

Otomotiv Sektöründe Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi İçin Matematiksel Model Önerisi ile Etkileşimli Bulanık Programlama ve Genetik Algoritma Tabanlı Melez Çözüm Yaklaşımı

Abdullah Yıldızbaşı

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2015

Proposing a Mathematical Model for Green Supply Chain Management Implementation in
Automotive Industry with Interactive Fuzzy Programming and Hybrid Solution Approach
Based on Genetic Algorithm

Abdullah Yıldızbaşı

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Industrial Engineering

December 2015

Otomotiv Sektöründe Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi için Matematiksel Model Önerisi ile Etkileşimli Bulanık Programlama ve Genetik Algoritma Tabanlı Melez Çözüm Yaklaşımı

Abdullah Yıldızbaşı

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU

Aralık 2015

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Abdullah YILDIZBAŞI'nın DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Otomotiv Sektöründe Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi İçin Matematiksel Model Önerisi ile Etkileşimli Bulanık Programlama ve Genetik Algoritma Tabanlı Melez Çözüm Yaklaşımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek "oybirliği" ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU

İkinci Danışman :-

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN



Üye : Prof. Dr. Mete GÜNDOĞAN



Üye : Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU



Üye : Doç. Dr. İnci SARIÇİÇEK



Üye : Yrd. Doç. Dr. Tuğba SARAC



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç.Dr.Aydın SİPAHİOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum “Otomotiv Sektöründe Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi İçin Matematiksel Model Önerisi ile Etkileşimli Bulanık Programlama ve Genetik Algoritma Tabanlı Melez Çözüm Yaklaşımı” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 02/12/2015

Abdullah YILDIZBAŞI

İmza



ÖZET

Günümüz tedarik zincirlerinde sıklıkla kullanılmaya başlayan yeşil tedarik zinciri yönetimi felsefesi bu çalışmanın temel çıkış noktasını oluşturmaktadır. Bu kapsamda, Türkiye otomotiv sektörü temel alınarak yeşil tedarik zinciri yönetimi ana başlığı altında kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı için bir karma tamsayılı doğrusal karar modeli önerilmiş ve farklı yöntemlerle çözüm aranmıştır. Bu alanda daha önce yapılmış olan çalışmalara ve kullanılan yaklaşımlara ilişkin kapsamlı bir literatür araştırmasının ardından, ağ tasarım problemlerinde ele alınan ürünlerin, ürün ağaç yapılarının modele yansıtılırken doğru bir şekilde aktarılamadığı ve katsayıların doğru hesaplanamaması sonucunda ortaya çıkan sayısal hataların da modelin güvenilirliğini zedelediği tespit edilmiştir. Bu amaçla kapalı döngü tedarik zinciri içerisinde hareket eden tüm parça veya ürünlerin tonaj olarak ele alındığı ve aynı anda sistem içerisinde hem ürün bazlı, hem de parça bazlı akışları sağlayacak yeni kısıtlar önerilmiştir. Böylelikle üründen parçaya, parçadan ürüne geçişler kolaylıkla sağlanabilmekte ve gerçek hayat problemleri geliştirilen modele kolaylıkla uyarlanabilmektedir. Çözüm yaklaşımlarının seçiminde de ele alınan modelin gerçek hayat probleminden yola çıkılarak tedarik zincirinde yer alan paydaşların memnuniyet oranlarının ve tutumlarının sonuçlar üzerine etkisini gözlemlemek amacıyla bulanık/etkileşimli mantık ile çözüm aranmıştır. Son olarak da geliştirilen kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarım probleminin NP zor olması nedeniyle çözümü için Genetik Algoritma tabanlı melez bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Önerilen tüm bu yaklaşımlar rassal olarak türetilen test problemleri üzerinde farklı senaryolar geliştirilerek, C++ yazılım dili ve GAMS CPLEX paket programı yardımıyla çözülmüş, elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, Otomotiv Endüstrisi, Kapalı Tedarik Zinciri Yönetimi, Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama, Etkileşimli Bulanık Programlama, Melez Genetik Algoritma

SUMMARY

Philosophy of green supply chain method which has started to use commonly in today's supply chains is the main starting point of this study. In this study, a mixed integer linear decision model based on Turkey automotive sector for closed loop network design under the title of green supply chain method is proposed and suitable results are investigated using different methods. After a comprehensive literature review which includes previous studies and used approaches on this field, it is determined that network design problems are not transferred correctly to the studies while developed a bill of material structures of products in reflecting to the model. For this purpose, a new constraint which provides both product basis and piece basis flows simultaneously inside the system is proposed. Also, each pieces and products which move inside the closed loop supply chain are considered as tonnage in this new constraint. Thus, transfers from product to piece and piece to product can be provided easily and real life problems can be adapted to the new developed model easily. A solution using fuzzy/interactive logic is searched to obtain the effects of satisfaction rates and attitudes of shareholders in the supply chain based on real life problems of the model which is also used as selecting the solution approaches. Finally, because the problem is NP difficult, a hybrid method is developed which provides short time solution of the model by proposing the hybrid solution approach based on Genetic Algorithm to solve the problem. All these proposed approaches are analyzed using C++ software language and with GAMS packet program with the help of numerical examples, and obtained data are commented over different scenario analyses.

Key Words: Green Supply Chain Management, Automotive Industry, Closed-Loop Supply Chain Management, Mixed Integer Linear Programming, Fuzzy Interactive Programming, Hybrid Genetic Algorithm

TEŞEKKÜR

Akademik yaşamın en önemli süreçlerinden biri olan doktora başladığım ilk günden itibaren bana güvenen ve doktora çalışmam süresince desteğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım ve ne yazık ki çok erken bir şekilde kaybettiğimiz sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Nihat YÜZÜGÜLLÜ'yü saygı ve rahmetle anıyorum. Yaşadığım bu üzücü olayın ardından tez izleme komitemde yer alan ve danışmanlığımı üstlenerek kaldığım yolda azimle ve kararlılıkla devam etmemi sağlayan, beni cesaretlendirerek tüm bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan bir an bile geri durmayan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU'na gönülden teşekkürü bir borç bilirim. Yine tez izleme komitesi toplantılarında sunduğu önemli katkı ve fikirlerle gelişimime ve tezime önemli destekleri olan Sayın Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN hocam'a çok teşekkür ederim.

Tez savunma jürimde yer alarak yaptıkları katkılardan dolayı hocalarım Prof. Dr. Mete GÜNDOĞAN, Doç. Dr. İnci SARIÇİÇEK ve Yrd. Doç. Dr. Tuğba SARAÇ'a çok teşekkür ederim.

Akademik hayata başlamamda ve bu yolda ilerlerken karşılaştığım birçok zorluğu kolaylıkla aşmamda verdiği desteğin önemi sözlerle ifade edilemeyecek kadar büyük olan çok kıymetli hocam ve yol göstericim Sayın Prof. Dr. Turan PAKSOY'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Yine bu süreçte programlama konusunda desteğini esirgemeyen ve çalışmalarına katkı sunan değerli hocam Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN'a teşekkür ederim. Doktora aynı dönemlerde başladığım ve bu süreç boyunca yardımını ve desteğini sürekli yanımda hissettiğim değerli arkadaşım ve meslektaşım Ahmet ÇALIK'a da verdiği destekten ve dostluğundan ötürü teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi destekleriyle bana güç veren değerli aileme ve karşılaştığım zorlukları aşmamda bana destek olan, çalışmalarım boyunca istemeyerek de olsa kendisini ihmal etmeme rağmen tek bir gün bile şikâyet etmeyerek beni her zaman destekleyen sevgili eşim Esra YILDIZBAŞI'na canıgönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	15
2. YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNİN ÖNEMİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	26
2.1. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi	26
2.1.1. Yeşil tedarik zinciri yönetimi kavramı	27
2.1.2. Yeşil tedarik zinciri yönetimi uygulamaları	28
2.1.3. Yeşil tedarik zinciri yönetimi performans unsurları.....	30
2.2. KDTZ ve TTZ Ağ Tasarım Problemleri	31
2.3. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimine İlişkin Literatür Araştırması.....	33
2.4. Otomotiv Sanayinde YTZY Uygulamalarına İlişkin Literatür Araştırması.....	37
2.5. YTZY Yönetiminde KDTZ Uygulamalarına İlişkin Literatür Araştırması	45
2.6. Otomotiv Sanayinde KDTZ ve TTZ Ağ Tasarımlarına İlişkin Literatür Araştırması	46
2.7. KDTZ Ağ Tasarımına Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımlarının Uygulanmasına İlişkin Literatür Araştırması	51
2.8. KDTZ Ağ Tasarımına Genetik Algoritma Yaklaşımının Uygulanmasına İlişkin Literatür Araştırması	61
3. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN GELİŞTİRİLEN TEK SEVİYELİ TEK KARAR VERİCİLİ MODEL	67
3.1. Tek Seviyeli Tek Karar Vericili KTDP Modeli	67
3.2. Tek Seviyeli Tek Karar Vericili KTDP Modeline İlişkin Test Problemi Çözüm Sonuçları .	77
3.3. Bazı Parametrelerin Çözüme Etkisi	84
3.3.1. Talep değişimlerinin etkisi (Senaryo 1)	84
3.3.2. Geri dönüşüme ait oranların sonuca etkisi (Senaryo 2).....	85

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3.3. Fabrika, dağıtım merkezi, toplama merkezi ve ayrıştırma merkezi kapasitelerinin etkisi (Senaryo 3).....	87
3.4. Boyut Analizi ve Etkisi	90
4. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN GELİŞTİRİLEN BULANIK/ETKİLEŞİMLİ ÇOK SEVİYELİ KTDP MODELİ.....	93
4.1. Bulanık/Etkileşimli Merkezi Çok Seviyeli Programlama Yaklaşımları	93
4.1.1. Zimmermann yaklaşımı.....	94
4.1.2. Selim ve Özkarahan (2008)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı.....	96
4.1.3. Torabi ve Hassini (2008)'nin bulanık çok amaçlı yaklaşımı.....	99
4.2. Çok Seviyeli KTDP Modeli	99
4.3. Merkezi Çok Seviyeli KTDP Modeline İlişkin Test Sonuçları.....	106
4.3.1. Zimmermann yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar.....	106
4.3.2. Selim ve Özkarahan yöntemiyle elde edilen sonuçlar.....	108
4.3.3. Torabi ve Hassini yöntemiyle elde edilen sonuçlar.....	109
4.4. Bulanık/Etkileşimli Merkezi Olmayan Çok Seviyeli Programlama Yaklaşımı	112
4.5. Merkezi Olmayan Çok Seviyeli KTDP Modeline İlişkin Test Sonuçları	118
5. KDTZ AĞ TASARIMI İÇİN GENETİK ALGORİTMA TABANLI MELEZ BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI	124
5.1. Genetik Algoritma.....	124
5.1.1. Genetik algoritma terimleri	125
5.1.2. Genetik algoritmanın aşamaları.....	126
5.1.3. Genetik algoritmada kodlama türleri.....	127
5.1.4. Genetik algoritmada kullanılan operatörler.....	130
5.1.4.1. <u>Tekrar üreme operatörü</u>	130
5.1.4.2. <u>Seçim operatörü ve türleri</u>	130
5.1.4.3. <u>Rulet tekeri seçimi</u>	130
5.1.4.4. <u>Sıralama seçimi</u>	131
5.1.4.5. <u>Sabit durum seçimi</u>	132
5.1.4.6. <u>Turnuva seçimi</u>	132
5.1.4.7. <u>Seçkinlik</u>	133
5.1.5. Çaprazlama operatörü ve türleri	133

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.1.6. Mutasyon operatörü ve türleri	136
5.1.7. Genetik algoritmanın parametreleri.....	137
5.1.8. Genetik algoritmanın performansını etkileyen nedenler	139
5.2. Genetik Algoritma Tabanlı Melez Çözüm Yaklaşımı Önerisi	140
5.3. Genetik Algoritma Tabanlı Melez Çözüm Yaklaşımının Tek Seviyeli KTDP Modeline Uygulanmasına İlişkin Sonuçlar	143
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	151
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	155
EKLER.....	169
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm süreci (Directive 2000/53/EC).....	20
Şekil 1.2. ÖTA genel dağılımı	21
Şekil 1.3. Bir otomobilde kullanılan plastiklerin dağılımı	21
Şekil 1.4. Ömrünü tamamlamış otomobillerin içerisinde bulunan tehlikeli maddeler.....	22
Şekil 2.1. İleri /Tersine lojistiğin genel gösterimi (Tonanont vd., 2008)	32
Şekil 3.1. Tasarlanan İTZ, TTZ ve KDTZ ağ tasarımı.....	68
Şekil 3.2 . Önerilen model'e ait ağ yapısı	77
Şekil 3.3. Nihai ürüne ait ürün ağacı	78
Şekil 3.4. Birinci döneme ilişkin eniyi dağıtım ağı	83
Şekil 3.5. İkinci döneme ilişkin eniyi dağıtım ağı.....	83
Şekil 4.1. Zimmermann (1978)'nin enb-enk yaklaşımına ilişkin test problemi için Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımının uygulanışı.....	98
Şekil 4.2. Eniyi amaç fonksiyonu ve üyelik fonksiyonu değerleri.....	107
Şekil 4.3. Farklı γ değerlerinin toplam maliyet üzerine etkilerinin karşılaştırılması	110
Şekil 4.4. Farklı γ değerlerinin memnuniyet seviyesi üzerine etkisi.....	112
Şekil 4.5. Yeni memnuniyet seviyesi için eniyi amaç fonksiyonu ve üyelik fonksiyonu değerleri.....	120
Şekil 4.6. Yeni alt seviye memnuniyet seviyesi için eniyi amaç fonksiyonu ve üyelik fonksiyonu değerleri.....	121
Şekil 5.1. Basit genetik algoritma için akış şeması (Saruhan, 2004)	129
Şekil 5.2. Rulet tekeri kromozom dağılımı (Obitko, 2015).....	131
Şekil 5.3. Sıralamadan önce (uygunluk çizgesi) (Obitko, 2015).....	132
Şekil 5.4. Sıralamadan sonra (sıra numaraları çizgesi) (Obitko, 2015).....	132
Şekil 5.5. Melez çözüm yöntemine ilişkin akış şeması (Uyarlama; Demirel, 2014)	141
Şekil 5.6. Ardıştırma sayısı ile uyumluluk fonksiyonu arasındaki ilişki.....	144
Şekil 5.7. Uygulanan çaprazlama operatörü.....	145
Şekil 5.8. Örnek model için kromozom yapısı	145
Şekil 5.9. Genetik algoritma tabanlı melez çözüm yaklaşımı	146
Şekil 5.10. GAMS ve MelezGA'dan elde edilen sonuçlar arasındaki % farklar	148
Şekil 5.11. GAMS ve MelezGA yaklaşımlarının farklı veri setleri için çözüm süreleri.....	149
Şekil 5.12. GAMS ve MelezGA test problem toplam maliyet karşılaştırması.....	149

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Her bir amaç fonksiyonu değeri ve yüzdesi.....	79
Çizelge 3.2. Örnek probleme ait eniyi dağıtım planı	80
Çizelge 3.3. Parça akışına ait eniyi dağıtım planı	81
Çizelge 3.4. Senaryo 1'e göre elde edilen sonuçlar	85
Çizelge 3.5. Senaryo 2'den elde edilen sonuçlar.....	86
Çizelge 3.6. Senaryo 3a'ya göre elde edilen sonuçlar.....	87
Çizelge 3.7.Senaryo 3b'ye göre elde edilen sonuçlar	88
Çizelge 3.8. Senaryo 3c'ye göre elde edilen sonuçlar.....	88
Çizelge 3.9. Senaryo 3d'ye göre elde edilen sonuçlar	89
Çizelge 3.10. Senaryo 3e'e göre elde edilen sonuçlar.....	89
Çizelge 3.11. Rassal olarak üretilen parametre değerleri.....	91
Çizelge 3.12. Boyut Anazli sonucunda elde edilen sonuçlar	92
Çizelge 4.1. Z_g^U değerlerine ilişkin ödünleşme tablosu (Lai ve Hwang, 1996).....	95
Çizelge 4.2. Her problem için ödünleşme tablosu.....	106
Çizelge 4.3. Probleme ilişkin en iyi ve en kötü amaç fonksiyonu değerleri	108
Çizelge 4.4. Farklı γ değerlerine bağlı elde edilen eniyi sonuçlar.....	109
Çizelge 4.5. Farklı γ değerlerine bağlı elde edilen eniyi sonuçlar.....	110
Çizelge 4.6. $\gamma=0.4$ olduğu durumda Selim ve Özkarahan yaklaşımı ile Torabi ve Hassini yaklaşımının karşılaştırılması.....	111
Çizelge 4.7. Kullanılan yaklaşımların karar vericilere ait maliyetler üzerine etkisi	122
Çizelge 5.1. İkili kodlama örneği	128
Çizelge 5.2. Permütasyon kodlama örnek gösterimi	128
Çizelge 5.3. Değer kodlama örnek gösterimi	128
Çizelge 5.4. Tek nokta çaprazlama örneği	134
Çizelge 5.5. İki noktalı çaprazlama örneği.....	134
Çizelge 5.6. Tekdüze çaprazlama örneği.....	135
Çizelge 5.7. Dairesel çaprazlama örneği	135
Çizelge 5.8. Denge durumu genetik algoritmasına ilişkin genel algoritma	142
Çizelge 5.9. Geliştirilen sezgisel çözüm yöntemi ile GAMS-Cplex sonuçlarının karşılaştırılması	147

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Simgeler	Açıklama
br	Birim
pb	Para birimi
sn	Saniye

Kısaltmalar

Kısaltmalar	Açıklama
DP	Doğrusal Programlama
EBP	Etkileşimli Bulanık Programlama
GA	Genetik Algoritma
KDP	Klasik Doğrusal Programlama
KDTZ	Kapalı Döngü Tedarik Zinciri
KTDP	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
KV	Karar Verici
NP	Non-Polinamial
ÖTA	Ömrünü Tamamlamış Araç
PG	Performans Göstergesi
SÖ	Selim ve Özkarahan
TH	Torabi ve Hassini
TTZ	Tersine Tedarik Zinciri
TZ	Tedarik Zinciri

1. GİRİŞ

Tedarik zincirindeki bilgi ve malzeme akışlarındaki rassal yapı ile birlikte ürün çeşitliliğinin artması, işletmelerin küreselleşmesi ve ürün yaşam döngülerinin her geçen gün kısalması, şirketleri tedarik zincirinde yer alan paydaşlarla işbirliği yapmaya zorlamaktadır. Geleneksel tedarik zinciri yönetimi istenen ürünün en uygun maliyetle, doğru miktarda, doğru zamanında, doğru yerde olmasına odaklanmaktaydı. Ancak son 20 – 30 yıldan bu yana gözlemlenen çevresel olayların korku veren boyutlara ulaşması ile çevreye zarar veren olumsuz etkilerin azaltılması için tedarik zinciri süreçlerinin değiştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu noktada devreye giren, tedarik zinciri yönetimine çevresel düşünce sistemini entegre eden ve sürdürülebilirlik açısından da ön koşul niteliği taşıyan “Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi” (YTZY) kavramı, tedarik zinciri yönetimi literatüründe ve gelişmekte olan ülkelerde hızla yayılmaktadır. Artan bir biçimde müşteriler, yasa koyucular ve çevresel gruplar ekolojik olarak çevreye daha az zararlı yeşil ürünleri talep etmektedirler (Toni, Tonchia, 2001).

Yeşil tedarik zinciri yönetimine geçiş fikri günümüzde hala birçok işletme açısından ek maliyetler ve birçok yasal yükümlülük olarak görülse de aslında YTZY kapsamında gerçekleştirilen yeşil uygulamalar sonucunda, küreselleşen, müşteri beklenti ve isteklerinin ön planda olduğu bu pazarda çok daha rekabetçi, verimli ve maliyet etkin bir sisteme sahip olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte 1994’de Britanya Sanayi Konfederasyonu (CBI) piyasa beklentileri, risk yönetimi, yasal uyumluluk ve iş verimliliği gibi çevresel performans sayesinde rekabet avantajı elde etmenin unsurlarını tanımlamıştır. Buna göre günümüz işletme senaryolarında yer alan yeşil yönelimin, sürdürülebilir kalkınmayla ilişkili temel bir kriter olarak ortaya çıktığı sonucuna varılabilmektedir. Artan bir biçimde yöneticiler artık sadece kendi şirketleri ile değil, tedarik zincirinde yer alan ortakları ile ilgili olan sosyal ve çevresel sorunlar ile de ilgilenmeye zorlanmaktadır. Günümüzde firmalar farklı paydaş grupları, kamu kuruluşları, komşular, işçiler, kar amacı gütmeyen gruplar dâhil olmak üzere birçok farklı kesimden gelen çok önemli kontrollerle karşılaşmaktadırlar (Anonim, 2013).

Handfield vd. (1997), Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimini; tasarım, tedarik, üretim ve montaj, paketleme, lojistik ve dağıtım süreçlerinin tamamını kapsayan ürün yaşam döngüsünün tüm adımları üzerinde, çevresel yönetim ilkelerinin uygulanması şeklinde tanımlamıştır. Zhu vd. (2005) YTZY’ni işletmelerin ekolojik verimliliğini artırırken çevresel riskleri ve etkileri azaltmasının yanında pazar payı ve karlılığı artırıcı yeni bir model olarak tanımlamışlardır. Hervani (2005) yayınladığı makalesinde yeşil satınalma, yeşil üretim/malzeme yönetimi, yeşil dağıtım/pazarlama ve tersine lojistiğin bir bütün olarak YTZY’ni oluşturduğunu belirtmiştir. Srivastava (2007) Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimini “Ürün tasarımı, malzeme kaynaklarının seçimi, üretim süreçleri, son ürünün müşteriye teslimi ve kullanım ömrü sona ermiş ürünlerin geri dönüştürülmesini de içeren tedarik zinciri yönetimine çevresel düşüncenin entegre edilmesi” şeklinde tanımlamaktadır. Lee (2008) satın alma planlarının ve faaliyetlerinin, müşteri ve tedarikçilerinin çevresel performanslarının artırılması amacıyla çevresel konuların tedarik zinciri yönetim süreçlerine entegre edilmesi şeklinde tanımlamışlardır. Büyüközkan ve Ciftci (2012) çalışmalarında YTZY’ni ekolojik verimliliği artırırken çevresel olumsuz etkileri azaltmalarının sonucunda firmalar için pazar payı ve kar elde ettikleri bir yol olarak tanımlamıştır.

Yukarıdaki çalışmalar ve onlar gibi daha birçok araştırma “yeşil” / çevresel faktörler ve çevre / işletme performansı arasındaki ilişkiler üzerine odaklanmıştır (Bowen vd., 2001; Rao ve Holt, 2005; Simpson vd., 2007; Vachon ve Klassen, 2006; Zhu ve Sarkis, 2006). Tüm bu araştırmalardan da anlaşıldığı gibi YTZY uygulamalarının tümü, sistem içerisinde yer alan ancak istenen kalite veya seviyede olmayan ya da kullanım ömrü dolmuş ürünlerin çevreye zarar vermeden, eğer mümkünse tekrar sistemin içerisine mümkün değilse de uygun yollarla çevreye en az zarar verecek şekilde bertaraf edilmesine odaklanmaktadır. YTZY’nin ilgilendiği çevresel problemlere bakıldığı zaman aslında bu problemlerin sistem içerisinde yer alan tüm unsurları yakından ilgilendirdiği görülmektedir.

Daha önceki tanımlardan da görüldüğü gibi klasik manada tedarik zinciri; fabrikaların hammaddeyi satın alması ile başlayan ve üretimin gerçekleşmesinin ardından üretilen ürünlerin dağıtıcılara ve oradan da müşterilere ulaştırılmasını kapsayan süreç olarak tanımlanmaktadır. Bu yapıda yer alan tüm hammadde tedarikçileri, tedarikçiler, fabrika, perakendeciler tedarik zinciri yönetimi ile birbirlerine bağlıdır.

Klasik tedarik zincirlerinde sadece tek ve ileri yönlü bir akış mevcuttur. Ancak YTZY'nin de temel aldığı ve üzerinde durduğu demontaj, yeniden kullanım, yenileme, çevreye duyarlı şekilde bertaraf etme gibi geri dönüşüm faaliyetlerinin tedarik zincirlerine dâhil edilmesi sonucu ters yönlü akışın da gerçekleştiği yeni bir tedarik zinciri yapısı ortaya çıkmakta ve bu durum literatürde Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (KDTZ) olarak adlandırılmaktadırlar. KDTZ hem ileri hem de tersine akışın gerçekleştiği bütünlük ağı yapıları şeklinde tanımlanabilmektedir.

Klasik tedarik zincirlerinde, üretim merkezlerinin yerine ve sayısına, her tesis için toplam kapasiteye, taşıma maliyetlerinin ve hammadde maliyetlerinin en küçüklenmesi şeklindeki konulara karar verilmektedir. YTZY felsefesinde dâhil edildiği KDTZ'inde ise yukarıdaki kararlara ek olarak, geri dönüşümde yer alan merkezlerin sayıları ve nerelere kurulacağı, seçilen merkezler arasındaki taşıma miktarlarının ne olması gerektiği ve farklı taşıma yöntemleri gibi kararlar, çevresel etkilerde göz önünde bulundurularak birarada değerlendirilmektedir. KDTZ ağı tasarımlarında çevresel unsurlarında göz önünde bulundurulması ise bu ağı tasarımlarını çok daha zor ve karmaşık bir hale dönüştürmektedir.

Klasik tedarik zincirlerinin terk edilerek KDTZ modellerinin incelenmesindeki unsurlardan bir diğeri de daha önce de belirtildiği gibi çevreye verilen zararın en aza indirgenmesi ve bununla birlikte rekabet edilebilirliğin artırılmasını sağlayacak karlılık modellerinin oluşturulmasıdır. Geçmişte yapılmış olan birçok YTZY çalışmasının ağırlıklı olarak kavramsal modelleri veya tanımlamaları içerdiği görülmüştür (Flapper vd., 2005). Seuring (2013) YTZY üzerine yaptığı analiz çalışması sonucunda son 15 yılda yapılan 300 çalışmanın sadece 36 tanesinin niceliksel olduğunu belirtmiştir. Bu veri aynı zamanda YTZY temelinde bir KDTZ modelinin geliştirilmesinde destekleyici bir bilgi olarak kullanılmıştır.

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi ana başlığı altında geliştirilmesi düşünülen KDTZ ağı tasarım modelinin öncelikle hangi sektörler üzerinde olumlu geri dönüşler sağlayabileceği ve etkisini gösterebileceği sorusuna cevap arandığı zaman en önemli sektörlerin başında gelen otomotiv endüstrisi öne çıkmıştır. Otomotiv endüstrisinde kaynakların gitgide azalması ve geri dönüştürülen ürünlere olan ihtiyacın artması, kullanım ömrü bitmiş araçlar için KDTZ uygulamalarını zorunlu kılar hale gelmiştir. Günümüzde Doğu Asya ülkeleri, Avrupa Birliği Ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri ve daha birçok

ülke kullanım ömrünü tamamlamış araçların geri toplanması, yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve çevreye en az zarar verecek şekilde imhasını öngören düzenlemeler ve uygulamalar çıkartmışlardır (Karakayalı vd., 2007). Örneğin otomobil üreticileri için Avrupa Birliği tarafından çıkarılan ve öncü nitelikte olan (2000/53/EC) sayılı düzenleme ile kullanım ömrü bitmiş araçların toplanması, yeniden kullanımı, geri dönüştürülmesi ve bertaraf edilmesine ilişkin otomobil üreticilerinin sorumlulukları belirtilmektedir (Harraz ve Galal, 2011). Mevcut yönetmeliğin uygulanması ile Avrupa Birliği ülkelerinden yılda 8-9 milyon aracın geri dönüştürülebileceği tahmin edilmektedir (Harraz ve Galal, 2011). Yine aynı şekilde üreticilerin kendi araçlarının geri dönüşümlerinden sorumlu olmalarını sağlayan ve Avrupa Birliği yönetmeliğine benzer özellikler gösteren bir uygulama sonucunda Japonya'da yılda 5 milyon araç toplanmaktadır (Che vd., 2011). Benzer şekilde İsviçre'de kullanım ömrü bitmiş araç sayısının 150,000 olduğu belirtilmiştir (Sverige, 1997). Bu oranın Amerika'da ise yıllık 15,000,000 araç olduğu ve bu araçların geri dönüşümü sonucu yaklaşık olarak toplam ağırlığın %15-25 civarının atık olarak gömüldüğü belirtilmektedir (Duranceau ve Lindell, 1999). Gömülen atık miktarının önemli bir çoğunluğunu araç parçalama sonrası oluşan atık oluşturmaktadır (Orr, 2000). Bu; işe yaramaz artıklar, cam, kumaş, köpük, plastik, çakıl-kum ve diğer metal olmayan atıkları içermektedir. Ayrıca Avrupa Birliği (2000/53/EC) sayılı düzenleme ile kullanım ömrü bitmiş araçların geri dönüşüm oranlarına ilişkin olarak 1980 yılından önce üretilen araçlarda en az %75 oranında, 1980 sonrasında üretilen araçlarda da %85 civarında bir geri dönüşüm hedefi belirlemiştir. Üreticilere de bu hedeflerin sağlanabilmesi ve ileride bu oranın %95 seviyesine çıkarılabilmesi için gerekli çalışmaların yapılması yönünde telkinde bulunmaktadır.

Otomotiv endüstrisi geri dönüşüm sürecinde etkili olan farklı parametler vardır. Bunlardan biri de ürünü oluşturan malzeme oranlarında yıllar içerisinde ortaya çıkan değişimdir. Isaacs ve Gupta (1998) çalışmalarında 1977 den bugüne araçlarda kullanılan alüminyum oranın 43.9 kg dan 80.3 kg yükseldiğini belirtmişlerdir. Yine Isaacs ve Gupta (1998) çalışmalarında araçların doğrayıcıya girmeden önce %25'lik yüksek değerli plastiğin ayrıştırıldığını belirtmişlerdir. Geriye kalan plastik standart prosedürler uygulandığı zaman ya atık olarak atılmakta ya da çok düşük karla satılabilmektedir. Ayrıca atık içerisinde yer alan plastikler atık merkezlerine gönderildiği zaman tehlikeli atık sınıfına alınmakta ve bu da atık maliyetlerini arttırarak ek maliyetler getirmektedir.

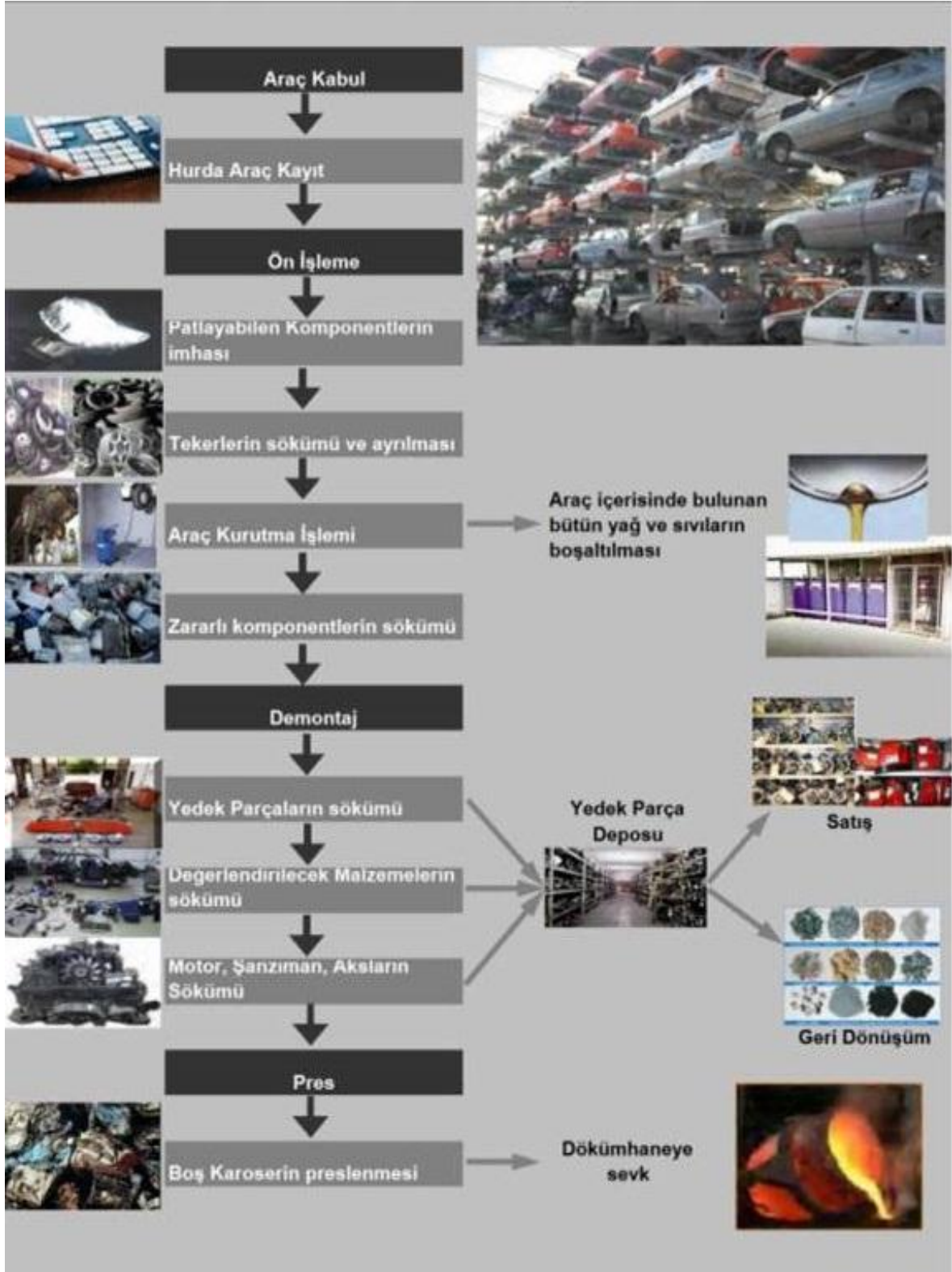
Mevcut süreçte toplama merkezlerinden ayrıştırma merkezlerine gönderilen araç hurdaları, yenilenebilir parçaların ve müşterilere gönderilecek parçaların ayrıştırılmasından sonra 3 ana ürüne dönüşmektedir (Williams vd., 2007). Bu ürünler;

- 1- Demir malzemeler
- 2- Demir olmayan malzemeler (Hafif Demir Olmayan ve Ağır Demir Olmayan malzemeler)
- 3- Atıklar şeklinde tanımlanabilir.

Straudinger ve Keoleian (2001) demontaj merkezleri ve doğrayıcılar üzerine yaptıkları çalışmada demontaj merkezlerinden doğrama merkezlerine gerçekleştirilen taşıma maliyetlerinin de karlılık üzerinde çok büyük rol oynadığından bahsetmektedirler.

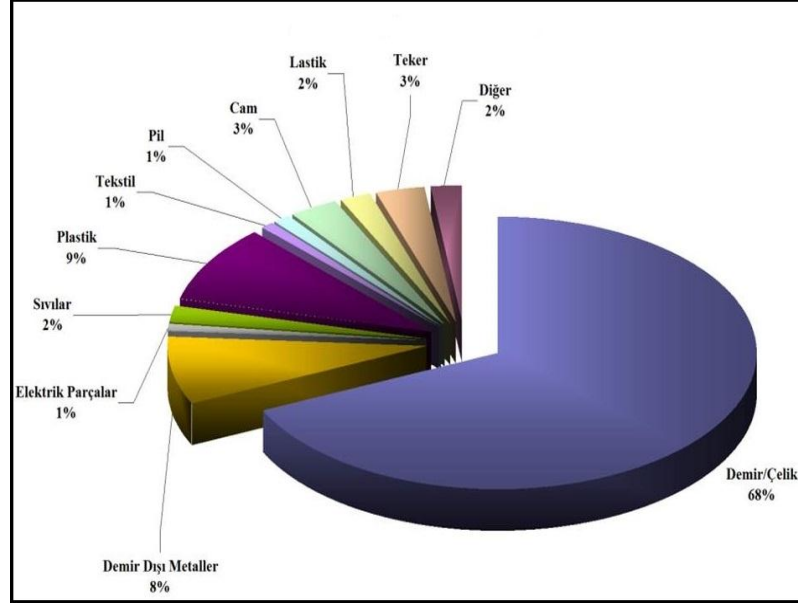
Yukarıda yer alan literatür çalışmalarında bahsedilen kavramların daha iyi anlaşılabilmesi için Ömrünü Tamamlamış Araçlar'a (ÖTA) ilişkin geri dönüşüm sonucunda elde edilen materyallerin oranları, normal bir araç içerisinde yer alan malzemelerin oranları ve ömrünü tamamlamış bir aracın teslim alınmasından hurda haline gelinceye kadar geçen aşamalar, Şekil 1.1, Şekil 1.2, Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te ayrıntılı bir biçimde gösterilmektedir. Bu bilgilerin ilerleyen aşamada kurgulanacak KDTZ ağ tasarımı için veri kaynağı olmasının yanında, modelde kurgulanacak senaryolara da kaynaklık edeceği düşünülmektedir.

ÖTA'ların geri dönüşüm süreçleri araçların toplama merkezleri ya da ayrıştırma merkezlerine kabulü ile başlayıp ayrıştırma ve söküm işlemlerinin ardından en son kalan hurda parçanın dökümhane gönderilmesine veya bertaraf edilmesine kadar geçen süreci içermektedir. Bu süreç Şekil 1.1'de gösterilmektedir;

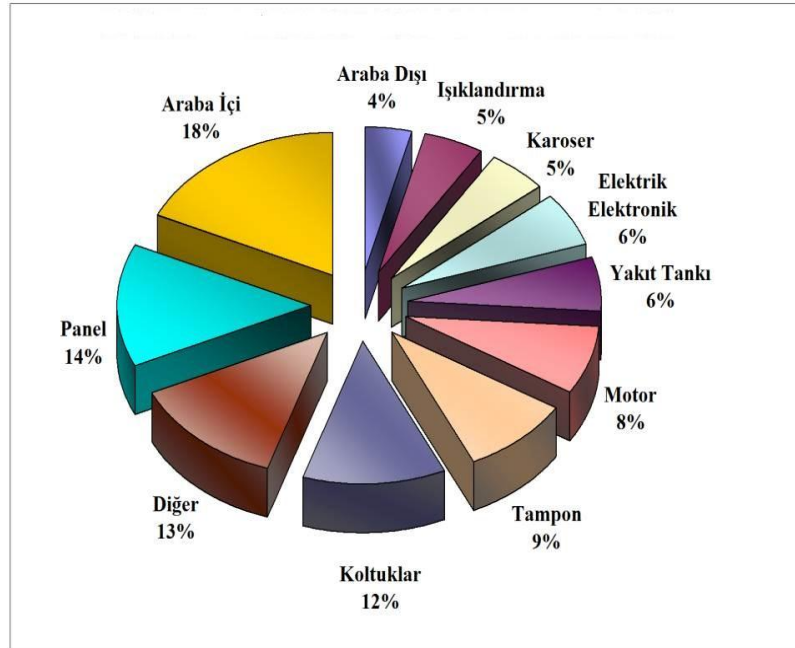


Şekil 1.1. Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm süreci (Directive 2000/53/EC)

Şekil 1.2.'de yer alan ve ömrünü tamamlamış araçları oluşturan malzemelere ilişkin dağılım incelendiği zaman % 68'le demir-çelik grubunun en büyük ağırlığı oluşturduğu görülmektedir. Daha sonra %9 ile plastik grubu ve onun ardından %8 ile demir dışı metaller gelmektedir. Buna göre bir aracın yaklaşık olarak %85'lik kısmı bu üç ürün grubundan oluşmaktadır.

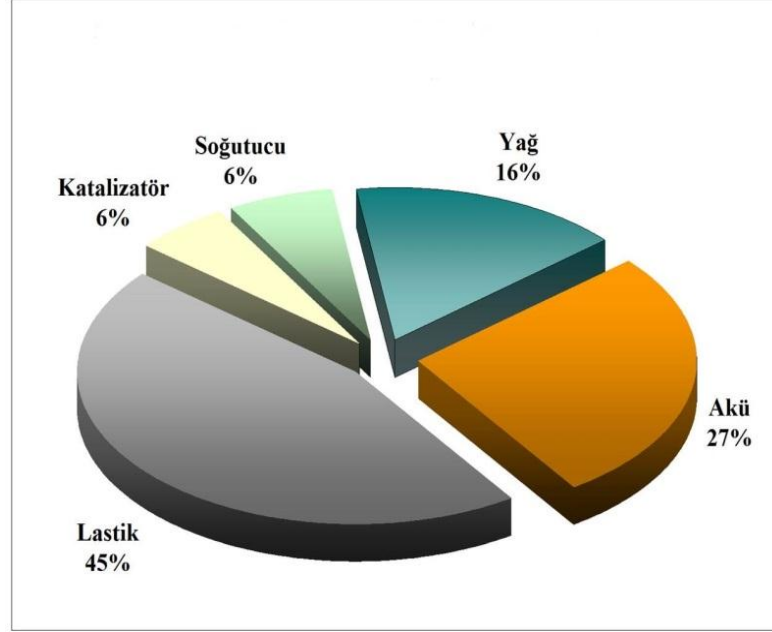


Şekil 1.2. ÖTA genel dağılımı (Anonim, 2014)



Şekil 1.3. Bir otomobilde kullanılan plastiklerin dağılımı (Anonim, 2014)

Şekil 1.3.'te ise otomobil içerisinde kullanılan plastiklerin otomobildeki pek çok kısımda yer aldığı, otomobilin bütününe yayıldığı görülmektedir. %18'lik bir oranla en fazla plastik aksam otomobilin iç kısmında kullanılmaktadır. Daha sonra ise sırasıyla panel, koltuklar, tampon ve diğer aksamlar gelmektedir.



Şekil 1.4. Ömrünü tamamlamış otomobillerin içerisinde bulunan tehlikeli maddeler (Anonim, 2014)

Şekil 1.4.'te ise ömrünü tamamlamış araçların içerisindeki tehlikeli madde sıralamasında lastik, akü ve yağın toplamda %89'luk bir kısmı oluşturduğu görülmektedir. Bu kadar yüksek oranda tehlikeli madde bulunduran bir otomobilin bertaraf edilmesi ve ortaya çıkan atıkların da en az maliyetle ortadan kaldırılabilmesi de hem çevresel hem de ekonomik açıdan ele alınması ve çözülmesi gereken bir problem olarak görülmektedir.

Sonuçta gelişen teknoloji ile birlikte araçlarda kullanılan malzemelerin değişmesi, demir ve metal olmayan ürünlerinde geniş bir yer kaplamasıyla otomotiv geri dönüşüm merkezleri yukarıda bahsedildiği gibi farklı problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. KDTZ problemleri geri dönüşüm safhasında toplanan ürünlerin ayrıştırılması, atık merkezleri ve yenileme merkezlerine gönderilmesi, uygun yollarla bertaraf edilmesi gibi çeşitli operasyonel seviyede kararlar olduğu gibi stratejik ve taksitsel kararları da içermektedir.

Bu çalışmada, Türkiye otomotiv sektörü temel alınarak yeşil tedarik zinciri yönetimi ana başlığı altında kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı için bir karma

tamsayı doğrusal karar modeli önerilmekte ve modelin çözümüne ilişkin geliştirilen farklı yöntemlerle çözüm aranmaktadır. Bu çalışma kapsamında öncelikle yapılan literatür araştırmalarından hareketle daha önceki çalışmalarda görülen eksiklikler tespit edilmeye çalışılmakta ve bu eksikliklerin giderilebilmesi için yeni kısıtlar ve yaklaşımlar test edilerek doğrulukları sınanmaktadır. İlk olarak geliştirilen KDTZ ağ tasarım problemi, diğer ağ tasarım problemlerinden farklı olarak bütünsel bir yaklaşım ile ele alınmaktadır. Otomotiv endüstrisi üzerine yapılan çalışmaların bilindiği kadarıyla tamamı parça bazlı akışlar üzerinden ele alınmakta ve KDTZ'leri de bu parça akışları üzerinden geliştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında ise otomotiv endüstrisi temel alınmakla birlikte, temel ürün olarak aracın tamamı ele alınmakta ve araç geri dönüşüm sürecine bütüncül bir yaklaşımla değinilmektedir. Ayrıca yapılan literatür araştırmaları göstermiştir ki ağ tasarım problemlerinde ele alınan ürünlerin, ürün ağaç yapıları modele yansıtılırken doğru bir şekilde aktarılamamakta ve katsayıların doğru hesaplanamaması sonucunda ortaya çıkan sayısal hatalar da modelin güvenilirliğini zedelemektedir. Bu amaçla bu çalışma kapsamında söz konusu hataların giderilebilmesi için yeni bir değişken tanımlanmaktadır. Buna göre KDTZ içerisinde hareket eden tüm parça veya ürünler tonaj olarak ele alınmakta ve bu durumda aynı anda sistem içerisinde hem ürün bazlı, hem de parça bazlı akışları ele alarak kontrol etmeye ve değerlendirmeye imkân tanımaktadır. Böylelikle üründen parçaya, parçadan ürüne geçişler kolaylıkla sağlanabilmekte ve gerçek hayat problemi modele kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Çözüm yaklaşımlarının seçiminde de ele alınan modelin gerçek hayat problemi olduğu düşünülerek bu yönde varsayımlar geliştirilmekte ve sonuç olarak bulanık/etkileşimli mantık ile probleme ilişkin çözümler aranmaktadır. Günümüz koşullarının ortaya çıkardığı sonuçlardan biri de üretimde tek karar vericinin etkisinin eskiden olduğu gibi yüksek olmadığı ve kolektif yaklaşımların önem kazandığı gerçeğidir. Artık bir ürünün üretilme aşamasından nihai kullanıcıya ulaşmasına ve oradan da tekrar ayrıştırılarak bertaraf edilmesine kadar geçen süreçteki tüm paydaşlar ana üreticinin fikir veya bilgi alışverişinde bulunduğu paydaşlar konumuna yükselmiştir. Bu nedenle literatür taramalarında sıklıkla rastlanan ve bu çalışmada 3. bölümünde ele alınan, ana üreticinin tek karar verici olduğu ve tüm sistemin sahibi şeklinde hareket ettiği varsayımı artık yerini daha gerçekçi ve modellenabilir yaklaşımlara bırakmaktadır. Bu çalışmada da bu değişim göz önünde bulundurularak birbiri ile sıkı ilişki içerisinde olduğu literatür

araştırmalarından ve gerçek hayat gözlemlerinden tespit edilen ana üretici, müşteri ve ayrıştırma merkezinin (aynı zamanda ikinci el parça tedarikçisi konumunda) memnuniyet düzeylerinin KDTZ ağ tasarımına yansımaları analiz edilmeye çalışılmakta ve tek karar vericinin tüm sistemin yönetimine sahip olduğu modellerle paydaşların memnuniyet düzeylerinin önemsendiği ve farklı amaçlar altında tasarlanan modellerin etkilerinin analiz edildiği sonuçlar karşılaştırılarak maliyet temelinde stratejik ve operasyonel kararlara zemin hazırlayacak sonuçların elde edilmesi hedeflenmektedir.

Test problemleri üzerindeki denemelerde de problem boyutu büyüdükçe zm süresinin üstel arttığı görülmüştür. Bu amaçla problemin zm için Genetik Algoritma tabanlı melez bir zm yaklaşımı önerilerek modelin kısa sürede üzümünü sağlayacak melez bir yöntem geliştirilmiştir. Bu amaçlar altında şekillenen çalışma 5 ana bölümden oluşmaktadır.

İlk bölümde çalışmanın genel erevesi çizilerek otomotiv endüstrisine ilişkin ayrıntılı bilgiler verilmiş ve yeşil tedarik zinciri yönetimi altında tasarlanan KDTZ ağ tasarım probleminin seçiminde göz önünde bulundurulan unsurlar ile literatürde karşılaşılan eksiklikler ve önerilen yaklaşımla hedeflenen çıktılara yer verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde yeşil tedarik zinciri yönetimi, yeşil tedarik zinciri yönetiminde kapalı döngü tedarik zinciri yönetiminin önemi ve otomotiv sanayinden yeşil tedarik zinciri ve kapalı döngü tedarik zinciri uygulamaları ile geliştirilen modelin üzümünde kullanılan bulanık/etkileşimli çok amaçlı programlama yaklaşımları ve genetik algoritma uygulamalarına ilişkin literatür araştırmasına yer verilmiş ve bu alanda daha önce yapılan çalışmalar açıklanmıştır.

nc bölümde otomotiv endüstrisi ele alınarak geliştirilen tek seviyeli KTDP modeli ile yeşil tedarik zinciri yönetimi ve kapalı döngü tedarik zinciri yönetim yaklaşımları açıklanmıştır. Yine aynı bölümde nerilen KTDP modeline ilişkin rassal bir test problemi geliştirilmiş ve bu örnek farklı senaryolar üzerinden test edilmiş, sonuçlar yorunlanmıştır. Son olarak, geliştirilen modelin büyük boyutlu gerçek hayat problemleri karşısındaki değişim sonuçlarının gözlemlenebilmesi amacıyla problem 10 kez büyütülerek boyut analizi yapılmış ve etkileri analiz edilmiştir.

Dördüncü bölümde, önerilen tek seviyeli KTDP ağ tasarım modeli, çok seviyeli ve çok amaçlı bir hale dönüştürülmüş ve bulanık/etkileşimli yaklaşımlar karşısında modelin maliyet ve memnuniyet seviyesi bağlamında analizi gerçekleştirilmiştir. Aynı bölüm içerisinde bu kez farklı paydaşların birbirleri ile olan ilişkilerinin de ele alındığı ve farklı seviyelerde yer alan paydaşların memnuniyet düzeylerine göre en uygun sonucun bulunmasının hedeflendiği Sakawa ve Nishizaki (2002) yaklaşımı incelenmiş ve bu yaklaşım kullanılarak çözüm aranmıştır.

Beşinci bölümde ise daha önce NP zor olduğu boyut analizi ile ortaya konan probleme farklı sezgisel yaklaşımlarla çözüm aranması gerektiği belirtilmiş ve bu amaçla genetik algoritma tabanlı melez bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Daha sonra önerilen bu yaklaşım tek seviyeli KTDP modeline uygulanmış ve elde edilen bulgular önceki verilerle karşılaştırılarak hem modelin hem de önerilen yeni yaklaşımın doğruluğu sınanarak problemin büyük boyutlu gerçek hayat problemlerinde kullanılabileceği gösterilmiştir. Çalışmanın sonuçlar ve öneriler kısmında ise elde edilen bulgu ve sonuçlar tartışılarak gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNİN ÖNEMİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yeşil tedarik zinciri yönetim kavramının önemi ve literatürdeki yerinin ele alındığı bu bölümde öncelikle YTZY'nin ne olduğu, mevcut uygulamaları ve performans unsurları açıklanmaya çalışılmış daha sonra da KDTZ yönetimi kavramsal olarak tanımlanmıştır. Bir sonraki aşamada mevcut durumun analiz edilmesi ve literatürde yer alan eksikliklerin tespit edilebilmesi amacıyla YTZY ve KDTZ yönetimine ilişkin daha önce yapılmış olan çalışmalar öncelikle bu iki ana başlık temelinde incelenmiştir. Bir sonraki aşamada bu iki kavram birlikte ele alınmış ve YTZY ile KDTZ arasındaki ilişki incelenmiştir. Otomotiv endüstrisinde KDTZ uygulamalarının ele alındığı literatür çalışmasının ardından KDTZ ağ tasarımlarında etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımlarının uygulanmasına ilişkin literatür taramasına ve son olarak da KDTZ ağ tasarımlarında genetik algoritma yaklaşımlarının uygulanmasına ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir.

2.1. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi

Yeşil tedarik zinciri yönetimi kaynakların (enerji ve malzeme) israfını azaltmayı veya yok etmeyi, ürünün hammadde halinden müşteri tarafından kullanılacağı ana kadar var olan tüm süreçlerde ve hatta kullanım ömrü bitmiş atık durumuna gelen ürünlerde olumsuz çevresel etkileri (hava, su, çevre kirliliği) ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır (Walker vd., 2008). Ancak YTZY uygulanması ve sürdürülmesinde bazen çeşitli problemlerle karşılaşılabilir. Bunlar taktiksel seviyede olduğu gibi operasyonel seviyede de ortaya çıkmaktadır. Örneğin dağıtım yapılacak ürünlerin depolanmasından, hangi tür araçlarla taşınacağına, taşıma miktarlarından ortaya çıkan emisyon gazlarının düşürülmesi için alınması gereken önlemlere, geri toplanan ürünlerin ayrıştırılmasından çevreye zararlı atıkların enküçüklenmesine kadar birçok sorunun ve problemin çözümü bu başlık altında aranabilir.

2.1.1. Yeşil tedarik zinciri yönetimi kavramı

Yeşil tedarik zinciri; paydaşları, süreçleri, sistemin yapısını ve sistemi dikkate alarak tedarik zincirinin hedeflerini ve nasıl yapılandırılacağına kapsamını da tanımlamaktadır. Buna göre:

- ✓ Yeşil tedarik zinciri paydaşlar ile seçilen tedarikçilerin ortak kazanç ve maliyet modellerinin yapılandırılması ve dış kaynak kullanım modellerinin yapılandırılmasını
- ✓ Yeşil tedarik zinciri sistem yapılandırılması ile yatay ve dikey ilişkilere göre dağıtım ve üretim şebeke yapılarının tasarlanmasını
- ✓ Yeşil tedarik zinciri süreçleri ile de güvenilirlik, esneklik, hız ve maliyetleri dikkate alarak tedarik, üretim ve dağıtım süreçlerinin tasarımını gerçekleştirmektedir.

Tanımlanan bu kapsamın yanında birçok araştırmacı yeşil tedarik zinciri yönetiminin, taktiksel kararlardan stratejik kararlara değin, olumsuzlukları azalttığını, kontrol mekanizmasını güçlendirdiğini, geri dönüşüme olanak sağlayarak kaynak kullanımını etkinleştirdiğini belirtmişlerdir. (Wilkerson, 2004; Büyüközkan ve Vardaloğlu, 2008). Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'nin firmalara sağladığı katkılarında bazıları aşağıda şekilde listelenebilir (Porter ve van der Linde, 1995a,b; van Hoek, 1999; Sarkis, 2002; Zhu ve Sarkis, 2004; Rao ve Holt, 2005; Wilkerson, 2005; Büyüközkan ve Vardaloğlu, 2008; Routroy, 2009). Buna göre YTYZ;

- ✓ Risklerin azaltılması ve yeniliklerin hızlandırılması ile çeviklik kazanılması,
- ✓ Yenilikçi süreçler ve sürekli iyileştirme ile uyumluluğun artırılması,
- ✓ Kaynak (malzeme, işgücü ve enerji gibi) kullanımının azaltılması,
- ✓ Karar verme aşamasında olumsuzlukların azaltılması,
- ✓ Müşteri memnuniyeti seviyesinin geliştirilmesi,
- ✓ Küresel marketlere daha kolay girilebilmesi,
- ✓ Kontrol mekanizmasının güçlendirilmesi,
- ✓ Toplumsal yaşam kalitesinin artırılması,
- ✓ Etkin varlık kullanımının sağlanması,
- ✓ Rekabet üstünlüğünün kazanılması,
- ✓ Geri dönüşüme olanak sağlanması,

- ✓ Sistem maliyetlerinin azaltılması,
- ✓ Ekolojik etkinliğin artırılması,
- ✓ İyi bir imaja sahip olunması,
- ✓ Verimliliğin artırılması,
- ✓ Karlılığın artırılması,
- ✓ Atıkların azaltılmasında etkilidir.

YTZY ile ilgili çalışmalar incelendiği zaman birçok araştırmada yeşil tedarik zincirinin farklı terimlerle ifade edildiği ancak tüm bu terimlerinde YTZY ile aynı doğrultuda amaca hizmet ettiği görülmüştür. çalışmanın bundan sonraki aşamalarında da yapılacak literatür çalışması için alternatif tanımlayıcılar olarak kullanılacak olan bu tanımlamalardan bazıları aşağıda başlıklar halinde sıralanmıştır;

- ✓ Kapalı çevrim tedarik zinciri (Steven, 2004; Zhu ve Sarkis, 2006)
- ✓ Bütünleşik tedarik zinciri (Zhu ve Sarkis, 2006; Vachon ve Klassen, 2006)
- ✓ Sürdürülebilir tedarik şebeke yönetimi (Cruz ve Matsypura, 2009; Young ve Kielkiewiez-Young, 2001)
- ✓ Tedarik zinciri çevre yönetimi (Sharfman vd., 2009)
- ✓ Yeşil satınalma (Min ve Galle, 1997; Large ve Thomsen, 2011)
- ✓ Yeşil tedarik (Günther ve Scheibe, 2006; Large ve Thomsen, 2011)
- ✓ Çevreye duyarlı satınalma (Zsidins ve Siferd, 2001)
- ✓ Yeşil lojistik (Murphy ve Poist, 2000)
- ✓ Çevreye duyarlı lojistik (Gonzalez Benito, 2006)
- ✓ Sürdürülebilir tedarik zinciri (Klassen vd., 2007; Bai ve Sarkis, 2010)

2.1.2. Yeşil tedarik zinciri yönetimi uygulamaları

Yeşil tedarik zinciri yönetimi uygulamaları yeşil satın almanın, tedarik zinciri boyunca tedarikçiden, üretici, müşteri ve kapalı çevrimle tersine lojistiğe kadar tüm süreçlerle bütünleştirilmesini kapsamaktadır. YTZY uygulamalarına ilişkin literatürdeki çalışmalar incelendiği zaman organizasyonların çevresel performanslarını arttırmak için aşağıdaki faaliyetler üzerinde yoğunlaştıkları görülmektedir (Eltayeb vd., 2011; Zhu ve Sarkis, 2004, 2005, 2007(a), 2008; Lin, 2013; Vachon ve Klassen, 2007; Large ve Thomsen, 2011, Rao ve Holt, 2005).

- 1- **Çevresel yönetim:** ISO 14001 gibi uluslararası standartlarca belirlenen emisyon ve atık malzeme yönetim faaliyetlerinin kontrolü için izleme standartları, prosedürler ve politikaları içermektedir.
- 2- **Yeşil Satınalma:** Yeniden kullanım, geri dönüşüm, atık azaltma, çevreye duyarlı malzemelerin kullanımı, tehlikeli malzeme enküçüklenmesi gibi sorunlara işaret eder. Firmalar artan bir oranda satın aldıkları malzemelerin çevre dostu olmasını sağlamak için tedarikçilerinin çevre performansını yönetirler.
- 3- **Müşterilerle çevresel işbirliği:** Çevresel gelişim için hedefler koyabilmek amacıyla müşterilerin birbirlerinin faaliyetlerini öğrenmeleri ve yeşil ürünler geliştirerek çevresel performanslarını arttırmayı amaçlayan müşteri eğitimi ve desteği gibi aktiviteleri içerir.
- 4- **Tedarikçilerle çevresel işbirliği:** Tedarikçilerin çevresel performansını arttırmak için, yeşil ürünler ve yenilikler geliştirebilmeleri amacıyla tedarikçi eğitimi ve desteği gibi çok daha kapsamlı işbirliği aktivitelerini içerir.
- 5- **Yatırım geri dönüşümü:** Tersine lojistik faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan hurda ve kullanılmış malzemelerin satışları ile kullanım ömrü bitmiş veya işe yaramayan makine ve teçhizatların satışını ifade eder.
- 6- **Tersine lojistik:** Ürünlerin müşteriye iletiildiği ileri yönlü tedarik zincirlerinin aksine, tasarıma ilave karmaşıklık katan yeniden üretim, geri dönüşüm ve yeniden kullanım gibi faaliyetleri içerir. Tersine lojistik üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla ürünlerin son kullanıcılardan toplanarak tekrardan demontaj, yeniden kullanım, onarım veya bertaraf etme gibi işlemler için fabrikaya döndürülmesi olarak da tanımlanmaktadır ve özellikle geri dönmüş ürünler ve malzemelere odaklanmaktadır.
- 7- **Çevre için tasarım (Eco-dizayn):** Ürünlerin yaşam döngüleri boyunca çevreye verecekleri negatif yönlü çevresel zararları enküçüklemeyi amaçlayan aktiviteleri ifade eder. Yeşil tasarım, atık yönetimi, kaynakların korunması, kirliliğin önlenmesi, ürün güvenliği ve çevresel risk yönetimi gibi faaliyetlerle yakın ilişkilidir.

2.1.3. Yeşil tedarik zinciri yönetimi performans unsurları

Literatür çalışmalarının YTZY uygulamaları ile çevresel, ekonomik ve işletme faaliyetleri arasındaki ilişkilerin yoğunluklu olarak incelendiğini göstermiştir. Riskleri ve maliyetleri düşürmesinin yanında, YTZY uygulamaları ayrıca stratejik ve rekabet avantajı da sağlamaktadır. Marka imajının güçlenmesi, paydaşlarla daha iyi ilişkiler, ve kişisel motivasyon unsurları gibi konular YTZY'nin pozitif etkileri olarak tanımlanmıştır. Bu bilgiler ışığında literatürde ağırlıklı olarak değinilen YTZY performans unsurları aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır;

- 1- **Çevresel Performans:** Şirketlerin doğal çevre üzerindeki yeşil tedarik zinciri girişimlerinin etkilerini değerlendirir. Çevresel performans çoğunlukla etkin performans göstergeleri (enerji/kaynak kullanımı, emisyon azaltımı, atık bertaraf etme) ve yönetim performans göstergeleri (yönetim sisteminin kabul edilme oranı, çevresel politikalar ve ölçümleri, kurumsal imaj ve toplumsal ilişkilerin geliştirilmesi) ile ölçülmektedir (Chien, Shih, 2007). Ayrıca emisyon gazı salınımının azaltılması, atık suların azaltılması, katı atıkların azaltılması, tehlikeli/zararlı/toksik maddelerin kullanımının azaltılması, çevresel kazaların sıklığının düşürülmesi ve firmaların çevresel faaliyetlere uyum düzeylerinin geliştirilmesi de çevresel ölçüm unsurları arasında yer almaktadır (Large ve Thomsen, 2011).
- 2- **Pozitif Ekonomik Performans:** Bir firmanın çevresel performansının yükselmesi, karlılığı arttırır, pazar payını geliştirir ve daha fazla pazara ulaşma fırsatı sunar. Pozitif ekonomik performans, malzeme alımlarında maliyetlerin düşmesi, enerji tüketiminin düşmesi, atık işleme ve boşaltma gibi faaliyetlerin yansımalarıdır (Zhu ve Sarkis, 2004; Zhu ve Sarkis, 2007b).
- 3- **Negatif Ekonomik Performans:** Negatif ekonomik performans çevreye duyarlı malzemelerin ve bu amaçla gerçekleştirilen yatırımların artmasıyla birlikte gözlemlenmektedir (Zhu ve Sarkis, 2004; Zhu ve Sarkis, 2007b). Ayrıca operasyonel maliyetlerde meydana gelen artışlar ve eğitim maliyetlerindeki artışlar da negatif ekonomik performans unsurları olarak kabul edilebilir.
- 4- **İşletme Performansı:** Firmaların operasyonel seviyede gerçekleştirdikleri

teslimat, esneklik ve kalite işlemlerine ait maliyetlerdeki düşüşün pozitif yönlü yansımasıdır. Daha geniş anlamı ile işletme performansı ürünlerin zamanında teslim oranlarındaki artış, stok seviyelerinin ve hurda oranlarının düşmesi, kapasite kullanım oranlarının artmasının sonucu olarak ürün kalitesinin artması şeklinde tanımlanmaktadır (Zhu ve Sarkis, 2004; Zhu ve Sarkis, 2007b).

- 5- Soyut Performanslar:** Kurumsal imaj ve paydaş (müşteriler, tedarikçiler, işçiler ve genel halk) memnuniyeti gibi bazı unsurların somut göstergelerle ölçülmesi ve sayılarla ifade edilmesi mümkün değildir. Somut olarak ifade edilemeyen tüm bu göstergeler de soyut performans unsurları olarak ele alınmaktadır (Eltayeb vd., 2011; Lin, 2013; Vachon ve Klassen, 2007).

2.2. KDTZ ve TTZ Ağ Tasarım Problemleri

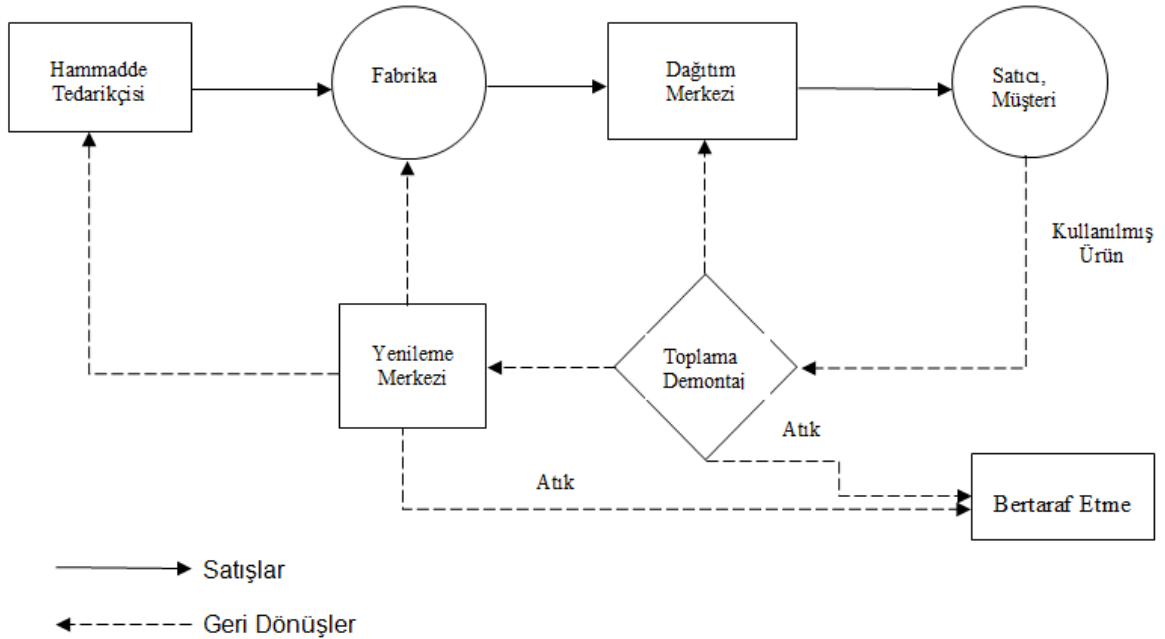
Tedarik zinciri yönetimi üzerine yapılan çalışmaların birçoğu tedarikçiden başlayan ve nihai kullanıcı ile son bulan ve hammadde ve bitmiş ürünün transferi üzerinde odaklanan ileri yönlü akışı ele almaktadırlar. 2000’li yıllara kadar Tersine akış (malzemelerin müşterilerden tedarikçilere doğru akışı) daha az dikkate alınmaktaydı. Ancak zamanla müşteri istek ve beklentilerinin değişmesi ve çevreye daha az zarar veren ürünlerin müşteriler tarafından tercih edilmesi firmaları ve üreticileri de bu yönde kararlar almaya itmiştir. Bunun yanında daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi Avrupa Birliği ve diğer yasa kuruluşların çıkarmış olduğu yasal mevzuatlarda kısıtlayıcı ve yönlendirici bir unsur olarak etkisini göstermesiyle, üreticiler yeni arayışlara ve çevreye daha duyarlı imalat yöntemleri ve teknikler araştırmaya başlamışlardır. Bu noktada devreye giren Tersine Tedarik Zinciri ya da Kapalı Döngü Tedarik Zinciri yönetim yaklaşımları işletmelerin sadece operasyonlarını yönetmekle kalmayıp, aynı zamanda hem yasal yükümlülüklerini yerine getirmelerini hem de sosyal açıdan müşteri istek ve beklentilerini karşılayacak bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır.

Rogers ve Tibben-Lembke (1998), Amerikan Lojistik Yönetim Konseyinin tersine lojistiği “Hammadde, ara stoklar, bitmiş ürünler ve bunlara ilişkin bilgilerin, nihai tüketiciden ana üreticiye doğru yeniden değer kazandırılması veya uygun yolla bertaraf edilmesi için planlı, verimli ve maliyet etkin bir şekilde kontrollü olarak taşınması süreci” olarak tanımladığını belirtmişlerdir. Tersine lojistik süreçlerinin etkin bir şekilde

yönetilmesi ile firmalar rekabet avantajı elde etmekte, karlılıklarını arttırırken, maliyetleri düşürmekte ve aynı zamanda da müşteri memnuniyetini üst seviyelere çıkartmaktadırlar (Alfonso-Lizarazo vd., 2013).

KDTZ ağlarında, ürünlerin sadece üreticiden tüketiciye (montaj süreci) giden doğrusal bir yol izlemesi değil, tüketiciden üreticiye doğru olan bir yolu da (demontaj süreci) kat ederek, döngüyü tamamlaması söz konusudur (Wang ve Hsu, 2010a; Paksoy vd. 2011). İleriki bölümlerde literatür taramasında da görüleceği gibi birçok araştırma da ileri/tersine lojistik eş zamanlı olarak ele alınmış ve KDTZ modelleri üzerinden çözüm aranmaya çalışılmıştır. İleri/Tersine Lojistik ağlarının eşzamanlı uygulanmasına ilişkin genel akışa ilişkin bir örnekte Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

Şekil 2.1’de tanımlanan tedarik zinciri ağ tasarımı döngüyü kendi içerisinde sürdürdüğü için aynı zamanda KDTZ ağı olarak da tanımlanabilmektedir. KDTZ, ileri tedarik zincirinin sonunda ortaya çıkan kullanım ömrü bitmiş veya hatalı yada kullanılamaz durumda olan ürünlerin, toplandıktan sonra, çeşitli işlemlerden geçirilmesi sonucunda uygun yolla bertaraf edilmesi veya sisteme tekrardan kullanılması amacıyla dahil edilmesini sağlayan ağ yapılarıdır.



Tez çalışması kapsamında geliştirilecek olan KDTZ ağ tasarımı, otomotiv sektörü temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bu alanın seçilmesindeki nedenlere bakıldığı zaman, kullanım ömrünün sonuna yaklaşan ürünler içerisinde çevreye en çok zarar veren ve atık bırakan kirleticilerden birinin otomobiller olması gösterilebilir. Bir diğer neden ise kaynak sıkıntılarının ortaya çıkmasıyla birlikte, geri dönüştürülebilir ürünlerin yeniden kullanımı ve bu şekilde çevresel zararlarının azaltılması, maliyetlerin düşürülmesi ve atık yönetimin etkin hale getirilmesi olarak tanımlanabilir. Son olarak da, Avrupa Birliği tarafından çıkarılan (2000/53/EC) yönetmelik uyarınca kullanım ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümünün zorunlu kılınması, bu sektöre dönük bir çalışma yapılmasını ve bu çalışma kapsamında model geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi günümüzde birçok uluslararası otomotiv üreticisi de bu alanda çeşitli adımlar atmakta ve projeler geliştirmektedirler.

İzleyen bölümlerde yeşil tedarik zinciri yönetimine dair literatürde yer alan çalışmalar detaylı olarak verilmektedir.

2.3. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimine İlişkin Literatür Araştırması

Yeşil tedarik zincirine ilişkin yapılan çalışmalar incelendiği zaman ilk çalışmaların ağırlıklı olarak 1995 yılında başladığı ve sonrasında artarak devam ettiği görülmektedir. İlk başlarda verimliliğin artırılması, ekolojik dengenin korunması veya süreçlerin iyileştirilmesi üzerine yapılan araştırmalar daha sonra yeşil tedarik zincirinin faaliyetleri olarak da tanımlanan faaliyetlerle ilişkilendirilerek geliştirilmiştir. 2000’li yıllara geldiği zaman Zhu, Sarkis ve diğer araştırmacıların yaptıkları çalışmalarla da bugünkü yeşil tedarik zinciri uygulamalarının şekillenmesi sağlanmıştır.

Konu üzerine yapılan çalışmalar incelendiği zaman, farklı araştırmacıların yeşil tedarik zincirini farklı yönlerden incelediği görülmektedir. Bu çalışmaları amaçları ve çıktıları bakımından inceleyecek olursak; ilk olarak Sarkis ve Rasheed (1995) tarafından yapılan çalışma ile çevreye duyarlı üretim stratejilerinin neler olduğu araştırılmıştır. Çevreye duyarlı üretim stratejilerinin yalnızca üretim birimleri tarafından değil, tüm şirket yapısı tarafından benimsenmesinin gerekliliği ve çevreye duyarlı teknoloji ve süreçler için ölçüm araçlarına duyulan ihtiyaçların önemli olduğu sonucuna varmışlardır. Daha sonra Sarkis (1999) yaptığı genel değerlendirme çalışmasında yeşil tedarik zincirini, yönetimini

ve temel fonksiyonlarının neler olduğunu araştırmış ve bu çalışmalar sonucunda; YTZY üzerine genel tanım ve çıkarımlar yaparak yeşil tedarik zinciri yönetiminin dört temel fonksiyonunu; satın alma ve giren lojistik, üretim, dağıtım ve tersine lojistik olarak tanımlamıştır. Yine aynı yıl van Hoek (1999) yaptığı irdeleme çalışması ile tersine lojistikten yeşil tedarik zincirlerine geçişi ele almış ve sonuç olarak tersine lojistiğin yeşil tedarik zincirinin başarısı için tek başına yeterli olmadığına, avantaj sağlamak için atılması gereken adımlara, yeşillenme yaklaşımlarına ve başarı ölçütlerine değinmiştir. Bu bağlamda değer artırıcı yaklaşımların proaktif yaklaşımlara ve yasal yükümlülükleri de içeren yaklaşımlara nazaran yeşil tedarik zinciri için çok daha uygun olduğu savunmuştur.

Theyel (2000) çevresel yönetim uygulamalarında en önemli sektörlerden olan kimya endüstrisi üzerine yaptığı çalışma ile çevresel uygulamalar konusunda Amerika'daki firmaların performans düzeylerindeki farklılığın sebebinin firmaların yönetim uygulamalarından mı yoksa firma karakteristiklerinden mi kaynaklandığını araştırmış ve bu amaçla kimya endüstrisi içerisindeki iki önemli sektörü (plastik ve mürekkep üretimi) incelemiştir. Odaklanmış olduğu 650 firmanın 188'inden geri dönüş aldığı çalışmasının sonucunda; bazı çevresel yönetim uygulamalarının önde gelen firmalar tarafından uygulandığı ve bu uygulamaların kimyasal atıkların azaltılmasına yardımcı olmasının yanında sürekli iyileşmeye de katkı sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca kirleticiler yönünden çevreye verdikleri zarar göz önüne alındığında kimya endüstrisinin öncü konumda olduğu ve bu nedenle birçok yasal yükümlülükler ve halk baskısıyla karşı karşıya kaldığı belirtilirken bu rekabet ve baskı unsurlarını azaltabilmek için çevresel yenilik uygulamalarına ağırlık verilmesi ve üretim sistemleri ile çevresel yönetim anlayışının bütünleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Hall (2000) çevresel tedarik zinciri yenilik anlayışının geliştirilmesi için yapmış olduğu çalışma sonucunda kullanmış olduğu modelin bazı tedarikçilerin niçin yeniliğe ve adaptasyona tam karşılık veremediğini ve bu modelin çevresel yenilikten daha fazlası içinde kullanılabileceğini açıklamıştır. Hines ve Johns (2001) yaptıkları çalışma ile yeşil tedarik zincirine bağlı olan müşteri ve tedarikçiler arası ilişkilerin uygulamalarında meydana gelen değişimi araştırmışlardır. Sonucunda ise yeşil adımları uygulamak isteyen müşteri veya tedarikçilerin bilgi ve birikimlerini paylaşmaları gerektiği ve diğer uygulama ve yenilikler hakkında da sürekli uyanık ve hazır olmaları gerektiği bulgusuna ulaşımlardır. Bowen (2001) Yeşil Tedarik 'in teorideki cazibesi ile pratikteki isteksiz ve

yavaş uygulamaları arasında görülen paradoksu incelemiştir. Bu inceleme sonucunda yeşil tedarik uygulamalarının analizi ile teoride yeşil tedarik konusunda uzman olan kişilerin, çevresel konular ele alındığında düşük seviyede uyum gösterdikleri ve istenen katkıyı vermedikleri bu durumun da aradaki uçuruma sebep olduğunu belirtmiştir.

Sarkis (2002) yeşil tedarik zinciri üzerine yaptığı bir başka değerlendirme çalışmasında ise yeşil tedarik zinciri faaliyetlerinin neler olduğu, YTZY'nin henüz tam anlamıyla oturmamakla beraber deneme yanılma sürecinde olduğu, bunun yanında devletin ve akademisyenlerin vermeleri gereken desteğin öneminden bahsetmiştir. Bir sonraki yıl Sarkis (2003) literatürde de birçok atıf alan model geliştirme çalışması ile yeşil tedarik zincirini geliştirmeye yönelik Analitik Ağ Süreci'ne (AAS) dayalı stratejik karar alma sisteminden ve bu sistemin avantaj ve dezavantajlarını bahsetmiştir. Böylelikle Sarkis YTZY'de stratejik karar alma süreçlerini ele alarak yeşil tedarik zincirine ilişkin farklı bir bakış açısı getirmiştir. Harland, Brenchley, ve Walker (2003) yaptıkları deneysel çalışmalarında çevresel sunum ve ekonomik dengenin öneminin fazlasıyla arttığı, özellikle de zorlu çalışma ortamları ve rekabete dayalı avantajın eksik olduğu işletmelerin bu durumla karşı karşıya kaldığı sonucuna varmışlardır.

Zhu ve Sarkis (2004) birlikte yaptıkları deneysel çalışmada YTZY uygulamaları ile çevresel ve ekonomik performans arasındaki ilişkiyi ve tam zamanında üretim ve kalite yönetim felsefesinin YTZY uygulamaları ve performansı arasındaki ilişkiyi irdemişlerdir. Bu çalışma kapsamında YTZY uygulamaları ve performans göstergelerini belirlemiş ve farklı sektörler üzerinden uygulamışlardır. Hazırlanan anket farklı sektörlerde (otomotiv, elektrik/elektronik, kimya, petrol ürünleri, çelik, enerji santralleri) faaliyet gösteren 186 firma tarafından cevaplanmıştır. Sonuç olarak YTZY uygulamalarının firmaların ekonomik göstergelerini pozitif ya da negatif yönde etkilediğine ilişkin olarak gerçek finansal verilere ulaşamaması nedeniyle kesin bir bilgi elde edilememiş ancak daha önceki literatür çalışmaları ve görüşmelerden elde edilen bilgiler doğrultusunda pozitif bir katkı sağlayabileceği varsayılmıştır. Farklı çalışmaların aksine üst düzey ve orta düzey yöneticilerin birlikte YTZY sürecine katkı vermelerinin çevresel performansı arttırdığı görüşüne varılmıştır. Ayrıca çalışmaya katılan birçok firmanın YTZY'nin önemini farkında olmasına rağmen, uygulamada başlangıç düzeyinde oldukları belirlenmiştir. Çevreye duyarlı tasarımın çevresel performansı arttırdığı belirtilen çalışmada, aynı zamanda bu tasarımın enerji tüketim, atık işleme ve bertaraf etme gibi

maliyetlerde düşüş sağladığı vurgulanmıştır. Sonuçta YTZY'nin bir firmanın operasyonel ve çevresel performansını etkilediği; YTZYnin kalite yönetiminden faydalanabileceği, tam zamanlı üretim ortamlarında ise dikkatli olunması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Luken ve Stares (2005) yeşil malzeme tedarikçisinde küçük orta ölçekli işletmelerin tedarikçilerinin karşılaştıkları engellerin belirlenmesini amaçladıkları çalışmalarının sonucunda küçük orta ölçekli işletmelerin tedarikçilerinin genelini yeni gelişen alanlara ilişkin yeterli bilgiye sahip olmadıkları ve eğer yeni uygulamaların kendilerine anlatılması ve uygulatılması halinde süreçlerinin ve performanslarının çok daha iyi olacağını vurgulamışlardır. Walton ve Galea (2006) yaptıkları çalışmayla e-ticaret yoluyla çevresel satın almanın benimsenme ve yaygınlaştırılma düzeylerini araştırmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda e-ticaretin, çevresel satınalma performansını artırıcı çok büyük bir güce sahip olduğu ve çok önemli işletme ve çevresel kazançların bu yolla elde edilebileceğini savunmuşlardır. Son olarak da çevresel satın almayı sağlayacak e-ticaretin uygulama adımlarının nasıl olacağı ve nasıl devam ettirileceğine ilişkin daha fazla araştırma ve çalışma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Hervani vd. (2005) YTZY performans ölçümü üzerine yaptıkları irdeleme çalışmalarında YTZY performans araçlarının tasarımı ve değerlendirilmesi için bütünlük bir sistemin gerekliliği sonucuna varmış ve olası çalışma alanlarından bahsetmişlerdir. Preuss (2005) yeşil tedarik zinciri yaklaşımları ve çevre yönetimi uygulamaları üzerine yapmış olduğu teorik çalışma sonucunda tedarik zincirlerinin yeşillenmesinde teoride konulan hedeflere ulaşılamamasının arkasındaki nedenlerin tedarikçi performanslarının değerlendirilmemesi, şirket kaynakları, bakış açısı vb. olduğunu ve buna ilişkin çözüm önerilerini belirtmiştir.

Rao ve Holt (2005) YTZY ve çevresel gelişim, ekonomik performans ve rekabetçilik arasındaki potansiyel ilişkiler üzerine Güney Doğu Asya'da yaptıkları araştırma ile orada faaliyet gösteren küçük ölçekli firmaları ele almış ve bu Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) ile elde ettikleri verileri değerlendirmişlerdir. SEM analizini Güney Doğu Asya'daki Çevresel Yönetim temsilcilerine ve ISO 14001 belgesine sahip firma yöneticilerine göndermişlerdir. 52 kabul edilebilir cevap (%10) gibi bir geri dönüş aldıkları çalışmalarının sonucunda tedarik zincirinin değişik aşamalarını yeşillendirmenin (yeşil üretim, iç faaliyetlerin yeşillendirilmesi, dış faaliyetlerin yeşillendirilmesi) bütünlük yeşil

tedarik zinciri ile sonuçlandırıldığı ve bunun da rekabetçiliği ve ekonomik performansı arttırdığı sonucuna varmışlardır.

Zhu vd. (2005) Çin'deki üretim firmalarını YTZY'ye iten sebeplerin neler olduğu ve bu konudaki uygulamalar ve performans çıktılarını anlamaya dönük yaptıkları çalışmanın sonucunda Çin'de her geçen gün artan çevre bilincine rağmen YTZY uygulamalarının istenilen düzeyde olmadığını tespit etmişlerdir. Vachon ve Klassen (2006) yeşil tedarik zinciri uygulamalarında başarı etmenlerinin neler olduğunu tespit etmek amacı ile yaptıkları araştırmalarının sonucunda ana tedarikçi ve müşterilerle teknolojik bütünleşmenin yeşil tedarik zincirine olumlu katkı sağladığını, lojistik açıdan incelendiği zaman ise sadece tedarikçilerin tedarik zincirine etkilerinin görüldüğünü belirtmişlerdir. Bhateja vd. (2011) yaptıkları ampirik çalışma ile Hindistan'da yer alan üretim sanayisinde YTZY'nin uygulanma düzeyini ve performansını analitik bir yaklaşımla ölçmeyi amaçlamışlardır. Araştırmanın sonucunda Hindistan'da yer alan birçok küçük ve orta ölçekli firmanın yeşil depolama ve dağıtım konusunda oldukça ileri olduklarını ve yarısından fazlasının diğer YTZY uygulamalarını farklı yönleriyle uyguladıklarını ve verimlilik elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Govindan vd. (2013) AHP yöntemini kullanarak Hindistan endüstrisindeki YTZY'nin gerçekleştirilmesi sürecinde karşılaşılan engelleri belirlemeyi ve sınıflandırmayı amaçladıkları çalışmalarını 138 firmanın üst ve orta düzey yöneticilerinin katılımı ile gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen anketler sonucunda 26 engelleyici unsur belirlenmiş ve bu engeller 5 ana kategoride toplanmıştır. AHP yönteminin kullanılması ile 5 kategoride yer alan 26 engelleyici unsur sınıflandırılmış ve bunun sonucunda teknoloji başlıklı ana kategori en önemli engelleyici unsur olarak tespit edilmiştir. Alt unsur olarak teknoloji eksikliğinin belirlendiği çalışmada daha sonra sırasıyla, dış kaynaklar, finansal endişeler, bilgi eksikliğinin geldiği belirtilmiştir. Sonuç olarak ölçme/izleme sisteminin, çevresel izleme ve performans açısından kritik bir süreç olduğu vurgulanmıştır.

2.4. Otomotiv Sanayinde YTZY Uygulamalarına İlişkin Literatür Araştırması

Gan (2003) Çin'deki otomotiv sanayinde yaşanan hızlı gelişme, bununla beraber daha yeşil bir karayolu taşımacılığı için yapılması gerekenleri incelediği araştırma çalışmasında, otomotiv sanayindeki yeşil uygulamaların gelişmesinde itici güçlerin neler

olduğunu araştırmış ve hızlı büyümenin getirdiği olumsuz etkilere ve zararlara da çalışmasında yer vermiştir. En önemli itici güç olarak hükümet politikaları, pazardaki rekabet ve teknolojik gelişmeleri belirtirken sonuçta doğaya verilen zararların başında karayolu taşımacılığında kaynaklı ortaya çıkan emisyon gazlarını göstermiştir. Sonuç olarak yaptığı araştırmalara göre teknolojik yeniliklerin ve bu yeni teknolojilerin kullanım oranının artmasının doğaya verilecek zararları azaltma da önemli bir katkısının olduğunu vurgulamıştır.

Crotty (2006) İngiltere'deki otomotiv sektörü için çıkarılan "Geri-Toplama Düzenlemesi" nin etkilerini ve bu düzenlemenin firmaları yeşil tedarik zinciri faaliyetlerini uygulama konusunda teşvik etme düzeyini incelediği çalışmasında, 2006 yılında çıkarılan yönetmeliğin; kullanım ömrü bitmiş araçların geri toplanma ve geri dönüştürülebilirlik oranlarında nasıl bir etki yaptığı ve istenen sonucun elde edilip edilemediğini araştırmıştır. Bu amaçla uzmanlar tarafından hazırlanmış olan niteliksel bir araştırmayla İngiltere'deki otomotiv yan sanayinde yer alan 1. ve 2. derece otomotiv tedarikçileri içerisinde belirlemiş olan 209 firmanın 38'ine ulaşılarak çeşitli sonuçlar elde etmişlerdir. Oldukça sınırlı sayıda firma ile yapılan bu çalışmanın sonuçlarına göre çıkarılan bu düzenlemenin tek başına firmaları yeşil tedarik zinciri faaliyetlerini uygulama konusunda teşvik etmediği, bunun yerine müşteri-tedarikçi işbirliğinin geliştirilmesinin yeşil uygulamaların hayata geçirilmesinde önemli rol oynadığı belirtilmiştir.

Zhu ve Sarkis (2006) farklı sektörlerin (otomotiv, elektrik/elektronik, enerji santrali) karşılaştırılması üzerine yaptıkları araştırmada bu sektörlerde yer alan firmaları YTYZ'ne iten sebepler ve uygulamaların neler olduğu ve farklılıkları belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla yarısını otomotiv sektörünün oluşturduğu 118 orta ve büyük ölçekli firma üzerine yaptıkları araştırmanın sonucunda farklı sektörler içerisinde özellikle otomotiv sanayindeki firmaları YTYZ'ne iten sebeplerin başında küreselleşme ve dış ticaretin artışıyla birlikte diğer ülkelerin ve Çin'in çevresel konularda çıkardıkları yasalar ve mevzuatların önemli bir etken olduğunu belirtmişlerdir. Çin'in yabancı pazarlara açılmasının sonucunda Çin'deki üreticilerin diğer pazarlardaki üreticilerle rakip olmaları ve Dünya Ticaret Örgütü'nün belirlediği kurallara uyma zorunluluğunun sonucu olarak özellikle dış ticarete bağlı büyüyen otomotiv sektörünün diğer sektörlerle kıyasla YTYZ uygulamalarının gerçekleştirilmesinde ve benimsenmesinde çok daha ileri bir konumda olduğu belirtilmiştir.

Zhu vd. (2007a) Çin otomotiv endüstrisinde yer alan 89 firma üzerine YTZY'ne ilişkin baskılar, uygulamalar ve performans düzeylerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda Çin'de yer alan otomotiv tedarik zinciri firmalarının çıkarılan mevzuatlar ve yasalardan ötürü YTZY konusunda büyük iç ve dış baskı gördüğü, ancak buna rağmen YTZY uygulamaları yeterli olmadığından operasyonel ve çevresel performansta yeterli iyileşme sağlanmadığı gibi ekonomik performanstaki gelişim bakımından da anlamlı bir değişiklik gözlemlenmediğini belirtmişlerdir. Zhu vd. (2007b) farklı sektörlerde yer alan firmalar YTZY'ne geçişlerinin sonucunda elde ettikleri performans çıktıların karşılaştırılmasına dönük yaptıkları çalışma ile sektörlere göre bu sonuçların farklılık gösterdiğini tespit etmişlerdir. Çalışma kapsamında farklı sektörlerdeki (otomotiv, elektrik/elektronik, kimya/petrol, enerji santrali) 171 firmaya ulaşılmıştır. Elektrik/elektronik sektörünün YTZY'yi uygulamada ve performans çıktıların da diğer sektörlere göre daha ilerde olduğu ve otomotiv sektörünün de en fazla yabancı baskısına maruz kaldığı belirtilmiştir.

Simpson vd. (2007) otomotiv tedarik zincirindeki tedarikçi müşteri ilişkilerini yeşil tedarik zinciri uygulamaları ve performans çıktıları yönünden değerlendirdikleri çalışmalarını 200 bağımsız parça üreticisi ve 500 civarında küçük ölçekli firmaya sahip olan Avustralya otomotiv sanayi tedarikçi ve müşterileri üzerinde gerçekleştirmişlerdir. 400 anketten 56'sının yanıtladığı (%15) çalışmanın sonucunda üreticilerinin YTZY'nin uygulanma sürecinde tedarikçilerine farklı yöntemler uyguladığını belirlemişlerdir. Buna göre stratejik öneme sahip tedarikçilerine çevresel programlarını geliştirme sürecinde daha yoğun bir destek veren üreticilerin, daha az öneme sahip tedarikçiler için sadece standart ISO 14001 belgesine sahip olmalarını istediğini belirtmişlerdir. Tedarikçilerden istenen bu çevresel programlarla amaçlanan tehlikeli olan ve olmayan kirleticilerle, atık oranlarının düşürülmesi olarak belirtilmiştir.

Zhu vd. (2008) Çin'de 4 farklı sektöre ilişkin (elektrik üretim, kimyasal/petrol, elektirik/elektronik, otomobil) YTZY'ne dair algıları, performansları ve kapalı çevrim tedarik zinciri ile olan ilişkiye dönük ampirik bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırmadan elde edilen gözlemler sonucunda YTZY uygulamalarının sektörlere göre farklılık gösterdiğini ancak özellikle otomotiv sektörüne ilişkin çıkarılan mevzuatlar ve sıkı kontrol mekanizmaları nedeniyle otomotiv sektöründe uygulamanın diğer sektörlere göre daha iyi sonuçlar verdiği ve daha başarıyla uygulandığını belirtmişlerdir. Ancak tüm bunlara

rağmen halen Çin endüstrisinde yer alan firmaların bu adaptasyon sürecine uyum sağlamalarına yardımcı olacak yeterli bilgi, birikim, tecrübe gibi etkin araçlara sahip olmadığını vurgulamışlardır. Son olarak da YTZY ile kapalı çevrim tedarik zinciri arasındaki ilişkiye dönük olası çalışma alanlarına yer vermişlerdir.

Shukla vd. (2009) yaptıkları çalışma ile Hindistan'daki otomotiv endüstrisi temelinde tedarik zinciri yönetim sistemi ile çevresel ve sosyal anlamdaki uygulamaların, performans göstergelerinin, önemli etkenlerin ve çevresel uygulamaların gerçekleştirilme düzeylerinin ne oranda olduğunun belirlenmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla sektöre ilişkin SWOT analizi yapılmış ve YTZY'nin ihtiyaçları, rekabetçi yönleri ve muhtemel engeller tespit edilerek, daha sonrasında yapılan yüz yüze görüşmeler ve tedarik sistemi içerisinde yer alan, ana üretici, 1. ve 2. derece tedarikçilerden 30' u ile gerçekleştirilen anket çalışması sonucunda veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilerin yorumlanması sonucunda çevresel ve sosyal tedarik zinciri uygulamalarının henüz çok başında olduğu, bunun yanında farkındalık ve bu konuya eğilim giderek arttığı belirlenmiştir.

Nunes ve Bennett (2010) otomotiv endüstrisindeki yeşil faaliyet girişimleri üzerine hazırladıkları çevresel raporların analizi ve karşılaştırma çalışmasında Dünyanın önde gelen en büyük firmalarından 3'ünü (Toyota, General Motors, Volkswagen) incelemiş ve bu firmaları birbirleriyle karşılaştırmıştır. Bu çalışma sonucunda büyük otomobil üreticilerinin çevresel faaliyetlere binadan üretim alanlarına ve kullanım ömrü bitmiş son ürünlere kadar her alanda tam uyum sağladıkları gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışma otomotiv üreticilerinin çevresel sorunlarla nasıl başa çıkabileceklerine ilişkin çeşitli yöntemlerde sunmaktadır.

Velioğlu vd. (2010) Türkiye'deki tersine tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının 4 farklı sektörlerde araştırılmasını amaçladıkları çalışmalarını Türk otomotiv, beyaz eşya, elektrik elektronik ve mobilya endüstrileri üzerine gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın örnekleme için İstanbul Sanayi Odası ISO 500 listesinde yer alan firmalar arasından insan kaynağını iyi yönetebilecekleri, yasal sorumlulukların bilincinde olacakları ve finansal kaynaklarına daha kolay ulaşılacağı düşüncesi ile 40 firma seçilmiştir. Bu firmaların en büyük kısmını ise %41 ile otomotiv sektörünün oluşturduğu belirtilmiştir. Yöntem olarak odak grup görüşmeleri, üst yöneticilerle mülakatlar ve daha derinlemesine bilgiler için anket yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda otomotiv sektörü, "önemli yetkinliklere

odaklanma”, “tersine tedarik zinciri yönetiminin maliyeti”, “ürün çeşitliliği”, “dönüş oranı”, “tersine tedarik zinciri açısından firmalarla ve tedarikçilerle işbirliği” konularında en hazır sektör olarak belirlenmiştir. Tersine tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının ele alınan firmalarda henüz başlangıç düzeyinde olduğu, firmaların geri dönüşüm süreçlerine ilişkin uygulamaları daha çok yasal yükümlülüklerden dolayı gerçekleştirdikleri, sistemdeki yetersizliklerinin en önemli sebebinin ise tersine tedarik zinciri yönetiminin etkin bir biçimde uygulanamamasından kaynaklandığı vurgulanmıştır. Tersine tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının istenen düzeyde gerçekleşmemesinin iç ve dış faktörlere bağlandığı çalışmada, Türkiye’deki yasal boşluklar, ekonomik teşvik tedbirlerinden kaynaklanan tereddütler ve isteksizlikler de tersine tedarik zincirinin gerçekleşmesini engelleyici unsurlar olarak belirtilmiştir. Ayrıca firmalar açısından Tersine yeşil tedarik zinciri stratejik bir unsur olarak görülürken uygulanmasındaki en önemli itici güç olarak yasal yükümlülükler gösterilmiştir. Çalışmanın orta ve büyük boy işletmelerde yapılmış olması bir sınırlama olarak belirtilirken ve Türkiye’de yapılan öncü bir çalışma olmasının da farkındalığı arttıracacağı vurgulanmıştır.

Luthra vd. (2011) Hindistan otomotiv endüstrisinde YTZY adımlarının uygulanması sürecinde karşılaşılan engellere ilişkin yapısal bir model geliştirmeyi amaçladıkları çalışmalarında literatürden ve çeşitli uzman görüşlerinden faydalanarak 11 engel tespit etmişlerdir. Aynı zamanda tespit edilen engelleyicileri sınıflamak amacıyla da etki gücü ve bağıllık düzeylerinin değişimine göre, değişkenleri özerk değişkenler, bağımlı değişkenler, bağlı değişkenler ve bağımsız değişkenler olmak üzere 4 gruba ayırmışlardır. Tespit edilen bu 11 engelleyici unsurun birbirleri ile olan ilişki düzeylerini belirlemek amacıyla kullanılan Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (ISM) tekniğinin sonucunda engelleyicilerden beşinin bağımlı değişkenler grubunda, 3’ünün bağlı değişkenler grubunda ve diğer 3’ünde bağımsız değişkenler grubunda yer aldığı belirtilmiştir. Çalışmada pazar rekabeti ve belirsizlik, yeşil faaliyetlerin uygulanmasındaki eksiklik, negatif yönlü maliyetler ve müşterilerin bilinçsiz olması en üst düzey engelleyiciler olduğu belirtilmiştir. Hükümet destek sistemlerindeki eksiklikler en önemli orta düzey engelleyici olarak belirtilmiş, bu engellerin kaldırılmasının YTZY ‘nin otomotiv sanayinden uygulanmasını kolaylaştırılacağı vurgulanmıştır.

Azevedo vd. (2011) yaptıkları deneysel vaka analizi çalışması ile otomotiv sektöründeki yeşil tedarik zinciri faaliyetleri ile tedarik zinciri performansı arasındaki

ilişkiyi araştırmışlardır. Bu amaçla Portekiz otomotiv tedarik zincirinde yer alan ve birbirine benzer özellikler gösteren, büyük üreticilerle çalışan ve 1. derece tedarikçi konumunda bulunan 5 tedarikçiye ait vaka çalışmaları alınarak bu çalışmalarda veriler çapraz vaka karşılaştırması ile derlenmiş ve 5 farklı tedarikçiye ait yeşil tedarik zinciri faaliyetleri ve yeşil tedarik zinciri performans göstergelerini içeren teorik bir çerçeve oluşturulmuştur. Daha sonra bu verilere dayanarak çalışmanın temelini oluşturacak kavramsal model ortaya çıkartılmıştır. Çalışmada elde edilen en önemli bulgulardan biri incelenen firmalar arasında en çok “ISO 14001 sertifikalandırması”, “atıkların azaltılması”, “tehlikeli ve toksik malzemelerin tüketiminin azaltılması” ve “tersine lojistik” faaliyetlerinin uygulandığı görülmüştür. Performans ölçütlerinden en çok kullanılanları da “çevresel maliyetler”, “kalite” ve “müşteri memnuniyeti” şeklinde belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmanın sonucunda yeşil faaliyetlerin gerçekleştirilmesi ile işletme performansı (müşteri memnuniyeti, kalite) arasında pozitif bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Yeşil faaliyetlerin ayrıca çevresel performansı ve ekonomik performansı arttırdığı, ancak ekonomik performans içerisinde yer alan çevresel maliyetlere ve maliyetlere negatif yönlü etki yaparken verimliliğe olumlu yönde bir etki yaptığı belirtilmiştir.

Olugu vd. (2011) otomobil yeşil tedarik zincirinin performansının değerlendirilmesi için bir ölçüm sistemi geliştirmek amacıyla yaptıkları çalışmalarının sonucunda ileri yönlü tedarik zincirinin değerlendirilebilmesi için 49 alt ölçümden oluşan 10 ölçek ve tersine tedarik zincirlerinin değerlendirilebilmesi amacıyla 23 alt ölçümden oluşan 6 ölçek geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu standartlara ilişkin anket hazırlanmış ve yeşil tedarik zinciri ile ilgilenen alanında uzman akademisyenlerle, Asya, Avrupa ve Amerika'daki otomotiv endüstrisinde yer alan firmalara gönderilmiştir. Geri dönüş oranının % 16,5 civarında kaldığı bu çalışmanın sonucunda geliştirilen ölçeklerin sadece teorik açıdan değil aynı zamanda pratikte uygulanabilirlik açısından da kabul edilebilirliği belirlenmiştir. En öne çıkan sonuçlardan bazıları üst yönetimin tersine lojistiğin verimliliği üzerinde çok fazla etkiye sahip olduğu, aynı şekilde tedarikçi etkinliğinin ve sorumluluğunun da tersine lojistiğin verimliliğini anlamlı düzeyde etkilediği belirtilmiştir.

Bunun yanında beklenenin aksine müşterilerin sürece katılım oranının tersine lojistiği, ileri yönlü zincirde olduğu kadar etkilemediği ya da olumlu bir katkı sağlamadığı sonucu elde edilmiştir. Sonuç olarak çalışmanın YTZY uygulamalarının henüz tam anlamıyla uygulanabilir olmaması ve bu nedenle anketlerin asıl uygulayıcılardan ziyade

sektörden belirli firmalar, uzmanlar ve akademisyenlerce cevaplanmış olmasının bir eksiklik olduğu belirtilmiştir.

Lin vd. (2011) otomotiv üretim sanayinde belirsizlik altında DEMATEL yönteminin kullanılarak YTZY'nin performansını geliştirilmesini amaçladıkları bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda çevre dostu malzemelerin satın alınmasının ilk başlarda maliyeti yükselttiği ve bununda yöneticiler tarafında istenilmediği, ancak sonraki zamanlarda alınan bu ürünlerle çevreye verilen zararın azaltıldığı, atık yönetimi ve enerji tüketimi gibi konularda da karlılık elde edildiği vurgulanmıştır. Ayrıca otomotiv sanayinde yer alan üreticilerin çevre dostu faaliyetleri arttırabilmeleri için tedarikçileri ile de işbirliğini ve bilgi paylaşımını arttırmaları gerektiği belirtilmiştir.

Büyüközkan ve Çiftçi (2012) bulanık ANP yaklaşımını kullanarak yeşil üretim konusunda otomotiv sektörünün önde gelen firmalarının birinde YTZY uygulamalarının değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla yatıkları çalışmanın sonucunda bulanık ANP modeli ile ikili karşılaştırmada ortaya çıkan kararsızlık ve belirsizliklerin çözüldüğü ve bu modelin kullanılmasının uzmanlara çevresel duyarlılıklar açısından karşılaştırma imkânı tanıdığını belirtmişlerdir.

Habidin vd. (2012) farklı yeşil uygulamaların (teknoloji entegrasyonu, lojistik yönetimi, tedarikçi odaklılık, müşteri odaklılık) yeşil yenilikler (yeşil ürün geliştirme, yeşil süreç geliştirme) üzerine etkilerini analiz etmek ve hangi uygulamaların yeşil yenilikleri etkilediğini araştırmak amacıyla geliştirdikleri yapısal eşitlik modelinde (YEM) Malezya otomotiv endüstrisini baz almışlardır. Yeşil uygulamaların, yeşil yenilikler üzerinde doğrudan etkisinin olduğunu savundukları çalışmalarını Malezya'nın önde gelen 2 ana otomobil üreticisinin elektrik, elektronik, metal, plastik, kauçuk ve diğer parçalarını üreten tedarikçileri üzerinde uygulamış ve bunun sonucunda Yeşil uygulamalar ile yeşil yenilikler arasında anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varmışlardır.

Azevedo vd. (2013) yenilikçi bir yaklaşım olan ve uzmanlar ile akademisyenlerin tecrübelerine dayalı olarak geliştirilen bütünleşik değerlendirme modeli (Ecosilient Index) ile otomotiv tedarik zincirinde ilişkin yeşillenme ve esneklik faaliyetlerinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Otomotiv tedarik zincirinde yer alan ve odaklanılacak olan tedarik zinciri örnekleri Delfi tekniği kullanılarak belirlenmiş ve vaka analiz yöntemi

kullanılarak tedarikçi/üretici bağlantıları belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen bulgular gerçek hayatta yer alan tedarik zinciri örnekleri ve yönetsel uygulamalarla onaylanmıştır. Çalışmanın sonucunda yeşil faaliyetlerin enerji tüketimini azaltmada en önemli yeşil adım olduğu vurgulanmıştır.

Caniels vd. (2013) Alman otomotiv tedarikçileri üzerine yaptıkları deneysel çalışmalarında yeşil tedarik zincirinde tedarikçilerin katılımlarını incelemişlerdir. Bu amaçla geliştirdikleri kavramsal çerçeve içerisinde yeşil girişimlerde tedarikçi katılımı, müşteri isteklerinin araştırılması, tedarikçi istekliliği, müşteri desteği ve mümkün olan diğer destekleyici unsurlar yer almaktadır. Geliştirilen çerçeve ve hipotezler 54 Alman otomotiv tedarikçisine yapılan anketle test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda tedarikçi istekliliği ve müşteri istekleri tedarikçi katılımındaki en önemli sürücüler olarak belirlenmiştir. Ayrıca daha önce yapılan çalışmalarla tutarlılık göstermediği belirtilmesine rağmen bu çalışmada ne ilişki türünün ne de müşteri yatırımının, tedarikçi istekliliği üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı da belirlenmiştir. Bunun yanında üretim hacmi ve tedarikçi büyüklüğünün bazı hipotezler üzerinde farklı sonuçlar verdiği vurgulanmıştır.

Diabat vd. (2013) otomotiv sanayinde yeşil tedarik zinciri faaliyetleri ve performanslarının incelenmesi üzerine yaptıkları araştırmalarında YTZY faaliyetleri ve performans çıktıları arasındaki ilişki düzeylerini incelemek amacıyla bulanık çok-kriterli karar verme metodu (Bulanık TOPSIS) kullanılarak, oluşturulan anketlerle gelişmekte olan ülkelerdeki otomotiv firmalarının YTZY’i faaliyet ve performans çıktılarına ilişkin verileri toplanmış ve değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile otomotiv sanayinde uygulanan YTZY faaliyetleri, YTZY performans çıktılarına olan etki düzeylerine göre sıralanmış ve önem düzeyleri belirlenmiştir. Buna göre; çevresel tasarım, müşterilerle çevresel işbirliği ve tersine lojistik faaliyetleri en önemli 3 YTZY faaliyeti olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde en önemli YTZY performans göstergesi olarak iç çevresel performans bulunurken, daha sonra sırasıyla soyut performans çıktıları, işletme performansı, pozitif ekonomik performans ve negatif ekonomik performans yer almıştır. YTZY faaliyetlerinin sıralanma önceliklerinin, firmaların ve firmalarda görev alan yöneticilerin uzmanlıklarına ve tecrübelerine göre de değişebildiği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanında YTZY uygulamalarının sadece üretim faaliyetleri ile sınırlandırılmayacağı, aynı zamanda tedarik zinciri boyunca ileri ve geri yönlü olarak tedarikçilerin ve müşterilerin sürece katılımı gerektiği belirtilmiştir. Paydaşların YTZY performansının artırılabilmesi için tasarımdan,

üretim, paketlenmeden teslimata kadar üretimin her aşamasında katılımının sağlanması gerektiği de vurgulanmıştır.

2.5. YTZY Yönetiminde KDTZ Uygulamalarına İlişkin Literatür Araştırması

Geçmişte yapılmış olan birçok KDTZ ve YTZY çalışmasının ağırlıklı olarak kavramsal modelleri veya tanımlamaları içerdiği görülmüştür (Flapper vd., 2005). Seuring (2013) YTZY üzerine yaptığı analiz çalışması sonucunda son 15 yılda yapılan 300 çalışmanın sadece 36 tanesinin niceliksel olduğunu belirtmiştir. Bu veri aynı zamanda YTZY temelinde bir KDTZ modelinin geliştirilmesinde destekleyici bir bilgi olarak kullanılmıştır. Yayınlanmış olan birçok YTZY çalışması ileri tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik üzerine eğilmiş ve bu amaçla AHP, oyun teorisi ve çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanmışlardır. (Fahimnia, 2013). KDTZ üzerine yayınlanmış çalışmalar incelendiği zaman birçok çalışmada öncelikli amacın çevresel duyarlılıklardan ziyade, karlılık, karar verme ve maliyet enküçüklenmesi olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında çevresel duyarlılıklar birinci öncelik olarak ele alınmasada KDTZ ağ tasarımının içerisinde önemli bir etken olarak yer almakta ve çevreye duyarlı imalat için geri dönüşüm yöntemlerini ön plana çıkaracak modeller geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Krikke vd (2004) yaşam döngüsü değerlendirmesi temelinde birçok KDTZ ağ tasarımını ele aldıkları çalışmalarında KDTZ süreçlerinde modüler ürün tasarımının çevreye duyarlı imalat ve ekonomik verimlilik konusunda firmalara avantaj sağladığını belirtmişlerdir.

Atasu vd. (2008) çalışmalarında yeniden üretimin karlılığını ve yeniden üretilmiş ürünlerin firmalara sağladığı ürün pazarlama fırsatları ve yeşil uygulamalar konusundaki imaj katkısını ele almışlardır. Çalışma sonucunda yeniden üretilmiş ürünlerin pazarda orjinal ilk ürünlerle rekabet edebilir düzeyde olduğu ve çevresel katkı yönünden de firmalara olumlu bir imaj kazandırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Chaabane vd. (2012) alüminyum endüstrisini ele aldıkları çalışmalarında farklı operasyonel stratejiler ve maliyetler altında çevresel ve ekonomik hedefler arasında bir

ödünleşme tablosu oluşturmuş ve ürün geri dönüşümü, ürün yenilemesi ve zararlı emisyon gazlarının birlikte ele alındığı yeni bir KDTZ modeli önermişlerdir.

Kumar vd. (2012) çalışmalarında girdi = atık + ürün eşitliğine dayalı bir analitik çerçeve sunmuşlardır. Bu kapsamda Coca-Cola ve Apple firmalarının YTYZ faaliyetleri incelenmiş ve sonuç olarak tedarik zincirlerinde ortaya çıkan atıkların azaltılmasının şirketlerin karlılık düzeylerine olumlu yönde katkı yaptığı sonucuna ulaşıldığı belirtilmiştir.

Fahimnia vd. (2013) çalışmalarında bir işletme için karbon ayak izi ile ekonomik hedefler arasındaki dengeyi sağlayacak bir KDTZ modeli önermişlerdir. Çalışma sonucunda karbon fiyatlarının KDTZ üzerine etkisi gerçek bir örnek olay üzerinden değerlendirilmiştir.

2.6. Otomotiv Sanayinde KDTZ ve TTZ Ağ Tasarımlarına İlişkin Literatür Araştırması

Otomotiv sektörü üzerine yapılan çalışmalardaki KDTZ ve TTZ ağ tasarımları ve matematiksel modeller ile alakalı literatür çalışması aşağıdaki şekilde özetlenmiştir;

Schultmann vd. (2006) seçilen belirli malzemelerin yeniden işlenerek Almanya'daki ÖTA'lara ait geri dönüşümün artırılmasına ilişkin bir araştırma yapmışlardır. Tersine lojistik açısından ÖTA'lara ait plastik parçaların dağıtımını ve yeniden işlenmesine ait ağ tasarım modeli yasaklı arama metodunun kullanıldığı araç rotalama problemi ile gerçekleştirilmiştir. Kar motivasyonu ve kanuni motivasyon olarak 2 farklı motivasyon unsurunun tanımlandığı ve parçalama merkez sayılarına bağlı 3 farklı senaryonun geliştirildiği modelde, amaç ağ içerisinde gerçekleştirilen her bir tür faaliyetine ilişkin maliyetlerin enküçülenmesidir. Sonuç olarak benzer tersine lojistik faaliyetlerin ortaya çıkmasının beklendiği ve geliştirilen yaklaşımın bilgi tabanlı bir platformla birleştirilmesiyle kapalı çevrim tedarik zinciri içerisinde yer alan farklı paydaşlarında koordine edilebileceği belirtilmiştir.

Williams vd. (2007) çalışmalarında ömrünü tamamlamış araçların (ÖTA) farklı bileşimleri ve demir ve demir olmayan metallerin farklı fiyatlarına göre yükleme ve yeniden işleme kararlarına ilişkin geri dönüştürücülerin duyarlılıklarını analiz etmişlerdir.

Yükleme için malzemelerin birleşmesinin gerekli olup olmadığına karar vermek amacıyla da karma tamsayılı programlama modeli kullanılmıştır. Uygulamada aradaki farkı gözlemleyebilmek amacıyla hafif ve ağır, demir olmayan metallerin karışık olarak yüklenmesi ile hafif ve ağır, demir olmayan metallerin ayrı ayrı yüklendiği ve yeniden işlendiği farklı senaryolar gözlenlenmiştir.

Salema vd. (2007) tersine tedarik zinciri ağ tasarımı problemi için çok ürünlü, kapasite limitli ve talep/geri dönüş belirsizliği kısıtları altında dal-sınır algoritmasına dayalı karma tamsayılı matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelin amacı; açılış maliyeti, depo maliyeti, demontaj merkezlerine ilişkin maliyetler, talep karşılama maliyeti, kullanım ömrü bitmiş malzemelerin geri dönüştürülme maliyeti, karşılanamayan talep maliyeti ve karşılanamayan geri dönüş maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin enküçüklenmesi olarak belirtilmiştir. Çalışma sonucunda modelin uygunluğu teyit edilmiş ve hesaplama zamanları tatmin edici düzeyde bulunmuştur.

Qu ve Williams (2008) otomotiv parçalayıcıların, farklı kaynaklardan aldıkları araç hurdalarının hangi fiyata alındığının hesaplanmasını da içeren tersine üretim planlama stratejilerine ihtiyaç duydukları belirtilen çalışmada, tersine üretim planlama ve fiyatlama problemi için satılan hurdaların geri kazanımından elde edilen karı enbüyükleyen doğrusal olmayan bir model geliştirmişlerdir. Parçalayıcıların fiyatları bağımsız kabul edilirken, iki hurda fiyatı karşılaştırılmış ve üç farkı demir metal bileşeni (demir, demir olmayan hafif metaller ve demir olmayan ağır metaller) ele alınmıştır. Çalışma sonucunda planlama birimi ile koordinasyonun arttırılması sonucunda hurda bileşenine bağlı olarak satınalma fiyatının belirlenmesinin, satınalma, depolama ve süreçlerde, net karlılığı %7-%15 oranında arttırabileceği belirtilmiştir.

Taş (2009) çalışmasında akü geri dönüşüm sistemi için maliyetleri en küçükmeyi amaçlayan çok ürünlü karma tamsayılı bir programlama modeli geliştirerek gerçek bir sistemi modellemeye çalışmıştır. Yapılan çalışmada geri dönüşümde araç tiplerinin dikkate alınmadığı ve araç tiplerinin de dikkate alındığı iki farklı model geliştirilmiş ve modellerin çözülmesi sonucunda maliyetin en küçüklemesini sağlayacak farklı ağ tasarım önerileri yapılmıştır.

Rivera ve Ertel (2009) Meksika'daki ömrünü tamamlamış araçların toplanması için geliştirdikleri tersine lojistik ağ tasarım problemi ile toplam maliyeti enküçüklemeyi amaçladıkları bir model geliştirmişlerdir. Ayrıca ÖTA'lara ilişkin mevcut yönetim sistemi ve gelecek trendlerinin de araştırıldığı çalışma da üç farklı geri toplama ağına ilişkin senaryo geliştirilmiş ve modelin çözülmesi ile de her birinin toplama kapasitelerinin farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışmada farklı yerleşim planlarına göre taşıma maliyetleri geri toplama ağ tasarımının temelini oluştururken, geri toplamaya ilişkin fayda maliyet analizi, sökme ve arındırma süreçleri göz ardı edilmiştir. Sonuç olarak da geleneksel sistem ile tersine lojistik arasında kopukluk olduğu ve tersine lojistik ağında farklı ürünleri kapsayan bir toplama merkezinin bulunmadığı belirtilmiştir.

Sasikumar vd. (2010) Hindistan otomotiv sektöründeki kullanılmış lastiklere ilişkin çok aşamalı ve tersine lojistik ağındaki karlılığı enbüyükleyecek karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişlerdir. İkinci el piyasasındaki kamyon lastik geri dönüşümüne ilişkin gerçek olay çalışması sunulan çalışmada, toplama merkezi ile müşteri arasında kabul edilebilir en büyük uzaklığın belirlenmesine dönük olarak da duyarlılık analizi yapılmıştır. Geliştirilen modelle üretim akışı ile ilgili dağıtım merkezleri, yerleri ve açılacak tesislerin sayısına ilişkin karar çözümleri geliştirilmiştir. Sonuç olarak ise %30 ila %50 oranında ucuza satılan ve yeni lastiklerle aynı oranda kullanılabilen yenilenmiş lastik alımının maliyeti azaltma da etkili bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Büyükkeklik (2011) çalışmasında atık akümülatörler için toplam maliyetleri en küçükleyecek tersine lojistik ağ tasarım modeli geliştirmiştir. Bu kapsamda bayiler, toplama merkezleri, geri kazanım tesisleri ve akümülatör üretim tesisinden oluşan 4 düzey, 3 aşamalı tersine lojistik ağı, 0-1 karma tamsayılı doğrusal programlama problemini çözerek hangi tesislerin açılıp kapanacağını ve tesisler arasında taşınacak miktarları belirlemiştir. Ayrıca çalışmasında farklı senaryo analizleri ile de problemi test etmiş ve karşılaştırmalara yer vermiştir.

Baenas vd. (2011) tüketiciler açısından marka imajının güçlendirerek çevresel uygulamalarla rekabet avantajının elde edilebileceğinden ve firmaların sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilmek amacıyla maliyetlerini enküçüklemeleri gerektiğinden bahsettikleri çalışmalarında örnek olarak Brezilya Sao Paulo'daki otomotiv akü endüstrisini incelemiştir. Büyük, orta ve küçük ölçekli işletmelerin yer aldığı araştırma

sonucunda; büyük ve orta ölçekli işletmelerin ileri ve tersine yönlü akışlara ilişkin daha duyarlı çalışmalar yaptıkları ve çevreye duyarlı faaliyetler konusunda farkındalığa sahip oldukları belirtilmiştir. Küçük ölçekli işletmelerin ise çevreye duyarlı faaliyetler ve tersine lojistik faaliyetleri konusunda gereken farkındalığa sahip olmadıkları, izleme ve kontrol sistemlerinin bulunmadığı ve çevreye zarar verecek şartlarda ve niteliklerde üretim yaptıkları sonucuna varılmıştır.

Vidovic vd. (2011) toplama noktaları için eniyi sayıda lokasyonun belirlenmesinin, ömrünü tamamlamış araçlar için oluşturulacak tersine lojistik ağlarının en önemli kısımlarından birini oluşturduğunu belirttikleri çalışmalarında, aynı bölgede birden fazla toplama merkezi olabildiği gibi seyrek geri dönüşlerin olduğu bölgelerde de bazen hiçbir toplama merkezinin bulunmadığını belirtilmişlerdir. Bunun durumda ortaya çıkan geri toplama hatalarının enküçüklenmesi amacıyla, toplanan ÖTA sayısını enbüyükleyecek bir matematiksel model, Belgrad şehir sınırları baz alınarak uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda önerilen yaklaşımın küçük boyutlu problemler üzerinde başarılı olduğu ve toplama merkezlerinin belirlenmesi konusunda verimli sonuçlara ulaşıldığı belirtilmiştir.

Vahdani vd. (2012) belirsizlik altında kapalı çevrim tedarik zincirindeki tesislere ait güvenli bir ağ tasarımı için yeni bir model geliştirmişlerdir. Bu amaçla, lojistik ağındaki tesislerin başarısızlıklarından sonra ortaya çıkan toplam maliyetleri ve beklenen taşıma maliyetlerini enküçükleyecek iki amaçlı matematiksel programlama modelini ve bu modeli çözebilmek amacıyla da bulanık çok amaçlı programlama ve kuyruk teorisi ile dayanıklı eniyileme modelinin birleşiminden oluşan yeni bir karma çözüm metodolojisini sunmuşlardır. Hesaplamalar bir dizi farklı problemin gerçekçi bir ağ örneği üzerinde denenmesiyle sınanmıştır.

Fedai Deniz (2012), Denizli ilinde ömrünü tamamlamış lastiklerin geri kazanımı için karma tamsayı programlama yöntemini kullanarak, tersine lojistik ağ tasarımlarındaki gelirler ve giderler arasındaki farkı en küçükleyecek ürün akışını sağlayacak bir model geliştirmeye çalışmıştır. Bu kapsamda 3 aşamadan oluşan bir tersine tedarik zinciri tasarlanmış ve 6 farklı senaryo için model geliştirilerek ve her senaryo için gerekli olan maliyetler belirlenmiş ve senaryo analizleri sonucunda her senaryo için en uygun depo ve geri kazanım tesisi, kapasite ve konumları belirlenmiştir.

Ramezani vd. (2013) çalışmalarında belirsiz çevre koşulları altında ileri yönlü (tedarikçiler, dağıtım merkezleri, fabrikalar) uç ve tersine (toplama merkezleri ve bertaraf etme merkezleri) iki aşamalı akışın bulunduğu bir tedarik zincirinin stokastik çok amaçlı ağ tasarım modelini geliştirmişlerdir. Bu model ile çalışmanın sonucunda tedarik zincirindeki toplam karlılık ve müşteri hizmet düzeyinin enbüyüklenmesi amaçlanırken, tedarikçilerden alınan hammaddelerde ortaya çıkan hatalı parça sayısının enküçüklenmesini sağlayacak ağ tasarımını oluşturmayı amaçlamışlardır. Ayrıca finansal risk unsurlarının da amaçlarla ilişkilendirilmesi ile Pareto eniyi sonuçlara ulaşıldığı belirtilmiştir.

Mahmoudzadeh vd. (2013) çalışmalarında İran'daki toplama ve parçalama işlemlerinin daha alt seviyelerde ve bağımsız firmalarca gerçekleştirilmesini sağlayan üçüncü parti lojistik tesislerine ilişkin ağ problemini modellemişlerdir. Ömrünü tamamlamış araçlara ilişkin geliştirilen model, açma-kapama, işletme ve taşıma maliyetlerinin tümünü içeren toplam maliyeti enküçükleyecek karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ile çözümlenerek eniyi malzeme akışı ve dağıtımını sağlayacak hurda alanlarının yerleşimi planlanmıştır. ÖTA'lar malzeme yapısındaki farklılığa bağlı olarak üç kalite seviyesinde kategorize edilmiş ve model iki farklı senaryo üzerinden test edilmiştir. Sonuç olarak birinci ve ikinci kalite kalitedeki ürünlerin geri dönüşümüne odaklanan hurda alanları açıldığında, dağıtım süreçlerinde uzmanlaşma eğilimi görüldüğü belirtilmiştir.

Özet olarak, literatürdeki tersine lojistik ve kapalı döngü tedarik zinciri ağı tasarımını konu edinen çalışmalara bakıldığında zaman, gerek bağımsız (tersine) gerekse bütünleşik (kapalı döngü) modellerin, çoğunlukla kapasite, talep, stok vb. kısıtlar altında maliyetin en küçüklenmesi veya karın en büyüklenmesi olarak ele alındığı görülmüştür. Ayrıca literatür taramaları sonucunda geri dönüşüm modellerinin birçoğunun tüm ağı kapsayacak nitelikten ziyade daha çok odak noktaları seçerek (Örneğin yalnızca ayrıştırma merkezinin ele alınması, ayrıştırma merkezi içerisinde yer alan öğütücü sisteminin ele alınması veya yenileme merkezine odaklanılarak bu merkezin incelenmesi gibi) bu merkezlerdeki faaliyetleri iyileştirmeye odaklandığı görülmüştür.

2.7. KDTZ Ağ Tasarımına Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımlarının Uygulanmasına İlişkin Literatür Araştırması

Tedarik zinciri ağ tasarımı problemlerinde belirsiz etmenlerin çokluğu ve birbirleri ile çelişkili amaçların fazla olmasından dolayı geleneksel deterministik yöntemler etkili çözüm üretmede yetersiz kalabilmektedir (Liang, 2008). Belirsizliğin dikkate alınması kapsamında, stokastik programlama ve bulanık küme teorisi olmak üzere temelde iki yaklaşım bulunmaktadır (Wei ve Zhao, 2011). Bilindiği kadarıyla tedarik zinciri çalışmalarında stokastik programlamanın başvurulduğu çalışmalar olsa da, karar vericilerin ellerindeki yok denecek kadar az olan geçmiş veri eksikliği bu yöntemin uygulanabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Wei ve Zhao, 2013). Bundan dolayı tedarik zinciri ağ tasarımı problemlerinde bulanık küme teorisinin stokastik programlamaya nazaran daha aktif kullanılması beklenen bir durumdur (Peidro vd. 2009a). Bu belirsizlik durumu, Zadeh (1965) tarafından önerilen “bulanık küme teorisi” ile dilsel olarak “az / çok”, “biraz” gibi formlarda ifade edilebilir hale gelmiştir. Kesin olmayan bilginin sayısal gösterimi olan bulanık sayıların kullanılması ile gerçek dünya problemlerinin belirsiz yapısının modellenmesinde kullanılacak yeni matematiksel teknikler geliştirilmiştir (Paksoy vd. 2013). Son yıllarda çok farklı alanlarda kullanılmaya başlanan bulanık mantık içsel ve dışsal olarak çok fazla belirsizliğin olduğu tedarik zinciri ağı tasarımı problemlerinde de başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Peidro vd. 2009a).

Literatür taramasının bu kısmında, ilk olarak genel tedarik zinciri ağı tasarımına ilişkin bulanık mantık uygulamalarına değinilirken, daha sonra belirsizliğin arttığı ancak literatürde pek fazla yer almayan TTZ/KDTZ ağ tasarım problemlerine ait birtakım araştırmalara yer verilmiştir.

Lai (1996), çok seviyeli programlama problemlerinin çözümü için eniyi üyelik kavramını önermiştir. Üst seviye karar verici, kendi amacına göre eniyi üyeliğini belirler, alt seviye karar vericiler verilen kısıtlara göre, üst seviye karar vericinin kararına göre, kendi kararlarını hesaplayarak eniyi çözüme ulaşan bir algoritma önermiştir. Üç seviyeli programlama problemi üzerinde algoritma uygulanarak çözümler açıklanmıştır.

Shih vd. (1996), çok karar vericili hiyerarşik yapılarda merkezi olmayan planlama problemlerinin çözümü için çok amaçlı eniyileme ve tolerans üyelik fonksiyonları kavramlarını kullanarak bulanık bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çözüm yöntemi üyelik

fonksiyonlarının değişikliğine dayanmaktadır ve böylece çok seviyeli problem tek bir ardıştırma ile çözülebilmektedir. Önerilen yöntem çeşitli örnekler üzerinde uygulanmış ve klasik yöntemlerle karşılaştırması yapılmıştır.

Lai (1996), ve Shih vd. (1996), tarafından geliştirilen bulanık programlama yaklaşımında, üst seviyede hem karar değişkenleri hem de amaç fonksiyonu için bulanık amaçlar belirlendiğinden bulanık amaçlar tutarsız olduğu zaman istenmeyen sonuçlar oluşabilmektedir. Bu tür problemlerin üstesinden gelebilmek için, Sakawa vd. (1998), karar değişkenleri için bulanık amaçlar giderildikten sonra, çok seviyeli doğrusal programlama problemleri için etkileşimli bulanık programlamayı önermişlerdir. Etkileşimli yöntemlerde, her seviyedeki karar vericinin bulanık amaçları belirlendikten sonra, her seviyedeki tatmin seviyesi dengesi dikkate alınarak üst seviyedeki karar vericinin tatmin seviyesi güncellenerek istenen tatmin sonucuna ulaşılır. Önerilen yöntemin algoritması, ilk önce iki seviyeli programlama problemleri için açıklanmıştır. Stackelberg'in algoritmasının aksine, üst seviyedeki karar verici bulanık amacını ve enküçük tatmin seviyesini belirler ve alt seviyedeki karar verici bu tatmin seviyesini dikkate alarak kendi bulanık amacını eniyilemeye çalışır. Daha sonra çok amaçlı programlama problemleri için gerekli algoritma elde edilmiştir. İki seviyeli ve üç seviyeli doğrusal programlama problemleri, önerilen yöntemin uygunluğunu göstermek için açıklanmıştır.

Chang vd. (1997) katı atık yönetimi için en uygun toplama/dağıtım ağının tasarlamasında kullanılmak üzere bulanık çok amaçlı KTDP modeli geliştirmişlerdir. Gürültü, kaza, kirlilik gibi belirsiz çevresel faktörleri ve dağıtım maliyeti gibi ekonomik faktörleri içine alan modeli Tayvan'daki bir katı atık toplama işletmesine uygulamışlardır. Petrovic vd. (1999), bulanık ortamdaki bir tedarik zincirinin davranışını modellemişlerdir. Tanımlanan bulanık tedarik zinciri modeli, tedarik zincirindeki her bir stok için belirsizlik altında, makul maliyetler ile tedarik zincirinin kabul edilebilir bir servis düzeyini veren sipariş miktarlarını belirlemek için geliştirilmiş ve özel amaçlı benzetim programı ile işletilerek sınırlı bir zaman ufku süresince tedarik zincirinin performans ölçüleri ve dinamikleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak belirsiz müşteri talebinin ve tedarik zinciri boyunca belirsiz teslimlerin, tedarik zincirinin davranışına büyük etkisi olduğu ortaya konmuştur.

Sakawa vd. (1999), genetik algoritma yardımıyla çok seviyeli 0-1 tam sayılı programlama problemleri için etkileşimli bulanık programlamayı önermişlerdir. Lai (1996)

ve Shih vd. (1996)'nın yöntemindeki zorlukların üstesinden gelebilmek için, karar değişkenlerinin bulanık amaçları giderildikten sonra, 0-1 tam sayılı programlama problemi olarak formüle edilmiştir. Her seviyedeki karar vericinin bulanık amaçları belirlendikten sonra, herhangi iki seviyedeki karar vericinin tatmin dengesi dikkate alınarak, karar vericilerin tatmin seviyelerinin güncellenmesi ile tatmin çözümüne ulaşılmıştır. Üç seviyeden oluşan 0-1 tam sayılı programlama problemi örnek olarak ele alınmış ve önerilen algoritmanın sonuçları tartışılmıştır.

Sakawa vd. (2000), bulanık parametrelili çok seviyeli doğrusal programlama problemleri için etkileşimli bulanık programlamayı sunmuşlardır. Hem teknoloji katsayılarının, hem de sağ taraf değerlerinin bulanık olarak ele alındığı çalışmada etkileşimli bulanık programlamada bulanıklık ile nasıl çözüm elde edilebileceği gösterilmiştir. Sakawa ve Nishizaki (2001), bulanık parametrelili iki seviyeli kesirli doğrusal programlama problemleri için etkileşimli bulanık programlamayı önermişlerdir. Bulanık sayılarda seviye kümesinin kullanılması ile iki seviyeli kesirli doğrusal programlama tanıtılmıştır. Her seviyedeki kesirli doğrusal amaç fonksiyonları için karar vericilerin bulanık amaçları, ilgili doğrusal üyelik fonksiyonlarının elde edilmesiyle ölçülmüştür. Bu yöntemde üst seviyedeki karar verici (KV1) hedef değerini belirlemekte ve tatmin seviyelerinin güncellenmesi ile istenen çözüme ulaşılmaktadır.

Sakawa vd. (2001a), genetik algoritma yardımıyla bulanık parametreler kullanarak ile çok seviyeli 0-1 programlama problemleri için etkileşimli bulanık programlamayı önermişlerdir. Çalışmada, etkileşimli programlamada bulanık parametrelerin olması durumunda sezgisel yöntemlerin de uygulanabileceği gösterilmiştir. Sakawa vd. (2001b), bir ev eşyası imalatçısı ve bu imalatçının ürünlerini dağıtan bir firmanın üretim ve iş gücü ataması problemi ile ilgilenmişlerdir. İki seviyeli programlama problemi hem imalatçı ve dağıtıcı firma için hem kar enbüyüklemesi hem de sistemin karlılık enbüyüklemesi için oluşturulmuştur. İlk seviyede, üst seviyedeki karar vericinin belirlediği enküçük tatmin seviyesi ile ikinci seviyedeki karar vericinin karını enbüyük yapacak çözüme ulaşılır. Daha sonra üst seviyedeki karar verici enbüyük tatmin seviyesini belirler ve etkileşimli bir şekilde her iki firmayı tatmin edecek çözüme ulaşılır. İkinci seviyede, her iki firmanın karını enbüyük yapacak satışlardan elde edilen karı gösteren bir oran oluşturulur ve iki seviyeli kesirli doğrusal programlama problemi, karlılık enbüyüklemesi problemine

uygulanır. Çalışmada, etkileşimli bulanık programlamanın gerçek problemlere uygulanabilirliğini gösterilmiştir.

Petrovic (2001) bir önceki çalışmasında tanımladığı modelini, teslimat sürelerindeki belirsizliği de bulanık küme teorisi içine alarak genişletmiştir. Müşteri talebi ve hammadde dış tedarikinin yanı sıra, tesislerdeki işlem/sipariş teslim süreleri de belirsiz olarak düşünülmüş ve tedarik zincirinin davranışı ve performansı geliştirilen özel amaçlı bir benzetim yazılımı ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, talep belirsizliği arttıkça nihai ürün teslimini temel alan tedarik zinciri performansının düştüğü, tedarik zinciri boyunca stok seviyelerindeki ve siparişlerdeki (bir tesisten bir önceki stok noktasına gönderilen) değişimlerin arttığı gözlemlenmiştir.

Sakawa vd. (2002) merkezi olmayan iki seviyeli etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı ile ev aletleri imal eden ana sanayi ile tedarikçilerinin amaçları arasında bir uzlaşma sağlamışlardır. Ev imalatçısı işletme, işbirlikçi bir yaklaşım ile fabrika ve depolarından ürünleri müşterilere taşımak için dış kaynak sağladığı iki tür acentenin amaçlarını da değerlendirmektedir. Bu acentelerden biri düzenli partileri, diğeri küçük partileri taşımaktadır. İşletmenin amacı taşıma maliyetini ve taşıma zamanına göre fırsat maliyetini enküçükmek iken, acentelerin amacı karlarını enbüyüklemektir. Acenteler bu amacı sağlayan işgücü atamasını gerçekleştirirken, sürücülerin kabiliyetlerini de dikkate almaktadır. Bu taşıma ve işgücü atama problemi merkezietçi olmayan iki seviyeli TP problemi olarak formüle edilmiş, rasyonel ve etkin bir plan ortaya koyabilmek ve işletmeler arası işbirliğini yansıtabilmek için etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı kullanılmış ve her bir işletme için tatmin edici bir sonuç elde edilmiştir.

Sakawa ve Nishizaki (2002a), bulanık parametreler içeren iki seviyeli dışbükey olmayan programlama problemleri için etkileşimli bulanık programlamayı genetik algoritma kullanarak formüle etmişlerdir. α -seviye kümesini kullanarak iki seviyeli dışbükey olmayan doğrusal programlama problemi tanıtılmıştır.

Sakawa ve Nishizaki (2002b), üst seviyede tek karar vericinin, alt seviyede ise çoklu karar vericilerin yer aldığı iki seviyeli doğrusal programlama problemi için Etkileşimli Bulanık Programlama (EBP) yöntemini kullanmışlardır. Karar vericilerin tatmin seviyeleri iş birliği içinde olduğundan, her seviyedeki karar vericinin amacını gözetten dengeli bir tatmin sonucuna ulaşmışlardır. Sakawa vd. (2003), kısıtlarda veya

amaç fonksiyonunda rassal değişkenlerin olduğu çok amaçlı doğrusal programlama problemine odaklanmışlardır. Bu tür problemler için, amaç fonksiyonu için karar vericinin bulanık amaçları birleştirildikten sonra karar vericiyi memnun edecek beklenti modeline ulaşmak için (EBP) yöntemini uygulamışlardır.

Chen ve Chang (2006) çok ürünlü, çok aşamalı ve çok dönemli bir tedarik zinciri problemi için bulanık üyelik fonksiyonlu bir yaklaşım önermişlerdir. Toplam maliyetin enküçüklendiği modelde birim taşıma ve hammadde maliyetleri ile talepler bulanık olarak modellenmiştir. Tahmini üyelik fonksiyonunu türetebilmek için, farklı olasılık düzeyleri için bulanık enküçük toplam maliyetin alt ve üst sınırlarını hesaplamışlar ve ilgili eniyi faaliyet planlarını üretmişlerdir. El-Wahed ve Lee (2006) çok amaçlı taşıma problemleri için bulanık bir hedef programlama modeli geliştirmişler ve her bir amaç fonksiyonu için bulanık bir amaç değeri olduğunu varsaymışlardır. Modelde, en iyi üst sınırı bulmak için en iyi kötü sınırı enküçüklemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak bu yöntemin, sadece çok amaçlı taşıma problemi için değil, diğer çok amaçlı karar verme problemlerinin çözümü için de etkili bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

Liang (2006) ve (2008) bulanık çok amaçlı ulaştırma problemleri için etkileşimli, çok amaçlı doğrusal bir programlama yöntemi geliştirmiştir. Geliştirilen yöntem, amaç fonksiyonlarının bulanık olduğu ve parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları ile ifade edildiği durum için önerilmiş ve toplam dağıtım maliyetlerinin ve toplam teslimat sürelerinin enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Önerilen metot, karar vericiye, tatmin edici bir çözüm elde edene kadar bulanık veriler ve ilgili parametreler üzerinde etkileşimli olarak değişiklikler yapma olanağını da vermektedir. Uygulanan metodun etkinliği sayısal bir örnekle de test edilmiştir. Katagiri vd. (2008), bulanık rassal değişken katsayılı çok amaçlı doğrusal programlama problemiyle ilgilenmişlerdir. Stokastik programlama ve olabilirlik programlamaya dayalı olarak hem olasılığı hem de olabilirliği enbüyükleyen yeni bir karar modeli önermişlerdir.

Selim ve Özkarahan (2008) ve Selim vd. (2008) çalışmalarında tedarik zinciri ağı tasarımı problemini ele almışlardır. Problemin amacı perakendecilerin taleplerini en az maliyetle karşılayacak şekilde tesislerin yerlerinin, sayılarının ve taşıma miktarlarının belirlenmesidir. Perakendecilerin belirsiz talepleri ve karar vericilerin farklı hedeflerinden dolayı yeni bir etkileşimli bulanık hedef programlama yaklaşımı önermişler ve modeli çeşitli örneklerle sınamışlardır.

Torabi ve Hassini (2008) çoklu tedarikçi, tek fabrika ve çoklu dağıtım merkezinden oluşan bir tedarik zinciri planlama modelini ele almışlardır. İlk olarak çok amaçlı KTDP modeli geliştirmişler ve daha sonra geliştirilen bu modele talep, maliyet katsayıları ve kapasite belirsizliklerinden dolayı yeni bir etkileşimli bulanık yaklaşım önermişlerdir. Torabi ve Hassini (2009) önceki çalışmalarındaki tek fabrika sayısını çoğaltarak çok aşamalı bir tedarik zinciri ağı tasarımı problemini ele almışlardır. Modelde satın alma değerinin enbüyüklediği; toplam maliyetin, kusurlu ürünlerin ve geç teslimatların enküçüklediği edildiği birbirinden farklı 4 amaç yer almaktadır. Hedeflenen amaçlara ödünleşik bir çözüm bulabilmek için etkileşimli bulanık hedef programlama yaklaşımı uygulamışlardır.

Liang ve Cheng (2009) paranın zaman değerini ele alarak çok ürünlü çok dönemli bir tedarik zinciri için üretim/dağıtım planlama problemine bulanık küme teorisi uygulamışlardır. Önerilen ÇABP modeli stok seviyeleri, makine ve işçi kapasiteleri, tesisler arası uzaklıklar ve toplam bütçe kısıtları altında tedarik zincirindeki toplam maliyeti ve teslimat süresini enküçükmeye çalışmaktadır.

Peidro vd. (2009b) çalışmalarında tedarik, talep ve süreç belirsizliklerinin olduğu tedarik zinciri sistemi için BMP modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model verilerin bilinmediği ve üçgensel bulanık sayıların kullanıldığı bulanık KTDP modeli şeklinde formüle edilmiştir. Model aynı zamanda karar vericiye farklı memnuniyet derecelerine göre alternatif karar planları sağlamaktadır. Çalışmanın sonunda ise model gerçek bir otomotiv tedarik zinciri problemine uygulanmış ve test edilmiştir. Peidro vd. (2010) bulanık küme teorisi ile tedarik zinciri belirsizliklerini modellemişler ve çok aşamalı, çok ürünlü, çok seviyeli ve çok dönemli bir tedarik zinciri ağı için BMP modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde talebi, süreçleri ve tedarik kısmını belirsiz olarak ele almışlardır. Çalışmadaki amaç müşteri taleplerinin enküçük maliyetle karşılandığı en iyi kapasite kullanımının tüm dönem boyunca elde edilmesi olarak belirlenmiştir. Önerilen bulanık model ile karar vericiye farklı memnuniyet dereceleri için farklı karar kazanımları sağlanmıştır.

Bu noktaya kadar tedarik zincirleri üzerine yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Ancak literatürde az da olsa TTZ ve KDTZ ağ tasarım problemlerine ilişkin de yapılan olan bulanık matematiksel programlama yaklaşım çalışmaları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Roy vd. (2009) çalışmalarında belirli bir zaman aralığında tek ürün için üretim ve yeniden üretim modelini incelemişlerdir. Modelde çok dönemli ancak tek ürün üzerinden incelenmiş ve gerçek hayatta karşılaşılan belirsizliklerin modele yansıtılması amacıyla kullanılan oranlar, iyimser, kötümser ve ortalama bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Müşterilerden toplanan ürünlerden bazılarının atığa gönderildiği bazılarının ise yeniden üretim sonucunda sisteme dâhil edildiği belirtilen çalışma sonucunda karın en büyüklenmesini sağlamak amacıyla rastgele mutasyon, aritmetik çaprazlama ve rulet çember seçimi gibi genetik algoritma yöntemleri kullanılmıştır. Daha sonra geliştirilen model çeşitli sayısal verilerle de test edilmiştir.

Sasikumar ve Haq (2010) otomotiv sektöründeki akü geri dönüşümünden ve akü içeriğinde kullanılan kurşunun geri dönüşüm yoluyla karşılanmasının öneminden bahsettikleri çalışmalarında çok seviyeli ve çok ürünlü bir (KDDTZ) Kapalı Döngü Dağıtım Tedarik Zinciri ağı tasarlamışlardır. Teslimat zamanları ve maliyet verimliliğini sağlamak amacıyla da üçüncü seviye tersine lojistik sağlayıcıları KDDTZ ile bütünleşik olarak ele alınmıştır. En iyi üçüncü seviye tersine lojistik sağlayıcıların tespit edilebilmesi içinse Bulanık Çok Kriterli Karar Verme metotlarından VIKOR yöntemini önermişlerdir. Modelin eniyilenmesi içinse KTDP modeli geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen modellerin kullanılması ile maliyetlerde düşüş sağlanmış ve farklı geri dönüş oranlarına ilişkin olarak da elde edilen maliyet karlılıklarına yer verilmiştir.

Pishvae ve Torabi (2010) KDTZ ağ tasarımlarında karşılaşılan belirsizliklerin ve risklerin karar vericiler açısından önemini vurguladıklarını çalışmalarında belirtilen problemlerin üstesinden gelebilmek amacıyla çok amaçlı olasılık tabanlı bir KTDP modeli önermişlerdir. Önerilen olasılık tabanlı eniyileme modelinin çözümü içinse birtakım verimli çözüm yaklaşımlarının birleşiminden elde edilen etkileşimli bulanık çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Önerilen çözüm yaklaşımının etkinliğini ve geliştirilen modelin güvenilirlik ve anlamlılığını test edebilmek amacıyla da çeşitli sayısal analizler gerçekleştirilmiştir.

Qin ve Ji (2010) ürün geri dönüş ağlarının tasarlanmasının tersine tedarik zincirlerinin en önemli ve zor problemlerden biri olduğunu belirttikleri çalışmalarında bu süreçte yaşanan belirsizliklerinde bu durumu daha da karmaşık hale getirdiğinden bahsetmişlerdir. Çalışmada ise farklı kriterlere dayanan 3 tür eniyileme modeli önerilmiş ve önerilen bu modellerin çözümü içinse genetik algoritma ve bulanık benzetim

birleşiminden oluşan melez bir algoritma önermişlerdir. Sonuç olarak da modelin geçerliliğini göstermek amacıyla da bir takım sayısal analizler yapmışlardır.

Wang ve Hsu (2010b) literatürde yer alan kapalı döngü yeşil tedarik zinciri modellerinin birçoğunun belirsiz/bulanık ortamları göz önünde bulundurmadığını belirttikleri çalışmalarında, belirsizlikler için bulanık sayıların alındığı genel bir model önermişlerdir. Belirsizlik altında toplam taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesinin amaçlandığı çalışmada aralıklı programlama yaklaşımı kullanılmış ve en uygun çözüme ulaşılabilmesi için farklı kesit seviyeleri kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada aralıklı programlama yaklaşımı için karar vericilerin tercihleri göz önünde bulundurulmuş ve müşteri talepleri ile geri dönüşüm oranları belirsiz parametreler olarak ele alınmış, sonuçlar gözlemlenmiştir.

Wei ve Zhao (2011) dağıtıcı rekabetinin olduğu bir ortamda Bulanık KDTZ için fiyatlandırmaya bağlı karar problemi geliştirmişlerdir. Toplam maliyet, yeniden üretim maliyeti ve müşteri talebi bulanık olarak ele alınmıştır. Oyun teorisi ve bulanık teorisinin kullanılması ile merkezi ve merkezi olmayan karar senaryolarına göre toptan satış fiyatı, perakende satış fiyatı ve yeniden üretim oranlarının eniyi sonuçları aranmıştır.

Subulan vd. (2012) çalışmalarında, KDTZ taktiksel planlama problemi için yeniden imalat opsiyonu göz önüne alındığı bulanık karma tamsayılı programlama modeli geliştirilmişlerdir. Gerçek hayatta yaşanan belirsizlikleri yansıtabilmek amacıyla depolama kapasiteleri, toptancı ve perakendeci talepleri, geri dönüş oranları, yeniden imalat için kabul edilebilirlik oranları, haftalık üretim ve yeniden imalat zamanları, taşımalara ilişkin üst sınırlar ve amaç fonksiyonu istek düzeyi bulanık veri olarak ele alınmıştır. Önerilen bulanık matematiksel programlama modeli açıklayıcı bir örnek üzerinden test edilmiş; bazı parametrelerin ele alınan toplam geri-kazanım sistemi üzerindeki etkisi senaryo analizleri gerçekleştirilerek değerlendirilmiştir.

Amin ve Zhang (2012), demontaj, yenileme ve atık alanından oluşan kapalı döngü tedarik zincirini yapılandırmış ve iki aşamadan oluşan bir yöntem önermişlerdir. İlk aşamada, tedarikçilerin ağırlıklarını belirlemek için üçgen bulanık sayıların dönüşümüne dayanan bir yöntem uygulamışlardır. İkinci aşamada, KDTZ modeli çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Burada bir önceki aşamadan elde edilen ağırlıklar bulanık AHP yöntemi ile modele katılmıştır.

Jung ve Jeong (2012) çalışmalarında tedarik zincirlerindeki talepte meydana gelen belirsizlik ve değişkenliğin olumsuz etkilerini enküçüklemek amacıyla bulanık bir doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Önerilen bu modelde uzman görüşleri alınarak talepte meydana gelen belirsizlik ve düzensizliğin yansıtılması amaçlanmış ve sonuç olarak önerilen yaklaşımın doğruluğu ve güvenilirliğinin test edilmesi amacıyla örnek bir çalışma yapılmıştır.

Özkır ve Başlıgil (2013) ileri ve tersine tedarik zincirinde yer alan öğelerin bütünleşik olarak ele alındığı çok amaçlı KDTZ ağı tanımlamışlardır. Çalışmada ilk amaç KDTZ yer alan paydaşların memnuniyet düzeylerinin artırılması iken ikinci amaç müşteri taleplerinin eksiksiz karşılanması ve son amaçta toplam KDTZ karlılığının en büyüklenmesi bir diğer ifade ile maliyetlerin en küçüklenmesi olarak tanımlanmıştır. Ürün fiyatları ve müşteri memnuniyetlerine ilişkin belirsizliğin eşzamanlı olarak ele alındığı modelin çözümü için Çok Amaçlı Bulanık Programlama yaklaşımı önerilmiş ve çalışma bir örnek uygulama ile desteklenmiştir.

Wei ve Zhao (2013) çalışmasında orijinal veya yeniden üretilmiş parçalar kullanarak üretim yapan bir üretici, ürünlerin toplayan toplama merkezi ve 3. Parti tedarikçiden oluşan bir bulanık KDTZ modeli tanımlamıştır. Çalışmada müşteri talepleri, kullanılmış ürün toplama maliyetleri ve yeniden üretim maliyetleri bulanık olarak ele alınmış ve problemin çözümü için oyun teorisi ve bulanık teori yöntemleri kullanılmıştır.

Vahdani vd. (2013) bulanıklık altında KDTZ ağ tasarımlarının güvenilirliğini sağlayacak sistematik bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen modelde yer alan tesis yerleşimleri hem klasik amaç fonksiyonlarını hem de güvenilirliği birlikte sağlamaktadır. Çalışmada kullanılan verilerin çok daha gerçekçi olması amacıyla demir çelik endüstrisinden esinlenilmiş ve çok seviyeli, çok ürünlü, çok tesisli bir KDTZ modeli oluşturulmuştur. Toplama merkezlerinin geri dönüşümdeki öneminin güvenilirlik oranları üzerinden ele alındığı çalışma için yeni etkileşimli bir melez çözüm metodolojisi olarak çok amaçlı bulanık olasılıklı risk-kısıt karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Sonuç olarak da yapılan sayısal analizlerle test edilmiştir.

Jindal ve Sangwan (2014) yatıkları çalışmalarında atık, geri dönüşüm, yenileme ve yeniden kullanımı da içeren çok ürünlü ve çok tesisli belirsizlik içeren bir KDTZ modeli önermişlerdir. Önerilen modelde talep, farklı ürünler için geri dönüştürülen parça miktarı,

satın alma maliyetleri, taşıma maliyetleri, işleme ve işletme maliyetleri gibi parametreler bulanık olarak ele alınmıştır. Bulanık KTDP modeli ile çözüm aranan çalışma ile işletme karlılığını enbüyükleyecek eniyi dağıtım planına karar vermeye çalışılmıştır. Sonuç olarak da aynı anda karar vericinin memnuniyet derecesi ile uygulanabilirlik derecesi gibi çatışan iki amaç fonksiyonu arasında dengeyi sağlayacak bir çözüme ulaşıldığı belirtilmiştir.

Fallah-Tafti vd. (2014) çalışmalarında taktiksel ve stratejik seviyede bütünleşik ağ tasarım kararlarını da içeren çok amaçlı ve çok seviyeli bir Kapalı Döngü Tedarik Zinciri (KDTZ) modeli geliştirmişlerdir. Daha sonra birbirinden farklı çatışan amaçların ve kısıtların belirsizlik altında eşzamanlı olarak ele alındığı modelin çözümü için STEP metodu olarak adlandırılan yeni bir bütünleşik olabilirlik yaklaşımı önermişlerdir. Çeşitli sayısal analizlerle de modelin güvenilirliği test edildiğini ve sonuçta karar vericilerin önceliklerine ilişkin verimli sonuçlara ulaşıldığını belirtmişlerdir.

Ramezani vd. (2014) çalışmalarında bulanık verilerden oluşan çok ürünlü, çok dönemli bir KDTZ modeli önermişlerdir. Önerilen model karın en büyüklenmesi, teslimat sürelerinin en küçüklenmesi ve kalitenin en büyüklenmesi olarak tanımlanan 3 amaç fonksiyonundan oluşmaktadır. Karar vericiler için bulanık hedeflerden ve bulanık kriterlerden oluşan model için Bulanık ÇAKTDP modeli önerilmiş ve birbiri ile çelişen amaçların birlikte çözülmesi amaçlanmıştır. Son olarak da modelin anlamlılık düzeyinin test edilebilmesi amacıyla da sayısal bir örneğe yer verilmiş ve önerilen modelin bulanık olmasından dolayı gerçek hayat problemlerinin çözümünde diğer yaklaşımlara göre çok daha etkin olduğu vurgulanmıştır.

Su ve Lin (2014) çalışmalarında, geri dönüştürülebilir yeniden üretim sistemlerinde, birden fazla makine, kaynak, perakendeci ve parçadan oluşan karar problemlerinin bulanık ortamlarda birlikte planlanması için doğrusal üyelik fonksiyonu ile bütünleşik bir çözüm olan yeni bir Bulanık ÇADP modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model müşteri talepleri, makine verimlilikleri, teslim süreleri, tedarikçi kapasiteleri ile ilişkili olarak eşzamanlı bir şekilde toplam teslim sürelerini ve toplam maliyeti enküçüklemeyi amaçlamaktadır. Modelin uygunluğunu test etmek amacıyla da çeşitli senaryo analizleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, geliştirilen modelin uygulanmasının karar vericilerin sistematik analizi daha iyi anlaması açısından etkili olabileceği ve maliyet etkinliği için kullanılabilmesi belirtilmiştir.

Subulan vd. (2014a) çalışmalarında farklı önem ve önceliklere sahip, çok ürünlü, çok seviyeli, çok amaçlı Bulanık KTDP modeli geliştirmişlerdir. Daha önceki maliyet veya karlılığı temel alan ÇAKDTZ modellerinin aksine, geliştirilen modelde açılan tesislerle geri dönen ürünlerin toplamının enbüyüklenmesi hedeflenmiştir. Bulanık hedef programlama yardımıyla geliştirilen probleme çözüm aranmıştır. Ayrıca kabul edilebilir başarı derecesinin gözlemlenebilmesi için her bulanık hedefin “ağırlıklandırılmış geometrik ortalaması” alınarak yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen model Türkiye’deki akü kurşun/akü endüstrisinden esinlenilerek modellenmiştir. Son olarak da model çeşitli senaryo analizleri ile test edilmiştir.

Subulan vd. (2014b) kullanım ömrü bitmiş lastiklerin hem ekonomi hem de çevreye verdikleri zararlardan ve geri dönüşümünün öneminden bahsettikleri çalışmalarında KTDP’nin kullanılmasıyla Lastik KDTZ için bütüncül bir modelleme yaklaşım geliştirmişlerdir. Modelde yeniden üretim, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı eş zamanlı olarak ele alınmıştır. Modelin ana amacı çevresel problemlerin hesaba katıldığı çok dönemli, çok ürünlü, çok seviyeli ve çok amaçlı bütüncül bir ağ tasarım modelinin geliştirilmesi olarak tanımlanmıştır. Önerilen bulanık çok amaçlı ağ probleminin çözümü içinse etkileşimli bulanık hedef programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Taguchi deney tasarım tekniklerinin kullanılmasıyla da çalışma incelenmiştir.

Zeballos vd. (2014) çalışmalarında müşteri talepleri ile hammadde tedarik seviyelerinin belirsiz olduğu, ileri yönlü 5 ve tersine 5 akıştan oluşan çok dönemli, çok ürünlü bir KDTZ ağ tasarımı geliştirmişlerdir. Belirsiz talep ve tedarikin etkilerini gözlemlemek amacıyla farklı senaryoların geliştirildiği çalışma için KTDP yöntemi önerilmiştir. Farklı senaryo analizleri ile, çevresel etmenleri de göz önünde bulundurarak test edilen problemin amaç fonksiyonu ise beklenen maliyetlerinin en küçüklenmesi olarak tanımlanmıştır.

2.8. KDTZ Ağ Tasarımına Genetik Algoritma Yaklaşımının Uygulanmasına İlişkin Literatür Araştırması

Sakawa vd. (1999) , (2001a), genetik algoritma yardımıyla çok seviyeli 0-1 tamsayılı programlama problemleri için etkileşimli bulanık programlamayı önermişlerdir. Çalışmada, etkileşimli programlamada bulanık parametrelerin olması durumunda sezgisel

yöntemlerin de uygulanabileceği gösterilmiştir. Sakawa ve Nishizaki (2002a), bulanık parametreler içeren iki seviyeli dışbükey olmayan programlama problemleri için etkileşimli bulanık programlamayı genetik algoritma kullanarak formüle etmişlerdir.

Sim vd. (2004) KDTZ ağ tasarım problemini tesis yeri seçimi problemi şeklinde KTDPM yöntemi kullanarak formüle edip genetik algoritma kullanarak çözüm sonuçlarını karşılaştırmışlardır. CPLEX ile elde edilen çözümden daha iyi sonuç vermiştir.

Kusumastuti (2004), ürün geri dönüşümünü için çok dönemli, çok ürünlü ve çok aşamalı bir tersine lojistik ağı tasarlamıştır. Önerilen KTP modelindeki baskın olmayan çözümlerin tespiti içinde yayılan ağaç temelli genetik algoritma yaklaşımı önerilmiştir.

Zhou vd. (2005), çalışmalarında geri dönüş tesislerinin yerlerinin ve sayısının tespiti amacıyla dağıtım problemleri ile ileri ve tersine lojistik ağının eşzamanlı olarak ele alındığı bir doğrusal olmayan KTP modeli önermişler ve çözüm yöntemi olarak da genetik algoritma yaklaşımını kullanmışlardır.

Yeh (2006), çalışmasında tedarik zincirlerindeki fiziksel dağıtım akışının maliyetini en küçükleyecek stratejinin bulunması amacıyla memetik bir algoritma sunmuştur. Önerilen memetik algoritma GA, ikili değiştirme prosedürü, ekleme prosedürü, yerel arama metodu, fibonacci metodu ve DP tekniklerinin bir arada kullanılması sonucunda mevcut genetik algortimanın geliştirilmesi ile elde edilmiştir. Daha sonra sayısal deneylerle modelin verimliliği ve performansı test edilmiştir.

Ko ve Evans (2007) çok dönemli, çok aşamalı, çok ürünlü ve kapasiteli genel bir ağ yapısı geliştirmişlerdir. Sistem eş zamanlı olarak ileri/ters akışları koordine etmektedir. MINLP yöntemi ile formüle edip genetik algoritma ile çözüm sonucunu elde etmişlerdir. Amaç maliyeti en iyileyen sonucu elde etmektir.

Haikou (2007) müşterilerin, toplama merkezlerinin, onarım merkezlerinin ve fabrikaların olduğu bir tersine lojistik ağı problemini ele almıştır. Tüm maliyetlerin enküçüklenmesi amacıyla tasarlanan model için genetik algoritmaya dayalı sezgisel bir model geliştirilmiş ve yapılan senaryo analizleri ile gerek işlem süresi gerekse en uygun çözümün bulunması açısından diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

Keskin ve Üster (2007), yetkilendirilmiş aktarma merkezlerinin yer tespitini yapmak amacıyla geliştirdikleri model için melez bir dağınık arama algoritması yaklaşımı

önermişlerdir. Çalışma sonucunda başlangıç arama parametrelerinin performansı etkilediği ve dağılık arama algortiması değerlerinin toplam çözüm süresini azalttığı, çözüm kalitesinde de anlamlı bir artış sağladığı belirtilmiştir.

Tang ve Xie (2007) müşterilerin, toplama merkezlerinin, onarım merkezlerinin ve fabrikaların olduğu bir tersine lojistik ağı problemini ele almıştır. Tüm maliyetlerin enküçüklenmesi amacıyla tasarlanan model için genetik algoritmaya dayalı sezgisel bir model geliştirilmiş ve yapılan senaryo analizleri ile gerek işlem süresi gerekse en uygun çözümün bulunması açısından diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

Roy vd. (2009) çalışmalarında belirli bir zaman aralığında tek ürün için üretim ve yeniden üretim modelini incelemişlerdir. Modelde çok dönemli ancak tek ürün üzerinden incelenmiş ve gerçek hayatta karşılaşılan belirsizliklerin modele yansıtılması amacıyla kullanılan oranlar, iyimser, kötümser ve ortalama bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Müşterilerden toplanan ürünlerden bazılarının atığa gönderildiği bazılarının ise yeniden üretim sonucunda sisteme dâhil edildiği belirtilen çalışma sonucunda karın en büyüklenmesini sağlamak amacıyla rastgele mutasyon, aritmetik çaprazlama ve rulet çember seçimi gibi genetik algoritma yöntemleri kullanılmıştır. Daha sonra geliştirilen model çeşitli sayısal verilerle de test edilmiştir.

Shi vd. (2009), tıbbi atıklar için içerisinde toplama merkezleri tesisler ve işleme merkezi bulunan bir tersine lojistik ağ tasarımı geliştirmişlerdir. Çalışmalarında tersine lojistik ağ içerisinde yer alan tesislerin sabit maliyetleri, işletme maliyetleri ve taşıma maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin enküçüklenmesi amacıyla KTDP modeli geliştirmişler ve çözüm yöntemi olarak da genetik algoritma metodunu kullanmışlardır.

Altıparmak vd. (2009), çok ürünlü, çok seviyeli ve tek kaynaklı bir tedarik zinciri ağı tasarımı için yeni bir kodlama yapısına sahip olan çözüm prosedürü temelli, kararlı Genetik Algoritma yaklaşımını önermişlerdir. Bu çözüm yaklaşımında ileri yönlü tedarik zinciri ağ tasarımı için genetik yöntem ile doğrusal programlama birlikte kullanılarak melez bir yöntem geliştirilmiştir.

Kannan vd. (2009) modeli iki aşamalı olarak formüle etmiştir. İleri ve tersine akışlarda stok ve dağıtım planlamasını ağ tasarımı problemi içinde maliyetin en iyilenmesi amacıyla ele almaktadır. Problemin çözümünde genetik algoritma ve parçacık sürü

eniyilemesi sezgiselleri kullanılmış önerilen modelin lastik ve plastik endüstrisi için uygulaması yapılmıştır.

Kannan vd. (2010) atık pillerin üretimi, dağıtımı, geri dönüşümü ve bertarafını ele alan çok aşamalı, çok dönemli, çok ürünlü bir KDTZ modeli geliştirerek, genetik algoritma tabanlı bir sezgisel yardımıyla çözmüşlerdir. Yazarlar, küçük boyutlu problemler için geliştirdikleri algoritmadan elde ettikleri çözümleri GAMS paket programından edilen eniyi çözümlerle karşılaştırmışlardır.

Qin ve Ji (2010) ürün geri dönüş ağlarının tasarlanmasının tersine tedarik zincirlerinin en önemli ve zor problemlerden biri olduğunu belirttikleri çalışmalarında bu süreçte yaşanan belirsizliklerinde bu durumu daha da karmaşık hale getirdiğinden bahsetmişlerdir. Çalışmada ise farklı kriterlere dayanan 3 tür eniyileme modeli önerilmiş ve önerilen bu modellerin çözümü içinse genetik algoritma ve bulanık benzetimin birleşiminden oluşan melez bir algoritma önermişlerdir. Sonuç olarak da modelin geçerliliğini göstermek amacıyla da bir takım sayısal analizler yapmışlardır.

Zarei (2010), ömrünü tamamlamış araçların (ÖTA) geri toplanması ve yeniden işlenmesi için seçilen yöntemlerin önemini vurguladığı çalışmasında yeni ürün dağıtım ağını ve geri dönüşüm ağını birlikte ele almış ve bu amaçla bütünleşik bir ağ tasarımı geliştirmiştir. Yeni ürün dağıtıcılarının ÖTA'ların toplanmasından da sorumlu olduğu varsayılan çalışmada taşıma ve ağ tasarım maliyetlerini enküçüklemeyi amaçlayan bir model önerilmiştir. Çözüm yöntemi olarak da modelin karmaşıklığı ve büyüklüğünden dolayı genetik algoritma çözüm yaklaşımı kullanılmıştır.

Pishvae vd. (2010), ileri ve tersine lojistik ağlarda bağımsız ve ardışık tasarımlardan kaynaklanan yetersizlikleri ortadan kaldırmak amacıyla bütünleşik lojistik ağ tasarımı için bir model önermişlerdir. Öncelikle, iki amaçlı karma tamsayı doğrusal olmayan bir programlama modeli geliştirilmiştir. Birinci amaç lojistik ağının ileri ve tersine yönlü geri dönüş hızını enbüyüklemek, ikinci amaç ise sabit açılış maliyeti, taşıma maliyeti ve aynı yerlerdeki toplama/kontrol merkezleri ile dağıtım merkezlerinin bütünleştirilmesine ilişkin maliyetleri içeren toplam maliyeti enküçüklemek etmek olarak tanımlanmıştır. Uygun olmayan çözüm kümelerinin belirlenmesi ve problemin çözümü için ise, etkin çok amaçlı memetik bir algoritma geliştirmişlerdir. Ayrıca önerilen çözüm algoritması üç farklı yerel aramanın çalıştırıldığı yeni bir dinamik arama stratejisi

sunmaktadır. Elde edilen çözüm yaklaşımlarının değerlendirmesi için Pareto eniyi çözümle kıyaslama yapılan çalışmanın sonucunda dinamik yerel arama stratejilerinin uygulanması ile ileri ve tersine lojistik ağındaki işletmelerde çoklu kapasite seviyelerinin kolaylıkla yönetilebildiği vurgulanmıştır.

Wang ve Hsu (2010a) genel bir KDTZ ağ tasarımı problemini DLP yöntemi kullanarak formüle etmişlerdir. Aynı anda KDTZ üzerinde yer alan tesislerin yeri seçimi kararı için en küçük maliyeti sağlayacak bir NP model geliştirmiş ve bu modelin çözümü içinse yayılan ağaç algoritması tabanlı genetik algoritma kullanmışlardır.

Soleimani vd. (2013) çok aşamalı, çok ürünlü, çok dönemli bir KDTZ ağ modeli geliştirmişlerdir. Modelin çözümünde CPLEX yazılımını ve genetik algoritma kullanmışlardır. Sezgisel modellerin kullanıldığı çok ürünlü bir ağ tasarımı çalışmasıdır.

Mirakhorli (2014), çalışmasında toplam maliyet ve toplam teslimat sürelerinin en küçüklemeinden oluşan iki amaçlı tersine lojistik ağ tasarım problemlerinin çözümü için etkileşimli bulanık çok amaçlı doğrusal programlama (EBCADP) modeli önermiştir. Bulanık şartlar altında karar vericilerin etkileşimli olarak karar almalarının sağlandığı ve en üst düzey memnuniyet seviyesine ulaşana kadar etkileşimli olarak bulanık verileri değiştirebildiği belirtilen çalışma için çözüm yaklaşımı olarak da genetik algoritma yaklaşımı önerilmiştir. Daha sonra geliştirilen model ekmek üretim fabrikası üzerinde uygulanarak doğruluğu test edilmiştir.

Demirel vd. (2014) çalışmalarında finansal teşvik politikaları ve ikinci el fiyat politikalarını ele alan çok ürünlü ve çok amaçlı bir KDTZ ağ tasarımı için KTDP önermişlerdir. Geliştirilen temel modele KDTZ'deki belirsizliklere cevap verebilmek amacıyla bulanık amaçlar ilave edilmiş ve daha sonra gerçek boyutlu bir uygulama üzerinde uygulayabilmek amacıyla genetik algoritma yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımında genetik algoritmanın kullanıldığı melez bir çözüm yöntemi sunulmuştur.

Roghanian ve Pazhoheshfar (2014), çalışmalarında talep kapasite ve ürün miktarına ilişkin belirsizliklerin göz önünde bulundurulduğu bir tersine lojistik ağ için olasılıklı KTDP modeli önermişlerdir. Daha sonra eşdeğer deterministik modele dönüştürülen bu model belirsiz koşullar altında sabit açılış maliyeti ve toplam taşıma maliyetini en küçükleme talebe ilişkin memnuniyeti de sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaçla

geliştirilen modelin çözümü için öncelik temelli genetik algoritma önerilmiş ve deneysel analizlerle çalışma test edilmiştir.

Görüldüğü gibi yeşil tedarik zinciri yönetimi ile ilgili olarak literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Buna rağmen araştırmacıların akan malzeme miktarını tonaj olarak değerlendirmedikleri ve kapalı döngü tedarik zincirinde tarafların birbirleriyle olan etkileşimlerini de göz ardı ettikleri anlaşılmaktadır. İzleyen bölümde bu eksikleri giderecek şekilde otomotiv endüstrisinin KDTZ ağ tasarımına yer verilmekle ve YTZY için önerilen matematiksel model açıklanmaktadır.

3. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN GELİŞTİRİLEN TEK SEVİYELİ TEK KARAR VERİCİLİ MODEL

Bu bölümde ilk olarak otomotiv endüstrisinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi sonucunda geliştirilen KDTZ ağ tasarımı açıklanmaktadır. Ağ üzerinde gerçekleşen faaliyet ve akışların gösterilmiş daha sonra da literatürde yer alan bilgiler ışığında varsayımlarında modele eklenmesi ile önerilen tek seviyeli tek karar vericili matematiksel model elde edilmiştir. Önerilen modelin farklı senaryo analizleri ile test edilerek sınırlarının belirlendiği çalışma sonucunda boyut analizi ile de modelin boyutunun 12 kez büyütülmesi sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

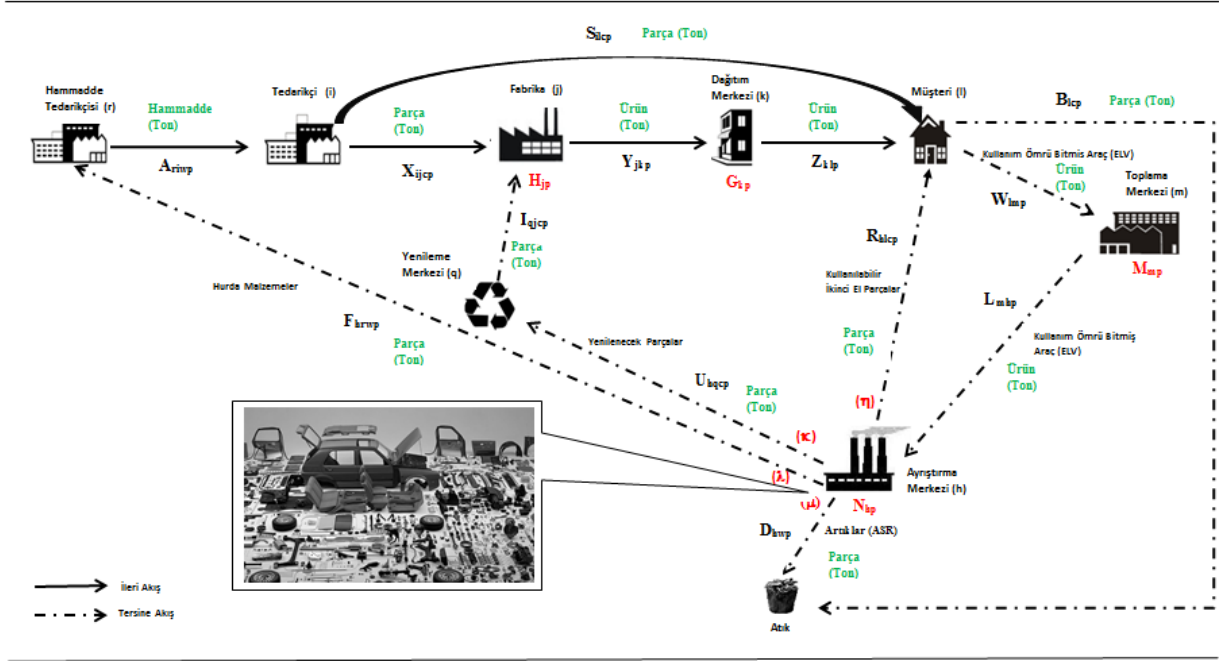
3.1. Tek Seviyeli Tek Karar Vericili KTDP Modeli

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi literatürde tersine lojistik ve kapalı çevrim tedarik zinciri üzerine yapılan çalışmaların çok büyük bir kısmı ağ tasarım problemlerini içermektedir. Bununla beraber literatürde taşıma problemleri, kullanılmış ürünlerin seçimi, tedarik seçimi ve değerlendirmesi, performans ölçümü, pazarlama ile ilişkili problemler, kullanım ömrü dolmuş ürünlere ilişkin alternatif seçimler (EOL) ve ürün kazanç yönetimi gibi konular üzerine yapılan çalışmalarda yer almaktadır.

Özceylan ve Paksoy (2013), çok ürünlü, çok dönemli ve ileri/tersine ürün ağaçlarının kullanıldığı KDTZ ağ tasarımı problemi ele alınmıştır. Problemde amaç taşıma, satın alma, yenileme ve tesis açma (potansiyel fabrika ve perakendecilerin) maliyetlerinin enküçüklenmesidir. Söz konusu problem KTDP yöntemi ile çözülmüş, farklı parametreler üzerinde senaryo analizleri yapılarak karar vericilere önerilerde bulunulmuştur. KDTZ ağ tasarımı probleminde yukarıda bahsedilen çalışmalardan faydalanmakla beraber esas olarak Özceylan ve Paksoy (2013)'un ele aldığı hem ileri hem de tersine akışların eş zamanlı eniyilendiği KDTZ için karma tamsayılı model referans alınmıştır. Varsayımların geliştirilmesinde de Demirel ve Gökçen (2008), Sheu vd. (2005), Neto vd. (2008), Wang ve Hsu (2010a) ve Özceylan ve Paksoy (2013)'dan esinlenilmiştir.

Geliştirilen KDTZ ağının ileri akışı Şekil 3.1’de görüldüğü gibi hammadde tedarikçileri, tedarikçiler, fabrika, dağıtım merkezi ve müşterilerden oluşurken; tersine akış, toplama merkezi, ayrıştırma merkezi, yenilenme merkezi ve atık toplama merkezinden oluşmaktadır.

İleri Tedarik Zinciri, Tersine Tedarik Zinciri ve Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağlarından Oluşan Ağ Tasarım Modeli



Şekil 3.1. Tasarlanan İTZ, TTZ ve KDTZ ağ tasarım modeli

Geliştirilen temel modele göre ağdaki akış tedarikçilerde kullanılmak üzere hammadde tedarikçilerinden belirli oranlarda ton cinsi üzerinden hammadde satın alınması ile başlamaktadır. Tedarikçiler tarafından işlenerek kullanılabilir parçalara dönüştürülen hammaddeler daha sonra fabrikalarda kullanılmak üzere montajlanmaya hazır parçalar olarak tedarikçilere ulaştırılmaktadır. Tedarikçilerden teslim alınan parçaların montajlanması sonrasında elde edilen ürün dağıtım merkezlerine iletilmektedir. Son olarak da dağıtım merkezleri aracılığıyla ürün, nihai kullanıcılara ulaştırılmaktadır.

Geri akış ise bir takım teknik problemlerden, kazalardan ve kullanım ömrünün bitmesinden dolayı müşterilerden ve toplama merkezlerinden kullanılmış ürünlerin geri toplanması ile başlamaktadır. Geliştirilen modele göre nihai kullanıcılardan (müşterilerden) W_{Imp} miktarında ürün geri toplandığı varsayılmıştır. Toplama merkezlerinde toplanan ürünler daha sonra toplu olarak Ayrıştırma merkezlerine

iletilmektedir. Ayrıştırma merkezlerinde gelen ürünün yapısına ve niteliğine bağlı olarak parçalarına ayrılan ürünler 4 farklı kategoride değerlendirilmektedir. Ayrıştırılan ürünlerden elde edilen parçalarda eğer ciddi bir problem yoksa η oranında kullanılmış ürün çıkma parça olarak ayrıştırma merkezlerinden direk müşterilere iletilmektedir. Geri kalan parçalardan durumu iyi olan ve yeniden işlem görmesinin ardından tekrar üretimde kullanılabilecek nitelikte olan κ kadarı ise yenilenmesi için yenileme merkezine gönderilmektedir. Yenileme merkezinde yeni bir görünüm kazandırılan parçalar bir sonraki dönemde kullanılması için fabrikalara gönderilmekte ve böylelikle işletme için biri tedarikçiler diğeri ise yenileme merkezleri olan iki farklı hammadde kaynağı sağlanmaktadır. Kullanılabilir ve yenilenebilir parçaların ayrıştırılması sonucu geriye kalan şase ve benzeri nitelikteki materyallerin (bulk material) λ kadarı ise hammadde olarak kullanılabilmesi amacıyla hammadde merkezine gönderilmektedir. Hammadde merkezlerinde alınan bu tür ürünler farklı ısıl işlemlere tabi tutularak, değişik sektörlerin malzeme ihtiyacının karşılanması sağlanmaktadır. Son olarak ayrıştırma ve öğütme gibi işlemler sonrasında geri kalan artıklar ve kullanılamaz durumda olan parçalar ise μ ile ifade edilmekte ve atık merkezine gönderilmektedir. Ayrıca müşteriler tarafından da iki farklı kaynaktan yedek parça temin etmesine imkân tanınmıştır. Müşteriler aldıkları yeni ve ikinci el yedek parçaları otomobillerinde kullanırken, ortaya çıkan fazla parçalar ise çevreye duyarlı bir şekilde ortadan kaldırılabilmeleri amacıyla atık merkezlerine iletmektedirler. Tüm bunların yanında karar verici her bir dönem için açılması gereken fabrika, dağıtım merkezi, yenileme merkezi ve ayrıştırma merkezi sayısını da bir üst sınır ile sınırlandırmıştır.

Karar verici yukarıdaki bilgiler ışığında toplam taşıma, satın alma, yenileme ve tesis açma maliyetlerini en küçüklemek istemektedir. Problem ile ilgili diğer varsayımlar aşağıda verilmiştir.

Varsayımlar

- Müşteri talepleri herbir dönem için kesin olup, tümüyle karşılanmaktadır.
- İleri ve tersine ağıdaki tüm tesislerin kapasiteleri sabit ve kesindir.
- Taşıma, satın alma, yenileme ve tesis açma maliyetleri sabit ve kesindir.
- Geri dönüşüme ait oranlar önceden bilinmektedir.
- Hammaddeden parça üretimi esnasında hiç atık çıkmadığı varsayılmıştır.

- Yenileme merkezlerince yenilenen kullanılmış parçalar ile tedarikçiler tarafından fabrikaya gönderilen orijinal parçalar arasında herhangi bir fark olmadığı varsayılmıştır.
- Ayırıştırma merkezinden farklı merkezlere gönderilerin parça yüzdeleri toplamının 1 olduğu varsayılmıştır. Yani $\eta + \kappa + \lambda + \mu = 1$ 'dir.
- Geri dönüşümde alınan her bir aracın ağırlığının 1 ton olduğu varsayılmıştır.
- Taşıma maliyetlerinin parça tipine ve boyutuna göre farklılık göstermediği varsayılmıştır.
- Stok ve yok satma olmadığı varsayılmıştır.

Varsayımlarda ifade edilen müşteri talepleri aslında farklı müşterileri ifade etmektedir. Örneğin model içerisinde Fabrika ana üretici olduğu gibi yenileme merkezinden talepte bulunan müşteri olarak da nitelendirilmektedir. Aynı şekilde nihai kullanıcılarda müşterileri oluşturmaktadırlar. Bunlara ek olarak hammadde tedarikçileri de ayırıştırma merkezinin müşterileri konumundadır ve belirli bir talep düzeyi mevcuttur. Modelde yer alan toplama merkezleri ömrünü tamamlamış araç ÖTA'ların toplandığı ve bu araçların buradan ayırıştırma merkezlerine iletiildiği merkezler şeklinde düşünülmüştür. Ayırıştırma merkezleri ise ÖTA'ların parçalarına ayrıştırıldığı merkezler olarak tanımlanabilir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında geliştirilen karma tam sayılı matematiksel modele ilişkin formülasyon aşağıda verilmiştir;

İndisler

- | | |
|----------|-------------------------------|
| <i>r</i> | hammadde tedarikçiler kümesi |
| <i>i</i> | tedarikçiler kümesi |
| <i>j</i> | fabrikalar kümesi |
| <i>k</i> | perakendeciler kümesi |
| <i>l</i> | müşteriler kümesi |
| <i>m</i> | toplama merkezleri kümesi |
| <i>h</i> | ayırıştırma merkezleri kümesi |

q	yenileme merkezleri kümesi
c	parça kümesi
p	dönem kümesi
w	hammadde kümesi

Değişkenler

A_{riwp}	hammadde merkezi r ' den tedarikçi i 'ye dönem p 'de taşınan hammadde w miktarı (ton)
X_{ijcp}	tedarikçi i ' den fabrika j 'ye dönem p 'de taşınan parça c miktarı (ton)
Y_{jkp}	fabrika j 'den dağıtım merkezi k 'ya dönem p 'de taşınan ürün miktarı (ton)
Z_{klp}	dağıtım merkezi k 'dan müşteri l 'ye dönem p 'de taşınan ürün miktarı (ton)
W_{lmp}	müşteri l 'den toplama merkezi m 'ye dönem p 'de taşınan ürün miktarı (ton)
B_{lcp}	müşteri l 'den atık merkezine dönem p 'de taşınan parça c miktarı (ton)
L_{mhp}	toplama merkezi m 'den ayrıştırma merkezi h 'ye dönem p 'de taşınan ürün miktarı (ton)
$R_{hlc p}$	ayrıştırma merkezi h 'den müşteri l 'ye dönem p 'de yollanan parça c miktarı (ton)
U_{hqcp}	ayrıştırma merkezi h 'den yenileme merkezi q 'ya dönem p 'de taşınan parça c miktarı (ton)
F_{hrwp}	ayrıştırma merkezi h 'den hammadde merkezi r 'ye dönem p 'de taşınan hammadde w miktarı (ton)
D_{hwp}	ayrıştırma merkezi h 'den atık merkezine dönem p 'de taşınan hammadde w miktarı (ton)
I_{qjcp}	yenileme merkezi q 'dan fabrika j 'ye dönem p 'de taşınan parça c miktarı (ton)
S_{ilcp}	tedarikçi i 'den müşteri l 'ye dönem p 'de yollanan parça c miktarı (ton)
H_{jp}	eğer fabrika j dönem p 'de açılır ise 1, aksi halde 0

- G_{kp} eğer dağıtım merkezi k dönem p 'de açılır ise 1, aksi halde 0
- M_{mp} eğer toplama merkezi m dönem p 'de açılır ise 1, aksi halde 0
- N_{hp} eğer ayrıştırma merkezi h dönem p 'de açılır ise 1, aksi halde 0

Parametreler

- v_{rwp} hammadde tedarikçisi r 'nin dönem p 'deki hammadde w kapasitesi (ton)
- a_{icp} tedarikçi i 'nin dönem p 'deki parça c kapasitesi (ton)
- b_{jp} fabrika j 'nin dönem p 'deki kapasitesi (ton)
- c_{kp} dağıtım merkezi k 'nin dönem p 'deki kapasitesi (ton)
- d_{lp} müşteri l 'nin dönem p 'deki ürün talebi (ton)
- d_{lcp} müşteri l 'nin dönem p 'deki parça c talebi (ton)
- e_{mp} toplama merkezi m 'nin dönem p 'deki kapasitesi (ton)
- f_{hp} ayrıştırma merkezi h 'nin dönem p 'deki kapasitesi (ton)
- g_{qcp} yenileme merkezi q 'nin dönem p 'deki parça c kapasitesi (ton)
- Δ_{ri} hammadde tedarikçisi r ve tedarikçi i arasındaki mesafe (km)
- Δ_{ij} tedarikçi i ve fabrika j arasındaki mesafe (km)
- Δ_{jk} fabrika j ve dağıtım merkezi k arasındaki mesafe (km)
- Δ_{kl} dağıtım merkezi k ve müşteri l arasındaki mesafe (km)
- Δ_{lm} müşteri l ve toplama merkezi m arasındaki mesafe (km)
- Δ_{mh} toplama merkezi m ve ayrıştırma merkezi h arasındaki mesafe (km)
- Δ_{hl} ayrıştırma merkezi h ve müşteri l arasındaki mesafe (km)
- Δ_{hq} ayrıştırma merkezi h ve yenileme merkezi q arasındaki mesafe (km)
- Δ_{hr} ayrıştırma merkezi h ve hammadde merkezi r arasındaki mesafe (km)

Δ_h	ayırıştırma merkezi h ile atık merkezi arasındaki mesafe (km)
Δ_{qj}	yenileme merkezi q ve fabrika j arasındaki mesafe (km)
Δ_{il}	tedarikçi i ve müşteri l arasındaki mesafe (km)
rw_c	bir adet parça c 'nin ağırlığının ürünün toplam ağırlığına oranı (ton)
α_{jp}	fabrika j 'nin dönem p 'deki sabit işletme maliyeti (pb)
β_{kp}	dağıtım merkezi k 'nin dönem p 'deki sabit işletme maliyeti (pb)
γ_{mp}	toplama merkezi m 'nin dönem p 'deki sabit işletme maliyeti (pb)
θ_{hp}	ayırıştırma merkezi h 'nin dönem p 'deki sabit işletme maliyeti (pb)
t	birim taşıma maliyeti (pb/ton.km)
π_{ic}	tedarikçi i 'den parça c 'yi satın alma maliyeti (pb/ton)
ρ_{qc}	yenileme merkezi q 'da parça c 'yi işleme maliyeti (pb/ton)
H_p	dönem p 'de açılabilir enbüyük fabrika sayısı (adet)
G_p	dönem p 'de açılabilir enbüyük dağıtım merkezi sayısı (adet)
M_p	dönem p 'de açılabilir enbüyük toplama merkezi sayısı (adet)
N_p	dönem p 'de açılabilir enbüyük ayırıştırma merkezi sayısı (adet)
η	ayırıştırma merkezinden müşteriye gönderilen parça yüzdesi
κ	ayırıştırma merkezinden yenileme merkezine gönderilen parça yüzdesi
λ	ayırıştırma merkezinden hammadde tedarikçisine gönderilen parça yüzdesi
μ	ayırıştırma merkezinden atığa gönderilen parça yüzdesi

Amaç Fonksiyonu

En Küçükleme

$$\begin{aligned}
 t * (\sum_r \sum_i \sum_w \sum_p A_{riwp} \cdot \Delta_{ri} + \sum_i \sum_j \sum_c \sum_p X_{ijcp} \cdot \Delta_{ij} + \sum_j \sum_k \sum_p Y_{jkp} \cdot \Delta_{jk} + \\
 \sum_k \sum_l \sum_p Z_{klp} \cdot \Delta_{kl} + \sum_l \sum_m \sum_p W_{lmp} \cdot \Delta_{lm} + \sum_m \sum_h \sum_p L_{mhp} \cdot \Delta_{mh} + \\
 \sum_h \sum_l \sum_c \sum_p R_{hlcp} \cdot \Delta_{hl} + \sum_h \sum_q \sum_c \sum_p U_{hqcp} \cdot \Delta_{hq} + \sum_h \sum_r \sum_w \sum_p F_{hrwp} \cdot \Delta_{hr} + \\
 \sum_h \sum_w \sum_p D_{hwp} \cdot \Delta_h + \sum_q \sum_j \sum_c \sum_p I_{qjcp} \cdot \Delta_{qj} + \sum_i \sum_l \sum_c \sum_p S_{ilcp} \cdot \Delta_{il}) + \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

$$\sum_i \sum_j \sum_c \sum_p X_{ijcp} \cdot \pi_{ic} + \quad (3.2)$$

$$\sum_q \sum_j \sum_c \sum_p I_{qjcp} \cdot \rho_{qc} + \quad (3.3)$$

$$\sum_j \sum_p H_{jp} \cdot \alpha_{jp} + \sum_k \sum_p G_{kp} \cdot \beta_{kp} + \sum_m \sum_p M_{mp} \cdot \gamma_{mp} + \sum_h \sum_p N_{hp} \cdot \theta_{hp} \quad (3.4)$$

Kısıtlar

$$\sum_i A_{riwp} \leq v_{rwp} \quad \forall_{r,w,p} \quad (3.5)$$

$$\sum_l S_{ilcp} + \sum_j X_{ijcp} \leq a_{icp} \quad \forall_{i,c,p} \quad (3.6)$$

$$\sum_k Y_{jkp} \leq b_{jp} \cdot H_{jp} \quad \forall_{j,p} \quad (3.7)$$

$$\sum_l Z_{klp} \leq c_{kp} \cdot G_{kp} \quad \forall_{k,p} \quad (3.8)$$

$$\sum_h L_{mhp} \leq e_{mp} \cdot M_{mp} \quad \forall_{m,p} \quad (3.9)$$

$$D_{hwp} + \sum_l R_{hlcp} + \sum_q U_{hqcp} + \sum_r F_{hrwp} \leq f_{hp} \cdot N_{hp} \quad \forall_{h,c,w,p} \quad (3.10)$$

$$\sum_j I_{qjcp} \leq g_{qcp} \quad \forall_{q,c,p} \quad (3.11)$$

$$\sum_k Z_{klp} \geq d_{lp} \quad \forall_{l,p} \quad (3.12)$$

$$\sum_h R_{hlcp} + \sum_i S_{ilcp} \geq d_{icp} \quad \forall_{i,c,p} \quad (3.13)$$

$$\sum_j H_{jp} \leq H_p \quad \forall_p \quad (3.14)$$

$$\sum_k G_{kp} \leq G_p \quad \forall_p \quad (3.15)$$

$$\sum_m M_{mp} \leq M_p \quad \forall_p \quad (3.16)$$

$$\sum_h N_{hp} \leq N_p \quad \forall_p \quad (3.17)$$

$$\sum_r \sum_w A_{riwp} - \sum_j \sum_c X_{ijcp} - \sum_l \sum_c S_{ilcp} = 0 \quad \forall_{i,p} \quad (3.18)$$

$$\sum_i X_{ijcp} + \sum_q I_{qjc(p-1)} - r_{wc} \cdot \sum_k Y_{jkp} = 0 \quad \forall_{j,p,c} \quad (3.19)$$

$$\sum_j Y_{jkp} - \sum_l Z_{klp} = 0 \quad \forall_{k,p} \quad (3.20)$$

$$\sum_k Z_{klp} - \sum_m W_{lm(p+1)} = 0 \quad \forall_{l,p} \quad (3.21)$$

$$\sum_i S_{ilcp} + \sum_h R_{hlcp} - B_{lc(p+1)} = 0 \quad \forall_{l,p} \quad (3.22)$$

$$\sum_l W_{lmp} - \sum_h L_{mhp} = 0 \quad \forall_{m,p} \quad (3.23)$$

$$\sum_c r_{wc} \cdot \sum_m L_{mhp} \cdot \eta - \sum_l \sum_c R_{hlcp} = 0 \quad \forall_{h,p} \quad (3.24)$$

$$\sum_c r_{wc} \cdot \sum_m L_{mhp} \cdot \kappa - \sum_q \sum_c U_{hqcp} = 0 \quad \forall_{h,p} \quad (3.25)$$

$$\sum_m L_{mhp} \cdot \lambda - \sum_r \sum_w F_{hrwp} = 0 \quad \forall_{h,p} \quad (3.26)$$

$$\sum_m L_{mhp} \cdot \mu - \sum_w D_{hw} = 0 \quad \forall_{h,p} \quad (3.27)$$

$$\sum_h U_{hqcp} - \sum_j I_{qjcp} = 0 \quad \forall_{q,c,p} \quad (3.28)$$

$$A_{riwp} \geq 0 \quad \forall_{r,i,w,p} \quad (3.29)$$

$$X_{ijcp} \geq 0 \quad \forall_{i,j,c,p} \quad (3.30)$$

$$Y_{jkp} \geq 0 \quad \forall_{j,k,p} \quad (3.31)$$

$$Z_{klp} \geq 0 \quad \forall_{k,l,p} \quad (3.32)$$

$$W_{lmp} \geq 0 \quad \forall_{l,m,p} \quad (3.33)$$

$$L_{mhp} \geq 0 \quad \forall_{m,h,p} \quad (3.34)$$

$$U_{hqcp} \geq 0 \quad \forall_{h,q,c,p} \quad (3.35)$$

$$F_{hrwp} \geq 0 \quad \forall_{h,r,w,p} \quad (3.36)$$

$$R_{hlcp} \geq 0 \quad \forall_{h,l,c,p} \quad (3.37)$$

$$S_{ilcp} \geq 0 \quad \forall_{i,l,c,p} \quad (3.38)$$

$$I_{qicp} \geq 0 \quad \forall_{q,i,c,p} \quad (3.39)$$

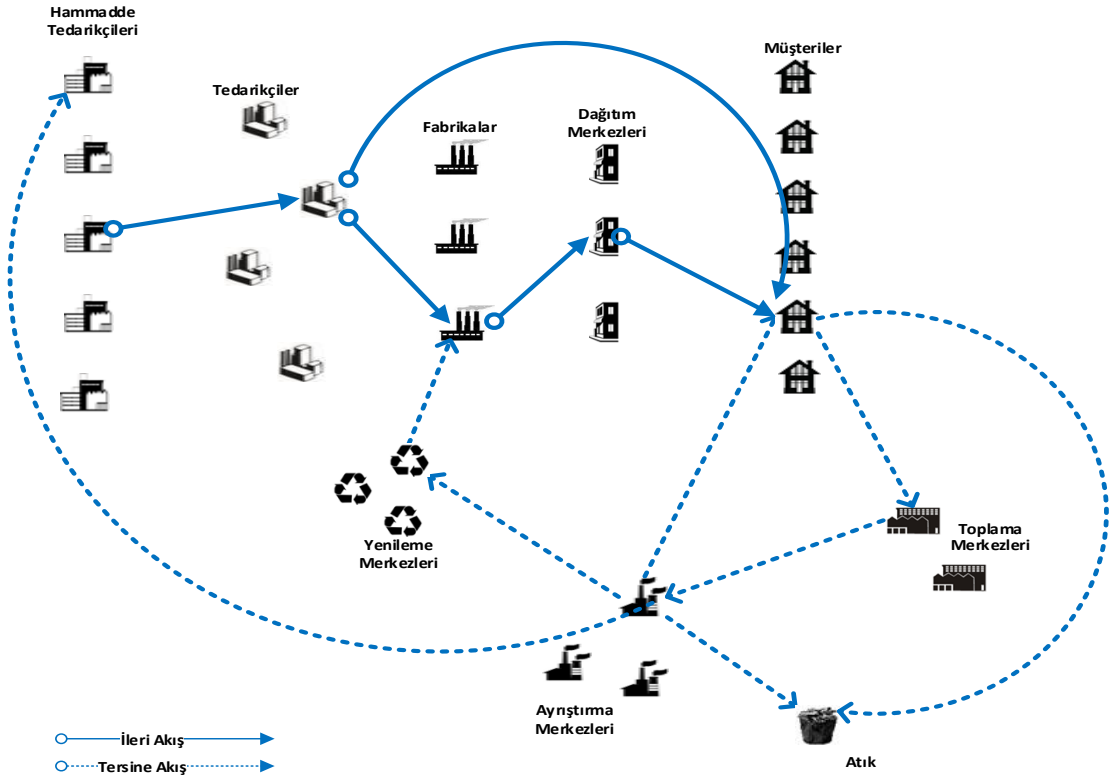
$$D_{hwp} \geq 0 \quad \forall_{h,w,p} \quad (3.40)$$

$$H_{jp}, G_{kp}, M_{mp}, N_{hp} = \{0,1\} \quad \forall_{j,k,m,h,p} \quad (3.41)$$

Amaç fonksiyonu dört kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım (3.1) taşıma maliyetlerini, ikinci kısım (3.2) satın alma maliyetlerini, üçüncü kısım (3.3) yenileme maliyetlerini ve dördüncü kısım (3.4) ise sabit işletme maliyetlerini enküçülemektedir. Kısıt (3.5) hammadde tedarikçilerinden tedarikçilere taşınan hammadde miktarının ilgili hammadde tedarikçisinin kapasitesinden fazla olamayacağını göstermektedir. Kısıt (3.6) tedarikçilerden fabrikalara taşınan parça miktarının ilgili tedarikçi kapasitesinden fazla olamayacağını ifade ederken, kısıt (3.7) fabrikalardan dağıtım merkezlerine taşınan ürün miktarının ilgili fabrikanın kapasitesinden fazla olamayacağını göstermektedir. Kısıt (3.8) dağıtım merkezlerinden müşterilere gönderilen ürün miktarının ilgili dağıtım merkezinin kapasitesinden fazla olamayacağını; Kısıt (3.9) toplama merkezlerinden ayrıştırma merkezlerine taşınan ürün miktarının ilgili toplama merkezinin kapasitesinden fazla olamayacağını göstermektedir. Kısıt (3.10) ayrıştırma merkezlerinden yenileme merkezlerine, hammadde merkezlerine, müşterilere ve atığa gönderilen parça miktarının ilgili ayrıştırma merkezinin kapasitesinden fazla olamayacağını ve Kısıt (3.11) de yenileme merkezlerinden fabrikalara taşınan parça miktarının ilgili yenileme merkezinin kapasitesinden fazla olamayacağını ifade etmektedir. Kısıt (3.12) müşterilerin ürüne olan talepleri iken, (3.13) müşterilerin yedek parça taleplerine ilişkin kısıtlardır. Bu kısıtlar her bir dönem için müşteri taleplerinin eksiksiz karşılanmasını sağlamaktadır. (3.14) -(3.17) numaralı kısıtlar açılabilir fabrika, dağıtım merkezi, ayrıştırma merkezi ve yenileme merkezine ait tesis sayısı üst sınır kısıtıdır, diğer bir deyişle bu tesislerin sayısının istenen seviyenin altında olmasını sağlamaktadır. (3.18) ile (3.28) arasında yer alan kısıtlar ise denge kısıtlarıdır, yani ilgili tesise giren ürün veya parça miktarı ile o tesisten çıkan ürün veya parça miktarının birbirine eşit olmasını sağlayan kısıtlardır. Geri kalan (3.29) - (3.41) arasındaki kısıtlar ise karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır.

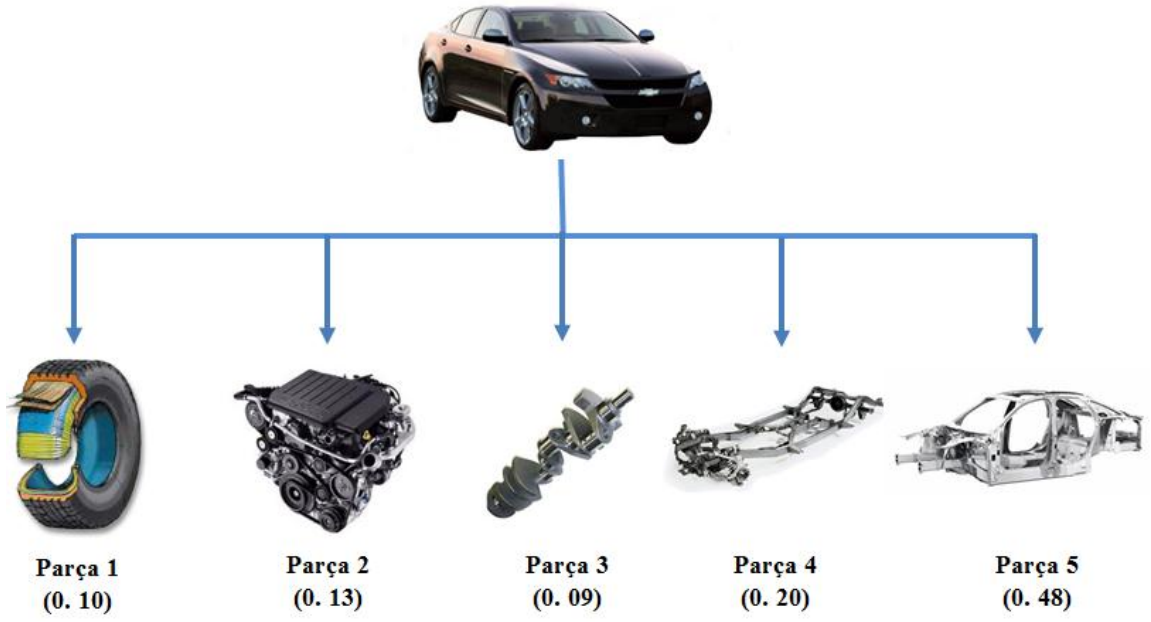
3.2. Tek Seviyeli Tek Karar Vericili KTDP Modeline İlişkin Test Problemi Çözüm Sonuçları

Geliştirilen modelin başarısının gösterilebilmesi için otomotiv endüstrisine uygun olacak şekilde hipotetik verilerle farklı senaryolara göre bir test problemi türetilerek model denenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Çözümler GAMS Cplex ile gerçekleştirilmiştir. Türetilen test probleminde KDTZ ağının ileri aşaması Şekil 3.2’de gösterildiği gibi 5 hammadde tedarikçisi, 4 tedarikçi, 3 fabrika, 3 dağıtım merkezi ve 6 müşteriden oluşurken, tersine aşaması 2 toplama merkezi, 3 ayrıştırma merkezi, 3 yenileme merkezi ve 1 adet atık tesisinden meydana gelmektedir.



Şekil 3.2 . Önerilen model'e ait ağ yapısı

Tedarikçiler, fabrikalarda montajlanmak üzere ağa değişen oranlarda parçalar sevk etmekte ve ele alınan nihai ürünün 5 parçadan oluştuğu varsayılmaktadır. Bu parçalara ilişkin ağırlık oranları Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Nihai ürüne ait ürün ağacı

Nihai ürün olarak ele alınan otomobil, ton cinsinden hesaplanmış ve nihai ürünü oluşturan parçalar da ton cinsinden ele alınmıştır. Fabrikalarda belirtilen oranlarda parçaların montajlanması sonucu nihai ürünler elde edilmekte, bu ürünler dağıtım merkezleri aracılığıyla müşterilere (nihai kullanıcı) ulaştırılmaktadır. Müşterilerden her dönem kullanılmış ürünler toplama merkezlerince toplanmaktadır. Toplama merkezlerince toplanan bu ürünler daha sonra ayrıştırma merkezlerine gönderilmektedir.

Ayrıştırma merkezlerindeki ön incelemeden sonra, bir sonraki dönemde herhangi bir işleme gerek kalmadan yeniden kullanılabilir durumda olan ürünler doğrudan çıkma parça olarak müşterilere gönderilmektedir. Gerekli işlemler sonrasında yeniden kullanılabilir hale gelecek durumdaki parçalar ise yenileme merkezlerine gönderilerek, yenileme (refurbishing) sonrası fabrikalara iletilmektedir. Yenilenecek nitelikte olmayan ve müşterilere de gönderilmeyen ancak değer ihtiva eden ve çeşitli ısı işlemler sonucunda tekrardan hammaddeye dönüştürülebilecek nitelikte olan demir ve demir olmayan hurda malzemeler (bulk material) ise hammadde tedarikçilerine gönderilmektedir. Ayrıştırma sonrası açığa çıkan parçalardan, işe yaramayacak düzeyde olan, bozuk, hasarlı ve ayrıştırma artığı olarak nitelendirilebilecek parçalar ise atığa gönderilmektedir.

Birim taşıma maliyeti (t) ton-km başına 0.7 pb olarak kabul edilmiştir. Birim hammadde satın alma maliyetleri (π_c) ve birim yenileme maliyetleri (ρ_{qc}) parça türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Fabrika, dağıtım merkezi, toplama merkezi ve ayrıştırma merkezlerinin sabit işletme maliyetleri de dönemsel olarak farklılık göstermektedir. Fabrikaya ilişkin dönemsel işletme maliyeti olarak yıllık amortisman bedeli veya proje kapsamında açılıp kapatılan montaj hatları baz alınmıştır. Her bir p döneminde açılabilir fabrika sayısı H_p ile ifade edilmiş ve en fazla 3 fabrika ile sınırlandırılmıştır aynı şekilde açılacak dağıtım merkezi G_p ile ifade edilirken en fazla 3 dağıtım merkezi açılabilceği belirtilmiştir. Diğer açma-kapama kararı verilen tesislerden toplama merkezi M_p ile ifade edilmekte ve 2 tesis ile sınırlandırılmıştır. N_p ile ifade edilen ayrıştırma merkezi de en fazla 3 tesis ile sınırlandırılmıştır. Ayrıştırma merkezinden müşterilere gönderilen parçaların oranı $\eta:(0.35)$; yenileme merkezlerine gönderilen parçaların oranı $\kappa:(0.25)$, hammadde tedarikçilerine gönderilen parçaların oranı $\lambda:(0.30)$ ve atığa gönderilen oran $\mu:(0.10)$ olarak belirlenmiştir. Örneğe ilişkin diğer veriler Ek Açıklamalar - A, Çizelge A.1-A.8’de verilmiştir.

Çizelge A.1-A.8’deki veriler ışığında, geliştirilen Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (KTDP) modeli 2.40 GHz işlemcili ve 4GB RAM’e sahip bilgisayarda GAMS-CPLEX paket programı ile 0.39 saniyede çözülmüştür. Taşıma, satın alma, yenileme ve sabit işletme maliyetlerinden oluşan toplam amaç fonksiyonu 23.812.537 pb olarak elde edilmiştir. Çizelge 3.1 amaç fonksiyonundaki bileşenlerin her birinin değerini ve toplam amaç fonksiyonu içindeki yüzdesini vermektedir.

Çizelge 3.1. Her bir amaç fonksiyonu değeri ve yüzdesi

	Performans Göstergesi (PG)	Değer (pb)	Toplam Amaç Fonksiyonu İçindeki (%)
PG1	Toplam amaç fonksiyonu	23.812.537	100
PG2	Toplam taşıma maliyeti	5.868.722	24,65
PG3	Toplam satınalma maliyeti	15.792.465	66,32
PG4	Toplam yenileme maliyeti	1.396.850	5,87
PG5	Toplam işletme maliyeti	754.500	3,17

Çizelge 3.2. Örnek probleme ait eniyi dağıtım planı

	Türü	Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3	Dönem 4	Dönem 5	Toplam
Tedarikçilere Yollanan Miktar	Hammadde 1	4020	3443	3632.5	3705.5	3170.5	17971.5
	Hammadde 2						0
Fabrikaya Yollanan Miktar	Parça 1	100	99	102	127	93	521
	Parça 2	130	128.7	132.6	165.1	120.9	677.3
	Parça 3	90	89.1	91.8	114.3	83.7	468.9
	Parça 4	200	198		6.5		404.5
	Parça 5	480	475.2	443.6	609.6	377.4	2385.8
Dağıtım Merkezine Yollanan Miktar	Nihai Ürün	1000	990	1020	1270	930	5210
Müşteriye Yollanan Miktar	Nihai Ürün	1000	990	1020	1270	930	5210
Geri Toplanan Miktar	Nihai Ürün		1000	990	1020	1270	4280
Ayrıştırılan Miktar	Nihai Ürün		1000	990	1020	1270	4280
Ayrıştırma Merkezinden Müşteriye Yollanan Miktar	Parça 1		69	94		53	216
	Parça 2		140		115	106	361
	Parça 3				148	140	288
	Parça 4		28	124	94	143	389
	Parça 5		113	128.5		2.5	244
Ayrıştırma Merkezinden Yenileme Merkezine Yollanan Miktar	Parça 1					317.5	317.5
	Parça 2						0
	Parça 3						0
	Parça 4		204	247.5	186		637.5
	Parça 5		46		69		115
Ayrıştırma Merkezinden Hammadde Merkezine Yollanan Miktar	Hammadde 1						0
	Hammadde 2		300	297	306	381	1284
Ayrıştırma Merkezinden Atığa Yollanan Miktar	Hammadde 1						0
	Hammadde 2		100	99	102	127	428
Fabrikaya Yollanan Yenilenmiş Parça Miktarı	Parça 1					317.5	317.5
	Parça 2						0
	Parça 3						0
	Parça 4		204	247.5	186		637.5
	Parça 5		46		69		115
Açılan Fabrikalar		1	1	1	1	1	
Açılan Dağıtım Merkezleri		1	1	1	1	1	
Açılan Toplama Merkezleri		1	1	1	1	1	
Açılan Ayrıştırma Merkezleri		1	1	1	1	1	

Çizelge 3.1'e göre toplam amaç fonksiyonu içindeki en büyük paya, toplam satın alma maliyeti sahipken (%66.32), satın alma maliyetini sırasıyla toplam taşıma maliyeti (%24.65), toplam yenileme maliyeti (%5.87) ve toplam sabit işletme maliyeti (%3.17) izlemiştir. Her bir dönem için önerilen modele ait eniyi değerler Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de, birinci ve ikinci döneme ait eniyi dağıtım ağırları ise Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de verilmiştir.

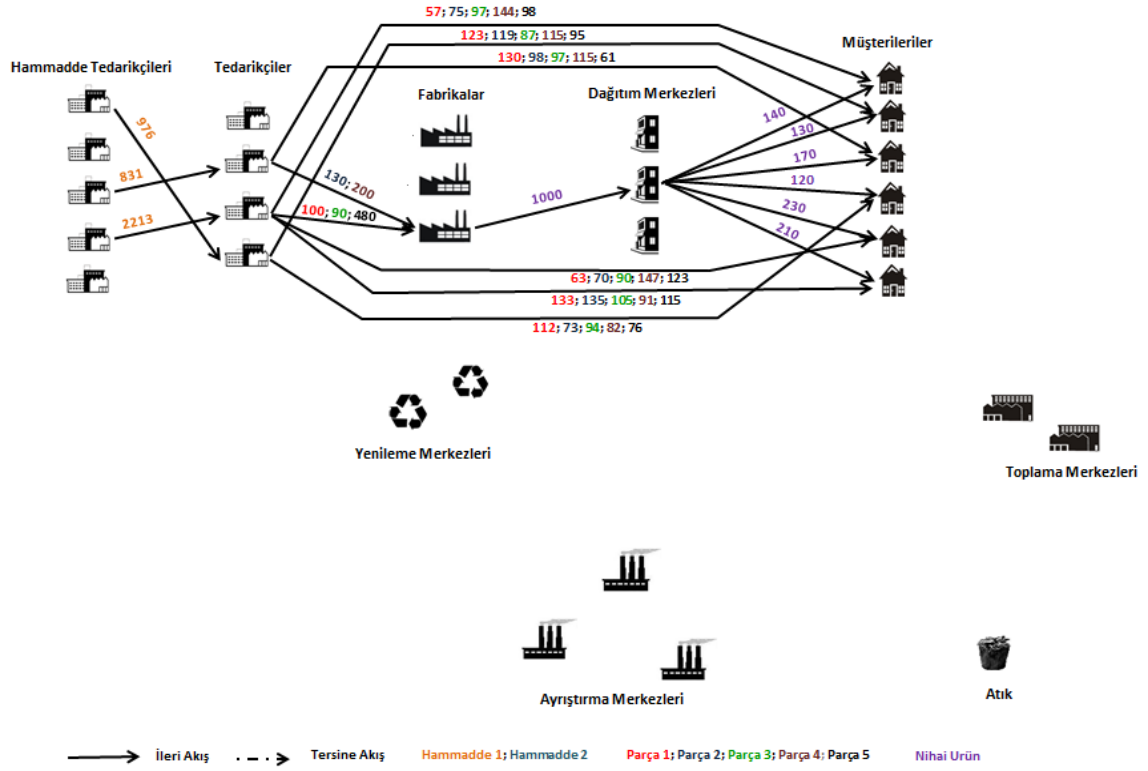
Çizelge 3.3. Parça akışına ait eniyi dağıtım planı

	Türü	Dönem 1	Dönem 2	Dönem 3	Dönem 4	Dönem 5	Toplam
Fabrikadan Müşteriye Gönderilen Yedek Parça	Parça 1	618	457	427	494	457	2453
	Parça 2	570	509	626	504	569	2778
	Parça 3	570	533	598	483	559	2743
	Parça 4	694	582	604	563	476	2919
	Parça 5	568	372	607.5	639	490.5	2677
Müşterinin Atığa Yolladığı Miktar	Parça 1		618	526	521	494	2159
	Parça 2		570	649	626	619	2464
	Parça 3		570	533	598	631	2332
	Parça 4		694	610	728	657	2689
	Parça 5		568	485	736	639	2428

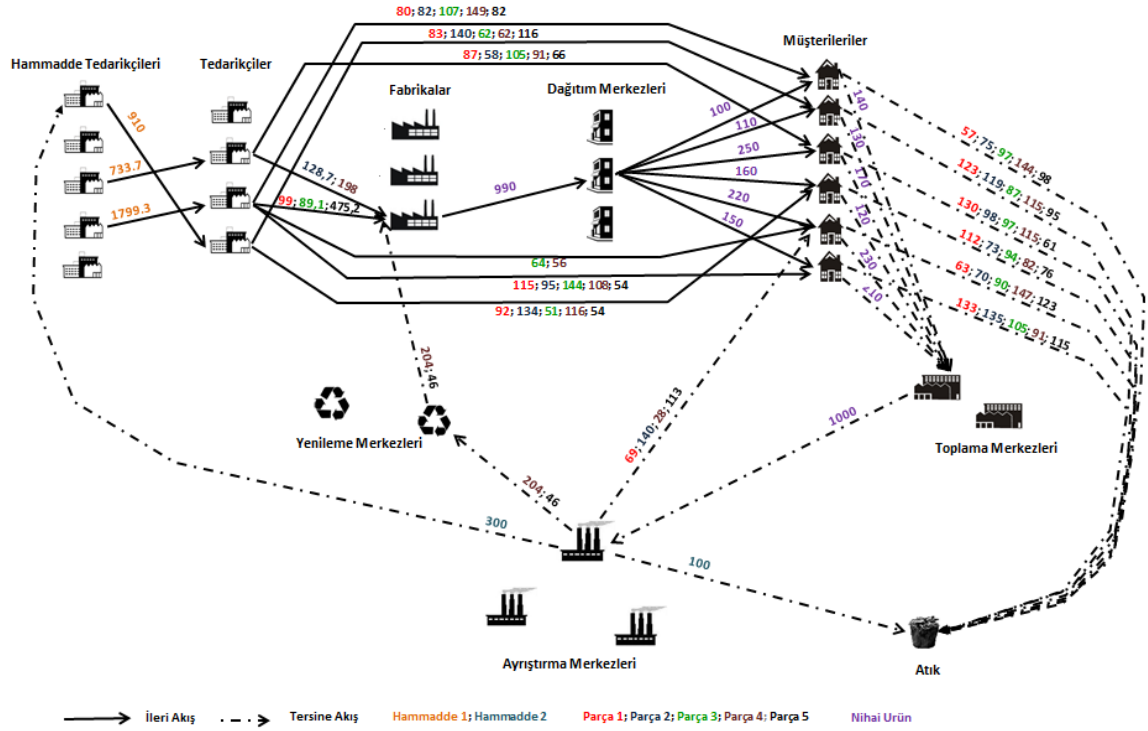
Çizelge 3.2'de birinci satır hammadde tedarikçilerinden tedarikçilere parça haline dönüştürülmesi için yollanan hammadde miktarını göstermektedir. Buna göre birinci tür hammaddeden sırasıyla 4020, 3443; 3632.5; 3705.5 ve 3170.5 ton satın alma gerçekleşmiştir. İkinci satır ise tedarikçilerden fabrikalara gönderilen parça türlerini ve miktarlarını göstermektedir. Buna göre, birinci dönemde birinci tip parçadan 100, ikinci tip parçadan 130, üçüncü tip parçadan 90, dördüncü tip parçadan 200 ve beşinci tip parçadan 480 ton satınalma gerçekleşmiştir. İkinci dönemde birinci tip parçadan 99, ikinci tip parçadan 128,7, üçüncü tip parçadan 89,1, dördüncü tip parçadan 198 ve beşinci tip parçadan 475,2 ton satınalma gerçekleşmiştir. Üçüncü dönemde birinci tip parçadan 102, ikinci tip parçadan 132,6, üçüncü tip parçadan 91,8 ve beşinci tip parçadan 443,6 ton

satınalma gerçekleşmiştir. Dördüncü dönemde birinci tip parçadan 127, ikinci tip parçadan 165,1, üçüncü tip parçadan 114,3, dördüncü tip parçadan 6,5 ve beşinci tip parçadan 609,6 ton satınalma gerçekleşmiştir. Beşinci ve son dönemde ise birinci tip parçadan 93, ikinci tip parçadan 120,9, üçüncü tip parçadan 83,7 ve beşinci tip parçadan 377,4 ton satınalma gerçekleşmiştir. Her bir dönemde fabrika, dağıtım merkezi, toplama merkezi ve ayrıştırma merkezinden birer adet açıldığı görülmüştür. Ürünleri en az 1 dönem kullanılmasının ardından geri dönüşüme girmesi gerektiği düşünüldüğünden model bu şekilde tasarlanmış ve bunun sonucunda da müşterilerden ilk dönem için herhangi bir geri dönüş olmamıştır. Daha sonraki dönemlerde ise sırasıyla 1000, 990, 1020 ve 1270 ton olmak üzere kullanım ömrünü tamamlamış ürün toplanmıştır. Toplama merkezlerinde toplanan bu ürünler herhangi bir işleme tabi tutulmadan gerekli taşıma yöntemleri kullanılarak ayrıştırma merkezlerine iletilmektedir.

Ayrıştırma merkezlerine iletilen ürünler burada gerekli ayrıştırma süreçlerine tabi tutulduktan sonra, ayrıştırılmış parçalardan herhangi bir işleme gerek duyulmadan kullanılabilir durumda olan %35 lik kısmı ikinci dönemden başlamak üzere sırasıyla 350; 346,5; 357 ve son dönemde ise 444,5 ton olmak üzere müşterilere geri gönderilmiştir. İşlem gördükten sonra yeniden kullanılabilir düzeyde olan %25 lik kısım ise yine ikinci dönemden başlamak üzere sırasıyla 250; 247,5; 255 ve 317,5 ton olarak yenileme merkezlerine gönderilmiştir. Hammadde olarak kullanılabilir nitelikte olan %30'luk kısım ise hammadde 2'den elde edilmiş ve dönemsel olarak 300; 297; 306 ve 381 ton şeklinde hammadde merkezlerine gönderilmiştir. Geriye kalan %10'luk kısım ise hammadde 2'ye ait olup (toplamda 428 ton) ürün artığı olarak nitelendirilecek içerikte olup atığa gönderilerek bertaraf edilmiştir.



Şekil 3.4. Birinci döneme ilişkin eniyi dağıtım ağı



Şekil 3.5. İkinci döneme ilişkin eniyi dağıtım ağı

Yenileme merkezlerine gönderilen toplam 1070 ton yenilenebilir nitelikteki parça dönemsel olarak yenilenmiş ve sırasıyla 250; 247,5; 255; 317,5 ton ürün bir sonraki dönemde kullanılmak üzere fabrikalara gönderilmiştir. Bununla birlikte Çizelge 3.3'te yer verildiği ve Şekil 3.5'te belirtildiği üzere tedarikçilerden de farklı dönemlerde, farklı miktarlarda, farklı müşterilere orijinal parça gönderilmektedir. Gönderilen bu parçalar eskileriyle değiştirildikten sonra, ortaya çıkan eski parçalar müşteriler tarafından bertaraf edilmekte ve sistem dışına çıkarılmaktadır. İlk dönem için herhangi bir atığa yollama gerçekleşmemiş olmasına karşın sonraki dönemlerde müşterilerin aldıkları orijinal ve ikinci el yedek parça miktarınca atığa yollanan parça sistemde görülmektedir. Ayrıca Şekil 3.5'te görüldüğü üzere müşteriler sadece tedarikçilerden aldıkları değil, ayrıştırma merkezlerinden aldıkları ikinci el parçaları eskileriyle değiştirmeleri sonucunda açığa çıkan kullanılamaz nitelikteki parçaları da atığa göndermektedirler.

3.3. Bazı Parametrelerin Çözümüne Etkisi

Geliştirilen modelde bazı önemli parametrelerin çözüm üzerinde etkili olacağı düşünülmüş ve ayrı senaryo türetilmiş ve elde edilerek edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

3.3.1. Talep Değişimlerinin Etkisi (Senaryo 1)

İlk senaryo analizi olası talep değişimlerinin performans göstergeleri üzerindeki etkisini ölçmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, Ek Açıklamalar Çizelge A.7' de verilen başlangıç problemine ait talep değerleri 8 defa %5 oranında artırılmıştır. Çizelge 3.4 bu değişimler sonucunda elde edilen her bir amaç fonksiyonu değeri ve toplam amaç fonksiyonu içindeki yüzdelerini göstermektedir.

Çizelge 3.4. Senaryo 1'e göre elde edilen sonuçlar

Talep Değişimi	Performans Göstergesi (PG)					Toplam Amaç Fonksiyonu İçindeki Yüzde (%)				
	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
5%	24789710	5986429	16582088	1466692	754500	100%	24.15%	66.89%	5.92%	3.04%
10%	25766833	6104137	17371711	1536535	754500	100%	23.69%	67.42%	5.96%	2.93%
15%	26744056	6221844	18161334	1606377	754500	100%	23.26%	67.91%	6.01%	2.82%
20%	27721230	6339552	18950958	1676220	754500	100%	22.87%	68.36%	6.05%	2.72%
25%	28698403	6457259	19740581	1746062	754500	100%	22.50%	68.79%	6.08%	2.63%
30%	29676846	6576237	20530204	1815905	754500	100%	22.16%	69.18%	6.12%	2.54%
35%	30657567	6697492	21319827	1885747	754500	100%	21.85%	69.54%	6.15%	2.46%
40%	31640441	6820900	22109451	1955590	754500	100%	21.56%	69.88%	6.18%	2.38%

Ek Açıklamalar Çizelge A.7' deki verilere göre, beklendiği gibi talepteki artış hem taşıma hem de diğer maliyetlerde belirli oranlarda artışa neden olmuştur. Mevcut talepteki %40 oranındaki artış; toplam, taşıma, satın alma, yenileme maliyetlerinde sırasıyla %32.87, %16.22, %40, %40 oranında artışa yol açarken, tesis açma maliyetlerinde herhangi bir değişikliğe sebep olmamıştır. Görüldüğü gibi en yüksek artış satınalma ve yenileme maliyetlerinde gerçekleşirken, taşıma maliyetlerinde daha düşük oranda bir değişiklik gözlemlenmiştir.

Toplam amaç fonksiyonu içinde taşıma maliyetinin ve tesis açma maliyetinin payı değişen oranlarda azalırken, satın alma ve yenileme maliyetleri incelendiği zaman ise satınalma maliyetlerinde artış görülmekte, yenileme maliyetlerinde ise satınalma maliyetleri kadar olmasa da daha az bir oranda artış gerçekleşmektedir. Sonuç olarak, yapılacak girişimler, reklam, pazarlama veya satış stratejilerinin geliştirilmesi ile elde edilebilecek bir talep artışı durumunda tesis açma maliyetlerinin bu oranlar baz alındığında daha az önemli olduğu, ancak satınalma maliyetlerinin ise karar vericilerin dikkat etmesi gereken bir performans göstergesi olduğu görülmüştür.

3.3.2. Geri dönüşüme ait oranların sonuca etkisi (Senaryo 2)

İkinci senaryo, ayrıştırma merkezinden, yenilme merkezi, müşteri, hammadde ve atığa gönderilen ürünlerin geri dönüşüm oranlarının performans göstergeleri üzerindeki etkilerinin ölçülmesi için gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak hammadde merkezi ve atığa gönderilen parça oranların (λ, μ) %5 sabit olduğu varsayılmış, yenilme merkezi (κ) ve

müşterilere (η) gönderilen parçaların geri dönüşüm oranları ile birlikte toplamı 1 olacak şekilde kabul edilmiştir. Ele alınan test probleminde müşterilere ve yenileme merkezlerine gönderilen parça oranlarının değerleri etkileşimli olarak %10 ile %80 arasında değiştirilmiştir. Böylelikle yenileme merkezine gönderilen parçalarla müşteriye gönderilen parça oranları üzerinden performans göstergelerinde meydana gelen değişim yorumlanmaya çalışılacaktır. Çizelge 3.5 elde edilen sonuçları göstermektedir.

Çizelge 3.5. Senaryo 2'den elde edilen sonuçlar

η	κ	Performans Göstergesi (PG)					Toplam Amaç Fonksiyonu İçindeki Yüzde (%)				
		PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
10%	80%	21280485	6146566	8049650	6340269	744000	100%	28.88%	37.83%	29.79%	3.50%
20%	70%	21453879	6042334	8751565	5915980	744000	100%	28.16%	40.79%	27.58%	3.47%
30%	60%	21810349	5936244	10006665	5124440	743000	100%	27.22%	45.88%	23.50%	3.41%
40%	50%	22273713	5801348	11662165	4055700	754500	100%	26.05%	52.36%	18.21%	3.39%
50%	40%	22726753	5667628	13317665	2986960	754500	100%	24.94%	58.60%	13.14%	3.32%
60%	30%	23213669	5567784	14973165	1918220	754500	100%	23.98%	64.50%	8.26%	3.25%
70%	20%	23752031	5477386	16550665	969480	754500	100%	23.06%	69.68%	4.08%	3.18%
80%	10%	24446394	5386889	17838265	466740	754500	100%	22.04%	72.97%	1.91%	3.09%

Çizelge 3.5'e göre η değerinin (müşterilere gönderilen parça oranı) artması ve κ değerinin (yenileme merkezine gönderilen parça oranı) azalması toplam maliyeti ve satın alma maliyetini artırmaktadır. Buna göre ayrıştırma merkezlerinde ayrıştırma sonrası ortaya çıkan yenilenebilir parça oranı düştükçe, fabrikanın yeni ürün satınalma ihtiyacı artmakta ve bu durum hem satınalma maliyetlerinde hem de toplam maliyette sırasıyla %121,60 ve %14,87'lik bir artışa sebep olmaktadır. Yenilebilir parça geri dönüş oranının en üst seviyede olduğu durumda satınalma maliyeti toplam maliyetin %37.83'lük kısmını oluştururken, bu oran yenilenebilir parça geri dönüş oranının düşmesiyle birlikte %72.97'ye kadar yükselmektedir. Bu sonuç parça ihtiyacının yenilenebilir ürünlerden karşılanması durumunda toplam maliyette %14,87'lik bir kar sağlanabileceğini göstermektedir. Buna karşın yenileneme merkezine gönderilen parça oranlarındaki artış taşıma maliyetlerinde %14.10'luk bir artışa sebep olmaktadır. Tesis açma maliyetleri ise parça geri dönüş oranlarından etkilenmemiştir.

3.3.3. Fabrika, dağıtım merkezi, toplama merkezi ve ayırıştırma merkezi kapasitelerinin etkisi (Senaryo 3)

Bu senaryo analizinin amacı ileri ağıda bulunan fabrika ve dağıtım merkezleri ile tersine ağıda yer alan toplama merkezi ve ayırıştırma merkezine ait kapasite değerlerindeki değişimin performans göstergeleri üzerindeki etkilerinin ölçülmesidir. Aynı zamanda kapasite, talep arasındaki ilişkini ve en küçük kapasite sınırında tespit edilmesi beklenen muhtemel çıktılardandır. Bu amaçla 5 alt senaryo analizi yapılmıştır. İlkinde sadece fabrika kapasitesi (Senaryo 3a), ikincisinde sadece dağıtım merkezi kapasitesi (Senaryo 3b), üçüncüsünde sadece toplama merkezi kapasitesi (Senaryo 3c), dördüncüsünde sadece ayırıştırma merkezi kapasitesi (Senaryo 3d) sonuncusunda (Senaryo 3e) ise dört tesis birlikte ele alınmıştır. Öncelikle tüm bu tesislerin kapasitelerinin normal sınırlar içerisinde fazla olduğu varsayımından yola çıkarak tesis kapasiteleri ilk olarak %20 oranında küçültülmüş daha sonra da her denemede bu kapasite azaltma oranının sistematik olarak %90'a kadar devam etmesi planlanmış ancak kapasite sınırlarının farklılık göstermesinden dolayı tüm tesislerde aynı oranda kapasite küçültülememiştir. Çizelge 3.6-3.10'da gösterildiği gibi daha sonra her kapasite için ayrı ayrı limitler belirlenmiş ve daha sonra kapasiteler bu limitlere kadar sistematik olarak düşürülmüştür. Senaryo 3e'de ise %20'den başlayarak her tesisin olabilecek en son kapasite limitinin ele alındığı sınıra kadar kapasiteler düşürülmüş ve ortaya çıkan sonuçlar yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.6 - 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Senaryo 3a'ya göre elde edilen sonuçlar

Kapasite Değişimi	Performans Göstergesi (PG)					Toplam Amaç Fonksiyonu İçindeki Yüzde (%)				
	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
20%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
30%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
40%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
50%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
60%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
70%	23877641	5868826	15792465	1396850	819500	100%	24.58%	66.14%	5.85%	3.43%
80%	23995697	5907882	15792465	1396850	898500	100%	24.62%	65.81%	5.82%	3.74%
85%	24288085	5915270	15792465	1396850	1183500	100%	24.35%	65.02%	5.75%	4.87%

Çizelge 3.7.Senaryo 3b'ye göre elde edilen sonuçlar

Kapasite Değişimi	Performans Göstergesi (PG)					Toplam Amaç Fonksiyonu İçindeki Yüzde (%)				
	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
20%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
30%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
40%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
50%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
60%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
70%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
80%	23955376	5901561	15792465	1396850	864500	100%	24.64%	65.92%	5.83%	3.61%
85%	24097394	5968579	15792465	1396850	939500	100%	24.77%	65.54%	5.80%	3.90%
90%	24292845	677030	15792465	1396850	1026500	100%	2.79%	65.01%	5.75%	4.23%
91%	24397604	6104789	15792465	1396850	1103499	100%	25.02%	64.73%	5.73%	4.52%

Çizelge 3.8. Senaryo 3c'ye göre elde edilen sonuçlar

Kapasite Değişimi	Performans Göstergesi (PG)					Toplam Amaç Fonksiyonu İçindeki Yüzde (%)				
	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
20%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
30%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
40%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
50%	23833443	5865628	15792465	1396850	778500	100%	24.61%	66.26%	5.86%	3.27%
60%	23836691	5868876	15792465	1396850	778500	100%	24.62%	66.25%	5.86%	3.27%
70%	23881352	5869037	15792465	1396850	823000	100%	24.58%	66.13%	5.85%	3.45%
76%	23909285	5876470	15792465	1396850	843500	100%	24.58%	66.05%	5.84%	3.53%

Çizelge 3.9. Senaryo 3d'ye göre elde edilen sonuçlar

Kapasite Değişimi	Performans Göstergesi (PG)					Toplam Amaç Fonksiyonu İçindeki Yüzde (%)				
	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
20%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
30%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
40%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
50%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
60%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
70%	23857755	5897246	15792465	1419044	749000	100%	24.72%	66.19%	5.95%	3.14%
80%	23911521	5930206	15792465	1396850	792000	100%	24.80%	66.05%	5.84%	3.31%
90%	24202577	5997316	15792465	1405296	1007500	100%	24.78%	65.25%	5.81%	4.16%
92%	24295558	5956889	15674867	1592801	1071000	100%	24.52%	64.52%	6.56%	4.41%

Çizelge 3.10. Senaryo 3e'e göre elde edilen sonuçlar

Kapasite Değişimi	Performans Göstergesi (PG)					Toplam Amaç Fonksiyonu İçindeki Yüzde (%)				
	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5
20%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
30%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
40%	23812537	5868722	15792465	1396850	754500	100%	24.65%	66.32%	5.87%	3.17%
50%	23833443	5865628	15792465	1396850	778500	100%	24.61%	66.26%	5.86%	3.27%
60%	23836691	5868876	15792465	1396850	778500	100%	24.62%	66.25%	5.86%	3.27%
70%	23991675	5897666	15792465	1419044	882500	100%	24.58%	65.82%	5.91%	3.68%
Üst Limitler	25065345	6061877	15674867	1587701	1741500	100%	24.18%	62.54%	6.33%	6.95%

Yukarıdaki çizelgelere göre öncelikle elde edilen bulgu, kapasitelerde gerçekleşecek azalmanın yeni tesis ihtiyacını ortaya çıkarmış olması ve sonuç olarak bu durum tesis işletme maliyetlerinde ve toplam maliyetlerde artışa sebep olmasıdır. Diğer taraftan tesis sayısının artmasının sonucu olarak toplam taşıma maliyetlerinde de küçük de olsa artışlar görülmektedir. Kapasitelerde meydana gelen değişimler ürün satışlarına ve yenilenecek parça geri dönüş oranlarına etki etmediğinden dolayı satınalma ve yenileme maliyetlerinde herhangi bir değişiklik gerçekleşmemiştir. Tesisler ayrı ayrı incelendiğinde fabrika (Senaryo3a), dağıtım merkezi (Senaryo3b), toplama merkezi (Senaryo3c), ayırıştırma merkezi (Senaryo3d) ve dört tesisin birlikte ele alındığı (Senaryo3e) senaryolardaki kapasitelerde gerçekleşen azalış, sırasıyla toplam maliyette %1,99, %2,45,

%0,4, %2,02 ve %5,26'lık bir artışa sebep olmuştur. Buna göre dağıtım merkezlerinde meydana gelen kapasite değişimi diğer tesislere göre daha etkiliyken, daha sonra ayrıştırma merkezi ve fabrikalarda meydana gelen değişimler etkili olmaktadır. Toplama merkezlerindeki maliyet değişimi açılan tesis sayısının da az olmasına bağlı olarak diğerleri kadar toplam maliyete etki etmemektedir. Ayrıca kapasitelerin düşürülmesi yeni tesis ihtiyacı doğurduğundan dolayı toplam maliyet artışı içerisindeki en büyük pay tesis işletme maliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Çizelgeler incelendiği zaman da tesis işletme maliyetlerinde meydana gelen değişim açıkça görülmektedir.

Uygulanan senaryo analizleri sonucunda elde edilen çıkarımlar şu şekildedir;

- 1- Amaç fonksiyonları arasında en baskın maliyet satınalma maliyeti iken, daha sonra taşıma maliyeti ve ardından yenileme ve tesis işletme maliyeti gelmektedir.
- 2- Ürün geliştirme, reklam, pazarlama veya satış stratejilerinin geliştirilmesi ile talepte gerçekleşecek %40'lık bir artış, toplam maliyette %32,87'lik bir artışa sebep olmaktadır.
- 3- Ayrıştırma merkezlerindeki ayrıştırma işlemlerinden elde edilen yenilenebilir ürün yüzdesinde meydana gelecek bir artış, toplam maliyette 14,87'lik bir kar sağlamaktadır.
- 4- Fabrika, dağıtım merkezi, toplama merkezi ve ayrıştırma merkezi kapasitelerinin azaltılması toplam maliyeti arttırmaktadır. Dolayısıyla öncelikle dağıtım merkezi ve daha sonra da sırasıyla ayrıştırma merkezi ve fabrikanın kapasitelerinin yüksek tutulması toplam maliyet üzerinde karlılık sağlayacaktır.

3.4. Boyut Analizi ve Etkisi

Son senaryo analizinde, mevcut ağ yapısının genişletilmesi sonucunda performans göstergeleri üzerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Bunun için mevcut tesis sayıları ortalama 6 kat artırılmış ve toplamda 12 farklı test problemi geliştirilmiştir. Rassal olarak üretilen parametre değerleri ve aralıkları Çizelge 3.11'de verilmiştir. Çizelgede gösterilmeyen parametreler başlangıç problemleri ile aynı alınmıştır. Mevcut problem 2585 değişken ve 1019 kısıttan oluşurken, en büyük problem 14734 değişken ve 28939 kısıttan oluşmaktadır. Her bir test problemine ait amaç fonksiyonu değerleri ve işlem süreleri (sn) Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Rassal olarak üretilen parametre değerleri

Parametreler	Aralık
Hammadde Tedarikçisi-tedarikçi arası mesafe	100-300
Tedarikçisi-fabrika arası mesafe	100-300
Fabrika-dağıtım merkezi arası mesafe	100-400
Dağıtım merkezi -müşteri arası mesafe	50-150
Müşteri-toplama merkezi arası mesafe	25-175
Toplama merkezi-ayrıştırma merkezi arası mesafe	100-300
Ayrıştırma merkezi-yenileme merkezi arası mesafe	50-250
Ayrıştırma merkezi-hammadde merkezi arası mesafe	50-350
Ayrıştırma merkezi-müşteri arası mesafe	50-150
Ayrıştırma merkezi-atık arası mesafe	50-200
Yenileme merkezi-fabrika arası mesafe	30-250
Tedarikçi-müşteri arası mesafe	150-600
Hammadde tedarikçi kapasitesi	4000-9000
Tedarikçi kapasitesi	4000-9000
Fabrika kapasitesi	2000-5000
Dağıtım merkezi kapasitesi	2000-5000
Müşteri talebi	150-300
Müşteri yedek parça talebi	50-150
Toplama merkezi	2000-4500
Ayrıştırma merkezi	1000-3000
Yenileme merkezi kapasitesi	3000-7000
Açılabilir fabrika sayısı	Enb
Açılabilir dağıtım merkezi sayısı	Enb
Açılabilir toplama merkezi sayısı	Enb
Açılabilir ayrıştırma merkezi sayısı	Enb

Beklendiği gibi problem boyutu arttıkça hem CPU süresi, hem de toplam maliyet artmaktadır. Büyük boyutlu problemlerin çözüm süreleri 10 saati (36000 sn) aştığından kaynak kullanımı 10 saat ile sınırlandırılmıştır. Karar değişkeni sayısı 5.7, kısıt sayısı da 28.4 kat artarken, çözüm süresi 15151 kat artmıştır. Problem boyutu ile amaç fonksiyonları arasındaki ilişki de Çizelge 3.12’de verilmiştir. Problem boyutunun 6 kat artması toplam maliyeti 8.21 kat, toplam taşıma maliyetini 8.36 kat, toplam satın alma maliyetini 8.96 kat, toplam yenileme maliyetini 8.92 kat ve toplam tesis açma maliyetini 7.54 kat artırmaktadır. En yüksek artış satın alma maliyetinde, en düşük artış ise tesis açma maliyetinde gözlemlenmiştir. Problem boyutu arttıkça, çözüm süreleri üssel olarak artış göstermiştir.

Kaynak kullanımı 10 saatle sınırlandırıldığından, CPU süreleri 11. problem seti ve daha büyük boyutlu problemlerde 10 saate (36000 saniyeye) ulaşmıştır.

Çizelge 3.12. Boyut Anazli sonucunda elde edilen sonuçlar

Numara	Problem Boyutu								Toplam Maliyet İçindeki % Oranı					CPU(sn)
	<i>r</i>	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>h</i>	<i>q</i>	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	
1	5	4	3	3	6	2	3	3	23.812.537	24.65	66.32	5.87	3.17	0.66
2	6	5	4	4	7	2	3	3	32.765.670	25.06	65.98	5.89	3.07	0.74
3	7	6	5	5	8	3	4	4	49.148.505	24.21	66.59	5.95	3.25	15
4	9	8	7	7	10	4	5	5	61.259.354	23.51	67.86	5.16	3.47	143
5	10	9	8	8	11	4	5	5	78.637.608	23.88	67.23	5.85	3.95	373
6	12	10	8	8	12	5	6	6	102.228.938	23.89	67.28	5.22	3.61	138
7	13	11	9	9	13	5	6	6	107.340.354	23.59	67.45	5.22	3.74	1475
8	15	13	11	11	14	6	7	7	115.264.657	23.65	67.59	5.23	3.53	10253
9	18	15	13	12	16	7	8	8	123.628.452	23.50	67.63	5.23	3.64	8122
10	20	18	15	14	16	8	10	10	130.696.038	23.56	67.76	5.24	3.44	13725
11	23	20	17	16	18	10	11	11	145.265.869	23.44	67.73	5.24	3.58	> 36000
12	30	24	18	18	19	12	14	14	253.990.179	23.39	67.88	5.24	3.49	> 36000

Bu göstergeler büyük boyutlu problemler için karma tamsayılı modelin herhangi bir uygun çözümü bile bulmakta zorlandığını göstermektedir. Bu nedenle bir sezgisel yönetmin kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Öte yandan problemin doğası gereği tek karar verimli bir durum günümüz için gerçekçi görünmemektedir. Bu nedenle izleyen kesimde bulanık, etkileşimli ve çok amaçlı durum için eldeki model geliştirilmiş, daha sonra onun melez bir sezgisel kullanılarak nasıl çözüm vereceği araştırılmıştır.

4. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN GELİŞTİRİLEN BULANIK/ETKİLEŞİMLİ ÇOK SEVİYELİ KTDP MODELİ

4.1. Bulanık/Etkileşimli Merkezi Çok Seviyeli Programlama Yaklaşımları

Önceki bölümde önerilen KTDP modeli tek karar vericili ve tek seviyeli bir yapıya sahip olması, gerçek hayat problemlerinden yola çıkılarak tasarlanan ve otomotiv sektörü gibi etkileşim düzeyinin yüksek olduğu sektörleri ele alan çalışmalarda kapalı döngü tedarik zinciri içerisinde yer alan paydaş davranışlarının modele yansıtılmamasından dolayı etkisiz kalmaktadır. Normal hayatın akışına bakıldığı zaman tedarik zincirleri içerisinde yer alan paydaşların her biri birbirinden bağımsız amaçları olan ve bu amaçlarını eniyilemeye çalışan yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak yapılan literatür çalışması göstermiştir ki modeller tasarlanırken, bu çalışmanın bir önceki bölümünde ele alındığı şekilde ve diğer birçok araştırmada genellikle fabrika yada amacı eniyilenmek istenen tesis tüm sistemin tek sahibi konumundadır ve iyileştirilmesi istenen amaçta sadece bu karar vericiye aittir. Ortaya çıkan bu ve benzeri eksikliklerin giderilebilmesi ve modelde yer alan paydaşların memnuniyet düzeylerinin modele yansıtılabilmesi amacıyla bu kısımda çalışma iki ana başlık altında yürütülecek ve Bulanık/Etkileşimli çok amaçlı programlama yaklaşımlarından bahsedilecektir. Önerilen yaklaşım, merkezi ve merkezi olmayan etkileşimli/bulanık programlama olarak iki kısma ayrılmış ve bu yaklaşımların test problemleri ile çözümü sonucu tespit edilen çıkarımlara da çalışma içerisinde yer verilmiştir.

Merkezi KTDP modellerinde geleneksel tedarik zincirlerinden farklı olarak karar vericinin tek olmasına karşın paydaşların amaçları birbirinden farklılık göstermekte ve bu yaklaşım ile amaç fonksiyonları ayrı ayrı hesaplandıktan sonra tüm paydaşların memnuniyet seviyelerinin iyileştirilmesi için ortak bir tatmin seviyesi belirlenerek amaç fonksiyonları bu yönde iyileştirilmektedir. Amaçların birbirinden farklı olmasına karşın tek bir karar vericinin sistem içerisinde yer alması fakat sonuç olarak tüm amaçlar için eniyi sonucun paydaşların memnuniyetine göre şekillenmesi çalışma boyunca ele alınacak olan Zimmerman, Selim ve Özkarahan, Torabi ve Hassini yaklaşımlarını merkezi

bulanık/etkileşimli programlama yaklaşımları olarak adlandırılmamızın temel nedenidir. Merkezi bulanık/etkileşimli programlama yaklaşımlarında modelin birden fazla amacın tek bir karar verici tarafından eniyilendiği varsayımı altında çalışmasına karşın, gerçek hayatta bu şekilde karar mekanizmaları olduğu gibi, birden fazla karar vericinin birden fazla amacı olduğu ve bunların birlikte eniyilenmeye çalışıldığı durumlar da mevcuttur. Bu tür durumlarda merkezi olmayan bulanık/etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı olarak adlandırılacaktır. Bu yaklaşım ile herşeyin sahibi ve tek karar verici artık üst seviyede yer alan karar verici değildir. Geliştirilen model bu yaklaşıma göre incelendiği zaman fabrika, diğer paydaşları olan müşteri ve ayrıştırma merkezinin memnuniyet düzeylerini de göz önünde bulundurarak eniyi maliyet hesaplaması yapmalıdır. Tüm bu değerlendirmeler ilerleyen bölümlerde rassal test problemleri ile test edilmiş ve çözümler değerlendirilmiştir.

4.1.1. Zimmermann yaklaşımı

Zimmermann yaklaşımının temel felsefesi her bir amacın enküçük memnuniyet seviyelerinin eş zamanlı olarak enbüyüklenmesidir. Buradaki bulanıklık sağ taraf veya teknoloji katsayılarından çok, amaç fonksiyonu değerleri ile ilgilidir. Ele alınacak olan örnek bir bulanık çok amaçlı bir doğrusal programlama modeli ile Zimmermann yaklaşımı daha iyi açıklanabilecektir.

Enb (x)

$$(Ax)_i \leq B_i \quad (4.1)$$

$$(x)_i \geq 0$$

Ele alınan bulanık çok amaçlı modelin, amaç fonksiyonları bulanık olarak ifade edilmiştir. Zimmermann (1978) bulanık amaç fonksiyonları için Eşitlik (4.2) ve (4.3)'te verilen üyelik fonksiyonlarını $(\mu_g(x), \forall_g)$ kullanmıştır.

$$\mu_g(x) = \begin{cases} 1, & Z_g(x) \leq Z_g^L \\ \frac{Z_g^U - Z_g(x)}{Z_g^U - Z_g^L}, & Z_g^L \leq Z_g(x) \leq Z_g^U, \quad \forall_g \text{ enküçükleme için} \\ 0, & Z_g(x) \geq Z_g^U \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\mu_g(x) = \begin{cases} 1, & Z_g(x) \geq Z_g^U \\ \frac{Z_g(x) - Z_g^L}{Z_g^U - Z_g^L}, & Z_g^L \leq Z_g(x) \leq Z_g^U, \quad \forall_g \text{ enbüyükleme için} \\ 0, & Z_g(x) \leq Z_g^L \end{cases} \quad (4.3)$$

Bu eşitliklerde Z_g^L ve Z_g^U değerleri ilgili amaç fonksiyonunun alt ve üst sınırlarını göstermektedir. Z_g^L , enküçükleme problemleri için en iyi değeri, Z_g^U ise en büyükleme problemleri için en iyi değeri göstermektedir. Dolayısıyla her iki problem tipi içinde hedeflenen amaç değeri $Z_g^L \leq Z_g(x) \leq Z_g^U$ aralığında olacaktır. Her bir amaca ait Z_g^L ve Z_g^U değerleri tüm amaçların ödünleşme tablosunun (pay-off table) elde edilmesi ile hesaplanır. çizelge 4.1'de tüm amaçların en büyükleme biçiminde olan bir ödünleşme tablosu verilmiştir. En büyükleme problemi olduğu için her bir amaç fonksiyonunun alabileceği en yüksek değer Z_g^U olarak kabul edilmekte ve tablonun köşegen değerleri her bir amacın en iyi değerini göstermektedir.

Çizelge 4.1. Z_g^U değerlerine ilişkin ödünleşme tablosu (Lai ve Hwang, 1996)

	Z_1	Z_2	Z_3	...	Z_g	X
Enb Z_1	Z_1^U	$Z_2(X_1)$	$Z_3(X_1)$	...	$Z_g(X_1)$	X_1
Enb Z_2	$Z_1(X_2)$	Z_2^U	$Z_3(X_2)$	...	$Z_g(X_2)$	X_2
Enb Z_3	$Z_1(X_2)$	Z_2^U	$Z_3(X_2)$	...	$Z_g(X_2)$	X_3
...	$Z_1(X_2)$	Z_2^U	$Z_3(X_2)$	...	$Z_g(X_2)$	...
Enb Z_g	...	...	...	...	...	X_g
	$Z_1(X_g)$	$Z_2(X_g)$	$Z_3(X_g)$	...	Z_g^U	
	Z_1^U	Z_2^U	Z_3^U	...	Z_g^U	

Zimmermann (1978) *enb-enk* yaklaşımının temel noktası her bir amaç fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonu değerlerinin enküçüklerini enbüyüklemektir. Bu durumda eşitlik (4.1) aşağıdaki hale dönüşmektedir (Lai ve Hwang, 1996).

$$\text{Enb [Enk } \mu_g(x)]$$

$$(Ax)_i \leq B_i \quad (4.4)$$

$$x_i \geq 0$$

Tüm amaçlar için genel bir tatmin seviyesini gösteren α değişkeni eklenerek bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli (Eşitlik 4.1) aşağıdaki tek amaçlı KDP problemine dönüşür (Eşitlik 4.5).

Enb α

$$\alpha \leq \mu_g(x) = \frac{z_g^U - z_g(x)}{z_g^U - z_g^L}$$

$$(Ax)_i \leq B_i \quad (4.5)$$

$$x_i \geq 0$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

Bu çözüm yöntemi, aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. İlk önce her bir amaç tek başına çözümlenerek, modele ait ödünleşme tablosu oluşturulur.
2. Ödünleşme tablosundan her bir amacın Z_g^L ve Z_g^U değerleri elde edilerek eşitlik (4.2) ve (4.3)'e göre üyelik fonksiyonları oluşturulur.
3. Oluşturulan üyelik fonksiyonları, ortak tatmin seviyesinden büyük olacak şekilde mevcut kısıtlara eklenir ve model tek amaçlı KDP şeklinde çözülür.

4.1.2. Selim ve Özkarahan (2008)'in bulanık çok amaçlı yaklaşımı

Paksoy vd. (2013), Selim ve Özkarahan (2008)'in önerdikleri bulanık hedef programlamaya dayalı yaklaşımı aşağıdaki şekilde açıklamışlardır. Önerilen yaklaşım Werners (1988)'in 'Ve'leme' operatörünün kullanılmasına dayalıdır. Werners (1988) 'Ve'leme' operatörünü aşağıdaki gibi formülize eder:

$$\mu_D(x) = \text{Enb} \left\{ \gamma \text{enk}_k(\mu_k(x)) + (1 - \gamma) \left(\frac{1}{K} \right) \sum_k \mu_k(x) \right\} \quad (4.6)$$

K bulanık amaçların ve kısıtların toplam sayısını, $\mu_k(x)$ k . bulanık amacın üyelik fonksiyonunu ve γ $[0,1]$ aralığında tanımlı önem katsayısını (ortak tatmin seviyesi) göstermektedir. 'Enk' operatörünün Eşitlik (4.6)'da kullanılmasıyla aşağıdaki doğrusal programlama problemi oluşturulur:

$$enb \gamma\lambda + (1 - \gamma). (1/K) \sum_k \lambda_k$$

$$\mu_k(x) \geq \lambda + \lambda_k \quad \forall k \in K, \forall x \in X$$

$$\lambda, \lambda_k, \gamma \in [0,1]$$

Werners (1988)'in yaklaşımında her bir amaç fonksiyonunun tatmin seviyesi eşit öneme sahip olarak ele alınmıştır. Ancak gerçek hayat problemlerinde karar vericiler amaç fonksiyonları arasında farklı öncelikler tanımlamak isteyebilir. Bunun için Selim ve Özkarahan (2008), bir önceki yaklaşıma farklı önem katsayıları dâhil ederek Werners (1988)'in yaklaşımını aşağıdaki gibi geliştirmişlerdir.

$$enb \gamma\lambda + (1 - \gamma) \sum_k w_k \lambda_k$$

Burada w_k k . amaç fonksiyonunun ağırlığını göstermektedir ve $\sum_k w_k = 1$ koşulu sağlanmalıdır. Literatürde bu ağırlıkların belirlenebilmesi için AHP, ANP, Ağırlıklı En Küçük Kareler ve entropi gibi birçok yöntem mevcuttur.

Selim ve Özkarahan (2008)'in yaklaşım adımları aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

Adım 1: Kesin doğrusal programlama problemi oluşturulur.

Adım 2: Amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonlarını oluşturmak için uç değerler (ödünleşme tablosu değerleri) elde edilir. Eğer KV bu değerlerden birisini tercih edilen uzlaşık çözüm olarak kabul ederse *Adım 7*'ye aksi halde *Adım 3*'e gidilir.

Adım 3: Amaç fonksiyonlarının alt ve üst sınırları kullanılarak her bir bulanık amacın üyelik fonksiyonu elde edilir.

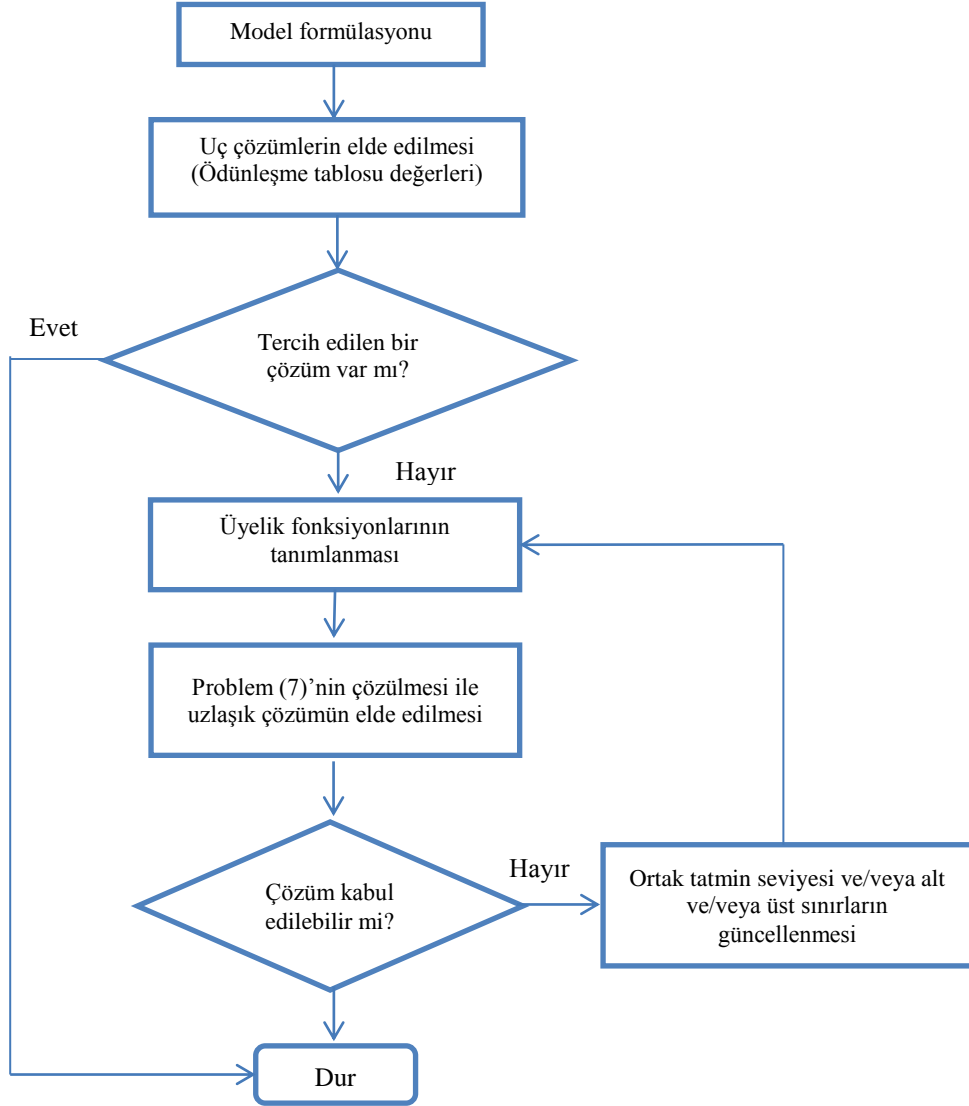
Adım 4: *Adım 3*'de tanımlanan üyelik fonksiyonları ve ortak tatmin seviyesi γ (ilk artırma da 1 alınır) kullanılarak problem Eşitlik (A)'daki hale getirilir.

Adım 5: Uzlaşık çözüm elde edilir. KV bu sonucu kabul ederse *Adım 7*'ye aksi halde *Adım 6*'ya gidilir.

Adım 6: Amaçlara ait üyelik fonksiyonlarının ve ortak tatmin seviyesinin güncellenip güncellenmeyeceği karar vericiye sorulur ve *Adım 3*'e gidilir.

Adım 7: Problem sonlanır.

Yukarıda bahsedilen etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının işlem adımları Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Zimmermann (1978)'nin enb-enk yaklaşımına ilişkin test problemi için Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımının uygulanışı.

4.1.3. Torabi ve Hassini (2008)'nin bulanık çok amaçlı yaklaşımı

Torabi ve Hassini (2008)'in önerdikleri yaklaşımı aşağıdaki şekilde açıklamışlardır. Torabi ve Hassini (2008) literatürdeki diğer yaklaşımlarda bazı eksiklikler görmüştür. Lai and Hwang (1993)'in önerdikleri yöntemde bazen yetersiz çözümler elde edilebilmektedir. Werner (1988) yaklaşımında yeterli (efficient) fakat dengesiz veya kötü uzlaşık çözümler elde edilebilmekte bu nedenle amaç fonksiyonlarının tatmin seviyeleri arasında farklılıklar olmaktadır. Torabi ve Hassini (2008)'nin önerdikleri yaklaşım Lai and Hwang (1993) ve Werner (1988) yöntemlerinin birleştirilmiş halidir.

Selim ve Özkarahan (2008)'dan farklı olarak Torabi ve Hassini (2008) her bir amaç fonksiyonunun tatmin seviyesi ile ortak tatmin seviyesi arasındaki farkın anlamsız olduğunu varsaymış ve amaç fonksiyonlarına ait üyelik fonksiyonu değerlerinin ortak tatmin seviyesinden büyük veya eşit olmasının yeterli olacağını öne sürmüştür.

Torabi ve Hassini (2008)'in önerdikleri yaklaşımın algoritması Selim ve Özkarahan (2008) ile aynıdır. Sadece farklılık, problemin tek amaçlı KDP'ne dönüştürülmesi aşamasıdır. Torabi ve Hassini (2008)'nin önerdikleri formülasyon aşağıda verilmiştir.

$$Enb \quad \gamma\lambda + (1 - \gamma) \sum_k w_k \mu_k \quad (A)$$

$$\lambda \leq \mu_k(x)$$

$$k \in K, x \in X, \gamma \in [0,1]$$

4.2. Çok Seviyeli KTDP Modeli

Çalışmada temel model olarak nitelendirilen tek seviyeli tek amaçlı KTDP modelinin gerçek hayat problemine uyarlanabilmesi ve sistem içerisinde tek karar verici olmasına karşın paydaşların da memnuniyet düzeylerinin ölçülerek modele yansıtılması amaçlanmıştır. Bu bölümde paydaşların memnuniyet düzeylerinin de hesaba katıldığı ve birden fazla amacın aynı anda eniyilemeyi amaçlayan çok seviyeli çok amaçlı KTDP modeli geliştirilmiştir. Yeni geliştirilen modelde öncekinden farklı olarak tek bir amaç yerine birbiri ile etkileşim düzeyi yüksek seviyede olan fabrika, ayrıştırma merkezi ve müşteriler için ayrı ayrı amaçlar belirlenmiştir. Fabrika, ayrıştırma merkezi ve müşterilerin seçilmesine sebep olarak gösterilen yüksek ilişki düzeyi açıklanacak olursa, fabrika

üretimini kar etmek amacıyla yaparken maliyetini de enküçüklemek istemektedir. Ancak karlılığı belirleyen unsurlardan en önemlisi ise üreticinin sunduğu malın müşteriler tarafından talep görmesi yani beğenilmesidir. İşte bu noktada müşteri talebini etkileyen unsurların temelinde o ürüne ilişkin memnuniyet düzeyi gösterilebilir. Müşteride görülen memnuniyet düzeyindeki değişim üretici yani fabrikanın göz ardı edemeyeceği ve amacını eniyilemesinde gözönünde bulundurması gereken bir unsur olarak kendini göstermekte ve gerçek hayatın modele yansıtılması açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. Fabrika ile ayrıştırma merkezi arasındaki ilişkiye bakıldığında fabrika maliyeti enküçüklemek isterken ayrıştırma merkezi karlılığını enbüyüklemek istemektedir. Ancak bu iki durum birbiriyle çelişmekte ve bu durumda kazanç-kayıp ilişkisi üzerinden memnuniyet düzeyleri ile ölçülebilmektedir. Yukarıda anlatılan tüm bu ilişkilerin sağlıklı bir şekilde modele yansıtılması ve memnuniyet düzeylerinin eniyi sonuç üzerinden etkisinin sağlanması bulanık/etkileşimli programlama yaklaşımları ile mümkün olmaktadır. İzleyen bölümde test problemleri üzerinden önerilen yaklaşımlar ele alınacaktır.

İndisler

r	hammadde tedarikçiler kümesi
i	tedarikçiler kümesi
j	fabrikalar kümesi
k	perakendeciler kümesi
l	müşteriler kümesi
m	toplama merkezleri kümesi
h	ayrıştırma merkezleri kümesi
q	yenileme merkezleri kümesi
c	parça kümesi
p	dönem kümesi
w	hammadde kümesi

Değişkenler

- A_{riwp} hammadde merkezi r ' den tedarikçi i 'ye dönem p 'de taşınan hammadde w miktarı (ton)
- X_{ijcp} tedarikçi i ' den fabrika j 'ye dönem p 'de taşınan parça c miktarı (ton)
- Y_{jkp} fabrika j 'den dağıtım merkezi k 'ya dönem p 'de taşınan ürün miktarı (ton)
- Z_{klp} dağıtım merkezi k 'dan müşteri l 'ye dönem p 'de taşınan ürün miktarı (ton)
- W_{lmp} müşteri l 'den toplama merkezi m 'ye dönem p 'de taşınan ürün miktarı (ton)
- B_{lcp} müşteri l 'den atık merkezine dönem p 'de taşınan parça c miktarı (ton)
- L_{mhp} toplama merkezi m 'den ayrıştırma merkezi h 'ye dönem p 'de taşınan ürün miktarı (ton)
- R_{hlcp} ayrıştırma merkezi h 'den müşteri l 'ye dönem p 'de yollanan parça c miktarı (ton)
- U_{hqcp} ayrıştırma merkezi h 'den yenileme merkezi q 'ya dönem p 'de taşınan parça c miktarı (ton)
- F_{hrwp} ayrıştırma merkezi h 'den hammadde merkezi r 'ye dönem p 'de taşınan hammadde w miktarı (ton)
- D_{hwp} ayrıştırma merkezi h 'den atık merkezine dönem p 'de taşınan hammadde w miktarı (ton)
- I_{qjcp} yenileme merkezi q 'dan fabrika j 'ye dönem p 'de taşınan parça c miktarı (ton)
- S_{ilcp} tedarikçi i 'den müşteri l 'ye dönem p 'de yollanan parça c miktarı (ton)
- H_{jp} eğer fabrika j dönem p 'de açılır ise 1, aksi halde 0
- G_{kp} eğer dağıtım merkezi k dönem p 'de açılır ise 1, aksi halde 0
- M_{mp} eğer toplama merkezi m dönem p 'de açılır ise 1, aksi halde 0
- N_{hp} eğer ayrıştırma merkezi h dönem p 'de açılır ise 1, aksi halde 0

Parametreler

v_{rwp}	hammadde tedarikçisi r 'nin dönem p 'deki hammadde w kapasitesi (ton)
a_{icp}	tedarikçi i 'nin dönem p 'deki parça c kapasitesi (ton)
b_{jp}	fabrika j 'nin dönem p 'deki kapasitesi (ton)
c_{kp}	dağıtım merkezi k 'nin dönem p 'deki kapasitesi (ton)
d_{lp}	müşteri l 'nin dönem p 'deki ürün talebi (ton)
d_{lcp}	müşteri l 'nin dönem p 'deki parça c talebi (ton)
e_{mp}	toplama merkezi m 'nin dönem p 'deki kapasitesi (ton)
f_{hp}	ayırıştırma merkezi h 'nin dönem p 'deki kapasitesi (ton)
g_{qcp}	yenileme merkezi q 'nin dönem p 'deki parça c kapasitesi (ton)
Δ_{ri}	hammadde tedarikçisi r ve tedarikçi i arasındaki mesafe (km)
Δ_{ij}	tedarikçi i ve fabrika j arasındaki mesafe (km)
Δ_{jk}	fabrika j ve dağıtım merkezi k arasındaki mesafe (km)
Δ_{kl}	dağıtım merkezi k ve müşteri l arasındaki mesafe (km)
Δ_{lm}	müşteri l ve toplama merkezi m arasındaki mesafe (km)
Δ_{mh}	toplama merkezi m ve ayırıştırma merkezi h arasındaki mesafe (km)
Δ_{hl}	ayırıştırma merkezi h ve müşteri l arasındaki mesafe (km)
Δ_{hq}	ayırıştırma merkezi h ve yenileme merkezi q arasındaki mesafe (km)
Δ_{hr}	ayırıştırma merkezi h ve hammadde merkezi r arasındaki mesafe (km)
Δ_h	ayırıştırma merkezi h ile atık merkezi arasındaki mesafe (km)
Δ_{qj}	yenileme merkezi q ve fabrika j arasındaki mesafe (km)
Δ_{il}	tedarikçi i ve müşteri l arasındaki mesafe (km)

Δ_l	müşteri l ile atık merkezi arasındaki mesafe (km)
rb_c	bir adet nihai ürün içerisinde yer alan parça c adedi (adet/ürün=ton)
rw_c	bir adet parça c 'nin ağırlığının ürünün toplam ağırlığına oranı (ton)
α_{jp}	fabrika j 'nin dönem p 'deki sabit işletme maliyeti (pb)
β_{kp}	dağıtım merkezi k 'nin dönem p 'deki sabit işletme maliyeti (pb)
γ_{mp}	toplama merkezi m 'nin dönem p 'deki sabit işletme maliyeti (pb)
θ_{hp}	ayırıştırma merkezi h 'nin dönem p 'deki sabit işletme maliyeti (pb)
t	birim taşıma maliyeti (pb/ton.km)
$po_{e_{ic}}$	orijinal yedek parçanın fiyatı (pb/ton)
$pu_{e_{hc}}$	ikinci el yedek parçanın fiyatı (pb/ton)
π_{ic}	tedarikçi i 'den parça c 'yi satın alma maliyeti (pb/ton)
ρ_{qc}	yenileme merkezi q 'da parça c 'yi işleme maliyeti (pb/ton)
rde_c	ayırıştırma merkezinden müşterilere gönderilen her bir birim parçadan elde edilen kar (pb/ton)
rre_c	ayırıştırma merkezinden yenileme merkezine gönderilen her bir birim parçadan elde edilen kar (pb/ton)
rbm	ayırıştırma merkezinden hammadde merkezine gönderilen hurda metalden elde edilen kar (pb/ton)
cd	atık maliyeti (pb/ton)
H_p	dönem p 'de açılabilir enbüyük fabrika sayısı (adet)
G_p	dönem p 'de açılabilir enbüyük dağıtım merkezi sayısı (adet)
M_p	dönem p 'de açılabilir enbüyük toplama merkezi sayısı (adet)
N_p	dönem p 'de açılabilir enbüyük ayırıştırma merkezi sayısı (adet)

- η ayrıştırma merkezinden müşteriye gönderilen parça yüzdesi
 κ ayrıştırma merkezinden yenileme merkezine gönderilen parça yüzdesi
 λ ayrıştırma merkezinden hammadde tedarikçisine gönderilen parça yüzdesi
 μ ayrıştırma merkezinden atığa gönderilen parça yüzdesi

Amaç Fonksiyonu 1 (Karar Verici 1; Fabrika)

En Küçükleme

$$t \cdot (\sum_r \sum_i \sum_w \sum_p A_{riwp} \cdot \Delta_{ri} + \sum_i \sum_j \sum_c \sum_p X_{ijcp} \cdot \Delta_{ij} + \sum_j \sum_k \sum_p Y_{jkp} \cdot \Delta_{jk} + \sum_k \sum_l \sum_p Z_{klp} \cdot \Delta_{kl} + \sum_q \sum_j \sum_c \sum_p I_{qjcp} \cdot \Delta_{qj}) + \quad (4.7)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_c \sum_p X_{ijcp} \cdot \pi_{ic} + \quad (4.8)$$

$$\sum_q \sum_j \sum_c \sum_p I_{qjcp} \cdot \rho_{qc} + \quad (4.9)$$

$$\sum_j \sum_p H_{jp} \cdot \alpha_{jp} + \sum_k \sum_p G_{kp} \cdot \beta_{kp} \quad (4.10)$$

Amaç Fonksiyonu 2 (Karar Verici 2; Ayrıştırma Merkezi)

En Büyükleme

$$(\sum_c r d e_c \cdot \sum_h \sum_l \sum_c \sum_p R_{hlcp} + \sum_c r r e_c \cdot \sum_h \sum_q \sum_c \sum_p U_{hqcp} + \sum_w r b m_w \cdot \sum_h \sum_r \sum_w \sum_p F_{hrwp}) - \quad (4.11)$$

$$(t \cdot (\sum_l \sum_m \sum_p W_{lmp} \cdot \Delta_{lm} + \sum_m \sum_h \sum_p L_{mh p} \cdot \Delta_{mh} + \sum_h \sum_q \sum_c \sum_p U_{hqcp} \cdot \Delta_{hq} + \sum_h \sum_r \sum_w \sum_p F_{hrwp} \cdot \Delta_{hr} + \sum_h \sum_w \sum_p D_{hwp} \cdot \Delta_h) + \quad (4.12)$$

$$\sum_m \sum_p M_{mp} \cdot \gamma_{mp} + \sum_h \sum_p N_{hp} \cdot \theta_{hp} + \quad (4.13)$$

$$\sum_w c d_w \cdot \sum_h \sum_w \sum_p D_{hwp}) \quad (4.14)$$

Amaç Fonksiyonu 3 (Karar Verici 3; Müşteri)

En Küçükleme

$$t \cdot (\sum_h \sum_l \sum_c \sum_p R_{hlcp} \cdot \Delta_{hl} + \sum_i \sum_l \sum_c \sum_p S_{ilcp} \cdot \Delta_{il}) + \quad (4.15)$$

$$\sum_i \sum_l \sum_c \sum_p S_{ilcp} \cdot poe_{ic} + \sum_h \sum_l \sum_c \sum_p R_{hlcp} \cdot pue_{hc} \quad (4.16)$$

Kısıtlar

(3.5);(3,6);(3,7);(3,8);(3,9);(3,10);(3,11);(3,12);(3,13);(3,14);(3,15);(3,16);(3,17);(3,18);
 (3,18);(3,19);(3,20);(3,21);(3,22);(3,23);(3,24);(3,25);(3,26);(3,27);(3,28);(3,29);(3,30);
 (3,31);(3,32);(3,33);(3,34);(3,35);(3,36);(3,37);(3,38);(3,39);(3,40);(3,41)

Önerilen modeldeki amaç fonksiyonu 2 farklı seviyede yer alan 3 farklı karar verici için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonunda yer alan karar vericiler Fabrika (J), Ayırıştırma Merkezi (H) ve Müşteri (L) dir. Fabrika (Z_{01}) amaç fonksiyonunda toplam taşıma maliyetleri (4.7) ile birlikte, satın alma (4.8), yenileme (4.9) ve işletme maliyetlerini de (4.10) eş zamanlı olarak enküçükleme istemektedir. Alt seviye karar vericilerden ilki olan Ayırıştırma Merkezi ise (Z_{11}) amaç fonksiyonu ile toplam karını en büyükmeyi amaçlamaktadır. Önerilen amaç fonksiyonunda (4.11) ayırıştırılan parçaların satışından elde edilen karı ifade ederken, (4.12) taşıma maliyetlerini, (4.13) sabit işletme maliyetlerini ve (4.14) de atık maliyetlerini ifade etmektedir. Diğer bir alt seviye karar verici olan Müşteriler ise (Z_{12}) amaç fonksiyonu ile ifade edilen toplam maliyetin en küçüklenmesini amaçlamaktadırlar. Buna göre (4.15) müşterilerin satın aldıkları yedek parçalara ilişkin müşteriye yansıyan taşıma maliyetini, (4.16) ise satın alınan yedek parçanın maliyetini ifade etmektedir. Kısıtlar tek karar vericili ve tek amaçlı KTDP modelinde yer alan kısıtlarla benzerlik göstermektedir. Bu nedenle çalışmanın bundan sonraki kısımlarında kısıtlar için ilgili bölümdeki kısıt numaralarına atıf yapılacaktır. Geliştirilen yeni çok etkileşimli bulanık programlama yaklaşım modelinin en önemli avantajı karar vericiye her bir amaç fonksiyonu için kabul edilebilir etkili bir çözüm sunmasıdır.

4.3. Merkezi Çok Seviyeli KTDP Modeline İlişkin Test Sonuçları

Bu kısımda otomotiv endüstrisi ele alınarak geliştirilen çok seviyeli KTDP modelinin çözümü için önerilen yaklaşımlara ve elde edilen sonuçlara yer verilmektedir.

4.3.1. Zimmermann yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar

Çizelge 4.2’de her bir problem için amaç fonksiyonunun alt ve üst sınırlarını gösteren ödünleşme tablosu yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Her problem için ödünleşme tablosu

	Z_1	Z_2	Z_3
<i>enk</i> Z_1	20.628.168,71	5.541.816,5	41.247.903,4
<i>enb</i> Z_2	115.216.765,9	31.466.018,7	62.474.292,6
<i>enk</i> Z_3	118.686.334,7	27.697.914,29	26.993.750,03
<i>En kötü değerler</i>	118.686.334,7	5.541.816,5	62.474.292,6

Her bir amacın en küçük (enküçükleme için) ve en büyük (enbüyükleme için) olduğu (koyu ile ifade edilen) değerler Çizelge 4.2’nin köşegen değerlerinde gösterilmiştir. Yine aynı şekilde en alt satırda her bir amacın en kötü değerleri italik olarak gösterilmiştir. Ödünleşme tablosu oluşturulduktan sonra üyelik fonksiyonları aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\mu_1(Z_1) = \begin{cases} 1, & Z_1(x) \leq 20.628.168,71, \\ \frac{118686334,7 - Z_1(x)}{118686334,7 - 20.628.168,71}, & 20.628.168,71 \leq Z_1(x) \leq 118686334,7, \\ 0, & Z_1(x) \geq 118686334,7, \end{cases} \quad (4.17)$$

$$\mu_2(Z_2) = \begin{cases} 1, & Z_2(x) \geq 31.466.018,7, \\ \frac{Z_2(x) - 5.541.816,5}{31.466.018,7 - 5.541.816,5}, & 5.541.816,5 \leq Z_2(x) \leq 31.466.018,7, \\ 0, & Z_2(x) \leq 5.541.816,5, \end{cases} \quad (4.18)$$

$$\mu_3(Z_3) = \begin{cases} 1, & Z_3(x) \leq 26.993.750,03, \\ \frac{62.474.292,6 - Z_3(x)}{62.474.292,6 - 26.993.750,03}, & 26.993.750,03 \leq Z_3(x) \leq 62.474.292,6, \\ 0, & Z_3(x) \geq 62.474.292,6. \end{cases} \quad (4.19)$$

İlk aşamada, tüm amaçlar için genel bir tatmin seviyesini gösteren α değişkeni eklenerek aşağıdaki bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi tek amaçlı KDP problemine dönüşür.

En Büyükleme α

$$\alpha \leq \mu_1(Z_1) = \frac{118686334,7 - Z_1(x)}{118686334,7 - 20.628.168,71},$$

$$\alpha \leq \mu_2(Z_2) = \frac{Z_2(x) - 5.541.816,5}{31.466.018,7 - 5.541.816,5},$$

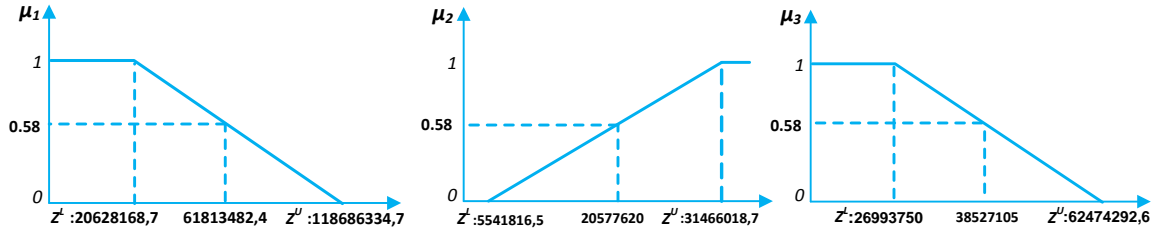
$$\alpha \leq \mu_3(Z_3) = \frac{62.474.292,6 - Z_3(x)}{62.474.292,6 - 26.993.750,03}.$$

Kısıtlar (3.5)-(3.41):

(4.20)

$$0 \leq \alpha \leq 1.$$

Yukarıda verilen tek amaçlı KDP probleminin GAMS paket programından elde edilen eniyi sonuçlara göre ortak tatmin seviyesi $\alpha = 0.58$ olarak hesaplanmıştır. Karar vericilerin memnuniyet seviyelerine $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \alpha$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2. Eniyi amaç fonksiyonu ve memnuniyet düzeyi değerleri

Şekil 4.2’de her bir karar vericinin memnuniyet seviyeleri üyelik fonksiyonları üzerinden gösterilmektedir. Buna göre üst seviye karar verici olan μ_1 fabrika ve alt seviye karar vericiler μ_2 ayrıştırma merkezi ve μ_3 müşteri için eniyi sonuç elde edildiği zaman, memnuniyet seviyeleri eşit ve %58 olarak hesaplanmıştır. Şekilden de görülebileceği gibi amaç fonksiyonları enküçükleme olan fabrika ve müşteri için bulunan eniyi değer küçültüldükçe memnuniyet oranı artmaktadır. Aynı şekilde amacı fonksiyonu karını enbüyükleme olan ayrıştırma merkezi içinde eniyi sonuç arttırıldıkça memnuniyet oranı da buna paralel olarak artmaktadır. Zimmerman yaklaşımı ile her ne kadar karar vericiler için ortak bir tatmin seviyesi ve buna bağlı olarak memnuniyet seviyeleri belirlenmiş olsa da, gerçek hayat problemlerinde karar vericilerin amaçlara verdikleri önem düzeyleri birbirine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle bir sonraki aşamada ortak tatmin seviyesi ve

memnuniyet seviyeleri arasındaki ilişki amaçlara verilen ağırlık oranları üzerinden test edilecek ve çözüm aranacaktır.

4.3.2. Selim ve Özkarahan yöntemiyle elde edilen sonuçlar

Doğrusal programlama problemi algoritmanın ilk aşamasıdır. İkinci aşamada, her bir amaç ayrı ayrı çözümlenerek amaçlara ilişkin ödünleşme çizelgeleri elde edilmektedir. Her bir amaca ait en iyi ve en kötü Z_g^L ve Z_g^U değerleri tüm amaçların ödünleşme tablosunun (pay-off table) elde edilmesi ile hesaplanmış ve çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Probleme ilişkin en iyi ve en kötü amaç fonksiyonu değerleri

		<i>En kötü değer (pb)</i>	<i>En iyi değer (pb)</i>
<i>Enk</i>	Z_0 (Fabrika)	118.686.334,74	20.628.168,71
<i>Enb</i>	Z_{11} (Ayrıştırma Merkezi)	5.541.816,50	31.466.018,70
<i>Enk</i>	Z_{12} (Müşteriler)	62.474.292,60	26.993.750,03

Ödünleşme tablosunun oluşturulmasının ardından, üyelik fonksiyonları hesaplanmaktadır. Bu noktaya kadar tüm adımlar Zimmermann yaklaşımı ile benzerlik göstermektedir. Sonraki adımda, ortak tatmin seviyesini ifade etmek için γ farklı değerler için test edilirken, problemin tek amaçlı KDP'ne dönüştürülmesi için önem katsayıları $w_1=0.45$, $w_2=0.20$, $w_3=0.35$ olarak ele alınmıştır. Bu önem katsayılarına göre amaç fonksiyonlarının önem sırası $w_1 > w_3 > w_2$ şeklinde olmuştur.

Enbüyük $\gamma\lambda + (1 - \gamma) \cdot (0.45\lambda_1 + 0.20\lambda_2 + 0.35\lambda_3)$

$$\mu_1(x) = \frac{118686334,7 - Z_1(x)}{118686334,7 - 20.628.168,71} \geq \lambda + \lambda_1$$

$$\mu_2(x) = \frac{Z_2(x) - 5.541.816,5}{31.466.018,7 - 5.541.816,5} \geq \lambda + \lambda_2$$

$$\mu_3(x) = \frac{62.474.292,6 - Z_3(x)}{62.474.292,6 - 26.993.750,03} \geq \lambda + \lambda_3$$

Kısıtlar (3.5)-(3.41): (4.21)

$$0 \leq \alpha, \gamma \leq 1$$

Çizelge 4.4. Farklı γ değerlerine bağlı elde edilen eniyi sonuçlar

Gama	Alfa	Obj. Func.	Z1	Z2	Z3	μ_1	μ_2	μ_3	CPU	Total Cost
1	1	1	27705470,7	5760272	47675433,9	0,928	0,008	0,417	0,22	81141176,6
0,8	1	0,73	28430773,6	7249716,3	38456499,1	0,92	0,066	0,677	0,28	74136989
0,6	1	0,48	37680213,5	11185812,2	33871230,6	0,826	0,218	0,806	0,34	82737256,3
0,4	*	0,42	42558526,7	13208501,6	32529268,3	0,776	0,296	0,844	0,33	88296296,6
0,2	*	0,56	44728493,4	13706410,7	31784630,2	0,754	0,315	0,865	0,27	90219534,3
0	*	0,71	44536533,8	14456675	31701597,4	0,756	0,344	0,867	0,42	90694806,2

Çizelge 4.4'te SÖ yaklaşımı ile γ değerinin farklı değerlerine bağlı olarak elde edilen eniyi sonuçlar verilmiş ve γ değerinin belirli oranlarda değişiminin herbir karar vericinin amaç fonksiyonları ve toplam maliyet üzerindeki etkisi CPU(sn) süreleri de göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Çizelge 4.4'e göre γ (ortak tatmin seviyesi) değeri arttıkça toplam maliyet artmaktadır. Amaçlar bazında görülen değişiklik incelendiği zaman fabrika'nın amaç fonksiyon değeri artarken bir diğer enküçükleme amacına sahip olan müşterinin ise amaç fonksiyon değerinde düşüş gözlemlenmektedir. γ değerindeki değişim karar vericilerin memnuniyet seviyeleri üzerinde de farklı etkiler göstermekte ve en anlamlı değişiklik müşteri memnuniyet seviyesinde görülmektedir. CPU(sn) bakımından γ değerinin değişiminin anlamlı bir etkisi olmadığı gözlemlenmektedir.

4.3.3. Torabi ve Hassini yöntemiyle elde edilen sonuçlar

Üyelik fonksiyonun hesaplanması için yapılması gereken tüm işlemler, Selim ve Özkarahan (2008) yaklaşımı ile aynıdır. Sadece tek farklılık, problemin tek amaçlı KDP'ne dönüştürülmesi aşamasıdır. Selim ve Özkarahan'ın çözümünde kullanılan ağırlıklar bu aşamada da aynı şekilde alınmıştır, $w_1=0.45$, $w_2= 0.20$, $w_3=0.35$. Torabi ve Hassini (2008)'nin önerdikleri formülasyon aşağıda verilmiştir.

Enbüyük $\gamma\lambda + (1 - \gamma). (0.45\lambda_1 + 0.20\lambda_2 + 0.35\lambda_3)$

$$\mu_1(x) = \frac{118686334,7 - Z_1(x)}{118686334,7 - 20.628.168,71} \geq \lambda,$$

$$\mu_2(x) = \frac{Z_2(x) - 5.541.816,5}{31.466.018,7 - 5.541.816,5} \geq \lambda,$$

$$\mu_3(x) = \frac{62.474.292,6 - Z_3(x)}{62.474.292,6 - 26.993.750,03} \geq \lambda,$$

Kısıtlar (3.5)-(3.41):

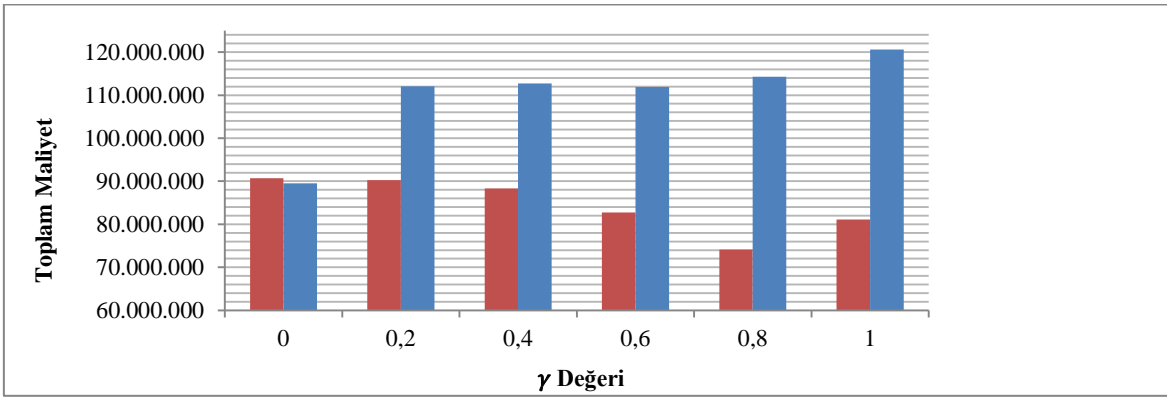
(4.22)

$$0 \leq \alpha, \gamma \leq 1.$$

Çizelge 4.5. Farklı γ değerlerine bağlı elde edilen eniyi sonuçlar

Gama	Alfa	Obj. Func.	Z1	Z2	Z3	μ_1	μ_2	μ_3	CPU	Total Cost
1	0,584	0,584	61389043,6	20689831,4	38556858,6	0,584	0,584	0,674	1,31	120635733,6
0,8	0,579	0,6	61865242,5	20563935,9	31889822,5	0,579	0,579	0,862	0,66	114319000,9
0,6	0,578	0,628	62046630,8	20515981,2	29312156,9	0,578	0,578	0,935	0,59	111874768,9
0,4	0,569	0,644	62843436,5	20305325,1	29599166,6	0,569	0,569	0,927	0,34	112747928,2
0,2	0,57	0,675	62804673,7	20315573,2	28899410,3	0,57	0,57	0,946	0,56	112019657,2
0	0	0,71	43609499,1	13862366,5	32008170,7	0,766	0,321	0,859	0,38	89480036,3

Farklı γ değerlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir. Bu yaklaşımın SÖ yaklaşımına göre en önemli farkı ise γ (ortak tatmin seviyesi) değeri arttıkça toplam maliyetin azalmasıdır. Amaçlar bazında değerlendirme yapıldığı zaman fabrika, ayrıştırma merkezi ve müşteri maliyetlerinin γ değerinin değişimi karşısında SÖ yaklaşımına göre daha az değişim gösterdiği görülmektedir. Aynı şekilde memnuniyet oranlarında ki değişimde SÖ yaklaşımına göre daha az değişiklik göstermektedir.



Şekil 4.3. Farklı γ değerlerinin toplam maliyet üzerine etkilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.3'de $\gamma = 0$ iken her iki yöntem toplam maliyet açısından en yakın sonucu vermektedir. İki yöntem arasındaki en büyük fark ise $\gamma = 0.8$ değerini aldığı zaman görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar ışığında yapılan çıkarımlar aşağıda verilmiştir.

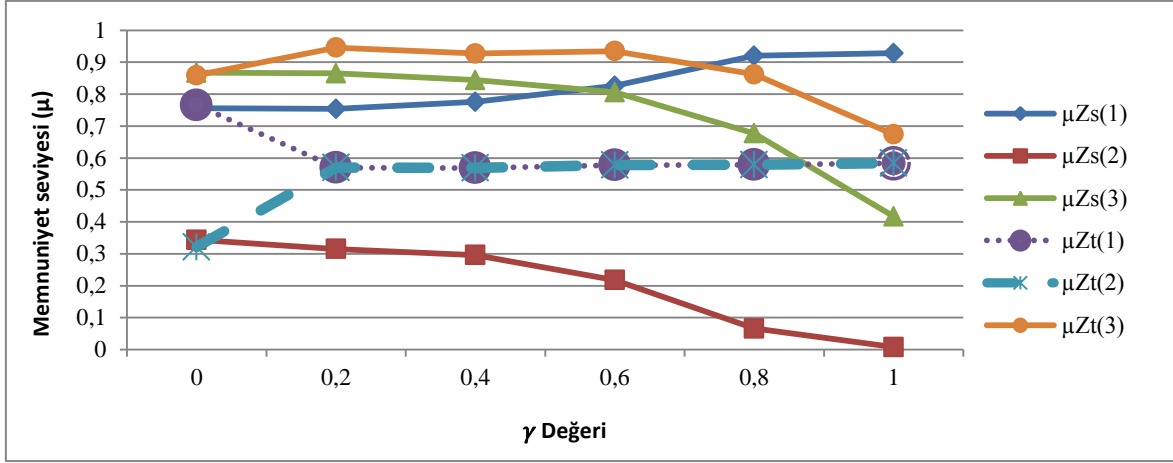
- Toplam maliyet açısından bakıldığında gama değeri artarken SÖ ve TH yaklaşımları farklı davranışlar göstermişlerdir. γ değeri arttıkça TH yaklaşımında toplam maliyet artarken SÖ yaklaşımında ise toplam maliyet azalmaktadır.

- Çözüm süresi açısından SÖ yaklaşımı TH yaklaşımına göre daha kısa sürede çözüm vermektedir. SÖ yaklaşımında γ değerinin artması çözüm süresini kısaltırken TH yaklaşımında ise attırmaktadır.
- γ değeri yüksedikçe SÖ yaklaşımında ayrıştırma merkezinin ve müşterinin memnuniyet seviyesi düşerken Fabrikanın memnuniyet seviyesi ise artmıştır. Aynı anda TH yaklaşımında ise müşteri açısından benzer hareketler görülmesine karşın diğer karar vericiler için değişim oranları SÖ yaklaşımından farklıdır.
- Etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı açısından SÖ yaklaşımı TH yaklaşımına göre γ değerine daha duyarlıdır.

Çizelge 4.6. $\gamma=0.4$ olduğu durumda Selim ve Özkarahan yaklaşımı ile Torabi ve Hassini yaklaşımının karşılaştırılması

	Selim ve Özkarahan	Torabi ve Hassini
Z1	42558526,70	62843436,50
Z2	13208501,60	20305325,10
Z3	32529268,30	29599166,60
Toplam Maliyet	88296296,60	112747928,20
$\mu(Z1)$	0,78	0,57
$\mu(Z2)$	0,30	0,57
$\mu(Z3)$	0,84	0,93
Ortalama	0,64	0,69
CPU(saniye)	0,33	0,34

Çizelge 4.6'ya göre gama değeri her iki yöntem içinde eşit ve 0.4 olarak kabul edildiği zaman TH yaklaşımının toplam maliyeti SO yaklaşımına göre daha büyüktür. Buna karşın ortalama memnuniyet düzeyi de SO yaklaşımına göre daha yüksek çıkmıştır. İşlem süreleri açısından ise her iki yaklaşım arasında anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.4. Farklı γ değerlerinin memnuniyet seviyesi üzerine etkisi

“ μZ_s ” nin Selim ve Özkarahan (SO) yaklaşımını ve “ μZ_t ” nin ise Torabi ve Hassini (TH) yaklaşımını ifade ettiği Şekil 4.4’te γ değerlerinin memnuniyet seviyeleri üzerindeki etkisine bakıldığında zaman, γ değeri sıfır iken her iki yaklaşımda da memnuniyet oranı en yüksek olan karar verici müşterilerdir. En düşük memnuniyet oranına sahip karar verici ise kar enbüyüklemesini amaçlayan ayrıştırma merkezidir. Fabrikalar ise eşit memnuniyet seviyelerine sahiptir.

Şu ana kadar ele alınan yaklaşımlar ile amaç fonksiyonları ve memnuniyet düzeyleri arasındaki ilişkiler incelenmiş ve elde edilen çıkarımlara yer verilmiştir. Ancak otomotiv endüstrisinde var olan rekabet koşulları, artık ana üreticinin tek başına rol üstlenmediği ve tüm sistemin sahibi olmadığı gerçeğini ortaya koymaktadır. Sonraki bölümde KDTZ içerisinde yer alan ve birbiri ile ilişki düzeyleri en yüksek seviyede olan paydaşların merkezi olmayan bir yapıda hareket ettiği varsayılarak buna göre memnuniyet seviyelerinin analiz edilmesini sağlayacak yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

4.4. Bulanık/Etkileşimli Merkezi Olmayan Çok Seviyeli Programlama Yaklaşımı

Daha önceki bölümlerde açıklanan Zimmermann modeli birden fazla amacın tek bir karar verici tarafından eniyilendiği varsayımı altında çalışmaktaydı (Paksoy vd., 2013). Ancak gerçek hayatta bu şekilde karar mekanizmaları olduğu gibi, birden fazla karar vericinin birden fazla amacı olduğu durumlarda bulunmaktadır. Örneğin bir tedarik zincirinde yer alan fabrika ve tedarikçiyi ele alacak olursak. Tedarik zincirinde yer alan

fabrika farklı tedarikçilerden yedek parçalar temin etmekte ve üretimini gerçekleştirmektedir. Fabrika'nın ürünleri talep etmesi ve ana üretici olması sebebi ile üst seviye, tedarikçinin de hizmet sağlayıcısı yani ürün tedarikçisi olması sebebiyle alt seviye olduğu varsayılırsa bu durumda iki farklı seviyede karar verici bulunmaktadır. Böyle bir ağ tasarım modeli ve amaçları incelendiği zaman, fabrika en kısa sürede, en az maliyetle, en kaliteli ürüne sahip olmayı amaçlarken, tedarikçide sattığı ürünlerden en fazla karı elde etmeyi amaçlamaktadır. Hem üst seviye hem de alt seviye karar vericilerin karşılıklı olarak amaç fonksiyonlarının çeliştiği bu tür durumlarda her tarafta amaç fonksiyonlarını eş zamanlı olarak eniyilemek isteyecektir. İşte bu tarz karar modellerinin çözümü için farklı yaklaşımlar ve yöntemler önerilmiştir.

Literatüre bakıldığı zaman bu tür çok seviyeli programlama problemlerinin ilk örnekleri oyun teorisinde Stackelberg oyununda karşımıza çıkmaktadır. Kurala göre, üst seviye karar verici kendi amacını eniyilemek için stratejisini belirler. Bu şekilde tanımlanan yonteme Stackelberg stratejisi-çözümü adı verilir. Stackelberg çözümü, iki seviyeli programlama problemlerinde karar vericiler arasında ortak ilişki olsun veya olmasın uygulanabilmektedir. Ancak Stackelberg çözümü karar vericiler arasında işbirliğine dayalı bir ilişki olduğu zaman yetersiz kalmakta ve Pareto eniyiliğini sağlamamaktadır. Stackelberg oyununun çözümü için birçok yöntem önerilmiştir. Lai (1996) ve Shih vd. (1996), Stackelberg çözümünden farklı bir çözüm önermişlerdir. Karar vericiler birbirleri ile işbirliği yaparlar ve bütün seviyeler ardışıktır. Alt seviye karar verici üst seviye karar vericinin amacını ve tercihini (önceliğini) dikkate alarak kendi amacını eniyiler. Karar vericiler, kendi bulanık amaçları için üyelik fonksiyonu ortaya çıkartırlar ve genelde üst seviye karar verici karar değişkenleri için de üyelik fonksiyonları belirler. Alt seviye karar verici, üst seviye karar vericinin tatmin derecesini dikkate alır ve bu tatmin derecesini kısıt olarak ekleyerek bulanık programlama problemini çözer. Ne yazık ki karar değişkenleri ve amaç fonksiyonunun bulanık amaçları arasındaki tutarsızlıktan dolayı son çözümde istenmeyen sonuç elde edilebilir.

Bu tür zorlukların üstesinden gelebilmek için Sakawa ve Nishizaki tarafından önerilen ve geliştirilen (2002b) Etkileşimli Bulanık Programlama (EBP) yöntemi, her seviyedeki karar vericinin bulanık amaçlarını belirledikten sonra, bütün seviyeler arasındaki genel tatmin dengesini dikkate alarak, üst seviye karar vericinin tatmin seviyesini güncelleyerek çözüme ulaşır. Yukarıda sözel ifadelerle açıklanmaya çalışılan

yaklaşım Paksoy vd. (2013) tarafından matematiksel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

Üst seviyede bir karar vericinin (Z_0), alt seviyede ise k kadar karar vericinin (Z_1, Z_2, \dots, Z_k) amaçlarını eş zamanlı olarak enküçükleme istediklerini varsayarsak, iki seviyeli ve çok amaçlı doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{aligned}
 \text{Enk } Z_0(x) &= \sum_{i=1}^k c_i x_i && (\text{üst seviye karar verici}) \\
 \text{Enk } Z_1(x) &= \sum_{i=1}^k c_1 x_1 && (\text{alt seviye 1. karar verici}) \\
 \text{Enk } Z_2(x) &= \sum_{i=1}^k c_2 x_2 && (\text{alt seviye 2. karar verici}) \\
 \text{Enk } Z_k(x) &= \sum_{i=1}^k c_k x_k && (\text{alt seviye k. karar verici}) \\
 A_i x_i &\leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \\
 x_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k
 \end{aligned} \tag{4.23}$$

Yukarıdaki modelde amaç fonksiyonlarının hepsi en büyükleme olabileceği gibi birkaçı en büyükleme, birkaçı da en küçükleme olabilir. Sakawa ve Nishizaki (2002b) çevresel faktörlerden dolayı amaçların belirsizlik içerebileceğinden, her bir amacı bulanık olarak ele almıştır. Dolayısıyla bulanık her bir amacın üyelik fonksiyonunun tanımlanması gerektiğini vurgulamışlardır. Bunun için Zimmermann (1978) yaklaşımındaki gibi ilgili problemin ödünleşme tablosu oluşturulmasını önermişlerdir. İlk önce her bir problemin bireysel çözümleri sonucu Z_k^L (alt sınır) ve Z_k^U (üst sınır) sınırları tespit edilir. Daha sonra amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonları $\mu_0(Z_0(x)), \mu_1(Z_1(x)), \dots, \mu_k(Z_k(x))$ tanımlanır.

Tanımlanan üyelik fonksiyonları ile problem (3.7) aşağıdaki bulanık çok amaçlı probleme dönüşür.

$$\begin{aligned}
 \text{Enb } \mu_0(Z_0(x)) &&& (\text{üst seviye karar verici}) \\
 \text{Enb } \mu_1(Z_1(x)) &&& (\text{alt seviye 1. karar verici}) \\
 \text{Enb } \mu_2(Z_2(x)) &&& (\text{alt seviye 2. karar verici}) \\
 \text{Enb } \mu_k(Z_k(x)) &&& (\text{alt seviye k. karar verici})
 \end{aligned} \tag{4.24}$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

Etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının ilk aşaması yukarıda verilen problem (4.24)'in tüm karar vericilerin enküçük memnuniyet seviyesini enbüyük yapacak probleme dönüştürülmesi ile başlar. $\alpha = \text{enk} \{ \mu_0(Z_0(x)), \min_{i=1, \dots, k} \mu_i(Z_i(x)) \}$ karar değişkeni eklenerek Zimmermann (1978) yaklaşımı gibi aşağıdaki tek amaçlı KDP problemine ulaşılır.

Enb α

$$Z_0(x) + (Z_0^U - Z_0^L)\alpha \leq Z_0^U \quad (\text{üst seviye karar verici})$$

$$Z_1(x) + (Z_1^U - Z_1^L)\alpha \leq Z_1^U \quad (\text{alt seviye 1. karar verici})$$

$$Z_2(x) + (Z_2^U - Z_2^L)\alpha \leq Z_2^U \quad (\text{alt seviye 2. karar verici}) \quad (4.25)$$

$$Z_k(x) + (Z_k^U - Z_k^L)\alpha \leq Z_k^U \quad (\text{alt seviye k. karar verici})$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

Tüm karar vericilerin enküçük tatmin seviyelerini enbüyükleyen problem (4.25)'ün çözümünde elde edilecek α değeri üst seviye karar vericiyi tatmin ederse etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı sonlandırılır. Zaten bu aşamaya kadar olan kısım bir önceki bölümde verilen Zimmermann (1978)'in çok amaçlı bulanık doğrusal programlama yaklaşımının aynısıdır. Ancak Sakawa ve Nishizaki (2002b)'ye göre elde edilen sonuç hiçbir zaman üst seviye karar vericiyi tatmin etmez. Üst seviye karar verici, hesaplanan α tatmin seviyesinden memnun olmadığı durumda kendisinin belirlemiş olduğu yeni bir $\tilde{\delta}$ (üst seviye karar verici enküçük tatmin seviyesi) parametresi ile tatmin seviyesinin alt sınırını belirler. Problem (4.25) üst seviye karar vericiye ait enküçük tatmin seviyesinin eklenmesi ile aşağıdaki modele dönüşür.

Enb α

Kısıtlar

$$\begin{aligned}
 Z_0(x) &\leq Z_0^U - \tilde{\delta}(Z_0^U - Z_0^L) \quad (\text{üst seviye karar verici}) \\
 Z_1(x) + (Z_1^U - Z_1^L)\alpha &\leq Z_1^U \quad (\text{alt seviye 1. karar verici}) \\
 Z_2(x) + (Z_2^U - Z_2^L)\alpha &\leq Z_2^U \quad (\text{alt seviye 2. karar verici}) \\
 &\quad (4.26) \\
 Z_k(x) + (Z_k^U - Z_k^L)\alpha &\leq Z_k^U \quad (\text{alt seviye k. karar verici}) \\
 A_i x_i &\leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \\
 x_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k \\
 0 &\leq \alpha, \tilde{\delta} \leq 1
 \end{aligned}$$

Yukarıdaki problemde elde edilen sonuca göre üst seviye karar vericinin tatmin seviyesi önceden belirtmiş olduğu $\tilde{\delta}$ değerine ya eşit ya da daha büyük çıkacaktır. Üst seviye karar verici bu çözümden tatmin olsa da, çözüm sonucunda alt seviye karar vericilerin tatmin seviyesi (α) ile üst seviye karar verici tatmin seviyesi arasında ($\tilde{\delta}$) bir fark (üst seviye karar vericiden yana) olacaktır. Ancak bu durum etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımında istenen bir durum değildir. Bundan dolayı üst seviye karar verici tüm karar vericiler arasında dengeli bir memnuniyet seviyesine ulaşmak için,

$$\Delta = \frac{\min_{i=1, \dots, k} \mu_i(Z_i(x))}{\mu_0(Z_0(x))} \quad (4.27)$$

eşitliğinden yararlanır. Eşitlik (4.27)' den elde edilen Δ değerinin üst seviye karar verici tarafından belirlenen Δ_L (alt) ve Δ_U (üst) sınırları arasında olması beklenir. Eğer $\Delta > \Delta_U$ ise üst seviye karar verici en küçük tatmin seviyesi yani $\tilde{\delta}$ ' yi artırarak Δ değerini günceller. Bu durumda üst seviye karar vericinin tatmin seviyesi artacak, alt seviye karar vericilerin tatmin seviyesi de düşeceğinden Δ değeri belirlenen aralıkta yer alacaktır. Tam tersi eğer $\Delta < \Delta_L$ ise üst seviye karar verici en küçük tatmin seviyesi yani $\tilde{\delta}$ ' yi azaltarak Δ değerini günceller. Bu durumda üst seviye karar vericinin tatmin seviyesi azalacak, alt seviye karar vericilerin tatmin seviyesi de artacağından Δ değeri yine belirlenen aralıkta yer alacaktır.

Bu güncellemeler sonrasında aşağıdaki iki koşulda sağlanır ise etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının ilk aşaması sonlandırılır (Sakawa ve Nishizaki, 2002b).

(Koşul 1) Üst seviye karar vericinin memnuniyet seviyesi kendisi tarafından belirlenen enküçük memnuniyet seviyesinden ($\bar{\delta}$) büyük veya eşit ise, $\mu_0(Z_0(x)) \geq \bar{\delta}$

(Koşul 2) Alt seviye karar vericilerinin enküçük memnuniyet seviyesinin üst seviye karar vericinin memnuniyet seviyesine oranı (Δ), eğer üst seviye karar verici tarafından belirlenen alt ve üst sınırlar $[\Delta_L, \Delta_U]$ dâhilinde ise.

Yukarıda verilen koşullardan **Koşul 1** zorunlu iken, **Koşul 2** ise iki seviye arasındaki memnuniyet dengesinin korunması istendiğinde aranır. Etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının sonlandırılan birinci aşamasında alt seviye karar vericileri birbirlerinden bağımsız olarak ele alınmamış, alt seviyedeki karar vericilerin enküçük memnuniyet seviyeleri (α) aynı oranda enbüyüklenmeye çalışılmıştır (Problem 4.26). İkinci aşamada ise, üst seviyedeki karar verici ile alt seviyedeki her bir karar vericinin memnuniyet seviyelerinin oranlanması incelenmiştir. Bunun için,

$$\Delta_j = \frac{\mu_i(Z_i(x))}{\mu_0(Z_0(x))}, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (4.28)$$

eşitliği kullanılır.

Birinci aşamada hesaplanan iki seviye arasındaki tatmin oranı (Eşitlik 4.26), alt seviyedeki karar vericilerin enküçük tatmin seviyesinin üst seviyedeki karar vericinin tatmin seviyesine oranı ile bulunurken; ikinci aşamadaki denge tatmin oranı (Eşitlik 4.28), alt seviyedeki her bir karar vericinin tatmin seviyesinin ikinci seviyedeki karar vericinin tatmin seviyesine oranlanması ile bulunur. Bu sayede birinci aşamada dikkate alın(a)mayan herhangi bir karar vericinin, ikinci aşamada devreye girmesine izin verilmiş olur. Eşitlik (4.28) ile hesaplanan alt seviyedeki herhangi bir karar vericinin memnuniyet seviye oranı eğer üst seviyedeki karar vericinin birinci aşamada belirlemiş olduğu Δ_U değerinden büyük ise, üst seviyedeki karar verici, Δ_U sınırını aşan alt seviyedeki ilgili karar verici için enbüyük bir memnuniyet seviyesi ($\bar{\delta}$) belirler ve problem (4.26);

Enb α

$$Z_0(x) \leq Z_0^U - \tilde{\delta}(Z_0^U - Z_0^L) \quad (\text{üst seviye karar verici})$$

$$Z_j(x) \geq Z_j^U - \bar{\delta}(Z_j^U - Z_j^L) \quad (j \in J)$$

$$Z_1(x) + (Z_1^U - Z_1^L)\alpha \leq Z_1^U \quad (\text{alt seviye 1. karar verici}) \quad (4.29)$$

$$Z_k(x) + (Z_k^U - Z_k^L)\alpha \leq Z_k^U \quad (\text{alt seviye k. karar verici})$$

$$A_i x_i \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$0 \leq \alpha, \tilde{\delta}, \bar{\delta} \leq 1$$

şekline dönüştür.

Eşitlik (4.29)'de j tatmin oranı üst seviyedeki karar vericinin belirlemiş olduğu Δ_U değerinden yüksek olan alt seviye karar vericilerin kümesini göstermektedir. Sakawa ve Nishizaki (2002b), $\bar{\delta}$ değerinin üst seviye karar vericinin enküçük tatmin seviyesi $\tilde{\delta}$ ile tatmin oranı üst sınırının Δ_U çarpılması ile hesaplandığını belirtmiştir. Yani $\bar{\delta} = \tilde{\delta} * \Delta_U$. Eşitlik (4.29) çözüldükten sonra alt seviyedeki karar vericilerin yeni tatmin oranları Eşitlik (4.28) yardımıyla tekrardan hesaplanır. Elde edilen yeni tatmin oranları üst seviye karar vericinin belirlemiş olduğu Δ_L ve Δ_U sınırlar arasında ise ikinci aşama da sonlandırılır. Aksi halde üst seviye karar verici, alt seviye karar vericilere ait tatmin oranlarının, belirlemiş olduğu sınırlar arasında yer almasına kadar $\tilde{\delta}$ değerini veya değerlerini tekrar günceller.

4.5. Merkezi Olmayan Çok Seviyeli KTDP Modeline İlişkin Test Sonuçları

Etkileşimli bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımının ilk adımı bireysel amaç fonksiyonlarını tek başına çözmek, dolayısıyla probleme ilişkin ödünleşme tablosunun oluşturulmasıdır. Her bir amaç fonksiyonu, (3.5)-(3.41) kısıtları altında GAMS-Cplex paket programı ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar ışığında ödünleşme tablosu oluşturulmuştur (Bkz. Çizelge 4.2).

Daha önceki bölümde açıklanan Zimmermann yaklaşımı çok amaçlı, tek karar vericili modellerin eniyilenmesini sağlamaktadır (Paksoy and Özceylan, 2013). Bununla birlikte, gerçek hayatta bu gibi durumların yanında birden çok amacın ve birden çok karar vericinin olduğu durumlarda gözlemlenmektedir. Bu tip problemlerin çözümü içinse bu çalışmada Sakawa and Nishizaki (2002b) yaklaşımı olan etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı EBP önerilmiştir.

Yukarıda verilen çok amaçlı KTDP probleminin GAMS 24.0.1 paket programından elde edilen eniyi sonuçlara göre ortak tatmin seviyesi $\alpha = 0.58$ olarak daha önceki bölümde Zimmermann yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer karar vericilerinin memnuniyet oranları da sırasıyla $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \alpha$ olarak hesaplanmıştır.

Daha önceki bölümde gösterilen üyelik fonksiyonu değerinin üst seviye karar verici (fabrika) tarafından kabul edilmediği durumda, üst seviye karar verici kendi memnuniyet seviyesi için bir alt sınır oluşturacaktır (Bkz. Şekil 4.1). Bir önceki bölümde $\tilde{\delta}$ ile gösterilen bu değer güncellenerek üst seviye karar vericinin memnuniyet seviyesi 0.65 olarak alındığı zaman problem aşağıdaki gibi olur,

Enbüyük α

$$\tilde{\delta} = 0.65 \leq \mu_1(Z_1) = \frac{118686334,7 - Z_1(x)}{118686334,7 - 20.628.168,71},$$

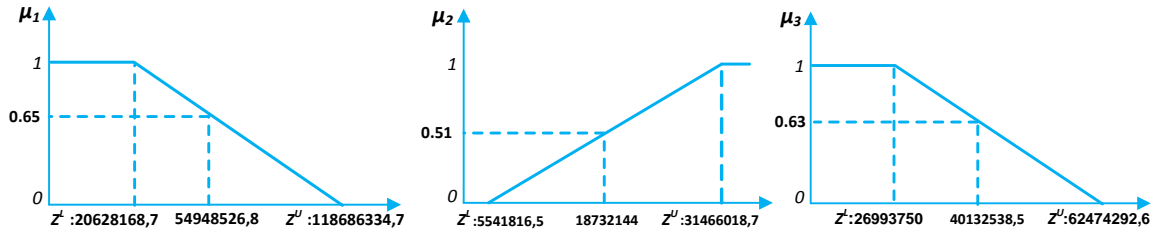
$$\alpha \leq \mu_2(Z_2) = \frac{Z_2(x) - 5.541.816,5}{31.466.018,7 - 5.541.816,5}$$

$$\alpha \leq \mu_3(Z_3) = \frac{62.474.292,6 - Z_3(x)}{62.474.292,6 - 26.993.750,03}.$$

Kısıtlar (3.5)-(3.41): (4.30)

$$0 \leq \alpha, \tilde{\delta} \leq 1.$$

Şekil 4.5, eşitlik (4.30) sonucunda her bir karar vericinin hesaplanan memnuniyet seviyelerini üyelik fonksiyonları üzerinden göstermektedir.



Şekil 4.5. Yeni memnuniyet seviyesi için eniyi amaç fonksiyonu ve üyelik fonksiyonu değerleri

İkinci ardıştırma sonucunda, üst seviye karar vericinin tatmin seviyesi bir önceki değer olan 0.58' den alt sınır olarak belirlediği 0.65 değerine yükselmiştir. Fakat üst seviye karar vericinin tatmin seviyesindeki bu artış alt seviye karar vericilerden (KV) biri olan ayrıştırma merkezinin tatmin seviyesinde yaklaşık %12'lik bir düşüşe sebep olmuştur. Aynı karar diğer bir alt KV olan müşterilerin tatmin seviyesinde ise %8.6'ya varan bir artış sağlamıştır.

Üst seviye karar vericiyi “KV sıfır” olarak tanımlar ve üst seviye karar vericinin iki seviye arasındaki tatmin seviyesine ilişkin alt ve üst sınırları sırasıyla $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.7, 0.8]$ olacak şekilde tanımladığını varsayarsak. İki seviye aralığındaki memnuniyet derecesinin oranı Δ aşağıdaki şekilde tespit edilmiştir.

$$\Delta = \frac{\text{enk}(0.51, 0.63)}{0.65} = \frac{0.51}{0.65} = 0.78 ,$$

Elde edilen Δ değerinden açıkça görülmektedir ki üst seviye karar vericinin belirlemiş olduğu alt ve üst sınırlar ($0.7 \leq 0.78 \leq 0.8$) arasında yer almaktadır. Bu noktada EBP yönteminin ilk aşaması tamamlanmaktadır.

Ancak, elde edilen son çözümde üst seviye karar verici fabrika ve alt seviye karar verici olan ayrıştırma merkezinin tatmin seviyeleri arasında yaklaşık %27.4'lük bir fark bulunmaktadır. Bu sonuç etkileşimli bulanık programlamanın amacına uygun bir durum olmadığı için, bu aşamadan sonra her bir alt seviye karar vericinin tatmin denge seviyesi ayrı ayrı hesaplanarak ikinci aşamaya geçilir. İkinci fazda, üst seviye karar verici ile alt seviyede yer alan her bir karar vericilerin memnuniyet seviyeleri ayrı ayrı hesaplanmış ve memnuniyet dereceleri bağımsız olarak karşılaştırılmıştır.

$$\Delta_{21} = \frac{\mu_{21}}{\mu_{11}} = \frac{0.51}{0.65} = 0.78; \Delta_{22} = \frac{\mu_{22}}{\mu_{11}} = \frac{0.63}{0.65} = 0.97$$

Üst seviye KV birinci alt seviyede yer alan KV1'in denge oranı için $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.6, 0.7]$, KV2 için ise KV2 $[\Delta_L, \Delta_U] = [0.7, 0.8]$ sınırları belirlenmiştir.

Bu durumda alt KV1 ve alt KV2 için belirlenen tatmin denge oranları belirtilen sınırlar içerisinde yer almamaktadır. Bu durumda üst seviye KV diğer alt KV'ler için enküçük bir tatmin seviyesi $\bar{\delta}$ belirler. Bu değer üst seviye karar vericinin enküçük tatmin seviyesi $\tilde{\delta}$ ile tatmin oranı üst sınırının Δ_U^{21} çarpılması ile hesaplanır. Bu durumda ayırıştırma merkezi için yeni tatmin seviyesi $\bar{\delta} = \tilde{\delta} \times \Delta_U^{21} = 0,65 \times 0,7 = 0,455$ olurken müşteriler içinse yeni tatmin seviyesi $\bar{\delta} = \tilde{\delta} \times \Delta_U^{22} = 0,65 \times 0,8 = 0,52$ olarak belirlenmiş olur. Eşitlik (4.30) aşağıdaki şekilde yeniden güncellenerek formüle edilir.

Enbüyük α

$$\tilde{\delta} = 0.65 \leq \mu_1(Z_1) = \frac{118686334,7 - Z_1(x)}{118686334,7 - 20.628.168,71}$$

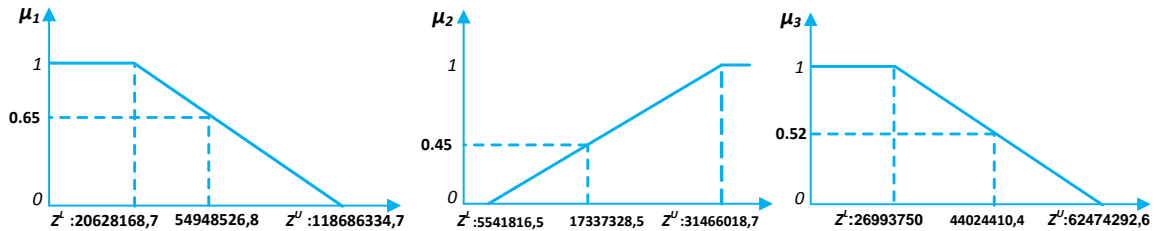
$$\bar{\delta} = 0.455 \leq \mu_2(Z_2) = \frac{Z_2(x) - 5.541.816,5}{31.466.018,7 - 5.541.816,5}$$

$$\bar{\delta} = 0.52 \leq \mu_3(Z_3) = \frac{62.474.292,6 - Z_3(x)}{62.474.292,6 - 26.993.750,03}$$

Kısıtlar (3.5)-(3.41): (4.31)

$$0 \leq \alpha, \tilde{\delta}, \bar{\delta} \leq 1.$$

Eşitlik 4.31'e göre hesaplanmış olan en uygun amaç fonksiyonu değerleri ve üyelik fonksiyonu değerleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Yeni alt seviye memnuniyet seviyesi için eniyi amaç fonksiyonu ve üyelik fonksiyonu değerleri

Şekil 4.6'ya göre üst seviye karar vericinin tatmin seviyesi bir önceki çözümle aynı kalırken, ayırıştırma merkezinin tatmin seviyesi 0.455'e düşmüştür. Ayırıştırma merkezinin tatmin seviyesindeki bu düşüş, müşteri tatmin seviyesi de 0.52 olarak belirlenmiştir. Amaç

fonksiyon değerleri açısından ise fabrika için amaç fonksiyon değeri değişmezken ayırıştırma merkezi ve müşteriler açısından olumsuz yönde değişim tespit edilmiştir. Elde edilen yeni tatmin seviyelerine göre alt seviye karar vericilerin yeni tatmin denge oranları,

$$\Delta_{21} = \frac{\mu_{21}}{\mu_{11}} = \frac{0.455}{0.65} = 0.7; \Delta_{22} = \frac{\mu_{22}}{\mu_{11}} = \frac{0.52}{0.65} = 0.8 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Açıkça görülmektedir ki yeni tatmin denge oranları $\Delta_{21} [\Delta_L, \Delta_U] = [0.6, 0.7]$, $\Delta_{22} [\Delta_L, \Delta_U] = [0.7, 0.8]$ belirlenen alt ve üst sınırlar arasında yer almaktadır.

Üst seviye karar vericinin bu yeni durumdan memnun olduğunu varsayarak yöntemin ikinci aşamasında işlem sonlandırılmıştır. Sonuç olarak fabrika, ayırıştırma merkezi ve müşterinin tatmin seviyeleri sırasıyla %65, %45.5 ve %52 olarak bulunmuştur. Amaç fonksiyon değerleri açısından ise fabrika için amaç fonksiyon değeri değişmezken ayırıştırma merkezi ve müşteriler açısından olumsuz yönde değişim tespit edilmiştir.

Elde edilen çıkarım doğrultusunda müşteri veya ayırıştırma merkezinden memnuniyet düzeylerinin artırılması yönünde bir baskı olduğu zaman üst seviye karar verici olan fabrikanın kendi memnuniyet düzeyinden veya diğer alt karar vericinin memnuniyet düzeyinden ödün vermesi gerekeceği ve bu durumda diğer karar vericilere maliyet olarak yansıtacağı tespit edilmiştir. Gerçek hayatta karşılaşılması muhtemel bu problem modele de yansıtılarak çözüm üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Kullanılan yaklaşımların karar vericilere ait maliyetler üzerine etkisi

		MEMNUNİYET DÜZEYİ	AMAÇ FONKSİYONU	CPU (sn)
ZIMMERMAN YAKLAŞIMI	KV1	0,58	61.813.482	1,38
	KV2	0,58	20.577.620	
	KV3	0,58	38.527.105	
SELİM ve ÖZKARAHAN YAKLAŞIMI	KV1	0,75	44.728.493	0,33
	KV2	0,31	13.706.410	
	KV3	0,86	31.784.630	
TORABİ ve HASSINI YAKLAŞIMI	KV1	0,76	43.609.499	0,72
	KV2	0,32	13.862.366	
	KV3	0,86	32.008.170	
SAKAWA ve NISHIZAKI I. FAZ	KV1	0,65	54.498.526	0,77
	KV2	0,51	18.732.144	
	KV3	0,63	40.132.538	
SAKAWA ve NISHIZAKI II. FAZ	KV1	0,65	54.948.526	0,39
	KV2	0,45	17.337.328	
	KV3	0,52	44.024.410	

Çizelge 4.7’de kullanılan yaklaşımların karar vericilerin amaç fonksiyonları üzerine etkisi ve CPU (sn) süreleri birarada gösterilmektedir. Buna göre memnuniyet düzeyleri üzerinde meydana gelen değişiklikler maliyetleri de aynı şekilde etkilemekte ve memnuniyet düzeyleri ile maliyetler arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Örneğin amaç fonksiyonu enbüyükleme olan ayırıştırma merkezi ele alındığı zaman memnuniyet düzenin % 31 ile en düşük olduğu SÖ yaklaşımında amaç fonksiyon değeri 13.706.410 iken % 58 ile en yüksek memnuniyet düzeyine sahip olduğu Zimmerman yaklaşımında ise bu değer 20.577.620 olarak hesaplanmaktadır.

5. KDTZ AĞ TASARIMI İÇİN GENETİK ALGORİTMA TABANLI MELEZ BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Genetik algoritma, büyük ve doğrusal olmayan arama uzaylarında geleneksel hesaplama yöntemlerinin etkin olmadığı durumlarda kullanılabilen ve seçilme amacına en uygun bireyin hayatta kalıp, bazı genlerini başka bireylere aktararak diğer bireyleri de kendisi gibi amaca en uygun duruma getirdiği bir eniyileme problemidir. Bu kısımda genetik algoritmaya ilişkin tanımlama ve açıklamalara yer verilmiştir. Daha sonraki bölümlerde ise problem boyutu büyüdükçe çözüm süresinin üstel arttığı görülen ve NP zor olan KTDP modelinin çözümü için Genetik Algoritma tabanlı melez bir çözüm yaklaşımı önerilmiş ve son kısımda geliştirilen KTDP modeli önerilen melez GA yaklaşımı ile çok daha kısa sürede çözümlenerek elde edilen bulgular paylaşılmıştır.

5.1. Genetik Algoritma

Doğal seçim ve gen değişimlerine dayanan Genetik algoritma ilk defa Michigan Üniversitesinde John Holland tarafından (1975) geliştirilmiştir. Holland, çalışmalarını arama ve en iyi sonucu bulmak için doğal seçim ve genetik evriminden yola çıkarak yapmıştır. Yapılan işlemlerde bireyin bulunduğu çevreye uyum sağlayıp daha uygun hale gelmesi örnek alınmıştır.

Genetik algoritma, çok fazla teorik bilgiye ihtiyaç duyulmadan uygulanabilmesi ve uygulamadan elde edilen sonuçların da doğrudan kullanılabilmesi gibi avantajları sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Genetik algoritma, rastgele seçilmiş bireylerden oluşan bir nesille eniyilemeye başlamaktadır. GA'nın amacı; nesildeki zayıf bireyleri ortadan kaldırıp, en güçlünün hayatta kalmasını sağlayacak yeni nesiller oluşturmak için sürekli iyileşen çözümler üretmektir. Bu amaç doğrultusunda, nesildeki güçlü bireyler kendilerine eş seçip genlerini çaprazlamaktadırlar. Oluşturulan her yeni nesilde bireyleri oluşturan değişkenlerden herhangi biri veya bir kaçını yeniden kopyalama veya mutasyon gibi operatörler kullanılarak farklı bireylere dönüştürülerek yeni bireylerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Her yeni nesilde bu işlemler devam etmekte ve bireylerin birbirine benzeme oranı olarak kabul edilen durdurma kriteri sayesinde de algoritmanın çalışması

sonlandırılmaktadır (Durukan, 2013). Genetik algoritmalar yasaklı arama türü metasezgisel yöntemler ile geleneksel yöntemlerin aksine iyi bir sonucu ele alarak onu geliştirmek yerine çok daha fazla sonuç aynı anda ele alınmakta ve böylelikle her bir sonuç üzerinde daha az çalışılarak algoritmanın daha hızlı çalışması sağlanmaktadır (Kuruca, 2009). Genetik algoritmanın özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Cura, 2008):

- Genetik algoritma hesapları parametre değerlerinden çok kodlanmış parametreler temellidir.
- Genetik algoritmalar, yerel eniyiye yakalanmaktan kaçınarak yüksek paralel arama yeteneğini ortaya çıkarırlar.
- Genetik algoritmalar, hesaplanmak zorunda olan uygunluk fonksiyonu dışında karmaşık matematiksel formüller içermezler.
- Genetik algoritmalar, olasılık kuralını kullanan rassal aramaya göre eniyi için arama yönlerine yol göstermede özel kurallara sahip değildirler.

5.1.1. Genetik algoritma terimleri

Genetik algortmada kullanılan ve genel kabul görmüş terimler aşağıda şekilde açıklanabilir:

Gen: Kalıtsal molekülde bulunan ve organizmanın karakterlerinin tayininde rol oynayan kalıtsal birimlere denir. Yapay sistemlerde gen, kendi başına anlamlı bilgi taşıyan en küçük birim olarak tanımlanır (Şeker, 2007).

Kromozom: Bir ya da birden fazla gen yapısının bir araya gelmesiyle oluşan ve problemin çözümü için gerekli tüm bilgiyi içeren dizilere kromozom denir. Her bir kromozom bir çözümü temsil eder (Zeyveli, 2005).

Allele: Bir genin alabileceği değerlerin kümesidir (Cura, 2008).

Locus: Kromozom içinde genin bulunduğu yerdir (Cura, 2008).

Popülasyon (Topluluk): Çözüm kümesini oluşturan kromozomların bir araya gelerek oluşturduğu çözüm topluluğudur. Genellikle algoritma boyunca sabit tutulur ve bu değer belirli sayı aralıkları içerisinde yer alır (Altay, 2007).

Jenerasyon: Genetik algoritmadaki karşılığı yeni bir topluluktur.

Genotip: Bir kromozomun genetik yapısıdır ve genlerin temsil ediliş biçimini yansıtır. Aday çözüm olan kromozomların içerisindeki birli gen gruplarına genotip adı verilir (Öztürk, 2008).

Fenotip: Genotipin fiziksel açıklamasıdır. Örneğin genotipi “0100101” olan bir kromozomun fenotipi 37 olabilir (ikilik düzenden ondalık düzene çevrilmiştir) ve amaç fonksiyonu hesaplanmasında fenotip kullanılır (Cura, 2008).

Uygunluk Fonksiyonu: Bireyin hayatta kalma durumunu yani uyumunu gösteren değerdir. Yüksek değerler bireyin hayatta kalma olasılığının daha yüksek olduğunu belirtir. Genetik algoritma da amaç fonksiyonunun karşılığıdır (Altay, 2007).

5.1.2. Genetik algoritmanın aşamaları

Genetik algoritmanın uygulanmasındaki ilk adım değişkenlerin kodlanmasıdır. Daha sonrasında takip eden işlemler gerçekleştirilmektedir. GA belirlenen popülasyon büyüklüğü ile popülasyondaki çeşitlilik arasında da doğrusal bir ilişki vardır. Popülasyon büyüklüğünün artması sonucunda çeşitlilik artmakta ve bu artış sonucunda da daha fazla uygunluk değeri hesaplanacağından problemin çözüm süresi de uzamaktadır (Siriwardene ve Perera, 2006). Basit Genetik Programlama Taslağı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Obitko, 2015).

1. Başlangıç: n kromozomdan oluşan rastgele popülasyon oluştur (problemin için uygun olan çözümler)
2. Uygunluk: Popülasyondaki her x kromozomu için $f(x)$ uygunluk değerini değerlendir.
3. Yeni Popülasyon: Yeni popülasyon tamamlanana kadar aşağıdaki adımları tekrar ederek yeni bir popülasyon oluştur.
 - a. Seçim: Uygunluklarına göre popülasyon içerisindeki iki ata seç (daha uygun olanın seçilme şansı daha fazladır)

- b. Çaprazlama: Çaprazlama olasılığı ile ataları yeni yavru oluşturmak için birbirleriyle eşleştir. Eğer çaprazlama yapılmazsa, yavru ataların birebir aynısı olacaktır.
 - c. Mutasyon: Mutasyon olasılığı ile yeni yavru üzerinde her yörünge için mutasyon işlemi yapılacaktır.
 - d. Kabul: Yeni yavru, yeni topluma eklenir.
4. Değiştir: Algoritmanın sonraki aşamaları için yeni üretilmiş popülasyonu kullan.
 5. Deney: Eğer bitiş durumu sağlandıysa, dur, ve mevcut popülasyondaki en iyi çözüme dön.
 6. Döngü: Adım 2'ye git.

Yukarıda da görüldüğü gibi, temel genetik algoritmanın adımları genel olarak benzerdir. Ancak farklı problemler için birçok farklı parametre kullanılabilir. Sorulması sorulan ilk soru kromozomların nasıl oluşturulacağı ve hangi tür kodlama kullanılacağıdır. Daha sonra çaprazlama ve mutasyon adımları ile süreç devam etmektedir. GA aşamaları ve ilişkisel yapısı Şekil 3.3'de de şematik olarak gösterilmiştir.

5.1.3. Genetik algoritmada kodlama türleri

Probleme ait bilgilerin GA'nın anlayabileceği dile çevrilmesine kodlama denir. Kodlama GA'nın çok önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Probleme GA uygulanmadan önce, verinin uygun şekilde kodlanması gerekmektedir. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlamanın doğru yapılması gerekmektedir (Şeker, 2007). İyi bir kodlama sayesinde iyi bir genetik yapı oluşturulabilir. Uygulamalarda kullanılan kodlama çeşitleri temsil ettikleri problem türlerine göre değişik şekillerde gösterilebilirler. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır (Szeto vd. 2011).

İkili (Binary) Kodlama: İkili kodlama GA uygulamalarında en çok tercih edilen kodlama türüdür. Her kromozom bit karakter dizilerinden oluşmaktadır. Genler sadece 0 veya 1 değerini alır (Nabiyev, 2003). Çizelge 5.1'de ikili kodlama örneği verilmiştir.

Bu kodlama biçiminin gezgin satıcı, araç rotalama ve çizelgeleme gibi problemlerde kullanılması uygun değildir. Bunun nedeni; ikili kodlama ile tüm olası çözümlerin temsil edilememesidir (Kemer, 2010).

Çizelge 5.1. İkili kodlama örneği

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

Permütasyon Kodlama: Bu kodlama çeşidi gezgin satıcı problemi ve çizelgeleme problemleri gibi permütasyon problemleri için kullanışlıdır. Burada her kromozom, sayıları bir sırada temsil etmektedir. Çizelge 5.2’ de permütasyon kodlamaya örnek gösterilmiştir (Obitko, 2015).

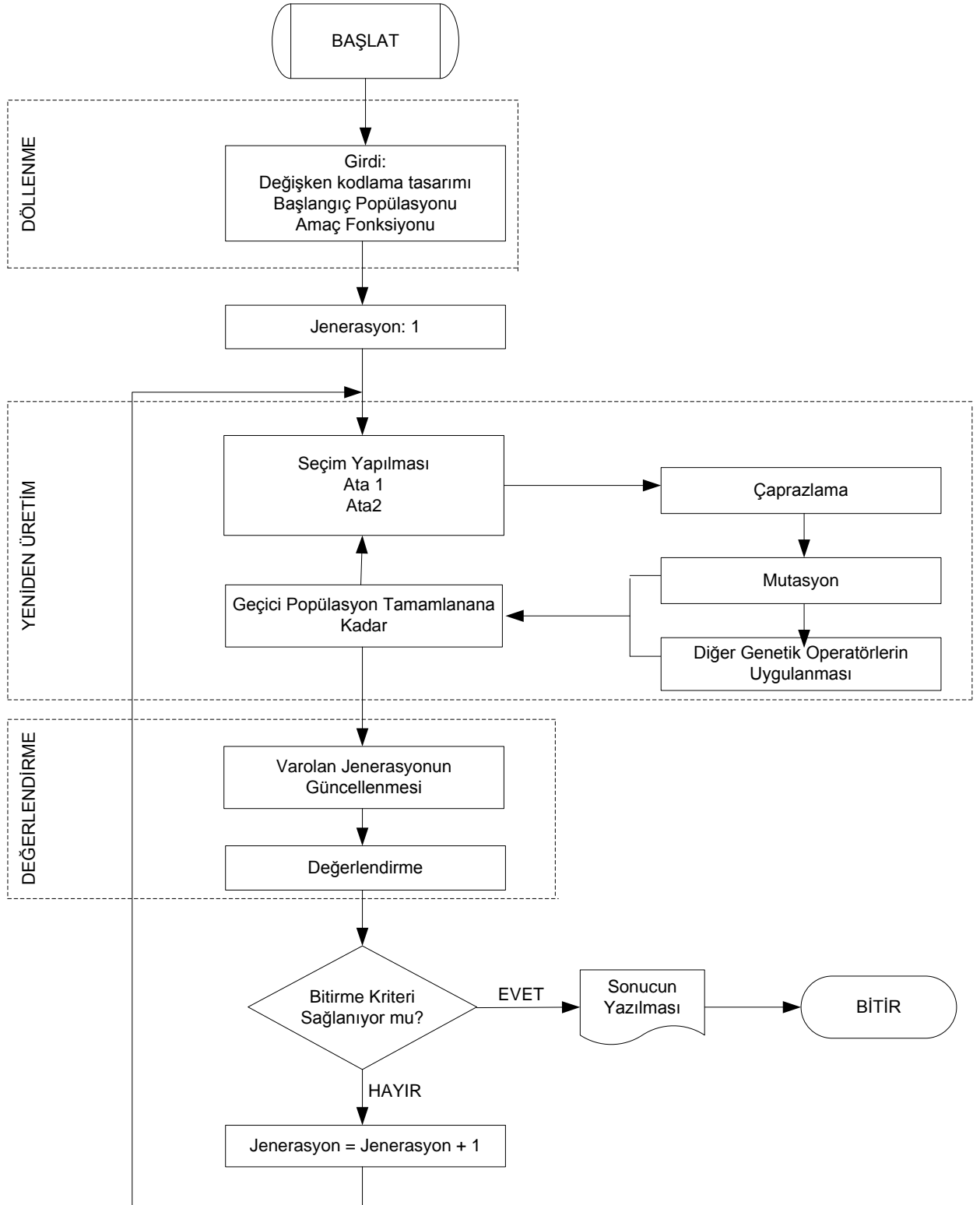
Çizelge 5.2. Permütasyon kodlama örnek gösterimi

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

Değer Kodlama: Gerçek sayılar gibi karmaşık değerlerin kullanıldığı problemlerde her dizi, bir değerler kümesinden oluşmaktadır. Değerler probleme göre herhangi bir sayı veya karakter olabilir. İkili kodlama zor olduğu için doğrudan değer kodlanması kullanılabilir (Nabiyev, 2003; Obitko, 2015). Bu konuya ilişkin örnek gösterim Çizelge 5.3’te yer almaktadır.

Çizelge 5.3. Değer kodlama örnek gösterimi

Kromozom A	1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
Kromozom B	ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT
Kromozom C	(geri), (geri), (sağ), (ileri), (sol)



Şekil 5.1. Basit genetik algoritma için akış şeması (Saruhan, 2004)

Ağaç Kodlama: Bu yöntem gelişen, değişen programlar veya ifadeler için kullanılır. Burada her kromozom, nesnelere ve nesnelere arası işlemleri içeren bir ağaç yapısından oluşmaktadır (Nabiyev, 2003).

5.1.4. Genetik algoritmada kullanılan operatörler

Bir problemin çözümünde kullanılan genetik algoritma için birey üzerinde işlem yapmaya yarayan birçok operatör geliştirilmiştir. Bu operatörlerin çoğu seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin birer türleri olarak ortaya çıkmıştır. Problemin çözümünde, çözüm performansı üzerinde oldukça büyük etkisi olan genetik operatörler bu bölümde açıklanacaktır.

5.1.4.1. Tekrar üreme operatörü

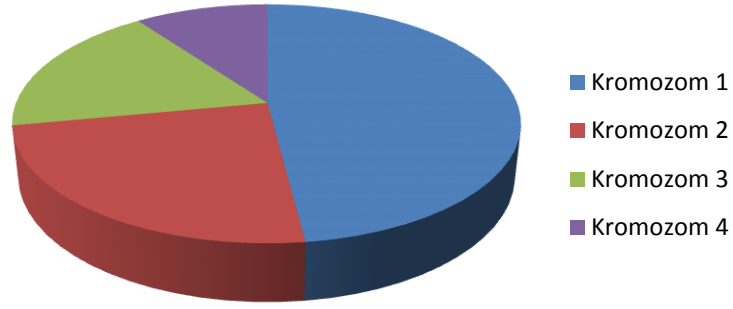
Tekrar üreme operatörü, genetik algoritmada tabii seçme işlemi olarak adlandırılan kalitesi yüksek bireylerin hayatta kalmalarını ve bu bireylerin sayılarının artmasını, kalitesi düşük bireylerin ise sayılarının azalarak kaybolması amaçlar. Bireyler arasındaki bu seçme işlemi tabiiatta çevre tarafından yapılırken, yapay sistemlerde ise amaç fonksiyonu ve diğer kalite değerlendirme işlemleri tarafından yapılmaktadır (Kuo ve Lin, 2010).

5.1.4.2. Seçim operatörü ve türleri

Seçim operatörü ile yeni popülasyonun oluşturulması için seçilecek olan birey sayısı ve hangi bireylerin eşleme için seçileceği, bireylerin uygunluk değerleri göz önüne alınarak belirlenir. Uygunluk değeri yüksek olan bireylerin seçilme ve bu bireylerin özelliklerinin bir sonraki nesile aktarılma şansı yüksektir. Seçim düzeneklerine rulet tekeri seçimi, turnuva seçimi, sıralama seçimi, sabit durum seçimi ve diğerleri verilebilir.

5.1.4.3. Rulet tekeri seçimi

Bu yöntem Holland tarafından önerilmiştir. Temelinde Atalar uygunluklarına göre seçilirler (Cheng, Gen, 1999). Daha iyi kromozomlar, daha fazla seçilme şansına sahip olanlardır. Toplumdaki tüm kromozomların yerleştirildiği bir rulet tekerini hayal edelim. Rulet tekeri üzerindeki kromozomun yerinin boyutu kromozomun uygunluğuyla orantılıdır. Şekil 5.2 rulet tekeri kromozom dağılımını göstermektedir. Daha uygun olan kromozom daha geniş bir kısma sahip olur.



Şekil 5.2. Rulet tekeri kromozom dağılımı (Obitko, 2015)

Bir bilye rulet tekerine atılmakta ve bilyenin durduğu yerdeki kromozom seçilir. Daha uygun olan kromozomlar böylece daha fazla sayıda seçilecektir. Süreç aşağıdaki algoritma ile anlatılabilir:

Toplam: Toplumdaki tüm kromozomların uygunluk toplamını hesaplar – “S”.

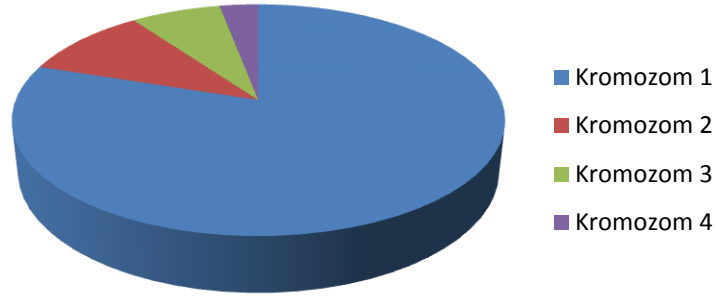
Seçim: (0,S) aralığından rassal bir sayı üretilir – “r”.

Döngü: Toplum üzerinden gidip 0’dan itibaren uygunlukların toplamını al – “s”. “s” değeri “r” değerinden büyük olduğu zaman dur ve bulunduğu yerdeki kromozomu döndür. Birinci aşama her toplum için bir kez yapılmaktadır (Obitko, 2015).

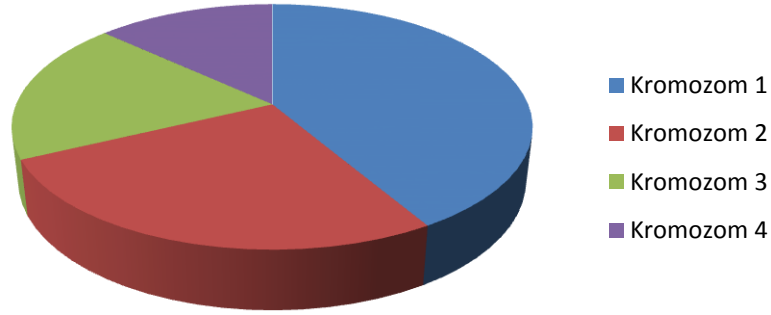
5.1.4.4. Sıralama seçimi

Bir önceki seçim düzeneğinde uygunluk değerleri arasında büyük farklar oluşunca problemler ortaya çıkacaktır. Örneğin, eğer en iyi kromozomun uygunluğu diğer tüm kromozomların toplamının %90’ı ise diğer kromozomların seçilme şansı çok azalacaktır.

Sıralama seçimi ilk önce toplumu sıralar ve her kromozom uygunluk değeri olarak sırasını kullanır. En kötü 1 uygunluğunu, ikinci kötü 2, en iyi N (toplumdaki kromozom sayısı) uygunluğunu alır. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te görüldüğü üzere, uygunluk sıraya göre belirlendiği zaman durum değişmektedir.



Şekil 5.3. Sıralamadan önce (uygunluk çizgesi) (Obitko, 2015)



Şekil 5.4. Sıralamadan sonra (sıra numaraları çizgesi) (Obitko, 2015)

Bu şekilde tüm kromozomların seçilme şansı olacaktır. Ancak bu yöntem daha yavaş yakınsama neden olabilir, çünkü en iyi kromozomlar birbirlerinden çok farklı değillerdir (Kalaycı, 2006).

5.1.4.5. Sabit durum seçimi

Bu özel bir ata seçme yöntemi değildir. Bu tip seçimin ana fikri, toplumun var olan kromozomlarının büyük bir kısmının yeni nesle aktarılmasıdır. Sabit durum seçimi şu şekilde çalışmaktadır. Her yeni nesilde yüksek uygunluk değerine sahip kromozomlar yeni yavruları oluşturmak için seçilir ve düşük uygunluk değerine sahip yavrular kaldırılarak yerlerine bu yeni oluşturulan yavrular koyulur. Toplumun geri kalan kısmı aynen yeni nesle aktarılır (Kalaycı, 2006).

5.1.4.6. Turnuva seçimi

Topluluktaki bireyler arasından rassal belirli miktarda bireyler seçilerek aralarındaki uygunluk fonksiyonu yüksek olan birey tutulur geriye kalanlar atılır. Yeni

topluluk bireyleri belli sayıdaki bireyler arasında yapılan yarışma sonucu oluşturulur. Yığın genişliğine ulaşılmıncaya kadar bu işlem devam eder (Kahraman ve Özdağlar, 2004).

5.1.4.7. Seçkinlik

Genetik algoritma aşamalarından olan üreme, çaprazlama, mutasyon işlemleri ile yeni bir nesil oluşturulurken, en iyi kromozomları kaybetme olasılığı vardır. Seçkinlik, en iyi kromozomların (ya da bir kısmının) ilk önce kopyalanıp yeni nesile aktarıldığı yöntemdir. Geri kalan kromozomlar klasik yöntemlerle üretilir (Obitko, 2015). Seçkinliğin, bulunan en iyi çözümün kaybolmasını önleyebilme özelliği ile genetik algoritmanın başarısı hızlı bir şekilde arttırılabilir.

5.1.5. Çaprazlama operatörü ve türleri

Doğal sistemlerde meydana gelen veya genetik çaprazlama olayı ile ortaya çıkan melez yapıların üretilmesine eşdeğer bir özellik genetik çaprazlama operatörleri ile sağlanır. Sistemin işleyişine bakıldığında öncelikle çaprazlama operatörü çalıştırılır, ardından çaprazlama işlemi sonucunda elde edilen yeni yapılar mevcut jenerasyonda tutulurak eski yapılar popülasyondan çıkarılır ve böylelikle popülasyon büyüklüğünün sabit kalması sağlanır. Bu yaklaşım sonucunda kötü olan genler daha iyileri ile değiştirilerek daha iyi sonuç verecek yeni bireyler popülasyona dahil edilmiş olur. Her ardıştırma sonucunda daha iyi çözümler elde etmeyi amaçlayan çaprazlama operatörü çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Tek nokta çaprazlama: Holland'ın orjinal çaprazlama tekniği olan bu metotta, tek bir çaprazlama noktası belirlenir. İlk bireyden çaprazlama noktasına kadar olan özellikler, diğer bireyden de çaprazlama noktası sonrasındaki özellikler alınarak, bu genler birleştirilir. İşlem ikinci bireyin çaprazlama noktasına kadar olan özelliklerinin, ilk bireyin de çaprazlama noktası sonrasındaki özelliklerinin alınması ve bu genlerin birleştirilmesi ile tamamlanır. Böylelikle yeni yavru bireyler elde edilir. Çizelge 5.4'te tek nokta çaprazlama örneği gösterilmiştir (Obitko, 2015).

Çizelge 5.4. Tek nokta çaprazlama örneği

Kromozom A:	010001	1111010001
Kromozom B:	011110	1110001111
Yavru 1:	010001	1110001111
Yavru 2:	011110	1111010001

İki noktalı çaprazlama: Bu metotta ise iki çaprazlama noktası seçilir. Kromozomun başından ilk kesme noktasına kadar olan ikili karakter dizisi ilk bireyden, iki kesme noktası arasındaki kısım ikinci bireyden ve ikinci kesme noktasından sonraki kısım tekrar ilk bireyden alınır. İşlem kromozomun başından ilk kesme noktasına kadar olan ikili karakter dizisinin ikinci bireyden, iki kesme noktası arasındaki kısmın birinci bireyden ve ikinci kesme noktasından sonraki kısmın tekrar ikinci bireyden alınması ile sonlanır. Böylelikle yeni yavru bireyler elde edilir. Çizelge 5.5'te iki noktalı çaprazlama örneği gösterilmiştir (Altay, 2007).

Çizelge 5.5. İki noktalı çaprazlama örneği

Kromozom A:	0100	011111	010001
Kromozom B:	0111	101110	001111
Yavru 1:	0100	101110	010001
Yavru 2:	0111	011111	001111

Tekdüze (uniform) çaprazlama: Bu metotta bir çaprazlama noktası bulunmaz. Bu çaprazlama noktası yerine bireylerden gelen genler sırayla yavruya kopyalanır. Bu kopyalamada her bir gen belli bir X_i [0,1] ($i = 1,2,\dots,n$) olasılığına göre bireylerden gelir. $X_i < 0.5$ ise i geni birinci bireyden, $X_i > 0.5$ ise i geni ikinci bireyden kopyalanır. Bu metotta tek bir yavru oluşur (Cura, 2008). Çizelge 5.6'da tekdüze çaprazlama örneği gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Tekdüze çaprazlama örneği

Kromozom A:	1	0	1	0	0	1	0	1
Xi	0.3	1.0	0.4	0.8	0.5	0.4	0.2	0.8
Kromozom B:	1	1	0	1	1	0	0	1
Yavru :	1	1	1	1	1	1	0	1

Dairesel çaprazlama: Davis, Goldberg ve Lingle tarafından geliştirilmiş bir metottur. Bu metotta ilk bireyden en baştaki gen seçilir ve bu gen yeni dizide yerleştirilir. Bu gene karşılık gelen ikinci bireydeki gen belirlenir bu değer de yeni kromozom üzerine yerleştirilerek dairesel bir şekilde bütün genler belirlenir (Engin ve Fırlalı, 2002). İşlem ikinci bireyden başlanarak tüm dairesel adımların tekrarlanmasıyla sonlandırılır. Böylelikle yeni yavru bireyler elde edilir. Çizelge 5.7’de dairesel çaprazlama örneği gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Dairesel çaprazlama örneği

Kromozom A:	<u>9</u>	8	2	<u>1</u>	7	<u>4</u>	5	10	<u>6</u>	3
Kromozom B:	<u>1</u>	2	3	<u>4</u>	5	<u>6</u>	7	8	<u>9</u>	10
Yavru 1:	<u>9</u>	2	3	<u>1</u>	5	<u>4</u>	7	8	<u>6</u>	10
Yavru 2:	<u>1</u>	8	2	<u>4</u>	7	<u>6</u>	5	10	<u>9</u>	3

Pozisyona dayalı çaprazlama: Bu metotta rastlantısal olarak seçilmiş pozisyondaki genler, bir bireyden yavruya kalıtsallaştırılır. Diğer genler ise diğer bireyden buldukları sıra ile alınır (Engin ve Fırlalı, 2002).

Sıraya dayalı çaprazlama: Sıralı kromozomların çaprazlaması için rastlantısal olarak bir çaprazlama noktası (X) seçilir ve birinci bireyin çaprazlama noktasına kadar olan tüm genleri aynen yavruya aktarılırken kalan kısım için ise sırasıyla diğer bireyden yavruya henüz kopyalanmamış genler kopyalanır. İşlem ikinci bireyin çaprazlama noktasına kadar tüm genlerinin aynen yavruya aktarılması, kalan kısım için ise sırasıyla ilk bireyden yavruya henüz kopyalanmamış genlerin kopyalanması ve geriye kalan boş pozisyonlara ilk

bireyden aktarılan yeni karakterler de göz önüne alınarak ikinci kromozomun kullanılmayan karakterlerinin soldan sağa sıra ile yerleştirilmesiyle sonlanır. Böylece iki yavru oluşur (Altay, 2007).

Kısmi planlı çaprazlama: Goldberg tarafından geliştirilen bu çaprazlama ilk olarak gezgin satıcı probleminde kullanılmıştır. Bu metotta iki ayrı bireyin genleri arasında rassal olarak aralıklar belirlenir ve bu aralıkta yer alan genlerin yeri karşılıklı olarak değiştirilir (Cura, 2008).

Doğrusal sıralı çaprazlama: Falkenauer ve Bouffouix tarafından geliştirilmiştir. Bu metotta mevcut popülasyon içerisinde rassal olarak iki birey seçilir, seçilen bu iki dizi (kromozom) üzerinde rassal olarak iki alt dizi seçilir. P_1 dizisinden seçilen alt dizi kromozomdan koparılır ve boş kalan yerler belirlenir, benzer şekilde P_2 dizisinde de aynı işlemler gerçekleştirilir. Son olarak birinci alt dizi P_1 'e ve ikinci alt dizi de P_2 'ye yerleştirilir (Engin ve Fırlalı, 2002).

5.1.6. Mutasyon operatörü ve türleri

Doğal genetik mutasyon olayına benzeyen ve genetik algoritmanın performansında çaprazlama operatörü gibi önemli ve temel bir rol oynayan mutasyon operatörü tekniği genellikle kromozomların kodlanmasına bağlıdır. İkili kodlamada her bir bit tek tek kontrol edilerek mutasyon oranına göre bitler 1 ise 0'a, 0 ise 1'e çevrilirken, permütasyon kodlamada ise mutasyon rastgele seçilen genlerin yer değiştirilmesi ile gerçekleştirilebilir. Yeni, görülmemiş ve araştırılmamış çözüm elemanlarının bulunmasını sağlayan mutasyon operatörü çeşitleri aşağıda verildiği gibi sıralanabilir:

Ters mutasyon: Çaprazlama yapıldıktan sonra oluşan yeni bireylerin, eskilerle aynı olmasını engellemek için yapılan mutasyon işleminin bu çeşidinde, bir kromozomda rassal olarak iki pozisyon seçilir ve bu iki pozisyondaki alt diziler ters çevrilir (Kaya, 2006).

Komşu iki geni değiştirme: Bu metotta, rassal olarak seçilen iki komşu gen değiştirilir (Kaya, 2006).

Keyfi üç geni değiştirme: Bu metotta, rassal olarak seçilen üç gen keyfi olarak değiştirilir (Kaya, 2006).

Araya yerleştirme: Bu metotta, kromozomun yapısında bulunan bir gen bulunduğu konumdan kaydırılır ve diğer bir konuma getirilir. Kaydırmanın yapıldığı bu nokta rassal olarak seçilir.

5.1.7. Genetik algoritmanın parametreleri

Genetik parametrelerin belirlenmesi problemin türüne göre değişiklik arzeder. Hangi probleme hangi değişkenlerin daha uygun olduğunu ya daha önce yapılmış doğruluğu ispatlanmış deney sonuçlarından ya da deneme yanılma metodunu kullanarak bulunur.

Popülasyon büyüklüğü: Popülasyon büyüklüğünün belirlenmesi genetik algoritmanın önemli aşamalarından biridir. Popülasyon küçük olduğunda arıdırma daha hızlı olacak fakat algoritmanın yerel eniyeye takılma olasılığı artacaktır. Popülasyon çok büyük olduğunda ise çözüm kalitesi artacak ancak eniyeye ulaşma zamanı uzayacaktır. Goldberg 1985 yılında yalnızca kromozom uzunluğuna bağılı bir popülasyon büyüklüğü hesaplama yöntemi önermiştir (Siriwardene ve Perera, 2006). Popülasyon büyüklüğünü hesaplama yöntemi aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

$$N=1,65*2^{0,21*l}$$

N = popülasyon büyüklüğü

l = kromozom uzunluğu

Üreme parametresi: Genetik algortmada üreme aşamasında bireyler oluşturulan popülasyondan seçilir ve yeni kuşağı oluşturacak çocuk bireyleri ortaya çıkarmak üzere tekrar yapılandırılır. Uyum değeri yüksek olan bireyler birçok kez seçilebilirken uyum değeri düşük olan bireyler elenebilmektedir. İki bireyin seçimi sonrası bireylerin kromozomları çaprazlama ve mutasyon mekanizmaları kullanılarak tekrar yapılandırılır (Önder, 2011).

Çaprazlama olasılığı: Mevcut en iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha iyi özellikli kromozomlar elde etmek amacıyla yapılan çaprazlama operatörünün temel parametresi çaprazlama olasılığıdır ve P_c ile gösterilir. Çaprazlama olasılığı çaprazlamanın ne sıklıkla yapılacağını belirler (Sivanandam ve Deepa, 2008).

Çaprazlama olasılığı eşleşme havuzuna girecek kromozomların sayısını belirler. Bu oranın yüksek olması, iyi özellikteki bireylerin yeni popülasyonda bulunma olasılığını azaltır. Düşük olması ise yeterli sayıda yeni bireyin oluşmasını engeller (Haupt ve Haupt, 2004).

Mutasyon olasılığı: Amacı popülasyondaki genetik çeşitliliği korumak olan mutasyonun önemli parametresi, kromozomda ne kadar değişiklik olacağını gösteren mutasyon olasılığıdır ve P_m ile gösterilir. Mutasyon olasılığı 0 olduğunda yeni birey mutasyona uğramadan oluşur. %100 olduğunda ise kromozom tamamen değişmektedir (Sivanandam ve Deepa, 2008).

Bazı çalışmalar popülasyon büyüklüğü 20'den büyükken $P_m > 0,05$ olarak seçildiği durumda veya popülasyon büyüklüğü 20'den küçükken $P_m < 0,002$ olduğu durumda performansın arttığını ortaya koymuştur. Orta büyüklükteki bir popülasyon için ise $P_m = 0,001$ oranının seçilmesi uygun olacaktır (Kemer, 2010).

Kuşak farkı: Her kuşakta oluşan yeni kromozom oranına kuşak farkı denir. Kuşak aralığı yüksek bir değer olduğunda birçok kromozomun değiştiği anlamına gelmektedir.

Seçim stratejisi: Eski kuşağı yenilemenin çeşitli yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar; kuşaksal strateji, en uygun (elitist) strateji ve denge durumu stratejisidir. Kuşaksal stratejide, mevcut popülasyondaki kromozomlar tamamen yavrular ile yer değiştirir. Popülasyonun en iyi kromozomu da yenilendiğinden dolayı bir sonraki kuşağa aktarılamaz. En iyi kromozomu geri kazanmak için bu strateji en uygun (elitist) stratejisiyle beraber kullanılmaktadır. En uygun stratejisinde, popülasyondaki en iyi kromozomlar hiçbir zaman yenilenmemektedir. Denge durumu stratejisinde ise, her kuşakta yalnızca birkaç kromozom yenilenmektedir.

Uygunluk fonksiyonunun ölçeklenmesi: Uygunluk fonksiyonunun ölçeklenmesinde rank, oransal, doğrusal ve üstsel ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur. Problemin yapısına göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önemli kontrol parametrelerinden biridir (Emel ve Taşkın, 2002).

5.1.8. Genetik algoritmanın performansını etkileyen nedenler

Genetik algoritma hesaplamaları parametre değerlerinden çok kodlanmış parametreler temellidir ve genetik algoritmalar yerel eniyi içinde ayırıcı olmaktan kaçınarak yüksek oranda paralel arama yeteneği sağlarlar. Genetik algoritmalar uygunluk fonksiyonunun hesaplanması dışında hiçbir karmaşık matematiksel formül içermez ve genetik algoritmalar eniyileme için arama yönünde özel kurallara sahip değildirler (Wang ve Lu, 2009). Genetik algoritmanın performansını etkileyen faktörler aşağıda verildiği gibi sıralanabilir (Goldberg, 1989):

Kromozom sayısı: Kromozom sayısını arttırmak çalışma zamanını arttırırken azaltmak da kromozom çeşitliliğini yok eder.

Mutasyon Oranı: Kromozomlar birbirine benzemeye başladığında hala çözüm noktalarının uzağında bulunuyorsa mutasyon işlemi GA'nın sıkıştığı yerden kurtulmak için tek yoldur. Ancak yüksek bir değer vermek GA'yı kararlı bir noktaya ulaşmaktan alıkoyacaktır.

Kaç Noktalı Çaprazlama Yapılacağı: Normal olarak çaprazlama tek noktada gerçekleştirilmekle beraber yapılan araştırmalar bazı problemlerde çok noktalı çaprazlamanın çok yararlı olduğunu göstermiştir.

Çaprazlamanın sonucu elde edilen bireylerin nasıl değerlendirileceği: Elde edilen iki bireyin birden kullanılıp kullanılmayacağı bazen önemli olmaktadır.

Nesillerin birbirinden ayrık olup olmadığı: Normal olarak her nesil tümüyle bir önceki nesle bağlı olarak yaratılır. Bazı durumlarda yeni nesli eski nesille birlikte yeni neslin o ana kadar elde edilen bireyleri ile yaratmak yararlı olabilir.

Parametre kodlanmasının nasıl yapıldığı: Kodlamanın nasıl yapıldığı en önemli noktalardan biridir. Örnek vermek gerekirse kimi zaman bir parametrenin doğrusal ya da logaritmik kodlanması GA'nın performansında önemli bir farka yol açabilir.

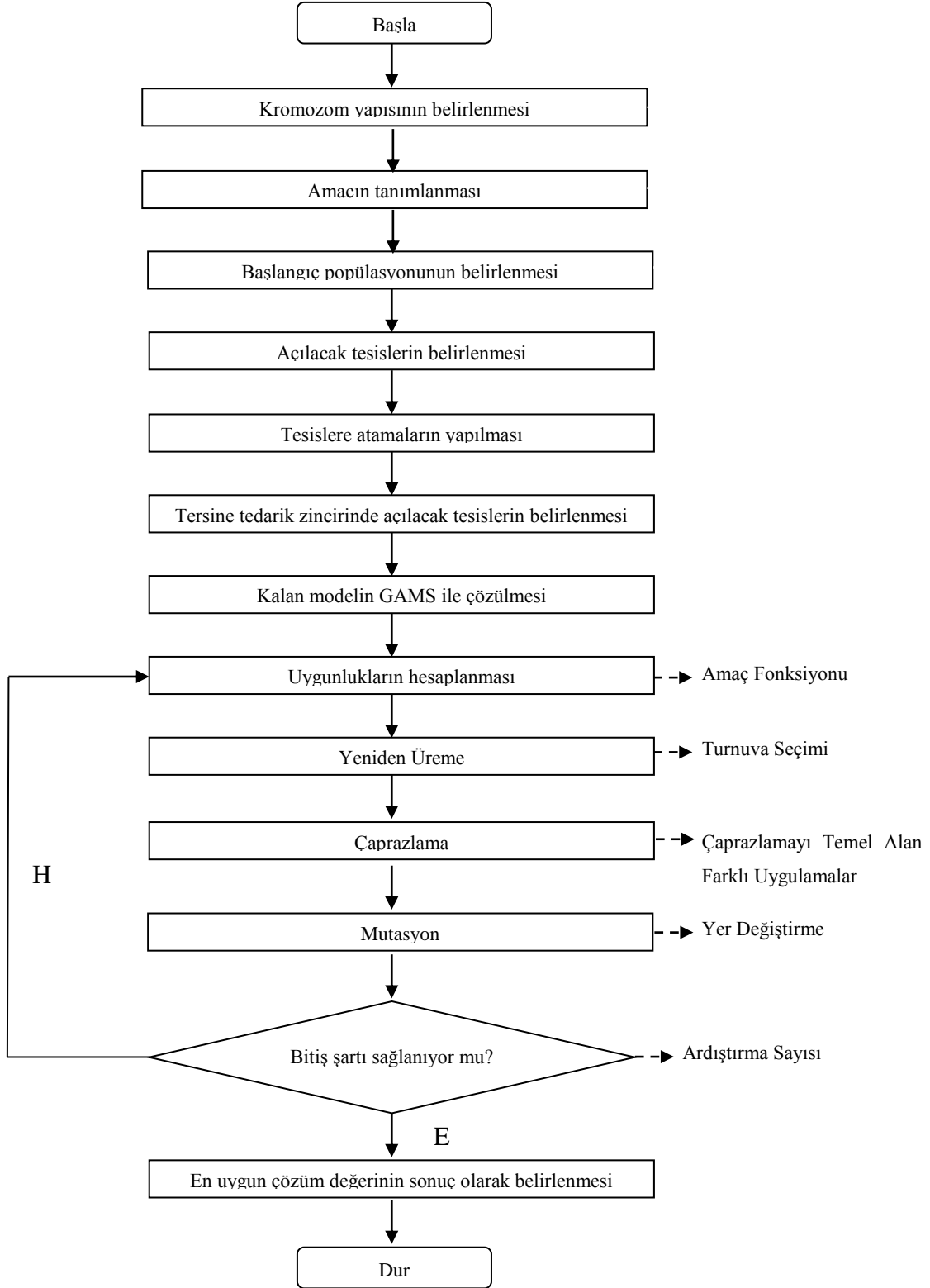
Kodlama gösteriminin nasıl yapıldığı: GA'nın performansını etkileyen bir noktadır. İkilik düzen, kayan nokta aritmetiği ya da gray kodu ile gösterim en yaygın yöntemlerdir.

Başarı değerlendirmesinin nasıl yapıldığı: Akıllıca yazılmamış bir değerlendirme işlevi çalışma zamanını uzatabileceği gibi çözüme hiçbir zaman ulaşmamasına neden olabilir.

5.2. Genetik Algoritma Tabanlı Melez Çözüm Yaklaşımı Önerisi

Tesislerin açılıp/açılmama kararlarının alındığı çok aşamalı lojistik problemleri NP-zor sınıfına girmektedir (Gen vd., 2006). Bu türde problemlerin çözümü için son yıllarda genellikle metasezgisel algoritmaların kullanımı artmaktadır. Metasezgisellerle ilgili yapılan çalışmalara ilişkin literatür taraması kısmında genel olarak tedarik zinciri ve uygulamalarına ilişkin bilgilere yer verilmiştir. Bunun yanında son yıllarda literatürde yer bulan bir diğer yaklaşım da melezleme algoritmalarıdır. Genetik algoritmalarda da kullanılan bu yaklaşımdaki temel felsefe , iki sezgiselin melezlenmesi veya bir sezgisel ile kesin çözüm veren bir algoritmanın melezlenmesi şeklinde iki kısımda incelenmektedir (Bouabda vd., 2011). Literatür'e bakıldığı zaman ileri yönlü çok seviyeli, çok aşamalı tedarik zinciri ağı tasarımları ile sezgisel çözüm yöntemlerini melezleyen çalışmalar bulunmaktadır (Yeh, 2006; Keskin ve Uster, 2007; Altıparmak vd., 2009; Demirel vd., 2014).

Metasezgiselle ilgili ilk örneklerden birini Yeh yapmış ve çalışmasında sezgisel çözüm yöntemi olarak memetik algoritmayı kullanmıştır. Diğer bir araştırma da Keskin ve Uster, dağınık arama algoritmasını, Altıparmak vd. ise genetik algoritmayı, son olarak da Demirel vd. KDTZ ağ problemlerinin modellenmesinde genetik algoritma sezgiseli ile GAMS-Cplex'i birlikte kullanmışlardır. Bu çalışmada, Altıparmak vd. (2009) ile Demirel vd. (2014)'nin çalışmaları referans alınmıştır. Bu yaklaşım ile üründen parçaya, parçadan da ürüne dönüşümü içerisinde barındıran geliştirilmiş modele sezgisel yöntemlerin uyarlanması daha büyük boyutlu problemlerin çözümü için imkân sağlayacaktır. Önerilen modelin çözümü için, Genetik Algoritma ile GAMS-Cplex'in birlikte kullanıldığı melez bir yöntem önerilmiştir. GA'nın kullanılmasıyla, çözüm uzayının tamamı yerine belirli bir kısmını tarayacak etkin arama ile daha kısa sürede sonuca ulaşılması hedeflenmiştir. GA, bir problemin çözümü için çok farklı şekillerde uygulanabilmektedir [Altıparmak vd., 2009]. Geliştirilen modele ilişkin genel akış şeması Şekil 5.5'te genel algoritması ise Çizelge 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Melez çözüm yöntemine ilişkin akış şeması (Uyarlama; Demirel, 2014)

Çizelge 5.8. Denge durumu genetik algoritmasına ilişkin genel algoritma

Algoritma: Çok seviyeli ve çok ürünlü ve melez GA tabanlı KDTZ tasarım problemi

Girdi: KDTZ verileri, GA parametreleri

Çıktı: En iyi çözüm

başla

$k \leftarrow 0;$

başlat $P(k)$;

hesapla $P(k)$;

while not (*Eniyi* istenilen sonuc olana ya da bitirme şartı sağlanana kadar) **do**

$P(k)$ 'dan turnuva yöntemi ile P_1 ve P_2 'yi seç;

C 'yi elde etmek için P_1 ve P_2 'ye çaprazlama yöntemini uygula;

C 'ye mutasyon uygula;

C 'yi hesapla;

C 'yi ekleyerek en kötü sonuçları sil $P(k)$ 'yı güncelle;

$k \leftarrow k+1;$

end

en iyi sonucu yaz

end

Şekil 5.5'te yer alan akış şemasında da görüldüğü gibi önerilen melez GA yaklaşımının klasik GA yaklaşımlarına en önemli farkı tesis açma-kapama kararlarının genetik algoritma yardımıyla üretilen rassal değerlere bağlı olarak verilmesinin ardından problem GAMS-Cplex'e aktarılmakta ve uyumluluk fonksiyonları GAMS-Cplex yardımıyla tespit edilmektedir. Bu da klasik yaklaşımlarda uygulayıcıları en çok zorlayan

tüm modelin çözüm uzayına taşınması yerine sadece açma-kapama kararlarının ikili kodlama yaklaşımı benimsenerek çözüm uzayına taşınmasına imkân vererek çok daha kısa sürede ve daha az zaman harcayarak sezgisel yaklaşımların büyük boyutlu problemlere uygulanmasını sağlamaktadır.

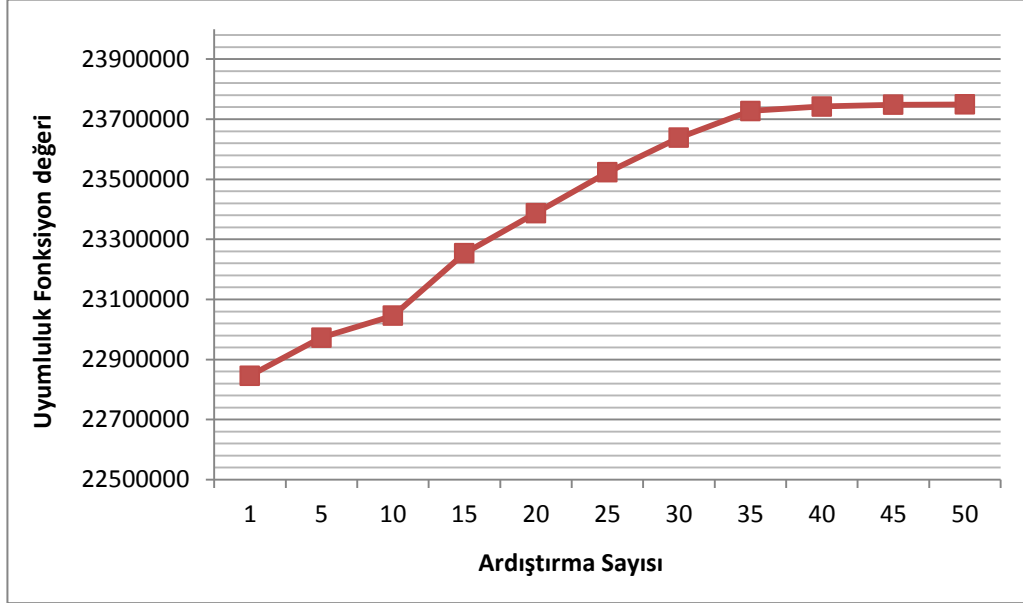
5.3. Genetik Algoritma Tabanlı Melez Çözüm Yaklaşımının Tek Seviyeli KTDP Modeline Uygulanmasına İlişkin Sonuçlar

GA'nın dayandığı temel bileşenlerin (kromozomların genetik gösterimi, başlangıç popülasyonunun oluşturulması, herhangi bir çözümün kalitesini ölçmek için belirlenen uygunluk fonksiyonu, genetik operatörler gibi) ve uygulanan çözüm yönteminin detayları ve uygulama adımları aşağıda anlatılmıştır.

Problemin çözümü için kromozom yapılarının oluşturulması aşamasında ikili kodlama (binary coding) kullanılmıştır. Geliştirilen kromozomun uzunluğu, fabrika sayısı, dağıtım merkezi sayısı, toplama merkezi sayısı ve ayrıştırma merkezi sayısının toplamı kadar olacak şekilde $(j+k+m+h)$ belirlenmiştir. İkili kodlama kullanıldığından, genler [0 veya 1] sayılarından oluşmaktadır. Ele alınan kromozom yapısı 4 kısımdan oluşmaktadır (Bkz Şekil 5.8). İlk kısım fabrikaları, ikinci kısım dağıtım merkezlerini, üçüncü kısım toplama merkezlerini son kısım ise ayrıştırma merkezlerini belirtmektedir. Genlerin kromozomdaki pozisyonu (lokus), açılacak ve açılmayacak tesislere ilişkin kararları ifade etmektedir. Bu değerler, modelde açılacak olan fabrika, dağıtım merkezi, toplama merkezi ve ayrıştırma merkezlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Uygunluk değeri, amaç fonksiyonu olarak değerlendirilmiş ve toplam maliyetin en küçüklenmesi şeklinde ele alınmıştır. Başlangıç popülasyonu ise C++ paket programı kullanılarak rassal olarak oluşturulmuştur. Kromozomdan çözüm üretilmesi aşamasında, ilk olarak açılacak olan fabrika, dağıtım merkezi, toplama merkezi ve ayrıştırma merkezlerinin bilgisi elde edilmektedir. Bunun için, öncelikle başlangıç popülasyonunda yer alan bireylerin her biri için ayrı ayrı toplam maliyetler hesaplanacaktır. Daha sonra hangi fabrikaların, dağıtım merkezlerinin, toplama merkezlerinin ve ayrıştırma merkezlerinin açılacağı belirlenmesi işlemlerinin sezgisel algoritma ile elde edilmesi sonucu geliştirilen, çok dönemli, çok aşamalı, karma tamsayılı matematiksel modelin

karmaşıklığı azalacaktır. Basite indirgenmiş problemin GAMS-Cplex ile çözümü daha kolay olacak ve kısa sürelerde eniyiye yakın sonuçlar elde edilecektir.

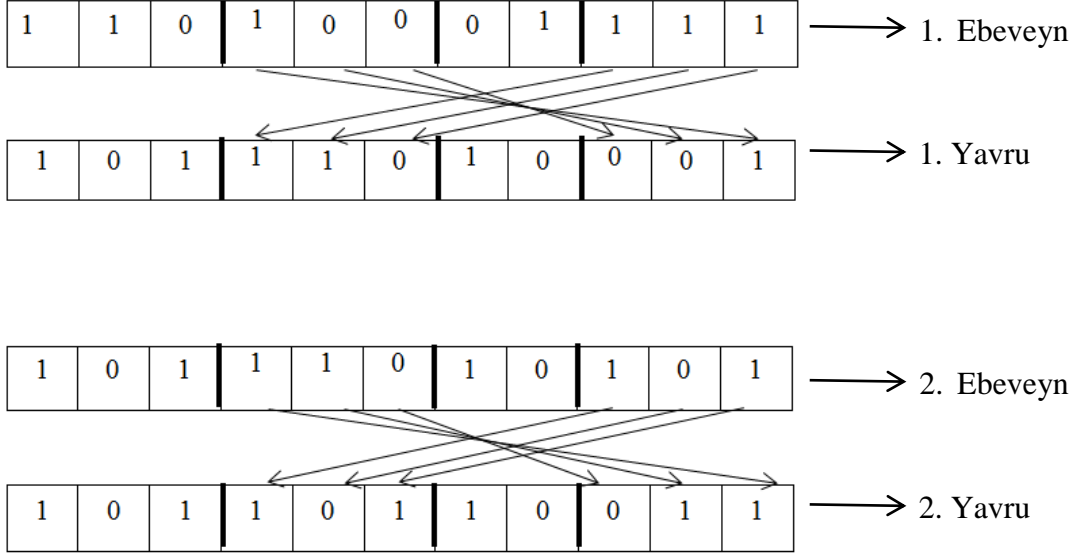


Şekil 5.6. Ardıştırma sayısı ile uyumluluk fonksiyonu arasındaki ilişki

Geliştirilen genetik algoritma tabanlı melez çözüm yaklaşımında; yeni popülasyonu oluşturacak bireylerin seçimi için turnuva seçimi metodu kullanılmıştır. Farklı test problemlerinde ve farklı ardıştırma seviyelerinde yapılan denemeler sonucunda problemin Şekil 5.6'da de görüldüğü gibi 50. ardıştırmadan sonra bir değere yakınsadığı ve daha fazla ilerlemediği görülmüş ve bu nedenle ardıştırma sayısının 50 olmasının yeterli olduğuna karar verilmiştir. Popülasyon sayısı olarak da daha önceki literatür araştırmaları ve probleme uygunluk açısından 20 bireyin olmasının yeterli olacağı belirlenmiştir. Seçilen bireylerin tamamına çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanmıştır.

Probleme özgü olarak geliştirilen çaprazlama süreci Şekil 5.7'de gösterilmiştir. İlk olarak, kromozomda birbirine eşit olmayan 2 adet rassal kesme noktası belirlenmektedir. İlk ebeveynin, birinci kesme noktasına kadar olan genleri ve 2. kesme noktasından sonraki genleri birinci çocuğa ard arda aktarılmaktadır. Kesme noktaları arasında kalan genler ise, birinci çocuğa aktarılırken, 2. ebeveyndeki sıra bilgisi kullanılmaktadır. Aynı şekilde ikinci çocuk oluşturulurken de, 2. ebeveynin 1. kesme noktasına kadarki kısmı ve 2. kesme noktasından sonraki kısmı 2. çocuğa aktarılmakta, kesme noktaları arasında kalan genlerin

için ise 1. ebeveyndeki sıra bilgisi kullanılmaktadır. Mutasyon aşamasında ise literatürden faydalanılmış ve mutasyon oranı olarak %20 alınmasının uygun olacağı düşünülmüştür.



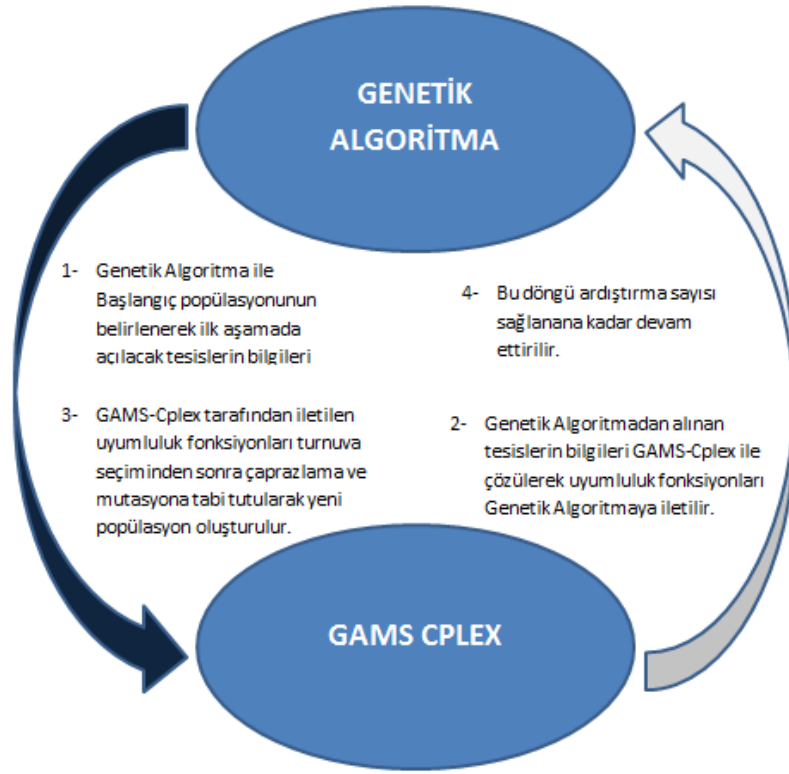
Şekil 5.7. Uygulanan çaprazlama operatörü

Çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılarak elde edilen çocuklar popülasyondaki en kötü 2 bireyle yer değiştirmiştir. Bitiş kriteri olarak belirlenen artışma sayısının sağlanmasıyla birlikte, elde edilen en iyi amaç, problemin çözümü olarak değerlendirilmiştir. Örnek problem için, Çizelge A1- Çizelge A8'de yer alan verilere ilave olarak tesis açma-kapama maliyetleri de güncellenerek modelin çözümünde kullanılmıştır. Daha önceki model çözümlerinde de belirtildiği gibi kullanılan veriler tesisler arasındaki mesafeyi, tesis kapasitelerini, müşteri taleplerini ve maliyetleri göstermektedir.

Şekil 5.8'de 3 adet fabrika (j), 3 adet dağıtım merkezi (k), 2 adet toplama merkezi (m) ve 3 adet ayrıştırma merkezi (h) içeren örnek problem için ikili kodlamamın kullanıldığı bir kromozom yapısı verilmiştir.

j			k			m		h		
1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3
1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1

Şekil 5.8. Örnek model için kromozom yapısı



Şekil 5.9. Genetik algoritma tabanlı melez çözüm yaklaşımı

Şekil 5.9’da görüldüğü gibi genetik tabanlı melez yaklaşıma ilişkin çözüm aşamasında 2 farklı yaklaşım bir arada kullanılmıştır. Buna göre öncelikle açılacak olan fabrika, dağıtım merkezi, toplama merkezi ve ayrıştırma merkezine genetik algoritma yaklaşımının kullanılması ile rassal olarak karar verilmiş ve ilk popülasyonda yer alan bireyler oluşturulmuştur. Elde edilen popülasyondaki bireyler modelde yer alan açma-kapama kararı verilecek tesisleri ifade etmektedir. Bir sonraki aşamada oluşturulan bireyler GAMS-Cplex paket programı içerisine doğrudan tanımlanarak problemin NP zor olmasına sebep olan ikili değişkenler ortadan kaldırılmaktadır. Böylelikle elde edilen yeni kod yapısı basit bir taşıma problemine dönüşerek çok daha kısa sürede eniyi sonuçlara yakın değerlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu aşamadan sonra popülasyonda yer alan her bir birey için elde edilen uygunluk çözüm değerleri tekrardan genetik algoritmaya gönderilmektedir. Genetik algoritmaya gönderilen uygunluk çözümleri karar verilen seçim yöntemi ile değerlendirmeye tabi tutularak en iyi bireylerin bir üst tura, kötü sonuç veren bireylerinde popülasyon dışında aktarılmaktadır. Elde edilen yeni popülasyon havuzundaki bireyler bir sonraki adımda belirlenmiş olan çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutularak ilk oluşturulan popülasyondan farklı bir popülasyon oluşturulmaktadır. Elde

edilen yeni popülasyon havuzu yeni uyumluluk fonksiyonlarının hesaplanması için tekrar GAMS-Cplex paket programına gönderilecek çözümlerde ve yukarıda bahsedilen işlemler aynı şekilde tekrar etmektedir. Tanımlanmaya çalışılan bu genetik algoritma tabanlı melez çözüm yaklaşımı belirlenen ardıştırma sayısı sağlanıncaya kadar devam ettirilmekte ve hedef ardıştırma sayısına ulaşılması sonucunda işlem durdurularak, elde edilen değer en uygun değer olarak kabul edilmektedir. İlk aşamada sadece bir veri seti için yapılan bu işlemler daha sonra Bölüm 3.4'te yer alan boyut analizindeki tüm veri setleri için aynı şartlar altında tekrarlanmış ve Çizelge 5.9'da yer alan Çizelge elde edilmiştir.

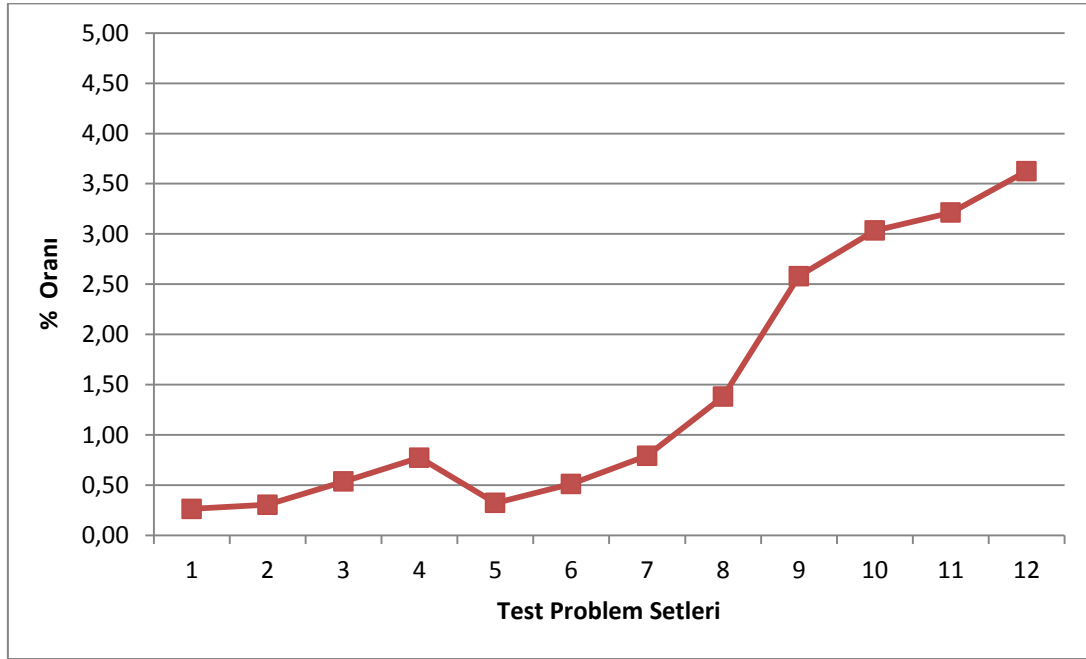
Çizelge 5.9'da yer alan fark sütunu, GAMS'in verdiği üst sınır değeri ve sezgisel çözüm yönteminden elde edilen amaç fonksiyonu değeri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

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

Çizelge 5.9. Geliştirilen sezgisel çözüm yöntemi ile GAMS-Cplex sonuçlarının karşılaştırılması

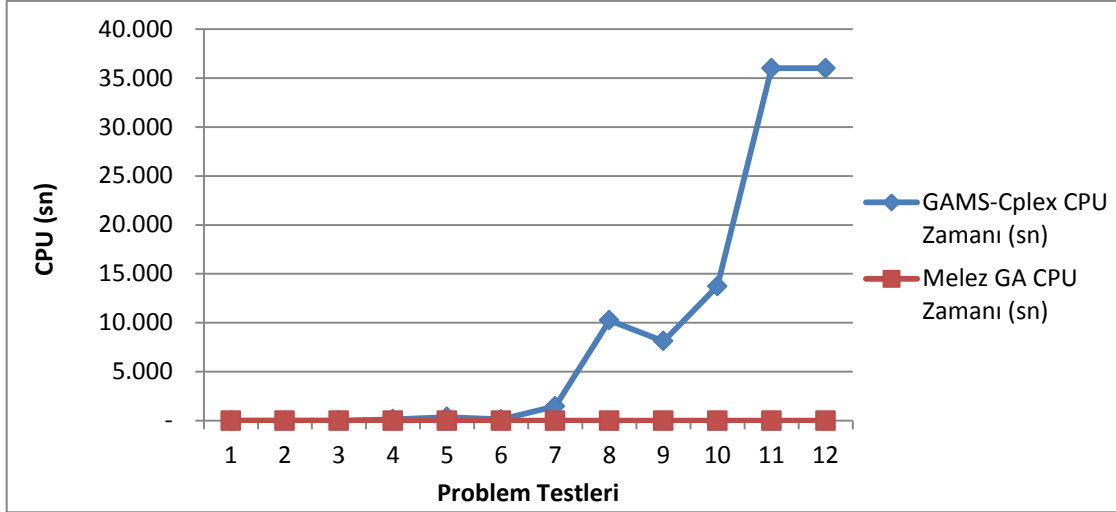
No	Problem Seti	GAMS-Cplex		MelezGA		
		Amaç Fonksiyonu (PG)	CPU Zamanı (sn)	Amaç Fonksiyonu (PG)	CPU Zamanı (sn)	Fark (%)
1	5-4-3-3-6-2-3-3	✓ 23.812.537	0.086	23.749.327	35.8	0,27
2	6-5-4-4-7-2-3-3	✓ 32.765.670	0.74	32.665.495	36.1	0,31
3	7-6-5-5-8-3-4-4	✓ 49.148.505	15	48.884.814	37.2	0,54
4	9-8-7-7-10-4-5-5	✓ 61.259.354	143	60.784.507	37.6	0,78
5	10-9-8-8-11-4-5-5	✓ 78.637.608	373	78.383.316	40.2	0,32
6	12-10-8-8-12-5-6-6	✓ 102.228.938	138	101.704.257	41.5	0,51
7	13-11-9-9-13-5-6-6	✓ 107.340.354	1475	106.489.082	46.7	0,79
8	15-13-11-11-14-6-7-7	✓ 115.264.657	10253	113.672.394	52.1	1,38
9	18-15-13-12-16-7-8-8	✓ 123.628.452	8122	120.439.163	59.3	2,58
10	20-18-15-14-16-8-10-10	✓ 130.696.038	13725	126.731.272	65.5	3,03
11	23-20-17-16-18-10-11-11	145.265.869	> 36000	140.598.379	95.7	3,21
12	30-24-18-18-19-12-14-14	253.990.179	> 36000	244.783.492	133.4	3,62
✓ Eniyi Çözüm						

Çizelge 5.9’da yer alan ve GAMS-Cplex ile eniyiçözüm elde edilen ilk 10 problem seti için eniyi çözümlerle, geliştirilen çözüm yönteminden elde edilen sonuçlar arasındaki farklılık %0.27 ile %3.03 arasında değişmiştir. Sezgisel çözüm yöntemlerinin eniyi sonucu garanti etmemesine karşın problem boyutunun 12 kez büyütüldüğü ve başlangıç test probleminde 2585 değişken ve 1019 kısıt olan bir model için bulunan yakın sonuçlar önerilen melez GA yaklaşımının oldukça iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.



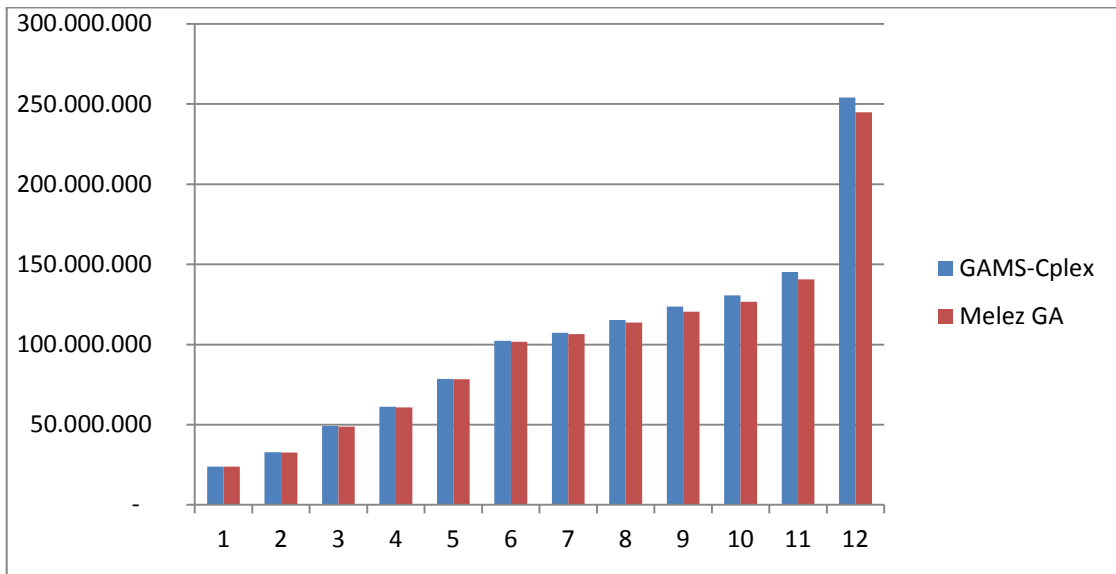
Şekil 5.10. GAMS ve MelezGA’dan elde edilen sonuçlar arasındaki % farklar

Şekil 5.10’da problem setleri bakımından önerilen Melez GA yaklaşımı ile GAMS-Cplex programından elde edilen sonuçlar arasındaki farklılık gösterilmiştir. Buna göre sonuçlar arasındaki fark 7. Problem setine kadar %1’in altında seyretmektedir. Daha sonraki problem setlerinde boyut büyüdükçe aradaki fark artarak %3.53’e kadar yükselmiştir.



Şekil 5.11. GAMS ve MelezGA yaklaşımlarının farklı veri setleri için çözüm süreleri

Şekil 5.11’de problem boyutu büyüdükçe GAMS-Cplex yaklaşımı ile Melez GA yaklaşımının çözüm süreleri bakımından değişimi görülmektedir. Buna göre GAMS-Cplex paket programı ile elde edilen çözümlere ait sürelerin üstel arttığı görülmüştür. Altıncı problem setine kadar benzer özellik gösteren ve çözüm süreleri yakın olan çözüm yaklaşımları arasındaki fark yedinci problem setinden sonra dramatik bir şekilde açılmıştır. Bu da problemin NP zor doğasından kaynaklanmaktadır ve çözüm sürelerindeki üstel artış grafikten açıkça görülmektedir. Önerilen Melez GA yaklaşımında ise çözüm süreleri belirli bir sınırlar içerisinde kalmış ve çok daha kısa sürede çözülerek Şekil 5.11’de görülen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.12. GAMS ve MelezGA test problem toplam maliyet karşılaştırması

Şekil 5.12’de problem boyutlarının artmasının toplam maliyet üzerine etkisi gösterilmiştir. Problem boyutlarındaki değişikliğin maliyetlere de aynı oranda yansıdığı ve her iki yaklaşımda da maliyet artışlarının benzer değişim gösterdiği görülmüştür. En anlamlı maliyet değişiminin ise 11. problem seti ile 12. problem seti arasındaki geçişte yaşandığı görülmektedir. Bu durumun son problem setinde yer alan tesislerde ki hızlı artıştan kaynaklandığı da veri setleri incelendiği zaman açıkça görülmektedir. Toplam maliyetlerde ki değişime bakıldığı zaman da Melez GA yaklaşımının kesin çözüm değerine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde otomotiv endüstrisinde kaynakların gitgide azalması ve geri dönüştürülen ürünlere olan ihtiyacın artması, kullanım ömrü bitmiş araçlar için KDTZ uygulamalarını zorunlu kılar hale gelmiştir. Bu çalışmada, Türkiye otomotiv sektörü temel alınarak yeşil tedarik zinciri yönetimi ana başlığı altında kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı için bir karma tamsayılı doğrusal karar modeli önerilmiştir. Bu model önceki çalışmalardan farklı olarak parça akışlarında yeni bir bakış açısı içermektedir. Buna göre parçalar tonaj üzerinden değerlendirilmekte ve zincirin tamamı kapalı döngü halinde yönetilebilmektedir. Önerilen karar modelinin etkinliği rassal olarak türetilmiş test problemi üzerinde gösterilmiş ve bazı önemli parametrelerdeki değişimlere göre çözümün duyarlılığı incelenmiştir. Problemin NP-zor yapıda olması nedeniyle de genetik algoritma tabanlı melez bir yaklaşım önerilerek kısa sürede çözüm bulunmasını sağlayacak etkin bir yaklaşım da geliştirilmiştir. Çalışmanın önemli bir katkısı da gerçek hayat problemlerindeki yapıya uygun olarak paydaşlara arasındaki etkileşimlerin modele yansıtılmasıdır. Bu amaçla bulanık etkileşimli programlama kullanılmıştır. Aşağıda elde edilen sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tek karar vericili ve tek seviyeli olarak tasarlanan karma tamsayılı doğrusal programlama (KTDP) modelinde

- Elde edilen bulgulara göre toplam satınalma maliyetinin işletmeler açısından en önemli gider kalemini oluşturduğu daha sonra ise taşıma maliyetlerinin geldiği görülmüştür. Yapılan örnek çalışmada da bu sonuçlar şu şekilde bulunmuştur. Toplam satın alma maliyeti (%66.32) ile en büyük paya sahipken, satın alma maliyetini sırasıyla toplam taşıma maliyeti (%24.65), toplam yenileme maliyeti (%5.87) ve toplam sabit işletme maliyeti (%3.17) izlemiştir.
- Ürün geliştirme, reklam, pazarlama veya satış stratejilerinin geliştirilmesinin talepler üzerinde artışa sebep olacağı ve bunun da ek maliyet getireceği belirlenmiştir. Örnek çalışma ile de talepte gerçekleşecek %40'lık bir artışın, toplam maliyette %32,87'lik bir artışa sebep olduğu gösterilmiştir.
- Geri dönüşüm oranlarının ele alındığı bir başka senaryo analizinde η değerinin (müşterilere gönderilen parça oranı) artması ve κ değerinin (yenileme

merkezine gönderilen parça oranı) azalması toplam maliyeti ve satın alma maliyetini arttırdığı tespit edilmiştir.

- Parça ihtiyacının yenilenebilir ürünlerden karşılanması sonucunda maliyet açısından avantaj sağlanacağı ve bu durumun işletme karlılığına olumlu yönde yansıtacağı görülmüş bu sonuç yapılan test problemleri ile de desteklenmiştir.
- Fabrika, dağıtım merkezi, toplama merkezi ve ayrıştırma merkezi kapasitelerinin azaltılmasının toplam maliyeti arttırdığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla kapasitelere ilişkin alınan kararların toplam maliyet üzerinde etkili olduğu görülmüştür.
- Yapılan boyut analizi sonucunda ise problem boyutu arttıkça hem CPU süresi, hem de toplam maliyet artmaktadır. Problem boyutunda meydana gelecek muhtemel değişikliklerin toplam maliyetler üzerinde ve işlem sürelerinde artışa sebep olduğu yapılan test problemleri sonucunda gösterilmiştir.

Tek seviyeli ve tek karar vericili olarak tasarlanan KTDP modeli, ikinci aşamada gerçek vaka yaklaşımına benzetilebilmesi ve memnuniyet düzeylerinin de modele yanıtlanabilmesi amacıyla çok seviyeli ve birden çok karar vericinin olduğu bir yapıya dönüştürülmüş ve böylelikle tedarik zinciri içerisinde yer alan diğer paydaşların da eniyi çözüm üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu yaklaşımların sonucunda aşağıda yer alan bulgulara ulaşılmıştır:

- Zimmerman yaklaşımına göre üst seviye karar verici olan μ_1 fabrika ve alt seviye karar vericiler μ_2 ayrıştırma merkezi ve μ_3 müşteri için ortak tatmin seviyesine ulaşıldığı zaman, memnuniyet seviyeleri eşit olarak bulunmuştur.
- Toplam maliyet açısından bakıldığında ortak tatmin seviyesindeki (γ) değişim SÖ ve TH yaklaşımlarında farklı davranışlara sebep olmuştur. γ değeri arttıkça TH yaklaşımında toplam maliyet artarken SÖ yaklaşımında ise toplam maliyet azalmaktadır.
- Çözüm süresi açısından SÖ yaklaşımı TH yaklaşımına göre daha kısa sürede çözüm vermektedir. SÖ yaklaşımında γ değerinin artması çözüm süresini kısaltırken TH yaklaşımında ise attırmaktadır.
- γ değerindeki değişim memnuniyet seviyeleri üzerinde farklı sonuçlar vermektedir. Yapılan test probleminde γ değeri yüksedikçe SÖ yaklaşımında ayrıştırma merkezinin ve müşterinin memnuniyet seviyesi düşmüş Fabrikanın

memnuniyet seviyesi ise artmıştır. Aynı anda TH yaklaşımında ise müşteri açısından benzer hareketler görülmesine karşın diğer karar vericiler için değişim oranları SÖ yaklaşımından farklı olarak gözlemlenmiştir.

- Etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı açısından SÖ yaklaşımı TH yaklaşımına göre γ değerine daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir.
- γ değerinde meydana gelen değişim maliyetlere de etki etmekte ancak yaklaşımlar açısında görülen değişim farklılık göstermektedir.
- γ değerinin memnuniyet seviyeleri üzerindeki etkisine bakıldığı zaman, γ değeri sıfır iken her iki yaklaşımda da memnuniyet oranı en yüksek olan karar verici müşterilerdir. En düşük memnuniyet oranına sahip karar verici ise kar enbüyüklemesini amaçlayan ayrıştırma merkezidir. Fabrikalar ise eşit memnuniyet seviyelerine sahiptir.

Zimmerman, Selim Özkarahan ve Torabi Hassini yaklaşımlarında sistem her ne kadar çok karar vericili bir yapıda olsa da tüm karar vericiler için ortak bir memnuniyet düzeyi belirlenmekte ve model bu yaklaşıma göre çözülmektedir. Ancak gerçek hayatta bu şekilde karar mekanizmaları olduğu gibi, birden fazla karar vericinin birden fazla amacı olduğu durumlarda bulunmaktadır. Hem üst seviye hem de alt seviye karar vericilerin karşılıklı olarak amaç fonksiyonlarının çeliştiği durumlarda her tarafta amaç fonksiyonlarını eş zamanlı olarak eniyilemek isteyecektir. İşte bu tarz karar modellerinin çözümü için çalışmada Sakawa Nishizaki yaklaşımı önerilmiş ve bu yaklaşım sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Fabrika, ayrıştırma merkezi ve müşterinin memnuniyet seviyelerinde meydana gelen değişimin amaç fonksiyonları üzerinde benzer etki gösterdiği tespit edilmiştir. Bu çıkarım yapılan test problemi ile de desteklenmiştir.
- Elde edilen çıkarım doğrultusunda müşteri veya ayrıştırma merkezinden memnuniyet düzeylerinin arttırılması yönünde bir baskı olduğu zaman üst seviye karar verici olan fabrikanın kendi memnuniyet düzeyinden veya diğer alt karar vericinin memnuniyet düzeyinden ödün vermesi gerekeceği ve bu durumunda diğer karar vericilere maliyet olarak yansıtacağı tespit edilmiştir. Gerçek hayatta karşılaşılması muhtemel bu problem modele de yansıtılarak çözüm üzerinde ki etkisi gösterilmiştir.

- Kullanılan tüm etkileşimli/bulanık programlama yaklaşımları birlikte ele alındığı zaman memnuniyet düzeyleri üzerinde meydana gelen değişikliklerin maliyetleri de aynı yönde etkilediği ve memnuniyet düzeyleri ile maliyetler arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür.

Çalışmanın son bölümünde problem boyutu büyüdükçe çözüm süresinin üstel arttığı görülmüş ve problemin NP zor olması nedeniyle çözümü için Genetik Algoritma tabanlı melez bir çözüm yaklaşımı önerilmiş ve matematiksel model önerilen melez GA yaklaşımı ile çok daha kısa sürede çözümlere aşağıda yer alan sonuçlar elde edilmiştir.

- Melez GA yaklaşımı GAMS-Cplex yaklaşımı ile elde edilen çözümler üzerinden karşılaştırıldığında eniyi sonuca yakın sonuçlar vermiştir. Yapılan test probleminde görülen fark en fazla %3.53 olarak tespit edilmiştir.
- Geliştirilen sezgisel yaklaşım GAMS-Cplex yaklaşımına nazaran oldukça hızlı ve kısa sürede çözüm vermiş ve problem boyutu büyümesine karşın çözüm süresinde önemli bir değişim yaşanmamıştır.
- Test probleminin çözümü sonucunda ulaşılan veriler önerilen Melez GA yaklaşımının KDTZ ağ tasarımı için geliştirilen KTDP modelleri için makul sürelerde oldukça iyi performans sergilediğini göstermiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalar için ise aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

- Kapasite, talep gibi parametrelerin bulanık değerler halinde ele alınmasıyla modele bulanık yaklaşım uygulanabilir, benzer şekilde memnuniyet dereceleri de bulanık sayı olarak değerlendirilebilir.
- Test sayısı artırılarak daha detaylı analizler yapılabilir.
- Geliştirilen modeldeki diğer parametrelerin çözüm üzerindeki etkisi araştırılabilir.
- Değişik metasezgiseller kullanılarak daha etkin çözüm yöntemlerinin olup olmadığı araştırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anonim, 2014, <https://dl.dropboxusercontent.com/u/21130258/resources/InformationSheets/vehicle.htm> 18.03.2014
- Anonim,2013,<http://www.cbi.org.uk/business-issues/energy-and-climate-change/>15.02.2013
- Amin, S.H., 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.
- Altay, A., 2007, Genetik algoritma ve bir uygulama, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 9-24.
- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Karaoğlan, İ., 2009, A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design, *Computers & Industrial Engineering*, 56, 521-537.
- Atasu, A., Sarvary, M., Van Wassenhove, L. N., 2008, Remanufacturing as a marketing strategy, *Management Science*, 54(10), 1731–1746.
- Azevedo, S.G., Carvalho, H., Cruz Machado, V., 2011, The influence of green practices on supply chain performance: a case study approach, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47 (6), 850 - 871.
- Azevedo, S.G., Govindan K., Carvalho, H., Cruz Machado, V., 2013, Ecosilient Index to assess the greenness and resilience of the upstream automotive supply chain, *Journal of Cleaner Production*, 56, 131 – 146.
- Baenas, J.M.H., Castro, R.de, Battistelle, R.A.G., Junior, J.A.G., 2011, A study of reverse logistics flow management in vehicle battery industries in the midwest of the state of São Paulo (Brazil), *Journal of Cleaner Production*, 19(2–3), 168-172.
- Bai, C., Sarkis, J., 2010, Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set Methodologies, *International Journal of Production Economics*, 124(1), 252–264.
- Bhateja, A.K., Babbar, R., Singh, S., Sachdeva, A., 2011, Study of Green Supply Chain Management in the Indian Manufacturing Industries: A Literature Review cum an Analytical Approach for the measurement of performance, *IJCEM International Journal of Computational Engineering & Management*, 13, ISSN (Online), 2230-7893.
- Bouabda, R., Jarboui, B., Eddaly, M., Rebai, A., 2011, A branch and bound enhanced genetic algorithm for scheduling a flowline manufacturing cell with sequence dependent family setup times, *Computers & Operations Research*, 38, 387-393.
- Bowen, F.E., Cousins, P.D., Lamming, R.C., ve Faruk, A.C., 2001, Horses for courses: explaining the gap between the theory and practice of green supply, *Greener Management International Autumn*, 10(2), 174-189.
- Büyükkeklik, A., 2011, Tersine Lojistik ve Atık Akümülatörler İçin Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Uygulaması, Doktora Tezi, Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Büyüközkan, G., Kahraman, C., Ruan, D., 2004, A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection, *International Journal of General Systems*, 33:2-3, 259-280.
- Büyüközkan, G. , Çifçi G., 2012, Evaluation of the green supply chain management practices: a fuzzy ANP approach, *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 23(6), 405-418.
- Büyüközkan, G., ve Vardaloğlu, Z., 2008, Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, *Lojistik Dergisi*, 8, 66-73.
- Caniels M.C.J., Gehrsitz M.H., Semeijn J., 2013, Participation of suppliers in greening supply chains: An empirical analysis of German automotive suppliers, *Journal of Purchasing & Supply Management*, 19, 134-143.
- Chaabane, A., Ramudhin, A., Paquet, M., 2012, Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme, *International Journal of Production Economy*, 135(1), 37–49.
- Chang, N.-B., Chen, Y.L. and Wang, S.F., 1997, A fuzzy interval multi objective mixed integer programming approach for the optimal planning of solid waste management systems, *Fuzzy Sets and Systems*, 89 (1), 35-60.
- Che J., Yu J., Kevin S., 2011, End-of-life vehicle recycling and international cooperation between Japan, China and Korea: present and future scenario analysis, *Journal of Environmental Sciences*, 23, 162–176.
- Chen, S.-P. and Chang, P.-C., 2006, A mathematical programming approach to supply chain models with fuzzy parameters, *Engineering Optimization*, 38 (6), 647-669.
- Cheng, R., Gen, M., Tsujimiray, Y., 1999, A tutorial survey of job shop scheduling problems using genetic algorithms, part ii: hybrid genetic search strategies, *Computers and Industrial Engineering*, 36, 343-364.
- Chien MK, Shih LH., 2007, An empirical study of the implementation of green supply chain management practices in the electrical and electronic industry and their relation to organizational performances, *International Journal of Environmental Science Technology*, 4(3), 383– 394.
- Crotty J., 2006, Greening the supply chain? The impact of take-back regulation on the UK automotive sector, *Journal of Environmental Policy & Planning*, 8(3), 219-234.
- Cruz, J.M., Matsypura, D., 2009, Supply chain networks with corporate social responsibility through integrated environmental decision-making, *International Journal of Production Research*, 47(3), 621–648.
- Cura, T., 2008, Modern sezgisel teknikler ve uygulamari, Papatya Yayıncılık Eğitim, 1. Basım, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Demirel, N.Ö., 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.
- Demirel, N., Özceylan, E., Paksoy, T., Gökçen, H., 2014, A genetic algorithm approach for optimising a closed-loop supply chain network with crisp and fuzzy objectives, *International Journal of Production Research*, 52(12), 3637-3664.
- Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles. *Official Journal of the European Communities* (21 October 2000).
- Diabat, A., Khodaverdi, R., & Olfat, L., 2013, An exploration of green supply chain practices and performances in an automotive industry, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(1-4), 949-961.
- Duranceau, C., Lindell, T., 1999, Automotive recycling as reuse: Investigation to establish the contribution of reuse on recyclability, *SAE 1999-01-0987*.
- Durukan, D., 2013, Doğrusal ve doğrusal olmayan kafes sistemlerin genetik algoritma ile optimum tasarımı, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Eltayeb, T.K., Zailani, S., Ramayah, T., 2011, Green supply chain initiatives among certified companies in Malaysia and environmental sustainability: Investigating the outcomes, *Resources, Conservation and recycling*, 55, 495- 506.
- El-Wahed, W.F.A. and Lee, S.M., 2006, Interactive fuzzy goal programming for multiobjective transportation problems, *Omega*, 34 (2), 158-166.
- Emel, G., Taşkın, Ç., 2002, Genetik algoritmalar ve uygulama alanları, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1):129-152.
- Engin, O., Fırlı, A., 2002, Akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma yardımı ile çözümünde uygun çaprazlama operatörünün belirlenmesi, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 6, 27-35.
- Fahimnia, B., Sarkis, J., Dehghanian, F., Banihashemi, N., Rahman, S., 2013, The impact of carbon pricing on a closed-loop supply chain: an Australian case study, *Journal of Clean Production*, 59, 210–225.
- Fallah-Tafti, A., Sahraeian, R., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Moeinipour, M., 2014, An interactive possibilistic programming approach for a multi-objective closed-loop supply chain network under uncertainty, *International Journal of Systems Science*, 45(3), 283-299.
- Fedai Deniz, Ö., 2012, Tersine Lojistik ve Denizli İlinde Ömrünü Tamamlamış Lastik Geri Kazanımı İçin Tersine Lojistik Ağ Modelinin Tamsayı Programlamayla Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli*.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gan, L., 2003, Globalization of the automobile industry in China: dynamics and barriers in greening of the road transportation, *Energy Policy*, 537 – 551.
- Gen, M., Altıparmak, F., Lin, L., 2006, A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding, *OR Spectrum*, 28(3), 337–354.
- Goldberg, D.E., 1989, *Genetic algorithms in search optimization and machine learning*, Addison Wesley Publishing Company, USA.
- Govindan, K., Kaliyan, M., Devika, K., Haq, A.N., 2013, Barriers analysis for Green Supply Chain Management implementation in Indian Industries Using Analytic Hierarchy Process, To appear in: *International Journal Production Economics*, Author's Accepted Manuscript.
- Gonzalez-Benito, J., Gonzalez-Benito, O., 2006, The role of stakeholder pressure and managerial values in the implementation of environmental logistics practices, *International Journal of Production Research*, 44(7), 1353 – 1373.
- Günther, E., Scheibe, L., 2006, The hurdle analysis. A selfevaluation tool for municipalities to identify, analyze and overcome hurdles to green procurement, *Corporate Social Responsibility Environmental Management*, 13(2), 61–77.
- Habidin, N.F., Conding, J., Zubir, A.F.M., 2012, A Proposed of Green Practices and Green Innovation Model in Malaysian Automotive Industry, *Environmental Management and Sustainable Development*, ISSN 2164-7682, 1(2).
- Haikou, H., 2007, A Genetic Algorithm for Reverse Logistics Network Design, *Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007)*, ISBN: 0-7695-2875-9.
- Hall, J., 2000, Environmental supply chain dynamics, *Journal of Cleaner Production*, 8(6).
- Handfield, R.B., Walton, S.V., Seegers, L.K., Melnyk, S.A., 1997, Green value chain practices in the furniture, industry, *Journal of Operations Management*, 15(4), 293 - 315.
- Harland, C., Brenchley, R., ve Walker, H., 2003, Risk in Supply Networks, *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(2), 51-62.
- Harras N.A., Galal N.M., 2011, Design of sustainable end-of-life vehicle recovery network in Egypt; *Ain Shams Engineering Journal*, 2(3-4), 211–219.
- Haupt, R.L., Haupt, S.E., 2004, *Practical genetic algorithms*, Second Edition, New Jersey: Wiley-Interscience.
- Hervani, A.A., Helms, M.M., ve Sarkis, J., 2005, Performance measurement for green supply chain management, *Benchmarking: An International Journal*, 12(4), 330-353.
- Hines, F., Johns, R., 2001, Environmental supply chain management: evaluating the use of environmental mentoring through supply chains, *Greening of Industry Network Conference*, Bangkok.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Isaacs, J.A., Gupta, S.M., 1998, Economic consequences of increasing polymer content for the US automobile recycling infrastructure *Journal of Industrial Ecology*, 1 (4), 19–33.
- Jindal, A., Sangwan, K.S., 2014, Closed loop supply chain network design and optimisation using fuzzy mixed integer linear programming model, *International Journal of Production Research*, 52(14), 4156-4173.
- Jung, H., Jeong S.J., 2012, Managing demand uncertainty through fuzzy inference in supply chain planning, *International Journal of Production Research*, 50(19), 5415-5429.
- Kahraman, A.M., Özdağlar, D., 2004, Su dağıtım sistemlerinin genetik algoritma ile optimizasyonu, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(3), 1-18.
- Kannan, G., 2009, Fuzzy approach for the selection of third party reverse logistics provider, *Asia Pasific Journal of Marketing and Logistics*, 21(3), 397-416.
- Kannan, G., Sasikumar, P., Devika, K., 2010, A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling, *Applied Mathematical Modelling*, 34: 655-670.
- Kalaycı, T.E., 2006, Yapay zeka teknikleri kullanan üç boyutlu grafik yazılımları için extensible 3d (x3d) altyapı oluşturulması ve gerçekleştirilmesi, *Bilgisayar Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- Karakayalı I., Emir-Farinas H., Akcalı E., 2007, An analysis of decentralized collection and processing of end-of-life products, *Journal of Operations Management*; 25, 1161–1183.
- Katagiri, H., Sakawa, M., Kato, K., Nishizaki, I., 2008, Interactive multi objective fuzzy random linear programming: Maximization of possibility and probability, *European Journal of Operational Research*, 188(2), 530-539.
- Kaya, İ., 2006, Çok aşamalı proseslerde örnek hacminin belirlenmesi üzerine bir model ve genetik algoritmalar yardımıyla çözüm önerisi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 15, 435-457.
- Kemer, B., 2010, Araç Rotalama Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı: Bir Gıda Dağıtım Firması Uygulaması, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Keskin, B.B., Uster, H., 2007, A scatter search-based heuristic to locate capacitated transshipment points, *Computers & Operations Research*, 34(10): 3112–3125.
- Ko, H.J., Evans, W., 2007, A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs, *Computers & Operations Research*, 34: 346-366.
- Kumar, S., Teichman, S., Timpernagel, T., 2012, A green supply chain is a requirement for profitability, *International Journal of Production Research*, 50(5),1278–1296.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kuo, R.J., Lin, L.M., 2010, Application of a Hybrid of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization Algorithm for Order Clustering, *Decision Support Systems*, 49(4):451-462.
- Kuruca, E., 2009, Gezin satıcı problemi tabanlı bir sistemin dinamik bulanık genetik algoritmalar ile optimizasyonu, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5-25.
- Kusumastuti, R.D., Piplani, R., Lim, G.H., 2004, An approach to design reverse logistics networks for product recovery, *International Engineering Management Conference*, 3, 1239-1243.
- Lai, Y.J. and Hwang, C.L., 1993, Possibilistic linear programming for managing interest rate risk, *Fuzzy Sets and Systems*, 54 (2), 135-146.
- Lai, Y.J. and Hwang, C.L., 1996, *Fuzzy multiple objective decision making: methods and applications*, Springer-Verlag, Berlin.
- Lai, Y.J., 1996, Hierarchical optimization: a satisfactory solution ... fuzzy stochastic optimization, *Fuzzy Sets and Systems*, 77, 321-335.
- Large, R.O., Thomsen, C.G., 2011, Drivers of green supply chain management performance: Evidence from Germany, *Journal of Purchasing & Supply Chain Management*, 17, 176 – 184.
- Lee, S-Y., 2008, Drivers for the participation of small and medium-sized suppliers in green supply chain initiatives, *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(3), 185-98.
- Liang, T.-F., 2006, Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi objective linear programming, *Fuzzy Sets and Systems*, 157(10), 1303-1316.
- Liang, T.-F., 2008, Fuzzy multi objective production/distribution planning decisions with multi product and multi time period in a supply chain, *Computers and Industrial Engineering*, 55(3), 676-694.
- Liang, T.-F. and Cheng, H.-W., 2009, Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions with multiproduct and multi-time period in supply chains, *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3367-3377.
- Lin, C.-Y., Ho, Y.-H., ve Chiang S.-H., 2009, Organizational Determinants of Green Innovation Implementation in the Logistics Industry, *International Journal of Organizational Innovation*, 2(1), 3-12.
- Lin R.-J., Chenb R.-H., Nguyenc T.-H., 2013, Green supply chain management performance in automobile manufacturing industry under uncertainty, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 233-245.
- Luken, R., ve Stares, R., 2005, Small business responsibility in developing countries: a threat or an opportunity?, *Business Strategy and the Environment*, 14, 38-53.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Luthra, S., Kumar, V., Kumar, S. and Haleem, A., 2011, Barriers to implement green supply chain management in automobile industry using interpretive structural modeling technique – an Indian perspective, *Journal of Industrial Engineering and Management*, 4(2), 231-257.
- Mahmoudzadeh, M., Mansour, S., Karimi, B., 2013, To develop a third-party reverse logistics network for end-of-life vehicles in Iran, *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 1- 14.
- Min H, Galle WP, 1997, Green purchasing strategies: trends and implications, *Journal of Supply Chain Management*, 33(3), 10–17.
- Mirakhorli, A., 2014, Fuzzy multi-objective optimization for closed loop logistics network design in bread-producing industries, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70, 349–362.
- Murphy, P.R., Poist, R.F., 2000, Green logistics strategies: an analysis of usage patterns, *Transportation Journal*, 40(2), 5–16.
- Nabiyev, V.V., 2003, *Yapay Zeka: Problemler Yöntemler Algoritmalar*, 1. Baskı, Ankara: Seçkin Yayınevi.
- Neto, J.Q.F., Bloemhof - Ruwaard, J.M., Van Nunen, J.A.E.E. and Van Heck, E., 2008, Designing and evaluating Sustainable logistics networks, *International Journal of Production Economics*, 111(2), 195–208.
- Nunes, B., Bennett, D., 2010, Green operations initiatives in the automotive industry an environmental reports analysis and benchmarking study, *Benchmarking: An International Journal*, 17(3), 396-420.
- Obitko, 2015, Introduction to genetic algorithms with Java applets, Erişim: Nisan 2015; <http://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/ga-basic-description.php>
- Olugu, E.U., Wong, K.Y., Shaharoun, A.M., 2011, Development of key performance measures for the automobile green supply chain, *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 567 - 579.
- Orr, W.W., 2000, USCAR US field trial for automotive polymers recycling: Interim findings, *SAE* 2000-01-0735.
- Önder, E., 2011, Araç rotalama problemlerinin parçacık sürü ve genetik algoritma ile optimizasyonu, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Özceylan, E., Paksoy, T., 2013, A mixed integer programming model for a closed-loop supply chain network, *International Journal of Production Research*, 51(3), 718–734.
- Özkır, V., Başlıgil, H., 2013, Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain Environment, *Journal of Cleaner Production*, 41, 114-125.
- Öztürk, M., 2008, Çok aşamalı tedarik zinciri optimizasyonu probleminin yayılan ağaç tabanlı genetik algoritma ile çözümü, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 52-70.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Paksoy, T., Bektaş, T., Özceylan, E., 2011, Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain, *Transportation Research Part E*, 47(4), 532–546.
- Paksoy T., Pehlivan N. Y., Özceylan E., 2013, *Bulanık Küme Teorisi: Bulanık Matematiksel Programlamaya Giriş*, Nobel Yayınları, ISBN: 978-605-133-514-8.
- Peidro, D., Mula, J., Poler, R. Lario, F.-C., 2009a, Quantitative models for supply chain planning under uncertainty: a review, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(3-4), 400-420.
- Peidro, D., Mula, J., Poler, R. Verdegay, J.-L., 2009b, Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties, *Fuzzy Sets and Systems*, 160(18), 2640-2657.
- Peidro, D., Mula, J., Jimenez, M. Botella, M., 2010, A fuzzy linear programming based approach for tactical supply chain planning in an uncertainty environment, *European Journal of Operational Research*, 205(1), 65-80.
- Petrovic, D., Roy, R., Petrovic, R., 1999, Supply chain modeling using fuzzy sets, *International Journal of Production Economics*, 59(1-3), 443-453.
- Petrovic, D., 2001, Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment, *International Journal of Production Economics*, 71(1-3), 429-438.
- Pishvae, M.S., Torabi, S.A., 2010, A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty, *Fuzzy Sets and Systems*, 161(20), 2668–2683.
- Pishvae, M.R., Farahani, R.Z., Dullaert, W., 2010, A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design, *Computational Operations Research*, 37(6), 1100–1112.
- Porter, M.E., van der Linde, C., 1995a, Green and Competitive: Ending the Stalemate, *Harvard Business Review*, 73(5), 120-134.
- Porter, M.E., van der Linde, C., 1995b, Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship, *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118.
- Preuss, L., 2005, Rhetoric and Reality of Corporate Greening: A View from the Supply Chain Management Function, *Business Strategy and the Environment*, 14(2), 123-139.
- Ramezani, M., Bashiri, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., 2013, A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level, *Applied Mathematical Modelling*, 37(1–2), 328-344.
- Ramezani, M., Kimiagari, A.M., Karimi, B., Hejazi, T.H., 2014, Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment, *Knowledge-Based Systems*, 59, 108–120.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rao, P., ve Holt, D., 2005, Do green supply chains lead to competitiveness ad economic performance?, *International Journal of Operations & Production Management*, 25(9), 898-916.
- Roghianian, E., Pazhoheshfar, P., 2014, An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment by using genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 33, 348-356.
- Roy, A., Maity, K., Kar, S., Maiti, M., 2009, A production-inventory model with remanufacturing for defective and usable items in fuzzy environment, *Computers and Industrial Engineering*, 56(1), 87-96.
- Routroy, S., 2009, Antecedents and Drivers for Green Supply Chain Management Implementation in Manufacturing Environment, *The Icfai University Journal of Supply Chain Management*, 5(1), 21-35.
- Sakawa, M., Nishizaki, I., Uemura, Y., 1998, Interactive fuzzy programming for multilevel linear programming problems, *Computers & Mathematics with Applications*, 36, 71-86.
- Sakawa, M., Nishizaki, I., Hitaka, M., 1999, Interactive fuzzy programming for multi-level 0-1 programming problems through genetic algorithms, *European Journal of Operational Research*, 114, 580-588.
- Sakawa, M., Nishizaki, I., Oka, Y., 2000, Interactive fuzzy programming for multiobjective two-level linear programming problems with partial information of preference, *International Journal of Fuzzy Systems*, 2, 79-86.
- Sakawa, M., Nishizaki, I., 2001, Interactive fuzzy programming for two-level linear fractional programming problems, *Fuzzy Sets and Systems*, 119, 31-40.
- Sakawa, M., Nishizaki, I., Hitaka, M., 2001a, Interactive fuzzy programming for multi-level 0-1 programming problems with fuzzy parameters through genetic algorithms, *Fuzzy Sets and Systems*, 117, 95-112.
- Sakawa, M., Kato, K., Nishizaki, I., 2001b, Interactive fuzzy decentralized twolevel linear programming through Dantzig-Wolfe decomposition, *Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems & Allied Technologies*, Osaka-Nara, 1365-1369.
- Sakawa, M., Nishizaki, I., Uemura, Y., 2002, A decentralized two-level transportation problem in a housing material manufacturer: Interactive fuzzy programming approach, *European Journal of Operational Research*, 141(1), 167-185.
- Sakawa, M., Nishizaki, I., 2002a, Interactive fuzzy programming for twolevel nonconvex programming problems with fuzzy parameters through genetic algorithms, *Fuzzy Sets and Systems*, 127, 185-197.
- Sakawa, M., Nishizaki, I., 2002b, Interactive fuzzy programming for decentralized two-level linear programming problems, *Fuzzy Sets and Systems*, 125, 301-315.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sakawa, M., Kato, K., Katagiri, H., Wang, J., 2003, Interactive fuzzy programming for two-level linear programming problems involving random variable coefficients through a probability maximization model, *Proceedings of the 10th IFSA World Congress, Istanbul*, 555–558.
- Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P., Novais, A. Q., 2007, An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1063-1077.
- Sarkis, J., Rasheed, A., 1995, Greening the Manufacturing Function, *Business Horizons*, 38(5), 17-27.
- Sarkis, J., 1999, How Green is the Supply Chain?: Practice and Research, Working Paper Graduate School of Management, Clark University, http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=956620, (Son Erişim Tarihi: 03.02.2014).
- Sarkis, J., 2002, Principles of Green Supply Chain Management, *Proceedings of the ISWA 2002 World Congress on Appropriate Environmental and Solid Waste Management Technologies for Developing Countries, İstanbul*.
- Sarkis, J., 2003, A strategic decision framework for green supply chain management, *Journal of Cleaner Production*, 11(4), 397-409.
- Saruhan H., 2004, Genetic algorithms an optimization technique, *Technology*, 7(1): 105-114.
- Sasikumar, P., Kannan, G., Noorul, Haq A., 2010, A multi-echelon reverse logistics network design for product recovery a case of truck tire remanufacturing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49, 1223-1234.
- Sasikumar, P., Haq A.N., 2010, Analysing Interactions among Battery Recycling Barriers in the Reverse Supply Chain, *Enterprise Networks and Logistics for Agile Manufacturing*, 249-269.
- Schultmann, F., Zumkeller, M., 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.
- Selim, H., Özkarahan, İ., 2008, A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(3-4), 401-418.
- Seuring, S., 2013, A review of modeling approaches for sustainable supply chain management, *Decision Support Systems*, 54(4), 1513–1520.
- Sharfman M, Shaft T, Anex R, 2009, The road to cooperative supply-chain environmental management: trust and uncertainty among proactive firms, *Business Strategy and the Environment*, 18(1), 1–13.
- Sheu, J.B., Chou, Y.H., Hu, C.C., 2005, An integrated logistics operational model for green supply chain management, *Transportation Research Part E*, 41(4), 287–313.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shi, L., Fan, H., Gao, P., Zhang, H., 2009, Network model and optimization of medical waste reverse logistics by improved genetic algorithm, Proceedings of the 4th International Symposium on Advances in Computation and Intelligence, 40-52.
- Shih, H.S., Lai, Y.J., Lee, E.S., 1996, Fuzzy approach for multi-level programming problems, Computers and Operations Research, 23, 73–91.
- Shukla A.C., Deshmukh S.G., Kanda A., 2009, Environmentally responsive supply chains Learnings from the Indian auto sector, Journal of Advances in Management Research, 6(2), 154-171.
- Sim, E., Jung, S., Kim, H., Park, J., 2004, Generic network design for a closed-loop supply chain using genetic algorithm, K. Deb et al. (Eds.): GECCO 2004, LNCS 3103, Springer, Berlin 1214–1225.
- Simpson, D., Power, D., Samson, D., 2007, Greening the automotive supply chain: a relationship perspective, International Journal of Operations and Production Management, 27(1), 28 - 48.
- Siriwardene, N.R., Perera, B.J.C., 2006, Selection of genetic algorithm operators for urban drainage model parameter optimization, Mathematical and Computer Modelling, 44, 415-429.
- Srivastava, S.K., 2007, Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review, International Journal of Management Reviews, 9(1), 53-80.
- Sivanandam, S.N., Deepa, S.N., 2008, Introduction to Genetic Algorithm, Berlin: Springer-Verlag.
- Soleimani, H., Esfahani, M.S., Shirazi, M.A., 2013, Designing and planning a multi – echelon multi – period multi -product closed- loop supply chain utilizing genetic algorithm, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer-Verlag.
- Steven M, 2004, Network in reverse logistics, Supply chain management and reverse logistics, Springer, Berlin.
- Straudinger, J., Keoleian, G.A., 2001, Management of end-of-life vehicles (ELVs) in the US, Center for Sustainable Systems, University of Michigan Report No. CSS01-01.
- Su, T.S., Lin, Y.F., 2014, Fuzzy multi-objective procurement/production planning decision problems for recoverable manufacturing systems, Journal of Manufacturing Systems, xxx–xxx.
- Subulan K., Taşan A.S., Baykasoğlu, A., 2012, Fuzzy mixed integer programming model for medium-term planning in a closed-loop supply chain with remanufacturing option, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 23(6), 345-368.
- Subulan K., Taşan A.S., Baykasoğlu, A., 2014a, A fuzzy goal programming model to strategic planning problem of a lead/acid battery closed-loop supply chain, Journal of Manufacturing Systems, xxx–xxx.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Subulan K., Taşan A.S., Baykasoğlu, A., 2014b, Designing Environmentally Conscious Tire Closed-Loop Supply Chain Network with Multiple Recovery Options via Interactive Fuzzy Goal Programming, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2014.11.004>
- Sverige, B.I., 1997, The Association of Swedish Car Manufacturers and Wholesalers, Annual Report, Sweden, Stockholm.
- Szeto, W.Y., WU, Y., HO, S.C., 2011, An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, 215, 126-135.
- Şeker, Ş., 2007, Araç rotalama problemleri ve zaman pencereli stokastik araç rotalama problemine genetik algoritma yaklaşımı, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 81-87.
- Tang, Q., Xie, F., 2007, A genetic algorithm for reverse logistics network design, *Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007)*, ISBN: 0-7695-2875-9.
- Taş, F., 2009, Akü Geri Dönüşüm Sistemi İçin Tersine Lojistik Ağ Tasarımı ve Karma Tamsayılı Programlama Modeli, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Theyel G, (2000) "Management practices for environmental innovation and performance", *International Journal of Operations & Production Management*, 20(2), 249 – 266.
- Toni, A. De, Tonchia, S., 2001, Performance measurement systems - Models, characteristics and measures, *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1/2), 46 – 71.
- Torabi, S.A., Hassini, E., 2008, An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning, *Fuzzy Sets and Systems*, 159(2), 193-214.
- Torabi, S.A., Hassini, E., 2009, Multi-site production planning integrating procurement and distribution plans in multi-echelon supply chains: an interactive fuzzy goal programming approach, *International Journal of Production Research*, 47(19), 5475-5499.
- Qin, Z., Ji, X., 2010, Logistics network design for product recovery in fuzzy environment, *European Journal of Operational Research*, 202(2), 479-490.
- Qu, X., Williams, J.A.S., 2008, An analytical model for reverse automotive production planning and pricing, *European Journal of Operational Research*, 190, 756–767.
- Walker, H., Sisto, L.D., McBain, D., 2008, Drivers and barriers to environmental supply chain management practices: Lessons from the public and private sectors, *Journal of Purchase Supply Management*, 14, 69-85.
- Walton, S. V., Galea C, 2006, E-commerce solutions to Environmental Purchasing, *Greening the Supply Chain*, 379-391.
- Wang, H.-F., Hsu, H.-W, 2010a, A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm, *Computers and Operations Research*, 37(2), 376–389.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wang, H.-F., Hsu, H.-W., 2010b, Resolution of an uncertain closed-loop logistics model: an application to fuzzy linear programs with risk analysis, *Journal of Environmental Management*, 91(11), 2148-2162.
- Wang, C.-H. ve Lu, J.-Z., 2009, A hybrid genetic algorithm that optimizes capacitated vehicle routing problems, *Expert Systems with Application*, 36, 2921–2936.
- Wei, J. and Zhao, J., 2011, Pricing decisions with retail competition in a fuzzy closedloop supply chain, *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11209-11216.
- Wei, J. and Zhao, J., 2013, Reverse channel decisions for a fuzzy closed-loop supply chain, *Applied Mathematical Modelling*, 37(3), 1502-1513.
- Werners, B., 1988, Aggregation models in mathematical programming, In: Mitra, G., Greenberg, H.J., Lootsma, F.A., Rijckaert, M.J., Zimmermann, H.J. (Eds.), *Mathematical models for decision support*, Springer, Berlin. 197.
- Williams J.A.S., Wongweragiat S., Qu X., Mcglinch J.B., Bonawi-tan W., Choi J.K., Schiff J., 2007, An automobile bulk recycling planning model, *European Journal of Operational Resarch*, 177, 969-981.
- Vachon, S., ve Klassen, R.D., 2006, Extending Green Practices Across the Supply Chain The Impact of Upstream and Downstream Integration , *International Journal of Operations & Production Management*, 26(7), 795-821.
- Vahdani, B., Moghaddam, R.T., Modarres, M., Baboli, A., 2012, Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: A robust-M/M/c queuing model, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(6), 1152-1168.
- Vahdani, B., Moghaddam, R.T., Jolai, F., Baboli, A., 2013, Reliable design of a closed loop supply chain network under uncertainty: An interval fuzzy possibilistic chance-constrained model, *Engineering Optimization*, 45(6), 745-765.
- Van Hoek, R.I., 1999, From reversed logistics to green supply chains, *Supply Chain Management*, 4(3), 129-135.
- Velioğlu N., Erol İ., Şerifoğlu F.S., Büyüközkan G., Aras N., Çakar N.D., Korugan A., 2010, Exploring reverse supply chain management practices in Turkey, *Supply Chain Management: An International Journal*, 15/1, 43–54.
- Vidovic M., Dimitrijevic B., Ratkovic B., Simic V., 2011, A novel covering approach to positioning ELV collection points, *Resources, Conservation and Recycling*, 57, 1–9.
- Yeh, W.C., 2006, A efficient memetic algorithm for multi-stage supply chain network problem, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(7-8): 803–813.
- Young, A., Kielkiewicz-Young, A., 2001, Sustainable supply network management, *Corporation Environmental Strategies*, 8(3), 260–268.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy sets, *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zarei, M., Mansour, S., Kahsan, A.H., Karimi, B., 2010, Designing a reverse logistics network for end-of-life vehicles recovery, *Mathematical Problems in Engineering*, doi:10.1155/2010/649028.
- Zeballos, L.J., Méndez, C.A., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q., 2014, Multi-period design and planning of closed-loop supply chains with uncertain supply and demand, *Computers and Chemical Engineering*, 66, 151–164.
- Zeyveli, M., 2005, Genetik algoritma ile hiz kutusu dişli tasarimi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Zhu, Q., ve Sarkis, J., 2004, Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises, *Journal of Operations Management*, 22(3), 265-289.
- Zhu, Q., Sarkis, J., ve Geng, Y., 2005, Green supply chain management in China: pressures, practices and performance, *International Journal of Operations & Production Management*, 25(5), 449-468.
- Zhu, Q., ve Sarkis, J., 2006, An inter-sectoral comparison of green supply chain management in China: Drivers and Practices, *Journal of Cleaner Production*, 14(5), 472-486.
- Zhu, Q., Sarkis, J., ve Lai K.-h., 2007a, Green supply chain management: pressures, practices, and performance within the Chinese automobile industry, *Journal of Cleaner Production*, 15, 1041-1052.
- Zhu, Q., Sarkis, J., ve Lai K.-h., 2007b, Initiatives and outcomes of green supply chain management implementation by Chinese manufacturers, *Journal of Environmental Management*, 85(1), 179-189.
- Zhu, Q., Sarkis, J., ve Lai K.-h., 2008, Green supply chain management implications for ‘closing the loop’, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(1), 1 -18.
- Zhou, G., Cao, Z., Cao, J., Meng, Z., 2005, A genetic algorithm approach on reverse logistics optimization for product return distribution network, *Lecture Notes in Computer Sciences*,
- Zimmermann, H.J., 1978, Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 45-55.

EKLER

EK AÇIKLAMALAR – A

Çizelge A.1. Müşteriler ile Tedarikçiler, Dağıtım Merkezleri, Toplama Merkezleri ve Ayırıştırma Merkezleri Arasındaki Mesafeler (Km)

	Müşteri 1	Müşteri 2	Müşteri 3	Müşteri 4	Müşteri 5	Müşteri 6
Tedarikçi 1	333	480	231	420	449	513
Tedarikçi 2	334	152	163	474	574	578
Tedarikçi 3	156	290	509	454	407	192
Tedarikçi 4	182	209	336	191	598	246
Dağıtım Merkezi 1	128	103	150	130	50	117
Dağıtım Merkezi 2	59	69	139	121	63	92
Dağıtım Merkezi 3	70	62	66	147	72	133
Toplama Merkezi 1	109	81	27	71	138	101
Toplama Merkezi 2	72	113	35	99	38	159
Ayırıştırma Merkezi 1	130	147	112	142	82	127
Ayırıştırma Merkezi 2	57	99	76	116	115	80
Ayırıştırma Merkezi 3	80	79	77	131	110	101

Çizelge A.2. Fabrikalar ile Tedarikçiler, Dağıtım Merkezleri ve Yenileme Merkezleri Arasındaki Mesafeler (Km)

	Fabrika 1	Fabrika 2	Fabrika 3
Tedarikçi 1	157	172	240
Tedarikçi 2	185	178	125
Tedarikçi 3	232	275	198
Tedarikçi 4	102	166	246
Dağıtım Merkezi 1	258	141	111
Dağıtım Merkezi 2	325	114	313
Dağıtım Merkezi 3	142	368	227
Yenileme Merkezi 1	82	123	31
Yenileme Merkezi 2	192	56	98
Yenileme Merkezi 3	179	245	106

Çizelge A.3. Ayrıştırma Merkezleri ile Bağlı Merkezler Arasındaki Mesafeler (Km)

	Ayrıştırma Merkezi 1	Ayrıştırma Merkezi 2	Ayrıştırma Merkezi 3
Toplama Merkezi 1	103	275	147
Toplama Merkezi 2	169	216	295
Yenileme Merkezi 1	143	129	203
Yenileme Merkezi 2	242	105	151
Yenileme Merkezi 3	231	193	173
Hammadde Tedarikçisi 1	56	280	283
Hammadde Tedarikçisi 2	334	260	346
Hammadde Tedarikçisi 3	330	248	80
Hammadde Tedarikçisi 4	269	125	120
Hammadde Tedarikçisi 5	170	111	166
Atık	122	100	168

Çizelge A.4. Hammadde Tedarikçileri ile Tedarikçiler Arasındaki Mesafeler (Km)

	Tedarikçi 1	Tedarikçi 2	Tedarikçi 3	Tedarikçi 4
Hammadde Tedarikçisi 1	228	195	106	108
Hammadde Tedarikçisi 2	256	181	119	130
Hammadde Tedarikçisi 3	274	169	140	206
Hammadde Tedarikçisi 4	217	201	100	261
Hammadde Tedarikçisi 5	269	221	105	273

Çizelge A.5. Tedarikçiler ve Yenileme Merkezlerine Ait Kapasiteler (Ton)

		Periyot 1	Periyot 2	Periyot 3	Periyot 4	Periyot 5
Tedarikçi 1	Parça 1	7960	4750	7710	5150	4230
	Parça 2	7000	6740	6040	5430	8700
	Parça 3	5750	5140	4930	5720	8100
	Parça 4	6080	4490	5870	5500	6240
	Parça 5	5310	8440	7370	8870	7900
Tedarikçi 2	Parça 1	8450	6630	7860	6420	7590
	Parça 2	8920	5880	6700	8940	8420
	Parça 3	7350	5240	5700	5690	4300
	Parça 4	5230	6470	5890	7390	6720
	Parça 5	4640	5610	4040	7140	6010
Tedarikçi 3	Parça 1	4810	6940	7040	8730	8450
	Parça 2	8910	5630	7390	4290	4000
	Parça 3	7300	5540	4470	4450	6100
	Parça 4	5570	7620	5950	7510	5020
	Parça 5	5310	7350	6610	6660	6520
Tedarikçi 4	Parça 1	6990	7400	5730	8460	6370
	Parça 2	8950	4390	8360	4850	6420
	Parça 3	5160	6740	5590	8720	4030
	Parça 4	8220	8500	5540	4850	4650
	Parça 5	5840	7740	7480	4160	5190
Yenileme Merkezi 1	Parça 1	4770	6500	6450	5570	5550
	Parça 2	4140	6360	5350	4910	3250
	Parça 3	3780	5370	6590	4220	4250
	Parça 4	3870	6320	3290	4430	4190
	Parça 5	5680	3380	3660	6880	4100
Yenileme Merkezi 2	Parça 1	4110	5110	4490	5670	3810
	Parça 2	4810	6470	5920	4610	6150
	Parça 3	6430	5280	4760	3400	5220
	Parça 4	5570	6350	5270	3730	4940
	Parça 5	3690	6470	4740	6460	6350
Yenileme Merkezi 3	Parça 1	4650	5740	6050	5360	5070
	Parça 2	4950	4060	4510	6620	6620
	Parça 3	4230	3950	4190	5410	6560
	Parça 4	5770	3740	6150	6680	5550
	Parça 5	3650	3720	3650	6460	6740

Çizelge A.6. Diğer Merkezlere Ait Kapasiteler (Ton)

		Periyot 1	Periyot 2	Periyot 3	Periyot 4	Periyot 5
Hammadde Tedarikçisi 1	Parça 1	6130	4100	4650	8210	6250
	Parça 2	6140	4290	6460	5830	7100
Hammadde Tedarikçisi 2	Parça 1	4600	4630	4460	5060	4710
	Parça 2	4180	4330	7440	7380	4150
Hammadde Tedarikçisi 3	Parça 1	8910	7020	4340	8060	6230
	Parça 2	5540	7220	5170	5150	6290
Hammadde Tedarikçisi 4	Parça 1	7010	7250	8570	7910	7780
	Parça 2	6180	6100	8410	8370	6760
Hammadde Tedarikçisi 5	Parça 1	7100	8540	6220	8860	6600
	Parça 2	7030	6960	4190	4460	8200
Fabrika 1		4020	4460	5830	3040	3350
Fabrika 2		3410	3970	5600	3990	5730
Fabrika 3		5640	3410	5600	4230	3710
Dağıtım Merkezi 1		3940	5560	4410	4290	4430
Dağıtım Merkezi 2		3690	5170	4410	5560	5570
Dağıtım Merkezi 3		5510	4490	5900	5810	5180
Ayrıştırma Merkezi 1		2915	2988	2729	1148	1494
Ayrıştırma Merkezi 2		1929	1787	1090	1329	2747
Ayrıştırma Merkezi 3		2230	2207	2059	2048	2196
Toplama Merkezi 1		2250	3160	3130	4100	2450
Toplama Merkezi 2		2030	2200	2890	2850	2970
Atık		349	399	155	204	378

Çizelge A.7. Müşterilere Ait Ürün Talepleri (Ton)

	Periyot 1	Periyot 2	Periyot 3	Periyot 4	Periyot 5
Müşteri 1	140	100	200	220	170
Müşteri 2	130	110	160	280	140
Müşteri 3	170	250	210	180	240
Müşteri 4	120	160	190	270	110
Müşteri 5	230	220	120	130	120
Müşteri 6	210	150	140	190	150

Çizelge A.8. Müşterilere Ait Parça Talepleri (Ton)

		Periyot 1	Periyot 2	Periyot 3	Periyot 4	Periyot 5
Müşteri 1	Parça 1	57	80	150	140	91
	Parça 2	75	82	107	125	83
	Parça 3	97	107	115	50	77
	Parça 4	144	149	131	121	73
	Parça 5	98	82	123	149	55
Müşteri 2	Parça 1	123	83	52	92	119
	Parça 2	119	140	53	86	99
	Parça 3	87	62	77	131	100
	Parça 4	115	62	101	101	124
	Parça 5	95	116	94	54	89
Müşteri 3	Parça 1	130	87	63	56	51
	Parça 2	98	58	145	59	96
	Parça 3	97	105	86	79	101
	Parça 4	115	91	99	148	122
	Parça 5	61	66	149	68	62
Müşteri 4	Parça 1	112	92	90	77	87
	Parça 2	73	134	150	148	147
	Parça 3	94	51	149	92	118
	Parça 4	82	116	136	137	104
	Parça 5	76	54	148	132	61
Müşteri 5	Parça 1	63	69	94	60	53
	Parça 2	70	140	56	121	106
	Parça 3	90	64	81	148	140
	Parça 4	147	84	124	94	143
	Parça 5	123	113	144	150	127
Müşteri 6	Parça 1	133	115	72	69	109
	Parça 2	135	95	115	80	144
	Parça 3	105	144	90	131	107
	Parça 4	91	108	137	56	53
	Parça 5	115	54	78	86	99

EK AÇIKLAMALAR - B

Tek Karar Tek Karar Vericili KTDP Modeline Ait Gams Kodları

SETS

R RAW MATERIAL SUPLIERS /1*5/

I SUPPLIERS /1*4/

J POTENTIAL PLANTS /1*3/

K POTENTIAL RETAILERS /1*3/

L CUSTOMERS /1*6/

M COLLECTION CENTERS /1*2/

H DISMANTLER CENTERS /1*3/

Q REFURBISHING CENTERS /1*3/

C PARTS /1*5/

P PERIODS /1*5/

W RAW MATERIALS /1*2/;

PARAMETER

MESAFE1(R,I)

/

1.1 228

2.1 256

3.1 274

4.1 217

5.1 269

1.2 195

2.2 181

3.2 169

4.2 201

5.2 221

1.3 106

2.3 119

3.3 140

4.3 100

5.3 105

1.4 108

2.4 130

3.4 206

4.4 261

5.4 273

/

.

.

.

.

.

.

.

.

KAPPA /0.25/

LAMBDA /0.30/

KSI /0.35/

MU /0.10/;

VARIABLES

OBJFUNC

OBJFUNC1

OBJFUNC2

OBJFUNC3

OBJFUNC4

A(R,I,W,P)

X(I,J,C,P)

Y(J,K,P)

Z(K,L,P)

WW(L,M,P)

LL(M,H,P)

B(L,C,P)

RR(H,L,C,P)

U(H,Q,C,P)

F(H,R,W,P)

II(Q,J,C,P)

S(I,L,C,P)

HH(J,P)

G(K,P)

MM(M,P)

N(H,P)

D(H,W,P);

BINARY VARIABLES HH(J,P), G(K,P),MM(M,P),N(H,P);

POSITIVE

VARIABLES

A(R,I,W,P),X(I,J,C,P),Y(J,K,P),Z(K,L,P),WW(L,M,P),LL(M,H,P),B(L,C,P),RR(H,L,C,P),U(H,Q,C,P),F(H,R,W,P),II(Q,J,C,P),S(I,L,C,P),D(H,W,P);

WW.fx(L,M,'1')=0;

B.fx(L,C,'1')=0;

EQUATIONS

OBJ

OBJ1

OBJ2

OBJ3

OBJ4

CONST1

CONST2

CONST3

CONST4

CONST5

CONST6

CONST7

CONST8

CONST9

CONST10

CONST11

CONST12

CONST13

CONST14

CONST15

CONST16

CONST17

CONST18

CONST19

CONST20

CONST21

CONST22

CONST23

CONST24

;

OBJ.. OBJFUNC=E=OBJFUNC1+OBJFUNC2+OBJFUNC3+OBJFUNC4;

OBJ1.....OBJFUNC1=E=SUM((R,I,W,P),T*MESAFE1(R,I)*A(R,I,W,P))+SUM((I,J,C,P),T*MESAFE2(I,J)*X(I,J,C,P))+SUM((J,K,P),T*MESAFE3(J,K)*Y(J,K,P))+SUM((K,L,P),T*MESAFE4(K,L)*Z(K,L,P))+SUM((L,M,P),T*MESAFE5(L,M)*WW(L,M,P))+SUM((M,H,P),T*MESAFE6(M,H)*LL(M,H,P))+SUM((H,L,C,P),T*MESAFE7(H,L)*RR(H,L,C,P))+SUM((H,Q,C,P),T*MESAFE8(H,Q)*U(H,Q,C,P))+SUM((H,R,W,P),T*MESAFE9(H,R)*F(H,R,W,P))+SUM((H,W,P),T*MESAFE10(H)*D(H,W,P))+SUM((Q,J,C,P),T*MESAFE11(Q,J)*II(Q,J,C,P))+SUM((I,L,C,P),T*MESAFE12(I,L)*S(I,L,C,P));

OBJ2.. OBJFUNC2=E=SUM((I,J,C,P),SAT(I,C)*X(I,J,C,P));

OBJ3.. OBJFUNC3=E=SUM((Q,J,C,P),YEN(Q,C)*II(Q,J,C,P));

OBJ4.....OBJFUNC4=E=SUM((J,P),FFIXED(J,P)*HH(J,P))+SUM((K,P),DFIXED(K,P)*G(K,P))+SUM((M,P),TFIXED(M,P)*MM(M,P))+SUM((H,P),AFIXED(H,P)*N(H,P));

CONST1(R,W,P).. SUM(I,A(R,I,W,P))=L=HKAP(R,W,P);

CONST2(I,C,P).. SUM(L,S(I,L,C,P))+SUM(J,X(I,J,C,P))=L=TKAP(I,C,P);

CONST3(J,P).. SUM(K,Y(J,K,P))=L=FKAP(J,P)*HH(J,P);

CONST4(K,P).. SUM(L,Z(K,L,P))=L=DKAP(K,P)*G(K,P);

CONST5(M,P).. SUM(H,LL(M,H,P))=L=TOPKAP(M,P)*MM(M,P);

CONST6(H,C,W,P)..D(H,W,P)+SUM(L,RR(H,L,C,P))+SUM(Q,U(H,Q,C,P))+SUM(R,F(H,R,W,P))=L=AYRKAP(H,P)*N(H,P);

CONST7(Q,C,P).. SUM(J,II(Q,J,C,P))=L=YENKAP(Q,C,P);

CONST8(L,P).. SUM(K,Z(K,L,P))=G=TALEP(L,P);

CONST9(L,C,P).. SUM(H,RR(H,L,C,P))+SUM(I,S(I,L,C,P))=G=YEDEKTALEP(L,C,P);

CONST10(P).. SUM(J,HH(J,P))=L=FAB(P);

CONST11(P).. SUM(K,G(K,P))=L=DAG(P);

CONST12(P).. SUM(M,MM(M,P))=L=TOP(P);

CONST13(P).. SUM(H,N(H,P))=L=AYR(P);

CONST14(I,P).. SUM((R,W),A(R,I,W,P))-SUM((J,C),X(I,J,C,P))-SUM((L,C),S(I,L,C,P))=E=0;

CONST15(J,C,P).. SUM((I),X(I,J,C,P))+SUM((Q),II(Q,J,C,P-1))-(AGIRLIK_ORANI(C))*SUM(K,Y(J,K,P))=E=0;

CONST16(K,P).. SUM(J,Y(J,K,P))-SUM(L,Z(K,L,P))=E=0;

CONST17(L,P)pb (ORD(P)<>CARD(P)).. SUM(K,Z(K,L,P))-SUM(M,WW(L,M,P+1))=E=0;

CONST18(L,C,P)pb (ORD(P)<>CARD(P)).. SUM(I,S(I,L,C,P))+SUM(H,RR(H,L,C,P))-B(L,C,P+1)=E=0;

CONST19(M,P).. SUM(L,WW(L,M,P))-SUM(H,LL(M,H,P))=E=0;

CONST20(H,P).. SUM(C, AGIRLIK_ORANI(C))*KSI*SUM(M,LL(M,H,P))-SUM((L,C),RR(H,L,C,P))=E=0;

CONST21(H,P).. SUM(C, AGIRLIK_ORANI(C))*KAPPA*SUM(M,LL(M,H,P))-
SUM((Q,C),U(H,Q,C,P))=E=0;

CONST22(H,P).. LAMBDA*SUM(M,LL(M,H,P))-SUM((R,W),F(H,R,W,P))=E=0;

CONST23(H,P).. MU*SUM(M,LL(M,H,P))-SUM(W,D(H,W,P))=E=0;

CONST24(Q,C,P).. SUM(H,U(H,Q,C,P))-SUM(J,II(Q,J,C,P))=E=0;

MODEL CLOSEDLOOPSCM /all/;

CLOSEDLOOPSCM.optcr=0;

CLOSEDLOOPSCM.reslim=3600;

CLOSEDLOOPSCM.iterlim=1e9;

CLOSEDLOOPSCM.limrow=1000;

CLOSEDLOOPSCM.limcol=1000;

SOLVE CLOSEDLOOPSCM USING MIP MINIMIZING OBJFUNC;

file outfile /_CLOSEDLOOPSCM.txt/;

put outfile;

put 'IsOptimum'; put CLOSEDLOOPSCM.modelstat; put /;

put 'Objective_Value'; put OBJFUNC.1; put /;

put 'Objective_Value1'; put OBJFUNC1.1; put /;

put 'Objective_Value2'; put OBJFUNC2.1; put /;

put 'Objective_Value3'; put OBJFUNC3.1; put /;

put 'Objective_Value4'; put OBJFUNC4.1; put /;

put 'Lower_Bound'; put CLOSEDLOOPSCM.ObjEst; put /;

put 'Number_of_Iteration'; put CLOSEDLOOPSCM.iterusd; put /;

put 'CPU_Second'; put CLOSEDLOOPSCM.resusd; put /;

put /; put 'Assignments_A(R,I,W,P)'; put /; Loop((P,R,I,W)pbA.l(R,I,W,P), put R.tl; PUT I.tl; PUT W.tl;
put P.tl; put A.l(R,I,W,P); put /;);

put /; put 'Assignments_X(I,J,C,P)'; put /; Loop((P,I,J,C)pbX.l(I,J,C,P), put I.tl; PUT J.tl; PUT C.tl; put
P.tl; put X.l(I,J,C,P); put /;);

```

put /; put 'Assignments_Y(J,K,P)'; put /;      Loop((P,J,K)pbY.l(J,K,P), put J.tl; PUT K.tl; put P.tl; put
Y.l(J,K,P); put /;);

put /; put 'Assignments_Z(K,L,P)'; put /;      Loop((P,K,L)pbZ.l(K,L,P), put K.tl; PUT L.tl; put P.tl; put
Z.l(K,L,P); put /;);

put /; put 'Assignments_WW(L,M,P)'; put /;      Loop((P,L,M)pbWW.l(L,M,P), put L.tl; PUT M.tl; put P.tl;
put WW.l(L,M,P); put /;);

put /; put 'Assignments_LL(M,H,P)'; put /;      Loop((P,M,H)pbLL.l(M,H,P), put M.tl; PUT H.tl; put P.tl; put
LL.l(M,H,P); put /;);

put /; put 'Assignments_S(I,L,C,P)'; put /;      Loop((P,I,L,C)pbS.l(I,L,C,P), put I.tl; PUT L.tl; PUT C.tl; put
P.tl; put S.l(I,L,C,P); put /;);

put /; put 'Assignments_RR(H,L,C,P)'; put /;      Loop((P,H,L,C)pbRR.l(H,L,C,P), put H.tl; PUT L.tl; PUT
C.tl; put P.tl; put RR.l(H,L,C,P); put /;);

put /; put 'Assignments_U(H,Q,C,P)'; put /;      Loop((P,H,Q,C)pbU.l(H,Q,C,P), put H.tl; PUT Q.tl; PUT C.tl;
put P.tl; put U.l(H,Q,C,P); put /;);

put /; put 'Assignments_F(H,R,W,P)'; put /;      Loop((P,H,R,W)pbF.l(H,R,W,P), put H.tl; PUT R.tl; PUT
W.tl; put P.tl; put F.l(H,R,W,P); put /;);

put /; put 'Assignments_II(Q,J,C,P)'; put /;      Loop((P,Q,J,C)pbII.l(Q,J,C,P), put Q.tl; PUT J.tl; PUT C.tl; put
P.tl; put II.l(Q,J,C,P); put /;);

put /; put 'Assignments_B(L,C,P)'; put /;      Loop((P,L,C)pbB.l(L,C,P), put L.tl; PUT C.tl; put P.tl; put
B.l(L,C,P); put /;);

put /; put 'Assignments_D(H,W,P)'; put /;      Loop((P,H,W)pbD.l(H,W,P), put H.tl; PUT W.tl; put P.tl; put
D.l(H,W,P); put /;);

put /; put 'Assignments_HH(J,P)'; put /;      Loop((P,J)pbHH.l(J,P), put J.tl; put P.tl; put HH.l(J,P); put /;);

put /; put 'Assignments_G(K,P)'; put /;      Loop((P,K)pbG.l(K,P), put K.tl; put P.tl; put G.l(K,P); put /;);

put /; put 'Assignments_MM(M,P)'; put /;      Loop((P,M)pbMM.l(M,P), put M.tl; put P.tl; put MM.l(M,P);
put /;);

put /; put 'Assignments_N(H,P)'; put /;      Loop((P,H)pbN.l(H,P), put H.tl; put P.tl; put N.l(H,P); put /;);

```

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah YILDIZBAŞI, 1984 yılında Van'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Van'da tamamladıktan sonra, 2002 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünü kazandı. 2006 yılında mezun olduktan sonra, 2008 yılında Milli Eğitim Bakanlığının vermiş olduğu bursla Amerika Birleşik Devletleri'ne giderek Syracuse Üniversitesinde yüksek lisansa başladı. 2010 yılında Mühendislik Yönetimi üzerine yaptığı yüksek lisansını tamamladı. Aynı yıl yurda döndükten sonra Milli Eğitim Bakanlığınca Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümüne Araştırma Görevlisi olarak ataması yapıldı. 2011 yılında Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı. 2013 yılında Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümüne Araştırma Görevlisi olarak geçiş yaptı. Halen aynı kurumda görevine devam etmektedir.