



**NESNELERİN İNTERNETİ İLE KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE
MÜŞTERİ DAVRANIŞLARININ ETKİSİ**

Sema KAYAPINAR

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2017

Sema KAYAPINAR tarafından hazırlanan “NESNELERİN İNTERNETİ İLE KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE MÜŞTERİ DAVRANIŞLARININ ETKİSİ ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Turan PAKSOY

Endüstri Mühendisliği, Selçuk Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN

Endüstri Mühendisliği, Selçuk Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Mehmet ATAĞ

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 05/04/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sema KAYAPINAR

05 / 04 / 2017

NESNELERİN İNTERNETİ İLE KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE MÜŞTERİ DAVRANIŞLARININ ETKİSİ

(Doktora Tezi)

Sema KAYAPINAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2017

ÖZET

Kapalı döngü Tedarik Zinciri (KDTZ), hem ileri hem de tersine Tedarik Zinciri faaliyetlerinin bütünleşmesi sonucu geliştirilen kapsamlı bir Tedarik Zinciri yapısıdır. Son yıllarda artan çevresel ve ekonomik sorunlar, kıt enerji kaynakları, üretim ve tüketim artışından kaynaklı sorunlar KDTZ yönetiminin önemini daha da ortaya koymaktadır. Günümüzde önem kazanan KDTZ içerisinde müşteri istekleri, zinciri tetikleyen önemli bir figür olmasına rağmen bu güne kadar yapılan araştırmalarda dikkate alınmamıştır. Bu çalışma kapsamında nesnelerin interneti kullanılarak geliştirilen KDTZ modelinde, müşteri satın alma davranışlarını dikkate alan yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Nesnelerin interneti ile tersine lojistikte geri dönen akıllı ürünlerin, hangi geri dönüşüm aşamasına tabii tutulacağına karar verilmektedir. İleri akışta, müşterinin satın alma davranışları dört farklı müşteri grubunda değerlendirilerek modele entegre edilmiştir. Önerilen model hipotetik verilere dayalı sayısal örnekler yardımıyla GAMS paket programında çözülmüş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Son olarak da modelin karmaşık yapısından dolayı GAMS-CPLEX ile Genetik Algoritmayı birlikte kullanarak melez bir çözüm yöntemi geliştirilmiş ve farklı boyuttaki test problemleri ile geliştirilen çözüm yönteminden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Bilim Kodu : 90615

Anahtar Kelimeler : Kapalı döngü tedarik zinciri, nesnelerin interneti, müşteri satın alma davranışları, melez genetik algoritma

Sayfa Adedi : 127

Danışman : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

THE EFFECT OF CUSTOMER BUYING BEHAVIOUR ON CLOSED LOOP SUPPLY
CHAIN OPTIMIZATION WITH INTERNET OF THINGS

(Ph.D.Thesis)

Sema KAYAPINAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2017

ABSTRACT

Closed Loop Supply Chain (CLSC) is a comprehensive Supply Chain structure developed both as a forward and a reverse integration of Supply Chain activities. Increasing environmental and economic problems in recent years, scarce energy sources, and problems related to increased production and consumption are further demonstrating the importance of the CLSC management. In spite of the fact that consumer requests constitute an important figure triggering the chain in CLSC that has become crucial recently, they have mostly been ignored in the research made up to today. Within the scope of this study, a new mathematical model has been developed which takes into account consumer buying behavior in the CLSC model, developed using the internet of things. With the internet of objects, it is decided which recycling stages smart products that are returned through reverse logistics will undergo. In the forward flow, consumer buying behavior is evaluated in four different consumer groups and it is integrated into the model. Proposed model is solved in GAMS package solver using some numerical examples. The results are discussed with test problems. Because of the complexity of the model, a solution methodology based on the genetic algorithm which hybridizes the heuristic approach with GAMS-CPLEX is developed. Results obtained by proposed solution methodology are compared for different sized test problems.

Science Code : 90615

Key Words : Closed loop supply chain, internet of things, customer buying behaviors,
hybrid genetic algorithm

Page Number : 127

Supervisor : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışması boyunca bana her konuda yardımcı olan ve çalışmama katkıda bulunan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN' e en içten teşekkürlerimi sunarım. Tecrübe ve değerli bilgileriyle tezime katkı sağlayan Prof. Dr. Turan PAKSOY ve Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN' a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca tez savunma jürimde yer alan ve tez çalışmamda yönlendiren Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN ve Doç. Dr. Mehmet ATAOK hocalarıma da teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan ve tez süreci boyunca bana manevi olarak en büyük desteği veren, attığım her adımda güven veren canım aileme sonsuz sevgilerimi sunarım.

Bu tezi aileme ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. TERSİNE LOJİSTİK KAVRAMI VE KAPSAMI.....	7
2.1. İleri ve Tersine Lojistik Farkları	8
2.2. Tersine Lojistiğin Amaçları	11
2.3. Tersine Lojistik Ağ Tasarımı	12
2.4. Tersine Lojistik Ağlarında İşlem Adımları	12
2.5. Tersine Lojistik Faaliyetleri	14
2.6. Geri Dönen Ürünlerin Analizi ve Karakteri	18
2.7. Tedarik Zinciri ve Tersine Tedarik Zinciri Arasındaki Farklar	19
2.8. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ve Tedarik Zinciri Arasındaki Farklar	20
2.9. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Sınıflandırılması	20
3. AKILLI ÜRÜNLER VE NESNELERİN İNTERNETİ	23
3.1. Akıllı Ürünlerde Ürün Yaşam Döngü Süreci	25
3.2. Kapalı Döngü Ürün Yaşam Yönetimi	26
3.3. Kapalı Döngü Bilgi Yapısı	30
3.4. Ürün Tanımlayıcı Sistemler	31
3.5. Tedarik Zinciri ve Nesnelerin İnterneti	32

4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	35
4.1. Tersine Lojistik ve KDTZ Literatür Çalışmaları.....	35
4.2. Nesnelerin İnterneti ve TZ Uygulamalarına Yönelik Literatür Çalışmaları...	49
5. KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE MÜŞTERİ DAVRANIŞLARINI İÇEREN MATEMATİKSEL MODEL	53
5.1. Geliştirilen Matematiksel Modelin Yapısı ve Varsayımları	53
5.2. Modele Ait Sayısal Örnek	66
5.2.1. Test problemleri.....	72
5.3. Küçük Boyutlu Test Problemleri.....	73
5.4. Orta Boyutlu Test Problemleri	77
5.5. Büyük Boyutlu Test Problemleri.....	80
6. ÖNERİLEN MODELİN GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ	83
6.1. Genetik Algoritma ve Tedarik Zinciri Yönetimi	84
6.2. Tedarik Zinciri ve Melez Genetik Algoritma.....	85
6.3. Deney Tasarımı ve Parametrelerin Belirlenmesi	93
6.4. Hesaplama Sonuçları.....	94
6.5. Tartışma.....	98
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	101
EK- 1. Modelin karar değişkenlerinin aldığı değerler	116
EK- 2. Küçük boyutlu test problem sonuçları (CPLEX)	117
EK- 3. Orta boyutlu test problem sonuçları (CPLEX).....	119
EK- 4. Büyük boyutlu test problem sonuçları (CPLEX)	121
EK- 5. Küçük boyutlu testlerin CPLEX – GA sonuçları	123

Sayfa

EK- 6. Orta boyutlu testlerin CPLEX – GA sonuçları.....	125
ÖZGEÇMİŞ	127



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İleri ve tersine lojistik arasındaki farkları.....	10
Çizelge 4.1. Tersine lojistik ağ tasarım ile ilgili literatür çalışmaları.....	36
Çizelge 5.1. Dönemlere ilişkin satın alınan ürün miktarları (Rlt).....	66
Çizelge 5.2. Çıkma ve sıfır parça talepleri.....	67
Çizelge 5.3. Satış ve toplama merkezi ürün talebi.....	67
Çizelge 5.4. Tedarikçiden parça temin etme maliyeti.....	68
Çizelge 5.5. Çıkma ve sıfır parça satış fiyatları	68
Çizelge 5.6. Tesisler arası uzaklık	68
Çizelge 5.7. Her bir amaç fonksiyonu değeri ve yüzdelik oranları	69
Çizelge 5.8. Problemin çözümünde kullanılan parametre aralıkları.....	72
Çizelge 5.9. Küçük boyutlu test kombinasyonları	74
Çizelge 5.10. Dönem sayısı ve CPU süresi arasındaki ilişki	74
Çizelge 5.11. Diot seviyeleri ve amaç fonksiyonu (küçük boyut).....	76
Çizelge 5.12. Diot seviyeleri ve üretim maliyeti (10 parça)	76
Çizelge 5.13. Diot seviyeleri ve amaç fonksiyonu (50 parça)	77
Çizelge 5.14. Küçük boyutlu testler için maliyet kalemleri ve CPU oranı	77
Çizelge 5.15. Orta boyutlu test kombinasyonları.....	78
Çizelge 5.16. Orta boyutlu test problemlerinin parça sayısı ve gelir-maliyeti	78
Çizelge 5.17. Parça ve maliyet ilişkisi (orta boy)	78
Çizelge 5.18. Tedarikçi–satış toplama merkezi CPU oranı	79
Çizelge 5.19. Büyük boyutlu test modellerinin kombinasyonları.....	80
Çizelge 5.20. Parça ve gelir arasındaki ilişki (büyük boyutlu test problemi)	80
Çizelge 5.21. Parça sayısı ve maliyet arasındaki ilişki (büyük boyutlu test problemi) ..	80

Sayfa

Çizelge 5.22. Diot ve gelir ilişkisi (büyük boyutlu test)	81
Çizelge 5.23. Diot seviyesi ve maliyet ilişkisi (büyük boyut)	81
Çizelge 5.24. Dönem ve maliyet ilişkisi (büyük boyutlu)	82
Çizelge 6.1. Küçük boyutu problem boyutları ve CPU süreleri	95
Çizelge 6.2. Orta boyutlu problemler ve CPU süreleri	96
Çizelge 6.3. Büyük problem boyutları ve CPU süreleri	98



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1.Çalışmanın kapsamına ilişkin algoritma.....	5
Şekil 2.1. İleri ve tersine lojistik ağ modeli	9
Şekil 2.2. Lojistik ağı içerisinde tersine lojistiğin yeri	12
Şekil 2.3. Basit bir gösterimle tersine lojistik faaliyetleri.....	13
Şekil 2.4. Geri kazanım yöntemleri	15
Şekil 2.5. Geri dönüşüm seçenekleri.....	18
Şekil 2.6. Kapalı döngü ürün yaşam döngüsü akışları.....	21
Şekil 3.1. Spagetti sosu için akıllı ürün.....	23
Şekil 3.2. Fiziksel ürün yaşam döngüsü.....	25
Şekil 3.3. Ürün yaşam döngüsü	26
Şekil 3.4. Elektronik kod bilgi servisi	28
Şekil 3.5. Kapalı döngü ürün yaşam yönetimi	29
Şekil 3.6. Kapalı döngü bilgi yapısı.....	30
Şekil 3.7. RFID sistem bileşenleri	32
Şekil 5.1. Ürün ağaç diyagramı.....	55
Şekil 5.2. Model ağ tasarımı	55
Şekil 5.3. Dört döneme ilişkin optimal çözüm ağı (1, 2, 3 ve 4. dönem)	70
Şekil 5.4. Diot seviyesi ve gelir-gider ilişkisi (5 parça, küçük boyut).....	75
Şekil 5.5. Diot seviyesi ve maliyet ilişkisi (5 parça, küçük boyut).....	75
Şekil 5.6. Diot seviyesi ve atık maliyet ilişkisi (5 parça, küçük boyut).....	75
Şekil 5.7. Diot ilişki diyagramı (orta boy)	79
Şekil 5.8. Diot seviyesi ve atık maliyeti	81
Şekil 6.1. Denge durumu genetik algoritması.....	87

Sayfa

Şekil 6.2. Melez GA algoritma şeması	89
Şekil 6.3. İkili kodlama yöntemi için kromozom yapısı.....	90
Şekil 6.4. Çift noktalı çaprazlama gösterimi.....	92
Şekil 6.5. Mutasyona uğramış kromozom	92
Şekil 6.6. Küçük boyutlu test problemindeki yüzdelik farklar	96
Şekil 6.7. Orta boyutlu test problemlerinde yüzdelik farklar.....	97



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

br

Birim

pb

Para birimi

sn

Saniye

Kısaltmalar

Açıklamalar

BA

Başlangıç Aşaması

DET

Deterministik

DP

Dinamik Programlama

EPCIS

Elektronik Kod Bilgi Servisi

FMOLP

Bulanık Çok amaçlı Doğrusal Programlama

GA

Genetik Algoritma

ILP

Tamsayılı Doğrusal Programlama

IOT

Nesnelerin İnterneti

İTZ

İleri Tedarik Zinciri

KDTZ

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri

LP

Doğrusal Programlama

MILP

Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama

MINLP

Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama

OYD

Orta Yaşam Döngüsü

PEID

Fiziksel Ürünlere Gömülü Bilgi Aygıtları

PLM

Kapalı Döngü ürün yaşam yönetimi

RFID

Radyo Frekansları Tanımlama Sistemleri

SSGA

Denge Durumu Genetik Algoritma

STOKS

Stokastik Programlama

SYD

En son Yaşam Döngüsü

TZ

Tedarik Zinciri

Kısaltmalar**Açıklamalar****TZY**

Tedarik Zinciri Yönetimi

TTZ

Tersine Tedarik Zinciri



1. GİRİŞ

Tedarik Zinciri (TZ), tedarikçiden ve fabrikadan ürün akışıyla başlayan, son müşterinin talebini karşılamasına kadar devam eden faaliyetler zinciri olarak tanımlanmaktadır. Hammadde tedarikinin yapılması, üretim ve montajı, depolaması, stok kontrolü, sipariş yönetimi, ürün dağıtımı gibi TZ faaliyetlerinin esas amacı müşteri talebini karşılayabilmektir. Bu ifadeden de anlaşılacağı üzere, TZ’ de birçok faktörler olmasına rağmen zinciri tetikleyen en önemli aktörün müşteriler olduğu söylenebilir. Müşterilere ürün ve hizmet sunmak için TZ içerisindeki ilişki ve faaliyetleri bütünsel bir bakış açısıyla değerlendirebilecek bir yönetim anlayışı gerekmektedir. Bu aşamada Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) bağımsız birim yeteneklerini bir araya getirmede ve üst düzeyde rekabet avantajı sağlama konusunda işletmelere yardımcı olacaktır.

TZY uzun yıllardır İleri Tedarik Zinciri (İTZ) akış faaliyetleri bağlamında ele alınırken, son zamanlarda ürünlerin geri dönüşümüne de uygulanmaya başlanmıştır. Üretici, tüketici ve hükümetleri ilgilendiren konular, örneğin doğal kaynakların kıt olması, üretim ve tüketimde meydana gelen artış ve çevre sorunları Tedarik Zinciri yönetimine bakışı da etkilemiştir. Toplumdaki bütün aktörleri (üretici, tüketici, devlet ve hükümetleri) ilgilendiren bu sorunların ortadan kaldırılması/azaltılması için ürün geri kazanım seçenekleri ve Tersine Tedarik Zinciri (TTZ) Yönetimi gibi kavramlar ortaya çıkmıştır. TTZ çevresel faktörler de dikkate alınarak mamul/işlenmiş ürünlerin geri dönüşümünde uygulanmaya başlanmıştır. Bu yapının ileriki zamanlarda tek başına yeterli olamayacağı düşüncesinden hareketle, İTZ ve TTZ yapıları entegre edilerek TZY’ ye farklı bir bakış açısı getiren KDTZ yaklaşımı geliştirilmiştir. Son yıllarda araştırmacıların yoğun bir şekilde incelediği KDTZ, daha düşük toplam maliyet sağlamakla birlikte, yönetsel ve çevresel düzenlemelere uygulanmasına da imkân vermektedir (Kannan, 2009). Ürünlerin yaşam döngüsünü arttırmayı, yeniden kullanımını, kaynakların iyileşmesini, geri dönüşüm faaliyetlerini içeren KDTZ yönetimi, “Ufuk 2020” programı kapsamında Avrupalı araştırmacıların ilgilendiği konular arasındadır (Battini ve diğerleri, 2017).

Son yıllarda, teknolojik gelişmelerin artışıyla birlikte ürünlerin Tedarik Zinciri içerisindeki takibinde büyük kolaylık sağlanmıştır. Radyo Frekanslı Tanıma Teknolojisi (RFID) ve sensörlerin yardımıyla ürünlerden, toplanan veriler internet aracılığıyla çevredeki nesnelere iletilmektedir.

Teknolojideki bu gelişim, literatürde yeni bir kavram olan, Nesnelerin İnterneti teriminin kullanılmasını beraberinde getirmiştir.

Günümüzde Nesnelerin İnterneti gündelik hayatın her alanına yayılmış durumda olup, ulaştırmada da birçok faaliyeti kolaylaştırmaktadır. Akıllı ulaşım sistemleri aracılığıyla, trafikte bulunan araç sayısı tespit edilmektedir.

Nesnelerin İnterneti sayesinde kusurlu depolama tespit edilerek, olası bir ögenin düşme olasılığı hesaplanabilmektedir. RFID sayesinde depoda kalan ürün ve hammadde miktarları an ve an izlenebilir ve nesnelerin hareketi kolaylıkla takip edilebilir. Böylece depoda kalan ürün miktarı, ne kadar ürünün sipariş edildiği, ihtiyaç duyulan ürün miktarı gibi bilgiler güncel ve hızlı bir şekilde temin edilebilmektedir. Akıllı depo süreçleri ile ısı ve aydınlatma sensörleri eklenerek enerji ve gider tasarrufu da sağlanmaktadır. Aynı zamanda, depolarda ürünlerin taşınmasında kullanılan forklift hızı, sensörler ile kontrol edilebilmekte, dolayısıyla hareket halindeyken kayma önlenmekte ve risk minimize edilmektedir. Forklift zeminine yerleştirilen RFID etiketleri forkliftlerin hızlarını belirlemesine ve nerede daha yavaş olması gerektiğine de imkân verebilmektedir. Akıllı otomatik depolama sistemleriyle konveyör ve ayrıştırma sistemleri, ürün ve malzemeleri kolaylıkla ayrıştırabilir, parçaları ilgili yerlere daha kolay ve kısa sürede yerleştirebilir. Nesnelerin İnterneti yalnızca ulaştırma ve tedarik zincirler üzerinde etkili değil aynı zamanda çalışanların hayatlarını kolaylaştırabilir, akıllı yürüyüş yolları ve akıllı depo yönetimleriyle verimlilik daha da artırılabilir (Lee, 2015).

Sensörler ile üretim ekipmanları birbiriyle iletişim halinde olabilmektedir. İnternete bağlı ekipmanlar ve aygıtlar ile üretim sırasında oluşan problemler daha hızlı tespit edilebilmekte, kendi kendine hata ayıklama sistemi ile potansiyel hatalar önceden fark edilerek üretim maliyetinin düşmesi sağlanmaktadır. Hata ayıklama sistemi otomatik olarak yapılmakta ve insan müdahalesine gerek duyulmamaktadır.

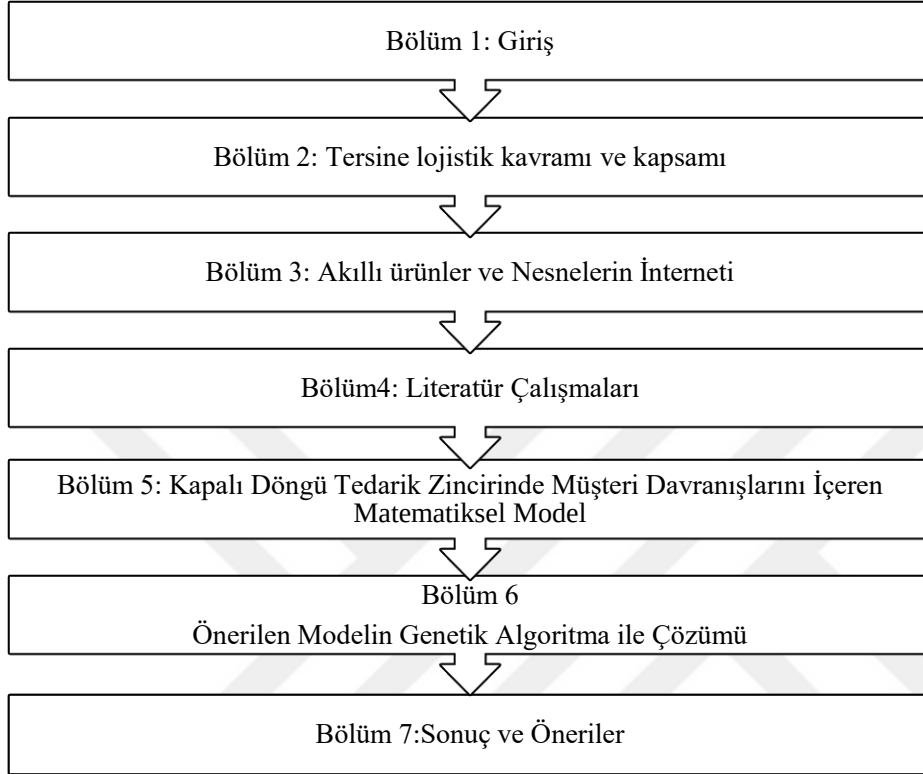
Tedarik Zinciri boyunca taşınan ürünlerin takibi ürünlere gömülü RFID ve sensörle yapılmaktadır. Bu aygıtlardan gelen sinyaller ile ürünün hangi aşamada ve nerede olduğu bilgisine kolaylıkla sahip olunmaktadır. Bu sayede bozulabilecek ürün bilgisi kısa sürede fark edilerek ürün değer kaybı azaltılacak ve ortaya çıkan maliyet minimize edilecektir (Lee, 2015).

Nesnelerin İnterneti ile ürün yaşam döngüsünün tüm adımları da kolaylıkla izlenebilmektedir. Ürün yaşam döngüsü ile ilgili tüm bilgilerin yönetilmesiyle, lojistik faaliyetlerinde ortaya çıkan birçok belirsizlik ortadan kaldırılmaktadır. Tedarik süreci boyunca bilgiler kesin ve güncel olarak saklanmaktadır. Tersine lojistik faaliyetlerinde önemli bir yer tutan Nesnelerin İnterneti ile müşteriden geri dönen ürünün hangi geri dönüşüm aşamasına tabii tutulacağı ve ürün demonte edilmeden önce belirlenebilmektedir. Bu sayede tersine lojistik faaliyetlerinde görülen belirsizliklerin çoğu göz ardı edilerek maliyet minimize edilecektir. Üretim sürecinde, ürün parçalarının içerisine yerleştirilen diot aygıtlarıyla (PLM) ürün yaşam döngü bilgileri kayıt edilebilmektedir. Radyo frekans dalgalarıyla alınan bilgiler, bilgisayarlara aktarılmakta ve daha sonra bu mevcut bilgiler işlenmektedir. Ürünün tersine akışından kaynaklı belirsizlikler bu şekilde ortadan kalkmakta ve geri dönüş hakkında daha kesin bilgiler elde edilmektedir. Mevcut çalışmada, KDTZ ağ tasarımı için yeni bir model geliştirilmiş ve TZ içerisinde akış halinde olan ürünlerin (RFID ve sensör vb. gömülü ürünler) olduğu varsayımı altında yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir (Gu, 2013).

Müşteri olmadan bir TZ ağ yapısı kurulamaz. Tedarik Zincirini tetikleyen en önemli unsuru müşterilerdir, bu sebeple müşterilerin davranışı ve tutumu TZY üzerinde oldukça önemli yer tutmaktadır. Bu çalışmada, müşteri satın alma davranışının TZY üzerine etkisi incelenmiştir. Geliştirilen yeni modelde, satın alma davranışı, yok satmayı kabul eden ve etmeyen müşterilerin göstermiş olduğu davranış biçimine göre değerlendirilmiştir. Yok satmayı kabul etmeyen müşteriler ilk grup müşterilerdir ve talep edilen miktarı bulamadığı durumda ürünü satın almaktan vazgeçeceklerdir. Bu durum “kayıp satış” olarak ifade edilmektedir. Kayıp satışta, satıcı direkt olarak gelir ve kar kaybına uğrayacaktır. Örneğin 1 birim ürünün karı 10 TL ise satıcı 40 birimlik ürün karşılayamadığı durumda, 400 TL’lik bir satış kaybı yaşayacaktır. Yok satma kısa vadede satış kaybına, uzun vadede müşteri kaybına neden olmaktadır (Telsang, 2008). Bu çalışmada, yok satmayı kabul eden müşteriler, kendi aralarında üç gruba ayrılmaktadır. Bunlardan ilki “1 aylık” yok satmayı kabul eden müşteri, bir diğeri “2 aylık” yok satmayı kabul eden müşteri ve diğeri “3 aylık” yok satmayı kabul eden müşteri grubu olarak ifade edilmektedir. Her dönem farklı müşteri talebi olacak şekilde ve söz konusu satış ve toplama merkezinin yok satma maliyetine katlanacağı varsayımı altında yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı müşteri satın alma davranışlarının, matematiksel model olarak modellenmesidir. Çalışmada ileri ve tersine lojistik faaliyetleri bütünleştirilerek; ileri akış da müşteri satın alma davranışlarının etkisini, tersine akışta ise Nesnelerin İnterneti özelliklerini kullanarak yeni bir model geliştirilmiştir. Bu çalışmada, son yıllarda bilgi teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte ortaya çıkan akıllı ürünlerin TZ içerisindeki davranışlarını anlayabilmek ve matematiksel model olarak geliştirebilmek üzerine kurulmuştur. Bu amaçla çok tesisli, çok dönemli, tek ürünlü ve çok parçalı, kapasite kısıtlı karma tamsayılı bir matematiksel model, belli varsayımlar altında GAMS – CPLEX ile çözülmüş ve problem boyutu arttırılıp farklı parametreler altında modelin davranışları gözlemlenmiştir. Büyük boyutlu problemlerde ortaya çıkan KDTZ problemi geleneksel optimizasyon yöntemler ile optimal sonucu garanti edemeyeceği için meta sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Son yıllarda, meta-sezgisel algoritmalar KDTZ’ nin tasarımında, yönetiminde, analizinde ve gelişiminde kökten değişikliklere yol açmıştır. Meta-sezgiseller modern tedarik zincirleri problemlerinde (büyük boyutlu, çok parametrelili, çok amaçlı ve doğrusal olmayan problemler) kısa sürede iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Pratik araştırma uzayı geniş olan bu problemlerde, geleneksel teknikler yeteri kadar etkinlik gösterememektedir. Bu amaçla, makul sürelerde Genetik Algoritma (GA) sezgiseli geliştirilmiştir. GA, Tabu Arama ve Tavlama Benzetimi gibi diğer meta-sezgisel yöntemlerden farklı olarak, tek bir noktadan arama yapmak yerine, popülasyon tabanlı bir algoritma olduğu için noktalar kümesinde arama yapmaktadır. Böylece bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. İlk kez Holland (1962) tarafından geliştirilen Genetik Algoritma, evrimsel sürece benzer bir şekilde çalışmakta olup, arama ve en iyileme algoritmalarından biridir. GA, bir başlangıç çözüm kümesi ile başlar ve uygunluk fonksiyonu değerleri yüksek olan bireyler yeni nesillere aktarılır, kötü olanlar ise yok edilir. Böylece kısa sürede iyi sonuçlar elde edilir.

Çalışmanın kapsamı şematik olarak özetlenmiştir. Yukarıda belirtilen amaçlar da belirli bir içerikte Şekil 1.1’ de gösterilmektedir.



Şekil 1.1.Çalışmanın kapsamına ilişkin algoritma

Çalışmanın metodolojisi ve planı

Çalışmada öncelikli olarak, kavramsal boyut ele alınarak TTZ ve KDTZ zinciri, dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyon problemi detaylı bir şekilde tanımlanmıştır. Daha sonra, yeni bir kavram olan akıllı ürünler ve Nesnelerin İnterneti ilişkin tanım ve özellikler, akıllı ürünlerin ürün yaşam döngüsü ve Tedarik Zincirinde uygulama alanları açıklanmıştır. Bölüm 2’ de tersine lojistik kavramı ve tersine lojistiğin amacına ilişkin kavramsal ifadeler yer verilmiştir. İleri ve tersine lojistik arasındaki farklılıklar ve tersine lojistiğin günümüzdeki önemi üzerine bilgiler verilmiştir. Akıllı ürünler ve Tedarik Zinciri yönetimine ilişkin tanımlar Bölüm 3’te açıklanmıştır. Yeni bir kavram olan akıllı ürünlerin tanımı, özellikleri, kullanıldıkları alanlar ve ürün yaşam döngü süreci kapsamlı bir şekilde belirtilmiştir. Çalışmanın temel konularından biri olan ürün yaşam döngü sürecindeki en son yaşam döngüsü ve faaliyetleri üzerinde durulmuştur. Mevcut konuyla ilgili literatür çalışması, hem TTZ ve KDTZ hem de Nesnelerin İnterneti ve Tedarik Zinciri konusunda

yapılmış çalışmalar Bölüm 4’de ele alınmıştır. Bölüm 4’ de tersine lojistik ve KDTZ ilgili 1999-2017 yılları arasındaki çalışmalar derlenmiştir. Bölüm 5’te, materyal ve yöntemler kısmı altında, matematiksel model incelenmiş ve analiz edilmiştir. Mevcut model hipotetik veriler kullanılarak çözülmüştür. Bölüm 6’da, problem boyutu genişletilmiş, farklı parametre aralıklarında üç farklı boyutta test problemleri üretilerek meta-sezgisel bir yöntem olan melez Genetik Algoritma ile çözümler yapılmış ve performans sonuçları GAMS-CPLEX ile kıyaslanmıştır. Bölüm 7’de sonuç ve öneriler verilerek tez çalışması sonlandırılmıştır.



2. TERSİNE LOJİSTİK KAVRAMI VE KAPSAMI

Tersine Tedarik Zinciri (TTZ), kullanılmış veya kullanılmamış ürünlerin müşteriden geri alınması, imha edilmesi, tekrar kullanılması ve satılmasını içeren faaliyetlerin bütünü olarak tanımlanmaktadır. Ürünün yeniden üretilmesi, geri kazanımı, imha edilmesi, kaynakların etkin bir şekilde kullanılması ya da parçaların akışını yönetmek için Tedarik Zincirinin geriye doğru tasarımı “Tersine Lojistik” (Reverse Logistics) olarak ifade edilmektedir (Karaçay, 2005).

Tersine lojistik hakkındaki ilk tanım Lambert ve Stock (1981) tarafından yapılmıştır. Tek yöndeki ürün gönderiminin (ileri lojistik) öneminden dolayı tersine lojistik, “...tek yönlü bir yolda yanlış yönde gitmek” olarak tanımlanmıştır (Lambert ve Stock, 1981:235) 1980’ler boyunca tersine lojistik kavramı, birincil akışa karşıt olarak, müşteriden üreticiye doğru ürünün hareketi ile sınırlı olmuştur. 1998’de Stock, tersine lojistiği “ürün dönüşleri, kaynak azaltılması, geri kazanım, materyal ikamesi, materyallerin yeniden kullanımı, atıkların yok edilmesi ve yakılması, tamir ve yeniden üretimde lojistiğin rolü” olarak tanımlamıştır.

Fleischmann ve diğerlerine (1997) göre tersine lojistik, kullanıcıya artık gerekmeyen kullanılmış üründen pazarda yeniden kullanılabilen ürüne kadarki tüm lojistik aktiviteleri kapsayan bir süreçtir. Bu tanıma göre tersine lojistik, dağıtım planlaması açısından, kullanılmış ürünün son kullanıcıdan üreticiye doğru fiziksel nakliyesini içerir. Sonraki adım ise geri dönen ürünün, üretici tarafından yeniden kullanılabilir ürün haline dönüştürülmesidir.

Dowlathshahi (2000), üreticinin, olası geri kazanım, yeniden üretim veya yok etmek için tüketim noktasından gönderilmiş ürün veya parçaları sistematik olarak kabul etmesi sürecini tersine lojistik olarak adlandırmıştır. Tersine lojistik sistemi, yeniden üretim, geri kazanım, yok etme veya kaynakları etkin şekilde kullanmak üzere ürün veya parçaların akışını yönetmek için yeniden tasarlanmış Tedarik Zincirini yapısıdır.

Tersine lojistik; hammadde, yarı mamul, nihai ürün ve buna ilişkin bilgilerin tüketim noktasından kaynak noktasına doğru, değer kazanımı veya uygun şekilde yok edilmesini sağlamak amacıyla etkin akışını planlama, uygulama ve kontrol etme faaliyetleridir (Kaymak, 2010).

Lojistik Yönetim Konseyi (The Council of Logistics Management), tersine lojistikle ilgili bilinen ilk tanımını 1990'lı yıllarda yapmıştır. Buna göre kavram, hammaddelerin, halen süreçte bulunan elemanların, bitmiş ürünlerin tüketim noktasından üretim noktasına kadar tekrar değerlendirilmesi ve düzgün bir şekilde elden çıkarılması anlamına gelmektedir.

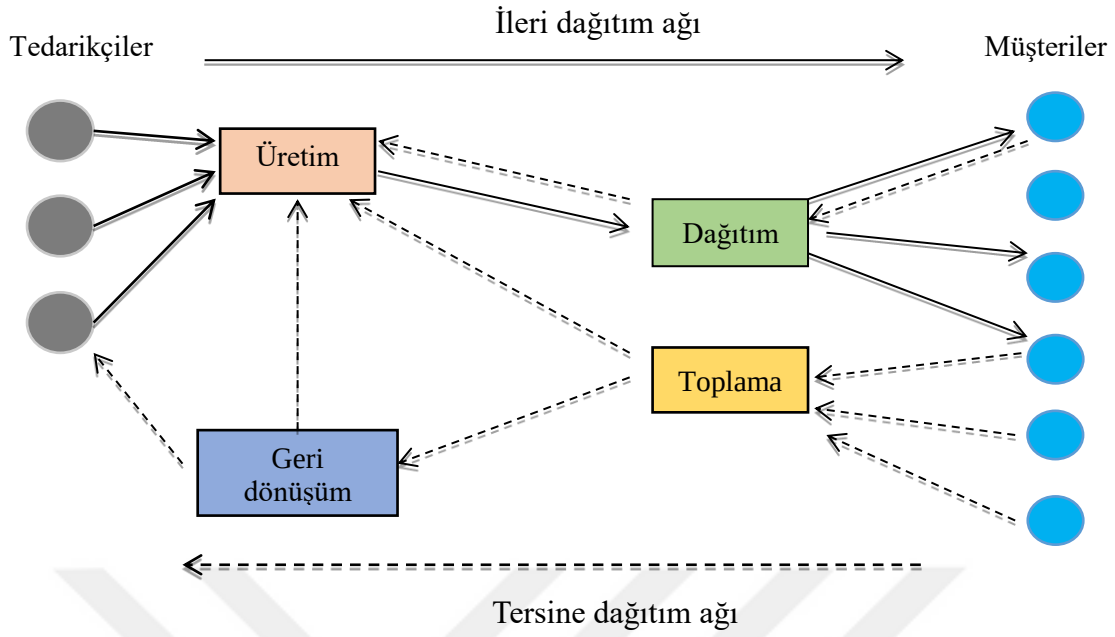
Bugüne kadar yapılan çalışmalardan yola çıkarak tersine lojistik kavramı, “...hammaddelerin, yarı mamullerin, mamullerin ve ilgili bilgilerin etkili ve maliyet etkin bir biçimde tüketim noktasından üretim noktasına olan akışı; ürünün yeniden değerlendirilmesi veya ürünü elden çıkarmak için yapılması gereken işlerin planlanması” biçiminde tanımlanabilir (De Brito, 2002; 65).

Kullanılmış ürünlerin yeniden kullanımı, kullanılmayan ürünlerin ya da ürün parçalarının yeniden üretim yerine taşınması gibi faaliyetlerin sürdürülmesini ifade eden tersine lojistik, ürün dağıtımını için kullanılan geleneksel dağıtım kanalının yanı sıra, alternatif bir akış oluşturacak şekilde diğer kanallar vasıtasıyla ya da her iki seçenek birden kullanılarak gerçekleştirilebilir. Tersine lojistikte ürün akışı için dağıtım kanallarının etkin bir biçimde tasarlanması ve kullanılması önemlidir. Ürünlerin nihai tüketim noktasından üretim noktasına dönmesini kolaylaştıracak şekilde tasarlanmış bir dağıtım kanalı sayesinde, işletmeler ürünleri tekrar işleme sokabilir, geri dönüşüme dâhil ederek üründe kalmış değeri kazanabilir ya da imha seçeneğini değerlendirebilir. Başarılı tasarlanmış bir Tedarik Zinciri de daha önceden kullanılması düşünülmemiş ya da kullanılmamış kaynaklardan faydalanma imkânını ortaya çıkarır (Dowlatsahi, 2005).

Tüketim noktası, başlangıç müşterilerin tüketimde üstlendikleri rol olarak karşımıza çıkmaktadır Tersine lojistik, geleneksel lojistiğin bir adım ötesine geçerek tüketicinin ihtiyaç duyulan ürünü gönüllü olarak vermesidir (Diaz, 2004).

2.1. İleri ve Tersine Lojistik Farkları

İleri ve tersine lojistikte dağıtımın birlikte ele alınması Tedarik Zincirindeki önemli konulardan biridir. TTZ her ne kadar İTZ' nin bir simetrisi gibi görünse de, iki dağıtım genel yapısı birbirinden farklıdır. Bu durum Şekil 2.1' de gösterilmiştir (Karaçay, 2005).



Şekil 2.1. İleri ve tersine lojistik ağ modeli (Karaçay, 2005)

Tersine lojistik de geri dönen ürün miktarı ve bu ürünlerin ne zaman döneceği belirsizdir. Firmaların ürettikleri her bir ürün çeşidinin geri dönüş miktarları da farklılık göstermektedir. Bu sebepten dolayı tersine lojistikte, talep tahmini, ürün planı ve ürün kontrolü belirsizliklere sahiptir.

İleri lojistikte ürün akışı bir kaynak noktasından birçok dağıtım noktasına doğru iken, tersine lojistikte ürün akışı birden çok tüketiciden bir üreticiye doğrudur. Hız ve maliyet kazancı elde etmek için geri alımlar, perakendeciler aracılığı ile de gerçekleştirilebilir. İleri ve tersine lojistiğin bazen aynı dağıtım veya toplama noktalarına sahip olması, bunların bütünleştirilebileceği anlamına gelmez.

Geri dönen ürünlerin belli bir kalitesi olmadığı için ürün için standart bir fiyat vermek oldukça güçtür. Fiyatlandırma geri dönen ürün miktarı, ürünün kullanma süresi ve ürün içinde kullanılabilecek parça sayısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Kaymak, 2010).

İleri lojistik maliyetleri tanımlı ve belirlidir. İleri akış boyunca oluşacak maliyetleri izleyecek şekilde muhasebe sistemleri tanımlanmıştır. Tersine lojistikte ise farklı maliyetler, ileri lojistikten farklı şekilde oluşmaktadır. Nakliye işlemleri ile ilgili maliyetler, tersine lojistiğin en önemli maliyetlerinden biridir. Paketlemenin tam olarak yapılmaması ve

taşınacak miktarın çok olmaması, taşıma maliyetlerini arttırır. Geri dönen ürün miktarı daha az olduğu için stok bulundurma maliyetinin daha düşük olması beklenebilir. Ürünün ikinci el pazardaki değeri ise paketlemenin düzgün yapılıp yapılmaması, bozulmalar ve mevsimsel dalgalanmalar gibi etmenlere bağlı olarak düşebilir.

İleri lojistikte ürün ve paketleme standart olup aynı kalitededir. Bundan dolayı, taşıma daha kolay yapılabilir. Bu durum geri dönen ürünlerde tam tersidir. Geri dönen ürün miktarı, tedarikçiden müşteriye giden ürün miktarından çok olmadığı için taşımayı kolaylaştıran paketlemeler (paletler, konteynerler) kullanılmaz. Geri dönen ürünün paketlenmesi standart olmadığı için taşınması oldukça zordur.

İleri lojistikte uygulanan stok politikası tersine lojistik için geçerli değildir. Geri dönen ürünün satış fiyatı ve talebi gibi belirsizlikleri söz konusu olduğu için stok politikası belirli olmamaktadır.

İleri akışta firmalar bilişim sistemleri sayesinde ne kadar ürünün hangi tesislerde dolaştığı bilgisine sahip olurken, tersine akışta bu durum mevcut değildir. Tersine lojistik de geri dönen ürünü takip edecek bir bilgi sistemi yoktur. İleri ve tersine lojistik arasındaki farklar Çizelge 2.1’ de gösterilmiştir (Tibben ve diğerleri, 2002).

Çizelge 2.1. İleri ve tersine lojistik arasındaki farklar

İleri Lojistik Özellikleri	Tersine Lojistik Özellikleri
Tahminler göreceli olarak açık/ belirgindir Taşıma birden çoğa doğrudur Ürün kalitesi standarttır Ürün paketlenmesi standarttır Gidecek yer bellidir Kanallar standartlaştırılmıştır Fiyat standarttır Maliyetler belirgindir Stok yönetimi tutarlıdır Taraflar arası açık ve anlaşılır Pazarlama yöntemleri belirlidir	Tahmin etmek zordur Taşıma çoktan bire doğrudur Ürün kalitesi standart değildir Ürün paketi çoğunlukla zarar görmüştür Gidecek yer belirli değildir İstisnalar yönlendirir Fiyat birçok etmene bağlıdır Maliyetler daha az belirgindir Stok yönetimi tutarlı değildir Taraflarla anlaşmalar ek varsayımları karmaşıktır Pazarlama daha karmaşık

2.2. Tersine Lojistiğin Amaçları

İşletmelerin tersine lojistik faaliyetlerini sürdürmeyi etki eden birçok sebep bulunmaktadır. Bunlar başta ekonomik amaçlar, yönetsel kanunlar ve artan sorumluluk bilinci olmak üzere üç kategoride toplanmıştır (De Brito, 2005). Tersine lojistik, işletmeler için genellikle bu faktörlerin bir karması olarak ifade edilmekte ve bu amaçlar doğrultusunda ilerlenmektedir.

Ekonomik amaçlar: Tersine lojistik firmalara maliyetleri azaltarak, malzeme kullanımını düşürerek, değerli yedek parçalara kaynak oluşturarak ve elden çıkarma maliyetlerini azaltarak doğrudan kazanç sağlamaktadır. Geri dönmüş üründen yeniden imalat, hem hammadde ve değer kazanımı hem de daha az enerji tüketimi gerektirmesi sebebiyle daha karlıdır. Öte yandan tersine lojistiği sistemlerine dâhil eden firmalar, kazandıkları çevreci imajı, artan müşteri ilişkileri, zamanla daha da artması beklenen kanuni baskılara uyum sağlama gibi fırsatları yakalayarak tersine lojistiğin dolaylı kazançlarından da yararlanabilmektedir. İşletme stratejileri, pazar ve rekabet koşulları gibi nedenlerle tersine lojistik içinde yer alabilir. Firmalar, gelecekteki kanunlara hazırlanmak üzere stratejilerini bu yönde oluşturabilirler. Rekabet açısından, diğer firmaların teknolojiyi almasını veya pazara girmesini engellemek için uzun dönemde tersine akışı sistemlerine dâhil etme kararı alabilirler.

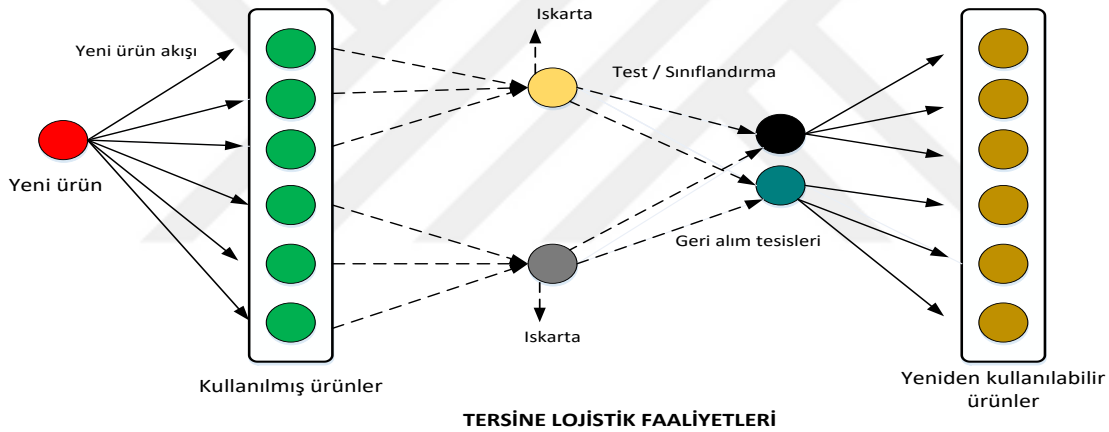
Kanunlar: Kullanılmayan arazilerin kapasitelerinin azalması, insanların doğaya verdikleri zararların sonuçlarının artık daha belirgin bir şekilde yaşanıyor olması gibi nedenlerle firmaların ürettikleri ürünleri toplamaları ve geri kazanmaları konusundaki kanuni baskılar her geçen gün artmaktadır. AB ülkelerinde (2003) ve Çin’de (2007) ambalaj malzemelerinin ve bataryaların toplanması ile ilgili çıkarılan kanunlar bunlardan sadece ikisini oluşturmaktadır.

Artan sorumluluklar: Ürün geri toplama programları uygulayan firmalar müşterilerle daha yakın ilişler kurarak daha fazla müşteriye etkilemekte ve daha fazla potansiyel gelir elde etmektedir. Örneğin Cole ve Hanna Anderson firmaları kendi ayakkabıları ve giyim ürünlerinin eskilerini getiren müşterilerine % 20 oranında indirim yapmaktadır. Benzer şekilde, Nike firması da müşterilerinin eski ayakkabılarını iadeye teşvik ederek ve bunlardan sağladıkları kazançları topluma açık basketbol sahaları ve koşu yollarının yapımında

kullanmaktadır. Böylesi bir anlayış, firmaların toplumsal sorumlulukların bilincinde olduğunu gösterse de asıl amaç müşteri memnuniyetini artırmaktır.

2.3. Tersine Lojistik Ağ Tasarımı

Tersine lojistik, ileri lojistik ağ yapısından oldukça farklıdır. Geri dönen ürünlerin toplanması ve işlenmiş ürünlerin tekrar dağıtılması tersine lojistikteki esas aktivitedir. Ağ tasarımı, hangi tür ürünlerin toplanacağı, ürün paketlenmesi için gönderici ile birlikte çalışılması, dönen ürün kalitesinin düşük olması, ağıdaki katman sayısının belirlenmesi, depo ve ara geçiş noktalarının sayısı, yerleşim yeri, toplama işleminin kaç defa yapılacağı, ileri ve tersine akışın birleşmesi ve ağın finansmanı gibi birçok konu değerlendirilmelidir (De Brito, 2005). Tersine lojistik ağı Şekil 2.2’ de gösterilmiştir (Dekker, 2000).



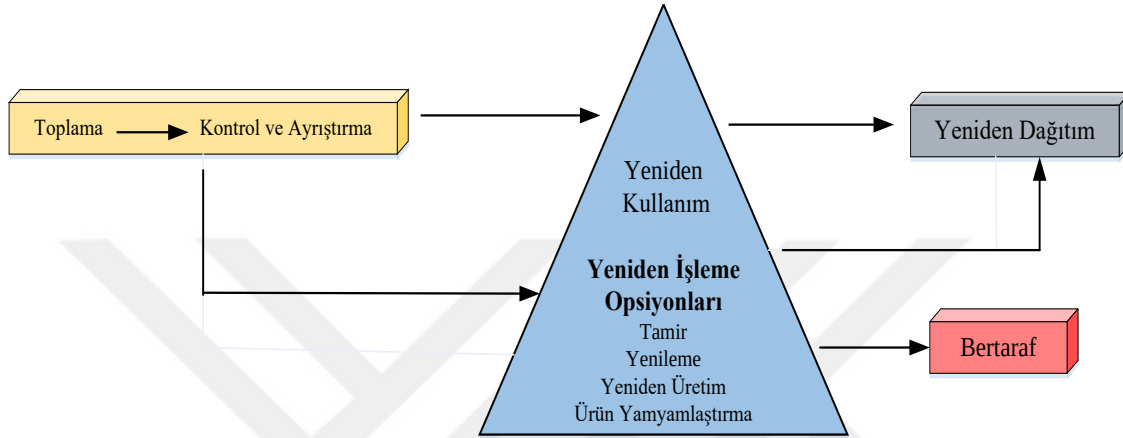
Şekil 2.2. Lojistik ağı içerisinde tersine lojistiğin yeri (Dekker, 2000)

Şekilde gösterilen yapı, lojistik açıdan, çoklu ortamdan çoklu ortama dağıtım ağı olarak tanımlanır. Bu yapı ile var olan ağ, tek bir kurum tarafından yönetilmez. Tersine lojistik ekonomisini anlayabilmek için tüm TZ elemanları dikkate alınmalıdır.

2.4. Tersine Lojistik Ağlarında İşlem Adımları

Tersine lojistik faaliyetlerini doğru bir şekilde sürdürebilmek için geri dönen ürünlerin nerede toplandığı, nasıl toplanması gerektiği ve hangi geri dönüş süreçlerine tabii tutulacağı bilinmesi gerekmektedir. Geri dönen ürünler farklı geri dönüş seçeneklerine tabii tutulmaktadır. Bu seçenekler oldukça çeşitlilik göstermektedir. Tersine lojistik faaliyetleri sırasıyla ürünleri geri çağırma, toplama, depolama, ayrıştırma, dağıtım, atık bertarafı ve geri

kazanım faaliyetlerini içermektedir. Geri toplanan ürünler kontrol ve ayrıştırırmadan geçerek yeniden işleme operatörlerinden (tamir, yenileme, yeniden üretim, ürün yamyamlaştırma vb.) birinden işlem görmektedir. Tersine lojistik ağ yönetiminin amacı bu faaliyetlerin hepsini optimize edecek şekilde plan ve kontrolünün yapılmasıdır. Tersine lojistik faaliyetleri Şekil 2.3' de gösterilmiştir (De Brito ve Dekker, 2002; 14).



Şekil 2.3. Basit bir gösterimle tersine lojistik faaliyetleri (De Brito ve Dekker, 2002; 14).

Toplama: Kullanılan ürünlerin taşıma maliyetinden avantaj sağlanması amacıyla uygun miktarlarda toplama tesislerinde biriktirilmesini ifade eder. Toplama tesisleri bayiler, toptancılar, perakendeciler gibi ağ tasarımı içerisinde bulunan tesisler tarafından yapılmaktadır (Jayaraman ve diğerleri, 2003: 132). Toplama, tersine lojistik ağ faaliyetlerinden ilk kısmı oluşturmaktadır. Geri dönen ürünlerin toplanmasına ilişkin bazı ülkelerde yasal düzenlemeler yapılmış ve zorunluluk haline getirilmiştir. Örnek olarak, Almanya’da paketleme malzemelerinin ve mutfak atıklarının geri toplanması, Hollanda’ da beyaz ve kahverengi eşyaların geri toplanması yasal bir zorunluluktur.

Ayrıştırma: Toplanan ürünlerin hangi şartlarda olduğunun kontrol edilmesi amacıyla ayrıştırma zorunlu bir süreçtir. Örneğin fotokopi makineleri toplandıktan sonra yeniden kazanılabilir ya da demonte edilerek parçalara ayrılması sağlanabilir.

Depolama: Geri dönen ürünler ayrıştırıldıktan sonra gerekli geri dönüşüm işlemleri için saklanması depolama olarak tanımlanmaktadır.

Yeniden Dağıtım: Geri dönen ürünlerin talebi karşılamak için yeniden pazarlara ulaşmasını ifade eder. Örneğin, geri dönen fotokopi makinasının tamir edildikten sonra tekrar müşteriye dağıtılması ya da ürün yenileştirilip müşteriye tekrardan dağıtımının yapılması gibi.

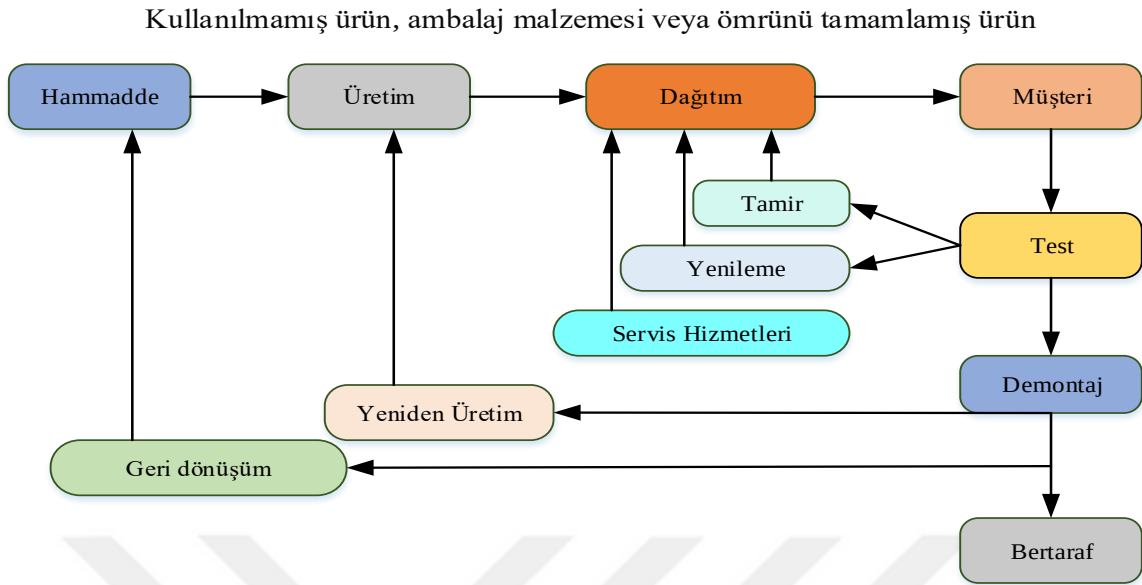
Bertaraf Etme: Artık kullanılamayacak durumda olan ürünlerin içinde bulunan çevreye zararlı maddelerin uygun bir biçimde, çevreye zarar vermesinin engellemesi amacıyla bertarafı yapılmaktadır. Atık faaliyetleri, ürün cinsine göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak yakma ve toprağa gömme faaliyetleri ile ürün bertarafı yapılmaktadır.

Gömme: Tersine lojistik ağ faaliyetleri içinde en son istenen aşamadır. Özellikle içerisinde tehlikeli madde bulunan ürün ve malzemelerin çevreye zarar vermemesi için gömme işlemi yapılmaktadır. Gömme seçeneği bazı ürünler için yasal değildir.

Yakma: Gömülecek olan katı atık miktarını engellemek için sunulan bir bertaraf etme seçeneğidir. Katı atık miktarı hacimsel olarak küçülür, bu sayede enerji tasarrufu sağlanmış olur.

2.5. Tersine Lojistik Faaliyetleri

Tersine lojistiğin geri kazanım aşamasında kullanılmış ürünlerin tamamının, bir kısım parçalarının ya da malzemelerinin tekrar kullanılması söz konusu olabilmektedir (Fleischmann ve diğerleri, 2000: 657). Bu dönüştürme esnasında ürün veya bileşenlerinin özelliklerine göre yeniden üretim, tamir, parça alma/ürün yamyamlaştırma, geri dönüşüm, yeniden montaj gibi yöntemlerden faydalanılmaktadır. Şekil 2.4' te tersine lojistik faaliyetleri zinciri gösterilmiştir (Krumwiede ve diğerleri, 2002).



Şekil 2.4. Geri kazanım yöntemleri (Karaçay, 2005)

Geri dönen ürünlerin geri kazanım seçenekleri oldukça fazladır. Bunlar maddeler halinde sıralanmış ve açıklamıştır:

Tamir: TZY de en önemli konulardan biri de tamir/bakım servisleridir. Müşteri memnuniyeti ve marka yaratma, tamir bakım servisleri için önemlidir. En önemli servis yönetim faaliyetlerinden bir tanesi tamir servisleridir. Tamir gibi servis yönetim faaliyetleri müşterilerin toplam maliyetini pozitif olarak etkilemekte, müşteri sadakatini artırmaktadır. İşletmenin satış sonrası servislerinden sağladığı değer akışının farkına varan sadık müşteri tekrar aynı işletmenin ürünlerini satın almaktadır (Güleş ve diğerleri, 2009).

Yeniden Üretim: Fayda sağlama özelliklerini tamamen ya da kısmen kaybetmiş olan ürünlerin ayrıştırma, tamir etme ve yenisiyle değiştirme gibi faaliyetlerinin gerçekleştiği, sonuçta yeni bir ürünün ortaya çıktı süreçlerdir (Fleischman ve diğerleri, 1997).

Yeniden üretim faaliyetinin temel karakteristikleri yedi madde halinde toplanmıştır.

- Yeniden üretim için ne kadar ürünün ne zaman döneceği belirsizliği söz konusudur.
- Yeniden üretilen ürün talebi ve geri dönüş miktarlarının dengelenmesi gerekmektedir.
- Geri dönen ürünler sökülmekte ve parçalarına ayrılmaktadır.
- Geri dönen ürünlerden geri kazanılacak materyal miktarı belirsizdir.

- Tersine lojistik/kapalı döngü ağ yapısı gerekmektedir.
- Geri dönen ürünlerden elde edilen materyallerin eşleme-uyum kısıtı söz konusudur.
- Değişken üretim süreleri söz konusudur (Guide ve Daniel, 2000)

Yeniden üretim, ürünlerin tamamen demonte edilmesi, birbiri içerisinde değiştirilebilir parçaların toplanması ve üretim hattında yıpranmış parçaların değiştirilip yeniden montajının yapılmasını sağlayan bir süreçtir (Bras ve McIntosh, 1999). Yeniden üretim süreci aşağıdaki aşamalardan oluşur:

Ayrıştırma: Ürünlerin tamamen bileşenlerinden ayrılması aşaması olarak tanımlanmaktadır. Ürün cinsi ve yapısına göre kimyasal ve fiziksel ayrıştırmalar söz konusudur.

Yeniden Montaj: Yeniden üretilen parçaların, gerektiğinde yeni parçaların monte edilerek son ürün haline getirilmesidir. Yeniden üretim, enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yeni ürün için gerekli enerji girdisi, yeniden üretmek için gerekli enerji girdisinden oldukça fazladır. Materyallerin geri dönüştürülmesi için gerekli enerji yeniden üretim için gerekecek enerjiden daha fazla olacaktır. Üründen kullanılmış bazı malzemeler yeniden üretimde kullanılabilecektir ve ürün geri kazanımı söz konusudur. Bir ürün geri dönüştürülürse, ürünün son halini alması için eklenen değerler geri kazanılamaz ancak, yeniden imal edilirse hammaddelerin işlenmesi için eklenen değerler de geri kazanılabilir. Bu bakımdan yeniden imalat ürünün geri dönüştürülmesinden daha karlıdır. Ayrıca kullanılması gereken enerjiyi de azalttığından yeniden imalatın çevreye etkisi daha fazladır. Çevreye verilen zarar, yeniden imalat stratejisinin uygulanmasıyla oldukça azaltılmaktadır. Yeniden imalat kullanılabılır ham maddelerin miktarını artırmakta aynı zamanda çevreye bırakılan zararlı atıkların miktarını da azaltmaktadır. Katı atık kullanımı arttıkça, elden çıkarılan malzeme miktarı azalmakta ve böylece elden çıkarma maliyetlerinden tasarruf sağlanmaktadır. Kısaca yeniden imalat, çevrenin korunması, hava kirliliğinin azaltılması ve atık arazilerinin daha verimli kullanılması için anahtar kelimeyi oluşturmaktadır (Presley, 2007).

Yeniden Kullanım: Yeniden kullanım kullanılmış ürün, bileşen veya malzemelerin üzerinde temizleme veya çok küçük onarımlar dışında hiçbir işlem yapılmadan yeniden kullanım için dağıtılması ve satılmasıdır (Beamon, 2004). Yeniden kullanım ürün, parça veya malzeme seviyelerinin her birinde olabilmektedir. Ancak, yeniden kullanıma sunulan ürün kullanılmış olduğundan orijinal değerinde değildir.

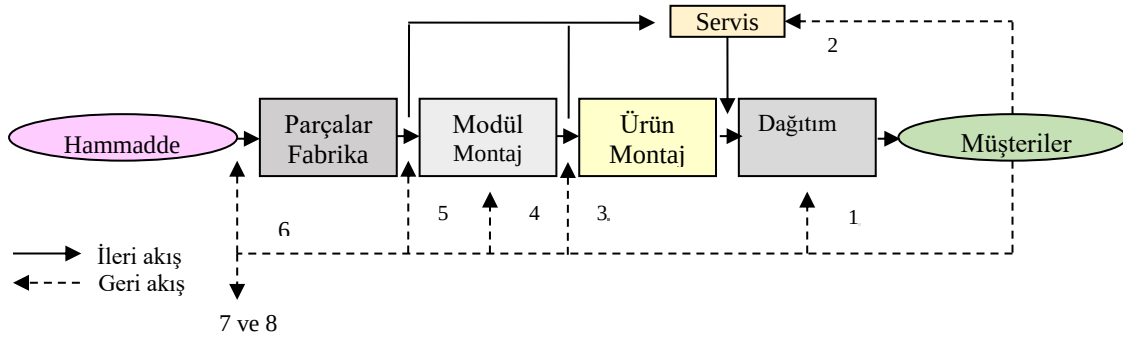
En yaygın yeniden kullanım içecek şişeleri, paletler, kutular gibi konteynerlerde olmaktadır. Fleischmann ve diğerleri (1997), yeniden kullanılan ürünün kalitesi düşse de genellikle performansı etkilemediğini belirtirler. Ayrıca müşteri, orijinal ürünle yeniden kullandığı ürün arasındaki farkı seçememektedir. Yeniden kullanım da tıpkı yeniden imalat gibi geri dönüştürme işlemi ile karşılaştırıldığında, bazı araştırmacılar bunun daha karlı olduğunu ifade etmektedirler (Klausner ve Hendrickson, 2000).

Yenileme/Sıfırlama: Ürün yenileştirmenin amacı, kullanılmış ürünü belirlenmiş kalite düzeyine getirebilmektir. Kalite standartları, yeni üründe olduğu kadar sıkı değildir. Kullanılmış ürün demontaj ile modüllerine ayrıldıktan sonra kritik modüller kontrol edilir ve gerekiyorsa değiştirilir. Uygun modüller yenilenmiş ürüne monte edilir. Bazen ürün yenileme sürecinde eski modüller, teknik olarak daha iyi olan modüller ve parçalarla değiştirilerek ürün geliştirmesi gerçekleştirilir. Askeri ve ticari uçaklar, yenileştirme sürecinden geçen ürünlere örnek olarak gösterilebilir. Ürün yenileştirme, ürünün kalitesini artırır ve ürünün ömrünü uzatır (Karaçay, 2005).

Ürünün kısmi kullanımı: Tamir, yenileme, yeniden imalat gibi ürün geri kazanma alternatiflerinde geri dönen ürünün büyük bir miktarı yeniden kullanılır. Ürünün kısmi kullanımında ise ürünün yeniden iyileştirmesi aşamasında sadece belirli bir kısmının kullanılmasıdır. Ürünün kısmi kullanımı, kullanım işleminde hedeflenen kalite standartlarında ne tür parçaların yeniden kullanılacağını belirlemektir (Thierry ve diğerleri, 1995). Geri dönüşüm seçenekleri Şekil 2.5’ te gösterilmiştir.

Geri dönüşüm: Tüketilen ürünlerin yeniden üretime kazandırılması, enerji ve hammadde tasarrufunun sağlanmasıyla ilgili bir süreçtir. Atık malzemelerin tekrardan değerlendirilmesi çevre kirliliğinin engellenmesi açısından da önemlidir. Katı atıkların değerlendirilebilir özelliklerine göre ayrı ayrı toplanması, cinslerine göre ayrıştırılması ve fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanarak yeni bir ürün haline getirilmesi süreci geri dönüşüm olarak adlandırılır. Bu, çevre duyarlılığı ve yeşil enerji açısından oldukça önemli bir konudur.

Ürün yamyamlaştırma: Ürün yamyamlığı ürünün sadece ufak bir kısmı yeniden kullanılmasıdır. Buradaki amaç, kullanılmış ürün veya bileşenden, kullanılabilir sınırlı bir dizi parçanın geri alınmasıdır. Bu parçalar başka ürün veya bileşenlerin tamir edilmesinde, yenilenmesinde veya yeniden üretilmesinde kullanılır (Karaçay, 2014).



1. Yeniden kullanım	3. Ürün yenileme	5. Parça alma	7. Yakma
2. Tamir	4. Yeniden imalat	6. Geri dönüşüm	8. Gömme

Şekil 2.5. Geri dönüşüm seçenekleri (Karaçay, 2014)

2.6. Geri Dönen Ürünlerin Analizi ve Karakteri

Ürünler fonksiyonlarını yerine getiremiyorsa veya bunlara gereksinim duyulmuyorsa müşterilere tarafından fabrikalara geri gönderilmektedir. Geri dönen ürünler literatürde üç başlık altında değerlendirilmiştir (Dekker ve diğerleri, 2004):

1. Üretimden kaynaklı geri dönüşler
2. Dağıtımdan kaynaklı geri dönüşler
3. Müşteriden kaynaklı geri dönüşler

Üretimden kaynaklı geri dönüşler: Üretim aşamasında bazı parçaların yetersiz kalitede olması, hammadde fazlalığı, yeniden işlemek için gerekli sürecin yetersizliği durumlarında ara ürün ya da son ürün geri iade edilebilmektedir. (De Brito ve Dekker, 2004).

Dağıtımdan kaynaklı geri dönüşler: Ürün dağıtım aşamasından kaynaklı geri dönüşlerdir. Ürünün geri çağırılması, güvenlik, sağlık ve ticari kaygılardan kaynaklıdır. Dağıtımdan kaynaklı geri dönüşler tedarikçilere ürünlerin geri iadesiyle başlar Taşıma esnasında arızalı ya da yanlış gelen ürünler, raf ömrü dolmuş (ilaç, kozmetik, gıda gibi), elde kalan ürün ve parçalar tedarikçi firmalara geri gönderilir (Dekker ve diğerleri, 2004).

Müşteriden kaynaklı geri dönüşler: Ürün son müşteriye ulaştıktan sonra yapılan geri dönüşlerdir. Müşteri üründen memnun kalmayabilir. Garanti kapsamındaki ürünler, hizmet

dönüşleri, kullanım ömrü bitmiş ürünler, bu tür geri dönüş ürünleri olarak değerlendirilir (Dekker ve diğerleri, 2004). Garanti kapsamında olan ürün doğru çalışmadığı takdir de müşteriden fabrikaya gönderilir. Bu ürünlerin sayısı, onarım sürecinden sonra hangi parçanın ne zaman, ne miktarda gerekli olacağı belli değildir.

Kullanım sonu dönüşleri: Ürünün kullanımının belli bir evresinde yapılan, geri verilen ürünlerdir. Bu durum; kiralamada, konteyner ve şişe gibi geri dönebilen taşıma kaplarında ya da amazon.com gibi ikinci el marketlerde görülür (Östlin ve diğerleri, 2008). Ömrü sonlanmış ürün dönüşleri, kullanım ömrü ekonomik olarak ya da fiziksel olarak bitmiş ürünlerdir. Bu ürünler, geri alma yönetmenlikleriyle orijinal parça üreticileri tarafından geri alınmakta ya da değerli malzemeler için gerekli yerlere tekrar satılmaktadır (Dekker ve diğerleri, 2004; Ostlin ve diğerleri, 2008).

2.7. Tedarik Zinciri ve Tersine Tedarik Zinciri Arasındaki Farklılıklar

KDTZ, ürünlerin müşterilerden geri dönmesi ve dönen ürünlerin ya da parça, bileşen veya modellerinin tekrar kullanılarak iyileştirme yapılmasını kapsayan bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Özellikle son 15 yıldır akademik ve endüstri alanında büyük bir önem kazanmaktadır. Geri dönen ürünler tekrar kullanılması ekonomiye değer kazandıran bir faaliyettir ve KDTZ büyük bir yatırım potansiyeline sahiptir.

KDTZ, farklı tip ürünlerin değer kazanması amacıyla tasarım, kontrol ve işlem süreçlerinin etkin şekilde yönetimini içermektedir. Bu ağ yapısında ürünlere sağlanan artı değer ile tersine lojistik sisteminin etkililiğinin geleneksel Tedarik Zinciri sistemi ile bütünleşik şekilde çalışması sağlanmış olmaktadır.

KDTZ kavramı, kullanım ömrünü tamamlayan ürünlerin son kullanım noktasından toplanıp, yeniden değerli hale getirmek üzere geri kazanım süreçlerinin uygulanması ve tekrar pazara sunulması olarak ifade edilmektedir (Thierry ve diğerleri, 1995; Guide ve diğerleri, 2003). KDTZ, ileri ve tersine tedarik zinciri yapılarının birlikte ve bütünleşik olarak çalıştığı sistemdir (Fleishmann ve diğerleri, 1997).

KDTZ, ilk olarak Thierry ve diğerleri (1995) tarafından “ürün geri kazanımı ile ilgili stratejik konular” isimli çalışmada “bütünleşik sistemler” olarak ifade edilmiştir. Ürün geri

kazanımının ekonomik ve çevresel açıdan değer ifade ettiği ve önem kazanmaya başladığı süreçte ortaya çıkan bir kavramdır. KDTZ kavramının doğuşu tersine lojistik literatürünün gelişiminden kaynaklanmaktadır (Defee ve diğerleri, 2009).

2.8. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri ve Geleneksel Tedarik Zinciri Arasındaki Farklılıklar

KDTZ yaklaşımı geleneksel tedarik zincirinden beş farklı noktada ayrılmaktadır.

Geleneksel Tedarik Zincirindeki amaç, maliyet minimizasyonu ve ekonomik faydanın maksimizasyonu için tedarik zinciri bileşenlerinin etkinliklerinin iyileştirilmesidir. KDTZ çevresel faktörleri dikkate alan sürdürülebilir nitelikte bir ağ yapısıdır. Çevre kirliliğinin en aza indirilmesini, enerji ve kaynak tüketiminin azaltılması için maksimum sayıda ekonomik fayda sağlamayı amaçlamıştır. Hem ekonomik hem sosyal ve hem de çevresel faydayı içermesinden dolayı KDTZ yönetiminde girişimciler sosyal sorumluluk çerçevesinde hareket eder. KDTZ’ de firmalar iç ve dış yönetimi çerçevesinde çevresel duyarlılık konusuna oldukça hassastır ancak bu durum geleneksel tedarik zincirinde yoktur.

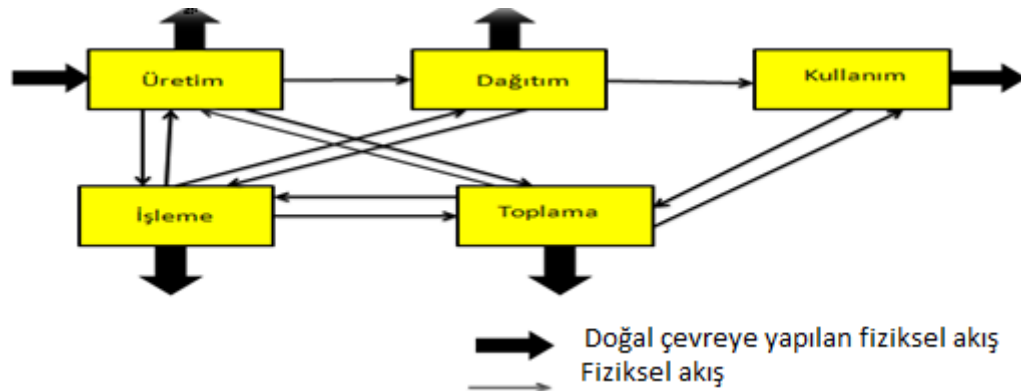
KDTZ’ de ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca çevreye duyarlı olması daha çok öne çıkar. Geleneksel Tedarik Zinciri tedarikçiler ve son kullanıcılar ile başlar, ürün akışı tek bir yoldan ilerler. KDTZ’ de ise ürün akışı dairesel ve iki taraflıdır. Ürünler bütün yaşam döngüsü boyunca yönetilmekte, atıklar tekrar bir yaşam döngüsüne girebilmekte, ham malzemeler yeni ürün ya da diğer amaçlar için kullanılmaktadır.

Geleneksel Tedarik Zincirini müşteri ve firma istekleri önemsenirken, KDTZ de yeşil yönetim, sosyal sorumluluk, sürdürülebilir eğitim ve pratik uygulamalar önemsenmektedir.

2.9. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Sınıflandırılması

Gerçek hayatta birçok farklı tiplerde KDTZ ağ modelleri mevcuttur. Tedarik zinciri içinde hareket eden ürünün belirli bir yaşam döngüsü mevcuttur. Ürün yaşam döngü süreci üretimden başlayarak, dağıtım, kullanım ve son ömre kadar devam eder. Kullanım ömrü biten ürün fonksiyonel olarak özelliklerini kaybetmekte fakat bazı parçaları (işlevsel parça ve malzemeleri) tekrar kullanılabilir. Ürünler bu yaşam döngü sürecinin farklı

aşamalarından geriye dönebilir ve bir kapalı döngü oluşturabilir. Bütün bu aşamalar Şekil 2.6' da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Kapalı döngü ürün yaşam döngüsü akışları

Üretim aşamasıyla ilgili KDTZ üç kısma ayrılmaktadır:

Modası geçmiş malzemeler fonksiyonel ve kullanılabilir malzemeler olup, günün şartlarına artık ayak uyduramayan ve eski model ürün ve malzemelerdir.

Üretim sırasında hata görmüş ve fonksiyonel olarak çalışmayan malzeme, parça ve ürünlerdir Bu ürünlerin parçalarının bir kısmı hurdaya giderken, bir kısmı da kalite seviyesine göre yeniden işlenerek daha düşük fiyatlarda satılmaktadır.

Ürünün yaşam döngüsünden müşteriye dağıtımına kadar KDTZ üç grupta incelenmektedir:

Ticari geri dönüşler: Satıldığı sırada geri dönüş seçeneğine sahip olan ürünlerdir. İnternet üzerinden büyük miktarda satış yapan Dell ve Amazon.com firmalarında ticari geri dönüşler olup, bunların oranı yaklaşık oranı %5 - % 50 arasında değişmektedir.

Yanlış teslimat: Ürün teslimatının ya çok erken ya da çok geç olduğu durumlarda ya da hata içerdiği durumda ürünler üretim yerine geri teslim edilir.

Tekrar çağırma: Firmalar hayatlı üretim vb. sebeplerden dolayı ürünlerini geri çağırabilir. Geri çağırmanın birçok nedeni söz konusudur.

Yanlış teslimat ve tekrar çağırma, firmaların prestijini ve piyasadaki yerini önemli ölçüde etkileyen faktörlerdir. Bu duruma imkân vermemek adına firmalar KDTZ sırasında ürün taşınmasına özel bir önem verirler.

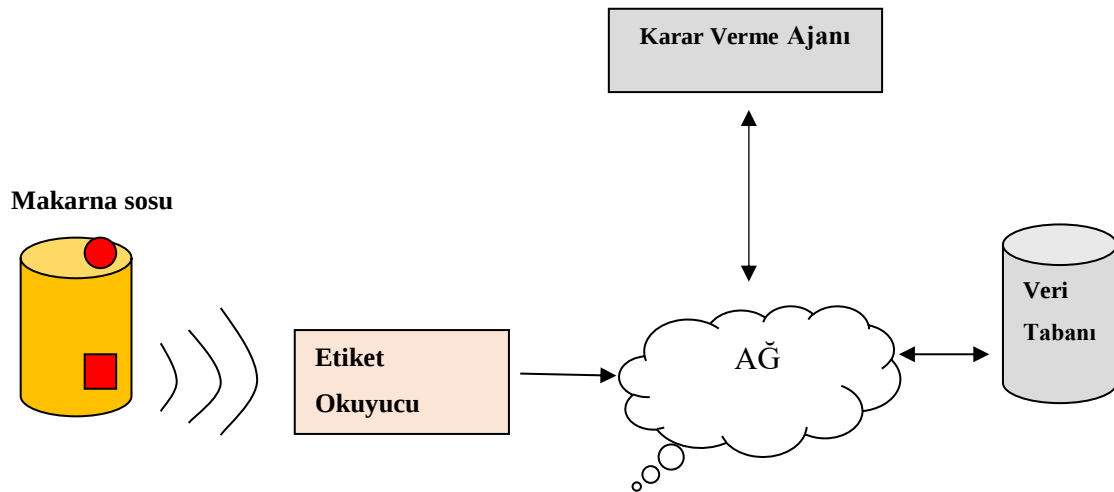
Kullanımla ilgili geri dönüşler, müşterilerce kullanılan ürünlerin tekrar ilk sahibine geri dönmesi olarak tanımlanır. Bu durumda firmalar, geri dönen ürünler için yeniden tamir, yenileme ve yeniden üretim seçeneklerini değerlendirirler. Teknik ve ekonomik yaşam döngüsü sonunda tekrar geri gelen ürünler ikinci el pazarlarda satılmak üzere değerlendirilebilir.



3. AKILLI ÜRÜNLER VE NESNELERİN İNTERNETİ

Akıllı ürünler ve Nesnelerin İnterneti birbirine alternatif olarak kullanılabilen iki terimdir. Nesnelerin İnterneti, fiziksel nesnelerin birbiriyle veya daha büyük sistemlerle bağlantılı olduğu iletişim ağıdır. Bu kavram oldukça geniş bir kavram olup, farklı araştırmacılar tarafından birçok tanımla yapılmıştır. McFarlane ve diğerleri (2003), akıllı ürünleri, hem fiziksel hem de bilgi tabanlı ürünler olarak tanımlamıştır. Şekil 3.1’ de, akıllı ürünlerin çalışma sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Wong ve diğerleri (2002) akıllı ürüne örnek olarak bir makarna spaghetti sosu resmetmiştir. Veri tabanlı bu temsili üründe, bilgi depolama ve ürün zekâ seviyesi karar verici tarafından yapılmaktadır. Fiziksel ürün ve bilgi arasındaki veri akışı, etiketler ve okuyucular ile yapılmaktadır. McFarlane ve diğerleri (2003), akıllı ürünlerin özelliklerini aşağıdaki gibi tanımlamaktadır:

1. Tek bir tanımlayıcıya sahiptir.
2. Kendi çevresiyle aktif olarak iletişim sağlayabilmektedir.
3. Veri depolama özelliğine sahiptir.
4. Kendine ait bir okuma diline sahiptir.
5. Karar verme yeteneği bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Spagetti sosu için akıllı ürün

Akıllı ürünler için geliştirilen bir diğer varsayım ise Karkkainen ve diğerleri (2003) tarafından ortaya atılmıştır. Buna göre, Tedarik Zinciri içerisinde dolaşan her bir akıllı ürünün TZ’ nin hangi aşamaları dolaştığı ve hangi süreçlerden geçtiğini takip edebilme

özelliğine sahiptir. (Karkkainen ve diğerleri, 2003; Kaymak, 2010). Bu bağlamda, akıllı ürünlerin özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

1. Evrensel niteliği olan tek bir koda sahiptir.
2. Organizasyon içerisindeki bilgileri düzenleyebilmektedir.
3. Kullanıcının ihtiyaç duyacağı bilgiyi sunabilme yeteneğine sahiptir.

Venta (2007), akıllı ürünleri karar verme yeteneğine sahip ürünler olarak tanımlar. Bu tanıma göre akıllı ürünlerin diğer bilgi sistemleriyle direkt iletişim kurabilmesi için gerekli bilgi birikimine sahip olduğu ifade edilmiştir. Akıllı ürünler kendi bilgilerini yorumlama kabiliyetine de sahiptir. Venta (2007) akıllı ürünlerin özelliklerin özelliklerini şu şekilde belirtmiştir:

- Akıllı ürünler kendini ve çevresini takip edebilme yeteneğine sahiptir. Üretim şartlarına ve çevreye tepki vererek bulunduğu ortama, kolaylıkla adapte olmaktadır..
- Zor çevre durumlarda bile uyum sağlama özelliğine sahiptir.
- Kullanıcıyla, çevresiyle, diğer ürünler ve sistemlerle etkin iletişim kurabilmektedir.

Akıllı ürünler, hissetme, hafızada tutma, veri işleme, akıl yürütme ve iletişim yeteneklerine sahiptir. Bu ürünler 4 farklı zeka seviyesinde gruplandırılır.

Zekâ seviyesi 1: Ürün içine gömülü herhangi bir RFID ya da sensör yoktur. Bu tip fiziksel ürünler çevresiyle etkileşim halinde bulunamazlar. Makine ekseni ya da su şişesi zekâ seviyesi 1 olan ürünlere örnek verilebilir.

Zekâ seviyesi 2: Basit bir sensör gömülü olan ürünlerdir. Bu sensör yardımıyla ürün, çevresiyle etkileşim halindedir. Örneğin buzdolabı termostatu; termostat sayesinde buzdolabı içerisindeki sıcaklık istenilen düzeyde tutulabilmektedir.

Zekâ seviyesi 3: Fiziksel ürün içerisinde sensöre, hafıza ve veri işleme özelliğine sahip parçalar bulunduran ürünlerdir. Bu ürünler içerine yerleştirilen parçalar ve yazılım sistemleri sayesinde daha karmaşık çevresel değişimlere karşı kolaylıkla tepki sağlanabilmektedir. Örneğin Elektronik Taşıma Sistemi (ETS) sistemli araçlar, ani değişen yol şartlarında

(engelli ya da buzlu yollarda) hız ve yörünge değişikliği yapabilmekte ve olası kazaları önleyebilmektedir.

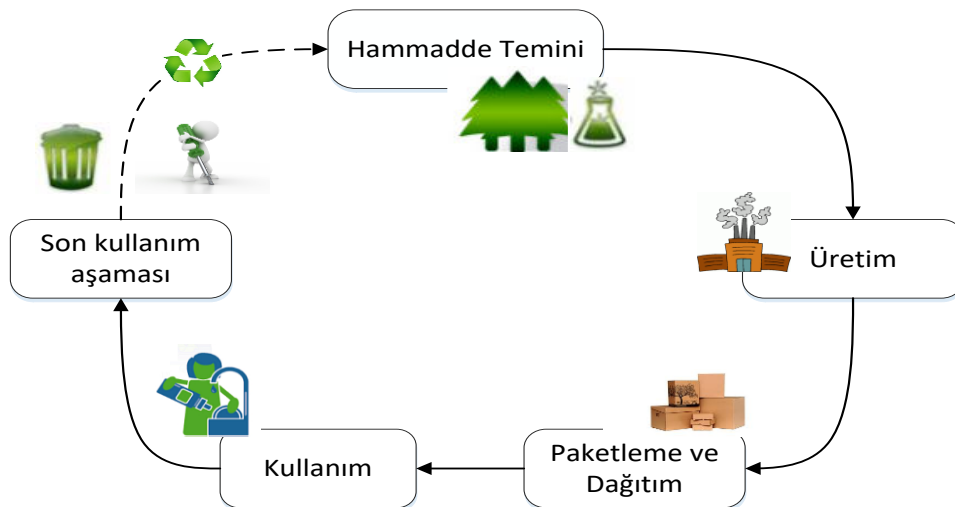
Zekâ seviyesi 4: PEID cihazları, RFID etiketleri, sensöre, sensör ağları, yerleşik bilgisayarlar vb. aygıtların gömülü olduğu ürünler zeka seviyesi 4 olan ürünlerdir (Kiritisi, 2011).

Nesnelerin İnterneti uygulamaları gündelik hayatımıza büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Google tarafından 2014 Ocak ayında 3,2 milyar dolara satın alınan Nest aygıtı sayesinde evlerin ve işyerlerinin ısısını dışarıdan kontrol edebilme imkânı sağlanabilmektedir. Ayrıca, evin içinde bulunan duman detektörüyle acil bir durumda haberdar edebilme özelliğine sahiptir. Adidas markasının çıkarmış olduğu akıllı top ile atılan kaç penaltının gol olduğunu, topa kaç kilometre hız ile vurulduğu da bilinebilmektedir (<http://www.teknolo.com>, 2015)

Gartner (2015), Nesnelerin İnterneti' nin gündelik hayatımızda gittikçe yaygınlaşmakta olduğunu ve 2020 yılına kadar yaklaşık 25 milyon nesnenin internete bağlı olacağını ve bu sayede tedarik zinciri içerisindeki bilgiye daha kolay ulaşılabilceğini öngörmektedir.

3.1. Akıllı Ürünlerde Ürün Yaşam Döngü Süreci

Ürünün hammadde üretiminden başlayıp, dağıtım, kullanım ve atık olarak değerlendirilmesine kadar geçen tüm hayat süreci Şekil 3.2' de gösterilmiştir (Sundin, 2004).

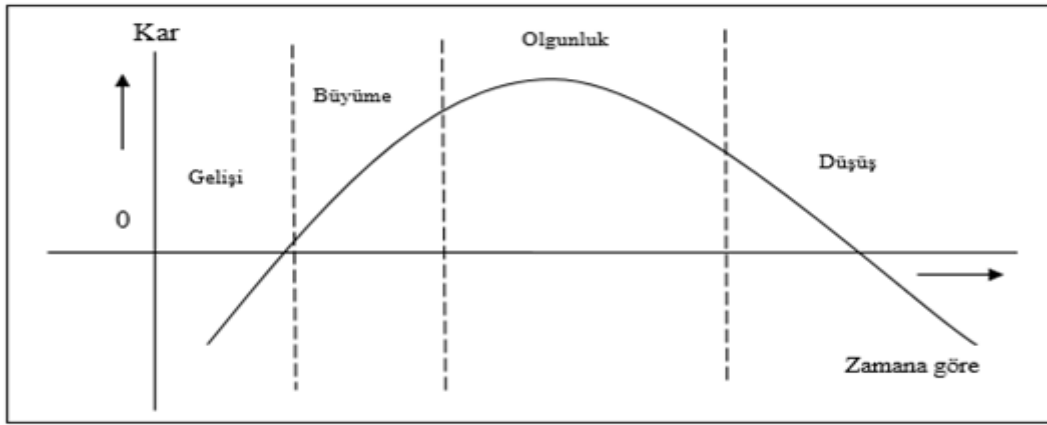


Şekil 3.2. Fiziksel ürün yaşam döngüsü

Ürün yaşam döngüsü, tanıtım aşaması, büyüme, olgunluk, gerileme evrelerini içermektedir (Şekil 3.3). Ürün tanıtımı aşaması, ürünün piyasaya tanıtılmasıdır. Bu süreç, ürünün piyasa içindeki farkındalığını ve kimliğini açık bir şekilde tanımlar. Büyüme aşaması, ürün satışını, rakiplerin içerisindeki konumunu ve pazarlama stratejilerini içermektedir.

Olgunluk dönemi, rakiplerin piyasadan ayrılmaya başladığı aşamadır. Bu aşamada satış hacmi önemli ölçüde yükselmekte, satış hacmi istikrarlı bir seviyeye ulaşmaktadır.

Düşüş aşamasında, rakipleri arasındaki rekabet koşulları, uygun olmayan ekonomik şartlar ve yeni trendler, ürün satışının düşmesine neden olmaktadır (Zeithaml, 1984). Ürün yaşam döngü süreci Şekil 3.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Ürün yaşam döngüsü (Zeithaml, 1984)

3.2. Kapalı Döngü Ürün Yaşam Yönetimi

Geleneksel ürün yaşam yönetiminden farklı olarak, kapalı döngü ürün yaşam yönetimi, en son yaşam döngüsünü de içerisine alan ürünün hayat sürecini yönetmektedir. Ürün yaşam döngüsü yönetiminin amacı, ürün yaşamı boyunca ürünle ilgili olan bilgilerin etkin olarak yönetilmesidir. Ürün yaşam döngüsü yönetimi, ürünle ilişkili daha fazla bilgileri sağlamak amacıyla, ürün veri yönetimi’ nin bir konusu olarak geliştirilmiştir. Ürün veri yönetimi, yeni ürünlerin tasarımı ve bilgilerin dokümantasyonunu iyileştirmek için geliştirilmiştir. Bu bilgiler ürün parçalarıyla ilgili olmayıp, ürün tipiyle ilgilidir.

Ürün yaşam döngüsü üç gruba ayrılmaktadır:

- ✓ Başlangıç Aşaması, ürünün kapsamlılaştırılması, tanımlanması ve piyasa içinde fark edilmesi aşamalarını içermektedir.
- ✓ Orta Yaşam Döngüsü; ürün kullanımı, servisi ve bakım aşamalarından oluşmaktadır.
- ✓ En Son Yaşam Döngüsü, ürünün geri dönüşüm faaliyetlerini içermektedir.

En son yaşam döngüsünde, ürünün yenilenmesi, demontajı, yenilenmiş parçaların tekrar kullanımı, parçaların iyileştirilmesi ve ürünü imhası gibi farklı senaryo analizleri yapılmaktadır.

Kapalı Döngü Bilgi sistemi bütün üretim aşamalarında kullanılmaktadır. Başlangıç aşamasının ilk iki safhasında, tasarıma ve üretime yönelik veri ve bilgilerden yaratmak için bilgisayarlı tabanlı tasarım (CAD/CAM/CAE) ve diğer benzetim yazılım sistemleri kullanılmıştır. Orta yaşam döngüsünden en son yaşam döngüsüne doğru bilgilerin etkin kullanımı gittikçe azalmaktadır (Kiritsis, 2011).

Framling (2013), akıllı ürünleri teknolojik tabanlı olarak ürünler tanımlamıştır. Ürünleri yaşam döngüsü içerisinde takip etmek için, RFID etiketleri, sensör, sensör ağları gibi fiziksel ürünlere gömülü bilgi aygıtları (PEID) kullanılmaktadır. Bu ürünler araştırmacılara yeni fikirler sunma olanağı sağlamaktadır.

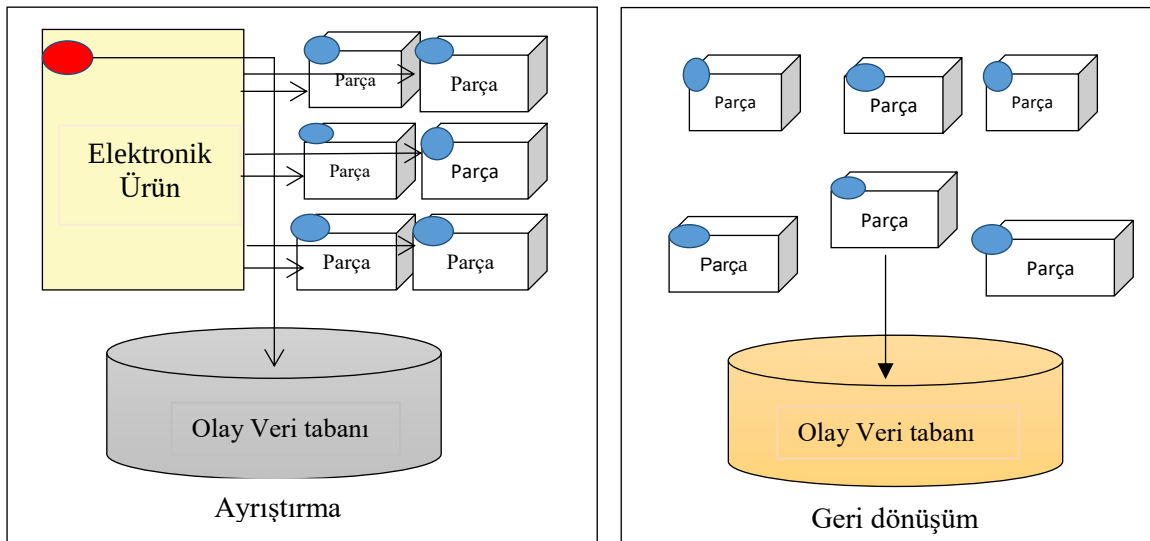
Kapalı döngü ürün yaşam yönetimiyle ilgili teorik çalışmalar yeterli değildir. Bu konuyla ilgili ilk çalışmalar Jun ve diğerleri (2007a) tarafından yapılmıştır. Kapalı döngü ürün yaşam döngüsü için bir sistem analizi ortaya atmıştır ve birçok örnek olay ile test edilmiştir (Jun ve diğerleri, 2007b).

Hribernik ve diğerleri (2011), RFID ve sensör tabanlı akıllı ürünlerle ilgili olarak geri dönen plastik otomotiv parçalarına dönük bir çalışma yapmışlardır. Ürün yaşam döngüsünün başlangıç aşamasında, RFID ve sensör ürün parçalarına gömülmektedir. Plastik otomotiv parçaları heterojen oldukları için farklı konteynerlerle taşınmaktadır. Ürüne gömülü bilgi aygıtları, parça ve malzeme tipini, tamir, bakım durumunu ve servis aşamalarına ait bilgileri saklamaktadır.

Gömülü aygıtlar, okuyucular yardımıyla kablosuz olarak bilgileri toplamaktadır. Örnek olayda RFID yerleştirilmiş elektronik bir parça kullanılmıştır. Bu aygıt, elektronik ürünün montajından kullanım aşamasına kadarki bütün yaşam döngüsünü takip etmektedir. Elektronik parçaların içerisinde kurulu bir sürücü, görüntü ekranı, ana birim, ISDN modem, işlemci, ana kart gibi parçalar bulunmaktadır. Ürün yaşam döngüsü boyunca, her bir parça için ayrı bir şekilde takip edilmiştir.

Her bir parça elemanın özgün bilgiler, RFID çiplerinde saklanmakta ve bu sayede ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca izi sürmekte ve izlenebilmektedir. Her bir parça bağımsız olarak takip edilebilmekte ve anlık bilgiler toplanıp, depolanmaktadır. Bunlar Elektronik Kod Bilgi Servisi (EPCIS) ya da PROMISE Mesaj Ara Yüzü (PMI) kullanılarak yapılmaktadır. Ürün son kullanım yaşam döngüsü içerisinde, akıllı ürünler hizmetten çıkarılmakta, parçalara ayrıştırılmakta ve her bir ürün parçası, geri dönüşüm, yenileme, tekrar kullanım ya da atık olarak değerlendirilmektedir. RFID’ de depolanan bilgiler ve ürün yaşam döngüsü boyunca toplanan veriler, son yaşam döngü sürecinde kullanılmaktadır.

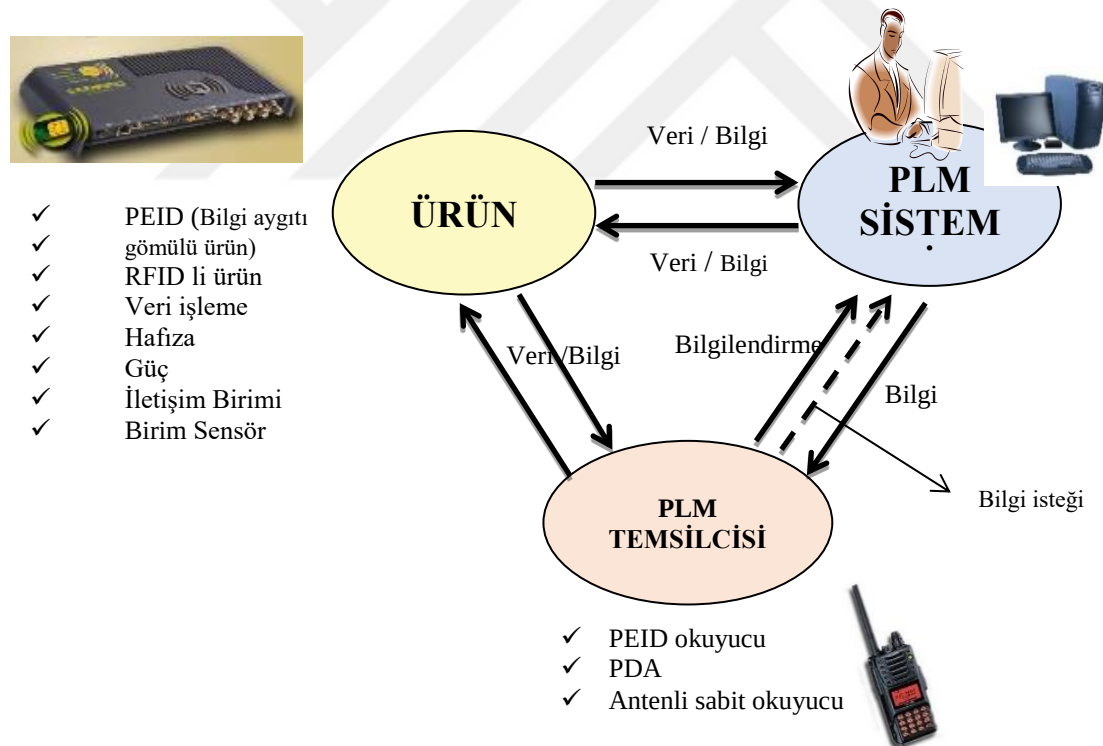
EPCIS ve PMI, zaman, yer ve ayrıştırma işlemi bilgilerini kayıt etmektedir (Şekil 3.4). Depolanan bilgiler sayesinde atık, geri dönüşüm, yenileme ya da tekrar kullanım tiplerine karar verilebilmektedir. Bu bilgiler üreticiler ve parça tedarikçileri tarafından, yasal şartlara uygun olarak bertaraf edilmektedir (Hribernik ve diğerleri, 2011).



Şekil 3.4. Elektronik kod bilgi servisi (Hribernik ve diğerleri, 2011)

PLM sisteminin çalışma yapısı Şekil 3,5' te gösterilmiştir (Kiritsis, 2008). Buna göre kapalı döngü, ürün yaşam döngüsü yönetimindeki iş operasyonlarının temel ilkesidir. Kapalı döngü ürün yaşam döngüsü yönetimi üç organizasyon oluşmaktadır. Bunlar: kapalı döngü yönetim temsilcisi, PLM sistemi ve PLM ürünüdür. Bilgisayarlara yerleştirilmiş ürün bilgi okuyucularıyla, kişisel cep araçlarıyla, ürün yaşam döngüsü bilgileri toplanmaktadır. Toplanan bilgiler, internet vasıtasıyla her bir noktadan (perakendeci, dağıtıcı, geri dönüşümcüler vb.) ürün yaşam döngüsü yönetimi sistemine gönderilmektedir. Bu sistem, ürün yaşam döngüsü bilgilerini tek tek ya da toplu olarak, istenildiği zamanda temin edebilmektedir (Kiritsis, 2011).

Her noktada toplanan (toptancı, dağıtıcı ve atık tesisleri vb.) bilgileri internet vasıtasıyla PLM sistemine gönderir. PLM sistemi, PLM temsilcilerince oluşturulan yaşam döngüsü bilgilerini istenen talebe göre kişilere ve kurumlara sunmaktadır.



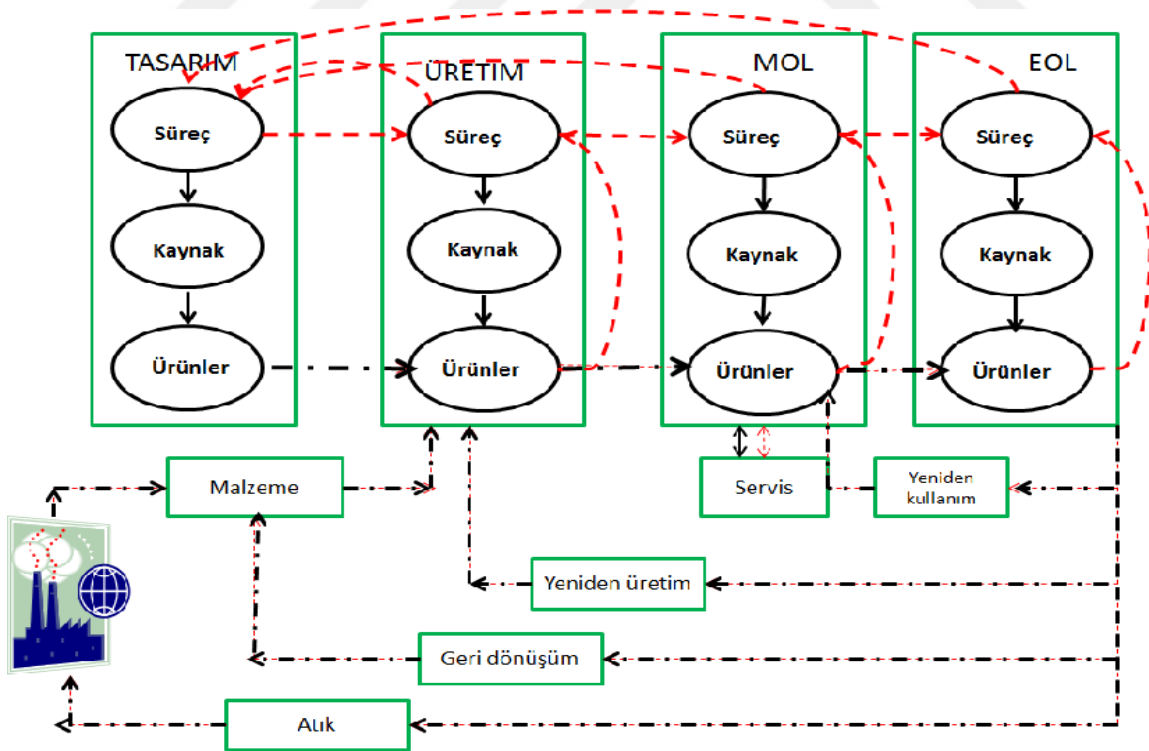
Şekil 3.5. Kapalı döngü ürün yaşam yönetimi (Kiritsis, 2011)

3.3. Kapalı Döngü Bilgi Yapısı

Kapalı döngü bilgi ağı, ürün yaşam döngüsü bilgisine erişmeyi sağlar. Üreticiler, bu döngü sayesinde, ürünün kullanılmasından, kullanım ömrü bitmiş ürün şartnamesine kadar tamamlanmış ürüne ait bütün bilgileri öğrenebilmektedir. Tamamlanmış ve sürekli güncellenen bilgi sayesinde servis, bakım ve geri dönüşüm bilgileri kolaylıkla edinilmektedir. Ürün tasarım sürecinde, tasarımcı ürün yaşam döngüsündeki diğer katılımcıların yöntemlerinden ve uzmanlığından faydalanabilmektedir.

Ürün geri dönüşüm ve tekrar kullanım aşamasında, gelen parça hakkında kesin bilgiler sağlanmaktadır. Bu bilgiler ışığında geri dönen ürünün hangi geri dönüşüm aşamasına tabii tutulacağı kolaylıkla belirlenmektedir.

Şekil 3.6’ da kalın siyah oklar geri dönüşüm döngüsüyle birlikte ürünün ve malzemenin akışını gösterirken, noktalı kırmızı çizgiler ise bilgi döngüsünü göstermektedir (Kirititsis, Burafdi, and Xirouchakis, 2003).



Şekil 3.6. Kapalı döngü bilgi yapısı (Kirititsis ve diğerleri, 2003)

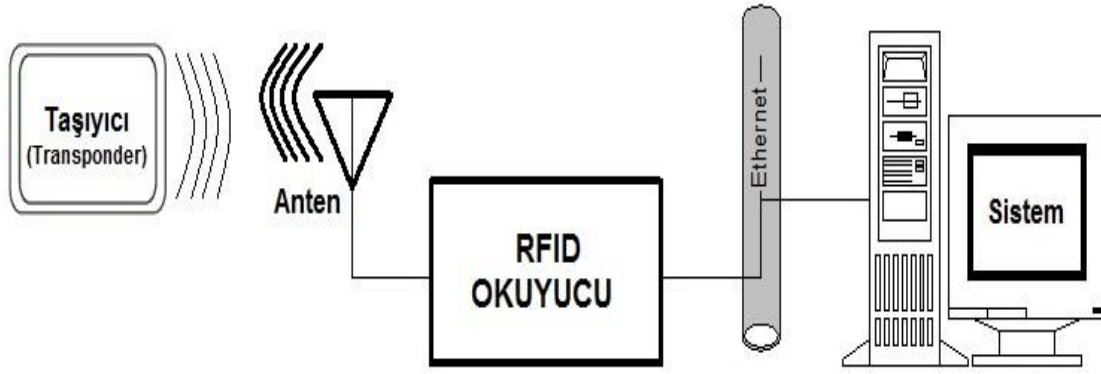
3.4. Ürün Tanımlayıcı Sistemler

Ürün tanımlamak için farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Bu alanda ilk olarak 1970 yılında geliştirilen barkod teknolojisi kullanılmaya başlanmıştır.

RFID Sistemi: Radyo Frekanslı Tanıma (RFID) canlı ve cansız her bir nesnenin dokunmadan belli mesafe aralığında tanınmasında ve izlenmesinde kullanılan bir teknolojidir. Özellikle son yıllarda dünya genelinde RFID kullanımı artış göstermiştir. Otomotiv, akaryakıt, lojistik, perakendecilik, tarım, sağlık, ilaç, tekstil, finans, bankacılık, enerji, kamu, üretim, güvenlik, turizm gibi birçok sektörde geniş uygulama alanlarında aktif ve yaygın olarak kullanılmaktadır. RFID teknolojisi işlemsel maliyetleri oldukça azaltmakla birlikte iş sürecinin daha verimli ve karlı olmasına da yardımcı olmaktadır. RFID teknolojisi 4 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar:

- ✓ RFID Etiket (Çip ve antenden oluşur.)
- ✓ RFID Yazıcı
- ✓ RFID Okuyucu
- ✓ Programlama Aracı

RFID Etiketi: Tanımlanması istenen eşyaların (ürün, paket, taşıt, insan, hayvan vb.) üzerine ya da içine doğrudan yerleştirilen etiketlerdir. Bu etiketler içinde çipler mevcuttur. Çipe kaydedilmiş bilgileri okumak için gerekli iletişim, okuyucu ile etiket içinde bulunan anten aracılığıyla, radyo frekans sinyalleriyle sağlanır. RFID etiket, okuma alanına girdiğinde okuyucu tarafından algılanır ve çip koduyla birlikte içinde kayıtlı olan bilgileri anteni vasıtasıyla okuyucuya kablosuz ve temassız olarak gönderir (www.rfid-turkiye.com, 2017) RFID çiplerin kopyalanması oldukça zordur. Her çipin üretici tarafından belirlenmiş bir tekil ID kimlik numarası/kodu vardır. RFID etiketler aktif, pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Aktif RFID etiketlerde, iletişim ve işlem için enerji kaynağı bulunurken, pasif RFID etiketler gerekli enerjiyi okuyucudan alır. Kısacası, okuyucunun çiple haberleşmesini RFID etikette bulunan anten sağlar. Bir RFID sistemin iki temel bileşeninden biri okuyucu ve diğeri ise taşıyıcıdır. Bunun yanında, sistemi daha etkin hale getirmek için anten, bilgisayar ve veri tabanları kullanılmaktadır. RFID sistem bileşenleri Şekil 3.7’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. RFID sistem bileşenleri

RFID taşıyıcıda saklanan veriyi toplamak ve analiz etmek için okuyuculara ihtiyaç duyulmaktadır (Finkenzeller, 2003). Okuyucu, taşıyıcının hafızasında bulunan veriyi almak için antenine enerji yükler. Bu sayede anten, radyo sinyalleri yayarak taşıyıcıyı aktif hale getirir. Aktif hale gelen taşıyıcı sayesinde hafızasında yer alan veriler yayılır. Burada anten okuyucu ve taşıyıcı arasında iletişim görevi üstlenir. Antenin şekli ve boyutu frekans ayarını etkilen bir performans göstergesidir (Dziadak ve diğerleri, 2009).

Sensör yerleştirilmiş RFID: Ürüne sensör yerleştirilerek sıcaklık, basınç, titreşim gibi belli başlı fiziksel değişkenlerin ölçümü yapılmaktadır. Sensör, gömülü olduğu ürünün yaşam döngüsü hakkında bilgi veren bir aygıttır. Ürüne ilişkin tüm dinamik verileri kayıt etme görevini yapar. Bu toplanan veriler, ürünün kullanımı boyunca elde edilmektedir. Sensörler ürün ya da parçaların hatalarını, ürünlerin son kullanım süresinin bitmesine yakın parçaların tahmini kalan ömürleri hakkındaki bilgileri sağlar (Vadde ve diğerleri, 2008). Dinamik veriler kullanım ömrü biten ürünlerin belirsizliklerini ortadan kaldırmayı amaçlar. Bu sayede, ürün daha de montaja girmeden hakkındaki birçok bilgi sensörlerden sağlanmaktadır.

3.5. Tedarik Zinciri ve Nesnelerin İnterneti

Oldukça yeni bir teknoloji olan Nesnelerin İnterneti kavramı, günümüzde hemen her alanda etkinlik göstermeye başlamıştır. Nesnelerin İnterneti ile nesneler akıllı hale gelmekte ve kendine ait benzersiz bir kimliğe bürünmektedir. Akıllı ürün, çevresiyle iletişim yeteneğine sahip olmakla birlikte, içerisinde bulunan küçük çip yardımıyla veri saklama ve karar verme yeteneğine de sahip olabilmektedir. Bu durum, Tedarik zinciri yönetimi üzerinde önemli değişimlere yol açmaktadır. Tedarik Zinciri süreçleri içerisinde hareket eden ürünün her

türlü bilgisi temin edilerek (örneğin üretim tarihi, son kullanma tarihi, garanti süresi, satış sonrası hizmetleri gibi), ürünlerin saklanması ve güncel olarak Tedarik zinciri elemanlarınca paylaşılmasını mümkün kılarak bilginin kaybolmasını önlemektedir. Bilgiler güncel olarak temin edildiğinden, tedarik zinciri içerisinde kamçı etkisi azalmıştır.

Nesnelerin İnterneti ile ürünün gerçek zamanda takibi ve depoda bulunan ürünün miktarı ve maliyeti hakkında kesin ve net bilgiler sağlanabilmektedir. Depodaki ürünlerin kaybolması ve çalınması önlenmektedir.

Tedarik Zinciri, taşınan akıllı ürünlerin taşınması ilgili tüm bilgileri (örneğin güzergâh, nakliye koşulları, nakledilen yükün durumu) öğrenebilme imkânı sağlamaktadır. Nesnelerin İnterneti, nakliye sırasında oluşan hataları tespit ederek geri dönüş ve hasarlı ürün maliyetlerini azaltmaktadır. Müşteriye teslim edilecek ürün hakkında anlık bilgi sağlayarak, müşteri memnuniyetini arttırmayı amaçlamaktadır.

Nesnelerin İnterneti aynı zamanda çevreye de duyarlılık sağlamaktadır. Bu aygıtlar sayesinde karbon ayak izi kolaylıkla kaydedilmektedir. Bu sayede, çevresel düzenlemelere uyumu sağlayan karbon kredisine ait ticari tarihi kaydına erişim olmaktadır. Bu durum Yeşil Tedarik Zinciri (YTZ) adına önemli bir adımı oluşturmaktadır.

Küresel Tedarik zincirinde Nesnelerin İnterneti, müşteri servis seviyesini, geliri, karlılığı, çalışan sermayeyi, kazançtan faydalanmayı, pazarlama süresini, atık azaltmayı, sürdürülebilirliği, ekipman sayısını ve üretim çalışma zamanını, çevikliği ve riski azaltmayı sağlamaktadır.

Alanında iki büyük firma olan DHL (lojistik servis) ve Cisco (Bilişim sektörü), Nesnelerin İnterneti konulu yeni bir trend raporunu sunmuşlardır. Bu rapora göre, 2020 yılına kadar 50 milyar aygıtın internet ile bağlanacağı ve bu durumun da iş teknolojisinde potansiyel bir gelişime yol açacağı varsayılmaktadır. Artan gelir ve düşen maliyetler, firmaları depolamada, ulaştırmada ve diğer tedarik zinciri elemanlarında Nesnelerin İnterneti' nin daha ön planda olmasını sağlayacaktır. Özellikle lojistik sektöründe büyük değişimlere yol açarak yeni yaklaşımlar doğuracaktır. Depolamada, bağlantılı paletler ve araçlar ile daha küçük stoklama politikası sağlanabilir. Ülkelerarası taşımada, ürünlerin takibi ve izlemesi

daha hızlı, daha kesin, daha tahmin edilebilir ve daha güvenli olabilmekte ve ayrıca ürün takip sistemi ile hatalar otomatik olarak tespit edilebilmektedir.



4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Literatür çalışması iki bölüme ayrılmıştır, ilk bölümde tersine lojistik ağ tasarımı ile ilgili çalışmalar derlenmiştir. İkinci bölümde ise yeni bir kavram olan Nesnelerin İnterneti ve Tedarik Zinciri uygulamalarına yer verilmiştir. Tedarik Zinciri literatür çalışmaları, TTZ ve KDTZ olarak iki kısımda ele alınmış olup 1997-2017 yılları arasındaki tüm çalışmalara yer verilmiştir. Tersine lojistik ağ tasarımı üzerine ilk çalışmalar Fleischmann ve diğerleri (1997), Jayaraman (1999), Krikke ve diğerleri (2001) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar daha sonraları geliştirilerek günümüze kadar birçok çalışmanın esin kaynağı olmuştur.

4.1. Tersine Lojistik ve KDTZ Literatür Çalışmaları

Tersine lojistik ağ tasarımı ile ilgili yapılmış matematiksel model içeren çalışmalar Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Literatür çalışmaları 1999-2017 yılları arasını kapsamaktadır. Çizelge 4.1’ de her bir literatür çalışmasının matematiksel model tipi, dönem sayısı (çok/tek), ürün (çok/tek), modelde kullanılan parametre cinsi, modelin durumu (gerçek hayat ya da teorik), amaç fonksiyonu türü (maliyet/kar) olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1. Tersine lojistik ağ tasarım ile ilgili literatür çalışmaları

MAKALE	MODEL	DÖNEM	Çok dönem	tek dönem	ÜRÜN	çok ürün	tek ürün	PARAMETRE	STOKS	DİĞER	DURUM	AMAÇ FONK. TÜRÜ		DİĞER
								DET.			teori	gerçek hayat	MALİYET	KAR
Harraz ve Galal (2011).	MILP		X		X	X		X				X		X
Keyvanshokoh ve ark. (2013).	MILP	X			X	X		X			X		X	
El- Sayed ve ark. (2010).	LP	X			X	X			X		X		X	
Dahel (2010).	MILP	X					X		X		X		X	
Wang ve Hsu (2010).	ILP		X		X	X					X		X	
Nikolaïdis (2012).	MILP	X			X	X					X		X	
Özkar ve Başlıgil (2012).	MILP	X			X	X					X		X	
Kyvanhokoh ve ark (2013).	MILP	X			X	X					X		X	
Hafeti ve Jolai (2014).	MILP		X		X	X			Robust		X		X	
Lizazaro ve ark. (2013).	MILP	X			X	X					X		X	
Lee ve Dong (2008).	MILP		X		X	X					X		X	
Jayaraman et al. (1999)	MILP		X		X	X					X		X	
Fleischmann et al. (2001)	MILP	X			X	X					X		X	
Beamon ve Fernandes (2004).	MILP	X			X	X					X		X	
Sim ve ark. (2004)	L.P	X			X	X					X		X	
Min et al. (2006)	MINLP	X			X	X					X		X	
STOKS DIN PR		X			X	X					X		X	
Inderfurth (2005)		X			X	X					X		X	
Yang et al. (2009).	DP		X		X	X					X		X	
Üster ve ark. (2007).	L.P.		X		X	X					X		X	
Ko ve Evans (2007)	MINLP	X			X	X					X		X	
Lu ve Bostel (2007)	MILP		X		X	X					X		X	
Listes (2007)	MILP		X		X	X					X		X	
Demirel ve Gökçen (2008)	MILP	X			X	X					X		X	
Salema ve ark. (2009).	MILP	X			X	X					X		X	
Min ve Ko (2008).	MILP	X			X	X					X		X	
Kannan et al. (2010)	MILP	X			X	X					X		X	
Easwaran and Üster (2009)	MILP		X		X	X					X		X	
Wang and Hsu (2010)	ILP	X			X	X					X		X	
Pishvae ve al. (2011)	MILP		X		X	X					X		X	
Paksoy ve ark. (2011)	L.P	X			X	X					X		X	
Zhang ve ark. (2012)	MILP	X			X	X					X		X	
Kenné et al. (2012)	DP	X			X	X					X		X	
Özeylan ve Paksoy (2013)	MILP	X			X	X					X		X	
Qiang ve ark. (2013)	DP	X			X	X					X		X	
Amin ve Zhang (2013)	MILP	X			X	X					X		X	
Özeylan ve ark. (2014).	MINLP	X			X	X					X		X	
Alumur ve ark. (2012)	MILP	X			X	X					X		X	
Subramanian ve ark. (2013)	ILP	X			X	X					X		X	
Krikke et al. (2003)	MILP		X		X	X					X		X	
Du ve Evans (2008)	MILP	X			X	X					X		X	
Pishvae ve ark. (2010).	MILP	X			X	X					X		X	
Pishvae ve Torabi (2010)	PMILP	X			X	X					X		X	
Amin and Zhang (2012)	MILP		X		X	X				BULANIK	X		X	
Ramezani ve ark. (2014).	MILP	X			X	X				BULANIK	X		X	
Subulan ve ark. (2014).	PMILP		X		X	X				X		X	X	
Khajavi ve ark (2011).	MILP	X			X	X					X		X	
Ramazani ve ark. (2013).	MILP	X			X	X					X		X	
Amin ve Zhang (2014).	MILP	X			X	X					X		X	
Mirakhorli (2014).	FMOLP	X			X	X				BULANIK	X		X	

Çizelge 4.1. (devam) Tersine lojistik ağ tasarım ilgili literatür çalışmaları

MAKALE	MODEL	DÖNEM		ÜRÜN		PARAMETRE			DURUM		AMAÇ FONK. TÜRÜ		
		Çok dönem	Tek dönem	çok ürün	tek ürün	DET.	STOKS.	DİĞER	teori	gerçek hayat	MALİYET	KAR	
Devika ve diğ. (2014)	MOLP		X		X	X				X	X		Meta sezgisel ve Lanranj yöntemi
Hafeti ve Jolai (2014)	MILP		X		X			X	X		X		Kesin optimizasyon
Suyabatmaz ve diğ. (2014)	MILP		X		X			X	X		X		Jenerik yöntem
Ayvaz ve diğ. (2015)	MILP	X		X			X			X		X	
Ene ve diğ. (2015)	MILP	X		X		X				X		X	
Garg ve diğ. (2015)	MONLP		X	X		X				X	X	X	
Ghayebloo ve diğ. (2015)	MOLP		X	X		X			X		X	X	
Subulan ve diğ. (2015)	MOLP	X		X		X				X	X	X	
Amin ve diğ. (2017a)	MOLP	X		X		X				X	X	X	
Amin ve diğ. (2017b)	MILP	X		X		X				X		X	
Jeihoonian ve diğ. (2017)	MILP		X		X		X		X			X	
Kadambala ve diğ. (2017)	MOLP		X		X	X			X		X	X	Parçaçık sürüsü, genetik algoritma

Fleischmann ve diğerleri (1997) tarafından tersine lojistik konusunda ilk çalışmalar yapılmıştır. Tersine lojistik faaliyetini; üretim yönetimi, stok yönetimi ve dağıtım yönetimi olarak 3 ana grupta incelemiştir.

Jayaraman (1999), geri dönen ürünler için bir ağ modeli geliştirmiştir. Bu modelde ürünün yaşam ömrünü uzatmak için yeniden üretim ve tamir seçenekleri mevcuttur. Yeniden üretilen ürünler, orijinal ürünlere göre daha ucuza temin edilmektedir. Ürünlerin müşteriden üretim tesisine akışını tersine lojistik, üreticiden müşteriye doğru tekrar akışını da ileri lojistik faaliyeti olarak değerlendirmiştir. Yeniden üretim/dağıtım tesislerinin yerleri ve bu tesisler arasında taşınacak optimal ürün miktarını bulmak için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.

Fleischmann ve diğerleri (2001), yaptıkları bu çalışmada ürün geri kazanımı için tesis yer seçimi modeli oluşturmuşlar ve fotokopi imalatı için gerçek hayat modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde, toplanmayan geri dönen ürünler için bir ceza maliyeti ve geri dönen ürünlerin belli bir yüzdesi için bertaraf maliyeti dikkate alınmıştır.

Krikke ve diğerleri (2001), bir gerçek hayat problemi uygulaması önermişlerdir. Ürün tasarımı ve ağ tasarımını dikkate alarak çok amaçlı (maliyet minimizasyonu, enerji ve atık minimizasyonu), karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Birim ve skalalardaki farklılıklardan dolayı, sapma değişkenleri kullanılmıştır. Buna göre, negatif olmayan değişkenler, amaç değerindeki eksikliği göstermektedir. Her üç hedef değeri için

belli ağırlıklar atanarak model çözülmüş, parametrelerin farklı değerleri için de senaryo analizleri yapılmıştır.

Beamon ve Fernandes (2004), imalatçıların yeni ürün ürettiği ve kullanılmış ürünleri yeniden imal ettiği bir Tedarik zinciri yapısı geliştirmişlerdir. Modelin amacı, yerleşim yerleri içerisinde toplam maliyeti en küçükleyecek şekilde depo ve toplama merkezlerinin nerelere açılacağına karar vermektir.

Savaşkan ve diğerleri (2004) çalışmasında, üreticilere üç farklı toplama seçeneği sunmaktadır. Bu şu şekilde ifade edilmiştir. Üretici, ürünü direk müşterilerden toplamakta, üretici dağıtım uygun teşvikler sağlayarak toplama işini perakendecilere yaptırmakta ya da üretici bir sözleşme hazırlayarak toplama görevini 3. parti lojistik firmalarına yaptırmaktadır. Sonuçta, geri dönen ürünlerin perakendeci tarafından toplanması, üretici için etkili bir seçenek olduğu görülmüştür.

Sim, Jang, Kim ve Park (2004), Fleishmann (2001) tarafından geliştirilen ağ modelini yeniden tasarlayarak taşıma ve işlem maliyetini en küçükleyecek şekilde yeni bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu model çok ürünlü ve çok dönem olacak şekilde planlanmış ve büyük boyut test problemleri için Genetik Algoritma kullanılmıştır.

Inderfurth (2005), stokastik tabanlı Kapalı Döngü bir ağ yapısı geliştirmiştir. KDTZ' de talep ve geri dönen ürün miktarının belirsiz olduğu varsayılmıştır.

Min ve diğerleri (2006), kullanım ömrü bitmiş olan ürünlerin tersine lojistik ağındaki çevresel etkilerini (ürün iyileştirme, geri dönüşüm, yeniden kullanım vb.) dikkate alacak şekilde bir ağ modeli tasarlamışlardır. Geri dönen ürünlerin konumlarıyla ilgili doğrusal olmayan karma tamsayılı matematiksel model geliştirmişlerdir.

Schultman, Zumkeller ve Rentz (2006), Almanya'da kullanım ömrü bitmiş otomobiller için KDTZ ağ modeli geliştirmişlerdir. Mevcut problemin çözümünde araç rotalama ve terzi algoritması kullanılmıştır.

Kim, Song, Kim ve Jeong (2006), üretici karını maksimum yapacak şekilde genel bir kapalı döngü ağ yapısı modeli oluşturmuşlardır. Ağ yapısında müşterilerden geri dönen ürünler,

toplama merkezlerince toplanmakta ve demontaj edilmektedir. Demontaj tesis kapasitesi yeterli olmadığı durumda, ürünler taşeron firmaya gönderilmektedir. Demontajdan çıkan kullanılabilir parçalar, yenileme tesislerinde temizlenerek tamir edilmekte ya da atılmaktadır.

Ko ve Evans (2007), 3. parti lojistik firmasıyla birlikte, ileri ve tersine akışı birlikte sağlayan bir ağ modeli geliştirmişler ve karma tamsayılı doğrusal olmayan dinamik bir modeli ile bu modeli çözmüşlerdir. Geliştirilen karma tamsayılı ağ yapısında çok aşamalı, çok ürünlü, çok dönemli ve kapasite kısıtlı ağ tasarım model Genetik Algoritma ile çözülmüştür.

Lu ve Bostel (2007), karma tip bir matematiksel model hazırlayarak, üç tip tesis için iki seviyeli bir yerleşim problemi oluşturmuşlardır. Amaç fonksiyonu sabit ve değişken maliyetlerin en küçüklenmesi şeklindedir. Modelin çözümünde Lagranj algoritması kullanılmış ve 12 aday nokta için farklı çözümler elde edilerek, kıyaslamalar yapılmıştır.

Listes (2007), ileri ve tersine lojistik ağını bütünleştirerek senaryo tabanlı iki aşamalı stokastik bir model oluşturmuşlardır. Talep ve geri dönen ürün miktarlarını temel alan 12 farklı senaryo analizi yapmışlardır. Üçüncü parti lojistik tedarikçilerini göz önüne alacak şekilde çok dönemli karma tamsayılı doğrusal bir programlama modeli geliştirilmiş ve Genetik Algoritmayla çözmüşlerdir.

Sahyouni ve diğerleri (2007), KTDZ için üç farklı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişler ve Langanj gevşetmesi yöntemiyle de çözmüşlerdir.

Üster ve diğerleri (2007), işleme, ulaştırma, tesis kurulum maliyetlerini küçükleyecek şekilde bir kapalı döngü ağ modeli kurmuşlar ve toplam maliyeti minimize edecek şekilde toplama ve yeniden üretim tesislerinin yerlerini belirlemişlerdir. Otomobil sektöründe faaliyet gösteren bir OEM'nin yeniden imalatı için tersine bir akış modeli tasarlamışlardır. Modelin çözümü için Benders algoritması temel alınmış, çözüm yönteminin performansı klasik Benders ve dal-sınır algoritmasıyla karşılaştırılmıştır.

Demirel ve Gökçen (2008), kullanılmış ürünlerin toplanarak ayrıştırıldığı, uygun kalitedeki ikinci el parçaların yeni ürünlerin imalatında kullanıldığı bir ağ yapısı için çok ürünlü ve çok aşamalı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Model,

müşterilerden dönen ürünlerin daha ekonomik olması durumunda toplama merkezlerine uğramadan doğrudan ayrıştırma tesislerine taşınmasına izin vermektedir. Tek dönem için geliştirilen bu model, farklı boyutlardaki problemler için test edilmiştir.

Zhou ve diğerleri (2008), Fleishmann ve arkadaşlarının kullandığı modeli geliştirerek tamir ve yeniden imalat seçenekleri dikkate alan imalatçı, dağıtım merkezi, müşteri ve geri kazanım tesislerini içeren bir ağ modeli oluşturmuşlar ve karma tamsayılı doğrusal programlama ile çözmüşlerdir.

Du ve Evans (2008), imalatçıların satış sonrasında garanti kapsamında geri dönen ürünlerin 3. parti servis sağlayıcısı tarafından yapıldığını varsaymışlardır. Toplam maliyet minimizasyonu ve tamir için gerekli çevrim zamanının minimizasyonu sağlayacak şekilde iki farklı amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Her potansiyel tesisin yerinin kapasitesi kesikli parametre ile ifade edilmiştir.

Lashkari ve Zhang (2008), kurşun-asit batarya üretimi için satın alma, üretim, kullanım ömrü biten ürünlerin toplanması ve geri dönüşümünü içeren çok amaçlı bir model geliştirmişlerdir. Toplam işlem maliyeti ve kirlilik maliyetini minimize edecek şekilde çok amaçlı, çok aşamalı KDTZ ağ modeli geliştirilmiştir.

Lee ve Dong (2008), kiralama ömrü bitmiş olan bilgisayarlar için bir kesin programlama modeli kurmuşlardır. Ağın karmaşık yapısını kolaylaştırmak için iki aşamalı sezgisel yaklaşım geliştirilmiş ve yer atama problemine entegre edilmiştir. İlk aşamada depo yerleri belirlenmiş, ikinci aşamada ise kullanım ömrü bitmiş ürünlerin nakliyesi için tabu arama algoritması oluşturulmuştur.

Salema ve diğerleri (2009), KDTZ için stratejik ve taktiksel bir model geliştirmişlerdir. Stratejik karar ağ değişkenlerini, taktiksel seviyedeki karar değişkenlerine göre (üretim, stoklama, dağıtım planlama), mikro ve makro zaman ölçeği göz önüne alarak değerlendirmişlerdir. Oluşturulan karma tamsayılı doğrusal programlama modeli dal-sınır tekniğiyle çözülmüştür.

Lee ve diğerleri (2009), maksimum sayıda müşteriye hizmet verecek şekilde bir tesis yeri belirlemek amacıyla bir model oluşturmuşlar ve Genetik Algoritmayla bunu çözmüşlerdir.

RFID sistemi, geri dönen ürün miktarının maksimizasyonunu sağlamak amacıyla kullanılmıştır. RFID ürün bilgileri mevcuttur, RFID' li ürün içerisindeki bilgi, Genetik Algoritmanın girdisi olarak kullanılmaktadır. GA, geri dönen ürün miktarını en iyileyecek şekilde, her bir toplama noktası için en iyi yerin nerede olacağını tespit etmek amacıyla kullanılmıştır.

Salema ve diğerleri (2009), ileri ve tersine lojistik ağı için stratejik atama ve yer modeli geliştirmişlerdir. Ağ tasarımı gibi stratejik kararlar, taktiksel kararlarla (üretim, depolama, dağıtım planı) birlikte yer alır. Makro zaman seviyesi ağ tasarımında talep ve geri dönen ürünler için dikkate alınırken, mikro zaman seviyesi de taktiksel kararlar için dikkate alınmıştır. Karma tamsayılı doğrusal model kurulmuş ve dal-sınır tekniği ile çözülmüştür. Model, bir gerçek hayat problemine uygulanmıştır.

Yang ve diğerleri (2009), ileri tersine lojistik ağı hammadde tedarikçisi, üretici, perakendeci ve talep pazarları içerirken; tersine lojistik ağı da talep pazarları, iyileştirme merkezleri ve üreticileri içermektedir. Üreticiler hem ham malzemeyi hem de kullanılmış malzemeyi işleyebilmektedir. Hammond ve Beullens (2007) ve Sheu (2005) daha önceki çalışmaları birleştirerek genişletmişlerdir. Çok aşamalı karar vericiler kullanılmış ve karar vericileri davranışlarını en iyilemek için değişken eşitsizliği teorisi kullanılmıştır (Yang ve diğerleri, 2009).

Pan ve diğerleri (2009), müşterilerden geri toplanan ürünler için kapasiteli dinamik parti büyüklüğü problemi yaklaşımını KDTZ' den kullanmışlardır. Geri dönen ürün ya atılmakta ya da yeni ürün için tekrar üretimi yapılmaktadır. Üretim, atık ve yeniden üretim kapasitesi sınırlıdır. Model, farklı senaryolar için dinamik programlama algoritması kullanılarak çözülmüş, maliyet fonksiyonunun konkav olduğu varsayılmıştır. Kapasitenin sabit olduğu varsayılarak, atık ve yeniden üretim için geleneksel parti büyüklüğü yaklaşımı kullanılmış ve polinomial algoritma ile çözülmüştür.

Wang ve Hsu (2010), ileri ve tersine lojistik ağını birlikte koordine ederek, tamsayılı doğrusal model kullanılarak periyodik lojistik ağ tasarımı oluşturmuşlardır. Üretim, dağıtım merkezleri ve hurdalıklara karar verilirken minimum maliyet göz önüne alınmıştır. Üçe ayrılan ağaç tabanlı GA geliştirmişlerdir.

Pishvae ve diğerleri (2010a), artan lojistik ağ maliyeti ve ağ cevaplama bilirliliği için çok amaçlı bir model ve baskın olmayan çözümü bulmak için verimli, çok amaçlı memetik algoritma geliştirmişlerdir. Hazırlanan algoritma, üç farklı yer seçeneği için yeni dinamik bir araştırma tekniği olarak kullanılmıştır. Bu yeni yaklaşımın kalitesini belirlemek için Pareto- optimal yöntem kullanılmıştır.

Pishvae ve Torabi (2010b), ürün talebi, geri dönüş oranı, teslim zamanı, maliyetler ve kapasitenin belirsiz olduğu, çok amaçlı lojistik ağ tasarımı geliştirmişlerdir ve model bulanık optimizasyon yaklaşımı ile çözülmüştür.

Kannan, Sasikumar ve Devika (2010), kullanılmış kurşun asit bataryalarından çıkan kurşunları tekrar yeni batarya üretiminde kullanmak için bir iyileştirme modeli oluşturmuşlardır. Çok aşamalı, çok dönemli, çok ürünlü bir kapalı döngü ağ modeli kurularak, ürün geri dönüşleri ve üretim, iyileştirme, dağıtım ve geri dönüşüm süreçleri analiz edilmiştir. Model, sezgisel tabanlı Genetik Algoritma ile çözülmüştür.

El- Sayed ve diğerleri (2010), risk altında, çok aşamalı stokastik karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. İleri lojistik ağ yapısı 3 aşamadan (tedarikçi, tesisi ve dağıtım merkezi), geri ağ yapısı ise 2 aşamadan (demontaj ve yeniden dağıtım merkezleri) oluşmaktadır ve parametreler stokastik olarak belirlenmiştir.

Pishvae ve diğerleri (2011), iyileştirme ve atık aktivitesiyle ilgili olarak bir KDTZ ağ yapısı tasarlamış ve karma tamsayılı matematiksel bir model kurulmuştur.

Khajavi ve diğerleri (2011), kapasite kısıtlı, çok aşamalı ve çok amaçlı ileri ve tersine lojistik ağ modeli geliştirmişlerdir. Toplam maliyet minimizasyonu ve kapalı döngü ağındaki eş zamanlı cevaplanabilmeyi maksimum yapacak şekilde iki amaç fonksiyonu oluşturulmuş ve dal-sınır algoritmasıyla optimal en iyi sonuç bulunmuştur.

Harraz ve Galal (2011), Mısır'da kullanım ömrü bitmiş olan araçlar için bir iyileştirme ağı tasarlamışlardır. Bu ağda iki farklı tip karar verici kullanılmıştır. Bu kararlar, toplama ve demontaj merkezlerinin yer ve farklı yerlere atanan ürün miktarlarını içermektedir. İyileştirme merkezi tasarımı için lexicographic karma tamsayılı hedef programlama modeli

geliştirilmiştir. Model, sürdürülebilirlik, ekonomik ve çevresel-sosyal konuları incelemek için oluşturulmuştur.

Paksoy ve diğerleri (2011), ürün iyileştirmeyi, maliyetleri, taşıma sırasında ortaya çıkan sera gazı etkisi dikkate alınarak, çok ürünlü kapalı KDTZ modeli oluşturmuşlardır. Farklı taşıma seçeneklerinden kaynaklı maliyet ve gaz emisyon oranı göz önüne alınarak bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Model, kapalı döngü Tedarik Zinciri ağında, ileri ve tersine lojistik ağında malzeme taşınırken ortaya çıkan CO₂ (karbon dioksit gazı) yayılımı göz önüne alınarak çevresel maliyeti hesaplamak için oluşturulmuştur. Böylece, farklı performans değerleriyle (maliyet, emisyon, taşıma miktarı) ödünleşin analizi yapılmıştır.

Özkır ve Başlıgil (2012), kullanım ömrü bitmiş olan ürünler için yeşil lojistik ağ tasarımı oluşturmuşlar; birden fazla ürün iyileştirme seçenekleri göz önüne alarak tam sayılı bir model geliştirmişlerdir. Ürünlerin hasarlarına göre, farklı iyileştirme seçenekleri sunulmuştur.

Baptista ve diğerleri (2012), talep belirsizliği olan çok dönemli, çok aşamalı bir ağ modeli geliştirmişlerdir. Müşteri talepleri ve ürün geri dönüşleri belirsiz olduğu için iki aşamalı stokastik bir yaklaşımı kullanmışlardır.

Amin ve Zhang (2012a), birden fazla müşteri, parça, ürün, tedarikçi, yeniden üretici, yeniden imalat ve yenileme yerleri içeren bir kapalı döngü ağ yapısı geliştirmişlerdir. Üç aşamalı olarak geliştirilen modelin ilk aşamasında, tedarikçileri, yeniden üretici tesisler ve yenileme tesisleri, Kalite Fonksiyon Göçerimi yaklaşımına göre değerlendirilmiştir. QFD modeliyle müşteri gereksinimleri, parça ve ürün ihtiyaçları arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve karar verme aşamasındaki belirsizliği ortadan kaldırmak için bulanık mantık teorisi kullanılmıştır. İkinci aşamada, kapalı döngü ağ yapısı stokastik karma tamsayılı lineer olmayan programlama modeli ile yapılandırılmış ve talebin belirsiz bir parametre olduğu varsayılmıştır. Son olarak, çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal model kurulmuştur.

Zhang ve diğerleri (2012b), kapalı döngü tedarik ağında kurulum maliyeti, ürün geri dönüşü ve yeniden üretimi dikkate alarak kapasiteli parti büyüklüğü problemi üzerinde çalışmışlardır. Karma tamsayılı doğrusal programlama modeli hazırlanmış ve Lagranj

gevşetme çözümü ile çözülmüştür. Amaç fonksiyonu değeri için daha düşük alt sınırı verdiği için Lagranj gevşetme yaklaşımı kullanılmıştır.

Kenne ve diğerleri (2012), üretim ve yeniden üretim faaliyetlerini birleştirerek tek ürün için üretim planlama ve kontrolü üzerinde çalışmışlardır. 3 tip stoklama tekniği ağ yapısında kullanılmıştır.(cümle eksik olmus sanki) Üretilmiş ve yeniden üretimi yapılan ürünler birinci ve ikinci stokta stoklanmaktadır. Geri dönen ürünler ise 3. stokta toplanmaktadır ve daha sonra bu ürünler ya yeniden üretilmekte ya da atılmaktadır. Modelin amacı, üretim/yeniden üretimi yapılan ürünlerin gecikme ve stokta tutma maliyetini minimize etmektir. Karar değişkenleri olarak, üretimi yapılan ürün oranları alınmıştır. Optimal çözüm için stokastik dinamik programlama geliştirilmiştir.

Amin ve Zhang (2012), tersine lojistikte ürünün yeniden kullanımı ile ilgili tüm işlemleri ele almışlardır.(bu şekilde daha mı anlamlı) Dış tedarikçiler, hem tersine lojistikte hem de kapalı döngü Tedarik Zincirinde en önemli üyelerden biridir. Bu çalışmada, demontaj tesisleri, yenileme tesisleri, atık tesislerinden ve üreticilerden oluşan bir kapalı döngü tedarik ağı oluşturulmuş ve bu ağın üreticiler tarafından yönetildiği varsayılmıştır. Nitel kriterler temel alınarak, tedarikçiler, bulanık yöntem ile değerlendirilmiştir. Bu aşamadaki çıktı, her bir tedarikçinin ağırlığını oluşturmaktadır. İkinci aşamada, tedarikçinin ve yenileme tesisinin yer seçimi (stratejik seviye karar değişkenleri) ve en iyi sayıda parça ve ürün (taktik seviye karar değişkenleri) sayısına karar vermek için çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Matematiksel modelin geçerliliği sayısal analizle test edilmiştir.

Keyvanshokoo ve diğerleri (2013), çok aşamalı, çok dönemli, çok ürünlü ve kapasite kısıtlı kapalı döngü Tedarik Zinciri modeli geliştirmişlerdir. Geri dönen ürünler, kalite seviyelerine ve farklı kazanç fiyatlarına göre sınıflandırılmıştır. Kullanılmış ürünlerin kazanç fiyatları, müşterilerin geri dönüş oranlarına bağlı olarak her dönem için değişmektedir. Kullanılan ürünler için dinamik fiyatlandırma yaklaşımı göz önüne alınarak karma tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımı geliştirilmiştir. Dağıtım noktalarında, stoklar dönemlik olarak takip edilmektedir.

Zeballos ve diğerleri (2013), müşteri taleplerini ve ham madde miktarının belirsizliğini göz önüne alarak, çok dönemli, çok ürünlü bir KDTZ modeli oluşturmuşlardır. Talep miktarı

dinamik stokastik bir veridir, modelde belirsizliği dikkate alacak şekilde çok katmanlı senaryo analizi kullanılmıştır.

Özceylan ve Paksoy (2013), çok parça ve çok dönemi içerecek şekilde bir kapalı döngü ağ modeli tasarlamışlardır. Kannan ve diğerlerinin (2010) çalışmasından esinlenilerek oluşturulan bu modelde, kullanılmış ürünlerin naklinin geçmiş dönemden bir sonraki döneme aktarılması göz önünde bulundurulmuştur. Çok aşamalı, çok dönemli ve çok parçalı ürünün, üretim ve dağıtım plan ağı en iyilemeye çalışılmış, hammadde satın alma ve yenileme maliyetleri göz önüne alınmıştır. Parametrelerin farklı değerleri için senaryo analizleri yapılmıştır.

Amin ve Zhang (2013), çok sayıda fabrika, toplama merkezi, pazar yeri, ürünü içeren bir kapalı döngü ağ modeli tasarlamışlardır. Karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilerek toplam maliyet minimize edilmeye çalışılmıştır. Model, ağırlıklandırılmış toplam ve alfa kısıtıyla çevresel faktörleri dikkate alarak geliştirilmiştir. Talep ve geri dönen ürünlerin belirsizliği için stokastik programlama (senaryo tabanlı) uygulanmıştır.

Subramanian ve diğerleri (2013), geliştirdikleri modeli 4 farklı şekilde değerlendirmişler ve tam sayılı doğrusal program ile modellemişlerdir. Başlangıç en iyi çözümü bulmak için, Vogel yaklaşım metodu ile toplam fırsat maliyet metodu geliştirilmiştir.

Ramazan ve diğerleri (2013), müşteri karını, servis seviyesini ve ürün kalitesini maksimum yapacak şekilde çok amaçlı stokastik model geliştirmişlerdir. Amaçlar, Pareto en iyi çözüm yardımıyla çözülmüş ve finansal risk göz önüne alınarak amaçlar arasında ödünleşim yapılmıştır. Ağ yapısında, toplama ve üretimi birlikte yapan bir tesise yerleştirilmiştir.

Kyvanshokoo ve diğerleri (2013), çalışmalarında geri dönen ürünlerin kalitesine göre farklı geri dönüş fiyat politikası uygulamışlardır. Dinamik fiyat yaklaşımı yardımıyla karma tamsayılı yeni bir doğrusal model geliştirmişlerdir.

Qiang ve diğerleri (2013), birbirinden bağımsız hammadde tedarikçilerini, toptancı ve geri dönen ürünleri direkt talep pazarlarından toplayan üreticileri de içeren genel bir ağ tasarım modeli tasarlamışlardır. Hazırlanan algorithmada tedarikçiler arasındaki rekabet, dağıtım

kanallarına yapılan yatırım miktarı, verimlilik ve geri dönüşüm oranları, talepteki belirsizlikler, birbiriyle kıyaslanacak şekilde yeni bir matematiksel model geliştirmişlerdir.

Alfonso - Lizarazo ve diğerleri (2013), günümüzdeki tüketicilerin kullandıkları ürün ve servislerin çevreye etkisiyle ilgilenmişlerdir. Palmiye yağı endüstri için ileri ve tersine lojistik ağı modellenmiştir. Enerji, maliyet ve ekonomik karlılığı göz önüne alarak bir amaç fonksiyonu geliştirilmiştir. İyileştirme süreçleri için farklı senaryolar hazırlanmış, ileri ve tersine akış arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Oluşturulan senaryolar için bir hipotez testi kurulmuş ve kendi içinde kıyaslanmıştır.

Özceylan ve diğerleri (2014), KDTZ ağına kısmi montaj sistemini entegre etmişlerdir. Kısmi montaj hem üretim aşamasında hem de geri dönen ürünlerin montajı sırasında yapılmaktadır. İleri ve tersine lojistikte, her bir tesis arasında akacak ürün miktarı stratejik karar verme problemi iken; montaj hattı dengelenme problemi ise taktiksel karar verme problemi olarak değerlendirilmektedir. Toplam maliyet içerisinde, taşıma, satın alma, yenileme, demontaj maliyeti de yer almaktadır. Çok aşamalı, çok dönemli ve doğrusal olmayan karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirmişlerdir.

Feng ve diğerleri (2014), tedarikçi, üretici, toptancı ve müşteriye içeren bir süper ağ modeli geliştirmişlerdir. Ürün talebi sezonluktur, fiyatın talebe hassasiyeti söz konusudur. Müşteri talebi, zamana bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilmiştir.

Subulan ve diğerleri (2014), çok aşamalı, çok ürünlü, kapalı döngü ağ tasarımı için melez tabanlı (stokastik ve olasılıklı), karma tam sayılı bir model geliştirmişlerdir. Talep, geri dönüş oranı, ürün kalitesi stokastik parametreler ile değerlendirilirken; maliyet parametreleri, geri dönüş oranları, açılacak maksimum tesis sayısı, dağıtım ve toplama için izin verilecek maksimum uzaklık, olasılıklı parametreler ile tanımlanmış ve olasılık dağılımı ile ifade edilmiştir. Risk ve belirsizlik ortamı altında, kurşun-asit pillerin geri dönüşümü için bir gerçek hayat problemi geliştirmişlerdir.

Ramezani ve diğerleri (2014), çok ürünlü, çok dönemli bulanık bir KDTZ ağı tasarlamışlardır. Model, **kar** maksimizasyonu, teslim süresi minimizasyonu, kalite maksimizasyonu olmak üzere üç amaç fonksiyonuna sahiptir.

Mirakhorli (2014), ekmek üretim sektörü için bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yöntemini geliştirmişler ve bulanık iki amaçlı tersine lojistik ağını modellemişlerdir. Çalışmanın amacı, toplam maliyeti ve teslimat süresini minimize etmektir. Üretilen ekmekler, dağıtım merkezlerine ve oradan da nakliye ile müşterilere ulaşmaktadır. Bu, ağı ileri lojistik kısmını oluştururken; bozuk ya da atılan ekmekler müşterilerden toplama merkezlerine ve oradan da üretim tesisine getirilmesi tersine lojistik kısmını oluşturmaktadır. Geri dönen ürünler, test edilerek uygun olanlar tekrar üretilmekte ve geri kalanlar da atılmaktadır. Müşteri talebi ve geri dönen ürün miktarı bilinemediği için bunlar bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Model çok amaçlı Genetik Algoritma ile çözülmüştür.

Devika ve diğerleri (2014), ağ tasarımında sosyal, çevresel ve ekonomik boyutu dikkate alacak şekilde niceliksel bir model geliştirmişlerdir. Değişken komşuluk araması ve rekabetçi algoritması kullanılmış ve bulunan sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır.

Hafeti ve Jolai (2014), çalışmalarında tedarik zinciri yönetimini etkileyen iki risk faktörü olduğuna değinmiştir. Bunlardan ilki, tedarik ve talep dengesini etkileyen belirsiz modeldir, yazarlar diğer faktörün ise doğal afetler, deprem, ekonomik aksaklıklar, terör gibi olaylar olduğunu ifade etmişlerdir. Modelde, belirsizlikleri ortadan kaldırmak amacıyla, kesin optimizasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Kesin optimizasyon yaklaşımı Bertsimaas ve Sim (2004) tarafından ortaya atılmış bir yaklaşımdır. Müşteri talebi, geri dönen ürün miktarı ve kalitesi bulanık sayılar ile ifade edilmektedir. Tedarik ağında oluşabilecek aksaklıkları kontrol edebilmek için, karma tamsayılı doğrusal programlama modeli arttırılmış p-dayanıklılık kısıtıyla birlikte kullanılmıştır.

Suyabatmaz ve diğerleri (2014), tersine tedarik zincirindeki belirsizlikleri göz ardı etmek amacıyla olasılık tabanlı iki model geliştirmişlerdir. Bu modeller farklı senaryolar analizleri altında birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Ayvaz ve diğerleri (2015), elektronik ekipmanları toplayan 3. parti bir firma için çok aşamalı, çok dönemli ve kapasite kısıtlı, iki aşamalı stokastik matematiksel model geliştirmişlerdir.

Ene ve diğerleri (2015), kullanım ömrü bitmiş olan arabaların geri dönüşüm ağ sürecini incelenmiştir. Model, gerçek hayat problemi olarak tasarlanmıştır. Modelin amacı,

toplam atık maliyetini ve çevre kirliliğini minimize etmektir. Hazırlanan model ayrıca, farklı büyüklüklerde senaryo modelleri ile test edilmiş ve performansı incelenmiştir.

Garg ve diğerleri (2015), ulaşımdan kaynaklı çevresel faktörleri kontrol edecek şekilde bir KDTZ modeli geliştirmişlerdir. Böylelikle, iki farklı amaç fonksiyonunun birbiriyle ödünleşimi sağlanmıştır.

Ghayebloo ve diğerleri (2015), çok amaçlı karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirerek Pareto optimal çözüm yaklaşımıyla kar ve çevreye duyarlılık arasındaki ödünleşimi sağlamayı amaçlamışlardır.

Subulan ve diğerleri (2015), araç lastiklerinin geri dönüşümünü dikkate alacak şekilde çok amaçlı, çok aşamalı, çok ünlü ve çok dönemli KDTZ ağ modeli geliştirmişlerdir. Bu ağ modelinde çevresel faktörlerden 99 eko gösterge metodu kullanılarak çevresel etkiyi dikkate almışlardır.

Amin ve diğerleri (2017a), müşteri memnuniyeti ve değişim oranı dikkate alacak şekilde KDTZ ağ modeli oluşturmuşlar ve müşteri taleplerinin belirsiz olduğunu varsaymışlardır. Çok amaçlı kurulan bu modelde ilk amaç, tedarikçilerden teslimat süresinin minimizasyonu iken, ikinci amaç ise toplam kar maksimizasyonudur.

Amin ve diğerleri (2017b), lastiklerin yeniden üretimi için bir KDTZ geliştirmişlerdir. Toplam kar maksimizasyonu üzerine kurulan bu model, Kanada Toronto bulunan bir fabrikadan gerçek veriler ile oluşturulmuştur.

Jeihoonian ve diğerleri (2017), uzun ömürlü ürünler için KDTZ ağ modeli geliştirmişlerdir. İki aşamalı tamsayılı geliştirilen stokastik model de bulanık sayılar kullanılmıştır.

Kadambala ve diğerleri (2017), KDTZ için enerji ve zaman etkinliğini ölçmek amacıyla çok amaçlı karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu modelde, kar maksimizasyonu, müşteri arz fazlalığı ve enerji minimizasyonu amaçlanmıştır. Modelin çözümünde çok amaçlı parçacık sürüsü optimizasyonu oluşturularak, Genetik Algoritma ile baskın olmayan çözümlerle kıyaslanmıştır.

4.2. Nesnelerin İnterneti ve Tedarik Zinciri Uygulamalarına Yönelik Literatür Çalışmaları

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından Oto-ID' in kurulmasından bu yana, Nesnelerin İnterneti kavramı, birçok araştırmacı tarafından geniş çapta kullanılmaya başlanmıştır. Miorandi ve diğerleri (2012), bu merkezin tersine lojistik yönetiminde bilgi toplama, güncelleme ve veri paylaşımı için ideal bir platform olduğunu ifade etmiştir.

Özellikle RFID' nin TZ yönetiminde kullanılmasıyla birlikte, birçok kolaylık ve yenilikte ortaya çıkmıştır. 2003 yılında, Wal-Mart tarafından RFID teknolojisi tersine lojistik ağında kullanılmaya başlanmıştır. Elektronik ürün atıklarını elektronik kod yardımıyla iyileştirme seçenekleri için yeni bir bilgi platform sistemi geliştirilmiştir (Zhidian, 2005). Nesnelerin İnterneti üzerine yapılan çalışmalar henüz yeteri kadar değildir, son yıllarda bu konuyla ilgili çok fazla çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Nesnelerin İnterneti teknolojisinin tersine lojistik ağı içerisinde nasıl uygulanacağı, elde edilen verilerin nasıl değerlendirileceğine ilişkin çalışmalar oldukça yetersizdir. Bu alanda belli başlı yapılan literatür çalışmaları:

Gaukler ve diğerleri (2007), üretici ve toptancı arasındaki çok aşamalı tedarik zinciri ağ yapısında RFID ile ürünlerin takibini sisteme entegre etmiştir. Tedarik zincirinde RFID' li ve RFID ürünler için başabaş fiyat analizi yaparak, aradaki ilişki kıyaslanmıştır.

Bottani ve Rizzi (2008), çabuk tüketilen ürünlerin tedariki için RFID teknolojisini kullanmıştır. Model de RFID kullanılarak ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır.

Saraç ve diğerleri (2010), RFID' nin Tedarik zincirine etkisi üzerine geniş bir literatür çalışması yapmışlardır. Araştırmalarında ağırlıklı olarak stok hataları, kamçı etkisi ve yenileme konularını ele almıştır.

Kiritsis (2011), kapalı döngü ürün yaşam yönetimi, ürünün en son yaşam döngüsünü de içerisine alan tüm yaşam döngüsü üzerine çalışmalara ağırlık vermiştir. Ürün yaşam döngüsü yönetiminin amacı, ürünün yaşamı boyunca elde edilen bilgilerin etkin olarak yönetilmesidir. Ürün yaşam döngüsünü üç gruba ayırmıştır: Bunlardan ilki olan Başlangıç Aşaması (BOL) ürün kapsamlama, tanımlama ve fark etmeyi; ikincisi olan Orta Yaşam Döngüsü (MOL) kullanım, servis ve bakımı içerir. Sonuncusu olan En son Yaşam Döngüsü

(EOL) ise ürünün demontaj sonrası yenilenmiş parçaların tekrar kullanımını, ürün tamir aşamasını, demontaj yapılmadan ya da demontaj yapılarak malzemenin iyileştirilmesini, ürünün imha edilmesi gibi hayat süreçlerini inceler.

İlgın ve Gupta (2011), kanban kontrollü demontaj hatlarının çeşitli performans değerlerini ölçmek için sensör kullanmışlar ve niceliksel bir değerlendirme yapmışlardır. Sensörlerin hem toplam sistem maliyetinde azaltmaya hem de gelirden artışa neden olduğu görülmüştür. Bu çalışmadan hareket edilerek, sensör gömülü klimaların demontaj hattındaki parçalar arası öncelik ilişkisi araştırılmıştır.

Gu ve Liu (2013), Nesnelerin İnterneti uygulamasını, tersine lojistikte bilgi yönetimine uyarlamışlardır. Tersine lojistikteki bilgi sistemi karakterlerini meydana getiren araştırma metodları kullanılarak tersine lojistik bilgi sistemi analiz edilmiştir. Sonuçta, kesin ve zamanında yapılan bilgi, tersine lojistik yönetiminin başarısını oluşturan önemli bir araç olduğu anlaşılmıştır.

Öndemir ve Gupta (2014a), DTO (demontaj emri) sistemini geliştirerek ARTODTO sistemi (gelişmiş tekrar üretim ve demontaj emri) sistemini oluşturmuşlardır. Geri dönen ürünler, ARTODTO taşıyıcılarından ürün bilgileri okunmakta, ürün parçalara ayrılmakta; bir kısmı tekrar üretim aşamasına giderken, bir kısmı da demontaja gitmekte, kullanılamayacak parçalar ise atılmakta ya da geri dönüşüme tabii tutulmaktadır. Ürünlerin tamamen demontaj edildiği varsayılarak çok amaçlı lexicographic, karma tamsayılı hedef programlama ile model çözülmüştür. Toplam maliyet, toplam atılan ürün miktarı, malzeme satış geliri, toplam kalite seviyesi olmak üzere 4 amaç fonksiyonu geliştirilmiştir.

Öndemir ve Gupta (2014b), ARTODTO sistemini geliştirerek geri dönüşüm iyileştirme seçeneği olarak ürün tamirini dikkate almışlardır. Demontaj edilmeyecek ürünler tamir edilmektedir. Tamire uygun değilse parçalar, atık olarak değerlendirilmektedir. Doğrusal fiziksel-matematiksel model geliştirilerek toplam maliyet, toplam atılacak ürün miktarını minimize edecek şekilde iki farklı amaç fonksiyonu kurulmuştur. Montaj tesisinde, yetersiz kapasite durumunda dışarıdan parça alınabileceği varsayılmıştır.

Paksoy ve diğerleri (2016), ilk defa Nesnelerin İnterneti kavramını KDTZ' de uygulamışlardır. Modüler ve tek ürün için bir tedarikçi, üretici, dağıtıcı, satış ve toplama

merkezli ve yenileme merkezi olan bir KDTZ ağı oluşturulmuştur. Toplam kar maksimizasyonu hedef alınarak karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiş ve GAMS- CPLEX' de çözdürülmüştür.





5. KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİNDE MÜŞTERİ DAVRANIŞLARINI İÇEREN MATEMATİKSEL MODEL

5.1. Geliştirilen Matematiksel Modelin Yapısı ve Varsayımları

Bu tez kapsamında, KDTZ ağ yapısında müşteri satın alma davranışlarını dikkate alan yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Müşterilerin satın alma davranışları müşteri ihtiyaçlarıyla ortaya çıkmaktadır. Müşteri satın alma kararını fiyat, kalite, marka imajı gibi kararlar etkilerken, satın alma kararında ise gereksinimlere en iyi şekilde cevap verecek ürünler seçilir. Kısacası satın alma, kültürel, sosyal, kişisel ve psikolojik faktörlerden etkilenmektedir (www.turkmmo.com, 2014). Araştırmaya konu olan müşteri satın alma davranışları, nesnelerin interneti, ürün yaşam döngüsü kavramlarının ilk kez birlikte kullanılacak olması literatürdeki en önemli farklılıklarından biridir.

Problemde, KDTZ’ de satış ve toplama merkezinde sıfır ürün talep eden müşterinin satın alma davranışları dikkate alınacak şekilde müşteriler 4 farklı gruba ayrılmıştır. İlk grup müşteri tipi, istediği ürünü bulamadığında satın almaktan vazgeçecek müşteri grubudur. Diğer 3 tip müşteri grubu ise ürünün temini için beklemeye razı olacak müşterilerdir. Bekleme süresi göz önüne alındığında, müşterilere 3 farklı bekleme seçeneği sunulmaktadır. Bekleme süreleri aylar bazında olup, “1 ay bekleyen”, “2 ay bekleyen”, “3 ay bekleyen” olarak belirlenmiş ve bekleme süresine göre ürün satış tutarının değişmediği varsayılmıştır. Bu bilgiler ışığında, satış ve toplama merkezinin 3 dönemlik müşteri talepleri sırasıyla;

1. *dönem satacağı ürün miktarı* = 1. dönem gelen ve yok satmayı kabul etmeyen müşteri talebi,
2. *dönem satacağı ürün miktarı* = 2. dönem gelen ve yok satmayı kabul etmeyen müşteri talebi + 1. dönem gelen ve “1 ay” beklemeye razı olan müşteri talebi,
3. *dönem satacağı ürün miktarı* = 1. dönem gelip “2 ay” bekleyen müşteri talebi + 2. dönem gelen “1 ay” bekleyen müşteri talebi + 3. dönem gelen ve yok satmayı kabul etmeyen müşteri talebi toplamı kadardır.

Müşteri talepleri her dönem için dinamik bir yapı göstermekte ve bir önceki müşteri taleplerine bağlı olarak dönemlik değişmektedir. Ayrıca, satış ve toplama merkezinde dönem içerisinde ürün yok satma maliyetine katlanılmaktadır.

Satış ve toplama merkezi aynı zamanda, müşterilerden kullanım ömrü bitmiş ürünleri geri toplama görevini de üstlenmektedir. Kullanım ömrü bitmiş ürünler sahip oldukları değer seviyeleri üzerinden satın alınmakta ve değer seviyeleri ürüne gömülü olan sensör ve pasif RFID tarafından belirlenmektedir. Geri dönen ürünler tamir (repair), komple demontaj (disassembly) ve atık (disposal) olmak üzere üç farklı geri dönüş sürecine tabii tutulmaktadır. Tekrar kullanılabilir ve az hasarlı olan ürünler, tamire gönderilerek bozuk olan parçaları tedarikçiden gelen sıfır parça ile değiştirilir ve yeni ürün haline getirilir ve daha sonra da yenileme merkezinden dağıtım merkezine geri gönderilir. Tamir edilemeyecek kadar kötü fakat içerisinde kullanılabilir parçası olan ürünler, komple demontaj işlemine tabii tutulur. Demontajdan çıkan parçalar değer seviyelerine göre talebi karşılamak üzere satış ve toplama merkezine, yeniden üretilmek için fabrikaya ya da bertaraf edilmek üzere atık merkezine gönderilir. Tamir ve demontaj için yeterli değer seviyesine sahip olmayan ürünler ise direkt olarak atılır. Demontajdan çıkan iyi durumdaki parçalar öncelikli olarak çıkma parça talebini karşılarken, geri kalan parçalar yeniden üretim için fabrikaya gönderilir.

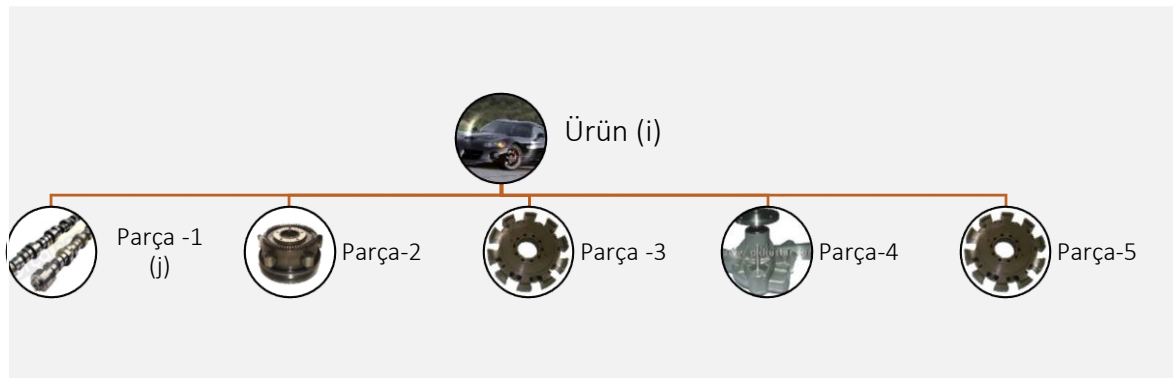
Bu çalışma içerisinde, müşteri satın alma davranışlarını içeren karma tamsayı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Modele ilişkin varsayımlar aşağıda ifade edilmiştir.

Modele ait varsayımlar

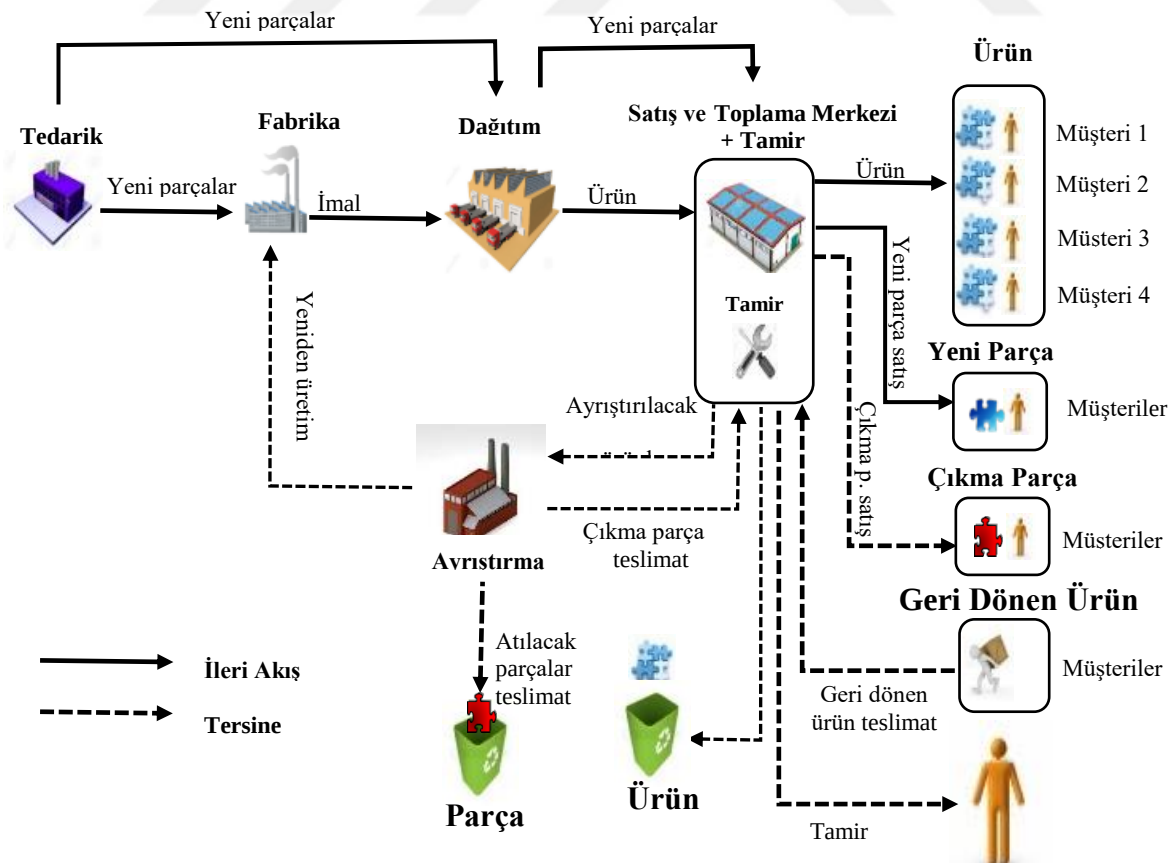
1. Ürün modüler olup, sensör ve RFID gömülüdür.
2. Yeni ürün ile iyileştirilmiş ürün arasında hiçbir fark yoktur ve aynı fiyatla talebi karşılayabilmektedir.
3. Tüm maliyet ve satış bilgileri bilinmektedir.
4. Ürünü oluşturan parçaların, toplamı 1 olacak şekilde, 0-1 arasında değişen parçaların önem ağırlıkları mevcuttur.
5. Mevcut parçaların değer seviyelerine göre ürün değer seviyesinin aşağıdaki gibi hesaplandığı varsayılmıştır.

$$\text{Ürün değer seviyesi } (diot_i) = \sum \text{Değer seviyesi } (diot_j) \times \text{Parça önem ağırlığı}$$

6. Ürün satışında müşteri satın alma davranışları dikkate alınmıştır.
7. Satış ve toplama merkezinde tamir yapılmaktadır.
8. Çok aşamalı, tek ürün ve çok dönemli karma tamsayılı bir matematiksel modeldir.
9. Tamir, satış ve toplama merkezinde yapılmaktadır.
10. Ayırıştırma merkezinde ürün komple demonte işlemine uğrar.
11. Fabrikanın belli bir kapasitesi söz konusudur.
12. Satış ve toplama merkezinde stoktan satış yapılmamaktadır.



Şekil 5.1. Ürün ağaç diyagramı



Şekil 5.2. Model ağ tasarımı

Şekil 5.2' ye göre, ağ tasarımında tedarikçi, fabrika, dağıtım merkezi ve satış ve toplama merkezi birden fazladır. Tedarikçiden gelen sıfır parçalar fabrikada montaj edilmekte ve fabrikadan çıkan yeni ürünler dağıtım merkezi aracılığıyla satış ve toplama merkezine gelerek buradan müşterilere satılmaktadır. Satış ve toplama merkezinde 4 farklı müşteri tipi vardır ve her birinin talebi dönemsel olarak farklılık göstermektedir. Aynı zamanda satış ve toplama merkezinde yeni parça talep eden müşteriler de mevcuttur. Sıfır parça dağıtım merkezleri aracılığıyla ürünler satış ve toplama merkezilerine getirilir. Satış ve toplama merkezi, geri dönen ürünleri müşterilerden almaktadır. Geri dönen ürünler değer seviyelerine göre tamir, demontaj ve atık olarak değerlendirilir. Tamir edilecek ürünler satış ve toplama merkezinde işlem yapılarak tekrar müşteriye teslim edilir. Komple demonte edilecek ürünler ise ayrıştırma merkezine gönderilir. Kötü durumda ve hiç kullanılamayacak ürünler ise atılmaktadır. Komple demonte edilecek ürünler ayrıştırma merkezinde tamamen parçalara ayrılır ve iyi durumdaki parçalar yenilenerek çıkma parça talebini karşılamak üzere satış ve toplama merkezlerine getirilir, geri kalan çıkma parçalar ise fabrikalara gönderilir. Kötü durumdaki parçalar ise atık merkezine gönderilir.

İndisler

- i = Geri dönen ürünler ($i=1, 2, \dots, I$) s = Tedarikçi sayısı ($s=1, \dots, S$)
 j = Parçalar ($j=1, 2, \dots, J$) p = Fabrika sayısı ($p=1, \dots, P$)
 t = Periyod ($t=1, 2, \dots, T$) d = Dağıtım merkezi sayısı ($d=1, \dots, D$)
 l = Ürün değer aralığı ($l=1, 2, \dots, L$) st = Satış ve toplama merkezi sayısı ($st=1, \dots, ST$)
 α = Müşteri grubu ($\alpha = 1, 2, \dots, N$)

Değişkenler

- X_{spjt} = s . tedarikçiden p . fabrikaya t döneminde taşınan j . sıfır parça miktarı
 Y_{sdjt} = s . tedarikçiden d . dağıtım merkezine t döneminde taşınan j . parça miktarı
 Z_{pdt} = p . fabrikadan d dağıtım merkezine t döneminde taşınan ürün miktarı
 $W_{d,st,j,t}$ = d . dağıtım merkezinden st . satış ve toplama merkezine t döneminde taşınan j . parça miktarı
 $V_{d,st,t}$ = d . dağıtım merkezinden st . satış ve toplama merkezine t döneminde taşınan ürün miktarı

$SS_{st,j,t}$ = Ayırıştırma merkezinden st. satış ve toplama merkezine t döneminde gönderilen j. çıkma parça miktarı

N_{pjt} = Ayırıştırma merkezinden t döneminde fabrikaya gönderilen j. yenilenmiş parça miktarı

$Invv_{st,t}$ = t döneminde st. satış ve toplama merkezinde dönem sonu ürün stok miktarı

$Icc_{st,j,t}$ = t döneminde st. satış ve toplama merkezinde dönem sonu j parça stok miktarı

İkili karar değişkenleri

b_{jt} = $SS_{st,j,t}$ değerini net belirleyebilmek için kullanılan yardımcı karar değişkeni (0 veya 1 değerini alır)

$$f1_{s,t} = \begin{cases} 1 & t \text{ döneminde } s \text{ tedarikçisinin kullanılması,} \\ 0 & d.d. \end{cases}$$

$$f2_{p,t} = \begin{cases} 1 & t \text{ döneminde } p \text{ fabrikası açılırsa,} \\ 0 & d.d. \end{cases}$$

$$f3_{d,t} = \begin{cases} 1 & t \text{ döneminde } d \text{ dağıtım merkezi açılırsa,} \\ 0 & d.d. \end{cases}$$

Parametreler

a_j = j. parçanın fabrika ve satış toplama merkezindeki montaj maliyeti

$d1_j$ = j parçanın ayırıştırma merkezindeki demontaj maliyeti

e_j = j. parçanın atık maliyeti

$g2_j$ = j. parçanın 1 birim taşıma maliyeti

$p1_{sj}$ = s. tedarikçiden j parçayı temin etme maliyeti

pp_j = Demontajdan çıkan j. parçanın satın alma değeri

rr_l = Toplama merkezinden l seviyesinde geri dönen ürün satın alma maliyeti

f_j = j. çıkma parçanın yenileme maliyeti

$h2_{st,j}$ = st. satış ve toplama merkezinden j sıfır parçanın satış fiyatı

$h3_{st,j}$ = st. satış ve toplama merkezinden j. çıkma parçanın satış fiyatı

rc_j = Bir ürün içinde bulunan j. parça sayısı

$R_{st,l,t}$ = t döneminde st satış ve toplama merkezinden satın alınan l. seviyede kullanılmış ürün miktarları

$dm_{st,alfa,t}$ =st satış ve toplama merkezinin t zaman dilimindeki ürün talebi

$dms_{st,j,t}$ = t döneminde st. satış ve toplama merkezinin j. sıfır parça talebi

$dmc_{st,j,t}$ = t döneminde st. satış toplama merkezinin j. çıkma parça talebi

$Capmax_{st,j}$ = st satış ve toplama merkezinin j parça kapasitesi

$hcc_{st,j}$ = j parçanın st. satış ve toplama merkezindeki birim yoksatma maliyeti

hc_{st} = st satış toplama merkezinde birim stok tutma maliyeti

$h1_{st}$ = st. satış ve toplama merkezlerindeki birim ürün satış fiyatı

dd_{pd} = p. fabrikadan d. dağıtım merkezi arasındaki öklid uzaklığı (km)

$d2_{d,st}$ = d dağıtım merkezinden st satış toplama merkezi arasındaki öklid uzaklığı (km)

$Q_{st,t}$ = t döneminde st. satış toplama merkezindeki tamir edilen ürün miktarı

$g1$: Birim ürün taşıma maliyeti

pi = birim yok satma maliyeti

bro_{ijt} = t döneminde geri dönen i. ürünün j. parçasının nasıl işlendiğine karar veren ikili karar değişkeni

C_i = Geri dönen i ürün değer aralığı

$\bar{a}_{st,i,t}$ = t döneminde i. ürünün st. satış ve toplama merkezi tarafından satın alınırsa 1, diğer durumda 0.

$xx_{st,i,t}$ = t döneminde st. satış ve toplama merkezinden gelen demonte edilecek i. ürün miktarı

$yy_{st,i,t}$ = t döneminde st. satış ve toplama merkezinde tamir edilecek i. ürün miktarı

$rfc_{st,j,t}$ = t döneminde yenilenecek j. parça miktarı

M_{jt} = t döneminde demontaj işleminden sonra atılacak j. parça miktarı

Kapasiteler

$CapmaxU_{st}$ = st satış toplama merkezi kapasitesi

$Capp1_{s,t}$ = t dönemindeki s tedarikçisinin kapasitesi

$Capp2_{p,t}$ = t döneminde p. fabrikanın kapasitesi

$Capp3_{d,t}$ = t döneminde d dağıtım merkezi kapasitesi

$Capp4_{d,j,t}$ = t döneminde d dağıtım merkezindeki j parça kapasitesi

Tesis maliyetleri

$e1_{s,t}$ = s tedarikçisini t döneminde kullanırsak oluşan maliyet

$e2_{p,t}$ = p fabrikasının t döneminde kullanılma maliyeti

$e3_{d,t}$ = d dağıtım merkezinin t döneminde açılma maliyeti

Parametrelerin açıklanması

Yukarıda belirtilen bazı parametreler aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

Buna göre, en önemli parametrelerden biri olan bro_{ijt} , parçaların nasıl işleneceği belirleyen bir parametredir. Değer seviyesi yeterli olan parçaların demonte edildikten sonra yenilenerek yeniden kullanılır, değer seviyesi yeterli olmayan parçalar ise doğrudan atılır. Buradaki n , parçaların yenilenmesi için belirlenen eşik değerdir.

$$bro_{ijt} = \begin{cases} 1, j \text{ parça yetersiz değer seviyesinde ise (atık)} & 0 \leq diot_j \leq n \\ 0, j \text{ parça yeterli değer seviyesinde ise (yeniden kullanılır)} & diot_j \geq n \end{cases}, \forall i \text{ ve } 0 < n \quad (5.1)$$

Geri dönen ürünün parçalarının değer seviyesi ($diot_j$) ve parçaların önem ağırlıkları bilinmektedir. Bu bilgilere göre hesaplanan ürün değer seviyeleri ($diot_i$) için 3 sınıf (*değer aralığı*) tanımlanmıştır. C_i ürün değer aralığı aşağıdaki gibi belirlenmektedir. Burada n_1 ve n_2 , değer aralığı sınırlarını ifade etmektedir. Buna göre, geri dönen her ürünün hangi geri kazanım işlemine (tamir, demontaj, atık) tabi tutulacağı bilgisine karar verilir.

$$\begin{aligned} C_i = 1 & \Rightarrow \text{atık}, \quad 0 \leq diot_i \leq n_1 \\ C_i = 2 & \Rightarrow \text{demontaj}, \quad n_1 \leq diot_i \leq n_2, \quad \forall i \text{ ve } 0 < n_1 < n_2 \\ C_i = 3 & \Rightarrow \text{tamir}, \quad diot_i \geq n_2 \end{aligned} \quad (5.2)$$

(Ondemir ve Gupta, 2014b).

Geri dönen ürünler t periyodunda satın alınmış ve 3. değer aralığında ise satış ve toplama merkezinde tamir edilir.

$$C_i. \bar{a}_{it} = 3 \text{ ise } yy_{it} = 1 \quad (5.3)$$

Geri dönen ürünler t periyodunda satın alınmış ve 2. değer aralığında ise ayrıştırma merkezinde demonte edilir.

$$C_i. \bar{a}_{it} = 2 \text{ ise } xx_{it} = 1 \quad (5.4)$$

Geri dönen ürünler 1. değer aralığında ise doğrudan atılır.

$$C_i = 1 \text{ ise } \sum_t xx_{it} + yy_{it} = 0 \quad (5.5)$$

Demontajdan sonra yenilenen toplam parçaların miktarı (rfc_{jt}) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$rfc_{jt} = \sum_{\{i \in I | \bar{a}_{it} = 1\}} xx_{it} \cdot (1 - bro_{ijt}) \quad (5.6)$$

Tamir ve demontaj süreçleri sırasında ortaya çıkan yetersiz seviyedeki parçalar atık merkezine gönderilir. Dolayısıyla, atık merkezine gönderilen toplam atık miktarı yetersiz seviyedeki parçaların miktarına eşit olmalıdır.

$$M_{jt} - \sum_i \sum_{st} bro_{ijt}(xx_{st,i,t} + yy_{st,i,t}) = 0 \quad \forall j, t \quad (5.7)$$

Q_t , yenileme merkezinde tamir edilen ürün miktarı, ürün talebini karşılamak üzere yenileme merkezinden dağıtım merkezine gönderilen tamir edilmiş ürün miktarı kadar olmalıdır.

$$Q_{st,t} = \sum_i yy_{st,i,t} \quad (5.8)$$

Amaç fonksiyonu

Model, toplam kazancı maksimize ederken, toplam maliyeti de minimize etmektedir. Modelin amacı kar maksimizasyonu üzerine kurulmuştur. Amaç fonksiyonu iki kalemde oluşmaktadır: Kar, toplam gelirden (TR) toplam maliyetin (TC) çıkartılması ile elde edilmektedir.

$$Enb \ z = \text{Toplam Gelir (TR)} - \text{Toplam Maliyet (TC)} \quad (5.9)$$

$$TR = \sum_{\alpha} \sum_t \sum_{st} (dm_{st, \alpha, t-\alpha+1}) h1_{st} + \quad (5.10)$$

$$\left\{ \alpha \in N | t-\alpha+1 \geq 0 \right\}$$

$$\sum_j \sum_t \sum_{st} (dms_{st, jt} + dmc_{st, jt} - SS_{st, jt}) h2_{st, j} + SS_{jt} \cdot h3_{st, j} + \sum_j p_j \sum_p \sum_j N_{pjt}$$

Toplam gelir (TR): Firma, müşterilere sırasıyla, sıfır ürün, sıfır parça ve çıkma parça satışı yapmaktadır. Sınıf ürün satışı müşteri satın alma davranışına göre şekillenmektedir. Satış ve toplama merkezine gelen müşterilerin ürün satın alma davranışları birbirinden farklılık göstermektedir. Müşterilerin bir kısmı, yok satmayı kabul etmezken, diğer kısmı da yok satmayı kabul etmekte ve ürün temin süresini beklemeye razı olmaktadır. Satın alma davranışlarına göre müşteriler dört şekilde gruplandırılır. Birinci grup müşteri, yok satmayı kabul etmezken, 2. grup müşteri “1 aylık”, 3. grup müşteri “2 aylık”, 4. grup müşteri ise “3 aylık” bekleme sürelerini kabul etmektedir. Her bir müşteri grubu için, dönemlik müşteri talepleri önceden bilinmektedir. Birim ürün satış fiyatlarının her müşteri grubu için aynı olduğu varsayılmıştır. Satılan sıfır ürün miktarı, firmaya kazanç olarak geri dönecektir. Firma, müşteriden geri dönen ürünlerin de satışını yapmaktadır. Örneğin geri dönen kötü durumdaki ürünler komple demontaj işlemine tabii tutulur ve demontajdan sonra yenilenen parçaların bir kısmı yeniden üretim için fabrikaya gönderilir. Fabrikaya gönderilen ve sıfır parça yerine kullanılabilen bu parçalar tedarikçiden temin edilmediğinden firmaya kazanç kalemi olarak geri döner. Demontajda yenilenen diğer parçalar ise satış ve toplama merkezine getirilerek çıkma parça (ikinci el parça) talebi olarak müşterilere satılmaktadır. Buna göre toplam gelir:

$$TC = TPC + TMC + TTC + TWC + TIC + TSC + TFC \quad (5.11)$$

Toplam Maliyet (TC) 7 farklı maliyet kaleminden oluşmaktadır:

1. Toplam satın alma maliyeti (TPC)
2. Toplam üretim maliyeti (TMC),
3. Toplam taşıma maliyeti (TTC),
4. Toplam atık maliyeti (TWC),
5. Toplam stok maliyeti (TIC),
6. Toplam yok satma maliyeti (TSC),
7. Toplam kurulum maliyeti (TFC),

Toplam satın alma maliyeti (TPC): Toplam satın alma maliyeti, fabrika ve satış ve toplama merkezlerinden sıfır parçaların talebini karşılamak üzere yapılan satın alma maliyetini ve müşterilerden kullanılmış ürünleri geri satın alma maliyetini oluşturmaktadır.

$$TPC = \sum_s \sum_p \sum_j \sum_t p1_{sj} X_{spjt} + \sum_s \sum_d \sum_j \sum_t p1_{sj} Y_{sdjt} + \sum_l rr_l \sum_{st} \sum_t R_{st,l,t} \quad (5.12)$$

Toplam üretim maliyeti (TMC): Üretim maliyeti, fabrika içindeki imalat maliyeti (TMC1), satış ve toplama merkezindeki tamir maliyeti (TMC2), ayrıştırma merkezindeki yenileme maliyetinden (TMC3) oluşmaktadır.

$$TMC = TMC1 + TMC2 + TMC3 \quad (5.13)$$

Demontajdan sonra yenilenen parçaların bir kısmı fabrikalara gönderilmektedir. Geride kalan eksik parçalar tedarikçilerden temin edilerek fabrikada yeniden imalatı gerçekleştirilir. Fabrika içindeki imalat, sıfır ürün ve yeniden üretilmiş ürünlerden oluşmaktadır. İmalat maliyeti, üretilen ürünlerin içerdiği tüm parçaların montaj maliyeti olarak ifade edilmektedir.

$$TMC1 = \sum_j a_j rc_j \sum_p \sum_d \sum_t Z_{pdt} \quad (5.14)$$

Satış ve toplama merkezlerinde tamir yapılmaktadır. Tamir maliyeti, hasarlı parça için de montaj, sıfır parça satın alma ve montaj maliyetlerinden oluşmaktadır.

$$TMC2 = \sum_{st} \sum_i \sum_j \sum_t (d1_j + a_j + \sum_s p1_{sj}) bro_{ijt} yy_{st,i,t} \quad (5.15)$$

Tamir için yeterli değer seviyesinde olmayan fakat parçaları tekrardan kullanılabilen ürünler komple demontaja tabii tutulur. Demontajdan çıkan iyi durumdaki parçalar yenilenir ve değer seviyelerine göre talebi karşılamak üzere satış ve toplama merkezlerine gönderilir. Satış ve toplama merkezi talebini karşıladıktan sonra kalan parçalar, sıfır ürün üretiminde kullanılmak üzere fabrikalara gönderilir. Kötü durumdaki işe yaramayan parçalar, bertaraf edilmek üzere atık merkezine gönderilmektedir. Parçaların demontaj maliyeti ve iyi durumdaki parçaların yenileme maliyetinin toplamı TMC3 maliyetini vermektedir.

$$TMC3 = \sum_{st} \sum_i \sum_t xx_{st,i,t} \sum_j d1_j + f_j (1 - bro_{ijt}) \quad (5.16)$$

Toplam taşıma maliyeti (TTC): Taşıma maliyeti, ürün ve parça bazında değerlendirilmektedir. Fabrikalardan dağıtım merkezlerine, yenileme merkezinden dağıtım merkezlerine ve dağıtım merkezlerinden satış ve toplama merkezlerine yapılan nihai ürün birim taşıma maliyetleri eşit kabul edilmiştir. Ayrıca, yenileme merkezinden fabrikalara,

yenileme merkezinden satış ve toplama merkezlerine ve dağıtım merkezlerinden satış ve toplama merkezine olan parça taşıma maliyetleri de eşittir. Buna göre, toplam taşıma maliyeti şöyledir:

$$TTC = \sum_p \sum_d \sum_t Z_{pdt} d_{pd} g_1 + \sum_d \sum_{st} \sum_t V_{d,st,t} d_{d,st} g_1 + \sum_d \sum_{st} \sum_j \sum_t W_{d,st,j,t} d_{d,st} g_2 + \sum_{st} \sum_j \sum_t SS_{st,j,t} g_2 \quad (5.17)$$

Toplam atık maliyeti (TSC): Tamirde değiştirilecek olan, demontajda ise yenilenmeyecek olan yetersiz seviyedeki parçalar atık olarak kabul edilir. Atık maliyeti ise şu şekilde gösterilir:

$$TWC = \sum_i \sum_j \sum_t e_j M_{jt} \quad (5.18)$$

Toplam stok maliyeti (TIC): Talebi karşılamak için satış ve toplama merkezlerinde hem ürün hem de sıfır parça stoğu tutulmaktadır. Maliyet kaleminin ilk kısmı ürün için stok tutma, ikinci kısım ise sıfır parça için stok tutma maliyetini tanımlamaktadır.

$$TIC = \sum_{st} \sum_t Inv_{st,t} hc_{st} + \sum_j \sum_{st} hcc_{st,j} \sum_t Icc_{st,j,t} \quad (5.19)$$

Toplam yoksatma maliyeti (TSC): Ürün talebi karşılanmadığı durumda satış ve toplama merkezlerinde yoksatma maliyetine katlanılmaktadır. Bu maliyet, ürün teslim sürelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

$$TSC = p_i \left(\sum_{\alpha=2}^N \sum_{t=1}^T \sum_{st} dm_{st,\alpha,t} + \sum_{\alpha=3}^N \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{st} dm_{st,\alpha,t} + \sum_{\alpha=4}^N \sum_{t=1}^{T-2} \sum_{st} dm_{st,\alpha,t} \right) \quad (5.20)$$

Toplam kurulum maliyeti (TFC): Tedarikçi kullanılma maliyeti ve dağıtım merkezi ve satış toplama açma/kapama maliyetinden oluşmaktadır.

$$TFC = \sum_s \sum_t e1_{st} \cdot f1_{st} + \sum_p \sum_t e2_{pt} \cdot f2_{pt} + \sum_d \sum_t e3_{dt} \cdot f3_{dt} \quad (5.21)$$

Model kısıtları

Fabrikalardan dağıtım merkezlerine gelen sıfır parçaların miktarı ile dağıtım merkezinden satış ve toplama merkezine giden sıfır parçaların miktarı eşit olmalıdır. Dolayısıyla şu formül elde edilir:

$$\sum_s Y_{sdjt} = \sum_{st} W_{d,st,j,t}, \quad \forall d, j, t \quad (5.22)$$

Fabrika ve yenileme merkezinden dağıtım merkezine gelen ürünler, dağıtım merkezinden satış ve toplama merkezine giden ürün miktarına eşit olmalıdır. Dolayısıyla şu formül elde edilir:

$$\sum_p Z_{pdt} = \sum_{st} V_{d,st,t} \quad \forall d, t \quad (5.23)$$

Fabrika içi imalatla kullanılan parçaların bir kısmı kendi bünyesindeki yenileme merkezinden, bir kısmı da tedarikçiden karşılanmaktadır. Dolayısıyla, fabrikaya gelen parçaların toplamı fabrikada üretilen ürün parça gereksinimini karşılamak zorundadır.

$$\sum_s X_{spjt} + N_{pjt} = rc_j \sum_d Z_{pdt} \quad \forall p, j, t \quad (5.24)$$

Demontajdan sonra yeniden kullanılmak üzere yenilenen parçaların bir kısmı çıkma parça talebini karşılamak üzere satış ve toplama merkezine, bir kısmı da yeniden imalatla kullanılmak üzere fabrikaya gönderilir. Dolayısıyla, demontajdan sonra yenilenen parça miktarı, yenileme merkezinden fabrika ve satış ve toplama merkezine giden parça miktarına eşit olmalıdır.

$$\sum_{st} rfc_{st,jt} = \sum_{st} SS_{st,j,t} + \sum_p N_{p,j,t} \quad \forall j, t \quad (5.25)$$

Satış ve toplama merkezinin ürün talebi, dağıtım merkezlerindeki nihai ürünlerle sağlanmaktadır. Satış ve toplama merkezlerinde ürünler stoklanmaktadır. Satış ve toplama merkezinde bir önceki dönemden kalan ürün miktarı ile dağıtım merkezinden gelen ürün miktarları, toplam müşteri talebi ve dönem sonu stok toplamına eşittir.

$$Invv_{st,t-1} + \sum_d V_{d,st,t-1} = Invv_{st,t} + \sum_{\alpha}^N dm_{st,\alpha,t-\alpha+1} \mathbb{1}_{\{\alpha \in N \mid t-\alpha+1 \geq 0\}}, \quad \forall st, t \quad (5.26)$$

Müşterinin sıfır parça ve çıkma parça olmak üzere iki farklı parça talebi vardır. Dağıtım merkezlerinden satış ve toplama merkezlerine gelen sıfır parça miktarı ile satış ve toplama merkezlerinde bir önceki dönemden kalan sıfır parça stoku, sıfır parça talebi ve dönem sonu kalan stok miktarlarına eşittir. Firma, çıkma parça talebini tamamen karşılayamadığı durumda ise sıfır parça kullanmaktadır.

$$S_{st,jt} + \sum_d W_{d,st,jt} + Icc_{st,j(t-1)} = dms_{st,jt} + dmc_{st,jt} + Icc_{st,jt} \quad \forall st, j, t, \quad (5.27)$$

Demontajdan sonra yenilenen parçaların bir kısmı çıkma parça talebini karşılamak üzere satış ve toplama merkezine bir kısmı da yeniden imalat için fabrikaya gönderilir. Aşağıdaki kısıt, yenilenen parçaların dağılımında önceliğin çıkma parça talebini karşılamaya yönelik olarak satış ve toplama merkezine gönderilen çıkma parça miktarına (S_{jt}) verilmesini sağlar. Dolayısıyla, çıkma parça miktarı ya demontajdan sonra yenilenen toplam parçaların miktarı ya da çıkma parça talebi kadar olmalıdır.

$$\sum_{st} SS_{st,j,t} = \sum_{st} rfc_{st,j,t} \cdot b_{jt} + \sum_{st} dmc_{st,j,t} (1 - b_{jt}), \quad \forall j, t \quad (5.28)$$

Her dönem satış ve toplama merkezine gelen ürün miktarı ve satış toplama merkezinde önceki dönemden kalan ürün miktarı toplamı, satış ve toplama merkezinin kapasitesini aşamaz.

$$\sum_d V_{d,st,t} + Inv_{st,t-1} \leq Cap \max U_{st}, \quad \forall st, t \quad (5.29)$$

Satış ve toplama merkezinde parça kapasitesi söz konusudur.

$$\sum_d W_{d,st,j,t} + SS_{st,j,t} + Icc_{st,j,t-1} \leq Capmax_{st,j,t} \quad \forall st, j, t \quad (5.30)$$

Eşitlik 5.31, tedarikçi; Eşitlik 5.32, fabrika ve Eşitlik 5.33, dağıtım merkezleri kapasite kısıtlarını ifade etmektedir. Eşitlik 5.34 ise karar değişkenlerinin 0'dan büyük ya da eşittir kısıtıdır. Eşitlik 5.35, ikili karar değişkenlerinin kısıtını göstermektedir.

$$\sum_p \sum_j X_{spjt} + \sum_d \sum_j Y_{sdjt} \leq f2_{st} Capp1_{st} \quad \forall s, t \quad (5.31)$$

$$\sum_d Z_{pdt} \leq f2_{pt} Capp2_{pt}, \quad \forall p, t \quad (5.32)$$

$$\sum_{st} W_{dstjt} \leq f3_{dt} Capp4_{djt}, \quad \forall d, j, t \quad (5.33)$$

$$X_{spjt}, Y_{sdjt}, Z_{pdt}, W_{d,st,j,t}, V_{d,st,t}, SS_{st,j,t}, N_{p,j,t} \geq 0 \quad (5.34)$$

$$Inv_{st,t}, Icc_{st,j,t} \geq 0$$

$$b_{jt}, f1_{st}, f2_{pt}, f3_{dt} \in \{0,1\} \quad (5.35)$$

5.2. Modele Ait Sayısal Örnek

Küçük boyutlu ve hipotetik verilerle örnek bir problem hazırlanmış ve GAMS- CPLEX' de test edilmiştir. Ele alınan sayısal örnek bir önceki modelin geliştirilmesi ile oluşturulmuştur. Geliştirilen yeni model, 4 tedarikçi, 2 fabrika, 4 dağıtım merkezi, 4 satış ve toplama ve 1 ayrıştırma merkezinden oluşmaktadır. Model, tek ürünlü, çok parçalı, çok aşamalı, kapasite kısıtlı ve çok dönemli bir karma tamsayılı matematiksel modeldir. Planlama süresi 4 periyot olarak ele alınmış, amaç fonksiyonu kar maksimizasyonudur. Her bir ürün birden fazla parçadan oluştuğu varsayılmış olup, modüler üründür. Çizelge 5.6' da bulunan parçaların değer seviyeleri ile önem ağırlıkları kullanılarak elde edilmiştir. Ürün değer aralığı $n_1 = 4$, $n_2 = 7$, parçaların tamir eşik değeri $n = 4$ kabul edilmiştir. Çizelge 5.14'te, sıfır ve çıkma parça için satış ve toplama merkezindeki talep değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Dönemlere ilişkin satın alınan ürün miktarları (R_{lt})

Dönem (t)					
Satış ve toplama merkezi (st)	Değer (l)	1	2	3	4
1	1	0	0	0	1
	2	1	2	1	1
	3	1	0	1	0
2	1	1	0	2	0
	2	0	2	0	1
	3	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0
	2	0	1	1	1
	3	1	0	1	1
4	1	0	1	0	1
	2	1	0	0	0
	3	0	0	0	0

Çizelge 5.2. Çıkma ve sıfır parça talepleri

Sıfır Parça Talebi					Çıkma Parça Talebi				
	Dönem					Dönem			
St/parça	1	2	3	4	St/parça	1	2	3	4
1.1	5	5	2	2	1.1	3	2	3	0
1.2	2	2	3	1	1.2	1	3	1	1
1.3	1	0	4	0	1.3	0	1	2	1
1.4	1	3	5	3	1.4	1	2	1	2
1.5	0	3	2	0	1.5	2	2	0	2
2.1	5	0	2	2	2.1	3	2	3	0
2.2	4	2	3	1	2.2	1	3	1	0
2.3	0	0	4	4	2.3	0	1	2	0
2.4	1	1	5	3	2.4	1	2	5	2
2.5	2	3	2	5	2.5	1	2	3	2
3.1	1	5	2	2	3.1	3	2	3	1
3.2	4	1	3	1	3.2	1	0	1	0
3.3	0	4	4	4	3.3	0	1	0	0
3.4	1	0	5	3	3.4	1	2	2	2
3.5	0	3	2	5	3.5	2	1	3	2
4.1	1	3	2	2	4.1	0	0	1	1
4.2	2	2	3	1	4.2	1	0	1	0
4.3	0	1	2	4	4.3	0	1	0	0
4.4	1	0	5	3	4.4	1	2	2	1
4.5	0	3	2	3	4.5	2	1	0	1

Çizelge 5.3. Satış ve toplama merkezi ürün talebi

	Dönem					Dönem			
st /müşteri	1	2	3	4	st /müşteri	1	2	3	4
1.1	10	40	25	16	3.1	10	35	15	70
1.2	20	50	70	10	3.2	30	10	50	20
1.3	30	16	80	12	3.3	20	54	20	15
1.4	40	30	75	20	3.4	20	30	22	28
2.1	14	18	26	12	4.1	10	15	12	20
2.2	20	50	20	40	4.2	5	40	20	14
2.3	10	56	10	20	4.3	15	10	5	8
2.4	20	30	25	35	4.4	22	7	10	10

Çizelge 5.4. Tedarikçiden parça temin etme maliyeti

s / parça	p1	s parça	p1	s / parça	p1	s / parça	p1
1.1	9	3.1	7	2.1	13	4.1	3
1.2	9	3.2	12	2.2	8	4.2	8
1.3	3	3.3	15	2.3	13	4.3	10
1.4	5	3.4	13	2.4	6	4.4	14
1.5	14	3.5	14	2.5	7	4.5	12

Çizelge 5.5. Çıkma ve sıfır parça satış fiyatları

st . j	h2	st . j	h2	st . j	h3	st . j	h3
1.1	8	3.1	8	1.1	2	3.1	2
1.2	10	3.2	10	1.2	4	3.2	4
1.3	7	3.3	5	1.3	4	3.3	4
1.4	7	3.4	7	1.4	2	3.4	4
1.5	5	3.5	11	1.5	3	3.5	7
2.1	6	4.1	5	2.1	5	4.1	4
2.2	10	4.2	8	2.2	5	4.2	2
2.3	4	4.3	7	2.3	5	4.3	5
2.4	2	4.4	7	2.4	6	4.4	5
2.5	7	4.5	9	2.5	7	4.5	4

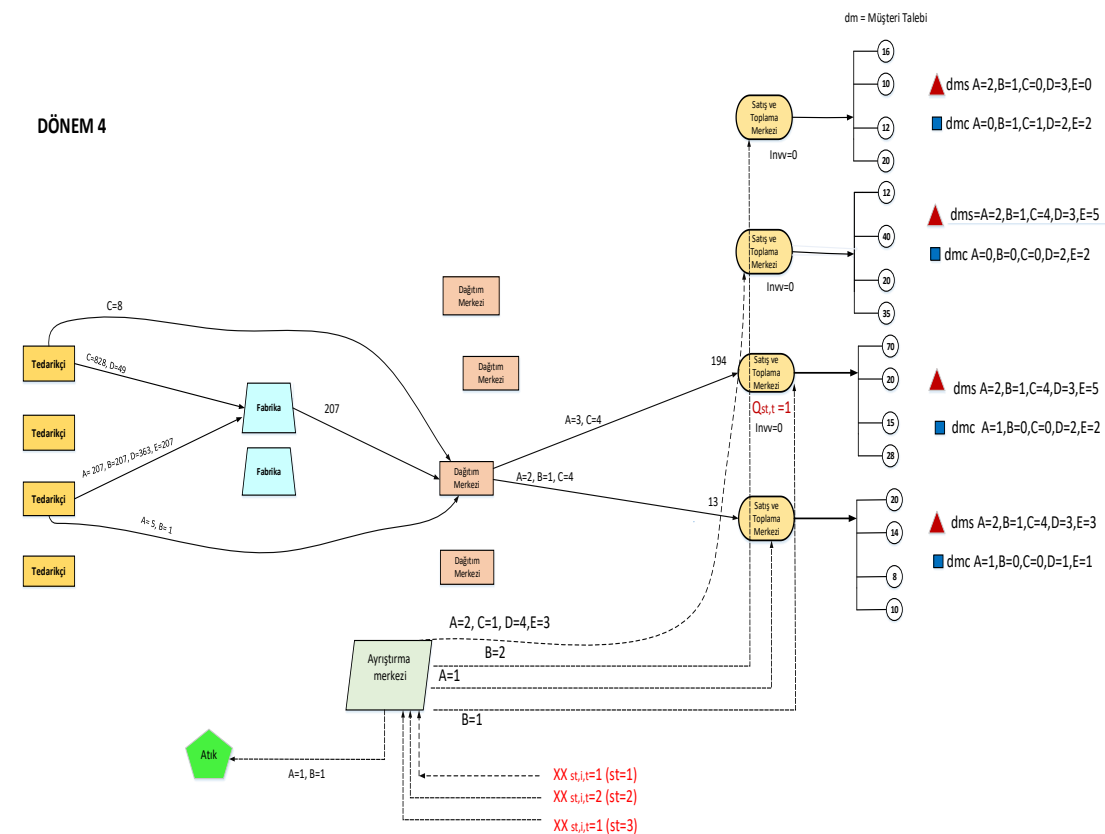
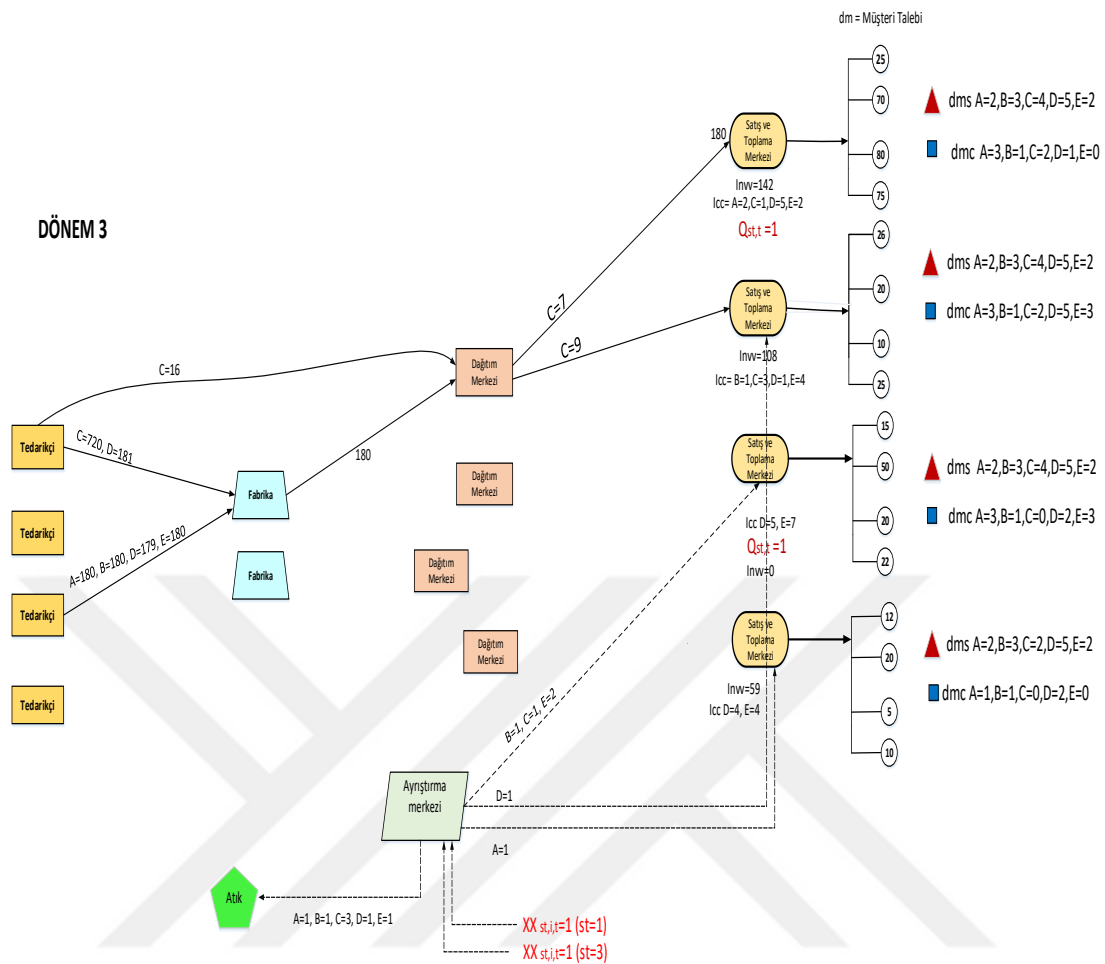
Çizelge 5.6. Tesisler arası uzaklık

FABRİKALAR				SATIŞ VE TOPLAMA MERKEZLERİ			
DAĞITIM MERKEZİ		1	2	1	2	3	4
	1	50	100	120	100	136	145
	2	105	125	105	145	153	100
	3	60	80	204	130	118	78
	4	120	105	240	145	120	103

Yukarıda verilen bilgiler ışığında geliştirilen karma tamsayılı matematiksel model, Intel Core (TM) i7-5500U CPU, 2,4 GHz ve 8 GB RAM'e sahip dizüstü bilgisayar ile çalıştırılmıştır. Mevcut problem GAMS-CPLEX 24.3.1 paket programı ile 0.92 saniyede toplam iterasyon sayısı 10862, düğüm sayısı 122 de optimal sonucu vermiştir. Çözüm sonucuna baktığımızda (Çizelge 5.7), toplam kar 18238372,26 pb, toplam gelir 18653015 pb, toplam maliyet 414642,74 pb olarak çıkmıştır. Çizelge 5.7' de her bir amaç fonksiyonu değeri ve toplam amaç fonksiyonu içindeki yüzdelik payı da gösterilmektedir. Buna göre toplam maliyet içerisinde en büyük pay, %62,53 ile tesis kurulum maliyeti, daha sonra sırasıyla %14,46 ile taşıma maliyeti ve %14,08 ile satın alma maliyeti yer almaktadır. Modelin karar değişkenlerinin aldığı değerler EK-1' de gösterilmiştir. Dört döneme ait optimal dağıtım ağı da Şekil 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.7. Her bir amaç fonksiyonu değeri ve yüzdelik oranları

Performans Göstergeleri		Değer (pb)	Toplam maliyet içindeki yüzdesi (%)
Amaç	Toplam Kar	18238372.26	-----
TR	Toplam Gelir	18653015	-----
TC	Toplam Maliyet	414642,74	100
TPC	Toplam Satın alma Maliyeti	58387,89	14,08
TMC	Toplam Üretim Maliyeti	31328,5	7,55
TMC1	Montaj Maliyeti	24058	5,80
TMC2	Tamir Maliyeti	7151	1,72
TMC3	De montaj Maliyeti	119,5	0,02
TTC	Toplam Taşıma Maliyeti	59984,53	14,46
TSC	Toplam Atık Maliyeti	758,4	0,18
TIC	Toplam Stok Maliyeti	1040,42	0,25
TWC	Toplam Yok satma Maliyeti	3834	0,92
TFC	Toplam Kurulum Maliyeti	259309	62,53



Şekil 5.3. (devam) Dört döneme ilişkin optimal çözüm ağı (1, 2, 3 ve 4.dönem)

5.2.1. Test problemleri

Tedarik Zinciri ağ problemleri yapısı gereği NP-zor sınıfına ait bir problem türüdür. Bu tip problemler literatürde önemli bir yere sahip olan p- medyan problemine benzerlik göstermektedir. P-medyan probleminin kombinatorial NP-zor optimizasyon problemi olduğu Cornuejols ve arkadaşları (1977) ile Kariv ve Hakimi (1979) tarafından ispatlanmıştır. Ağ tasarımı problemleri, p-medyan problemine benzer olarak, n tane tesis içindeki p tane düğümün açma/kapama kararını veren NP-zor sınıf problemlerdir. Bu tip problemlerin çok küçük boyutlu olanları haricinde analitik yöntemlerle çözülmesi kabul edilebilir sürelerde mümkün değildir. Problemin analitik metotlarla çözümü zor olduğundan dolayı, bu problemlerin çözümünde sezgisel ve meta sezgisel algoritmalar kullanılmıştır.

Mevcut problem, tesislerin açma/kapama kararlarının alındığı çok aşamalı lojistik problemi olup, NP-zor sınıfına ait bir problem türü olmaktadır (Gen ve diğerleri, 2006). Bu çalışmada, ileri ve tersine yönlü akışı dikkate alan genel, bütünleşik bir lojistik ağı oluşturulmuş ve tedarikçi, fabrika ve dağıtım merkezlerinin açılıp açılmama kararlarının alındığı karma tamsayılı bir matematiksel (MILP) model geliştirilmiştir. Matematiksel modelin test edilmesi amacıyla küçük, orta ve büyük olmak üzere farklı boyutlardaki test problemleri geliştirilerek GAMS-CPLEX’ de çözülmüştür. Test problemi üretilirken kullanılan parametre aralıkları Çizelge 5.8’ de verilmektedir. Parametre değerleri düzgün dağılım fonksiyonuna uygunluk göstermektedir.

Çizelge 5.8. Problemin çözümünde kullanılan parametre aralıkları

Parametreler	Aralık
rc_j	1-4
$dm_{alfa,t}$ (1. müşteri)	20-30
$dm_{alfa,t}$ (2.müşteri)	15-25
$dm_{alfa,t}$ (3.müşteri)	10-20
$dm_{alfa,t}$ (4.müşteri)	5-15
$dms_{st,j,t}$	Toplam talep * p (0,2-0,7)
$dmc_{st,j,t}$	Toplam talep * p (0,2-0,7)
$p1_{sj}$	4-10
$f_{st,j}$	3-10
$h2_{st,j}$	5000-8600
$h3_{st,j}$	4100-6150
$hcc_{st,j}$	2-10

Çizelge 5.8 (devam) Problemin çözümünde kullanılan parametre aralıkları

hc _{st}	4-6
e1 _{s,t}	36 000 000-56 000 000
e2 _{p,t}	37 000 000-57 000 000
e3 _{d,t}	33 000 000-53 000 000
h1 _{st}	450000-720000
dd _{p,d}	80 -380
d2 _{p,st}	80 -320
Diot seviyesi	0,2; 0,4; 0,6; 0,8

Problemin test kombinasyonlarında parça sayısı, fabrika sayısı, tedarikçi, dağıtım merkezi, satış ve toplama merkezi, diot seviyesi ve dönem sayısı değişkenleri dikkate alınmıştır. Boyut sayısına göre test problemleri küçük, orta ve büyük ölçekli olarak 3 kısma ayrılmıştır. Her bir kombinasyonun rassalık sağlanması amacıyla için 3' er kez test edilmiştir. Test problemleri sırasıyla, GAMS-CPLEX' de çözdürülmüş ve sonuçların ortalamaları excel tabloda toplanmıştır. Kombinasyon değişkenlerine bağlı olarak ortalama kar, gelir, maliyet değerleri ve bunlar aralarındaki ilişkiler analiz edilmiştir.

Kombinasyon sayısı = Parça sayısı x Fabrika sayısı x Tedarikçi sayısı x Dağıtım merkezi sayısı x Satış ve toplama merkezi sayısı x Diot seviye sayısı x Dönem sayısı

5.3. Küçük Boyutlu Test Problemleri

Küçük boyutlu test problemlerinde parça sayısı 5, 10, 50 olarak değişmekte, fabrika sayısı 1, tedarikçi ve dağıtım merkezi sayısı sırasıyla 3, 4, 5 ve satış ve toplama merkezi sayısı ise 5, 10, 15 olarak farklılık göstermektedir. Diot seviyeleri (0,2; 0,4; 0,6; 0,8) ve dönem sayıları (4; 6; 12) olarak Çizelge 5.9' da verilmiştir. Küçük boyutlu her bir test problemi, toplamda 324 farklı kombinasyondan oluşmakla birlikte, her bir problem için 3'er adet aynı kombinasyondan üretilmiştir. Buna göre, toplamda 972 test problemi oluşturulmuştur. Her bir test GAMS-CPLEX' de Intel Core (TM) i3-5500U CPU, 2 GHz ve 2 GB RAM' e sahip masaüstü bilgisayar da çözdürülmüştür. EK-2'de sonuçların ilk iki sayfası gösterilmiştir (istenildiği durumda tamamı yazardan temin edilebilmektedir).

Küçük boyutlu test problemleri de kendi içinde 5, 10 ve 50 olarak parça sayısı temel alınarak alt başlıklarda değerlendirilmiştir. Her bir alt başlıkta ortalama kar, ortalama gelir, ortalama

maliyetler, CPU, Diot seviyesi ve dönem sayısına göre analizler yapılmıştır. Bu sayede modelin farklı kombinasyon ve parametreler altındaki davranışları incelenmiştir.

Çizelge 5.9. Küçük boyutlu test kombinasyonları

Test problemi boyutları	Parça sayısı	Fabrika	Tedarikçi	Dağıtım	Satış ve toplama merkezi.	Diot seviyesi	Dönem
Küçük boyut	5	1	3	3	5	0,2	4
	10		4	4	10	0,4	6
	50		5	5	15	0,6	12
						0,8	

Küçük boyutlu test problemi 5 parça için sonuçlar

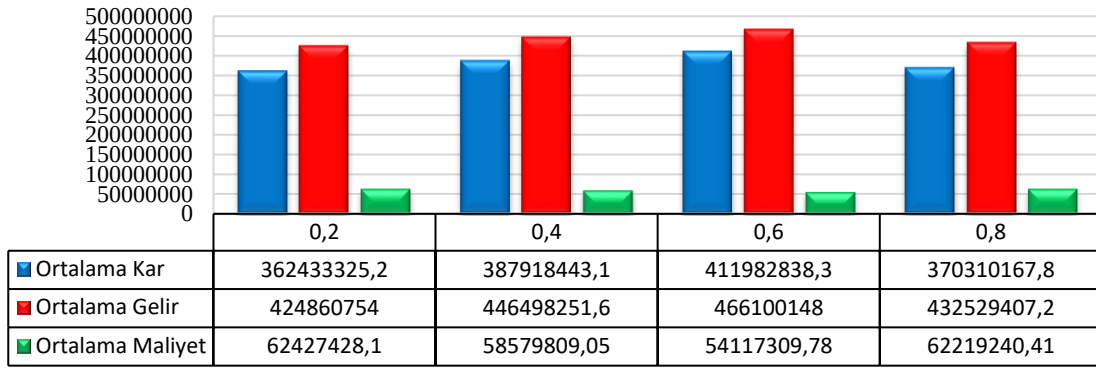
Excel’de derlenen sonuçlara göre, dönem sayısı arttıkça, ortalama gelir ve kar artmıştır (Çizelge 5.10). Dönem bazında satılan ürün miktarı ve parça miktarı arttıkça gelir artmış ve dolayısıyla ortalama kar da artış göstermiştir. Dönem sayısına bağlı olarak CPU süresi de büyük oranda yükselmektedir, özellikle 12 dönemlik test problemlerinde ortalama CPU artış göstermiş ve 1003,15 değerini almıştır.

Çizelge 5.10. Dönem sayısı ve CPU süresi arasındaki ilişki

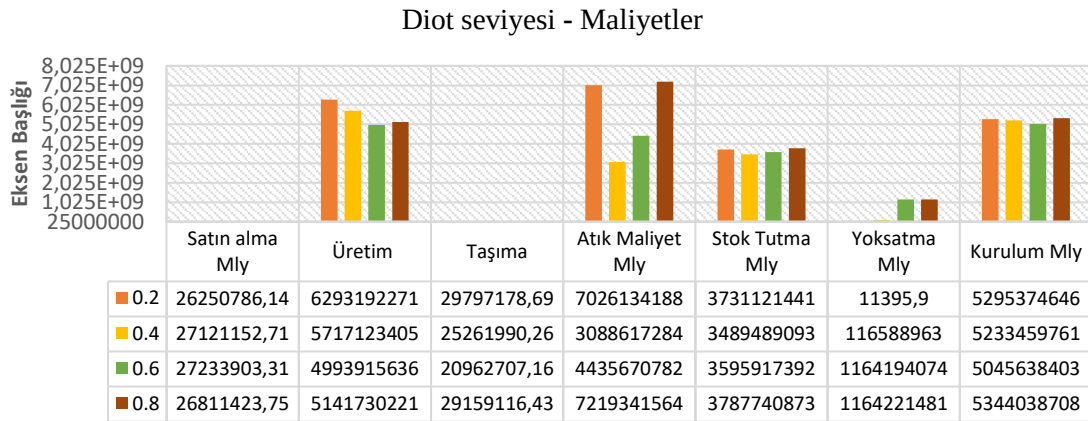
Dönem	Ortalama Kar	Ortalama Gelir	Ortalama Maliyet	Ortalama CPU
4	186361175,2	211186870,0	24825694,82	0,96
6	306386521,2	348332878,9	41946357,66	21,52
12	661858281,5	774044272,1	112185991,50	1003,15

Diot seviyesinin etkisi: Diot seviyesine bağlı olarak, en yüksek kar değeri, 0,6’da çıktığı görülmüştür (Şekil 5.4). Diot seviyesi 0,6 olduğu durumda, geri dönen ürünlerin hemen hemen büyük bir kısmı komple demontaja tabii tutulmaktadır. Ayrıca bu ürünlerin parçaları yeterli değer seviyesine sahip olduğu için yenilenip tekrar kullanılmak üzere satış & toplama merkezi ve fabrikaya gönderilmektedir. Bu durumda çıkma parça talebi için ihtiyaç duyulan sıfır parça talebi azalmaktadır. Tedarikçiden temin edilecek sıfır parça sayısı azaldığı için ihtiyaç duyulacak tesis sayısı da azalacaktır. Toplam parça satın alma ve tesis kurulum maliyeti azaldığı için toplam gelir daha yüksek çıkmıştır. Bu durum Şekil 5.5’ te daha net bir şekilde ifade edilmiştir. Diot seviyesi 0,8 olduğu durumda, ürünlerin tamamına yakını tamir edilecektir. Bu durumda tedarikçilerden daha fazla parça ihtiyacı olacaktır. Toplam

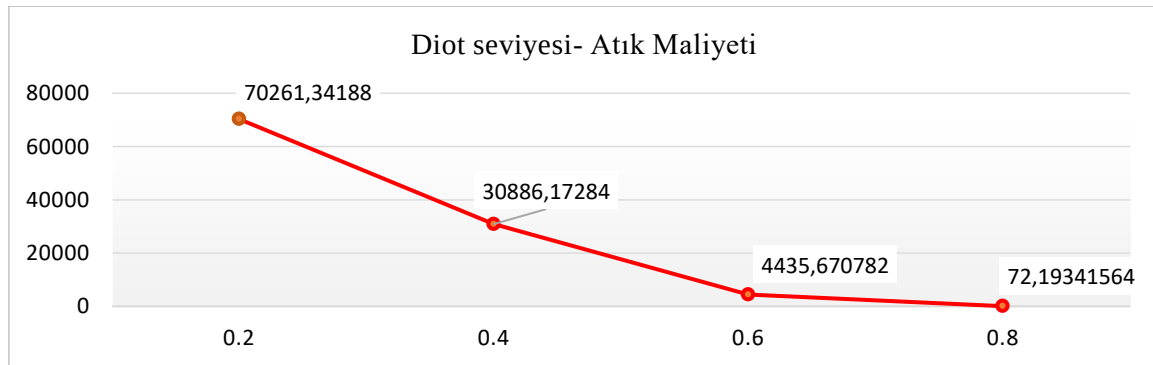
üretim maliyeti ve tesis açma maliyeti diot seviyesi 0,6'ya göre daha fazla artış göstermiştir. Diot seviyesine bağlı olarak atık maliyeti azalmıştır; diot seviyesi arttıkça, ürün değer seviyeleri yükselecek ve atığa gidecek parça miktarı azalacaktır. Diot seviyesi ve toplam atık maliyeti arasındaki ilişki Şekil 5.6' da görülmektedir.



Şekil 5.4. Diot seviyesi ve gelir-gider ilişkisi (5 parça, küçük boyut)



Şekil 5.5. Diot seviyesi ve maliyet ilişkisi (5 parça, küçük boyut)



Şekil 5.6. Diot seviyesi ve atık maliyet ilişkisi (5 parça, küçük boyut)

Küçük boyutlu test problemi 10 parça için sonuçlar

10 parçalık test problemlerinde, diot seviyesi, kar ve gelir ilişkisine baktığımızda, Çizelge 5.11’de, toplam kar en yüksek 0,6 diot seviyesinde ortaya çıkmıştır. Böylece diot seviyesi artışı, toplam karı etkilemektedir. Ancak, diot seviyesinin ortalama maliyet üzerinde etkisi yoktur. Yenileme maliyeti diot seviyesi 0,2 olduğu durumda, 0 olarak çıkmıştır (Çizelge 5.12). Bunun nedeni geri dönen ürünlerin hepsinin atığa gitmesi ve yenilenen parçanın olmamasıdır. Diot seviyesi arttıkça, yenileme maliyet de artacaktır. Diot seviyesi 0,6 olduğu durumda, gelen ürünlerin çoğu komple demontaja tabii tutulacaktır. Maliyet değerlerine göre, diot seviyesi 0,6 olan ürünler hem komple demonte hem de tamir işlemine tabii tutulan ve iyi durumdaki parça sayısı yüksek olan ürünlerdir. Bunların yenileme maliyeti de yüksek çıkmıştır. Aynı zamanda CPU değerinin diot seviyesine herhangi bir ilişkisi bulunmamaktadır. Parça sayısı arttıkça, genel ortalama CPU değeri de artış göstermektedir.

Çizelge 5.11. Diot seviyeleri ve amaç fonksiyonu (küçük boyut)

Diot	Ortalama Kar	Ortalama Gelir	Ortalama Maliyet	CPU
0,2	384775725,7	489941929,2	105166204,1	566,62
0,4	451589704,5	556208812,0	104619107,5	608,83
0,6	518030183,7	618464014,6	100433828,9	607,65
0,8	404104183,3	513436216,5	109332032,2	589,09

Çizelge 5.12. Diot seviyeleri ve üretim maliyeti (10 parça)

Diot	Ort. Üretim Mly	Ort. Montaj Mly	Ort. Tamir Mly	Ort. Yenileme Mly
0,2	43226281,6	1287029,13	41939252,47	0
0,4	47855786,77	1347021,16	46351413,33	157352,26
0,6	51376886,61	1458512,25	49567463,27	350911,08
0,8	46707159,4	1350836,57	45352812,85	3509,97

Küçük boyutlu test problemi 50 parça için sonuçlar

Diot seviyesi benzer 50 parçalık içinde Ortalama CPU oranında bir etki yapmamıştır. Parça sayısı arttıkça, Ortalama CPU oranı artmıştır. Bunu Çizelge 5.10 ve 5.11’de kolaylıkla görebilmekteyiz. Ortalama kar değeri en yüksek diot, 0,6’da ortaya çıkmıştır. Benzer

şekilde, ortalama gelirden bu seviyede yüksektir. Bu durum 5 ve 10 parçaları için de geçerli bir yargıdır. Parça sayısı arttıkça, için ortalama CPU süresi de artış göstermiştir.

Çizelge 5.13. Diot seviyeleri ve amaç fonksiyonu (50 parça)

Diot Seviyesi	Ort. Kar	Ort. Gelir	Ort. Maliyet	Ort. CPU
0,2	1136593949	1719364137	582770189,0	1652,05
0,4	1320530912	1856682285	536151375,4	1463,51
0,6	1604030063	2089652217	485622153,3	1403,47
0,8	1160278321	1730512410	570234094,7	1558,27
Genel Ort	1305358311	1849052762	543694453,1	1519,32

Küçük boyutlu 50 parça için yapılan istatistiksel değerler, küçük boyutlu 5 ve 10 parça için yapılan test sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Buna göre; parça sayısı, ortalama kar, ortalama gelir artış göstermiştir (Çizelge 5.14). Üründe bulunan parça sayısının artmasıyla birlikte, satılacak parça daha fazla olacaktır, aynı zamanda çıkma parça miktarı da artış gösterecek ve çıkma parça geliri de yüksek çıkacaktır.

Çizelge 5.14. Küçük boyutlu testler için maliyet kalemleri ve CPU oranı (5, 10, 50 parça)

Parça sayısı	Ort. Kar	Ort. Gelir	Ort. Maliyet	Ort. CPU
5	384868659,3	444521340,3	59652681,31	341,88
10	439624949,3	544512743,1	104887793,2	593,05
50	1299865571	1843113811	543248240,3	1474,32
Genel Ort.	708119726,5	944049298,1	235929571,6	803,08

5.4. Orta Boyutlu Test Problemleri

Orta boyutlu test problemleri de benzer şekilde, 5, 10, 50 parça için yapılmıştır. Orta boyut için oluşturulan kombinasyonlar Çizelge 5.15’ te verilmiştir. Orta boyutlu test probleminde fabrika sayısı 2, tedarikçi sayısı sırasıyla 6, 7, 8 ve dağıtım merkezi sayısı da sırayla 6, 7, 8 olarak artmıştır. Diot seviyesi ise tüm test boyutları için 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 ve dönem sayısı ise 4, 6, 12 olarak değişiklik göstermiştir. Her bir test problemi için 324 adet test kombinasyonu geliştirilmiş ve aynı boyutlarda 3’er adet farklı testler üretilip GAMS-CPLEX’ de çözülmüştür. Toplam 972 adet orta boyutlu test problemi oluşturulmuştur. Sonuçların ortalamaları alınarak oluşturulan sonuçların ilk 2 sayfası EK-3’te yer almaktadır (istenildiği durumda tamamı yazardan temin edilebilir).

Çizelge 5.15. Orta boyutlu test kombinasyonları

Test Problemi Boyutları	Parça sayısı	Fabrika	Tedarikçi	Dağıtım	Satış toplama merkezi.
Orta boyut	5		6	6	5
	10	2	7	7	10
	50		8	8	15

Çizelge 5.16’ da, parça sayısı arttıkça, CPU oranında arttığı görülmüştür. Parça sayısı arttıkça, satılan sıfır parça ve çıkma parça sayısı da artmış olacaktır. Çıkma parçanın artışıyla çıkma parça talebini karşılamak için fabrikadan yeni parça talebi azalacaktır. Bu durumun kazanca pozitif yönde bir etki sağladığı görülmüştür.

Çizelge 5.16. Orta boyutlu test problemlerinin parça sayısı ve gelir-maliyeti

Parça	Ort. Kar	Ort. Gelir	Ort. Maliyet	Ort. CPU
5	388609737,3	444822330,3	56212593,56	284,42
10	489954758,6	599702040,3	109747282,4	1159,64
50	1488512226	2089 300 936	600788704,3	2459,62
Genel Ort..	789025574	522262185,3	255582860,1	1301,22

Parça sayısı arttıkça, satın alma maliyeti artarken, üretim ve taşıma maliyeti de artış göstermektedir. Parça bazında tesis kurulum maliyeti en yüksek 10 parça da çıkmıştır. Çözümlere baktığımızda, 10 parça için açılacak tesis sayısı daha fazladır (Çizelge 5.17). Parça sayısı arttıkça, maliyetler artmasına rağmen, parça satış değeri yüksek olduğu için gelir, gider, gidere göre daha fazla artış göstermiş ve sistem kar durumuna geçmiştir. Tedarikçi ve satış toplama merkezi sayısı ile CPU süresi arasında doğrusal bir ilişki vardır, tesis sayısı arttıkça CPU süreside artmıştır (Çizelge 5.18).

Çizelge 5.17. Parça ve maliyet ilişkisi (orta boy)

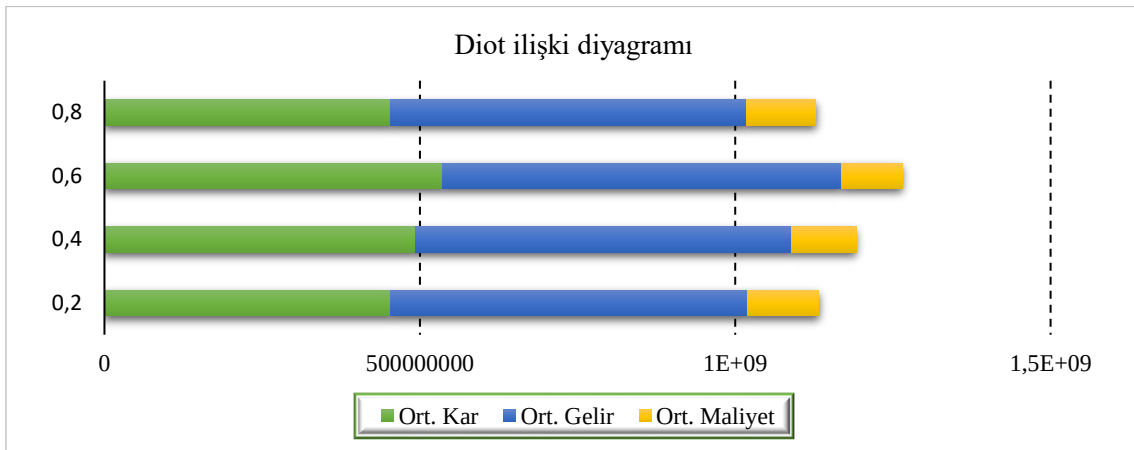
P	Satın alma Maliyeti	Üretim Maliyeti	Taşıma Maliyeti	Atık Maliyeti	Stok Tutma Maliyeti	Yok satma Maliyeti	Kurulum Maliyeti
5	512619,71	27258479,59	23076426,23	26643,54	513279,5	11644,45	4813500,5
10	916636,12	54103003,09	44769808,49	53709,58	728156,72	11645,3	9164323,1
50	5627115,48	327876705,9	258164698,9	319876,17	3714238	13071,41	5072997,6
Genel Ort.	2352123,77	136412729,5	108670311,2	133409,7 6	1651891, 4	12120,38 7	6350273, 7

Çizelge 5.18. Tedarikçi–satış toplama merkezi CPU oranı

Tedarikçi Sayısı			
Satış ve toplama merkezi	6	7	8
5	315,59	271,49	307,28
10	797,81	799,06	1048,16
15	1031,99	1161,49	1537,17
Genel Ort..	715,13	744,01	964,20

Çizelge 5.17’de görüldüğü üzere, parça sayısı arttıkça, parça satın alma maliyeti beklendiği gibi artacaktır. Kurulum maliyeti dışındaki tüm maliyet kalemlerinin parça sayısı ile doğru orantılı artmış olduğu görülmektedir. Tesis kurulum maliyetinin ise parça sayısına bağlı olmadığı görülmüştür. Çizelge 5.18’de görüldüğü üzere, özellikle satış ve toplama merkezi sayısının artması CPU üzerinde de etkilidir. Tedarikçi merkezi sayısının artışı CPU üzerinde çok fazla etkili değildir.

Orta boyutlu 5 parça için yapılan test sonuçlarında, geri dönen ürün diot seviyesi 0,6 olduğu durumda, ortalama kar yüksek çıkmıştır. En düşük kar değeri ise 0,2 diot seviyesinde çıkmıştır. Diot seviyesi düşük olduğu durumda, geri dönen ürünlerin parçaları tekrar kullanılmayacak ve atılacaktır. Bundan dolayı atık maliyeti yüksek çıkacaktır ve geri dönen ürünlerin parçaları tekrar üretim için fabrikaya gönderilmeyecektir. Buna bağlı olarak bu aralıktaki ortalama gelir de düşük çıkacaktır. Test sonuçlarına baktığımızda, 0,6 diot seviyesinde modelde açılacak tesis sayısı diğer diot seviyelerine göre daha azdır. Şekil 5.7’de diot seviyesinin kar, gelir ve maliyet arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Diot ilişki diyagramı (orta boy)

5.5. Büyük Boyutlu Test Problemleri

Büyük boyutlu testlerde parça sayısı 50 ve 100 olarak belirlenmiş, tesislerin sayısı ise aşağıda belirlenen şekilde sırasıyla artırılmıştır. Satış toplama merkezi sayısı bu sefer 10, 15 ve 25 olarak artırılmıştır. Toplamda 180 adet büyük boyutlu test kombinasyonu geliştirilmiştir. Çizelge 5.19’da büyük boyutlu test modellerinin kombinasyonları gösterilmiştir.

Çizelge 5.19. Büyük boyutlu test modellerinin kombinasyonları

Test problemi boyutları	Parça sayısı	Fabrika	Tedarikçi	Dağıtım	Satış ve toplama merkezi.	Diot seviyesi	Dönem
Büyük boyut			10	8	10	0,2	4
	50	4	11	9	15	0,4	6
	100		12	10	25	0,6	12
						0,8	

Çizelge 5.20’de parça sayısı arttıkça, ortalama gelir ve giderin arttığı gözlenmiştir. Parça sayısı arttıkça, satın alma maliyeti de yükselecektir. Parça sayısı 2 katına çıkınca, satın alma maliyetinin de %70 artmış olduğu Çizelge 5.21’de görülmektedir. Toplam maliyet kalemleri parça sayısına bağlı olarak artarken, satış ve toplama merkezindeki yok satma maliyeti azalmıştır. Sonuçlarda, satış ve toplama merkezinde kalan parça sayısı 100 parça için daha fazla çıkmıştır. Bu durum da stok maliyeti 100 parça için artmıştır; satış ve toplama merkezinde 100 parça durumunda daha fazla stok kalmıştır. Bu durumda yoksatma maliyetini azaltmıştır.

Çizelge 5.20. Parça ve gelir arasındaki ilişki (büyük boyutlu test problemi)

	Ort, Kar	Ort, Gelir	Ort, Gider
50	4752425672,37	7010768034,21	2258342533,52
100	4724047382,20	7774433270,83	3042052006,16
Genel Ort.	4745614883	7194047691	2446432807

Çizelge 5.21. Parça sayısı ve maliyet arasındaki ilişki (büyük boyutlu test problemi)

P	Ort. Satın Alma mly	Ort. Üretim mly	Ort. Taşıma mly	Ort. Atık mly	Ort. Stok tutma	Ort. Yoksatma	Kurulum Mly.
50	8859289,06	644048983,28	373645004,2	462121,54	5215244,015	18365,47	1226093506
100	12521264,58	869716173,96	570879808,7	1043121,71	7356209,591	15039,98	1580520095
G.O.	9738163,185	698209109	420981357,3	601561,58	5729075,753	17567,352	1311155887

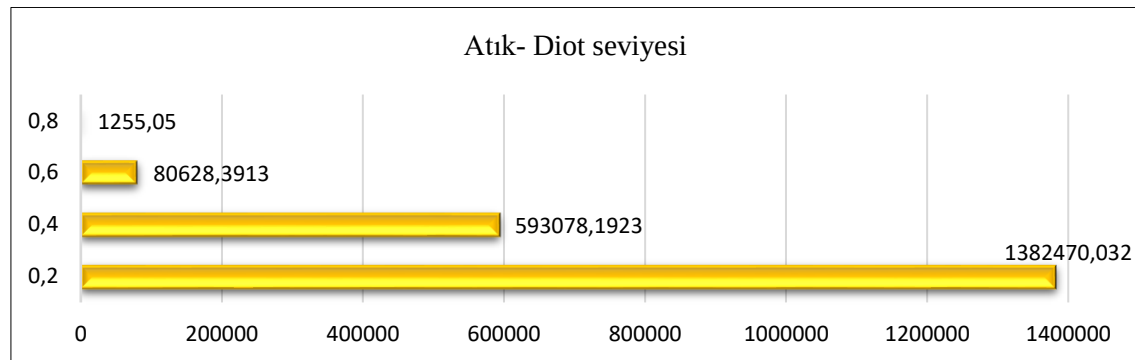
Diot seviyesi ve gelir ilişkisi Çizelge 5.22’de daha net bir şekilde görülebilmektedir. En yüksek kar değeri diğer küçük ve orta boyutlu problemlerde olduğu gibi diot seviyesi 0,6 olarak çıkmıştır. Ortalama gelir değeri de 0,6’da daha yüksek çıkmıştır. Aynı boyuttaki test problemlerine baktığımızda, diot seviyesi 0,6 çıktığında, komple demontaj edilen ürün sayısının ve iyi durumda olan çıkma parça sayısının fazla olduğu görülmüştür. Bu durumda çıkma parça satış geliri yükseldiği için toplam gelir daha fazla çıkmıştır. Kurulum maliyeti diot seviyesi arttıkça, azalmıştır (Çizelge 5.23). Bunun sebebi de çıkma parça sayısının fazla olması ve satış toplama merkezinin toplam parça talebini ve buna bağlı olarak ürün talebini karşılayacak daha az tesis açmasından kaynaklıdır.

Çizelge 5.22. Diot ve gelir ilişkisi (büyük boyutlu test)

Diot seviyesi	Ort. Kar	Ort. Gelir	Ort. Maliyet
0,2	4558807090,32	7302344361,29	2743537085,43
0,4	4547218102,80	6996754423,08	2441844211,11
0,6	5243434478,26	7424753091,30	2181318486,39
0,8	4720590240,00	7017357890,00	2296767818,57
Genel Ort.	4745614883	7194047691	2446432807

Çizelge 5.23. Diot seviyesi ve maliyet ilişkisi (büyük boyut)

Diot	Satın alma	Üretim	Taşıma	Stok tutma	Yok satma	Kurulum
0,2	10794121,28	800954558,3	493661629,9	5769370,36	18012,6	1430956707
0,4	9366312,787	629083255,6	393244418,9	4491174,645	16899,64	1405048958
0,6	9090195,367	634553398,4	339939106,1	6893173,625	16836,57	1190745099
0,8	9329996,65	702021339,3	437583543,7	5937178	18585,63	1141876030
Genel Ort.	9738163,185	698209109	420981357,3	5729075,753	17567,352	1311155887



Şekil 5.8. Diot seviyesi ve atık maliyeti

Dönem sayısı arttıkça, toplam maliyetin artmış olduğu görülmektedir. Özellik tesis kurulum maliyeti artmış; dönem sayısına bağlı olarak açılacak tesis sayıları da fazla olduğu için bu maliyet kalemi artış göstermiştir. Dönem sayısına bağlı olarak tüm maliyet kalemlerinde artış olduğu Çizelge 5.24'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.24. Dönem ve maliyet ilişkisi (büyük boyutlu)

D.	Satın alma M.	Üretim M	Taşıma M	Atık M.	Stok tutma M.	Yok satma M.	Tesis kurulum M.
4	5646483	214885353,1	274520303,3	357221,11	2537181,22	9573,89	326931972
6	8095426	403322476	351081013,8	457812,36	5439946,98	14560,96	489636701
12	15907510	1530946307	653257864,4	1017050,34	9518374,43	29410,53	3234842455
Genel Ort.	9738163,18	698209109	420981357,3	601561,58	5729075,75	17567,35	1311155887

6. ÖNERİLEN MODELİN GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ

Tedarik Zinciri (TZ) ağ tasarımı, stratejik bir yönetim problemidir. Ağ tasarımının amacı, minimum maliyetle, müşteri talebini karşılayacak şekilde TZ içirişindeki tesislerin (fabrika, dağıtım merkezi, toplama merkezi vb.) yer seçimini sağlamaktır. TZ ağ tasarım problemleri, literatürde üretim- dağıtım ve tesis yer-atama problemi olarak ele alınmaktadır. Tesislerin kapasitesi söz konusu ise problem, kapasiteli yer-atama problemi olarak sınıflandırılır. Fabrikada, dağıtım merkezinde, satış ve toplama merkezinde kapasite kısıtı olan çok aşamalı büyük boyutlu ağ tasarımı problemlerin optimal çözümünü bulabilmek oldukça zordur. Bu tip tesis açma/kapama, kapasite kısıtlı problemler NP-zor problemler olarak değerlendirilmektedir (Gen ve diğerleri, 2006). NP-Zor problemler, karar değişkeni sayısı arttıkça, optimal çözüme ulaşılması çok uzun zaman alan, hatta imkansız olan problemlerdir. Bu problemlerde, problem boyutu arttıkça, çözüm uzayı da polinomial zamanlı olarak artış göstermektedir. Bu problemlerde çözüm uzayını etkin bir şekilde arama yapabilmek için meta-sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, problemin çözümü için GA yöntemi kullanılmıştır. GA, doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer şekilde çalışan arama ve eniyileme yöntemidir. Evrimsel tabanlı bir algoritmadır. Evrimsel algoritmalar tek bir çözümle değil, bireylerin popülasyonu ile ilgilenir. GA, tabu arama ya da tavlama benzetiminden farklı olarak tek bir noktada arama yapmaz; popülasyon tabanlı bir algoritma olduğu için noktalar kümesinden arama yapmaktadır.

GA, Darwin'in canlı organizmalar için geliştirdiği evrim teorisi üzerine kurulmuş, biyolojik tabanlı bir algoritmadır. Bu algoritma, çözüm uzayının büyük olduğu karmaşık problemlerde, çözüm uzayının tamamı yerine, belli bir kısmını tarayarak, daha kısa sürede optimale yakın çözümler üretmektedir (Goldberg, 1989).

GA algoritmada aday çözümler, probleme uygun şekilde kodlanmış diziler halinde tutulmaktadır. Bu diziyi oluşturan her bir elemana birey adı verilir ve her bir birey arama uzayında belirli bir bölgeyi temsil eder. Bireyler popülasyonu oluşturmaktadır.

GA, rassal seçilen bir çözüm popülasyonu ile başlar. Araştırma uzayında bulunan her bir çözüm kümesinin performansı uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilir. Bu fonksiyon,

problemin amaç fonksiyonudur. Uygunluk fonksiyonu yüksek değere sahip olan bireylere, popülasyondaki diğer bireyler ile çoğalmaları için fırsat verilmektedir. GA da birbirini takip eden 3 operatör vardır. Bu operatörler, seçme (selection) ya da tekrar üreme (reproduction) operatörü, çaprazlama (crossover) operatörü ve mutasyon (mutation) operatörleridir. Bunlara ilaveten kısıtlı eniyileme problemlerinde, probleme özgü olarak geliştirilen diğer bir operatör de tamir (repair) operatörüdür. GA adımları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Çunkaş, 2006).

1. Rassal bir başlangıç popülasyonu oluşturulur.
2. Her bireyin uygunluk değerleri hesaplanır.
3. Popülasyon içinden ebeveyn seçilir ve çocuklar üretilir.
4. Popülasyon içerisindeki kötü bireyler atılır, yerine uygunluk değeri yüksek olan çocuk bireyler yerleştirilir.
5. Seçilen birey mutasyona uğrar.
6. Durdurma kriteri sağlanana kadar adım 3 ve adım 6 arasındaki süreçler tekrarlanır, durdurma kriteri sağlandığı durumda adım 7'ye geçilir.
7. Popülasyondaki en iyi birey seçilmiş olur (Roupec ve diğerleri, 2013)

6.1. Genetik Algoritma ve Tedarik Zinciri Yönetimi

TZ ağ tasarımı, stratejik bir karar verme problemidir (Roupec ve diğerleri, 2013). Ağ tasarımı içerisinde çok sayıda tesis yeri, fabrika ve dağıtım merkezi sayısı olan oldukça karmaşık bir yapıdan oluşmaktadır. TZ ağ yapısı tek üründen çok ürüne, doğrusal modelden stokastik modellere kadar çok geniş bir matematiksel yapıya sahiptir.

GA, dinamik TZ problemlerinde oldukça geniş uygulama alanlarına sahip bir meta-sezgisel algoritmadır. TZ ağ tasarımında GA üzerine birçok çalışma mevcuttur. Altıparmak ve diğerleri (2009), tek kaynaklı, çok ürünlü, çok aşamalı geleneksel bir TZ ağ modelinin çözümü için Denge Durumu Genetik Algoritma yaklaşımını geliştirmişlerdir. CPLEX, Lagrangian, Melez GA ve Tavlama Benzetimi meta-sezgiselleri kullanarak, algoritma sonuçlarını farklı test problemleri için kıyaslamışlardır. Deneysel sonuçlarda, Denge Durumu Genetik Algoritmasının (SSGA) diğer sezgisel çözümlere göre daha kısa sürede optimale yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Altıparmak ve diğerleri (2006), iki aşamalı, tek ürünlü, kapasite kısıtlı TZ ağ modeli için GA algoritmayı geliştirmiştir. Zhou ve diğerleri (2002), ağ modelinde toplam ulaştırma maliyetini minimize edecek şekilde bir MA geliştirmişlerdir. Zegordi ve diğerleri (2010), çok kaynaklı, tek ürünlü ve çok aşamalı bir Tedarik Zinciri ağı için ağaç tabanlı yayılan GA geliştirmişlerdir. Lin ve diğerleri (2009), sosyal sorumluluk, çevre duyarlılığı ve ekonomik faydayı göz önüne alacak şekilde çok aşamalı, çok dönemli, çok ürünlü bir KDTZ modeli tasarlamışlardır. GAMS-CPLEX ve GA ile elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Genetik Algoritmanın aynı boyuttaki test problemlerini daha kısa sürede çözdüğü gözlenmiştir. Chang (2010) belirsiz ortam altında çok ürünlü, çok aşamalı, çok dönemli bir KDTZ ağ modeli geliştirmiştir. Modelin karmaşık yapısından dolayı, Monte - Carlo simülasyon ile melez GA birlikte kullanılmıştır. Dai ve Zheng (2015), toplam servis maliyetini minimize edecek şekilde, çok aşamalı karma tamsayılı bir programlama modeli geliştirmiştir. Genetik Algoritma ile Parçacık Sürüsü algoritmasını melezleyerek, yeni bir hibrit algoritma geliştirmişlerdir. Jamshidi (2015), çok aşamalı, çok ürünlü, çok dönemli deterministik bir KDTZ modeli geliştirmişlerdir. Parçacık Sürüsü algoritması ve Genetik Algoritmayı melezleyerek farklı test problemlerini ile çözümler elde edilmiştir. Ahmadizar ve diğerleri (2015), Avusturalya’da bulunan bir kıyafet üreticisinin yeşil Tedarik Zinciri problemini ele almışlardır. Problemin çözümü için GA, tavlama benzetimi ve ters entropi sezgisel yöntemleri kullanılmıştır. Fahimnia ve diğerleri (2015), kapasiteli, çok aşamalı ve stok modelli matematiksel model geliştirerek, GA kullanmışlardır. Kaya ve Ürek (2016), kapasiteli çok aşamalı yer-stoklama modelini geliştirmişlerdir. Tek bir ürün için geliştiren lojistik probleminde her perakendeci yalnızca tek bir depoya atanmıştır. Bu modelin çözümü için GA geliştirilmiş ve küçük boyutlu problemler için etkinliği test edilmiştir.

6.2.Tedarik Zinciri ve Melez Genetik Algoritma

Tedarik Zinciri ağ tasarımı ve KDTZ problemlerinde melez yöntem iki şekilde uygulanmaktadır. Bu durum ya iki sezgiselin melezlenmesi ya da bir sezgisel ile bir kesin çözüm veren algoritmanın melezlenmesi şeklindedir. TZ ağ tasarımı üzerine yapılan sezgisel çalışmalarda, Diabat ve Deskoors (2016), çok kaynaklı, tek ürünlü ve çok aşamalı TZ ağ modelinde pröfer sayılar kullanarak kapsayan ağaç tabanlı GA’ yı geliştirmişlerdir. Gen ve diğerleri (2006), bütünlük çok aşamalı lojistik ağ modeli geliştirmişler ve öncelik tabanlı kodlama yöntemi ile yerel arama tekniğini birleştirmişlerdir. Lin ve diğerleri (2009), çok ürünlü ve çok aşamalı tersine lojistik ağ tasarımı için öncelik tabanlı GA modeli

geliştirmişlerdir. Zhou ve diğerleri (2006), çok aşamalı ve çok amaçlı bir TZ ağ yapısı için, büyük boyutlu problemler için GA oluşturmuşlardır. Zhou ve diğerleri (2006), 3. parti lojistik firması için iki aşamalı, çok dönemli, çok ürünlü, kapasiteli ağ modeli geliştirmişlerdir. TZ ağ tasarımı için sezgisel çözüm yöntemi ile doğrusal programlamayı melezleyen çalışmalar (Ko ve Evans, 2007); (Yeh, 2006); (Keskin ve Üster, 2007) tarafından yapılmıştır. Keskin ve Üster (2007), dağınık arama algoritmasını; Altıparmak ve arkadaşları (2009) ise GAMS-CPLEX ile Genetik Algoritmayı birlikte melezlemişlerdir. İki sezgiselin melezlenmesine ilişkin yapılan çalışmalarda, Altıparmak ve diğerleri (2009); Kannan ve diğerleri (2009), Soleimani ve Kannan (2015), KDTZ ağ modelinde, GA ile Parçacık Sürüşü algoritmasını melezleyerek farklı test problemlerinde çözümler yapmışlardır. He ve diğerleri (2015), KDTZ için iki amaçlı karma tamsayılı bir matematiksel model kurmuş ve Memetik Algoritma kullanmışlardır. MA, popülasyon tabanlı bir sezgisel arama yaklaşımı olup, GA ile birlikte kullanılarak arama uzayını geliştirmeyi amaçlamışlardır.

Çok aşamalı, kapasiteli TZ ağ tasarım modellerinde, fabrika ve dağıtım merkezlerinin ne zaman açılacağı bilindiği durumda problem kapasiteli ulaştırma problemine dönüşecektir. Kapasiteli ulaştırma problemi CPLEX, Lingo vb. paket programlarda çözümü daha kolaydır. Bu tezde, popülasyon tabanlı ve doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemi olan, 1975 yılında Holland tarafından ortaya atılan, GA ile GAMS-CPLEX' in birlikte kullanıldığı melez bir yöntem geliştirilmiştir.

Tezde geliştirilen melez GA' da popülasyon içindeki bireyler rassal olarak üretilir. Seçim stratejisi olarak ikili turnuva seçimi kullanılmıştır. Denge Durumu Genetik Algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmanın adımları aşağıda belirtilmiştir.

- 1- Her nesilde en iyi uygunluk derecelerine sahip birkaç kromozom seçilir ve bu kromozomlar çaprazlanarak yeni bireyler oluşturulur.
- 2- Kötü uygunluk derecesine sahip olan kromozomlar atılır ve yerine iyi durumda olan bireyler yerleştirilir.

SSGA durumu için hazırlanan sahte kod

Başla

Başlangıç popülasyonu üretilir.

P popülasyon içindeki bireyler rassal olarak üretilir.

Kriterler karşılanana kadar bu durum devam eder:

Ebeveyn 1 < turnuva seçimi yapılır (P)

Ebeveyn 2 < turnuva seçimi yapılır (P)

Ebeveyn 1 ve Ebeveyn 2, çaprazlama oranı ile çaprazlanır.

Çocuk 1 ve Çocuk 2 bireyler oluşturulur.

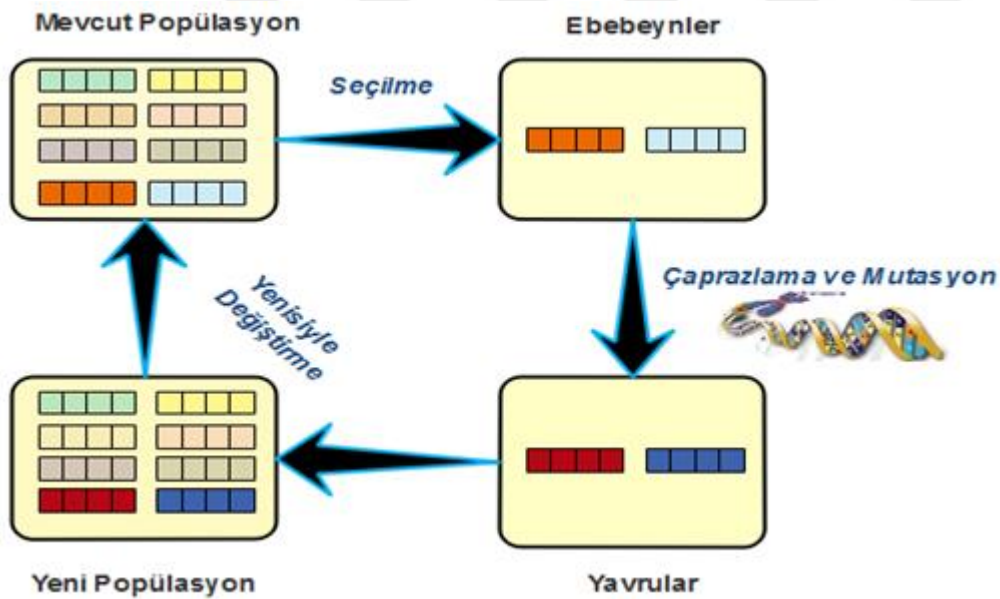
En kötü 1, En kötü 2 uygunluk fonksiyonuna sahip iki birey çıkarılır.

En kötü 1 yerine en iyi 1 (Çocuk 1) yerleştirilir.

En kötü 2 yerine en iyi 2 (Çocuk 2) yerleştirilir.

Bitirme şartı sağlanan kadar devam edilir.

Bitti.



Şekil 6.1. Denge durumu genetik algoritması

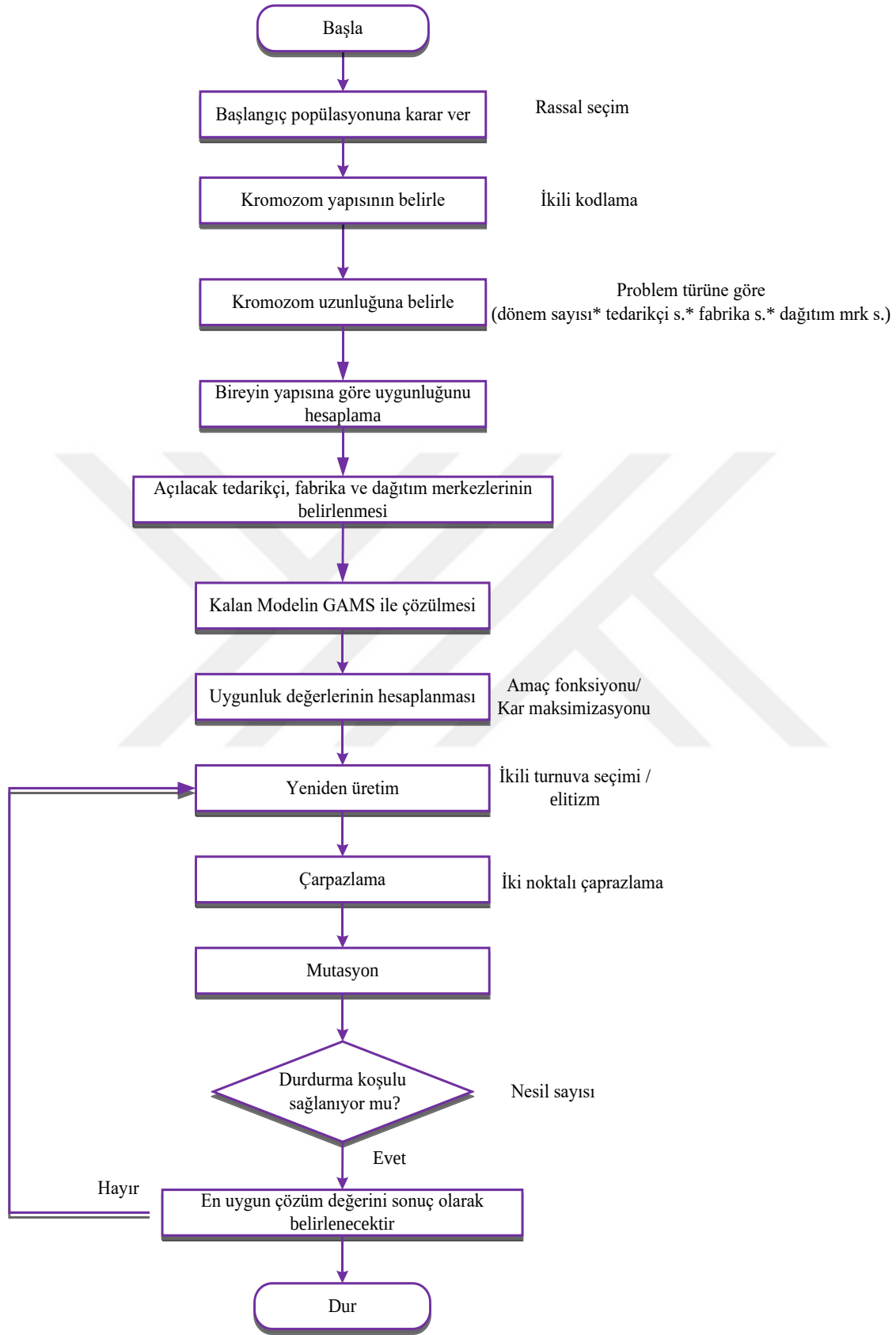
Bu tezde geliştirilen model kapasite kısıtlı, çok aşamalı, tek ürünlü, çok parçalı ve çok dönemli karma tamsayılı doğrusal bir matematiksel modeldir. Melez Genetik Algoritmada tesislerin açılıp açılmama kararları verilmektedir. Bu amaçla, melez GA, C # kodlama dili ile kodlanmıştır ve GAMS-CPLEX ile paralel zamanlı olarak çalıştırılmıştır.

Melez algoritmanın genel yapısı

Geliştirilen melez algoritmanın genel adımları aşağıdaki gibi olup, şematik yapısı da Şekil 6.2' de gösterilmiştir.

Genetik Algoritma için Visual Studio ortamında C# uygulamasında bir ara yüz oluşturulmuştur. Geliştirilen ara yüzde GA' ya ilişkin parametre değerleri ve test problemleri gösterilmektedir. Bu ara yüz içerisinde nesil sayısı, birey sayısı, çaprazlama oranı, mutasyon oranı gibi değerler belirlenmektedir. Aynı zamanda seçili probleme ait veriler program ara yüzünde görülebilmekte ve böylelikle Genetik Algoritmanın hangi problem tipi için çalıştığı görülmektedir.

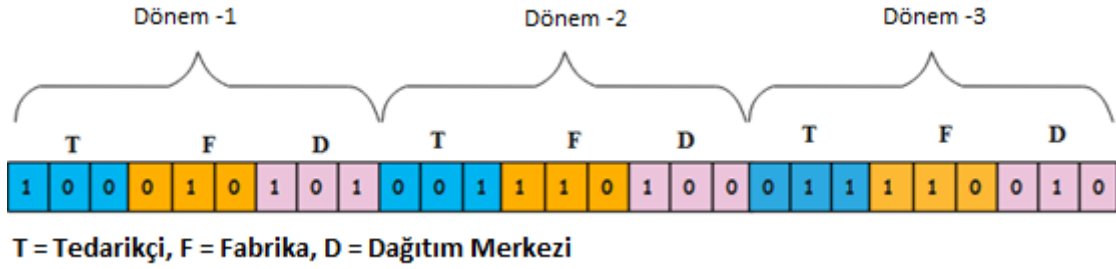




Şekil 6.2. Melez GA algoritma şeması

Adım 1 (kromozom yapısının oluşturulması): GA, popülasyon olarak adlandırılan rassal bir çözüm kümesiyle başlar. Popülasyondaki her birey kromozom olarak adlandırılır. Her kromozom genlerden oluşmakta ve kromozom da lokus ve allel olmak üzere 2 şekilde karakterize edilmektedir. Lokus, genin kromozom içindeki pozisyonu iken, allel ise genin aldığı değerdir. Meta-sezgisel algoritmaların etkinliğinde kromozom içindeki genlerin kodlanması çok önemli bir yer tutar. Problemin yapısına göre farklı kodlama türleri mevcuttur. Mevcut problemimizde hangi tesislerin hangi dönemlerde açılacağına/kapanacağına karar verildiği için ikili kodlama yönteminin daha uygun olacağı düşünülmüştür. Kromozomlar ikili değişkenlerden oluşacak şekilde düzenlenmiştir.

Modelin kromozom uzunluğu tek dönemli ve tek ürünlü bir kromozom yapısı için; tedarikçi sayısı (S), fabrika sayısı (P) ve dağıtım merkezi sayısı (D) ile ifade edersek, kromozom uzunluğu ise $K = S + P + D$ olarak belirlenecektir. Bu problem çok dönemli olduğu için her dönemde açılacak tesis sayısını bulmak için, dönem sayısı (T) olduğu varsayılarak, belirlenecek çok dönemli kromozom uzunluğu ise $T * [S + P + D]$ kadar olacaktır. Kromozom yapısı Şekil 6.3' te 3 dönemlik 3 tedarikçi, 3 fabrika ve 3 dağıtım merkezi olmak üzere temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.3. İkili kodlama yöntemi için kromozom yapısı

Adım 2 (uygunluk değerinin belirlenmesi): Uygunluk değeri modelin amaç fonksiyonudur. Amaç fonksiyonu kar maksimizasyonudur. Her bireyin uygunluk değeri GAMS modeli tarafından hesaplanmaktadır. Uygunluk fonksiyonu $TK = TG - TM$ olarak hesaplanmaktadır.

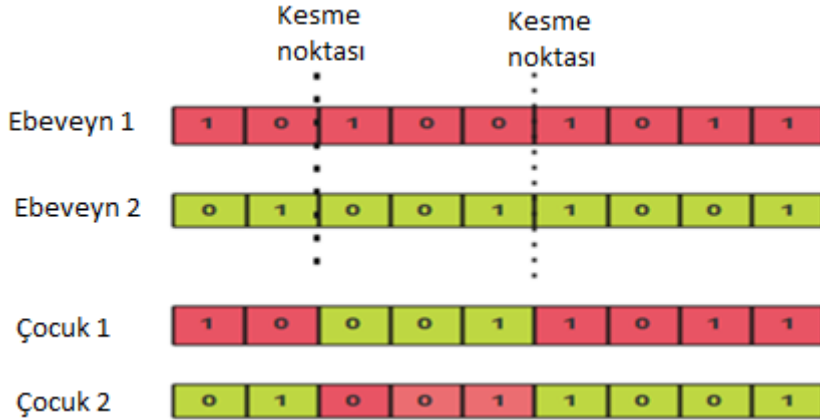
Adım 3 (başlangıç popülasyonun belirlenmesi): Başlangıç popülasyonu rassal olarak belirlenmiştir. Elde edilen en iyi çözümü veren başlangıç değerine eşitlenir. Her problem tipi için popülasyon büyüklüğü, problemin karmaşıklığına göre değişiklik gösterecektir. Popülasyon büyüklüğü yapılan test sonuçlarına göre kararlaştırılmıştır.

Adım 4 (başlangıç popülasyondaki her kromozomun uygunluk değerinin belirlenmesi): GAMS yardımıyla popülasyondaki her kromozomun uygunluk değeri hesaplanır. C # ile CPLEX paket programı birlikte çalışır ve bireylerin uygunluk değeri CPLEX ile hesaplanır.

Adım 5 (seçim stratejisi belirlenmesi): Seçim stratejisi olarak ikili turnuva yöntemi tercih edilmiştir. İkili turnuva tek turnuvaya göre daha iyi bireyler ortaya çıkarmaktadır. İkili turnuva seçimi tek turnuva seçimine oldukça benzerlik göstermekle birlikte, ikili turnuvada iki kez bireyler yarışır ve sonunda en iyi bireyler seçilir. Bu durum, birey sayısı tamamlanıncaya kadar devam eder. İkili turnuva tekniğinde iki-üç nesil sonrası daha iyi bireylerin elde edilme olasılığı oldukça yüksektir ve bu durum da çözüm süresini kısaltmayı sağlar.

Adım 6 (elitizm uygulanması): Seçkinlik ya da elitizm olarak ifade edilen seçim stratejisinin esas amacı, çaprazlama ve mutasyon yöntemleriyle yeni nesil oluşturulurken en iyi kromozomları kaybetmemektir. Seçkinlik, en iyi kromozomların (ya da bir kısmının) ilk önce kopyalanıp yeni nesle aktarıldığı yöntemin adıdır. Uygunluk fonksiyonu kar maksimizasyonu üzerine kurulu olduğu için, popülasyondaki bireyler büyükten küçüğe sıralanır ve en iyi olan 2 birey saklanır. Geride kalan bireyler çaprazlama ve mutasyona uğratılır. Elitizm yöntemi GA' nın başarısını artıran ve çözüm süresini kısaltan bir yöntemdir.

Adım 7 (çaprazlama): Rassal olarak seçilen bireyler arasında çaprazlama yapılmıştır. Çift noktalı çaprazlama kullanılmıştır. Çift noktalı çaprazlamada ebeveyn kromozomlar rassal olarak seçilen iki ayrı noktadan kesilip çaprazlanarak yeni çocuk bireyler elde edilir. Böylelikle, kötü uygunluk derecesine sahip olan bireyler atılır, yerine iyi durumda olanlar yerleştirilir. Kötü bireyler çaprazlama ile elendiği için sürekli olarak daha iyi bireyler ortaya çıkacaktır. Ayrıca popülasyon çeşitliliği artacağından, algoritma yerel arama uzayına takılıp kalmayacaktır. Probleme ait çift noktalı çaprazlama gösterimi Şekil 6.4' te gösterilmiştir. Başlangıç da belirlenen bir çaprazlama oranı (p_c) ile bireyler çaprazlanır.



Şekil 6.4. Çift noktalı çaprazlama gösterimi

Adım 8 (mutasyon): Mutasyon operatörü problemin popülasyondaki çözümlerin yerel optimumunda takılmasını engellemek için kullanılmaktadır. Çaprazlanan bireyler daha sonra mutasyona tabii tutulur. Başlangıç da seçili mutasyon oranı (p_m) ile bireyler mutasyona uğratılır. Kromozom üzerindeki tek bir pozisyon üzerinden değişiklik yapılır. Buna tek noktalı mutasyonda denilmektedir. Şekil 6.5’ te tek noktalı mutasyon gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Mutasyona uğramış kromozom

Adım 9 (tamir operasyonu): Çaprazlama ve mutasyondan işlemlerinden sonra tamir fonksiyonu ile kromozomların içerisine bakılır ve fizibiliteyi bozan genler tamir edilir. Örneğin tüm tedarikçi genleri 000 ise bunlardan rastgele biri seçilip 1 olarak değiştirilir. Böylelikle, uygun olmayan çözümlerden kaçınılır.

Adım 10 (sonlandırma): Bu işlemler bitiş kriteri sağlanan kadar devam etmektedir. Durdurma koşulu olarak nesil sayısı belirlenmiştir. Algoritma için uygun nesil sayısının bulunması için çeşitli testler denenmiştir.

Melez algoritmanın sahte kodu

Bu tezde, çok aşamalı, tek tip ürünlü, çok dönemli KDTZ ağ tasarımı için denge durumu melez GA yaklaşımı uygulanmıştır. SSGA için hazırlanmış olan sahte kod aşağıdaki gibidir:

Girdiler: Popülasyon büyüklüğü, kromozom uzunluğu parametreleri, Genetik Algoritma parametreleri

Çıktı: En iyi çözüm (Maksimum toplam kar)

Başla

$k \leftarrow 1$

Başlangıç popülasyon $p(k)$ büyüklüğünü belirle

$p(k)$ uygunluk değerini GAMS- CPLEX yardımıyla hesapla

E kadar (durdurma kriteri sağlanana kadar) yap

- *$p(k)$ içinden elitizm yap*
- *$p(k)$ içinden p_1 ve p_2 'yi ikili turnuva yöntemine göre seç*
- *p_1 ve p_2 'yi çaprazla ve yeni bireyler $p_1 *$ ve $p_2 *$ bul*
- *p_3 mutasyona uğrat $p_3 *$ elde et*
- *$p_1 * , p_2 * , p_3 *$ oluşan kromozomların uygunluk değerini bul*
- *$p(k)$ güncelleştir ve kötü çözümleri yok edip, yeni iyi çözümleri $p(k)$ 'ye ekle*

$k \leftarrow k + 1$

Bitir

Çıktı: En iyi Çözüm

6.3. Deney Tasarımı ve Parametrelerin Belirlenmesi

SSGA, küçük, orta ve büyük boyutlu test problemlerine uygulanmış ve çözüm performansları değerlendirilmiştir. SSGA' da, ilk popülasyon rassal olarak belirlenmiş ve bireylerin seçiminde ikili turnuva yöntemi kullanılmıştır. Tek turnuva yöntemine göre ikili turnuva yönteminin daha etkin olduğu ve algoritmanın daha iyi bireyler elde ettiği görülmüştür. Uygunluk değeri, amaç fonksiyonudur ve sistem karını en büyüklenmesi olarak ele alınmıştır. Çaprazlama yöntemi olarak ikili çaprazlama kullanılmış (Şekil 6.4) ve daha sonra da tek noktalı mutasyon (Şekil 6.5) uygulanmıştır. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri sonucunda elde edilen çocuklar popülasyondaki en kötü iki bireyle yer değiştirilmiştir. Bu tezde kapsamlı olarak yapılan denemeler sonucunda popülasyon

büyüklüğü 50, iterasyon sayısı 30, çaprazlama oranı % 90 ve mutasyon oranı 0,01 olarak belirlenmiştir. Melez- Genetik Algoritma, Visual Studio tabanında C # ile kodlanmış ve Intel Core (TM) i3-5500U CPU, 2 GHz ve 2 GB RAM' e sahip masaüstü bilgisayar ile çözümü yapılmıştır.

Küçük, orta ve büyük rassal test problemler için melez GA' da çözümler yapılmıştır. Toplamda küçük boyutlu 743, orta boyutlu 716 ve büyük boyutlu 14 adet test problemi hem GAMS-CPLEX' de hem de melez- GA tarafından eş zamanlı olarak çözülmüş ve sonuçları excel' de derlenmiştir. GAMS ve melez- GA kıyaslamasında, CPLEX' de amaç fonksiyonun üst değeri (upper bound) temel alınmıştır. Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3' de P (parça sayısı), T (tedarikçi), D (dağıtım merkezi), ST (satış ve toplama merkezi) ve DN (dönem) kısaltmaları kullanılmıştır.

Algoritmanın etkinlik ölçütlerinden biri olan yüzde fark değerinin hesaplanması, GAMS' de elde edilen üst değer sınır (amaç fonksiyonu) ile sezgisel çözüm yönteminden elde edilen amaç fonksiyonu değerinin farkı alınarak hesaplanır.

$$\% \text{ Fark} = \frac{GAMS (\text{Üst Sınır}) - ssGA}{GAMS} * 100 \quad (6.1)$$

6.4.Hesaplama Sonuçları

Küçük, orta ve büyük olmak üzere toplam 3 farklı test boyutunda hesaplamalar yapılmıştır. Her bir test problemi rassallık olması açısından en az 3'er kez test edilmiştir. Bulunan en iyi sonuç değerleri, küçük boyut için Çizelge 6.1, orta boyut için Çizelge 6.2 ve büyük boyut için Çizelge 6.3' de verilmiştir.

Küçük boyutlu test problemleri

Toplamda 743 adet test problemi melez SSGA ile çözülmüştür. Çözüm sonuçlarının ilk 2 sayfası EK-5'te verilmektedir (istenildiğinde tüm test sonuçları yazardan temin edilebilir). Çizelge 6.1' de ise örnek olarak 14 adet test probleminin değerleri gösterilmiştir. Performans değeri olarak ortalama amaç fonksiyonu ve çözüm süresi değerleri dikkate alınmıştır. Hata değerinin hesaplanmasında, sezgisel yöntemle elde edilen sonuç değerleri ve GAMS ile elde edilen üst sınır değerleri kullanılmış ve yüzdelik fark için de Eşitlik 6.1 temel alınmıştır.

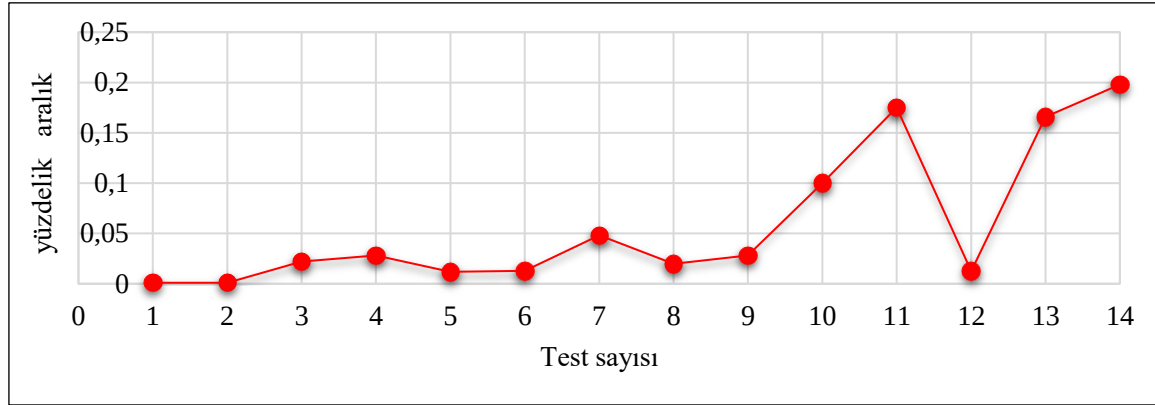
Sonuçlara bakıldığında, küçük boyutlu test problemlerinde ortalama % fark değeri 0.07 olarak çıkmış ve melez- SSGA ile neredeyse optimale yakın değerler elde edilmiştir. Bu tabloya göre, özellikle 6, 7 ve 8 tip problemlerin % aralık değerinin neredeyse 0 olduğu ve Genetik Algoritma CPLEX ile aynı sonuca yaklaştığı görülmüştür.

Küçük boyutlu test problemlerinde CPLEX' e kıyasla ortalama yüzde fark değeri %1'in altındadır. Çizelge 6.1' e dikkatle bakıldığında, problemin parça sayısı ve dönem sayısı arttıkça, CPLEX çözümde CPU (sn) değerinin büyüdüğü gözlenmiştir. Parça sayısı arttıkça, çözüm süresinin artmış olduğu görülmektedir. CPLEX' de 1 saatte (3600 sn) optimal çözüm alınamayan 2 adet problem mevcuttur. Genetik Algoritmanın çözüm süresi bu iki test problemi için oldukça küçük değerler vermiştir. Hazırlanan Genetik Algoritma, küçük boyutlu test problemleri için optimale yakın çözümler verdiğinden dolayı, %'lik fark değeri de %1'in çok altında çıkmıştır. Bunu Şekil 6.6' da görebilmekteyiz. Küçük boyutlu test problemleri için GA oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Çizelge 6.1. Küçük boyutu problem boyutları ve CPU süreleri

Tesisler							GAMS- CPLEX		SSGA		Fark
N.	[P]	[F]	[T]	[D]	[ST]	[DN]	Amaç F	CPU (sn)	Amaç F	CPU (sn)	%
1	5	1	3	3	5	6	156423547	0,22	156422638,7	5,79	0,001
2	5	1	3	4	10	4	178119609	1,37	178118700,8	9,77	0,001
3	5	1	4	3	15	6	448534925	17,94	448434599,8	31,55	0,022
4	10	1	3	3	10	6	370 807 063	88,49	370705022,8	20,65	0,028
5	10	1	3	3	10	12	825 724 956	2489,57	825622916,3	35,4	0,012
6	10	1	3	3	10	12	784 774 284	2026,44	784672243,6	64,42	0,013
7	10	1	3	3	5	6	212 099 002	165,91	211996962,2	8,68	0,048
8	10	1	3	3	5	12	512 879 739	829,16	512777699,2	21,18	0,02
9	10	1	5	3	10	6	355 522 366	7,79	355422041,3	39,93	0,028
10	50	1	3	3	10	12	2009129000	3600*	2007129000	189,16	0,100
11	50	1	3	4	15	4	1142326800	58,1	1140326800	150,57	0,175
12	50	1	3	3	10	4	9029163758	824	9028020728	52,08	0,013
13	50	1	3	4	5	12	1208222600	3600*	1206222600	155,84	0,166
14	50	1	3	5	15	6	1012503900	1479,53	1010503900	62,34	0,198

* Optimal sonuç bulunamamıştır.



Şekil 6.6. Küçük boyutlu test problemindeki yüzdelik farklar

Orta boyutlu test problemleri

Melez SSGA ile çözülen toplam 716 adet test probleminin ilk 2 sayfası EK-6'da verilmiş olup, test problemlerinin çözümleri istenildiğinde tamamı yazardan temin edilebilir. Çizelge 6.2' deki parça sayısı, 5'ten 50'ye doğru çıkarken boyut arttığı için ortalama SSGA CPU süresi artmasına rağmen, CPLEX' de bulunan değere göre oldukça düşüktür. CPLEX' de 50 parça için CPU değeri 2370 sn.den 153 saniyeye düşmüştür. Bu değerde neredeyse % 93,55'lik bir azalma olmasına rağmen, 50 parçanın sezgisel yaklaşımdaki değeri % 2,971 olmuştur. Söz konusu boyut sayısı için sezgisel yöntemin daha kısa sürede iyi sonuçlar verdiği görülmüştür, Çizelge 6.2' de görüldüğü üzere, boyut sayısı arttıkça, ortalama CPU oranı CPLEX' de artmıştır. Boyut sayısı arttıkça, GA-CPU değeri artmış olmasına rağmen, CPLEX' de hesaplanan çözüm süresine göre oldukça kısa sürede çözüm vermiştir. Şekil 6.7' de görüldüğü üzere, yüzdelik değerler %2' nin altında çıkmış ve Genetik Algoritmada daha kısa sürede optimale yakın çözümler elde edilmiştir.

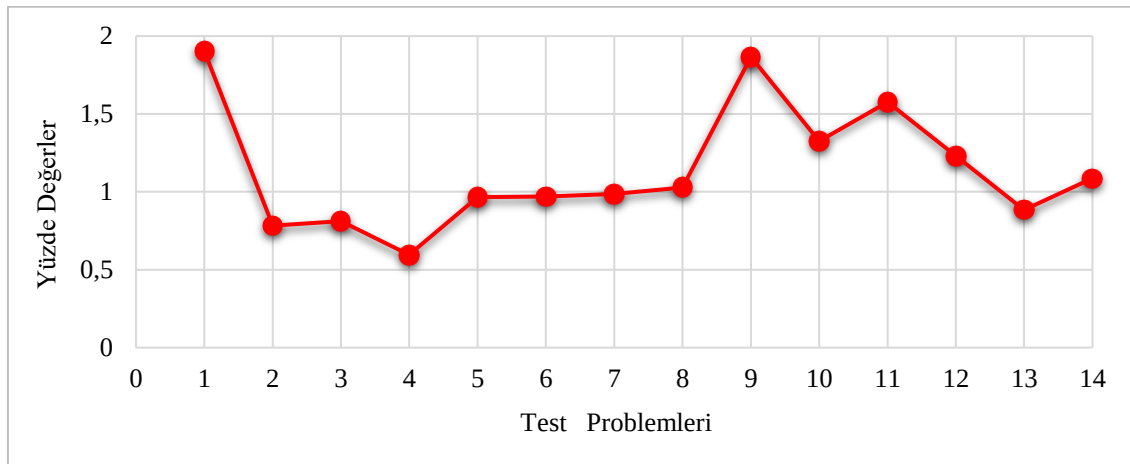
Çizelge 6.2. Orta boyutlu problemler ve CPU süreleri

Tesisler							GAMS- CPLEX		SSGA		Fark
N.	[P]	[F]	[T]	[D]	[ST]	[DN]	Amaç F	CPU (sn)	Amaç F	CPU (sn)	%
1	5	2	6	6	15	4	267855984	0,61	262755984	11,2	1,904
2	5	2	6	8	10	12	650711901	225,09	645611901	183,96	0,784
3	5	2	7	6	10	12	628719427	113,14	623619427	37,385	0,811
4	5	2	7	6	5	6	165973622	9,14	164983622	17,38	0,596
5	10	2	6	6	10	12	806556279	3600*	798770366	100,6	0,965
6	10	2	6	6	15	12	1102643500	3600*	1091950131	7,26	0,97
7	10	2	6	6	15	4	375640876	45,13	371936963	4,93	0,986

Çizelge 6.2 (devam) Orta boyutlu problemler ve CPU süreleri

N.	[P]	[F]	[T]	[D]	[ST]	[DN]	Amaç F	CPU (sn)	Amaç F	CPU (sn)	%
8	10	2	6	6	5	12	439381419	839,35	434864755	178,37	1,028
9	10	2	6	7	10	12	802723146	3600*	787746422	175,09	1,866
10	10	2	6	7	15	6	556167272	425,48	548792382	112,42	1,326
11	10	2	6	8	10	4	283883860	17,85	279407603	25,87	1,577
12	50	2	6	6	10	12	2615915700	3600*	2583715700	84,72	1,231
13	50	2	6	7	15	12	3641564900	3600*	3609364900	66,78	0,884
14	50	2	6	7	5	6	570400076	1224,44	564200076	113,12	1,087

* Optimal sonuç bulunamadı



Şekil 6.7. Orta boyutlu test problemlerinde yüzdelik farklar

Büyük boyutlu test problemleri

Toplam büyük boyutlu test problemleri SSGA' da çözüm sonuçları ve CPLEX amaç fonksiyonu değerleri Çizelge 6.3' te verilmiştir. Büyük boyutta parça sayısı 50 ve 100 olarak değişmektedir. En iyi sonuç veren 14 adet test problemi Çizelge 6.3' te verilmiştir. Büyük boyutlu test problemleri toplam 1 saat (3600 sn) çalıştırılmıştır. Buna rağmen hiç birinden optimal çözüm elde edilememiştir. GAMS-CPLEX yalnızca 1 saat çalıştırıldığında optimal sonuç elde edememiş ve bulunan amaç fonksiyonu değerlerinin, Genetik Algoritmanın bulduğu değerlere göre oldukça düşük amaç fonksiyonu değerleri çıktığı gözlenmiştir. Tesis açma / kapamalı ulaştırma problemleri yapısı gereği stratejik karar verme problemleridir. Genetik Algoritma daha kısa sürede daha iyi amaç fonksiyonu değeri vermiştir. Modelin amaç fonksiyonu kar maksimizasyonu olduğu için melez GA, CPLEX' den daha iyi bir amaç fonksiyonuna daha kısa sürelerde ulaşmıştır. Büyük boyutlu test problemleri için melez SSGA iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Çizelge 6.3. Büyük problem boyutları ve CPU süreleri

Tesisler							GAMS- CPLEX		SSGA	
Test No	P	F	T	D	ST	DN	Amaç F.	CPU	Amaç (AF)	CPU
1	100	4	10	10	25	12	1570332778	3600*	4402986533	433.56
2	100	4	10	10	25	6	2046311929	3600*	4908965684	397.53
3	100	4	10	10	25	12	2127730471	3600*	5000384226	564.45
4	100	4	10	10	25	4	2441569145	3600*	5354222900	324.78
5	100	4	10	10	25	6	3126753060	3600*	6019406815	269.57
6	100	4	10	8	10	12	4369760500	3600*	7050762450	481.03
7	100	4	10	8	10	4	968007700	3600*	2146967234	234.09
8	100	4	10	8	10	6	331879300	3600*	3246854234	306.03
9	100	4	10	8	10	12	5135848400	3600*	7904023334	378.48
10	100	4	10	8	10	4	998029700	3600*	2313004634	433.45
11	100	4	10	8	10	12	1514002100	3600*	4428977034	614.31
12	100	4	10	8	10	6	639044300	3600*	3554019234	638.85
13	100	4	10	8	15	12	2965655900	3600*	5680630834	527.62
14	100	4	10	8	15	4	721526600	3600*	3206501534	234.21

*Optimal sonuç bulunamamıştır.

6.5. Tartışma

Genetik Algoritma küçük, orta ve büyük olmak üzere 3 farklı test problemi için çalıştırılmıştır. Küçük boyutlu problemlerde amaç fonksiyonu yüzdelik fark (%) değerinin değeri neredeyse 0 olduğu ve GA' nın, CPLEX ile aynı sonuca yakınlığı görülmüştür. Küçük boyutlu test problemlerinde ortalama yüzde fark değeri %1'in altındadır. Küçük boyutlu problemlerde parça sayısı ve dönem sayısı arttıkça, CPLEX çözümde CPU (sn) değerinin arttığı görülmüştür.

Orta boyutlu test probleminde boyut sayısı arttıkça, sezgisel algoritmanın daha kısa sürede iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. SSGA performans değeri (fark değeri) %2'nin altında çıkmıştır.

Büyük boyutlu test problemlerinde CPLEX de 1 saate kadar çalıştırılmış ve melez SSGA' nın CPLEX' de bulduğu sonuçlara göre daha yüksek amaç değerine sahip değerler çıkmıştır. Geliştirilen SSGA büyük boyutlu problemlerde etkin sonuçlar vermiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

KDZT özellikle son 20 yıldır araştırmacılar ve uzmanların ilgi alanına giren önemli bir konudur. Değişen çevre şartları, azalan doğal kaynaklar, kirlenen çevre ve enerji kaynakları, küresel ısınma vb. etkiler devlet kurumlarını ve işletmeleri çeşitli tedbirler almaya zorlamıştır. Ürünlerin geri dönüşümü, yeniden işlenmesi ve çevreye daha az zarar verecek şekilde kullanılması amacıyla devlet tarafından yasal düzenlemeler ve kanunlar çıkarılarak işletmelerin uyması sağlanmıştır. Bu durum işletmeleri, ürettikleri ürünlerin müşteriye ulaşımına kadar tüm sürecin takibinde sorumlu hale getirmiştir. Bu süreçte KDTZ ağ tasarımı ve yönetimi büyük önem kazanmaktadır. İşletmeler hem ileri ürün akışını hem de tersine ürün akışını kontrol etmek zorundadır.

Tersine Tedarik Zincirinde, İleri Tedarik Zincirine göre oldukça karmaşık olduğu için birçok belirsizlik bulunmaktadır. Geri dönen ürünlerin müşteriden ne miktarda toplanacağına, geri dönen ürünlerin kalite belirsizliklerine, sınıflandırılmasına, geri kazanım işlemlerinin belirlenmesine bağlı olarak TTZ yönetiminin tasarımı ve uygulaması oldukça zordur. Geri dönüş aşamasında bu belirsizlikler son yıllarda kullanılmaya başlanılan “Nesnelerin İnterneti” kavramıyla ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Bu yeni teknolojinin kullanımıyla birlikte, ürünler akıllı hale gelerek birbirileri ve kendileriyle iletişim kurabilecektir. Bu sayede, ürün hayat döngüsü ile ilgili tüm bilgiler ortaya çıkarılabilecektir. Ürüne yerleştirilen çip, sensör ve RFID aracılığıyla ürünün yaşam döngüsü boyunca geçirdiği her faaliyet gözlemlenebilecektir. Bu sayede ürünün geri dönüşüm aşamasında ne kadarının kullanılacağı, hangi parçalarının iyi durumda olacağı, hangi parçaların tekrardan geri dönüşüme tabii tutulup tutulamayacağı konusuna karar vermek Nesnelerin İnterneti sayesinde mümkün olabilmektedir. Nesnelerin İnterneti bu yönüyle, TTZ faaliyetlerindeki belirsizlikleri ortadan kaldırabilecek önemli bir araç konumuna gelmiştir.

Çalışmanın literatüre temel katkısı da bu bağlamda ortaya çıkmaktadır. Günümüze kadar kullanılan, müşteri satın alma davranışlarının öngörülmediği matematiksel modelin yerine başka bir modeli hayata geçirmektir. Bu modelle birlikte, KDTZ ağ tasarımı kurulumunda müşteri satın alma davranışları göz önüne alınmaktadır. Geliştirilen sistemin temel amacı ise karı maksimize etmektir. Geliştirilen model, tesis açma/kapama kararlarının verildiği çok aşamalı, çok dönemli, çok parçalı ve kapasite kısıtlı karma tamsayılı bir matematiksel modeldir. Geliştirilen modelin çalışabilirliğini test etmek ve bazı parametre değişikliklerinin

model üzerindeki etkisini görmek için test problemleri üretilerek çözüm sonuçlarından elde edilen çıkarımlar yorumlanmıştır.

Problem, NP-Zor yapıda olduğundan geleneksel çözüm yöntemleriyle kısa sürede çözüm almak mümkün değildir. Bu durumda, Denge Durumu Genetik Algoritması ile GAMS-CPLEX 'in melezlendiği bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada, modelin farklı durumlardaki davranışları 3 farklı boyutta incelenerek Genetik Algoritma ile çözümü yapılmıştır. Bu tezde, hipotetik verilere dayalı bir sayısal örnek üzerinden matematiksel model test edilmiştir.

Gelecek çalışmalar için modelin gerçek hayat problemlerine uyarlanması öngörülebilir. Aynı zamanda tek amaçlı ve kar maksimizasyonu üzerine kurulan bu modelin, çevre koşullarına etkisi incelenerek (sera gazı salınımı, enerji minimizasyonu, karbon emisyonu, yakıt verimliliği vb.) çok amaçlı bir karma tamsayılı matematiksel model geliştirilebilir. Buna ek olarak, bu tezde geliştirilen melez genetik algoritma yerine farklı meta-sezgisel algoritmalar kullanılarak mevcut algoritmanın etkinliği diğer yöntemler ile test edilebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmadizar, F., Zeynivand, M. and Arkat, J. (2015). Two-level vehicle routing with cross-docking in a three-echelon supply chain: A genetic algorithm approach. *Applied Mathematical Modelling*, 39(22), 7065-7081.
- Alev, S. and Bingül, Z. (2004). Genetik Algoritmalarla Farklı Çaprazlama Teknikleriyle İki Boyutlu Kesme Problemlerine Uygulanışı. *Politeknik Dergisi*, 7(1), 25-35
- Alfonso-Lizarazo, E. H., Montoya-Torres, J. R. and Gutiérrez-Franco, E. (2013). Modeling reverse logistics process in the agro-industrial sector: The case of the palm oil supply chain. *Applied Mathematical Modelling*, 37(23), 9652-9664.
- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Paksoy, T. (2006). A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks. *Computers and Industrial Engineering*, 51(1), 196-215.
- Alumur, S. A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F. and Verter, V. (2012). Multi-period reverse logistics network design. *European Journal of Operational Research*, 220(1), 67-78.
- Amin, S. H. and Baki, F. (2017a). A facility location model for global closed-loop supply chain network design. *Applied Mathematical Modelling*, 41, 316-330.
- Amin, S. H. and Zhang, G. (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 6782-6791.
- Amin, S. H. and Zhang G. (2013). A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 51(5), 1405-1425.
- Amin, S. H., Zhang, G. and Akhtar, P. (2017b). Effects of uncertainty on a tire closed-loop supply chain network. *Expert Systems with Applications*, 73, 82-91.
- Anderson, C. R. and Zeithaml, C. P. (1984). Stage of the product life cycle, business strategy, and business performance. *Academy of Management Journal*, 27(1), 5-24.
- Raj, K.A.A.D and Rajendran, C. (2012). A genetic algorithm for solving the fixed-charge transportation model: Two-stage problem. *Computers and Operations Research*, 39 (9), 2016-2032.
- Ayvaz, B., Bolat, B. and Aydın, N. (2015). Stochastic reverse logistics network design for waste of electrical and electronic equipment. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, Part B, 391-404.
- Baptista, S., Gomes, M. I. and Barbosa-Povoa, A. P. (2012). A two-stage stochastic model for the design and planning of a multi-product closed loop supply chain. *Computer Aided Chemical Engineering*, 30, 412-416.

- Baptista, S., Gomes, M. I., and Barbosa-Póvoa, A. P. A (2013). *Stochastic model for a multi-period multi-product closed loop supply chain*. Paper presented at the XVI Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, Bragança.
- Battini, D., Bogataj, M. and Choudhary, A. (2017). Closed Loop Supply Chain (CLSC): Economics, Modelling, Management and Control. *International Journal of Production Economics*, 183, Part B, 319-321.
- Beamon, B. M. and Fernandes, C. (2004). Supply-chain network configuration for product recovery. *Production Planning and Control*, 15(3), 270-281
- Bottani, E. and Rizzi, A. (2008). Economical assessment of the impact of RFID technology and EPC system on the fast-moving consumer goods supply chain. *International Journal of Production Economics*, 112(2), 548-569.
- Bras, B. and McIntosh, M. W. (1999). Product, process, and organizational design for remanufacture—an overview of research. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 15(3), 167-178.
- Chan, F. T., Chung, S. and Wadhwa, S. (2005). A hybrid genetic algorithm for production and distribution. *Omega*, 33(4), 345-355. 7
- Chang, Y.H. (2010). Adopting co-evolution and constraint-satisfaction concept on genetic algorithms to solve supply chain network design problems. *Expert Systems with Applications*, 37(10), 6919-6930.
- Costa, A., Celano, G., Fichera, S. and Trovato, E. (2010). A new efficient encoding/decoding procedure for the design of a supply chain network with genetic algorithms. *Computers and Industrial Engineering*, 59(4), 986-999.
- Çoşkun, A. (2006). *Genetik Algoritma Kullanılarak Kimyasal Maddelerin Deriden Geçiş Katsayılarının ve Molekül Yapılarının Bulunması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dai, Z. and Zheng, X. (2015). Design of close-loop supply chain network under uncertainty using hybrid genetic algorithm: A fuzzy and chance-constrained programming model. *Computers and Industrial Engineering*, 88, 444-457.
- Davis, L. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*, New York: CRC Press.
- De Brito, M. and Dekker, R. (2002). Reverse logistics-a framework, Econometric Institute Report EI 2002-38, Rotterdam, 1-19.
- De Brito, M. P. and Dekker, R. (2004). *A framework for reverse logistics*, Rotterdam: Springer.
- De Brito, M. P., Dekker, R. and Flapper, S. D. P. (2005). *Reverse logistics: a review of case studies*, Rotterdam: Springer.
- Defee, C. C., Stank, T. P., Esper, T. L. and Mentzer, J. T. (2009). The role of followers in supply chains. *Journal of Business Logistics*, 30(2), 65-84.

- Dekker, H. C. and Van Goor, A. R. (2000). Supply chain management and management accounting: a case study of activity-based costing. *International Journal of Logistics*, 3(1), 41-52.
- Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K. and van Wassenhove, L. N. (2013). *Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains*, Rotterdam: Springer.
- Demirel, N. Ö. and Gökçen, H. (2008). A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39 (11-12), 1197-1206.
- Devika, K., Jafarian, A. and Nourbakhsh, V. (2014). Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques. *European Journal of Operational Research*, 235(3), 594-615.
- Diabat, A. and Deskoors, R. (2016). A hybrid genetic algorithm based heuristic for an integrated supply chain problem. *Journal of Manufacturing Systems*, 38, 172-180.
- Díaz, A., Álvarez, M. J. and González, P. (2004). *Logística inversa y medio ambiente*, Spain: McGraw- Hill.
- Dowlatshahi, S. (2005). A strategic framework for the design and implementation of remanufacturing operations in reverse logistics. *International Journal of Production Research*, 43(16), 3455-3480.
- Du, F. and Evans, G. W. (2008). A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service. *Computers and Operations Research*, 35(8), 2617-2634.
- Dziadok, K., Kumar, B. and Sommerville, J. (2009). Model for the 3D location of buried assets based on RFID technology. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(3), 148-159.
- El-Sayed, M., Afia, N. and El-Kharbotly, A. (2010). A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk. *Computers and Industrial Engineering*, 58(3), 423-431.
- Ene, S. and Öztürk, N. (2015). Network modeling for reverse flows of end-of-life vehicles. *Waste Management*, 38, 284-296.
- Fahimnia, B., Davarzani, H. and Eshragh, A. (2015). Planning of complex supply chains: A performance comparison of three meta-heuristic algorithms. *Computers and Operations Research*.
- Farahani, R. Z. and 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(2), 229-243.
- Feng, Z., Wang, Z. and Chen, Y. (2014). The equilibrium of closed-loop supply chain super network with time-dependent parameters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 64, 1-11.

- Fera, M., Iannone, R., Mancini, V., Schiraldi, M. M. and Scotti, P. (2013). Economic evaluation of RFID technology in the production environment. *International Journal of Engineering Business Management*, 5, 39.
- Finkenzeller, K. (2003). *Introduction. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, Bavaria: John Wiley and Sons.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. M. and Wassenhove, L. N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operations Management*, 10(2), 156-173.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J. A. and Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1-17.
- Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R. and Flapper, S. D. P. (2000). A characterization of logistics networks for product recovery. *Omega*, 28(6), 653-666.
- Främling, K., Holmström, J., Loukkola, J., Nyman, J. and Kaustell, A. (2013). Sustainable PLM through intelligent products. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(2), 789-799.
- Garg, K., Kannan, D., Diabat, A. and Jha, P. C. (2015). A multi-criteria optimization approach to manage environmental issues in closed loop supply chain network design. *Journal of Cleaner Production*, 100, 297-314.
- Gaukler, G. M., Seifert, R. W. and Hausman, W. H. (2007). Item-level RFID in the retail supply chain. *Production and Operations Management*, 16(1), 65-76.
- Gen, M., Altıparmak, F. and Lin, L. (2006). A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding. *OR Spectrum*, 28(3), 337-354.
- Ghayebloo, S., Tarokh, M. J., Venkatadri, U. and Diallo, C. (2015). Developing a bi-objective model of the closed-loop supply chain network with green supplier selection and disassembly of products: The impact of parts reliability and product greenness on the recovery network. *Journal of Manufacturing Systems*, 36, 76-86.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Michigan: Addison-Wesley Longman Publishing.
- González-Torre, P., Alvarez, M., Sarkis, J. and Adenso-Díaz, B. (2010). Barriers to the implementation of environmentally oriented reverse logistics: Evidence from the automotive industry sector. *British Journal of Management*, 21(4), 889-904.
- Gu, Y. and Liu, Q. (2013). Research on the application of the internet of things in reverse logistics information management. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(4), 963.
- Guide, V. D. R. (2000). Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs. *Journal of Operations Management*, 18(4), 467-483.

- Guide, V. D. R., Harrison, T. P. and Van Wassenhove, L. N. (2003). The challenge of closed-loop supply chains. *Interfaces*, 33(6), 3-6.
- Güleş, H., Paksoy, T., Bülbül, H. and Özceylan, E. (2009). *Tedarik Zinciri Yönetimi Stratejik Planlama. Modelleme ve Optimizasyon*, Ankara: Gazi Kitabevi.
- Hammond, D. and Beullens, P. (2007). Closed-loop supply chain network equilibrium under legislation. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 895-908.
- Harraz, N. A. and Galal, N. M. (2011). Design of Sustainable End-of-life Vehicle recovery network in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 2(3), 211-219.
- Hatefi, S. and Jolai, F. (2014). Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions. *Applied Mathematical Modelling*, 38(9), 2630-2647.
- Haupt, R. L. and Haupt, S. E. (2004). *Practical genetic algorithms*, Pennsylvania: John Wiley and Sons.
- Hribernik, K. A., Ghrairi, Z., Hans, C. and Thoben, K.-D. (2011). *Co-creating the Internet of Things—First experiences in the participatory design of Intelligent Products with Arduino*. Paper presented at 17 th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE), Aachen, Germany.
- Hribernik, K. A., Hans, C. and Thoben, K.-D. (2011). *The application of the global framework architecture to autonomous control in logistics Dynamics in Logistics*, Berlin: Springer.
- Ilgin, M. A. and Gupta, S. M. (2011a). Evaluating the impact of sensor-embedded products on the performance of an air conditioner disassembly line. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(9-12), 1199-1216.
- Ilgin, M. A. and Gupta, S. M. (2011b). Performance improvement potential of sensor embedded products in environmental supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 580-592.
- Inderfurth, K. (2005). Impact of uncertainties on recovery behavior in a remanufacturing environment: a numerical analysis. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 35(5), 318-336.
- İnternet: Çunkaş, M. Genetik Algoritma ve Uygulamaları Ders Notları URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.horozerk.com%2Fwp-content%2Fuploads%2Fgenetic.pdf&date=2017-03-11>, Son Erişim Tarihi: 30.11.2016.
- İnternet: Rfid Nedir? Rfid Teknolojileri, Rfid Etiketleri, Rfid Okuyucuları. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.rfid-turkiye.com%2F&date=2017-03-11>, Son Erişim Tarihi: 10.12.2015.
- İnternet: Explanation of Product Life Cycle of Levitt, Fox, Wasson, Hofer. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.12manage.com%2Fmethods_product_life_cycle.html&date=2017-03-11, Son Erişim Tarihi: 15.12.2016.

İnternet: Harry Machado, K. S. Internet of Things (IoT) impacts on Supply Chain. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fapicsterragrande.org%2Fimages%2Farticles%2FMachado_Internet_of_Things_impacts_on_Supply_Chain_Shah_Machado_Second_Place_Grad.pdf&date=2017-03-11, Son Erişim Tarihi: 18.10.2015.

İnternet: Karaçay, Tersine Lojistik: Kavram ve İşleyiş. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdergipark.ulakbim.gov.tr%2Fecusosbil%2Farticle%2FviewFile%2F5000001039%2F5000001730&date=2017-03-11>, Son Erişim Tarihi: 05.03.2015.

İnternet: Nesnelerin İnterneti. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.teknolo.com%2Finternet-things-nesnelerin-interneti-nedir%2F&date=2017-03-11>, Son Erişim Tarihi: 11.06.2015.

İnternet: Tüketici ve Tüketici Davranışları. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.turkmmo.com%2Fekonmi-iktisat-isletme%2F971783-tuketici-ve-tuketici-davranislari.html&date=2017-03-11>, Son Erişim Tarihi: 20.04.2014.

İnternet: The role-internet-things-managing-supply-chain-risk. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.kewill.com%2Fblog%2F2014%2F09%2F17%2Frole&date=2017-03-11>, Son Erişim Tarihi: 02.10.2015.

İnternet: Nesnelerin İnterneti. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F%28http%3A%2F%2Fwww.teknolo.com%2Finternet-things-nesnelerin-interneti-nedir%2F&date=2017-03-11>, Son erişim tarihi: 11.09.2013.

İnternet: The role-internet-things-managing-supply-chain-risk. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.kewill.com%2Fblog%2F2014%2F09%2F17%2Frole&date=2017-03-11>, Son erişim tarihi: 15.05.2015.

İnternet: Tüketici ve Tüketici Davranışları. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2FT%3%BCketici+ve+T%C3%BCketici+Davran%C4%B1%C5%9Flar%C4%B1.+&date=2017-03-11>, Son erişim tarihi: 20.07.2016.

Jamshidi, R., Fatemi Ghomi, S. M. T. and Karimi, B. (2015). Flexible supply chain optimization with controllable lead time and shipping option. *Applied Soft Computing*, 30, 26-35.

Jayaraman, V., Guide JR, V. and Srivastava, R. (1999). A closed-loop logistics model for remanufacturing. *Journal of the Operational Research Society*, 50(5), 497-508.

Jayaraman, V., Patterson, R. A. and Rolland, E. (2003). The design of reverse distribution networks: models and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, 150(1), 128-149.

- Jeihoonian, M., Kazemi Zanjani, M. and Gendreau, M. (2017). Closed-loop supply chain network design under uncertain quality status: Case of durable products. *International Journal of Production Economics*, 183, Part B, 470-486.
- Jun, H. B., Kiritsis, D. and Xirouchakis, P. (2007). Research issues on closed-loop PLM. *Computers in Industry*, 58(8), 855-868.
- Jun, H.-B., Shin, J.-H., Kiritsis, D. and Xirouchakis, P. b. (2007). System architecture for closed-loop PLM. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20(7), 684-698.
- Kannan, G., Noorul Haq, A. and Devika, M. (2009). Analysis of closed loop supply chain using genetic algorithm and particle swarm optimisation. *International Journal of Production Research*, 47(5), 1175-1200.
- Karaçay, A. G. G. (2005). Tersine Lojistik: Kavram ve İşleyiş. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 75-98.
- Kärkkäinen, M., Holmström, J., Främling, K. and Artto, K. (2003). Intelligent products-a step towards a more effective project delivery chain. *Computers in Industry*, 50(2), 141-151.
- Kaya, O. and Urek, B. (2016). A mixed integer nonlinear programming model and heuristic solutions for location, inventory and pricing decisions in a closed loop supply chain. *Computers and Operations Research*, 65, 93-103.
- Kaymak, G. (2010). *Tıbbi Atık Sterilizasyon Sisteminde Tersine Lojistik Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kenne, J.P., Dejax, P. and Gharbi, A. (2012). Production planning of a hybrid manufacturing–remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 81-93.
- Keskin, B. B. and Üster, H. (2007). A scatter search-based heuristic to locate capacitated transshipment points. *Computers and Operations Research*, 34(10), 3112-3125.
- Keyvanshokoh, E., Fattahi, M., Seyed-Hosseini, S. and Tavakkoli - Moghaddam, R. (2013). A dynamic pricing approach for returned products in integrated forward/reverse logistics network design. *Applied Mathematical Modelling*, 37(24), 10182-10202.
- Khajavi, L. T., Seyed-Hosseini, S.-M. and Makui, A. (2011). An integrated forward/reverse logistics network optimization model for multi-stage capacitated supply chain. *iBusiness*, 3(02), 229.
- Khong, G. and White, S.(2005). *Moving right along: Using RFID for Collection Management at the Parliamentary Library*, Paper presented at 12thConference and Exhibition, Austral.
- Kim, K., Song, I., Kim, J. and Jeong, B. (2006). Supply planning model for remanufacturing system in reverse logistics environment. *Computers and Industrial Engineering*, 51(2), 279-287.

- Kiritsis, D. Burafdi, A., and Xirouchakis, p. (2003). Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems. *Advanced Engineering Information*, 17 (4), 189-202.
- Kiritsis, D. (2011). Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things. *Computer-Aided Design*, 43(5), 479-501.
- Kiritsis, D., Bufardi, A. and Xirouchakis, P. (2003). Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems. *Advanced Engineering Informatics*, 17(3), 189-202.
- Kiritsis, D., Nguyen, V. and Stark, J. (2008). How closed -lopp PLM can improve knowledge management over the complete product lifecycle? *International Journal of Product Lifecycle Management*.
- Kiritsis, D., Nguyen, V. K. and Stark, J. (2008). How closed-loop PLM improves Knowledge Management over the complete product lifecycle and enables the factory of the future. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 3(1), 54-77.
- Klausner, M. and Hendrickson, C. T. (2000). Reverse-logistics strategy for product take-back. *Interfaces*, 30(3), 156-165.
- Ko, H. J. and Evans, G. W. (2007). A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. *Computers and Operations Research*, 34(2), 346-366.
- Krikke, H., Bloemhof - Ruwaard, J. and Wassenhove, L. (2001). *Dataset of the refrigerator case: ERIM Report ERS-2001-46-LIS*. Rotterdam, Netherland.
- Krumwiede, D. W. and Sheu, C. (2002). A model for reverse logistics entry by third-party providers. *Omega*, 30(5), 325-333.
- Lashkari, R. S. and Zhang, H. (2008). Modeling and Analysis of a Reverse Supply Chain Network for Lead-Acid Battery Manufacturing. *Operations and Supply Chain Management*, 1(1), 43-56.
- Lee, A. H., Kang, H.Y., Hsu, C.-F. and Hung, H.-C. (2009). A green supplier selection model for high-tech industry. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 7917-7927.
- Lee, K. (2015). *How the Internet of Things will change your world*, United State: Pearson.
- Lin, L., Gen, M. and Wang, X. (2009). Integrated multistage logistics network design by using hybrid evolutionary algorithm. *Computers and Industrial Engineering*, 56(3), 854-873.
- Listes, O. (2007). A generic stochastic model for supply-and-return network design. *Computers and Operations Research*, 34(2), 417-442.
- Lu, Z. and Bostel, N. (2007). A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities. *Computers and Operations Research*, 34(2), 299-323.

- Maiti, T. and Giri, B. (2015). A closed loop supply chain under retail price and product quality dependent demand. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 624-637.
- McFarlane, D., Sarma, S., Chirn, J. L., Wong, C. and Ashton, K. (2003). Auto ID systems and intelligent manufacturing control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16(4), 365-376.
- Meyer, G. G., Främling, K., and Holmström, J. (2009). Intelligent products: A survey. *Computers in Industry*, 60(3), 137-148.
- Min, H., Ko, C. S. and Ko, H. J. (2006). The spatial and temporal consolidation of returned products in a closed-loop supply chain network. *Computers and Industrial Engineering*, 51(2), 309-320.
- Min, H. and Ko, H.-J. (2008). The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 176-192.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F. and Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497-1516.
- Mirakhorli, A. (2014). Fuzzy multi-objective optimization for closed loop logistics network design in bread-producing industries. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(1-4), 349-362.
- Ondemir, O. and Gupta, S. M. (2014a). A multi-criteria decision making model for advanced repair-to-order and disassembly-to-order system. *European Journal of Operational Research*, 233(2), 408-419.
- Ondemir, O. and Gupta, S. M. (2014b). Quality management in product recovery using the Internet of Things: An optimization approach. *Computers in Industry*, 65(3), 491-504.
- Ostlin, J., Sundin, E., and Björkman, M. (2008). Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 115(2), 336-348.
- Ozceylan, E. (2010). *Tedarik Zinciri Yönetiminde Üretim/dağıtım Ağlarının Tasarımına Yeni Model Yaklaşımları*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ozceylan, E. and Paksoy, T. (2013). A mixed integer programming model for a closed-loop supply-chain network. *International Journal of Production Research*, 51(3), 718-734.
- Ozceylan, E., Paksoy, T. and Bektaş, T. (2014). Modeling and optimizing the integrated problem of closed-loop supply chain network design and disassembly line balancing. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 61, 142-164.
- Özkır, V. and Başlıgil, H. (2012). Modelling product-recovery processes in closed-loop supply-chain network design. *International Journal of Production Research*, 50(8), 2218-2233.

- Paksoy, T., Bektaş, T. and Özceylan, E. (2011). Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 532-546.
- Paksoy, T., Karaoğlu, İ., Gökçen, H., Pardalos, P. M. and Toğrul, B. (2016). An Experimental Research on Closed Loop Supply Chain Management with Internet of Things. *Journal of Economics Bibliography*, 3(1S), 1-20.
- Pan, Z., Tang, J. and Liu, O. (2009). Capacitated dynamic lot sizing problems in closed-loop supply chain. *European Journal of Operational Research*, 198(3), 810-821.
- Pishvaei, M. S., Farahani, R. Z. and Dullaert, W. (2010). A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. *Computers and Operations Research*, 37(6), 1100-1112.
- Pishvaei, M. S., Rabbani, M. and Torabi, S. A. (2011). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 35(2), 637-649.
- Presley, A., Meade, L. and Sarkis, J. (2007). A strategic sustainability justification methodology for organizational decisions: a reverse logistics illustration. *International Journal of Production Research*, 45(18-19), 4595-4620.
- Qiang, Q., Ke, K., Anderson, T. and Dong, J. (2013). The closed-loop supply chain network with competition, distribution channel investment, and uncertainties. *Omega*, 41(2), 186-194.
- Ramazan, S. and Dimitrakopoulos, R. (2013). Production scheduling with uncertain supply: a new solution to the open pit mining problem. *Optimization and Engineering*, 14(2), 361-380.
- Ramezani, M., Kimiagari, A. M., Karimi, B. and Hejazi, T. H. (2014). Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment. *Knowledge-Based Systems*, 59, 108-120.
- Roghayian, E. and Pazhoheshfar, P. (2014). An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment by using genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(3), 348-356.
- Roupec, J., Popela, P., Hrabec, D., Novotny, J., Olstad, A., and Haugen, K. (2013). *Hybrid algorithm for network design problem with uncertain demands*. Paper presented at the Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco.
- Sahay, B., Srivastava, S. K. and Srivastava, R. K. (2006). Managing product returns for reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 36(7), 524-546.
- Sahyouni, K., Savaskan, R. C. and Daskin, M. S. (2007). A facility location model for bidirectional flows. *Transportation Science*, 41(4), 484-499.

- Salema, M. I. G., Póvoa, A. P. B. and Novais, A. Q. (2009). A strategic and tactical model for closed-loop supply chains. *OR Spectrum*, 31(3), 573-599.
- Sarac, A., Absi, N., and Dauzère-Pérès, S. (2010). A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 128(1), 77-95.
- Savaskan, R. C., Bhattacharya, S., and Van Wassenhove, L. N. (2004). Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. *Management Science*, 50(2), 239-252.
- Schultmann, F., Zumkeller, M., and Rentz, O. (2006). Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. *European Journal of Operational Research*, 171(3), 1033-1050.
- Sim, E., Jung, S., Kim, H., and Park, J. (2004). *A generic network design for a closed-loop supply chain using genetic algorithm*. Paper presented at the Genetic and Evolutionary Computation Conference, Seattle.
- Subramanian, P., Ramkumar, N., Narendran, T., and Ganesh, K. (2013). Prism: Priority based simulated annealing for a closed loop supply chain network design problem. *Applied Soft Computing*, 13(2), 1121-1135.
- Subulan, K., Baykasoğlu, A., Özsoydan, F. B., Taşan, A. S., and Selim, H. (2015). A case-oriented approach to a lead/acid battery closed-loop supply chain network design under risk and uncertainty. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 340-361.
- Subulan, K., Baykasoğlu, A., and Saltabaş, A. (2014). An improved decoding procedure and seeker optimization algorithm for reverse logistics network design problem. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 27(6), 2703-2714.
- Subulan, K., Taşan, A. S., and Baykasoğlu, A. (2015). Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply chain network with multiple recovery options using interactive fuzzy goal programming. *Applied Mathematical Modelling*, 39(9), 2661-2702.
- Sundin, E. (2004). *Product and process design for successful remanufacturing*, Linköping: University Electronic Press.
- Suyabatmaz, A. Ç., Altekin, F. T., and Şahin, G. (2014). Hybrid simulation-analytical modeling approaches for the reverse logistics network design of a third-party logistics provider. *Computers and Industrial Engineering*, 70, 74-89.
- Syarif, A., Yun, Y., and Gen, M. (2002). Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach. *Computers and Industrial Engineering*, 43(1-2), 299-314.
- Talbi, E.-G. (2009). *Population- Based Metaheuristics Metaheuristics from Desing to Implementation*. United State of America: A John Wiley and Sons.

- Telsang, M. (2008). Costs Associated with Inventory *Industrial Engineering and Production Management*, 327. New Delhi: S.Chand and Company.
- Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J., and Van Wassenhove, L. (1995). Strategies issues in product recovery management. *California Management Review*, 37(2), 114-135.
- Tibben-Lembke, R. S., and Rogers, D. S. (2002). Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(5), 271-282.
- Üster, H., Easwaran, G., Akçali, E., and Çetinkaya, S. (2007). Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model. *Naval Research Logistics (NRL)*, 54(8), 890-907.
- Vadde, S., Kamarthi, S. V., Gupta, S. M., and Zeid, I. (2008). *Product life cycle monitoring via embedded sensors*. United State: CRC press.
- Ventä, O. (2007). Intelligent products and systems. Technology Theme-Final Report. VTT, Espoo: VTT Publications, Finland, 304.
- Wang, H.-F., and Hsu, H.-W. (2010). A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. *Computers and Operations Research*, 37(2), 376-389.
- Wong, C. Y., McFarlane, D., Zaharudin, A. A., and Agarwal, V. (2002). *The intelligent Product Driven Supply Chain*. Paper presented at the Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference On.
- Xu, H., Xu, R. and Ye, Q. (2006). Optimization of Unbalanced Multi-stage Logistics Systems Based on Prüfer Number and Effective Capacity Coding. *Tsinghua Science and Technology*, 11(1), 96-101.
- Yang, G.-f., Wang, Z.P. and Li, X.-q. (2009). The optimization of the closed-loop supply chain network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1), 16-28.
- Zamarripa, M., Silvente, J., and Espuña, A. (2012). Supply Chain Planning under Uncertainty using Genetic Algorithms. In B. Ian David Lockhart and F. Michael (Eds.), *Computer Aided Chemical Engineering*, 30, 457-461.
- Zeballos, L. J., Méndez, C. A., Barbosa-Povoa, A. P., and Novais, A. Q. (2013). Multi-stage stochastic optimization of the design and planning of a closed-loop supply chain, *Computer Aided Chemical Engineering*, 32, 691-696.
- Zegordi, S. H., Abadi, I. N. K. and Nia, M. A. B. (2010). A novel genetic algorithm for solving production and transportation scheduling in a two-stage supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, 58(3), 373-381.
- Zhang, Z.-H., Jiang, H. and Pan, X. (2012). A Lagrangian relaxation based approach for the capacitated lot sizing problem in closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 249-255.

- Zhiduan, X. (2005). Research on the Flexibility in Logistic Systems. *Chinese Journal of Management*, 4, 441-445.
- Zhou, C., Zhao, R. and Tang, W. (2008). Two-echelon supply chain games in a fuzzy environment. *Computers and Industrial Engineering*, 55(2), 390-405.
- Zhou, G., Cao, Z., Qi, F. and Cao, J. (2006). A genetic algorithm approach on a logistics distribution system with uncertain demand and product return. *World Journal of Modelling and Simulation*, 2(2), 99-108.
- Zhou, G., Min, H. and Gen, M. (2002). The balanced allocation of customers to multiple distribution centers in the supply chain network: a genetic algorithm approach. *Computers and Industrial Engineering*, 43(1-2), 251-261.
- Zhou, X.C., Zhao, Z.X., Zhou, K.J. and He, C.H. (2012). Remanufacturing closed-loop supply chain network design based on genetic particle swarm optimization algorithm. *Journal of Central South University*, 19(2), 482-487.
- Zhou, Y., Yang, Y., Zhang, J., He, M. and Dong, B. (2010). A Generic Model of Reverse Logistics Network Design ICLEM 2010: Logistics For Sustained Economic Development: Infrastructure, *Information*, Integration, 3664-3670.





EK- 1. Modelin karar değişkenlerinin aldığı değerler

Değişkenler	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
X(4,1,1,1)	152	X(1,2,3,2)	644	Y(2,1,2,1)	34	W(1,1,1,1)	22	W(3,3,3,2)	4
X(4,2,1,1)	195	X(2,1,4,2)	300	Y(1,1,3,1)	2	W(1,2,1,1)	15	W(3,4,3,2)	4
X(2,1,2,1)	21	X(2,2,4,2)	322	Y(2,1,4,1)	48	W(1,3,1,1)	16	W(3,4,4,2)	13
X(4,1,2,1)	131	X(2,1,5,2)	150	Y(2,1,5,1)	32	W(1,4,1,1)	2	W(3,3,5,2)	10
X(2,2,2,1)	195	X(2,2,5,2)	161	Y(2,3,2,2)	6	W(1,1,2,1)	12	W(3,4,5,2)	10
X(1,1,3,1)	531	X(3,1,1,3)	180	Y(1,3,3,2)	8	W(1,2,2,1)	15	W(1,1,3,3)	7
X(4,1,3,1)	77	X(3,1,2,3)	180	Y(2,3,4,2)	13	W(1,3,2,1)	5	W(1,2,3,3)	9
X(1,2,3,1)	780	X(1,1,3,3)	720	Y(2,3,5,2)	20	W(1,4,2,1)	2	W(3,3,1,4)	3
X(2,1,4,1)	304	X(1,1,4,3)	181	Y(1,1,3,3)	16	W(1,1,3,1)	2	W(3,4,1,4)	2
X(2,2,4,1)	390	X(3,1,4,3)	179	Y(3,3,1,4)	5	W(1,1,4,1)	18	W(3,4,2,4)	1
X(2,1,5,1)	152	X(3,1,5,3)	180	Y(3,3,2,4)	1	W(1,2,4,1)	12	W(3,3,3,4)	4
X(2,2,5,1)	195	X(3,1,1,4)	207	Y(1,3,3,4)	8	W(1,3,4,1)	16	W(3,4,3,4)	4
X(2,1,1,2)	150	X(3,1,2,4)	207	Z(1,1,1)	152	W(1,4,4,1)	2		
X(1,2,1,2)	102	X(1,1,3,4)	828	Z(2,1,1)	195	W(1,1,5,1)	11		
X(2,2,1,2)	59	X(1,1,4,4)	49	Z(1,3,2)	150	W(1,2,5,1)	17		
X(2,1,2,2)	150	X(3,1,4,4)	363	Z(2,3,2)	161	W(1,3,5,1)	2		
X(2,2,2,2)	161	X(3,1,5,4)	207	Z(1,1,3)	180	W(1,4,5,1)	2		
X(1,1,3,2)	600	Y(4,1,1,1)	55	Z(1,3,4)	207	W(3,4,2,2)	6		

V(1,1,1)	137	SS(3,5,2)	4	Invv(4,2)	126	Icc(3,1,2)	5	Icc(1,3,3)	1	f1(3,4)	1
V(1,2,1)	190	SS(4,1,3)	1	Invv(1,3)	142	Icc(4,1,2)	2	Icc(2,3,3)	3	f2(1,1)	1
V(1,3,1)	10	SS(3,2,3)	1	Invv(2,3)	108	Icc(1,2,2)	4	Icc(1,4,3)	5	f2(2,1)	1
V(1,4,1)	10	SS(3,3,3)	1	Invv(4,3)	59	Icc(2,2,2)	5	Icc(2,4,3)	1	f2(1,2)	1
V(3,2,2)	56	SS(2,4,3)	1	Icc(1,1,1)	14	Icc(3,2,2)	3	Icc(3,4,3)	5	f2(2,2)	1
V(3,3,2)	110	SS(3,5,3)	2	Icc(2,1,1)	7	Icc(4,2,2)	4	Icc(4,4,3)	4	f2(1,3)	1
V(3,4,2)	145	SS(2,1,4)	2	Icc(3,1,1)	12	Icc(3,3,2)	3	Icc(1,5,3)	2	f2(1,4)	1
V(1,1,3)	180	SS(4,1,4)	1	Icc(4,1,1)	2	Icc(4,3,2)	2	Icc(2,5,3)	4	f3(1,1)	1
V(3,3,4)	194	SS(1,2,4)	2	Icc(1,2,1)	9	Icc(1,4,2)	11	Icc(3,5,3)	7	f3(3,2)	1
V(3,4,4)	13	SS(3,2,4)	1	Icc(2,2,1)	10	Icc(2,4,2)	10	Icc(4,5,3)	4	f3(1,3)	1
SS(4,1,1)	1	SS(2,3,4)	1	Icc(1,3,1)	1	Icc(3,4,2)	12	f1(1,1)	1	f3(3,4)	1
SS(4,2,1)	1	SS(2,4,4)	4	Icc(1,4,1)	16	Icc(4,4,2)	11	f1(2,1)	1		
SS(2,4,1)	1	SS(2,5,4)	3	Icc(2,4,1)	11	Icc(1,5,2)	4	f1(4,1)	1		
SS(4,1,2)	3	Invv(1,1)	127	Icc(3,4,1)	14	Icc(2,5,2)	9	f1(1,2)	1		
SS(3,2,2)	4	Invv(2,1)	176	Icc(1,5,1)	9	Icc(3,5,2)	10	f1(2,2)	1		
SS(2,3,2)	1	Invv(1,2)	67	Icc(2,5,1)	14	Icc(4,5,2)	6	f1(1,3)	1		
SS(3,3,2)	4	Invv(2,2)	194	Icc(1,1,2)	7	Icc(1,1,3)	2	f1(3,3)	1		
SS(2,4,2)	2	Invv(3,2)	45	Icc(2,1,2)	5	Icc(2,2,3)	1	f1(1,4)	1		

EK- 2. Küçük boyutlu test problem sonuçları (CPLEX)

dosyadı	parçacıklardan	güçlülük	toplam	küme	üst	test	Op	kar	gelir	maliyet	Satın alma	Üretim M.	fabrika M.	Tamir M.	Ayrış M.	tasuma M.	Atık M.	Stok M.	İsdat M.	İrulum M.	Upper_Bound	Lower_Bound	İterasyon
P5_1_3_3_10_0.2_12(1).t	5	1	3	3	10	0.2	12	4	1	113470234.8	1062375	50396503	966264	49429440	5953120	799	5365250	106852	816513	1956016	621905616,2	621905616,2	1178388
P5_1_3_3_10_0.2_4(1).t	5	1	3	3	10	0.2	4	4	1	318707	6298720	34560	34560	5953120	0	21199716	35011	169746	5913	2581548	17182377	17182377	1329
P5_1_3_3_10_0.2_6(1).t	5	1	3	3	10	0.2	6	4	1	34341052	507757	10925766	344284	10581120	380	30634100	6297	384392	98221	4090491	29476207,2	29476207,2	17455
P5_1_3_3_10_0.4_12(1).t	5	1	3	3	10	0.4	12	4	1	78579566	828828	42873059	1167264	41610240	95555	45922477	52051	654715,4	1952416	7778646	687610264,6	687610264,6	126765
P5_1_3_3_10_0.4_4(1).t	5	1	3	3	10	0.4	4	4	1	21274932	313982	6261192	309700	5901000	51492	16841664	17811	122587	58021	2969559	186232307	186232307	7383
P5_1_3_3_10_0.4_6(1).t	5	1	3	3	10	0.4	6	4	1	331110122	354953	13946144	426608	13446240	73296	1216030	25743	197460	916516	4051199	291309427	291309427	81297
P5_1_3_3_10_0.6_12(1).t	5	1	3	3	10	0.6	12	4	1	792001323	871073,17	59763552	1437935	58001647	323970	34781995	8019	614645,7	193212	7790837	688151250,4	688151250,4	2171029
P5_1_3_3_10_0.6_4(1).t	5	1	3	3	10	0.6	4	4	1	213254548	221068	6259788	314138	5853600	97050	11259883	1997	143005	5713,2	2241041	193121953,1	193121953,1	1789
P5_1_3_3_10_0.6_6(1).t	5	1	3	3	10	0.6	6	4	1	37632912,15	501508	14393294	948520	13300020	144754	38041119	3761	212387	930016	4471543	311821283,9	311821283,9	45565
P5_1_3_3_10_0.8_12(1).t	5	1	3	3	10	0.8	12	4	1	9952775,8	803687	47126518	928392	46186686	17440	4675369	217	725184	196218	8177179	634889245,2	634889245,2	817069
P5_1_3_3_10_0.8_4(1).t	5	1	3	3	10	0.8	4	4	1	29238506,85	295132	5494370	370350	5119200	4820	9997551	0	130120	5940	3315394	184052404,2	184052404,2	9322
P5_1_3_3_10_0.8_6(1).t	5	1	3	3	10	0.8	6	4	1	40906948,5	524016	12040028	974800	11059730	7818	12582356	140	224911	93718	5380560	289245911,5	289245911,5	48630
P5_1_3_3_15_0.2_12(1).t	5	1	3	3	15	0.2	12	4	1	1137764100	1512841,33	88036438	149757	86542920	761	9637628	167904	711023,3	296216	12631560	942037084,4	942037084,4	3532383
P5_1_3_3_15_0.2_4(1).t	5	1	3	3	15	0.2	4	4	1	41876346	440013	1427801	478281	13799520	0	22919102	64501	116522	875116	4066855	259222927	259222927	5847
P5_1_3_3_15_0.2_6(1).t	5	1	3	3	15	0.2	6	4	1	82160852,95	1041164	30593649	1327629	29268720	0	42685919	96534	228862,4	1408416	7397940	435692729,1	435692729,1	221970
P5_1_3_3_15_0.4_12(1).t	5	1	3	3	15	0.4	12	4	1	1153445400	1056815,5	113304913	1338816	111461580	204517	57237790	72488	548904,5	294372	10772001	970732029,5	970732029,5	5914117
P5_1_3_3_15_0.4_4(1).t	5	1	3	3	15	0.4	4	4	1	3164695328	445451,64	10908508	333970	10495800	78738	7956854	2709	17051416	8893,8	3720962	273277044,7	273277044,7	5945
P5_1_3_3_15_0.4_6(1).t	5	1	3	3	15	0.4	6	4	1	73767866,85	603744	28780498	888636	27787860	104002	3843316	43422	233071	14126,4	5609689	454952861,2	454952861,2	71557
P5_1_3_3_15_0.6_12(1).t	5	1	3	3	15	0.6	12	4	1	1195602500	19438875,4	1883859	12627552	11931420	413032	59888661	9458	6147816	29322	14156345	1001293700	1001293700	263987
P5_1_3_3_15_0.6_4(1).t	5	1	3	3	15	0.6	4	4	1	333318999	356205,15	13489280	574860	1764520	149900	18766495	2569	202452,9	8996,2	4082591	296410408,2	296410408,2	9729
P5_1_3_3_15_0.6_6(1).t	5	1	3	3	15	0.6	6	4	1	559191905	506030	25304402	618700	24486300	199402	28477688	4650	302866	13903,2	5214359	499368005,9	499368005,9	11439
P5_1_3_3_15_0.8_12(1).t	5	1	3	3	15	0.8	12	4	1	1146034300	187342898,4	1597673	106606459	225737	22352	66013130	75	489182	29766,6	13606613	958691390,6	958691390,6	1049135
P5_1_3_3_15_0.8_4(1).t	5	1	3	3	15	0.8	4	4	1	318739963	392147	17996955	735598	17246160	15197	76657789	165	142023	8893,4	4100488	269447462,4	269447462,4	3058
P5_1_3_3_15_0.8_6(1).t	5	1	3	3	15	0.8	6	4	1	66502305,45	758380,5	25277751	801152	24465069	11530	32739173	210	272689,5	14347,8	7439754	444349138,6	444349138,6	461961
P5_1_3_3_5_0.2_12(1).t	5	1	3	3	5	0.2	12	4	1	4665031,6	686771	13600420	899305	12700920	195	26583907	51428	56136,7	9730,8	5157468	308686481,4	308686481,4	232715
P5_1_3_3_5_0.2_4(1).t	5	1	3	3	5	0.2	4	4	1	97653078,9	169868	1995990	195130	1800860	0	5617466	17469	88471	2991,6	1846312	96753078,9	96753078,9	938
P5_1_3_3_5_0.2_6(1).t	5	1	3	3	5	0.2	6	4	1	14765362	232848	3409692	215592	3194100	0	8655709	24455	205250	4699,8	2213802	159406443,8	159406443,8	2316
P5_1_3_3_5_0.4_12(1).t	5	1	3	3	5	0.4	12	4	1	397113918	476022,45	14258008	764796	13426920	66292	19425747	18440	450756,3	9923,4	4802478	357672543,1	357672543,1	227732
P5_1_3_3_5_0.4_4(1).t	5	1	3	3	5	0.4	4	4	1	104823963	179726	1462532	199704	1240620	22208	6687427	8042	66489	3067,2	2208749	94207931,3	94207931,3	994
P5_1_3_3_5_0.4_6(1).t	5	1	3	3	5	0.4	6	4	1	14277537,8	217856	3538663	307692	3195360	35611	8103679	10666	167735	4579,2	2240869	154231551,2	154231551,2	1749
P5_1_3_3_5_0.6_12(1).t	5	1	3	3	5	0.6	12	4	1	29032122,83	442363,33	12703472	665748	11954040	143684	11353884	3474	391416,3	9594	4118819	366323759,2	366323759,2	52463
P5_1_3_3_5_0.6_4(1).t	5	1	3	3	5	0.6	4	4	1	104452317	117445	1606750	168700	1398600	39450	6801024	1094	52261	2872,8	1852741	94978738,9	94978738,9	1277

EK- 3. Orta boyutlu test problem sonuçları (CPLEX)

dosyaadı	parçacabirlikleri	güç	toplam	önerilen	üst	alt	kar	gelir	maliyet	satın alma	üretim	fabrika	temin	ayrış	taşınma	atık	stok	satın alma	ürdüm	upper_bound	lower_bound			
P5_1_3_3_10_0.2_12(1).t	5	1	3	3	10	0.2	12	4	1	621905616.2	735375851	113470234.8	1062375	50395603	966264	49429440	799	13652550	106952	816513	19560.6	7415781	621905616.2	621905616.2
P5_1_3_3_10_0.2_4(1).t	5	1	3	3	10	0.2	4	4	1	171823727	202433088	30609361.05	318707	6298720	345600	5953120	0	21199716	35011	169746	5913	2581548	171823727	171823727
P5_1_3_3_10_0.2_6(1).t	5	1	3	3	10	0.2	6	4	1	294726207.2	341341052	46614844.8	507757	10925786	344294	10581120	382	30634100	62997	384392	9322.2	4090491	294726207.2	294726207.2
P5_1_3_3_10_0.4_12(1).t	5	1	3	3	10	0.4	12	4	1	687610264.6	785739566	98129301.4	828828	42873059	1167264	41610240	95555	4592477	52051	654715.4	19524.6	7778946	687610264.6	687610264.6
P5_1_3_3_10_0.4_4(1).t	5	1	3	3	10	0.4	4	4	1	186232307	212764932	26532625.05	313982	6261192	308700	5901000	51492	16841664	17811	122587	5830.2	2969559	186232307	186232307
P5_1_3_3_10_0.4_6(1).t	5	1	3	3	10	0.4	6	4	1	291309427	331110122	3800695.05	354953	13946144	426608	13446240	73296	22116030	25743	197460	9165.6	4061199	291309427	291309427
P5_1_3_3_10_0.6_12(1).t	5	1	3	3	10	0.6	12	4	1	688151250.4	792001323	103850072.6	871703.17	59765552	1473935	58001647	323970	3478095	8019	614645.7	19321.2	7790837	688151250.4	688151250.4
P5_1_3_3_10_0.6_4(1).t	5	1	3	3	10	0.6	4	4	1	193121953.1	213254548	20132594.9	221068	6259788	314138	5853600	92050	11259883	1997	143005	5713.2	2241041	193121953.1	193121953.1
P5_1_3_3_10_0.6_6(1).t	5	1	3	3	10	0.6	6	4	1	311821283.9	349454196	37632912.15	501508	14393294	948520	13300020	144754	18041119	3761	212387	9300.6	4471543	311821283.9	311821283.9
P5_1_3_3_10_0.8_12(1).t	5	1	3	3	10	0.8	12	4	1	634889245.2	734417021	9952775.8	803687	47126518	928392	46180686	17440	42675369	217	725184	19621.8	8177179	634889245.2	634889245.2
P5_1_3_3_10_0.8_4(1).t	5	1	3	3	10	0.8	4	4	1	184052404.2	213290911	29238506.85	295132	5494370	370350	5119200	4820	19997551	0	130120	5940	3315394	184052404.2	184052404.2
P5_1_3_3_10_0.8_6(1).t	5	1	3	3	10	0.8	6	4	1	289245911.5	330152860	4096940.5	524016	12040028	972480	11059730	7818	2528256	140	224911	9037.8	5580560	289245911.5	289245911.5
P5_1_3_3_15_0.2_12(1).t	5	1	3	3	15	0.2	12	4	1	942037084.4	1137764100	195727017.6	1512841.33	88036438	1497257	86542920	761	92837628	167904	71023.3	29622.8	12631560	942037084.4	942037084.4
P5_1_3_3_15_0.2_4(1).t	5	1	3	3	15	0.2	4	4	1	259222927	301099273	41876346	440013	14277801	478281	13799520	0	22901902	64501	116522	8751.6	4068855	259222927	259222927
P5_1_3_3_15_0.2_6(1).t	5	1	3	3	15	0.2	6	4	1	43569729.1	517753582	82060852.95	104164	30596349	1327629	29368720	0	4268919	96534	228862.4	14034.6	7397990	43569729.1	43569729.1
P5_1_3_3_15_0.4_12(1).t	5	1	3	3	15	0.4	12	4	1	970723029.5	1153445400	182722349.6	1058815.5	113004913	1338816	111461580	204517	57237790	72488	548904.5	29437.2	10772001	970723029.5	970723029.5
P5_1_3_3_15_0.4_4(1).t	5	1	3	3	15	0.4	4	4	1	273277044.7	316495328	43218283.26	445451.64	10908508	333970	10495800	78738	2793854	27099	170514.6	8893.8	3720562	273277044.7	273277044.7
P5_1_3_3_15_0.4_6(1).t	5	1	3	3	15	0.4	6	4	1	454952861.2	528720728	73767866.85	683744	28780498	888636	27787860	104002	38483316	43422	233071	14126.4	5609689	454952861.2	454952861.2
P5_1_3_3_15_0.6_12(1).t	5	1	3	3	15	0.6	12	4	1	1001293700	1195602500	19430875.4	1888859	12267552	3183100	119031420	413032	54980061	9458	614178.6	29322	14156345	1001293700	1001293700
P5_1_3_3_15_0.6_4(1).t	5	1	3	3	15	0.6	4	4	1	296410408.2	333318999	36908590.85	356205.15	13489280	574860	12764520	149900	18766495	2569	202452.9	8998.2	4082591	296410408.2	296410408.2
P5_1_3_3_15_0.6_6(1).t	5	1	3	3	15	0.6	6	4	1	49368005.9	559191905	5982389.1	506030	25304402	618700	24486300	199402	28477689	4650	302866	13903.2	5214359	49368005.9	49368005.9
P5_1_3_3_15_0.8_12(1).t	5	1	3	3	15	0.8	12	4	1	958691390.6	1146034300	187342898.4	1597673	106606459	2256737	104327370	22352	65013130	75	489182	29766.6	13606613	958691390.6	958691390.6
P5_1_3_3_15_0.8_4(1).t	5	1	3	3	15	0.8	4	4	1	26947462.4	318739963	4929500.6	392147	17996955	735598	17246160	15197	26651789	165	142023	8933.4	4100488	26947462.4	26947462.4
P5_1_3_3_15_0.8_6(1).t	5	1	3	3	15	0.8	6	4	1	444349138.6	510851444	66502305.45	758380.5	25277751	801152	24465069	11530	32739173	210	277689.5	14347.8	749754	444349138.6	444349138.6
P5_1_3_3_5_0.2_12(1).t	5	1	3	3	5	0.2	12	4	1	308686481.4	355335513	46650031.6	685771	13600420	899305	12700920	195	2658907	51428	561306.7	9730.8	5157468	308686481.4	308686481.4
P5_1_3_3_5_0.2_4(1).t	5	1	3	3	5	0.2	4	4	1	96753078.9	106489646	9736567.1	169868	1995990	195130	1800860	0	5617466	17469	86471	2991.6	1846312	96753078.9	96753078.9
P5_1_3_3_5_0.2_6(1).t	5	1	3	3	5	0.2	6	4	1	159406443.8	174162980	1475636.2	232848	3409692	215592	3194100	0	8665709	24455	205250	4699.8	2213882	159406443.8	159406443.8
P5_1_3_3_5_0.4_12(1).t	5	1	3	3	5	0.4	12	4	1	35767543.1	397113918	39441374.93	476022.45	14258008	764796	13426920	66292	19425747	18440	450756.3	9923.4	4802478	35767543.1	35767543.1
P5_1_3_3_5_0.4_4(1).t	5	1	3	3	5	0.4	4	4	1	94207931.3	104823963	10616031.7	179726	1462532	199704	1240620	22208	6687427	8042	66489	3067.2	2208749	94207931.3	94207931.3

EK-3. (devam) Orta boyutlu test problem sonuçları (CPLEX)

P5_2_6_6_5_0_4_6(1).txt	5	2	6	6	5	0,4	6	4	1	1,49E+08	1,68E+08	19708578	173739	3727886	274560	3413880	39446	13049852	11754	159400	4685,4	2581262	148771632,1	148771632,1
P5_2_6_6_5_0_6_12(1).txt	5	2	6	6	5	0,6	12	4	1	3,94E+08	4,28E+08	33973880	380110	13885007	634635	13104086	146286	15347116	4259	635153	9968,4	3662266	394156129,3	394156129,3
P5_2_6_6_5_0_6_4(1).txt	5	2	6	6	5	0,6	4	4	1	1,04E+08	1,14E+08	10272412	106056	1895163	173320	1666360	55483	5957451	1409	69599	2923,2	2239810	103851132,4	103851132,4
P5_2_6_6_5_0_6_6(1).txt	5	2	6	6	5	0,6	6	4	1	1,51E+08	1,65E+08	13592869	192575	3759016	353116	3333840	68080	7623198	1936	157277	4460,4	1858406	151334207,5	151334207,5
P5_2_6_6_5_0_8_12(1).txt	5	2	6	6	5	0,8	12	4	1	3,47E+08	3,84E+08	36549943	452974	11847450	530196	11306880	10374	19355960	53	832499	9923,4	4051084	347453972,7	347453972,7
P5_2_6_6_5_0_8_4(1).txt	5	2	6	6	5	0,8	4	4	1	99064624	1,11E+08	12274387	100179	1718148	106260	1610560	1328	8517088	35	96229	3074,4	1839633	99064624,45	99064624,45
P5_2_6_6_5_0_8_6(1).txt	5	2	6	6	5	0,8	6	4	1	1,46E+08	1,63E+08	17625192	178734	2956822	274379	2678400	4043	11390434	25	194600	4330,8	2900247	145836090,7	145836090,7
P5_2_6_7_10_0_2_12(1).txt	5	2	6	7	10	0,2	12	4	1	6,41E+08	7,66E+08	1,25E+08	1103909	61141530	1798290	59343240	0	52870432	123694	1001151	19618,2	8842748	640754118,6	640754118,6
P5_2_6_7_10_0_2_4(1).txt	5	2	6	7	10	0,2	4	4	1	1,75E+08	2E+08	24505557	276237	6022910	180750	5942160	0	15580251	4460	166695	5833,8	2949030	174813122,1	174813122,1
P5_2_6_7_10_0_2_6(1).txt	5	2	6	7	10	0,2	6	4	1	2,9E+08	3,33E+08	42301085	488970	14615940	665280	13950660	0	23230130	64988	411916	9419,4	4428822	290059231,7	290059231,7
P5_2_6_7_10_0_4_12(1).txt	5	2	6	7	10	0,4	12	4	1	6,6E+08	7,65E+08	1,05E+08	1056200	56834940	1577068	54106800	150472	39902432	47452	957616	19503	7360098	660130087,1	660130087,1
P5_2_6_7_10_0_4_4(1).txt	5	2	6	7	10	0,4	4	4	1	1,99E+08	2,21E+08	21902573	207152	5728655	329506	5353920	45229	12484475	15531	156322	5959,8	3304478	199435295,2	199435295,2
P5_2_6_7_10_0_4_6(1).txt	5	2	6	7	10	0,4	6	4	1	3,1E+08	3,47E+08	36153239	410960	15482487	726352	14686980	69155	16536295	27117	37590	9158,4	3309632	310381938,6	310381938,6
P5_2_6_7_10_0_6_12(1).txt	5	2	6	7	10	0,6	12	4	1	7,15E+08	8,06E+08	90709265	833843,7	52833408	1041488	51491088	300832	29104956	6642	922321,3	20019,6	6988074	715185953	715185953
P5_2_6_7_10_0_6_4(1).txt	5	2	6	7	10	0,6	4	4	1	2,05E+08	2,26E+08	20761271	208974	6480823	364416	6017760	98647	10581337	2472	162723	5929,2	3319013	205306309,7	205306309,7
P5_2_6_7_10_0_6_6(1).txt	5	2	6	7	10	0,6	6	4	1	3,31E+08	3,66E+08	35182399	397730	13023183	662553	12213147	147483	17366923	3504	310315	9486	4071258	331268135,3	331268135,3
P5_2_6_7_10_0_8_12(1).txt	5	2	6	7	10	0,8	12	4	1	6,7E+08	7,68E+08	98096076	873326,8	50486126	1477587	48996304	12235	37328415	72	913093,6	19621,8	8475420	669716293,5	669716293,5
P5_2_6_7_10_0_8_4(1).txt	5	2	6	7	10	0,8	4	4	1	1,78E+08	2,02E+08	22765744	238667	6894642	521090	6369600	3952	131215055	0	163004	5882,4	3338493	177879487,4	177879487,4
P5_2_6_7_10_0_8_6(1).txt	5	2	6	7	10	0,8	6	4	1	3,01E+08	3,45E+08	44050712	242558	12421838	277179	12135960	8699	27318857	28	397596	9352,8	3660482	301033409,5	301033409,5
P5_2_6_7_15_0_2_12(1).txt	5	2	6	7	15	0,2	12	4	8	8,95E+08	1,09E+09	1,94E+08	1914143	11,2E+08	2354677	1,09E+08	0	66628336	156317	1471578	29674,8	12222958	895471196,5	89528021,8
P5_2_6_7_15_0_2_4(1).txt	5	2	6	7	15	0,2	4	4	1	2,69E+08	3,12E+08	43088234	397723	13938093	438991	13498560	542	24744755	58088	249203	8722,8	3691649	269161993,8	269161993,8
P5_2_6_7_15_0_2_6(1).txt	5	2	6	7	15	0,2	6	4	1	4,62E+08	5,26E+08	64022671	686283,4	24264952	871252	23393700	0	32452208	83537	597138,4	14225,4	5924347	462105195,5	462105195,5
P5_2_6_7_15_0_4_12(1).txt	5	2	6	7	15	0,4	12	4	1	1,03E+09	1,2E+09	1,71E+08	1393405	1,09E+08	2235968	1,07E+08	156025	49157616	81811	1076320	29674,8	10315189	1027054100	1027054100
P5_2_6_7_15_0_4_4(1).txt	5	2	6	7	15	0,4	4	4	1	2,81E+08	3,22E+08	40721460	320610	17059282	449448	16265880	83254	19065212	27519	230742	9025,2	4009070	280806816,7	280806816,7
P5_2_6_7_15_0_4_6(1).txt	5	2	6	7	15	0,4	6	4	1	4,87E+08	5,45E+08	58353150	681396,8	19921091	487812	19341000	92279	31631646	41050	496670,2	14104,8	5567191	486885837,8	486885837,8
P5_2_6_7_15_0_6_12(1).txt	5	2	6	7	15	0,6	12	4	1	1E+09	1,19E+09	1,87E+08	1297422	1,24E+08	1866788	1,22E+08	453959	50604791	9110	1425646	29835	9923835	1004593100	1004593100
P5_2_6_7_15_0_6_4(1).txt	5	2	6	7	15	0,6	4	4	1	3E+08	3,34E+08	34459918	381472	14185888	559606	13477200	149082	15597405	3350	273564	9108	4009131	300007302,6	300007302,6
P5_2_6_7_15_0_6_6(1).txt	5	2	6	7	15	0,6	6	4	1	4,81E+08	5,33E+08	51531989	628216,9	24628442	840780	23615280	172382	20085764	5029	602457,6	13930,2	5568149	481491286,1	481491286,1
P5_2_6_7_15_0_8_12(1).txt	5	2	6	7	15	0,8	12	4	1	9,32E+08	1,11E+09	1,82E+08	1449072	1,15E+08	2948092	1,12E+08	21250	52321410	192	1150020	29658,6	11875805	931633111,4	931633111,4
P5_2_6_7_15_0_8_4(1).txt	5	2	6	7	15	0,8	4	4	1	2,69E+08	3,01E+08	31789143	434086	12813366	576068	12252570	12028	14621955	275	223631	8964	3686866	269193178,7	269193178,7
P5_2_6_7_15_0_8_6(1).txt	5	2	6	7	15	0,8	6	4	1	4,43E+08	5,06E+08	63594960	589414,5	25582013	767028	24798600	16385	31443068	0	425572	14041,8	5540850	442820710,4	442820710,4
P5_2_6_7_5_0_2_12(1).txt	5	2	6	7	5	0,2	12	4	1	3,2E+08	3,65E+08	45075079	509391,8	12231168	485268	11745900	0	27564569	46545	630922	9534,6	4082949	320078586,9	320078586,9
P5_2_6_7_5_0_2_4(1).txt	5	2	6	7	5	0,2	4	4	1	90805508	1E+08	9960596	150478	1236966	125846	11111120	0	5660578	19996	74023	2874,6	2215680	90805508,3	90805508,3
P5_2_6_7_5_0_2_6(1).txt	5	2	6	7	5	0,2	6	4	1	1,47E+08	1,68E+08	20845428	218771	3650004	344904	3305100	0	13664104	31602	215441	4460,4	2580146	147286935,1	147286935,1
P5_2_6_7_5_0_4_12(1).txt	5	2	6	7	5	0,4	12	4	1	3,5E+08	3,81E+08	31776192	330230	11502171	322473	11117880	61854	15104296	27911	872134	9885,6	3329564	350313895,4	350313895,4
P5_2_6_7_5_0_4_4(1).txt	5	2	6	7	5	0,4	4	4	1	1,01E+08	1,12E+08	9503305	132633	1229474	129465	1077440	22569	5468075	9459	67168	2939,4	2593557	10063267,8	10063267,8
P5_2_6_7_5_0_4_6(1).txt	5	2	6	7	5	0,4	6	4	1	1,63E+08	1,79E+08	16347519	216133	3663232	347353	3280050	35829	9672083	12731	186988	4771,8	2591581	162621659,7	162621659,7
P5_2_6_7_5_0_6_12(1).txt	5	2	6	7	5	0,6	12	4	1	3,65E+08	4,01E+08	36259752	409294	15531773	686700	14677347	167726	15996230	3686	598798	9685,8	3710286	364552753,7	364552753,7
P5_2_6_7_5_0_6_4(1).txt	5	2	6	7	5	0,6	4	4	1	99075540	1,07E+08	8419732	103435	1633526	102465	1481140	49921	4736836	1099	94211	3074,4	1847551	99075539,8	99075539,8
P5_2_6_7_5_0_6_6(1).txt	5	2	6	7	5	0,6	6	4	1	1,68E+08	1,82E+08	13377979	184988	3245244	345022	2834640	65582	7525994	2021	173833	4626	2241273	168486186,5	168486186,5

EK- 4. Büyük boyutlu test problem sonuçları (CPLEX)

dosyaadı	parçadepi	tedarikçi	dağıtım	satış topl	diğerlevel	dönem	müşteri	İstOpt	kar	gelir	malijet	Satınalma	Üretim M.	Fabrika M.	Tamir M.	Ayrış M.	Tapıma M.	Alık M.	Stok M.ısatma M.	Kurulum M.		
P50_4_10_8_10_0.2_12(1).txt	50	4	10	8	10	0.2	12	4	8	6144397000	759039300	1451696900	11116188	509527920	13571760	495956160	0	496179966,2	1163078	10942565	19423,8	422747804
P50_4_10_8_10_0.2_6(1).txt	50	4	10	8	10	0.2	6	4	8	2833795200	3347901700	514106533,3	5262118	125374786	5366986	12007800	0	226251288,1	572492	3468071	9949,2	153175629
P50_4_12_10_15_0.2_6(1).txt	50	4	12	10	15	0.2	6	4	8	4366564100	5145238700	778674560	6680498	256169922	6518302	249751620	0	345935122	842718	5254483	13986	16667831
P50_4_12_10_15_0.4_12(1).txt	50	4	12	10	15	0.4	12	4	8	6101354900	1126531000	5163957800	14573723,4	1138856100	18356391	1118350100	2149602	58670895,1	742395	4446256,5	29219,4	349809300
P50_4_12_10_15_0.4_4(1).txt	50	4	12	10	15	0.4	4	4	8	2636550300	3144225700	507675402,5	405070	136844031	503808	131098500	707493	288076307,7	256543	1755076	9154,8	156684220
P50_4_10_8_10_0.2_12(1).txt	50	4	10	8	10	0.2	12	4	8	6144397000	759039300	1451696900	11116188	509527920	13571760	495956160	0	496179966,2	1163078	10942565	19423,8	422747804
P50_4_10_8_10_0.2_4(1).txt	50	4	10	8	10	0.2	4	4	1	1592311700	2015538900	423227137	3267292	60680960	3502080	57178880	0	150394295	388785	1441000	5967	207048828
P50_4_10_8_10_0.2_6(1).txt	50	4	10	8	10	0.2	6	4	8	2833795200	3347901700	514106533,3	5262118	125374786	5366986	12007800	0	226251288,1	572492	3468071	9949,2	153175629
P50_4_12_10_15_0.2_6(1).txt	50	4	12	10	15	0.2	6	4	8	4366564100	5145238700	778674560	6680498	256169922	6518302	249751620	0	345935122	842718	5254483	13986	16667831
P50_4_12_10_15_0.4_12(1).txt	50	4	12	10	15	0.4	12	4	8	6101354900	1126531000	5163957800	14573723,4	1138856100	18356391	1118350100	2149602	58670895,1	742395	4446256,5	29219,4	349809300
P50_4_12_10_15_0.4_4(1).txt	50	4	12	10	15	0.4	4	4	8	2636550300	3144225700	507675402,5	405070	136844031	503808	131098500	707493	288076307,7	256543	1755076	9154,8	156684220
P50_6_13_11_15_0.2_12(1).txt	50	6	13	11	15	0.2	12	4	8	2465112500	430376000	1835263400	11880269	119204500	2204592	117029900	0	602399423	178653	768271	29523,6	19196802
P50_6_13_11_15_0.2_4(1).txt	50	6	13	11	15	0.2	4	4	8	1051990200	1359141700	307211468,3	345930	126333137	4440737	121892400	0	170345670,9	62527	2067099	8888,4	4399116
P50_6_13_11_15_0.2_6(1).txt	50	6	13	11	15	0.2	6	4	8	1494012000	2100729500	606717475,3	5599186	305520240	9546240	295974000	0	285846028,3	903664	2996763	13707	5837887
P50_6_13_11_15_0.4_12(1).txt	50	6	13	11	15	0.4	12	4	8	3015962800	468278300	1667315500	11123805	1142499000	19916820	112095800	2186423	489752716,5	733530	9956164	29109,6	13221122
P50_6_13_11_15_0.4_4(1).txt	50	6	13	11	15	0.4	4	4	8	1150111500	1455361000	305249532,9	3457081	141351960	5941040	134688480	722440	154259055,1	254025	1927486	8785,8	4011140
P50_6_13_11_15_0.4_6(1).txt	50	6	13	11	15	0.4	6	4	8	1688095000	2236959600	567864624,6	4654429	302902811	8898860	292878720	1127231	250513428,2	355748	4648076	13847,4	4779485
P50_6_13_11_15_0.6_12(1).txt	50	6	13	11	15	0.6	12	4	8	377154500	5350882100	1579347660	10254714	1119464700	19735728	1095145900	4565026	42167573,2	104127	14014180	29527,4	12803020
P50_6_13_11_15_0.6_4(1).txt	50	6	13	11	15	0.6	4	4	8	1416488000	1687116400	270628388,7	3306785	12845663	4971400	121924680	156028	133278147,3	34373	2248059	9023,4	3300638
P50_6_13_11_15_0.6_6(1).txt	50	6	13	11	15	0.6	6	4	8	2016468700	2532374000	515905321,1	5189918	286601280	937852	274935160	228798	213265444,5	54085	5327466	14169,6	5453558
P50_6_13_11_15_0.8_12(1).txt	50	6	13	11	15	0.8	12	4	8	2635872600	4999977200	1658124700	10764251	1101862100	1860404	1083238100	0	521860609	1978	1216362	29782,8	11286881

EK-4.(devam) Büyük boyutlu test problem sonuçları (CPLEX)

P50_6_13_11_15_08_12(i)	50	6	13	11	15	08	12(i)	8	265872600	4239397200	165824700	10764351	1101862100	18604044	1082358100	0	520336029	1978	12143632	29782,8	11286881	2645948100	265872600
P50_6_13_11_15_08_4(i)	50	6	13	11	15	08	4(i)	8	1038795500	1346243600	30748351,8	3833035	12867807	6279120	122396887	0	168817197	431	2086234	8922,6	4024725	1038909000	1038795500
P50_6_13_11_15_08_6(i)	50	6	13	11	15	08	6(i)	8	1516265900	2108371000	59267206,7	7933444	31038835	9582626	30147609	0	265864073	1028	5154871	13914	3665242	1519796700	1516265900
P50_6_13_11_20_02_12(i)	50	6	13	11	20	02	12(i)	8	2882025600	5786148900	2904123300	16074211	2079569500	30262756	2049306700	0	780968788	228921	7591626	39654	17595634	2892502800	2882025600
P50_6_13_11_20_02_4(i)	50	6	13	11	20	02	4(i)	8	1356313700	1859133700	602919977,2	4682041	22173525	7342905	214392320	0	267791198	76237	2836854	11998	5100144	1357151200	1356313700
P50_6_13_11_20_02_6(i)	50	6	13	11	20	02	6(i)	8	1909936500	2816394300	897020842,1	677627	51743952	12765792	594688160	0	358060036	1130335	6944547	18903,6	6636842	191201500	1909936500
P50_6_13_11_20_04_12(i)	50	6	13	11	20	04	12(i)	8	3498099500	6144639700	2646543200	1415849	2006453200	25876200	1971630700	2946232	59393861	970561	9627986	39175,2	22363451	3513859400	3498099500
P50_6_13_11_20_04_4(i)	50	6	13	11	20	04	4(i)	8	152502000	1970173700	407671697,1	445929	226680704	6117992	219659440	831272	209278291	359844	2573367	12200,4	4379462	1523800500	152502000
P50_6_13_11_20_04_6(i)	50	6	13	11	20	04	6(i)	8	2169839600	3002405200	831555569,5	6688094	513413077	12641144	499482000	1383733	29386220	499022	5809787	18595,8	9240383	2174938800	2169839600
P50_6_13_11_20_06_12(i)	50	6	13	11	20	06	12(i)	8	4409156500	7134043600	2725887100	13843135	2036041200	27776470	2002199000	6065678	633076249	137455	1856535	38944,8	28693639	4429822300	4409156500
P50_6_13_11_20_06_4(i)	50	6	13	11	20	06	4(i)	8	1871178800	2291744500	420073946	453498	23813655	8191938	227874640	2077078	168769306	49397	3433016	12119,4	5131854	1872072500	1871178800
P50_6_13_11_20_06_6(i)	50	6	13	11	20	06	6(i)	8	2688908600	3538959700	85005403,8	7011891	541387146	1209897	526072320	3233929	280627501	75108	573358	19098	7267302	2691854400	2688908600
P50_6_13_11_20_08_12(i)	50	6	13	11	20	08	12(i)	8	2742942900	565156300	290813300	14518059	2092124400	27302807	2064821600	0	772970679	2755	10279374	38638,8	18379445	2756099300	2742942900
P100_4_10_8_10_02_12(i)	100	4	10	8	10	02	12(i)	8	1438480700	1011443000	8675946500	1470634	103904800	2579625	101354200	0	797768396	2295155	314054	19808	682797900	8063731200	1438480700
P100_4_10_8_10_02_4(i)	100	4	10	8	10	02	4(i)	8	2079281200	2854498400	77521726,8	4288004	117534050	7660130	110473920	0	283115593	749511	2734628	5837,4	366796703	2290818300	2079281200
P100_4_10_8_10_02_6(i)	100	4	10	8	10	02	6(i)	8	3619191000	4492494500	873158513,1	9487943,9	256333078	10557958	245775120	0	468819743	1111677	6713571,2	9271,8	13068233,4	3651732300	3619191000
P100_4_10_8_10_04_12(i)	100	4	10	8	10	04	12(i)	8	4575554400	1074779000	617223200	14327906	1026959200	27997260	996257880	2704087	648789938	1026023	3131461	20021,4	4477977400	885283000	4575554400
P100_4_10_8_10_04_4(i)	100	4	10	8	10	04	4(i)	8	96399772,7	2961995100	1998002400	3784188	11751125	6433162	110359920	778143	190408133	333165	1177814	5855,4	1678902100	2416522800	96399772,7
P100_4_10_8_10_04_6(i)	100	4	10	8	10	04	6(i)	8	1945535900	473020800	2785184900	6044493	260276214	1117476	247821240	1327498	333087020	514603	2132203	9313,2	2183121000	3994672800	1945535900
P100_4_10_8_10_06_12(i)	100	4	10	8	10	06	12(i)	8	8807590400	1072816000	1920566200	21642799	97883451	2608872	946807920	5928659	514978973	142977	2843245	19702,8	371615047	9076186400	8807590400
P100_4_10_8_10_06_4(i)	100	4	10	8	10	06	4(i)	8	282114600	3322660500	50054967,8	5889197,3	12504682	746712	115486800	2086170	207781178	4762	245031,7	6130,8	159331127,6	283503900	282114600
P100_4_10_8_10_06_6(i)	100	4	10	8	10	06	6(i)	8	454047700	5331732600	790684935,5	9475694	28284791	1190952	267680800	3295939	317519844	77412	6159826	9199,8	17468429	4628216100	454047700

EK- 5. Küçük boyutlu testlerin CPLEX – GA sonuçları

Test No	Test Adı							GAMS		GA TEST SONUÇLARI		fark %	Optimal D.
		P	F	T	D	ST	DN	AF	CPU Gams (Sn)	maç Fonksiyonu (GA)	CPU GA (Sn)		
1	P10_1_3_3_10_0_2_12(1)_txt	10	1	3	3	10	12	798927976,9	3600,00	798825936,9	39,2	0,013	N
2	P10_1_3_3_10_0_2_4(1)_txt	10	1	3	3	10	4	237670522,1	91,26	237568482,1	11,96	0,043	O
3	P10_1_3_3_10_0_2_6(1)_txt	10	1	3	3	10	6	370807062,8	88,49	370705022,8	20,65	0,028	O
4	P10_1_3_3_10_0_4_12(1)_txt	10	1	3	3	10	12	825724956,3	2489,57	825622916,3	35,4	0,012	O
5	P10_1_3_3_10_0_4_4(1)_txt	10	1	3	3	10	4	245074736,6	103,72	244972696,6	11,88	0,042	O
6	P10_1_3_3_10_0_4_6(1)_txt	10	1	3	3	10	6	411901989	118,55	411799949	20,73	0,025	O
7	P10_1_3_3_10_0_6_12(1)_txt	10	1	3	3	10	12	937441555,6	3600,00	937339515,6	23,87	0,011	N
8	P10_1_3_3_10_0_6_4(1)_txt	10	1	3	3	10	4	277071703,9	356,00	276969663,9	11,07	0,037	O
9	P10_1_3_3_10_0_6_6(1)_txt	10	1	3	3	10	6	437617136,9	144,26	437515096,9	21,81	0,023	O
10	P10_1_3_3_10_0_8_12(1)_txt	10	1	3	3	10	12	784774283,6	2026,44	784672243,6	64,42	0,013	O
11	P10_1_3_3_10_0_8_4(1)_txt	10	1	3	3	10	4	224370781,8	342,65	224268741,8	11,17	0,045	O
12	P10_1_3_3_10_0_8_6(1)_txt	10	1	3	3	10	6	359718209,1	344,21	359616169,1	19,55	0,028	O
13	P10_1_3_3_15_0_2_12(1)_txt	10	1	3	3	15	12	329711009,1	330,16	329608969,1	46,49	0,031	O
14	P10_1_3_3_15_0_2_4(1)_txt	10	1	3	3	15	4	343001029,9	100,34	342898989,9	21,24	0,030	O
15	P10_1_3_3_15_0_2_6(1)_txt	10	1	3	3	15	6	347801021,8	824,00	347698981,8	40,03	0,029	O
16	P10_1_3_3_15_0_4_12(1)_txt	10	1	3	3	15	12	313701002,2	320,30	313598962,2	39,19	0,033	O
17	P10_1_3_3_15_0_4_4(1)_txt	10	1	3	3	15	4	364964949,3	267,29	364862909,3	20,97	0,028	O
18	P10_1_3_3_15_0_4_6(1)_txt	10	1	3	3	15	6	2245007950	310,11	2244905910	21,03	0,005	O
19	P10_1_3_3_15_0_6_12(1)_txt	10	1	3	3	15	12	1217507900	291,47	1217405860	139,66	0,008	O
20	P10_1_3_3_15_0_6_4(1)_txt	10	1	3	3	15	4	41415536,4	167,08	414053496,4	21,01	0,025	O
21	P10_1_3_3_15_0_6_6(1)_txt	10	1	3	3	15	6	608891589,1	53,77	608789549,1	38,73	0,017	O
22	P10_1_3_3_15_0_8_12(1)_txt	10	1	3	3	15	12	605691569,2	231,20	605589529,2	48,47	0,017	O
23	P10_1_3_3_15_0_8_4(1)_txt	10	1	3	3	15	4	333594500,7	156,40	333492460,7	20,86	0,031	O
24	P10_1_3_3_15_0_8_6(1)_txt	10	1	3	3	15	6	541185482,7	96,92	541083442,7	9,06	0,019	O
25	P10_1_3_3_5_0_2_12(1)_txt	10	1	3	3	5	12	418285844,1	1113,07	418183804,1	19,39	0,024	O
26	P10_1_3_3_5_0_2_4(1)_txt	10	1	3	3	5	4	117625372,1	158,26	117523332,1	15,56	0,087	O
27	P10_1_3_3_5_0_2_6(1)_txt	10	1	3	3	5	6	205981975,6	160,28	205879935,6	7,81	0,050	O
28	P10_1_3_3_5_0_4_12(1)_txt	10	1	3	3	5	12	442698394,9	820,13	442596354,9	21,25	0,023	O
29	P10_1_3_3_5_0_4_4(1)_txt	10	1	3	3	5	4	119720407,1	159,55	119618367,1	5,53	0,085	O
30	P10_1_3_3_5_0_4_6(1)_txt	10	1	3	3	5	6	212099002,2	165,91	211996962,2	8,68	0,048	O

EK-5. (devam) Küçük boyutlu testlerin CPLEX – GA sonuçları

31	P10_1_3_3_5_0_6_12(1)_txt	10	1	3	3	5	12	512879739,2	829,16	512777699,2	21,18	0,020	O
32	P10_1_3_3_5_0_6_4(1)_txt	10	1	3	3	5	4	139819212,5	163,10	139717172,5	5,25	0,073	O
33	P10_1_3_3_5_0_6_6(1)_txt	10	1	3	3	5	6	227036728,9	256,95	226934688,9	7,75	0,045	O
34	P10_1_3_3_5_0_8_12(1)_txt	10	1	3	3	5	12	407516046,3	210,98	407414006,3	21,11	0,025	O
35	P10_1_3_3_5_0_8_4(1)_txt	10	1	3	3	5	4	124093695,6	6,69	123991655,6	5,07	0,082	O
36	P10_1_3_3_5_0_8_6(1)_txt	10	1	3	3	5	6	187651243,6	4,74	187549203,6	7,29	0,054	O
37	P10_1_3_4_10_0_2_12(1)_txt	10	1	3	4	10	12	794978202,2	3600,00	794876162,2	90,31	0,013	N
38	P10_1_3_4_10_0_2_4(1)_txt	10	1	3	4	10	4	232650293,2	4,26	232548253,2	15,51	0,044	O
39	P10_1_3_4_10_0_2_6(1)_txt	10	1	3	4	10	6	372841169,3	22,96	372739129,3	28,69	0,027	O
40	P10_1_3_4_10_0_4_12(1)_txt	10	1	3	4	10	12	854586719,6	3600,00	854484679,6	91,5	0,012	N
41	P10_1_3_4_10_0_4_4(1)_txt	10	1	3	4	10	4	260842649,9	5,51	260740609,9	15,97	0,039	O
42	P10_1_3_4_10_0_4_6(1)_txt	10	1	3	4	10	6	412186676,1	93,88	412084636,1	27,7	0,025	O
43	P10_1_3_4_10_0_6_12(1)_txt	10	1	3	4	10	12	923799377,6	3600,00	923697337,6	89,1	0,011	N
44	P10_1_3_4_10_0_6_4(1)_txt	10	1	3	4	10	4	279681131,3	13,01	279579091,3	15,19	0,036	O
45	P10_1_3_4_10_0_6_6(1)_txt	10	1	3	4	10	6	426924884,3	24,45	426822844,3	26,01	0,024	O
46	P10_1_3_4_10_0_8_12(1)_txt	10	1	3	4	10	12	787969839,1	3600,00	787867799,1	90,41	0,013	N
47	P10_1_3_4_10_0_8_4(1)_txt	10	1	3	4	10	4	239946510,5	264,92	239844470,5	14,17	0,043	O
48	P10_1_3_4_10_0_8_6(1)_txt	10	1	3	4	10	6	366848526,2	257,70	366746486,2	26,34	0,028	O
49	P10_1_3_4_15_0_2_12(1)_txt	10	1	3	4	15	12	787969839,1	2034,00	787867799,1	187,77	0,013	O
50	P10_1_3_4_15_0_2_4(1)_txt	10	1	3	4	15	4	239946510,5	260,23	239844470,5	28,89	0,043	O
51	P10_1_3_4_15_0_2_6(1)_txt	10	1	3	4	15	6	366848526,2	258,62	366746486,2	54,2	0,028	O
52	P10_1_3_4_15_0_4_12(1)_txt	10	1	3	4	15	12	787969839,1	258,04	787867799,1	21,43	0,013	O
53	P10_1_3_4_15_0_4_4(1)_txt	10	1	3	4	15	4	378673318,5	265,35	378571278,5	28,06	0,027	O
54	P10_1_3_4_15_0_4_6(1)_txt	10	1	3	4	15	6	589545671,6	15,35	589443631,6	55,54	0,017	O
55	P10_1_3_4_15_0_6_12(1)_txt	10	1	3	4	15	12	1325121000	991,40	1325018960	186,93	0,008	O
56	P10_1_3_4_15_0_6_4(1)_txt	10	1	3	4	15	4	423652766,9	222,56	423550726,9	28,17	0,024	O
57	P10_1_3_4_15_0_6_6(1)_txt	10	1	3	4	15	6	657951101,9	361,40	657849061,9	52,26	0,016	O
58	P10_1_3_4_15_0_8_12(1)_txt	10	1	3	4	15	12	923799377,6	400,33	923697337,6	192,03	0,011	O
59	P10_1_3_4_15_0_8_4(1)_txt	10	1	3	4	15	4	337564080,5	4,77	337462040,5	28,66	0,030	O
60	P10_1_3_4_15_0_8_6(1)_txt	10	1	3	4	15	6	535609987,4	70,17	535507947,4	54,07	0,019	O

EK- 6. Orta boyutlu testlerin CPLEX – GA sonuçları

		PARÇ./FAB		TED.	DAG	SATIS	DÖNEM		GAMS		GA SONUÇLARI		% fark
Test No	Test Adı	P	F	T	D	ST	DN	Üst Sınır (Gams)	CPU Gams (Sn)	Amaç Fonk.(GA)	CPU GA (Sn)	Fark %	Optimalite
1	P10_2_6_6_10_0_2_12(1)_txt	10	2	6	6	10	12	806556278,8	3600	798770366,2	100,60	0,965	N
2	P10_2_6_6_10_0_2_4(1)_txt	10	2	6	6	10	4	220181125,8	11,12	219501648,6	18,63	0,309	O
3	P10_2_6_6_10_0_2_6(1)_txt	10	2	6	6	10	6	374731611,7	129,28	370067152,6	26,15	1,245	O
4	P10_2_6_6_10_0_4_12(1)_txt	10	2	6	6	10	12	863703145,5	3600	850397452,4	11,63	1,541	N
5	P10_2_6_6_10_0_4_12(1)_txt	10	2	6	6	10	12	863703145,5	3600	849316133,1	11,57	1,666	N
6	P10_2_6_6_10_0_4_4(1)_txt	10	2	6	6	10	4	258215443,6	204,6	254649016	18,63	1,381	O
7	P10_2_6_6_10_0_4_6(1)_txt	10	2	6	6	10	6	399739313	135,97	398909457,1	9,02	0,208	O
8	P10_2_6_6_10_0_6_12(1)_txt	10	2	6	6	10	12	923584406,7	3600	908182499,8	52,13	1,668	N
9	P10_2_6_6_10_0_6_4(1)_txt	10	2	6	6	10	4	284699289,7	128,64	282761290,2	4,93	0,681	O
10	P10_2_6_6_10_0_6_6(1)_txt	10	2	6	6	10	6	442977297,4	104,77	440912114	4,33	0,466	O
11	P10_2_6_6_10_0_8_12(1)_txt	10	2	6	6	10	12	717242609,1	3600	703549582,9	1,97	1,909	N
12	P10_2_6_6_10_0_8_4(1)_txt	10	2	6	6	10	4	237664307	27,05	234154474,4	1,63	1,477	O
13	P10_2_6_6_10_0_8_6(1)_txt	10	2	6	6	10	6	373836359,8	13,51	365854534	9,17	2,135	O
14	P10_2_6_6_15_0_2_12(1)_txt	10	2	6	6	15	12	1102643500	3600	1091950131	7,26	0,970	N
15	P10_2_6_6_15_0_2_4(1)_txt	10	2	6	6	15	4	333511166,7	5,31	328275784,6	18,63	1,570	O
16	P10_2_6_6_15_0_2_6(1)_txt	10	2	6	6	15	6	554230178,9	168,64	547228814,5	9,02	1,263	O
17	P10_2_6_6_15_0_4_12(1)_txt	10	2	6	6	15	12	1164186200	3600	1153216908	52,13	0,942	N
18	P10_2_6_6_15_0_4_4(1)_txt	10	2	6	6	15	4	375640875,5	45,13	371936963,1	4,93	0,986	O
19	P10_2_6_6_15_0_4_6(1)_txt	10	2	6	6	15	6	595079690,8	1404,21	588349677,2	4,33	1,131	O
20	P10_2_6_6_15_0_6_12(1)_txt	10	2	6	6	15	12	1368690800	3600	1357188840	1,97	0,840	N
21	P10_2_6_6_15_0_6_4(1)_txt	10	2	6	6	15	4	428502317,5	39,73	423597259	1,63	1,145	O
22	P10_2_6_6_15_0_6_6(1)_txt	10	2	6	6	15	6	661701959,8	483,99	656487482,2	9,17	0,788	O
23	P10_2_6_6_15_0_8_12(1)_txt	10	2	6	6	15	12	1078161400	3600	1070161400	7,26	0,742	N
24	P10_2_6_6_15_0_8_4(1)_txt	10	2	6	6	15	4	357295344,6	25,69	353203926,4	14,79	1,145	O
25	P10_2_6_6_15_0_8_6(1)_txt	10	2	6	6	15	6	568528570	237,68	562237856,6	100,36	1,106	O
26	P10_2_6_6_5_0_2_12(1)_txt	10	2	6	6	5	12	410680493,3	1112,02	394135326,4	156,65	4,029	O
27	P10_2_6_6_5_0_2_4(1)_txt	10	2	6	6	5	4	125889855	26,13	122976159,5	12,98	2,314	O
28	P10_2_6_6_5_0_2_6(1)_txt	10	2	6	6	5	6	181858764	1,08	179181673,8	6,89	1,472	O

EK-6. (devam) Orta boyutlu testlerin CPLEX – GA sonuçları

29	P10_2_6_6_5_0_4_12(1)_txt	10	2	6	6	5	12	439381418,6	839,35	434864755	178,37	1,028	O
30	P10_2_6_6_5_0_4_4(1)_txt	10	2	6	6	5	4	128789858,4	1,15	127611383,7	5,90	0,915	O
31	P10_2_6_6_5_0_4_6(1)_txt	10	2	6	6	5	6	199999682,6	1,38	197788137,6	4,09	1,106	O
32	P10_2_6_6_5_0_6_12(1)_txt	10	2	6	6	5	12	488284229,3	73,3	483497054,4	105,20	0,980	O
33	P10_2_6_6_5_0_6_4(1)_txt	10	2	6	6	5	4	138197493,4	1,06	137074601,9	1,63	0,813	O
34	P10_2_6_6_5_0_6_6(1)_txt	10	2	6	6	5	6	226872875,3	275,73	225506792,9	9,17	0,602	O
35	P10_2_6_6_5_0_8_12(1)_txt	10	2	6	6	5	12	411725602,8	960,65	407350673,9	7,26	1,063	O
36	P10_2_6_6_5_0_8_4(1)_txt	10	2	6	6	5	4	126063666	27,8	1257723164,6	27,50	0,270	O
37	P10_2_6_6_5_0_8_6(1)_txt	10	2	6	6	5	6	182424120	1,2	175933303,1	6,04	3,558	O
38	P10_2_6_7_10_0_2_12(1)_txt	10	2	6	7	10	12	802723146,3	3600	787746421,9	175,09	1,866	N
39	P10_2_6_7_10_0_2_4(1)_txt	10	2	6	7	10	4	231644383	19,77	228306137,2	21,78	1,441	O
40	P10_2_6_7_10_0_2_6(1)_txt	10	2	6	7	10	6	385123217	160,82	377206780,9	55,98	2,056	O
41	P10_2_6_7_10_0_4_12(1)_txt	10	2	6	7	10	12	875600109,8	3600	862242950,3	36,66	1,525	N
42	P10_2_6_7_10_0_4_4(1)_txt	10	2	6	7	10	4	245716425,1	19,03	241503359,7	7,56	1,715	O
43	P10_2_6_7_10_0_4_6(1)_txt	10	2	6	7	10	6	392755304,1	3600	384536382,6	190,83	2,093	N
44	P10_2_6_7_10_0_6_12(1)_txt	10	2	6	7	10	12	950071927,5	3600	935617136,4	195,85	1,521	N
45	P10_2_6_7_10_0_6_4(1)_txt	10	2	6	7	10	4	275568539,3	11,89	271747727,5	21,76	1,387	O
46	P10_2_6_7_10_0_6_6(1)_txt	10	2	6	7	10	6	450986868,9	108,5	443204788	60,98	1,726	O
47	P10_2_6_7_10_0_8_12(1)_txt	10	2	6	7	10	12	772456167,4	3600	755936394,6	126,08	2,139	N
48	P10_2_6_7_10_0_8_4(1)_txt	10	2	6	7	10	4	240871534,9	11,45	236932785,7	31,90	1,627	O
49	P10_2_6_7_10_0_8_6(1)_txt	10	2	6	7	10	6	392858383	87,42	385836813,2	108,95	1,787	O
50	P10_2_6_7_15_0_2_12(1)_txt	10	2	6	7	15	12	1109768200	3600	1109668200	154,90	0,009	N
51	P10_2_6_7_15_0_2_4(1)_txt	10	2	6	7	15	4	350655242,5	14,35	345466111,2	15,43	1,480	O
52	P10_2_6_7_15_0_2_6(1)_txt	10	2	6	7	15	6	556167271,8	425,48	548792381,6	112,42	1,326	O
53	P10_2_6_7_15_0_4_12(1)_txt	10	2	6	7	15	12	1199404200	3600	1197884200	190,64	0,127	N
54	P10_2_6_7_15_0_4_4(1)_txt	10	2	6	7	15	4	358110195,6	81,26	354088577,7	16,54	1,123	O
55	P10_2_6_7_15_0_4_6(1)_txt	10	2	6	7	15	6	618286249,5	3395,71	611456576,2	188,56	1,105	O
56	P10_2_6_7_15_0_6_12(1)_txt	10	2	6	7	15	12	1332016000	3600	1319766624	153,46	0,923	N
57	P10_2_6_7_15_0_6_4(1)_txt	10	2	6	7	15	4	422324244	68,72	417854912	17,89	1,058	O
58	P10_2_6_7_15_0_6_6(1)_txt	10	2	6	7	15	6	677425198,1	2857,95	668793738,9	109,90	1,274	O

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KAYAPINAR, Sema
Uyruğu : T.C.
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 582 38 16
e-mail : semakyp@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2017
Yüksek lisans	Anadolu Üniversitesi/ Endüstri Mühendisliği	2012
Lisans	ESOGU/ Endüstri Mühendisliği	2007
Lise	Ankara Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-2013	Munzur Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce, Fransızca

Hobiler

Seyahat, Kitap okuma, Sinema, Yürüyüş



GAZİ GELECEKTİR..