

**ÜRÜN GERİ KAZANIMI İÇİN ÇOK AMAÇLI LOJİSTİK ŞEBEKE
MODELİ VE BİR UYGULAMA**

Kerem CİDDİ

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2011

ANKARA

Kerem CİDDİ tarafından hazırlanan “ÜRÜN GERİ KAZANIMI İÇİN ÇOK AMAÇLI LOJİSTİK ŞEBEKE MODELİ VE BİR UYGULAMA” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Serpil EROL

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nihat YÜZÜGÜLLÜ

Endüstri Mühendisliği ABD, Osmangazi Ü.

Prof. Dr. Serpil EROL

Endüstri Mühendisliği ABD, G. Ü.

Prof. Dr. Ümit YÜCEER

Yöneylem Araştırması ABD, Toros Ü.

Prof. Dr. Ömer Faruk BAYKOÇ

Endüstri Mühendisliği ABD, G. Ü.

Doç. Dr. M. Ali AKÇAYOL

Bilgisayar Mühendisliği ABD, G. Ü.

Tarih : 26 / 09 / 2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Kerem CİDDİ

**ÜRÜN GERİ KAZANIMI İÇİN ÇOK AMAÇLI LOJİSTİK ŞEBEKE
MODELİ VE BİR UYGULAMA**

(Doktora Tezi)

Kerem CİDDİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2011

ÖZET

Özellikle son 10 yıl içinde, Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), Lojistik Yönetimi (LY) ve Ürün Geri Kazanımı (ÜGK) için Lojistik Şebeke Tasarımı (LŞT), artan bir ilgi kazanmıştır. ÜGK için LŞT, stratejik seviyede bir planlama konusu olup, sistemin performansı ve dolayısıyla işletmenin kârlılığı ve sürdürülebilirliği ile çok yakından ilgilidir.

Literatürde, ÜGK için, bulanık ortamda çok amaçlı ve gerçek uygulama temelli LŞT'da eksiklik görülmüştür. Bu eksikliği gidermek ve ÜGK için LŞT'da, değer katan, ekonomik bir faydaya dönüşecek ve insan hayatını kolaylaştıracak bir çalışma yapmak, bu tezin özgünlüğü, temel katkıları ve amaçlarıdır. Türkiye'de Atık Elektrikli ve Elektronik Ekipman (AEEE) LŞT için henüz olmayan bir sistem önerilmiş ve sistemin matematiksel formülasyonu, deterministik/bulanık, doğrusal, kapasiteli, çok ürünlü, çok amaçlı, karışık tamsayılı, yer seçimi-atama/LŞT modeli olarak kurulmuştur. Ankara'nın bütün ilçeleri hem müşteri bölgesi, hem de toplama ve işleme tesisleri için aday yerleşim yerleri olarak alınmıştır. Toplama ve işleme tesislerinin nereye, hangi kapasite seviyelerinde ve sayıda kurulacağını belirlemek için müşteri-toplama tesisleri, toplama tesisleri-işleme tesisleri, işleme tesisleri-imha/rafineri tesisleri arasındaki akış değerleri atamaları, karar değişkenleri olarak dikkate

alınmıştır. Stratejik planlama amacıyla geliştirilen Model, gerçek bir uygulama ile, GAMS 22.1 ticari yazılımı ve CPLEX 8.1 çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Modelin hassasiyetini test etmek ve çözüm sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, farklı parametre değerleriyle, deterministik ve bulanık ortamda çok amaçlı karar verme yaklaşımları kullanılarak 700'den fazla çözüm yapılmış, etkin ve esnek karar verme için stratejik öneriler sunulmuştur. Modeldeki değişkenlerin etkisi ve ilişkisini araştırmak için, SPSS 17.0 for Windows'da, bağımsız; tek yönlü ANOVA, iki yönlü MANOVA ve Regresyon Analizleri yapılmıştır. Son olarak, potansiyel / yeni araştırma fırsatları vurgulanmıştır.

Bilim Kodu : 906.1.141

Anahtar Kelimeler: Lojistik Şebeke Tasarımı, Ürün Geri Kazanımı, Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme, AEEE

Sayfa Adedi : 226

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Serpil EROL

**A MULTIPLE OBJECTIVE LOGISTICS NETWORK MODEL
FOR PRODUCT RECOVERY
AND AN IMPLEMENTATION
(Ph.D. Thesis)**

Kerem CİDDİ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2011**

ABSTRACT

Especially within the last decade, Supply Chain Management (SCM), Logistics Management (LM) and Logistics Network Design (LND) for Product Recovery (PR), have received an increasing attention. LND for PR, is a strategical level planning topic, and related closely with the performance of the system and profitability and sustainability of the business.

It has been found a gap in the literature regarding a real application based on LND for PR with multiple objective in uncertain environment. The originality and main contribution and objective of this thesis are the mentioned gap and to realize a value added study on LND for PR which will turn into economical utility and facilitate the human life. A system for LND for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), which does not exist yet in Turkey, has been suggested, and its mathematical formulation has been built as deterministic/fuzzy, linear, capacitated, multi-product, multi-objective, mixed integer, location-allocation/LND model. All the districts of Ankara province are taken as customer zones and candidate sites for locating of the collection and treatment facilities. Determining the optimum location, capacity levels and numbers of the facilities to be opened, and allocation of flow levels between/among the customers-collection facilities, collection-treatment and

treatment-refining/disposal facilities are considered as decision variables. The Model developed for strategical planning has been solved with a real application using GAMS 22.1 commercial software and CPLEX 8.1 solver. In order to test sensitivity and compare solution results of the Models, over 700 solutions with different parameter values have been done using multiple objective approaches in deterministic and fuzzy environment, and strategic suggestions for efficient and flexible decision making have been presented. For searching the impact and relationship of the variables in the model, independent; one way ANOVA, two way MANOVA and Regression Analysis were implemented using SPSS 17.0 for Windows. Finally, potential and/or new research opportunities are emphasized.

Science Code : 906.1.141

Key Words : Logistics Network Design, Product Recovery, Fuzzy Multiple Objective Decision Making, WEEE

Page Number: 226

Adviser : Prof. Dr. Serpil EROL

TEŞEKKÜR

Lisans öğrenimimizden beri, olgunluk, anlayış, hoşgörü, sevecenlik, alçakgönüllülük, iyimserlik ve motivasyon timsali davranışlarıyla, bizlere model insan ve örnek hoca olan, ileri öngörülerini ve engin tecrübeleri ile, kırmamaya büyük özen göstererek, yapıcı, olumlu eleştirileriyle stratejik olarak bizi yönlendiren, içimizdeki potansiyeli ortaya çıkartmak, harekete geçirmek ve nihayet onu kullanarak, kendimize, ailemize, milletimize, ülkemize ve insanlığa faydalı bir insan olmamız adına, mesai ve hafta sonu mefhumu tanımadan, bir madeni işler gibi, sürekli ve sabırla, sebep olduğumuz yorgunluk ve zahmetlere katlanan ve bir annenin çocuğuna verdiği karşılıksız emek gibi hayatının büyük bölümünü, naçizane bendeniz gibi, bilim insanı ve / veya lisans / lisansüstü mezunu yetiştirmek uğruna adayan, sevgili ve saygıdeğer Hocamız, Sayın Prof. Dr. Serpil EROL'a, yardımları, değerli katkıları ve daha sayamayacağım kadar şey için, kısacası her şey için, teşekkür, şükran, minnet, sevgi ve saygılarımı sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca, katkılarından dolayı, değerli Jüri Üyeleri, Sayın Prof. Dr. Nihat YÜZÜGÜLLÜ, Sayın Prof. Dr. Ümit YÜCEER, Sayın Prof. Dr. Ö. Faruk BAYKOÇ ve Sayın Doç. Dr. M. Ali AKÇAYOL'a ve yararlı yorumları için Yrd. Doç. Dr. Murat ARIKAN'a çok teşekkür ederim.

Fedakârlık simgesi canım anneme; eğitimimize çok önem veren babama; bize ödenemeyecek kadar çok emek veren, destekleyen ve seven, her zaman yanımda olan, ailenin manevi annesi canım ablama sonsuz teşekkür ve minnettarlığımı arz etmek isterim.

Son olarak; her zaman yanımda olan, beni destekleyen, motive eden, en umutsuz ve çaresiz zamanlarımda bile, tünelin sonundaki ışığı görüp bana ilk inanan ve güvenen, cesaret ve güç veren, sevgisini, saygısını ve manevi desteklerini hep hissettiren, canım eşim, aşkım Safiye ve canlarım; kızım Beste ve oğlum Baran'a, yeterince zaman ayıramama mazeretimi anladıkları ve yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim, iyi ki varsınız, sizi çok seviyorum!

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LOJİSTİK ŞEBEKE TASARIMI.....	4
2.1. Lojistiğe Giriş.....	4
2.2. Lojistiğin Kapsamı.....	4
2.3. Tersine Lojistik.....	6
2.4. Geri Kazanım ve Geri Kazanım Şebekelerine Genel Bir Bakış.....	11
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	17
3.1. Genel Geri Kazanım, Tedarik Zinciri Yönetimi, Genel Model ve/veya Literatür Araştırmasını Temel Alan Çalışmalar.....	20
3.2. Belirsiz ve/veya Çok Amaçlı Ortamda Tersine Lojistik Şebeke Tasarımını Temel Alan Çalışmalar.....	30
3.3. Gerçek / Hipotetik Temelli Tersine Tedarik Zinciri Örnek Olay Uygulamaları.....	36
4. DETERMİNİSTİK VE BULANIK ORTAMDA ÇOK AMAÇLI KARAR VERME.....	42
4.1. Tezde Kullanılan Yaklaşımlar.....	43
4.2. Bulanık Matematiksel Programlama ve Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme.....	47
4.2.1. Bulanık küme teorisi / olabilirlik teorisinin doğuşu.....	47

Sayfa

4.2.2. Bulanık matematiksel programlama ve sınıflandırılması.....	48
4.2.3. Stokastik olabilirlikli programlama.....	48
4.2.4. Olasılık teorisi ile bulanık küme teorisinin karşılaştırılması.....	49
4.2.5. Stokastik programlama ile olabilirlikli programlamanın karşılaştırılması	49
4.2.6. Tek amaç yerine çok kriterli karar verme	49
4.2.7. Bulanık çok amaçlı karar verme	50
4.2.8. Etkileşimli bulanık / olabilirlikli tek / çok amaçlı matematiksel programlama ve metotlarının sınıflandırılması.....	51
5. PROBLEMİN TANIMLANMASI VE MATEMATİKSEL MODELİNİN KURULMASI	55
5.1. Problemin Tanımlanması	55
5.2. Matematiksel Modelin Kurulması	65
6. ANKARA İLİ UYGULAMASI.....	74
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	83
7.1. Deterministik Ortamda Önceliği Koruma Yöntemi ile Amaçların Optimize Edilmesi için Çözümler	83
7.2. İstatistiksel Analizler	141
7.3. Deterministik Ortamda Önceliği Koruma Yöntemiyle Amaçların Optimize Edilmesi ve Amaçlara Ulaşmak için Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırılması	143
7.3.1. Deterministik ortamda önceliği koruma yöntemiyle amaçların optimize edilmesi için çözüm	145
7.3.2. Deterministik ortamda önceliği koruma yöntemiyle amaçlara ulaşmak için çözüm.....	147
7.4. Bulanık Ortamda Çok Amaçlı Karar Verme Yaklaşımları ile Çözümler.....	150

Sayfa

7.4.1. Zimmermann'ın bulanık doğrusal programlama yaklaşımı ile çözüm.....	150
7.4.2. Hannan'ın bulanık amaç programlama yaklaşımı ile çözüm	153
7.4.3. Yang ve arkadaşlarının bulanık amaç programlama yaklaşımı ile çözüm.....	155
7.4.4. Öncelikli bulanık amaç programlama temelinde Hannan yaklaşımı ile çözüm.....	157
7.4.5. Öncelikli bulanık amaç programlama temelinde Yang ve arkadaşlarının yaklaşımı ile çözüm	159
7.4.6. Hannan'ın bulanık amaç programlama ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı ile çözüm	161
7.4.7. Tiwari ve arkadaşlarının bulanık amaç programlama ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı ile çözüm	163
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	167
KAYNAKLAR.....	174
EKLER.....	185
EK-1 AEEE işleme akış şeması ve geri dönüşüm süreci	186
EK-2 Farklı elektronik hurdalar için literatürdeki metal içerik örnekleri ve hesaplanan (%) değer dağılımı	187
EK-3 Sosyo-kültürel-ekonomik yapı temelinde, ürünlerin sahiplik, geri dönüş oranları/geri dönen ürün sayısı ve ürün taşıma maliyetinin bulunması.	189
EK-4 Küçük model (KM) Gams kodu.....	191
EK-5 Farklı öncelik yapıları için çözümler.....	200
EK-6 İstatistiksel analiz testleri.....	221
ÖZGEÇMİŞ	226

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Literatür araştırmasının tezde ilgilenilen konu alanı başlıklarına göre sınıflandırılması.....	18
Çizelge 4.1. ÇAKV'nin bulanıklık / kesin olmayan durum kaynakları ve kullanılabilir yaklaşımlara göre sınıflandırılması.....	54
Çizelge 6.1. Ürünlerle (m) ilgili hurda fiyatları (P_m^{rc} ; TL/kg), işleme maliyeti (C_m^t ; TL/kg), imha maliyeti (C_m^d ; TL/kg), demontaj maliyeti (C_m^{dem} ; TL/kg), gelir (TL/kg), ağırlık (kg), hacim (m^3), maksimum işleme oranı (α_m ; %), minimum işleme oranı (β_m ; %) ve toplama oranı (e_m ; %).....	77
Çizelge 6.2. İşleme tesislerinin kapasite seviyeleri (n) ve değerleri (q_n , kg) ile n kapasitesinde j işleme tesisi açma maliyetleri (f_{nj}^t , TL).....	77
Çizelge 6.3. Toplama tesislerinin hacim seviyeleri (l) ve değerleri (h_l , m ³) ile l hacim seviyesinde i toplama tesisi açma maliyetleri (f_{li}^c , TL).....	77
Çizelge 6.4. Müşterilerden (k) geri dönen ürünlerin (m) sayısı (R_{mk}) (adet/yıl)	78
Çizelge 6.5. Ürünlerin bir biriminin tesisler arası taşıma maliyetleri (TL/br ürün*km).....	80
Çizelge 6.6. Uzaklıklar matrisi (km).....	81
Çizelge 7.1. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) bireysel ideal çözüm sonuçları özeti ve model büyüklüğü ile ilgili veriler.....	84
Çizelge 7.2. m ürününden k müşterisinden i toplama tesisine taşınan ürün miktarı (kg).....	87
Çizelge 7.3. m ürününden k müşterisinden i toplama tesisine taşınan ürün miktarı (kg) ve m ürününden i toplama tesisinden j işleme tesisine taşınan ürün miktarı (kg)	88

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.4. m atık ürününden j işleme tesisinde işlenen ve rafinerilere ikincil hammadde olarak satılan ürün miktarı (kg) ve m atık ürününden j işleme tesisinden imha tesisine gönderilen ürün miktarı (kg)	89
Çizelge 7.5. l (L) hacim seviyesinde (m ³ olarak) açılan i toplama ve n (N) kapasite seviyesinde (kg olarak) açılan j toplama tesisleri	89
Çizelge 7.6. Önceliği koruma yöntemiyle amaçları optimum kılmak için farklı öncelik yapıları ile (1,...,36) gerçekleştirilen çözümler	93
Çizelge 7.7. Önceliği koruma yöntemiyle amaçları optimum kılmak için farklı öncelik yapıları ile (37,...,72) gerçekleştirilen çözümler	94
Çizelge 7.8. Önceliği koruma yöntemiyle amaçları optimum kılmak için farklı öncelik yapıları ile (73,...,108) gerçekleştirilen çözümler	95
Çizelge 7.9. Önceliği koruma yöntemiyle amaçları optimum kılmak için farklı öncelik yapıları ile (109,...,120) gerçekleştirilen çözümler	96
Çizelge 7.10. Bazı parametrelerin büyüklük seviyeleri ve rassal olarak üretilmesi ile ilgili özet veriler.....	98
Çizelge 7.11. Hurdanın satın alınmaması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları.....	99
Çizelge 7.12. Hurdanın kg fiyatının çok küçük (1 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları.....	99
Çizelge 7.13. Hurdanın kg fiyatının küçük (2 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları.....	100
Çizelge 7.14. Hurdanın kg fiyatının orta (3 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları	100
Çizelge 7.15. Hurdanın kg fiyatının büyük (4 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları.....	100

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.16. Hurdanın kg fiyatının çok büyük (5 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları.....	101
Çizelge 7.17. Geri dönen ürün sayısının çok düşük (1 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları	101
Çizelge 7.18. Geri dönen ürün sayısının düşük (2 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları.....	102
Çizelge 7.19. Geri dönen ürün sayısının normal (3 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları	102
Çizelge 7.20. Geri dönen ürün sayısının yüksek (4 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları.....	102
Çizelge 7.21. Geri dönen ürün sayısının çok yüksek (5 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları.....	103
Çizelge 7.22. Farklı problem boyutlarındaki modeller için alınan setler	104
Çizelge 7.23. MMM problem boyutundaki modelin çözüm sonuçları.....	104
Çizelge 7.24. MM problem boyutundaki modelin çözüm sonuçları.....	104
Çizelge 7.25. En küçük problem boyutundaki modelin (EKM) çözüm sonuçları.....	105
Çizelge 7.26. Küçük problem boyutundaki modelin (KM) çözüm sonuçları.....	105
Çizelge 7.27. Orta problem boyutundaki modelin (OM) çözüm sonuçları.....	106
Çizelge 7.28. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) çözüm sonuçları	106
Çizelge 7.29. Y_{nj}^t için en yüksek(1), Y_{ij}^c için yüksek (2) DÖ olması (Prior1) durumunda çözüm	108
Çizelge 7.30. Y_{nj}^t için en yüksek(1), Y_{ij}^c için orta (5) DÖ olması (Prior2) durumunda çözüm	108
Çizelge 7.31. Y_{nj}^t için en yüksek(1), Y_{ij}^c için düşük (100) DÖ olması (Prior3) durumunda çözüm	109

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.32. Y_{nj}^t için en yüksek(1), Y_{ii}^c için çok düşük (1000) DÖ olması (Prior4) durumunda çözüm	109
Çizelge 7.33. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) Optcr=0 (GF yok) ve DÖ'nin olmaması durumunda çözüm sonuçları	110
Çizelge 7.34. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) Optcr=0 ve DÖ'nin olması durumunda çözüm sonuçları	111
Çizelge 7.35. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) Optcr=0,3 ve DÖ'nin olmaması durumunda çözüm sonuçları	111
Çizelge 7.36. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) Optcr=0,3 ve DÖ'nin olması durumunda çözüm sonuçları.....	111
Çizelge 7.37. Farklı hurda kg fiyatlı ve geri dönüş sayılı durumların modelin bazı karar değişkenlerine etkisi.....	114
Çizelge 7.38. TOM modeli için bireysel ideal (optimum) çözümlerin ödemeler tablosu.....	144
Çizelge 7.39. TOM normal modeli için bireysel ideal (optimum) çözümlerin genel gösterim ile birlikte ödemeler tablosu.....	144
Çizelge 7.40. Önceliği koruma yöntemiyle amaçların optimize edilmesi için MMM modeliyle ilk 3 amaç için bulunan ideal çözümlerin ödemeler tablosu.....	146
Çizelge 7.41. Önceliği koruma yöntemiyle amaçlara ulaşmak için çözüm.....	149
Çizelge 7.42. Zimmermann'ın bulanık doğrusal programlama yaklaşımı ile çözüm.....	153
Çizelge 7.43. Hannan'ın bulanık amaç programlama yaklaşımı ile çözüm.....	155
Çizelge 7.44. Yang ve arkadaşlarının bulanık amaç programlama yaklaşımı ile çözüm.....	157
Çizelge 7.45. Öncelikli bulanık amaç programlama temelinde Hannan yaklaşımı ile çözüm.....	159
Çizelge 7.46. Öncelikli bulanık amaç programlama temelinde Yang ve arkadaşlarının yaklaşımı ile çözüm.....	161

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.47. Hannan'ın bulanık amaç programlama ağırlıklı toplamsal model Yaklaşımı ile çözüm.....	162
Çizelge 7.48. Tiwari ve arkadaşlarının bulanık amaç programlama ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı ile çözüm.....	165

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Üretim sürecinde lojistik aktiviteler	5
Şekil 2.2 Tersine dağıtım çerçevesi	7
Şekil 2.3. Ürün geri kazanım şebeke topolojisi	8
Şekil 2.4. Geri kazanım zinciri	8
Şekil 2.5. Geri kazanılabilir imalat sistemi (tedarik zincirinde tersine akışlar).....	10
Şekil 2.6. Ürün geri alım seçenekleri / tersine tedarik zincirindeki aktiviteler / tedarik zincirinde tersine akışlar	11
Şekil 2.7. Geri kazanım şebeke yapısı	14
Şekil 5.1 AEEE işlemede aktörler ve aktiviteler.....	58
Şekil 5.2 Türkiye’de AEEE geri kazanımı için bir sistem önerisi	59
Şekil 7.1. Tom modeli çözüm şebekesi	86
Şekil 7.2. Amaç1’in farklı öncelik sıralarına göre kötüleşme (artma) eğilimi	116
Şekil 7.3. Amaç2'nin farklı öncelik sıralarına göre kötüleşme (azalma) eğilimi	117
Şekil 7.4. Amaç3'ün farklı öncelik sıralarına göre kötüleşme (artma) eğilimi	118
Şekil 7.5. Amaç4'ün farklı öncelik sıralarına göre kötüleşme (artma) eğilimi	119
Şekil 7.6. Amaç5'nin farklı öncelik sıralarına göre kötüleşme (azalma) eğilimi	120
Şekil 7.7. Bütün amaçların farklı öncelik sıralarına göre değişimi	121
Şekil 7.8. Farklı öncelik sıralarına göre CPU değişimi	122
Şekil 7.9. Farklı öncelik sıralarına göre İS'nın değişimi	123
Şekil 7.10. Farklı öncelik sıralarına göre CPU'nun artış eğilimi	124
Şekil 7.11. Farklı öncelik sıralarına göre İS'nın artış eğilimi	125

Şekil	Sayfa
Şekil 7.12. Amaç fonksiyonları değerlerinin hurda kg fiyatının büyüklüğüne göre değişimi	126
Şekil 7.13. Amaç fonksiyonlarının CPU'sunun hurda kg fiyatının büyüklüğüne göre değişimi	127
Şekil 7.14. Amaç fonksiyonlarının İS'lerinin hurda kg fiyatının büyüklüğüne göre değişimi	128
Şekil 7.15. Amaç fonksiyonları değerlerinin geri dönen ürün sayısı büyüklüğüne göre değişimi	129
Şekil 7.16. Amaç fonksiyonları CPU'larının geri dönen ürün sayısı büyüklüğüne göre değişimi	130
Şekil 7.17. Amaç fonksiyonları İS'lerinin geri dönen ürün sayısı büyüklüğüne göre değişimi	131
Şekil 7.18. Amaç fonksiyonları değerlerinin problem boyutuna göre değişimi	132
Şekil 7.19. Problem boyutuna göre amaç fonksiyonları CPU'larının değişimi	133
Şekil 7.20. Problem boyutuna göre amaç fonksiyonları İS'lerinin değişimi	134
Şekil 7.21. GF ve DÖ'ne göre amaç fonksiyonları değerlerinin değişimi	135
Şekil 7.22. GF ve DÖ'ne göre amaç fonksiyonlarının CPU'sunun değişimi	136
Şekil 7.23. GF ve DÖ'ne göre amaç fonksiyonlarının İS'lerinin değişimi	137
Şekil 7.24. Problem boyutuna göre toplam kısıt sayısının değişimi	138
Şekil 7.25. Problem boyutuna göre toplam değişken sayısının değişimi	139
Şekil 7.26. Problem boyutuna toplam ikili değişken sayısının değişimi	140

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
br	Birim
i	Toplama tesisleri aday kümesi
j	İşleme tesisleri aday kümesi
k	Müşteri bölgesi kümesi
kg	Kilogram
km	Kilometre
l	Toplama tesisleri hacim seviye kümesi
m	Ürün kümesi
m³	Metreküp
n	İşleme tesisleri kapasite seviye kümesi
sn	Saniye
tl	Türk lirası
Kısaltmalar	Açıklama
3PL	Üçüncü parti lojistik
AFD	Amaç fonksiyonu değeri
AEEE	Atık elektrikli elektronik ekipman
BDP	Bulanık doğrusal programlama
BHP	Bulanık hedef programlama
BKT	Bulanık küme teorisi
CPU	Saniye olarak çözüm zamanı
ÇAKV	Çok amaçlı karar verme
ÇKKV	Çok kriterli karar verme

Kısaltmalar	Açıklama
ÇÖKV	Çok ölçütlü karar verme
DİS	İmha tesisi
DÖ	Dallandırma önceliği
EBÇAKV	Etkileşimli bulanık çok amaçlı karar verme
EBDP	Etkileşimli bulanık doğrusal programlama
EÇAKV	Etkileşimli çok amaçlı karar verme
EKM	En küçük model
EOÇAKV	Etkileşimli olabirlikli çok amaçlı karar verme
EODP	Etkileşimli olabirlikli doğrusal programlama
GF	Göreceli fark
IKLDEGSAY	İkili değişken sayısı
İS	İterasyon sayısı
İTAY (T)	İşleme tesislerinin açıldıkları yerler (toplam sayısı)
İTKS	İşleme tesisleri kapasite seviyesi
İT-Z1	İşletme tesisi-amaç 1
İT-Z3	İşletme tesisi-amaç 3
KM	Küçük model
KTHP	Karışık tamsayılı hedef programlama
MIP	Mixed integer programming
MM	Mini model
MMM	Mini mini model
OÇAKV	Olabilirlikli çok amaçlı karar verme
ODP	Olabilirlikli doğrusal programlama
OM	Orta model
ÖY	Öncelik yapısı
REF	Rafineri tesisi
SN	Sıra no
TLŞT	Tersine lojistik şebeke tasarımı
TOM	Tam ölçekli modeli

Kısaltmalar	Açıklama
TOPDEGSAY	Toplam değişken sayısı
TOPHAC	Toplam hacim
TOPKAP	Toplam kapasite
TOPKISTSAY	Toplam kısıt sayısı
TTAY (T)	Toplama tesislerinin açıldıkları yerler (toplam sayısı)
TTHS	Toplama tesisi hacim seviyesi
TT-Z1	Toplama tesisi-amaç 1
TT-Z3	Toplama tesisi-amaç 3
TTZŞT	Tersine tedarik zinciri şebeke tasarımı
TZY	Tedarik zinciri yönetimi
ÜGK	Ürün geri kazanımı
WEEE	Waste electrical and electronic equipment

1. GİRİŞ

Özellikle son 10 yıl içinde, “Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), onun bir parçası olan fakat, şimdi bizim de yaptığımız gibi, hemen hemen her zaman onunla özdeş olarak kullanılan Lojistik Yönetimi (LY)” ve bunun bir alt konusu olan “tersine tedarik zinciri (tersine lojistik), gerek akademik gerekse gerçek dünyayı yansıtan uygulama alanında, artan bir ilgi kazanmıştır.

Tersine Tedarik Zinciri Şebeke Tasarımı (TTZŞT), TZY’de, stratejik seviyede bir planlama konusudur ve sitemin performansı ve dolayısıyla işletmenin karlılığı ve sürdürülebilirliği ile çok yakından ilgilidir.

Tersine lojistik uygulaması olarak geri kazanım yönetimi; kıt kaynakların etkin kullanımı, enerji tasarrufu, ekonomik kazanç, olumsuz çevresel etkilerin azaltılması, başta insan olmak üzere canlı sağlığının olumsuz etkilerden korunması vb. gibi son derece hayati öneme sahip hususlar bakımından, özellikle son yıllarda, başta Avrupa ve diğer çoğu Batı ülkelerinde üzerinde ciddiyle durulan ve yasal mevzuatlarla güvence altına alınmış ağır yaptırımları olan ilk öncelikli konulardan biridir. Geri dönüşüm de, geri kazanım yönetiminin bir bileşenidir ve bütün dünyada gittikçe artan yaygın uygulama alanlarına sahiptir. Dünyadaki sosyo-kültürel ve ekonomik gelişmelere paralel olarak, refah düzeyi ve dolayısıyla insan hayatını kolaylaştıran ekipmanların kullanımı gün geçtikçe ivmeli olarak artmaktadır. Bu durum, beraberinde, içinde fırsatlar da barındıran, optimum şekilde çözülmesi gereken sorunların da ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bugün, her ailenin, bireyin, işletmenin/kurumun vazgeçilmezi olan AEEE, kullanımı ve kullanımı sonunda yapılması gerekenler, sözü edilen bu durumun en önemli ve en tipik örneklerinden biridir.

Literatürde, ürün geri kazanımı, spesifik olarak AEEE için, bulanık ortamda - gerçek uygulama ile - çok amaçlı lojistik şebeke tasarımında bir eksiklik görülmüştür. ÜGK için LŞT yaparken, etkin, etkili ve uygulanabilir karar verme için, anılan hususların büyük önem arz ettiği bilinmesine rağmen, halen bu hususları dikkate alan

çalışmalarda eksiklik bulunmaktadır. Bu eksikliği gidermek, değer katan, ekonomik bir faydaya dönüşecek ve insan hayatını kolaylaştırmaya hizmet edecek gerçek bir çalışma yapmak bu çalışmanın temel katkıları ve amaçlarıdır. Ekonomik ve etik sebeplerle, AEEE geri kazanımının gittikçe önemli olmasına karşın, Türkiye’de AEEE için bir sistemin halen mevcut olmayışı, bu çalışmadaki uygulama alanının seçiminde en önemli itici güçlerden biri olmuştur. Bu tezde, Türkiye’de AEEE için bir sistem önerilmiş, sistemin modeli, Karışık Tam Sayılı Matematiksel Programlama modeli olarak ifade edilmiş ve Ankara’da gerçek bir uygulama yapılmıştır. Karar değişkenleri; açılacak toplama ve işleme tesislerinin yerlerinin belirlenmesi ve tesisler ile müşteriler arasındaki akış değerlerinin bulunmasıdır. Model, sistemin ve gerçek dünyanın ve uygulama alanı ile yerinin bütün özellikleri ve varsayımlarını dikkate alan gerçek veriler kullanılarak çözülmüş ve gerçek dünyada uygulanabilir, etkin, ve etkili karar verme stratejileri sunulmuştur. Modelin farklı durumlara tepkisini ölçmek için, farklı parametrelerle 700’den fazla çözüm yapılmış, bulanık ortamda çok amaçlı yaklaşımlar da kullanılarak karar vericiye gerçek dünyada karar verirken yardımcı olacak farklı bakış açılarıyla çözüm seçenekleri sunulmuştur.

Çalışmanın, 2. Bölümünde, lojistik, lojistiğin kapsamı, tersine lojistik, geri kazanım ve geri kazanım şebekeleri ile ilgili temel kavramlar ve bilgiler verilmektedir.

3. Bölümde, TTZŞT literatürü; i-) genel geri kazanım, tedarik zinciri yönetimi, genel model ve/veya literatür araştırmasını temel alan çalışmalar, ii-) belirsiz ve/veya çok amaçlı ortamda tersine lojistik şebeke tasarımı temel alan çalışmalar ve iii-) gerçek / hipotetik temelli tersine tedarik zinciri örnek olay uygulamaları, perspektifinden, araştırılmıştır. Ayrıca, TTZŞT konusunun önemine değinilmiş, hızlı gelişimine dikkat çekilip tanıtılmış, geliştirilen stratejik kantitatif modellerin gözden geçirilmesi ve karşılaştırılması ile bu alandaki mevcut literatür temas edilen ana hususlarıyla ortaya konmuş ve yorumlanmıştır.

4. Bölümde, öz olarak; uygulanabilir, etkin ve etkili karar verme için “bulanık / olabirlikli” belirsizliğine, verilen bir problemi optimize etmek yerine, optimum-yüksek verimli bir sistemi tasarlamayı sağlayan “etkileşimli” yaklaşıma ve “çok

amaçlı matematiksel programlama” yaklaşımlarına genel bir bakış sunulmaktadır. Aynı zamanda, çeşitli kombinasyonlarda kullanılabilen bu temel yaklaşımlara duyulan ihtiyaç, bu yaklaşımların üstünlükleri gerekçeleri ile belirtilmekte ve etkin kararlar için karar vericilerin gerçek dünyada bu yaklaşımları dikkate alması ve kullanması gerektiği vurgulanmaktadır. Kısaca, “ürün geri kazanımı için bulanık ortamda çok amaçlı lojistik şebeke tasarımı” konulu bu tez çalışmasında, kullanılan metotlarla ilgili bilgiler, metotları seçme gerekçeleriyle birlikte sunulmaktadır.

5. Bölümde, problemin tanımlanması ve matematiksel modelinin kurulması ayrıntılı açıklamalarla ele alınmıştır.

6. Bölümde, Modelin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla, Ankara’da AEEE için gerçek bir örnek olaya uygulanması konu alınmıştır.

7. Bölümde, Modelin hassasiyetini test etmek ve çözüm sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, deterministik ve bulanık ortamda çok amaçlı karar verme yaklaşımları kullanılarak, farklı parametre değerleriyle yapılan 700’den fazla çözümün özet sonuçları sunulmuş, Modeldeki değişkenlerin etkisi ve ilişkisini araştırmak için, SPSS 17.0 for Windows’da yapılan bağımsız; tek yönlü ANOVA, iki yönlü MANOVA ve Regresyon Analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlarıyla birlikte verilmiştir.

Son bölümde (8. Bölümde), genel sonuçlar ile etkin, etkili, esnek ve uygulanabilir karar verme için stratejik öneriler sunulmuş ve son olarak, potansiyel / yeni araştırma fırsatları vurgulanmıştır.

2. LOJİSTİK ŞEBEKE TASARIMI

2.1. Lojistiğe Giriş

Tedarik Zinciri (TZ), temel olarak iç lojistik (malzeme ve hizmetlerin tedarikçiden üretici/imalatçı'ya akışı), fabrika içindeki malzeme akışları ve dış lojistik (malzemeler, ürünler ve hizmetlerin fabrikadan müşteriye / tüketiciye akışı) ile ilgili bütün aktiviteleri kapsamaktadır.

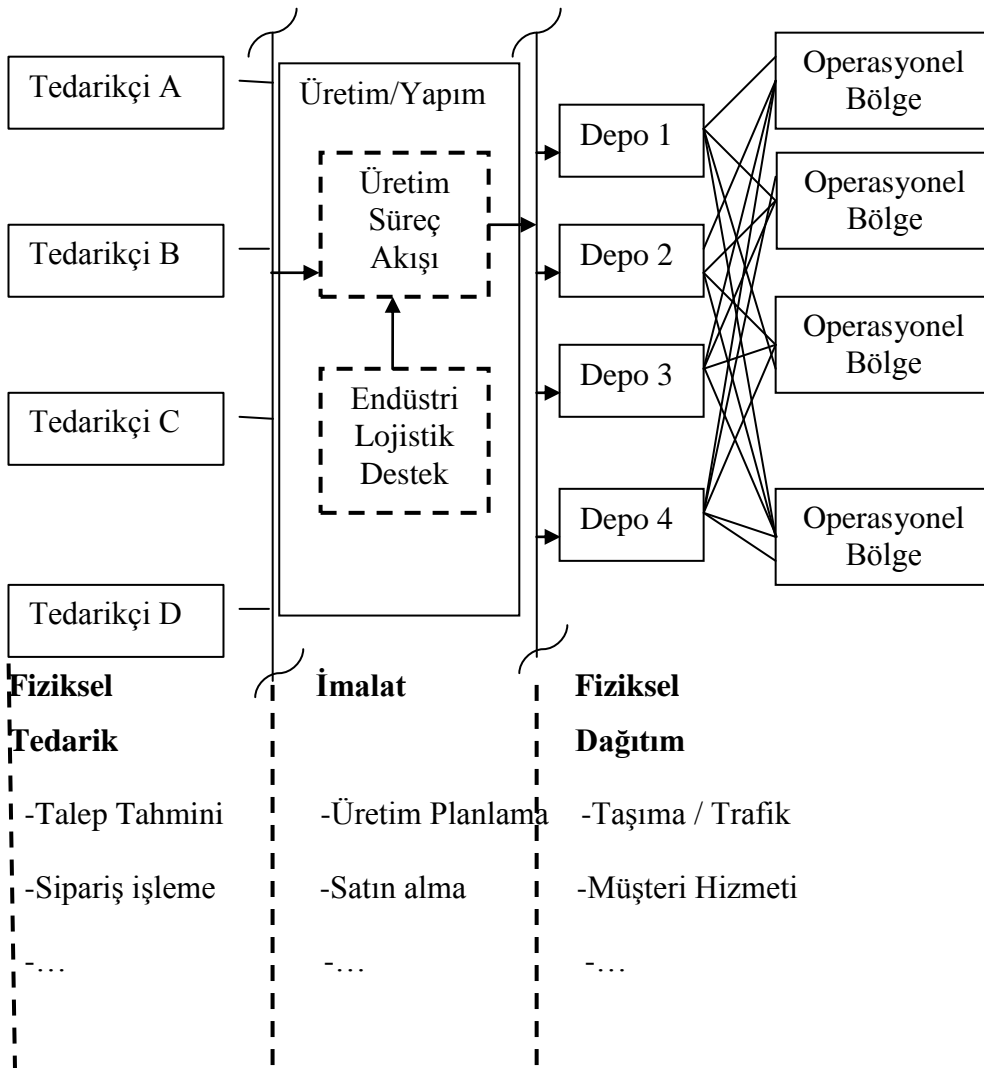
Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY); “tedarik, üretim, son ürünler ve hizmetlerin müşterilere dağıtımı için süreç odaklı bir bütünleşik yaklaşımdır. Alt tedarikçiler, tedarikçiler, iç işlemler, ticari müşteriler ve son kullanıcıları içerir. TZY; malzeme, bilgi ve fon akışının yönetimini kapsar” [Banchard, 2004].

TZY, gerekli müşteri hizmetlerinin hem etkili hem de etkin bir şekilde sağlanması amacıyla tedarik zincirinin veya bir grup tedarik zincirlerinin yönetimi ile ilgilidir.

2.2. Lojistiğin Kapsamı

Lojistik; “müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için, ürünlerin, hizmetlerin ve başlangıç noktası ile tüketim noktası arasındaki ilgili bilginin, etkin, etkili ileri ve geri akışı ve depolanmasını planlayan, uygulayan ve kontrol eden tedarik zinciri sürecinin bir parçası” olarak tanımlanmaktadır [Banchard, 2004]. Bu tanıma göre, lojistik aktiviteler şunları kapsamaktadır: (1) tedarikçilerin, satın alınan ve sipariş işleminin tanımlanması ve yönetimi, malzemelerin/hizmetlerin tedarik kaynaklarından imalatçı veya üreticiye fiziksel tedarigi; (2) malzeme yönetimi, malzemeler / hizmetler'in imalat süreçleri sırasında ve boyunca stok yönetimi; ve (3) sonraki taşıma ve ürünlerin imalatçıdan son tüketiciye (örneğin müşteriye) fiziksel dağıtımı. Bu aktiviteler, yalnızca ileri akışı yansıtan Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Ayrıca, malzeme ve ürünler geri çekildiğinde, yeniden çevrime sokulduğunda / imha edildiğinde ve insanlar tarafından kullanımı aşamalı olarak tamamen bırakılacağına, başka bir ifadeyle, parçaların tüketiciden imha noktasına geri akışında gerekli olan aktiviteleri içeren tersine bir akış vardır. Bu tersine akış, tersine lojistik olarak bilinmektedir.



Şekil 2.1. Üretim sürecinde lojistik aktiviteler

Elektronik ticaretin gelişi ve bilgi teknolojisindeki ilerlemeler ile lojistik, ek sorumluluklar üstlenmiştir. Bar kodlama metotları, radyo frekans tanıma etiketleri, küresel konumlandırma sistemleri ve elektronik veri değişimi, ürün/malzeme akış bilgisinin hızlı ve etkin transferini mümkün kılmıştır. Lojistik, daha geniş ve

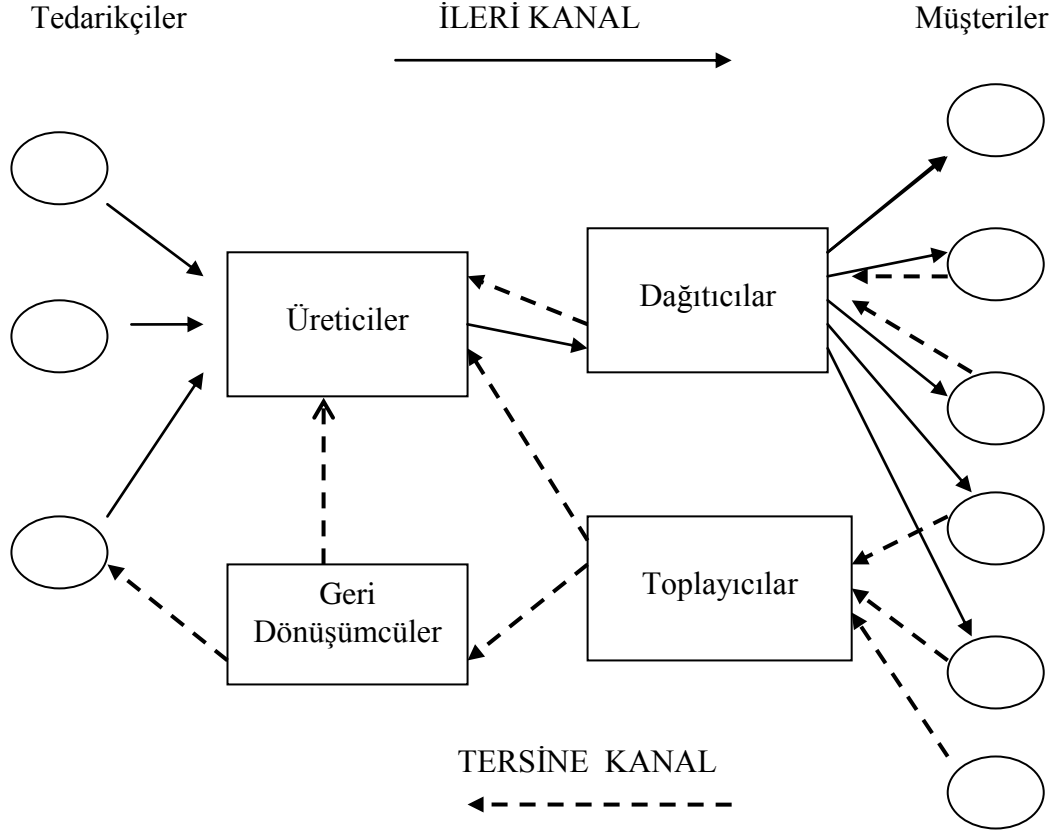
bütünleşik bir yaklaşımla ele alınmış, bilgi teknolojisi, pazarlama - satış ve finans gibi aktiviteleri kapsamak üzere genişlemiş; başka bir deyişle, ürünler ve malzemelerin fiziksel akışını desteklemiş, ekonomi, finans ve işletme konularını da kapsayarak çapını büyütüştür [Banchard, 2004]. Aynı zamanda, daha fazla dış kaynak kullanımına doğru giden mevcut trendler, artan küreselleşme ve daha fazla uluslar arası rekabet; ortaklık ve koalisyonların kurulması ve daha geniş lojistik kapsamı için bir ihtiyaç yaratmıştır. Bu çeşitli gelişmeler, son zamanlarda, tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi ile ilgili kavramlar içerisinde daha yayılmıştır [Banchard, 2004].

2.3. Tersine Lojistik

Tersine lojistik, ürünler ve ilgili bilginin tüketim noktalarından bir tedarik zincirinin akış yönünün tersindeki aşamalara doğru hareketidir. Bu, bir işletmenin geri dönen ürünlerde kalan değeri ve uygun imhayı yeniden elde etmesini sağlar. Son zamanlarda, tersine lojistik, otomobil parçaları imalatı, elektronik, ulaştırma ve perakendecilik gibi bir çok alanda, artan bir ilgi kazanmıştır. Bu olgu için iki ana sebep bulunmaktadır: (i) atık azaltma gerekliliklerini getiren yeni yasal düzenlemeler-mevzuatlar, geri alma zorunlulukları ve işletmeler için çevre dostu artık uygulamalarının geliştirilmesine öncülük eden, çevresel ilgi artışı (özellikle Avrupa'da), ve (ii) bir çok endüstride işletmeleri tersine lojistiği bir rekabet silahı olarak kullanmaya teşvik eden rekabet yoğunluğu [Verter ve Boyacı, 2007].

Bir tedarik zinciri döngüsünde tersine lojistik, kısa dönemde etik, uzun dönemde ekonomik olmak üzere karışık sebeplerden uygulanmaktadır. Bir tedarik zinciri döngüsünde tersine lojistik yönlendiricileri; bir işletmeyi veya organizasyonu tersine lojistiğe zorlayan değerler veya prensiplerle ilgili olan "genişletilmiş sorumluluk", "yasal düzenlemeler / mevzuatlar" ve "doğrudan veya dolaylı olarak ekonomiktir". Bir tedarik zinciri döngüsünde tersine lojistik için geri dönüş sebepleri; müşteri (garantiler, hizmetler, X'in sonu), imalat (kalite kontrol dönüşleri, artıklar), ve dağıtım (geri çağrılar, ticari fonksiyonel geri dönüşler, düzeltmeler-ayarlar) ile ilgilidir [De Brito ve ark., 2002a].

Şekil 2.2’de, üreticiden kullanıcıya olan ileri akış ve kullanıcıdan üreticiye olan tersine akışı birleştiren, bir tersine dağıtım çerçevesi görülmektedir.



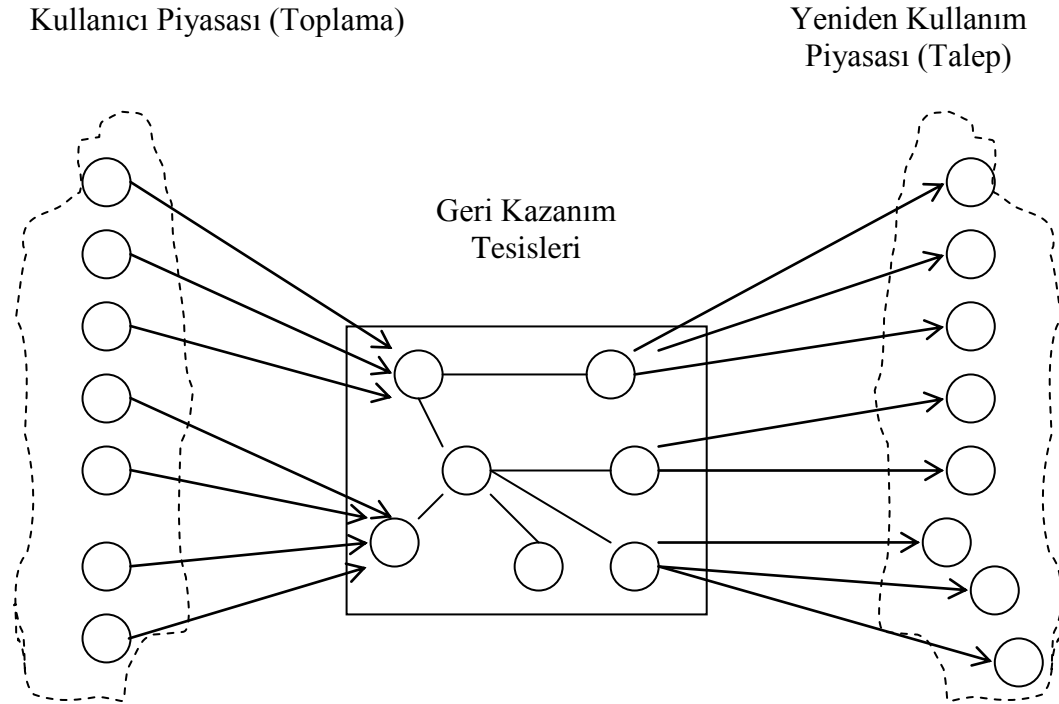
Şekil 2.2. Tersine dağıtım çerçevesi [Fleischmann ve ark., 1997].

Şekil 2.2’de gösterilen dağıtım çerçevesi içerisinde, tersine akış şebekelerini çalışmak için yöneylem araştırması metotları uygulanmıştır. Odaklanma, temel olarak şebeke tasarım hususlarına olmuştur [Fleischmann ve ark., 1997].

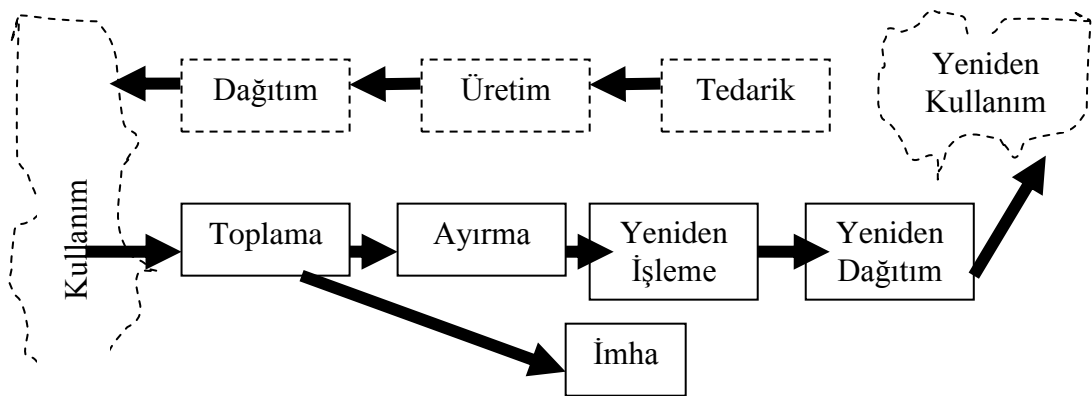
Tersine dağıtım sistemlerinde ana konu, ileri ve tersine kanalların eğer ve nasıl birleştirileceği sorusudur. Etkin tersine dağıtım kanalı kurmak amacıyla, kararlar aşağıda belirtilen hususlara göre yapılmalıdır [Fleischmann ve ark., 1997]:

- Tersine dağıtımda rol oynayanlar kimlerdir?
- Tersine dağıtımda hangi fonksiyonlar ve nerede yerine getirilecektir?
- İleri ve tersine dağıtım arasındaki ilişki nedir?

Aşağıda, Şekil 2.3’de, ürün geri kazanım şebeke topolojisi (Genel tersine tedarik zinciri şebekesi), Şekil 2.4’de geri kazanım zinciri gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Ürün geri kazanım şebeke topolojisi [Pochampally ve ark., 2003], [Fleischmann ve ark., 2000].



Şekil 2.4. Geri kazanım zinciri [Fleischmann ve ark., 2000].

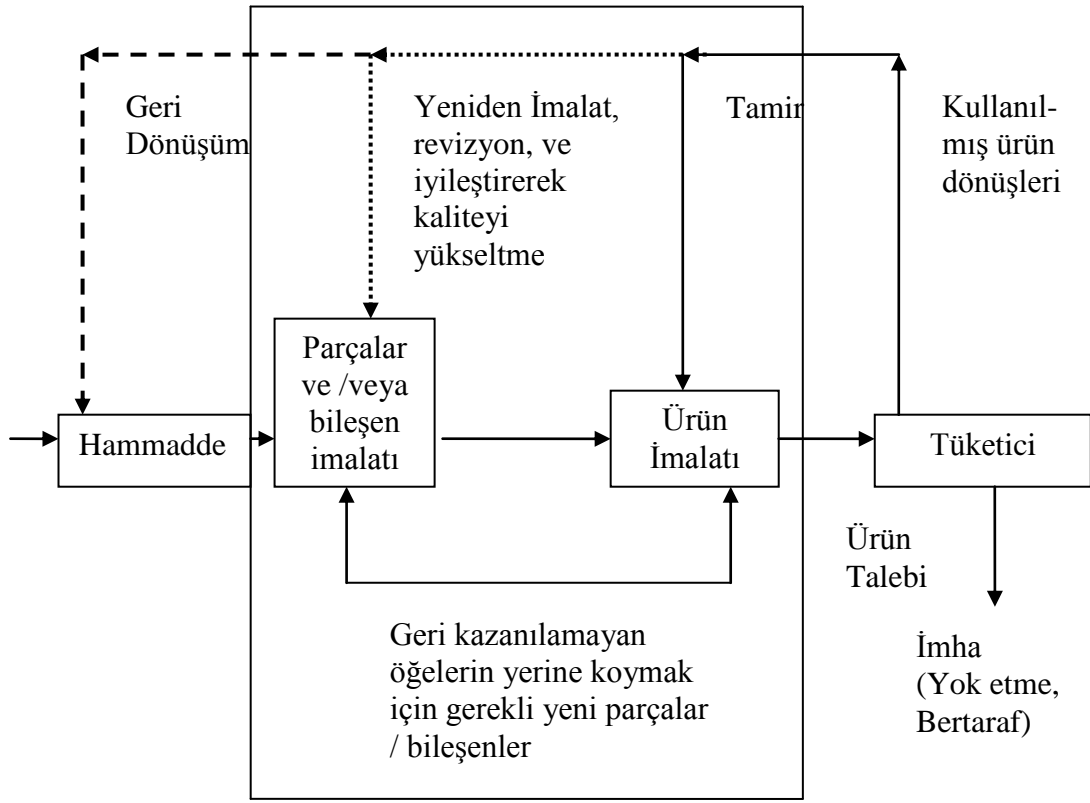
Şekil 2.4’de görüldüğü gibi, ürün geri kazanım şebekelerinde eşzamanlı görülen faaliyet grupları; toplama, ayırma, yeniden işleme, imha ve yeniden dağıtımdır [Fleischmann ve ark., 2000].

Herhangi bir tersine tedarik zinciri şebekesi uygulaması en az üç kısım gerektirmektedir: müşterilerin kullanılmış ürünleri geri verdikleri toplama, yeniden işlemenin (yeniden imalat veya geri dönüşümü kapsayan) yapıldığı geri kazanım tesisleri ve müşterilerin geri kazanım tesislerinden giden, yeniden işlenmiş ürünleri satın aldığı talep merkezleri [Pochampally ve ark., 2003].

Bir TTZŞ’nin tasarımı ve işletilmesi ile ilgilenen bir çok stratejik, taktik ve operasyonel bakış bulunmaktadır. Yoğunlaşılın stratejik planlama ideal olarak aşağıdaki aşamaları içermektedir:

- I. Kullanılmış ürünlerin farklı bir setinden, yeniden işlemek için, en ekonomik ürünün seçilmesi (bu adım sırayla, TTZŞ’nin kurulmasının planlandığı bölgede, potansiyel toplama merkezleri ve potansiyel talep merkezlerinin belirlenmesine götürmektedir),
- II. Potansiyel tesislerin, bölgede işleyen aday geri kazanım tesis seti olarak belirlenmesi,
- III. TTZŞ içinde doğru karışım ve miktarların taşınması [Pochampally ve ark., 2003].

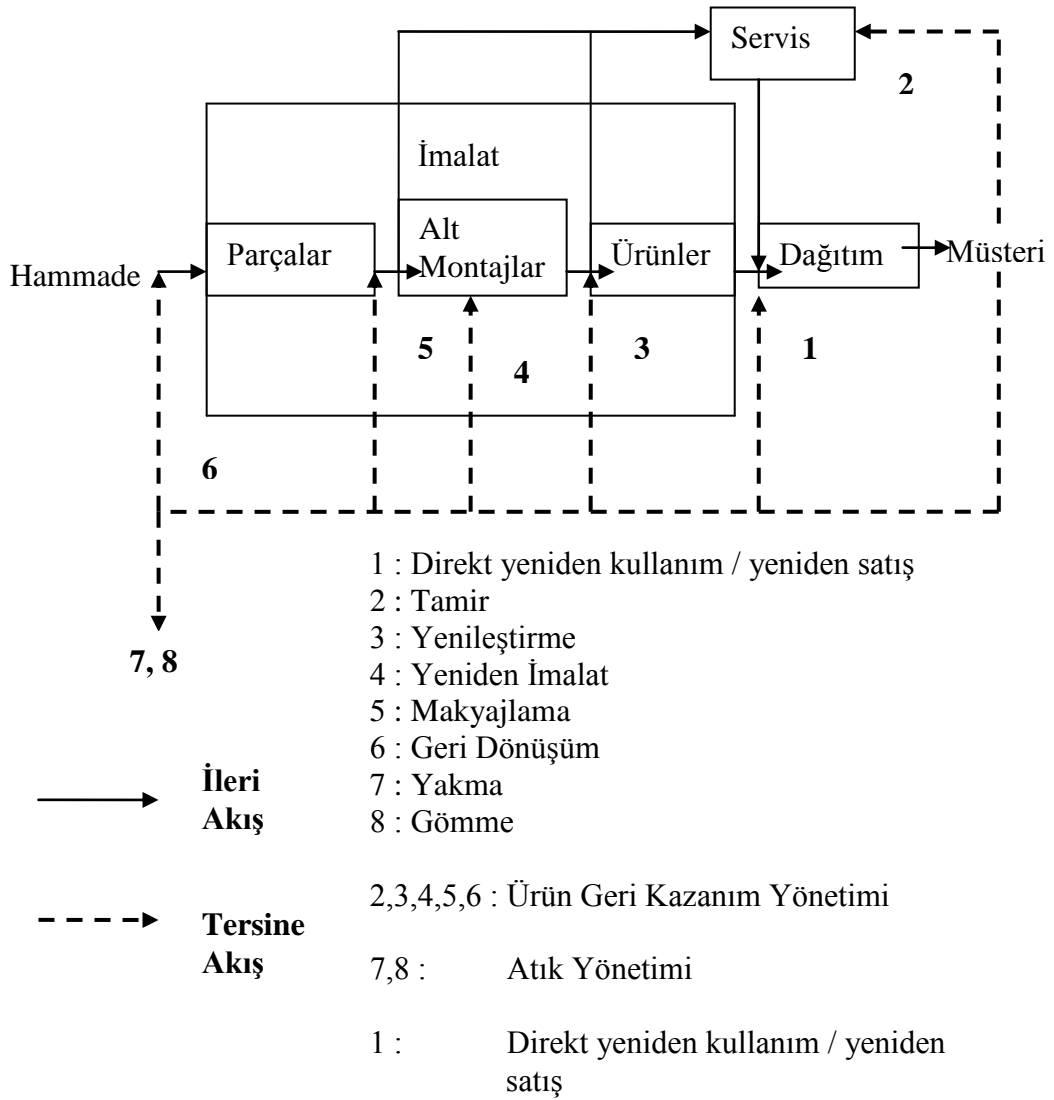
Geri kazanılabilir imalat sistemi ise, aşağıda, Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Geri kazanılabilir imalat sistemi [Jayaraman ve ark., 1999].

Geri dönüşüm, sıklıkla açık bir sistem olarak tanımlanabilir, ürünler orijinal üreticiye geri dönmez, fakat başka endüstrilerde kullanılabilir. Yeniden imalat ve yeniden kullanım, sıklıkla kapalı döngü sistemlere götürür: ürün ve paket orijinal üreticiye geri döner [Fleischmann ve ark., 1997]. Şekil 2.5'e dikkat edilirse, kullanılmış ürünler, ürün ve alt bileşenleri imalatçılarına geri dönmekte ve böylece bir kapalı döngü (çevrim) tedarik zinciri oluşmaktadır. Şeklin ortasındaki dikdörtgen içindeki sistem geri kazanım yapabilen imalat sistemi (kullanılmış ürünler ile), hammadde elemanı dışında kalan tüm şekil ise, kapalı döngü tedarik zincirini göstermektedir. Kullanılmış ürünler hammadde haline getirilmek üzere geri dönüşüme girmektedir.

Yeniden kullanımda oluşan kapalı döngü, “ürün geri alım seçenekleri / tersine tedarik zincirindeki aktiviteler / tedarik zincirinde tersine akışlar” olarak isimlendirilebilen Şekil 2.6'da gösterilmektedir [Thierry ve ark., 1995].



Şekil 2.6. Ürün geri alım seçenekleri / tersine tedarik zincirindeki aktiviteler / tedarik zincirinde tersine akışlar

2.4. Geri Kazanım ve Geri Kazanım Şebekelerine Genel Bir Bakış

Fleischmann ve arkadaşları, ürün geri kazanım şebekesinin genel özelliklerini tanımlamak için [Fleischmann ve ark., 2000]'nın ürün geri kazanımı için lojistik şebeke yapılarının tanımlanması, genel karakteristiklerinin belirlenmesi ve geleneksel lojistik yapılarıyla karşılaştırılması amacıyla gözden geçirdikleri, farklı endüstrilerde, halı geri dönüşümü, elektronik yeniden imalat, yeniden kullanılabilen

paketler ve kum geri dönüşümü, çelik endüstrisinde ara ürünler ve üretim artıkları için geri dönüşüm'ü kapsayan, ürün geri kazanımı için lojistik şebeke tasarımlarını inceleyen dokuz örnek olayı karşılaştırmaktadırlar. Bu örnek olayların temelinde ürün geri kazanım şebekelerinin genel özellikleri tanımlanmıştır: (1) iki piyasanın koordinasyon gerekliliği, (2) tedarik belirsizliği, ve (3) yeniden konumlandırma (elden çıkarma) görevi [Fleischmann ve ark., 2001].

Geri kazanım şebekeleri, kullanılmış ürünlerin eski kullanıcıları tarafından parasız olarak alındığı elden çıkarma piyasası ile geri kazanılmış ürünler için talebin olduğu yeniden kullanım piyasası arasında bir bağlantı oluşturmaktadır. Piyasaların ikisi de çakışabilir, bu durumda kapalı döngü ürün akışları ile sonuçlanır, veya bir açık döngü oluşturarak farklı olabilir. Elden çıkarma piyasasından yeniden kullanım piyasasına geçiş sürecinde tipik adımlar; toplama, muayene ve ayırma (tasnif), yeniden işleme, yeniden dağıtım ve imhayı kapsamaktadır. Genelde, şebeke toplama tarafında yakınsak, dağıtım tarafında iraksak ve spesifik yeniden işleme adımlarına bağlı olarak bir orta kısım içermektedir. Geri kazanım şebekelerinin bu iki piyasa arasındaki orta kısım olarak rolü, tedarik ve talep ile ilgili bir koordinasyon hususu gerektirir. Geri kazanım için kullanılmış ürünlerin bulunabilirliğini kontrol etmek, geleneksel tedarik zincirinde giriş kaynaklarının tedarikine göre çok daha zordur. Onun için bir geri kazanım şebekesinde tedarik ve talep arasında zaman ve miktar ile ilgili olarak önemli bir uyumsuzluk olabilir. Dahası, kullanılmış ürünlerin bulunabilirliği ve kalitesi, genelde, önceden bilinmeyen, tedarik belirsizliğini geri kazanım şebekelerinin temel bir karakteristiği yapmaktadır. Doğrudan bir sonuç olarak, ayırma ve muayene bu durumda önemli hususlar olmaktadır. Genelde, toplanan ürünlerin (veya bileşenlerin) hepsi aynı şekilde kullanılamamaktadır. Daha doğrusu, geri kazanım seçeneklerinin olurluğu her bir ürünün durumuna bağlı olabilir. Örneğin bir kullanılmış fotokopi makinesi, iyi durumdaysa ikincil bir piyasada satılmak için yenileştirilebilir. Eskimiş ise belli bazı parçaları yedek parça olarak hala kullanılabilir, ancak ağır bir şekilde hasar görmüş makineler için tek yol, malzeme geri dönüşümüdür. Geri dönen ürünün kalitesi, genelde, daha önceden bilinmediğinden uygun elden çıkarma ve onun için ürün akışının yolu ancak muayene ve testten sonra belirlenebilir. Dahası, teknik olarak mümkün olsa bile, bir

geri kazanım seçeneği ekonomik olarak cazip olamayabilir. Toplam geri kazanım maliyetleri ulaştırmaya ve bu yüzden lojistik şebeke yapısına bağlı olduğundan, geri kazanım şebekesi, geri kazanım seçeneklerinin ekonomik olarak uygulanabilirliği için önemli kısıtlar koymaktadır. Ürün geri kazanım şebekeleri için genel bir kantitatif model formüle ederken yukarıdaki karakteristiklerin hesaba katılması gerekir [Fleischmann ve ark., 2001].

Her şeyden önce, dikkate alınan tesis seviyelerinin sayısının belirtilmesi gerekir. Yukarıda tartışıldığı gibi, geri kazanım şebekeleri, şebeke sınırlarını tanımlayan iki piyasa arasında bir bağlantı oluşturmaktadır. Araştırmacılar, üç tesis seviyesini dikkate almaktadırlar. Bunlar, muayene ve ayırma fonksiyonunun gerçekteştirildiği demontaj merkezleri, yeniden işleme ve / veya yeni üretim için fabrikalar ve dağıtım depolarıdır. Dahası toplanan ürünler için iki elden çıkarma dikkate almaktadırlar; toplanan ürünlerin sadece belirli bir oranı için mümkün olan geri kazanım ve imha. Fleischmann ve arkadaşlarının önerdiği genel geri kazanım şebeke modeli Şekil 2.7.'de gösterilmektedir. [Fleischmann ve ark., 2001].

belirlenmelidir (Bu, yeniden kullanılabilir fakat yeniden kullanılması şart olmayan yeniden imal edilebilir makineler için, bir elden çıkarma kararı kapsamaktadır). Bütünleşik tasarım, ileri ve geri dönüş şebekelerinin ikisini eşzamanlı olarak optimize etmektedir.

Bütünleşik tasarım, sıralı tasarıma göre (önce ileri akış şebekesinin elde edilmesi, ardından geri dönüş şebekesinin bunun içerisine eklenerek bütünleştirilmelerini ifade eden), Fleischmann ve arkadaşlarının bir örneğinde, diğer örneğinin aksine, önemli bir maliyet düşüşü sağlamakta ve ayrı bir çözüm ile sonuçlanmaktadır [Fleischmann ve ark., 2001].

Anılan modeli, geleneksel ileri tesis yer seçimi modelinden ayıran elemanlar vardır. Hepsinden önce, modelin bir tane denklemindeki kısıtlar, sırasıyla, elden çıkarma piyasası ve yeniden kullanım piyasasındaki, tedarik ve talep ile ilgili koordinasyon hususunu yansıtmaktadır. Diğer bir deklemindeki kısıtlar ise fabrika ve imha için geri dönen ürün miktarı toplamının en az bir oranı kadar imha seçeneği olması gerektiğini göstermekte ve ikinci fark olmaktadır. Dahası, hem itme hem de çekme yönlendiricili toplama belirtilebilmektedir. Son olarak, ürün geri kazanımına ek olarak, bazı parametrelerin birbirlerine göre değerleriyle yansıtılan bir düzenli üretim kaynağı kapsanabilmektedir [Fleischmann ve ark., 2001].

Bu esnekliğe rağmen, araştırmacılar, modelde ürün geri kazanım şebekelerinin temel özelliği olarak adlandırdıkları belirsizlik bakış açısını ve dinamik yapıyı, diğer deyişle çok dönemli planlama ufkunu hesaba katmadıklarını belirtmeye değer görmektedirler.

Anılan araştırmacılara göre, bu formülasyon çok geneldir ve bir çok farklı geri kazanım durumlarını yansıtabilmektedir. Özellikle farklı piyasa yapıları hesaba katılabilmektedir. Her şeyden önce, hem kapalı döngü yapılar hem de açık döngü yapılar d_k (k müşterisinin talep miktarı) ve r_k (k müşterisinin geri dönüş miktarı) parametrelerini buna göre seçerek modellenabilmektedir. Eğer $d_k * r_k > 0$ ise, kapalı bir döngü oluşmaktadır ve k müşteri hem elden çıkarma hem de yeniden kullanım

piyahasına aittir. Tersine, $d_k * r_k = 0$ ise açık bir döngü oluşmakta ve her iki piyasa arasında bir fark bulunmaktadır [Fleischmann ve ark., 2001].

Salema ve arkadaşları, İberyali (İspanya ve Portekizle ilgili [İnternet: Sesli Sözlük, 2008] büro doküman şirketi örnek olayı üzerinde, [Fleischmann ve ark., 2001] modelini kapasite kısıtlı, çok ürünlü ve talep ve geri dönüş miktarları belirsizliğini katıp genişleterek çözmüşlerdir. Çeşitli olasılıklarla çeşitli senaryolar üreterek, belirsizlik kaynağını talep ve geri dönüş miktarlarındaki belirsizlik olarak ele almış, modeli her bir durum için ayrı ayrı çözmüş ve böylelikle modellerinin en genel geri kazanım şebeke modeli haline geldiğini belirtmişlerdir [Salema ve ark., 2007a].

Görüldüğü gibi; [Fleischmann ve ark., 2001], tek ürün, tek amaç dikkate almış, [Salema ve ark., 2007a], Fleischmann'ın RNM modelinin temelinde ve onun eksikliklerini giderecek şekilde ve farklı bir örnek olay temelinde 'tersine lojistik için genel geri kazanım şebeke modelini', sırayla, klasik RNM, kapasiteli, kapasiteli ve çok ürünlü ve en son olarak belirsizlik altında kapasiteli-çok ürünlü olarak çözmüşlerdir.

Dağıtım, ileri akış şebekesini, geri kazanım ise dönüş akış şebekesini oluşturmaktadır. Bütün karar değişkenleri, bu dağıtım ve geri dönüş şebekelerini akışlarıyla bulmaktan başka bir şey değildir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması; tezde ilgilenilen konu alan başlıkları dikkate alınarak aşağıda Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Çizelge 3.1.'de; 1, Araştırmacı(lar), Yıl; 2, Belirsiz; 3, Çok Amaçlı; 4, Genel Geri Kazanım; 5, Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY); 6, Genel Model; 7, Literatür Araştırması; 8, Hipotetik Veriler; 9, Gerçek Veriler'i ifade etmektedir.

Literatür araştırması sınıflandırması, Çizelge 3.1.'de görüleceği gibi gibi, akış bütünlüğü ve ilişkisini sağlamak amacıyla, literatürün giriş ve son bölümü hariç, kronolojik sırada verilmiştir.

Literatür araştırmasında stokastik yapıdaki çalışmalar araştırılmamış, sadece genel bir stokastik durumu ele almış olan [Listeş, 2007] makalesine genel bir örnek teşkil etmesi bakımından özetle değinilmiş, özellikle yeni ve SCI, SCI-E, SSCI kapsamındaki yayınlara ağırlık verilmiştir.

Lojistik planlamadan söz ederken stratejik (uzun), taktik (orta) ve operasyonel (kısa) dönemler için planlamadan bahsetmek gerekir. Üretim planlama, stok yönetimi vb. taktik seviye iken, sıralama-çizelgeleme operasyonel ve şebeke tasarımı stratejik planlama için, hem akademik hem de pratik olarak, önemli, güncel, popüler, yaygın, ilgi ve ihtiyacın hızla arttığı, yeni bir eğilim ve araştırma alanı konusu ve örneği teşkil etmektedir. Bir stratejik planlama konusu olarak, “tersine lojistik şebeke tasarımı”, kalitatif ve kantitatif olarak analiz edilebilir. Böyle şebekelerin tasarımını yapma ihtiyacı matematiksel temelli kantitatif metodları özellikle yöneylem araştırması ve onun içindeki geniş, yaygın, kullanışlı ve popüler ana konularından birisi olan matematiksel programlamayı kullanmayı gerektirir [Bostel ve ark., 2005].

Yukarıda anılan her bir durumla ilgili makaleler bulunmakta, ancak çalışmaların çoğu tersine lojistiği ileri lojistikten bağımsız olarak ele almaktadır. İleri ve geri akış arasındaki ilişki, ele alınan probleme bağlı olarak ya olmamakta ya da aralarında varolan / gözlenen ilişki yapısının bir sonucu olarak belirlenmektedir. Özellikle son

zamanlarda bazı yazarlar tarafından, örneğin; ([Lee ve ark., 2007a], [Ko ve ark., 2007], [de la Fuente ve ark., 2007]) ileri ve geriyi birleştiren bütünleşik şebeke tasarımına dikkat çekilmektedir.

Çizelge 3.1. Literatür araştırmasının tezde ilgilenilen konu alanı başlıklarına göre sınıflandırılması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[Thierry ve ark., 1995].			*						[Schleiffer ve ark., 2004]			*					*	[Biehla ve ark., 2007]	*		*					*
Fleischman ve ark., 1997].			*			*			[Sim ve ark., 2004].			*						[Du ve Evans, 2007].		*	*					*
[Barros ve ark., 1998].			*					*	[Bostel ve ark., 2005].			*		*			*	[Field ve Sroufe, 2007].			*					
[Jayaraman ve ark., 1999].			*						[Pochampally ve Gupta, 2005].			*						[de la Fuente ve ark., 2007].			*					*
[Krikke ve ark., 1999a].			*					*	[Rand, 2005].			*						[Jinan ve ark., 2007].	*		*				*	
[Krikke ve ark., 1999b].			*					*	[Schultman ve ark., 2006].			*					*	[Ko ve ark., 2007].			*				*	
[Fleischman ve ark., 2000].			*			*			[Xia ve Xi, 2005].			*						[Kocabaşoğlu ve ark., 2007].	*		*					
[Fleischman ve ark., 2001].			*		*			*	[Ahluwalia ve Nema, 2006].		*	*					*	[Lee ve ark., 2007a],		*	*				*	
[Guide Jr. ve Van Wassenhove, 2001].			*						[Altıparmak ve ark., 2006].		*	*					*	[Lee ve ark., 2007b].		*	*					
[De Brito ve ark., 2002a].			*						[Carol ve Kocabaşoğlu, 2006].			*						[Lee ve ark., 2007c].			*				*	
[De Brito ve ark., 2002b].			*					*	[Chang ve ark., 2006].			*					*	[Listeş, 2007].	*		*		*			
[Jayaraman ve ark., 2003].			*			*	*		[Chen ve ark., 2006].			*					*	Lua ve Bostel, 2007			*					
[Pochampally ve ark., 2003].	*		*						[Min ve ark., 2006].			*						[Min ve Ko, 2007].			*					*
[Blanc ve ark., 2004].			*					*	[Wan, 2006].			*						[Salema ve ark., 2007a].	*		*					*
[Chu ve Song, 2004].	*		*			*			[Wang ve Fang, 2006].			*						[Salema ve ark., 2007b].			*					
[Georgiadis ve Vlachos, 2004].			*						[Yao, 2006].			*						[Salema ve ark., 2007c].			*					
[Kusumastuti ve ark., 2004].	*	*	*						[Zaarour ve ark., 2006].			*						[Srivastava, 2007].			*			*		

Çizelge 3.1. (Devam) Literatür araştırmasının tezde ilgilenilen konu alanı başlıklarına göre sınıflandırılması

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[Tang ve Xie, 2007].			*						[Barker ve Zabinsky, 2010].			*						[Gomes ve ark., 2011].			*					*
[Wojanowski ve ark., 2007].			*						[Chu ve ark., 2010]	*		*						[Jamshidi, 2011].			*					
[Cagno ve ark., 2008]			*					*	[Easwaran ve Üster, 2010].			*						[Kabak ve Ülengin, 2011].	*			*				
[Pati ve Kumar, 2008].		*	*						[İlgin ve Gupta, 2010].			*			*			[Lambert ve ark., 2011].			*					
[Pokharel, 2008].		*	*						[Jang ve Kim, 2010].			*				*		[Mar-Ortiz ve ark., 2011].			*					*
[Rubio ve ark., 2008]			*						[Kuo, 2010].			*						[Mirzapour ve ark., 2011].	*	*		*				
[Srivastava, 2008].			*					*	[Lee ve ark., 2010].	*		*						[Mohamma di ve ark., 2011].	*			*				
[Akçalı ve ark., 2009]			*			*			[Liang, 2010].	*	*	*						[Ongondo ve ark., 2011].			*			*		
[Cruz-Rivera ve ark., 2009]			*					*	[Mansour ve ark, 2010].			*				*		[Ongondo ve Williams, 2011].			*					*
[Jämsä, 2009]			*			*			[Mula ve ark., 2010].	*		*						[Pishvae ve ark., 2011].	*			*				
[Melo ve ark., 2009]			*			*			[Peidro ve ark., 2010].	*		*						[Renteria ve ark., 2011].			*					
[Neto ve ark., 2009].			*						[Pishvae ve Torabi, 2010].	*		*						[Tuzkaya ve ark., 2011].			*					*
[Pokharel ve Mutha, 2009]			*			*			[Salema ve ark., 2010].			*		*		*		[Wäger ve ark., 2011].			*					*
[Zhao ve Lee, 2009].			*			*			[Qin ve Ji, 2010]	*		*						[Wang ve ark., 2011].			*					*
[Achillas ve ark., 2010a].			*						[Xanthopoulos ve Iakovou, 2010].			*						[Yamane ve ark., 2011].			*					
[Achillas ve ark., 2010b].			*					*	[Chan ve ark., 2011].			*		*				[Zhang ve ark., 2011].	*		*					

Tersine Lojistik Şebeke Tasarımı (TLŞT), ileri akıştan tamamen bağımsız, ileri akış ile zayıf bir ilişki içinde veya ileri akış ile güçlü bir ilişki içinde olmak üzere üç farklı biçimde ele alınabilir [Bostel ve ark., 2005].

3.1. Genel Geri Kazanım, Tedarik Zinciri Yönetimi, Genel Model ve/veya Literatür Araştırmasını Temel Alan Çalışmalar

Thierry ve arkadaşlarının “ürün geri alım seçenekleri” ile ilgili çalışması Bölüm 2.3.’de verilmişti [Thierry ve ark., 1995].

Fleischmann ve arkadaşları, “tersine lojistik için kantitatif modeller: bir gözden geçirme” makalesinde, tersine lojistiğin son zamanlarda ortaya çıkan araştırma alanını konu edinmektedirler. Endüstriyel üretim süreçlerinde malzeme ve ürünlerin yeniden kullanımının çeşitli şekillerinin sebep olduğu tersine akış yönetimi, bu on yıl boyunca, artan bir ilgi kazanmıştır. Bir çok yazar, bu değişiklikleri lojistik ortamında hesaba katan kantitatif modelleri önermiştir. Yine de, genel bir çerçeve henüz önerilmemiştir. Onun için, tersine lojistik bağlamında ortaya çıkan önemli hususların sistematik genel bakışı için doğru bir zaman gibi görünmektedir. Makalede, alan; dağıtım planlaması, stok kontrol ve üretim planlaması isimli üç temel alt alana bölünmektedir. Yazarlar, bunların her biri için, ortaya çıkan yeniden kullanım çabalarının anlamını tartışmakta, literatürde önerilen matematiksel modelleri taramakta ve daha ileri araştırma gerektiren alanlara dikkat çekmektedirler. Klasik ‘ileri’ lojistik metotları ile farklar ve / veya benzerliklere özel bir dikkat gösterilmektedir [Fleischmann ve ark., 1997].

Barros ve arkadaşları, “kum geri dönüşümü için iki seviyeli bir şebeke: Bir örnek olay” makalesinde, Hollanda’da inşaat artıklarının, özelde kumun geri dönüşümünün önemli bir lojistik problem yarattığını belirtmektedir. Yeni yasal düzenleme, artıkların minimum seviyeye indirilmesini sağlamakta, bu da geri dönüşümü teşvik etmektedir. Öyle tedbirler, kumun (inşaat artıklarının geri dönüşümünün bir alt ürünü) arzında bir artışa sebep olmakta ve etkin bir kum şebekesi kurulması ihtiyacını yaratmaktadır. Kum problemi tersine lojistik yönetimi alanında başarısız olmaktadır. Kum problemi, geri dönen ürünlerin işlenmesi (elekten geçirilmiş kum) ile ilgilendiğinden, tersine lojistik yönetimi alanında başarısız olmaktadır. Yazarlar, kum problemi için, iki seviyeli bir yer seçim modeli önermekte ve sezgisel prosedürler kullanarak onu optimize etmeye çalışmaktadır. Son olarak, Hollanda’da

kum geri dönüşüm şebekesi için elde edilen sonuçlar özetlenmektedir [Barros ve ark., 1998].

Jayaraman ve arkadaşları, yeniden imalat için bir kapalı döngü lojistik modeli üzerinde çalışmışlardır [Jayaraman ve ark., 1999].

Krikke ve arkadaşları, tersine lojistik şebekesinin fiziksel tasarımının tesis yerleşim problemleri sınıfına girdiğini belirtmektedir. Geri dönüş akışlarının yönetimi, farklı bir çok işleme adımını içerdiğinden, fiziksel sistem iki veya daha fazla aşamadan oluşmaktadır. Yazarlar, çok aşamalı bir lojistik siteminin fiziksel şebeke yapısının tasarımında karar desteği veren bir karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli sunmaktadırlar. Model, otomotiv endüstrisinden bir örneğe uygulanmış olup, modelin lojistik şebeke tasarımında genel uygulanabilirliği tartışılmaktadır [Krikke ve ark., 1999a].

Fleischmann ve arkadaşları, kullanılmış ürünlerin geri kazanımının, artan çevresel ilgiye bağlı olarak, son zamanlarda çok ilgi çektiğini belirtmektedir. Etkili uygulama, ürünlerin son kullanıcılardan üreticilere doğru hareketi için, uygun lojistik yapıların kurulmasını gerektirmektedir. Yazarlar, böyle lojistik şebekelerin tasarımını geliştirdiklerini belirtmektedirler. Analizlerine bir temel olarak, farklı endüstrilerde ürün geri kazanımı için lojistik şebeke tasarımı ile ilgili son örnek olayları gözden geçirmektedirler. Ürün geri kazanım şebekelerinin genel özelliklerini tanımlamakta ve onları geleneksel lojistik yapılarıyla karşılaştırmaktadırlar. Dahası, yazarlar, geri kazanım şebekelerinin farklı tipleri için sınıflandırma şeması üretmektedirler [Fleischmann ve ark., 2000].

Fleischmann ve arkadaşlarına göre, ürün geri kazanım şebekelerinin kantitatif modelleme bakış açılarına bakıldığında özetle şu görülmektedir: Hemen hemen bütün örnek olaylarda, şebeke tasarımını desteklemek için, karışık tamsayılı doğrusal programlama ile tesis yer seçimi - atama modelleri önerilmiştir. Sadece bir çalışmada, sürekli tesis yer seçimi modeli önerildiğini belirtmektedirler. Ayrıca, sözü edilen örnek olaylarda, belirsizliğin doğrudan kapsanmadığının belirtilmesi gerekir.

Şimdiye kadar, sadece deterministik tesis yerleşim modelleri sunulduğunu belirtmektedirler. Belirsizlik, genellikle, senaryo ve parametrik analiz şeklinde ele alınmıştır. Belirsizlik, ürün geri kazanımının önemli bir özelliği olarak görüldüğünden, bu konu ilave araştırma ve çalışmaları gerektirmektedir. Belirsizliğin ürün geri kazanım şebeke tasarımına etkisi ve belirsizliğin orijinalliğini korumak için geleneksel yaklaşımların uygunluğu ile ilgili daha ayrıntılı kantitatif sonuçlar faydalı olabilir. Geri kazanım şebekelerinin ilave ilgi hak eden bir diğer bakış açısı, ileri ve geri kanallar arasındaki potansiyel etkileşimdir. Kapalı döngü şebekelerde, toplama ve dağıtımın birleştirilmesi veya tesislerin bütünleştirilmesi gibi kantitatif sonuçlar, ürün geri kazanım şebekelerinin daha iyi anlaşılması için yardımcı olabilir. Hangi aktivitelerin birleştirileceği veya ayrılacağı ve ürün geri kazanımında ulaştırmanın etkisinin değerlendirilmesi konusundaki yol gösterici noktalar, değerli katkılar olabilir [Fleischmann ve ark., 2000].

Veerakamolmal ve Gupta, tersine lojistikte tedarik zinciri optimizasyonunu konu almışlardır [Veerakamolmal ve Gupta, 2000].

Fleischmann ve arkadaşları, tersine lojistik durumu söz konusu iken, lojistik şebeke tasarımıyla ilgilenmişlerdir. Genel bir tesis yerleşim modeli sunmakta ve geleneksel lojistik ortamı ile olan farklılıkları tartışmaktadırlar. Dahası, modellerini, ürün geri dönüş akışının lojistik şebekesi üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla kullanmaktadırlar. Ürün geri kazanımı, mevcut lojistik yapılarla, bir çok örnekte etkin bir şekilde bütünleştirilebilirken, diğer örnekler, bir işletmenin lojistik şebekesini ayrılmaz bir şekilde yeniden tasarlayan daha ayrıntılı bir yaklaşım gerektirmektedir [Fleischmann ve ark., 2001].

Guide Jr ve Van Wassenhove, yeniden imalat için ürün geri dönüşlerinin yönetimini konu almışlardır [Guide Jr ve Van Wassenhove, 2001].

Jayaraman ve arkadaşları, “tersine dağıtım şebekelerinin tasarımı: modeller ve çözüm prosedürleri” çalışmasında, tersine dağıtımı tartışmakta, bu problemin bir versiyonu için bir matematiksel programlama modeli önermektedirler. Önerilen

modelin karmaşıklığından dolayı, bu problem için, bir sezgisel çözüm metodolojisi tanıtmaktadırlar. Uyguladıkları çözüm metodolojisinde; alt problemler, karar değişkenlerinin indirgenmiş setiyle optimallik için iteratif olarak çözülmüş, sezgisel yoğunlaşma prosedürü önerilmiştir. Alt problemlerin çözümleri temelinde potansiyel tesis bölgelerinin son yoğunlaşma seti yapılandırılmakta ve bu problem optimallik için çözülmektedir. Bu ‘sezgisel genişleme’, aynı zamanda, potansiyel tesis bölgelerinin kısa bir listesini elde etmek için, tatminsiz sezgiselle bulunan çözüm kullanılarak yapılmaktadır. Hesaplama testleri, makul hesaplama çabaları harcanırken yüksek kaliteli çözümler elde edildiğinden, bu çözüm metodunun çok umut verici olduğunu göstermektedir [Jayaraman ve ark., 2003].

Pochampally ve arkadaşları, belirsizlikleri hesaba katarak, bir tersine tedarik zinciri şebekesini tam olarak tasarlamak için üç aşamalı bir matematiksel programlama yaklaşımı önermektedir. I. aşamada karışık tamsayılı matematiksel programlama modeli, II. aşamada analitik hiyerarşi prosesi ve III. aşamada kesikli tesis yerleşim modeli kullanılmaktadır. Kârlılık, çevresel düzenleme ve varlık geri kazanımı gibi yönlendiricilerin etkili bir şekilde tatmini için, sadece kullanılmış ürünlerin en ekonomik olanları, sadece onları etkin bir şekilde işleyebilecek tesislerde yeniden işlenmelidir. Kullanılmış ürünlerin tedarik, kalite ve yeniden işleme zamanlarındaki belirsizlik dolayısıyla, literatürdeki, kullanılmış ürünlerin bir setinden en ekonomik ürünü yeniden işlemek için seçen maliyet – yarar fonksiyonu doğrudan uygulanmak için uygun değildir. Aynı belirsizlikler yüzünden, potansiyel imalat tesislerini saptamak için kullanılan geleneksel bir ileri tedarik zinciri yaklaşımı potansiyel geri kazanım tesislerini saptamak için kullanılamaz [Pochampally ve ark., 2003].

Chu ve Song, “tersine lojistiğin durumu ve gelişen trendler” başlıklı makalelerinde, tersine lojistik sisteminin, müşteriden dönen ürünlerle ilgilendiğini ve onları üretim veya dağıtım kanalına geri döndürdüğünü kaydetmektedir. Stokastik geri dönüş oranı ve geri dönen ürünlerin çeşitli durumlarından kaynaklanan tersine lojistiğin belirsizlik özellikleri, tersine lojistiğin yönetimini zor yapmaktadır [Chu ve Song, 2004].

Georgiadis ve Vlachos, ürün geri kazanımı üzerinde çevresel parametrelerin etkisi [Georgiadis ve Vlachos, 2004]; Sim ve arkadaşları, kapalı döngü tedarik zinciri için genetik algoritma kullanarak genel bir şebeke tasarımı [Sim ve ark., 2004]; Schleiffer ve arkadaşları, Avrupa'nın otomotiv endüstrisinde, büyük ölçekli tersine lojistik şebekelerinin tasarımı için genetik algoritmaların uygulanması ile ilgili çalışmalar yapmışlardır [Schleiffer ve ark., 2004].

Rand, “tersine lojistik: kapalı döngü tedarik zincirleri için kantitatif modeller” başlıklı kitap kritiği makalesinde, Dekker, R., Fleischman, M., Inderfurth, K.F. ve Van, L.N.,'nin editörleri olduğu, makale ile aynı ismi taşıyan kitap hakkında bilgi sunmaktadır. Yazar, kitabın bu alandaki lisansüstü dersler için temel bir metin olarak kullanılıp kullanılmayacağını (belki, tersine lojistik ve onun endüstrideki etkileriyle ilgili üniversiteler hariç, böyle derslerin tersine lojistiğin sağlam bir içeriği olması için çok erken olmasına rağmen) tartışmaktadır [Rand, 2005].

Pochampally ve Gupta, tersine tedarik zinciri şebekesinin stratejik planlaması [Pochampally ve Gupta, 2005]; Xia ve Xi, yeniden imalat lojistik şebekelerin sağlam tasarımının modellenmesi üzerinde çalışmışlardır [Xia ve Xi, 2005].

Bostel ve arkadaşları, TLŞT ve bunun farklı sektörlere uygulanması için modelleme ihtiyaçlarının arttığını belirtmektedirler. Tersine lojistikteki esas zorluk, geri dönüş oranlarındaki ve tedarik tahminlerindeki belirsizliklerden ve modellerin bunları içermesi gereğinden kaynaklanmaktadır. Endüstrideki karmaşık örnekleri ele alabilen daha gerçekçi modeller geliştirilmesine ve büyük örnekleri yönetebilmek için etkin çözüm tekniklerine ihtiyaç vardır. Bu hususta, bazı yazarlar, standart karışık tamsayılı programlama yazılım paketlerine dayanırken, diğerleri, karışık kısıtları olan büyük problemler için özel çözüm teknikleri geliştirmişlerdir [Bostel ve ark., 2005].

Schultmann ve arkadaşları, kapalı döngü tedarik zincirlerinde tersine lojistik işlerinin modellenmesini ele almış ve otomotiv endüstrisinden bir örnek vermiş [Schultmann

ve ark., 2006]; Carol ve Kocabaşoğlu, tersine tedarik zincirlerinde ampirik (gözlensel) araştırma fırsatlarını ele almışlardır [Carol ve Kocabaşoğlu, 2006].

Chen ve arkadaşları, tersine tedarik zinciri şebeke tasarım problemini, iki aşamalı bir model olarak formüle etmişlerdir. Alt seviyede, şebekede karşılık gelen akış çifti değişken talep denge koşulları ile tanımlanırken, üst seviyede, bütçe kısıtları altında, tedarik zinciri şebekesinde ortaya çıkan toplam maliyet minimize edilmektedir. Çözüm için bir duyarlılık analizi temelli algoritma önerilmektedir. Gösterim için bir sayısal örnek sunulmaktadır [Chen ve ark., 2006].

Bu ekonomik darboğazlar çağında, maliyet baskıları artmaya devam edeceğinden, artan sayıda işletme ürün geri dönüşlerini daha maliyet etkin bir biçimde yönetmenin mümkünüğünü araştırıp ortaya çıkarmaya başlamıştır. Yine de, çok az çalışma, perakendecilerden veya son müşterilerden geri dönen ürünlerin toplandığı, tasnif edildiği ve imalatçı veya dağıtıcıların tamir tesislerine yönlendirmek için büyük nakliyeler halinde birleştirildiği, merkezi geri dönüş merkezlerinin (tersine konsolidasyon (birleştirme) noktalarının) yerleşiminin ve sayısının belirlenmesi problemine odaklanmaktadır. Araştırmanın böyle bir doğrultusundaki boşluğu doldurmak için, bu makale, ürün geri dönüşlerini kapsayan tersine lojistik problemini çözen, bir doğrusal olmayan karışık tamsayılı programlama modeli ve genetik algoritma önermektedir. Önerilen model ve algoritmanın kullanışlılığı, online satışlardan geri dönen ürünlerle ilgili açıklayıcı bir örneğe uygulanarak geçerlenmiştir [Min ve ark., 2006].

Zaarour ve arkadaşları, ürün geri dönüşleri için tersine lojistik şebekesi geliştirilmesini araştırmış [Zaarour ve ark., 2006]; Yao, kapalı döngü tedarik zinciri için bir şebeke tasarlama metoduna değinmiş [Yao, 2006]; Wang ve Fang, tersine lojistik şebekesinin tasarımı üzerine bir çalışma başlıklı bir bildiri kaleme almış [Wang ve Fang, 2006]; Wan, tersine lojistik probleminin çözümü üzerine bir araştırma yapmıştır [Wan, 2006].

Biehla ve arkadaşları, halı için tersine lojistik sistemlerinin geliştirilmesinde performans ve belirsizliğin değerlendirilmesi hususları üzerinde durmuş [Biehla ve ark., 2007]; Wojanowski ve arkadaşları, depozit verme –parayı (depoziti) geri alma altında pazarlama (perakende satış) - toplama şebekesi tasarımıyla ilgilenmişlerdir [Wojanowski ve ark., 2007].

Lee ve arkadaşları tarafından, “bir üçüncü parti lojistik (3PL) sağlayıcının tersine lojistik işlemleriyle, çok ürünlü dağıtım şebekesi tasarımı” başlıklı bir bildiri sunulmuş [Lee ve ark., 2007b]; Kocabaşoğlu ve arkadaşları, ileri ve geri tedarik zinciri yatırımlarının birbirine bağlanmasını ve işletme belirsizliğinin rolünü incemiş [Kocabaşoğlu ve ark., 2007]; Field ve Sroufe, geri dönen malzemelerin imalatta kullanımı ve bunun TZY ve işlemler stratejisi için anlamları üzerinde durmuş [Field ve Sroufe, 2007]; Srivastava, yeşil tedarik zinciri yönetimini, literatürün gelişme durumunun (seviyesi) gözden geçirilmesi [Srivastava, 2007]; Salema ve arkadaşları, tedarik zincirlerinin tersine akışlar ile tasarımı ve planlaması konusunu ele almış [Salema ve ark., 2007b]; Tang ve Xie, tersine lojistik şebeke tasarımı için bir genetik algoritma geliştirmiş [Tang ve Xie, 2007]; Salema ve arkadaşları, tek dönem, çok ürün, ileri ve geri akışı aynı anda dikkate alan, üretim / depolama kısıtlı bir tersine lojistik şebeke tasarımı [Salema ve ark., 2007c]; Listeş, tedarik (ileri) ve geri dönüş (tersine) şebeke tasarımı için genel bir stokastik model üzerinde çalışmış [Listeş, 2007]; Lua ve Bostel, “tersine akışları içeren lojistik sistemleri için bir tesis yer seçimi modeli: yeniden imalat faaliyetleri örnek olayı” başlıklı bir çalışma yapmışlardır [Lua ve Bostel, 2007].

Lee ve arkadaşları, bilgisayar ürünlerinin kullanım hakkı sonundaki geri kazanımı için lojistik şebeke tasarımı problemini, sistematik olarak ileri ve geri lojistik akışlarını yönetmek için bir deterministik programlama modeli geliştirerek, tartışmaktadırlar. Böyle bir şebeke tasarım probleminin karmaşıklığı dolayısıyla, dağıtım şebekesinin bütünleşik tasarımını, yerseçimi-atama ve düzeltilmiş şebeke akış problemine ayrıştırmak amacıyla, iki aşamalı sezgisel bir yaklaşım geliştirilmektedir. Önerilen metodun uygulanabilirliği sayısal bir çalışmada

gösterilmektedir. Hesaplama denemeleri, makul hesaplama çabaları harcanarak yüksek kaliteli çözümler elde edildiğini göstermektedir [Lee ve ark., 2007c].

Geleneksel olarak, ürün geri dönüşleri, işletmenin yaptığı, maliyet tasarrufu şansını kaybettiren, kaçınılmaz bir maliyet olarak görülmüştür. Bu rekabetçi lojistik endüstrisinde, maliyet baskıları artmaya devam edeceğinden, artan sayıda üçüncü parti lojistik (3PL) sağlayıcılar, ürün geri dönüşlerini daha maliyet etkin bir biçimde yönetmenin mümkünüğünü araştırıp ortaya çıkarmaya başlamıştır. Yine de, çok az çalışma, perakendecilerden veya son müşterilerden geri dönen ürünlerin yeniden dağıtım için muayene, tamir edildiği ve yenileştirildiği, tamir tesislerinin yerleşiminin ve sayısının belirlenmesi problemine odaklanmaktadır. Araştırmanın böyle bir doğrultusundaki boşluğu doldurmak için, bu makale, 3PL sağlayıcıları için tamir tesislerinin yer seçimi ve atamasını kapsayan tersine lojistik problemini çözen, bir karışık tamsayı programlama modeli ve genetik algoritma önermektedir. Önerilen model ve algoritmanın kullanışlılığı, değer katan hizmetler öneren 3PL sağlayıcıları ile karşı karşıya kalan açıklayıcı bir örneğe uygulanarak geçerlenmiştir [Min ve Ko, 2007].

Ko ve arkadaşları, bugünün rekabetçi iş ortamının, bir tedarik zincirinin üyesi olarak bireysel işletmeler arasında artan işbirliği ile sonuçlandığını belirtmektedir. Bundan dolayı, 3PL sağlayıcıları, tedarik zincirlerini, hem ileri hem de tersine akışlar için lojistik işlemlerini iyileştirmek isteyen belirli sayıdaki farklı müşterileri için, işletmek zorundadır. Bu tedarik zincirlerinin içinde işlemek zorunda olduğu dinamik ortamın bir sonucu olarak, 3PL sağlayıcıları, aralarında ilişkili kararların bir sırasını zaman üzerinde yapmak zorundadırlar. Ancak, geçmişte, dağıtım şebekelerinin tasarımı ileri ve tersine akışlara göre bağımsız olarak yürütülmüştür. Onun için bu makale, ileri ve geri dönüş şebekesini eşzamanlı olarak optimize eden bütünleşik bakışı hesaba katmak amacıyla, dinamik bütünleşik dağıtım şebeke tasarımı için bir karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli sunmaktadır. Bu şekildeki şebeke tasarım problemleri NP -Zor sınıfına ait olduğundan, ilgili sayısal sonuçlar ile bir genetik algoritma temelli sezgisel sunulmakta ve bir kesin algoritma ile bir problem setinde test edilmektedir. Makalede, bir şebeke planı çözümünün, malzeme

kullanım ekipmanlarının kapasiteleri ve insan kaynakları için çeşitli kaynak planlarının belirlenmesinde yardım edebileceği belirtilmektedir [Ko ve ark., 2007].

de la Fuente ve arkadaşları, işletmelerde uygulandığı gibi, ileri ve tersine lojistik şebekeleri ile eşzamanlı olarak ilgilenen tedarik zinciri yönetimini incelemektedir. TZY için önerilen bütünleşik model, işletmedeki talep, sipariş, imalat, satın alma, dağıtım, müşteri yönetimi vb. gibi prosedürlerin yeniden tanımlanmasını amaçlamaktadır. Kapsanan süreçlerin detaylı analizi, bütünleşik modelin, aslında tedarik zincirini yönetmek için gerekli olan genel süreçlerin yeni bir tanımı olan, tersine lojistikten gelen, yeni süreçleri içerdiğini göstermiştir. Bu makalede sunulan çalışma, gerçek bir örnek olay temellidir, ve öylece, bu makalede önerilen bütünleşik model metal-mekanik sektörden bir işletmede geçerkenmiştir. [de la Fuente ve ark., 2007].

Srivastava, “tersine lojistik için şebeke tasarımı” nda ürünlerin toplama ve geri dönüşümünün dünya çapında işletmelerde ve araştırmada ilgi kazandığını belirtmektedir. Artan yeşil ilgi ve yeşil tedarik zinciri kavram ve uygulamalarının yükselişi, anılan hususları (toplama ve geri dönüşümü) daha ilgili yapmaktadır. Maliyet etkili ve etkin bir tersine lojistik şebekesi için tesislerin eşzamanlı olarak yer seçimi-atamasını sağlayan kavramsal bir model geliştirmek amacıyla, literatürden girdiler ve 84 kurum ilgilisiyle yapılan resmi olmayan görüşmeler kullanılmaktadır. Yazar, modelinin geniş bir alandaki maliyetleri ve işlemleri kapsadığını belirtmekte ve önerilen tersine lojistik şebekesinin; toplama noktaları ve Hindistan şartlarında, çeşitli stratejik, operasyonel ve müşteri hizmeti kısıtları altında ürün dönüşlerinin birkaç sınıfı için, orijinal ekipman imalatçıları veya onların konsorsiyumu tarafından kurulan iki tip yeniden işleme tesisinden oluştuğunu belirtmektedir [Srivastava, 2008].

Rubio ve arkadaşları, “tersine lojistik araştırmalarının özellikleri” [Rubio ve ark., 2008]; Melo ve arkadaşları, “tesis yer seçimi ve tedarik zinciri yönetimi: literatür araştırması” [Melo ve ark., 2009]; Jämsä, “tersine lojistik şebeke tasarımında araştırma fırsatları: literatür araştırması” [Jämsä, 2009]; Akçalı ve arkadaşları,

“tersine ve kapalı döngü tedarik zincirleri için şebeke tasarımı: modeller ve çözüm yaklaşımları için açıklamalı / çıkarımlı kaynakça” [Akçalı ve ark., 2009]; Pokharel ve Mutha, “tersine lojistikte bakış açıları: literatür araştırması” [Pokharel ve Mutha, 2009]; Neto ve arkadaşları, “tersine lojistik şebekelerinde eko-etkinliğin değerlendirilmesi için bir metodoloji” [Neto ve ark., 2009]; Zhao ve Lee, “işlemler stratejisi ve tedarik zinciri yönetiminde gelişmeler ve ortaya çıkan araştırma fırsatları” [Zhao ve Lee, 2009]; Barker ve Zabinsky, “geri kazanım için tasarım” [Barker ve Zabinsky, 2010]; Easwaran ve Üster, “ileri ve tersine akış kararları ile bütünleşik, kapalı döngü tedarik zinciri şebekesi tasarım problemi” [Easwaran ve Üster, 2010]; Salema ve arkadaşları, “tedarik zincirlerinin tersine akışlar ile eşzamanlı tasarımı ve planlaması: bir genel modelleme yaklaşımı” [Salema ve ark., 2010]; Achillas ve arkadaşları, “AEEE örnek olayında politika üretmeyi desteklemek için tersine lojistik şebekesinin optimizasyonu” [Achillas ve ark., 2010a]; Kuo, “AEEE geridönüşümünü desteklemek için ‘işbirlikçi tasarım’ platformunun kurulması” [Kuo, 2010]; Mansour ve arkadaşları, “ömrünü tamamlamış araçların geri kazanımı için bir tersine lojistik şebekesi tasarımı” [Mansour ve ark., 2010]; Xanthopoulos ve Iakovou, “ileri tedarik kanalı sinerjileri ile tersine lojistik şebekesinin tasarımı için bir stratejik metodolojik optimizasyon çerçevesi” [Xanthopoulos ve Iakovou, 2010]; Ilgın ve Gupta, “çevresel bilinçli imalat ve ürün geri kazanımı (ÇBİÜGK): literatürün gelişme durumunun gözden geçirilmesi” [Ilgın ve Gupta, 2010]; Renteria ve arkadaşları, “AEEE geridönüşüm sürecini optimize etmek için bir metodoloji: Televizyon setleri ve monitörler örneği” [Renteria ve ark., 2011]; Lambert ve arkadaşları, “tersine lojistik kararları için kavramsal çerçeve” [Lambert ve ark., 2011]; Chan ve arkadaşları, “tedarik zincirlerinin optimizasyonu ve tasarımında ilerlemeler” [Chan ve ark., 2011]; Jamshidi, “tersine lojistik, lojistik işlemleri ve yönetim” [Jamshidi, 2011] ve Ongondo ve arkadaşları, “EEE atıkları yönetiminin küresel gözden geçirmesi” başlıklı bir çalışma yapmışlardır [Ongondo ve ark., 2011].

Bostel ve arkadaşları, tersine lojistik için, kantitatif tesis yer seçimi –atama modellerinin özetini vermiştir. Verilen tablo incelendiğinde şu görülmektedir: 1996-2004 yılları arasında bir çok farklı yazar tarafından yayınlanan makaleler yer

almakta, ileri ve geri akış arasında bir ilişki olup olmadığı, varsa zayıf mı güçlü mü, dengeli mi dengesiz mi olduğu, kullanılan model tipi (kapasiteli / kapasitesiz, deterministik olup olmadığı, matematiksel programlama tipi (örneğin MIP vb.), yerleştirilecek ileri / geri tesis ve ileri / geri aşama sayıları, çözüm tekniği ve uygulama başlıklarıyla sunulmaktadır. Daha detaylı incelendiğinde, ileri ve geri yöndeki; sırayla, aşamaların 1-3 ve 0-2 arasında, tesislerin ise, 0-3 ve 0-2 arasında değiştiği görülmektedir. Uygulamaların çoğunlukla belirli bir alandaki özel problem (örnek olay) üzerinde olduğu, ancak bunun yanında bazı genel uygulamalara da rastlandığı, model tipi olarak kapasiteli / kapasitesiz olabilen ancak hepsi deterministik ve karışık tamsayı programlama modeli olarak sunulmaktadır. Çözüm tekniği olarak önceki değerlendirmelerde ifade edildiği gibi, standart yazılım paketleri (CPLEX çözücü ile GAMS, AMPL, XPRESS vb. gibi), Lagrange gevşemesi, sezgiseller, farklı bir sezgisel olarak lagrange gevşemesi temelli bir sezgisel, Lagrange gevşemesi ile birlikte sezgisel ve dal-sınır kullanıldığı görülmektedir [Bostel ve ark., 2005].

Özellikle son yıllarda, birçok disiplinde ve mühendislikte olduğu gibi, Endüstri Mühendisliğinin çoğu konu alanında yapılan çalışmalarda da, daha gerçekçi ve uygulanabilir sonuçlar elde etmek için, belirsizlik ve/veya çok amaç da dikkate alınmıştır. Tezde de, ürün geri kazanımı için lojistik şebeke tasarımına, belirsizliğin etkin bir türü olan bulanık ortamda, çok amaç ile yaklaşıldığından, bu hususları da dikkate alan lojistik şebeke tasarımı çalışmalarına daha yakından ve ayrı bakmak yararlı olacaktır.

3.2. Belirsiz ve/veya Çok Amaçlı Ortamda Tersine Lojistik Şebeke Tasarımı

Gerek belirsiz gerekse çok amaçlı, özellikle de belirsiz çok amaçlı yapı, literatürde çok az işlenmiştir.

Belirsizlik ile ilgili bazı çalışmalar; [Pochampally ve ark., 2003] (belirsizlik), [Kusumastuti ve ark., 2004] (belirsizlik+çok amaç), [Chu ve Song, 2004] (belirsizlik), [Biehla ve ark., 2007] (belirsizlik), [Salema ve ark., 2007a] (belirsizlik),

[Jinan ve ark., 2007] (bulanık üçgensel sayılar ve şans kısıtlı programlama) olarak sayılabilir.

Kusumastuti ve arkadaşları, belirsizlik altında, çok amaçlı, çok dönemli, tersine lojistik şebeke tasarımı için hem benzetim modeli, hem de karışık tamsayılı programlama modeli kullanmışlardır. Matematiksel model, çok amaçlı - çok dönemli şebeke tasarım problemini modellemek, benzetim modeli de, belirsizliği dikkate almak için kullanılmaktadır. Karmaşıklık dolayısıyla, baskın çözümleri bulabilmek için minimum yayılan ağaç temelli bir genetik algoritma kullanılmaktadır. En iyi-tercih edilen tersine lojistik şebeke tasarımı belirlemek için, tercih edilen baskın çözümler, belirsizliğin çeşitli senaryoları altında Benzetime alınmaktadır [Kusumastuti ve ark., 2004].

Ahluwalia ve Nema, “bütünleşik bilgisayar atık yönetimi için çok amaçlı tersine lojistik modeli” çalışmasında, Tamsayılı Doğrusal Programlama (TDP) temelinde, biri çevresel riskin, diğeri toplam maliyetin minimizasyonu olmak üzere iki amaçlı bir model sunmaktadır [Ahluwalia ve Nema, 2006].

Altıparmak ve arkadaşları, tek ürünlü, çok aşamalı, çok amaçlı TZŞT için bir karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama (KTDOP) modeli ve NP-Zor olan bu model için bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Karar değişkenleri; talep ihtiyaçları ve kapasiteleri tatmin edecek bir dağıtım şebekesi tasarlamak için, hangi tedarikçilerle çalışılacağı ve hangi tesisler ve dağıtım merkezlerinin açılacağı şeklinde belirlenmiştir. Dikkate aldıkları ilk amaç, TZŞ'nin toplam maliyetinin minimizasyonu (dağıtım merkezi ve imalat tesisi açma ve işletim maliyetleri; tedarikçilerden tesislere hammadde ve dağıtım merkezleri ile müşterilere ürün taşımanın getirdiği değişken maliyetler), ikinci amaç, söz verilmiş teslim zamanı içerisinde dağıtılabilen toplam müşteri talebinin % olarak maksimizasyonu, üçüncü amaç, imalat tesisleri ve dağıtım merkezleri için, kapasite kullanım oranlarının hata kareleri ortalaması ile ölçülebilen kapasite kullanım oranı eşitliği, diğeri bir ifadeyle, kapasite kullanım dengesinin maksimizasyonudur [Altıparmak ve ark., 2006].

Bir tedarik zincirinde amaçlar, maksimizasyon veya minimizasyon yönlü olabilir. Maksimize edilmek istenen amaçlar, müşteri hizmet seviyesi, kar, çevresel fayda, kaynak kullanımı ve satış miktarları olabilmektedir. Müşteri hizmet seviyesi yerine, müşteri tatmini, müşteri tatmin seviyesi ve kullanıcı tatmini kavramları da eşanlamlı olarak kullanılabilir. Müşterilere (çoğu zaman, dağıtım zamanı içinde ulaşılabilen) verilen hizmetin, maksimize edilmek istenmesi bir amaç olarak dikkate alınmaktadır. Minimize edilmek istenen amaçlar ise, toplam maliyet, zararlı atıklar söz konusu olduğu zaman çevresel risk-zarar, müşterilere dağıtım merkezlerinden en kısa mesafe veya zaman ile ulaşılma (müşteriye cevap verme zamanının dolayısıyla müşterinin beklediği teslim alma zamanından geç ulaştırmanın yani gecikmenin en azlanması) vb. gibi olabilmektedir. Müşteri tatmini, esneklik ve risk yönetimi kalitatif performans ölçüleridir. Altıparmak ve arkadaşları, Beamon'un, müşteri tepkiselliği ile ilgili olan TZŞT amaçlarını, doluluk oranı maksimizasyonu, temin zamanı minimizasyonu ve müşteriye cevap verme zamanı minimizasyonu olarak verdiklerini, Chan ve Chung'un, talep yönlendiricili TZŞ'de sipariş dağıtım problemi için önerdiği çok amaçlı genetik optimizasyon prosedüründe dikkate aldıkları amaçların, toplam maliyetin, toplam dağıtım günlerinin ve imalatçılar için kapasite (örneğin, kaynakların) kullanım oranı eşitsizliğinin (dengesizliğinin) minimizasyonu olduğunu belirtmektedir. Aynı yazarlar, Sabri ve Beamon'un, ürün, dağıtım ve talep belirsizliği altında, maliyet, doluluk oranları ve esneklik amaçlarını dikkate alarak, stratejik ve operasyonel tedarik zinciri planlaması için, bütünleşik çok amaçlı TZ modeli geliştirdiğini ve çözüm metodolojisi olarak " ε - kısıt" metodunu kullandıklarını belirtmektedir. Yine, Chen ve Lee'nin, çok aşamalı TZŞ için, belirsiz talep ve ürün fiyatlarını dikkate alarak çok amaçlı-aşamalı-ürünlü-dönemli çizelgeleme modeli geliştirdiğini ve amaç olarak, ortaklar arasında adil kar dağıtımı, güvenli stok seviyeleri, maksimum müşteri hizmet seviyeleri, belirsiz talepler için kararların sağlamlığını dikkate aldıklarını ve problemi çözmek için iki aşamalı bir bulanık karar verme metodu önerdiklerini belirtmektedirler [Altıparmak ve ark., 2006].

Du ve Evans, tamir hizmeti gerektiren geri dönüşlerle ilgili tersine lojistik şebeke analizine odaklanmaktadır. Satış sonrası hizmet için üçüncü parti lojistik (3PL)

sağlayıcıdan dış kaynak kullanım hizmeti alan bir imalatçı ile ilgili bir problem önerilmektedir. İlk önce iki amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. İki amaç, toplam maliyetin minimizasyonu ve çevrim zamanının toplam gecikmesinin minimizasyonu olarak belirlenmiştir. Tesis kapasitesi seçeneği, her bir potansiyel yerleşimde, kesikli bir parametre olarak düşünülmektedir. Amaç, ilgili taşımanın müşteri bölgeleri ile hizmet tesisleri arasındaki akışında olduğu gibi, potansiyel tesis yerleşimleri arasında, tesis kapasite planlaması için, baskın çözümler seti bulmaktır. Böylece, bu iki amaçlı optimizasyon modelini çözmek için bir çözüm yaklaşımı tasarlanmaktadır. Çözüm yaklaşımı, üç algoritmanın birleşiminden oluşmaktadır: dağınık arama, dual simplex metodu ve kısıt metodu. Son olarak, hesaplama analizleri üç örnek üzerinde yapılmaktadır. Sayısal sonuçlar, iki amaç arasındaki ödünleşme ilişkisini sunmaktadır. Ayrıca, sayısal sonuçlar, ikinci amaç fonksiyonunun optimizasyonu, merkezi olmayan bir şebeke yapısında sonuçlanırken, birinci amaç fonksiyonunun optimizasyonunun merkezi bir şebeke yapısına götürdüğünü göstermektedir [Du ve Evans, 2007].

Lee ve arkadaşlarına göre, ileri ve geri lojistik arasındaki fark ve etkileşim yüzünden, ileri ve geri kanalların nasıl bütünleştirileceği ortaya çıkan önemli bir konu olmuştur. Çok az sayıda mevcut çalışma, ileri ve geri dağıtımını bütünleştirmeye girişmiştir. Dahası, böyle bütünleşik dağıtımlardaki maliyet tasarrufu ve müşteri tatmini için artan fırsatlar, 3PL sağlayıcılarını, ileri ve geri işlemleri kapsamaya yönlendirmiştir. Bu makale, ilk önce, eşzamanlı olarak ileri ve geri dağıtım için, 3PL sağlayıcının aktivitelerini dikkate alarak bir model geliştirmektedir. Önerilen modelde iki amaç bulunmaktadır: (1) müşterilerden toplama tesislerine doğru geri taşınan geri dönmüş ürünlerin maksimizasyonu; ve (2) ileri ve geri lojistik işlemleri ile ilgili toplam maliyetin minimizasyonu. Çok amaçlı modelin uzlaşık çözümünü belirlemek için, bulanık hedef programlama (BHP) yaklaşımı uygulanmaktadır. Daha sonra, problemi çözmek için, iki alt algoritmali bir genetik algoritma (GA) geliştirilmektedir. Formüle edilmiş modelin ve önerilen çözüm metodunun uygulanabilirliğini göstermek amacıyla sayısal denemeler sunulmaktadır [Lee ve ark., 2007a]. Ayrıca, Lee ve arkadaşlarının bir başka çalışmasında da, çok amaç konu edinilmiştir [Lee ve ark., 2007b].

Salema ve arkadaşları, “belirsizlik altında, çok ürünlü, kapasitelendirilmiş, tersine lojistik şebeke tasarımı için bir optimizasyon modeli” nde, adından anlaşılacağı gibi, tersine dağıtım şebeke tasarımını çalışmışlardır. Bu konuda önerilmiş modellerin büyük çoğunluğunun örnek temelli olduğundan, genelliği yansıtma bakımından zayıf olduğunu belirtmektedirler. Yazarlar, bu çalışmalarında bu sınırlamayı aşmaya çalıştıklarını ve geliştirilmiş bir model önerdiklerini ifade etmektedirler. Kapasite sınırları, çok ürün yönetimi ve ürün talepleri ve geri dönüşler ile ilgili belirsizlik dikkate alındığında, genel bir tersine lojistik şebekesinin tasarımı düşünülmüştür. Standart Dal-Sınır (B&B) teknikleri kullanılarak çözülen bir karışık tamsayılı formülasyon geliştirilmiştir. Model açıklayıcı örneklere uygulanmıştır [Salema ve ark., 2007a].

Pati ve Kumar, geri dönüşümlü kağıt dağıtım şebekesi için karışık tamsayılı hedef programlama (KTHP) modeli geliştirmiştir. Dikkate aldıkları amaçlar; tersine lojistik maliyetlerinin indirgenmesi, kaynakta artırılmış ayırma ile ürün kalitesinin artırılması ve atık kağıt geri kazanımı ile çevresel faydanın maximizasyonudur [Pati ve Kumar, 2008].

Pokharel, etkileşimli (interaktif) yaklaşımı kullanarak -2 amaçlı ileri tedarik zinciri için- eşzamanlı olarak çok amaç dikkate alındığında, şebekenin, tek amacın dikkate alınması durumuna göre nasıl değişeceğinin karşılaştırmasını yapmıştır [Pokharel, 2008].

Pokharel’in dikkate aldığı amaçlar, toplam maliyetin minimizasyonu ve bir aşamadan diğerine olan tedarik güvenilirliğinin maksimizasyonudur. Pokharel, TZŞ üzerinde stratejik karar verme için dikkate alınabilecek çeşitli amaçları şöyle sıralamaktadır: (1) hizmet seviyesinin artırılması, (2) depo(lama) maliyetlerinin azaltılması, (3) toplam sabit ve değişken maliyetlerin azaltılması (4) temin zamanlarının azaltılması (sipariş işleme ve tedarik temin zamanlarının azaltılması), (5) tedarikçi temelinin birleştirilmesi, (6) tedarikçi güvenilirliğinin artırılması, (7) kapasite kullanımının artırılması, (8) tedarikin toplam kalitesinin artırılması. Ayrıca bazı araştırmacıların, kararlı olmayan bölgeden gelen siparişlerin minimizasyonu ve

dağıtım zamanı veya mesafesinin minimizasyonu gibi ek amaçlar önerdiklerini belirtmektedir. Pokharel, TZŞT’da Çok Amaçlı Programlama (ÇAP) kullanımı için yapılan ilk çalışmalardan birinde, satın alma maliyeti, rededilmiş parçalar ve geç dağıtımların minimizasyonu gibi üç amacın dikkate alındığını ve çeşitli amaçlar üzerinde ağırlıklar kullanarak çözümün elde edildiğini belirtmektedir. Ayrıca, aynı şekilde bir araştırmacının da, kapasiteli tesis yer seçimi ve atamayı analiz etmek için ağırlık temelli bir ÇAP modeli kullandığını, bazı araştırmacıların, müşterilerin depolara atanması için iki kriterli bir model önerdiğini ve dikkate aldıkları amaçların maliyetlerin ve müşteriler ile depolar arasındaki geçiş zamanının minimizasyonu olduğunu, diğer araştırmacıların, stokastik tedarik zinciri ortamında, tesislerin ve depoların sayıları, yer seçimleri ve kapasitelerini seçmek için, net bugünkü değer maksimizasyonu, talep tatmininin maksimizasyonu ve finansal riskin minimizasyonu olarak belirledikleri üç amacı kullandıklarını belirtmektedir. Pokharel, önerdiği metodolojinin araştırmacılar ve karar vericiler tarafından tedarik zinciri tasarım amaçlarının karşılanmasında kullanılabilmesini beklediğini belirtmektedir [Pokharel, 2008].

Qin ve Ji, “bulanık ortamda ürün geri kazanımı için lojistik şebeke tasarımı” [Qin ve Ji, 2010]; Chu ve arkadaşları, “evsel aletlerin çok aşamalı tersine lojistik şebekesi için şans kısıtlı programlama modeli” [Chu ve ark., 2010]; Pishvae ve Torabi, “belirsizlik altında, kapalı döngü tedarik zinciri şebeke tasarımı için bir olabilirlikli programlama yaklaşımı” [Pishvae ve Torabi, 2010]; Liang, “belirsiz ortamda, kesin olmayan çok amaçlı bütünleşik imalat/dağıtım planlama kararları” [Liang, 2010]; Peidro ve arkadaşları, “belirsizlik altında tedarik zinciri planlaması için bulanık doğrusal programlama” [Peidro ve ark., 2010]; Mula ve arkadaşları, bulanık talep ile tedarik zinciri üretim planlaması için bulanık matematiksel programlama yaklaşımının etkinliği” [Mula ve ark., 2010]; Lee ve arkadaşları, “belirsizlik altında sürdürülebilir lojistik şebekesinin tasarımı” [Lee ve ark., 2010]; Mohammadi ve arkadaşları, “bulanık mantık yaklaşımı ile belirsizlik ortamında kusursuz tedarik zinciri yönetimi şebeke tasarımı” [Mohammadi ve ark., 2011]; Pishvae ve arkadaşları, “belirsizlik altında kapalı döngü tedarik zinciri şebeke tasarımı için sağlam (gürbüz) optimizasyon yaklaşımı” [Pishvae ve ark., 2011]; Kabak ve

Ülengin, “tedarik zinciri şebeke kararları için olabirlikli doğrusal programlama yaklaşımı” [Kabak ve Ülengin, 2011]; Mirzapour ve arkadaşları, “tedarik zincirinde, belirsizlik altında, çok-ürün çok-yer ile, bütünleşik planlama için, çok amaçlı gürbüz optimizasyon modeli” [Mirzapour ve ark., 2011] ve Zhang ve arkadaşları, “belediye katı atık yönetim sistemleri için kesin olmayan tersine lojistik şebeke modeli” başlıklı bir çalışma yapmışlardır [Zhang ve ark., 2011].

3.3. Gerçek / Hipotetik Temelli Tersine Tedarik Zinciri Örnek Olay Uygulamaları

[Barros ve ark., 1998], kum geri dönüşümü; [Krikke ve ark., 1999a], otomotiv endüstrisi; [Krikke ve ark., 1999b], fotokopi makinaları; [Blanc ve ark., 2004], LPG tankları için geri dönüşüm; [Schleiffer ve ark., 2004], Avrupa'nın otomotiv endüstrisi; [Schultmann ve ark., 2006], otomotiv endüstrisi (Almanya'da ömrü biten araçlar üzerine bir uygulama); [Ahluwalia ve Nema, 2006], bütünleşik bilgisayar atık yönetimi için çok amaçlı tersine lojistik model; [Biehla ve ark., 2007], halı için tersine lojistik sistemlerinin geliştirilmesinde performans ve belirsizliğin değerlendirilmesi hususları ve [Du ve Evans, 2007], tamir hizmeti gerektiren geri dönüşlerde üçüncü parti lojistik sağlayıcıdan dış kaynak kullanım hizmeti alan bir imalatçı ile ilgili bir problem önermiştir. [de la Fuente ark., 2007], işletmelerde uygulandığı gibi ileri ve tersine lojistik şebekeleri ile eşzamanlı olarak ilgilenmiş ve gerçek bir örnek olay vererek modellerini metal-mekanik sektörden bir işletmede geçermiş; [Lee ve ark., 2007a], üçüncü parti lojistik (3PL) sağlayıcılarının bütünleşik ileri ve tersine lojistik şebeke tasarımı için çok amaçlı bir model ve çözüm yaklaşımı önermiş; [Lee ve ark., 2007c], bilgisayar ürünlerinin kullanım hakkı sonundaki geri kazanımı için lojistik şebeke tasarımı problemini ele almış; [Min ve Ko, 2007], 3PL sağlayıcıları için tamir tesislerinin yerseçimi ve atamasını kapsayan tersine lojistik problemini çözen, bir karışık tamsayılı programlama modeli ve genetik algoritma önermiş; [Ko ve ark., 2007], 3PL sağlayıcıları için dinamik bütünleşik dağıtım şebeke tasarımı ve bir karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli sunmuştur. Bu çalışmalardan bazıları ile başka birkaç çalışma

aşağıda daha ayrıntılı olarak ele alınarak, TLŞT problemi örnek olaylarının daha iyi incelenmesi ve anlaşılması sağlanmaya çalışılmıştır.

1990'lı yıllardaki dokuz örnek olay farklı alanlara uygulanmıştır. Bunlar, halı geri dönüşümü; elektronik yeniden imalat (fotokopi makinesi yeniden üretimi); bilgisayar yeniden üretimi; Amerika (US) cep telefonu yeniden imalat örneğindeki gibi uzmanlaşmış 3. partiler içindir. Bu örnekler, lojistik şebekesi, toplama, yeniden imalat ve yeniden dağıtım aktivitelerini kapsamaktadır. Diğer örnek olaylar, yeniden kullanılabilen paketler; yıkım atığından kum geri dönüşümü ve çelik endüstrisinde ara ürünler ve üretim artıkları için geri dönüşümdür [Fleischmann ve ark., 2001].

De Brito ve arkadaşları, tersine lojistik ile ilgili, gerçek, yaklaşık altmış (60) örnek olayı incelemiş ve bunları çeşitli açılardan (endüstri ve ürün kategorisine göre) sınıflandırmışlardır. Örnek olayların yaklaşık % 60'nın imalat, %20'sinin toptan satış ve perakende ticaret, % 10'nun ise yapı (inşaat) ile ilgili olduğunu gözlemlediklerini belirtmektedirler. Ayrıca, ulaşım ve iletişim, kamu yönetimi, savunma ve diğer kamu hizmetleri (çöp imhası gibi) örnek olaylarının dikkate alındığını ifade etmektedirler. Örnek olayların çoğunun imalatla ilgili olduğu ancak gelecekte toptan satış ve perakende ticaret ile ilgili daha çok örnek olaya uygulanacağını belirtmektedirler [De Brito ve ark., 2002b].

Aynı zamanda, ürüne göre gruplandırma yaptıklarında, tüm örnek olayların hemen hemen yarısının metal ürünler, makine ve ekipmanla ilgili olduklarını gözlemlemişlerdir. İşlenen ürünlerin yaklaşık %30'unu odun, kağıt ve plastik gibi taşınabilir ürünler oluşturmaktadır. Ürünlerin yaklaşık %20'si gıda ürünleri, içecek, tütün, tekstil ve giyimden oluşmaktadır. Ürünlerin %10'dan daha azı maden ve mineraller kategorisine girmektedir [De Brito ve ark., 2002b].

De Brito ve arkadaşları, gerçek örnek olay temelli çalışmaları “şebeke yapısı”, “ilişkiler”, “stok yönetimi”, “planlama ve kontrol” ve “bilgi teknolojisi” kategorileri altında ayrı tablolarda vermektedir. Her bir kategoriyi, referans (araştırmacı (lar), yıl); ürün (giren ürün, proses, çıkan ürün); tedarik zinciri (gönderen, toplayan,

işleyen, müşteri, önyak olanlar, yönlendiriciler); ana başlıkları altında sunmaktadır. Bu örnek olaylar içerisinde, “şebeke yapısı” üzerine odaklanan çalışmalar, sırayla, ürün ve prosese göre aşağıda verilmektedir: aküler - geri dönüşüm; evsel atık - geri dönüşüm; meşrubat şişeleri - temizleme; büyük beyaz eşyalar - geri dönüşüm; ürünler, paketleme malzemeleri ve dağıtım ürünleri - çeşitlerine ayırma, yeniden stoklama; kullanılmayan ayakkabılar, spor nitelikli malzemeler, atık kağıt ve reklam malzemeleri - çeşitlerine ayırma, yeniden stoklama; kullanılmayan ürünler, elbise askısı, parmaklıklılı raf - çeşitlerine ayırma, yeniden stoklama; kullanılmayan ürünler / reklam malzemeleri / kaplar (ambalajlar) - çeşitlerine ayırma, yeniden stoklama; çeşitli ürünler - çeşitlerine ayırma; tüketici eşyaları - çeşitlerine ayırma; kumaşlar, küçük aletler - çeşitlerine ayırma; hatalı parçalar - tamir; monoteynirlar - toplama, dağıtım; atık kağıt - toplama, geri dönüşüm vb., yakma; kullanılmış tarayıcılar, yazıcılar, fotokopi makineleri, fakslar, toner kartuşları, ambalaj malzemeleri - yeniden imalat, geri dönüşüm; yerli binalar - geri dönüşüm; araba hurdaları - geri dönüşüm; cam şişe, kavanoz - geri dönüşümdür [De Brito ve ark., 2002b].

“İlişkiler”, “stok yönetimi”, “planlama ve kontrol” ve “bilgi teknolojisi” kategorileri içerisinde yer alan örnek olay uygulamaları ise ürün ve / veya prosese göre şunlardır: kullanılmış araba motorları - yeniden imalat ve yenileştirme; bilgisayar kasaları / paletleri - temizleme; yıkım veya inşaatlardan gelen taşlar - temizleme ve geri dönüşüm; demiryolu yedek parçaları; telefon değişimi için tamir edilebilir devre kartı; uçak motoru; duymaya yardımcı / konuşma birleştirici aletler vb.; bira fiçileri; kullanıldıktan sonra atılan (disposable) kameralar; kullanılmış araba parçaları; palet / palet kapakları; PVC levhaları; metro-altulaşım/transit arabaları; havacılık elektroniği ekipmanı; cam artığı üretimi; dizel motor bileşenleri; alçıtaşı; odun katmanları (iç ve dış üretim artıkları); beyaz ve kahverengi eşyalar; ara ürünlerden değerli eczacılık malzemeleri; içecek, yiyecek vb. için teneke kutu ambalajlar; inşaat aktivitelerinden artıklar; kullanımı sona ermiş buzdolapları; bilgisayarlar; aydınlatma ve diğer plastikler; devre kartları; telefonlar, kullanılmış Xerox ekipmanları [De Brito ve ark., 2002b].

Blanc ve arkadaşları, LPG tankları için geri dönüşüm sisteminin yeniden tasarımını incelemiştir. Hollanda'da bulunan otomobil geri dönüşüm organizasyonunda (auto recycling Nederland; ARN) bir uygulama yapmışlardır. Birçok tersine lojistik şebeke tasarımında olduğu gibi, sistem davranışlarındaki belirsizlik ve güvenilir verileri bir araya getirme zorunluluğu bu çalışmanın ana özellikleridir. Problemi bir araç rotalama problemi olarak vermiş ve belirsizliği duyarlılık analizi ile gidermeye çalışmışlardır [Blanc ve ark., 2004].

Bostel ve arkadaşları, TLŞT ile ilgili yakın geçmiş literatür taramasında uygulama ve örnek olay olarak aşağıda belirtilenlerin bulunduğunu ifade etmektedir: yetiştirme çiftliği; kap (ambalaj) taşıma planlaması; geri -dönüşüm örnek olayı-genel model; tamir hizmeti örnek olayı-genel model; direkt yeniden kullanım örnek olayı-genel model; yeniden imalat örnek olayı-genel model ile diğer bazı araştırmacıların önerdiği genel modellerdir [Bostel ve ark., 2005].

Chang ve arkadaşları, atık elektrik ve elektronik ekipmanlarını toplayan ve onları yeniden işleyen Çin'deki bir işletme için toplam maliyeti minimize etmek amacıyla, açılacak demontaj merkezi/yeniden işleme merkezi sayısı ve yerleşimini, toplama merkezlerinden demontaj merkezlerine ve demontaj merkezlerinden atık imhaya gidecek miktarları bulduran bir MILP modeli geliştirmiştir. Maliyet; toplama, taşıma, sabit, günlük işletim ve atık imha maliyetlerinden oluşmaktadır. Belirsizliğin dikkate alınmaması (WEEE miktarı ve kalitesindeki, özellikle kalitesindeki), modelin tek amaçlı olması (stratejik yönetim, çevresel düzenleme ve müşteri hizmetleri ile ilgili başka amaçlar da olabilirdi) ve hipotetik veriler kullanmalarının çalışmalarındaki eksiklikler olduğunu belirterek bu eksiklikleri dikkate alan çalışmaları gelecek araştırma fırsatları olarak önermişlerdir [Chang ve ark., 2006].

Jinan ve arkadaşları, belirsiz ortamda, 3PL sağlayıcıları açısından bir yeniden imalat lojistik şebeke tasarım problemini çalışmışlardır. Potansiyel riskleri azaltmak amacıyla, 3PL sağlayıcılarının müşterileri için tersine lojistik şebekesini yapılandırırken yeniden imalat lojistik aktivitelerinin belirsizliğini tanımlamışlardır. Onun için, biriken talep ve ulaştırma maliyetlerinin bulanıklık ve belirsizliğini

değerlendirmek amacıyla, üçgensel bulanık sayılar kullanarak bir bulanık şans kısıtlı programlama modeli önermişlerdir. Bulanık modeli çözmek için, bulanık küme teorisi, α -kesme teorisi ve genişleme prensibi ile bağlanan bir melez genetik algoritma geliştirmişlerdir. Uyguladıkları sayısal örnek ile, belirsiz koşullar altında 3PL sağlayıcıları için, etkili ve etkin bir yeniden imalat lojistik şebekesi tasarlamının mümkün olduğunu belirtmişlerdir [Jinan ve ark., 2007].

Srivastava, televizyonlar, yolcu arabaları, buzdolapları, bulaşık makineleri ve kişisel bilgisayarlar gibi ürün kategorilerini örnek olarak almıştır [Srivastava, 2008].

Cagno ve arkadaşları, “ürün geri kazanım şebekesinin modellenmesi ve planlanması: İtalya’da ömrünü tamamlamış buzdolapları örnek olayı” [Cagno ve ark., 2008]; Cruz - Rivera ve arkadaşları, “Meksika’da ömrünü tamamlamış araçlar için tersine lojistik şebeke tasarımı” [Cruz - Rivera ve ark., 2009]; Achilles ve arkadaşları, “AEEE işleme tesislerinin optimal yer seçimi için karar destek sistemi: Yunanistan’da bir örnek uygulama” [Achillas ve ark., 2010b]; Jang ve Kim, “Kore’de, kullanılmış ve ömrünü tamamlamış cep telefonlarının yönetimi: literatür araştırması” [Jang ve Kim, 2010]; Mar-Ortiz ve arkadaşları, “AEEE toplama için geri kazanım şebekesi tasarımı: Galiçya, İspanya örnek olayı” [Mar-Ortiz ve ark., 2011]; Tuzkaya ve arkadaşları, “tersine lojistik şebekelerinin stratejik tasarımı için bir metodoloji ve Türk beyaz eşya endüstrisinde uygulanması” [Tuzkaya ve ark., 2011]; Gomes ve arkadaşları, AEEE için geri kazanım şebeke modellemesi: Portekiz’de bir örnek çalışma” [Gomes ve ark., 2011]; Wäger ve arkadaşları, “İsveç AEEE toplama ve geri kazanım sistemlerinin çevresel etkileri: bir izleme” [Wäger ve ark., 2011]; Wang ve arkadaşları, “Şhangay’da e-atık üzerine tersine lojistik şebekesinin optimal tasarımı” [Wang ve ark., 2011]; Ongondo ve Williams, “İngiltere’de cep telefonlarının toplanması, yeniden kullanımı ve geridönüşümü” [Ongondo ve Williams, 2011] ve Yamane ve arkadaşları, AEEE geridönüşümü: cep telefonları ve bilgisayarlardan çıkarılan, kullanımı bitmiş baskılı devre kartlarının özelliği” başlıklı çalışmalar yapmışlardır [Yamane ve ark., 2011].

Aras, yazıcı toner kartuşları, fotokopi makineleri, taşıt araçlarındaki vites kutusu ve motor, ağır vasıta tekerlekleri, ofis mobilyaları, cep telefonları, tıbbi ekipmanlar ve hastane yataklarını, bazı geri kazanım faaliyetlerine örnek olarak göstermektedir [İnternet: Aras, N., 2011].

Dünyada uluslar arası markalar olarak bilinen işletmelerden geri kazanım uygulamaları yapanlar arasında; HP, IBM, Sony, Bosch, 3M, BMW, Ford, DuPont, Mercedes, Opel, Fuji, Kodak, Nike, UPS ve Xerox sayılabilir.

Türkiye’de TL uygulamaları, özellikle Batı’ya ve Avrupa’ya göre, oldukça azdır. Ancak çevreyle ilgili düzenlemeler, Batıyla yoğun ve stratejik işbirlikleri olan Türkiye’nin de gerek kamu gerekse de özel (kar amaçlı veya amaçsız) TL uygulamalarını gerçekleştirmesini ve yasallaştırmasını zorunlu kılmaktadır.

Bugün, Türkiye’de yasal olan TL uygulamalarına örnek olarak; ömrünü tamamlamış araçlar, atık pil ve akü, atık yağ, bitkisel atık yağ, ambalaj atığı, tıbbi atık, tehlikeli atık, katı atık sayılabilir [İnternet: Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı, 2011].

Avrupa Birliği’nin şart koştuğu maddeler içerisinde olmasına rağmen, Türkiye’de, kendilerine ek sorumluklar ve maliyet getireceği gerekçeleriyle, Özel Sektör AEEE Kontrolü Yönetmeliğine sıcak bakmamakta ve dolayısıyla anılan Yönetmeliğin yasalaşması gecikmektedir

Çalışmanın bundan sonraki Bölümünde, tez çalışmasında kullanılan deterministik ve bulanık ÇAKV yaklaşımlarından söz edilmektedir.

4. DETERMİNİSTİK VE BULANIK ORTAMDA ÇOK AMAÇLI KARAR VERME

Rekabetin yoğun olduğu günümüzde, yöneticilerin gerek stratejik gerekse taktik kararlar alırken bir çok ölçütü göz önünde bulundurmaları durumunda oldukları aşıkardır [Evren ve Ülengin, 1992].

İkinci Dünya savaşı sırasında ve sonrasında, tek amaç fonksiyonunun optimizasyonuna dayanan Yöneylem Araştırması teknikleri birçok alanda başarıyla uygulanmıştır. Daha sonraları pratikte sık sık karşılaşılan birden fazla amacın birlikte optimizasyonunu gerektiren problemlerin matematiksel çözümü üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bunun sonucunda, özellikle 1970'li yıllarda iki ve daha fazla amaç fonksiyonunun optimizasyonuna dayanan yöntemler geliştirilmiştir [Evren ve Ülengin, 1992].

Yüzyılın yön değişiminde, karmaşık gerçek dünya sistemlerini, kesin matematiksel modeller içerisinde sokmak, fen ve mühendislikteki ana eğilim idi. Yüzyılın ortasında (1950'lerde) Yöneylem Araştırması, gerçek dünya karar verme problemlerine uygulanmaya başladı ve böylece, fen ve mühendislikte en önemli alanlardan biri oldu. Ne yazık ki, gerçek dünya durumları, sıklıkla öyle belirli değildir. Onun için, kesin matematiksel modeller, bütün uygulamalı problemleri çözmek için yeterli değildir [Lai ve Hwang, 1992].

Bulanık Küme Teorisi (BKT), insan bakış açısı içeren, gerçek dünya karmaşık sistemlerini, basitleştirilmiş modeli iyileştirerek ve böylelikle daha sağlam ve esnek model geliştirerek, çözmek amacıyla ortaya çıkarılmıştır. Dahası, BKT, karar vericiye, sadece verilen kısıtlar altında bütün mevcut alternatifleri dikkate almak (verilen bir sistemi optimize etmek) için değil, aynı zamanda yeni alternatifler geliştirmek (bir sistemi tasarlamak) için de yardım etmektedir

Yukarıda anılan gerekçelerle, bu tezde, deterministik ve bulanık ortamda, aşağıda belirtilen, ÇAKV yaklaşımları kullanılmıştır.

4.1. Tezde Kullanılan Yaklaşımlar

Deterministik ve bulanık ortamda, Tezde kullanılan yaklaşımlar ve matematiksel modelleri aşağıda verilmektedir.

Deterministik ortamda;

- I- Önceliği Koruma Yöntemi ile amaçların optimizasyonu için çözüm yaklaşımı,
- II- Önceliği Koruma Yöntemi ile amaçlara ulaşmak için çözüm yaklaşımı,

Bulanık ortamda;

- I- Zimmermann'ın Bulanık Doğrusal Programlama yaklaşımı [Zimmermann, 1978]
- II- Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı [Hannan, 1981a]
- III- Yang ve Arkadaşlarının Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı [Yang ve ark., 1991]
- IV- Tiwari ve arkadaşlarının Öncelikli Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı [Tiwari ve ark., 1986] temelinde Hannan [Hannan, 1981a] yaklaşımı
- V- Tiwari ve arkadaşlarının Öncelikli Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı [Tiwari ve ark., 1986] temelinde Yang ve arkadaşlarının yaklaşımı [Yang ve ark., 1991]
- VI- Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımı [Hannan, 1981b]
- VII- Tiwari ve arkadaşlarının Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımı [Tiwari ve ark., 1987]

I- Zimmermann'ın Bulanık Doğrusal Programlama Yaklaşımı [Zimmermann, 1978]

Bu yaklaşım, Zadeh'in Max-Min yaklaşımını esas almıştır. Uzlaşının genel tatmin seviyesini gösteren $\alpha = \min_k \mu_k(x)$ olarak alındığında,

$$\text{Max } \alpha \quad (4.1)$$

$$\text{s.t. } \alpha \leq \mu_k(x), \forall_k \quad (4.2)$$

$$x \in X \quad (4.3)$$

Max-Min Yaklaşımı

Bir matematiksel programlama modelinde k tane bulanık kısıtın toleransları verilirse üyelik fonksiyonları $(\mu_k(x), \forall k)$ oluşturulabilir. Mümkün çözüm kümesinin üyelik fonksiyonu, $\mu_D(x)$, bütün kısıtların üyelik fonksiyonlarından en küçük olanına eşit olacaktır.

$$\mu_D(x) = \min(\mu_1(x), \dots, \mu_k(x)) \quad (4.4)$$

$x \in X$ kısıtları altında $\mu_D(x)$ 'i maximize eden problemin çözülmesiyle seçilen çözüm elde edilebilir. Matematiksel olarak,

$$\max [\min_k \mu_k(x)] \quad (4.5)$$

$$\text{s.t. } x \in X \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edilir.

II- Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama Yaklaşımı [Hannan, 1981a]

$$\text{Max } \alpha \quad (4.7)$$

$$\text{s.t. } (Ax)_i / d_i + \delta_i^- - \delta_i^+ = b_i / d_i, \quad \forall_i \quad (4.8)$$

$$\alpha + \delta_i^- + \delta_i^+ \leq 1, \quad \forall_i \quad (4.9)$$

$$\delta_i^-, \delta_i^+ \geq 0, \quad \forall_i \quad (4.10)$$

$$\delta_i^- \delta_i^+ = 0 \quad \forall_i \quad (4.11)$$

$$\alpha \in [0,1] \quad (4.12)$$

$$x \geq 0 \quad (4.13)$$

δ_i^-, δ_i^+ , sırayla, negatif ve pozitif yöndeki sapmalardır.

III- Yang ve Arkadaşlarının Bulanık Amaç Programlama Yaklaşımı [Yang ve ark., 1991]

$$\text{Max } \alpha \quad (4.14)$$

$$\text{s.t.} \quad [(Ax)_i - (b_i - d_i)] / d_i \geq \alpha \quad \forall_i \quad (4.15)$$

$$[(b_i + d_i) - (Ax)_i] / d_i \geq \alpha \quad \forall_i \quad (4.16)$$

$$\alpha \in [0,1] \quad (4.17)$$

$$x \geq 0 \quad (4.18)$$

IV- Tiwari ve Arkadaşlarının Öncelikli Bulanık Amaç Programlama Yaklaşımı [Tiwari ve ark., 1986] Temelinde Hannan Yaklaşımı [Hannan, 1981a]

V- Tiwari ve Arkadaşlarının Öncelikli Bulanık Amaç Programlama Yaklaşımı [Tiwari ve ark., 1986] Temelinde Yang ve Arkadaşlarının Yaklaşımı [Yang ve ark., 1991]

Yukarıda sözü edilen Hannan (IV) ve Yang (V) yaklaşımlarının matematiksel modelleri daha önce ayrı ayrı verildiğinden, burada sadece bu yaklaşımların temel aldıkları, Tiwari ve arkadaşlarının Öncelikli Bulanık Amaç Programlama yaklaşımının [Tiwari ve ark., 1986] matematiksel modeli verilmektedir.

Tiwari ve Arkadaşlarının Öncelikli Bulanık Amaç Programlama Yaklaşımı [Tiwari ve ark., 1986]

$$\text{Bul } x \quad (4.19)$$

$$\text{Öyle ki} \quad g_i(x) = b_i - d_i (\delta_i^{-*} - \delta_i^{+*}), \quad i=1, \dots, m_1 \quad (4.20)$$

$$g_i(x) = b_i - d_i (\delta_i^{-*} - \delta_i^{+*}), \quad i= m_1+1, \dots, m_1+m_2 \quad (4.21)$$

$$g_i(x) = \tilde{b}_i \quad i= m_1+m_2+1, \dots, m_1+m_2+m_3 \quad (4.22)$$

$$x \geq 0 \quad (4.23)$$

δ_i^{-*} ve δ_i^{+*} , $i=1, \dots, m_1$ için 1. alt-problemin, ve $i= m_1+1, \dots, m_1+ m_2$ için 2. alt-problemin çözümleridir. Bu prosedür, bütün öncelik seviyeleri bitinceye kadar tekrarlanır (K tane öncelik varsa, K tane alt problem çözülür, diğer deyişle, problem K tane alt probleme bölünür).

VI- Tiwari ve Arkadaşlarının Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model Yaklaşımı [Tiwari ve ark., 1987]

$$\text{Max } \sum_i w_i \mu_i \quad (4.24)$$

$$\text{s.t. } \mu_i(x) \in [0,1], \quad \forall_i \quad (4.25)$$

$$x \geq 0 \quad (4.26)$$

VII- Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model Yaklaşımı [Hannan, 1981b]

$$\text{Min } \sum_i w_i (\delta_i^- + \delta_i^+) \quad (4.27)$$

$$\text{s.t. } (Ax)_i / d_i + \delta_i^- - \delta_i^+ = b_i / d_i, \quad \forall_i \quad (4.28)$$

$$\delta_i^-, \delta_i^+ \geq 0, \quad \forall_i \quad (4.29)$$

$$\delta_i^- \delta_i^+ = 0 \quad \forall_i \quad (4.30)$$

$$x \geq 0 \quad (4.31)$$

δ_i^-, δ_i^+ , sırayla, negatif ve pozitif yöndeki sapmalardır.

Tezin bundan sonraki 4.2. başlığı altında, Bulanık Matematiksel Programlama ve Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme yaklaşımları ile ilgili genel bilgiler ve değerlendirme verilmiş ve böylelikle, Tezde kullanılan yaklaşımların avantajları ve seçilme gerekçeleri açıklanmaya çalışılmıştır.

4.2. Bulanık Matematiksel Programlama ve Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme

Karar Vermede (KV), kantitatif yöntemler, bunların içinde önemli bir yer tutan Yöneylem Araştırması (YA) ve onun bir alt konusu olan matematiksel programlama sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, gerçek dünya ve durumlar için YA'nın kesinlik gerektiren yapısı uygun olmadığından, son 40 yıldır, bulanık / olabirlikli matematiksel programlama yöntemleri geliştirilerek daha etkin çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, matematik-fen ve mühendislikte, tek amaçlı yapının yetersizliğini gidermek için, yine gerçek durumlarda çokça rastlanan Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemler içinde, daha etkin olan “etkileşimli” yaklaşımlara eğilim gittikçe artmaktadır.

Albert Einstein'ın (1921) “matematik kanunları gerçekliği ne kadar gösteriyorsa, o derecede kesin değildir, ne kadar kesinse, o derecede gerçekliği ifade etmiyordur” ile, Bertrand Russell'in (1923) “bütün geleneksel mantık, alışılmış şekilde, kesin semboller kullanıldığını varsayar. Onun için, sadece hayal edilmiş göksel varlıklara uygulanabilir, dünyevi hayata uygulanamaz” özdeyişleri [Ross, 2004], kesinlik ve belirsizlik kavramları, bu kavramların gerçek dünya için anlamı ve uygulanabilirliğinin, üzerinde durulmaya değer bir konu olduğunu güçlü bir şekilde desteklemektedir.

Bu nedenle, bu Bölümde, Bulanık / Olabirlikli Matematiksel Programlamanın (Fuzzy / Possibilistic Mathematical Programming) özellikleri, sınıflandırılması, yöntemleri, karşılaştırılması, gerekçeli üstünlükleri, çok amaçlı ve etkileşimli yaklaşımlarla birlikte ele alınarak sunulmuştur.

4.2.1. Bulanık Küme teorisi / olabirlik teorinin doğuşu

Kesin olmayan (tam olmayan, eksik) bilgi sebebiyle, kesin matematik, karmaşık bir sistemi modellemede yeterli değildir. Geleneksel olarak, olasılık teorisi, bu belirsizliği ele almak için egemen olan bir yaklaşımdır. Örneğin, bir adam “şık”, “şık değil” veya “az şık” olabilir. Açık bir şekilde olasılık teorisi, kesin olmayan durumun

bütün mümkün problemlerini modelleyemez. BKT, bu problemleri, keskin sınırlar olmadan, tanımlamak ve çözmek için geliştirilmiştir. Bu, BKT'nin kısmi ilişki / üyeliği dikkate alması demektir [Lai ve Hwang, 1992].

4.2.2. Bulanık matematiksel programlama ve sınıflandırılması

Sembolik olarak doğrusal programlama problemi şöyle gösterilebilir:

$$\text{Max } z = f(c,x) = cx \quad (4.32)$$

Kısıtlar

$$g(A,x) = Ax \leq b \text{ ve } x \geq 0 \quad (4.33)$$

c ; amaç fonksiyonunun kâr katsayılar vektörü, b ; mevcut toplam kaynak vektörü, x ; karar değişkenleri (veya alternatifleri) vektörü, A ; teknolojik katsayılar matrisidir. Bu giriş verileri (c , b ve A), tam olmayan veya elde edilemeyen bilgi yüzünden, genellikle, bulanık / kesin olmayan özelliklidir.

Bulanık matematiksel programlama, bulanık ve olabirlikli olarak iki temel kategoride sınıflandırılabilir. Tercih temelli üyelik fonksiyonlarını, olabirlik dağılımlarından ayırmak oldukça önemlidir. Olabirlik, bir olayın ortaya çıkma derecesi iken, tercih temelli üyelik, karar vericinin tatmin derecesi ile ilgilidir [Lai ve Hwang, 1992].

4.2.3. Stokastik olabirlikli programlama

Karar verme sürecinde, dilsel ve sıklığı kesin olmayan özelliğin her ikisinin birlikte mevcut olduğu melez bir ortam ile karşılaşılabilir. Örneğin, % 60 şans ile % 8 civarında. Sıklığı kesin olmayan problem, olasılık teorisi kullanılarak çözülebilir. Diğer taraftan, dilsel kesin olmayan özellik problemi, BKT kullanılarak ele alınmalıdır. Böylelikle, melez problemi çözmek için, her iki teoriyi eşzamanlı olarak kullanmak gerekir [Lai ve Hwang, 1992].

4.2.4. Olasılık teorisi ile bulanık küme teorisinin karşılaştırılması

Uygulamalı durumlar çoğunlukla iyi tanımlanmamıştır ve böylece kesin bir şekilde tarif edilemez. Bu tam olmayan özellik, gerçekten, rassallığa göre oldukça bulanıklıktır [Lai ve Hwang, 1992].

4.2.5. Stokastik programlama ile olabirlikli programlamanın karşılaştırılması

Olabilirlikli programlama, c , b ve / veya a 'nın kesin olmayan özelliğini çözmek için daha etkin teknikler sağlamakta ve orijinal doğrusal modeli korumaktadır. Bunun yanında, üyelik fonksiyonları / olabilirlik dağılımları, kesin olmayan özelliğin / belirsizliğin daha esnek ve anlamlı temsilini sağlamaktadır.

Bir çok kritere göre doğrusal, doğrusal olmayana göre daha iyidir. Bunun anlamı, olabilirlikli programlama, metodoloji anlamında, stokastik programlamadan daha iyidir (daha etkindir). Olabilirlik ve olasılık teorilerinin anlamları ile ilgili olarak aşağıdaki örneği göz önüne alalım:

“Yarın büyük olasılıkla (muhtemelen) çok yağmur yağacak”

Genellikle, olasılık teorisi, büyük olasılıkla (muhtemelen)'i, olabilirlik teorisi de çok' u modellemek için kullanılmaktadır. Bir matematiksel modeldeki parametrelerin (c , b ve / veya A 'nın), kesin olmayan özelliği, şans kavramıyla örneğin “% 70 olasılık ile 34,5 olacak” yerine, dilsel bir terim ile “34,5 civarında olacak” şeklinde tarif edilebilir. Görüldüğü gibi, ikinci ifade daha etkin ve anlamlıdır. Böylece, olabilirlik programlama tekniklerinin, stokastik programlama tekniklerine göre daha etkin ve anlamlı olduğu dikkate alınmaktadır [Lai ve Hwang, 1992].

4.2.6. Tek amaç yerine çok kriterli karar verme

Çok kriterli karar verme (ÇKKV), çok amaçlı karar verme (ÇAKV) ve / veya çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) ile ilgilenen bütün metodolojiler için kabul edilen bir isim olmuştur. ÇAKV metotları, tasarım problemlerine odaklanırken, ÇÖKV metotları, seçim problemlerini çözmek için yararlıdır [Lai ve Hwang, 1992].

1970’li yıllardan sonra, pratikte sık karşılaşılan birden fazla amaç fonksiyonunun optimizasyonuna dayanan yöntemler geliştirilmiştir [Evren ve Ülengin, 1992].

n değişkenli, m kısıtlı ve p amaçlı, genel çok amaçlı optimizasyon probleminin gösterimi aşağıda verilmiştir:

Maksimizasyon $Z (X_1, X_2, \dots, X_n)$

$$= [Z_1 (X_1, X_2, \dots, X_n), \\ Z_2 (X_1, X_2, \dots, X_n), \\ \dots, Z_p (X_1, X_2, \dots, X_n)] \quad (4.34)$$

$$\text{s.t. } g_i (X_1, X_2, \dots, X_n) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.35)$$

$$X_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.36)$$

Burada, $Z (X_1, X_2, \dots, X_n)$, çok amaçlı amaç fonksiyonunu ve $Z_1 (\quad)$, $Z_2 (\quad)$, ..., $Z_p (\quad)$ bireysel amaç fonksiyonlarını ifade etmektedir [Cohon, 2003].

Çok Amaçlı Optimizasyon (ÇAO)’na adanan çeşitli ve yeni konferanslar yapılmakta, ÇAO ile ilgili yayın sayısı hızlı bir şekilde artmakta ve endüstrinin ÇAO’na ilgisi açıkça bilinmektedir. Buradan, ÇAO’nun etki alanının genişlediği sonucu çıkarılabilmektedir [Collette ve Siarry, 2004].

Çok Amaçlı Programlamada aşağıdaki özel bazı terimler geçmektedir. Bunlar, optimum çözüm, en iyi uzlaşık çözüm, baskın (etkin) çözüm ve tercih edilen çözümdür. ÇAO’da, “optimum” çözüm yerine, “en iyi uzlaşık çözüm” araştırılır. Bu çözüm, “en iyi çözüm”, “tercih edilen çözüm” adıyla da anılmaktadır [Evren ve Ülengin, 1992].

4.2.7. Bulanık çok amaçlı karar verme

Baskın çözümler setinden, “en iyi uzlaşık” olarak nitelenen belirli bir tanesini seçmek için, üç temel yaklaşım bilinmektedir: Bunlar, “Fayda Yaklaşımı”, “Amaç Programlama Yaklaşımı” ve “Etkileşimli Yaklaşımlar” dır [Zimmermann, 2001].

ÇAKV ve BÇAKV’de, “etkileşimli yaklaşımlar” diğer yaklaşımlara göre daha iyidir (daha etkindir) [Lai ve Hwang, 1992].

4.2.8. Etkileşimli bulanık / olabilirlikli tek / çok amaçlı matematiksel programlama ve metotlarının sınıflandırılması

Etkileşimli kavramı, sistem hakkında bir öğrenme süreci sağlamakta, onun sayesinde karar verici, sistemdeki faktörlerin göreceli önemini ve iyi çözümleri tanımayı ve sonra, verilen bir sistemi optimize etmek yerine yüksek verimli bir sistemi tasarlamayı öğrenebilmektedir [Lai ve Hwang, 1992].

Etkileşimli yaklaşımda, problem çözme prosedürü, karar verici tatmin edici bir çözüm elde edene kadar devam etmektedir. Bu yaklaşım sadece bir problemi çözmek için değildir, aynı zamanda yüksek verimli bir sistemi tasarlamak içindir [Lai ve Hwang, 1992].

Sakawa, gerçek uygulamalarla bulanıklık altında etkileşimli ÇAO alanındaki o güne kadar olan gelişmeleri sunmaktadır [Sakawa, 1993].

Sakawa, bulanık sayılarla Bulanık Çok Amaçlı Tamsayı Programlamada (BÇATP) olduğu gibi, Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Tamsayı Programlamanın (EBÇATP) gelişimine de birçok sayısal deneyle birlikte dikkate değer bir katkıda bulunmuştur [Sakawa, 2002].

Lai ve Hwang, Bulanık Doğrusal Programlama (BDP), Etkileşimli Bulanık Doğrusal Programlama (EBDP), Olabilirlikli Doğrusal Programlama (ODP) ve Etkileşimli Olabilirlikli Doğrusal Programlama (EODP)’nin sınıflandırılmasını sunmaktadır [Lai ve Hwang, 1992]. Etkileşimli Bulanık Doğrusal Programlama-I (EBDP-I); Simplex metot, Parametrik Programlama, Verdegay veya Chanas yaklaşımları, Werner, Zimmermann, Lai ve Hwang metotlarının hepsinin kullanımına imkan tanıyarak, bulanık b; b&z; c durumlarını çözmek için kullanılabilen, karar destek sistemi sunan bir algoritmadır. EBDP-II de; EBDP-I (bulanık b; b&z; c için kullanılabilen),

Carlsson ve Korhonen (bulanık A; b&c; A&b; A&c; veya A, b&c için kullanılabilen) ve Lai ve Hwang (z&A; z, A&b için kullanılabilen) metotlarının hepsinin kullanımına imkan tanıyan daha kapsamlı bir karar destek algoritmasıdır. Görüldüğü gibi, EBDP-II, Bulanık Doğrusal Programlama (BDP) problemlerinin bütün mümkün durumlarını dikkate almakta ve bunun yanında doğrusal programlama problemlerinin esneklik ve sağlamlığını geliştirmek için bir karar destek sistemi sağlamaktadır. Diğer deyişle, EBDP-II, EBDP-I'e ek olarak Lai ve Hwang'ın; problem 6 olarak gösterip bunun çözümü için önerdiği Carlsson ve Korhonen yaklaşımı ile problem 7 olarak gösterip bunun çözümü için önerdiği Lai ve Hwang (kendi yaklaşımları) yaklaşımlarını içererek BDP'nın tüm mümkün durumlarını kapsamaktadır. Burada Lai ve Hwang yaklaşımının, kesin olmayan A, b&c için kullanılabildiği gibi, bu katsayıların bir kısmını içeren durumlar için de kullanılabileceğine, örneğin, kesin olmayan A &c için de kullanılabileceğine dikkat edilmelidir.

Lai ve Hwang, mevcut Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV), Etkileşimli Çok Amaçlı Karar Verme (EÇAKV), Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme (EBÇAKV), Olabilirlikli Çok Amaçlı Karar Verme (OÇAKV) ve Etkileşimli Olabilirlikli Çok Amaçlı Karar Verme (EOÇAKV) metotlarının sınıflandırılmasını sunmaktadır [Lai ve Hwang, 1996].

ÇAKV problemleri ve bunların çözümü için geliştirilmiş yaklaşımlar, kesin, bulanık ve kesin olmayan ortamda olmak üzere çeşitli kategoriler altında toplanmakta ve sırayla, kesin, bulanık ve olabilirlikli ÇAKV problemleri olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca bu kategorilerin her birine “etkileşimli” kavramıyla yeni bir yaklaşım eklenebilmekte ve böylece etkileşimli ve etkileşimsiz de olabilen yukarıda söz edilen ÇAKV yaklaşımları toplam 6 kategoride ele alınabilmektedir. Bunun yanında, hem bulanıklık hem de kesin olmayan ortamın söz konusu olduğu “melez” durumlar ve bu durumlarda kullanılabilecek 2 yaklaşım da bulunmakta ve 7 nci kategoriye oluşturmaktadır.

OÇAKV problemlerini çözmek için geliştirilen yaklaşımlar; önceden açık bir şekilde ifade edilmiş tercih bilgisi ve devamlı olarak açık bir şekilde ifade edilen tercih

bilgisi olmak üzere iki kategori içinde sınıflandırılmaktadır. Bu bahsedilenlerden 2 ncisi, Sakawa & Yano, Slowinski ve Rommelfanger metotlarını içermekte ve etkileşimli algoritmalar veya diğer adıyla etkileşimli OÇAKV (EOÇAKV) metotları olarak bilinmektedir. OÇAKV, olabilirlikli çok amaçlı doğrusal kesirli programlama (OÇADKP), hibrit (bulanıklık ve kesin olmayan) ve olabilirlikli regresyon problemlerini de kapsamaktadır.

[Lai ve Hwang, 1996]'den faydalanılarak oluşturulmuş olan Çizelge 4.1.'de, ÇAKV'nin bulanıklık / kesin olmayan durum kaynakları ve kullanılabilir yaklaşımlara göre sınıflandırılması verilmektedir. Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi, ÇAKV'nin belirli veya belirsiz karar ortamında (hibritler dahil, bulanık ve/ veya olabilirlikli) olduğuna ve karar ortamından bağımsız olarak etkileşimli olabildiğine dikkat etmek gerekir.

Wang, “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme (BÇKKV): Bir gözden geçirme” makalesinde, BÇKKV literatür araştırmasını vermekte [Wang, 2000], Inuiguchi ve Ramik, makalelerinde, Bulanık Matematiksel Programlamanın kısa bir gözden geçirmesini sunmakta ve portföy seçim problemi için Olabilirlikli Doğrusal Programlama ile Stokastik Programlamayı karşılaştırmaktadır [Inuiguchi ve Ramik, 2000]. Baykasoğlu ve Gökçen, “Bulanık Matematiksel Programlamanın literatür araştırması ve sınıflandırılması” nı detaylı bir şekilde ele almış [Baykasoğlu ve Gökçen, 2008]; Yano ve Sakawa, “hijerarşik (aşamalı) çok amaçlı programlama problemlerine bulanık yaklaşım ve endüstriyel kirlilik problemine uygulanması” nı incelemiş [Yano ve Sakawa, 2009] ve Zimmermann, “Bulanık Küme Teorisi” için güncel bir literatür araştırması ve değerlendirme sunmuştur [Zimmermann, 2010].

Çizelge 4.1. ÇAKV'nin bulanıklık / kesin olmayan durum kaynakları ve kullanılabilir yaklaşımlara göre sınıflandırılması

	Yaklaşım / Programlama Tipi/ Metot Sınıfı / Metot / Problem	Bulanıklık / kesin olmayan durum kaynağı
ÇAKV	-Hedef Programlama -Bulanık Programlama *Max-Min Yaklaşımı *Artırılmış Max-Min Yaklaşımı *Parametrik Yaklaşım -Global Kriter Yaklaşımı *Global Kriter Yaklaşımı *Topsis	
EÇAKV	-Optimal Sistem Tasarımı -KSU-STEM -ISGP-II -Artırılmış Min-Max	
BÇAKV	-Bulanık Hedef Programlama -BDP (Zimmermann'ın tümüyle simetrik yaklaşımı) Bulanık Global Kriter	z; z&b
EBÇAKV	-Werner Metodu -Lai ve Hwang -Leung -Fabian, Ciobanu ve Stoica Metodu -Sasaki, Nakahara, Gen ve Ida -Baptistella ve Ollero	Z&b
OÇAKV	-Tanaka & Asai -Lai & Hwang -Negi -Luhandjula -Li & Lee -Wierzchon	A; b&c; A&b; A&c; A,b&c
EOÇAKV	-Sakawa & Yano -Slowinski -Rommelfanger	A; b&c; A&b; A&c; A,b&c
Hibrit (hem bulanık hem olabilirlikli) ÇAKV	-Tanaka, Ichihashi & Asai -Inuiguchi & Ichihashi	Kesin olmayan A ve bulanık eşitsizlik Kesin olmayan A ve bulanık hedefler

Bulanık / olabilirlikli belirsizliği, akademik ve pratik olarak yeni ve gerekliliği ve önemi hızlı bir şekilde artan iki konudur. Özellikle bulanık / olabilirlik belirsizliğini çok amaç ile birleştiren (aynı anda işleyen) çalışmalar çok azdır. Bu gerekçeyle, bu konuda, farklı alan/sektör uygulamaları ile literatüre önemli katkılar yapılabileceği değerlendirilmektedir.

5. PROBLEMİN TANIMLANMASI VE MATEMATİKSEL MODELİNİN KURULMASI

5.1. Probleminin Tanımlanması

Tez çalışmasında, uygulama alanı olarak, Türkiye’de kontrolü ile ilgili bir yasası ve sistemi bulunmayan AEEE pazarı, yarattığı sorunlar ve fırsatlarla birlikte ele alınarak, mevcut koşullarda optimum bir sistem ve işleyiş mekanizması önerilmesi, bu sistemin matematiksel olarak modellenmesi ve akabinde ürün geri kazanımı için bu sistem ve modeli temel alan bir lojistik şebekesinin tasarımının yapılması ve modelin Ankara / Türkiye’de bir gerçek dünya uygulaması ile uygulanabilirliğinin gösterilmesi ve nihayet stratejik öneriler yapılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, geri dönüşüm, AEEE geri dönüşümü bütün unsurlarıyla araştırılarak tanıtılmış, bütün bu unsurlar ve özel koşullar dikkate alınarak bir sistem, modeli ve şebekesi tasarlanmıştır.

Geri Dönüşüm

Hurda geri dönüşümü, balyalayıcı (baler), kesici (bükücü; shear) ve kırıcı (öğütücü; shredder) makinalarında gerçekleştirilmektedir. Balyalayıcı ve kesici makinalar; yeni üretim atığı, çelik çubuklar ve ağır hurda demir gibi saf malzemeler kullanmaktadır. Kırıcı, araba hurdaları, evsel aletler vb. gibi diğer hurdaları işlemektedir. Kırıcıdan çıkan malzeme üç gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar:

- Çelik endüstrisinde kullanıma hazır olan Kırıcı demiri,
- Kırıcı artığı ve
- Demirli olmayan karışımdır.

Kırıcı artığı ve demirli olmayan karışım yeniden işlenmektedir. Bu işlem, malzemeyi yine farklı gruplara ayırmaktadır:

- Ağır KAAP Grubu (Kırıcı Artığından Alternatif Petrol))
 - Çoğu, çimento endüstrisinde termal değerlendirme geçiren (enerji geri kazanımı için) kauçuk ve tahta,
- Etkisiz (inert) Grup

Yol yapım uygulamalarında,

-Yapay Grup

Plastik, malzeme geri dönüşümü,

-Demirli Olmayan Metaller+taşlar+bakır tel+artık grup (% 40)

Demirli Olmayan Metalleri, taşlar ve artık gruptan yüzdürme yoluyla ayırmak mümkündür. Demirli Olmayan Metaller türlerine göre ayrılır.

Tüketici eşyalarından hurdalar (arabalar, beyaz ve kahverengi eşyalar) ve fabrika hurdalarını, ekolojik bir şekilde geri dönüştürmek gerekmektedir. Atık ürünleri ikincil hammaddeye dönüştürerek daha temiz bir çevre için katkıda bulunulmalıdır.

Geri dönüşümde olduğu gibi, AEEE geri dönüşümünde de hedef, yüzde yüz değerlendirmedir. AEEE işleme; genel olarak, büyük beyaz eşyalar ve diğerleri (küçük evsel aletler, ses-görüntü) ve ICT (bilgi iletişim teknolojileri)'nden oluşmaktadır. Her yıl ton cinsinden ağırlık olarak, aletler *toplanmakta*, kaydedilmekte ve sınıflandırılmakta yani gruplarına ayrılmakta ("*toplama ve ayırma*"), daha sonra, zararlı maddelerinden ayrılmakta ("*demontaj*"), sonra ayrı bir şekilde *kırıcılarda ve demirli olmayan hatta işlenmektedir (iki basamaktan oluşan bu son aktiviteye "mekanik işleme") denir*. Yasal düzenlemelerin yüklediği geri dönüşümün kesin yüzdelerini karşılamayı sağlayan en önemli yapay parçalar da, ikincil hammadde olarak kullanılmak üzere malzeme geri dönüşümüne uğramakta veya elektrik üretmek ve binaları ısıtmak amacıyla yakılarak enerji geri kazanımı sağlanmaktadır. AEEE geri kazanımında amaçlar; işletme için, müşteri ve tedarikçilerle iyi ilişkiler, gelen ürünlerin maksimum değerlendirmesi, tesis/makinaların optimum işletimi vb. gibidir. Yönetimin, yasal ve çevresel gerekleri karşılamak ve çöpe gidecek atık oranını indirgemek gibi amaçları da söz konusudur [İnternet: Group Galloo, 2008].

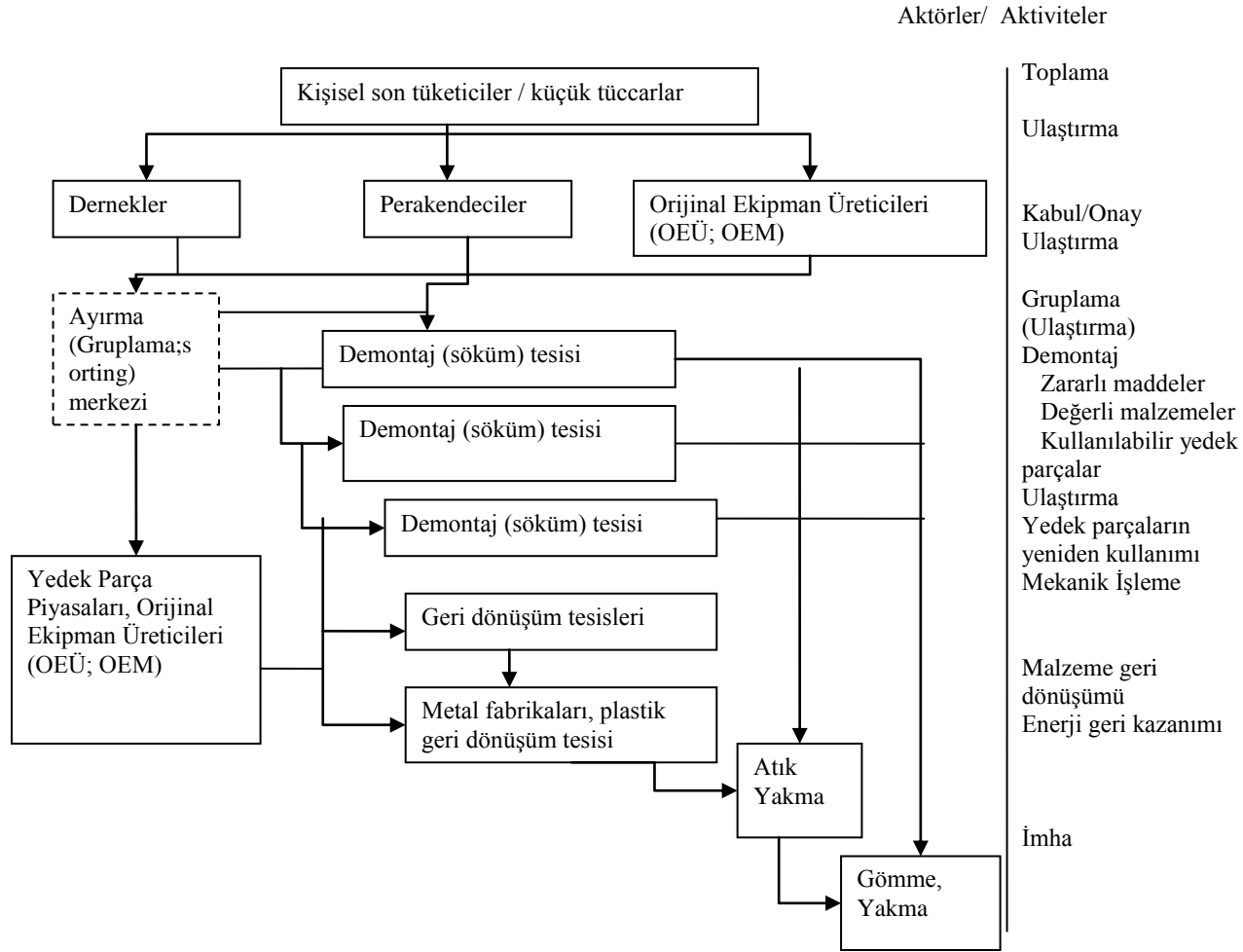
SUEZ Environment, atık yönetimi, enerji, alt yapı ve su konusunda faaliyet gösteren, 5 kıtaya yayılmış, 63400 çalışana sahip, 2007'de 12 milyar euro ciro gerçekleştiren, sadece çevreye adanmış ve bu konuda dünya lideri konumunda bir şirket olarak; her türlü atığı toplama, ayırma, ön işleme, geri kazanılabilir atıklardan geri dönüşüm,

malzeme ve enerji geri kazanımı ve artık atıkların yakma ve gömme ile bertarafı konusunda faaliyet göstermektedir. Şirketin web sayfasında, Galloo Goup şirketinde olduğu gibi, geri kazanım uygulamaları ile ilgili ayrıntılı bilgi bulunmaktadır [İnternet: Gdfsuez Group, 2008; Suez Environment, 2008].

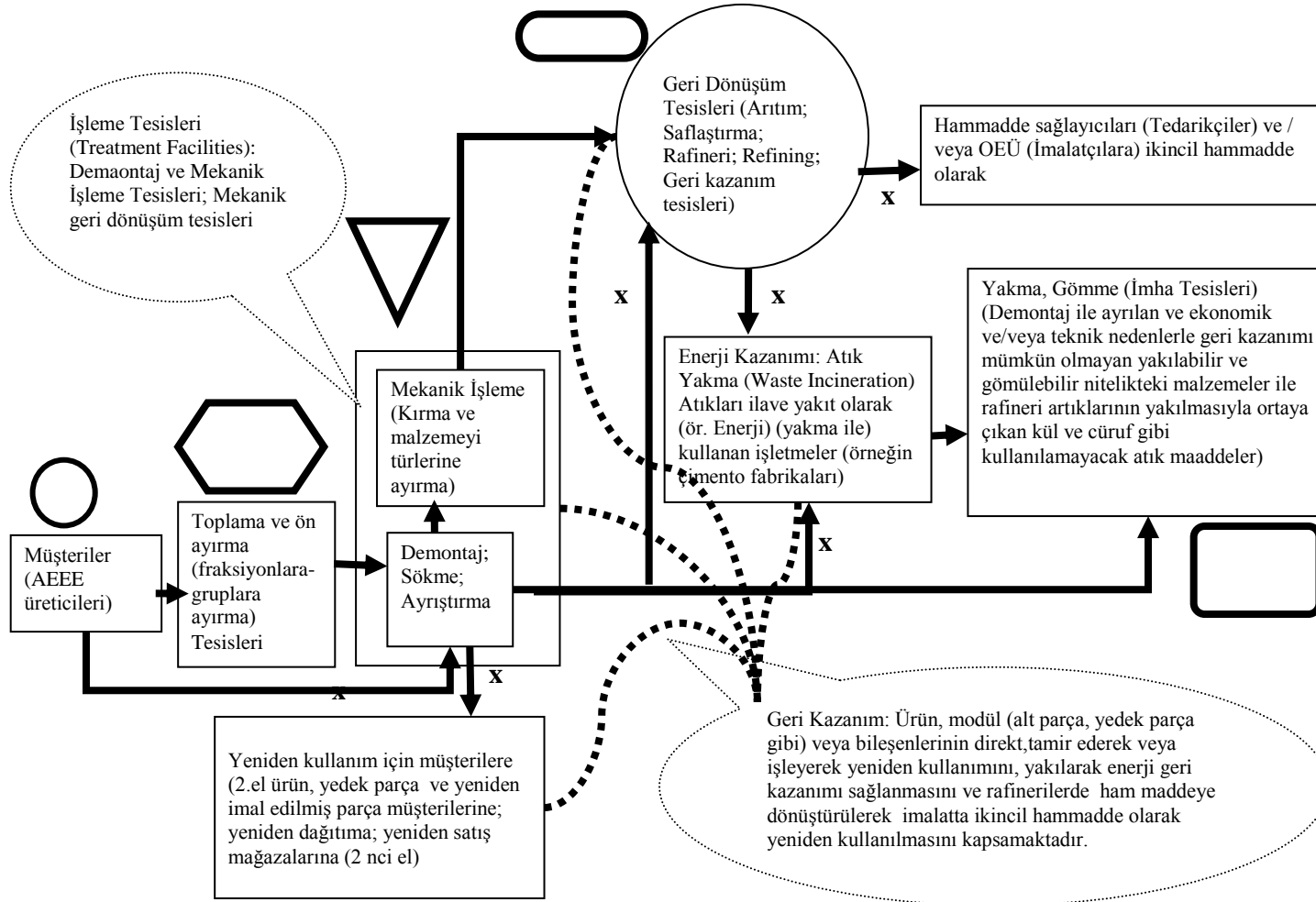
AEEE sistemi tasarlarırken, Rousis ve arkadaşlarının sunmuş oldukları, AEEE işleme akış şeması ve geridönüşüm süreci [Rousis ve ark., 2008] ile ilgili olan ve EK-1’de verilen şekillerden de yararlanılmıştır.

Aşağıdaki, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’den görüleceği gibi; atık elektronik ürünler ilk önce toplama noktalarından işleme tesislerine taşınmaktadır. İşleme tesislerinde, öncelikle ürünler ayrıştırılmakta, örneğin zararlı maddeler çıkarılmakta ve yeniden kullanılabilen yedek parçalar gibi değerli malzemeler elde edilmektedir.

Mekanik işlemenin yanı sıra, farklı ayrıştırma seviyeleri uygulanabilmektedir. İşlemeden sonra, tanımlanmış bir kalitedeki, ticari değeri olan malzeme parçaları satılmakta veya rafinerilere gönderilerek hammaddeye dönüştürülmektedir. Metal kısmı, metal veya çelik fabrikalarına malzeme geri dönüşümü için sunulmakta, plastikler ya enerji geri kazanımı için kullanılmakta ya da gömülmektedir [Neto ve ark., 2009]



Şekil 5.1 AEEE işlemede aktörler ve aktiviteler



Sistem, elemanları, işleyiş mekanizması ve varsayımlar

Müşteri bölgeleri (AEEE üreticileri-kaynakları)

Önerilen AEEE sisteminde müşteri bölgelerinin yerleri bilinmektedir. Her bir müşteri istediği bir toplama tesisine atık ürün götürebilmekte, ancak model ekonomik olması için müşteriyi kapasite dolana kadar en yakın toplama tesisine atamaktadır. Bu durumda, bir müşteri birden fazla toplama tesisine atanabilecektir. Geri dönüş miktarları tahmini olarak bilinmektedir. Her bir müşteri bölgesindeki atık, o bölgede oturan hanelerden ve her türlü kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektör kuruluşlarından, Media Markt, Elektro World ve Darty gibi elektrik-elektronik firmalara gelen ile bayilere ve Belediyelerin belirli güvenli noktalara koyduğu konteynerlere bırakılanlardan oluşmakta ve Belediye çöp toplama sistemine benzer bir sistem ile, periyodik olarak bu noktalardan aldığı atıkları, kendi bünyesindeki bir büyük konteynere (bir kamyonluk yük ebatlarında) veya üstü kapalı altı beton olan bir alana, belirli bir hacme veya ağırlığa ulaşıncaya kadar toplamaktadır. Geri kazanım kültürü oluşturulmasına önayak / destek olmak ve geri dönüş oranını artırmayı teşvik etmek amacıyla, (Türkiye’de gerçekte ücretsiz geri dönüşlerin çok az oranda olacağı bilindiğinden, 1 yıldan az olmayacak bir süre için, alışkanlık yaratmak amacıyla, atık ürünlerin son kullanıcılarından, ürün cinsi, modeli ve geri dönen ürünün kalitesi dikkate alınarak her bir ürün için belirli bir ücret ödenerek ürünlerin geri toplandığı –gerçekte de gözlemlerle kullanıcıların öyle bir talepte oldukları görülmektedir- kabul edilerek) her bir ürün için ortalama olarak gerçekçi geri alma fiyatı bir parametre olarak (Prc (m)) hesaba katılmıştır. Böylece, konsolide (birleştirilmiş) yükler daha ekonomik taşıma ile toplama merkezlerine bir taşıyıcı firma kullanılarak gönderilebilmektedir. Belediyelerin kendi ilçelerinde toplayıp (toplanacak miktar (kg), direktiflere göre oluşan atığın belli bir oranında olmalıdır), birleştirdiği atıkları üreticilerin kurduğu veya parasını vererek Belediyelere kurdurduğu toplama merkezlerine taşımak ve sonra bunları kuracakları yine üreticilerin kurduğu bir işleme tesisinde veya ücreti karşılığında herhangi bir işleme tesisinde, Türkiye AEEE taslak yönetmeliğinde belirtilen belirli yüzdelerde geri dönüştürmekle yükümlü olacakları bilindiğinden, anılan işlemlerden kaynaklanan

tüm maliyetlerin üreticilere ait olacağı kabul edilmektedir. Burada, ortak bir fon ile üreticilerin işleme tesisini kendilerinin kuracağı, toplama tesislerini ise parasını vererek Belediyelere kurduracağı kabul edilmiştir. Böylelikle, tesis kurma maliyetleri ile diğer tüm maliyetler ve işleme tesislerinde işlenerek yapılan satıştan elde edilen tüm gelirler üreticilere ait olacaktır. Müşterilerden direkt işleme tesislerine atık ürün getirilememektedir. Geri dönen ürünler;

- Son müşterilerin kullanıp getirdikleri
- Perakende satıcıların (bayilerin) son kişisel kullanıcılardan geri teslim aldıkları
- EEE üreticilerinin üretim sırasında ortaya çıkardıkları
- Gönüllü derneklerin topladıkları
- OEÜ'ne son kişisel kullanıcılardan ve perakende satıcılardan gelen, AEEE'ları içerir.

Toplama ve ayırma tesislerine veya işleme tesislerine (mekanik geri dönüşüm tesisleri içindeki demontaj tesislerine) doğru geri dönüş akışı olmaktadır. Bu durumda, toplama ve ayırma tesisleri ile işleme tesislerinde depolama da olmakta, fakat bununla ilgili maliyet (depolama maliyeti) dikkate alınmamaktadır.

Toplama ve ön ayırma tesisleri

Toplama tesisleri için aday yerleşim yerleri, bütün müşteri bölgeleri olarak dikkate alınmakta ve toplama tesislerinin nerelerde, hangi kapasite seviyelerinde, hangi sayıda kurulması gerektiği belirlenmek istenmektedir, başka deyişle, toplama ve ön ayırma tesis yerleşimleri karar değişkenleri ve toplama tesisleri kapasiteli olarak dikkate alınmaktadır. Bu tesislerde ürünleri türlerine göre ayırarak toplama işlemi yapılmaktadır. Literatürden, bu tesislerde; toplama, muayene, test ve ayırma işlemlerinin yapıldığı da görülmektedir.

İşleme Tesisleri

“Demontaj” ve “Mekanik İşleme” tesisleri veya ikisine birden, “İşleme Tesisleri” denilmektedir. Burada; sırayla, demontaj, kırıcılarda mekanik işleme (kıırma, öğütme) ve çeşitli yöntemlerle kırıcıdan çıkan malzemelerin türlerine göre ayrılması işlemleri yapılmaktadır.

Üründen, zararlı maddeler, değerli malzemeler ve yeniden kullanılabilen yedek parçalar çıkarılmaktadır. Ürünün akış yolu işleme tesislerinde belirlenmektedir. İşleme tesisleri; Dünyadaki uygulamalarda, örneğin Almanya’da, farklı yerlerde ayrı olarak faaliyet gösterebilen, demontaj tesisleri arasında ürün veya malzeme parçaları alış verişi olabilen tesislerdir. İşleme tesisleri, Türkiye’de, aynı yerde iki ayrı tesis veya entegre bir tesis olarak faaliyet göstermekte ve sırayla, demontaj ve mekanik işleme olarak iki aşamadan oluşan tek bir tesis olarak dikkate alınmaktadır. İşleme tesisleri aday yerleşim yerleri için, müşterilerin olduğu bölgeler dikkate alınmakta ve işleme tesislerinin nerelerde, hangi kapasite seviyesinde ve sayıda kurulması gerektiği belirlenmek istenmektedir, başka deyişle, demontaj ve mekanik İşleme tesislerinin yerleşimleri karar değişkenleri ve işleme tesisleri kapasiteli olarak dikkate alınmaktadır. Kısmi demontaj yapıldığında, demontajdan direkt rafinerilere akış söz konusu olmaktadır (hurdacılar e-atık topladıklarında sadece manuel söküm yapıp değerli malzeme ve kullanılabilir yedek parçaları çıkarmakta ve kalanını ikincil hammadde dönüştürülmek üzere rafinerilere satmaktadır), ancak demontaj tesisleri arasında olabilen akış gibi bu da dikkate alınmamaktadır, çünkü olması şart değildir. Demontajdan sonra, yedek parçalar, ikinci el piyasasına satılıp gelir elde edilmekte, ürünün kalan diğer malzeme kısmı, mekanik işleme için kırıcıya (shredder) gönderilmektedir. Burada, mekanik işleme; sökümden gelen ayrıştırılmış malzemelerin, kırma, öğütme vb. fiziksel ve kimyasal işlemlerle hacmini küçültme ve bir sonraki adım olan rafineride orijinal hammadde olarak geri dönüşümünü kolaylaştırmak ve elde edilecek hammaddenin kalitesini yükseltmek için yapılan işlemlerdir. Mekanik işleme tesislerinde; mekanik işlemde geçmiş malzemeler, metallere; demirli (Fe) ve demirli olmayanlar (Al, Cu, Pd vb. gibi) ve plastikler gibi

gruplarına, manyetizma, elektrik iletkenliği, yüzdürme ve yoğunluk farkı gibi yöntemlerle ayrılmaktadır.

Demontajda, bütün ürünlerden, bütün müşterilerden, bütün toplama tesislerinden gelecek toplam miktarı el ve/veya makinalarda demonte edebilecek işgücü saat kapasitesinin mevcut olduğu (dinamik durumda, 3 vardiyaya kadar çıkılabileceği, veya aynı ücretle, aynı kalifiyede çalışan istihdam edilebileceği) varsayılmıştır.

Bir parça veya bir kg ürünün işleme maliyetlerinin, işleme tesislerinin değişik kapasitelerinde değişmediği kabul edilmiştir.

İşleme tesislerinde; direkt yeniden kullanım, tamir ve yeniden imalat (ürün veya bileşenlerinin ve parçalarının, özel işlemlerden geçirme, revizyon, yenileme, donanım ve kalitesini yükseltme) seçenekleri uygulanabilmektedir. Burada, çalışır durumda olan ürünler ile kullanılmış ürünlerin sökümünden elde edilen kullanılabilir yedek parçaların satışı ve bunun geliri dikkate alınmamaktadır. Geri dönen tüm ürünlerin, bir ürünün bileşenleri şeklinde değil, bütün bir ürün olarak tek parça ve içindeki standart içerikle geldiği ve tamamının demontaj ve mekanik işleme tesislerinde işlem gördüğü kabul edilmektedir. Ayrıca bu işlemlerin uygulanmadığı, ürünün kalan diğer malzeme kısımları, sökme ve mekanik işlemten sonra hammadde haline geri dönüşüm için rafinerilere gönderilebilmektedir. Geri Kazanım, ürün, modül (alt parça, yedek parça gibi) veya bileşenlerinin direkt, tamir ederek, işleyerek yeniden kullanımı, yakılarak enerji geri kazanımı sağlanması ve rafinerilerde ham maddeye dönüştürülerek imalatta ikincil hammadde olarak yeniden kullanılmasını kapsamaktadır.

İşleme tesislerinden, yeniden kullanım için müşterilere satış ve enerji kazanımı için çimento fabrikalarına satış seçenekleri, Türkiye’de yeniden imalat ve yeniden kullanıma sıcak bakılmaması (özellikle üreticiler) ve stratejik planlama amaçlı bir model üzerinde çalışıldığından dikkate alınmamış, işleme tesislerinden, bertarafa (imhaya) gönderme ile geri dönüşüm için rafinerilere gönderme seçenekleri dikkate alınmıştır. Ayrıca, atık ürünlerin işleme tesislerinde işlenmeden rafinerilere geri

dönüşüm için satışı ve bundan elde edilen gelir dikkate alınmamış, sadece işleme tesislerinde işleme sonrası rafinerilere geri dönüştürülmek üzere ikincil hammadde olarak satışı dikkate alınmıştır. Şekil 5.2 üzerinde, sistem elemanları değişik şekillerle gösterilmiş ve dikkate alınmayacak olan elemanlara “X” işareti konmuştur.

Elektrikli ve Elektronik Aletler sektöründe özellikle yeniden kullanım ve yeniden imalat hususları değerlendirilmelidir. Ancak modelde stratejik planlama amacı olduğundan bu çalışma yapılmamıştır.

Mekanik işleme tesislerinde, işleme sırası ve sonrasında imhaya ayrılacak oran çok küçük olacağından ihmal edilmiş, imhaya ayrılacak bütün oranın demontaj aşamasında ortaya çıktığı kabul edilmiştir. Demontaj aşamasında $x_{ref}(m,j)$ ve $x_{dis}(m,j)$ miktarlarda ürün demonte edilmekte ve bu, demontaj maliyetini ortaya çıkarmaktadır. Demontajdan mekanik işleme tesislerine, sadece demonte aşamasından geçmiş ürünler, $x_{ref}(m,j)$ miktarlarında gitmektedir. Mekanik işlemede, işleme maliyeti, sadece $x_{ref}(m,j)$ için ortaya çıkmaktadır. Modelde $c_t(m)$ olarak alınan işleme maliyeti içerisinde, hem demontaj aşamasında $x_{ref}(m,j)$ miktarının demonte maliyeti, hem de mekanik işleme aşamasında aynı miktarın işlenmesi ile ilgili maliyet bulunmaktadır.

Rafineri

Püro ve hidro metalurjik vb. işlemlerle türlerine göre ayrılmış malzemelerin hammaddeye dönüştürülmesidir. Demirli malzemeler, demiri işleyen rafinerilerde (metal ve çelik fabrikalarında) arıtma (saflaştırma); demir dışı malzemeler ise, demir dışı malzemeleri işleyen diğer uzmanlık dalındaki rafinerilerde eritme (döküm; smelting) ve geri dönüşebilir plastikler, plastik geri dönüşüm tesislerinde ikincil hammaddeye dönüştürülmektedir (monitörler, LCD TV’lerdeki katot ışın tüpleri-CRT ve bir çok plastik; hem çok zararlı, hem zor geri dönüştürülebilmekte, hem de geri dönüşümü özel teknoloji ve yöntemler gerektirdiğinden ekonomik olmamakta ve ve geri dönüşüm oranı düşük olmaktadır).

Atık yakma

Demontaj ve geri dönüşüm sonucu ortaya çıkan tahta ve geri dönüştürülemeyen plastik gibi artıklar, onları ilave yakıt olarak kullanan işletmelerde (örneğin, çimento fabrikalarına) enerji geri kazanımı amacı ile yakılmaktadır. Enerji geri kazanımı sağlayan atıkların yakılmasıyla elde edilen enerji, bazı ülkelerde binaları ısıtmak ve elektrik elde etmek için kullanılmaktadır. Türkiye'nin tek tehlikeli atık bertaraf tesisi olan İzaydaş da, bertaraf işlemlerini ücret karşılığında firmalara yaparken, bertaraf etmekte olduğu atıklar içinde, enerji geri kazanımı amacıyla kullanılacak olanları kullanıp kendi tesisini işletmek için gereken enerji ihtiyacı için kullanmakta, sahip olduğu teknoloji ile fazla enerjiyi depolayabilmekte ve satarak gelir elde etmektedir.

Demontaj ile ayrılan ve ekonomik ve/veya teknik nedenlerle geri kazanımı mümkün olmayan, yakılabilir ve gömülebilir nitelikteki malzemeler ile rafineri artıklarının yakılmasıyla ortaya çıkan kül ve cüruf gibi kullanılmayacak atık maddeler, imha tesislerinde yakılmakta veya gömülmektedir.

5.2. Matematiksel Modelin Kurulması

İndis kümeleri

$k = \{1, \dots, K\}$, müşteriler

$i = \{1, \dots, I\}$, aday toplama tesisleri

$j = \{1, \dots, J\}$, aday işleme tesisleri

$m = \{1, \dots, M\}$, ürünler

$n = \{1, \dots, N\}$, işleme tesisleri için kg olarak kapasite seviyeleri

$l = \{1, \dots, L\}$, toplama tesisleri için m^3 olarak hacim seviyelerini göstermektedir.

Karar değişkenleri

Y_{li}^c , l kapasite seviyesinde (hacim, m³olarak) i toplama-ayırma tesisini açmayı gösteren ikili (0-1 tamsayılı) değişken, eğer i toplama-ayırma tesisi açılırsa $Y_{li}^c=1$, $i \in I$

Y_{nj}^t , n kapasite seviyesinde (ağırlık, kg olarak) j işleme tesisini açmayı gösteren ikili (0-1 tamsayılı) değişken, eğer j işleme tesisi açılırsa $Y_{nj}^t=1$, $j \in J$

X_{mki}^1 , m atık ürününden k müşterisinden i toplama-ayırma tesisine yıllık taşınan ürün miktarı (kg/yıl); $i \in I$, $k \in K$, $m \in M$

X_{mij}^2 , m atık ürününden i toplama ayırma tesisinden j işleme tesisine yıllık taşınan ürün miktarı (kg/yıl); $i \in I$, $j \in J$, $m \in M$

X_{mj}^{dis} , m atık ürününden j işleme tesisinden yıllık imhaya gönderilen miktar (kg/yıl); $j \in J$, $m \in M$

X_{mj}^{ref} , m atık ürününden j işleme tesisinde yıllık işlenen ve sonra rafinerilerde hammadde haline getirilmek için ikincil hammadde olarak satılan miktar (kg/yıl); $j \in J$, $m \in M$

Parametreler

Değişken maliyetler

C_{mki}^1 ; m atık ürününün bir birimini, müşteri bölgelerinden toplama tesislerine bir birim mesafe (1 km) taşımanın toplam maliyeti (taşıma+elleçleme), (TL/br ürün*km), $m \in M$, $i \in I$, $k \in K$

C_{mij}^2 ; m atık ürününün bir birimini, toplama tesislerinden işleme tesislerine bir birim mesafe (1 km) taşımanın toplam maliyeti (taşıma+elleçleme), (TL/br ürün*km), $m \in M$, $i \in I$, $j \in J$

C_m^d ; m atık ürününün bir birim miktarını (1 kg'ını) bertaraf (imha) etmenin birim değişken maliyeti (içinde bertaraf tesisine taşıma maliyeti de var) (TL/kg), $m \in M$

C_m^t ; m atık ürününün bir birim miktarını (1 kg'ını) işleme tesislerinde işlemenin birim değişken maliyeti, (TL/kg), $m \in M$

Sabit Maliyetler

f_{li}^c , l hacim seviyesinde i toplama-ayırma tesisini açmanın sabit maliyeti (TL), aday yerleşim yerlerinden bağımsızdır; her bir kapasite seviyesinde bütün yerleşim yerlerinde aynı olduğu kabul edilmiştir.

f_{nj}^t , n kapasite seviyesinde j işleme tesisini açmanın sabit maliyeti (TL), aday yerleşim yerlerinden bağımsızdır; her bir kapasite seviyesinde bütün yerleşim yerlerinde aynı olduğu kabul edilmiştir.

Kapasiteler

R_{mk} : k atık kaynağında (müşteride) m atık ürününden yıllık oluşan sayı (tamsayı, ürünün sayısı) (adet/yıl) olarak kapasiteyi göstermektedir, $k \in K$, $m \in M$,

h_l : i toplama ve ayırma tesisinin l seviyesindeki kapasitesi (yıllık maksimum depolama kapasitesi ($m^3/yıl$)), $l \in L$. Her bir i toplama tesisi için, l seviyesinde hacim olarak (m^3) kapasiteyi göstermektedir.

q_n : j işleme tesisinin n kapasite seviyesindeki (yıllık max işleme kapasitesi (kg/yıl)), $n \in N$. Her bir j işleme tesisi için, n seviyesinde ağırlık olarak (kg) kapasiteyi göstermektedir.

Mesafeler

d_{ki}^1 : k atık üretim kaynağı (atık oluşma yerleri; müşteri bölgeleri) ile i ayırma-toplama tesisleri arasındaki mesafe (km cinsinden), $i \in I$, $k \in K$.

d_{ij}^2 : i toplama –ayırma tesisleri ile işleme tesisleri arasındaki mesafe (km cinsinden), $i \in I$, $j \in J$.

Gelir

rev_m : işleme tesislerinde işlenmiş, yani, kırma ve öğütmeden geçirilerek değişik yöntemlerle fiziksel olarak birbirinden türlerine-gruplarına göre ayrılmış m atık ürününün, rafinerilere geri dönüşüm için 1 kg ının satışından elde edilen gelir (kg/TL), $m \in M$.

Hacim

V_m : m ürününün m^3 olarak hacmini göstermektedir. Bir ürününün çok çeşitli marka ve modellerinden ortalama olarak alınmıştır.

Ağırlık

W_m : m ürününün kg olarak ağırlığını göstermektedir. Bir ürününün çok çeşitli marka ve modellerinden ortalama olarak alınmıştır.

Diğerleri

e_m : m ürününden her bir kaynakta oluşan ürün miktarından ağırlık olarak (kg) toplanması gereken en az yüzdeler orandır, örneğin 0,75 gibi. Her bir ürün için en az toplama oranı, işleme oranında olduğu gibi, yasalar ile zorunlu tutulabilmekte ve/veya bir hedef olarak belirlenebilmektedir.

P_m^{rc} : m ürününün hurdasının kg fiyatı, TL olarak

α_m : m ürününden maximum işleme oranı, ağırlığın yüzdesi olarak

β_m : m ürününden minimum işleme oranı, ağırlığın yüzdesi olarak

C_m^{dem} : m ürününün demontajda kg sökme maliyeti, TL olarak

Matematiksel Model

Birinci Amaç

$$\begin{aligned}
\text{Min } & \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \\
& + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * [(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc}] \\
& + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\
& + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} [X_{mj}^{dis} * (C_m^{dem} + C_m^d) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m)] \tag{5.1}
\end{aligned}$$

İkinci Amaç:

$$\text{Max } \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 \tag{5.2}$$

Üçüncü Amaç:

$$\text{Min } \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \tag{5.3}$$

Dördüncü Amaç:

$$\text{Min } \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{dis} \tag{5.4}$$

Beşinci Amaç:

$$\text{Max } \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \tag{5.5}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i \in I} X_{mki}^1 \leq R_{mk} * W_m \quad \forall k, m \quad (5.6)$$

$$\sum_{i \in I} X_{mki}^1 \geq e_m * R_{mk} * W_m \quad \forall k, m \quad (5.7)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{k \in K} X_{mki}^1 * V_m / W_m \leq \sum_{l \in L} h_l * Y_{li}^c \quad \forall i \quad (5.8)$$

$$\sum_m X_{mj}^{ref} \leq \sum_{n \in N} q_n * Y_{nj}^t \quad \forall j \quad (5.9)$$

$$\sum_{k \in K} X_{mki}^1 = \sum_{j \in J} X_{mij}^2 \quad \forall m, i \quad (5.10)$$

$$\sum_{i \in I} X_{mij}^2 = X_{mj}^{ref} + X_{mj}^{dis} \quad \forall m, j \quad (5.11)$$

$$X_{mj}^{ref} \leq \alpha_m * \sum_{i \in I} X_{mij}^2 \quad \forall m, j \quad (5.12)$$

$$X_{mj}^{ref} \geq \beta_m * \sum_{i \in I} X_{mij}^2 \quad \forall m, j \quad (5.13)$$

$$X_{mj}^{dis} \leq (1 - \beta_m) * \sum_{i \in I} X_{mij}^2 \quad \forall m, j \quad (5.14)$$

$$X_{mj}^{dis} \geq (1 - \alpha_m) * \sum_{i \in I} X_{mij}^2 \quad \forall m, j \quad (5.15)$$

$$\sum_{l \in L} Y_{li}^c \leq 1 \quad \forall i \quad (5.16)$$

$$\sum_{n \in N} Y_{nj}^t \leq 1 \quad \forall j \quad (5.17)$$

$$Y_{li}^c, Y_{nj}^t \in \{0,1\} \quad \forall n \in N, i \in I, j \in J, l \in L \quad (5.18)$$

$$X_{mj}^{ref}, X_{mj}^{dis}, X_{mki}^1, X_{mij}^2 \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, m \in M \quad (5.19)$$

Modelde, Eş. 5.1 birinci amaç fonksiyonu olup, toplam maliyetin minimizasyonunu göstermektedir. Eş. 5.1'deki ilk iki terim, toplama-ayırma tesisi ve işleme tesisi açmanın sabit maliyetleri, 3. terim, m atık ürününü tüm üretim kaynaklarından (atık oluşma yerlerinden; müşteri bölgelerinden) tüm ayırma-toplama tesislerine taşımının

maliyeti ve atık satın alma maliyeti maliyetlerinin toplamı, 4. terim, toplama tesislerinden işleme tesislerine taşıma maliyeti ve son terim, toplam bertaraf (imha) maliyeti (içinde bertaraf tesisine taşıma maliyeti de var) ve demontaj maliyeti, eksi, işleme tesislerinde toplam işleme maliyeti ile işlenmiş, rafinerilerde geri dönüşüm yapılmak üzere satılan miktardan elde edilen toplam geliri göstermektedir. Eş. 5.2., ikinci amaç fonksiyonu olup, bütün k atık oluşma kaynaklarından (müşterilerden) bütün m atık ürünlerden bütün toplama tesislerine taşınacak toplam atık ürün miktarının ağırlık olarak (kg) maksimizasyonunu göstermektedir. Eş.5.3., n kapasite seviyesinde açılan bütün j işleme tesislerinin kapasiteleri toplamı ile bütün j işleme tesislerinden bütün m ürünlerinden rafinerilere satılacak toplam miktarın farkı, işleme tesislerinin toplam boş kapasitesine eşit olup üçüncü amaç fonksiyonunu göstermekte ve minimize edilmek istenmektedir. Eş. 5.4., dördüncü amaç, toplam imha miktarının minimizasyonunu, Eş.5.5., beşinci amaç, işlenip rafinerilere satılan toplam miktarın maksimizasyonunu göstermektedir. Eş. 5.6., her bir atık oluşma kaynağında, her bir atık üründen oluşan maksimum atık miktarını göstermektedir. Her bir k kaynağında her bir m ürününden, bütün i toplama tesislerine gidecek ürün miktarının ağırlık olarak toplamı, en çok o atık kaynağında (müşteride) o atık üründen oluşabilecek miktarı (kapasite) kadar olabilir. Her iki taraf ağırlık (kg) cinsindedir. R_{mk} , k atık kaynağında (müşteride) m atık ürününden oluşabilecek sayı (tamsayı, ürünün sayısı) olarak kapasiteyi göstermektedir. Eş. 5.7., her bir m ürününden her bir k kaynağından ağırlık olarak (kg) toplanıp işlenmesi gereken minimum ürün miktarı. (e_m ; m ürününden her bir kaynaktan oluşan ürün miktarından ağırlık olarak (kg) toplanıp işlenmesi gereken en az yüzdelik oranı göstermektedir, örneğin 0,75 gibi. Her bir ürün için en az toplama oranı, işleme oranında olduğu gibi yasalar ile zorunlu tutulabilmekte ve/veya bir hedef olarak belirlenebilmektedir). Eş. 5.8., i toplama ve ayırma tesislerinin kapasitesini belirtmektedir (her iki taraf m^3 cinsindedir). h_i ; her bir i toplama tesisi için, l (L) seviyesinde, hacim olarak (m^3) kapasiteyi göstermektedir. Eş. 5.9., j işleme tesislerinin kapasite kısıtını ifade etmektedir. Her iki taraf kg cinsindedir. Eş. 5.10., i toplama ve ayırma tesislerinden her biri için, m ürününden bütün k müşterilerinden gelen toplam miktar ile bütün j'lere giden toplam miktarın birbirine eşit olduğunu (akış dengesini) göstermektedir.

Eş. 5.11., her bir m ürünü için, bütün i toplama tesislerinden her bir j işleme tesisine gelen atık ürün miktarı toplamının, o işleme tesisinden o üründen imhaya ve rafinerilere giden miktar toplamına eşit olduğunu belirtmektedir. Her iki taraf kg cinsindedir. Minimum imha oranı, çevre ve canlı sağlığını (ekolojik dengeyi) atık ürünlerin içerdiği zararlı ve/veya zehirli (toksik) maddelerden korumak amacıyla yasalar tarafından konulmaktadır. Ekonomik olmayan ürünlerin, gerekmiyorsa, daha az işlenmesi yani minimum imha oranından daha büyük oranda imhası söz konusu olabilir. Diğer bir ifadeyle, ekonomik nedenlerle, minimum imha oranını aşan oranda imha yapılabilmekte, teknik nedenlerle de, teknolojinin en fazla işleyebildiği bir oran söz konusu olabilmektedir. Böylece, maksimum imha ve maksimum işleme oranları ile ilgili kısıtların da modele eklenmesi gereği ortaya çıkmaktadır. En az geri dönüşüm oranı Minimum İşleme Oranına (MİO) eşit olup, grup içindeki ürünler için aynı olmak üzere her bir ürün grubu için farklı yüzdelerde, yasalar tarafından konulmaktadır. Kısacası; minimum imha ve minimum işleme oranları yasalar tarafından konulmaktadır. AEEE yönetmeliği yasalaşınca, Türkiye de bu yükümlülüklerle tabi olacaktır. Oran olarak, minimum işleme maksimum imhayı, maksimum işleme de minimum imhayı etkilemekte ve üzerine kısıt koymaktadır, bunların her birinin tersi de doğrudur. Eş.5.12., maksimum işleme oranı ile ilgili kısıttır. Bir j işleme tesisinde bir m ürününden işlenebilecek maksimum miktar, o üründen o işleme tesisine bütün toplama tesislerinden gelen miktar toplamı ile o ürünün (Maksimum İşleme Oranı (MAKİO)=1-MİO) MAKİO çarpımı değerinden küçük veya eşit olmalıdır. α_m , bir parametre olup maksimum işleme oranını ifade etmektedir, örneğin, 0,92 gibi.

Eş. 5.13., minimum işleme oranı ile ilgili kısıttır. β_m , minimum işleme oranı (bir atık üründe, zehirli ve ekolojik açıdan zararlı maddelerin uygun imha edilmesi gerekli ve zorunludur, bu maddelerin atık üründeki ağırlık oranı imha oranına tekabül etmektedir), her bir ürün grubu ve grubun içindeki her bir ürün için farklıdır, örneğin 0,75 gibi. Eş. 5.14., maksimum imha oranı ile ilgili kısıttır. Örneğin $\beta_m=0,75$ ise, $(1-\beta_m) = (1-0,75)=0,25$ olacaktır. Eş. 5.15., minimum imha oranı ile ilgili kısıttır. Örneğin $\alpha_m=0,92$ ise, $(1-\alpha_m)=(1-0,92)=0,08$ yani % 8 olacaktır. Eş.

5.16., her bir i toplama tesisinin l (L) farklı kapasite seviyesinden en çok birinde açılabileceğini göstermektedir (açılırsa l (L) farklı kapasite seviyesinden sadece birinde açılacak, veya açılmayacak). Eş. 5.17., her bir j işleme tesisinin n (N) farklı kapasite seviyesinden en çok birinde açılabileceğini göstermektedir (açılırsa n farklı kapasite seviyesinden sadece birinde açılacak, veya açılmayacak). Eş. 5.18.'de, ilk iki terim sırayla, l (L) ve n (N) kapasite seviyesinde i ve j tesislerinin açılıp açılmamasını ifade eden kısıtlardır. Eş. 5.19., karar değişkenlerinin negatif olmama koşulunu sağlayan kısıtlardır.

6. ANKARA İLİ UYGULAMASI

Uygulamalı durumlar çoğunlukla iyi tanımlanmamıştır ve böylece kesin bir şekilde tarif edilemez. Bu kesin olmayan özellik, bulanıklıktır [Lai ve Hwang, 1992].

Bütün kavramlar ve teknikler gerçek dünya problemleri için geliştirilmiştir. Böylece, en önemli husus, gerçek karar vericiler ile gerçek uygulamaları içermektir. Ne yazık ki bu gerçek uygulamalar literatürde çok nadir rapor edilmiştir. Gerçek uygulamaları çözmek için, gerçek karar vericiler ile araştırmacılar arasındaki boşluğu doldurmak ve uygulamalı problemlerin tartışmaları, kavramlar ve teknikler kadar önemli olarak düşünülmektedir. Uygulamalı problemlerin tartışmalarıyla, gerçek karar vericilerin, bulanık modellemenin yararlılığı konusunda daha fazla güven elde edecekleri umulmaktadır [Lai ve Hwang, 1992].

Yukarıda anılan gerekçelerle, bir gerçek dünya uygulamasının yapılmasına karar verilmiş, uygulama yeri ve alanı, sırayla Ankara ve AEEE olarak seçilmiştir.

Türkiye’de AEEE geri kazanımı için ilgili bir sistem önerilmiş, önerilen sistemin işleyişi dikkate alınarak, bir yerleşim -dağıtım şebekesi olarak matematiksel model oluşturulmuş ve Model, Intel Core 2 Duo CPU, 2,33 GHz ile 1,98GHz 980 MB RAM özelliklerine sahip bir kişisel bilgisayarda, GAMS 22.1 ticari yazılımı ve CPLEX 8.1 çözücüsü kullanılarak çözülmüştür.

Modelin Ankara ili uygulamasında, deterministik ortamda, Önceliği Koruma Yöntemi ile amaçların optimizasyonu ve amaçlara ulaşmak için çözümler yapılmıştır.

Bulanık ortamda, Zimmermann’ın Bulanık Doğrusal Programlama [Zimmermann, 1978], Hannan’ın Bulanık Amaç Programlama [Hannan, 1981a], Yang ve Arkadaşlarının Bulanık Amaç Programlama [Yang ve ark., 1991], Tiwari ve arkadaşlarının Öncelikli Bulanık Amaç Programlama [Tiwari ve ark., 1986] yaklaşımı temelinde; Hannan [Hannan, 1981a] ve Yang [Yang ve ark., 1991]

yaklaşımları ile Hannan'ın [Hannan, 1981b] ve Tiwari ve Arkadaşlarının [Tiwari ve ark., 1987] Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model Yaklaşımları kullanılmıştır.

Ankara'nın bütün ilçeleri (toplam 25), atık oluşma kaynakları (müşteri kümeleri) ve toplama ve işleme tesisleri için potansiyel tesis yer seçimleri olarak alınmıştır. İndis kümesi sırayla; 1-Akyurt, 2-Etimesgut, 3-Gölbaşı, 4-Kazan, 5-Polatlı, 6-Pursaklar, 7-Sincan, 8-Yenimahalle, 9-Altındağ, 10-Keçiören, 11-Çankaya, 12-Mamak, 13-Çubuk, 14-Elmadağ, 15-Ayaş, 16-Bala, 17-Beyazıt, 18-Çamlıdere, 19-Evren, 20-Güdül, 21-Haymana, 22-Kalecik, 23-Kızılcahamam, 24-Nallıhan, 25-Şereflikoçhisar'dır. Potansiyel müşteri kümeleri-bölgeleri-yerleşimlerinde oluşan atık ürünler olarak farklı 6 tane ürün cinsi alınmıştır. Ürünler seçilirken; açığa çıkma potansiyeli, ürünün hayat çevrimi, Türkiye ve özelinde Ankara'daki müşteri bölgelerindeki sosyo kültürel ve ekonomik seviye, kullanım alışkanlığı ve yaygınlığı ve değerli metalleri yüksek oranda içeren AEEE atık gruplarına ve o gruplar içinde en önemli ve ağırlık-değer olarak önde gelen ve mevcut teknoloji ile işleme imkanı olan ürünlere öncelik verilmiştir. Bu amaçla, Cui ve Zhang'ın, farklı elektronik hurdalar için literatürdeki metal içerik örnekleri ve farklı elektronik hurda örnekleri için hesaplanan (%) değer dağılımı ile, Barba-Guti'erez ve arkadaşlarının, dört farklı AEEE ürünün bileşen içeriklerini veren ve EK-2'de sunulan çalışmalardan yararlanılmıştır [Cui ve Zhang, 2008; Barba-Guti'erez ve ark., 2008].

Soğutucular ve buzdolapları, yaklaşık toplam atığın ağırlıkça % 20'sini oluşturmasına rağmen, şu an Türkiye'de bu ürünleri işleyecek bir teknoloji bulunmamaktadır. Bütün AEEE'leri temsilen, weee içinde en büyük paya (ağırlık ve değer olarak) sahip Büyük Ev Eşyaları grubundan 1 (Çamaşır makinası), Tüketici elektroniğinden 2 (Tv (CRT) ve Bilgisayar Monitörü (CRT)), Bilgi teknolojileri grubundan 2 (Bilgisayar ve yazıcı) ve iletişim (telekomünikasyon) teknolojilerinden 1 (cep telefonu) seçilmiştir. M ürünleri sırayla;1-Bigisayar Kasası, 2-Cep Telefonu, 3-Tv (CRT), 4- Bilgisayar Monitörü (CRT), 5- Çamaşır Makinası, 6-Yazıcı olarak alınmıştır. j işleme tesisleri için ağırlık (kg) olarak üç farklı (1: Küçük; 2: Orta; 3: Büyük) kapasite seviyesi, i toplama tesisleri için hacim (m³) olarak sekiz farklı

seviyesi dikkate alınmıştır. Karar değişkenleri, toplama ve işleme tesisleri için Ankara’da optimal yer ve kapasite seçimi (hangi ilçeye, hangi tesisten, hangi kapasite seviyesinde kurulması gerektiği) ve şebekedeki bütün akış değerleridir.

AEEE sistemi ve genel model daha önce ayrıntılı olarak açıklandığından, bu kısımda, sadece uygulama için genel modelde gerekli olan, indis kümeleri (setler) ve parametre değerleri Çizelge 6.1.,...,6.6’da verilmiştir. Karar değişkenleri ve kısıtların verilmesine gerek yoktur, çünkü model; genel modeldeki kısıtlar altında, verilen setler ve parametleri kullanacak ve setler ve parametrelerin tanımladığı kısıtlarla tanımlanan karar değişkenlerini bulacaktır.

İndis Kümeleri

$K = \{1, \dots, 25\}$ Atık Oluşma Kaynakları (Müşteriler): 1, ..., 25; sabit müşteri yerleşimleri; potansiyel müşteriler; atık oluşma kaynakları; müşteri kümeleri olarak; Ankara’nın bütün ilçeleri (toplam 25) alınmıştır

$I = \{1, \dots, 25\}$ toplama ve ayırma için potansiyel tesis yer seçimleri (yerleşimleri); toplama tesisleri için aday yerler kümesi; toplama ve işleme tesisleri yerleştirmeleri için aday yerler olarak; Ankara’nın bütün ilçeleri (toplam 25) alınmıştır

$J = \{1, \dots, 25\}$ potansiyel işleme tesisleri yerleşimleri; işleme tesisleri yerleştirmeleri için aday yerler olarak; Ankara’nın bütün ilçeleri (toplam 25) alınmıştır

$M = \{1, \dots, 6\}$ potansiyel müşteri kümeleri-bölgeleri-yerleşimlerinde oluşan atık ürün cinslerini göstermektedir. m (M) ürünleri, sırayla; 1-Bigisayar Kasası, 2-Cep Telefonu, 3-Tv (CRT), 4- Bilgisayar Monitörü (CRT), 5- Çamaşır Makinası, 6- Yazıcı olarak alınmıştır.

$N = \{1, 2, 3\}$, j işleme tesisleri için ağırlık (kg) olarak kapasite seviyelerini göstermektedir (1: Küçük; 2: Orta; 3: Büyük).

$L = \{1, \dots, 8\}$ i toplama tesisleri için hacim (m^3) seviyelerini göstermektedir

Sosyo-kültürel -ekonomik yapı temelinde, ürünlerin sahiplik, geri dönüş oranları/geri dönen ürün sayısı ve ürün taşıma maliyetinin bulunması bilgileri ve hesapları EK-3’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Ürünlerle (m) ilgili hurda fiyatları (P_m^{rc} ; TL/kg), işleme maliyeti (C_m^t ; TL/kg), imha maliyeti (C_m^d ; TL/kg), demontaj maliyeti (C_m^{dem} ; TL/kg), gelir (TL/kg), ağırlık (kg), hacim (m^3), maksimum işleme oranı (α_m ; %), minimum işleme oranı (β_m ; %) ve toplama oranı (e_m ; %)

m	P_m^{rc}	C_m^t	C_m^d	C_m^{dem}	rev_m	V_m	W_m	α_m	β_m	e_m
1	1,81	0,38	1,27	0,099	5,06	0,03	12,17	0,95	0,65	0,9
2	35,71	0,28	1,27	0,126	199,08	0,00009	0,14	0,98	0,65	0,9
3	0,55	0,50	1,27	0,211	0,41	0,134	14,65	0,85	0,65	0,75
4	0,68	0,50	1,27	0,211	0,41	0,062	14,65	0,85	0,65	0,75
5	0,51	0,21	1,27	0,126	0,63	0,3	65	0,92	0,75	0,80
6	1,23	0,28	1,27	0,058	1,37	0,022	6,53	0,95	0,65	0,90

Çizelge 6.2. İşleme tesislerinin kapasite seviyeleri (n) ve değerleri (q_n , kg) ile n kapasitesinde j işleme tesisi açma maliyetleri (f_{nj}^t , TL)

n	q_n	J	f_{nj}^t
1	5600000	\forall_j	2625000
2	11800000		3500000
3	17200000		4500000

Çizelge 6.3. Toplama tesislerinin hacim seviyeleri (l) ve değerleri (h_l , m^3) ile l hacim seviyesinde i toplama tesisi açma maliyetleri (f_{li}^c , TL)

l	h_l	i	f_{li}^c
1	25000	\forall_i	187000
2	50000		281000
3	75000		351000
4	100000		439000
5	125000		549000
6	150000		686000
7	175000		858000
8	200000		1072000

Çizelge 6.4. Müşterilerden (k) geri dönen ürünlerin (m) sayısı (R_{mk}) (adet/yıl)

m	k	R_{mk}	m	k	R_{mk}	m	k	R_{mk}	m	k	R_{mk}
1	.1	20	1	.8	34993	1	.15	31	1	.22	17
2	.1	896	2	.8	150580	2	.15	657	2	.22	509
3	.1	204	3	.8	34223	3	.15	150	3	.22	116
4	.1	27	4	.8	28068	4	.15	41	4	.22	23
5	.1	262	5	.8	44001	5	.15	193	5	.22	149
6	.1	18	6	.8	18044	6	.15	26	6	.22	15
1	.2	7886	1	.9	897	1	.16	6	1	.23	61
2	.2	70500	2	.9	23093	2	.16	263	2	.23	1298
3	.2	16023	3	.9	5249	3	.16	60	3	.23	295
4	.2	10514	4	.9	1196	4	.16	7	4	.23	82
5	.2	20601	5	.9	6748	5	.16	77	5	.23	380
6	.2	6759	6	.9	769	6	.16	5	6	.23	53
1	.3	2869	1	.10	22094	1	.17	135	1	.24	52
2	.3	12342	2	.10	95076	2	.17	2802	2	.24	1046
3	.3	2805	3	.10	21609	3	.17	637	3	.24	238
4	.3	1339	4	.10	8993	4	.17	180	4	.24	70
5	.3	3607	5	.10	27782	5	.17	819	5	.24	306
6	.3	861	6	.10	5782	6	.17	116	6	.24	45
1	.4	660	1	.11	54535	1	.18	9	1	.25	64
2	.4	2837	2	.11	270387	2	.18	201	2	.25	1723
3	.4	645	3	.11	61452	3	.18	46	3	.25	392
4	.4	179	4	.11	72713	4	.18	11	4	.25	85
5	.4	829	5	.11	79009	5	.18	59	5	.25	504
6	.4	115	6	.11	46744	6	.18	7	6	.25	55
1	.5	1772	1	.12	9461	1	.19	2			
2	.5	7624	2	.12	40712	2	.19	111			
3	.5	1733	3	.12	9253	3	.19	26			
4	.5	482	4	.12	2458	4	.19	4			
5	.5	2228	5	.12	11897	5	.19	33			
6	.5	310	6	.12	1580	6	.19	3			

Çizelge 6.4. (Devam) Müşterilerden (k) geri dönen ürünlerin (m) sayısı (R_{mk})
(adet/yıl)

m	k	R_{mk}
1	.6	1462
2	.6	6292
3	.6	1430
4	.6	307
5	.6	1839
6	.6	198
1	.7	6551
2	.7	28187
3	.7	6407
4	.7	1444
5	.7	8237
6	.7	929

m	k	R_{mk}
1	.13	95
2	.13	3412
3	.13	776
4	.13	127
5	.13	997
6	.13	82
1	.14	114
2	.14	2793
3	.14	635
4	.14	152
5	.14	816
6	.14	98

m	k	R_{mk}
1	.20	126
2	.20	743
3	.20	169
4	.20	168
5	.20	217
6	.20	109
1	.21	11
2	.21	393
3	.21	90
4	.21	14
5	.21	115
6	.21	9

Çizelge 6.5. Ürünlerin bir biriminin tesisler arası taşıma maliyetleri (TL/br ürün*km)

m	i	j	C_{mij}^2
m	k	i	C_{mki}^1
1	.1	.1	0
1	.1	.2	0,20
1	.1	.3	0,20
1	.1	.4	0,20
1	.1	.5	0,20
1	.1	.6	0,20
1	.1	.7	0,20
1	.1	.8	0,20
1	.1	.9	0,20
1	.1	.10	0,20
1	.1	.11	0,20
1	.1	.12	0,20
1	.1	.13	0,20
1	.1	.14	0,20
1	.1	.15	0,20
1	.1	.16	0,20
1	.1	.17	0,20
1	.1	.18	0,20
1	.1	.19	0,20
1	.1	.20	0,20
1	.1	.21	0,20
1	.1	.22	0,20
1	.1	.23	0,20
1	.1	.24	0,20
1	.1	.25	0,20

m	i	j	Cmij
m	k	i	Cmki
2	.1	.1	0
2	.1	.2	0,0006
2	.1	.3	0,0006
2	.1	.4	0,0006
2	.1	.5	0,0006
2	.1	.6	0,0006
2	.1	.7	0,0006
2	.1	.8	0,0006
2	.1	.9	0,0006
2	.1	.10	0,0006
2	.1	.11	0,0006
2	.1	.12	0,0006
2	.1	.13	0,0006
2	.1	.14	0,0006
2	.1	.15	0,0006
2	.1	.16	0,0006
2	.1	.17	0,0006
2	.1	.18	0,0006
2	.1	.19	0,0006
2	.1	.20	0,0006
2	.1	.21	0,0006
2	.1	.22	0,0006
2	.1	.23	0,0006
2	.1	.24	0,0006
2	.1	.25	0,0006

m	i	j	C_{mij}^2
m	k	i	C_{mki}^1
3	.1	.1	0
3	.1	.2	0,90
3	.1	.3	0,90
3	.1	.4	0,90
3	.1	.5	0,90
3	.1	.6	0,90
3	.1	.7	0,90
3	.1	.8	0,90
3	.1	.9	0,90
3	.1	.10	0,90
3	.1	.11	0,90
3	.1	.12	0,90
3	.1	.13	0,90
3	.1	.14	0,90
3	.1	.15	0,90
3	.1	.16	0,90
3	.1	.17	0,90
3	.1	.18	0,90
3	.1	.19	0,90
3	.1	.20	0,90
3	.1	.21	0,90
3	.1	.22	0,90
3	.1	.23	0,90
3	.1	.24	0,90
3	.1	.25	0,90

m	i	j	C_{mij}^2
M	k	i	C_{mki}^1
4	.1	.1	0
4	.1	.2	0,42
4	.1	.3	0,42
4	.1	.4	0,42
4	.1	.5	0,42
4	.1	.6	0,42
4	.1	.7	0,42
4	.1	.8	0,42
4	.1	.9	0,42
4	.1	.10	0,42
4	.1	.11	0,42
4	.1	.12	0,42
4	.1	.13	0,42
4	.1	.14	0,42
4	.1	.15	0,42
4	.1	.16	0,42
4	.1	.17	0,42
4	.1	.18	0,42
4	.1	.19	0,42
4	.1	.20	0,42
4	.1	.21	0,42
4	.1	.22	0,42
4	.1	.23	0,42
4	.1	.24	0,42
4	.1	.25	0,42

m	i	j	C_{mij}^2
m	k	i	C_{mki}^1
5	.1	.1	0
5	.1	.2	2,01
5	.1	.3	2,01
5	.1	.4	2,01
5	.1	.5	2,01
5	.1	.6	2,01
5	.1	.7	2,01
5	.1	.8	2,01
5	.1	.9	2,01
5	.1	.10	2,01
5	.1	.11	2,01
5	.1	.12	2,01
5	.1	.13	2,01
5	.1	.14	2,01
5	.1	.15	2,01
5	.1	.16	2,01
5	.1	.17	2,01
5	.1	.18	2,01
5	.1	.19	2,01
5	.1	.20	2,01
5	.1	.21	2,01
5	.1	.22	2,01
5	.1	.23	2,01
5	.1	.24	2,01
5	.1	.25	2,01

m	i	j	C_{mij}^2
m	k	i	C_{mki}^1
6	.1	.1	0
6	.1	.2	0,15
6	.1	.3	0,15
6	.1	.4	0,15
6	.1	.5	0,15
6	.1	.6	0,15
6	.1	.7	0,15
6	.1	.8	0,15
6	.1	.9	0,15
6	.1	.10	0,15
6	.1	.11	0,15
6	.1	.12	0,15
6	.1	.13	0,15
6	.1	.14	0,15
6	.1	.15	0,15
6	.1	.16	0,15
6	.1	.17	0,15
6	.1	.18	0,15
6	.1	.19	0,15
6	.1	.20	0,15
6	.1	.21	0,15
6	.1	.22	0,15
6	.1	.23	0,15
6	.1	.24	0,15
6	.1	.25	0,15

Çizelge 6.6. Uzaklıklar matrisi (km)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0	60	37	75	124	23	61	47	37	34	53	50	16	34	92	103	136	121	212	127	111	36	103	193	184
2	59	0	20	39	72	35	8	8	20	29	49	40	64	59	46	78	89	84	187	90	86	94	67	146	159
3	37	19	0	54	76	17	28	23	17	14	15	22	42	43	60	67	103	100	176	106	75	72	82	161	148
4	76	38	53	0	103	52	40	37	53	46	79	76	44	92	52	124	95	56	233	52	120	111	30	153	204
5	125	75	76	105	0	101	72	86	76	95	98	105	130	128	64	129	103	147	238	94	45	160	133	161	210
6	26	36	17	51	100	0	37	23	17	10	33	30	32	46	68	83	112	97	192	103	91	61	79	169	163
7	61	10	27	41	73	37	0	14	27	31	62	60	66	77	35	93	78	83	203	58	90	96	69	135	174
8	45	9	25	36	85	21	15	0	25	15	48	45	50	61	47	84	90	82	193	88	92	80	64	147	165
9	37	19	16	54	76	17	28	23	0	14	15	22	42	43	60	67	103	100	176	106	75	72	82	161	148
10	34	31	14	46	95	10	33	19	14	0	37	34	39	50	64	78	107	92	187	98	85	69	74	165	158
11	51	48	15	78	100	32	61	50	15	37	0	13	57	36	96	48	139	124	181	130	80	84	106	196	152
12	48	59	24	74	107	28	61	47	24	34	13	0	53	29	92	79	135	120	188	126	87	77	103	193	159
13	16	64	42	42	129	28	66	52	42	39	58	55	0	71	97	108	141	126	217	132	116	50	58	198	189
14	35	62	43	93	131	47	80	65	43	52	37	30	72	0	111	54	154	139	212	145	111	49	121	212	184
15	95	44	61	54	62	70	36	48	61	65	96	94	100	111	0	127	43	73	236	34	124	130	82	101	208
16	103	78	67	124	132	84	92	83	67	78	48	80	109	54	127	0	170	166	120	172	86	98	153	228	92
17	136	86	103	95	103	112	78	89	103	106	137	136	141	152	45	169	0	93	278	33	165	171	123	58	249
18	122	84	100	56	146	98	83	83	100	92	125	122	128	138	93	167	85	0	276	61	163	157	26	208	247
19	211	186	175	233	240	192	200	191	175	187	182	189	217	212	235	119	279	275	0	281	155	212	261	336	30
20	128	66	83	52	93	104	59	89	83	98	131	128	134	144	36	173	33	60	282	0	169	163	57	91	253
21	112	87	75	142	42	92	110	91	75	87	82	89	117	112	101	86	141	184	155	131	0	160	170	198	127
22	36	95	72	110	159	58	97	82	72	69	84	77	49	49	128	98	171	156	189	162	152	0	138	228	161
23	104	66	82	30	131	80	69	65	82	74	107	104	57	120	80	152	123	27	261	56	149	139	0	181	233
24	196	145	162	155	163	171	137	149	162	166	197	195	201	212	105	228	60	209	337	92	225	231	214	0	309
25	183	158	147	204	212	164	172	163	147	158	153	160	188	184	207	91	250	246	30	252	126	161	233	308	0

m=1 ve $\forall_{k,i,j}$	$k \in K, i \in I, j \in J$; $C_{mki}=C_{mij} = 0,20$ TL/br ürün*km
m=2 ve $\forall_{k,i,j}$	$k \in K, i \in I, j \in J$; $C_{mki}=C_{mij} = 0,0006$ TL/br ürün*km
m=3 ve $\forall_{k,i,j}$	$k \in K, i \in I, j \in J$; $C_{mki}=C_{mij} = 0,90$ TL/br ürün*km
m=4 ve $\forall_{k,i,j}$	$k \in K, i \in I, j \in J$; $C_{mki} = C_{mij} = 0,42$ TL/br ürün*km;
m=5 ve $\forall_{k,i,j}$	$k \in K, i \in I, j \in J$; $C_{mki} = C_{mij} = 2,01$ TL/br ürün*km
m=6 ve $\forall_{k,i,j}$	$k \in K, i \in I, j \in J$; $C_{mki} = C_{mij} = 0,15$ TL/br ürün*km

Uzaklık matrisi asitmetriktir. Toplama tesisi ve işleme tesisi aynı yerde ise, yani, $i=j$ ise, $d_{ij}^2=0$ ve dolayısıyla, \forall_m için; $C_{mij}^2=0$ 'dır. Müşteri ve toplama tesisi aynı yerde ise, yani, $k=i$ ise, $d_{ki}^1=0$ ve dolayısıyla, \forall_m için; $C_{mki}^1=0$ 'dır.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Deterministik Ortamda Önceliği Koruma Yöntemi ile Amaçların Optimize Edilmesi için Çözümler

Stratejik planlamada karar vericiye karar desteği sağlayacağı düşünülen model, sistemin, gerçek dünyanın ve uygulama alanı ile yerinin bütün özellikleri ve varsayımlarını dikkate alan gerçek verilerle çözülmüştür, bu gerekçelerle, gerçek dünyada uygulanabilir, esnek, etkin ve etkili karar verme stratejileri sunmaktadır.

Önceliği Koruma Yöntemiyle amaçları optimize etmek için çözümde, değerleri belirli amaçları tam gerçekleştirmeyi istemek yerine, değerleri belli olmayan amaçları optimum kılmak istemek söz konusudur.

Tam Ölçekli Model (TOM) olarak adlandırdığımız büyük modelin 5 farklı amaç fonksiyonu için, amaç fonksiyonu değerleri, iterasyon sayıları ve cpu (saniye) değerleri, toplama ve işleme tesislerinin açıldıkları yerler, açılan toplam tesis sayıları ve açıldıkları kapasite seviyeleri aşağıdaki Çizelge 7.1.'de verilmiştir. TOM Modelinin GAMS kodu çok büyük boyutlu olduğundan verilmemiş, onun yerine, TOM'un küçültülerek Küçük Model (KM) adı verilen bir modelle GAMS Programlama Paketinin Optimizasyon yazılımlarından biri olan ve MIP için en çok kullanılan Cplex çözücüsündeki programlama kodları EK-4'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) bireysel ideal çözüm sonuçları özeti ve model büyüklüğü ile ilgili veriler

PB	TAM ÖLÇEKLİ MODEL (TOM) (4)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AMAÇ NO					
AFD	-2408061.2488	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	4.250	0.234	0.609	0.140	0.328
İS	13334	4673	2537	1110	2555
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,.....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,.....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,.....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,.....,25 (25)
TOPKISTSAY	1 305				
TOPDEĞSAY	8 080				
IKLDEGSAY	275				

AFD: Amaç fonksiyonu değeri; CPU: Saniye olarak çözüm zamanı; İS: İterasyon sayısı; TTHS: Toplama tesisi hacim seviyesi;

TTAY (T): Toplama tesislerinin açıldıkları yerler (toplam sayısı); İTKS: İşleme tesisleri kapasite seviyesi;

İTAY (T): İşleme tesislerinin açıldıkları yerler (toplam sayısı)

TOPKISTSAY: Toplam kısıt sayısı (5 tane amaç fonksiyonu denklemi de kısıt olarak alınmıştır).

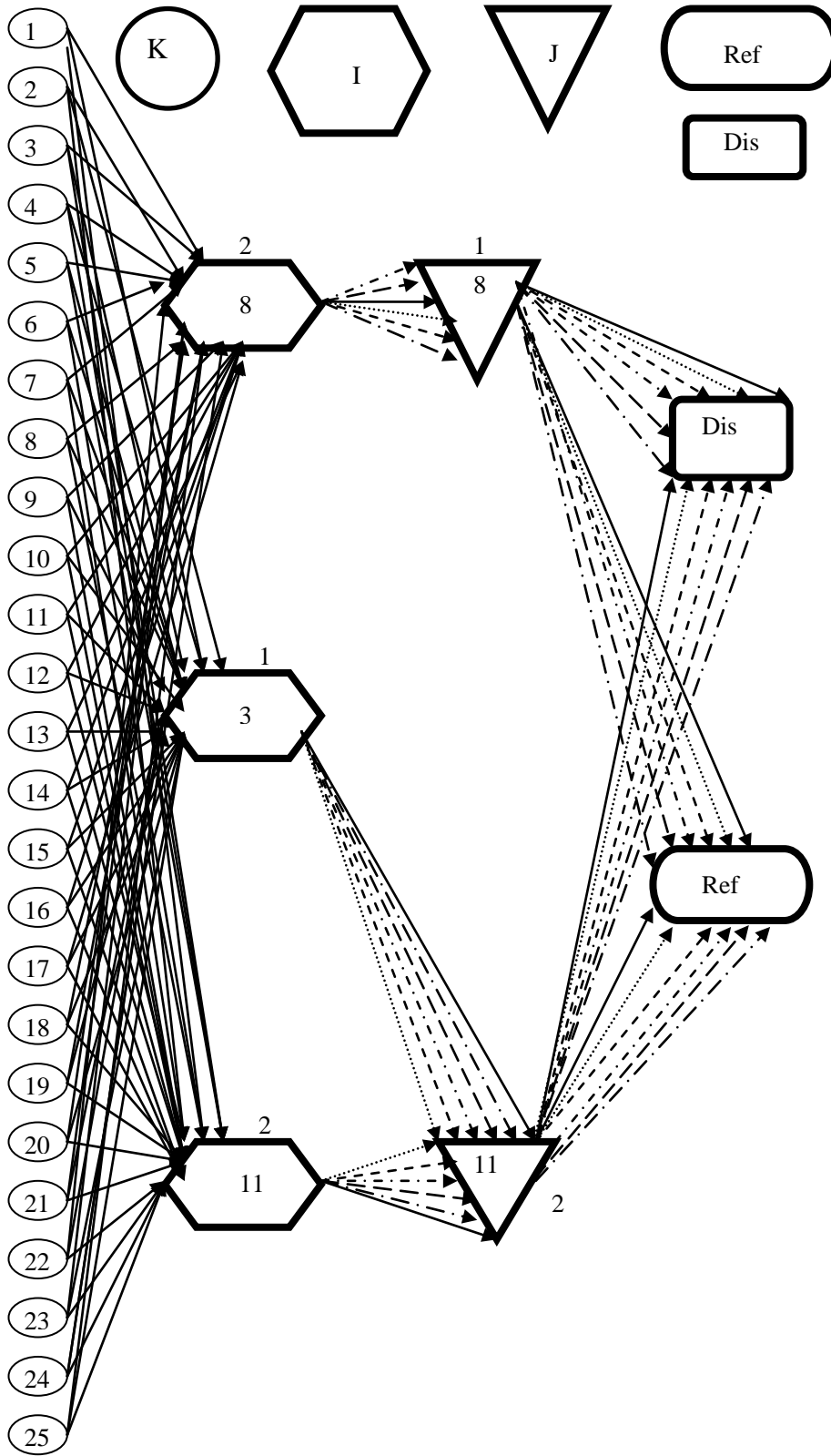
TOPDEĞSAY: Toplam değişken sayısı (5 tane amaç fonksiyonu da değişken olarak alınmıştır).

IKLDEGSAY: İkili değişken sayısını ifade etmektedir.

TOM modelinde, Ankara'nın 25 ilçesi müşteri bölgesi ve toplama ve işleme tesisleri için aday yerleşim yerleri olarak alınmış, toplama tesisleri için 8 farklı kapasite seviyesi, işleme tesisleri için, teknik gerekçelerle ancak 3 farklı kapasite seviyesi indis kümesi olarak alınmıştır. Ürün sayısı olarak, AEEE'yi temsil edebilmesi amacıyla en önemli 6 ürün dikkate alınmıştır. Model, 5 farklı amaçtan oluşmaktadır. Modelin, toplam kısıt sayısı 1305, toplam değişken sayısı 8080, ikili değişken sayısı da 275'dir. Çizelge 7.1.'de görüldüğü gibi; her bir amaç fonksiyonunun optimizasyonu için yapılan ayrı çözümde, toplam maliyetin minimizasyonu amacı

-2408061,2488 olarak gerçekleşmiştir. Eksi değerli çıkması, kâra geçildiği, yaklaşık 2,5 milyon TL kâr elde edildiği anlamına gelmektedir. Çizelge 7.1. ve Şekil 7.1.'den; 3 (Gölbaşı), 8 (Yenimahalle) ve 11 (Çanlaya)'da sırayla 1 (5600000 kg), 2 (11800000 kg), 2 (11800000 kg) seviyelerinde toplama tesisi; 8 (Yenimahalle) ve 11 (Çanlaya)'da sırayla, 1 (25000 m³) ve 2 (50000 m³) seviyesinde işleme tesisi açıldığı görülmektedir. CPU değeri 4,250 sn, iterasyon sayısı ise 13334'dür. Diğer amaçlar için de aynı şekilde çıkarımlar yapılabilir. Dikkat çeken önemli husus, işleme tesislerinin en çok toplama tesis sayısı kadar ve toplama tesislerinin açıldığı yerde açılması olmuştur. Bu, beklenen bir sonuçtur, çünkü; işleme tesisleri toplama tesislerinin açıldığı bütün yerlerde ya da yerlerden bazılarında açılmalıdır ki, taşıma maliyeti ve dolayısıyla da toplam maliyet düşük olsun. Aynı yerde olan tesisler arasındaki mesafe, uzaklıklar matrisinde de görülebileceği gibi, sıfırdır ve dolayısıyla taşıma maliyeti söz konusu değildir. Buradan, toplama tesislerinin, işleme tesisleriyle aynı yerde, sıfır uzaklıkta, yani yan yana iki ayrı tesis veya bütünleşik bir tesis olarak açılması gerektiği sonucu çıkarılmaktadır. İşleme tesislerinin daha az sayıda açılması, kapasite seviyelerinin, doğal olarak, büyük olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 7.1.'de TOM Modelinin Amaç 1 (Z1) için çözüm şebekesi verilmiştir. Tesis içindeki sayılar, tesislerin açıldıkları yerleri, dışındakiler, açıldıkları kapasite seviyelerini göstermektedir. Herhangi iki tesis arasındaki, farklı biçimlerdeki oklar, farklı ürün akışlarını göstermektedir. Şebekenin ilk aşamasında, yani müşterilerden toplama tesislerine doğru olan farklı ürün akışları, şebekeyi aşırı karmaşıklaştıracağından farklı biçimlerdeki oklar ile gösterilmemiş, tek biçimli bir okla 6 farklı ürün akışı belirtilmek istenmiştir. Şekil 7.1.'deki şebekeden de; 3, 8 ve 11'de sırayla 1, 2, 2 seviyelerinde toplama tesisi; 8 ve 11'de sırayla 1 ve 2 seviyesinde işleme tesisi açıldığı görülmektedir. Primal akış değerleri dahil bütün çözüm değerleri, Çizelge 7.2.,..., Çizelge 7.5'de sunulmuştur. Diğer amaç fonksiyonları için de benzer şekilde çıkarımlar yapılabilir. Şekil 7.1.'de; $k = \{1, \dots, K\}$, müşterileri; $i = \{1, \dots, I\}$, açılan toplama-ayırma tesislerini; $j = \{1, \dots, J\}$, açılan işleme tesislerini; Ref, rafineri tesisini, Dis, imha tesisini göstermektedir. Rafineri ve imha tesisi karar değişkeni olmayıp, İzmit Kocaeli'de açık ve kapasitesiz oldukları dikkate alınmıştır.



Şekil 7.1. TOM modeli çözüm şebekesi

Çizelge 7.2. m ürününden k müşterisinden i toplama tesisine taşınan ürün miktarı (kg)

m	k	i		
		3	8	11
1	1	243		
1	2		95973	
1	3	34916		
1	4		8032	
1	5	21565		
1	6	17793		
1	7		79726	
1	8		425865	
1	9			10916
1	10	268884		
1	11			663691
1	12			115140
1	13	1156		
1	14			1387
1	15		377	
1	16			73
1	17		1643	
1	18		110	
1	19			22
1	20	1533		
1	21			134
1	22			207
1	23		742	
1	24		570	
1	25			779
2	1	125		
2	2	9870		
2	3	1728		
2	4	397		
2	5	1067		
2	6	881		
2	7	3946		
2	8	21081		
2	9			3233
2	10	13311		
2	11			37854
2	12			5700
2	13	478		
2	14			391
2	15	92		
2	16			37
2	17	392		
2	18	28		
2	19			16
2	20	104		
2	21			55
2	22			71
2	23	182		
2	24	146		
2	25			241
3	1		2241	
3	2		176053	
3	3			30820
3	4		7087	
3	5		19041	
3	6		15712	
3	7		70397	
3	8		376025	
3	9			57673
3	10		237429	
3	11			675204
3	12			101667
3	13		8526	
3	14			6977
3	15		1648	
3	16			659
3	17		6999	
3	18		505	
3	19			286
3	20		1857	
3	21			989
3	22			1275
3	23		3241	
3	24		2615	
3	25			4307
4	1	297		
4	2		115523	
4	3			14712
4	4		1967	
4	5	5296		
4	6	3373		
4	7		15866	
4	8		308397	
4	9			13141
4	10		98811	
4	11			798934
4	12			27007
4	13	1395		
4	14			1670
4	15		450	
4	16			77
4	17		1978	
4	18		121	
4	19			44
4	20	1846		
4	21			154
4	22			253
4	23		901	
4	24		769	
4	25			934
5	1	13624		
5	2		1071252	
5	3			187564
5	4		43108	
5	5	115856		

Çizelge 7.2.'de, TOM Modelinin Amaç 1 için çözümü sonucu bulunan X^1 mki primal değerleri verilmektedir .

Çizelge 7.3. m ürününden k müşterisinden i toplama tesisine taşınan ürün miktarı (kg) ve m ürününden i toplama tesisinden j işleme tesisine taşınan ürün miktarı (kg)

m	k	i		
		3	8	11
5	6	95628		
5	7		428324	
5	8		2288052	
5	9			350896
5	10	1433185	11479	
5	11			4108468
5	12			618644
5	13	51844		
5	14			42432
5	15		10036	
5	16			4004
5	17		42588	
5	18		3068	
5	19			1716
5	20	11284		
5	21			5980
5	22			7748
5	23		19760	
5	24		15912	
5	25			26208
6	1	106		
6	2		39723	
6	3	5060		
6	4		676	
6	5	1822		
6	6	1164		
6	7		5460	
6	8		106045	
6	9			4519
6	10	33981		
6	11			274714
6	12			9286
6	13	482		
6	14			576
6	15		153	

m	k	i		
		3	8	11
6	16			29
6	17		682	
6	18		41	
6	19			18
6	20	641		
6	21			53
6	22			88
6	23		311	
6	24		264	
6	25			323

m	i	j	
		8	11
1	3		346090
1	8	613037	
1	11		792350
2	3		53829
2	11		47598
3	8	929378	
3	11		879857
4	3		12207
4	8	544782	
4	11		856926
5	3		1721421
5	8	3933579	
5	11		5353660
6	3		43255
6	8	153354	
6	11		289607

Çizelge 7.3.'de, TOM Modelinin Amaç 1 için çözümü sonucu bulunan X^1 mki ve X^2 mij primal değerleri verilmektedir .

Çizelge 7 4. m atık ürününden j işleme tesisinde işlenen ve rafinerilere ikincil hammadde olarak satılan ürün miktarı (kg) ve m atık ürününden j işleme tesisinden imha tesisine gönderilen ürün miktarı (kg)

m	j		m	j	
	8	11		8	11
1	582385	1081518	1	30652	56922
2		99398	2		2029
3	789971	747878	3	139407	131979
4	463065	738763	4	81717	130370
5	3618892	6509075	5	314686	566007
6	145687	316218	6	7668	16643

Çizelge 7.4.'de, TOM Modelinin Amaç 1 için çözümü sonucu bulunan X dis (m,j) ve X ref (m,j) primal değerleri, sırayla, verilmektedir.

Çizelge 7 5. l (L) hacim seviyesinde (m3 olarak) açılan i toplama ve n (N) kapasite seviyesinde (kg olarak) açılan j toplama tesisleri

L	i			N	J	
	3	8	11		8	11
1	*			1	*	
2		*	*	2		*

Çizelge 7.5.'de, sırayla, toplama (i) ve işleme (j) tesislerinin açıldıkları yerler ve kapasite seviyeleri * ile gösterilmektedir. l (L) ve i'nin kesişimine karşılık gelen *, l (L) seviyesinde i toplama; n ve j'nin kesişimine karşılık gelen * da, n (N) seviyesinde j işleme tesisinin açıldığını ifade etmektedir.

Dual değerler ve indirgenmiş maliyetler

Dual değerler (ikil değer/ gölge fiyat; dual price/marginal/shadow price) ve indirgenmiş maliyetler (reduced cost), yöneticilerin karar vermelerinde yardımcı olmak amacıyla, özellikle harmanlama ve arıtım problemlerinde çok sıkça kullanılır [Winston, 2004].

Dual değer ve indirgenmiş maliyetlerle ilgili yorum da TOM Modelinin Birinci Amaç fonksiyonu çözümü için; iki kısıt ve bir değişkenin bazı son çözüm değerleri dikkate alınarak aşağıda sunulmuştur.

Kısıtlar ve dual değerler

Eş. 5.6'da, m ürününün k müşteri bölgesindeki kg olarak ağırlık kapasitesi

<u>m.k</u>	<u>Alt Sınır</u>	<u>Akış Değeri</u>	<u>Üst Sınır</u>	<u>Dual Değer</u>
1.1	$-\infty$	243.400	243.400	-1.713
...				
6.25	$-\infty$	323.235	359.150	.

Eş. 5.7'de, m ürününden k müşterisinden minimum toplanan kg olarak ağırlık

<u>m.k</u>	<u>Alt Sınır</u>	<u>Akış Değeri</u>	<u>Üst Sınır</u>	<u>Dual Değer</u>
1.1	219.060	243.400	$+\infty$.
...				
1.19	21.906	0.423	21.906	.
...				
6.25	323.235	323.235	$+\infty$	3.775

Değişkenler ve indirgenmiş maliyetler

X^l_{mki} değişkeni, m ürününden k müşterisinden i toplama tesisine taşınan kg olarak ağırlık

<u>X^l_{mki}</u>	<u>Alt Sınır</u>	<u>Akış Değeri</u>	<u>Üst Sınır</u>	<u>Dual Değer</u>
1.1 .1	.	.	$+\infty$	1.059
...				
1.6 .25	.	.	$+\infty$	7.396

Dual değerler, tam tüketilmiş kaynaklarda sıfırdan farklı, bol kaynaklarda sıfırdır, Yukarıda bir kısmı gösterilen GAMS çıktı raporundaki tek nokta sıfırı, EPS, sıfıra

çok yakın ama sıfır olmayan bir değeri, lower, alt sınırı; level, gerçekleşen değeri; upper, üst sınırı; marginal da, kısıtlarda dual değeri, değişkenlerde indirgenmiş maliyeti, ifade etmektedir. GAMS çıktı raporunda kısıt blokları, *EQU kısıt ismi*; değişkenler, *VAR değişken ismi*, olarak geçer [McCarl, 2008; Rosenthal, 2008; İnternet: GAMS Development Corporation, 2008]. Sıfırdan farklı dual değer ilgili kısıtın eşitlik halinde gerçekleştiğini, yani ilgili kısıtın aylak değişkenin sıfır olduğunu, dolayısıyla kıt (scarce) kaynak olduğunu göstermekte ve bu kaynağın değerinin bir birim artırılmasının amaç fonksiyonunda yapacağı iyileştirmeyi ifade etmektedir. Bol (abundant) kaynakların duali sıfır, ilgili kısıtın aylak değişkeni sıfırdan büyük olur, yani ilgili kısıt eşitlik halinde gerçekleşmez ve ilgili kaynak tam tüketilmez, dolayısıyla, bol kaynağın artırılması amaç fonksiyonunu iyileştirmez. Modeldeki Eş. 5.6 ve Eş. 5.7, sırayla \leq ve \geq şeklindeki denklemlerdir. Bu kısıtların dual değerlerine bakıldığında, Eş. 5.6 için bulunan bütün dual değerlerin eksi olması dolayısıyla, ilgili kaynağın bir birim artırılmasının, maliyet minimizasyonu olan Amaç 1'i kendi değeri kadar iyileştireceği, Eş. 5.7 için bulunan bütün dual değerlerin artı olması dolayısıyla, ilgili kaynağın bir birim artırılmasının, maliyet minimizasyonu olan Amaç 1'i kendi değeri kadar kötüleştireceği sonucu çıkmaktadır.

$m=k=1$ için Eş. 5.6 kısıtı (1.1), eşitlik halinde gerçekleşmiştir, üst sınırı ile gerçekleşen değeri birbirine eşittir ve 243,400, dual değeri de (-1,713)'dür. $m=1$ ve $k=19$ için Eş. 5.7 (1.19), kısıtı eşitlik halinde gerçekleşmiştir, alt sınırı ile gerçekleşen değeri birbirine eşittir ve 21,906 , dual değeri de (0,423)'dür.

İndirgenmiş maliyet, optimal çözümde temelde olmayan bir değişkeni, bir optimal çözüm temeline sokmak ve değerini sıfırdan büyük yapmak için o değişkenin amaç fonksiyonu katsayısının en az ne kadar miktarda iyileştirilmesi gerektiğini ifade etmektedir [Winston, 2004]. Örneğin, $m=k=i=1$ (1.1.1) için X^l_{mki} 'nin (X^l_{111} 'in) indirgenmiş maliyeti 1,059 olduğundan, temelde olmayan bu değişkeni temele sokmak ve değerini sıfırdan büyük yapmak için, bu değişkenin amaç fonksiyonu katsayısını en az 1,059'dan fazla artırmalıyız, diğer deyişle, Birinci fonksiyon

maliyet minimizasyonu olduğundan, X^I_{III} 'in amaç fonksiyonu katsayısını 1,059'dan fazla artırmalıyız (1,059'dan fazla ek bir maliyete katlanmalıyız).

Model çözümündeki bütün indirgenmiş maliyetler ve dual değerler için aynı şekilde çıkarımlar yapılabilir.

Amaçların optimize edilmesi için çözüm, amaçlara ulaşmak için yapılan çözümden, çok daha iyidir [Taha, 2000]. Bu yüzden, 5 amaçlı modelimizin $5!=120$ farklı öncelik yapısındaki öncelik sıraları için yapılan toplam 600 bireysel model çözümünde, Önceliği Koruma Yöntemiyle amaçları optimum kılma yaklaşımı kullanılmış, bulunan sonuçlar Çizelge 7.6.,..., Çizelge 7.9'da, her bir amaç fonksiyonu için GF, CPU zamanı ve İS'lerini da içeren daha geniş kapsamlı bakışla çözüm sonuçları özet tablolar halinde EK-5'de verilmiştir.

Farklı öncelik sıraları ile yapılan çözümlerde, amaç fonksiyonu değerleri ve amaç fonksiyonları için; çözüm zamanları, iterasyon sayıları, toplama tesislerinin açıldıkları yerler ve toplam sayısı, toplama tesislerinin açıldıkları hacim seviyesi, işleme tesislerinin açıldıkları yerler ve toplam sayısı ile işleme tesislerinin açıldıkları kapasite seviyeleri farklılık göstermiştir. Bu farklılık, amaçların en yüksek öncelikten en düşük önceliğe doğru optimize edilmesiyle düşük öncelikli amaçların kötüleştirilmesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 7.6. Önceliği koruma yöntemiyle amaçları optimum kılmak için farklı öncelik yapıları ile (1,...,36) gerçekleştirilen çözümler

S.N	Ö.Y	AMAÇ1	AMAÇ2	AMAÇ3	AMAÇ4	AMAÇ5	CPU (SN)	İS
1	12345	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	299,983	1 535 142
2	12354	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	184,685	999 138
3	12435	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	297,935	1 392 502
4	12453	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	382,389	1 907 400
5	12534	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	151,513	772 943
6	12543	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	214,342	955 122
7	13245	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	288,044	1 440 313
8	13254	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	172,747	904 309
9	13425	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	414,717	2 245 923
10	13452	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	450,701	2 427 591
11	13524	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	184,717	988 117
12	13542	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	542,451	2 919 231
13	14235	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	697,091	3 954 864
14	14253	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	343,905	1 461 259
15	14325	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 861	353,499	1 855 435
16	14352	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	353,951	1 877 247
17	14523	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 851	281,764	1 377 435
18	14532	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 851	435,342	2 367 360
19	15234	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	151,639	767 475
20	15243	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	214,358	949 654
21	15324	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	158,936	805 990
22	15342	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	517,248	2 737 104
23	15423	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	276,951	1 240 921
24	15432	-2 408 061	16 570 930	2 307 148	1 478 079	15 092 852	235,935	1 075 392
25	21345	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	92,326	402 825
26	21354	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	124,919	539 890
27	21435	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	102,622	485 037
28	21453	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	96,31	438 792
29	21534	425 135	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	128,06	583 611
30	21543	425 136	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	153,279	686 121
31	23145	2 483 028	20 451 568	0	3 051 568	17 400 000	246,935	1 106 019
32	23154	2 483 028	20 451 568	0	3 051 568	17 400 000	339,748	1 556 311
33	23415	3 117 139	20 451 568	0	3 051 568	17 400 000	960,248	5 383 456
34	23451	2 664 062	20 451 568	0	3 051 568	17 400 000	935,498	5 298 355
35	23514	2 758 062	20 451 568	0	3 051 568	17 200 000	168,686	764 722
36	23541	2 664 062	20 451 568	0	3 051 568	17 200 000	810,827	5 041 345

SN: Sıra no, ÖY: Öncelik yapısı, CPU: Saniye (sn) olarak her bir öncelik sırasının toplam CPU değeri, İS: Her bir öncelik sırasının toplam iterasyon sayısını ifade etmektedir.

Çizelge 7.7. Önceliği koruma yöntemiyle amaçları optimum kılmak için farklı öncelik yapıları ile (37,...,72) gerçekleştirilen çözümler

S.N	Ö.Y	AMAÇ1	AMAÇ2	AMAÇ3	AMAÇ4	AMAÇ5	CPU (SN)	İS
37	24135	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	89,388	442 113
38	24153	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	82,982	395 868
39	24315	3 080 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	2877,044	22 276 272
40	24351	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	2797,716	22 025 199
41	24513	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	62,467	337 414
42	24531	2 986 255	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	2464,248	21 214 660
43	25134	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	89,17	432 297
44	25143	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	114,435	534 807
45	25314	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	2675,872	22 677 903
46	25341	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	2731,294	23 122 480
47	25413	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	62,685	333 373
48	25431	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	2462,294	21 210 619
49	31245	-953 043	19 114 365	0	1 714 365	17 400 000	186,028	786 537
50	31254	-953 043	19 114 365	0	1 714 365	17 400 000	178,388	786 378
51	31425	-953 043	19 114 364	0	1 714 364	17 400 000	468,232	2 411 201
52	31452	-953 043	19 114 364	0	1 714 364	17 400 000	426,919	2 237 646
53	31524	-953 043	19 114 364	0	1 714 364	17 400 000	161,623	704 312
54	31542	-953 043	19 114 364	0	1 714 364	17 400 000	182,544	885 367
55	32145	2 483 028	20 451 568	0	3 051 568	17 400 000	247,139	1 105 914
56	32154	2 483 028	20 451 568	0	3 051 568	17 400 000	343,264	1 556 206
57	32415	3 117 139	20 451 568	0	3 051 568	17 400 000	962,67	5 383 351
58	32451	2 664 062	20 451 568	0	3 051 568	17 400 000	937,904	5 298 250
59	32514	2 758 062	20 451 568	0	3 051 568	17 200 000	168,591	764 617
60	32541	2 664 062	20 451 568	0	3 051 568	17 200 000	812,358	5 041 240
61	34125	-815 345	18 431 802	0	1 659 545	16 800 000	155,482	630 741
62	34152	-815 345	18 431 802	0	1 659 545	16 800 000	239,669	1 108 087
63	34215	3 342 636	18 859 545	0	1 659 545	17 200 000	15,482	54 241
64	34251	3 342 636	18 859 545	0	1 659 545	17 200 000	13,388	46 032
65	34512	3 342 636	18 859 545	0	1 659 545	17 200 000	159,748	672 509
66	34521	3 342 636	18 859 545	0	1 659 545	17 200 000	19,185	72 906
67	35124	-953 043	19 114 364	0	1 714 364	16 800 000	136,311	613 658
68	35142	-953 043	19 114 364	0	1 714 364	16 800 000	295,546	1 470 648
69	35214	2 483 028	20 451 568	0	3 051 568	16 800 000	132,998	587 950
70	35241	2 664 062	20 451 568	0	3 051 568	16 800 000	853,42	5 042 122
71	35412	-815 345	18 431 802	0	1 659 545	16 800 000	141,592	635 304
72	35421	3 342 636	18 859 545	0	1 659 545	16 800 000	13,749	50 420

Çizelge 7.8. Önceliği koruma yöntemiyle amaçları optimum kılmak için farklı öncelik yapıları ile (73,...,108) gerçekleştirilen çözümler

S.N	Ö.Y	AMAÇ1	AMAÇ2	AMAÇ3	AMAÇ4	AMAÇ5	CPU (SN)	İs
73	41235	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	247,31	1 227 512
74	41253	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	249,185	1 278 464
75	41325	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	168,388	790 739
76	41352	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	194,795	917 691
77	41523	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	344,888	1 892 150
78	41532	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	225,216	1 190 235
79	42135	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	169,294	893 304
80	42153	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	172,201	944 256
81	42315	34 501	16 385 699	1 883 422	1 469 121	14 916 578	988,763	7 199 439
82	42351	34 501	16 385 699	1 883 422	1 469 121	14 916 578	963,091	7 118 501
83	42513	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	125,748	770 571
84	42531	34 501	16 385 699	1 883 422	1 469 121	14 916 578	1202,295	7 929 513
85	43125	34 501	16 385 699	1 883 422	1 469 121	14 916 578	1106,591	8 134 638
86	43152	34 501	integer Infeasible	1 883 422	1 469 121	14 916 578	1079,076	7 765 851
87	43215	34 501	16 385 699	1 883 422	1 469 121	14 916 578	1013,107	7 767 127
88	43251	34 501	16 385 699	1 883 422	1 469 121	14 916 578	987,326	7 686 189
89	43512	34 501	16 385 697	1 883 422	1 469 121	14 916 578	1094,107	8 274 470
90	43521	34 501	16 385 699	1 883 422	1 469 121	14 916 578	1091,654	8 313 250
91	45123	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	185,31	999 873
92	45132	-489 401	16 385 698	2 483 422	1 469 121	14 916 578	171,669	1 052 476
93	45213	-489 401	16 385 699	2 483 422	1 469 121	14 916 578	125,747	770 716
94	45231	34 501	16 385 699	1 883 422	1 469 121	14 916 578	1206,076	7 929 658
95	45312	34 501	16 385 697	1 883 422	1 469 121	14 916 578	826,967	6 665 825
96	45321	34 501	16 385 699	1 883 422	1 469 121	14 916 578	824,67	6 704 605
97	51234	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	195,685	531 807
98	51243	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	221,216	634 317
99	51324	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	320,06	646 751
100	51342	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	286,951	490 634
101	51423	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	154,481	644 111
102	51432	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	102,466	356 434
103	52134	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	105,748	432 707
104	52143	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	131,341	535 217
105	52314	2 986 255	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	9166,499	22 678 313
106	52341	2 986 255	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	9221,889	23 122 890
107	52413	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	63,045	333 783
108	52431	2 986 255	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	2502,248	21 211 029

Çizelge 7.9. Önceliği koruma yöntemiyle amaçları optimum kılmak için farklı öncelik yapıları ile (109,...,120) gerçekleştirilen çözümler

S.N	Ö.Y	AMAÇ1	AMAÇ2	AMAÇ3	AMAÇ4	AMAÇ5	CPU (SN)	İS
109	53124	3 067 602	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	3702,046	28 767 312
110	53142	3 067 602	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	3534,03	27 967 402
111	53214	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	5052,701	31 070 857
112	53241	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	5107,967	31 515 434
113	53412	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	3460,03	27 625 088
114	53421	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	3507,748	28 440 799
115	54123	425 122	20 451 567	5 010 546	1 862 114	18 589 454	131,31	533 354
116	54132	425 122	20 451 567	5 010 546	1 862 114	18 589 454	119,013	556 033
117	54213	425 134	20 451 568	5 010 546	1 862 114	18 589 454	63,497	333 896
118	54231	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	2465,107	21 211 142
119	54312	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	10034,811	24 444 592
120	54321	2 986 255	20 451 568	3 810 546	1 862 114	18 589 454	10082,373	25 260 303

Çizelge 7.6.,..., Çizelge 7.9.'da, TOM Modelinin, 120 farklı sırada, her sırada 5 amaç için, Önceliği Koruma Yöntemiyle amaçların optimizasyonu için yapılan toplam 600 model çözümü sonucu bulunan, AFD, toplam İS ve toplam CPU değerleri verilmektedir. Çizelge 7.6.,..., Çizelge 7.9. ve ilgili şekillerden, istenen bütün detaylar görülebilmektedir. Amaçların optimizasyon yönüne ve farklı öncelik sıralarına göre, Amaçlar ile CPU ve İS'lerinin değişimleri Şekil 7.2.,...,7.11.'de ayrı ayrı verilmiştir. Şekil 7.2.,...,7.11.'de, özetle, Amaç 1 için en iyi değerler ilk 24 öncelik sırasındaki (S.N: 1, 2,...,24), yani Amaç 1'in ilk sıraya konulduğu öncelik yapısındaki çözümlerde ve -2408061,2488 olarak bulunmuştur. Amaç 1 için en kötü değerler, 63, 64, 65, 66 ve 72. sıradaki öncelik yapısındaki çözümlerle ve 3342635,9538 olarak bulunmuştur. Amaç 2, 3 ve 4' ün 120 farklı sıra için bulunan değerleri, sırayla 20451568,2000 ile 16385696,8114 (kötüleşen), Amaç 3'ün 0 ile 5010546,357 (kötüleşen), Amaç 4'ün 1469121,2356 ile 3051568,2 (kötüleşen) ve Amaç 5'in ise 18589454,4884 ile 14916577,6137 arasında ve kötüleşen eğilimlerde değiştiği görülmektedir. CPU değerleri ve İS'ları küçükten büyüğe doğru (artan eğilimde); 64, 72, 63, 66, ...,105, 106, 119 ve 120 sıra no (S.N) için sırayla, 13,388; 13,749; 15,482; 19,185, ...,9 166,499; 9 221,889; 10 034,811 ve 10 082,373 saniye (sn) olarak bulunmuştur. İS'ları küçükten büyüğe doğru (artan eğilimde); 64, 72, 63, 66, ...,114, 109, 111 ve 112 sıra no (S.N) için sırayla, 46 032; 50 420; 54 241; 72 906, ..., 28 440 799; 28 767 312; 31 070 857 ve 31 515 434 olarak

bulunmuştur. Bu, beklenen bir sonuçtur, çünkü, Amaç 1'in ilk sıraya konması, en öncelikli (en önemli veya ağırlığı en yüksek) olan amaç olduğu anlamına gelmekte, ancak bu amaç gerçekleştirildikten sonra, bunu kötüleştirmeden bir sonraki sıradaki amacı en iyilemeye çalışmaktayız. Ancak bu yaklaşımın, özellikle MIP'da, düşük öncelikli amaçların çok kötüleşmesine veya çözümsüz çıkmasına sebep olma gibi dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin, 86. sıra numarasındaki öncelik yapısı için yapılan çözüm 'tamsayılı mümkün olmayan (integer infeasible)' çözüm olarak bulunmuştur. Bundan dolayı, karar vericiye yine önceliği koruma yöntemiyle amaçların gerçekleştirilmesi için yapılan çözümler de sunulmuştur. Gerçek dünyada ve uygulamalarda, öncelik de söz konusu olmayabilir, amaçlara eşzamanlı ulaşılmak da istenebilir ve hatta bunun yanında amaçlar ve /veya kaynakların değerleri kesin olarak bilinemeyebilir. Anılan bu durumlar için de önceliksiz ve/veya bulanık çözümler yapılmış ve çözüm sonuçları sunulmuş seçimi karar vericinin tercihinin bırakılmıştır. Kullanılan yaklaşımlar karar vericinin tercihi ve tatmini ile ilgili olup birbirine üstünlükleri söz konusu değildir,. Sadece, Önceliği Koruma Yöntemiyle deterministik ve bulanık ortamda amaçların optimizasyonu için yapılan çözümler, amaçların gerçekleştirilmesi amacıyla yapılan çözümlere göre daha iyi sonuçlar vermekte, bulanık ortamda öncelik yapısını dikkate almayan Hannan [Hannan, 1981a], Yang [Yang ve ark., 1991] ile Hanan'ın [Hannan, 1981b] ve Tiwari'nin [Tiwari, 1987] Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımları, gerçek dünyada olduğu gibi, karar vericinin tercihi, etkileşimi ve tatmini ile ilgilidir.

Atık ürünün hurdasının kg satın alma fiyatı, geri dönen ürün sayısı ile işleme ve toplama tesisi açma ikili değişkenlerinin göreceli fark ve dallandırma önceliği değerleri de farklı büyüklük seviyelerinde alınarak çözümler yapılmış, böylelikle modelin parametre değişikliklerine karşı hassasiyeti (duyarlılığı) test edilmiş ve çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Atık ürün kg satın alma fiyatı (Prc) ve geri dönen ürün sayısı (Rmk) için farklı büyüklük seviyelerindeki (1, 2,...,5) değerlerin nasıl üretildiği Çizelge 7.10.'da gösterilmektedir. Çizelge 7.10.'da görüldüğü gibi, Prc/Rmk için çok küçük/çok düşük değerler; normal/orta değerlerden, Düzgün dağılımdan rassal üretilen rassal

sayının 0,30 ve normal/orta değerle çarpımı sonucunun çıkarılmasıyla bulunmuştur. Küçük/ düşük değerleri bulunurken yukarıdakinden tek fark, rassal sayının 0,30 yerine 0,15 ile çarpılmasıdır. Normal/orta değerler modelin normal parametre değerleridir. Büyük/yüksek ile çok büyük/çok yüksek parametre değerleri üretilirken, rassal sayı ve çarpıldığı katsayılar değiştirilmemiş, normal değerlere eklenmiştir. Diğer deyişle, çok büyük / çok yüksek parametre değerleri, normal / orta değerden, normal / orta değerın Düzgün dağılımdan rassal olarak üretilen bir sayının 0,30 ile çarpılmasıyla bulunan değerın toplanması sonucu bulunmuştur.

Çizelge 7.10. Bazı parametrelerin büyüklük seviyeleri ve rassal olarak üretilmesi ile ilgili özet veriler

Parametreler	BÜYÜKLÜK SEVİYELERİ				
	1	2	3	4	5
Prc	ÇOK KÜÇÜK	KÜÇÜK	ORTA	BÜYÜK	ÇOK BÜYÜK
Prc değerlerinin üretilmesi	$Prc*(1-0,30u)$	$Prc*(1-0,15u)$	Prc	$Prc*(1+0,15u)$	$Prc*(1+0,30u)$
Rmk	Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok Yüksek
Rmk değerlerinin üretilmesi	$Prc*(1-0,30u)$	$Prc*(1-0,15u)$	Rmk	$Prc*(1+0,15u)$	$Prc*(1+0,30u)$
PB	EKM	KM	OM	TOM	

Çizelge 7.11.,....., Çizelge 7.16.'da, sırayla, hurdanın (atık ürünün) satın alınmaması, hurdanın kg fiyatının (Prc'nin) çok küçük (1 büyüklük seviyesinde), küçük (2), orta (3), büyük (4) ve çok büyük (5 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları özetlenmiştir. Çizelge 7.11.,....., Çizelge 7.16.'dan görüleceği gibi, atık ürün hurdasının kg fiyatının artmasıyla Birinci amaç fonksiyonu değeri çok hızlı bir azalma göstermiş, diğer amaç fonksiyonları değerlerinde bir değişim gözlenmemiştir. Birinci amaç değeri, atık ürün hurdasının satın alınmaması durumunda yaklaşık -17700000 TL (maliyet minimizasyonunda amaç değerinin eksi çıkması kârı göstermekte) olarak gerçekleşirken, atık ürün hurda kg fiyatının çok büyük olması durumunda -33000 TL'ye kadar düşerek kârda çok büyük bir azalmaya sebep olmuştur. İşleme tesislerinin açıldıkları toplam kapasite seviyesi, atık ürün hurdasının kg fiyatının artmasıyla, sadece Birinci amaç fonksiyonu için bir azalma göstermiştir. Bu, Birinci amaç fonksiyonunda maliyetin minimize edilmek istenmesi

ve atık ürünün kg satın alma fiyatının artmasıyla toplam maliyet artacağından daha az miktarda işleme gerçekleşmesi ve dolayısıyla daha düşük işleme tesis kapasitesi gerekmesinden kaynaklanmaktadır. Birinci amaç fonksiyonu için, atık ürün hurdasının satın alınmaması durumunda işleme tesislerinin açıldıkları toplam kapasite seviyesi 4 iken, hurda kg fiyatının daha büyük seviyelerinin her biri için aynı ve 3 olarak gerçekleşmiş ancak işleme tesislerinin açıldıkları yerler değişmemiştir.

Çizelge 7.11. Hurdanın satın alınmaması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Prc(m)	SIFIR (YOK)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-17743654.3591	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	3.796	0.218	0.546	0.156	0.312
İS	10638	4673	2537	1110	2555
TTHS	2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	2, 2	1,.....,3,....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,.....,25 (25)	19 (1)	1,.....,.....,25 (25)	1,.....,19,.....,25 (25)

Çizelge 7.12. Hurdanın kg fiyatının çok küçük (1 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Prc(m)	ÇOK KÜÇÜK (CK) (1)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-4093519.7581	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	4.125	0.250	0.609	0.156	0.359
İS	9910	4673	2537	1110	2555
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,.....,25 (25)	19 (1)	1,.....,.....,25 (25)	1,.....,19,.....,25 (25)

Çizelge 7.13. Hurdanın kg fiyatının küçük (2 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Prc(m)	KÜÇÜK (K) (2)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-3693004.6017	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	4.453	0.265	0.609	0.156	0.359
İS	12665	4673	2537	1110	2555
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,.....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,.....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,.....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,.....,25 (25)

Çizelge 7.14. Hurdanın kg fiyatının orta (3 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Prc(m)	ORTA (O) (3)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-2408061.2488	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	4.250	0.234	0.609	0.140	0.328
İS	13334	4673	2537	1110	2555
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,.....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,.....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,.....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,.....,25 (25)

Çizelge 7.15. Hurdanın kg fiyatının büyük (4 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Prc(m)	BÜYÜK (B) (4)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-1708724.5103	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	3.984	0.250	0.625	0.156	0.359
İS	12593	4673	2537	1110	2555
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,.....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,.....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,.....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,.....,25 (25)

Çizelge 7.16. Hurdanın kg fiyatının çok büyük (5 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Prc(m)	ÇOK BÜYÜK (CB) (5)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-33498.5095	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	3.531	0.250	0.609	0.140	0.343
İS	9540	4673	2537	1110	2555
TTHS	2, 1, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	8, 9, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,....,3,....,1	3	3,.....,1	1,....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,....,8,....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,....,19,....,25 (25)

Çizelge 7.17.,....., Çizelge 7.21’de, sırayla, geri dönen ürün sayısının (Rmk’nın) çok düşük (1 büyüklük seviyesinde), düşük (2), normal (3), yüksek (4) ve çok yüksek (5) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları özetlenmiştir. Çizelge 7.17.,....., Çizelge 7.21’den görüleceği gibi, geri dönen ürün sayısının artmasıyla, Amaç 3 değeri değişmezken, Amaç 1, Amaç 2 ve Amaç 5 değerleri bir iyileşme, Amaç 4 değeri kötüleşme, toplama ve işleme tesislerinin açıldıkları yerler ve açıldıkları toplam kapasite seviyeleri farklılık göstermiştir. Örneğin, geri dönen ürün sayısının çok düşük olduğu durumda Amaç 1’in değeri ve Amaç 1 için işleme tesislerinin toplam kapasite seviyesi, sırayla, -1103689,0051 (en kötü) ve 3 iken, geri dönen ürün sayısının çok yüksek olduğu durumda -4213556,1843 (en iyi) ve 4 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 7.17. Geri dönen ürün sayısının çok düşük (1 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Rmk	ÇOK DÜŞÜK (CD) (1)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-1103689.0051	18194245.0700	0.0000	1292061.0871	16558610.6575
CPU	7.265	0.281	0.328	0.156	0.359
İS	24927	4027	2210	1056	3461
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	1,.....,8
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,....,3,....,1	3	1, 3,.....,1	1,....,3,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,....,8,....,25 (25)	18 (1)	1, 2,.....,25 (25)	1,....,6,....,25 (25)

Çizelge 7.18. Geri dönen ürün sayısının düşük (2 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Rmk	DÜŞÜK (D) (2)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-1791488.1810	19055847.0700	0.0000	1361404.4222	17331620.6449
CPU	4.843	0.265	0.906	0.156	0.296
İS	12821	4731	2353	1114	2474
TTHS	2, 1, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	8, 9, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,....,1	1, 1	3,.....,1	1,.....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,....,25 (25)	9, 22 (2)	1,.....,25 (25)	1,.....,22,....,25 (25)

Çizelge 7.19. Geri dönen ürün sayısının normal (3 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Rmk	NORMAL (N) (3)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-2408061.2488	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	4.250	0.234	0.609	0.140	0.328
İS	13334	4673	2537	1110	2555
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,....,25 (25)

Çizelge 7.20. Geri dönen ürün sayısının yüksek (4 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Rmk	YÜKSEK (Y) (4)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-2931634.9353	22464084.7000	0.0000	1610227.5433	20423569.4834
CPU	2.640	0.328	0.515	0.140	0.390
İS	6560	4663	2251	1071	6189
TTHS	2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	1,.....,8,.....,1
TTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,22,....,25 (25)
İTKS	2, 2	3,.....,1	3	1,.....,3,.....,1	1,.....,3,.....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,25 (25)	8 (1)	1,.....,23,....,25 (25)	1,.....,7,....,25 (25)

Çizelge 7.21. Geri dönen ürün sayısının çok yüksek (5 büyüklük seviyesinde) olması durumunda TOM Modelinin çözüm sonuçları

Rmk	ÇOK YÜKSEK (CY) (5)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-4213556.1843	23295265.8800	0.0000	1682942.4531	21160173.4854
CPU	2.500	0.359	5.031	0.171	0.343
İS	5307	4673	32146	1053	3663
TTHS	2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	1,.....,8,.....,1
TTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,22,.....,25 (25)
İTKS	2, 2	3,.....,1	1, 2, 1	1,.....,3,.....,1	1,.....,3,.....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,25 (25)	12, 21, 24 (3)	1,.....,21,.....,25 (25)	1,.....,7,.....,25 (25)

Aşağıda, Çizelge 7.22’de farklı problem boyutlarındaki modeller için alınan setler (1’den verilen sayıya kadar) tanımlanmış, Çizelge 7.23.,....., Çizelge 7.28’de, farklı problem boyutlarındaki (MMM, MM, EKM (1), KM (2), OM (3), TOM (4)) modellerin çözüm sonuçları özetlenmiştir. MMM, Mini Mini Model; MM, Mini Model; EKM, En Küçük Model; KM, Küçük Model; OM, Orta Model; TOM, Tam Ölçekli Modeli ifade etmektedir. Çizelge 7.23.,....., Çizelge 7.28’den görüleceği gibi, problem boyutunun artmasıyla, Amaç 3 değeri gittikçe azalarak sıfır (en iyi) değerini alırken, Amaç 1, Amaç 2 ve Amaç 5 değerleri bir iyileşme, Amaç 4 değeri kötüleşme, toplama ve işleme tesislerinin açıldıkları yerler ve açıldıkları toplam kapasite seviyeleri farklılık göstermiştir. Örneğin, problem boyutunun en küçük olduğu durumda Amaç 1’in değeri ve Amaç 1 için işleme tesislerinin toplam kapasite seviyesi, sırayla, 1636859,6314 (en kötü) ve 1 iken, problem boyutunun büyük olduğu durumda -2408061,2488 (en iyi) ve 3 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 7.22. Farklı problem boyutlarındaki modeller için alınan setler

	MMM	MM	EKM	KM	OM	TOM
Müşteri	2	3	2	3	14	25
Toplama Tesisi (TT)	3	3	2	3	8	25
İşleme Tesisi (İT)	3	3	2	3	8	25
T Kapasite Seviyesi	2	3	3	3	3	3
TT Hacim Seviyesi	2	3	8	8	8	8
Ürün sayısı	2	3	6	6	6	6

Çizelge 7.23. MMM problem boyutundaki modelin çözüm sonuçları

PB	MMM (Mini Mini Model)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AMAÇ NO					
AFD	1072367.0712	106211.4600	5498799.2498	4509.6388	101200.7502
CPU	0.078	0.031	0.062	0.031	0.046
İS	122	6	79	19	15
TTHS	1	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1
TTAY (T)	2 (1)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)
İTKS	1	1, 1, 1	1	1, 1, 1	1, 1, 1
İTAY (T)	2 (1)	1, 2, 3 (3)	2 (1)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)
TOPKISTSAY	61				
TOPDEĞSAY	59				
IKLDEGSAY	12				

Çizelge 7.24. MM problem boyutundaki modelin çözüm sonuçları

PB	MM (Mini Model)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AMAÇ NO					
AFD	957395.9289	421673.8700	5226940.0039	37479.0635	373059.9961
CPU	0.078	0.078	0.046	0.031	0.046
İS	228	25	161	30	23
TTHS	1	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1
TTAY (T)	2 (1)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)
İTKS	1	1, 1, 1	1	1, 1, 1	1, 1, 1
İTAY (T)	2 (1)	1, 2, 3 (3)	1 (1)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)
TOPKISTSAY	89				
TOPDEĞSAY	95				
IKLDEGSAY	18				

Çizelge 7.25. En küçük problem boyutundaki modelin (EKM) çözüm sonuçları

PB	EN KÜÇÜK MODEL (EKM) (1)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AMAÇ NO					
AFD	1636859.6314	1898711.4700	3875822.2103	137408.1503	1724177.7897
CPU	0.062	0.015	0.046	0.031	0.031
İS	81	18	115	38	27
TTHS	1	1, 1	1, 1	1, 1	1, 1
TTAY (T)	2 (1)	1, 2 (2)	1, 2 (2)	1, 2 (2)	1, 2 (2)
İTKS	1	1, 1	1	1, 1	1, 1
İTAY (T)	2 (1)	1, 2 (2)	1 (1)	1, 2 (2)	1, 2 (2)
TOPKISTSAY	109				
TOPDEĞSAY	99				
IKLDEGSAY	22				

Çizelge 7.26. Küçük problem boyutundaki modelin (KM) çözüm sonuçları

PB	KÜÇÜK MODEL (KM) (2)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AMAÇ NO					
AFD	1542588.9850	2236142.0100	3568315.9709	161098.4148	2031684.0291
CPU	0.093	0.078	0.046	0.046	0.046
İS	295	26	281	57	44
TTHS	1	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1
TTAY (T)	2 (1)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)
İTKS	1	2, 2, 2	1	2, 2, 2	2, 2, 2
İTAY (T)	2 (1)	1, 2, 3 (3)	3 (1)	1, 2, 3 (3)	1, 2, 3 (3)
TOPKISTSAY	161				
TOPDEĞSAY	182				
IKLDEGSAY	33				

Çizelge 7.27. Orta problem boyutundaki modelin (OM) çözüm sonuçları

PB	ORTA MODEL (OM) (3)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-723249.1854	20213131.9900	0.0000	1452034.5330	18372714.9157
CPU	0.281	0.093	0.187	0.031	0.125
İS	1246	928	741	324	1044
TTHS	2, 2	1, 1, ..., 7	1, 1, ..., 7	8, 1, ..., 1	1, 1, ..., 7
TTAY (T)	3, 8 (2)	1, 2, ..., 8 (8)	1, 2, ..., 8 (8)	1, 2, ..., 8 (8)	1, 2, ..., 8 (8)
İTKS	2, 1	3, 1, ..., 1	3	3, 1, ..., 1	1, 1, ..., 3
İTAY (T)	3, 8 (2)	1, 2, ..., 8 (8)	1 (1)	1, 2, ..., 8 (8)	1, 2, ..., 8 (8)
TOPKISTSAY	493				
TOPDEĞSAY	1 245				
IKLDEGSAY	88				

Çizelge 7.28. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) çözüm sonuçları

PB	TAM ÖLÇEKLİ MODEL (TOM) (4)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-2408061.2488	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	4.250	0.234	0.609	0.140	0.328
İS	13334	4673	2537	1110	2555
TTHS	1, 2, 2	1, ..., 8	1, ..., 1	8, ..., 1	8, ..., 1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1, ..., 25 (25)	1, ..., 25 (25)	1, ..., 25 (25)	1, ..., 25 (25)
İTKS	1, 2	1, ..., 3, ..., 1	3	3, ..., 1	1, ..., 2, ..., 1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1, ..., 8, ..., 25 (25)	19 (1)	1, ..., 25 (25)	1, ..., 19, ..., 25 (25)
TOPKISTSAY	1 305				
TOPDEĞSAY	8 080				
IKLDEGSAY	275				

TOM modeli, deneme amaçlı, 1-3 sırasında çözülmeye çalışılmış, 1 nolu amaç fonksiyonu optimize edildikten sonra kısıt olarak konulmasıyla 3'ün optimize edilmesi için model çalıştırılmış, ancak, 45 saati aşan bir sürede halen 2 nci sıradaki amacın optimumu bulunmadığından çözüm durdurularak, gerektiğinde Göreceli Fark=GF=Optcr=0,3 alınarak çözüm bulunmuştur (Gams'den alınan ve çözümün durdurulduğu zamanı ve kullanılan hafızayı gösteren bilgi: Elapsed b&c time = 162284.20 sec. (tree size = 1049.99MB) Nodefile size = 922.47 MB (148.82 MB after compression)). Ayrıca, gereksiz işlemlerin yapılmasını önlemek ve yuvarlama hatalarından ve dolayısıyla ölçeklendirilmemiş çözümsüzlüklerden (unscaled

infeasibilities) korunmak için, model ölçeklendirilmiştir. İyi ölçeklendirilmiş bir modelde değişkenlerin katsayıları, kısıtların değerleri (sağ taraf sabitleri) ve bütün sabitlerin 0,01 ile 100 arasında olması gerekir. Bunu sağlamak için değişkenler ve kısıtlar sayısal değerler ile manipüle edilir (çarpılır veya bölünür) [McCarl, 2008].

Optcr, Göreceli Farkı (GF) ifade etmekte yani göreceli farkı ifade etmektedir. Optcr kullanıldığında bulunan amaç değeri ile optimum amaç değeri arasındaki fark, en çok optimum amaç değeri ile Optcr'nin çarpımı kadar olabilir. Optcr, çözümü hızlandırarak çözüm zamanını azaltır ve, ya optimum amaç değerini bulur, ya da % olarak optimum amaç değerinin Optcr ile çarpımından fazla olamayacak bir farkla amaç değerini bulmak için Gams'e komut verir. Optcr, çoğunlukla 0,01 ile 0,3 arasında tanımlanmaktadır [McCarl, 2008]. Farklı Optcr değerleri ile (0,01; 0,05;0,10; 0,20 ve 0,30 için) yapılan çözümlerde, özellikle yüksek CPU zamanı gerektiren model çözümlerimizde, çoğu zaman optimumu ya da optimuma en fazla %10 fark ile uzak çözümlerde, çözüm zamanını çok önemli derecede azalttığı, yani çözümü hızlandırdığı tarafımızca teyit edilmiştir. Örnek model çözümlerimizde optcr'siz olarak 2. sıradaki amaç bile 45 saatte henüz bulunamamışken, optcr'nin 0,3 olarak tanımlanması ile bütün öncelik yapısındaki bütün öncelik sıraları için yapılan çözümlerde, bir sıranın en uzun toplam çözüm zamanı (CPU), en fazla 10 082,373 saniye, diğer deyişle, yaklaşık olarak 2,8 saat yani 168 dk olarak bulunmuştur.

Prior; Dallandırma Önceliğini (DÖ) ifade etmekte ve gerektiğinde, etkisini araştırmak için modeldeki ikili değişkenler için tanımlanmaktadır. Modeldeki ikili değişkenlerden, işletme tesisi açma ile ilgili ikili değişkenin (Y_{nj}^t) bulunması, işletme tesisi açma maliyetleri toplama tesisi açma maliyetlerine göre çok yüksek olduğundan, toplama tesisi açma ile ilgili ikili değişkenin (Y_{li}^c) bulunmasına göre daha önemlidir. Bu gerekçeyle, Y_{nj}^t için DÖ daha yüksek alınmış, yani Y_{nj}^t 'nin bulunması daha öncelikli kabul edilmiştir. İşleme tesisi açma ikili değişkenlerine en yüksek dallandırma önceliği verilerek (1), toplama tesisi açma ikili değişkenine sırayla, yüksek (2), orta (5), düşük (100) ve çok düşük (1000) dallandırma önceliği

verilmiş bulunan çözümlerin özet olarak sonuçları Çizelge 7.29.,...,Çizelge 7.32’de verilmiştir.

Çizelge 7.29. Y_{nj}^t için en yüksek(1), Y_{li}^c için yüksek (2) DÖ olması (Prior1) durumunda çözüm

PRIOR1	TOM				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-2408061.2488	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	3.890	0.218	0.546	0.140	0.343
İS	11768	4673	2537	1110	2555
GF	0.081369	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,....,25 (25)

Çizelge 7.30. Y_{nj}^t için en yüksek(1), Y_{li}^c için orta (5) DÖ olması (Prior2) durumunda çözüm

PRIOR2	TOM				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-2408061.2488	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	3.953	0.218	0.546	0.140	0.328
İS	11768	4673	2537	1110	2555
GF	0.081369	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,....,25 (25)

Çizelge 7.31. Y_{nj}^t için en yüksek(1), Y_{li}^c için düşük (100) DÖ olması (Prior3) durumunda çözüm

PRIOR3	TOM				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-2408061.2488	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	3.921	0.250	0.609	0.140	0.312
İS	11768	4673	2537	1110	2555
GF	0.081369	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,.....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,.....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,.....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,.....,25 (25)

Çizelge 7.32. Y_{nj}^t için en yüksek(1), Y_{li}^c için çok düşük (1000) DÖ olması (Prior4) durumunda çözüm

PRIOR4	TOM				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-2408061.2488	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	3.906	0.250	0.578	0.140	0.343
İS	11768	4673	2537	1110	2555
GF	0.081369	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,.....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,.....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,.....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,.....,25 (25)

Çizelge 7.29.,...,Çizelge 7.32'den görüleceği gibi, işleme tesisleri için en yüksek dallandırma önceliği ile, toplama tesislerine gittikçe azalan DÖ verilmesinin çözüm sonuçlarını önemli derecede etkilemediği görülmüştür. Başka problem modellerinde veya her bir toplama tesisi için farklı dallandırma önceliği verildiğine DÖ'nin etkisi olabilir. Modelimizdeki analizlerde, işleme ve toplama tesisleri için DÖ'nin her biri kendi içinde olmak üzere aynı olduğu kabul edilmiştir. Bu gerekçelerle, işleme tesislerinin hepsi için aynı olmak üzere en yüksek DÖ (1) ve toplama tesisleri için yüksek DÖ (2) verilerek, $optcr$ 'nin farklı değerlerine göre ($optcr$; 0,01'den 0,3'e kadar kademeli olarak artırılarak etkisi incelenmiş) çözümler yapılmıştır. Öncelik yapıları ile çok sayıda model çözüleceğinden, çözümsüzlüğü bertaraf etmek ve

çözüm zamanını kısaltmak için gerektiğinde optcr'nin 0,3 olarak alınması uygun görülmüştür. Daha önce ifade edildiği gibi, optcr'nin 0,3 olarak alınması çözüm zamanlarını çok önemli derecede azaltmasına rağmen, çözümlerimizde, amaç değeri ya optimum çıkmış ya da optimumdan tanımlanan optcr (GF)'dan çok daha küçük, çoğunlukla en fazla %10 (0,1) olarak gerçekleşmiştir.

Optcr ve DÖ'nin aynı anda farklı değerlerde olmasının büyük problem boyutundaki modele (TOM yani 4), etkisini incelemek için, optcr ve DÖ birlikte ele alınmış ve bulunan çözümlerin sonuçları aşağıda, Çizelge 7.33.,..., Çizelge 7.36'da, özet olarak verilmiştir

Çizelge 7.33. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) Optcr=0 (GF yok) ve DÖ'nin olmaması durumunda çözüm sonuçları

PB	TAM ÖLÇEKLİ MODEL (TOM) (4)				
AMAÇ NO	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AFD	-2408061.2488	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	4.250	0.234	0.609	0.140	0.328
İS	13334	4673	2537	1110	2555
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,....,25 (25)
TOPKISTSAY	1 305				
TOPDEĞSAY	8 080				
IKLDEGSAY	275				

Çizelge 7.34. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) Optcr=0 ve DÖ'nin olması durumunda çözüm sonuçları

PB	TOM				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AMAÇ NO					
AFD	-2408061.2488	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	4.140	0.265	0.609	0.140	0.343
İS	12208	4673	2537	1110	2555
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,....,25 (25)

Çizelge 7.35. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) Optcr=0,3 ve DÖ'nin olmaması durumunda çözüm sonuçları

PB	TOM				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AMAÇ NO					
AFD	-2326169.2587	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	3.703	0.234	0.546	0.140	0.328
İS	12095	4673	2537	1110	2555
GF	0.295412	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000
TTHS	1, 1, 1, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	2, 3, 8, 11 (4)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,....,25 (25)

Çizelge 7.36. Büyük problem boyutundaki modelin (TOM) Optcr=0,3 ve DÖ'nin olması durumunda çözüm sonuçları

PB	TOM				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
AMAÇ NO					
AFD	-2326169.2587	20451568.2000	0.0000	1469121.2356	18589454.4884
CPU	3.640	0.218	0.531	0.140	0.312
İS	10880	4673	2537	1110	2555
GF	0.269461	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000
TTHS	1, 2, 2	1,.....,8	1,.....,1	8,.....,1	8,.....,1
TTAY (T)	3, 8, 11 (3)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)	1,.....,25 (25)
İTKS	1, 2	1,.....,3,....,1	3	3,.....,1	1,.....,2,....,1
İTAY (T)	8, 11 (2)	1,.....,8,....,25 (25)	19 (1)	1,.....,25 (25)	1,.....,19,....,25 (25)

Çizelge 7.33.,..., Çizelge 7.36'dan görüldüğü gibi, GF, DÖ'ne göre "İS" nı daha fazla azaltmıştır. GF ve DÖ birlikte, İS'da çok daha büyük azalma sağlamıştır. Sadece 1 nci amaç fonksiyonu için TTHS ve TTAY(T) değişmektedir. Optcr 0,3 (ve dallandırma önceliksiz) olduğunda; 2, 3, 8 ve 11'de sırayla; 1, 1, 1 ve 2 hacim seviyesinde toplama tesisi açılmakta, işleme tesisleri ile ilgili bir değişiklik olmamaktadır. Optcr sıfırdan büyük alındığında, Z1'de bir artma (kârda azalma) görülmüş, diğer amaç değerleri ve tesislerle ilgili bir değişiklik olmamıştır. Fakat , DÖ ve GF sıfırdan farklı alınınca, CPU ve iterasyon sayısından en az biri azalma göstermiştir (Amaç 2,3,4 ve 5'de sadece CPU azalmış), Z1'de hem CPU hem de İS azalma kaydetmiştir.

Model çözüm sonuçlarıyla ilgili olarak, değişkenlerin etkisi, etkileşimi ve ilişkisinin bilimsel olarak anlamlılığını test etmek amacıyla yapılan istatistiksel analizlerde, Prc ve Rmk'nın her biri için, her bir büyüklük seviyesinden, bağımsız olarak, Düzgün (uniform) dağılımdan 8'er tane sayısal değer üretilmiş, bu değerlerin her biri için model ayrı çözümlenerek elde edilen sonuçlar Çizelge 7.37'de özetlenmiştir. Burada amaç; istatistiksel olarak, amaçlar, CPU'lar, İS'ları ve açılan tesis sayıları ile tesislerin toplam kapasitesinin, Prc ve Rmk'nın farklı değerlerine göre değişip değişmediğinin incelenmesidir. İstatistiksel analizler kısmında elde edilen sonuçların istatistiki çıkarımları ile yorumları verilmiştir.

Aşağıda, Şekil 7.2.,...,Şekil 7.26'da, modellerimiz ve çözümlerimizde, ilgilenilen bütün değişimler, grafiksel olarak, onu izleyen kısımda, değişimlerin bilimsel geçerliliği için yapılan istatistiksel analizler ve çıkarılan sonuçlar sunulmaktadır.

Amaçların optimizasyon yönüne ve farklı öncelik sıralarına göre, Amaçlar ile CPU ve İS'larının değişimleri Şekil 7.2.,...,7.11.'de ayrı ayrı verilmiştir. Şekil 7.2.,...,7.11.'de, özetle, Amaç 1 için en iyi değerler ilk 24 öncelik sırasındaki (S:N: 1, 2,...,24), yani Amaç 1'in ilk sıraya konulduğu öncelik yapısındaki çözümlerde ve -2408061,2488 olarak bulunmuştur. Amaç 1 için en kötü değerler, 63, 64, 65, 66 ve 72. sıradaki öncelik yapısındaki çözümlerle ve 3342635,9538 olarak bulunmuştur. Amaç 2, 3 ve 4' ün 120 farklı sıra için bulunan değerleri, sırayla 20451568,2000 ile

16385696,8114 (kötüleşen), Amaç 3'ün 0 ile 5010546,357 (kötüleşen), Amaç 4'ün 1469121,2356 ile 3051568,2 (kötüleşen) ve Amaç 5'in ise 18589454,4884 ile 14916577,6137 arasında ve kötüleşen eğilimlerde değiştiği görülmektedir. CPU değerleri ve İS'ları küçükten büyüğe doğru (artan eğilimde); 64, 72, 63, 66,.....,105, 106, 119 ve 120 sıra no (S.N), İS'ları da 13,388; 13,749; 15,482; 19,185,....,9 166,499; 9 221,889; 10 034,811 ve 10 082,373 saniye (sn) olarak bulunmuştur. İS'ları küçükten büyüğe doğru (artan eğilimde) 64, 72, 63, 66,.....,114, 109, 111 ve 112 sıra no (S.N) için sırayla, 46 032; 50 420; 54 241; 72 906,....., 28 440 799; 28 767 312; 31 070 857 ve 31 515 434 olarak bulunmuştur.

Amaç fonksiyonları; değerlerinin, CPU'sunun ve İS'larının hurda kg fiyatının büyüklüğüne göre değişimi, sırayla, Şekil 7.12, Şekil 7.13 ve Şekil 7.14'de, Amaç fonksiyonları; değerlerinin, CPU'sunun ve İS'larının geri dönen ürün sayısı büyüklüğüne göre değişimi sırayla, Şekil 7.15, Şekil 7.16 ve Şekil 7.17'de, Amaç fonksiyonları; değerlerinin, CPU'sunun ve İS'larının problem boyutuna göre değişimi, sırayla, Şekil 7.18, Şekil 7.19 ve Şekil 7.20'de, Amaç fonksiyonları; değerlerinin, CPU'sunun ve İS'larının GF ve DÖ'ne göre değişimi sırayla, Şekil 7.21, Şekil 7.22, Şekil 7.23'de ve son olarak, toplam kısıt, toplam değişken ve toplam ikili değişken sayısının problem boyutuna göre değişimi, sırayla, Şekil 7.24, Şekil 7.25 ve Şekil 7.26'da yorumlarıyla birlikte verilmektedir.

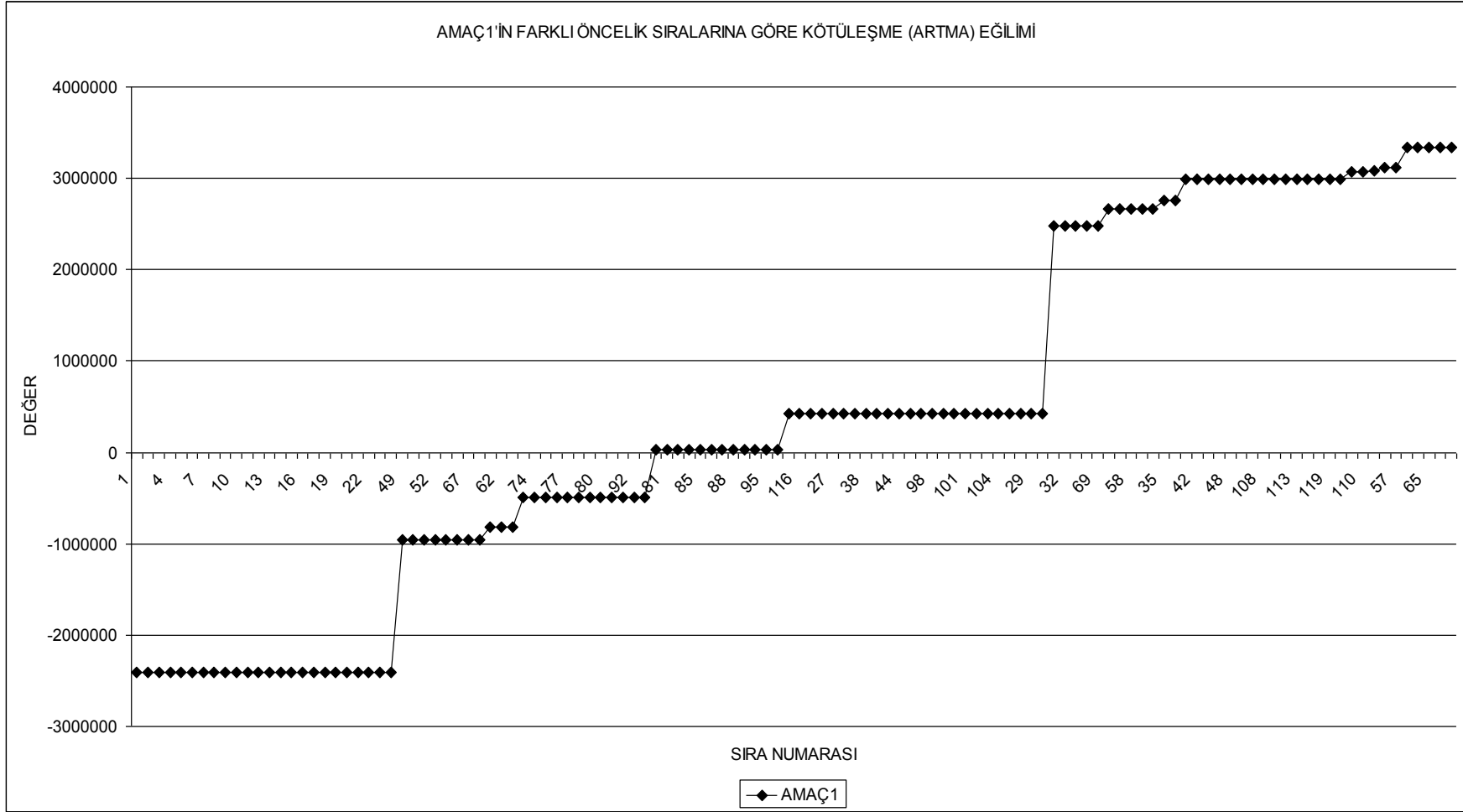
Çizelge 7.37. Farklı hurda kg fiyatlı ve geri dönüş sayılı durumların modelin bazı karar değişkenlerine etkisi

Rmk	Prc	AMAÇ DEĞERİ					TT-Z1		İT-Z1		TT-Z3		İT-Z3	
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	SAYI	TOPHAC	SAYI	TOPKAP	SAYI	TOPHAC	SAYI	TOPKAP
1	1	-2499927,7162	18194245,0700	0	1292061,0871	16558610,6575	3	5	2	3,11	25	25	2	2
1	2	-3855732,5082	17656436,8500	0	1258584,2290	16062964,8951	2	4	2	3,11	25	31	1	2,11
1	3	-398922,7327	16830097,5200	0	1220636,2623	15281068,5268	2	4	2	3,11	25	25	2	2
1	4	308226,2822	17465341,7300	0	1262547,6603	15863920,3223	2	4	2	3,11	25	25	1	2,11
1	1	-3984821,0435	16935539,9200	0	1218649,4935	15390598,9036	2	4	2	3,11	25	26	1	2,11
1	2	-903355,2121	18103048,6200	0	1305267,6448	16447237,3508	2	4	2	3,11	25	25	1	2,11
1	3	-2257567,6508	21875678,2100	0	1566355,3469	19891186,1777	2	4	2	4,22	25	25	1	3,07
1	4	-829212,9730	22255667,6700	0	1596092,0859	20233020,1357	2	4	2	4,22	25	30	1	3,07
2	1	-3603861,6689	19055847,0700	0	1361404,4222	17331620,6449	3	5	2	3,11	25	26	1	3,07
2	2	-2389957,6853	18959616,4000	0	1360306,9812	17235690,7952	3	5	2	3,11	25	30	2	4,22
2	3	-949768,4016	18934355,7900	0	1358558,8386	17212707,7845	3	5	2	3,11	25	25	2	4,22
2	4	-744682,2873	18953190,8200	0	1361873,5277	17227127,7298	3	5	2	3,11	25	25	1	2,11
2	1	-5217934,8336	18776174,1400	0	1352341,8614	17061416,1328	3	5	2	3,11	25	25	2	4,22
2	2	-3101558,1915	19295106,7200	0	1384258,0543	17540843,7624	3	5	2	3,11	25	25	1	2,11
2	3	-256582,2896	19489793,9100	0	1402847,9461	17711059,9745	3	5	2	3,11	25	25	1	2,11
2	4	811874,2233	18549699,0300	0	1333919,1465	16858695,6151	3	5	2	3,11	25	25	1	2,11

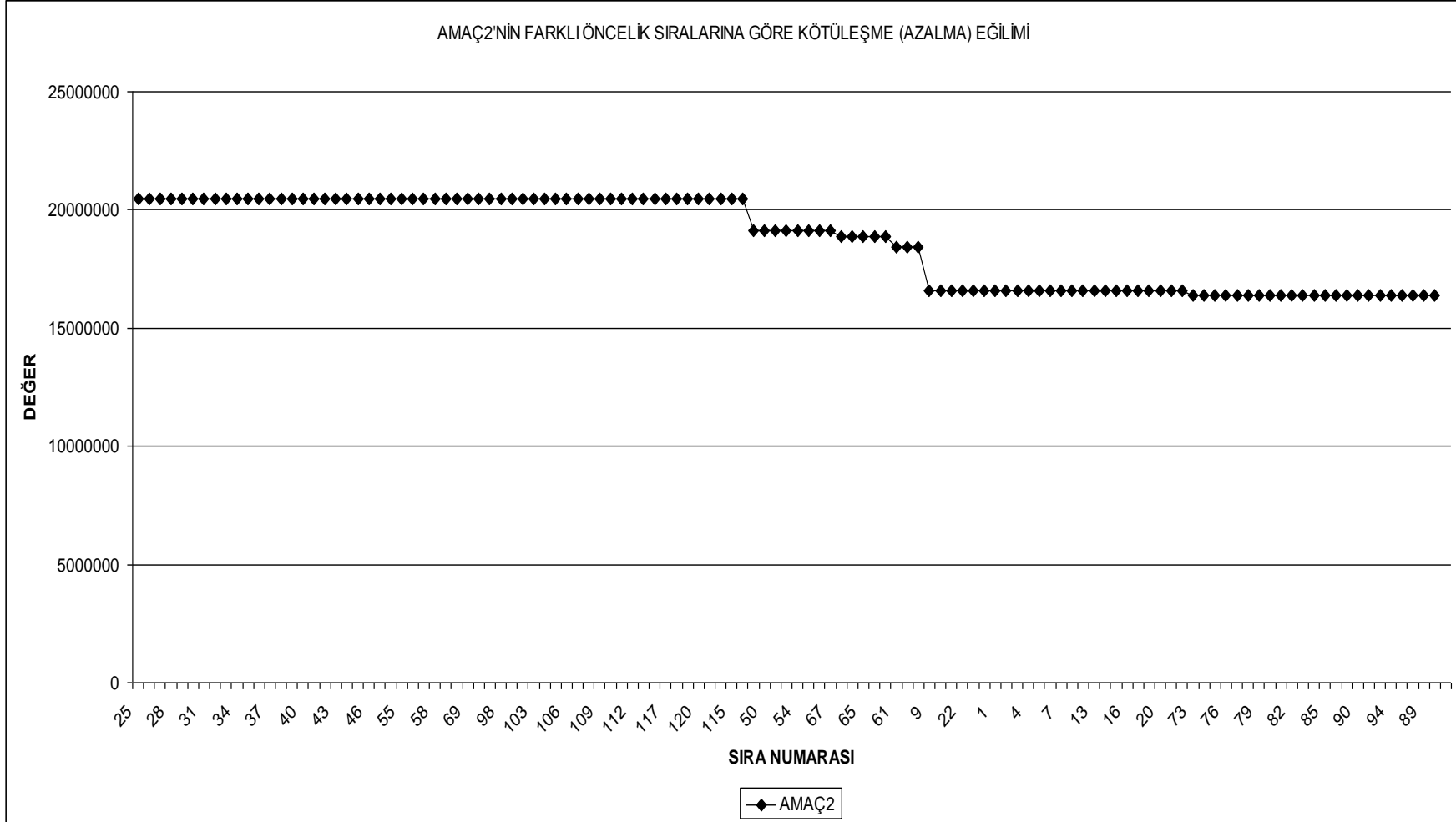
Tophac ve topkap, 1 seviyesinin katı olarak alınmıştır. TT-Z1: Toplama tesisi-Amaç 1, TOPHAC: Toplam hacim, TOPKAP : Toplam kapasite, İT-Z1: İşletme tesisi-Amaç 1, TT-Z3: Toplama tesisi-Amaç 3, İT-Z3: İşletme tesisi-Amaç3'ü ifade etmektedir.

Çizelge 7.37. (Devam) Farklı hurda kg fiyatlı ve geri dönüş sayılı durumların modelin bazı karar değişkenlerine etkisi

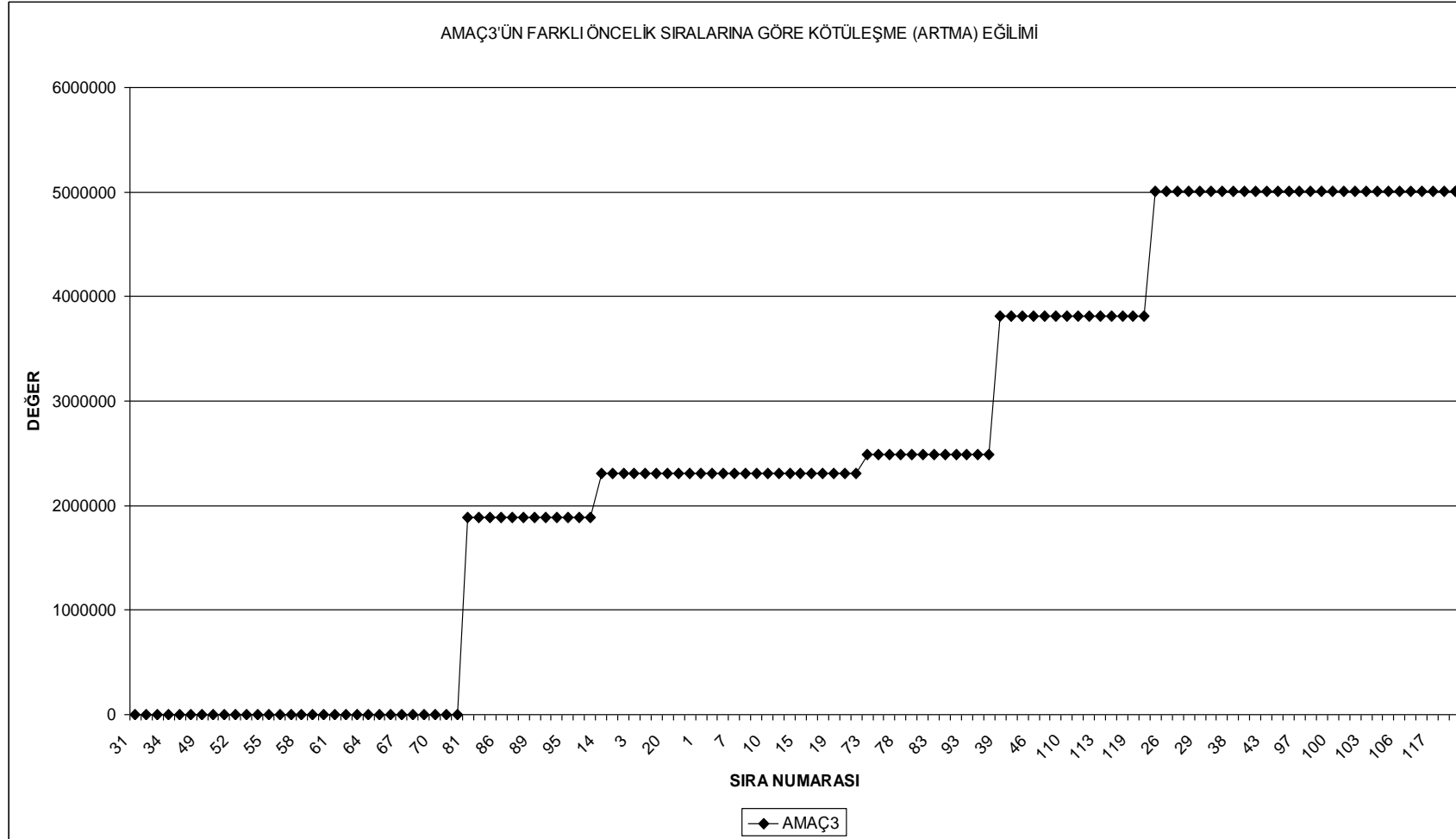
Rmk	Prc	AMAÇ DEĞERİ					TT-Z1		İT-Z1		TT-Z3		İT-Z3	
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	SAYI	TOPHAC	SAYI	TOPKAP	SAYI	TOPHAC	SAYI	TOPKAP
3	1	-6025685,9172	22464084,7000	0	1610227,5433	20423569,4834	2	4	2	4,22	25	28	3	3
3	2	-3444864,0879	22306843,2400	0	1596586,2665	20284076,2758	2	4	2	4,22	25	30	2	3,11
3	3	-2550340,0715	21799683,4700	0	1564131,3010	19817544,6831	2	4	2	4,22	25	25	1	3,07
3	4	228020,3244	21713747,1600	0	1558683,0470	19738429,4718	2	4	2	4,22	25	27	2	3,11
3	1	-5011169,2147	22194664,8400	0	1595223,5016	20172556,8722	2	4	2	4,22	25	30	3	3
3	2	-5390089,3501	21665205,5300	0	1553654,1197	19696515,9025	2	4	2	4,22	25	30	3	3
3	3	-2152013,5191	21875678,2100	0	1566355,3469	19891186,1777	2	4	2	4,22	25	25	1	3,07
3	4	-24972,4498	22255667,6700	0	1596092,0859	20233020,1357	2	4	2	4,22	25	30	1	3,07
4	1	-6422234,3845	23295265,8800	0	1682942,4531	21160173,4854	2	4	2	4,22	25	25	1	3,07
4	2	-4726213,6576	23813971,7700	0	1710645,1993	21645664,5517	2	4	2	4,22	25	28	2	3,11
4	3	-3933203,6469	23196147,3700	0	1664988,5840	21085936,0465	2	4	2	4,22	25	25	1	3,07
4	4	-1700949,3548	24160485,8500	0	1732567,1708	21964962,3027	2	4	2	4,22	25	26	3	3
4	1	-5301851,9295	23760461,1400	0	1707843,2522	21595365,5458	2	4	2	4,22	25	26	3	3
4	2	-5055678,9895	24537913,3400	0	1761788,4489	22304548,6708	2	4	2	4,22	25	30	2	3,11
4	3	-1731125,9707	23626877,3300	0	1706791,7628	21461591,4451	2	4	2	4,22	25	25	2	3,11
4	4	-1259317,1971	23788249,9400	0	1699734,7560	21635522,0492	2	4	2	4,22	25	30	2	3,11



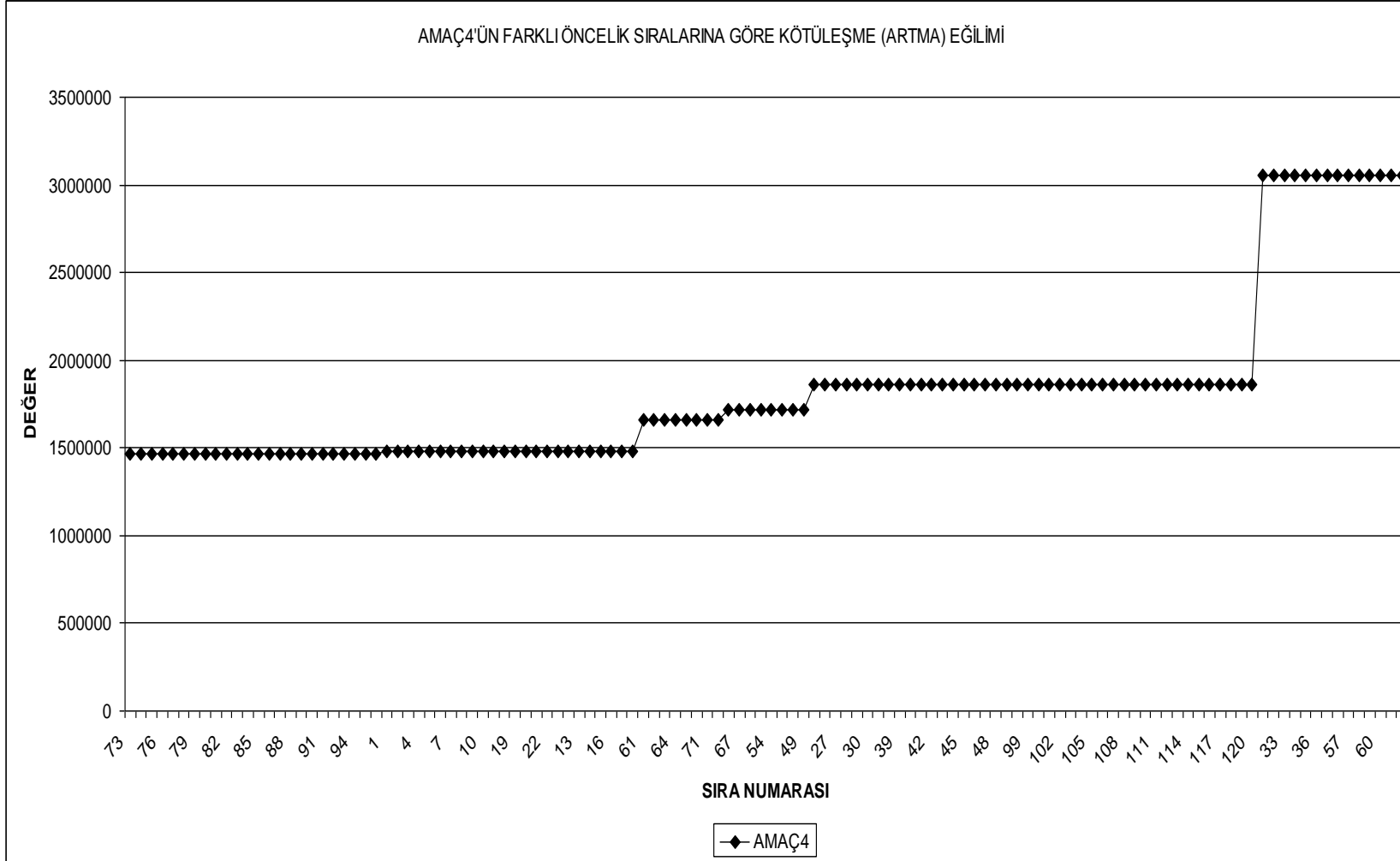
Şekil 7.2. Amaç1'in farklı öncelik sıralarına göre kötüleşme (artma) eğilimi



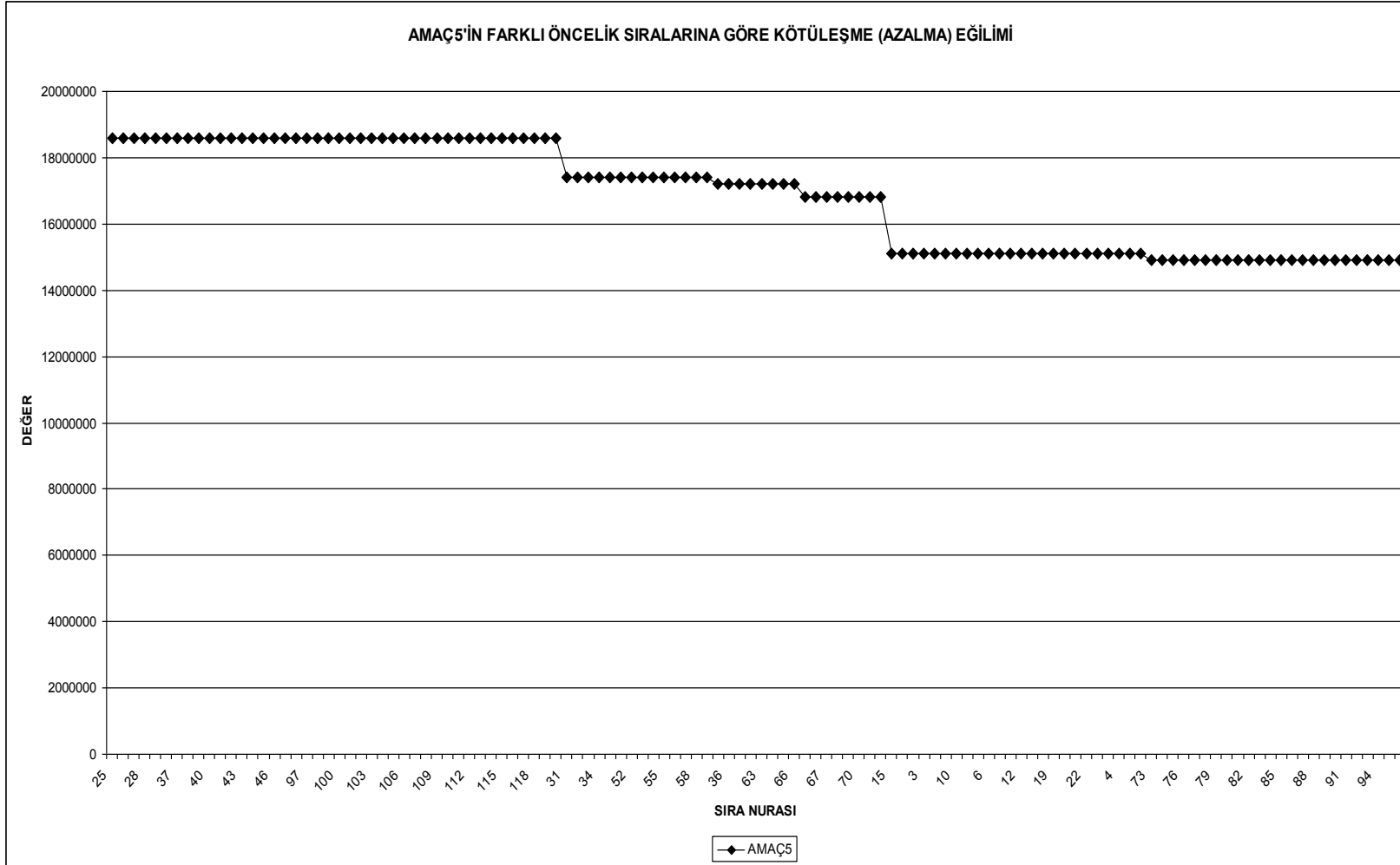
Şekil 7.3. Amaç2'nin farklı öncelik sıralarına göre kötüleşme (azalma) eğilimi



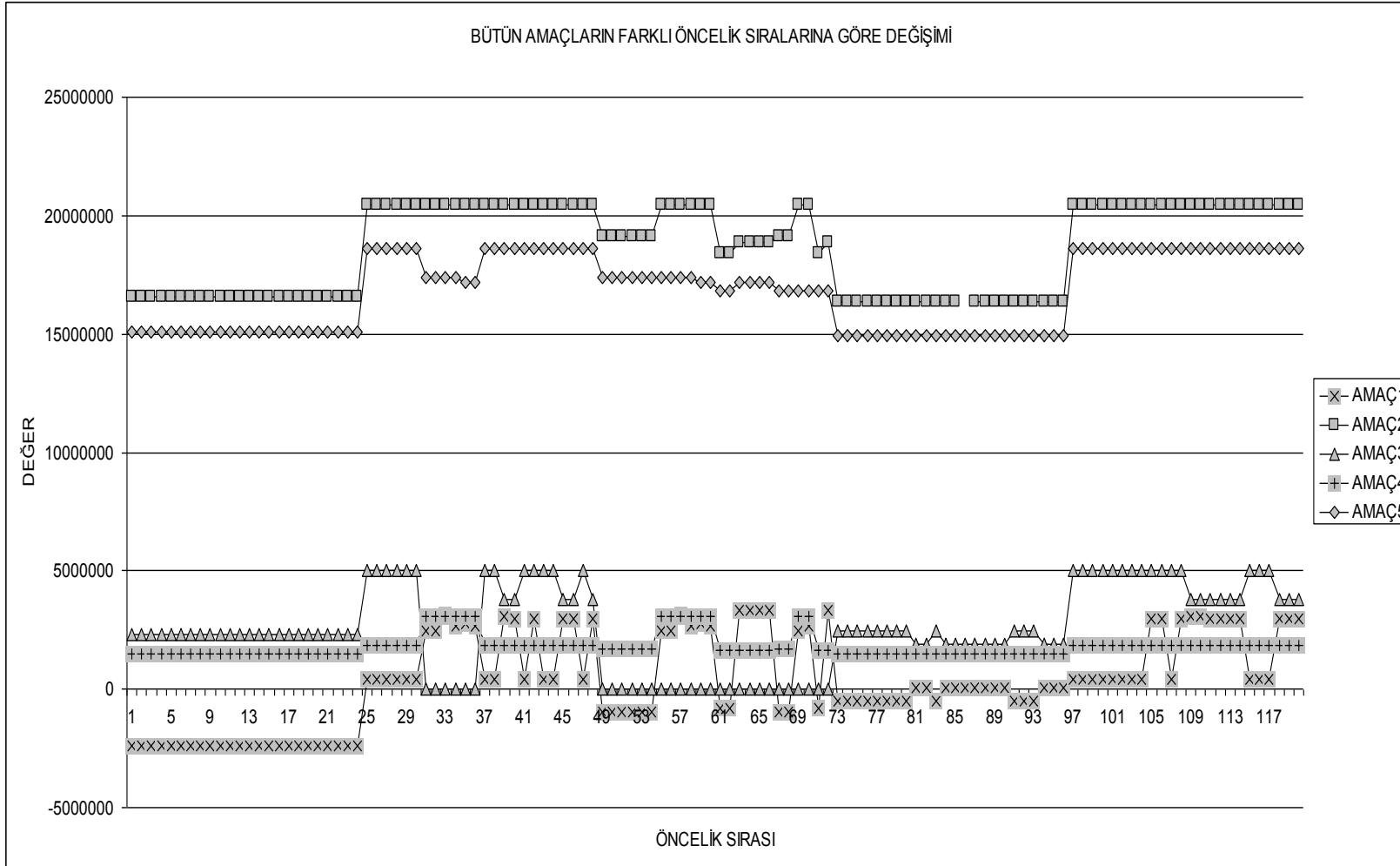
Şekil 7.4. Amaç3'ün farklı öncelik sıralarına göre kötüleşme (artma) eğilimi



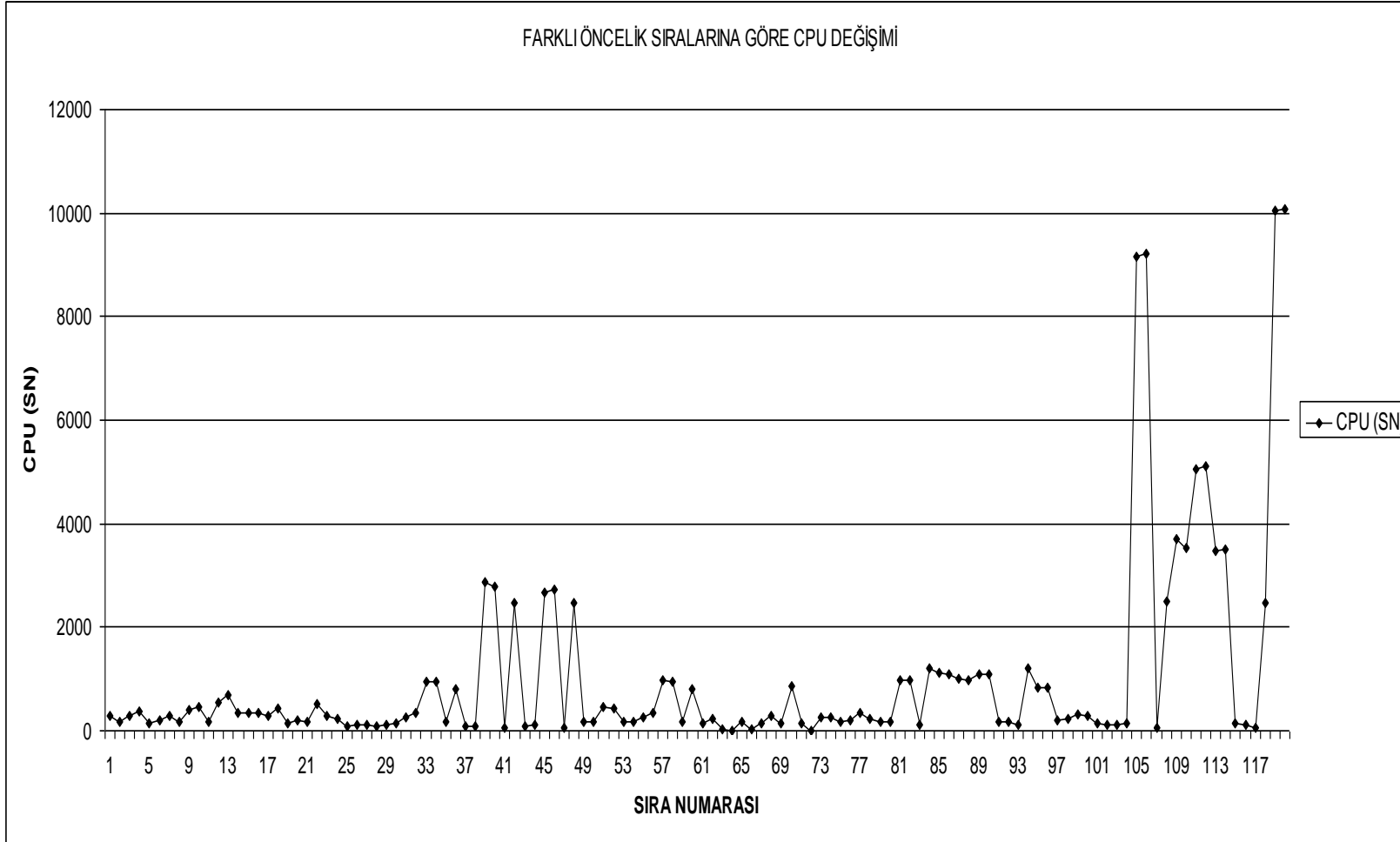
Şekil 7.5. Amaç4'ün farklı öncelik sıralarına göre kötüleşme (artma) eğilimi



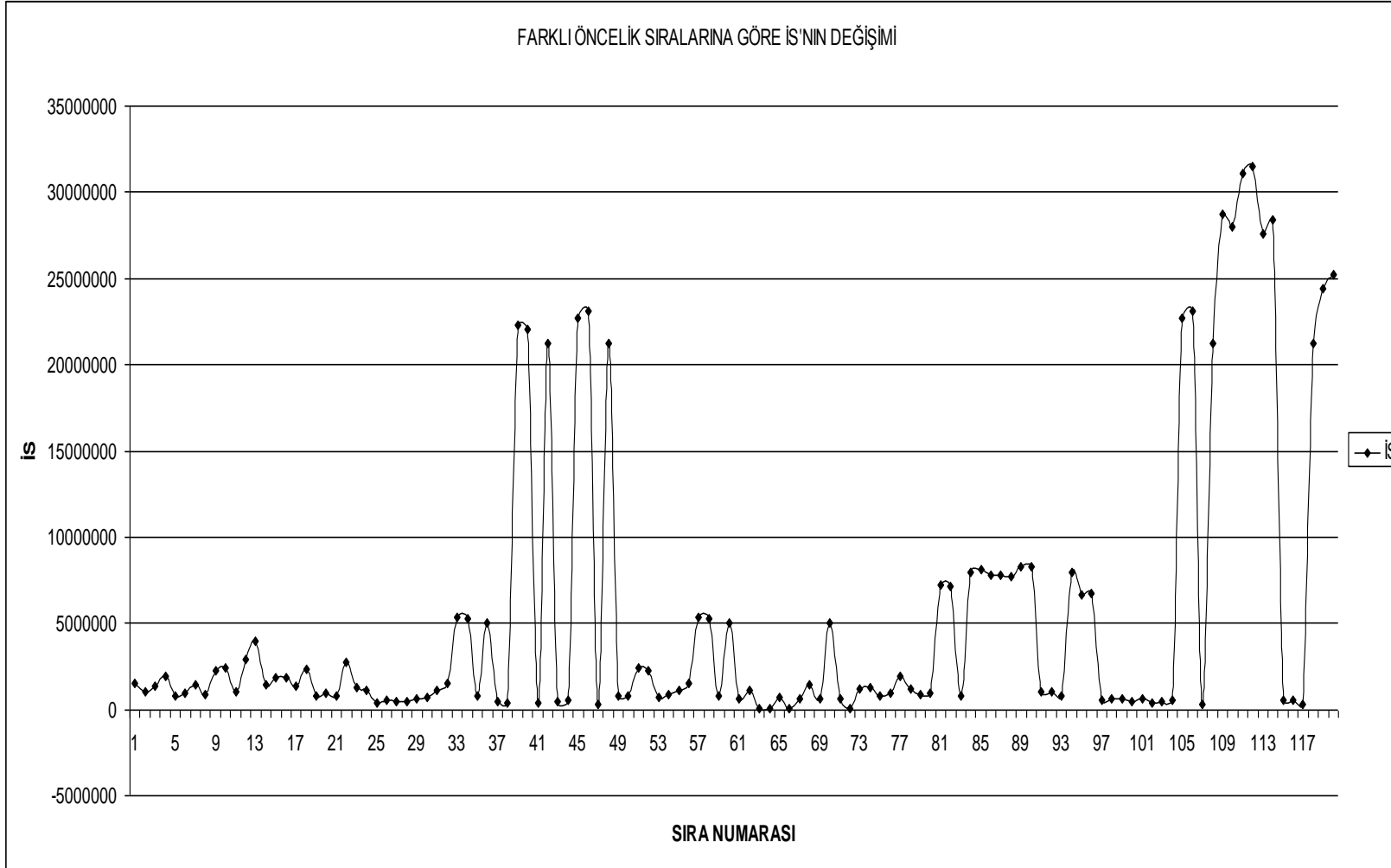
Şekil 7.6. Amaç5'in farklı öncelik sıralarına göre kötüleşme (azalma) eğilimi



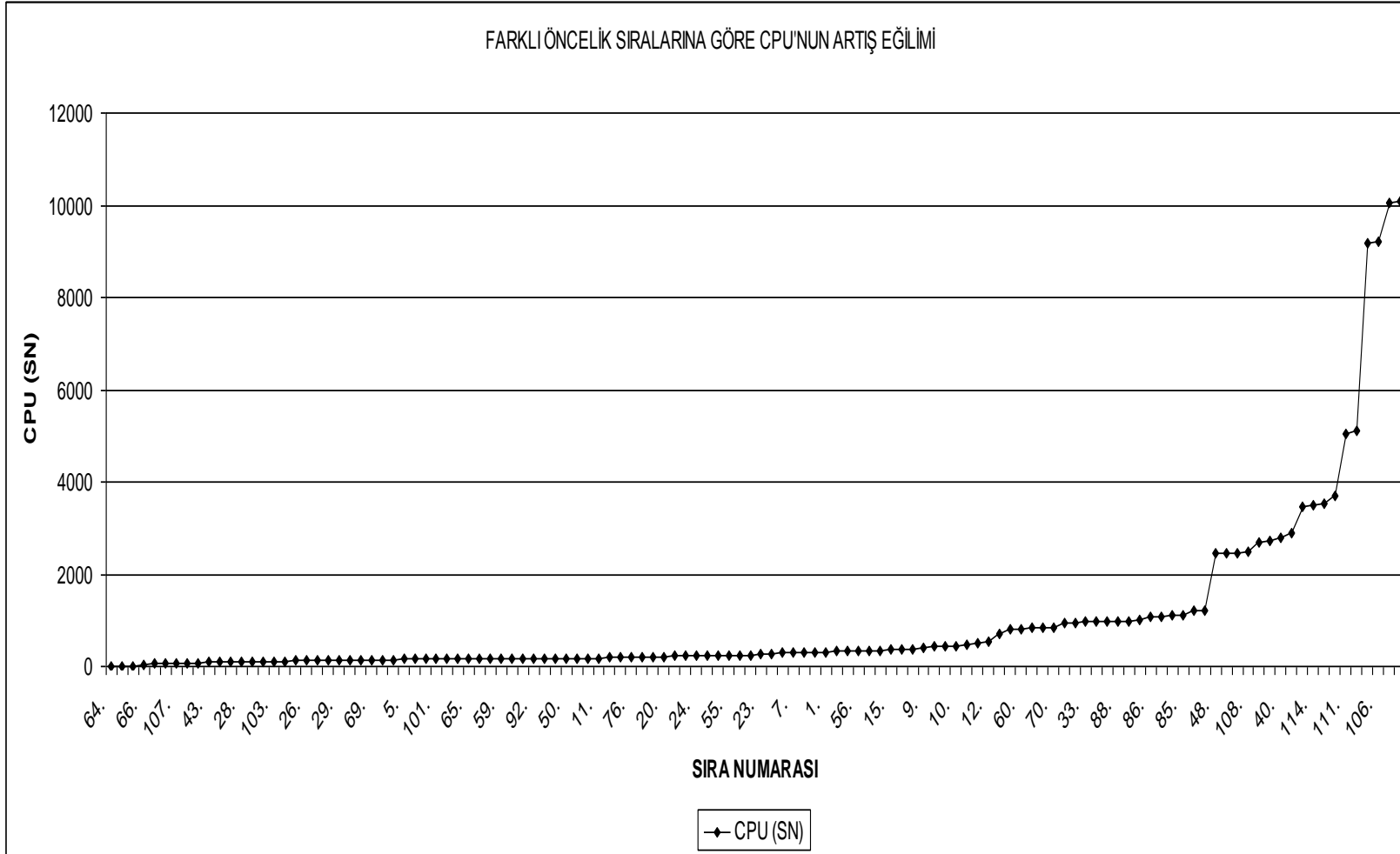
Şekil 7.7. Bütün amaçların farklı öncelik sıralarına göre değişimi



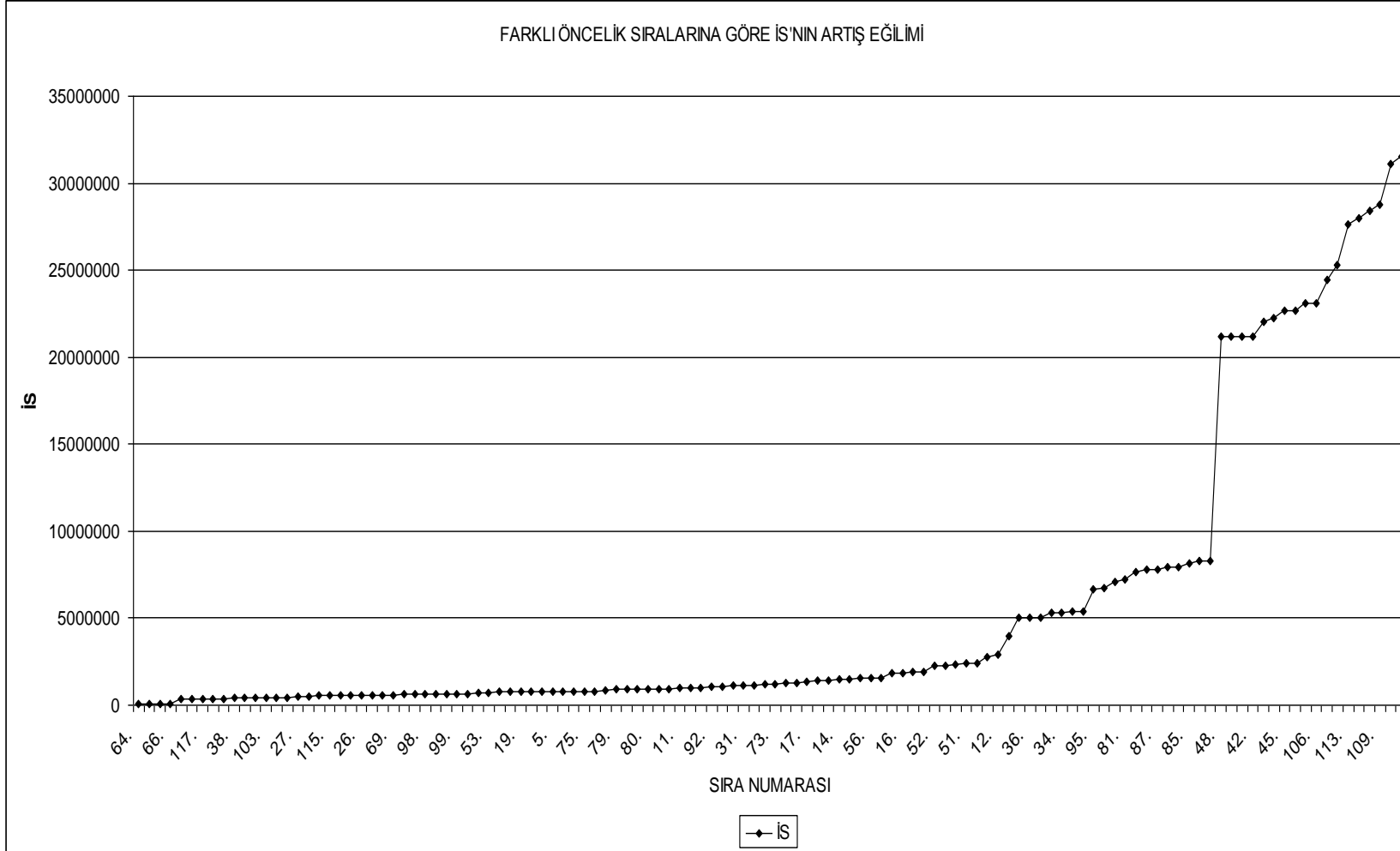
Şekil 7.8. Farklı öncelik sıralarına göre CPU değişimi



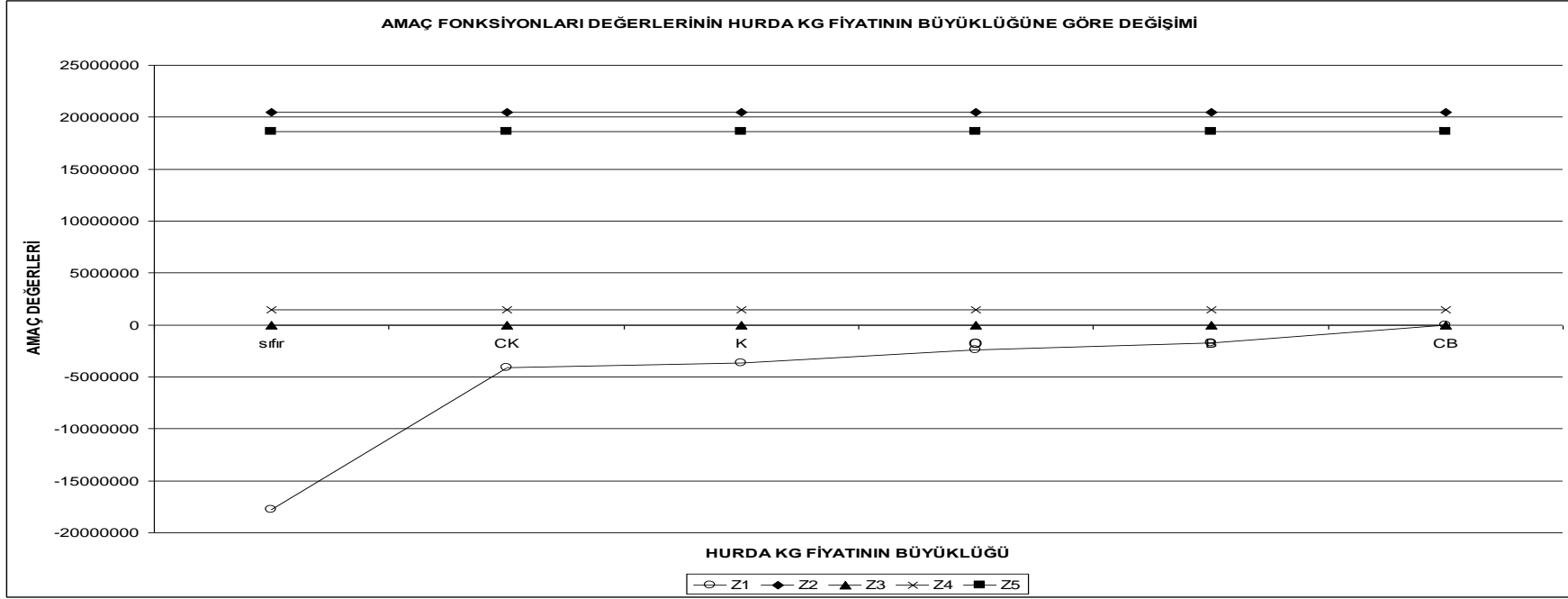
Şekil 7.9. Farklı öncelik sıralarına göre İS'nin değişimi



Şekil 7.10. Farklı öncelik sıralarına göre CPU'nun artış eğilimi

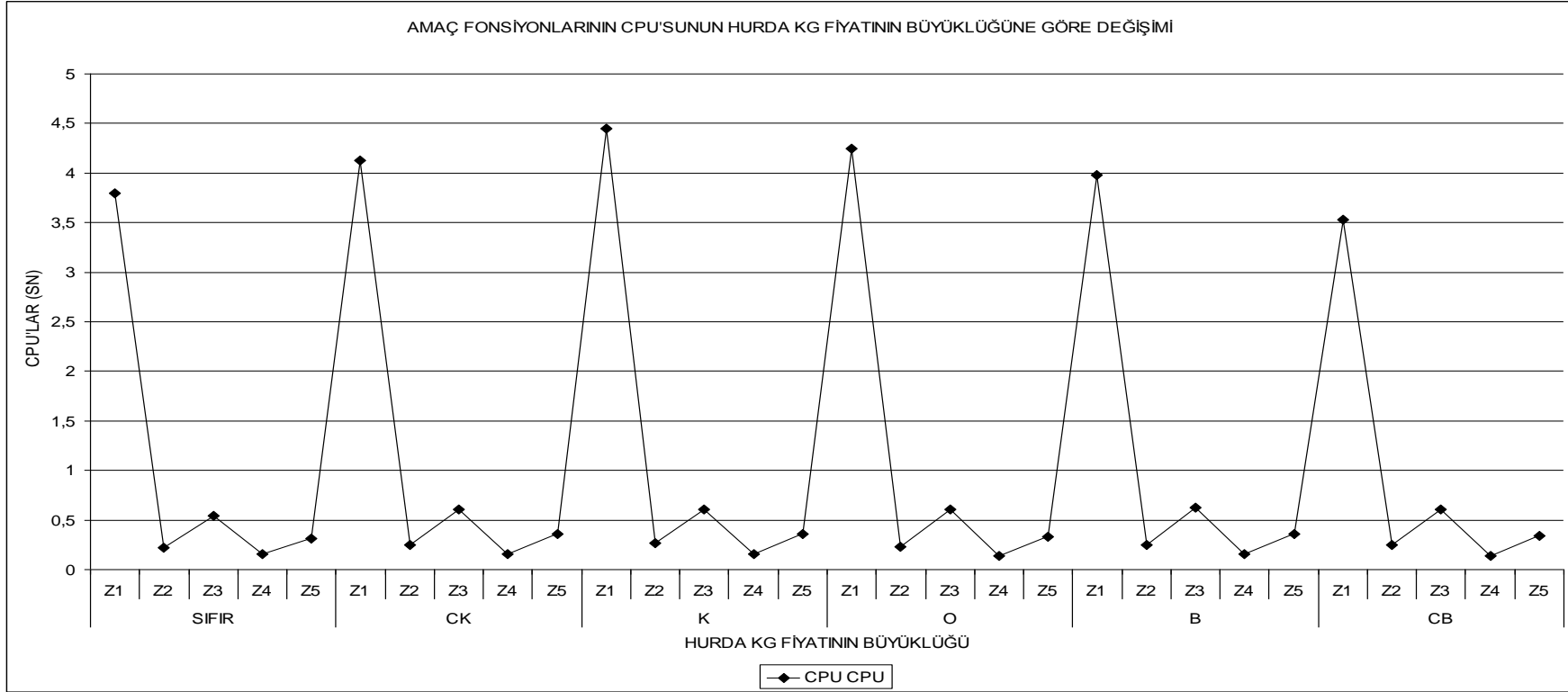


Şekil 7.11. Farklı öncelik sıralarına göre İS'nin artış eğilimi



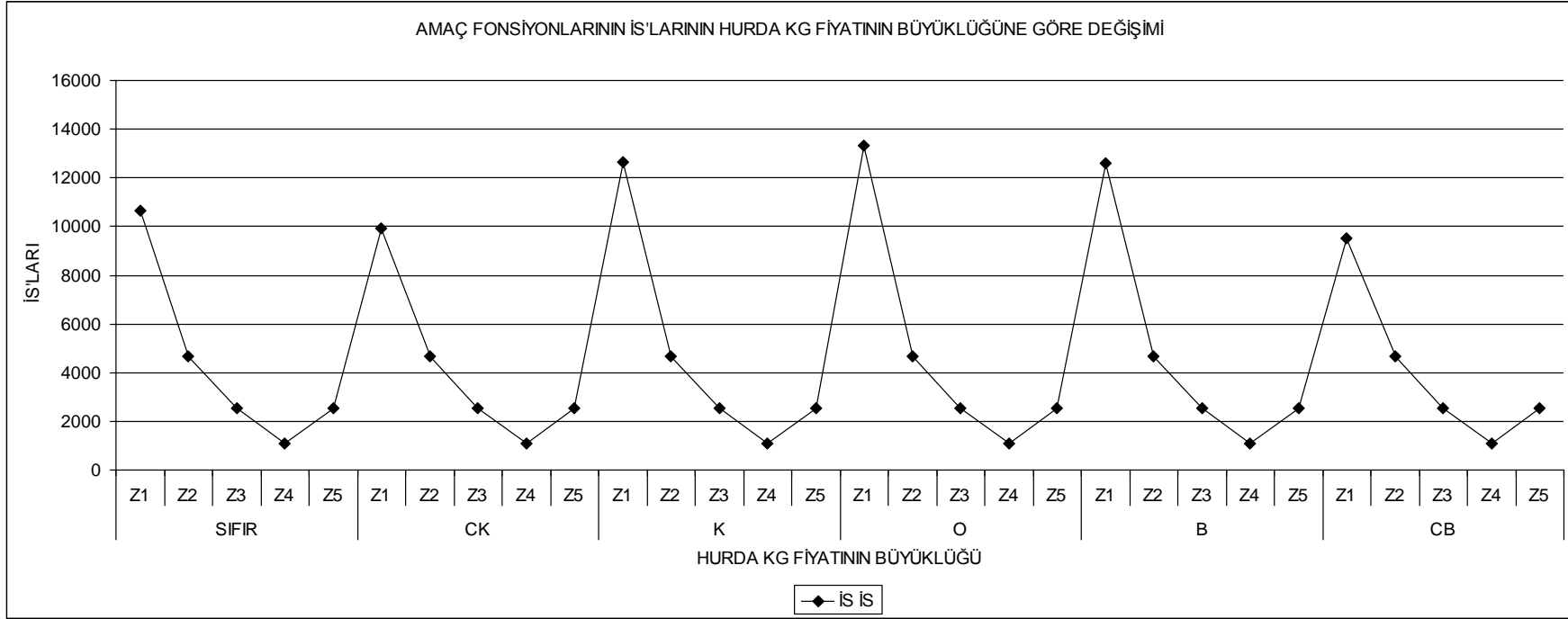
Şekil 7.12. Amaç fonksiyonları değerlerinin hurda kg fiyatının büyüklüğüne göre değişimi

Şekil 7.12.'de amaç fonksiyonları değerlerinin hurda kg fiyatının büyüklüğüne göre değişimi incelendiğinde, hurda kg fiyatının artmasıyla en fazla Amaç 1'in (toplam maliyetin minimizasyonu) kötüleşmeye başladığı, diğer amaçlarda önemli bir değişiklik olmadığı, istatistiksel analizlerde de bulunduğu gibi, görülmüştür. Atık ürün satın alma fiyatının artmasıyla toplam maliyetin minimizasyonu olan Amaç 1'in kötüleşme eğilimi göstermesi, beklenen bir sonuçtur. Amaç 1, atık ürünün bedava alınması durumunda en iyi, atık ürün fiyatı arttıkça kötüleşmeye başlayacak ve en kötü değerini, atık ürünün fiyatının çok büyük (ÇB; 5) olması durumunda alacaktır.



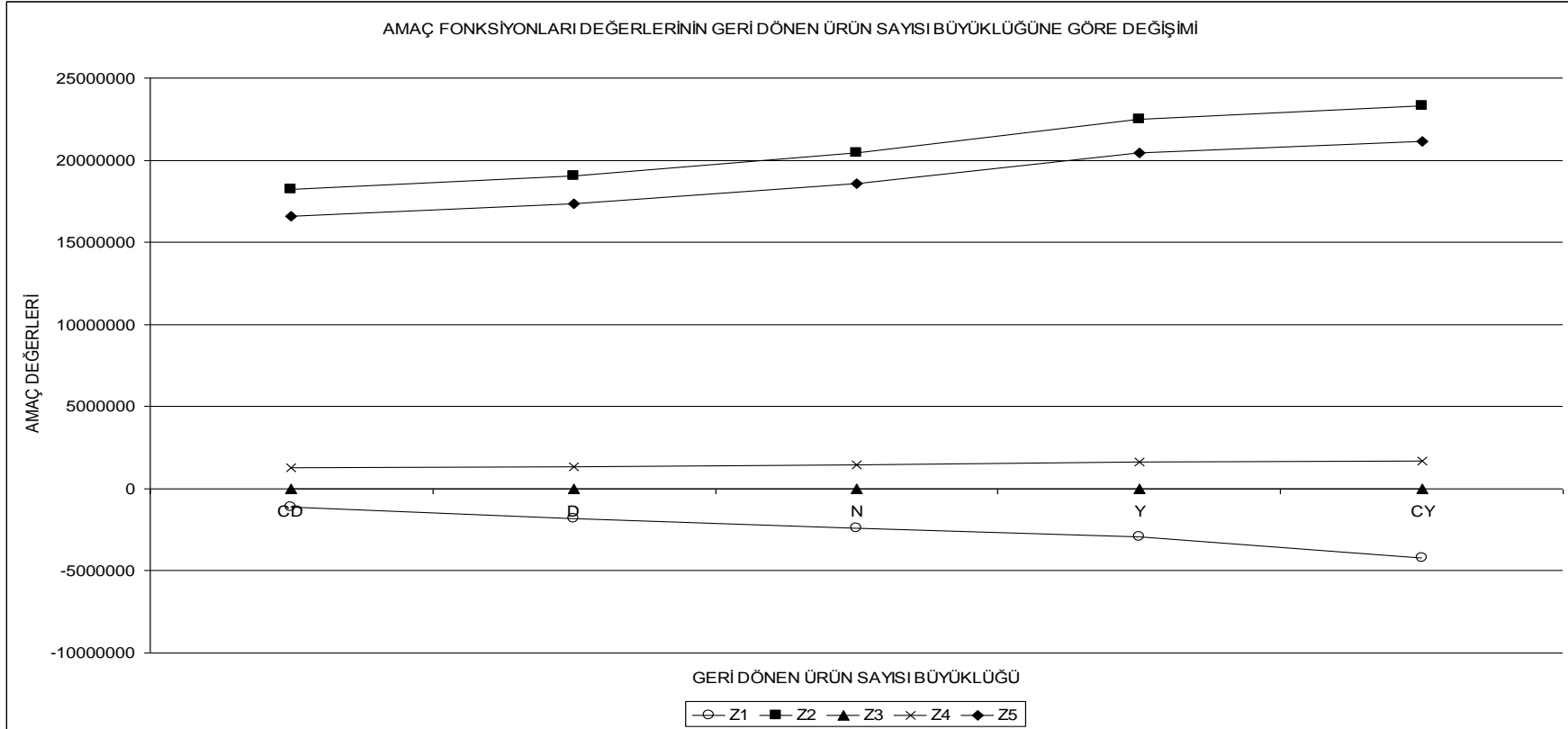
Şekil 7.13. Amaç fonksiyonlarının CPU'sunun hurda kg fiyatının büyüklüğüne göre değişimi

Şekil 7.13'de amaç fonksiyonlarının CPU'sunun hurda kg fiyatının büyüklüğüne göre değişimi incelendiğinde, her bir amaç fonksiyonunun CPU'sunun kendi değerine göre % 20'ye kadar değişim gösterebildiği görülmektedir. Model, stratejik planlama amaçlı ve CPU, en çok operasyonel modellerde önemli olduğundan CPU'daki bu değişim tarafımızca önemli görülmemiştir.



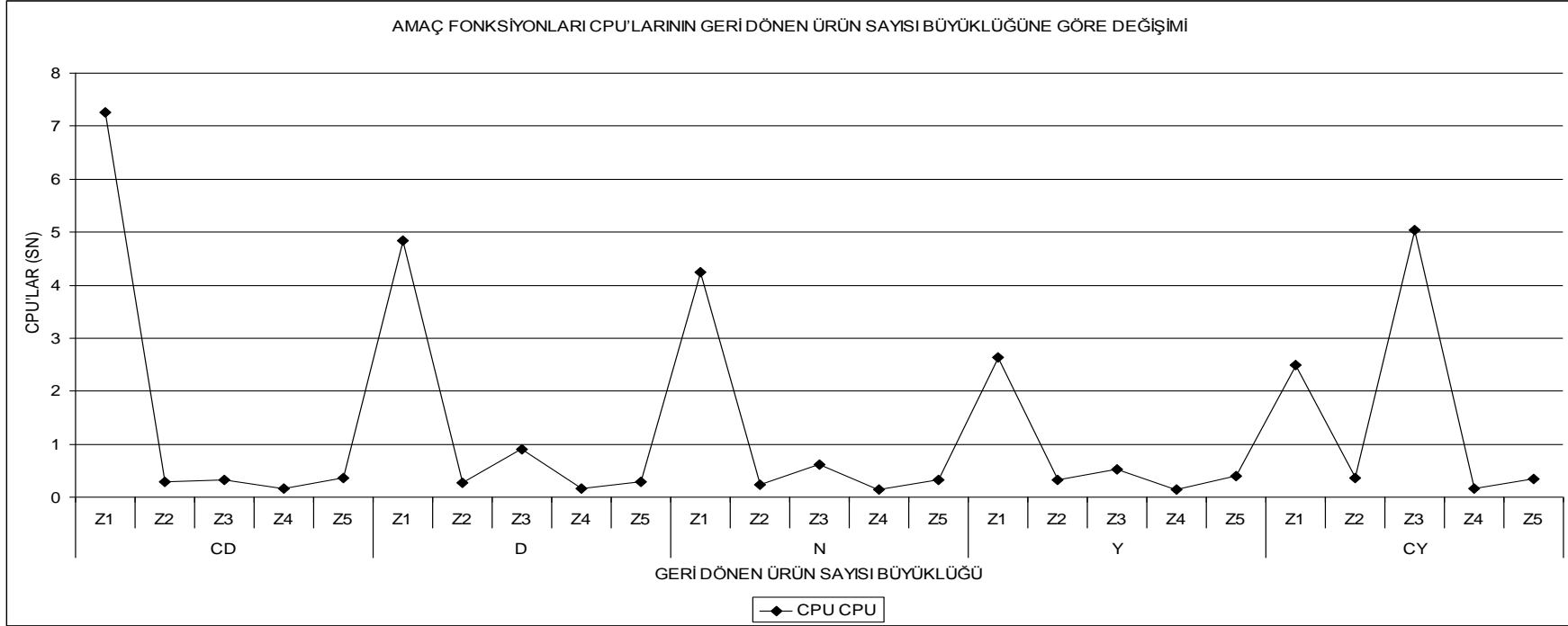
Şekil 7.14. Amaç fonksiyonlarının İS'larının hurda kg fiyatının büyüklüğüne göre değişimi

Şekil 7.14.'de İS'larının hurda kg fiyatının büyüklüğüne göre değişimi incelendiğinde, her bir amaç fonksiyonunun İS'nın kendi değerine göre % 20'ye kadar değişim gösterebildiği görülmektedir.



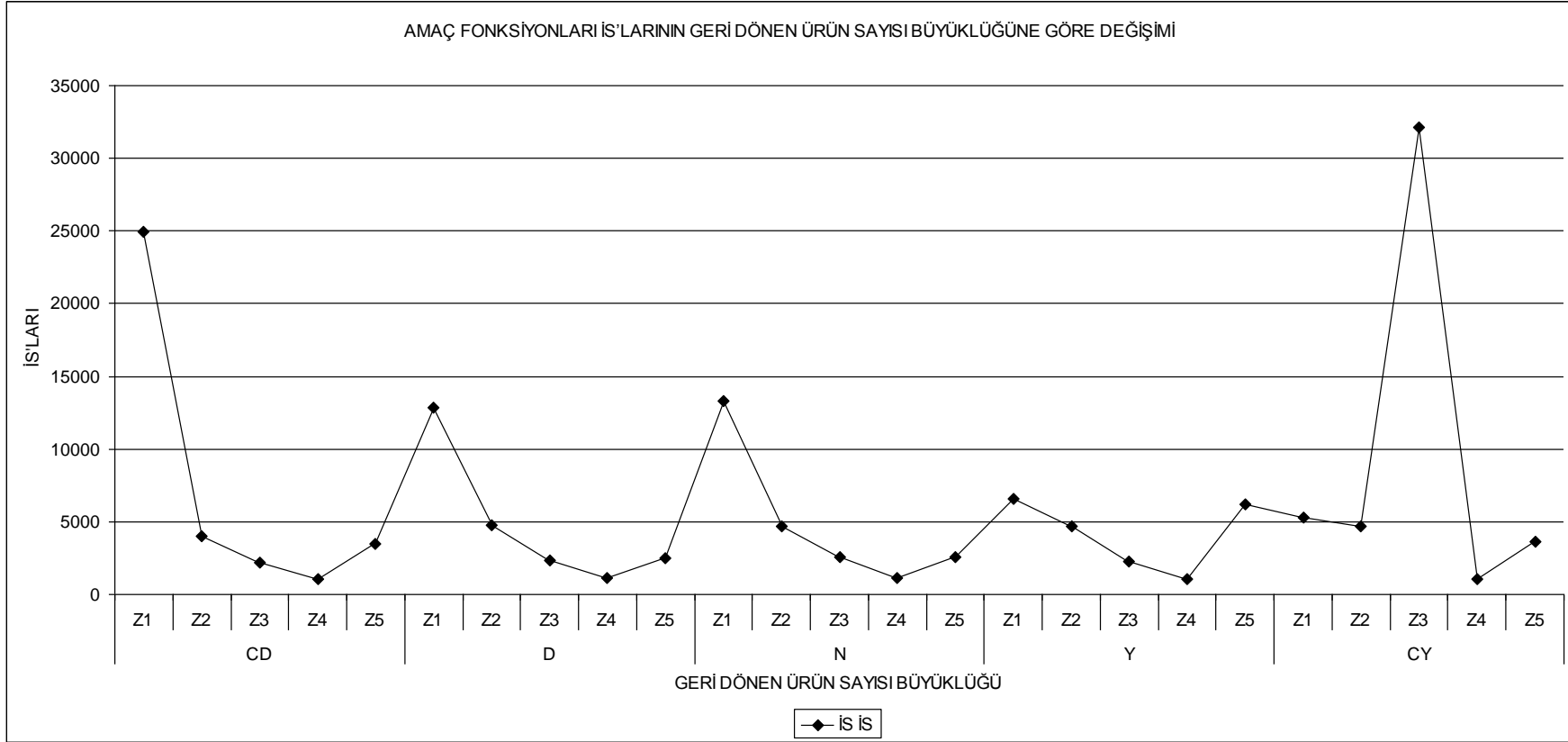
Şekil 7.15. Amaç fonksiyonları değerlerinin geri dönen ürün sayısı büyüklüğüne göre değişimi

Şekil 7.15’de, amaç fonksiyonları değerlerinin geri dönen ürün sayısı büyüklüğüne göre değişimi incelendiğinde, Amaç 2 ve Amaç 5’in, geri dönen ürün sayısı arttıkça bir artış gösterdiği, Amaç 1’in ise azalma kaydettiği görülmekte, Amaç 3 ve Amaç 4 için önemli bir değişim gözlenmemektedir.



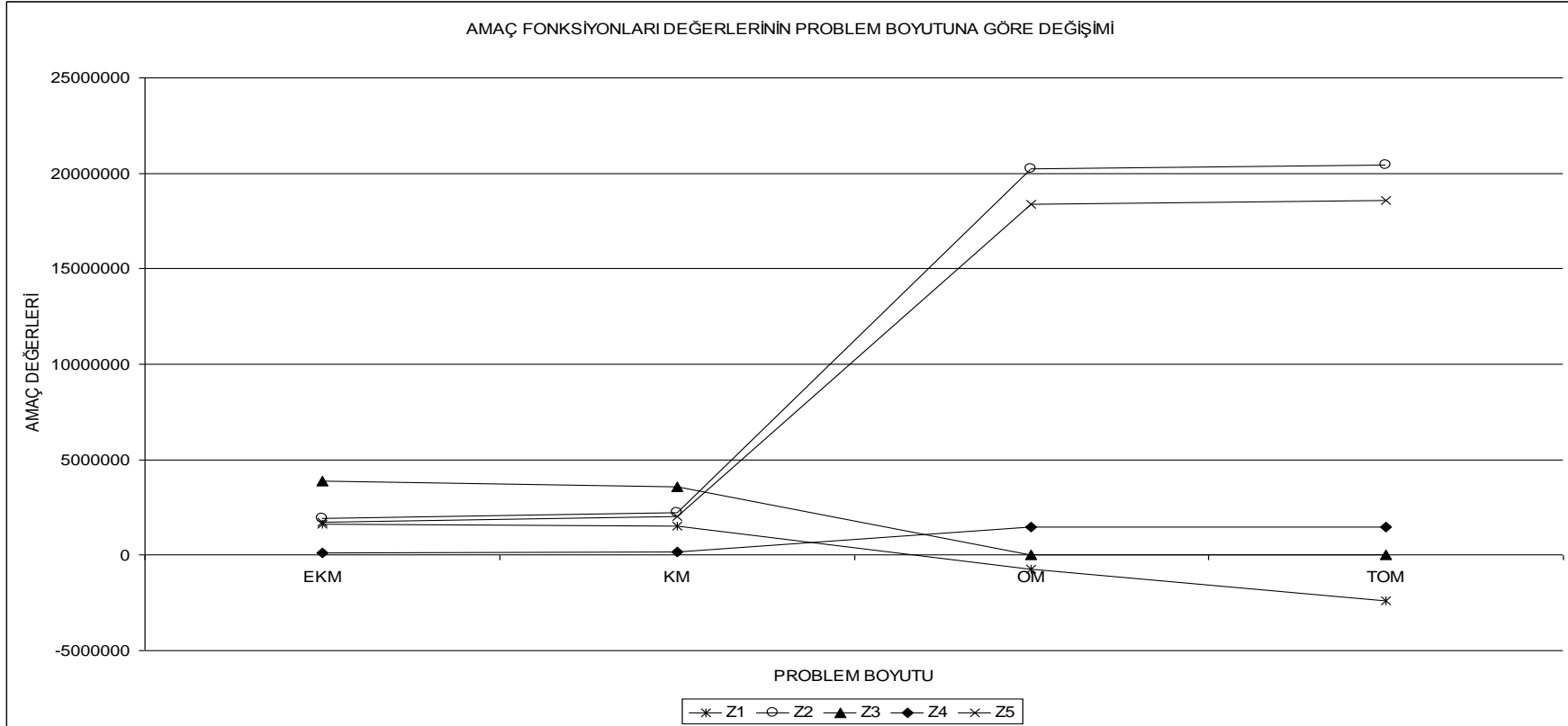
Şekil 7.16. Amaç fonksiyonları CPU'larının geri dönen ürün sayısı büyüklüğüne göre değişimi

Şekil 7.16.'da amaç fonksiyonları CPU'larının geri dönen ürün sayısı büyüklüğüne göre değişimi incelendiğinde, Z1 ve Z3 için CPU'nun önceki değerine göre, geri dönen ürün sayısı arttıkça Z1'in CPU'sunun azalış, Z3'ün CPU'sunun ise hem azalış hem artış (dalgalanma) gösterdiği gözlenmiştir.



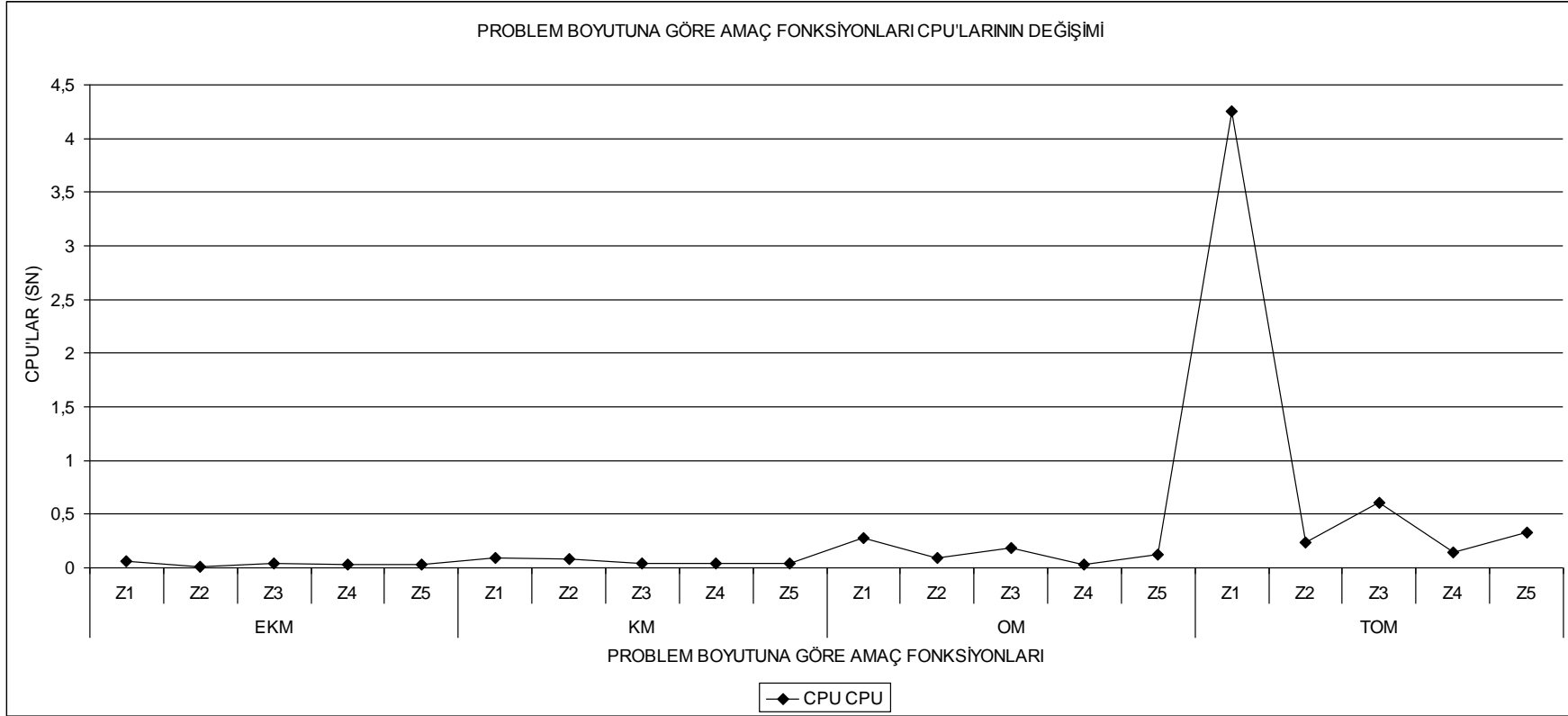
Şekil 7.17. Amaç fonksiyonları İS'lerinin geri dönen ürün sayısı büyüklüğüne göre değişimi

Şekil 7.17.'de amaç fonksiyonları İS'lerinin geri dönen ürün sayısı büyüklüğüne göre değişimi incelendiğinde, geri dönen ürün sayısı arttıkça, Z1'in İS'nin genellikle azalma gösterdiği, Z3'ün İs'nin geri dönen ürün sayısının yüksek olmasına kadar hafif dalgalanma gösterip, çok yüksek olması durumunda önemli bir artış gösterdiği görülmüştür.



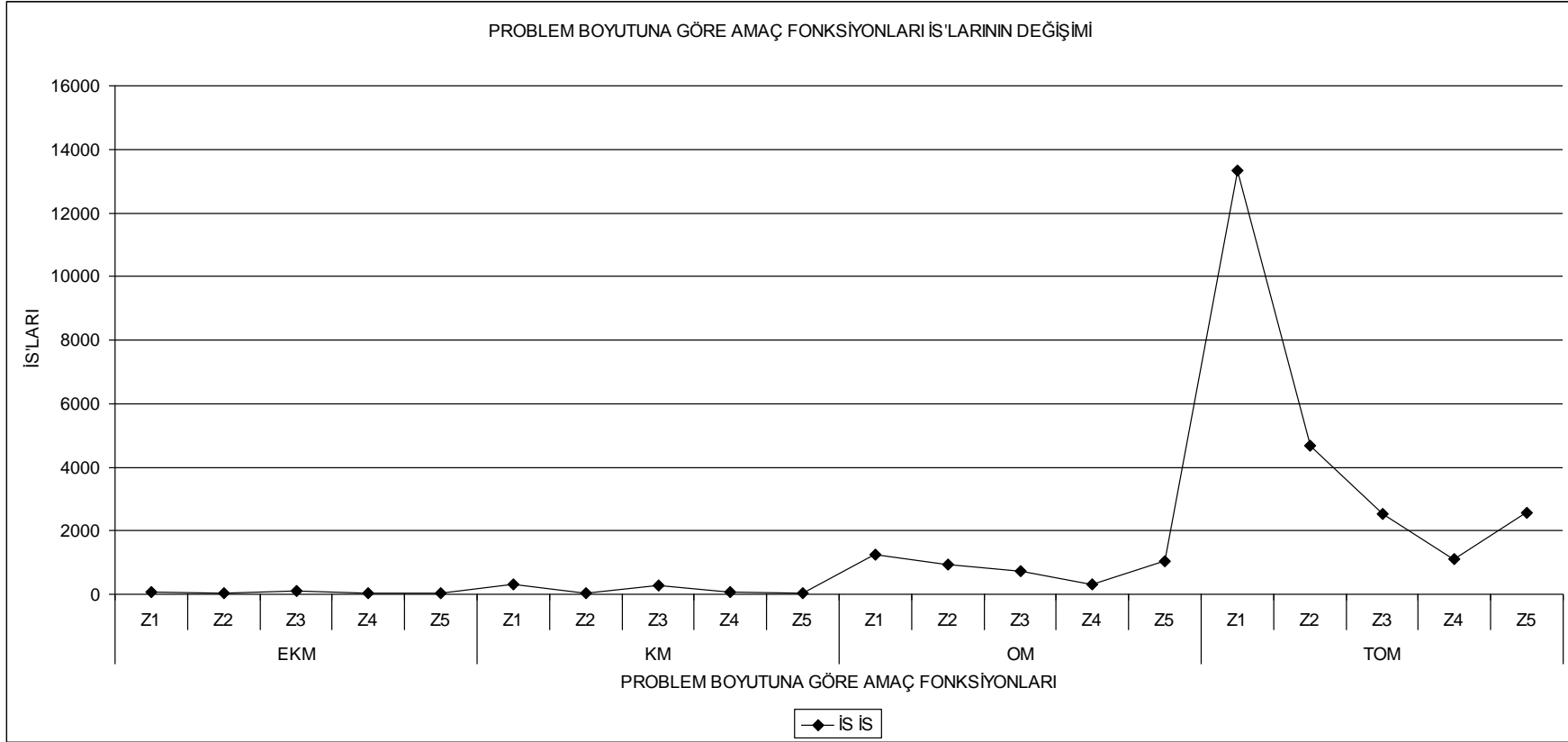
Şekil 7.18. Problem boyutuna göre amaç fonksiyonları değerlerinin değişimi

Şekil 7.18.'de problem boyutuna göre amaç fonksiyonları değerlerinin değişimi incelendiğinde, problem boyutu arttıkça, Z1, Z2, ve Z5'te iyileşme, Z4'te kötüleşme eğilimi görülmüş, Z3 için önemli bir değişim görülmemiştir.



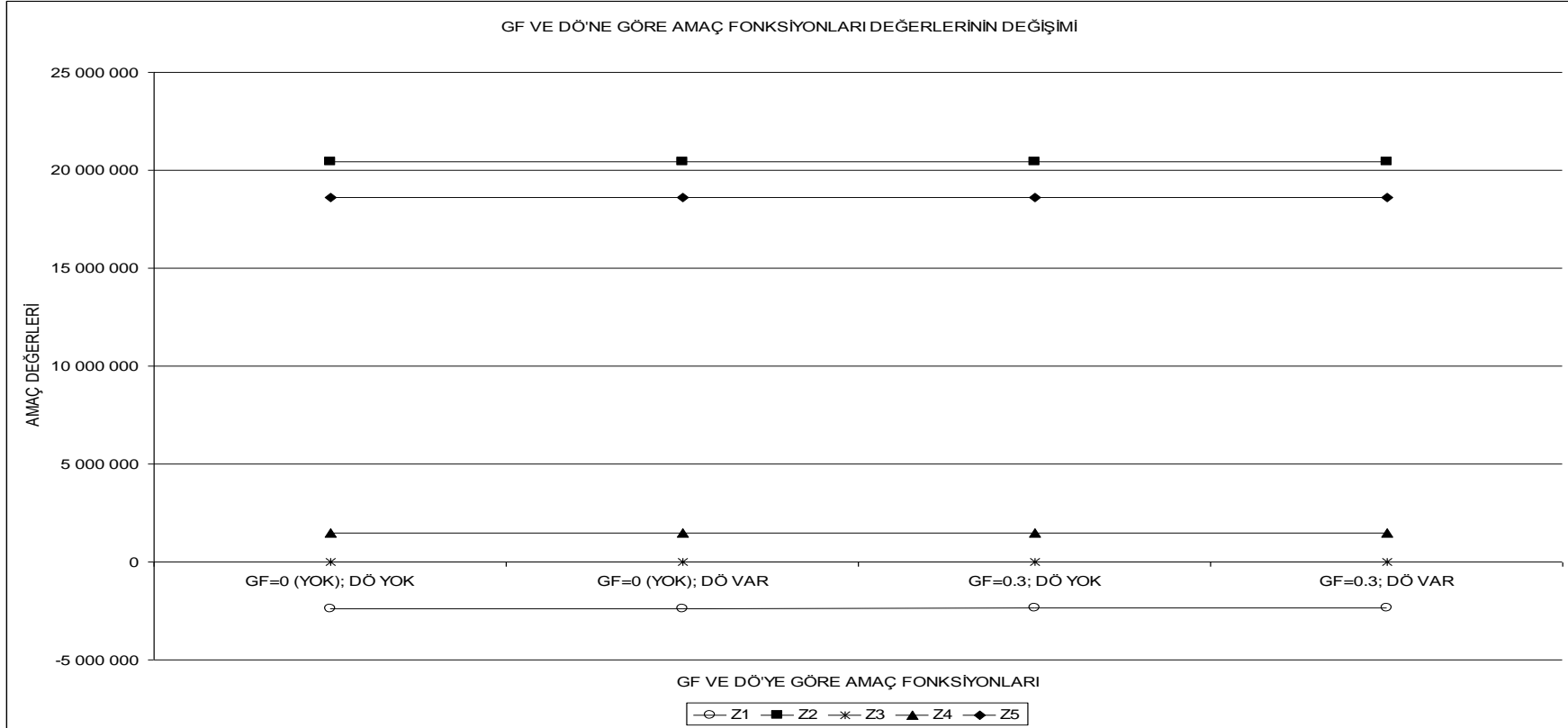
Şekil 7.19. Problem boyutuna göre amaç fonksiyonları CPU'larının değişimi

Şekil 7.19.'da problem boyutuna göre amaç fonksiyonları CPU'larının değişimi incelendiğinde, problem boyutu arttıkça, CPU'nun önceki değerine göre artış gözlenmiş, bu artışın en büyük problem boyutunda (TOM Modelinde), Z1 ve Z3 için önceki değerlerine göre en fazla olduğu dikkat çekmiştir.



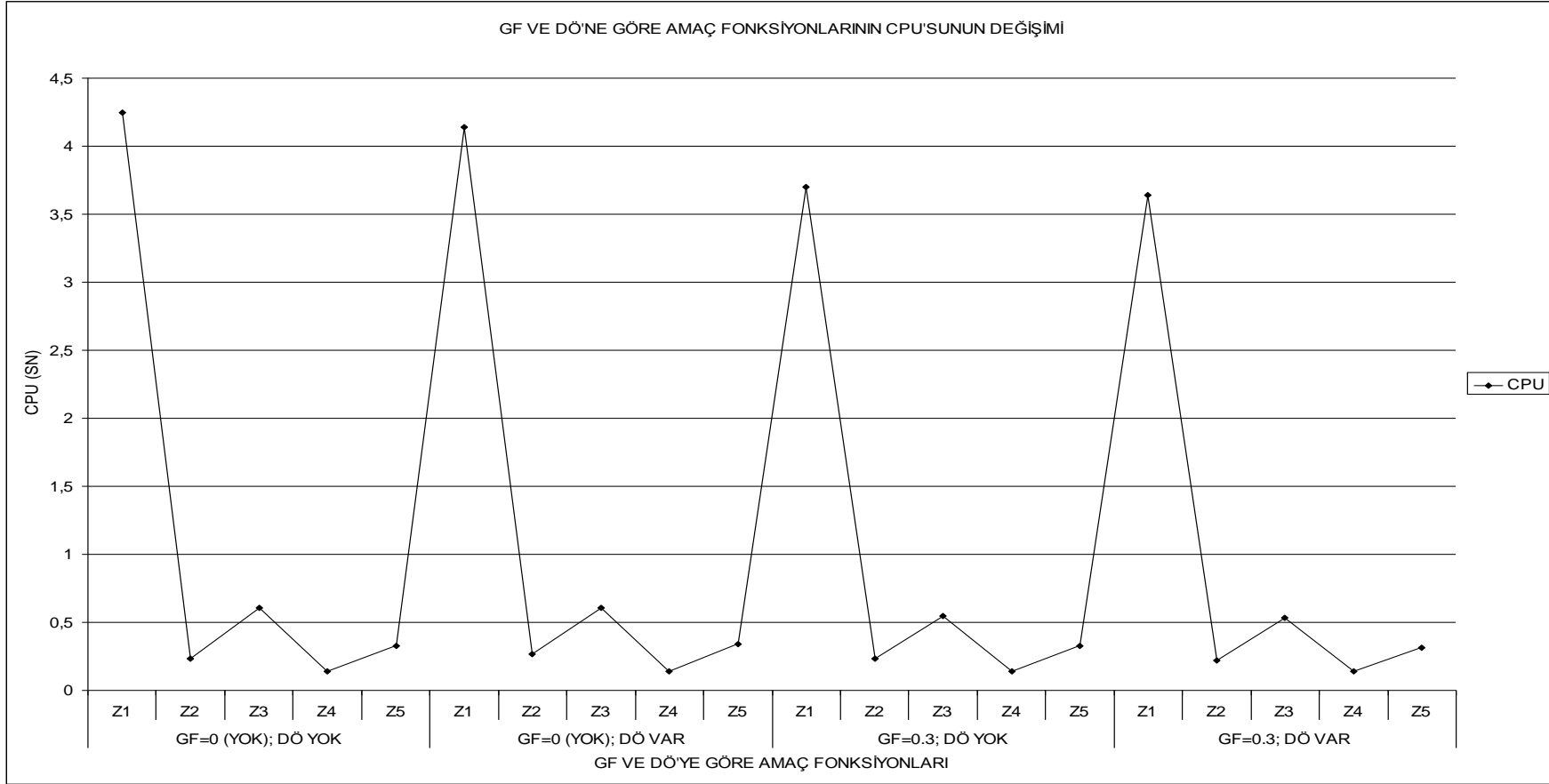
Şekil 7.20. Problem boyutuna göre amaç fonksiyonları İS'larının değişimi

Şekil 7.20.'de Problem boyutuna göre amaç fonksiyonları İS'larının değişimi incelendiğinde, problem boyutu arttıkça, kendi değerlerine göre artış gözlenmiş, bu artışın en büyük problem boyutunda (TOM Modelinde), Z1, Z2 ve Z3 için kendi değerlerine göre en fazla olduğu dikkat çekmiştir.



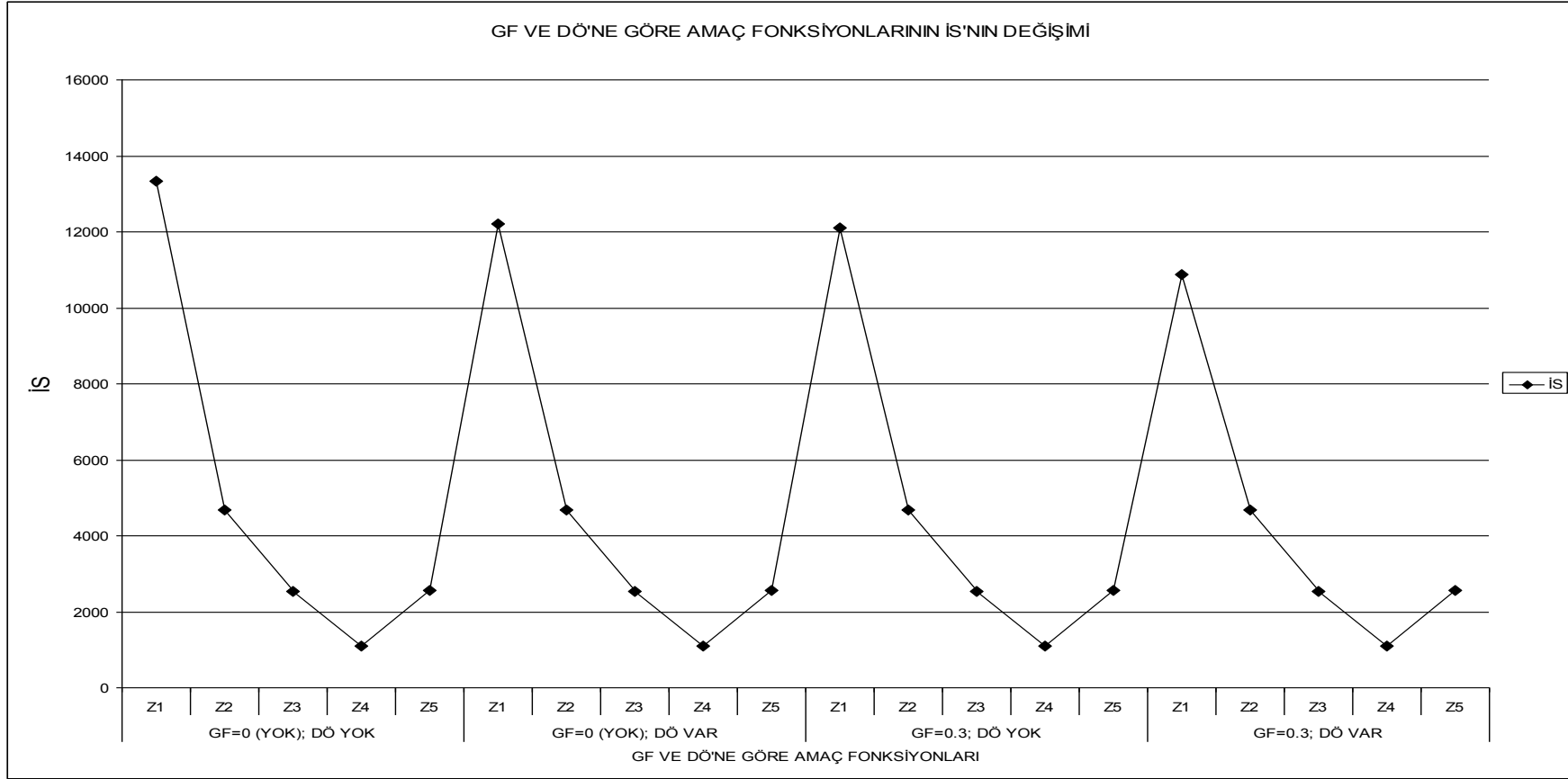
Şekil 7.21. GF ve DÖ'ne göre amaç fonksiyonları değerlerinin değişimi

Şekil 7.21.'de, GF ve DÖ'ne göre amaç fonksiyonları değerlerinin değişimi incelendiğinde, GF ve DÖ'ne göre amaç fonksiyonları değerlerinin, kendi değerine göre, önemli bir değişim göstermediği görülmüştür.



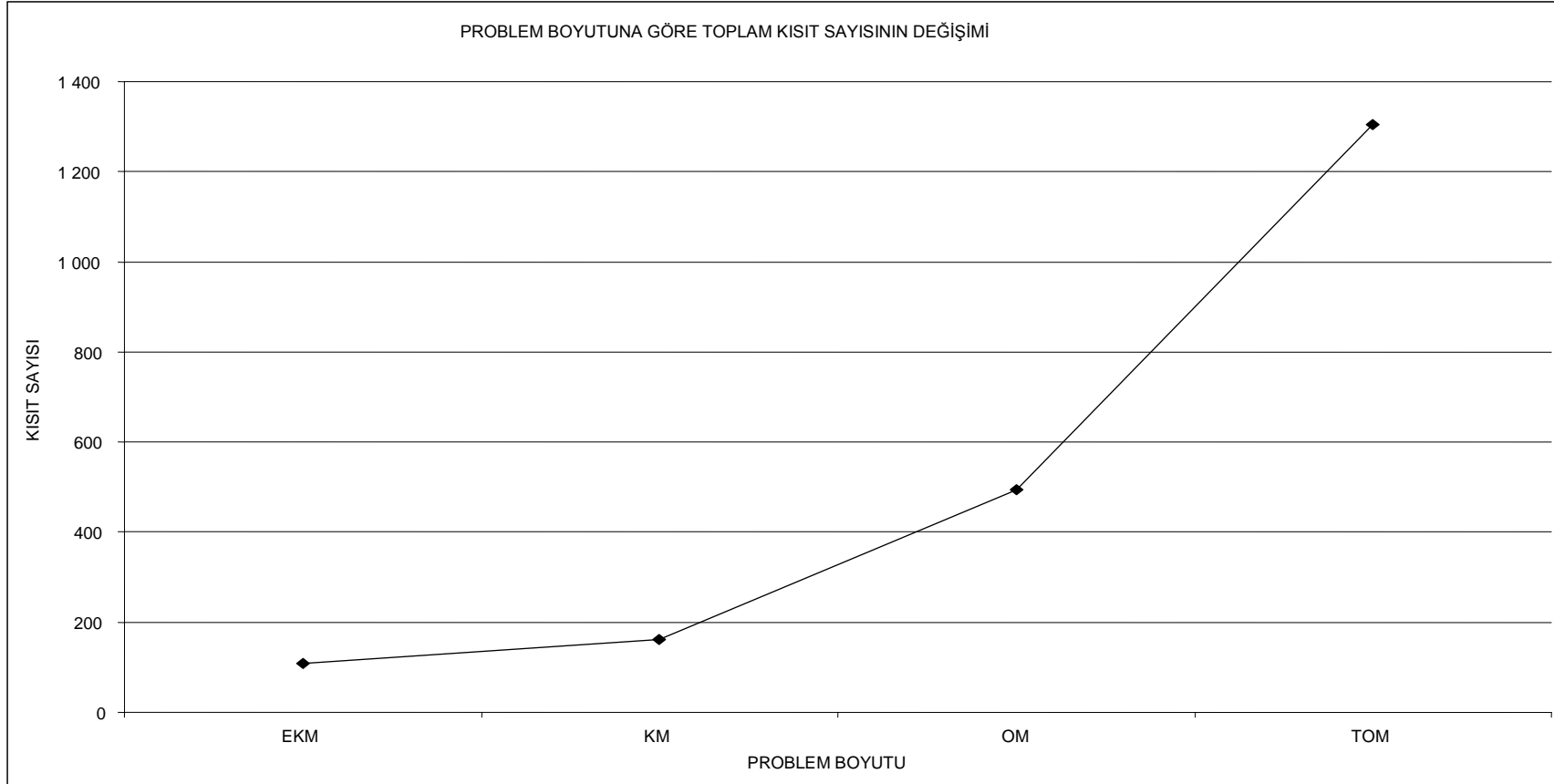
Şekil 7.22. GF ve DÖ'ne göre amaç fonksiyonlarının CPU'sunun değişimi

Şekil 7.22.'de, GF ve DÖ'ne göre amaç fonksiyonlarının CPU'sunun değişimi incelendiğinde, GF ve DÖ'ne göre Z1'in CPU'sunun kendi değerine göre bir azalma kaydettiği görülmüştür.



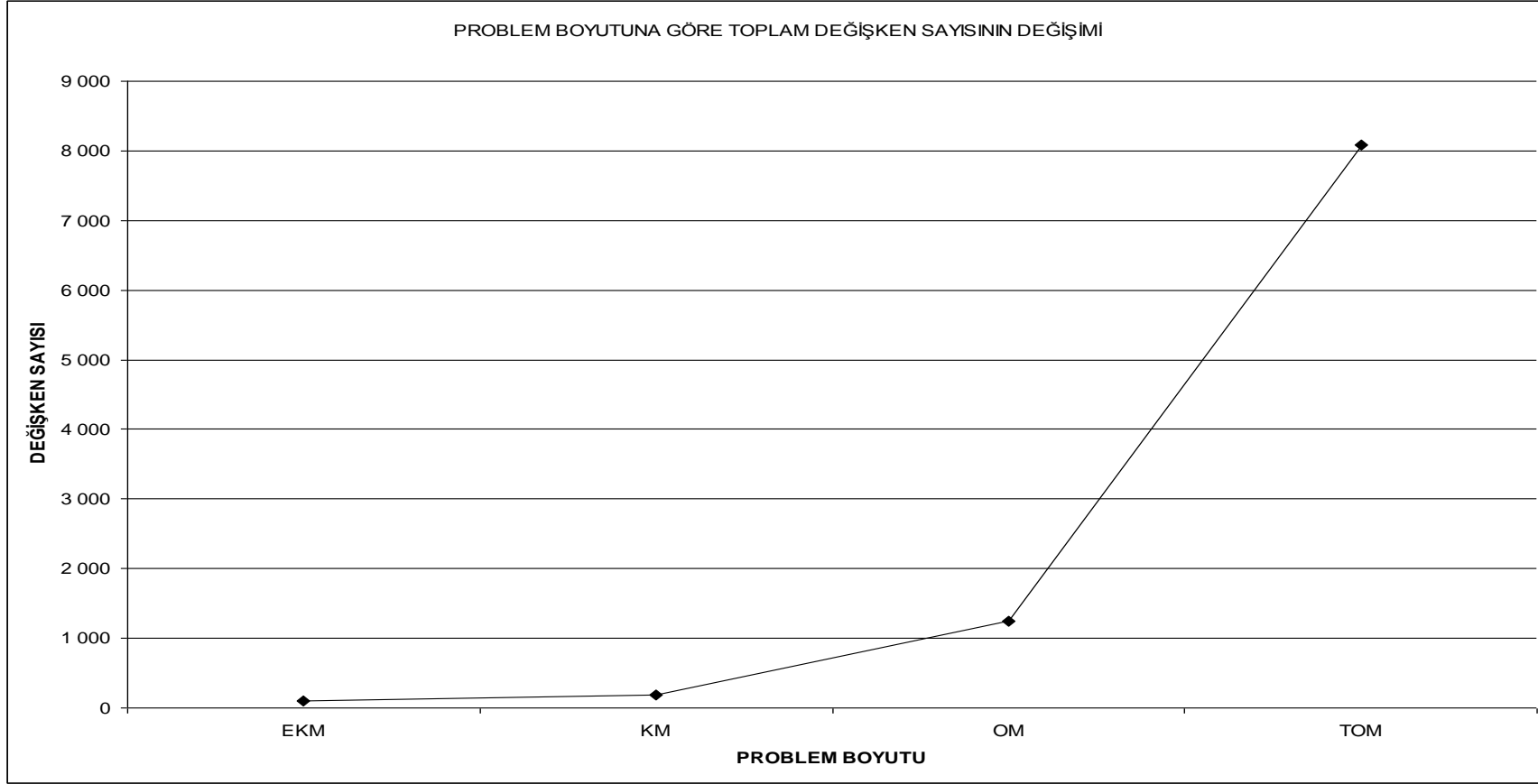
Şekil 7.23. GF ve DÖ'ne göre amaç fonksiyonlarının İS'lerinin değişimi

Şekil 7.23.'de, GF ve DÖ'ne göre amaç fonksiyonlarının İS'lerinin değişimi incelendiğinde, GF ve DÖ'ne göre Z1'in İS'nin kendi değerine göre bir azalma kaydettiği görülmüştür.



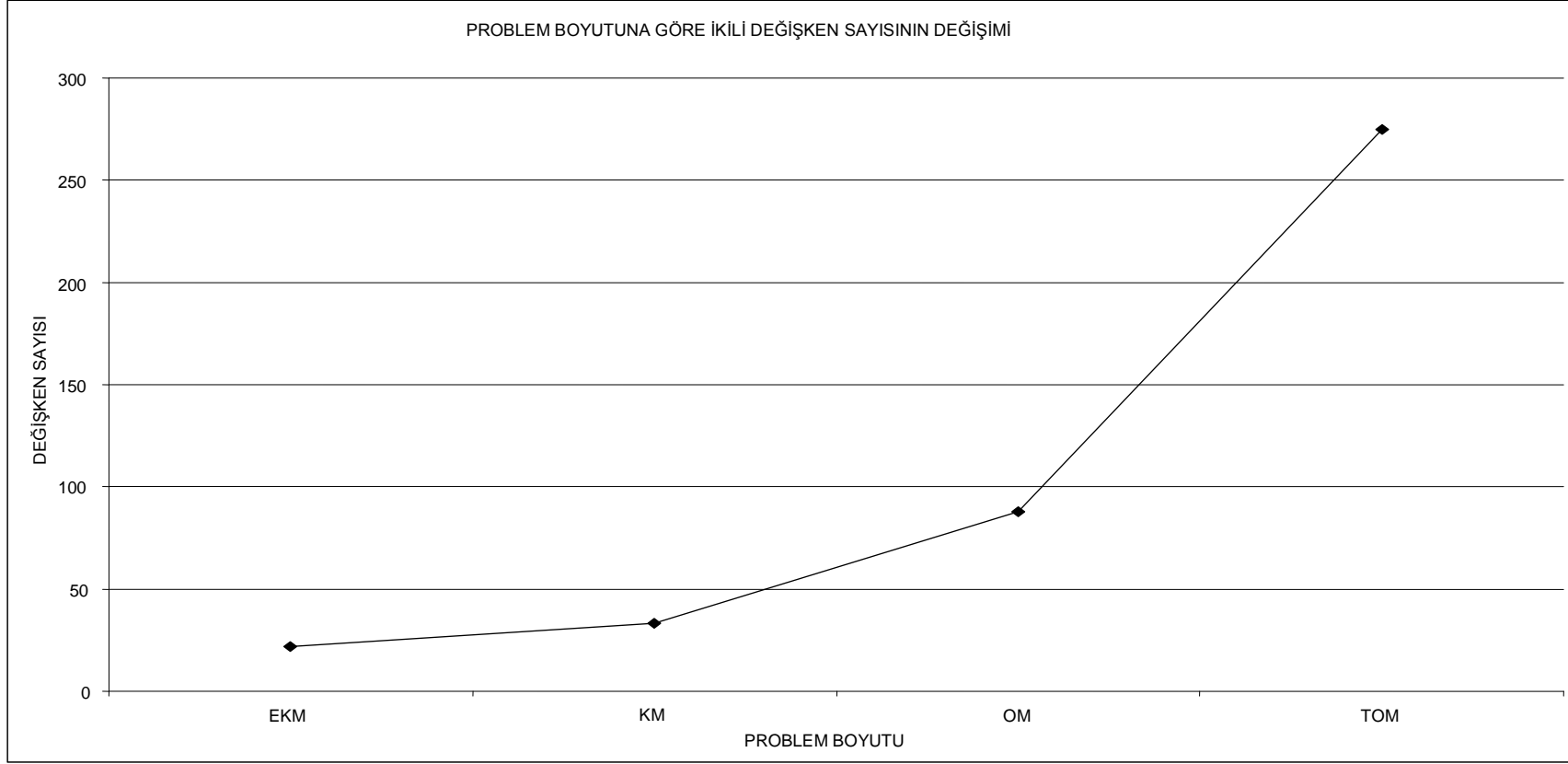
Şekil 7.24. Problem boyutuna göre toplam kısıt sayısının değişimi

Şekil 7.24.'de, problem boyutuna göre toplam kısıt sayısının değişimi incelendiğinde, problem boyutu arttıkça, toplam kısıt sayısının arttığı, doğal olarak, görülmüştür.



Şekil 7.25. Problem boyutuna göre toplam değişken sayısının değişimi

Şekil 7.25. 'de, problem boyutuna göre toplam değişken sayısının değişimi incelendiğinde, problem boyutu arttıkça, toplam değişken sayısının arttığı, doğal olarak, görülmüştür.



Şekil 7.26. Problem boyutuna toplam ikili değişken sayısının değişimi

Şekil 7.26.'da, problem boyutuna toplam ikili değişken sayısının değişimi incelendiğinde, problem boyutu arttıkça, toplam ikili değişken sayısının arttığı, doğal olarak, görülmüştür.

7.2. İstatistiksel Analizler

Kurulan 5 amaçlı model, 120 farklı öncelik yapısı (öncelik sırası) ile oluşturulan her bir sıra (1 sırada 5 çözüm var) için Öncelikli Amaç Programlama yaklaşımıyla amaçların optimizasyonu için çözülmüş, bulunan amaç fonksiyonu değerleri, üzerinde çalışılan öncelik sırasının toplam iterasyon sayısı ve toplam CPU zamanı arasındaki ilişkiler ve bu ilişkiye uygun eğriler, regresyon modelleri 0,05 anlamlılık düzeyinde SPSS 17.0 for Windows'da belirlenmiş yapılan testlerin bir bölümü için çözüm raporları kısmi olarak E-6'da verilmiştir.

SPSS 17.0 for Windows'da, 0,05 anlamlılık düzeyinde, geri dönüş miktarı ve ürünün kg satın alma fiyatlarına göre; amaç fonksiyonları değerlerinin, farklı amaç fonksiyonları için toplama ve işleme tesislerinden açılacak toplam tesis sayısı ve bu tesislerin toplam kapasitelerinin değişip değişmediğini araştırmak için, 32 bağımsız bağımsız çözüm ile iki yönlü MANOVA; farklı öncelik sıraları ile, amaçların değerleri, toplam İS ve CPU arasındaki ilişkiler için regresyon; farklı problem boyutları ile; amaçların değerleri, İS, CPU, modelin toplam kısıt sayısı, toplam değişken sayısı ve ikili değişken sayısı arasındaki ilişkiler regresyon analizleri ile elde edilmiştir.

Bunun yanında, farklı indis kümeleriyle tanımlanan farklı problem boyutlarına (4 farklı problem boyutu) göre; amaç değerleri, her bir amaç fonksiyonu için CPU ve İS'ları, toplam kısıt, değişken ve ikili değişken sayısı arasındaki ilişkiler ve bu ilişkiye uygun eğriler, regresyon modelleri, 0,05 anlamlılık düzeyinde belirlenmiştir.

Özetle, SPSS 17.0 for Windows'da, 0,05 anlamlılık düzeyinde, geri dönen ürün sayısı ve ürünün kg satın alma fiyatlarına göre; bütün amaç fonksiyonu değerlerinin ve toplama ve işleme tesislerinden açılacak toplam tesis sayısı ve açılacak toplam kapasitelerin değişip değişmediğini araştırmak için, 32 bağımsız çözüm ile, iki yönlü çok bağımlı değişkenli varyans analizi (MANOVA); farklı öncelik sıraları ile, amaç değerleri, toplam İS ve toplam CPU arasındaki ilişkiler için regresyon; farklı problem boyutları ile; amaç değerleri, İS, CPU, modelin toplam; kısıt, değişken ve

ikili değişken sayısı arasındaki ilişkiler için regresyon analizleri yapılmıştır. Bütün analizler tüm amaç fonksiyonları (Amaç 1,...,Amaç 5) dikkate alınarak yapılırken, sadece toplama ve işleme tesislerinden açılacak toplam tesis sayısı ve açılacak toplam kapasitelerin, geri dönen ürün sayısı ve ürünün kg satın alma fiyatlarına göre değişip değişmediğini araştırmak için Amaç 1 ve Amaç 3 dikkate alınmıştır.

Analizler için gerekli olan varsayımların sağlanmış olduğu kabul edilerek, regresyon ve deney tasarımı analizleri (iki faktörlü çok bağımlı değişkenli, yani iki yönlü manova) analizleri yapılmış ve aşağıda özetlenen sonuçlar bulunmuştur. Ayrıca, çoklu karşılaştırma için, yani her bir bağımlı değişken için bağımsız değişkenlerin hangi seviyeleri arasında bir fark olduğunu görmek (fark varsa testte * ile gösterilir) için Post Hoc Tests'den Tukey seçilmiş, her bir bağımlı değişken için bağımsız değişkenlerin hangi seviyelerinin aynı alt grupta toplanabileceği ve bunun anlamlılığı için Homogenous Subsets, her bir bağımlı değişken için bağımsız değişkenler arasındaki değişimi gösteren Profile Plots çizdirilmiş ve bunların bir örneği ek olarak verilmiş, ancak burada ayrıntılı analizleri yapılmamıştır. İki yönlü Manova'da ayrıca farklı test yöntemlerine göre, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri etkileyip etkilemediği, yani, bağımlı değişkenlerin bağımsız değişkenlere göre değişip değişmediğini gösteren Multivariate Tests de verilmiştir. Geri dönen ürün sayısı büyüklüğü (Rmk) ile hurda kg satın alma fiyatı büyüklük seviyelerinin (Prc) yapılan bağımsız iki faktörlü deney tasarımında; geri dönen ürün sayısı büyüklüğünün, Z1, Z2, Z4, Z5, Amaç 1 için açılan toplama tesisleri toplam sayısı (Z1TTS), Amaç 1 için açılan toplama tesisleri toplam hacim seviyesi (Z1TTHS) ve Amaç 1 için işleme tesisleri toplam kapasite seviyeleri (Z1İTKS)'ni etkilediği (Z1TTHS) ve (Z1İTKS)'in geri dönen ürün sayısına göre değiştiği) görölmüşken, hurda kg satın alma fiyatı büyüklük seviyelerinin'nin sadece Z1'i etkilediği, geri dönen ürün sayısı büyüklüğü ve hurda kg satın alma fiyatı büyüklüğü etkileşiminin ise, dikkate alınan hiçbir şeyi etkilemediği 0,05 anlam seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Sıra no ile; CPU, İS, Z1, Z2, Z3, Z4, Z5 arasında bir ilişki olduğu yapılan regresyon analizi, analizin anlamlılığı için tek yönlü tek bağımlı değişkenli varyans analizi

(ANOVA) ve eğri uydurma ve tahmini sonuçlarına bakılarak, 0,05 anlam seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Son olarak; problem boyutu ile; bütün amaçlar için, iterasyon sayıları, ikili değişken sayısı, toplam değişken sayısı ve toplam kısıt sayısı arasında, bir ilişki olduğu yapılan regresyon analizi, analizin anlamlılığı için varyans analizi (ANOVA) ve eğri uydurma ve tahmini sonuçlarına bakılarak, 0,05 anlam seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Yine, Problem boyutu büyüklüğü ile; Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, CPUZ1, CPUZ2, CPUZ3, CPUZ4, CPUZ5 arasında da ilişki olduğu bulunmuştur. Bu ilişki; Z1 için anlamlı, Z2, Z3 ve Z4 için anlamsız, Z5 için hesaplanamamış, CPUZ1, CPUZ4 ve CPUZ5 için hesaplanamamış, CPUZ2 için anlamlı, CPUZ3 için anlamsız bulunmuştur. Regresyon modeli için kullanılan ilişki tipleri, çoklu korelasyon katsayısı R ve belirlilik katsayısı R^2 (bağımsız değişkendeki değişkenliğin bağımlı değişkenkendeki değişimi açıklama oranı), modelin anlamlılığı için ANOVA ve modelin katsayılarının (constant, model sabiti; B, bağımsız değişkenin katsayısı) anlamlılığı için t değerlerini veren Coefficient Tabloları ek olarak sunulmuş bunların ayrıntılı analizi yapılmamıştır.

7.3. Deterministik Ortamda Önceliği Koruma Yöntemiyle Amaçların Optimize Edilmesi ve Amaçlara Ulaşmak için Çözüm Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

Deterministik ortamda, Önceliği Koruma Yöntemiyle, amaçların optimize edilmesi ve karar vericinin tercihi ile belirlenmiş amaçlara ulaşmak için çözümler yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Ağırlığı büyük olan amaç her zaman daha yüksek öncelikli olacaktır, tersi de doğrudur, bir amaç yüksek öncelikli olarak belirlenmişse, ağırlığı da, bu amaçtan sonraki sırada gelen amaçların ağırlığından büyük olacaktır. Bu gerekçeyle, deterministik ortamdaki amaç programlamada ağırlık yerine öncelik yapıları kullanılmıştır. Düşük öncelikli amaçlar için çözüm yapılırken, yüksek öncelikli amaçların kötüleştirilmemesi garanti edilir, ancak iyileştirilmez. Önceliği koruma yönteminde, yüksek öncelikli amaçların öncelikli olarak optimize edilmesinden dolayı, düşük öncelikli amaçların çözüm sonuçları kötü çıkabileceği gibi, çözümsüz de çıkabilir.

Gerek deterministik gerekse bulanık ortamda çok amaçlı karar vermede, her bir amacın ayrı olarak bulunan bireysel ideal çözümleri ile bu çözüm değerlerinin diğer amaç fonksiyonlarında yerine konmasıyla bulunan amaç değerlerinin bilinmesine ihtiyaç duyulur. ÇAKV’de, bu bahsedilen değerler ve gösterim biçimi, ödemeler tablosu denilen bir tablo üzerinde Çizelge 7.38. ve Çizelge 7.39.’da verildiği gibi sunulur. Ödemeler tablosu, arasında, baskın çözümlerin olup olmadığının, amaçların çelişip çelişmediğinin araştırılmasında (ÇAKV’de amaçlar çoğu zaman çelişen yapıdadır) ve amaçlar ve/ veya kaynaklar için sınır değerleri belirlemede çok yararlıdır.

Çizelge 7.38. TOM modeli için bireysel ideal (optimum) çözümlerin ödemeler tablosu

f	f1	f2	f3	f4	f5	(X,* Y*)
min f1	-2408061.2488	1.7624E+8	1.4713E+8	1.1438E+8	1.7308E+8	(x^1, y^1)
max f2	1.6571E+7	20451568.2000	1.8967E+7	1.6386E+7	2.0452E+7	(x^2, y^2)
min f3	2.3071E+6	1.3693E+8	0.0000	1.3668E+8	1.2761E+8	(x^3, y^3)
min f4	1.4781E+6	5.7820E+6	1.7669E+6	1469121.2356	1.8621E+6	(x^4, y^4)
max f5	1.5093E+7	1.4670E+7	1.7200E+7	1.4917E+7	18589454.4884	(x^5, y^5)

Çizelge 7.39. TOM normal modeli için bireysel ideal (optimum) çözümlerin genel gösterim ile birlikte ödemeler tablosu

f1*=f1 (x^1, y^1)= -2408061.2488	...	f5 (x^1, y^1)= 1.7308E+8
.
.
.
f1 (x^5, y^5)= 1.5093E+7	...	f5*= f (x^5, y^5)= 18589454.4884

Çizelge 7.38. ve Çizelge 7.39.’da görüldüğü gibi; hiçbir çözümün değeri hiçbir yerde bütün fonksiyonlar için daha iyi sonuç vermemektedir, dolayısıyla, baskın bir çözüm yoktur. Ayrıca amaçlar çelişen yapıdadır; bir amaç için en iyi olan çözüm bir başka amaç için o amacın optimumundan çok uzak çıkmış, yani o amaç için kötü bir çözüm olmuştur.

Çizelge 7.38. ve Çizelge 7.39.’da diyagonal (gri renkli)) hücrelerdeki değerler, buldukları sütundaki fonksiyonların bireysel optimumlarıdır.

7.3.1. Deterministik ortamda önceliği koruma yöntemiyle amaçların optimize edilmesi için çözüm

120 farklı sırada 600 model çözümü, hep önceliği koruma yöntemiyle amaçların optimize edilmesi için yapılmıştı. Çünkü, amaçların optimize edilmesi için çözüm, amaçlara ulaşmak için yapılan çözümden, çok daha iyidir. Bu nedenle, küçük olmasının avantajını kullanarak, TOM yerine MMM modeli alınarak, her iki yaklaşımla da çözülmüş ve sonuçlar karar vericiye sunulmuştur. Burada, MMM modelinde, sadece ilk 3 amaç alınmış, 123 amaç sırası için çözüm yapılmıştır. Bu nedenle, önce Amaç 1 optimize edilmekte, daha sonra, bulunan değer in kötüleşmemesini garanti etmek için, Amaç 2 optimize edilmeye çalışılırken Amaç 1'in, Amaç 3 optimize edilirken, hem Amaç 1 hem de Amaç 2'nin bulunan değeri ek kısıt olarak konulmaktadır.

Önceliği koruma yöntemiyle amaçların optimize edilmesi için MMM modeliyle 123 amaç sırası için yapılan çözüm sonuçları kademeli olarak aşağıda verilmiştir:

Amaç 1'in optimum değeri

Z1 : 1072367.0712

Amaç 1'i kötüleştirmeden Amaç 2'nin bulunan değeri

Z1_Z2: 106211.4600

Hem Amaç 1 hem de Amaç 2'nin bulunan değerlerini kötüleştirmeden Amaç 3'ün bulunan değeri

Z1Z2_Z3: 5498799.2498'dir.

MMM Modelinde, ilk 3 amaç alınarak, 123 öncelik yapısıyla, Önceliği Koruma Yöntemiyle amaçları optimize etmek için çözümde, sadece son sıradaki Amaç 3 optimize edilmek istenirken Amaç 1 ve Amaç 2'nin bulunan değerlerinin nasıl kısıt olarak konduğunu göstermek amacıyla matematiksel gösterimi aşağıda verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z3 \quad \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \quad (7.1)$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * [(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc}] \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} [X_{mj}^{dis} * (C_m^d + C_m^{dem}) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m)] \\ & \leq 1072367.0712 \end{aligned} \quad (7.2)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 \geq 106211.4600 \quad (7.3)$$

- Eş. (5.6),..., (5.19) kısıtlarının hepsi (14 kısıt)

Aşağıda, Çizelge 7.40.'de, önceliği koruma yöntemiyle amaçların optimize edilmesi için MMM modeliyle ilk 3 amaç için bulunan ideal çözümlerin ödemeler tablosu verilmiştir. Diyagonal (gri renkli) hücrelerdeki değerler, buldukları sütundaki fonksiyonların bireysel optimumlarıdır.

Çizelge 7.40. Önceliği koruma yöntemiyle amaçların optimize edilmesi için MMM modeliyle ilk 3 amaç için bulunan ideal çözümlerin ödemeler tablosu

Z	(x ¹ , y ¹)	(x ² , y ²)	(x ³ , y ³)
MIN Z1	1.0724E+6	7.5938E+6	1.5095E+6
MAX Z2	1.0621E+5	1.0621E+5	1.0621E+5
MIN Z3	5.4988E+6	1.6731E+7	5.4988E+6

7.3.2. Deterministik ortamda önceliği koruma yöntemiyle amaçlara ulaşmak için çözüm

Önceliği koruma yöntemiyle amaçlara ulaşmak için çözümde, değerleri belli olmayan amaçları optimize etmek yerine, belirli amaçları tam gerçekleştirmeyi istemek söz konusudur.

Önceliği koruma yöntemiyle amaçlara ulaşmak için çözümde, Z1 için, en fazla 2000000; Z2 için en az 75000; Z3 için en fazla 6500000 amaçları tanımlanmıştır. Tanımlanan bu belirli hedef değerleri, ideal çözümler ve ideal çözüm değerlerinin diğer fonksiyonlarda yerine konulmasıyla bulunan değerler dikkate alınarak belirlenmiştir.

MMM Modelinde, ilk 3 amaç alınarak, 123 öncelik yapısıyla Amaçlara ulaşmak için çözümde, Amaç 1 için sapmanın minimizasyonunun matematiksel gösterimi aşağıda verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min Z1 } d_1^+ \quad (7.4)$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * [(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc}] \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} [X_{mj}^{dis} * (C_m^d + C_m^{dem}) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m)] \\ & + d_1^- - d_1^+ = 2000000 \end{aligned} \quad (7.5)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 + d_2^- - d_2^+ = 75000 \quad (7.6)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} + d_3^- - d_3^+ = 6500000 \quad (7.7)$$

- Eş. (5.6),..., (5.19) kısıtlarının hepsi (14 kısıt)
- $d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+, d_3^-, d_3^+ \geq 0$ kısıtları

Amaçlara ulaşmak için çözümde, Amaç 1 için bulunan sapma değerini kötüleştirmeden bir sonraki sıradaki Amaç 2 için sapmanın minimizasyonunun matematiksel gösterimi aşağıda verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z2 \quad d_2^- \quad (7.8)$$

Kısıtlar

- Eş. (6.5), (6.6) ve (6.7) kısıtlarının hepsi (3 kısıt)
- Eş. (5.6),..., (5.19) kısıtlarının hepsi (14 kısıt)
- $d_1^+ = 0$ (Amaç 2 için sapma minimizasyonu bulunurken, Amaç 1 için bulunan sapma değerinin kötüleştirilmemesini garanti eder)
- $d_2^-, d_2^+, d_3^-, d_3^+ \geq 0$ kısıtları

Amaçlara ulaşmak için çözümde, Amaç 1 ve Amaç 2 için bulunan sapma değerlerini kötüleştirmeden bir sonraki (son) sıradaki Amaç 3 için sapmanın minimizasyonunun matematiksel gösterimi aşağıda verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z3 \quad d_3^+ \quad (7.9)$$

Kısıtlar

- Eş. (6.5), (6.6) ve (6.7) kısıtlarının hepsi (3 kısıt)

- Eş. (5.6),..., (5.19) kısıtlarının hepsi (14 kısıt)
- $d_1^+ = 0$ (Amaç 3 için sapma minimizasyonu bulunurken, Amaç 1 için bulunan sapma değerinin kötüleştirilmemesini garanti eder)
- $d_2^- = 0$ (Amaç 3 için sapma minimizasyonu bulunurken, Amaç 2 için bulunan sapma değerinin kötüleştirilmemesini garanti eder)
- $d_3^-, d_3^+ \geq 0$ kısıtları

Önceliği koruma yöntemiyle amaçlara ulaşmak için yapılan çözümün sonuçları özet olarak Çizelge 7.41.'de verilmiştir. Çizelge 7.41.'den görüleceği gibi, Amaç 1 hiç sapmamış (tam gerçekleşmiş), Amaç 2 pozitif yönde 20590.314 (sap2poz=20590.314) saparak 95590.314 değerini almış, Amaç 3 de, negatif yönde 962417.812 (sap3neg=962417.812) saparak 5537582.188 değerini almıştır. Önce Amaç 1 için sapma minimize edilmiş, çıkan sapma değeri, Amaç 2 için sapma minimize edilirken ek kısıt olarak konmuş, en son olarak da, Amaç 3 için sapma minimize edilirken; hem Amaç 1'in minimize edilmek istenen ve bulunan sapma değeri, hem de Amaç 2'nin minimize edilmek istenen ve bulunan sapma değeri ek kısıtlar olarak konulmuştur.

Çizelge 7.41. Önceliği koruma yöntemiyle amaçlara ulaşmak için çözüm

AMAÇ1	---- 354 VARIABLE a1.L	= 2000000.000
AMAÇ2	VARIABLE a2.L	= 95590.314
AMAÇ3	VARIABLE a3.L	= 5537582.188
SAPMA1	VARIABLE d11.L	= 0.000 sap1neg
SAPMA1	VARIABLE d12.L	= 0.000 sap1poz
SAPMA2	VARIABLE d21.L	= 0.000 sap2neg
SAPMA2	VARIABLE d22.L	= 20590.314 sap2poz
SAPMA3	VARIABLE d31.L	= 962417.812 sap3neg
SAPMA3	VARIABLE d32.L	= 0.000 sap3poz

d11 (sap1neg): Amaç 1 için negatif sapma (d_1^-)

d12 (sap1poz): Amaç 1 için pozitif sapma (d_1^+)

d21 (sap2neg): Amaç 2 için negatif sapma (d_2^-)

d22 (sap2poz): Amaç 2 için pozitif sapma (d_2^+)

d31 (sap3neg): Amaç 3 için negatif sapma(d_3^-)

d32 (sap3poz): Amaç 3 için pozitif sapma(d_3^+)

a1: Amaç 1 için gerçekleşen değer

a2: Amaç 2 için gerçekleşen değer

a3: Amaç 3 için gerçekleşen değeri ifade etmektedir.

VARIABLE değişken ismi.L: “değişken” isimli bilinmeyenin primal değerini göstermektedir.

Sonuç olarak, amaç programlamada bulunan çözümlerin kalitesi (amaçların yönüne göre iyi-kötü olması), hem öncelik yapısıyla hem de amaçlar için belirlenen alt/üst sınır değerleriyle (sadece amaçlara ulaşmak için çözümde) çok yakından ilgilidir. Amaç programlama ile (hem amaçların optimizasyonu hem de amaçlara ulaşmak için çözümde) esas yapılmaya çalışılan, bütün amaçları belirli seviyede gerçekleştirecek etkin bir çözüm bulmaktır [Taha, 2000].

7.4. Bulanık Ortamda Çok Amaçlı Karar Verme Yaklaşımları ile Çözümler

Karar vermede, karar verici amaçlara ağırlık veremeyebilir veya öncelik yapısı belirleyemiyor veya belirlemek istemiyor (hedeflere eşzamanlı ulaşmak istiyor) olabilir. Bu durumda önceliksiz çözümler aramak gerekir. Gerçek dünyada karar verici, amaçlar ve kaynakların değerini (büyüklüğünü) belirleyemeyebilir. Bu gibi durumlar için bulanık ortamda karar verme yaklaşımları kullanmak karar vericiye yardımcı olacağından, bu yaklaşımlar da kullanılarak çözümler yapılmış, sonuçlar sunularak karar verme karar vericinin tercihine bırakılmıştır.

7.4.1. Zimmermann’ın bulanık doğrusal programlama yaklaşımı ile çözüm

Amaçların eşzamanlı olarak maksimum tatmin düzeyini sağlamak amacıyla (öncelik yok ve sağ taraf sabitleri $-Rmk$ ’nın olduğu kısıt blokları yani Eş. 5.6 ve Eş. 5.7’deki

sağ taraf sabitleri- ile amaçların (sadece 2 amaç, Z1 ve Z3 alınmış) bulanık olduğu varsayılmıştır.

Zimmermann'ın [Zimmermann, 1978], Zadeh'in Max-Min yaklaşımını esas alan Bulanık Doğrusal Programlama yaklaşımı, MMM modeli için kullanılmıştır. Bulanık Z1 ve Z3 (monoton doğrusal azalan üyelik fonksiyonlarıyla; Z1 için alt ve üst sınırlar sırayla; 1072400 ve 7593800; Z3 için 5498800 ve 16731000) ile maksimum toplama kısıt blokunda (\leq kısıtı) Rmk'nın ve Min toplama kısıt blokunda (\geq kısıtı) yine Rmk'nın, diğer ifadeyle, Eş. 5.6 ve Eş. 5.7'deki sağ taraf sabitlerinin bulanık olduğu varsayılmıştır.

Max Rmk (Eş. 5.6 sağ taraf sabitleri) için üyelik fonksiyonu, monoton doğrusal azalan üyelik fonksiyonu olarak alınmış ve sınır değerleri,

m k Rmk

1.1=25

1.2=8934

2.1=1122

2.2=72003 olmak üzere,

Min Rmk (Eş. 5.7 sağ taraf sabitleri) için monoton doğrusal artan üyelik fonksiyonu olarak alınmış ve sınır değerleri,

m k Rmk

1.1=17

1.2=6322

2.1=731

2.2=64649 olmak üzere, çözüm yapılmıştır.

Amaçların eşzamanlı olarak maksimum tatmin düzeyini sağlamak amacıyla bulanık amaçlar (MMM Modelindeki Z1 ve Z3 olmak üzere iki amaç) ve bulanık kısıtlar (Eş. 5.6 (4 kısıt) ile Eş.5.7'deki (4 kısıt)) ile kurulan matematiksel modelin gösterimi aşağıda verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Max } Z \quad \theta \quad (7.10)$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} & 7593800 - \left\{ \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \right. \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * \left[(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc} \right] \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\ & \left. + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \left[X_{mj}^{dis} * (C_m^d + C_m^{dem}) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m) \right] \right\} \\ & / (7593800 - 1072400) \geq \theta \quad (7.11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 16731000 - \left[\sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \right] \\ & / (16731000 - 5498800) \geq \theta \quad (7.12) \end{aligned}$$

$$X_{111} + X_{112} + X_{113} \leq w_1 * [17 + 8 * (1 - \theta)] \quad (7.13)$$

$$X_{121} + X_{122} + X_{123} \leq w_1 * [6322 + 2612 * (1 - \theta)] \quad (7.14)$$

$$X_{211} + X_{212} + X_{213} \leq w_2 * [731 + 391 * (1 - \theta)] \quad (7.15)$$

$$X_{221} + X_{222} + X_{223} \leq w_2 * [64649 + 7354 * (1 - \theta)] \quad (7.16)$$

$$X_{111} + X_{112} + X_{113} \geq w_1 * e_1 * [25 - 8 * (1 - \theta)] \quad (7.17)$$

$$X_{121} + X_{122} + X_{123} \geq w_1 * e_1 * [8934 - 2612 * (1 - \theta)] \quad (7.18)$$

$$X_{211} + X_{212} + X_{213} \geq w_2 * e_2 * [1122 - 391 * (1 - \theta)] \quad (7.19)$$

$$X_{221} + X_{222} + X_{223} \geq w_2 * e_2 * [72003 - 7354 * (1 - \theta)] \quad (7.20)$$

- Eş. (5.8), ..., (5.19) kısıtlarının hepsi (12 kısıt)
- $\theta \geq 0$
- $\theta \leq 1$

- X111, X112, X113, X121, X122, X123, X211, X212, X213, X221, X222, X223 ≥ 0

Zimmermann'ın Bulanık Doğrusal Programlama yaklaşımı ile bulunan çözüm değerleri aşağıda Çizelge 7.42'de özetlenmiştir.

Çizelge 7.42. Zimmermann'ın bulanık doğrusal programlama yaklaşımı ile çözüm

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	0.625	+INF	.
---- VAR tetha	.	0.625	1.000	.
---- VAR z1real	-INF	1.8969E+6	+INF	.
---- VAR z3real	-INF	5.5119E+6	+INF	.
---- VAR x111	.	.	+INF	EPS
---- VAR x112	.	.	+INF	EPS
---- VAR x113	.	243.428	+INF	.
---- VAR x121	.	.	+INF	EPS
---- VAR x122	.	.	+INF	EPS
---- VAR x123	.	88868.348	+INF	.
---- VAR x211	.	.	+INF	EPS
---- VAR x212	.	.	+INF	EPS
---- VAR x213	.	122.883	+INF	.
---- VAR x221	.	.	+INF	EPS
---- VAR x222	.	.	+INF	EPS
---- VAR x223	.	9437.239	+INF	.
z tetha max				
Tetha genel tatmin düzeyi				

Çizelge 7.42.'den görüleceği gibi, bütün amaçların genel tatmin düzeyi 0,625 yani % 62,5 olup, Amaç 1 ve Amaç 3 sırayla, 1.8969e+6 ve 5.5119e+6 olarak gerçekleşmiştir (e+6, 10^6 anlamına gelmektedir).

7.4.2. Hannan'ın bulanık amaç programlama yaklaşımı ile çözüm

Amaçların eşzamanlı olarak maksimum tatmin düzeyini sağlamak amacıyla (öncelik yok) MMM modeli için [Hannan, 1981a] yaklaşımı kullanılmıştır. Bulanık Z1 ve Z3 (doğrusal simetrik üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla; Z1 için sol, sağ ve orta değerler, sırayla; (11000000, 4300000, 7500000); Z3 için (5600000, 11050000, 16500000) olarak alınmış ve bulanık olduğu varsayılmıştır.

Amaçların eşzamanlı olarak maksimum tatmin düzeyini sağlamak amacıyla bulanık amaçlar (MMM Modelindeki Z1 ve Z3 olmak üzere iki amaç) ile kurulan matematiksel modelin gösterimi aşağıda verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Max } Z \quad \theta \quad (7.21)$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * \left[(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc} \right] \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \left[X_{mj}^{dis} * (C_m^d + C_m^{dem}) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m) \right] \\ & + 3200000 * (\delta_1^- - \delta_1^+) = 4300000 \end{aligned} \quad (7.22)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \\ & + 5450000 * (\delta_3^- - \delta_3^+) = 11050000 \end{aligned} \quad (7.23)$$

$$\theta + \delta_1^- + \delta_1^+ \leq 1 \quad (7.24)$$

$$\theta + \delta_3^- + \delta_3^+ \leq 1 \quad (7.25)$$

- $\theta \geq 0$
- $\theta \leq 1$
- $\delta_1^-, \delta_1^+, \delta_3^-, \delta_3^+ \geq 0$
- Eş. (5.6),..., (5.19) kısıtlarının hepsi (14 kısıt)

Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı ile bulunan çözüm değerleri aşağıda Çizelge 7.43'de özetlenmiştir.

Çizelge 7.43. Hannan'ın bulanık amaç programlama yaklaşımı ile çözüm

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	0.989	+INF	.
---- VAR tetha	.	0.989	1.000	.
---- VAR z1real	-INF	4.2840E+6	+INF	.
---- VAR z3real	-INF	1.1108E+7	+INF	.
---- VAR d1eks	.	0.005	+INF	.
---- VAR d1art	.	.	+INF	EPS
---- VAR d3eks	.	.	+INF	-2.000
---- VAR d3art	.	0.011	+INF	.
z tetha max				
Tetha genel tatmin duzeyi				

Çizelge 7.43.'den görüleceği gibi, bütün amaçların genel tatmin düzeyi 0,989 yani % 98,9 olup, Amaç 1 ve Amaç 3 sırayla, 4.2840e+6 ve 1.1108e+7 olarak gerçekleşmiştir.

7.4.3. Yang ve arkadaşlarının bulanık amaç programlama yaklaşımı ile çözüm

Amaçların eşzamanlı olarak maksimum tatmin düzeyini sağlamak amacıyla (öncelik yok), MMM modeli için, Yang ve arkadaşlarının Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Bulanık Z1 ve Z3 (doğrusal simetrik üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla; Z1 için sol, sağ ve orta değerler, sırayla; (11000000, 4300000, 7500000); Z3 için (5600000, 11050000, 16500000) olarak alınmış ve bulanık olduğu varsayılmıştır. Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama yaklaşımında [Hannan, 1981a] kullanılan amaçlar, (Z1 ve Z3) ve bu amaçlar için tanımlanan bulanık değerler aynen alınarak bu yaklaşımla da çözüm yapılmıştır.

Amaçların eşzamanlı olarak maksimum tatmin düzeyini sağlamak amacıyla bulanık amaçlar (MMM Modelindeki Z1 ve Z3 olmak üzere iki amaç) ile kurulan matematiksel modelin gösterimi aşağıda verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Max } Z \quad \theta \quad (7.26)$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * \left[(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc} \right] \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \left[X_{mj}^{dis} * (C_m^d + C_m^{dem}) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m) \right] \\ & -1100000 / 3200000 \geq \theta \end{aligned} \quad (7.27)$$

$$\begin{aligned} & 7500000 - \left\{ \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \right. \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * \left[(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc} \right] \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\ & \left. + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \left[X_{mj}^{dis} * (C_m^d + C_m^{dem}) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m) \right] \right\} \\ & / 3200000 \geq \theta \end{aligned} \quad (7.28)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \\ & -5600000 / 5450000 \geq \theta \end{aligned} \quad (7.29)$$

$$16500000 - \left[\sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \right] / 5450000 \geq \theta \quad (7.30)$$

- $\theta \geq 0$
- $\theta \leq 1$
- Eş. (5.6),..., (5.19) kısıtlarının hepsi (14 kısıt)

Yang ve arkadaşlarının Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı ile bulunan çözüm değerleri aşağıda Çizelge 7.44.'de özetlenmiştir.

Çizelge 7.44. Yang ve arkadaşlarının bulanık amaç programlama yaklaşımı ile çözüm

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	0.989	+INF	.
---- VAR tetha	.	0.989	1.000	.
---- VAR z1real	-INF	4.2840E+6	+INF	.
---- VAR z3real	-INF	1.1108E+7	+INF	.
z tetha max				
Tetha genel tatmin duzeyi				

Çizelge 7.44.'den görüleceği gibi, bütün amaçların genel tatmin düzeyi 0,989, yani % 98,9 olup, Amaç 1 ve Amaç 3 sırayla, 4.2840e+6 ve 1.1108e+7, Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama yaklaşımında bulunan çözüm değerleri ile aynı, olarak gerçekleşmiştir.

7.4.4. Öncelikli bulanık amaç programlama temelinde Hannan yaklaşımı ile çözüm

Amaçların maksimum tatmin düzeyini sağlamak amacıyla MMM modeli için Öncelikli Bulanık Amaç Programlama ([Tiwari ve ark., 1986] temelinde [Hannan, 1981a]) yaklaşımı kullanılmıştır. Bulanık Z1 ve Z3 (doğrusal simetrik üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla; Z1 için sol, sağ ve orta değerler, sırayla; (11000000, 4300000, 7500000); Z3 için (5600000, 11050000, 16500000) olarak alınmış ve bulanık olduğu varsayılmıştır. Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama yaklaşımında [Hannan, 1981a] kullanılan amaçlar, (Z1 ve Z3), ve bu amaçlar için tanımlanan bulanık değerler aynen alınarak bu yaklaşımla da çözüm yapılmıştır.

Öncelikli Bulanık Amaç Programlama'da, ilk öncelikli amaç için tatmin düzeyi 1 olacak ve ilk amaç için tanımlanan bulanık üçgensel değerlerden orta olanı gerçekleşecektir, yani, ilk amaç için % 100 tatmin söz konusudur ve ilk amacın değeri orta değer olan 4300000'e eşittir. Amaç 3'ün tatmin düzeyini maksimize ederken, Amaç 1'in tatmin düzeyinin kötüleştirilmemesini garanti etmek için, Amaç 1'in değeri, Amaç 3 modeline ek kısıt olarak konulmaktadır.

Amaçların maksimum tatmin düzeyini sağlamak amacıyla, bulanık amaçlar (MMM Modelindeki Z1 ve Z3 olmak üzere iki amaç) ile Amaç 1'in tam tatmin edilmiş olması kısıtı altında Amaç 3'ün maksimum tatmin düzeyini sağlamak için öncelikli bulanık amaç programlama temelinde Hannan yaklaşımı kullanılarak kurulan matematiksel modelin gösterimi aşağıda verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Max } Z3 \quad \theta \quad (7.31)$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * \left[(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc} \right] \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \left[X_{mj}^{dis} * (C_m^d + C_m^{dem}) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m) \right] = 4300000 \quad (7.32) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \\ & + 5450000 * (\delta_3^- - \delta_3^+) = 11050000 \quad (7.33) \end{aligned}$$

$$\theta + \delta_3^- + \delta_3^+ \leq 1 \quad (7.34)$$

- $\theta \geq 0$
- $\theta \leq 1$
- $\delta_3^-, \delta_3^+ \geq 0$
- Eş. (5.6),..., (5.19) kısıtlarının hepsi (14 kısıt)

Aşağıda, Amaç 1 tatmininin tam gerçekleşmiş olması kısıtı altında, Amaç 3'ün tatmin düzeyinin maksimizasyonu için yapılan çözümün sonuçları *Çizelge 7.45.'de* verilmiştir.

Çizelge 7.45. Öncelikli bulanık amaç programlama temelinde Hannan yaklaşımı ile çözüm

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	0.989	+INF	.
---- VAR tetha	.	0.989	1.000	.
---- VAR z3real	-INF	1.1108E+7	+INF	.
---- VAR d3eks	.	.	+INF	-2.000
---- VAR d3art	.	0.011	+INF	.
z tetha max				
tetha genel tatmin duzeyi				

Çizelge 7.45.'den görüleceği gibi, Amaç 3'ün tatmin düzeyi 0,989, yani % 98,9 olup, Amaç 1 ve Amaç 3 sırayla, 4300000 ve 11108000 olarak gerçekleşmiştir.

7.4.5. Öncelikli bulanık amaç programlama temelinde Yang ve arkadaşlarının yaklaşımı ile çözüm

Amaçların maksimum tatmin düzeyini sağlamak amacıyla (öncelik var) MMM modeli için Öncelikli Bulanık Amaç Programlama ([Tiwari ve ark., 1986] temelinde [Yang ve ark., 1991] yaklaşımı kullanılmıştır.

Bulanık Z1 ve Z3, doğrusal simetrik üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla; Z1 için sol, sağ ve orta değerler, sırayla; (11000000, 4300000, 7500000); Z3 için (5600000, 11050000, 16500000) olarak alınmıştır. Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama yaklaşımında [Hannan, 1981a] kullanılan amaçlar, (Z1 ve Z3), ve bu amaçlar için tanımlanan bulanık değerler aynen alınarak bu yaklaşımla da çözüm yapılmıştır.

Öncelikli Bulanık Amaç Programlama'da, ilk öncelikli amaç için tatmin düzeyi 1 olacak ve ilk amaç için tanımlanan bulanık üçgensel değerlerden orta olanı gerçekleşecektir, yani, ilk amaç için % 100 tatmin söz konusudur ve ilk amacın değeri orta değer olan 4300000'e eşittir. Amaç 3 ün tatmin düzeyini maksimize ederken, Amaç 1'in tatmin düzeyinin kötüleştirilmemesini garanti etmek için, Amaç 1'in değeri, Amaç 3 modeline ek kısıt olarak konulmaktadır.

Amaçların maksimum tatmin düzeyini sağlamak amacıyla, bulanık amaçlar (MMM Modelindeki Z1 ve Z3 olmak üzere iki amaç) ile Amaç 1'in tam tatmin edilmiş olması kısıtı altında Amaç 3'ün maksimum tatmin düzeyini sağlamak için öncelikli bulanık amaç programlama temelinde Yang ve arkadaşlarının yaklaşımı kullanılarak kurulan matematiksel modelin gösterimi aşağıda verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Max } Z3 \quad \theta \quad (7.35)$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * \left[(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc} \right] \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \left[X_{mj}^{dis} * (C_m^d + C_m^{dem}) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m) \right] = 4300000 \quad (7.36) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \\ & -5600000 / 5450000 \geq \theta \quad (7.37) \end{aligned}$$

$$16500000 - \left[\sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \right] / 5450000 \geq \theta \quad (7.38)$$

- $\theta \geq 0$
- $\theta \leq 1$
- Eş. (5.6),..., (5.19) kısıtlarının hepsi (14 kısıt)

Aşağıda, Amaç 1 tatmininin tam gerçekleşmiş olması kısıtı altında, Amaç 3'ün tatmin düzeyinin maksimizasyonu için yapılan çözümün sonuçları Çizelge 7.46.'da verilmiştir.

Çizelge 7.46. Öncelikli bulanık amaç programlama temelinde Yang ve arkadaşlarının yaklaşımı ile çözüm

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	0.991	+INF	.
---- VAR tetha	.	0.991	1.000	.
---- VAR z3real	-INF	1.1099E+7	+INF	.
z tetha max				
tetha genel tatmin duzeyi				

Çizelge 7.46.'dan görüleceği gibi, Amaç 3'ün tatmin düzeyi 0,991, yani % 99,1 olup, Amaç 1 ve Amaç 3 sırayla, 4300000 ve 11099000 olarak gerçekleşmiştir.

7.4.6. Hannan'ın bulanık amaç programlama ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı ile çözüm

Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımında [Hannan, 1981b], amaçlar için *ağırlıkların kesin olduğu* durum dikkate alınmış ve Zadeh'in önerdiği *Max-Min* metodu kullanılmıştır.

MMM Modeli kullanılarak, bulanık Z1 ve Z3 (iki amaç), doğrusal simetrik üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla; Z1 için sol, sağ ve orta değerler, sırayla; (11000000, 4300000, 7500000); Z3 için (5600000, 11050000, 16500000) alınarak ortalama sapma minimize edilmek istenmektedir.

Bu yaklaşımda, kesin ağırlıklar, Amaç 1 ve Amaç 3 için, sırayla, 0,7 ve 0,3 olarak alınmıştır.

Ortalama sapmayı minimize etmek amacıyla, bulanık amaçlar (MMM Modelindeki Z1 ve Z3 olmak üzere iki amaç) ile Hannan'ın bulanık amaç programlama ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı kullanılarak kurulan matematiksel modelin gösterimi aşağıda verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z \quad 0.7*(\delta_1^- + \delta_1^+) + 0.3*(\delta_3^- + \delta_3^+) \quad (7.39)$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * \left[(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc} \right] \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \left[X_{mj}^{dis} * (C_m^d + C_m^{dem}) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m) \right] \\ & + 3200000*(\delta_1^- - \delta_1^+) = 4300000 \end{aligned} \quad (7.40)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \\ & + 5450000*(\delta_3^- - \delta_3^+) = 11050000 \end{aligned} \quad (6.41)$$

- $\delta_1^-, \delta_1^+, \delta_3^-, \delta_3^+ \geq 0$
- Eş. (5.6),..., (5.19) kısıtlarının hepsi (14 kısıt)

Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımı ile bulunan çözüm değerleri aşağıda Çizelge 7.47.'de özetlenmiştir.

Çizelge 7.47. Hannan'ın bulanık amaç programlama ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı ile çözüm

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	0.003	+INF	.
---- VAR z1real	-INF	4.3000E+6	+INF	.
---- VAR z3real	-INF	1.1100E+7	+INF	.
---- VAR d1eks	.	.	+INF	0.699
---- VAR d1art	.	.	+INF	0.701
---- VAR d3eks	.	.	+INF	0.600
---- VAR d3art	.	0.009	+INF	.
z min ort sapma				

Çizelge 7.47.'den görüleceği gibi, *Min ortalama sapma*, 0,003 olarak gerçekleşirken, Amaç 3, pozitif yönde 50000 kadar sapmış, Amaç 1, hiç sapmadan tam gerçekleşmiştir. Amaç 1 ve Amaç 3'ün gerçekleşen değerleri, sırayla, 4300000 ve 11100000'dür.

7.4.7. Tiwari ve arkadaşlarının bulanık amaç programlama ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı ile çözüm

Tiwari'nin Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımında [Tiwari, 1987], amaçlar için *ağırlıkların kesin olduğu* durum dikkate alınmış ve Zadeh'in önerdiği *Max-Min* metodu kullanılmıştır.

MMM Modeli kullanılarak, bulanık Z1 ve Z3 (iki amaç), monoton doğrusal azalan üyelik fonksiyonlarıyla; Z1 ve Z3 için alt ve üst sınırlar sırayla, (4300000, 7500000) ve (11050000, 16500000) ve bulanık alınarak amaçların toplam tatmin düzeyi maksimize edilmek istenmektedir.

Bu yaklaşımda, kesin ağırlıklar, Amaç 1 ve Amaç 3 için, sırayla, 0,7 ve 0,3 olarak alınmıştır.

Amaçların toplam tatmin düzeyini maksimize etmek amacıyla, bulanık amaçlar (MMM Modelindeki Z1 ve Z3 olmak üzere iki amaç) ile Tiwari ve arkadaşlarının bulanık amaç programlama ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı kullanılarak kurulan matematiksel modelin gösterimi aşağıda verilmektedir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Max } Z \quad 0.7 * \theta_1 + 0.3 * \theta_2 \quad (7.42)$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} f_{li}^c * Y_{li}^c + \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} f_{nj}^t * Y_{nj}^t \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{mki}^1 * \left[(C_{mki}^1 * d_{ki}^1 / W_m) + P_m^{rc} \right] \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{mij}^2 * C_{mij}^2 * d_{ij}^2 / W_m) \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} \left[X_{mj}^{dis} * (C_m^d + C_m^{dem}) + X_{mj}^{ref} * (C_m^t - rev_m) \right] \\ & = 4300000 + 3200000 * (1 - \theta_1) \end{aligned} \quad (7.43)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} q_n * Y_{nj}^t - \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} X_{mj}^{ref} \\ & = 11050000 + 5450000 * (1 - \theta_2) \end{aligned} \quad (7.44)$$

- $\theta_1 \geq 0$
- $\theta_1 \leq 1$
- $\theta_2 \geq 0$
- $\theta_2 \leq 1$
- Eş. (5.6),..., (5.19) kısıtlarının hepsi (14 kısıt)

Tiwari'nin Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımı ile bulunan çözüm değerleri aşağıda Çizelge 7.48.'de özetlenmiştir.

Çizelge 7.48. Tiwari ve arkadaşlarının bulanık amaç programlama ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı ile çözüm

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	0.997	+INF	.
---- VAR tetha1	.	1.000	1.000	0.701
---- VAR tetha2	.	0.989	1.000	.
---- VAR z1real	-INF	4.3000E+6	+INF	.
---- VAR z3real	-INF	1.1108E+7	+INF	.
z bulanik genel tatmin basarim duzeyi degeri max				
tetha1 1in tatmin basarim duzeyi degeri				
tetha2 2in tatmin basarim duzeyi degeri				

Çizelge 7.48.'den görüleceği gibi, *Toplam tatmin (başarım) düzeyinin Maksimizasyonu için yapılan çözümde, Amaç 1 ve Amaç 3, sırayla, 1 (% 100 yani tam) ve 0,989 (% 98,9) oranında başarılmıştır. Birinci amaç tam başarılmış, Amaç 2 için maksimum tatmin düzeyi 1'e çok yakın bulunmuştur, diğer deyişle, Amaç 2 için üyelik fonksiyonunun değeri 1'e çok yakındır. Toplam tatmin düzeyi de 0,997 (%99,7) olarak gerçekleşmiştir. Her bir amaç ile toplam için bulunan tatmin oranlarından, hem amaçların hem de toplam tatmin düzeyinin % 100'e yakın olarak gerçekleştiği görülmektedir. Amaç 3, 11080000 olarak gerçekleşerek alt sınırdan (11050000'den) sadece 30000 fazla çıkmış, dolayısıyla % 100 değil, % 100'e çok yakın tatmin düzeyi elde edilmiştir. Amaç 1, alt değer olan 4300000'e eşit çıkarak tam tatmin edilmiştir. Amaç 1 ve Amaç 3'ün gerçekleşen değerleri, sırayla, 4300000 ve 11080000'dir.*

Bulanık ortamda kullanılan çok amaçlı yaklaşımlar çoğu zaman aynı çözümü vermez, çünkü farklı tercihler ve bu tercihleri modelleyen yapıları söz konusudur; örneğin, biri genel tatmin seviyesini maksimize ederken, bir diğeri ortalama sapmayı minimize etmeye çalışmaktadır. Hatta aynı amacı (genel tatmin düzeyinin maksimizasyonu) optimize etmek isteyen yaklaşımların (Zimmermann'ın Bulanık Doğrusal Programlama [Zimmermann, 1978], Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama [Hannan, 1981a] ve Yang ve Arkadaşlarının Bulanık Amaç Programlama Yaklaşımlarının [Yang ve ark., 1991]) da matematiksel modellerinden görülebileceği gibi, matematiksel yapıları farklıdır. Tiwari ve Arkadaşlarının Bulanık

Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model [Tiwari ve ark., 1987] ile Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model [Hannan, 1981b] yaklaşımlarının da, matematiksel modellerine bakıldığında, sırayla, ilkinin ağırlıklı bulanık amaçların toplamının maksimize edilmesi, ikincisinde ortalama sapmanın minimize edilmesi şeklinde amaç fonksiyonları ve farklı kısıt yapıları olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, bulanık ortamda kullanılan çok amaçlı yaklaşımlar, gerçek dünyada olduğu gibi, karar vericinin tercihi, etkileşimi ve tatmini ile ilgilidir; bu nedenle, birbirine üstünlükleri söz konusu değildir. Sadece, önceliği koruma yöntemiyle amaçların optimizasyonu amaçların gerçekleştirilmesine göre çok daha iyi sonuçlar vermektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Özellikle son 10 yıl içinde, Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), Lojistik Yönetimi (LY) ve Ürün Geri Kazanımı (ÜGK) için Lojistik Şebeke Tasarımı (LŞT), artan bir ilgi kazanmıştır. ÜGK için LŞT, stratejik seviyede bir planlama konusu olup, sistemin performansı ve dolayısıyla işletmenin kârlılığı ve sürdürülebilirliği ile çok yakından ilgilidir.

Tersine lojistik uygulaması olarak geri kazanım yönetimi; kıt kaynakların etkin kullanımı, enerji tasarrufu, ekonomik getiri, olumsuz çevresel etkilerin azaltılması, başta insan olmak üzere canlı sağlığının olumsuz etkilerden korunması vb. gibi son derece hayati öneme sahip hususlar bakımından, özellikle son yıllarda, başta Avrupa ve diğer çoğu Batı ülkelerinde üzerinde ciddiyle durulan ve yasal mevzuatlarla güvence altına alınmış ağır yaptırımları olan ilk öncelikli konulardan biri olmuştur. Geri dönüşüm de, geri kazanım yönetiminin bir bileşenidir ve bütün dünyada gittikçe artan yaygın uygulama alanlarına sahiptir. Dünyadaki sosyo-kültürel ve ekonomik gelişmelere paralel olarak, refah düzeyi ve dolayısıyla insan hayatını kolaylaştıran ekipmanların kullanımı gün geçtikçe ivmeli olarak artmaktadır. Bu durum, içinde fırsatlar da barındıran, optimum şekilde çözülmesi gereken sorunları da beraberinde getirmektedir. Bugün, her ailenin, bireyin, işletmenin/kurumun vazgeçilmezi olan AEEE, kullanımı ve kullanımı sonunda yapılması gerekenler, geri kazanımın en önemli ve tipik örneklerinden biridir.

Literatürde, ÜGK için, bulanık ortamda çok amaçlı ve gerçek uygulama temelli LŞT'da eksiklik görülmüştür. Gerçek dünya ve durumlar için, matematik-fen ve mühendislikte, kesinlik ve tek amaçlı yapının yetersiz kalması/uygun olmaması ve Mühendisliğin esas amacının gerçek dünya problemlerini çözmek olmasından hareketle, bu tezde, deterministik ve bulanık ortamda ÇAKV yaklaşımları kullanılarak gerçek bir uygulama yapılmıştır. Ekonomik ve etik sebeplerle, AEEE geri kazanımının gittikçe önemli olmasına karşın, Türkiye'de AEEE için bir sistemin halen mevcut olmayışı, bu çalışmadaki uygulama alanının seçimindeki diğer en önemli itici güç olmuştur.

Bu bağlamda, Türkiye’de kontrolü ile ilgili bir yasası ve sistemi bulunmayan AEEE pazarı, yarattığı sorunlar ve fırsatlarla birlikte ele alınarak, mevcut koşullarda optimum bir sistem ve işleyiş mekanizması önerilmesi, bu sistemin matematiksel olarak modellenmesi ve akabinde ürün geri kazanımı için bu sistem ve modeli temel alan bir lojistik şebekesinin tasarımının yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, geri dönüşüm ve AEEE geri dönüşümü bütün unsurlarıyla araştırılarak tanıtılmış, bütün bu unsurlar ve özel koşullar dikkate alınarak Türkiye’de Atık Elektrikli ve Elektronik Ekipman (AEEE) LŞT için henüz olmayan bir sistem önerilmiş ve sistemin matematiksel formülasyonu, deterministik/bulanık, doğrusal, kapasiteli, çok ürünlü, çok amaçlı, karışık tamsayılı, yer seçimi-atama / LŞT modeli olarak kurulmuş ve Ankara / Türkiye’de bir gerçek dünya uygulaması ile modelin uygulanabilirliği gösterilmiştir. Ankara’nın bütün ilçeleri hem müşteri bölgesi, hem de toplama ve işleme tesisleri için aday yerleşim yerleri olarak alınmıştır. Toplama ve işleme tesislerinin nereye, hangi kapasite seviyelerinde ve sayıda kurulacağını belirlenmesi ile müşteriler - toplama tesisleri, toplama tesisleri – işleme tesisleri, işleme tesisleri - imha / rafineriler arasındaki akış değerleri atamaları, karar değişkenleri olarak dikkate alınmıştır. Stratejik planlama amacıyla geliştirilen Model, gerçek bir uygulama ile, GAMS 22.1 ticari yazılımı ve CPLEX 8.1 çözücüsü kullanılarak çözülmüştür.

Amaçların optimize edilmesi için çözüm, amaçlara ulaşmak için yapılan çözümden, çok daha iyi olduğundan, 5 amaçlı modelimizin $5!=120$ farklı öncelik yapısındaki öncelik sıraları için yapılan toplam 600 bireysel model çözümünde, Önceliği Koruma Yöntemiyle amaçları optimum kılma yaklaşımı kullanılmıştır. Farklı öncelik sıraları ile yapılan çözümlerde, amaç fonksiyonu değerleri ve amaç fonksiyonları için; çözüm zamanları, iterasyon sayıları, toplama tesislerinin açıldıkları yerler ve toplam sayısı, toplama tesislerinin açıldıkları hacim seviyesi, işleme tesislerinin açıldıkları yerler ve toplam sayısı ile işleme tesislerinin açıldıkları kapasite seviyeleri farklılık göstermiştir. Bu farklılık, amaçların en yüksek öncelikten en düşük önceliğe doğru optimize edilmesiyle düşük öncelikli amaçların kötüleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Dikkat çeken önemli husus, işleme tesislerinin en çok toplama tesis sayısı kadar ve toplama tesislerinin açıldığı yerde (sıfır uzaklıkta, yani yan yana

iki ayrı tesis veya bütünleşik bir tesis) açılması olmuştur. İşleme tesislerinin daha az sayıda açılması, kapasite seviyelerinin büyük olmasından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, amaç programlamada bulunan çözümlerin kalitesi (amaçların yönüne göre iyi-kötü olması), hem öncelik yapısıyla hem de amaçlar için belirlenen alt/üst sınır değerleriyle (sadece amaçlara ulaşmak için çözümde) çok yakından ilgilidir. Amaç programlama ile (hem amaçların optimizasyonu hem de amaçlara ulaşmak için çözümde) esas yapılmaya çalışılan, bütün amaçları belirli seviyede gerçekleştirecek etkin bir çözüm bulmaktır .

Atık ürünün hurdasının kg satın alma fiyatı, geri dönen ürün sayısı ile işleme ve toplama tesisi açma ikili değişkenlerinin göreceli fark ve dallandırma önceliği değerleri de farklı büyüklük seviyelerinde alınarak çözümler yapılmış, böylelikle modelin parametre değişikliklerine karşı hassasiyeti (duyarlılığı) test edilmiş ve çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Atık ürünün hurda kg fiyatının artmasıyla en fazla toplam maliyetin minimizasyonu amaç değerinin kötüleşmeye başladığı, diğer amaçlarda önemli bir değişiklik olmadığı; Amaç 2 ve Amaç 5 de, geri dönen ürün sayısı arttıkça bir artış, Amaç 1’de azalma, Amaç 3 ve Amaç 4’de ise önemli bir değişiklik görülmediği; Problem boyutu arttıkça, Amaç1, Amaç 2 ve Amaç 5’de iyileşme, Amaç 4’de kötüleşme eğilimi görülürken, Amaç 3 için önemli bir değişim görülmediği; Çözüm Zamanı (CPU) ve İterasyon Sayısı (İS)’da önceki değerlerine göre artış; toplam kısıt, değişken ve ikili değişken sayısında artış görüldüğü; Göreceli Fark (GF) ve Dallandırma Önceliği (DÖ)’ne göre amaç fonksiyonları değerlerinin, önceki değerlerine göre, önemli bir değişim göstermediği görülmüştür.

Geri dönen ürün sayısı büyüklüğü (Rmk) ile hurda kg satın alma fiyatı büyüklük seviyelerinin (Prc) yapılan bağımsız iki faktörlü deney tasarımında; geri dönen ürün sayısı büyüklüğünün, Z1, Z2, Z4, Z5, Amaç 1 için açılan toplama tesisleri toplam sayısı (Z1TTS), Amaç 1 için açılan toplama tesisleri toplam hacim seviyesi (Z1TTHS) ve Amaç 1 için işleme tesisleri toplam kapasite seviyeleri (Z1İTKS)’ni

etkilediği ((Z1TTHS) ve (Z1İTKS)'in geri dönen ürün sayısına göre değiştiği) görülmüşken, hurda kg satın alma fiyatı büyüklük seviyelerinin sadece Z1'i etkilediği, geri dönen ürün sayısı büyüklüğü ve hurda kg satın alma fiyatı büyüklüğü etkileşiminin ise, dikkate alınan hiçbir şeyi etkilemediği 0,05 anlamlılık seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Karar vermede, karar verici amaçlara ağırlık veremeyebilir veya öncelik yapısını belirleyemiyor veya belirlemek istemiyor (amaçlara eşzamanlı ulaşmak istiyor) olabilir. Bu durumda önceliksiz çözümler aramak gerekir. Gerçek dünyada karar verici, amaçlar ve kaynakların değerini (büyüklüğünü) belirleyemeyebilir. Bu gibi durumlar için bulanık ortamda karar verme yaklaşımları kullanmak karar vericiye yardımcı olacaktır. Bu amaçla, *Bulanık ortamda*; Zimmermann'ın Bulanık Doğrusal Programlama yaklaşımı [Zimmermann, 1978], Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı [Hannan, 1981a], Yang ve Arkadaşlarının Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı [Yang ve ark., 1991], Tiwari ve arkadaşlarının Öncelikli Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı [Tiwari ve ark., 1986] temelinde Hannan [Hannan, 1981a] yaklaşımı, Tiwari ve arkadaşlarının Öncelikli Bulanık Amaç Programlama yaklaşımı [Tiwari ve ark., 1986] temelinde Yang ve arkadaşlarının yaklaşımı [Yang ve ark., 1991], Hannan'ın Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımı [Hannan, 1981b] ve Tiwari ve arkadaşlarının Bulanık Amaç Programlama Ağırlıklı Toplamsal Model yaklaşımı [Tiwari ve ark., 1987] kullanılarak çözümler yapılmış, sonuçlar sunularak karar verme karar vericinin tercihine bırakılmıştır.

Bulanık ortamda kullanılan çok amaçlı yaklaşımlar, çoğu zaman aynı çözümü vermez, çünkü karar vericilerin farklı tercihleri (dolayısıyla üyelik fonksiyonları) ve bu tercihleri de modelleyen farklı yapıdaki matematiksel modelleri (farklı amaç fonksiyonları ve/veya kısıtları) söz konusudur; örneğin, biri genel tatmin seviyesini maksimize ederken, bir diğeri ortalama sapmayı minimize etmeye çalışmaktadır. Sonuç olarak, bulanık ortamda kullanılan çok amaçlı yaklaşımlar, gerçek dünyada olduğu gibi, karar vericinin tercihi, etkileşimi ve tatmini ile ilgilidir; bu nedenle, birbirine üstünlükleri söz konusu değildir.

TLŞT’da talep ve geri dönüş miktarları ile geri dönen atık ürün kalitesi hususlarında önemli derecede belirsizlik mevcuttur. Bu yüzden, belirsizliği hesaba katmak ve onu etkin bir şekilde sayısal olarak ifade edebilmek ihtiyacı söz konusudur. Parametrelerin kesin tek bir değer almak yerine, bulanık / olabilirlikli alınarak, üyelik fonksiyonu veya olabilirlik dağılımıyla bulanık / kesin olmayan bilgi olarak aralık şeklinde tanımlanmasıyla dinamik yapı dikkate alınmış olmakta ve daha esnek, gerçekçi ve uygulanabilir sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bir çok çalışmada, talep, ürün geri dönüşleri vb. gibi belirsizlik hususları dikkate alınmamış, çok amaç, konu edinilmemiştir. Tasarlanacak geri kazanım şebeke modelinin gerçek bir örnek olay temelli olması geçerliliğini ve uygulanabilirliğini pekiştirecek ve daha somut ve gerçekçi kurumsal kaynak ihtiyaçları planlaması yapılmasını sağlayacaktır. Olasılık ve senaryo temelli yaklaşımlar, bütün durumları olduğu gibi (orijinal olarak) ele almak için uygun değildir, diğer ifadeyle, bu yöntemler etkin değildir ve bu şekilde bulunan sonuçlar gerçek durumlar ve gerçek dünya problemleri için bir çözüm sunmaktan uzak görünmektedir. Bu gerekçeyle, belirsizlik ortamında ele alındığında modeldeki parametrelerden, örneğin literatürde de en sık şekilde karşılaşıldığı gibi, talep ve geri dönüş oranlarının bulanık / olabilirlikli olarak düşünülmesi karar verme açısından daha uygun olacaktır.

Etkileşimli yaklaşımlar; amaçlara eşzamanlı olarak ulaşmayı, hiçbir ön bilgi olmadan, amaçlara öncelik ve/veya ağırlık vermeden, çözüm sürecinde karar vericiyle etkileşimli olarak, verilen bir sistemi optimize etmek yerine etkin, verimli ve optimum bir sistem tasarlamayı sağlamaktadır. Bu yüzden, gerçek dünya için etkileşimli yaklaşımların daha esnek ve uygulanabilir sonuçlar verebildiğinden etkili ve etkin karar vermede diğer yaklaşımlarla birlikte bütünleşik olarak kullanılması önerilmektedir.

Özellikle bulanık / olabilirlik belirsizliğini çok amaç ile birleştiren gerçek uygulamaları ele alan TLŞT konusunda literatürde bir eksiklik mevcuttur. TLŞT’da Etkileşimli Bulanık / Olabilirlikli Çok Amaçlı, kapasiteli, çok ürünlü, çok dönemli

hususları eşzamanlı dikkate alan gerçek uygulamalar ile literatüre önemli katkılar yapılabileceği değerlendirilmektedir.

Literatürde geliştirilen modellerde, çoğunlukla doğrusal ve deterministik ortamda çözüm için, kesin sonuçlar veren algoritma tabanlı GAMS (CPLEX çözücü ile), AMPL, XPRESS vb. gibi etkin yazılımlar; meta – sezgiseller, ayrıştırma teknikleri, benzetim, benzetim ile analitik modeli veya analitik model ile bir meta sezgiseli birleştiren melez yaklaşımlar kullanılmıştır. Şebeke tasarımında da; diğer gerçek dünya problemleri ile ilgili karar vermede olduğu gibi, kesin çözüm veren algoritmalarla sezgisel algoritmaların çözümlerinin kalitesi, bu çözümler için gösterilen çaba düzeyi ve çok amaç söz konusu iken amaçlar üzerinde ödünleşme konusunda karar vericilerin/analistlerin, her bir yaklaşımın avantaj ve dezavantajlarını da (zaman, maliyet, getiri vb. gibi) dikkate alarak, daha güvenilir ve etkin karar vermeleri mümkün olacaktır.

Stratejik planlamada karar vericiye karar desteği sağlayacağı düşünülen tezde geliştirilerek sunulan model, sistemin, gerçek dünyanın ve uygulama alanı ile yerinin bütün özellikleri ve varsayımlarını dikkate alan gerçek verilerle çözülmüştür, bu gerekçelerle, gerçek dünyada uygulanabilir, esnek, etkin ve etkili karar verme stratejileri sunmaktadır.

Potansiyel çalışma ve fırsatlar olarak; burada kullanılmayan, Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı (Örneğin Werner; Lai ve Hwang yaklaşımları), Olabilirlikli Çok Amaçlı, Etkileşimli Olabilirlikli Çok Amaçlı ve Hibrit (Bulanık ve Olabilirlikli) yaklaşımları ve bütün parametrelerin bulanık olduğu Carlsson ve Korhonen yaklaşımları kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında kullanılmayan, doğrusal olmayan ilişkiler /yapılar ve farklı tipteki üyelik fonksiyonları (konveks, konkav, parçalı doğrusal, asimetrik üçgensel ve yamuk) kullanılabilir.

Tesis açma maliyetleri yerleşim yerinden bağımsız olarak, bütün aday yerleşim yerleri için, literatürde olduğu gibi tarafımızca da, aynı kabul edilmiştir. Ancak bu kabul, karar değişkenlerini önemli derecede etkileyeceğinden gerçek uygulamalarda, bu maliyetler yerleşim yerine göre alınmalıdır. Bu hususu dikkate alan çalışmalar da yapılabilir. Örnek uygulama, Türkiye'nin her bir bölgesi için ayrı ayrı, her bir bölgenin bütün illerini müşteri ve tesis aday yerleşim yerleri olarak dikkate alıp genişletilebilir. Ancak, daha karmaşık olacak model yüksek ihtimalle çözümsüzlüğe gidebilir. Böyle durumlarda bir dal-sınır algoritmasının etkin bir çözüm olup olmayacağı araştırılmalıdır. Ayrıca, Bender's Ayrıştırması ve Lagrange Gevşemesi ile çözümler denenip, çözümlerin kalitesi ve zamanları karşılaştırılabilir.

Literatürde, TLŞT için, arı kolonisi, değişken komşuluk arama, kuş sürüsü optimizasyonu ve bunların melezlerini kullanan metasezgisel yaklaşımlara rastlanmamış olduğundan bununla ilgili çalışma fırsatları değerlendirilebilir.

Türkiye'de geri kazanım endüstrisi büyümeye ve önem kazanmaya devam edeceğinden, başka alanlar için, örneğin, ömrünü tamamlamış araçlar için mevcut durumdakinden daha etkili bir sistem tasarlanıp, modelleme ve optimizasyonu yapılabilir.

KAYNAKLAR

Achillas, C., Vlachokostas, C., Aidonis, D., Moussiopoulos, N., Iakovou, E., Baniias, G., “Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of electrical and electronic equipment” *Waste Management*, 30(12): 2592-2600, (2010a).

Achillas, C., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, T., Baniias, G., “Decision support system for the optimal location of electrical and electronic waste treatment plants: a case study in greece” *Waste Management*, 30(5): 870-879 (2010b).

Ahluwalia, P.K., Nema, A.K., “Multi-objective reverse logistics model for integrated computer waste management”, *Waste Management & Research*, 24: 514–527 (2006).

Akçalı, E., Çetinkaya, S., Üster, H., “Network design for reverse and closed-loop supply chains: an annotated bibliography of models and solution approaches”, *Networks*, 53(3): 231-248 (2009).

Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Paksoy, T., “A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks”, *Computers & Industrial Engineering*, 51: 197–216 (2006).

Banhard, B., “Logistics Engineering and Management 6th ed.”, *Prentice Hall*, New Jersey, 1-2, 4-7, 11, 15 (2004).

Barba-Gutiérrez, Y., Adenso-Díaz, B., Hopp, M., “An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation”, *Resources, Conservation and Recycling*, 52: 481–495 (2008).

Barker, T., Zabinsky, Z., “Designing for recovery” *Industrial Engineer*, 42(4): 38-43 (2010).

Barros, A.I., Dekker, R., Scholten, V., “A two-level network for recycling sand: a case study”, *European Journal of Operational Research*, 110: 199-214 (1998).

Baykasoğlu, A., Gökçen T., “A review and classification of fuzzy mathematical programs”, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 19 (3): 205-229 (2008).

Biehla, M., Praterb, E., Realff, M.J., “Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems”, *Computers & Operations Research*, 34: 443–463 (2007).

Blanc, H.M., Fleuren, L.H.A., Krikke, H.R., “Redesign of a recycling system for lpg-tanks”, *OR Spectrum*, 26: 283–304 (2004).

Bostel, N., Dejax, P., Lu, Z., “The design, planning, and optimization of reverse logistics networks”, *Logistics Systems: Design and Optimization*, **Springer**, 171-212, (2005).

Cagno, E., Magalini, F., Trucco, P., “Modelling and planning of product recovery network: the case study of end-of-life refrigerators in Italy”, *International Journal of Environmental Technology and Management*, 8(4): 385-404 (2008).

Carol, P., Kocabaşoğlu, C., “Empirical research opportunities in reverse supply chains”, *Omega*, 34(6): 519-532 (2006).

Chan, C. K., Hou, S. H., André Langevin, “Advances in optimization and design of supply chains”, *International Journal of Production Economics*, In Press (2011).

Chang, X., Huo, J., Chen, S., “Study on integrated logistics network model and network design for waste electrical and electronic equipment”, *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, Shanghai, 654-658 (2006).

Chen, H.-K., Chou H.-W., “Reverse supply chain network design problem”, *Transportation Research Record*, 1964: 42-49 (2006).

Chu, H.-S., Song, S.-J., “Status and developing trends of reverse logistics”, *Computer Integrated Manufacturing Systems (CIMS)*, 10(1): 10-14-64 (2004).

Chu, L. K., Shi, Y., Lin, S., Sculli, D., Ni, J., “Fuzzy chance-constrained programming model for a multi-echelon reverse logistics network for household appliances”, *Journal of the Operational Research Society*, 61(4): 551-560 (2010).

Cohon, J.L., “Multiobjective Programming and Planning”, *Dover Publications*, New York, (2003).

Collette, Y., Siarry, P., “Multiobjective Optimization Principles and Case Studies”, *Springer-Verlag*, Berlin, (2004).

Cruz-Rivera, R., Ertel, J., “Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico”, *European Journal of Operational Research*, 196(3): 930-939 (2009).

Cui, J., Zhang, L., “Metallurgical recovery of metals from electronic waste: a review”, *Journal of Hazardous Materials*, 158: 228–256 (2008).

De Brito, M. P., Dekker, R., “Reverse logistics – a framework”, *Econometric Institute Report*, **Erasmus University, Rotterdam**, (2002a).

De Brito, M.P., Flapper, S.D.P. ve Dekker, R., “Reverse logistics: a review of case studies”, Econometric Institute Report, *Erasmus University, EI 2002-21, Rotterdam*, (2002b).

de la Fuente, M.V., Ros, L., Cardós, M., “Integrating forward and reverse supply chains: application to a metal-mechanic company”, *International Journal of Production Economics*, 111(2): 782-792 (2007).

Du, F., Evans, G. W., “A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service”, *Computers & Operations Research*, 35(8): 2617-2634 (2007).

Easwaran, G., Üster, H., “A closed-loop supply chain network design problem with integrated forward and reverse channel decisions” *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 42(11): 779-792 (2010).

Evren, R., Ülengin, F., “Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme”, *İTÜ Yayınları*, İstanbul, 1, 7-8, 11, 13-16, 89-90 (1992).

Field, J.M., Sroufe, R. P., “The use of recycled materials in manufacturing: implications for supply chain management and operations strategy”, *International Journal of Production Research*, 45(18/19): 4439-4463 (2007).

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Laan, E.V.D., Van Nunen, J.A.E., Van Wassenhove, L.N., “Quantitative models for reverse logistics: a review”, *European Journal of Operational Research*, (103): 1-17 (1997).

Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R., Flapper, S.D.P., “A characterisation of logistics networks for product recovery”, *Omega*, (28): 653-666, (2000).

Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M. ve Van Wassenhove, L.N., “The impact of product recovery on logistics network design”, *Production and Operations Management*, 10(2): 156-173 (2001).

Georgiadis, P., Vlachos, D., “The effect of environmental parameters on product recovery”, *European Journal of Operational Research*, 157: 449–464 (2004).

Guide Jr, V.D.R., Van Wassenhove, L.N., “Managing product returns for remanufacturing”, *Production and Operations Management*, 10(2): 142-155 (2001).

Hannan, E.L., “On fuzzy goal programming”, *Decision Sciences*, 12: 522-531 (1981a).

Hannan, E.L., “Linear programming with multiple fuzzy goals”, *Fuzzy Sets and Systems*, 6: 235-248 (1981b).

Ilgin, M. A., Gupta, S. M., “Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): a review of the state of the art”, *Journal Of Environmental Management*, 91(3): 563-591 (2010).

Inuiguchi, M., Ramik, J., “Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem”, *Fuzzy Sets and Systems*, 111: 3-28 (2000).

İnternet: Aras, N., Bilkent Üniversitesi “Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi (TTZY) ” <http://www.ie.bilkent.edu.tr/calistay/necati-aras.pdf> (2011).

İnternet: GAMS Development Corporation “GAMS” <http://www.gams.com> (2008).

İnternet: Gdfsuez Group “Responding to Energy Needs by Maximising the Use of Resources and Fighting Against Climate Change” <http://www.gdfsuez.com/en/group/> (2011).

İnternet: Group Galloo “100% Recycling for 100% Liveability” <http://www.galoo.com/index2.php> (2011).

İnternet: Sesli Sözlük “Iberian” www.seslisozluk.com (2008).

İnternet: Suez Environment “Waste Management” <http://www.suez-environnement.com/en/activities/waste-services/waste-management/waste/waste/> (2011).

İnternet: Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı, “Yönetmelikler” <http://atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/atikyonetimi/AnaSayfa/solmenu/Mevzuat.aspx?sflang=tr> (2011).

Jämsä, P., “Opportunities for research in reverse logistics networks: a literature review” *International Journal of Management and Enterprise Development*, 6(4): 433-454 (2009).

Jamshidi, M., “Reverse logistics, ogistics operations and management”, 247-266, (2011).

Jang, Y-C., Kim, M., “Management of used & end-of-life mobile phones in Korea: a review, *Resources, Conservation and Recycling*, 55(1): 11-19 (2010).

Jayaraman, V, Guide Jr, V.D.R., Srivastava, R, “A closed-loop logistics model for remanufacturing”, *Journal of the Operational Research Society*, 50: 497-508 (1999).

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

Jinan, C., Zhang, Y., Hang, L.X.W., Cui, X., “A robust model for PLS to design a remanufacturing logistics network under the uncertain environment”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, (2007).

Kabak, O., Ülengin, F., “Possibilistic linear-programming approach for supply chain networking decisions”, *European Journal of Operational Research* 209(3): 253-264 (2011).

Ko, H. J., Evans, G.W., “A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs”, *Computers & Operations Research*, 34: 346–366 (2007).

Kocabaşoğlu, C., Prahinski, C., Klassen, R.D., “Linking forward and reverse supply chain investments: the role of business uncertainty”, *Journal of Operations Management*, 25(6): 1141-1160 (2007).

Krikke, H.R., Kooi, E.J., Schuur, P.C., “Network design in reverse logistics: a quantitative model”, *New Trends in Distribution Logistics*, 480, Speranza, M.G., Stähly, P., 45-61 (1999a).

Krikke, H.R., Van Harten, A., Schuur, P.C., “Business case of reverse logistic network re-design for copiers”, *OR Spektrum*, 21: 381–409 (1999b).

Kuo, T. C., “The construction of a collaborative-design platform to support waste electrical and electronic equipment recycling” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(1): 100-108 (2010).

Kusumastuti, R.D., Piplani, R., Lim, G.H., “An approach to design reverse logistics networks for product recovery”, *IEEE International Engineering Management Conference*, 3: 1239-1243 (2004).

Lai, Y.J., Hwang, C.L., “Fuzzy Mathematical Programming: Methods and Applications”, *Springer*, Manhattan, 1-8, 14-15, 74-75, 80-84, 95-97, 127-128, 130-131, 256-257, 268, 270-271, 274-277 (1992).

Lai, Y.J., Hwang, C.L., “Fuzzy Multiple Objective Decision Making: Methods and Applications”, *Springer*, Manhattan, 3, 7-8, 10-11, 13, 27-33, 40-42, 46-48, 139-144, 152-155, 168-172 (1996).

Lambert, S., Riopel, D., Abdul-Kader, W., “A reverse logistics decisions conceptual framework”, *Computers & Industrial Engineering*, In Press, (2011).

Lee, D-H., Bian, W., Dong, M., “A multiobjective Model and solution method for integrated forward and reverse logistics network design for third-party logistics providers” *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*, 07-0915 (2007a).

Lee, D-H; Bian, W. ve Dong, M., “Multiproduct distribution network design of third-party logistics providers with reverse – logistics operations”, *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*, (2007b).

Lee, D-H., Dong, M., “A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, (2007c).

Lee, D-H., Dong, M., Bian, W., “The design of sustainable logistics network under uncertainty” *International Journal of Production Economics*, 128(1): 159-166 (2010).

Liang, T-F., “Integrated manufacturing/distribution planning decisions with multiple imprecise goals in an uncertain environment”, *Quality and Quantity*, 1-17, In Press, (2010).

Listeş, O., “A generic stochastic model for supply-and-return network design”, *Computers & Operations Research*, 34: 417–442 (2007).

Lua, Z., Bostel, N., “A facility location model for logistics systems including reverse flows: the case of remanufacturing activities”, *Computers & Operations Research*, 34: 299–323 (2007).

Mansour, S., Zarei, M., Kashan, A.,H., Karimi, B., “Designing a reverse logistics network for end-of-life vehicles recovery”, *Mathematical Problems in Engineering*, DOI: 10.1155/2010/649028 (2010).

Mar-Ortiz, J., Adenso-Diaz, B., González-Velarde, J.L., “Design of a recovery network for WEEE collection: the case of Galicia, Spain” *Journal of the Operational Research Society*, 62(8): 1471-1484 (2011)

McCarl, B.A., “McCarl GAMS User Guide V. 22.7”, *GAMS Development Corporation*, Washington, (2008).

Melo, M.T., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., “Facility location and supply chain management - a review” *European Journal of Operational Research*, 196(2): 401-412 (2009).

Min, H., Ko, H.J., Ko, C.S., “A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns”, *Omega*, 34: 56 – 69 (2006).

Min, H., Ko, H.-J., “The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers”, *International Journal of Production Economics*, 113(1): 176-192 (2007).

Mirzapour, S.M.J., Malekly, H., Aryanezhad, M.B., “A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty”, *International Journal of Production Economics*, In Press, (2011).

Mohammadi, M., Manteghi, M., Moballegh, M., Geidar-Kheljani, J., “Design excellent supply chain network in uncertainty environment with fuzzy logic approach” *European Journal of Social Sciences*, 22(4): 501-509. (2011).

Mula, J., David, P., Poler, R., “The effectiveness of a fuzzy mathematical programming approach for supply chain production planning with fuzzy demand” *International Journal of Production Economics*, 128(1): 136-143 (2010).

Neto, J.Q.F., Walther, G., Bloemhof, J., van Nunen, J.A.E., Spengler, T., “A methodology for assessing eco-efficiency in logistics networks”, *European Journal of Operational Research*, 193(3): 670-682 (2009).

Ongondo, F.O., Williams, I.D., Cherrett, T.J., “How are WEEE doing? a global review of the management of electrical and electronic wastes”, *Waste Management*, 31: 714–730 (2011).

Ongondo, F.O., Williams, I.D., “Mobile phone collection, reuse and recycling in the UK”, *Waste Management*, 31(6): 1307-1315 (2011).

Pati, R., Vrat, K.P., Kumar, P., “A goal programming model for paper recycling system”, *Omega*, 36: 405 – 417 (2008).

Peidro, D., Mula, J., Poler, R., “Fuzzy linear programming for supply chain planning under uncertainty”, *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 9 (3): 373-392 (2010).

Pishvae, M.S., Torabi, S.A., “A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty” *Fuzzy Sets and Systems*, 161(20): 2668-2683 (2010).

Pishvae, M. S., Rabbani, M., Torabi, S.A., “A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty” *Applied Mathematical Modelling*, 35(2): 637-649 (2011).

Pochampally, K.K., Gupta, S.M., “A multi-phase mathematical programming approach to strategic planning of an efficient reverse supply chain network”, *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Boston, 72 (2003).

Pochampally, K. K., Gupta, S.M., “Strategic planning of a reverse supply chain network”, *International Journal Of Integrated Supply Management (IJISM)*, 1(4): (2005).

Pokharel, S., "A two objective model for decision making in a supply chain", *International Journal of Production Economics*, 111(2): 378-388 (2008).

Pokharel, S., Mutha, A., "Perspectives in reverse logistics: A review", *Resources, Conservation and Recycling*, 53(4): 175-182 (2009).

Qin, Z., Ji, X., "Logistics network design for product recovery in fuzzy environment" *European Journal of Operational Research*, 202(2): 479-490, (2010).

Rand, G., "Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains", *Journal of the Operational Research Society*, 56(6): 752 (2005).

Renteria, A., Alvarez, E., Perez, J., Del Pozo, D., "A methodology to optimize the recycling process of WEEE: case of television sets and monitors" *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(5-8): 789-800 (2011).

Rosenthal, R.E., "GAMS - A User's Guide", *GAMS Development Corporation*, Washington, (2008).

Ross, T.J., "Fuzzy Logic with Engineering Applications", *John Wiley & Sons Ltd*, West Sussex, (2004).

Rousis, K., Moustakas, K., Stylianou, M., "Management of waste from electrical and electronic equipment: the case of television sets and refrigerators", *J. Environ. Eng. Sci.*, 7: 105–114 (2008).

Rubio, S., Chamorro, A., Miranda, F.J., "Characteristics of the research on reverse logistics (1995-2005)", *International Journal Of Production Research*, 46(4): 1099-1120 (2008).

Sakawa, M., *Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization*, *Plenum Press*, New York, (1993).

Sakawa, M., "Genetic algorithms and fuzzy multiobjective optimization", *Kluwer Academic Publishers*, Massachusetts, (2002).

Salema, M.I.G., Póvoa, A.P.B., Novais, A.Q., "An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty", *European Journal of Operational Research*, 179, 1063–1077 (2007a).

Salema, M.I.G., Póvoa, A.P.B., Novais, A. Q., "Design and planning of supply chains with reverse flows", *European Symposium on Computer-Aided Process Engineering-15, 38th European Symposium of the Working Party on Computer Aided Process Engineering*, (2007b).

Salema, M.I.G., Póvoa, A.P.B., Novais, A.Q., "Reverse logistics network design: model performances", (2007c).

Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A. P., & Novais, A.Q., “Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: a generic modelling framework” *European Journal of Operational Research*, 203(2), 336-349 (2010).

Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A. P., Novais, A. Q., “Modelling a recovery network for WEEE: a case study in portugal” *Waste Management*, 31(7): 1645-1660 (2011).

Schleiffer, R.J., Sebastian, F.G., Kapoustina, N., “Application of genetic algorithms for the design of large-scale reverse logistic networks in europe’s automotive industry”, *Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences*, Hawaii, (2004).

Schultmann, F., Zumkeller, M., Rentz, O., “Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: an example from the automotive industry”, *European Journal of Operational Research*, 171: 1033–1050 (2006).

Sim, E., Jung, S., Kim, H., Park, J., “A generic network design for a closed-loop supply chain using genetic algorithm”, *Genetic and Evolutionary Computation*, 3103: 1214-1225 (2004).

Srivastava, S.K., “Green supply-chain management: a state-of the-art literature review”, *International Journal of Management Reviews*, 9(1): 53–80 (2007).

Srivastava, S.K., “Network design for reverse logistics”, *Omega*, 36: 535 – 548 (2008).

Taha, H.A., “Yöneylem Araştırması 6. bs.”, Baray, Ş:A., Esnaf, Ş., *Literatür*, İstanbul, 348-350, 352-355, 357 (2000).

Tang, Q., Xie, F. “A Genetic algorithm for reverse logistics network design”, *Third International Conference on Natural Computation (ICNC)*, (2007).

Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J., Van Wassenhove, L.N., “Strategic issues in product recovery management”, *California Management*, 37(2): 114-135 (1995).

Tiwari, R.N., Dharmar, S., Rao, J.R., “Priority structure in fuzzy goal programming-an additive model”, *Fuzzy Sets and Systems*, 19: 251-259 (1986).

Tiwari, R.N., Dharmar, S., Rao, J.R., “Fuzzy goal programming-an additive model”, *Fuzzy Sets and Systems*, 24: 27-34 (1987).

Tuzkaya, G., Gülsün, B., Önsel, Ş., “A methodology for the strategic design of reverse logistics networks and its application in the Turkish white goods industry” *International Journal of Production Research*, 49(15): 4543-4571 (2011).

Veerakamolmal, P. ve Gupta, S. M., "Optimizing the supply chain in reverse logistics", *Proceedings of the SPIE, International Conference on Environmentally Conscious Manufacturing*, 4193: 157-166 (2000).

Verter, V., Boyacı, T., "Foreword", *Computers & Operations Research*, (34): 295–298 (2007).

Wäger, P.A., Hischer, R., Eugster, M., "Environmental impacts of the Swiss collection and recovery systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE): a follow-up" *Science of the Total Environment*, 409(10): 1746-1756 (2011).

Wan, Y., "Research on the solution of the reverse logistics problem" *Proceedings Of The 3rd International Conference On Innovation & Management*, Wuhan, China, 1947-1950 (2006).

Wang, H-F, "Fuzzy multicriteria decision making - an overview", *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 9(1-2): 61-83 (2000).

Wang, H, Fang, F., "A study on the design of reverse logistics network" *Proceedings Of The 3rd International Conference On Innovation & Management*, Wuhan, China, 943-946 (2006).

Wang, X., Zhang, K., Yang, B., "Optimal design of reverse logistics network on e-waste in Shanghai" *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 8(3-4): 209-223 (2011).

Winston, W.L., "Operations Research: Applications And Algorithms 4th ed.", *Thomson*, Belmont, CA, (c2004).

Wojanowski, R., Verter, V., Boyacı, T., "Retail–collection network design under deposit–refund" *Computers & Operations Research*, 34: 324–345 (2007).

Xanthopoulos, A., Iakovou, E., "A strategic methodological optimisation framework for the design of a reverse logistics network with forward supply channel synergies" *International Journal of Logistics Systems and Management*, 7(2): 165-183 (2010).

Xia, S-C. ve Xi, L-F., "Modeling of robust design of remanufacturing logistics networks", *Journal of Dong Hua University*, 22(1): 106-112 (2005).

Yamane, L. H., de Moraes, V.T., Espinosa, D.C.R., Tenório, J.A.S., "Recycling of WEEE: characterization of spent printed circuit boards from mobile phones and computers", *Waste Management*, In Press, (2011).

Yang, T., Ignizio, J.P., Kim, H.J., "Fuzzy programming with nonlinear membership functions: piecewise linear approximation", *Fuzzy Sets and Systems*, 41: 39-53 (1991).

Yano, H., & Sakawa, M., "A fuzzy approach to hierarchical multiobjective programming problems and its application to an industrial pollution control problem" *Fuzzy Sets and Systems*, 160(22): 3309-3322 (2009).

Yao, W., "A network designing method for closed-loop supply chain", *Proceeding Of The 2006 International Conference On Management Of Logistics And Supply Chain*, 252-256 (2006).

Zaarour, N., Melachrinoudis, E. ve Min, H., "Developing the reverse logistics network for product returns" *Proceedings of SPIE-6385 Environmentally Conscious Manufacturing VI*, (2006).

Zhang, Y.M., Huang, G.H., He, L., "An inexact reverse logistics model for municipal solid waste management systems" *Journal of Environmental Management*, 92(3): 522-530 (2011).

Zhao, X., Lee, T., "Developments and emerging research opportunities in operations strategy and supply chain management", *International Journal of Production Economics*, 120(1): 1-4 (2009).

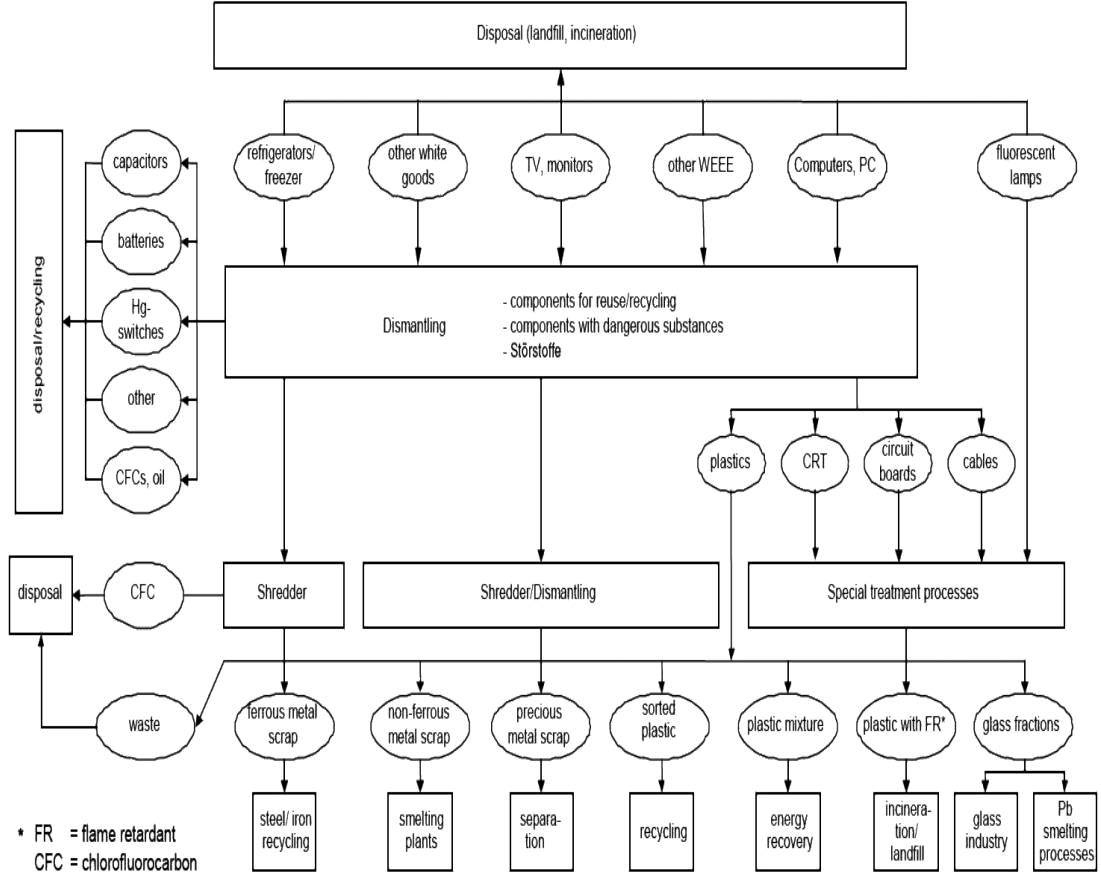
Zimmermann, H.-J., "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", *Fuzzy Sets and Systems*, 1: 45-55 (1978).

Zimmermann, H. J., "Fuzzy Set Theory -and its Applications 4th ed.", *Kluwer Academic Publishers*, Massachusetts, 354 (2001).

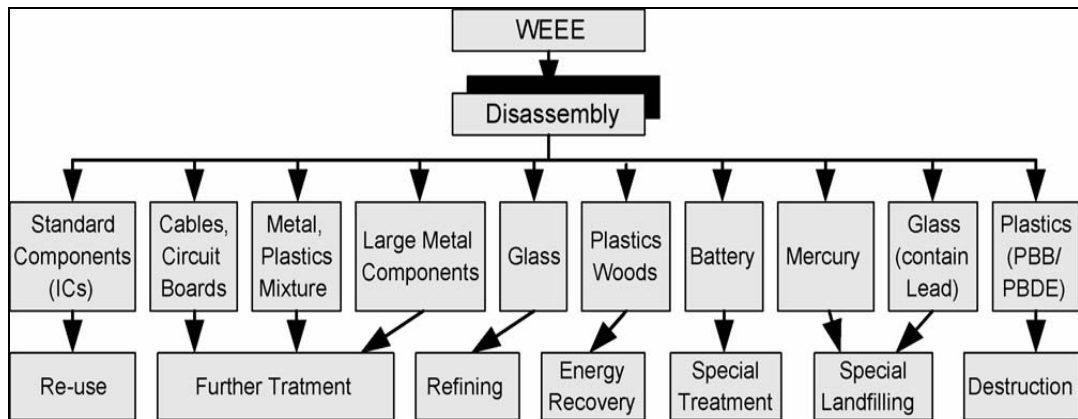
Zimmermann, H.J., "Fuzzy set theory", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2 (3): 317-332 (2010).

EKLER

EK-1 AEEE işleme akış şeması ve geridönüşüm süreci [Rousis ve ark., 2008].



Şekil 1.1. AEEE için işleme akış şeması [Rousis ve ark., 2008].



Şekil 1.2. AEEE geridönüşüm süreci [Rousis ve ark., 2008].

EK-2 Farklı elektronik hurdalar için literatürdeki metal içerik örnekleri ve hesaplanan (%) değer dağılımı

Çizelge 2.1. Farklı elektronik hurdalar için literatürdeki metal içerik örnekleri [Cui ve Zhang, 2008].

Electronic waste	Weight (%)					Weight (ppm)			Refs.
	Fe	Cu	Al	Pb	Ni	Ag	Au	Pd	
TV board scrap	28	10	10	1.0	0.3	280	20	10	[10]
PC board scrap	7	20	5	1.5	1	1000	250	110	[10]
Mobile phone scrap	5	13	1	0.3	0.1	1380	350	210	[10]
Portable audio scrap	23	21	1	0.14	0.03	150	10	4	[10]
DVD player scrap	62	5	2	0.3	0.05	115	15	4	[10]
Calculator scrap	4	3	5	0.1	0.5	260	50	5	[10]
PC mainboard scrap	4.5	14.3	2.8	2.2	1.1	639	566	124	[11]
Printed circuit boards scrap	12	10	7	1.2	0.85	280	110	-	[12]
TV scrap (CRTs removed)	-	3.4	1.2	0.2	0.038	20	<10	<10	[13]
Electronic scrap	8.3	8.5	0.71	3.15	2.0	29	12	-	[14]
PC scrap	20	7	14	6	0.85	189	16	3	[15]
Typical electronic scrap	8	20	2	2	2	2000	1000	50	[16]
E-scrap sample 1	37.4	18.2	19	1.6	-	6	12	-	[17]
E-scrap sample 2	27.3	16.4	11.0	1.4	-	210	150	20	[17]
Printed circuit boards	5.3	26.8	1.9	-	0.47	3300	80	-	[18]
E-scrap (1972 sample)	26.2	18.6	-	-	-	1800	220	30	[8]
E-waste mixture	36	4.1	4.9	0.29	1.0	-	-	-	[19]

Note that “-” denotes not reported.

Çizelge 2.2. Farklı elektronik hurda örnekleri için hesaplanan (%) değer dağılımı [Cui ve Zhang, 2008].

Electronic waste	Value-share (%)								
	Fe	Cu	Al	Pb	Ni	Ag	Au	Pd	Sum of precious metals
Prices ^a (\$/tonne)	300	7736	2475	3580	31150	430000	24490000	11660000	
TV board scrap	4	39	13	2	5	6	25	6	37
PC board scrap	0	16	1	1	3	4	62	13	79
Mobile phone scrap	0	8	0	0	0	5	67	19	91
Portable audio scrap	3	78	1	0	0	3	12	2	17
DVD player scrap	17	35	4	1	1	4	33	4	42
Calculator scrap	1	12	6	0	8	6	64	3	73
PC mainboard scrap	0	6	0	0	2	2	81	8	91
Printed circuit boards scrap	1	19	4	1	6	3	66	-	69
TV scrap (CRTs removed)	-	82	9	2	4	3	-	-	3
Electronic scrap	1	38	1	6	36	1	17	0	18
PC scrap	3	28	18	11	14	4	20	2	26
Typical electronic scrap	0	5	0	0	2	3	87	2	92
E-scrap sample 1	5	60	20	2	-	-	13	-	13
E-scrap sample 2	1	22	5	1	-	2	65	4	70
Printed circuit boards	0	37	1	-	3	25	35	0	60
E-scrap (1972 sample)	1	19	-	-	-	9	66	5	80

^a The metal price data are from London Metal Exchange (LME) official prices for cash seller and settlement on the 24th October, 2007.

EK-2 (Devam) Farklı elektronik hurdalar için literatürdeki metal içerik örnekleri ve hesaplanan (%) değer dağılımı

Çizelge 2.3. Dört farklı AEEE ürününün içerdiği bileşenler (kg olarak) ve bu bileşenlerin ağırlık yüzdeleri (parantezler içinde) [Barba-Gutiérrez ve ark., 2008]

Bileşenler	Çamaşır makinası (60.5 kg)	Buzdolabı (40 kg)	TV (15.6 kg)	Bilgisayar (23 kg)
ABS				3.40 (14.78)
Aluminium	1.21 (2.00)	1.98 (4.94)	0.16 (1.00)	0.32 (1.40)
Bronze				0.04 (0.17)
Cardboard				3.60 (15.65)
Concrete	21.50 (35.54)			
Copper	2.70 (4.46)	0.32 (0.81)	0.47 (3.00)	1.42 (6.18)
Epoxy resin				
Glass		0.34 (0.86)	7.80 (50.00)	3.60 (15.65)
Iron	16.94 (28.00)	25.66 (64.14)	1.72 (11.00)	7.62 (33.11)
Lead				0.05 (0.23)
Magnesium				
Nickel				0.10 (0.43)
Oil and CFC		0.33 (0.83)		
Other Materials			1.87 (12.00)	
Paper				
Phosphorus			0.16 (1.00)	
Plastic	6.05 (10.00)	4.84 (12.09)	3.43 (22)	
Polypropylene				1.22 (5.29)
Polycarbonates				0.55 (2.37)
Polystyrene				
Polyurethane		5.93 (14.83)		
PVC				0.86 (3.75)
Rubber				0.03 (0.12)
Silicon				0.02 (0.07)
Steel (stainless)	10.29 (17.00)			
Textil				
Tin plate				0.08 (0.34)
Water with R11		0.60 (1.50)		
Wood	1.82 (3.00)			
Zinc				0.10 (0.44)

EK-3 Sosyo-kültürel-ekonomik yapı temelinde, ürünlerin sahiplik, geri dönüş oranları/geri dönen ürün sayısı ve ürün taşıma maliyetinin bulunması

Çizelge 3.1. Ürün boyutları, hacim ve ağırlıkları

Ürün	boyutlar (mm3)			hacmi (mm3)	hacmi m3	alınan hacim (m3)	alınan ağırlık (kg)
	166	428	384				
Bilgisayar	166	428	384	2,7E+07	0,0273	0,03	12,17
Cep telefonu	115,5	62,1	12,3	88222,4	9E-05	0,00	0,14
CRT-TV	675	422	470	1,3E+08	0,1339	0,13	14,65
CRT-Monitör	401	378	410	6,2E+07	0,0621	0,06	14,65
Çamaşır Makinası	847	600	590	3E+08	0,2998	0,30	65,00
Yazıcı	361	371	165	2,2E+07	0,0221	0,02	6,53

Çizelge 3.2. Çankaya ilçesi için sosyo-kültürel -ekonomik yapı temelinde ürünlerin sahiplik ve geri dönüş oranları / geri dönen ürün sayısının bulunması (*)

Ürün	İlçedeki hane sayısı	Ankara'daki ürün sahiplik oranı	(İlçe/Ankara) eğitim-gelir oranı	İlçenin sahiplik oranı	İlçenin ürün sahiplik adeti	Ankara'daki geri dönüş oranı	İlçenin geri dönüş oranı	İlçede geri dönen ürün sayısı	İlçede geri dönen ürün ağırlığı (kg)	İlçede geri dönen ürün hacmi (m3)
Bilgisayar*	185480	0,35	2,37	0,83	153629	0,15	0,35	54535	663691	1636,05
Cep telefonu	185480	0,88	2,37	0,88	163223	0,7	1,66	270387	37854,18	24,33
CRT-TV	185480	0,7	2,37	0,7	129836	0,2	0,47	61452	900271,8	8234,57
CRT-Monitör*	185480	0,35	2,37	0,83	153629	0,2	0,47	72713	1065245	4508,21
Çamaşır Makinası	185480	0,9	2,37	0,9	166932	0,2	0,47	79009	5135585	23702,7
Yazıcı*	185480	0,3	2,37	0,71	131682	0,15	0,35	46744	305238,3	1028,37

Çizelge 3.3. Ürün taşıma maliyetinin bulunması

Ürün	alınan hacim m3	alınan ağırlık kg	1 m3 ünü 1 km tasımanın toplam maliyeti	1 m3 ünü elleçlemenin maliyeti	1 m3 için taşıma ile ilgili toplam maliyet	bir birimini 1 km tasımanın maliyeti	bir bir elleçleme maliyeti	bir bir için 1 km taşımanın toplam maliyeti t/parça*km
Bilgisayar*	0	12	0,05	6,67	6,71	0	0,20	0,20
Cep telefonu	0	0	0,05	6,67	6,71	0	0,00	0,00
CRT-TV	0	15	0,05	6,67	6,71	0	0,89	0,90
CRT-Monitör*	0	15	0,05	6,67	6,71	0	0,41	0,42
Çamaşır Makinası	0	65	0,05	6,67	6,71	0	2,00	2,01
Yazıcı*	0	7	0,05	6,67	6,71	0	0,15	0,15

EK-3 (Devam) Sosyo-kültürel-ekonomik yapı temelinde, ürünlerin sahiplik, geri dönüş oranları/geri dönen ürün sayısı ve ürün taşıma maliyetinin bulunması

* : Geri dönüş oranı, bütün ürünler; sahiplik oranı, sadece üzerine * konulan ürünler için; gelir-eğitim seviyesine göre değişmektedir.

Taşıma ile ilgili toplam maliyetin ve birim maliyetlerin ürün bazında hesaplanması

Euro dizel ortalama litre fiyatı=3,67 TL, kamyon 30m³ alınmıştır. 30 m³'lük kamyon, tam yüklü iken 100 km'de 30 lt, 1 km'de=1,101 TL mazot (motorin/dizel) tüketir. Kamyonculara 10.0001-15000 kg arası için verilen katsayı 1,413 t/km, biz 1,4 Tl/km aldık; taşıma maliyeti, $1,4/30=0,046$ t/1 km*m³'dür. Ayrıca 200 tl yükleme, istif, boşaltma ve tekrar istif için işçilik ve forklift maliyeti eklenmiştir, elleçleme maliyeti, 6,66 t/m³'dür ve k dan i ye ile i den j ye için eşittir

EK-4 Küçük model (KM) Gams kodu

\$Title A Reverse Logistics Network Design Problem

\$Ontext

Bu model toplam maliyeti min yapmayı amaçlayan yerlesim-sebeke problemidir.

\$Offtext

Sets

k müşteri /1*3/
 i toplama tes. /1*3/
 j isleme tes. /1*3/
 n isl tes kap sev /1,2,3/
 l top tes kap sev /1*8/
 m urun /1,2,3,4,5,6/;

Parameter R(m,k) her bir k daki kg cinsinden m urunu atik kapasitesi

/1	.1	=	20
2	.1	=	896
3	.1	=	204
4	.1	=	27
5	.1	=	262
6	.1	=	18
1	.2	=	7886
2	.2	=	70500
3	.2	=	16023
4	.2	=	10514
5	.2	=	20601
6	.2	=	6759
1	.3	=	2869
2	.3	=	12342
3	.3	=	2805
4	.3	=	1339
5	.3	=	3607
6	.3	=	861/;

Parameter c1(m,k,i) k dan i ye m den bir parca 1 km tas ve el mal

/1	.1	.1	=	0
1	.1	.2	=	0.20
1	.1	.3	=	0.20
2	.1	.1	=	0
2	.1	.2	=	0.0006
2	.1	.3	=	0.0006
3	.1	.1	=	0
3	.1	.2	=	0.90
3	.1	.3	=	0.90
4	.1	.1	=	0
4	.1	.2	=	0.42
4	.1	.3	=	0.42
5	.1	.1	=	0
5	.1	.2	=	2.01

EK-4 (Devam) Küçük model (KM) Gams kodu

5	.1	.3	=	2.01
6	.1	.1	=	0
6	.1	.2	=	0.15
6	.1	.3	=	0.15
1	.2	.1	=	0.20
1	.2	.2	=	0
1	.2	.3	=	0.20
2	.2	.1	=	0.0006
2	.2	.2	=	0
2	.2	.3	=	0.0006
3	.2	.1	=	0.90
3	.2	.2	=	0
3	.2	.3	=	0.90
4	.2	.1	=	0.42
4	.2	.2	=	0
4	.2	.3	=	0.42
5	.2	.1	=	2.01
5	.2	.2	=	0
5	.2	.3	=	2.01
6	.2	.1	=	0
6	.2	.2	=	0.15
6	.2	.3	=	0.15
1	.3	.1	=	0
1	.3	.2	=	0.20
1	.3	.3	=	0.20
2	.3	.1	=	0
2	.3	.2	=	0.0006
2	.3	.3	=	0.0006
3	.3	.1	=	0
3	.3	.2	=	0.90
3	.3	.3	=	0.90
4	.3	.1	=	0
4	.3	.2	=	0.42
4	.3	.3	=	0.42
5	.3	.1	=	0
5	.3	.2	=	2.01
5	.3	.3	=	2.01
6	.3	.1	=	0
6	.3	.2	=	0.15
6	.3	.3	=	0.15/;

Parameter $c2(m,i,j)$ i den j ye m den bir parca 1 km tas ve elc mal

/1	.1	.1	=	0
1	.1	.2	=	0.20
1	.1	.3	=	0.20
2	.1	.1	=	0

EK-4 (Devam) Küçük model (KM) Gams kodu

2	.1	.2	=	0.0006
2	.1	.3	=	0.0006
3	.1	.1	=	0
3	.1	.2	=	0.90
3	.1	.3	=	0.90
4	.1	.1	=	0
4	.1	.2	=	0.42
4	.1	.3	=	0.42
5	.1	.1	=	0
5	.1	.2	=	2.01
5	.1	.3	=	2.01
6	.1	.1	=	0
6	.1	.2	=	0.15
6	.1	.3	=	0.15
1	.2	.1	=	0.20
1	.2	.2	=	0
1	.2	.3	=	0.20
2	.2	.1	=	0.0006
2	.2	.2	=	0
2	.2	.3	=	0.0006
3	.2	.1	=	0.90
3	.2	.2	=	0
3	.2	.3	=	0.90
4	.2	.1	=	0.42
4	.2	.2	=	0
4	.2	.3	=	0.42
5	.2	.1	=	2.01
5	.2	.2	=	0
5	.2	.3	=	2.01
6	.2	.1	=	0
6	.2	.2	=	0.15
6	.2	.3	=	0.15
1	.3	.1	=	0
1	.3	.2	=	0.20
1	.3	.3	=	0.20
2	.3	.1	=	0
2	.3	.2	=	0.0006
2	.3	.3	=	0.0006
3	.3	.1	=	0
3	.3	.2	=	0.90
3	.3	.3	=	0.90
4	.3	.1	=	0
4	.3	.2	=	0.42
4	.3	.3	=	0.42
5	.3	.1	=	0

EK-4 (Devam) Küçük model (KM) Gams kodu

5 .3 .2 = 2.01
 5 .3 .3 = 2.01
 6 .3 .1 = 0
 6 .3 .2 = 0.15
 6 .3 .3 = 0.15/;

Table d1(k,i) k ve i arasi mesafe km

	1	2	3
1	0	60	37
2	59	0	20
3	37	19	0;

Table d2(i,j) i ve j arasi mesafe km

	1	2	3
1	0	60	37
2	59	0	20
3	37	19	0;

Parameter fc(l,i) l hacim kap sev de i top tes acmanin sabit mal TL

/1	.1	=	187000
1	.2	=	187000
1	.3	=	187000
2	.1	=	281000
2	.2	=	281000
2	.3	=	281000
3	.1	=	351000
3	.2	=	351000
3	.3	=	351000
4	.1	=	439000
4	.2	=	439000
4	.3	=	439000
5	.1	=	549000
5	.2	=	549000
5	.3	=	549000
6	.1	=	686000
6	.2	=	686000
6	.3	=	686000
7	.1	=	858000
7	.2	=	858000
7	.3	=	858000
8	.1	=	1072000
8	.2	=	1072000
8	.3	=	1072000/;

EK-4 (Devam) Küçük model (KM) Gams kodu

Parameter ft(n,j) n agirlik kap sev de j isl tesisi acmanin sabit mal

/1	.1	=	2625000
1	.2	=	2625000
1	.3	=	2625000
2	.1	=	3500000
2	.2	=	3500000
2	.3	=	3500000
3	.1	=	4500000
3	.2	=	4500000
3	.3	=	4500000/;

Parameter h(l) her bir i deki m3 cinsinden kapasite seviyesi

/ 1	=	25000
2	=	50000
3	=	75000
4	=	100000
5	=	125000
6	=	150000
7	=	175000
8	=	200000/;

Parameter q(n) her bir j deki kg cinsinden kapasite seviyesi

/1	=	5600000
2	=	11800000
3	=	17200000/;

Parameter cd(m) m urunun tasima dahil kg imha maliyeti TL

/1	=	1.27
2	=	1.27
3	=	1.27
4	=	1.27
5	=	1.27
6	=	1.27/;

Parameter ct(m) m urun kg ni isl ilg top mal TL

/1	=	0.38
2	=	10.21
3	=	0.50
4	=	0.50
5	=	0.21
6	=	0.28/;

Parameter rev(m) m islenmis rafinerilere bir kg satistan gelir TL

/ 1	=	5.06
2	=	199.08
3	=	0.41
4	=	0.41
5	=	0.63
6	=	1.37/;

EK-4 (Devam) Küçük model (KM) Gams kodu

Parameter	v(m)	m urunun br hacmi m3 olarak
/ 1	=	0.03
2	=	0.00009
3	=	0.134
4	=	0.062
5	=	0.3
6	=	0.022/;
Parameter	w(m)	m urunun br ağırlığı kg olarak
/ 1	=	12.17
2	=	0.14
3	=	14.65
4	=	14.65
5	=	65
6	=	6.53/;
Parameter	alpha(m)	m urununden max isl oranı ag in yuzde olarak
/1	=	0.95
2	=	0.98
3	=	0.85
4	=	0.85
5	=	0.92
6	=	0.95/;
Parameter	beta(m)	m urununden min isl oranı ag in yuzde olarak
/ 1	=	0.65
2	=	0.65
3	=	0.65
4	=	0.65
5	=	0.75
6	=	0.65/;
Parameter	e(m)	m urununden min top oranı ag in yuzde olarak
/ 1	=	0.90
2	=	0.90
3	=	0.75
4	=	0.75
5	=	0.80
6	=	0.90/;
Parameter	prc(m)	m urunun hurdasının kg fiyatı
/1	=	1.81
2	=	35.71
3	=	0.55
4	=	0.68
5	=	0.51
6	=	1.23/;
Parameter	cdem(m)	m urunun demontajda kg sökme maliyeti TL
/1	=	0.099
2	=	0.126

EK-4 (Devam) Küçük model (KM) Gams kodu

3 = 0.211
 4 = 0.211
 5 = 0.126
 6 = 0.058/;

Variables

xref(m,j) m atik urununden j de isl ve raf e satilan miktar kg
 xdis(m,j) m atik urununden j den imha tes e gond miktar kg
 x1(m,k,i) k musteri m urun i toplama tes tasinan urun adeti
 x2(m,i,j) m urunu i toplama tes den j isleme tes tasinan urun adeti
 yc(l,i) l sev de i toplama tes acma binary degiskeni
 yt(n,j) n sev de j isleme tes acma binary degiskeni
 z1 1 inci amac fonk icin tl cins top mal min
 z2 2 inci amac but m k dan but i gelen mikt max
 z3 3 uncu amac but j isl tes nin top bos kap nin min
 z4 4 uncu amac min dis mikt
 z5 5 inci amac raf egid mikt mak;

Free Variables z1, z2, z3, z4, z5;

Positive Variables xref(m,j), xdis(m,j), x1(m,k,i), x2(m,i,j);

Binary Variables yc(l,i) , yt(n,j);

Equations

cost 1 inci amac fonk top mal min
 maxq miktar max
 minbkapisl isl tes top bos kap nin min
 mindis but m ve j lerdan imhaya gidedecek top mikt min
 maxref but m ve j lerdan raf e gid mikt mak
 max(m,k) m urunun k musteri bolg ki kapasitesi
 mintop(m,k) m urun k musteriden min top agirlik olarak
 hacim(i) i top tesislerinin kapasitesi metrekup
 kapasite(j) j isl tesislerinin kapasitesi kilogram
 denge1(m,i) akis dengesi
 denge2(m,j) akis dengesi
 refmax(m,j) max ref a giden miktar
 refmin(m,j) min ref a giden miktar
 dismax(m,j) max disp a gid
 dismin(m,j) min disp a gid
 maxtt(i) sadece bir sev ki kap den i top tes acil
 maxit(j) sadece bir sev ki kap den j isl tes acil;
 cost.. z1=e= **sum**((l,i), fc(l,i)* yc(l,i))
 +**sum**((n,j), ft(n,j)* yt(n,j))
 +**sum**((m,k,i), x1(m,k,i)* c1(m,k,i)*d1(k,i)/w(m))
 +**sum**((m,i,j), x2(m,i,j)* c2(m,i,j)*d2(i,j)/w(m))

EK-4 (Devam) Küçük model (KM) Gams kodu

```

+sum((m,j), xdis(m,j)* cd(m))
+sum((m,j), xdis(m,j)*cdem(m))
+sum((m,j), xref(m,j)* ct(m))
+sum((m,k,i), x1(m,k,i)*prc(m))
-sum((m,j), xref(m,j)* rev(m));
maxq.. z2=e=sum((m,k,i), x1(m,k,i));
minbkapisl.. z3=e= sum((n,j), q(n)*yt(n,j))
-sum((m,j), xref(m,j));
mindis.. z4=e=sum ((m,j), xdis(m,j));
maxref.. z5 =e= sum ((m,j), xref(m,j));
max(m,k).. sum(i, x1(m,k,i))=l=R(m,k)*w(m);
mintop(m,k).. sum(i, x1(m,k,i))=g=e(m)*R(m,k)*w(m);
hacim(i).. sum((m,k), x1(m,k,i)*v(m)/w(m))=l=sum(l, h(l)*yc(l,i));
kapasite(j).. sum(m, xref(m,j))=l=sum (n, q(n)*yt(n,j));
denge1(m,i).. sum(k, x1(m,k,i))=e=sum(j, x2(m,i,j));
denge2(m,j).. sum(i, x2(m,i,j))=e=xref(m,j)+xdis(m,j);
refmax(m,j).. xref(m,j)=l=alpha(m)*sum (i, x2(m,i,j));
refmin(m,j).. xref(m,j)=g=beta(m)*sum (i, x2(m,i,j));
dismax(m,j).. xdis(m,j)=l=(1-beta(m))*sum (i, x2(m,i,j));
dismin(m,j).. xdis(m,j)=g=(1-alpha(m))*sum (i, x2(m,i,j));
maxtt(i).. sum(l, yc(l,i))=l=1;
maxit(j).. sum(n, yt(n,j))=l=1;
Model rnm /all/;
rnm.reslim=10000000000000000000;
rnm.iterlim=1000000000;
rnm.optcr=0;
rnm.workspace=100000;
rnm.scaleopt=1;
cost.scale=2000000;
z1.scale=cost.scale;
maxq.scale=1000000;
z2.scale=maxq.scale;
minbkapisl.scale=1000000;
z3.scale=minbkapisl.scale;
mindis.scale=1000000;
z4.scale=mindis.scale;
maxref.scale=1000000;
z5.scale=maxref.scale;
x1.scale(m,k,i)=1000000;
x2.scale(m,i,j)=1000000;
xdis.scale(m,j)=1000000;
xref.scale(m,j)=1000000;
max.scale(m,k)=20000;
x1.scale(m,k,i)=max.scale(m,k);
mintop.scale(m,k)=20000;

```

EK-4 (Devam) Küçük model (KM) Gams kodu

```

x1.scale(m,k,i)=mintop.scale(m,k);
hacim.scale(i)=4000;
x1.scale(m,k,i)=hacim.scale(i);
kapasite.scale(j)=1000000;
x2.scale(m,i,j)=kapasite.scale(j);
denge1.scale(m,i)= 1000000;
x1.scale(m,k,i)= denge1.scale(m,i);
x2.scale(m,i,j)= denge1.scale(m,i);
denge2.scale(m,j) =1000000;
x2.scale(m,i,j)= denge2.scale(m,j);
xref.scale(m,j)= denge2.scale(m,j);
xdis.scale(m,j)= denge2.scale(m,j);
refmax.scale(m,j) =1000000;
xref.scale(m,j)= refmax.scale(m,j);
x2.scale(m,i,j)= refmax.scale(m,j);
refmin.scale(m,j) =1000000;
xref.scale(m,j)= refmin.scale(m,j);
x2.scale(m,i,j)= refmin.scale(m,j);
dismax.scale(m,j) =1000000;
xdis.scale(m,j)= dismax.scale(m,j);
x2.scale(m,i,j)= dismax.scale(m,j);
dismin.scale(m,j) =1000000;
xdis.scale(m,j)= dismin.scale(m,j);
x2.scale(m,i,j)= dismin.scale(m,j);
Option Dispwidth=15;
Option Decimals=0;
Solve rnm using mip minimizing z1;
Display x1.l,x2.l,xref.l,xdis.l,yc.l,yt.l,
x1.m,x2.m,xref.m,xdis.m,yc.m,yt.m;
Solve rnm using mip maximizing z2;
Display x1.l,x2.l,xref.l,xdis.l,yc.l,yt.l,
x1.m,x2.m,xref.m,xdis.m,yc.m,yt.m;
Solve rnm using mip minimizing z3;
Display x1.l,x2.l,xref.l,xdis.l,yc.l,yt.l,
x1.m,x2.m,xref.m,xdis.m,yc.m,yt.m;
Solve rnm using mip minimizing z4;
Display x1.l,x2.l,xref.l,xdis.l,yc.l,yt.l,
x1.m,x2.m,xref.m,xdis.m,yc.m,yt.m;
Solve rnm using mip maximizing z5;
Display x1.l,x2.l,xref.l,xdis.l,yc.l,yt.l,
x1.m,x2.m,xref.m,xdis.m,yc.m,yt.m;

```

EK-5 Farklı öncelik yapıları için çözümler

EK-5'deki Çizelge 5.1.'de, Önceliği Koruma Yöntemiyle, amaçların optimizasyonu için yapılan çözümler özet olarak sunulmaktadır. Çizelgelerde, karelerdeki 1,2,3,4,5, sayıları amaç numarasını göstermektedir. Soldan sağa doğru öncelik azalmaktadır (örneğin, 12345 için en yüksek öncelik 1, en düşük öncelik 5 no'lu amaçlarıdır). İlk öncelikli amaçlar için, GF sıfır alınmış, yani GF'sız, takip eden amaçlar için, $gf=optcr=0.3$ alınarak çözüm yapılmıştır. Çözüm sonucu bulunan GF değerleri % olarak çizelgelerde verilmiştir. AFD, amaç fonksiyonu değeri; CPU, çözüm süresi (sn); İS, iterasyon sayısı; GF, göreceli fark; TTHS, toplama tesislerinin hacim seviyeleri; TTAY(T), toplama tesislerinin açıldıkları yerler (toplam sayısı); İTKS, işleme tesisleri kapasite seviyeleri; İTAY(T):işleme tesislerinin açıldıkları yerleri (toplam sayısı)'nı göstermektedir. Örneğin, Çizelgede, TTHS; 4, 2,.....,3,.....,4 ve TTAY(T); 3, 8,.....,19,.....,25 (25) olması, 3 ve 8 yerlerinde sırayla 4 ve 2; 9-18 yerlerinin her birinde 1; 19 yerinde 3; 20-24 yerlerinin her birinde 1 ve 25 yerinde 4 hacim seviyesinde tesis açılacağını göstermektedir. Kolaylık sağlamak amacıyla, TTHS'deki noktalar 1 kapasite seviyesini, TTAY(T)'deki noktalar ardışık yerleri göstermek için kullanılmış, 1'den farklı kapasite seviyesini belirtmek için noktalar kullanılmamış, onun yerine açılan kapasiteyi gösteren sayı yazılmıştır. Bütün bu ifade edilenler, işleme tesisleri için de geçerli olup, Çizelgeler okunup yorumlanırken buna dikkat edilmelidir.

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	1	-2 408 061,2488	3	2 307 148,4191	2	16 570 930,0987	4	1 478 078,5178	5	15 092 851,5812				
CPU		4,250	54,796	32,468		162,515				34,015				
İS		13 334	515 964	149 196		833 759				128 060				
GF		0,000000	0,109422	0,034562		0,000000				0,000000				
TTHS		1, 2, 2	1,2, 2	2,1, 2		2,1, 2				1,2, 2				
TTAY (T)		3, 8, 11 (3)	3, 8, 11 (3)	8, 9,11 (3)		8, 9,11 (3)				3, 8, 11 (3)				
İTKS		1, 2	1, 2	1, 2		1, 2				1, 2				
İTAY (T)		8, 11 (2)	8, 11 (2)	8, 11 (2)		8, 11 (2)				8, 11 (2)				
AFD							5	15 092 851,5809	4	1 478 078,5178				
CPU								32,140		49,093				
İS								169 543		256 272				
GF								0,030364		0,000000				
TTHS								1,2, 2		1,2, 2				
TTAY (T)								3, 8, 11 (3)		3, 8, 11 (3)				
İTKS								1, 2		1, 2				
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)				
AFD					4	1 478 078,5178	2	16 570 930,0990	5	15 092 851,5812				
CPU						292,703		40,687		22,281				
İS						1 700 111		140 453		76 061				
GF						0,000000		0,000000		0,000000				
TTHS						2,1, 2		2,1, 2		2,1, 2				
TTAY (T)						8, 9,11 (3)		3, 8, 11 (3)		8, 9,11 (3)				
İTKS						1, 2		1, 2		1, 2				
İTAY (T)						8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)				
AFD									5	15 092 851,5812	2	16 570 930,0990		
CPU								30,718		68,234				
İS								119 131		279 051				
GF								0,000000		0,000000				
TTHS								1,2, 2		1,2, 2				
TTAY (T)								3, 8, 11 (3)		3, 8, 11 (3)				
İTKS								1, 2		1, 2				
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)				
AFD									5	15 092 851,5809	2	16 570 930,0987	4	1 478 078,5178
CPU								40,609		36,000		49,062		
İS								223 309		179 238		256 272		
GF								0,041411		0,030951		0,000000		
TTHS								1,2, 2		2,1, 2		1,2, 2		
TTAY (T)								3, 8, 11 (3)		8, 9,11 (3)		3, 8, 11 (3)		
İTKS								1, 2		1, 2		1, 2		
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		
AFD									4	1 478 078,5178	2	16 570 930,0990		
CPU								373,968		68,828				
İS								2 087 189		279 435				
GF								0,000000		0,000000				
TTHS								1,2, 2		1,2, 2				
TTAY (T)								3, 8, 11 (3)		3, 8, 11 (3)				
İTKS								1, 2		1, 2				
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)				

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	1	-2 408 061,2488	4	1 478 078,5413	2	16 570 930,0987	3	2 307 148,2192	5	15 092 851,5809			
CPU		4,250		35,765		123,484		510,171		23,421			
İS		13 334		60 949		512 053		3 180 141		88 387			
GF		0,000000		0,002398		0,000000		0,000000		0,000000			
TTHS		1, 2, 2		1, 2, 2		2, 1, 2		2, 1, 2		1, 2, 2			
TTAY (T)		3, 8, 11 (3)		3, 8, 11 (3)		8, 9, 11 (3)		8, 9, 11 (3)		3, 8, 11 (3)			
İTKS		1, 2		1, 2		1, 2		1, 2		1, 2			
İTAY (T)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)			
AFD							3	15 092 852,0277	3	2 307 147,9333			
CPU								70,000		110,406			
İS								260 855		514 068			
GF								0,000000		0,000000			
TTHS								1, 2, 2		2, 1, 2			
TTAY (T)								3, 8, 11 (3)		8, 9, 11 (3)			
İTKS								1, 2		1, 2			
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)			
AFD						3	2 307 148,4191	2	16 570 930,0987	5	15 092 860,9637		
CPU								242,984		43,000	27,500		
İS								1 424 157		155 350	101 645		
GF								0,000000		0,000000	0,000000		
TTHS								1, 2, 2		2, 1, 2	2, 1, 2		
TTAY (T)								3, 8, 11 (3)		8, 9, 11 (3)	8, 9, 11 (3)		
İTKS								1, 2		1, 2	1, 2		
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)	8, 11 (2)		
AFD								3	15 092 851,5809	2	16 570 930,0987		
CPU								15,734		55,218			
İS								48 648		230 159			
GF								0,000000		0,000000			
TTHS								2, 1, 2		1, 2, 2			
TTAY (T)								8, 9, 11 (3)		3, 8, 11 (3)			
İTKS								1, 2		1, 2			
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)			
AFD								5	15 092 851,4908	2	16 570 930,0958	3	2 307 148,1806
CPU								46,156		49,906	145,687		
İS								176 698		181 311	845 143		
GF								0,000000		0,000000	0,000000		
TTHS								2, 1, 2		1, 2, 2	1, 2, 2		
TTAY (T)								8, 9, 11 (3)		3, 8, 11 (3)	3, 8, 11 (3)		
İTKS								1, 2		1, 2	1, 2		
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)	8, 11 (2)		
AFD								3	2 307 148,4191	2	16 570 930,0987		
CPU								293,906		55,265			
İS								1 786 268		230 111			
GF								0,000000		0,000000			
TTHS								1, 2, 2		1, 2, 2			
TTAY (T)								3, 8, 11 (3)		3, 8, 11 (3)			
İTKS								1, 2		1, 2			
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)			

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	1	-2 408 061,2488	5	15 092 851,5809	2	16 570 930,0987	3	2 307 148,4191	4	1 478 078,5178
CPU		4,250	21,812	27,406	49,046	49,125				
İS		13 334	55 044	120 046	282 779	256 272				
GF		0,000000	0,011308	0,030296	0,221678	0,000000				
TTHS		1, 2, 2	1, 2, 2	1, 2, 2	2, 1, 2	1, 2, 2				
TTAY (T)		3, 8, 11 (3)	9, 8, 11 (3)	3, 8, 11 (3)	8, 9, 11 (3)	3, 8, 11 (3)				
İTKS		1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2				
İTAY (T)		8, 11 (2)	8, 11 (2)	8, 11 (2)	8, 11 (2)	8, 11 (2)				
AFD					4	1 478 078,5178	3	2 307 148,4188		
CPU					46,437	114,453				
İS					169 801	551 429				
GF					0,000000	0,000000				
TTHS					2, 1, 2	2, 1, 2				
TTAY (T)					8, 9, 11 (3)	8, 9, 11 (3)				
İTKS					1, 2	1, 2				
İTAY (T)					8, 11 (2)	8, 11 (2)				
AFD					3	2 307 148,4191	2	16 570 930,0987	4	1 478 078,5178
CPU					47,859	35,937	49,078			
İS					262 102	179 238	256 272			
GF					0,293607	0,030951	0,000000			
TTHS					1, 2, 2	2, 1, 2	1, 2, 2			
TTAY (T)					3, 8, 11 (3)	8, 9, 11 (3)	3, 8, 11 (3)			
İTKS					1, 2	1, 2	1, 2			
İTAY (T)					8, 11 (2)	8, 11 (2)	8, 11 (2)			
AFD					4	1 478 078,5178	2	16 570 930,0990		
CPU					373,890	69,437				
İS					2 087 189	279 435				
GF					0,000000	0,000000				
TTHS					1, 2, 2	1, 2, 2				
TTAY (T)					3, 8, 11 (3)	3, 8, 11 (3)				
İTKS					1, 2	1, 2				
İTAY (T)					8, 11 (2)	8, 11 (2)				
AFD					4	1 478 078,5178	2	16 570 930,0990	3	2 307 148,4188
CPU					77,531	61,921	111,437			
İS					330 155	237 666	564 722			
GF					0,000000	0,000000	0,000000			
TTHS					1, 2, 2	1, 2, 2	2, 1, 2			
TTAY (T)					3, 8, 11 (3)	3, 8, 11 (3)	8, 9, 11 (3)			
İTKS					1, 2	1, 2	1, 2			
İTAY (T)					8, 11 (2)	8, 11 (2)	8, 11 (2)			
AFD					3	2 307 148,4188	2	16 570 930,0990		
CPU					94,296	38,046				
İS					507 962	128 897				
GF					0,000000	0,000000				
TTHS					1, 2, 2	2, 1, 2				
TTAY (T)					3, 8, 11 (3)	8, 9, 11 (3)				
İTKS					1, 2	1, 2				
İTAY (T)					8, 11 (2)	8, 11 (2)				

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	2	20 451 568,2000	3	0,0000	1	2 483 028,1347	4	3 051 568,2000	5	17 400 000,0000
CPU		0,234		0,375		4,296		121,984		120,046
İS		4 673		917		11 233		525 632		562 564
GF		0,000000		0,000003		0,298281		0,000000		0,000000
TTHS		1,.....,8		1,.....,1		1,2, 2		2,1, 2		1,2, 2
TTAY (T)		1,.....,25 (25)		1,.....,25 (25)		3, 8, 11 (3)		8, 9,11 (3)		3, 8, 11 (3)
İTKS		1,....,3,....,1		3		1, 2		1, 2		1, 2
İTAY (T)		1,....,8,....,25 (25)		14 (1)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD							3	17 400 000,0000	4	3 051 568,2000
CPU								210,156		124,687
İS								982 395		556 093
GF								0,000000		0,000000
TTHS								2,1, 2		1,2, 2
TTAY (T)								8, 9,11 (3)		3, 8, 11 (3)
İTKS								1, 2		1, 2
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD					4	3 051 568,2000	1	3 117 138,9909	5	17 400 000,0000
CPU								923,343		7,750
İS								5 247 936		29 013
GF								0,210230		0,297338
TTHS								6,.....,1		4, 4, 4
TTAY (T)								1,.....,25 (25)		2, 8, 11 (3)
İTKS								2, 1		1, 2
İTAY (T)								3, 16 (2)		8, 11 (2)
AFD							3	17 400 000,0000	1	2 664 061,5699
CPU								4,500		7,046
İS								18 534		25 295
GF								0,068359		0,298764
TTHS								1,.....,1		1, 1, 1, 2
TTAY (T)								1,.....,25 (25)		2, 8, 9, 11 (4)
İTKS								2, 1		1, 2
İTAY (T)								10, 25 (2)		8, 11 (2)
AFD					5	17 200 000,0000	1	2 758 061,5699	4	3 051 568,2000
CPU								0,312		7,062
İS								1 286		22 498
GF								0,080782		0,180233
TTHS								1,.....,1		1, 2, 1, 2
TTAY (T)								1,.....,25 (25)		2, 3, 8, 11 (4)
İTKS								3		1, 2
İTAY (T)								14 (1)		8, 11 (2)
AFD							4	3 051 568,2000	1	2 664 061,5699
CPU								802,953		6,953
İS								5 008 176		25 293
GF								0,169423		0,299661
TTHS								1,.....,1		1, 1, 1, 2
TTAY (T)								1,.....,25 (25)		2, 8, 9, 11 (4)
İTKS								2, 1		1, 2
İTAY (T)								15, 23 (2)		8, 11 (2)

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	2	20 451 568,2000	4	1 862 113,7116	1	425 133,9014	3	5 010 545,5116	5	18 589 454,4884	
CPU		0,234		0,515		2,468		74,234		11,937	
İS		4 673		2 037		4 512		396 858		34 033	
GF		0,000000		0,000000		0,282165		0,000000		0,000000	
TTHS		1,.....,8		8,1,1,.....,1		2, 2		2, 2		2, 2	
TTAY (T)		1,.....,25 (25)		1, 2, 3,.....,25 (25)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)	
İTKS		1,.....,3,.....,1		1, 1,.....,1		2, 2		2, 2		2, 2	
İTAY (T)		1,.....,8,.....,25 (25)		1, 2,.....,25 (25)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)	
AFD							3	18 589 454,4884	3	5 010 545,5116	
CPU								21,062		58,703	
İS								65 379		319 267	
GF								0,000000		0,280987	
TTHS								2, 2		2, 2	
TTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)	
İTKS								2, 2		2, 2	
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)	
AFD					3	3 810 545,5116	1	3 080 255,1096	5	18 589 454,4884	
CPU						2 745,968		15,671		114,656	
İS						21 779 264		60 242		430 056	
GF						0,000000		0,299948		0,000000	
TTHS						3,.....,3,.....,1		2, 2, 2, 1		2, 2, 2, 1	
TTAY (T)						1,.....,16,.....,25 (25)		8, 10, 11, 12 (4)		8, 10, 11, 12 (4)	
İTKS						1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1	
İTAY (T)						8, 16, 20, 21 (4)		8, 10, 11, 12 (4)		8, 10, 11, 12 (4)	
AFD								3	18 589 454,4884	1	2 986 255,1096
CPU								30,531		20,468	
İS								159 712		79 513	
GF								0,000000		0,292311	
TTHS								1, 1,.....,3,.....,1		2, 1, 2, 1	
TTAY (T)								(25)		8, 10, 11, 12 (4)	
İTKS								1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1	
İTAY (T)								1, 10, 11, 21 (4)		8, 10, 11, 12 (4)	
AFD					5	18 589 454,4884	1	425 133,9014	3	5 010 545,5116	
CPU						0,375		2,656		58,687	
İS						6 432		4 985		319 267	
GF						0,000000		0,282933		0,280987	
TTHS						8, 1, 1,.....,1		2, 2		2, 2	
TTAY (T)						1, 2, 3,.....,25 (25)		8, 11 (2)		8, 11 (2)	
İTKS						1, 3,.....,1		2, 2		2, 2	
İTAY (T)						1, 2,.....,25 (25)		8, 11 (2)		8, 11 (2)	
AFD								3	3 810 545,5116	1	2 986 255,1096
CPU								2 442,656		20,468	
İS								21 121 985		79 513	
GF								0,000000		0,292311	
TTHS								1,.....,1		2, 1, 2, 1	
TTAY (T)								1,.....,25 (25)		8, 10, 11, 12 (4)	
İTKS								1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1	
İTAY (T)								1, 8, 20, 21 (4)		8, 10, 11, 12 (4)	

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	2	20 451 568,2000	5	18 589 454,4884	1	425 133,9014	3	5 010 545,5116	4	1 862 113,7116
CPU		0,234		0,421		7,328		54,750		26,437
İS		4 673		2 344		19 122		313 764		92 394
GF		0,000000		0,000000		0,256565		0,000000		0,000000
TTHS		1,.....,8		1,1,....,1		2, 2		2, 2		2, 2
TTAY (T)		1,.....,25 (25)		1, 2, ...,25 (25)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)
İTKS		1,....,3,....,1		1, 1,....,3,....,1		2, 2		2, 2		2, 2
İTAY (T)		1,....,8,....,25 (25)		1, 2, ...,14, ...,25 (25)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD							4	1 862 113,7116	3	5 010 545,5116
CPU								47,765		58,687
İS								189 401		319 267
GF								0,000000		0,280987
TTHS								2, 2		2, 2
TTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)
İTKS								2, 2		2, 2
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD					3	3 810 545,5116	1	2 986 255,1096	4	1 862 113,7116
CPU						2 564,843		19,765		90,609
İS						22 234 958		82 777		363 151
GF						0,000000		0,296022		0,000000
TTHS						1, 1, 1,....,1		2, 1, 2, 1		2, 1, 2, 1
TTAY (T)						1, 2, 3,....,25 (25)		8, 10, 11, 12 (4)		8, 10, 11, 12 (4)
İTKS						1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1
İTAY (T)						14, 15, 16, 18 (4)		8, 10, 11, 12 (4)		8, 10, 11, 12 (4)
AFD							4	1 862 113,7116	1	2 986 255,1096
CPU								145,265		20,531
İS								810 992		79 513
GF								0,000000		0,292311
TTHS								6, 1,....,1		2, 1, 2, 1
TTAY (T)								1, 2, ...,25 (25)		8, 10, 11, 12 (4)
İTKS								1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1
İTAY (T)								3, 14, 15, 23 (4)		8, 10, 11, 12 (4)
AFD					4	1 862 113,7116	1	425 133,9014	3	5 010 545,5116
CPU						0,281		2,687		59,062
İS						2 104		4 985		319 267
GF						0,000000		0,282933		0,280987
TTHS						8, 1, 1,....,1		2, 2		2, 2
TTAY (T)						1, 2, 3,....,25 (25)		8, 11 (2)		8, 11 (2)
İTKS						1, 1,....,1		2, 2		2, 2
İTAY (T)						1, 2,....,25 (25)		8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD							3	3 810 545,5116	1	2 986 255,1096
CPU								2 440,968		20,390
İS								21 121 985		79 513
GF								0,000000		0,292311
TTHS								1, 1, 1,....,1		2, 1, 2, 1
TTAY (T)								1, 2, 3,....,25 (25)		8, 10, 11, 12 (4)
İTKS								1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1
İTAY (T)								1, 8, 20, 21 (4)		8, 10, 11, 12 (4)

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	3	0,0000	1	-953 042,7823	2	19 114 364,5067	4	1 714 364,6351	5	17 399 999,9649
CPU		0,609		5,093		53,046		73,687		53,593
İS		2 537		8 445		255 635		309 434		200 486
GF		0,000000		0,185862		0,002967		0,000000		0,000000
TTHS		1,....,1		1,2,2		2,1, 2		1,2,2		1,2,2
TTAY (T)		1,....,25(25)		3,8,11(3)		8, 9,11 (3)		3,8,11(3)		3,8,11(3)
İTKS		3		1, 2		1, 2		1, 2		1, 2
İTAY (T)		19 (1)		8,11(2)		8, 11 (2)		8,11(2)		8,11(2)
AFD							3	17 400 000,0000	4	1 714 364,5067
CPU								56,984		62,656
İS								244 181		265 580
GF								0,000000		0,000000
TTHS								1,2,2		1,2,2
TTAY (T)								3,8,11(3)		3,8,11(3)
İTKS								1, 2		1, 2
İTAY (T)								8,11(2)		8,11(2)
AFD					4	1 714 364,2746	2	19 114 364,2746	5	17 400 000,0000
CPU						292,281		91,906		78,343
İS						1 654 144		396 146		339 929
GF						0,021832		0,000000		0,000000
TTHS						1,2,2		2, 1, 2		2, 1, 2
TTAY (T)						3,8,11(3)		8, 9, 11 (3)		8, 9, 11 (3)
İTKS						1, 2		1, 2		1, 2
İTAY (T)						8,11(2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD							3	17 400 000,0000	2	19 114 364,2746
CPU								65,671		63,265
İS								283 544		278 976
GF								0,000000		0,000000
TTHS								2, 1, 2		1,2,2
TTAY (T)								8, 9, 11 (3)		3,8,11(3)
İTKS								1, 2		1, 2
İTAY (T)								8, 11 (2)		8,11(2)
AFD					5	17 400 000,0000	2	19 114 364,2745	4	1 714 364,2745
CPU						51,156		43,281		61,484
İS						238 873		202 450		242 007
GF						0,000000		0,003291		0,000000
TTHS						2,1, 2		2,1, 2		2,1, 2
TTAY (T)						8, 9,11 (3)		8, 9,11 (3)		8, 9,11 (3)
İTKS						1, 2		1, 2		1, 2
İTAY (T)						8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD							4	1 714 364,2746	2	19 114 364,2746
CPU								61,968		63,718
İS								346 536		278 976
GF								0,021832		0,000000
TTHS								1,2,2		1,2,2
TTAY (T)								3,8,11(3)		3,8,11(3)
İTKS								1, 2		1, 2
İTAY (T)								8,11(2)		8,11(2)

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	3	0,0000	2	20 451 568,2000	1	2 483 028,1347	4	3 051 568,2000	5	17 400 000,0000
CPU		0,609		0,234		4,312		121,906		120,078
İS		2 537		5 948		11 233		525 632		562 564
GF		0,000000		0,000000		0,298281		0,000000		0,000000
TTHS		1,.....,1		1,1,.....,4		1,2, 2		2,1, 2		1,2, 2
TTAY (T)		1,.....,25(25)		1,2,.....,25(25)		3, 8, 11 (3)		8, 9,11 (3)		3, 8, 11 (3)
İTKS		3		3		1, 2		1, 2		1, 2
İTAY (T)		19 (1)		8(1)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD							3	17 400 000,0000	4	3 051 568,2000
CPU								213,078		125,031
İS								982 395		556 093
GF								0,000000		0,000000
TTHS								2,1, 2		1,2, 2
TTAY (T)								8, 9,11 (3)		3, 8, 11 (3)
İTKS								1, 2		1, 2
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD					4	3 051 568,2000	1	3 117 138,9909	5	17 400 000,0000
CPU								925,515		7,781
İS								5 247 936		29 013
GF								0,210230		0,297338
TTHS								6,.....,1		1,1, 3
TTAY (T)								1,.....,25 (25)		2, 8, 11 (3)
İTKS								2, 1		1, 2
İTAY (T)								3, 16 (2)		8, 11 (2)
AFD							3	17 400 000,0000	1	2 664 061,5699
CPU								4,546		7,000
İS								18 534		25 295
GF								0,068359		0,298764
TTHS								1,.....,1		1, 1,1, 2
TTAY (T)								1,.....,25 (25)		2, 8, 9,11 (4)
İTKS								2, 1		1, 2
İTAY (T)								10, 25 (2)		8, 11 (2)
AFD					5	17 200 000,0000	1	2 758 061,5699	4	3 051 568,2000
CPU								0,281		7,046
İS								1 286		22 498
GF								0,080782		0,180233
TTHS								1,.....,1		1, 2, 1, 2
TTAY (T)								1,.....,25 (25)		2, 3, 8,11 (4)
İTKS								3		1, 2
İTAY (T)								14 (1)		8, 11 (2)
AFD							4	3 051 568,2000	1	2 664 061,5699
CPU								804,234		7,000
İS								5 008 176		25 293
GF								0,169423		0,299661
TTHS								1,.....,1		1, 1,1, 2
TTAY (T)								1,.....,25 (25)		2, 8, 9,11 (4)
İTKS								2, 1		1, 2
İTAY (T)								15, 23 (2)		8, 11 (2)

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	3	0,0000	4	1 659 545,0201	1	-815 345,1555	2	18 431 801,8170	5	16 800 000,0000	
CPU		0,609		0,187		5,796		83,031		65,859	
İS		2 537		801		22 107		343 284		262 012	
GF		0,000000		0,114745		0,293343		0,001505		0,000000	
TTHS		1,....,1		1,1,....,1		2, 1, 2		2, 1, 2		2, 1, 2	
TTAY (T)		1,....,25		1,2,....,25(25)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)	
İTKS		3		3		1, 1, 1		1, 1, 1		1, 1, 1	
İTAY (T)		19 (1)		1 (1)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)	
AFD							5	16 800 000,0000	2	18 431 801,8170	
CPU								97,593		135,484	
İS								467 150		615 492	
GF								0,000000		0,001505	
TTHS								2, 1, 2		2, 1, 2	
TTAY (T)								8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)	
İTKS								1, 1, 1		1, 1, 1	
İTAY (T)								8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)	
AFD					2	18 859 545,0201	1	3 342 635,9538	5	17 200 000,0000	
CPU						0,312		13,390		0,984	
İS						4 495		43 836		2 572	
GF						0,000000		0,297817		0,000000	
TTHS						1,1,....,4		4,0000		4,0000	
TTAY (T)						1,2,....,25(25)		9 (1)		9 (1)	
İTKS						3		3		3	
İTAY (T)						1 (1)		9 (1)		9 (1)	
AFD								5	17 200 000,0000	1	3 342 635,9538
CPU								0,296		11,984	
İS								1 739		36 460	
GF								0,000000		0,296661	
TTHS								1,1,....,1		4	
TTAY (T)								1,2,....,25(25)		9 (1)	
İTKS								3		3	
İTAY (T)								19 (1)		9 (1)	
AFD					5	17 200 000,0000	1	3 342 635,9538	2	18 859 545,0201	
CPU						0,109		10,593		142,250	
İS						29 343		41 156		598 672	
GF						0,000000		0,296670		0,000000	
TTHS						1,1,....,3,....,1		4		4	
TTAY (T)						1,2,....,19,....,25(25)		9 (1)		9 (1)	
İTKS						3		3		3	
İTAY (T)						21 (1)		9 (1)		9 (1)	
AFD								5	18 859 545,0201	1	3 342 635,9538
CPU								0,312		11,968	
İS								3 765		36 460	
GF								0,000000		0,296661	
TTHS								1,1,....,4		4	
TTAY (T)								1,2,....,25(25)		9 (1)	
İTKS								3		3	
İTAY (T)								1 (1)		9 (1)	

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	3	0,0000	5	16 800 000,0000	1	-953 042,7823	2	19 114 364,2745	4	1 714 364,2745	
CPU		0,609		0,703		3,203		72,250		59,546	
İS		2 537		795		8 196		359 391		241 739	
GF		0,000000		0,006515		0,259684		0,002801		0,000000	
TTHS		1,....,1		3,1,1,.....,1		2, 1, 2		2, 1, 2		2, 1, 2	
TTAY (T)		1,....,25(25)		1,2,3,.....,25(25)		8, 9,11 (3)		8, 9,11 (3)		8, 9,11 (3)	
İTKS		3		1,1,1		1, 2		1, 2		1, 2	
İTAY (T)		19 (1)		7,19,22(3)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)	
AFD							4	1 714 364,2746	2	19 114 364,2746	
CPU								203,453		87,578	
İS								1 049 458		408 662	
GF								0,021832		0,000000	
TTHS								2, 1, 2		1, 2, 2	
TTAY (T)								8, 9,11 (3)		3, 8,11 (3)	
İTKS								1, 2		1, 2	
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)	
AFD					2	20 451 568,2000	1	2 483 028,1347	4	3 051 568,2000	
CPU						0,234		5,796		125,656	
İS						4 022		16 568		563 028	
GF						0,000000		0,293476		0,000000	
TTHS						1, 1,....,7, 1		2, 1, 2		1,2, 2	
TTAY (T)						1, 2,....,24, 25 (25)		8, 9,11 (3)		3, 8, 11 (3)	
İTKS						3		1, 2		1, 2	
İTAY (T)						1 (1)		8, 11 (2)		8, 11 (2)	
AFD								4	3 051 568,2000	1	2 664 061,5699
CPU								844,593		7,281	
İS								5 008 176		25 592	
GF								0,169423		0,298764	
TTHS								1,1,1,....,1		1, 1, 1, 2	
TTAY (T)								1,2,3,.....,25(25)		2, 3, 8,11 (4)	
İTKS								2, 1		1, 2	
İTAY (T)								15, 23 (2)		8, 11 (2)	
AFD					4	1 659 545,0201	1	-815 345,1555	2	18 431 801,8170	
CPU						0,312		4,500		135,468	
İS						1 634		13 846		615 492	
GF						0,020959		0,294238		0,001505	
TTHS						1,1,1,.....,1		2, 1, 2		2, 1, 2	
TTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)	
İTKS						3		1, 1, 1		1, 1, 1	
İTAY (T)						1 (1)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)	
AFD								2	18 859 545,0201	1	3 342 635,9538
CPU								0,328		11,797	
İS								3 765		40 689	
GF								0,000000		0,299376	
TTHS								1,1,1,.....,4		4	
TTAY (T)								1,2,3,.....,25(25)		9 (1)	
İTKS								3		3	
İTAY (T)								1 (1)		9 (1)	

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	4	1 469 121,2356	1	489 400,6814	2	16 385 698,8493	3	2 483 422,3863	5	14 916 577,6137				
CPU		0,140		5,468		81,031		128,406		32,265				
İS		1 110		0 920		348 110		764 474		102 898				
GF		0,000000		0,293586		0,000000		0,000000		0,000000				
TTHS		8,1,1,.....,1		1,2,2		1, 2, 2		1, 2, 2		2, 1, 2				
TTAY (T)		1,2,3,.....,25(25)		3, 8, 11 (3)		3, 8, 11 (3)		3, 8, 11 (3)		8, 9,11 (3)				
İTKS		3,1,1,.....,1		1, 2		1, 2		1, 2		1, 2				
İTAY (T)		1,2,3,.....,25(25)		8, 1 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)				
AFD							3	2 483 422,3863	3	14 916 577,6137				
CPU								42,296		120,250				
İS								164 863		753 461				
GF								0,000000		0,000000				
TTHS								2, 1, 2		2, 1, 2				
TTAY (T)								8, 9,11 (3)		8, 9,11 (3)				
İTKS								1, 2		1, 2				
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)				
AFD						3	2 483 422,3864	2	16 385 698,8493	5	14 916 577,6137			
CPU								116,453		14,468	31,859			
İS								622 144		52 524	104 041			
GF								0,000000		0,000000	0,000000			
TTHS								1, 2, 2		1, 2, 2	2, 1, 2			
TTAY (T)								3, 8, 11 (3)		3, 8, 11 (3)	8, 9,11 (3)			
İTKS								1, 2		1, 2	1, 2			
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)	8, 11 (2)			
AFD									3	14 916 577,6137	2	16 385 698,8493		
CPU								58,375		14,359				
İS								234 313		49 204				
GF								0,000000		0,000000				
TTHS								1, 2, 2		1, 2, 2				
TTAY (T)								3, 8, 11 (3)		3, 8, 11 (3)				
İTKS								1, 2		1, 2				
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)				
AFD									5	14 916 577,6136	2	16 385 698,8493	3	2 483 422,3863
CPU								58,906		75,296		205,078		
İS								246 064		306 999		1 327 057		
GF								0,000000		0,000000		0,000000		
TTHS								1, 2, 2		2, 1, 2		2, 1, 2		
TTAY (T)								3, 8, 11 (3)		8, 9,11 (3)		8, 9,11 (3)		
İTKS								1, 2		1, 2		1, 2		
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		
AFD									3	2 483 422,3863	2	16 385 698,8493		
CPU								133,718		26,984				
İS								839 571		92 570				
GF								0,000000		0,000000				
TTHS								2, 1, 2		1, 2, 2				
TTAY (T)								8, 9,11 (3)		3, 8, 11 (3)				
İTKS								1, 2		1, 2				
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)				

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	4	1 469 121,2356	2	16 385 698,8493	1	-489 400,6814	3	2 483 422,3863	5	14 916 577,6137
CPU		0,140		0,500		8,671		127,640		32,343
İS		1 110		5 134		19 688		764 474		102 898
GF		0,000000		0,000000		0,283365		0,000000		0,000000
TTHS		8,1,1,.....,1		1,1,1,.....,8		2,1, 2		1, 2, 2		2,1, 2
TTAY (T)		1,2,3,.....,25(25)		1,2,3,.....,25(25)		8, 9,11 (3)		3, 8, 11 (3)		8, 9,11 (3)
İTKS		3,1,1,.....,1		3,1,1,.....,1		1, 2		1, 2		1, 2
İTAY (T)		1,2,3,.....,25(25)		1,2,3,.....,25(25)		8, 11 (2)		8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD							3	14 916 577,6137	3	2 483 422,3863
CPU								42,562		120,328
İS								164 863		753 461
GF								0,000000		0,000000
TTHS								2,1, 2		2,1, 2
TTAY (T)								8, 9,11 (3)		8, 9,11 (3)
İTKS								1, 2		1, 2
İTAY (T)								8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD					3	1 883 422,3863	1	34 501,3817	5	14 916 577,6137
CPU						957,296		4,656		26,171
İS						7 101 871		8 980		82 344
GF						0,000000		0,000000		0,000000
TTHS						1,1,1,.....,1		2, 1, 2		2, 1, 2
TTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)
İTKS						1,1,1		1, 1, 1		1, 1, 1
İTAY (T)						15,19,21 (3)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)
AFD								14 916 577,6137	1	34 501,3817
CPU								0,609		4,546
İS								2 202		8 184
GF								0,000000		0,288666
TTHS								1,1,1,.....,1		2, 1, 2
TTAY (T)								1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11 (3)
İTKS								1,1,1		1, 1, 1
İTAY (T)								15,19,21 (3)		8, 10,11 (3)
AFD					5	14 916 577,6137	1	-489 400,6814	3	2 483 422,3863
CPU						0,468		3,875		120,765
İS						4 145		6 721		753 461
GF						0,000000		0,294879		0,000000
TTHS						8,1,1,.....,1		2,1, 2		2,1, 2
TTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 9,11 (3)		8, 9,11 (3)
İTKS						1,1,1,.....,1		1, 2		1, 2
İTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 11 (2)		8, 11 (2)
AFD								1 883 422,3863	1	34 501,3817
CPU								1 196,609		4,578
İS								7 910 940		8 184
GF								0,000000		0,288666
TTHS								1,1,.....,3,....,1		2, 1, 2
TTAY (T)								1,2,.....,19,....,25(25)		8, 10,11 (3)
İTKS								1,1,1		1, 1, 1
İTAY (T)								8,15, 19 (3)		8, 10,11 (3)

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	4	1 469 121,2356	3	1 883 422,3863	1	34 501,3817	2	16 385 698,8493	5	14 916 577,6137
CPU		0,140		980,390		4,562		95,281		26,218
İS		1 110		7 669 043		9 116		373 025		82 344
GF		0,000000		0,000000		0,174579		0,000000		0,000000
TTHS		8,1,1,.....,1		1,1,1,.....,1		2, 1, 2		2, 1, 2		2, 1, 2
TTAY (T)		1,2,3,.....,25(25)		1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)
İTKS		3,1,1,.....,1		1,1,1		1, 1, 1		1, 1, 1		1, 1, 1
İTAY (T)		1,2,3,.....,25(25)		3,5,9 (3)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)
AFD							3	14 916 577,6137	2	integer infeasible
CPU								24,875		69,109
İS								86 582		
GF								0,000000		
TTHS								2, 1, 2		
TTAY (T)								8, 10,11 (3)		
İTKS								1, 1, 1		
İTAY (T)								8, 10,11 (3)		
AFD					2	16 385 698,8493	1	34 501,3817	5	14 916 577,6137
CPU						1,625		4,718		26,234
İS						5 650		8 980		82 344
GF						0,000000		0,000000		0,000000
TTHS						1,1,1,.....,1		2, 1, 2		2, 1, 2
TTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)
İTKS						1,1,1		1, 1, 1		1, 1, 1
İTAY (T)						1,10,25 (3)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)
AFD							3	14 916 577,6137	1	34 501,3817
CPU						0,625		4,546		
İS						2 202		8 184		
GF						0,000000		0,288666		
TTHS						1,1,1,.....,1		2, 1, 2		
TTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11 (3)		
İTKS						1,1,1		1, 1, 1		
İTAY (T)						15,19,21 (3)		8, 10,11 (3)		
AFD					5	14 916 577,6137	1	34 501,3816	2	16 385 696,8114
CPU						87,281		4,390		21,906
İS						518 369		9 874		76 074
GF						0,000000		0,288666		0,000000
TTHS						1,1,1,.....,1		2, 1, 2		2, 1, 2
TTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)
İTKS						1,1,1		1, 1, 1		1, 1, 1
İTAY (T)						16,19,22 (3)		8, 10,11 (3)		8, 10,11 (3)
AFD							2	16 385 698,8493	1	34 501,3817
CPU						19,343		4,500		
İS						116 544		8 184		
GF						0,000000		0,288666		
TTHS						1,1,1,.....,1		2, 1, 2		
TTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11 (3)		
İTKS						1,1,1		1, 1, 1		
İTAY (T)						7,21,23 (3)		8, 10,11 (3)		

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	5	18 589 454,4884	1	425 133,9014	2	20 451 568,2000	3	5 010 545,5116	4	1 862 113,7116
CPU		0,328		6,671		107,343		55,343		26,000
İS		2 555		8 327		104 767		313 764		92 394
GF		0,000000		0,252918		0,000000		0,000000		0,000000
TTHS		8,1,1,.....,1		2,2		2,2		2,2		2,2
TTAY (T)		1,2,3,.....,25(25)		8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)
İTKS		1,1,.....,2,.....,1		2,2		2,2		2,2		2,2
İTAY (T)		1,2,.....,19,.....,25(25)		8, 1 (2)		8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)
AFD							4	1 862 113,7116	3	5 010 545,5116
CPU								47,843		59,031
İS								189 401		319 267
GF								0,000000		0,280987
TTHS								2,2		2,2
TTAY (T)								8, 11(2)		8, 11(2)
İTKS								2,2		2,2
İTAY (T)								8, 11(2)		8, 11(2)
AFD					3	5 010 545,5116	2	20 451 568,2000	4	1 862 113,7116
CPU						259,687		27,281		26,093
İS						422 369		111 106		92 394
GF						0,000000		0,000000		0,000000
TTHS						2,2		2,2		2,2
TTAY (T)						8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)
İTKS						2,2		2,2		2,2
İTAY (T)						8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)
AFD							4	1 862 113,7116	2	20 451 568,2000
CPU								14,734		5,531
İS								36 052		11 331
GF								0,000000		0,000000
TTHS								2,2		2,2
TTAY (T)								8, 11(2)		8, 11(2)
İTKS								2,2		2,2
İTAY (T)								8, 11(2)		8, 11(2)
AFD					4	1 862 113,7116	2	20 451 568,1830	3	5 010 545,5116
CPU						33,218		36,671		77,593
İS						25 104		148 046		450 079
GF						0,000000		0,000000		0,000000
TTHS						2,2		2,2		2,2
TTAY (T)						8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)
İTKS						2,2		2,2		2,2
İTAY (T)						8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)
AFD							3	5 010 545,5116	2	20 451 568,2000
CPU								56,718		5,531
İS								299 117		11 331
GF								0,000000		0,000000
TTHS								2,2		2,2
TTAY (T)								8, 11(2)		8, 11(2)
İTKS								2,2		2,2
İTAY (T)								8, 11(2)		8, 11(2)

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	5	18 589 454,4884	2	20 451 568,2000	1	425 133,9014	3	5 010 545,5116	4	1 862 113,7116
CPU		0,328		0,265		23,734		55,312		26,109
İS		2 555		4 872		19 122		313 764		92 394
GF		0,000000		0,000000		0,256565		0,000000		0,000000
TTHS		8,1,1,.....,1		1,1,1,.....,8		2, 2		2, 2		2, 2
TTAY (T)		1,2,3,.....,25(25)		1,2,3,.....,25(25)		8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)
İTKS		1,1,.....,2,.....,1		1,1,.....,3,.....,1		2, 2		2, 2		2, 2
İTAY (T)		1,2,.....,19,.....,25(25)		1,2,.....,8,.....,25(25)		8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)
AFD							4	1 862 113,7116	3	5 010 545,5116
CPU								47,843		59,171
İS								189 401		319 267
GF								0,000000		0,280987
TTHS								2, 2		2, 2
TTAY (T)								8, 11(2)		8, 11(2)
İTKS								2, 2		2, 2
İTAY (T)								8, 11(2)		8, 11(2)
AFD					3	3 810 545,5116	1	2 986 255,1096	4	1 862 113,7116
CPU						9 055,156		19,875		90,875
İS						22 234 958		82 777		363 151
GF						0,000000		0,296022		0,000000
TTHS						1,1,1,.....,1		2, 1, 2, 1		2, 1, 2, 1
TTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11, 12 (4)		8, 10,11, 12 (4)
İTKS						1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1
İTAY (T)						14, 15, 16, 18 (4)		8, 10,11, 12 (4)		8, 10,11, 12 (4)
AFD							4	1 862 113,7116	1	2 986 255,1096
CPU								145,640		20,500
İS								810 992		79 513
GF								0,000000		0,292311
TTHS								6,1,1,.....,1		2, 1, 2, 1
TTAY (T)								1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11, 12 (4)
İTKS								1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1
İTAY (T)								3, 14, 15, 23 (4)		8, 10,11, 12 (4)
AFD					4	1 862 113,7116	1	425 133,9014	3	5 010 545,5116
CPU						0,765		2,687		59,000
İS						2 104		4 985		319 267
GF						0,000000		0,282933		0,280987
TTHS						8,1,1,.....,1		2, 2		2, 2
TTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 11(2)		8, 11(2)
İTKS						1,1,1,.....,1		2, 2		2, 2
İTAY (T)						1,2,3,.....,25(25)		8, 11(2)		8, 11(2)
AFD							3	3 810 545,5116	1	2 986 255,1096
CPU								2 480,453		20,437
İS								21 121 985		79 513
GF								0,000000		0,292311
TTHS								1,1,1,.....,1		2, 1, 2, 1
TTAY (T)								1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11, 12 (4)
İTKS								1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1
İTAY (T)								1, 8, 20, 21 (4)		8, 10,11, 12 (4)

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	5	18 589 454,4884	3	3 810 545,5116	1	3 067 601,8757	2	20 451 568,2000	4	1 862 113,7116		
CPU		0,328		3 174,062		108,203		257,375		162,078		
İS		2 555		26 696 129		151 737		1 208 111		708 780		
GF		0,000000		0,000000		0,298990		0,000000		0,000000		
TTHS		8,1,1,.....,1		3,1,1,.....,1		1, 1, 1, 2, 1		1, 1, 1, 2, 1		1, 1, 1, 2, 1		
TTAY (T)		1,2,3,.....,25(25)		1,2,3,.....,25(25)		2, 8, 10,11, 12 (5)		2, 8, 10,11, 12 (4)		2, 8, 10,11, 12 (4)		
İTKS		1,1,.....,2,.....,1		1,1,1,1		1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1		
İTAY (T)		1,2,.....,19,.....,25(25)		7,10,19,22 (4)		8, 10,11, 12 (4)		8, 10,11, 12 (4)		8, 10,11, 12 (4)		
AFD								4	1 862 113,7116	2	20 451 568,2000	
CPU									47,562		203,875	
İS									169 337		947 644	
GF									0,000000		0,000000	
TTHS									3, 1, 2, 1		1, 1, 1, 2, 1	
TTAY (T)									8, 10,11, 12 (4)		2, 8, 10,11, 12 (4)	
İTKS									1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1	
İTAY (T)									8, 10,11, 12 (4)		8, 10,11, 12 (4)	
AFD						2	20 451 568,2000	1	2 986 255,1096	4	1 862 113,7116	
CPU									1 767,656		19,812	
İS									3 926 245		82 777	
GF									0,000000		0,296022	
TTHS									1,1,.....,7,.....,4		1, 1, 2, 1	
TTAY (T)									1,2,.....,9,.....,25(25)		8, 10,11, 12 (4)	
İTKS									1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1	
İTAY (T)									1, 4, 14, 25 (4)		8, 10,11, 12 (4)	
AFD									4	1 862 113,7116	1	2 986 255,1096
CPU									145,437		20,484	
İS									810 992		79 513	
GF									0,000000		0,292311	
TTHS									6,1,1,.....,1		1, 1, 2, 1	
TTAY (T)									1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11, 12 (4)	
İTKS									1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1	
İTAY (T)									3,14, 15, 23 (4)		8, 10,11, 12 (4)	
AFD									4	1 862 113,7116	1	2 986 255,1096
CPU									30,656		23,859	
İS									229 848		97 384	
GF									0,000000		0,295059	
TTHS									6,1,1,.....,3		1, 1, 2, 1	
TTAY (T)									1,2,3,.....,25(25)		8, 10,11, 12 (4)	
İTKS									1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1	
İTAY (T)									2, 7, 15, 16 (4)		8, 10,11, 12 (4)	
AFD									2	20 451 568,2000	1	2 986 255,1096
CPU									182,187		20,515	
İS									1 432 754		79 513	
GF									0,000000		0,292311	
TTHS									1,1,.....,8,.....,4		1, 1, 2, 1	
TTAY (T)									1,2,.....,8,.....,25(25)		8, 10,11, 12 (4)	
İTKS									1, 1, 1, 1		1, 1, 1, 1	
İTAY (T)									1, 22, 23, 25 (4)		8, 10,11, 12 (4)	

EK-5 (Devam) Farklı öncelik yapıları için çözümler

Çizelge 5.1. (Devam) Amaçların optimizasyonu için çözümler

AFD	5	18 589 454,4884	4	1 862 113,7116	1	425 121,9366	2	20 451 567,2054	3	5 010 546,3570								
CPU		0,328		0,312		10,140		36,468		84,062								
İS		2 555		2 232		4 939		129 737		393 891								
GF		0,000000		0,000000		0,276477		0,000000		0,000000								
TTHS		8,1,1,.....,1		1,1,1,.....,1		2, 2		2, 2		2, 2								
TTAY (T)		1,2,3,.....,25(25)		1,2,3,.....,25(25)		8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)								
İTKS		1,1,.....,2,.....,1		1,1,1,.....,1		2, 2		2, 2		2, 2								
İTAY (T)		1,2,.....,19,.....,25(25)		1,2,.....,25(25)		8, 11(2)		8, 11(2)		8, 11(2)								
AFD								3	5 010 546,3570	2	20 451 567,2054							
CPU										89,812	18,421							
İS										486 468	59 839							
GF										0,000000	0,000000							
TTHS										2, 2	2, 2							
TTAY (T)										8, 11(2)	8, 11(2)							
İTKS										2, 2	2, 2							
İTAY (T)										8, 11(2)	8, 11(2)							
AFD						2	20 451 568,2000	1	425 133,9014	3	5 010 545,5116							
CPU										1,093	2,671	59,093						
İS										4 857	4 985	319 267						
GF										0,000000	0,282933	0,280987						
TTHS										1,1,.....,8	2, 2	2, 2						
TTAY (T)										1,2,.....,25(25)	8, 11(2)	8, 11(2)						
İTKS										3,1,1,.....,1	2, 2	2, 2						
İTAY (T)										1,2,3,.....,25(25)	8, 11(2)	8, 11(2)						
AFD										3	3 810 545,5116	1	2 986 255,1096					
CPU										2 442,937	20,437							
İS										21 121 985	79 513							
GF										0,000000	0,292311							
TTHS										1,1,1,.....,1	2, 1, 2, 1							
TTAY (T)										1,2,3,.....,25(25)	8, 10,11, 12 (4)							
İTKS										1, 1, 1, 1	1, 1, 1, 1							
İTAY (T)										1, 8, 20, 21 (4)	8, 10,11, 12 (4)							
AFD										3	3 810 545,5116	1	2 986 255,1096	2	20 451 568,2000			
CPU										9 879,125	23,843	131,203						
İS										23 743 249	97 384	599 172						
GF										0,000000	0,295059	0,000000						
TTHS										1,1,.....,3,.....,4	2, 1, 2, 1	2, 1, 2, 1						
TTAY (T)										1,2,.....,19,.....,25(25)	8, 10,11, 12 (4)	8, 10,11, 12 (4)						
İTKS										1, 1, 1, 1	1, 1, 1, 1	1, 1, 1, 1						
İTAY (T)										1, 7, 19, 25 (4)	8, 10,11, 12 (4)	8, 10,11, 12 (4)						
AFD															2	20 451 568,2000	1	2 986 255,1096
CPU										182,171	20,437							
İS										1 432 754	79 513							
GF										0,000000	0,292311							
TTHS										1,1,.....,8,.....,4	2, 1, 2, 1							
TTAY (T)										1,2,.....,8,.....,25(25)	8, 10,11, 12 (4)							
İTKS										1, 1, 1, 1	1, 1, 1, 1							
İTAY (T)										1, 22, 23, 25 (4)	8, 10,11, 12 (4)							

EK-6 İstatistiksel analiz testleri

Çizelge 6.1. Çok değişkenli testler (test sonuçları kısmen verilmiştir)

Multivariate Tests ^c							
Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta Squared
RMK	Pillai's Trace	2,732	11,321	27,000	30,000	,000	,911
	Wilks' Lambda	,000	17,865	27,000	24,006	,000	,949
	Hotelling's Trace	94,445	23,320	27,000	20,000	,000	,969
	Roy's Largest Root	70,147	77,941 ^b	9,000	10,000	,000	,986
PRC	Pillai's Trace	1,843	1,770	27,000	30,000	,065	,614
	Wilks' Lambda	,013	3,061	27,000	24,006	,004	,766
	Hotelling's Trace	21,234	5,243	27,000	20,000	,000	,876
	Roy's Largest Root	18,903	21,003 ^b	9,000	10,000	,000	,950
RMK * PRC	Pillai's Trace	2,982	,881	81,000	144,000	,733	,331
	Wilks' Lambda	,010	,777	81,000	60,669	,856	,400
	Hotelling's Trace	8,114	,623	81,000	56,000	,974	,474
	Roy's Largest Root	3,103	5,516 ^b	9,000	16,000	,002	,756

a. Exact statistic

b. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

c. Design: Intercept + RMK + PRC + RMK * PRC

EK-6 (Devam) İstatistiksel analiz testleri

Çizelge 6.2. Faktörler ve bağımlı değişkenler arasındaki etkiler ile ilgili bağımsız iki yönlü MANOVA analizi (test sonuçları kısmen verilmiştir)

Tests of Between-Subjects Effects							
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
RMK	Z1	2,109E13	3	7,031E12	6,792	,004	,560
	Z2	1,451E14	3	4,836E13	29,364	,000	,846
	Z3	,000	3	,000	.	.	.
	Z4	7,505E11	3	2,502E11	31,859	,000	,857
	Z5	1,198E14	3	3,994E13	29,091	,000	,845
	Z1TTS	5,594	3	1,865	59,667	,000	,918
	Z1TTHS	5,594	3	1,865	59,667	,000	,918
	Z1İTS	,000	3	,000	.	.	.
	Z1İTKS	7,855	3	2,618	34,000	,000	,864
	Z3TTS	,000	3	,000	.	.	.
	Z3TTHS	23,625	3	7,875	2,066	,145	,279
	Z3İTS	3,844	3	1,281	3,154	,054	,372
	Z3İTKS	3,179	3	1,060	2,748	,077	,340

EK-6 2. (Devam) İstatistiksel analiz testleri

Çizelge 6.3. Çoklu karşılaştırmalar (RMK) için Tukey HSD Testi (kısmen)

Dependent Variable	(I) RMK	(J) RMK	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Z1	1,00	2,00	128894,6975	5,08740E5	,994	-1,3266E6	1,5844E6
		3,00	1,2437E6	5,08740E5	,108	-211791,4172	2,6992E6
		4,00	1,9637E6	5,08740E5	,007	508141,1884	3,4192E6
	2,00	1,00	-128894,6975	5,08740E5	,994	-1,5844E6	1,3266E6
		3,00	1,1148E6	5,08740E5	,168	-340686,1147	2,5703E6
		4,00	1,8348E6	5,08740E5	,011	379246,4909	3,2903E6
	3,00	1,00	-1,2437E6	5,08740E5	,108	-2,6992E6	211791,4172
		2,00	-1,1148E6	5,08740E5	,168	-2,5703E6	340686,1147
		4,00	719932,6056	5,08740E5	,508	-735583,9031	2,1754E6
	4,00	1,00	-1,9637E6	5,08740E5	,007	-3,4192E6	-508141,1884
		2,00	-1,8348E6	5,08740E5	,011	-3,2903E6	-379246,4909
		3,00	-719932,6056	5,08740E5	,508	-2,1754E6	735583,9031
Z1İTKS	1,00	2,00	,2775	,13875	,229	-,1195	,6745
		3,00	-,8325*	,13875	,000	-1,2295	-,4355
		4,00	-,8325*	,13875	,000	-1,2295	-,4355
	2,00	1,00	-,2775	,13875	,229	-,6745	,1195
		3,00	-1,1100*	,13875	,000	-1,5070	-,7130
		4,00	-1,1100*	,13875	,000	-1,5070	-,7130
	3,00	1,00	,8325*	,13875	,000	,4355	1,2295
		2,00	1,1100*	,13875	,000	,7130	1,5070
		4,00	,0000	,13875	1,000	-,3970	,3970
	4,00	1,00	,8325*	,13875	,000	,4355	1,2295
		2,00	1,1100*	,13875	,000	,7130	1,5070
		3,00	,0000	,13875	1,000	-,3970	,3970

EK-6 (Devam) İstatistiksel analiz testleri

Çizelge 6.4. Faktörler altındaki alt grupların toplandıkları istatistiksel türdeş alt kümeler / gruplar (test sonuçları kısmen verilmiştir)

Homogeneous Subsets
Z1 --Tukey HSD^{a,,b,,c}

PRC	N	Subset	
		1	2
1,00	8	-4,7584E6	
2,00	8	-3,6084E6	
3,00	8		-1,7787E6
4,00	8		-401376,6790
Sig.		,149	,067

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

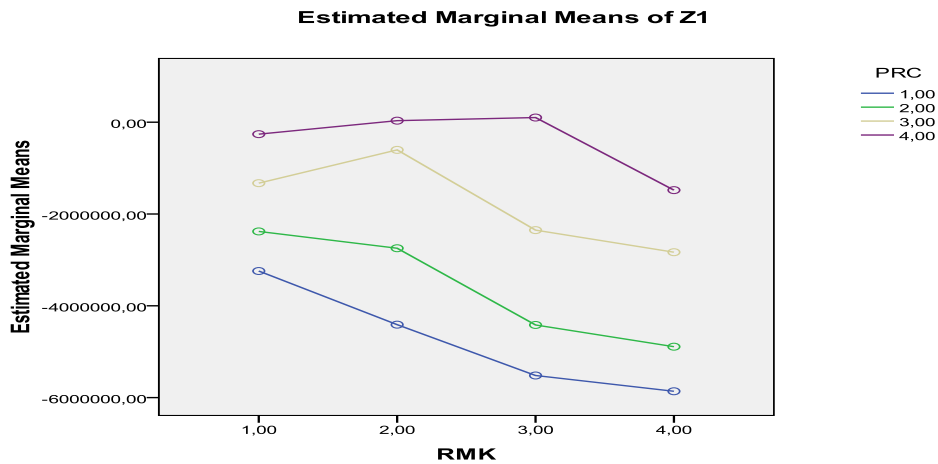
Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1035267364139,099.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = ,05.



Şekil 6.1. Faktörlerin alt gruplarına göre için amaç fonksiyonu değerlerinin değişimi (test sonuçları kısmen verilmiştir)

*Çizgiler, aşağıdan yukarıya doğru, sırayla, PRC'nin 1, 2, 3 ve 4. alt gruplarını göstermektedir.

EK-6 (Devam) İstatistiksel analiz testleri

Çizelge 6.5. Regresyon eğri uydurma a) model özeti b) bağımsız tek yönlü ANOVA analizi c) katsayılar ile ilgili çizelgeler (test sonuçları kısmen verilmiştir)

Exponential

Çizelge 6.5.a) Regresyon eğri uydurma, model özeti

Model Summary

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
,981	,962	,943	,268

The independent variable is PB.

Çizelge 6.5.b) Regresyon eğri uydurma, tek yönlü ANOVA analizi

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	3,662	1	3,662	51,087	,019
Residual	,143	2	,072		
Total	3,805	3			

The independent variable is PB.

Çizelge 6.5.c) Regresyon eğri uydurma, katsayılar

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
PB	,856	,120	,981	7,148	,019
(Constant)	7,621	2,499		3,050	,093

The dependent variable is ln(BINDEGS).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : CİDDİ, Kerem
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01. 01. 1974 Samandağ
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (506) 481 65 72; 0 (506) 246 07 05
 Faks : 0 (312) 230 84 34
 e-mail : kciddi@gazi.edu.tr; kciddi@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Dumlupınar Üniversitesi / Endüstri Müh. ABD	2004
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstri Müh. Bölümü	1998
Lise	Samandağ Lisesi/ Fen	1991

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2000-2005	Dumlupınar Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
1999-2000	Hava Kuvvetleri Komutanlığı	Endüstri Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Yönetim / Liderlik / Kişisel Gelişim, Psikoloji, Sosyo-Kültürel / Toplumsal Konular, Edebiyat, Sinema, Otomobille Seyahat, Yüzme, Yürüyüş, Müzik.