05,C01,C06},{C04,C02,C05,C03},{C04,C07,C05,C02},{C05,C01},{C05}	930	46.500	162.827
11	{C04,C06,C07,C01,C05,C03},{C02,C05,C06,C03},{C03,C04,C07,C05,C02},{C05,C01,C02},{C05}	930	46.500	165.924
12	{C02,C07,C01,C03},{C02,C05,C03},{C04,C06,C05},{C05,C01},{C05}	845	42.250	167.705
13	{C07,C05,C06,C04,C01,C03},{C02,C07,C06,C03},{C02,C05,C07},{C04,C01,C05},{C01}	940	47.000	163.411
14	{C03,C06,C04,C07,C01,C02},{C02,C04,C03},{C04,C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	151.768
15	{C04,C06,C07,C05,C03},{C03,C01,C02},{C02,C06,C07,C05,C03},{C02,C05,C07,C04},{C05}	890	44.500	171.083
16	{C04,C06,C05,C02},{C06,C07,C01,C03},{C07,C05,C06},{C04,C01,C05},{C04}	860	43.000	161.856

İterasyon No : 3 **İterasyon Detayı**

Çöz.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom.	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	2.362	{10,9,2,1,4,13,15,14,7,11,8,6,12,5,3}	52.194	52.194
2	477	{8,6,2,10,13,4,9,1,11,15,7,12,5,14,3}	6.537	65.370	2.401	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	33.114	33.114
3	952	{6,9,13,15,1,4,2,5,12,7,3,11,14,10,8}	6.466	64.660	1.945	{6,13,9,15,1,2,12,7,4,8,14,10,3,5,11}	54.518	54.518
4	667	{8,6,10,2,1,4,9,5,12,14,3,11,7,13,15}	6.496	64.960	1.701	{8,6,2,10,4,14,1,13,7,11,9,12,15,5,3}	57.698	57.698
5	889	{6,13,15,2,1,4,9,5,12,7,3,11,14,10,8}	6.441	64.410	2.099	{6,13,2,1,9,5,12,15,4,8,11,10,14,7,3}	56.507	56.507
6	370	{8,6,10,9,13,2,7,15,12,14,4,5,1,11,3}	6.648	66.480	1.816	{6,8,9,2,15,10,13,14,12,4,1,11,3,7,5}	45.982	45.982
7	141	{8,11,10,1,13,4,9,15,6,2,7,14,12,5,3}	6.513	65.130	1.873	{8,11,13,15,10,7,4,2,9,14,1,6,5,12,3}	49.168	49.168
8	717	{6,2,10,1,13,4,15,5,12,14,3,11,7,9,8}	6.329	63.290	1.928	{6,2,10,4,1,5,12,7,8,13,9,15,3,14,11}	58.565	58.565
9	576	{8,6,10,1,13,4,2,15,5,3,7,12,11,14,9}	6.451	64.510	2.321	{6,8,2,15,13,4,1,10,11,12,9,7,14,5,3}	55.461	55.461
10	620	{8,6,10,2,1,4,9,5,12,15,7,14,13,11,3}	6.439	64.390	3.519	{8,6,4,1,9,2,12,7,10,13,14,15,11,5,3}	50.674	50.674
11	625	{8,6,2,1,4,9,15,5,12,14,7,11,13,10,3}	6.389	63.890	1.935	{8,6,2,4,1,12,9,10,14,11,15,13,7,5,3}	55.534	55.534
12	512	{8,15,2,7,13,4,9,5,12,3,11,1,6,10,14}	6.545	65.450	2.003	{13,2,7,4,15,9,12,1,6,11,8,10,3,5,14}	60.005	60.005
13	435	{8,6,11,2,1,4,15,5,12,14,10,7,9,13,3}	6.412	64.120	2.213	{6,8,2,1,4,15,12,7,10,13,9,14,3,11,5}	52.291	52.291
14	713	{8,6,9,2,13,4,10,5,12,7,14,11,1,15,3}	6.529	65.290	2.187	{6,8,13,4,2,10,9,12,7,11,1,15,3,5,14}	43.228	43.228
15	657	{8,6,10,2,1,4,15,13,5,7,3,12,9,11,14}	6.470	64.700	2.826	{8,2,6,10,1,4,13,15,7,11,9,12,14,5,3}	46.946	46.946
16	529	{8,6,10,2,13,4,9,15,11,1,3,14,5,12,7}	6.712	67.120	3.241	{8,6,2,10,13,4,9,11,15,1,12,7,14,5,3}	40.244	40.244

Çöz.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C02,C01,C07,C05,C06},{C02,C05,C07,C01,C03},{C02,C04,C06,C03},{C05,C01,C03},{C05}	875	43.750	158.324
2	{C02,C04,C07,C01,C03,C06},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	875	43.750	142.234
3	{C02,C05,C07,C06,C03},{C02,C07,C01,C03},{C06,C05,C01,C04},{C04,C01,C05},{C04}	885	44.250	163.428
4	{C07,C05,C01,C04,C06},{C04,C07,C05,C02},{C03,C04,C02},{C05,C01,C03},{C05}	870	43.500	166.158
5	{C06,C07,C05,C01,C02},{C03,C01},{C04,C01,C05,C06,C03},{C02,C05},{C05}	870	43.500	164.417
6	{C03,C04,C07,C06,C02},{C07,C05,C03},{C04,C01,C05,C03},{C02,C01,C05},{C01}	895	44.750	157.212
7	{C03,C06,C07,C04,C02},{C02,C01,C05,C07},{C06,C05,C01},{C03,C01,C05},{C05}	905	45.250	159.548
8	{C06,C01,C05,C07},{C02,C01,C03},{C03,C04,C07,C05,C02},{C04,C05},{C04}	845	42.250	164.105
9	{C06,C04,C07,C05,C01,C03},{C02,C04,C06,C05,C03},{C05,C02},{C05,C01},{C05}	900	45.000	164.971
10	{C06,C07,C05,C01,C04,C02},{C02,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C03},{C05,C01,C04},{C05}	940	47.000	162.064
11	{C04,C06,C07,C01,C05,C03},{C02,C05,C06,C03},{C03,C04,C07,C05,C02},{C05,C01,C02},{C05}	930	46.500	165.924
12	{C02,C07,C01,C03},{C02,C05,C03},{C04,C06,C05},{C05,C01},{C05}	845	42.250	167.705
13	{C07,C05,C06,C04,C01,C03},{C02,C07,C06,C03},{C02,C05,C07},{C04,C01,C05},{C01}	940	47.000	163.411
14	{C03,C06,C04,C07,C01,C02},{C02,C04,C03},{C04,C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	151.768
15	{C06,C04,C01,C05,C07},{C02,C04,C07,C03},{C02,C05,C03},{C05,C01},{C05}	885	44.250	155.896
16	{C02,C01,C07,C04,C06},{C04,C05,C03},{C03,C05,C02},{C05,C01},{C05}	875	43.750	151.114

İterasyon No : 4 **İterasyon Detayı**

Çöz.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom.	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	2.362	{10,9,2,1,4,13,15,14,7,11,8,6,12,5,3}	52.194	52.194
2	477	{8,6,2,10,13,4,9,1,11,15,7,12,5,14,3}	6.537	65.370	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	33.114	33.114
3	952	{6,9,13,15,1,4,2,5,12,7,3,11,14,10,8}	6.466	64.660	1.945	{6,13,9,15,1,2,12,7,4,8,14,10,3,5,11}	54.518	54.518
4	667	{8,6,10,2,1,4,9,5,12,14,3,11,7,13,15}	6.496	64.960	1.701	{8,6,2,10,4,14,1,13,7,11,9,12,15,5,3}	57.698	57.698
5	619	{8,6,10,13,1,4,15,5,11,14,2,7,9,12,3}	6.396	63.960	3.543	{10,6,13,8,4,15,1,11,2,7,14,12,9,5,3}	44.661	44.661
6	370	{8,6,10,9,13,2,7,15,12,14,4,5,1,11,3}	6.648	66.480	1.816	{6,8,9,2,15,10,13,14,12,4,1,11,3,7,5}	45.982	45.982
7	141	{8,11,10,1,13,4,9,15,6,2,7,14,12,5,3}	6.513	65.130	1.873	{8,11,13,15,10,7,4,2,9,14,1,6,5,12,3}	49.168	49.168
8	717	{6,2,10,1,13,4,15,5,12,14,3,11,7,9,8}	6.329	63.290	1.928	{6,2,10,4,1,5,12,7,8,13,9,15,3,14,11}	58.565	58.565
9	576	{8,6,10,1,13,4,2,15,5,3,7,12,11,14,9}	6.451	64.510	2.321	{6,8,2,15,13,4,1,10,11,12,9,7,14,5,3}	55.461	55.461
10	620	{8,6,10,2,1,4,9,5,12,15,7,14,13,11,3}	6.439	64.390	2.319	{8,6,4,1,9,2,12,7,10,13,14,15,11,5,3}	50.674	50.674
11	838	{8,6,10,9,1,4,2,5,12,14,7,11,13,15,3}	6.449	64.490	3.485	{6,8,9,1,10,2,4,12,13,15,7,14,11,5,3}	48.488	48.488
12	512	{8,15,2,7,13,4,9,5,12,3,11,1,6,10,14}	6.545	65.450	2.003	{13,2,7,4,15,9,12,1,6,11,8,10,3,5,14}	60.005	60.005
13	599	{8,6,10,2,1,4,9,15,5,13,7,11,14,12,3}	6.431	64.310	2.831	{8,6,10,9,2,4,15,1,13,7,14,11,3,5,12}	44.288	44.288
14	713	{8,6,9,2,13,4,10,5,12,7,14,11,1,15,3}	6.529	65.290	2.187	{6,8,13,4,2,10,9,12,7,11,1,15,3,5,14}	43.228	43.228
15	657	{8,6,10,2,1,4,15,13,5,7,3,12,9,11,14}	6.470	64.700	1.626	{8,2,6,10,1,4,13,15,7,11,9,12,14,5,3}	46.946	46.946
16	529	{8,6,10,2,13,4,9,15,11,1,3,14,5,12,7}	6.712	67.120	2.041	{8,6,2,10,13,4,9,11,15,1,12,7,14,5,3}	40.244	40.244

Çöz.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C02,C01,C07,C05,C06},{C02,C05,C07,C01,C03},{C02,C04,C06,C03},{C05,C01,C03},{C05}	875	43.750	158.324
2	{C02,C04,C07,C01,C03,C06},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	875	43.750	142.234
3	{C02,C05,C07,C06,C03},{C02,C07,C01,C03},{C06,C05,C01,C04},{C04,C01,C05},{C04}	885	44.250	163.428
4	{C07,C05,C01,C04,C06},{C04,C07,C05,C02},{C03,C04,C02},{C05,C01,C03},{C05}	870	43.500	166.158
5	{C04,C01,C05,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C02},{C02,C05,C03},{C02,C01,C05},{C05}	890	44.500	153.121
6	{C03,C04,C07,C06,C02},{C07,C05,C03},{C04,C01,C05,C03},{C02,C01,C05},{C01}	895	44.750	157.212
7	{C03,C06,C07,C04,C02},{C02,C01,C05,C07},{C06,C05,C01},{C03,C01,C05},{C05}	905	45.250	159.548
8	{C06,C01,C05,C07},{C02,C01,C03},{C03,C04,C07,C05,C02},{C04,C05},{C04}	845	42.250	164.105
9	{C06,C04,C07,C05,C01,C03},{C02,C04,C06,C05,C03},{C05,C02},{C05,C01},{C05}	900	45.000	164.971
10	{C06,C07,C05,C01,C04,C02},{C02,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C03},{C05,C01,C04},{C05}	940	47.000	162.064
11	{C02,C01,C05,C06,C04,C07},{C02,C07,C01,C03},{C02,C05,C04},{C05,C01,C04},{C05}	955	47.750	160.728
12	{C02,C07,C01,C03},{C02,C05,C03},{C04,C06,C05},{C05,C01},{C05}	845	42.250	167.705
13	{C03,C06,C02,C04,C07,C01},{C02,C05,C07,C03},{C05,C04},{C03,C01,C05},{C03}	855	42.750	151.348
14	{C03,C06,C04,C07,C01,C02},{C02,C04,C03},{C04,C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	151.768
15	{C06,C04,C01,C05,C07},{C02,C04,C07,C03},{C02,C05,C03},{C05,C01},{C05}	885	44.250	155.896
16	{C02,C01,C07,C04,C06},{C04,C05,C03},{C03,C05,C02},{C05,C01},{C05}	875	43.750	151.114

İterasyon No : 5 **İterasyon Detayı**

Çöz.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom.	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	2.362	{10,9,2,1,4,13,15,14,7,11,8,6,12,5,3}	52.194	52.194
2	477	{8,6,2,10,13,4,9,1,11,15,7,12,5,14,3}	6.537	65.370	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	33.114	33.114
3	321	{8,6,10,15,13,4,9,2,11,7,1,12,14,5,3}	6.371	63.710	3.389	{8,6,10,15,4,2,13,9,7,1,11,12,14,5,3}	30.201	30.201
4	473	{8,6,10,9,13,15,1,5,12,7,11,14,4,2,3}	6.577	65.770	2.832	{8,6,10,13,9,7,15,4,14,5,1,2,12,3,11}	56.904	56.904
5	619	{8,6,10,13,1,4,15,5,11,14,2,7,9,12,3}	6.396	63.960	2.343	{10,6,13,8,4,15,1,11,2,7,14,12,9,5,3}	44.661	44.661
6	370	{8,6,10,9,13,2,7,15,12,14,4,5,1,11,3}	6.648	66.480	1.816	{6,8,9,2,15,10,13,14,12,4,1,11,3,7,5}	45.982	45.982
7	736	{8,6,10,2,13,4,15,5,12,14,7,11,3,1,9}	6.425	64.250	3.544	{6,8,2,10,13,4,15,12,7,14,11,3,9,5,1}	42.874	42.874
8	496	{8,6,2,10,13,4,9,5,12,15,7,1,11,14,3}	6.794	67.940	2.401	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	41.014	41.014
9	576	{8,6,10,1,13,4,2,15,5,3,7,12,11,14,9}	6.451	64.510	2.321	{6,8,2,15,13,4,1,10,11,12,9,7,14,5,3}	55.461	55.461
10	620	{8,6,10,2,1,4,9,5,12,15,7,14,13,11,3}	6.439	64.390	2.319	{8,6,4,1,9,2,12,7,10,13,14,15,11,5,3}	50.674	50.674
11	838	{8,6,10,9,1,4,2,5,12,14,7,11,13,15,3}	6.449	64.490	2.285	{6,8,9,1,10,2,4,12,13,15,7,14,11,5,3}	48.488	48.488
12	759	{8,6,9,2,1,4,15,5,12,14,3,13,7,10,11}	6.415	64.150	3.363	{6,4,9,1,2,15,12,14,13,10,8,7,3,5,11}	55.925	55.925
13	599	{8,6,10,2,1,4,9,15,5,13,7,11,14,12,3}	6.431	64.310	1.631	{8,6,10,9,2,4,15,1,13,7,14,11,3,5,12}	44.288	44.288
14	713	{8,6,9,2,13,4,10,5,12,7,14,11,1,15,3}	6.529	65.290	2.187	{6,8,13,4,2,10,9,12,7,11,1,15,3,5,14}	43.228	43.228
15	657	{8,6,10,2,1,4,15,13,5,7,3,12,9,11,14}	6.470	64.700	1.626	{8,2,6,10,1,4,13,15,7,11,9,12,14,5,3}	46.946	46.946
16	529	{8,6,10,2,13,4,9,15,11,1,3,14,5,12,7}	6.712	67.120	2.041	{8,6,2,10,13,4,9,11,15,1,12,7,14,5,3}	40.244	40.244

Çöz.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C02,C01,C07,C05,C06},{C02,C05,C07,C01,C03},{C02,C04,C06,C03},{C05,C01,C03},{C05}	875	43.750	158.324
2	{C02,C04,C07,C01,C03,C06},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	875	43.750	142.234
3	{C04,C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C05,C02},{C04,C05,C03},{C05,C01},{C05}	910	45.500	139.411
4	{C02,C04,C07,C06,C03},{C05,C01,C03},{C07,C05,C01,C03},{C04,C05,C03},{C04}	830	41.500	164.174
5	{C04,C01,C05,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C02},{C02,C05,C03},{C02,C01,C05},{C05}	890	44.500	153.121
6	{C03,C04,C07,C06,C02},{C07,C05,C03},{C04,C01,C05,C03},{C02,C01,C05},{C01}	895	44.750	157.212
7	{C04,C06,C07,C01,C03},{C02,C05,C03},{C04,C05},{C01,C05,C02},{C05}	855	42.750	149.874
8	{C04,C03,C01,C07,C06,C02},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C05,C01},{C05}	890	44.500	153.454
9	{C06,C04,C07,C05,C01,C03},{C02,C04,C06,C05,C03},{C05,C02},{C05,C01},{C05}	900	45.000	164.971
10	{C06,C07,C05,C01,C04,C02},{C02,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C03},{C05,C01,C04},{C05}	940	47.000	162.064
11	{C02,C01,C05,C06,C04,C07},{C02,C07,C01,C03},{C02,C05,C04},{C05,C01,C04},{C05}	955	47.750	160.728
12	{C02,C01,C05,C06,C07},{C05,C03},{C02,C04,C07,C05,C06},{C05,C01,C04},{C04}	900	45.000	165.075
13	{C03,C06,C02,C04,C07,C01},{C02,C05,C07,C03},{C05,C04},{C03,C01,C05},{C03}	855	42.750	151.348
14	{C03,C06,C04,C07,C01,C02},{C02,C04,C03},{C04,C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	151.768
15	{C06,C04,C01,C05,C07},{C02,C04,C07,C03},{C02,C05,C03},{C05,C01},{C05}	885	44.250	155.896
16	{C02,C01,C07,C04,C06},{C04,C05,C03},{C03,C05,C02},{C05,C01},{C05}	875	43.750	151.114

İterasyon No : 6 **İterasyon Detayı**

Çöz.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom.	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	2.362	{10,9,2,1,4,13,15,14,7,11,8,6,12,5,3}	52.194	52.194
2	477	{8,6,2,10,13,4,9,1,11,15,7,12,5,14,3}	6.537	65.370	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	33.114	33.114
3	321	{8,6,10,15,13,4,9,2,11,7,1,12,14,5,3}	6.371	63.710	2.189	{8,6,10,15,4,2,13,9,7,1,11,12,14,5,3}	30.201	30.201
4	473	{8,6,10,9,13,15,1,5,12,7,11,14,4,2,3}	6.577	65.770	1.632	{8,6,10,13,9,7,15,4,14,5,1,2,12,3,11}	56.904	56.904
5	619	{8,6,10,13,1,4,15,5,11,14,2,7,9,12,3}	6.396	63.960	2.343	{10,6,13,8,4,15,1,11,2,7,14,12,9,5,3}	44.661	44.661
6	370	{8,6,10,9,13,2,7,15,12,14,4,5,1,11,3}	6.648	66.480	1.816	{6,8,9,2,15,10,13,14,12,4,1,11,3,7,5}	45.982	45.982
7	736	{8,6,10,2,13,4,15,5,12,14,7,11,3,1,9}	6.425	64.250	2.344	{6,8,2,10,13,4,15,12,7,14,11,3,9,5,1}	42.874	42.874
8	496	{8,6,2,10,13,4,9,5,12,15,7,1,11,14,3}	6.794	67.940	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	41.014	41.014
9	579	{8,6,10,2,1,4,15,9,5,13,3,14,11,12,7}	6.349	63.490	3.002	{2,6,8,10,1,4,9,15,5,13,11,12,14,7,3}	44.251	44.251
10	620	{8,6,10,2,1,4,9,5,12,15,7,14,13,11,3}	6.439	64.390	2.319	{8,6,4,1,9,2,12,7,10,13,14,15,11,5,3}	50.674	50.674
11	838	{8,6,10,9,1,4,2,5,12,14,7,11,13,15,3}	6.449	64.490	2.285	{6,8,9,1,10,2,4,12,13,15,7,14,11,5,3}	48.488	48.488
12	759	{8,6,9,2,1,4,15,5,12,14,3,13,7,10,11}	6.415	64.150	2.163	{6,4,9,1,2,15,12,14,13,10,8,7,3,5,11}	55.925	55.925
13	599	{8,6,10,2,1,4,9,15,5,13,7,11,14,12,3}	6.431	64.310	1.631	{8,6,10,9,2,4,15,1,13,7,14,11,3,5,12}	44.288	44.288
14	713	{8,6,9,2,13,4,10,5,12,7,14,11,1,15,3}	6.529	65.290	2.187	{6,8,13,4,2,10,9,12,7,11,1,15,3,5,14}	43.228	43.228
15	246	{8,6,10,9,13,4,2,12,14,1,3,11,5,7,15}	6.755	67.550	3.096	{8,6,9,10,2,12,4,13,1,14,11,7,15,5,3}	44.011	44.011
16	529	{8,6,10,2,13,4,9,15,11,1,3,14,5,12,7}	6.712	67.120	2.041	{8,6,2,10,13,4,9,11,15,1,12,7,14,5,3}	40.244	40.244

Çöz.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C02,C01,C07,C05,C06},{C02,C05,C07,C01,C03},{C02,C04,C06,C03},{C05,C01,C03},{C05}	875	43.750	158.324
2	{C02,C04,C07,C01,C03,C06},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	875	43.750	142.234
3	{C04,C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C05,C02},{C04,C05,C03},{C05,C01},{C05}	910	45.500	139.411
4	{C02,C04,C07,C06,C03},{C05,C01,C03},{C07,C05,C01,C03},{C04,C05,C03},{C04}	830	41.500	164.174
5	{C04,C01,C05,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C02},{C02,C05,C03},{C02,C01,C05},{C05}	890	44.500	153.121
6	{C03,C04,C07,C06,C02},{C07,C05,C03},{C04,C01,C05,C03},{C02,C01,C05},{C01}	895	44.750	157.212
7	{C04,C06,C07,C01,C03},{C02,C05,C03},{C04,C05},{C01,C05,C02},{C05}	855	42.750	149.874
8	{C04,C03,C01,C07,C06,C02},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C05,C01},{C05}	890	44.500	153.454
9	{C06,C01,C07,C05,C02,C04},{C03,C01,C07,C02},{C04,C07,C05,C03},{C02,C05},{C05}	905	45.250	152.991
10	{C06,C07,C05,C01,C04,C02},{C02,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C03},{C05,C01,C04},{C05}	940	47.000	162.064
11	{C02,C01,C05,C06,C04,C07},{C02,C07,C01,C03},{C02,C05,C04},{C05,C01,C04},{C05}	955	47.750	160.728
12	{C02,C01,C05,C06,C07},{C05,C03},{C02,C04,C07,C05,C06},{C05,C01,C04},{C04}	900	45.000	165.075
13	{C03,C06,C02,C04,C07,C01},{C02,C05,C07,C03},{C05,C04},{C03,C01,C05},{C03}	855	42.750	151.348
14	{C03,C06,C04,C07,C01,C02},{C02,C04,C03},{C04,C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	151.768
15	{C03,C06,C07,C02,C04},{C07,C05,C01,C03},{C04,C02,C05,C03},{C05,C01,C03},{C05}	885	44.250	155.811
16	{C02,C01,C07,C04,C06},{C04,C05,C03},{C03,C05,C02},{C05,C01},{C05}	875	43.750	151.114

İterasyon No : 7 **İterasyon Detayı**

Çöz.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom.	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	2.362	{10,9,2,1,4,13,15,14,7,11,8,6,12,5,3}	52.194	52.194
2	477	{8,6,2,10,13,4,9,1,11,15,7,12,5,14,3}	6.537	65.370	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	33.114	33.114
3	321	{8,6,10,15,13,4,9,2,11,7,1,12,14,5,3}	6.371	63.710	2.189	{8,6,10,15,4,2,13,9,7,1,11,12,14,5,3}	30.201	30.201
4	484	{8,6,11,13,1,4,15,5,12,14,10,7,9,2,3}	6.435	64.350	3.489	{8,6,11,13,1,4,15,5,9,14,2,7,12,10,3}	48.790	48.790
5	619	{8,6,10,13,1,4,15,5,11,14,2,7,9,12,3}	6.396	63.960	2.343	{10,6,13,8,4,15,1,11,2,7,14,12,9,5,3}	44.661	44.661
6	370	{8,6,10,9,13,2,7,15,12,14,4,5,1,11,3}	6.648	66.480	1.816	{6,8,9,2,15,10,13,14,12,4,1,11,3,7,5}	45.982	45.982
7	736	{8,6,10,2,13,4,15,5,12,14,7,11,3,1,9}	6.425	64.250	2.344	{6,8,2,10,13,4,15,12,7,14,11,3,9,5,1}	42.874	42.874
8	496	{8,6,2,10,13,4,9,5,12,15,7,1,11,14,3}	6.794	67.940	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	41.014	41.014
9	579	{8,6,10,2,1,4,15,9,5,13,3,14,11,12,7}	6.349	63.490	1.802	{2,6,8,10,1,4,9,15,5,13,11,12,14,7,3}	44.251	44.251
10	509	{8,6,10,13,11,4,2,5,15,3,9,1,14,12,7}	6.551	65.510	3.502	{8,6,13,10,4,11,15,5,9,1,12,2,7,14,3}	49.496	49.496
11	785	{4,6,10,1,13,9,15,5,12,14,2,7,11,3,8}	6.335	63.350	3.443	{6,10,4,1,9,15,12,13,7,11,2,8,3,5,14}	50.058	50.058
12	837	{8,6,15,1,13,4,2,10,12,14,5,7,9,11,3}	6.494	64.940	2.931	{6,8,10,13,2,1,4,12,9,11,5,7,14,15,3}	54.225	54.225
13	599	{8,6,10,2,1,4,9,15,5,13,7,11,14,12,3}	6.431	64.310	1.631	{8,6,10,9,2,4,15,1,13,7,14,11,3,5,12}	44.288	44.288
14	713	{8,6,9,2,13,4,10,5,12,7,14,11,1,15,3}	6.529	65.290	2.187	{6,8,13,4,2,10,9,12,7,11,1,15,3,5,14}	43.228	43.228
15	246	{8,6,10,9,13,4,2,12,14,1,3,11,5,7,15}	6.755	67.550	1.896	{8,6,9,10,2,12,4,13,1,14,11,7,15,5,3}	44.011	44.011
16	529	{8,6,10,2,13,4,9,15,11,1,3,14,5,12,7}	6.712	67.120	2.041	{8,6,2,10,13,4,9,11,15,1,12,7,14,5,3}	40.244	40.244

Çöz.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C02,C01,C07,C05,C06},{C02,C05,C07,C01,C03},{C02,C04,C06,C03},{C05,C01,C03},{C05}	875	43.750	158.324
2	{C02,C04,C07,C01,C03,C06},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	875	43.750	142.234
3	{C04,C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C05,C02},{C04,C05,C03},{C05,C01},{C05}	910	45.500	139.411
4	{C06,C04,C01,C07,C05},{C02,C01,C03},{C02,C05,C07},{C02,C05,C06,C03},{C05}	865	43.250	156.390
5	{C04,C01,C05,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C02},{C02,C05,C03},{C02,C01,C05},{C05}	890	44.500	153.121
6	{C03,C04,C07,C06,C02},{C07,C05,C03},{C04,C01,C05,C03},{C02,C01,C05},{C01}	895	44.750	157.212
7	{C04,C06,C07,C01,C03},{C02,C05,C03},{C04,C05},{C01,C05,C02},{C05}	855	42.750	149.874
8	{C04,C03,C01,C07,C06,C02},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C05,C01},{C05}	890	44.500	153.454
9	{C06,C01,C07,C05,C02,C04},{C03,C01,C07,C02},{C04,C07,C05,C03},{C02,C05},{C05}	905	45.250	152.991
10	{C03,C01,C07,C04,C06},{C03,C01,C05,C02},{C02,C05,C07,C03},{C02,C05},{C05}	850	42.500	157.506
11	{C02,C05,C01,C06,C03},{C02,C07,C03},{C04,C07,C05,C02},{C01,C05},{C05}	885	44.250	157.658
12	{C04,C01,C05,C07,C06},{C03,C01,C04,C02},{C02,C04,C01,C05},{C05,C03},{C05}	885	44.250	163.415
13	{C03,C06,C02,C04,C07,C01},{C02,C05,C07,C03},{C05,C04},{C03,C01,C05},{C03}	855	42.750	151.348
14	{C03,C06,C04,C07,C01,C02},{C02,C04,C03},{C04,C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	151.768
15	{C03,C06,C07,C02,C04},{C07,C05,C01,C03},{C04,C02,C05,C03},{C05,C01,C03},{C05}	885	44.250	155.811
16	{C02,C01,C07,C04,C06},{C04,C05,C03},{C03,C05,C02},{C05,C01},{C05}	875	43.750	151.114

İterasyon No : 8 **İterasyon Detayı**

Çöz.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom.	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	750	{8,6,10,13,1,4,15,5,11,14,2,12,7,9,3}	6.397	63.970	3.159	{13,6,8,1,4,15,10,11,2,12,7,9,3,5,14}	47.689	47.689
2	477	{8,6,2,10,13,4,9,1,11,15,7,12,5,14,3}	6.537	65.370	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	33.114	33.114
3	321	{8,6,10,15,13,4,9,2,11,7,1,12,14,5,3}	6.371	63.710	2.189	{8,6,10,15,4,2,13,9,7,1,11,12,14,5,3}	30.201	30.201
4	758	{8,6,10,2,1,4,15,9,5,14,7,12,13,11,3}	6.446	64.460	3.250	{6,8,1,15,10,9,4,2,14,7,13,11,3,5,12}	48.054	48.054
5	619	{8,6,10,13,1,4,15,5,11,14,2,7,9,12,3}	6.396	63.960	2.343	{10,6,13,8,4,15,1,11,2,7,14,12,9,5,3}	44.661	44.661
6	370	{8,6,10,9,13,2,7,15,12,14,4,5,1,11,3}	6.648	66.480	1.816	{6,8,9,2,15,10,13,14,12,4,1,11,3,7,5}	45.982	45.982
7	736	{8,6,10,2,13,4,15,5,12,14,7,11,3,1,9}	6.425	64.250	2.344	{6,8,2,10,13,4,15,12,7,14,11,3,9,5,1}	42.874	42.874
8	496	{8,6,2,10,13,4,9,5,12,15,7,1,11,14,3}	6.794	67.940	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	41.014	41.014
9	579	{8,6,10,2,1,4,15,9,5,13,3,14,11,12,7}	6.349	63.490	1.802	{2,6,8,10,1,4,9,15,5,13,11,12,14,7,3}	44.251	44.251
10	522	{8,6,10,2,1,4,15,5,12,14,7,11,13,9,3}	6.389	63.890	2.934	{8,6,2,10,4,1,15,7,9,11,13,12,3,5,14}	48.031	48.031
11	785	{4,6,10,1,13,9,15,5,12,14,2,7,11,3,8}	6.335	63.350	2.243	{6,10,4,1,9,15,12,13,7,11,2,8,3,5,14}	50.058	50.058
12	837	{8,6,15,1,13,4,2,10,12,14,5,7,9,11,3}	6.494	64.940	1.731	{6,8,10,13,2,1,4,12,9,11,5,7,14,15,3}	54.225	54.225
13	599	{8,6,10,2,1,4,9,15,5,13,7,11,14,12,3}	6.431	64.310	1.631	{8,6,10,9,2,4,15,1,13,7,14,11,3,5,12}	44.288	44.288
14	713	{8,6,9,2,13,4,10,5,12,7,14,11,1,15,3}	6.529	65.290	2.187	{6,8,13,4,2,10,9,12,7,11,1,15,3,5,14}	43.228	43.228
15	246	{8,6,10,9,13,4,2,12,14,1,3,11,5,7,15}	6.755	67.550	1.896	{8,6,9,10,2,12,4,13,1,14,11,7,15,5,3}	44.011	44.011
16	529	{8,6,10,2,13,4,9,15,11,1,3,14,5,12,7}	6.712	67.120	2.041	{8,6,2,10,13,4,9,11,15,1,12,7,14,5,3}	40.244	40.244

Çöz.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C03,C01,C05,C07,C04,C06},{C02,C04,C07,C06,C03},{C02,C05},{C05,C01},{C05}	905	45.250	156.909
2	{C02,C04,C07,C01,C03,C06},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	875	43.750	142.234
3	{C04,C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C05,C02},{C04,C05,C03},{C05,C01},{C05}	910	45.500	139.411
4	{C03,C05,C02,C04,C06},{C02,C01,C05,C07},{C04,C07,C05,C02},{C05,C01,C03},{C03}	840	42.000	154.514
5	{C04,C01,C05,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C02},{C02,C05,C03},{C02,C01,C05},{C05}	890	44.500	153.121
6	{C03,C04,C07,C06,C02},{C07,C05,C03},{C04,C01,C05,C03},{C02,C01,C05},{C01}	895	44.750	157.212
7	{C04,C06,C07,C01,C03},{C02,C05,C03},{C04,C05},{C01,C05,C02},{C05}	855	42.750	149.874
8	{C04,C03,C01,C07,C06,C02},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C05,C01},{C05}	890	44.500	153.454
9	{C06,C01,C07,C05,C02,C04},{C03,C01,C07,C02},{C04,C07,C05,C03},{C02,C05},{C05}	905	45.250	152.991
10	{C03,C06,C05,C07,C01,C04},{C02,C04,C03},{C04,C07,C05,C03},{C05,C01},{C05}	880	44.000	155.921
11	{C02,C05,C01,C06,C03},{C02,C07,C03},{C04,C07,C05,C02},{C01,C05},{C05}	885	44.250	157.658
12	{C04,C01,C05,C07,C06},{C03,C01,C04,C02},{C02,C04,C01,C05},{C05,C03},{C05}	885	44.250	163.415
13	{C03,C06,C02,C04,C07,C01},{C02,C05,C07,C03},{C05,C04},{C03,C01,C05},{C03}	855	42.750	151.348
14	{C03,C06,C04,C07,C01,C02},{C02,C04,C03},{C04,C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	151.768
15	{C03,C06,C07,C02,C04},{C07,C05,C01,C03},{C04,C02,C05,C03},{C05,C01,C03},{C05}	885	44.250	155.811
16	{C02,C01,C07,C04,C06},{C04,C05,C03},{C03,C05,C02},{C05,C01},{C05}	875	43.750	151.114

İterasyon No : 9 **İterasyon Detayı**

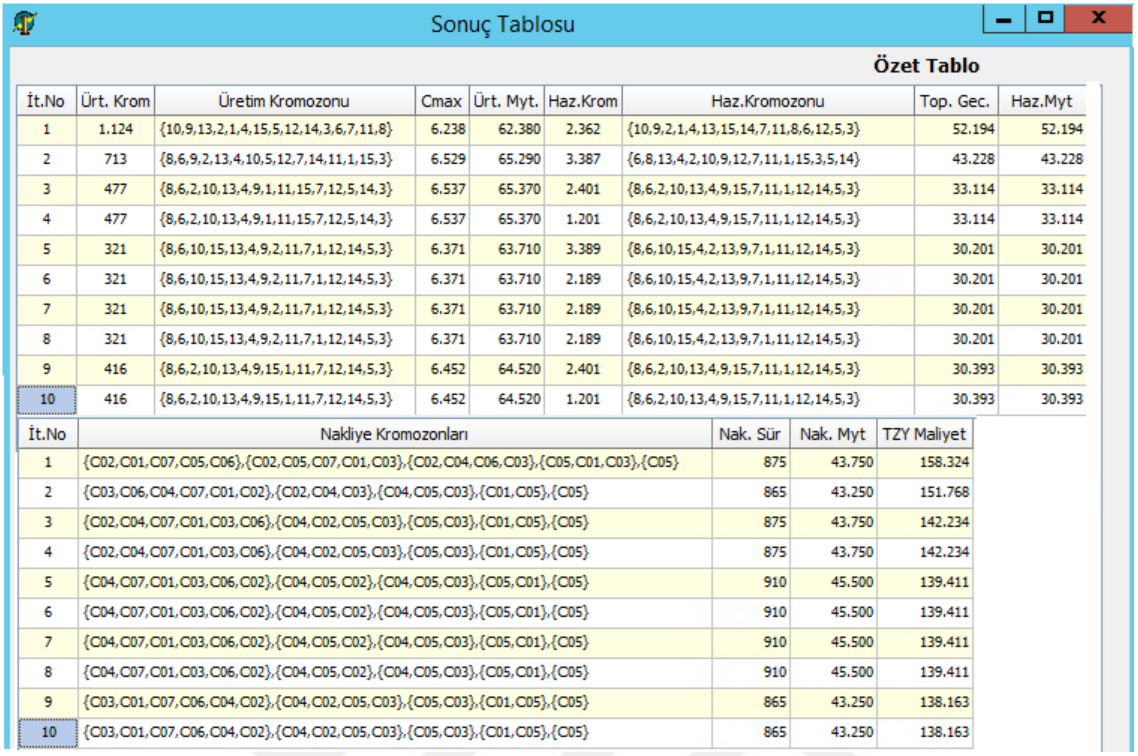
Çöz.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom.	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	750	{8,6,10,13,1,4,15,5,11,14,2,12,7,9,3}	6.397	63.970	1.959	{13,6,8,1,4,15,10,11,2,12,7,9,3,5,14}	47.689	47.689
2	477	{8,6,2,10,13,4,9,1,11,15,7,12,5,14,3}	6.537	65.370	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	33.114	33.114
3	321	{8,6,10,15,13,4,9,2,11,7,1,12,14,5,3}	6.371	63.710	2.189	{8,6,10,15,4,2,13,9,7,1,11,12,14,5,3}	30.201	30.201
4	758	{8,6,10,2,1,4,15,9,5,14,7,12,13,11,3}	6.446	64.460	2.050	{6,8,1,15,10,9,4,2,14,7,13,11,3,5,12}	48.054	48.054
5	619	{8,6,10,13,1,4,15,5,11,14,2,7,9,12,3}	6.396	63.960	2.343	{10,6,13,8,4,15,1,11,2,7,14,12,9,5,3}	44.661	44.661
6	370	{8,6,10,9,13,2,7,15,12,14,4,5,1,11,3}	6.648	66.480	1.816	{6,8,9,2,15,10,13,14,12,4,1,11,3,7,5}	45.982	45.982
7	416	{8,6,2,10,13,4,9,15,1,11,7,12,14,5,3}	6.452	64.520	2.401	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	30.393	30.393
8	496	{8,6,2,10,13,4,9,5,12,15,7,1,11,14,3}	6.794	67.940	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	41.014	41.014
9	579	{8,6,10,2,1,4,15,9,5,13,3,14,11,12,7}	6.349	63.490	1.802	{2,6,8,10,1,4,9,15,5,13,11,12,14,7,3}	44.251	44.251
10	522	{8,6,10,2,1,4,15,5,12,14,7,11,13,9,3}	6.389	63.890	1.734	{8,6,2,10,4,1,15,7,9,11,13,12,3,5,14}	48.031	48.031
11	785	{4,6,10,1,13,9,15,5,12,14,2,7,11,3,8}	6.335	63.350	2.243	{6,10,4,1,9,15,12,13,7,11,2,8,3,5,14}	50.058	50.058
12	837	{8,6,15,1,13,4,2,10,12,14,5,7,9,11,3}	6.494	64.940	1.731	{6,8,10,13,2,1,4,12,9,11,5,7,14,15,3}	54.225	54.225
13	599	{8,6,10,2,1,4,9,15,5,13,7,11,14,12,3}	6.431	64.310	1.631	{8,6,10,9,2,4,15,1,13,7,14,11,3,5,12}	44.288	44.288
14	713	{8,6,9,2,13,4,10,5,12,7,14,11,1,15,3}	6.529	65.290	2.187	{6,8,13,4,2,10,9,12,7,11,1,15,3,5,14}	43.228	43.228
15	246	{8,6,10,9,13,4,2,12,14,1,3,11,5,7,15}	6.755	67.550	1.896	{8,6,9,10,2,12,4,13,1,14,11,7,15,5,3}	44.011	44.011
16	529	{8,6,10,2,13,4,9,15,11,1,3,14,5,12,7}	6.712	67.120	2.041	{8,6,2,10,13,4,9,11,15,1,12,7,14,5,3}	40.244	40.244

Çöz.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C03,C01,C05,C07,C04,C06},{C02,C04,C07,C06,C03},{C02,C05},{C05,C01},{C05}	905	45.250	156.909
2	{C02,C04,C07,C01,C03,C06},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	875	43.750	142.234
3	{C04,C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C05,C02},{C04,C05,C03},{C05,C01},{C05}	910	45.500	139.411
4	{C03,C05,C02,C04,C06},{C02,C01,C05,C07},{C04,C07,C05,C02},{C05,C01,C03},{C03}	840	42.000	154.514
5	{C04,C01,C05,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C02},{C02,C05,C03},{C02,C01,C05},{C05}	890	44.500	153.121
6	{C03,C04,C07,C06,C02},{C07,C05,C03},{C04,C01,C05,C03},{C02,C01,C05},{C01}	895	44.750	157.212
7	{C03,C01,C07,C06,C04,C02},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	138.163
8	{C04,C03,C01,C07,C06,C02},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C05,C01},{C05}	890	44.500	153.454
9	{C06,C01,C07,C05,C02,C04},{C03,C01,C07,C02},{C04,C07,C05,C03},{C02,C05},{C05}	905	45.250	152.991
10	{C03,C06,C05,C07,C01,C04},{C02,C04,C03},{C04,C07,C05,C03},{C05,C01},{C05}	880	44.000	155.921
11	{C02,C05,C01,C06,C03},{C02,C07,C03},{C04,C07,C05,C02},{C01,C05},{C05}	885	44.250	157.658
12	{C04,C01,C05,C07,C06},{C03,C01,C04,C02},{C02,C04,C01,C05},{C05,C03},{C05}	885	44.250	163.415
13	{C03,C06,C02,C04,C07,C01},{C02,C05,C07,C03},{C05,C04},{C03,C01,C05},{C03}	855	42.750	151.348
14	{C03,C06,C04,C07,C01,C02},{C02,C04,C03},{C04,C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	151.768
15	{C03,C06,C07,C02,C04},{C07,C05,C01,C03},{C04,C02,C05,C03},{C05,C01,C03},{C05}	885	44.250	155.811
16	{C02,C01,C07,C04,C06},{C04,C05,C03},{C03,C05,C02},{C05,C01},{C05}	875	43.750	151.114

İterasyon No : 10 **İterasyon Detayı**

Çöz.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom.	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	750	{8,6,10,13,1,4,15,5,11,14,2,12,7,9,3}	6.397	63.970	1.959	{13,6,8,1,4,15,10,11,2,12,7,9,3,5,14}	47.689	47.689
2	477	{8,6,2,10,13,4,9,1,11,15,7,12,5,14,3}	6.537	65.370	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	33.114	33.114
3	321	{8,6,10,15,13,4,9,2,11,7,1,12,14,5,3}	6.371	63.710	2.189	{8,6,10,15,4,2,13,9,7,1,11,12,14,5,3}	30.201	30.201
4	758	{8,6,10,2,1,4,15,9,5,14,7,12,13,11,3}	6.446	64.460	2.050	{6,8,1,15,10,9,4,2,14,7,13,11,3,5,12}	48.054	48.054
5	619	{8,6,10,13,1,4,15,5,11,14,2,7,9,12,3}	6.396	63.960	2.343	{10,6,13,8,4,15,1,11,2,7,14,12,9,5,3}	44.661	44.661
6	370	{8,6,10,9,13,2,7,15,12,14,4,5,1,11,3}	6.648	66.480	1.816	{6,8,9,2,15,10,13,14,12,4,1,11,3,7,5}	45.982	45.982
7	416	{8,6,2,10,13,4,9,15,1,11,7,12,14,5,3}	6.452	64.520	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	30.393	30.393
8	496	{8,6,2,10,13,4,9,5,12,15,7,1,11,14,3}	6.794	67.940	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	41.014	41.014
9	579	{8,6,10,2,1,4,15,9,5,13,3,14,11,12,7}	6.349	63.490	1.802	{2,6,8,10,1,4,9,15,5,13,11,12,14,7,3}	44.251	44.251
10	522	{8,6,10,2,1,4,15,5,12,14,7,11,13,9,3}	6.389	63.890	1.734	{8,6,2,10,4,1,15,7,9,11,13,12,3,5,14}	48.031	48.031
11	785	{4,6,10,1,13,9,15,5,12,14,2,7,11,3,8}	6.335	63.350	2.243	{6,10,4,1,9,15,12,13,7,11,2,8,3,5,14}	50.058	50.058
12	837	{8,6,15,1,13,4,2,10,12,14,5,7,9,11,3}	6.494	64.940	1.731	{6,8,10,13,2,1,4,12,9,11,5,7,14,15,3}	54.225	54.225
13	599	{8,6,10,2,1,4,9,15,5,13,7,11,14,12,3}	6.431	64.310	1.631	{8,6,10,9,2,4,15,1,13,7,14,11,3,5,12}	44.288	44.288
14	713	{8,6,9,2,13,4,10,5,12,7,14,11,1,15,3}	6.529	65.290	2.187	{6,8,13,4,2,10,9,12,7,11,1,15,3,5,14}	43.228	43.228
15	246	{8,6,10,9,13,4,2,12,14,1,3,11,5,7,15}	6.755	67.550	1.896	{8,6,9,10,2,12,4,13,1,14,11,7,15,5,3}	44.011	44.011
16	529	{8,6,10,2,13,4,9,15,11,1,3,14,5,12,7}	6.712	67.120	2.041	{8,6,2,10,13,4,9,11,15,1,12,7,14,5,3}	40.244	40.244

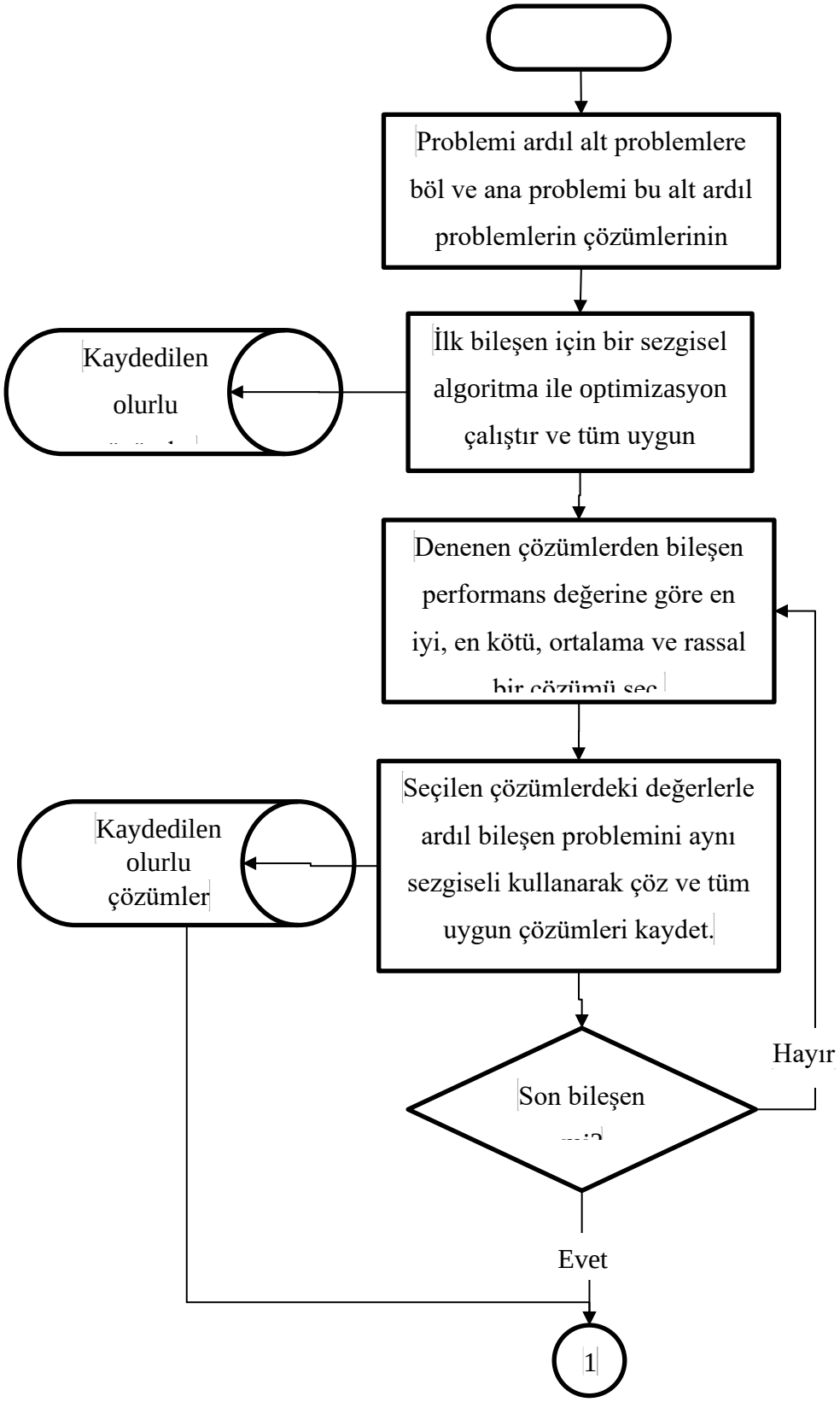
Çöz.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C03,C01,C05,C07,C04,C06},{C02,C04,C07,C06,C03},{C02,C05},{C05,C01},{C05}	905	45.250	156.909
2	{C02,C04,C07,C01,C03,C06},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	875	43.750	142.234
3	{C04,C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C05,C02},{C04,C05,C03},{C05,C01},{C05}	910	45.500	139.411
4	{C03,C05,C02,C04,C06},{C02,C01,C05,C07},{C04,C07,C05,C02},{C05,C01,C03},{C03}	840	42.000	154.514
5	{C04,C01,C05,C07,C06,C03},{C04,C07,C05,C02},{C02,C05,C03},{C02,C01,C05},{C05}	890	44.500	153.121
6	{C03,C04,C07,C06,C02},{C07,C05,C03},{C04,C01,C05,C03},{C02,C01,C05},{C01}	895	44.750	157.212
7	{C03,C01,C07,C06,C04,C02},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	138.163
8	{C04,C03,C01,C07,C06,C02},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C05,C01},{C05}	890	44.500	153.454
9	{C06,C01,C07,C05,C02,C04},{C03,C01,C07,C02},{C04,C07,C05,C03},{C02,C05},{C05}	905	45.250	152.991
10	{C03,C06,C05,C07,C01,C04},{C02,C04,C03},{C04,C07,C05,C03},{C05,C01},{C05}	880	44.000	155.921
11	{C02,C05,C01,C06,C03},{C02,C07,C03},{C04,C07,C05,C02},{C01,C05},{C05}	885	44.250	157.658
12	{C04,C01,C05,C07,C06},{C03,C01,C04,C02},{C02,C04,C01,C05},{C05,C03},{C05}	885	44.250	163.415
13	{C03,C06,C02,C04,C07,C01},{C02,C05,C07,C03},{C05,C04},{C03,C01,C05},{C03}	855	42.750	151.348
14	{C03,C06,C04,C07,C01,C02},{C02,C04,C03},{C04,C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	151.768
15	{C03,C06,C07,C02,C04},{C07,C05,C01,C03},{C04,C02,C05,C03},{C05,C01,C03},{C05}	885	44.250	155.811
16	{C02,C01,C07,C04,C06},{C04,C05,C03},{C03,C05,C02},{C05,C01},{C05}	875	43.750	151.114

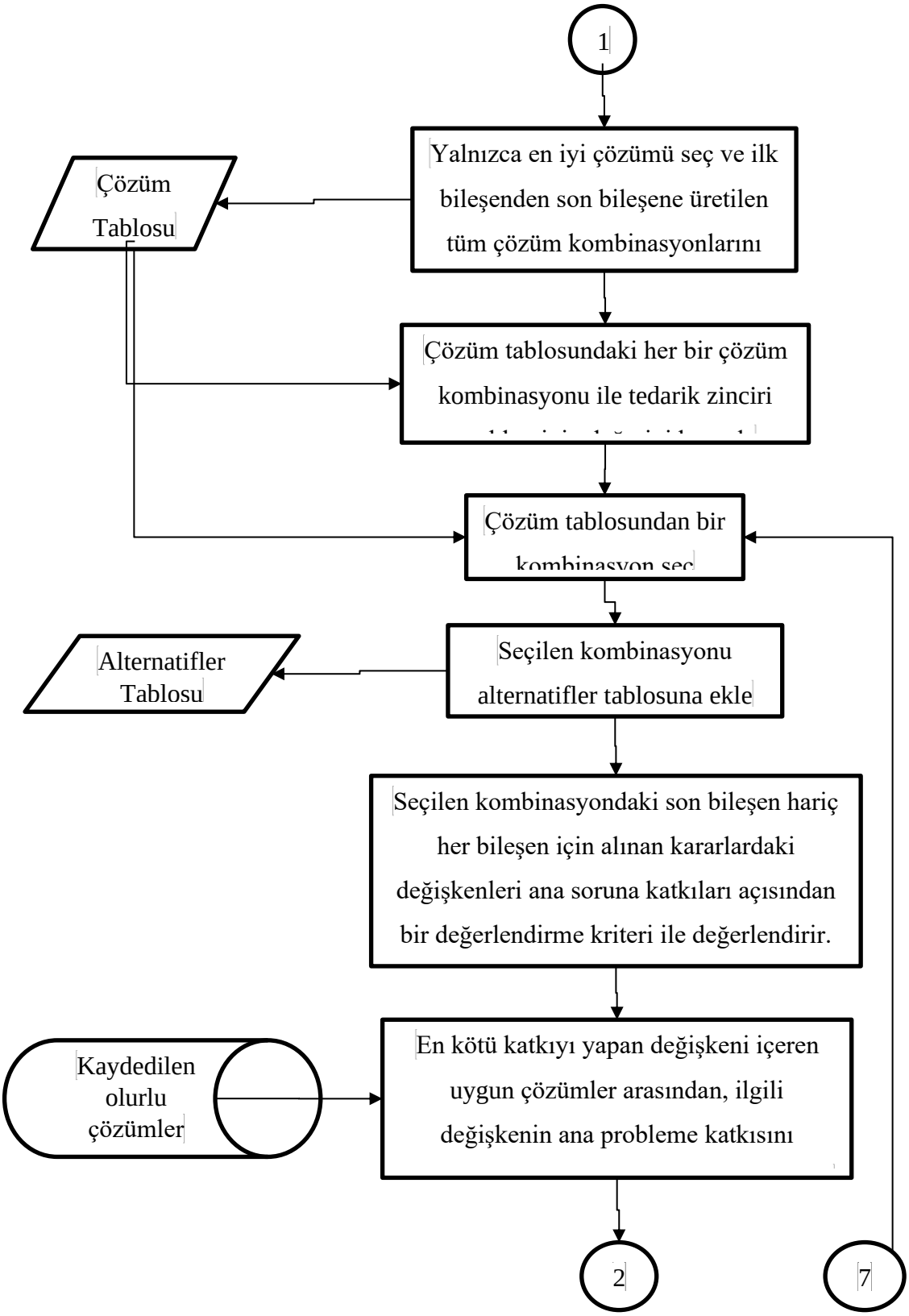


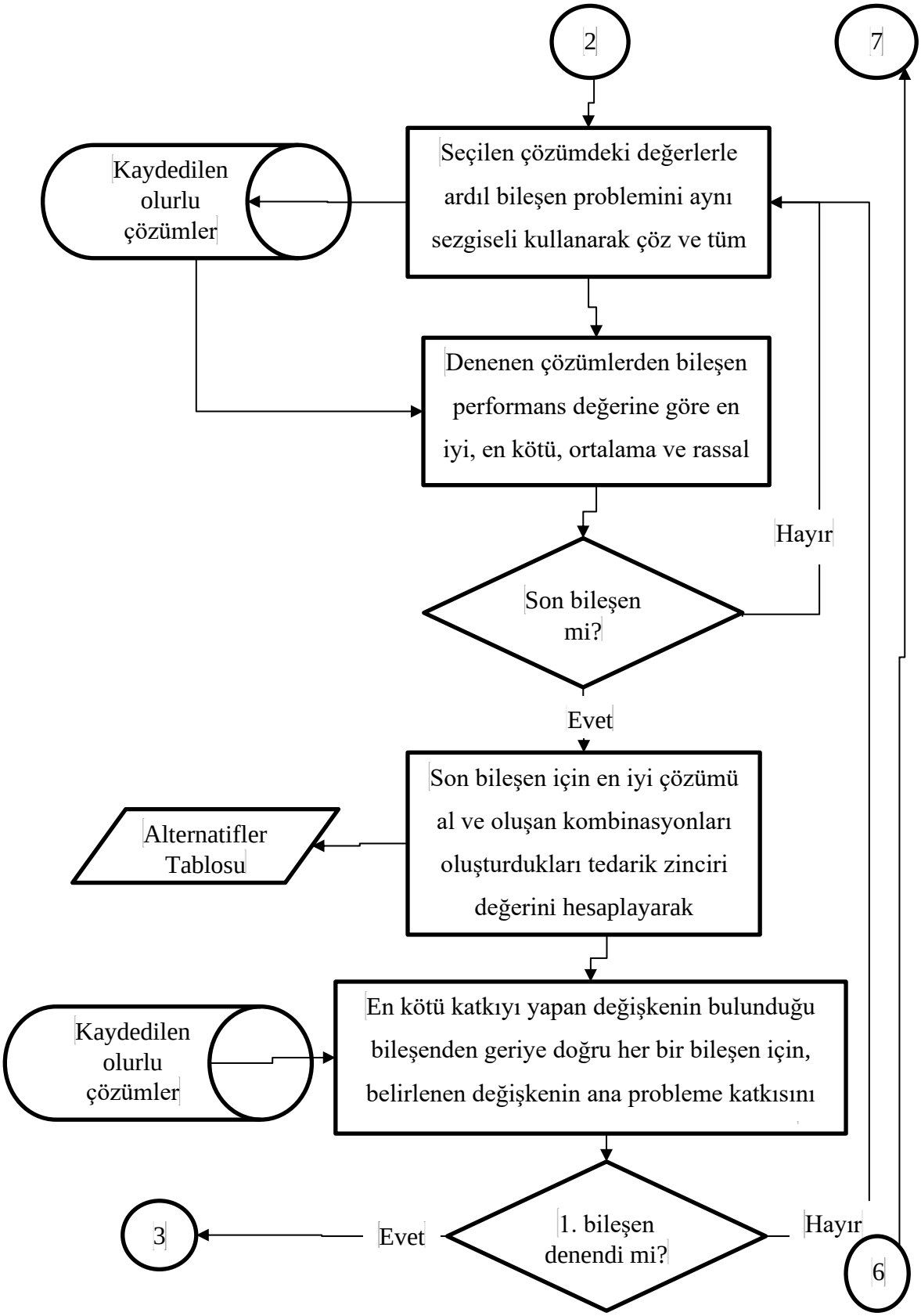
İt.No	Ürt. Krom	Üretim Kromozonu	Cmax	Ürt. Myt.	Haz.Krom	Haz.Kromozonu	Top. Gec.	Haz.Myt
1	1.124	{10,9,13,2,1,4,15,5,12,14,3,6,7,11,8}	6.238	62.380	2.362	{10,9,2,1,4,13,15,14,7,11,8,6,12,5,3}	52.194	52.194
2	713	{8,6,9,2,13,4,10,5,12,7,14,11,1,15,3}	6.529	65.290	3.387	{6,8,13,4,2,10,9,12,7,11,1,15,3,5,14}	43.228	43.228
3	477	{8,6,2,10,13,4,9,1,11,15,7,12,5,14,3}	6.537	65.370	2.401	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	33.114	33.114
4	477	{8,6,2,10,13,4,9,1,11,15,7,12,5,14,3}	6.537	65.370	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	33.114	33.114
5	321	{8,6,10,15,13,4,9,2,11,7,1,12,14,5,3}	6.371	63.710	3.389	{8,6,10,15,4,2,13,9,7,1,11,12,14,5,3}	30.201	30.201
6	321	{8,6,10,15,13,4,9,2,11,7,1,12,14,5,3}	6.371	63.710	2.189	{8,6,10,15,4,2,13,9,7,1,11,12,14,5,3}	30.201	30.201
7	321	{8,6,10,15,13,4,9,2,11,7,1,12,14,5,3}	6.371	63.710	2.189	{8,6,10,15,4,2,13,9,7,1,11,12,14,5,3}	30.201	30.201
8	321	{8,6,10,15,13,4,9,2,11,7,1,12,14,5,3}	6.371	63.710	2.189	{8,6,10,15,4,2,13,9,7,1,11,12,14,5,3}	30.201	30.201
9	416	{8,6,2,10,13,4,9,15,1,11,7,12,14,5,3}	6.452	64.520	2.401	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	30.393	30.393
10	416	{8,6,2,10,13,4,9,15,1,11,7,12,14,5,3}	6.452	64.520	1.201	{8,6,2,10,13,4,9,15,7,11,1,12,14,5,3}	30.393	30.393

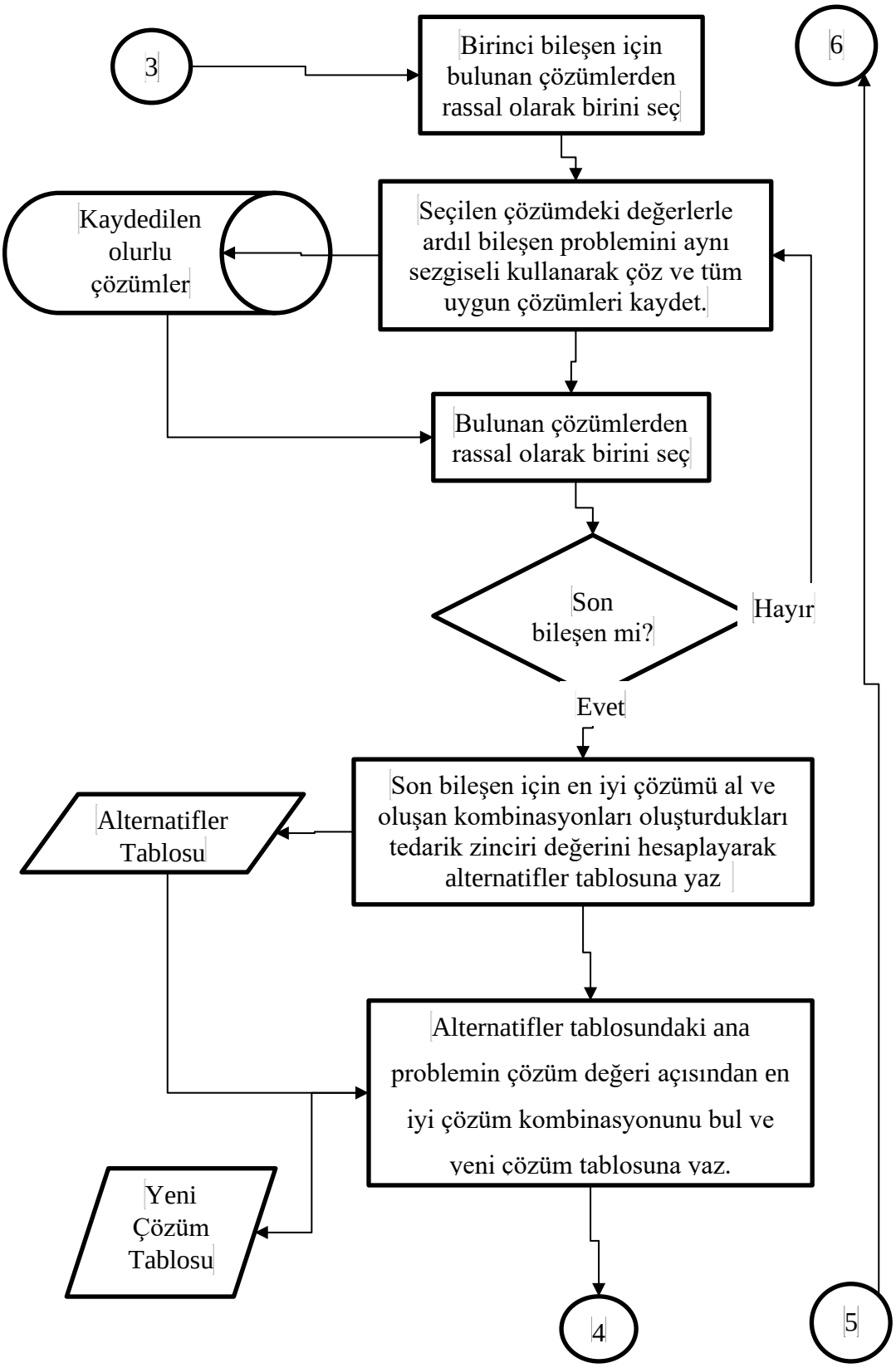
İt.No	Nakliye Kromozonları	Nak. Sür	Nak. Myt	TZY Maliyet
1	{C02,C01,C07,C05,C06},{C02,C05,C07,C01,C03},{C02,C04,C06,C03},{C05,C01,C03},{C05}	875	43.750	158.324
2	{C03,C06,C04,C07,C01,C02},{C02,C04,C03},{C04,C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	151.768
3	{C02,C04,C07,C01,C03,C06},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	875	43.750	142.234
4	{C02,C04,C07,C01,C03,C06},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	875	43.750	142.234
5	{C04,C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C05,C02},{C04,C05,C03},{C05,C01},{C05}	910	45.500	139.411
6	{C04,C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C05,C02},{C04,C05,C03},{C05,C01},{C05}	910	45.500	139.411
7	{C04,C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C05,C02},{C04,C05,C03},{C05,C01},{C05}	910	45.500	139.411
8	{C04,C07,C01,C03,C06,C02},{C04,C05,C02},{C04,C05,C03},{C05,C01},{C05}	910	45.500	139.411
9	{C03,C01,C07,C06,C04,C02},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	138.163
10	{C03,C01,C07,C06,C04,C02},{C04,C02,C05,C03},{C05,C03},{C01,C05},{C05}	865	43.250	138.163

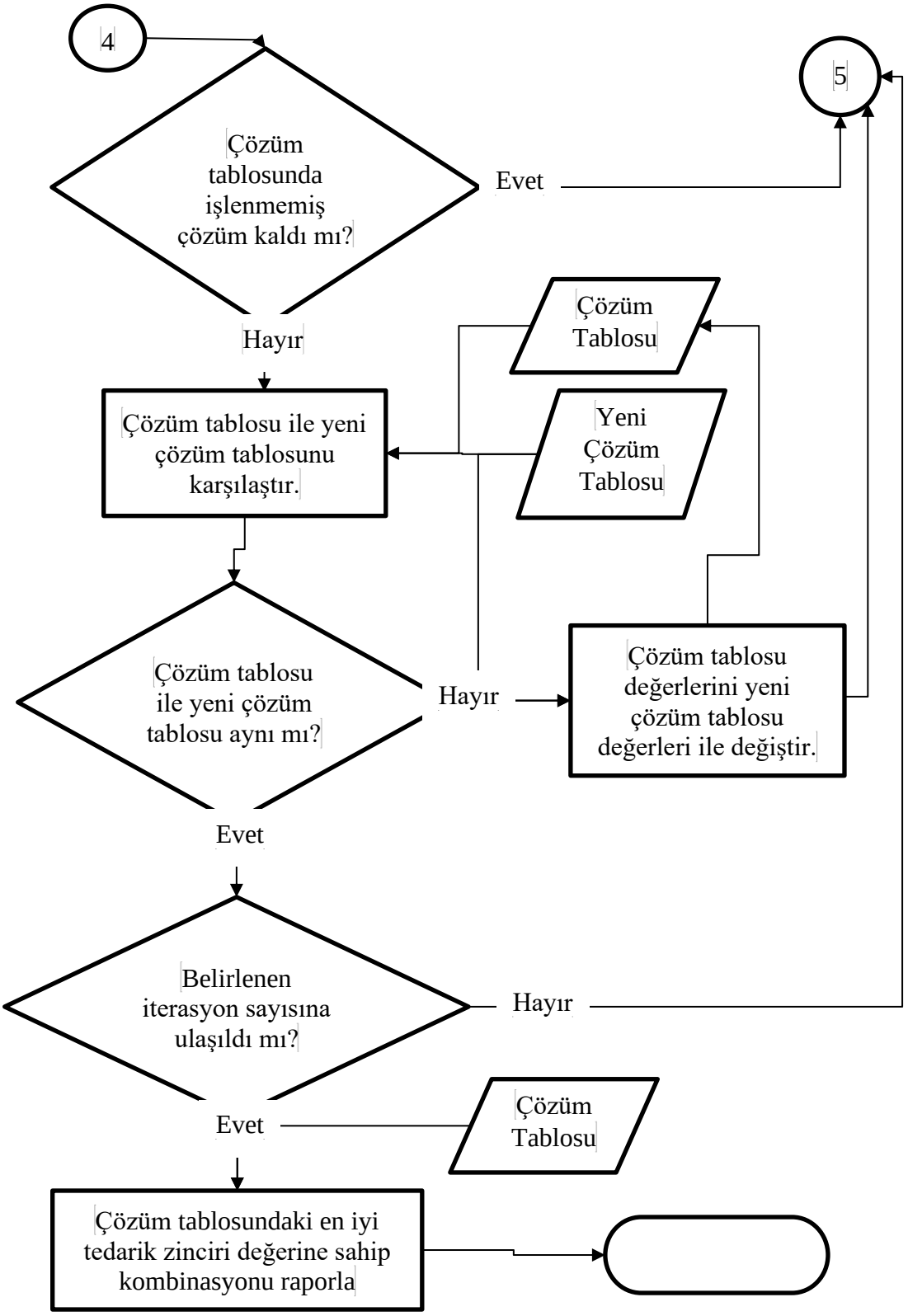
EK 2. KELEBEK ETKİSİ ALGORİTMASI AKIŞ DİYAGRAMI




1
Yalnızca en iyi çözümü seç ve ilk bileşenden son bileşene üretilen tüm çözüm kombinasyonlarını
Çözüm Tablosu
Çözüm tablosundaki her bir çözüm kombinasyonu ile tedarik zinciri
Çözüm tablosundan bir kombinasyon seç
Seçilen kombinasyonu alternatifler tablosuna ekle
Alternatifler Tablosu
Seçilen kombinasyondaki son bileşen hariç her bileşen için alınan kararlardaki değişkenleri ana soruna katkıları açısından bir değerlendirme kriteri ile değerlendirir.
En kötü katkıyı yapan değişkeni içeren uygun çözümler arasından, ilgili değişkenin ana probleme katkısını
Kaydedilen olurlu çözümler
2
7


2
7
Seçilen çözümdeki değerlerle ardıl bileşen problemini aynı sezgiseli kullanarak çöz ve tüm
Kaydedilen olurlu çözümler
Denenen çözümlerden bileşen performans değerine göre en iyi, en kötü, ortalama ve rassal
Hayır
Son bileşen mi?
Evet
Son bileşen için en iyi çözümü al ve oluşan kombinasyonları oluşturdukları tedarik zinciri değerini hesaplayarak
Alternatifler Tablosu
En kötü katkıyı yapan değişkenin bulunduğu bileşenden geriye doğru her bir bileşen için, belirlenen değişkenin ana probleme katkısını
Kaydedilen olurlu çözümler
1. bileşen denendi mi?
Hayır
Evet
3
6


3
Birinci bileşen için bulunan çözümlerden rassal olarak birini seç
6
Kaydedilen olurlu çözümler
Seçilen çözümdeki değerlerle ardıl bileşen problemini aynı sezgiseli kullanarak çöz ve tüm uygun çözümleri kaydet.
Bulunan çözümlerden rassal olarak birini seç
Son bileşen mi?
Hayır
Evet
Alternatifler Tablosu
Son bileşen için en iyi çözümü al ve oluşan kombinasyonları oluşturdukları tedarik zinciri değerini hesaplayarak alternatifler tablosuna yaz
Alternatifler tablosundaki ana problemin çözüm değeri açısından en iyi çözüm kombinasyonunu bul ve yeni çözüm tablosuna yaz.
Yeni Çözüm Tablosu
4
5


4
Çözüm tablosunda işlenmemiş çözüm kaldı mı?
Evet
5
Hayır
Çözüm Tablosu
Çözüm tablosu ile yeni çözüm tablosunu karşılaştır.
Yeni Çözüm Tablosu
Çözüm tablosu ile yeni çözüm tablosu aynı mı?
Hayır
Çözüm tablosu değerlerini yeni çözüm tablosu değerleri ile değiştir.
Evet
Belirlenen iterasyon sayısına ulaşıldı mı?
Hayır
Evet
Çözüm Tablosu
Çözüm tablosundaki en iyi tedarik zinciri değerine sahip kombinasyonu raporla

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Mustafa YILDIRIM
Doğum Yeri	Çayıralan/YOZGAT
Doğum Tarihi	10.05.1985
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	05366558951
E-Posta Adresi	myildirim_58@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Kırıkkale Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Endüstri Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2007

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Ticaret Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Makale ve Bildiriler
Yıldırım, M., Yenisey, M.M., 2019, A new successive optimization approach in supply chain management with butterfly effect algorithm, *Internatıonal engıneerıng and technology management summit*, 10-11 October 2010 Istanbul, İstanbul Technical University & Bahçeşehir University, ISBN: 978-975-561-509-7, 326-335