

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANA BİLİM DALI

KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ AĞ TASARIMI:
TÜRKİYE CEP TELEFONU YENİDEN ÜRETİMİ
KARMA TAMSAYILI MODEL ÖNERİSİ

DOKTORA TEZİ

Hazırlayan
Ash ÖZMEN

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Yalçın KARAGÖZ

Eş Danışman
Prof. Dr. İsmail EROL

BOLU – 2013

A.İ.B.Ü
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Aslı ÖZMEN'e ait Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Türkiye'de Cep Telefonu Yeniden Üretimi Karma Tamsayı Model Önerisi adlı çalışma jürimiz tarafından İşletme Anabilim Dalı DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Akademik Unvan ve Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Doç.Dr.Yalçın KARAGÖZ



Üye : Prof.Dr. Hasan BAL



Üye : Prof.Dr. Ramazan SARI



Üye : Yrd.Doç.Dr.Rahmi YÜCEL



Üye : Yrd.Doç.Dr. Süleyman ŞAHİN



Sosyal Bilimler Enstitü Onayı

Prof.Dr.Yahya Musatafa KESKİN
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

ETİK İLKELERE UYULDUĐUNA İLİŞKİN METİN

Doktora tezi olarak sunduğum, “**Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı: Türkiye Cep Telefonu Yeniden Üretimi Karma Tamsayılı Model Önerisi**” başlıklı çalışmanın yazılmasında, bilimsel ve etik kurallara uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin tamamının ya da bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitede bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

02/03/2013

Aslı ÖZMEN

ABSTRACT

CLOSED SUPPLY CHAIN NETWORK DESIGN: DEVELOPING MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL CELL PHONE REMANUFACTURING IN TURKEY

Ash ÖZMEN

Ph.D. Thesis

Department of Business Administration

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yalçın KARAGÖZ

Co-Advisor: Prof. Dr. İsmail EROL

August - 2013, xvi + 97 pages

Limited resources have led to the reuse of some products and resource generation efforts. For instance returnable glass bottles, recyclable paper products, reuse of metals have been applied for many years now. The main reason for this is that using the existing one is more advantageous economically than remanufacturing of a new one. Increase in such processes brings out sectors related to the reuse of them in any field. Packaging, paper, plastic and metal industries are indicated as the oldest ones among these sectors. Furthermore, reuse of products has increased in electric and electronic products, automotive industry and nutrition sectors. These samples are investigated in reverse logistic activities content in the literature. When traditional production activity is discussed, it is considered in a series of supply chains including raw material supply, production process, stock control and distribution processes.

This chain structure, where supply chain and reverse supply chain activities are considered as integrated, is called closed loop supply chain. When the running of this system is considered, it is made of the collection of products from the final user, determination of the pieces to be used in remanufacturing, testing, provision of the

running pieces in place of not running defective pieces and communicating of the completed products to the final users.

A conceptual model and mixed integer programming method was used and a mathematical model was formed regarding closed loop supply chain network including remanufacturing of used cellular phones and presentation of them as a new product to the market.

Research questions in the study content are listed as: 1) the location of the third party remanufacturing facility and how the economic sustainability of this firm is decided when the data in the market of Turkey are considered. 2) Which regain processes should be applied once cell phones complete their lifetime as a product, and what the basic motivations should be in the application of regain processes and what are the expectations? 3) How is the application samples in various countries and fundamental gains summarized?

The content, limitations and contributions will be presented in the 2nd section, limitation process and administration structure of the closed loop supply chain concept will be presented in the 3rd section, remanufacturing process, application areas and legal procedures will be presented in the 4th section, literature analysis about the subject will be presented in the 5th section, and the definition of the problem, cellular telephone sector, research model and analysis results will be presented in the 6th section, and an evaluation of the study results and research opportunities will be presented in the 7th section.

Key Words: Remanufacturing, Mixed Integer Linear Programming, Closed Loop Supply Chain Network, Cell Phone

ÖZET

KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ AĞ TASARIMI: TÜRKİYE CEP TELEFONU YENİDEN ÜRETİMİ KARMA TAMSAYILI MODEL ÖNERİSİ

Ash ÖZMEN

Doktora Tezi

İşletme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yalçın KARAGÖZ

Eş Danışmanı: Prof. Dr. İsmail EROL

Ağustos - 2013, xvi + 97 Sayfa

Kaynakların sınırlı olması eskiden beri bazı ürünlerin yeniden kullanılarak kaynak yaratma çabası ile sonuçlanmıştır. Örneğin cam şişelerin depozitolu olması, kâğıtların geri dönüştürülebilmesi, metallerin yeniden kullanılması çok uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Bunun başlıca sebebi, var olanın kullanılması yenisini üretmekten ekonomik olarak daha avantajlı olmaktadır. Günümüz koşullarında bu işlemlerin fazlaşması her alanda yeniden kullanıma ilişkin sektörleri ortaya çıkarmaktadır. Bu sektörlerin en eskileri arasında ambalaj, kâğıt, plastik, metal endüstrileri gösterilmektedir. Bunun yanı sıra elektrikli ve elektronik ürünler, otomotiv sanayi, gıda sektörlerinde de yeniden kullanım örnekleri artmaktadır. Bu örnekler literatürde tersine lojistik faaliyetleri kapsamında incelenmektedir. Klasik üretim faaliyeti düşünüldüğünde hammadde tedariki, üretim, stok kontrolü ve dağıtım süreçlerini içeren bir dizi aktive tedarik zinciri yapısı içinde ele alınmaktadır.

Tedarik zinciri ve tersine tedarik zinciri faaliyetlerini bütünleşik olarak ele alındığı bu zincir yapıya kapalı döngü tedarik zinciri adı verilmektedir. Bu sistemin işleyişi ele alındığında son kullanıcıdan ürünlerin toplanması, ayrıştırılması, yeniden üretimde kullanılabilecek parçaların belirlenmesi, test edilmesi, çalışmayan bozuk

parçaların yerine çalışabilir parçaların temin edilmesi, üretimi tamamlanan ürünlerin son kullanıcılarına ulaştırılması işlemlerinden oluşmaktadır.

Bu çalışma kapsamında kullanılmış cep telefonlarının yeniden üretimi ve piyasaya yeni bir ürün olarak sunulmasını içeren kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı ilişkin kavramsal bir model ve karma tamsayılı programlama yöntemi kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamındaki araştırma soruları şöyle sıralanmaktadır: 1) Üçüncü parti bir yeniden üretim tesisi nerede açılacak ve bu firmanın Türkiye pazarındaki veriler dikkate alındığında ekonomik açıdan sürdürülebilir olup olmayacağı kararı nasıl verilecektir. 2) Cep telefonu bir ürün olarak ömrünü tamamladığında hangi geri kazanım işlemleri uygulanmalı, geri kazanım işlemlerinin uygulanmasındaki temel motivasyon ne olmalı ve beklenen çıktılar nelerdir? 3) Farklı ülkelerdeki uygulama örnekleri ve temel kazanımlar nasıl özetlenebilir?

Çalışmanın II. bölümde kapsamı, sınırlılıkları ve katkıları, III. bölümünde kapalı döngü tedarik zincir kavramının gelişim süreci ve yönetim yapısı, IV. bölümünde yeniden üretim kavramı, gelişim süreci, uygulama alanları ve yasal prosedürler, V. bölümünde konuyla ilgili literatür analizi, VI. bölümünde problemin tanımı, cep telefonu sektörü, araştırmanın modeli, analiz sonuçları ve, VII. ve son bölümünde de çalışmanın sonuçlarının değerlendirilmesi ve araştırma fırsatları sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yeniden Üretim, Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama, Kapalı Döngü Tedarik Zinciri, Cep Telefonu

Sevgili Aileme...

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Sayın hocam Doç. Dr. Yalçın Karagöz'e desteği ve yardımları için çok teşekkür ederim. Doktoraya başladığım andan itibaren ve tez sürecim boyunca desteğini hissettiğim tez danışmanım Sayın hocam Prof. Dr. İsmail EROL'a çok teşekkür ederim. Tez izleme komitelerinde katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Bahar Yetiş KARA'ya, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayşegül Altın KAYHAN'a, Sayın Doç. Dr. İbrahim AKGÜN'e, Sayın Prof. Dr. Ramazan SARI'ya, Sayın Yrd. Doç. Dr. Süleyman ŞAHİN'e çok teşekkür ederim. İdari süreçte desteğini çok hissettiğim Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Rahmi YÜCEL ve Sayın hocam Doç. Dr. Mehmet ERYİĞİT'e teşekkür ederim. Ve son olarak tez savunmasında destek ve katkıları için Sayın hocam Prof. Dr. Hasan BAL'a çok teşekkür ederim. Ayrıca desteği ve emeği için program kodlamasında yardım aldığım arkadaşım Selahattin KARABAY'a çok teşekkür ederim.

Aslı ÖZMEN

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT.....	iv
ÖZET.....	vi
İTHAF.....	viii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR.....	xv

BÖLÜM I

1. GİRİŞ.....	1
----------------------	----------

BÖLÜM II

2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI.....	5
2.1. Çalışmanın Sınırlılıkları.....	7
2.2. Çalışmanın Amacı.....	7
2.3. Çalışmanın Önemi ve Beklenen Katkıları.....	8

BÖLÜM III

3. KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ.....	10
3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Tanımı.....	10
3.2. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Yönetimi.....	11
3.3. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı.....	12
3.4. Tersine Lojistik.....	14
3.5. Tersine Lojistik Tanımı.....	15
3.6. Tersine Lojistik Tarihi Gelişimi.....	16
3.7. Tersine Lojistik Faaliyetleri.....	17

BÖLÜM IV

4. YENİDEN ÜRETİM.....	20
4.1.Yeniden Üretim Tanımı.....	20
4.2.Yeniden Üretim Faaliyetlerinin Temel Özellikleri.....	21
4.3.Yeniden Üretim Uygulamaları.....	23

BÖLÜM V

5. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	25
5.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Literatürü.....	26
5.2. Tersine Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Literatürü.....	36

BÖLÜM VI

6. TÜRKİYE’DE CEP TELEFONU SEKTÖRÜNDE YENİDEN ÜRETİM FAALİYETİ İÇİN KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ AĞ TASARIMI.....	40
6.1. Cep Telefonu Sektörünün Yapısal Özellikleri.....	40
6.2. Dünyada Cep Telefonu Sektörü.....	43
6.3. Türkiye’de Cep Telefonu Sektörü.....	44
6.4. Problemin Tanımı.....	53
6.5. Problemin Modeli.....	59
6.5.1.Varsayımlar.....	64
6.5.2. İndisler.....	65
6.5.3. Karar değişkenleri.....	65
6.5.4. Parametreler.....	65
6.5.5.Problemin matematiksel modeli	67
6.5.6.Amaç fonksiyonu bileşenleri ve açıklamaları.....	68
6.5.7. Kısıt açıklamaları.....	69
6.5.8. Veri setleri.....	72
6.6. Modelin Çözümü Ve Sonuçların Değerlendirilmesi	80
6.7. Duyarlılık Analizi.....	85
SONUÇLAR VE ARAŞTIRMA FIRSATLARI.....	86
KAYNAKÇA.....	87

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1: İleri Tedarik Zinciri.....	13
Şekil 3.2: Tersine tedarik zinciri.....	13
Şekil 3.3: Kapalı döngü tedarik zinciri.....	14
Şekil 3.4: Tersine lojistik faaliyetleri ve makro çevre ilişkisi.....	19
Şekil 4.1: Yeniden üretim ve ağ yapısı ilişkileri.....	23
Şekil 6.1: Cep telefonu ürün yaşam döngüsü.....	41
Şekil 6.2: Dünyada cep telefonu abonelerinin dağılımı.....	44
Şekil 6.3: Elektronik ürünlerin satış miktarları ve hammadde ihtiyacı.....	44
Şekil 6.4: Türkiye’de cep telefonu kullanım türleri yıllara göre	46
Şekil 6.5: Türkiye’de yıllara göre mobil abone sayıları.....	47
Şekil 6.6: Nokia cep telefonu bileşen yüzdeleri	49
Şekil 6.7: Türkiye’de cep telefonlarının yıllık ithalat ve satış rakamları	50
Şekil 6.8: Türkiye’de cep telefonu pazar yapısı, paydaşları	51
Şekil 6.9: Cep telefonları ürün bileşenleri	55
Şekil 6.10: Cep telefonu sektörü kapalı döngü tedarik zinciri.....	60
Şekil 6.11: Kapalı döngü tedarik zinciri kavramsal modeli.....	62
Şekil 6.12: Kapalı döngü ağ tasarımı modeli çözümü	81

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 5.1: Kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı problemleri	34
Tablo 5.2: Tersine tedarik zinciri ağ tasarımı problemleri	39
Tablo 6.1: Yönetmelik kapsamında nüfusa göre toplama tarihleri	42
Tablo 6.2: AEEE kontrolü yönetmeliği geri dönüşüm hedefleri (ağırlığı%)	43
Tablo 6.3: Cep telefonu Türkiye pazar verileri	48
Tablo 6.4: 1Ton elektronik atıktan geri kazanılabilecek değerler	49
Tablo 6.5: Türkiye’de faaliyet gösteren elektronik perakende firmaları	52
Tablo 6.6: Türkiye’de faaliyet gösteren e- elektronik perakende firmaları	52
Tablo 6.7: Büyükşehir belediyesi olan iller ve nüfusları	53
Tablo 6.8: Iphone bileşen tedarikçileri, ürün bileşenleri ve maliyetleri	58
Tablo 6.9: Tesis açma sabit maliyetleri ve kapasite miktarları	73
Tablo 6.10: Yeniden üretim ve atık bertaraf maliyetleri	73
Tablo 6.11: Tedarikçilerin parametreleri	74
Tablo 6.12: Müşteri merkezlerinin atık ürün toplama kapasiteleri	75
Tablo 6.13: Müşteri merkezlerinin yeni ürün talepleri	75
Tablo 6.14: Yeni ürün satış fiyatları	75
Tablo 6.15: Geri dönüşüm merkezlerine satılan bileşen satış fiyatları	76
Tablo 6.16: Uzaklık başına (km) taşıma fiyatları	77
Tablo 6.17: Tedarikçilerden yeniden üretim merkezlerine taşıma maliyetleri	77
Tablo 6.18: Yeniden üretim merkezlerinden geri dönüşüm merkezlerine taşıma maliyetleri.....	78
Tablo 6.19: Toplama merkezlerinden yeniden üretim merkezlerine ulaştırma maliyeti.....	78
Tablo 6.20: Müşteri merkezlerinden toplama merkezlerine ulaştırma maliyeti	79
Tablo 6.21: Yeniden üretim merkezlerinden dağıtım merkezlerine ulaştırma maliyeti	79
Tablo 6.22: Tedarikçilerden satın alınan bileşen miktarları	82
Tablo 6.23: Müşteri merkezlerinden depolara getirilen kullanılmış ürün miktarları	82

Tablo 6.24: Depolardan yeniden üretim merkezine taşınan kullanılmış ürün miktarları.....	83
Tablo 6.25: Geri dönüşüm merkezlerine satılan ürün miktarları	83
Tablo 6.26: Yeniden üretim merkezinden dağıtım merkezlerine gönderilecek miktarlar.....	84
Tablo 6.27: Dağıtım merkezlerinden müşteri merkezlerine gönderilen yeni ürün miktarları	84
Tablo 6.28: Bertaraf merkezine gönderilecek miktarlar.....	85
Tablo 6.29: Satış fiyatında meydana gelen değişimin sonuçlara etkisi.....	85
Tablo 6.30: Ürün ve bileşen temin maliyetlerinde meydana gelen değişimin sonuçlara etkisi	85

KISALTMALAR

AB	: (Avrupa Birliği)
AEEE	: (Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar Yönetmeliği)
ÇVŞB	: (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı)
GAMS	: (General Algebraic Modeling System) (Genel Matematiksel Modelleme Sistemi)
RL	: (Reverse Logistics) (Tersine Lojistik)
KDTZ	: (Closed Loop Supply Chain) (Kapalı Döngü Tedarik Zinciri)
TTZ	: (Reverse Supply Chain) (Tersine Tedarik Zinciri)
SC	: (Supply Chain) (İleri Tedarik Zinciri)
ND	: (Network Design) (Ağ Tasarımı)
KTDPM	: (Mixed Integer Linear Programming) (Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli)
BOM	: (Bill of Metarials) (Ürün Bileşenleri)
TUİK	: (Türkiye İstatistik Kurumu)
SDTB	: (Sanayi ve Dış Ticaret Bakanlığı)
GFK	: Gesellschaft für KonsumfoTTZhung (Society for Consumer Research) (Tüketici Araştırmaları Topluluđu)
BTK	: Bilişim Teknolojileri Kurumu
EPA	: (Environmental Protection Agency) (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı)
TK	: Telekomünikasyon Kurumu
EOL	: End of Life (Kullanımın ömrünü tamamlayan ürünler)
LCD	: Liquid crystal display (Ekran)
PCB	: Printed circuit board (Ana kart)
WCIS	: World Cellular Information Service
REI	: Recycling Industry Dergisi
UNEP	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)

OEM : Original Equipment Manufacturer (Original Ürün Üreticisi Firma)
USITC : United States International Trade Commission

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Firmaların yükümlülükleri; teknolojinin hızla gelişmesi, tüketimin artması, ürünlerin çeşitliliği, ürün yaşam ömürlerinin kısılması, kaynakların hızla tükenmesi, çevresel konuların önem kazanması, kurumsal yurttaşlık, kurumsal sosyal sorumluk bilinci ve sürdürülebilirlik vb. konular sebebiyle büyük bir değişim göstermektedir. Bu yükümlülükler arasında kullanım ömrünü tamamlayan ya da atıl kalıp kullanım için ihtiyaç duyulmayan ürünlerin toplanması, yeniden değerli hale getirilmesi, kullanım alanı olmayanların uygun biçimde bertaraf edilmesi ve geri kazanımı ile ilgili faaliyetler yer almaktadır. Ömrünü tamamlayan ya da bir nedenle son kullanıcıdan geri dönen ürünler; tamir, yeniden kullanım, yeniden üretim, geri dönüşüm gibi geri kazanım alternatiflerinden biri ya da birden fazlası ile değerlendirilmekte ya da bertaraf edilmektedir.

Dünyada birçok firma giderek artan düzeyde geri kazanım faaliyetlerine önem vermenin ekonomik ve çevresel getirilerini fark etmekte ve firma amaçlarını buna göre düzenlemektedirler. Bu düzenlemeler gerek müşterilerin çevre konusundaki hassasiyetlerine cevap vererek müşteri memnuniyeti artırma çabası gerekse de yasal düzenlemelerin getirdiği zorunluluklara uyma mecburiyetinden kaynaklanmaktadır. Avrupa Birliği (AB), Amerika, Japonya, Taiwan ve diğer bazı ülkelerde konu yasalar ile düzenlenmiştir (Atasu 2010, Shih 2001, Srivastava, 2008). AB’de uygulanan yönetmeliklerden bazıları 2005/32/EC enerji verimli ürünler tasarımı, 2003/108/EC elektronik atıklar 2002/95/EC belirli hammadde ve metallerin üretimde kullanılmasına ilişkin kısıtlamalar, 2000/53/EC direktifte ömrünü tamamlayan motorlu taşıtlar ile ilgili düzenlemeleri konu almaktadır. Avrupa Birliği müzakereleri kapsamında çevre faslının açılması ile birlikte Türkiye’de katı atık yönetimi ile ilgili mevzuat güncellenmekte, yeni yönetmelik taslakları gündeme gelmektedir. Türkiye de katı atık alanındaki

düzenlemeler genel olarak Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14 Mart 1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete ile yayınlanan) kapsamında ele alınmaktadır.

Mevcut düzenlemeleri incelediğimizde; Ambalaj Atıkları, Atık Pil ve Akümülatörler, Lastikler, Hafriyat Artıkları yer almaktadır. (ÇVŞB, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) Mayıs 2012 tarihinde Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar (AEEE) yönetmeliğinin yürürlüğe girdiğini ve 2013 Mayıs ayından itibaren uygulanmaya başlanacağını görüyoruz. Bu yönetmelikle elde edilmesi düşünülen temel amaç atık oluşumunun ve çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılması, yeniden üretim, yeniden kullanım, geri dönüşüm gibi geri kazanım faaliyetlerinin teşvik edilmesidir.

İstatistiklere göre (TUIK,2009), kişi başına düşen günlük katı atık miktarı 1.21 kg, yıllık evsel katı atık miktarı 33.123.750 ton, evsel atık içindeki e-atık miktarı yaklaşık %1 ve geri kazanılabilecek e-atık miktarı ise yaklaşık 331 bin ton dur. Türkiye’de uygunluk beyanı almış firmalar aracılığı ile toplanan e-atık miktarı 40 bin ton civarındadır. (REI, 2011)

E-Atıklar, dünyadaki katı atıkların %1’ini oluşturmaktadır. Dünyada her yıl toplam 20-50 milyon ton e-atık oluşurken bu toplamın 3 milyonu ABD’de 2.3 milyon tonu Çin’de ve 400 bin tonu ise Türkiye’de ortaya çıkmaktadır. (ÇVŞB, 2010), (UNEP,2010)

Avrupa genelinde toplamda her yıl 18 milyon elektronik atığın tüketiciler tarafından çöpe atıldığı ve elektronik endüstrisinde en çok tüketiciye ulaşan ürünün cep telefonları olduğu belirtilmektedir.

E-atıklar içinde cep telefonları % 15’lik paya sahiptir. Bununla birlikte cep telefonlarının teknolojik olarak çok hızlı değişim göstermesi, çok sayıda kullanıcısının bulunması ve sayısının hızlı artması eskiyen ve demode olan ürünlerin miktarının da giderek artmasına sebep olmaktadır.

Dünyada 5.3 milyar cep telefonu abonesi bulunmaktadır. (ITU Rapor, 2010) BBC’de yayınlanan bir haber de cep telefonu aboneliği dünya genelinde 18 ayda 1 milyar abone artışı olduğu bildirilmektedir. (BBC,2010)

Türkiye cep telefonu abone sayısı sıralamasında dünya genelinde 12.sırada yer almaktadır. (2009, WCIS) 2012 yılı verilerine göre Türkiye’de 66 milyon cep telefonu abonesi bulunmaktadır .(BTK,2012)

Çok hızlı tüketilebilen bir ürün olan cep telefonları; günümüzde temel ihtiyaç kategorisi içinde yer almakta ve hızla teknolojinin etkisiyle demode olabilmektedir. Yeni çıkan modellerin ise satış fiyatları yüksektir.

Yeniden üretim sonucu piyasalarda satışa sunulan modeller yenisinden ayırt edilemeyecek nitelikte olup fiyat açısından da tüketiciye avantaj sağlamaktadır. Son 5 yıl içinde dünyada kullanılmış cep telefonu satışlarının 5 kat arttığı söylenmektedir. (Wall Street Journal,2011) Türkiye’de garanti kapsamı olmaksızın, sadece fiyat avantajı ile ikinci el satışı yapılan birçok alan bulunmaktadır. Özellikle beyaz eşya, kahverengi eşya ve cep telefonu sektörleri bunlara örnek verilebilir. Yapılan bir araştırma sonucuna göre ikinci el cep telefonu satış rakamı 200 milyon adet olarak belirtilmektedir. (Teleses, cepte fırsatlar raporu, 2008)

Atık/ kullanılmayan eşyaların toplanılması, tedarikçilerden son kullanıcılara doğru tek yönlü olan tedarik zinciri yapısından, son kullanıcıdan geriye doğru ilk üretim sürecine kadar tersine çalışan bir yapının işlerlik kazanmasına neden olmuştur. Bu yapı literatür de kapalı döngü tedarik zinciri olarak (KDTZ) adlandırılmakta ve tersine tedarik zinciri (TTZ) ve klasik tedarik zinciri (TZ) bütünleşik temel parçalarını oluşturmaktadır. (Debo,2004)

KDTZ sisteminde ağ tasarımı karmaşık bir problem yapısına sahiptir. Veri teminindeki güçlükler, belirsizlikler ve ağ tasarımı maliyeti, problemi güçleştiren başlıca nedenlerdir.

Bu karmaşık yapının etkin tasarımı gerçekleştirilerek, firma için kar, çevre için temiz alan, doğal kaynak tüketiminde azalma, son kullanıcı için maliyet avantajı vb. kazanımların elde edilebileceği düşünülmekte ve bu nedenle etkin bir KDTZ ağ yapısının geliştirilmesinin, sektör için ekonomik, çevresel ve tüketici memnuniyeti açısından olumlu bir değer yaratacağına inanılmaktadır.

BÖLÜM II

2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Bu çalışmada tersine lojistik (TL) faaliyetleri ağ tasarımı temelinde incelenmektedir. TL faaliyetleri kapsamında yeniden üretim faaliyeti ele alınmaktadır. Yeniden üretim faaliyeti genel olarak değil sektöre özgü olarak incelenmektedir.

Öncelikle Türkiye’de bu faaliyetin gerçekleşmesini sağlayan paydaşlar analiz edilmiş ve kavramsal bir model geliştirilmiştir. Bir sonraki adımda ise sistemin matematiksel modeli formüle edilmiş ve geliştirilen model GAMS (General Algebraic Modeling System) paket programı kullanılarak çözülmüştür.

Bir diğer adımda modelin etkinliği ve uygun çözümünün olup olmadığı analiz edilmiş ve sistemin yeniden üretim için karlı olup olmadığının gösterilmesine çalışılmıştır. Geliştirilen model tesislerin yer seçimi kararlarını, ürün bileşenleri için tedarik kararlarını, yeniden üretilecek miktarların ne kadar olacağı kararlarını içermektedir.

Cep telefonu üretim süreci incelenerek ileri tedarik zinciri yapısının (SC) ve bileşenlerin neler olduğu ortaya konulmuş, daha sonra tersine tedarik zinciri yapısı (TTZ) ve bileşenlerinin nelerden oluştuğu sürecin nasıl işlediği, ileri ve geri akışların birbiriyle bağlantıları genel olarak tüm ayrıntıları ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Uygulamada incelediğimiz problem Türkiye cep telefonu pazarı için yeniden üretim faaliyetini, bu şekilde değerlendirilemeyen bileşenlerin geri dönüşüm firmalarına gönderilmesini, kullanılamayan bileşenlerin yerine yeni bileşenleri tedarik edilmesini, geri dönüşüm için de bir değeri olmayan bileşenlerin atık bertaraf tesislerine naklini

içermektedir. Bu faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi öncelikle son kullanıcıdan kullanım ömrünü tamamlayan cep telefonlarının toplanmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda toplama işlemleri için depo merkezleri açılacak ve depoların nerelerde kaç tane açılması gerektiği kararı model ile belirlenecektir. Buna paralel olarak yeniden üretim faaliyetinin gerçekleşeceği bir tesis açılacak bu tesisin nerede açılması gerektiği kararı model tarafından belirlenecektir. Son analizde yeniden üretilen telefonların müşteri merkezlerine maliyet/kar avantajı sağlayacak bir şekilde açılacak dağıtım merkezleri tarafından dağıtımı gerçekleştirilecektir. Bu dağıtım merkezlerinin kaç tane ve nerelerde açılması gerekliliği kararı model yardımı ile belirlenecektir.

Bu tür problemlere ağ tasarımı problemleri olarak adlandırılmaktadır. Literatürde ağ tasarımı problemleri tersine ve kapalı döngü olarak iki grupta incelenmektedir. Bu çalışmada KDTZ problemi için bir model geliştirilmiş ve modelin kurulumu için karma tam sayılı doğrusal programlama (KTDPM) yöntemi kullanılmıştır. Ağ yapısı çok aşamalı, çok ürünli bir yapıdadır.

Uygulamanın sektör ile ilişkili olan kısmında farklı cep telefonu türleri ve bileşenleri kullanılmış ve cep telefonu sektörünün ülkemizdeki gelişim yapısı dikkate alınarak modelde kullanılan ürün çeşitliği belirlenmiştir. Buna göre modelde üç farklı ürün türü dikkate alınmaktadır. 2005 ve öncesi teknolojiye sahip ürünler bir grupta, 2005-2009 aralığı wap (2G) teknolojisi ile uyumlu telefonlar ikinci bir ürün grubunu, 2009 yılı ve sonrasında kullanılan 3G teknolojisine sahip ürünler üçüncü tip ürün grubunu temsil etmektedir.

Çalışmamızda dikkate alınan diğer iki husus ise şu şekilde özetlenebilir: birincisi yeniden üretim faaliyeti gereği toplanan ürünlerin bileşenlerine ayrıştırılması sürecidir. İkinci önemli nokta ise problemin tanımlanabilmesi için öncelikle cep telefonu üretiminde gerekli ürün bileşenlerinin (BOM) neler olduğu tespit edilmesidir. Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansının (EPA) yayınladığı rapora göre bir cep telefonunun genel olarak içerdiği ana malzemeler; anakard devresi (printed circuit board), ekran (Liquid crystal display (LCD)), batarya (battery), tuş takımı (keyped), anten (antenna), mikrofon (microphone), hoporlör (spekar), plastik aksam (plastic casing) ve aksesuarlar

(kulaklık, şarj aleti, taşıma çantmaları ..vs) dan oluşmaktadır. (The Life Cycle of a Cell Phone, United States Environmental Protection Agency Report.2005)

Bu çalışmada geliştirdiğimiz modelde ise dört bileşen dikkate alınmaktadır. Bu bileşenler ekran (LCD), anakart (PCB), batarya ve plastik aksamdan oluşmaktadır. Cep telefonlarının geri kazanımı ile ilgili çalışmalarda tespit edilen değişim/yıpranma oranları dikkate alınarak bileşen seçimi gerçekleştirilmiştir. (Selinger, 2004)

Çalışmamızın literatür araştırması tersine lojistik konusu genel başlığı altında ve ağ tasarımı modelleri içinde yeniden üretim faaliyeti kapsamındaki yayınları içermektedir.

2.1. Çalışmanın Sınırlılıkları

Cep telefonu kullanımı Türkiye’de çok yaygın olmasına rağmen endüstrisi henüz bulunmamaktadır. Model farklı ülkelerdeki uygulamalar dikkate alınarak Türkiye’de sektörün işleyişine paralel olarak geliştirilmiştir. Buna ek olarak ülkemizde elektronik atık envanterleri henüz bulunmamakta, yeniden üretim faaliyetleri ise yeni gelişmektedir. Bu nedenle çalışmanın veri analizi ve temini ile ilgili sınırlılığı bulunmakla birlikte Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) veri tabanlarından elde edilen nüfus verileri, Bilişim Teknolojileri Kurumu (BTK) sektör raporlarından elde edilen cep telefonu abone rakamları ve penetrasyon oranları, perakende kanalları ve pazarlama araştırması şirketleri aracılığıyla elde edilen cep telefonu satış rakamları ve Dış Ticaret Bakanlığı (DTB) veri tabanlarından elde edilen cep telefonu ithalat rakamları kullanılarak tahmini cep telefonu atık miktarları hesaplanmıştır.

2.2. Çalışmanın Amacı

Kapalı döngü tedarik zinciri yönetimi günümüz rekabetçi piyasa koşulları içinde firmaların sürdürülebilirliği açısından önemli bir kavram haline gelmiştir. KDTZ farklı

uzmanlıklara sahip birimlerin (tedarikçiler, fabrikalar, müşteriler, depolar) bütünleşmiş faaliyetlerinin ortak bir amaç için koordinasyonunu (malzeme tedarik ve akışı, ürün bileşenlerinin demontaj ve montajı, nihai ürün dağıtımı, kullanımı sona eren ürünlerin kullanıcılardan geri toplanması..vs) sağlamaktadır. Bu zincir faaliyetlerinin planlanması stratejik düzeyde bir karar verme ihtiyacı doğurmaktadır. Stratejik kararlar uzun dönemli bir süreci içerdikleri için karar vericiler karar destek araçlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu çalışmanın amacı yöneylem araştırması yöntemlerinden KTDPM'nın kullanımı ile KDTZ ağ tasarımı modeli oluşturmak, cep telefonu sektöründe yeniden üretim faaliyeti kapsamında bir uygulama örneği ile bu sistemin karlı olup olmadığının değerlendirilmesini sağlayacak bir karar destek aracı geliştirmektir. Önerilen model, cep telefonu sektöründe uygulamaya ilişkin problemlerin farklı yönleriyle analiz edilmesini sağlamaktadır.

2.3. Çalışmanın Önemi ve Beklenen Katkıları

Genel olarak tersine lojistik faaliyetleri içinde yeniden kullanım, tamir, yeniden üretim, geri dönüşüm, atık toplama/bertaraf etme faaliyetleri sayılmaktadır. Bu faaliyetlerin birlikte ele alındığı çalışmaların yanı sıra sadece bir faaliyetin ele alındığı, genel bir problem yapısını veya sektöre özgü problem yapılarının modellendiği gözlenmiştir. Bu çalışmanın literatüre katkısı, sektöre özgü yani ürün özellikli ve çok ürünli, kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı, yeniden üretim faaliyeti odaklı bir sistem tasarımının ortaya konulması olarak özetlenebilir.

Uygulamada incelenecek problem cep telefonu pazarı için yeniden üretim faaliyetini, bu şekilde değerlendirilemeyen bileşenlerin geri dönüşüm firmalarına gönderilmesini, geri dönüşüm için de bir değeri olmayan bileşenlerin ise atık bertaraf tesislerine naklini gerçekleştirmeyi sağlayacak bir sistemin karlı olup olmadığını analizini içermektedir.

Tersine tedarik zinciri ağ tasarımı modelleri ile ilgili literatürde çok sayıda çalışmanın yapıldığı buna karşılık ileri ve tersine tedarik zincirinin bütünleşik olarak ele

alan KDTZ çalışmalarının sınırlı sayıda olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle çalışmanın bu eksikliği gidermeye yönelik bir katkısı söz konusudur.

Yasaların yürürlükte olduğu ülkelerin uygulamaları incelendiğinde çok farklı düzenlemeler ile karşılaşılmaktadır. Bu farklılıklar geri dönen ürünlerin toplanması ile ilgili kanal yapıları ve, geri kazanım faaliyetleri, gibi konularda değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışma da Türkiye pazarı için gerçekleştirilecek bir uygulama örneği yer alarak Türkiye'ye özgü gerçeklikler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM III

3. KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ

3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Tanımı

Kapalı döngü tedarik zinciri (KDTZ) kavramı, kullanım ömrünü tamamlayan ürünlerin (EOL) son kullanım noktasından toplanıp, yeniden değerli hale getirmek üzere geri kazanım süreçlerin uygulanması ve tekrar pazara sunulması olarak ifade edilmektedir. (Thierry vd.1995, Guide vd. 2003)

Başka bir genel tanıma göre ileri ve tersine tedarik zinciri yapılarının bütünleşik olarak çalıştığı sistemler olarak ifade edilmektedir. (Fleishmann vd.,1997, Debo, 2004, Paksoy, 2012, Talbot, 2006)

KDTZ kavramı ilk olarak Thierry vd. tarafından 1995 yılında yapılan “*ürün geri kazanımı ile ilgili stratejik konular*” isimli çalışmada “bütünleşik sistemler” olarak ifade edilmiştir. Ürün geri kazanımının ekonomik ve çevresel açıdan değer ifade ettiği ve önem kazanmaya başladığı süreçte ortaya çıkan bir kavramdır.

KDTZ ile ilgili araştırmaların yaklaşık 20 yıllık bir geçmişi bulunmaktadır. KDTZ kavramının doğuşu tersine lojistik literatüründen kaynaklanmaktadır. (Defee vd., 2009) Ürün geri dönüşlerinin yönetimi klasik tedarik zinciri yapısından farklı bir işleyiş gerektirmesi nedeniyle tersine lojistik sistemi gelişmeye başlamıştır. Bu süreçte ürünlere artı değer eklenmesi ile tersine lojistik sisteminin etkililiğinin klasik tedarik zinciri sistemi ile bütünleşmiş biçimde çalışması ile birlikte daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu iki farklı yapının bütünleşmiş çalıştığı sistemlere KDTZ adı verilmektedir.

Günümüzde kaynakların azalması ile birlikte firmaların çevreci uygulamalara, geri kazanım faaliyetlerine, sürdürülebilirliğe doğru yaklaşım içinde oldukları görülmektedir. Bu faaliyetlerini başarılı bir şekilde gerçekleştirmeleri mevcut tedarik zincirlerini tersine bir şekilde geliştirerek ileri ve tersine tedarik zinciri faaliyetlerini bütünleşmiş biçimde yürütmelerine bağlı olmaktadır.

3.2. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Yönetimi

Kapalı döngü tedarik zinciri yönetimi zaman içerisinde farklı cins ve miktarlarda geri dönen EOL ürünlerden maksimum değerin elde edilmesinin sağlayacak sistemin tasarımı, işletimi ve kontrolünü ifade etmektedir. (Guide, 2009) San vd. yaptıkları çalışmada KDTZ yönetimi ile ilgili araştırmaları dört kısımda incelenmektedirler. Politika ve strateji, liderlik ve organizasyon, performans değerlendirme ve iş yaklaşımları olarak belirlenmiştir. (San vd., 2012) KDTZ oryantasyonu liderlik ve organizasyon ile ilgili yeni bir yaklaşım olarak adlandırılmaktadır. Klasik tedarik zinciri yapısının rekabet ve karı artıracak biçimde, sosyal sorumluluk gerektiren çevre ile ilgili konularda tersine akışlar için kullanılması şeklinde ifade edilmektedir. (Defee vd., 2009) Bunun sonucu olarak KDTZ oryantasyonu KDTZ yeteneğini artıracak ve KDTZ yönetimi ile rekabet avantajı sağlayacaktır.

KDTZ yönetiminde sistemin işleyişini politika ve stratejiler belirlemektedir. Öncelikle KDTZ yapısının tasarımı için nedenler ortaya çıkmaktadır bu nedenler arasında kanunlar ve yönetmelikler sayılmaktadır. Bunlar zorlayıcı yapılandırıcılar olarak belirtilmektedir. Bunların yanı sıra sosyal sorumluluk, kaynak kullanımının azaltılması, çevreyi koruma gibi nedenlerde bu yapının tasarlanmasında etkilidir. Sistemin tasarlanması ile sistemi oluşturan paydaşlar ortaya çıkmaktadır. Paydaşlar arasındaki ilişkiler sektöre göre farklılaşmaktadır. Geri dönmesi istenen EOL ürünlerin finanse edilme şekli, vergi ve ücret politikaları, bayi, perakendeci promosyonları ile ürünlerin toplanması gibi farklı sistem davranışlarının olduğu yapılan çalışmalarda gözlenmektedir. Kumar & Yamaoka (2007) Japon otomotiv endüstrisinde KDTZ için

sistem dinamiklerini incelemişler ve uzun dönemde geri dönüşüm faaliyetlerine yasal düzenlemelerin etkisini araştırmışlardır.

KDTZ yönetimi ile ilgili kararlar taktik, operasyonel ve stratejik düzeyde olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Souza (2012) yaptığı çalışmada KDTZ ile ilgili kararları sınıflandırmıştır.

Stratejik düzeydeki kararlar: ağ tasarımı, ürün geri toplama stratejilerinin belirlenmesi, yeniden üretim faaliyetinin sorumlusunun kim olacağı(3.parti firma ya da orijinal ürün üreticisi (OEM)), geri alım ya da değişim (takas) politikası, tedarik zinciri faaliyetleri arasındaki koordinasyon, teşvik ya da kontratlar, geri kazanım faaliyetlerinin yeni ürün tasarımına etkisi, yasal düzenlemelere karşı izlenen politikalar ve firmanın cevap verebilirliğini kapsamaktadır.

Taktik düzeydeki kararlar arasında; ürün geri dönüşleri ile ilgili miktar, kalite ve zaman, ürün bileşenleri ve ürünün kendisi ile ilgili geri kazanım faaliyetinin belirlenmesi sayılmaktadır.

Operasyonel kararlar arasında araç rotalama, parti büyüklükleri ve demontaj işlemleri ile ilgili çizelgeleme kararları yer almaktadır. Operasyonel kararlar günlük planlama gerektirmektedir. Taktik kararlar ise haftalık, aylık planlara göre belirlenmektedir. Stratejik düzeydeki kararlar ise yıllık planlama gerektirmektedir. Bu nedenle stratejik düzeydeki kararlar firmanın sürdürülebilirliği ile ilgili konuları da kapsamaktadır.

3.3. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı

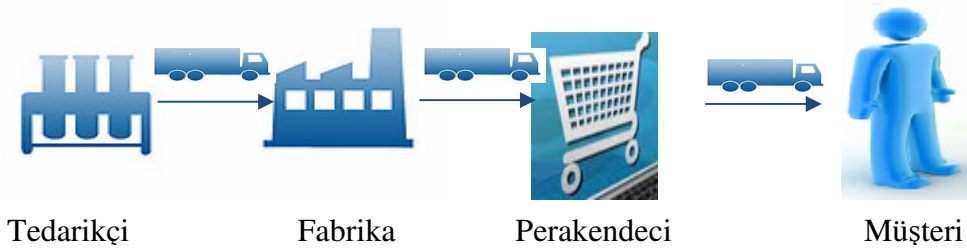
Tedarik zinciri ağ tasarımı tedarik zinciri yönetimindeki en önemli stratejik kararlardan biridir. Genel olarak ağ tasarımı kararları açılacak tesis sayısını, yerini, kapasitesini ve bu merkezler arasındaki akış miktarlarını belirlemeyi içermektedir. Tesis açma kararı uzun vadeli ve çok maliyetli bir karardır bu nedenle kısa sürede tesisin yeri ile ilgili bir değişiklik yapmak olası değildir. Ağ tasarımı gibi stratejik düzey kararlar

için verilecek yatırım kararlarının geri dönüşleri operasyonel ve taktik karar düzeylerinde verilecek yatırım kararlarından çok daha yüksek düzeyde olmaktadır. Öncelik stratejik düzey kararlara verileceğinden operasyonel ve taktik düzeydeki kararların planlamasında bu kararlar kısıt oluşturabilmektedir. (Pishvae vd., 2010b)

KDTZ ağ sistemleri iki farklı bileşenden oluşmaktadır: (Zhu, et al., 2008) 1.bileşeni ileri tedarik zinciri yapısını temsil eden hammadde tedarikçileri, üretim merkezi, dağıtım merkezleri ve müşteri merkezlerinden, 2.bileşeni tersine tedarik zinciri yapısını temsil eden müşteri merkezleri, depolar ve geri kazanım merkezlerinden (yeniden üretim, geri dönüşüm, ayrıştırma..vb) oluşmaktadır. Müşteri merkezleri bu sistemin kesişim ve bağlayıcı noktasıdır. Aşağıda (bkz. Şekil 3.1, 3.2) ileri ve tersine tedarik zinciri faaliyetleri gösterilmektedir. Bu iki tedarik zinciri akışının bütünleşik olarak aynı sistemde yer aldığı yapıya CLCS adı verilmektedir. (bkz. Şekil 3.3)

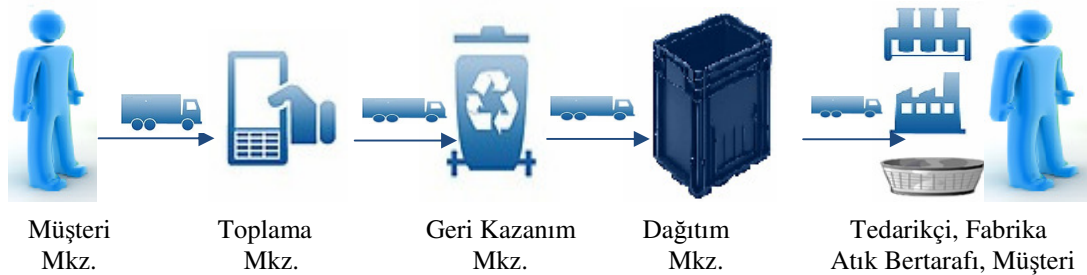
KDTZ kararının arkasındaki önemli iki motivasyon çevre ile ilgili yasal düzenlemeler ve iş süreçleri ile ilgili performans kazanımlarından kaynaklanmaktadır.

İleri Tedarik Zinciri



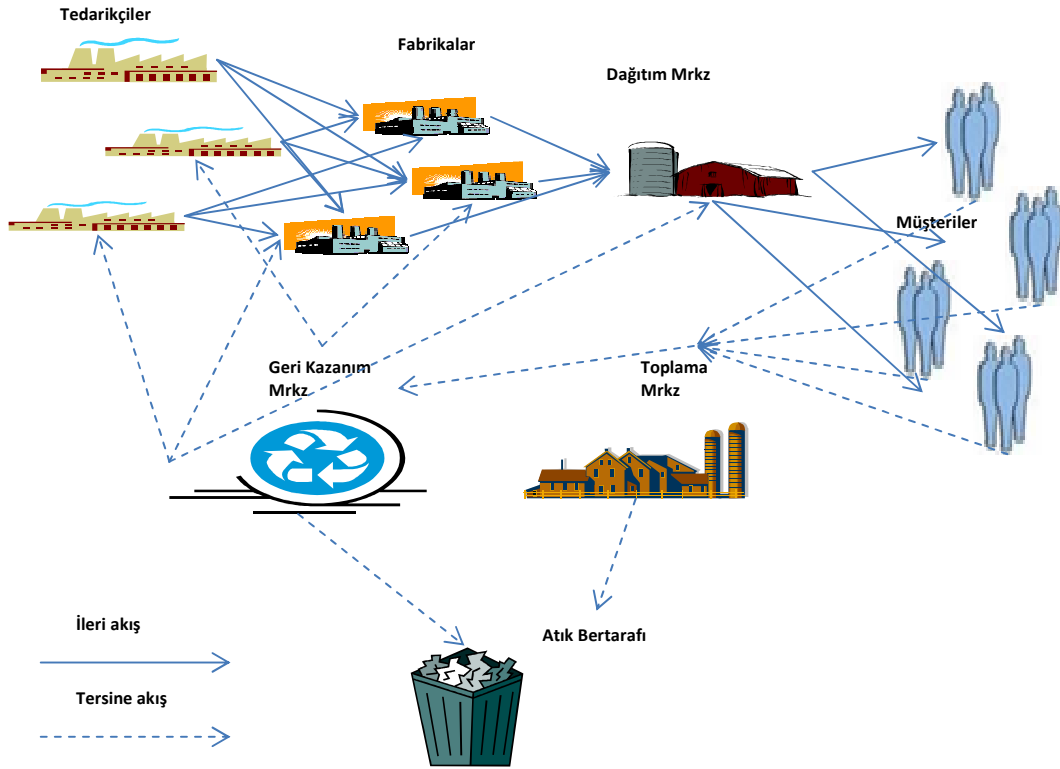
Şekil 3.1: İleri Tedarik Zinciri

Tersine Tedarik Zinciri



Şekil 3.2: Tersine Tedarik Zinciri

KDTZ ağ tasarımı ile ilgili genel kapsamlı literatür tarama çalışması Akçalı&Üster (2009) tarafından yapılmıştır. Çalışmada ağ tasarımı problemlerinde kullanılan matematiksel modelleme yöntemleri, ağ yapısının aşamalarına göre sınıflandırmalar yapılmıştır. İlk tersine tedarik zinciri ağ tasarımı çalışmalarında kullanılan matematiksel modelleme yöntemlerini inceleyen bir diğer literatür çalışması (Fleishmann vd., 1997) tarafından yapılmıştır. Genel olarak KDTZ ağ tasarımı çalışmalarının ürün yada sektöre özgü olarak yapılan çalışmalara oranla sayıca fazla olduğu gözlenmiştir. Konuyla ilgili örnekler ve literatür incelemelerini ayrıntıları beşinci bölümde anlatılmaktadır.



Şekil 3.3: Kapalı döngü tedarik zinciri

3.4. Tersine Lojistik

Tersine lojistik (RL), lojistik yönetimi ile ilgili tüm süreçleri içermekle birlikte tek farkı lojistik faaliyetleri akışlarının yönleri ile ilgilidir. Klasik lojistik faaliyetleri hammaddenin nihai ürüne dönüşmesi için gerçekleşirken RL, nihai ürünün kullanım

ömrü sonunda olup olmadığı fark etmeksizin yeniden kullanım opsiyonları yaratma amacı için gerçekleşen faaliyetleri kapsamaktadır. RL kavramı sürdürülebilirlik, atık yönetimi, endüstriyel ekoloji, çevre yönetimi, yeşil lojistik konuları ile ilişkilidir. (Brito ve Dekker, 2004)

Sürdürülebilirlik kavramı ile ilişkilidir çünkü bugünkü nesillerin ihtiyaçları karşılanırken aynı zamanda gelecek nesillerin ihtiyacını karşılayacak yeni kaynaklar yaratma çabası ve kaynak kullanımını azaltma motivasyonu ile tanımlanmaktadır. Kullanılmış ürünlerin yeniden kullanım imkanı kazanması ile yeni kaynak kullanımına göre daha ucuz kaynak yaratılmış olmaktadır.

Atık yönetimi artık işlevsel olmayan bileşen veya ürünlerin uygun biçimde toplanması, ayrıştırılması, depolanması ve bertaraf edilmesini kapsamaktadır. RL faaliyetleri bu kapsamı içermekle birlikte farklı olarak, işlevi olan ürünlerin geri dönüşlerini de kapsamaktadır.

Endüstriyel ekoloji ile ilişkilidir çünkü endüstriyel ekoloji endüstriyel sistemleri ve çevre yönetimi ilişkisini ele almaktadır. Aşağıdaki kısımlarda sırasıyla RL tanımı, tarihsel gelişim süreci ve faaliyetleri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

3.5. Tersine Lojistik Tanımı

Lojistik yönetim konseyi tarafından yapılan bir tanım da tersine lojistik geri kazanım faaliyetlerinin lojistiği olarak ifade edilmektedir. (Stock, 1992)

Diğer bir tanımda, “lojistik yönetiminin ürün ve ürün ambalajlarının tehlikeli ve tehlikeli olmayan atıkların bertaraf yollarını kapsayan kısmıdır.” (Kopicky vd.,1993) olarak belirtilmektedir.

AB çalışma grubu REVLOG 1998 tarafından yapılan tanımda, “hammadde yada nihai ürünlerin üretim, dağıtım yada son kullanım noktasından geri kazanım yada atık

bertaraf merkezine olan ters akış süreci olarak belirtilmektedir.” Günümüzde de bu genel anlamıyla kullanılmaktadır. (Brito ve Dekker, 2004)

Tersine lojistik için genel bir tanım (Stock,1992) tarafından yapılmıştır. Bu tanım da tersine lojistiğin malzeme ve materyallerin uygun maliyetle akışının sağlanması ve tüketim noktasından ilk kaynak noktasına kadar gerekli bilgi akışının, üretim süreçlerinin, stok kontrollerinin, malzeme tedarik süreçlerinin etkin bir biçimde gerçekleşmesi için yürütülen planlama, uygulama ve kontrol işlemlerinin bütünü olarak ifade edilmektedir.

Tersine lojistik kavramı sadece kullanılmış ürünlerin lojistik faaliyetlerini içermemektedir. Bunun yanı sıra (Rogers vd., 1999) yaptıkları çalışmada tersine akışların içerdiği ürünlere ilişkin kullanım şartı gerekmediğini, üretim ya da tüketim noktasında fazla üretilmiş ve hiç kullanılmamış ürünlerin de tersine lojistik kapsamında değerlendirildiğini belirtmektedir.

3.6. Tersine Lojistik Tarihi Gelişimi

1987 yılında yayınlanan Brutland raporunda sürdürülebilir kalkınma tanımının ekonomik hayatla çevrenin uyumlu entegrasyonu olarak ifade edilmesi ürün geri kazanımı ve yeniden kullanım kavramlarının doğuşunun temel nedeni olarak gösterilmektedir. 1992 yılında yayınlanan Birleşmiş Milletler (BM) Çevre konferansı kararları (gündem 21) belgesinde ortaya çıkan ana maddelerden konuyla ilgili olan maddeler;1- kalkınma için kaynakların korunması ve yönetilmesi, 2-uygulamaların nasıl yapılacağı ve kaynakların nasıl konuya mobilize edileceği şeklinde olmak üzere sürecin gelişiminde önemli rol oynamıştır. 1999 yılında AB komisyonu tarafından WEEE ile ilgili yönetmelik taslağı önerisi sunulmuştur. 2003 yılından itibaren komisyon yasa tasarısını kabul etmiş ve uygulama sürecine geçmiştir. Çevre ile ilgili farklı alanlardaki yasal düzenlemelerin sayısı günümüze doğru gelindiğinde, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan biçimde devam etmektedir. Japonya’da benzer bir düzenlemeyi 1990 yılında 3R (Reduce, Reuse, Rcycle) başlığı ile yayınlamıştır. Yasal düzenlemelerin

yaptırımları sayesinde uygulama biçimleri geliştirmek durumunda kalan firmalar sürecin karlılık düzeyine etkisi, kaynakların etkin kullanımı ile fayda sağlamışlardır.

1900 yılların başlarından itibaren konuyla ilgili araştırmacıların bu alanda yaptıkları çalışmalar popülerlik kazanmaya başlamıştır. (Stock 1992, Rogers and Tibben-Lembke 1999, Dowlatshahi 2000, Fleishmann vd., 1997)

3.7. Tersine Lojistik Faaliyetleri

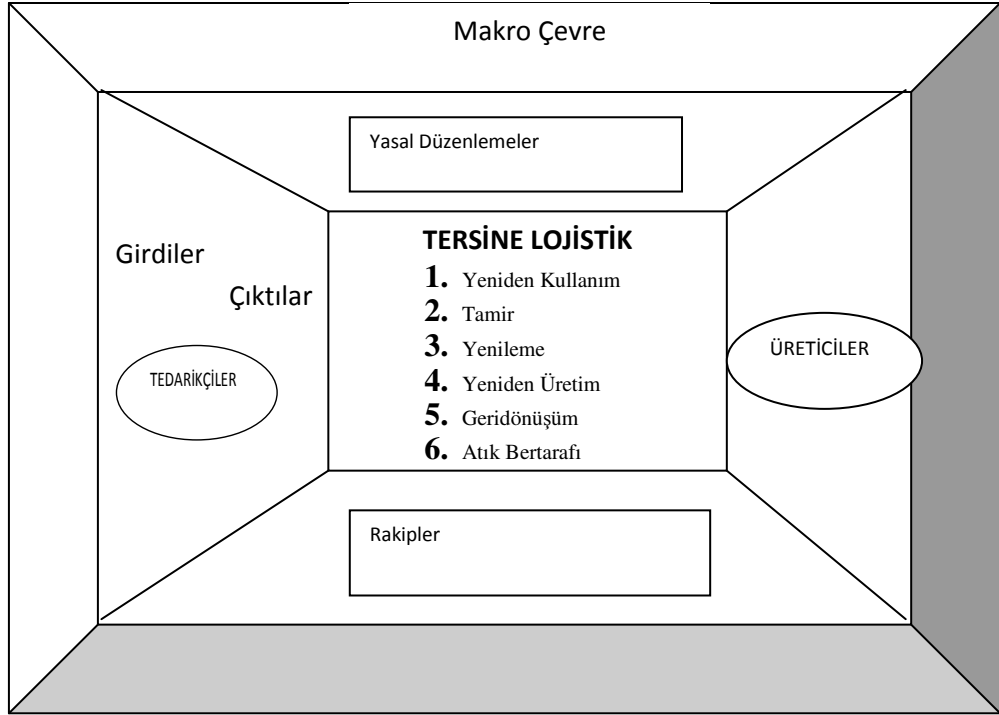
Tersine lojistik faaliyetleri ürünü geri çağırma - toplama - depolama - ayrıştırma - dağıtım-atık bertarafı ve geri kazanım faaliyetlerini (ürün iyileştirme opsiyonlarını) kapsamaktadır. Bu faaliyetlerin hepsi her sektör için tersine lojistik ağı içinde genellikle yer almaktadır. Ancak sadece geri kazanım faaliyetleri farklı olabilmektedir. Genel olarak tersine lojistik ağı, bu faaliyetleri amacı en iyileyecek şekilde düzenlemek üzere tasarlanan sistem olarak ifade edilmektedir. Bu sistem içerisinde geri kazanım faaliyetleri yer aldığı için tersine lojistik faaliyetleri olarak adlandırılmaktadır.

- **Ürün geri çağırma** (*Product Acquisition*); Kullanıcıdan kullanılmış ürünün temin edilmesini ifade etmektedir.
- **Toplama** (*Collecting*);Kullanılmış ürünlerin taşıma ya da nakil için maliyet avantajı sağlamak için uygun miktarlarda biriktirilmesini ifade etmektedir.
- **Ayrıştırma** (*Inspection*); Geri çağrılan ürünlerin hangi şartlarda olduğunun kontrol edilip en karlı geri kazanım faaliyeti için yönlendirilmesi işlemidir.
- **Depolama** (*Inventory*); Kullanılmış ürünlerin ayrıştırılmasından sonra gerekli işlemler için saklanması ifade etmektedir.
- **Dağıtım** (*Distribution*); Kullanılmış ürünlerin yeniden pazarlara ulaşmasını ifade etmektedir.
- **Atık Bertarafı** (*Disposal*);Kullanılmış ürünlerin içinde bulunan çevreye zararlı maddelerin uygun bir biçimde, çevreye zarar vermeden ortadan kaldırılması olarak ifade edilmektedir.

Geri kazanım faaliyetleri 5R olarak da bilinen “Remanufacturing – Reuse – Refurbishment – Recycling – Repair” (Yeniden üretim, Yeniden Kullanım, Yenileme (Sıfırlama), Geri dönüşüm, Tamir,) faaliyetleri kapsamaktadır.

- **Yeniden Üretim** (*Remanufacturing*) : Ürün kullanıldıktan sonra tekrar kullanılmak üzere bileşenlerine ayrıştırılır. Yazılım ya da donanım gerekli tüm bileşenler gözden geçirilip, gerekli iyileştirilmelerin yapılmasından sonra bileşenler tekrar monte edilir. Son şekliyle ürün eskisinin tam olarak aynısı şeklinde pazara sunulmaktadır.
- **Yeniden Kullanım** (*Reuse*) : Ürünün sökülmeden ikincil pazarlarda tekrar satışa sunulması olarak ifade edilmektedir.
- **Yenileme/Sıfırlama** (*Refurbishment*) : Ürünün satın alındıktan sonra üretici kaynaklı olarak ortaya çıkan sorunlardan dolayı toplatılması, sorunların giderilip tekrar daha uygun fiyatla pazarda satılması olarak ifade edilmektedir. Bu şekilde satılan ürünlerin ya da bileşenlerin üzerinde “refurbish” ibaresi bulunmaktadır.
- **Geri Dönüşüm** (*Recycling*) : Ürünün özelliğini kaybederek kimyasal bir takım işlemler sonrasında hammadde haline dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır.
- **Tamir** (*Repair*) : Ürünün işlevini yerine getirmeyen bir bileşenin onarım sonucu eski işlevinin kazandırılmasını ifade eder.

Tersine lojistik faaliyetlerini uygulayan bir firma, çevreye daha az zarar vermenin yanı sıra maliyet avantajı sağlamaktadır. Ayrıca firmanın imajına rekabet ortamında önemli bir misyon kazandırmaktadır. (Carter&Ellram, 1998) Aşağıda şekil 3-4’de tersine lojistik kapsamı ve ortaya çıkmasına sebep olan faktörler ile ilişkileri gösterilmektedir.



Şekil 3-4: Tersine Lojistik Faaliyetleri ve Makro Çevre İlişkisi (Kaynak: Carter&Ellram, 1998)

BÖLÜM IV

4. YENİDEN ÜRETİM

4.1. Yeniden Üretim Tanımı

Yeniden üretim kullanım ömrünü tamamlayan ürünlere orijinal ilk üretim sonrasındaki işlevlerinin kazandırılmasını sağlayan bir endüstriyel süreç olarak tanımlanmaktadır. (USITC, 2012)

Yeniden üretim geri kazanım faaliyetleri içinde en çekici fakat uygulanabilirliği ürün geri dönüşleri, geri dönen ürünlerin kullanılabilirliği, kalite düzeyi, yeniden üretilen ürünlere olan talep belirsizliklerine bağlı olması nedeniyle zor bir faaliyettir. (Guide, 2003) Bununla birlikte kullanım ömrünün tamamlamış ürünlere ilave değer eklenmesi, ürün bileşenlerinin yeniden kullanım imkanı yaratması, kaynak tasarrufu sağlaması ve çevreye olan zararın önlenmesi ile bir çok kurumsal firmanın rekabet avantajı ve, müşteri memnuniyeti sağlayacağı düşüncesi ile şirket politikasında tercih ettiği bir faaliyet olarak öne çıkmaktadır.

Yeniden üretim, ürünlerin yaşam döngüsü için bir stratejidir. Amaç ürünlerin yaşam ömürlerinin uzatılmasıdır. Bu strateji; ürün kullanım ömrünün tamamlanmasından sonra başlar, yeniden üretim sürecine girer ve tekrar yaşam döngüsüne girmesiyle tamamlanır.

4.2. Yeniden Üretim Faaliyetlerinin Temel Özellikleri

Guide vd., (2000) yaptıkları çalışma da yeniden üretim faaliyetinin temel karakteristiklerini belirtmişlerdir:

- (1) Yeniden üretim için ne kadar ürün ne zaman geri dönecektir sorusu belirsizdir.
- (2) Yeniden üretilen ürün talebi ve geri dönüş miktarlarının dengelenmesi gerekmektedir.
- (3) Geri dönen ürünler sökülmeaktadır.
- (4) Geri dönen ürünlerden geri kazanılacak materyal miktarı bilinmemektedir.
- (5) Tersine lojistik/kapalı döngü ağ yapısı gerekmektedir.
- (6) Geri dönen ürünlerden elde edilen materyallerin eşleme-uyum kısıtı bulunmaktadır.
- (7) Değişken üretim süreleri mevcut olabilmektedir.

Yeniden üretim sonucu piyasada satışa sunulan ürünler yenisinden ayırt edilemeyecek nitelikte olup fiyat açısından da tüketiciye avantaj sağlamaktadır. Ancak yeniden üretim sürecinin planlanması karmaşık bir dizi karardan oluşmaktadır. Bu kararlar lojistik ağ yapısının farklılaşmasına neden olmaktadır.

1) Yeniden üretim sürecinin yürütücüsü kim olacaktır?

Üretici firma (OEM-Orijinal Equipment Manufacturer), üçüncü parti lojistik firması (3PL) ..vb alternatiflere göre ağ yapısını oluşturan unsurlar ve sistemin akışı farklılaşmaktadır.

OEM üretim sürecine yeniden üretim faaliyetini entegre edebilir. Tek kullanımlık kameralar (Eastman, Kodak, Fujifilm), toner, kartuş (Xerox) (Celendenin 1997), yazıcı (HP), bilgisayar (IBM), ticari temizlik araçları (Electrolux) firmaları bu tarz bilinen örnek uygulamalar arasında sayılmaktadır.

3PL firmaları tarafından farklı sektörler de yeniden üretim faaliyeti gerçekleştirilmektedir. Cep telefonu (Recellular), halı, bulaşık makinası, akü, radyo ürünleri ile ilgili yeniden üretim örnekleri mevcuttur.

Geri kazanım faaliyetlerinin etkin biçimde gerçekleştirilmesi kullanım ömrünü tamamlayan ürünlerin geri dönüşlerinin sağlanması ile mümkün olmaktadır.

2) Ürün geri dönüşlerinin kaynağı nelerden oluşmaktadır?

Ürün geri dönüşlerinin farklı nedenleri bulunmaktadır. Bunlar ürünü geri gönderen ya da ürünü geri alan bakış açısıyla değerlendirilmektedir. (Brito, M., 2004) Ürünü geri alan bakış açısı; ekonomik değer elde etme, yasal zorunluluk ya da kurumsal sorumluluk nedenleri ile ürünü gönderme bakış açısı nedenleri ise üretici, dağıtıcı ya da müşteri kaynaklı olabilmektedir.

Üretici/Dağıtıcı kaynaklı geri dönüş nedenleri:

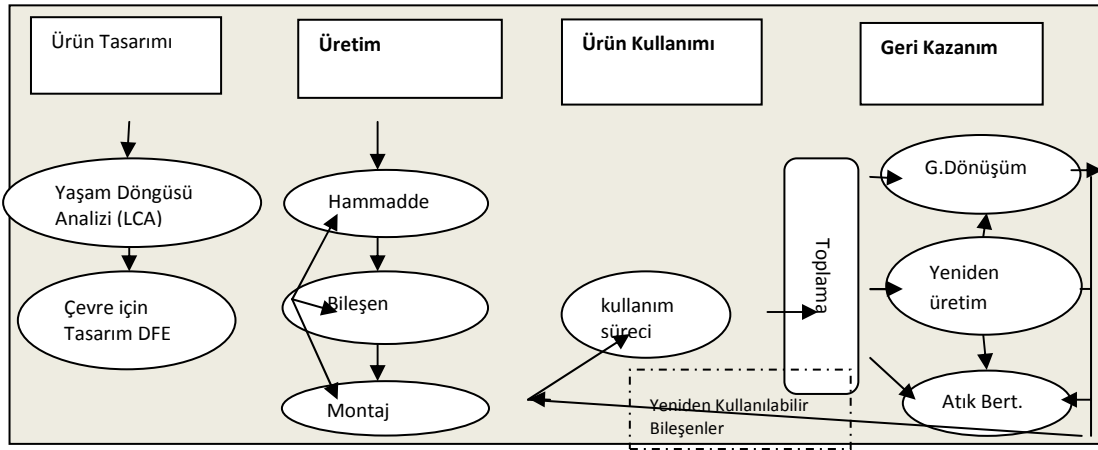
- hammadde, malzeme ya da nihai ürünlerin kalite kontrol sonuçlarındaki eksiklikler,
- üretim hataları, dağıtım hataları ,
- ürünlerin güvenlik yada sağlık problemleri nedeniyle toplatılması,
- modası geçmiş ve satılmayan perakendecilerin raflarında kalan ürünlerin iade edilmesi,
- fonksiyonel olarak kullanımına devam edilen ürünlerin geri dönüşleri (paletler, kasalar, şişeler..vs).

Müşteri kaynaklı geri dönüş nedenleri;

- servis hizmeti,
- garanti kapsamı,
- ekonomik yada fiziksel olarak kullanım ömrünü tamamlamış olmasından kaynaklanan,
- ürünün artık kullanım ihtiyacını karşılamaması (ikinci el piyasalarda satılan ürünler)

3) Son kullanıcı ile yeniden üretim yapan firma arasındaki bağlantı nasıl sağlanmaktadır?

Yeniden üretim faaliyetinin etkin bir biçimde gerçekleşmesi gerekli faaliyetlerin düzenlenmesi ve akışı, ağın tasarımı ile mümkün olmaktadır. Ağ yapısının kapalı döngü biçimi gerektirdiği belirtilmektedir. (Fleishmann vd., 1997) Geri dönüşüm faaliyetinin yürütebilmesi için tersine lojistik ağ tasarımı yeterli olurken yeniden üretim faaliyeti için ağın yapısı daha farklı ve karmaşık bir yapıda olabilmektedir. Aşağıda şekil 4.1’de yeniden üretim faaliyeti ve ağ yapısı içindeki ilişkileri gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Yeniden üretim ve ağ yapısı ilişkileri (Kaynak :Güngör&Gupta, 1998)

4.3. Yeniden Üretim Uygulamaları

Yeniden üretim kavramı iki temel etken üzerine ortaya çıkmıştır. Bunlardan bir tanesi verimlilik bir diğeri ise “genişletilmiş üretici sorumluluğu” olarak ortaya çıkmaktadır. Verimlilik “birim girdi ile üretilebilecek çıktı oranı ” olarak ifade edilmektedir. Burada amaç “ne kadar az girdi ile daha çok çıktı elde edebiliriz” şeklinde gerçekleştiği için kaynak kullanımının azaltılması üzerindeki çalışmalar yeniden üretim kavramının gündeme gelmesine neden olmuştur. Girdi kaynakları işgücü ve materyalden oluşmaktadır. İşgücü verimliliği ile ilgili çalışmalar arasında otomasyon, teknolojik ekipmanlar, yönetim yaklaşımları..vs sayılmaktadır. Materyal verimliliği üzerinde yapılan çalışmalar kullanım ömrünü tamamlayan ürünler içindeki bazı

bileşenlerin yeniden kullanılabilceğini göstermiştir. Bununla birlikte kaynakların yeniden kullanılması ile maliyet avantajı sağlanmakta, israf önlenmekte ve çevreye zarar verilmesi önlenmektedir.

Genişletilmiş üretici sorumluluğu ile paralel olarak ortaya çıkan uygulama yaşam ömrünün sonuna gelen ürünlerin geri çağırılması gerekliliği ile ilgili düzenlemelerdir. Bu düzenlemeler üreticiyi (OEM) piyasaya sunmuş olduğu ürünün tüm yaşam evrelerinden sorumlu kılmaktadır. Bunun sonucu olarak üretici bu süreci kendi tedarik zinciri ile eş zamanlı olarak yürütmekte ya da üçün parti bir lojistik firması ile anlaşarak bu işlerin sorumluluğunu devretmektedir.

Çok çeşitli alanlarda yeniden üretim faaliyeti ile ilgili uygulamaları yürüten firmaların olduğu bilinmektedir. Bunların faaliyetlerinin planlanması ve uygulanabilirliği ile ilgili çalışmalara literatürde rastlanmaktadır. Yeniden üretim faaliyeti kapsamında ilk çalışmalar otomotiv endüstrisi ile ilgili olarak 1979 yılı başlarında MIT’de gerçekleştirilmiş ve daha sonra konu ile ilgili akademisyenlerin yayınları ile popülerlik kazanmaya başlamıştır. Meixell&Gargeya (2005) global tedarik zincirinin 90’lı yıllardan 2000’li yıllara değişimini ve konuyla ilgili literatürü incelenmişlerdir. Yapılan çalışmalarda sektörel uygulamaların üzerinde yeterince durulmadığına işaret etmişlerdir. Elektronik, bilgisayar, otomotiv, tekstil sektörüyle ilgili çalışmalara işaret ederek bunların sayısının artırılmasının önemine vurgu yapmışlardır. V. bölümde tablo da literatürde rastlanan farklı uygulamalara ilişkin bilgi ve ağ tasarımı yapılarından örnekler sergilenmektedir.

V. BÖLÜM

5. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Cep telefonları ile ilgili geri kazanım faaliyetlerini konu alan çalışmalara literatür de rastlanmakla birlikte ağ tasarımı ve sektöre özgü uygulamasına ilişkin bir matematiksel modelleme içeren çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte, (Paquette, 2009) genel bir TTZ ağ tasarımı sürecine ilişkin kavramsal model önerisi geliştirilmiştir. Bir başka çalışmada, İspanya’da cep telefonu sektöründe tersine lojistik sisteminin karakteristikleri incelemiştir. (Cueto vd., 2011)

Teknoloji ve ürün tasarımı süreçlerindeki gelişme ve ilerlemeler sayesinde ürün bileşenleri ile ilgili detaylı bilgiye ulaşılabilmektedir. Örneğin cep telefonlarının nasıl daha modüler bir biçimde tasarlanacağını konu alan bir çalışma (Boks vd., 2000) tarafından yapılmıştır. Cep telefonu üreticilerinin ürün bileşenlerinin içerik yüzdeleri ile ilgili bildirimleri mevcuttur. (Nokia, Apple) Bu nedenle telefonların yeniden işleme, geri dönüşüm ve atık oran miktarları bilinmektedir. Geri kazanımın maksimum seviyede olabileceği modüler ürün tasarımı planlaması ile ilgili optimizasyon ise (Selinger vd., 2003) tarafından yapılmıştır.

Ağ tasarımında tesis yerlerinin belirlenmesinin yanı sıra bu tesislerin kapasitelerinin de belirlenmesi önemli bir kararı oluşturmaktadır. Kapasiteler tahsis edilirken sadece dönüşü gerçekleşen ürünlere göre değil, yeniden üretilen ürünlere olan talep, bileşen ve materyal talepleri dikkate alınarak tahsis işlemi gerçekleştirilmelidir. Kapasite planlama ile ilgili (Franke vd., 2006), tesis planlaması kapsamında ürün/süreç analizi ve tesis yerleşimi (Selinger & Kernbaum, 2007), cep telefonu yeniden üretimi için süreç ve tesis planlama (Selinger, vd, 2004), (Soudant, 2008), farklı cep telefonu modelleri ile ilgili çeşitli geri toplama senaryolarının çevresel etkilerinin incelemesi

(Wright & McLaren, 1998), cep telefonu ürün bileşenlerinden PCB'un değerli metal içeriği ile ilgili bir çalışma (Yamane, 2011), cep telefonu sektöründe geri kazanım faaliyeti ile ilgili yer alan çalışmalar arasındadır.

Ayrıca, Vlachos vd. (2007) KDTZ için yeniden üretim faaliyeti ile ilgili sistem dinamikleri yöntemi ile kapasite planlaması modelini, Xu&Zhu (2010) KDTZ içinde yeniden üretim faaliyeti için kar eniyileme amaçlı üretim modelini analiz etmişlerdir.

Bu çalışmada KDTZ ve TTZ olarak iki ayrı başlıkta ağ tasarımı problemlerine ilişkin literatürü incelenmiştir. Ağ yapılarının sektörlere, ihtiyaçlara, operasyonlara göre farklılaştıkları gözlemlenmiştir. KDTZ'nin TTZ'ne göre temel farklılığı geri dönen ürünlerin akışı ile birlikte ileri akışları da eş zamanlı olarak koordine etmesidir.

Geri dönen ürünlerin yeniden üretimi ile “yeni gibi” daha az malzeme ve üretim süreci girdisi kullanıldığı için üretim maliyetleri azalmaktadır. Amaç bu sistemlerin farklı karakteristik özelliklerini tespit edilmesi ve geri kazanım uygulamaları bağlamında kullanılan matematiksel modellerin analiz edilmesidir.

5.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Literatürü

Bu alanda yapılan çalışmalarda genellikle kullanılan yöntemler arasında deterministik, stokastik, robust, fuzzy ve simülasyon sayılmaktadır. Buna göre deterministik çalışmalar arasında Solemimani vd. 2013, Zhang&Yin 2011, Rangvani vd 2011, Wang&Hsu 2010, Easwaran&Üster 2010, Shultmann vd, 2006 ve 2003 yıllarında yapmış oldukları çalışmalar, Lu & Bostel 2007, Kannan vd 2010, 2009, Üster vd 2007, Lee & Dong 2008, Krikke vd. 2003, Jayaraman vd. 1999 yer almaktadır.

Stokastik çalışmalar arasında Amin&Zhang 2013, Pishvae vd. 2009, El-sayed vd 2010 ve Listeş, 2007, 2002 yer almaktadır.

Robust çalışmalar arasında Hasani vd. 2012, Pishvaei vd. 2011, Hongli vd. 2010 ve Realp vd yer almaktadır. Bunların dışında Paksoy vd. 2012 bulanık çok amaçlı programlama yöntemini kullanmışlardır. Pishvaei vd 2010c olasılıklı programlama yöntemini kullanmışlardır. Doğrusal olmayan programlama yöntemi kullanılan çalışmalar arasında Hong & Yeh 2012, Yang vd. 2009, Qin & Wei 2008, Ko & Evans 2007 ve Savaşkan 2004 sayılmaktadır. Aşağıda literatürde yer alan çalışmaların ayrıntılı analizlerine yer verilmektedir.

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

Amin & Zhang (2013) genel bir KDTZ ağ problemini talebin belirsiz olduğu varsayımı ile stokastik karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama yöntemi kullanarak modellemişlerdir.

Paksoy vd. (2012) bulanık çok amaçlı LP yöntemi ile genel bir KDTZ ağ problemini incelemişlerdir. Problem çok aşamalı, çok ürünlü olup, maliyetin en iyilenmesi amacı ile analiz edilmiştir.

Hasani vd. (2012) çok dönemli, çok aşamalı ve çok ürünlü KDTZ ağ problemini kolay bozulabilen ürünler için belirsizlik ortamında aralıklı veri ve robust optimizasyon yöntemi kullanarak modellemişlerdir.

Mehrbod vd.(2012) çok ürünlü, çok dönemli ve farklı tesisleri olan bir KDTZ ağ tasarımı problemini bulanık hedef programlama yöntemini kullanarak modellemişlerdir. Çalışmanın amacı müşteri memnuniyeti ve maliyeti dengelemektir. Geliştirmiş oldukları çok amaçlı modelde amaçların önem dereceleri bulanık yaklaşımla belirlemişlerdir.

Özkır (2012) çok ürünlü, çok aşamalı bir genel KDTZ ağ tasarımı problemi için KTDPM yöntemi kullanmışlardır. Optimizasyon probleminin amacı karı en iyilemedir.

Önerilen modelde geri dönüş oranının ve geri dönen ürün kalitesinin kara olan etkisi değerlendirilmiş ve geri dönüş oranının kara etkisinin daha önemli olduğu tespit edilmiştir.

Elektrikli ve elektronik ürünler sektöründe geri kazanım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesindeki en önemli etken geri dönüş oranlarıdır. Toplama kanalının ağ tasarımı içinde önemli bir fonksiyonu bulunmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmalara da bakıldığında perakende kanallarının toplama noktası olarak kullanıldığı modellerin maliyet avantajı sağladığı görülmektedir. Hong&Yeh (2012) yaptıkları çalışmada firmaların karlılığını etkileyip etkilemediğini göstermek amacıyla perakende kanallarının toplama merkezi olarak kullanıldığı ve kullanılmadığı senaryolarını OEM ve 3PL firması vizyonu ile değerlendirmişlerdir. Global bir elektronik firmasının verileri ile geri dönüşüm faaliyeti temelinde değerlendirilen model perakende kanallarının kullanıldığı alternatifi daha karlı olduğunu göstermiştir.

Pisvae vd. (2011) ağ tasarımı problemlerindeki verinin yapısı gereği taşıdığı belirsizliğin etkisini önemsizleştirmek için robust optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Amaç en az maliyetle tedarik zinciri bileşenlerini etkin biçimde probleme özgü olarak tasarlamaktır. Deterministik karma tam sayılı doğrusal programlama ve robust optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Genel bir ağ tasarımı ve homojen ürün (tek ürün) kapsamı için kavramsal model geliştirmişlerdir. Modelde ürün geri dönüş miktarları, ikincil piyasa ürününe olan talep ve ulaştırma maliyetleri belli sınırları olan belirsizlik kümeleri ile ele alınmıştır.

Zhang&Yin (2011) genel bir KDTZ ağ tasarımı problemi için KTDPM yöntemi kullanmışlardır. Önerilen model ile üretim maliyetlerinde geri kazanım faaliyetinden elde ettikleri yeniden kullanılabilen materyaller sonucu maliyetlerde azalma sağlanmıştır.

Rangvani vd. (2011) tamsayılı doğrusal programlama yöntemi kullanarak tek ürün, tek dönemli, çok aşamalı bir model önerisinde bulunmuşlardır. Model genel bir KDTZ ağ tasarımı problemini ele almaktadır. VAM-TOC (Vogel's Approximation

Method-Total Opportunity Cost) sezgisel yöntemini kullanarak çözüm algoritması geliştirmişler ve 110 problemde test ettikleri çözümler optimale %3.5 uzaklıkta ve CPLEX programında elde etmişlerdir.

Wang & Hsu (2010) genel bir KDTZ ağ tasarımı problemini ILP yöntemi kullanarak formüle etmişlerdir. Minimum maliyetle çoklu tesis yeri seçimi kararı için, çözüm yöntemi olarak yayılan ağaç algoritması tabanlı genetik algoritma kullanmışlardır.

El-Sayed vd. (2010) çok aşamalı, çok ürünli ve çok dönemli olan modelde stokastik tam sayılı programlama yöntemini kullanmışlardır. Kar en iyileme amacı ile kurulan model genel bir KDTZ ağ tasarımı problemini ele almaktadır.

Easwaran & Üster (2010) çok ürünli, çok aşamalı, kapasiteli bir KDTZ problemini KTDPM yöntemi ile formüle etmişlerdir. Üretici/yeniden üretim firması ve dağıtım/toplama merkezleri aynı tesiste yapıldığı varsayımı ile kurulan model benders decomposition yöntemi ve dual çözüm algoritması kullanılarak çözülmüştür.

Pisvae (2010c) olasılıklı çok amaçlı MIP yöntemi ile genel bir KDTZ ağ tasarımı problemini modellemişlerdir. Problemin temel katkısı belirsizliğin ele alınmasıdır. Maliyetin en iyilenmeye çalışıldığı model tek ürün varsayımı ile geliştirilmiş modelin çözümünde bulanık sayılar kullanılmıştır.

Kannan vd. (2010) çok aşamalı, çok ürünli ve çok dönemli bir ağ tasarımı problemini maliyetin en iyilenmesi amacı ile KTDPM yöntemi kullanarak formüle etmiştir. Önerilen model, pil geri kazanımı (geri dönüşüm) için uygulanmış, problemin çözümünde ise genetik algoritma sezgiseli kullanılmıştır.

Belirsizliği ele alan bir diğer çalışma da Pisvae vd. (2009) tarafından yapılmıştır. Geri kazanım ve atıkların bertaraf edilmesi faaliyetlerine ilişkin ürünün miktar ve kalite yapısındaki belirsizlikler, ürün talebi ve değişken maliyeti dikkate almışlardır. Çalışmada ileri ve geri akışların eş zamanlı modellenmesi için stokastik ve

deterministik karma tam sayılı programlama yöntemlerini kullanmışlardır. Model tek dönemli, çok aşamalı ve senaryo analizleri ile belirsizliğin kontrol edilmesini ve maliyeti en iyilemeyi amaçlamaktadır.

Yang vd. (2009) genel bir KDTZ ağ modeli geliştirmişlerdir. Model hammadde tedarikçileri, üreticiler, perakendeciler, tüketiciler ve geri kazanım merkezlerinden oluşan bir ağ yapısını temsil etmektedir. Bu çalışmanın amacı, varyasyonel eşitsizlikler teorisi kullanarak ağı denge düzeyinde formüle etmek ve optimize etmektir. Parametrelerin etkisini (dönüş oranı, hammadde dönüşüm oranı) tanımlamak ve taşıma maliyetleri ile net gelir ile ilişkisini göstermek için çeşitli uygulama örnekleri kullanmışlardır.

Kannan vd (2009) modeli iki aşamalı olarak formüle etmiştir. İleri ve tersine akışlarda stok ve dağıtım planlamasını ağ tasarımı problemi içinde maliyetin en iyilenmesi amacıyla ele almaktadır. Problemin çözümünde genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu sezgiselleri kullanılmış önerilen modelin lastik ve plastik endüstrisi için uygulaması yapılmıştır.

Hongli vd. (2010) talebin belirsizliğini ele alan bir diğer çalışmadır. Robust optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Genel bir ağ tasarım problemini ele almaktadır. Maliyetin en iyilendiği çalışma homojen ürün grubu varsayımı ile ele alınmıştır.

Qin & Wei (2008) üç farklı toplama kanalı alternatiflerini değerlendirmişleridir. OEM kendi toplama kanalı/Perakendeci kanal/aracılığı ile toplama/ (taşeron) toplayıcı firmalardan satın alarak geri kazanım faaliyetini gerçekleştirildiğinde perakendeci kanal alternatifinin karlı bir seçim olduğu NLP yöntemini kullandıkları model ile ifade etmişlerdir.

Lee&Dong (2008) deterministik KTDPM yöntemi kullanmışlardır. Bilgisayar ürünlerinin geri kazanımı (tamir) için uygulamayı da içeren çalışmada ileri ve tersine akışları eş zamanlı olarak ve minimum maliyetle koordine etmek ve tahsisleri

gerçekleştirmek için önerilen çözüm yönteminde iki aşamalı sezgisel algoritma kullanmışlardır.

Kusumastuti (2008) bilgisayar ürünü için örnek vaka uygulamasını kapsayan problem KTDPM yöntemi kullanılarak kapasitesiz tesis yer seçimi problemi olarak modellenmiştir. Amaç aktarma ve depolama merkezlerinin optimal yerlerinin belirlenmesi, merkezler arası tahsis planlamasının optimal yapılması ve taşıma maliyetlerinin minimize edilmesidir. Üç farklı senaryo alternatiflerini değerlendirmişlerdir.

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

Üster vd.(2007) otomotiv endüstrisinde bir uygulamanın yapıldığı çalışmasında tamir-bakım-onarım için yedek parça temini gerçekleştiren OEM 'nin KDTZ ağ tasarımı problemi için KTDPM yöntemi kullanılmıştır. Maliyetlerin en iyilenmesi amacı ile kurulan modelde çok aşamalı, çok ürünlü problemin çözümü için benders decomposition yöntemini kullanmışlardır.

Listeş (2007) genel bir ağ tasarım problemini SMIP yöntemi ile formüle etmiştir. Çalışmanın temel katkısı talep ve geri dönüş miktarlarının farklı senaryolar ile analiz edilmesi ile belirsizliği dikkate almış olmasıdır.

Lu & Bostel (2007) yeniden üretim faaliyeti odaklı olarak ileri ve tersine akışları eş zamanlı olarak değerlendiren tesis yerleştirme problemi içi 0-1 TP modelini kullanmışlar, toplam maliyetin en iyilenmesi amacı taşıyan çalışmanın çözümünde langrange tabanlı sezgisel çözüm yöntemi geliştirmişlerdir.

Schultmann vd.(2006) otomotiv endüstrisinde ömrünü tamamlamış araçların yeniden kullanım amacıyla toplanmasını ve maliyeti en iyileme amacı taşıyan problemi

üç farklı senaryo altında test etmişlerdir. Araç rotalama problemi olarak formüle etmişlerdir.

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

Savaşkan vd. (2004) tek ürün / tek dönemli NLP yöntemi kullanılarak, ürün geri dönüşlerinin KDTZ sistemi içinde farklı kanal yapılarındaki durumları değerlendirildiğinde maliyet avantajı sağlayıp sağlamadığını incelemişlerdir. Perakende kanalları, taşeron firma ve OEM alternatiflerinin değerlendirildiği problem yeniden kullanım varsayımı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular perakende kanallarının geri dönüş oranını artırdığı ve maliyet avantajı sağladığının göstermektedir.

Realf vd. (2004) Tek tip ürün ve çok aşamalı ağ problemi için robust optimizasyon yöntemi kullanmıştır. Çalışmada kullanılmayan halıların geri dönüşümü kapsamında bir örnek vaka için uygulama ve analiz yapılmıştır, amaç sistemin karlı olup olmadığının gösterilmesidir.

Krikke vd. (2003) Bir Japon firmasının Avrupa'daki buzdolabı satış faaliyetleri ile ilgili örnek vaka çalışmasını da içeren bir KDTZ ağ tasarımı problemini analiz etmişlerdir. Geliştirilen modelin amacı maliyet, atık ve enerji minimizasyonudur. Modelde KTDPM yöntemi kullanılmıştır.

Shultmann vd.(2003) Almanya'da pil geri dönüşümü kapsamında bir örnek vaka çalışmasını içeren KDTZ ağ tasarımı çalışması yapmışlardır. Toplama, sınıflandırma ve geri dönüşüm yerlerinin belirlenmesi ve maliyetin en iyilendiği tesis yerleştirme modeli kullanmışlardır.

Listeş (2002) ileri ve geri akışların eş zamanlı olarak planlandığı genel bir ağ tasarımı probleminde stokastik tamsayı doğrusal programlama yöntemini

kullanmışlardır. Çözüm aşamasında L- tamsayılı tabanlı ve decomposition yöntemlerini kullanmışlardır. Önerilen model birçok örnek veri seti üzerinde test edilmiş ve iyi sonuçlar vermiştir. Model tek ürün varsayımı altında çözülmüştür.

Jayaraman vd. (1999) KTDPM yöntemi ile KDTZ ağ tasarım problemini formüle etmişlerdir. Eş zamanlı olarak yeniden üretim ve dağıtım tesislerinin yerini, tesisler arası akış miktarlarını ve maliyeti en iyileyen alternatifleri belirlemişlerdir. Elektronik eşyalarla ilgili uygulamanın yapıldığı çalışma talebin ileri akışlarda olduğu gibi tersine akışlarda da belirleyici bir parametre olduğunu ancak bunun yanında geri dönen ürünlerin yeterli miktarda olmasının önemi vurgulanmaktadır.

Fleishmann vd. (1997) KDTZ konusunu ele alan ilk çalışmalardandır. Tersine lojistik faaliyetleri ile ileri lojistik faaliyetlerinin eş zamanlı olarak ele alınmasının maliyetleri arttırdığını tartışmışlardır. İleri tedarik zinciri ile farklılıkların ve benzerliklerin de ele alındığı çalışmada tersine lojistik faaliyetlerinin kapsamı; dağıtım planlama (ağ tasarımı), stok kontrolü (talep ve geri dönen ürünlerin talep için kullanımı), üretim planlama ve kontrol konu başlıklarıyla belirtilmektedir. İleri tedarik zinciriyle karşılaştırıldığında dağıtım planlamasında kullanılan ağ tasarımı yapılarının geliştirilmesi gerekliliği, çok aşamalı ağ yapılarına gereksinim olduğu ifade edilmektedir. Stok kontrolü için tek ürünlü modellerin kullanıldığını, ancak gerçek sistemlerde birden fazla ürün olması sebebiyle sistemin belirsizliğinin arttığını ve çok ürünlü modellerin kullanılması gerekliliğini belirtmişlerdir. Özellikle geri dönen ürünleri gözden geçirilmesi sonucu tek parçadan-çok parçaya ayrıştırılması ve bunun sonucunda temin edilecek yeni materyal ve geri dönen ürünlerden elde edilen materyal miktarı ile ilgili denge kurulması modeli karmaşıktırdığı söylenmektedir. Üretim planlama ve kontrol faaliyetleri ile ilgili temel farklılığın geri kazanım yönteminden ve geri dönüşlerin zaman, miktar ve kalite kavramları ile ilgili belirsizliklerinden kaynaklandığı açıklanmıştır.

Tablo 5.1’de KDTZ ağ tasarımı problemlerinin özellikleri, uygulama alanları, kullanılan matematiksel modelleri, amaç fonksiyon yapıları, hangi faaliyetlerin ağ yapısında yer aldığı, ürün akışları ve ağ yapıları gösterilmektedir.

Tablo 5.1: Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Problemleri

<i>Yazar</i>	<i>Matematiksel Model</i>	<i>Amaç Fonksiyonu</i>	<i>Geri Kazanım Faaliyeti</i>	<i>Ağ Yapısı</i>	<i>Uygulama</i>	<i>Ürün Tipi</i>	<i>Ağ Tipi</i>
Soleimani vd. (2013)	KTDPM	KM	A-B	KDTZ	Genel	ÇÜ	ÇA
Paksoy (2012)	FMOLP	MM	GD	KDTZ	Genel	ÇÜ	ÇA
Amin & Zhang (2013)	SMINLP	MM	Y	KDTZ	Genel	TÜ	ÇA
Hasani vd. (2012)	RO	MM	Y	KDTZ	Kolay Bozulabilen/Modası Geçen Ürünler (yiyecek/teknolojik)	ÇÜ	ÇA
Pisvae vd. (2011)	RO	MM	Y/A-B	KDTZ	Genel	TÜ	ÇA
Pisvae vd. (2009)	SP	MM	Y/A-B	KDTZ	Genel	TÜ	ÇA
Pisvae vd. (2010c)	PKTDPM	MM	Y/GD	KDTZ	Genel	TÜ	ÇA
Mehrbod vd.(2012)	FGP	MM	Y/GD	KDTZ	Genel	ÇÜ	ÇA
Yang vd. (2009)	NLP	KM	Y	KDTZ	Genel	TÜ	ÇA
Zhang&Yin (2011)	KTDPM	MM	GD	KDTZ	Beyaz Eşya	TÜ	ÇA
Rangvani vd. (2011)	ILP	MM	GD/A-B	KDTZ	Genel	TÜ	ÇA
Wang & Hsu (2010)	ILP	MM	Y	KDTZ	Genel	TÜ	ÇA
El-Sayed vd. (2010)	SKTDPM	KM	Y/A-B	KDTZ	Genel	ÇÜ	ÇA
Easwaran & Üster (2010)	KTDPM	MM	Y/T/GD/A-B/YÜ	KDTZ	Genel	ÇÜ	ÇA
Hong&Yeh (2012)	NLP	MM	GD	KDTZ	Genel	TÜ	ÇA
Schultmann vd.(2006)	KTDPM	MM	Y	KDTZ	Otomotiv	TÜ	TA
Schultmann vd.(2003)	KTDPM	MM	GD/A-B	KDTZ	Pil	TÜ	TA
Lu & Bostel (2007)	0-1IP	MM	YÜ	KDTZ	Genel	TÜ	ÇA
Kannan vd. (2010)	KTDPM	MM	GD	KDTZ	Pil	ÇÜ	ÇA
Kannan vd. (2009)	KTDPM	MM	Y	KDTZ	Lastik-Plastik	ÇÜ	ÇA
Hongli vd. (2010)	RO	MM	Y/A-B	KDTZ	Genel	TÜ	ÇA
Üster vd.(2007)	KTDPM	MM	T	KDTZ	Genel	ÇÜ	ÇA
Qin & Wei (2008)	NLP	MM	-	KDTZ	Genel	-	-
Lee&Dong (2008)	KTDPM	MM	T	KDTZ	Bilgisayar	TÜ	ÇA
Özkır (2012)	KTDPM	KM	Y	KDTZ	Genel	ÇÜ-Bileşenler	ÇA
Kusumastuti (2008)	KTDPM	MM	Y	KDTZ	Bilgisayar	TÜ	TA
Ko&Evans (2007)	MINLP	MM	T	KDTZ	Genel	ÇÜ	ÇA
Listes (2007)	SMIP	MM	Y	KDTZ	Genel	TÜ	TA
Listes (2002)	SMIP	MM	Y	KDTZ	Genel	TÜ	TA
Sim vd. (2004)	KTDPM	MM	Toplama	KDTZ	Genel	TÜ	TA
Savaşkan vd. (2004)	NLP	MM	Toplama/Y	KDTZ	Genel	TÜ	TA
Krikke vd. (2003)	KTDPM	MM	Y/A-B-GD	KDTZ	Beyaz Eşya (Buzdolabı)	ÇÜ	ÇA
Realf vd. (2004)	RO	KM	GD	KDTZ	Halı	TÜ	ÇA
Jayaraman vd. (1999)	KTDPM	MM	YÜ	KDTZ	Elektronik	ÇÜ	ÇA

Tabloda Kullanılan Kısaltmaların Açıklamaları

Matematiksel Model

KTDPM= Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama

ILP= Tamsayılı Doğrusal Programlama

RO= Robust Optimizasyon

MINLP=Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama

SMINLP= Stokastik Karma Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama

GP = Hedef Programlama

FGB= Bulanık Hedef Programlama

FMOKTDPM= Bulanık Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama

KTDPM= Olasılıklı Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama

NLP= Doğrusal Olmayan Programlama

Amaç Fonksiyonu

MM=Maliyet Minimizasyonu

KM=Kar Maksimizasyonu

Geri Kazanım Faaliyeti

YÜ = Yeniden Üretim

GD = Geri Dönüşüm

T = Tamir

A-B = Atık Bertarafı

YK = Yeniden Kullanım

Y= Yenileme

Ürün Tipi

TÜ= Tek Ürünlü

ÇÜ= Çok Ürünlü

Ağ Yapısı

KDTZ = Kapalı Döngü Tedarik Zinciri

TTZ = Tersine Tedarik Zinciri

Ağ Tipi

ÇA= Çok Aşamalı

TA= Tek Aşamalı

5.2. Tersine Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Literatürü

Carter & Ellram (1998) genel kapsamlı literatür taraması yapmışlardır. Çalışma konuyla ilgili olarak ulaştırma, ambalaj ve tedarik konularını ele alan çalışmaları sınıflandırmaktadır.

Konuyla ilgili diğer bir tarama çalışması Gungor & Gupta (1999) tarafından yapılmıştır. Çevreye duyarlı üretim ve ürün geri kazanımı ile ilgili ürünün tasarım süreciyle başlayan, üretim ve kullanım ömrü sonunda yapılması gerekli işlemler ve bu süreçleri gerçekleştirecek farklı araştırma yöntemlerini içeren çalışmaları kapsamlı olarak incelemiştir. Çalışmada çevreye duyarlı üretim süreci analiz edilmiştir. Bu süreçte ürün yaşam analizi ve ürün tasarımı önemli iki basamağı oluşturmaktadır. Ömrünü tamamlayan ürünlerin çevreye duyarlı bir biçimde kullanımları ve bertaraf edilmeleri ile ilgili olarak geri kazanım süreçleri ve bunların sektörel uygulamaları ve aralarındaki benzer noktalar, ayrılıkları ortaya koymuşlardır.

Kullanılan yöntemler incelendiğinde deterministik, stokastik, robust, fuzzy ve simülasyon tekniklerinin sıklıkla kullanıldığı gözlenmiştir.

Buna göre deterministik çalışmalar arasında; Barros vd., 1998, Krikke vd. 1999, Realff vd. 1999 ve Fleishmann 2000, Jayaraman 2003 Amini vd., 2004, Wang&Yang 2007 yer almaktadır. Robust bir çalışma 2004 yılında Realff vd tarafından halı sektöründe bir uygulamayı ele almaktadır. Biehl&Prater (2007) tarafından yapılan çalışmada simülasyon yöntemi kullanılmaktadır. Aşağıda literatürde yer alan çalışmalar detaylarıyla analiz edilmektedir.

Barros vd.(1998) kum geri dönüşümü ile ilgili bir uygulama çalışmasını analiz etmişlerdir. KTDPM yöntemi ile TTZ ağ tasarım probleminin modelini formüle etmişlerdir. İnşaat atıklarının işlenmesi, kaynakların bulundukları yerlerden işleme tesislerine getirmesi, tesis yer seçimi, ayırma işlemleri vs.. özel proseslerin en iyi maliyetle gerçekleştirileceği bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Önerilen model çok aşamalı kapasiteli olarak tesis yerleşim probleminden uyarlanmıştır.

Krikke vd. (1999) çok aşamalı TTZ problemini KTDPM modeli olarak formüle etmişlerdir. Hollanda menşeli firma için, fotokopi makinesi yeniden kullanım, yeniden üretim ve geri dönüşüm faaliyetlerinin uygulandığı bir problem için karı en iyileyen tesis yer seçimi, tesisler arası akışların planlandığı çözüm elde edilmiştir. Yönetim kararlarının incelediği bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir.

Realff vd. (1999) ABD’de kullanım ömrünü tamamlayan halılardan geri dönüşüm ile elde edilen naylon iplikleri konu alan TTZ problemini KTDPM yöntemini kullanarak modellemişlerdir.

Fleishmann (2000) geri kazanım faaliyetleri ile ilgili farklı sektörlerde oluşturulan TTZ ağ yapılarını incelemişler ve geleneksel lojistik yapı ile farklılıkları karşılaştırmışlardır.

Ürün, bileşen, materyal düzeyinde yeniden kullanım faaliyetinin farklı lojistik yapılarıdaki karakteristiklerini inceleyip, klasik üretim-dağıtım ağ yapısı ve geri kazanım, atık bertarafı faaliyetlerinin bulunduğu ağ yapıları ile ilgili karşılaştırma yapmışlardır.

Jayaraman vd. (2003) ürün geri çağırma sonucu ve kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanımı için genel bir TTZ ağ tasarımı problemini incelemişlerdir. Yeniden kullanım, geri dönüşüm ve ürün bertarafı faaliyetlerini kapsayan problemin formülasyonun için KTDPM yöntemini kullanmışlardır. Modelin çözümü için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir.

Realff vd (2004) kullanılmış halılardan materyal geri kazanımı için TTZ ağ tasarımı probleminin KTDPM yöntemi kullanarak modellemişlerdir. Ağ yapısı içinde geri dönüşüm ve atık bertarafı faaliyetleri dikkate alınmaktadır. Çalışmanın bir diğer katkısı modelin robust eklentisinin geliştirilmiş olmasıdır. Kullanılmış halı toplama hacimlerinin değişimine bağlı olarak kardaki uzun dönemli en iyi çözümü elde etmişlerdir.

Amini vd.(2004) tamir faaliyetinin hizmet kalitesini artırmak ve işlem sürelerinin azaltmak amacıyla maliyetin minimum olacağı TTZ ağ tasarımı problemi için karar destek sistemi geliştirmişlerdir.

Biehl&Prater (2007) halı geri dönüşlerinin etkinliğinin artırılması için TTZ sisteminin simülasyonunu yaparak sistemin özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında yasal düzenlemelerin ve geri dönüşleri teşvik edici promosyonların kullanılmayan halıların geri dönüş miktarını artıracağına vurgu yapmaktadır.

Wang&Yang (2007) elektronik atıkların geri dönüşümü için KTDPM yöntemini kullanarak matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Kar maksimizasyonu amacı ile geliştirilen model Tayvan'da bir uygulama örneğini içermektedir. Sonuçların analizi CPLEX programı kullanılarak elde edilmiştir. Modelin sonuçlarını, geliştirilen sezgisel algoritma ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Optimale yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Mutha & Pokharel (2009) yaptıkları çalışmada tersine lojistik ağ tasarımı için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Geri dönen ürünler demontaj ve ayırma kararları için yeniden işleme tesislerine gönderilemeden önce depolara getirilmektedir. Demonte edilen parçalar yeniden işleme tesisine ya da ikincil piyasalarda satılmak üzere merkezlere gönderilmektedir. Geri dönüşüm ve atık bertaraf tesislerine de modelde yer verilmektedir. Ağ tasarımındaki faaliyetler üçüncü parti lojistik firması tarafından gerçekleştirilmektedir. Perakendeciler toplama merkezleri olarak kullanılmıştır. Kullanılmış ürünlerin sınırsız olarak sisteme dahil edilebildiği varsayılmaktadır. Kullanılmış ürünlerden ayrıştırılan bileşenler yeniden üretilen ürünler için yeterli sayıda olmadığı durumlarda bileşen tedarikçilerinden yeni bileşenler satın alınmaktadır. Yazarların dikkati çektikleri konu ise genellikle maliyet minimizasyonu içerikli modellerde ulaşım ve lojistik maliyetlerinin ağ tasarımında önemli bir faktör olduğunun aksine yeniden işleme, yeniden üretim ve bileşen maliyetlerinin önemli bir faktör olduğunu göstermesidir.

Tablo 5.2: Tersine Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Problemleri

<i>Yazar</i>	<i>Matemati ksel Model</i>	<i>Amaç Fonksiyonu</i>	<i>Geri Kazanım Faaliyeti</i>	<i>Ağ Yapısı</i>	<i>Uygulama</i>	<i>Ürün Tipi</i>	<i>Ağ Tipi</i>
Barros vd. (1998)	KTDPM	MM	GD	TTZ	Kum/İnşaat Hafriyat	ÇÜ	ÇA
Krikke vd. (1999)	KTDPM	MM	YÜ-Y- AB-GD	TTZ	Fotokopi Makinaları	TÜ	ÇA
Realff vd. (1999)	KTDPM	KM	GD	TTZ	Halı,Naylon	ÇÜ	ÇA
Jayaraman (2003)	KTDPM	MM	Y-GD- AB	TTZ	Genel	TÜ	ÇA
Realff vd. (2004)	RKTDP M	KM	GD-AB	TTZ	Halı,Naylon	ÇÜ	ÇA
Biehl&Prater (2007)	Simülasyon	MM	AB-GD	TTZ	Halı	TÜ	ÇA

BÖLÜM VI

6. TÜRKİYE’DE CEP TELEFONU SEKTÖRÜNDE YENİDEN ÜRETİM FAALİYETİ İÇİN KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ AĞ TASARIMI

6.1. Cep Telefonu Sektörünün Yapısal Özellikleri

Cep telefonu endüstrisi ömrü kısa ürün segmenti içinde yer almaktadır. Ürünler kullanım ömrü sonunda hızla atık (hurda) oluşturmakta ve çok çeşitli ürün grupları bulunmaktadır.

Cep telefonu kullanım sıklığı gittikçe artmaktadır. (Catalan,2003, Srivastava 2008) Çok hızlı tüketilebilen bir ürün, günümüzde temel ihtiyaç kategorisi içinde yer almakta ve hızla teknolojinin etkisiyle demode olabilmektedir. Yeni çıkan modellerin satış fiyatları yüksektir. Yeniden üretim sonucu piyasada satışa sunulan modeller yenisinden ayırt edilemeyecek nitelikte olup fiyat açısından da tüketiciye avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle etkin bir tersine lojistik alt yapısının geliştirilmesi, bu sektör için ekonomik, çevresel ve tüketici memnuniyeti açısından olumlu bir değer yaratacağı düşünülmektedir. Aşağıda şekil 6.1’de cep telefonu yaşam döngüsü gösterilmektedir.



Şekil 6.1: Cep Telefonu Ürün Yaşam Döngüsü (Kaynak: AMTA,2005)

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi ağ tasarımı karmaşık bir problem yapısına sahiptir. Veri teminindeki güçlükler, belirsizlikler ve ağ tasarımı maliyeti problemi güçleştiren başlıca nedenlerdir. Bunun yanı sıra yeniden üretim faaliyetinin, Türkiye’de yeni bir sektör niteliği taşıması da sayılabilir. Tedarik zinciri yapısı materyal ve bileşenin teminin yanı sıra, ürünün üretimi, dağıtımı ve pazara sunulmasını içermekle birlikte, ürünün son kullanıcılarından toplanması, ayrıştırılması, yeniden üretim tesisine getirilmesi ve yenilendikten sonra tekrar pazara sunulması aşamalarından oluşmaktadır. Bu yapı ağ içindeki faaliyetlerin artması, ürün, bileşen ve materyal çeşitliliğine ve belirsizliğin artmasına neden olmaktadır. Bu karmaşık yapının etkin tasarımı gerçekleştirilerek, firma için kar, çevre için temiz alan, doğal kaynak tüketiminde azalma ve son kullanıcı için maliyet avantajı kazanılacağı düşünülmektedir.

Türkiye’de Yürürlükte Olan Atık Yönetmelikleri ve Platformlar

- Atık Akü: Akü Üreticileri Derneği (AKÜDER), Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Pil: Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği (TİP), Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği

- Ömrünü Tamamlamış Lastik: LASDER, Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği
- Ambalaj: ÇEVKO, Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Motor Yağları: PETDER, Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği

Aeee Kontrolü Yönetmeliğin Kapsamı

- İlgili yönetmelik Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 22 Mayıs 2012’de çıkarılmıştır. Haziran 2013’te yürürlüğe girecek olan ve 2013 – 2018 yıllarının planlandığı yönetmeliğin 16. maddesinde, üretici firmaların, hangi oranlarda geri dönüşüm ve geri kazanım miktarlarını karşılaması gerektiği belirtilmektedir.
- Bu kapsamda illerden (bkz. Tablo:6.1) nüfusları itibariyle e-atıkların toplanmasına başlanacaktır.

Tablo 6.1: Yönetmelik kapsamında nüfusa göre toplama tarihleri (Kaynak:AEEE 2012)

Belediye Nüfusu	Getirme Merkezi Oluşturma ve AEEE Toplama Başlangıç Yılları
400.000’den fazla	1/5/2013
200.000-400.000 arası	1/1/2014
100.000-200.000 arası	1/1/2015
50.000-100.000 arası	1/1/2016
10.000-50.000 arası	1/1/2017
10.000’den az	1/1/2018

Bu kapsamda Arçelik, Vestel, Profilo, Beko ve Bosch’un da bulunduğu beyaz eşya üreticileri ile HP, Dell, Apple, Toshiba, Samsung, Sony, ve Casper gibi elektronik üreticisi firmaların atık toplamak için platform kuracakları açıklanmıştır. (Milliyet,09/01/2013)

- Yönetmelik ile birlikte firmalar en az sattıkları ürün kadar piyasadaki eski ürünleri toplamak zorunda bırakılacaklardır. Bunun sonucunda evlerde ve iş yerlerinde bulunan buzdolabı, televizyon, çamaşır makinesi, cep telefonu ve bilgisayar gibi eski ve kullanılmayan elektrikli ve elektronik aletler para değeri ifade etmektedir.
- Evlerdeki eski eşyalar için para karşılığı iade gerçekleştirilecek, firmalarda yönetmeliğin zorunlu kıldığı geri alım kotasını tamamlayarak ceza almaktan kurtulmuş olacaklardır.

- Toplama işleminin ilgili platformlar, dernekler ve taşeron firmalar ile gerçekleştirileceği belirtilmektedir.

Yukarıda bahsi geçen yönetmeliğin kapsamı bu çalışmanın temel motivasyon kaynağını oluşturmaktadır. Aşağıda (bkz. Tablo 6-2) yönetmeliğin belirlediği geri dönüşüm hedefleri % olarak belirtilmektedir.

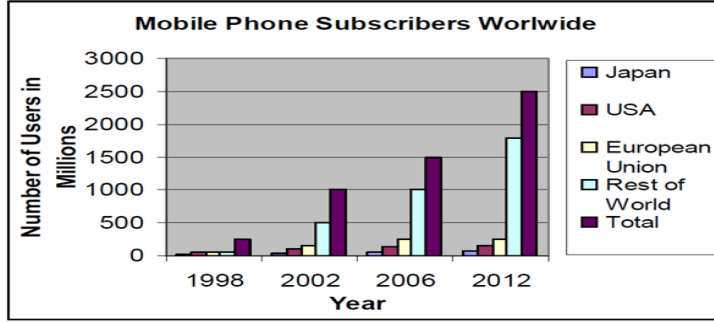
Tablo 6.2: AEEE Kontrolü Yönetmeliği Geri Dönüşüm Hedefleri (Ağırlık %) (Kaynak: AEEE)

<u>Elektrikli ve Elektronik Eşya Kategorileri</u>	<u>2013</u>	<u>2018</u>
Büyük Ev Eşyaları	65	75
Küçük Ev Aletleri	40	50
<i>Bilişim ve Telekomünikasyon Ekipmanları</i>	50	65
Tüketici Ekipmanları	50	65
Işıklandırma Cihaz ve Aletleri	20	50
Gaz Deşarj Lambaları	55	80
Elektrikli ve Elektronik Aletler	40	50
Oyuncaklar, Eğlence ve Spor Aletleri	40	50
İzleme ve Kontrol Cihaz ve Aletleri	40	50
Otomatlar	65	75

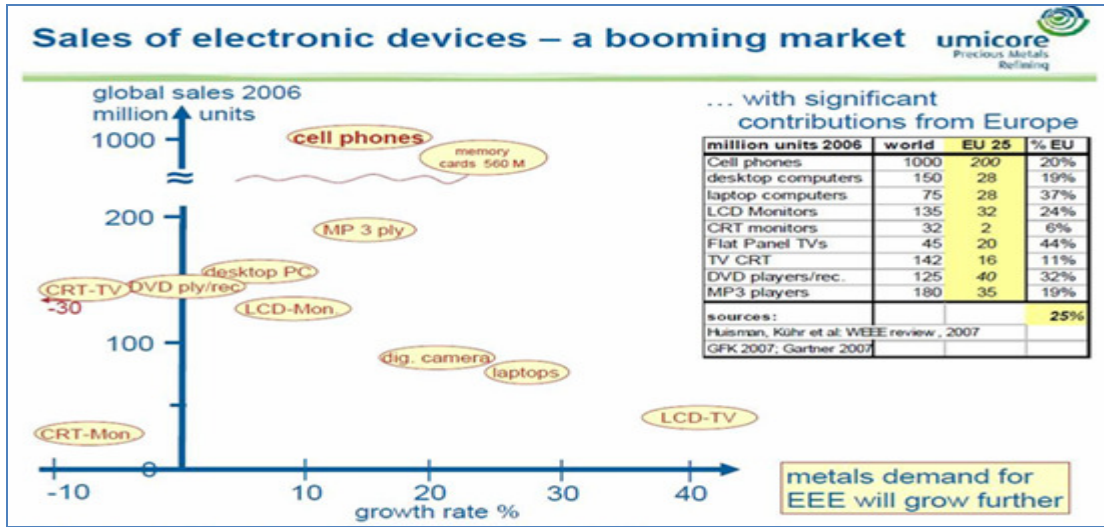
6.2. Dünyada Cep Telefonu Sektörü

Dünyada 5.3 milyar cep telefonu abonesi bulunmaktadır. (ITU Rapor, 2010) Aşağıda 2007 yılında yapılan bir çalışmada dünya genelinde cep telefonu aboneliği tahmini gösterilmektedir. Buna göre sırasıyla Avrupa Birliği en çok kullanıcı payına sahip iken, ikinci sırayı Amerika ve 3.sırada Japonya takip etmektedir. (bkn. Şekil 6.2) Bu durum atıkların geri kazanımı ile ilgili düzenlemelerin ilk kaynağının AB olmasını açıklamaktadır. Sırasıyla geri kazanım faaliyetlerinin ey yaygın olarak gerçekleştirildiği ülkelere bakıldığında nüfus ve tüketim yoğunluğuna paralel olarak gerçekleşmektedir.

BBC’de açıklanan bir haber de cep telefonu aboneliğinin dünya genelinde 18 ayda 1 milyar abone artışı olduğu belirtilmektedir. (BBC,2010) Unep raporunda belirtilene göre dünya genelinde en çok satışı gerçekleşen elektronik ürünleri ve buna paralel olarak oluşan hammadde ihtiyacını göstermektedir. (bkn.Şekil, 6.3)



Şekil 6.2: Dünyada Cep Telefonu Abonelerinin Dağılımı (Tan, 2005)



Şekil 6.3: Elektronik ürünlerin satış miktarları ve hammadde ihtiyacı (Unep,2010)

6.3. Türkiye’de Cep Telefonu Sektörü

Türkiye’de garanti kapsamı olmaksızın, sadece fiyat avantajı düşünülerek çalışan ikinci el satışı yapılan birçok alan bulunmaktadır. Özellikle beyaz eşya, kahverengi eşya ve cep telefonu sektörleri bunlara örnek verilebilir. Yapılan bir

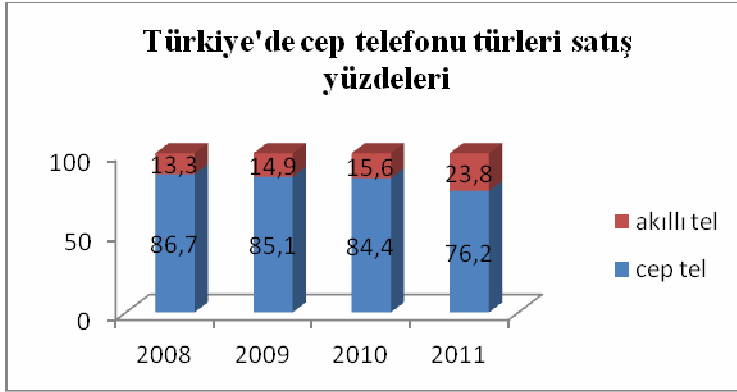
araştırma sonucuna göre ikinci el cep telefonu satış rakamı 200.000.000 adet olarak belirtilmektedir. (Teleses, 2008)

Türkiye örneği açısından bakılacak olduğunda ülkemizde hızla artan bir cep telefonu aboneliği durumu söz konusudur. Aşağıdaki grafikte mobil abone sayılarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Türkiye cep telefonu abone sayısı sıralamasında dünya genelinde 12. sırada yer almaktadır. (2009, WCIS) Ülkemizde yapılan bir araştırma sonucuna göre cep telefonu değişim sıklığı 24 ay olarak gözlemlenmiştir. (Chip Dergisi, 2008) Avrupa ülkelerinde ve Amerika’da bu oran ortalama 18 ay olarak belirtilmektedir. (Jang&Kim, 2010)

Hızla artan bir kullanıcı sayısı, bunun yanı sıra var olan kullanıcıların birden fazla cep telefonu sahipliği, cep telefonu değişim sıklığı, 2.el cep telefonu kullanım rakamlarının sonucu olarak e-atık çöplükleri ortaya çıkmaktadır. E-atık miktarlarının ülkemizde de gittikçe arttığı Orman Bakanlığı Atık Yönetim Dairesi tarafından hazırlanan raporlar da belirtilmektedir. (Çevre ve Orman, 2010)

İlk olarak 1994 yılında GSM (Global System for Mobile Communications) mobil iletişim için küresel sistem teknolojisi bugünkü anlamda bildiğimiz cep telefonları kullanılmaya başlanmıştır. 2009 yılında 3G teknolojisi akıllı telefonlar ülkemiz pazarında satılmaya başlanmıştır. Bugün yaygın olarak kullanılmakla birlikte cep telefonu sahipliği yüzdeleri bir kişinin birden fazla telefonu olduğunu göstermektedir. (TK, Penetrasyon Oranları, 2010)

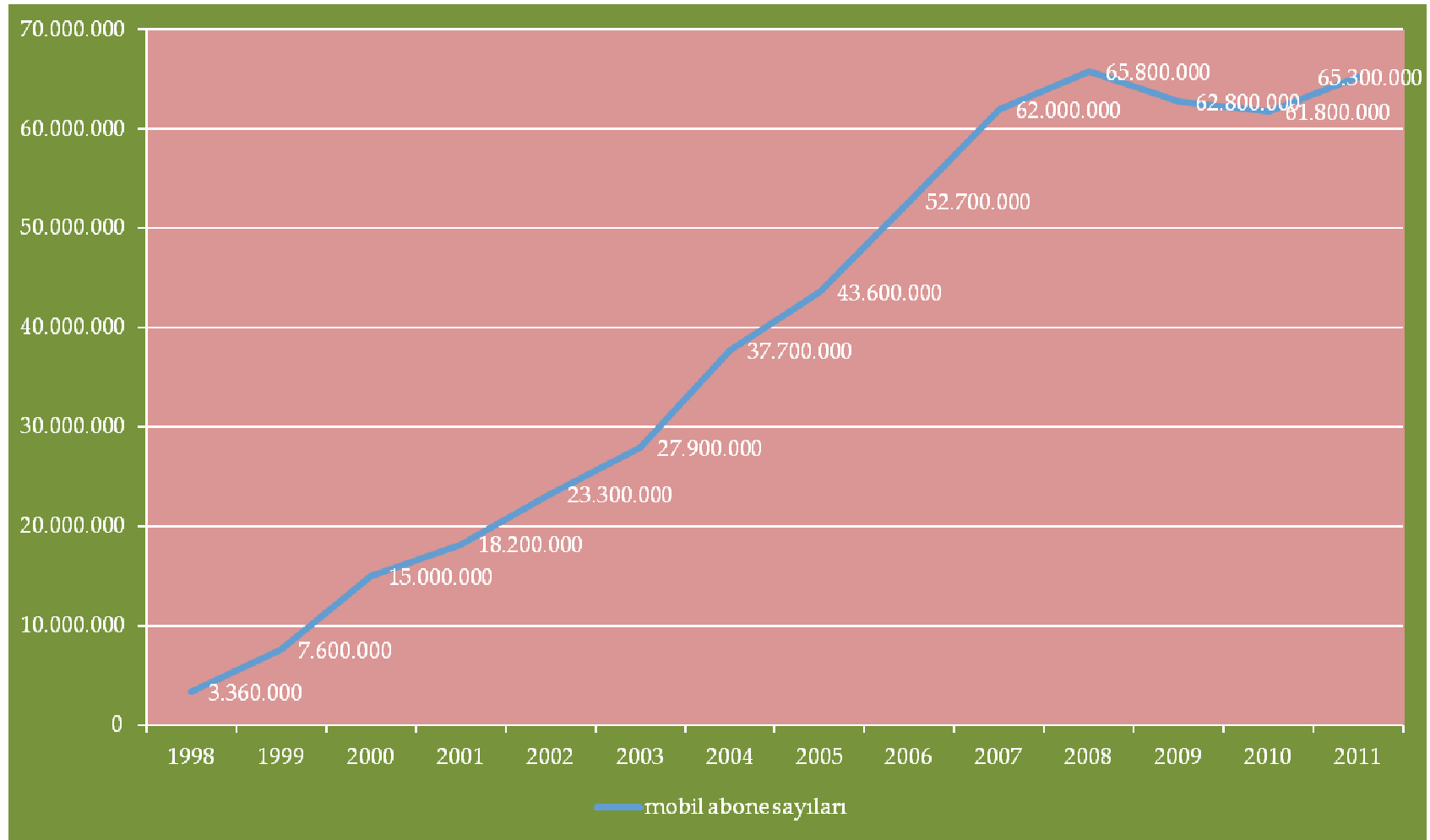
İstatistik ve analiz şirketi GFK tarafından gerçekleştirilen piyasa araştırması sonuçlarına göre cep telefonu tercih eğiliminde 2009 yılından sonra 3G teknolojisinin tercih edildiği belirtilmektedir. 3G teknolojisi ile piyasada satışı sunulan cep telefonu modelleri özellikleri ve işlevleri nedeniyle fiyatları yüksek olan ürünlerdir. Aşağıdaki (bkn.şekil 6.4) cep telefonu türlerine göre kullanıcı tercihleri gösterilmektedir.



Şekil 6.4: Türkiye’de cep telefonu kullanım türleri yıllara göre değişimi (Gfk, Türkiye)

Aşağıda (bkz Şekil 6.5) yıllar itibariyle Türkiye’de cep telefonu kullanıcı ayısındaki değişim gösterilmektedir. Ülkemizde 1998 yılında 3.360.000 kullanıcı bulunurken bu rakam 10 yıl sonra 65.800.00 kullanıcıya ulaşmıştır. 10 yıl içinde 20 kat artan bir kullanıcı sayısı çok önemli bir gerçeği göz önüne çıkarmaktadır.

10 yıllık süre zarfında gerçekleşen bu değişimin bir sonraki on yıl içinde bu eski cep telefonlarının nereye gideceği sorusunu gündeme getirmektedir.



Şekil 6-5: Türkiye’de Yıllara Göre Mobil Abone Sayıları

Türkiye’de cep telefonu ithalatı ve satışı önemli bir sektör oluşturmıştır. Aşağıda Şekil 6.7’de yıllara göre gerçekleştirilen satış, ithalat rakamları gösterilmektedir. Tablo 6.3’de ise yıllar itibariyle değişen yüzdeler belirtilmektedir.

Buna göre satış rakamlarının 10 yılda yaklaşık 10 kat arttığı görülmektedir. 1998 yılında 1 milyon cep telefonu satışı gerçekleştirilirken 2008 yılında 11 milyona yakın cep telefonu satılmıştır.

Tablo 6.3: Cep Telefonu Türkiye Pazar Verileri

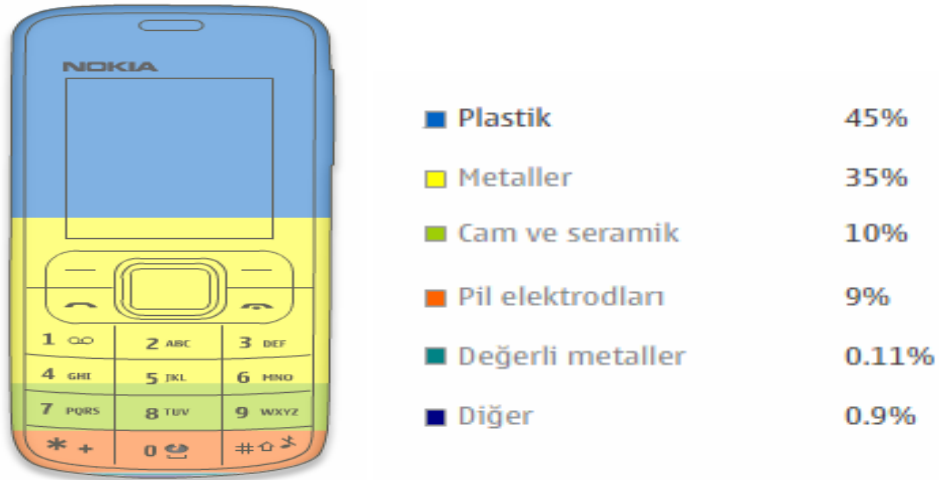
Yıllar	Satış Rakamları (adet)	İthalat Miktarları (adet)	Mobil Abone Sayısı (kişi)	Abone Artış Yüzdesi %
1998	1.000.000 (12 AY)	2.200.000	3.360.000	126.82
1999	4.000.000 (12 AY)	6.300.000	7.600.000	126.19
2000	6.000.000 (12 AY)	7.000.000	15.000.000	97.36
2001	3.200.000 (12 AY)	4.200.000	18.200.000	21.33
2002	4.000.000 (12 AY)	5.000.000	23.300.000	28.02
2003	5.127.991 (12 AY)	6.000.000	27.900.000	19.74
2004	6.554.907 (12 AY)	7.550.000	37.700.000	35.12
2005	7.200.000 (İlk 3AY)	9.000.000	43.600.000	15.64
2006	9.000.000 (İlk 3AY)	12.000.000	52.700.000	20.87
2007	11.488.000 (12 AY)	15.500.000	62.000.000	17.64
2008	10.926.000 (12 AY)	15.700.000	65.800.000	6.12
2009	9.740.800 (12 AY)	13.000.000	62.800.000	-4.55
2010	10.743.966 (ilk5AY)	13.000.000	61.800.000	-1.15
2011	11.363.984 (5AY)	15.000.000	65.300.000	5.66

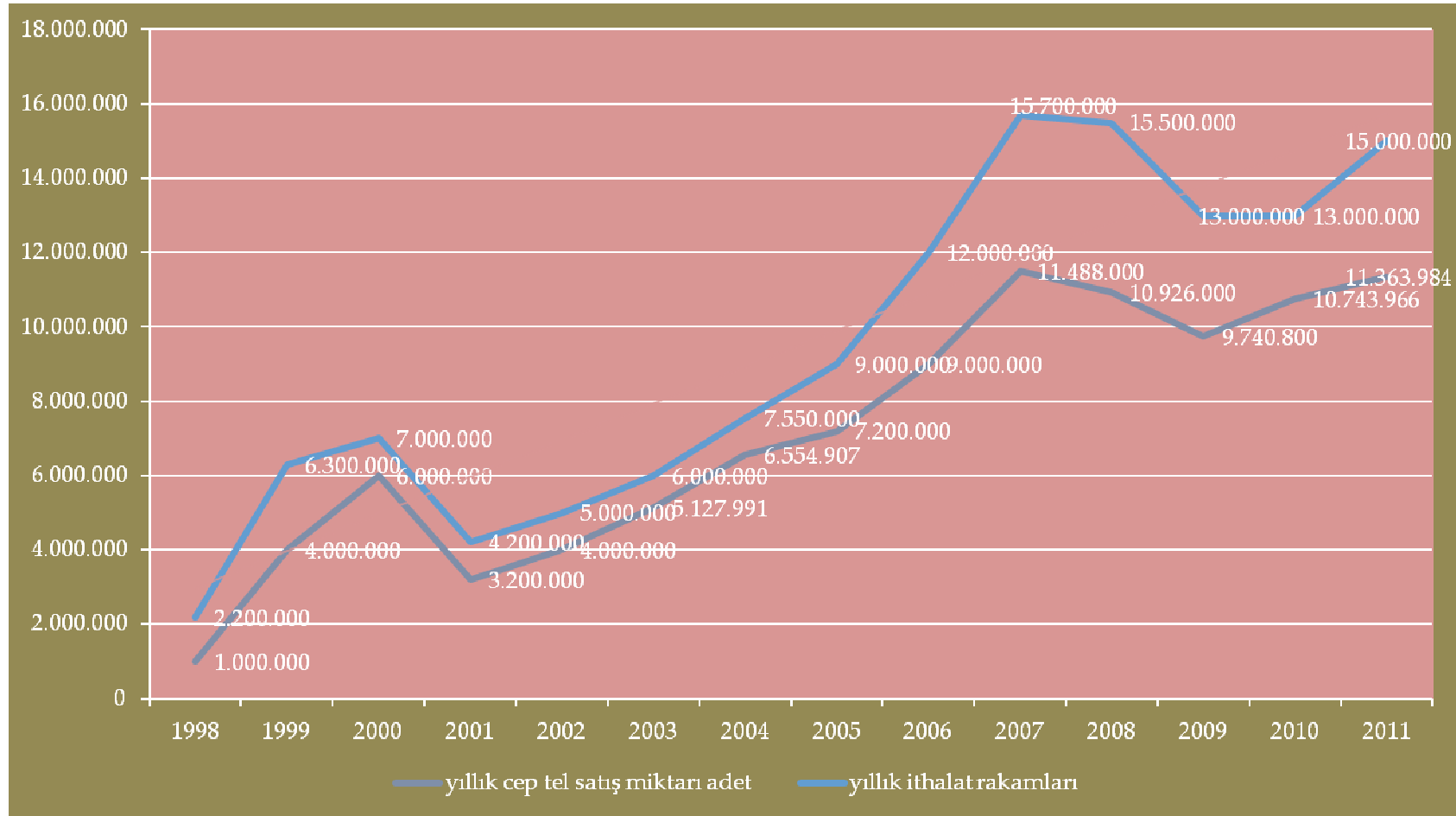
Cep telefonlarının böyle hızlı tüketilmesi sonucu eskilerinin nereye gittiği merak konusu olmaktadır. İkinci el pazarlarda satılan, kullanılmayan, raflarda bekleyen telefonların yeniden değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması mümkündür. Cep telefonları içinde altın gümüş gibi değerli madenler, nikel, kobalt gibi özel metaller ve kurşun, civa kadmiyum gibi toksik maddeler bulunmaktadır. (EPA,2009)Bu maddeler kontrolsüz olarak doğaya bırakıldığında çevre ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Değerli olan metaller ise yok olmaktadır. Aşağıda Tablo 6.4’de 1 ton elektronik atıktan elde edilecek değerli maden ve metallerin yüzdesi ve değerleri gösterilmektedir. (Soudant, 2008)

Tablo 6.4: 1 Ton Elektronik Atıktan Geri Kazanılabilir Değerler (Soudant, 2008)

Materyal	Yüzdesi %	Miktar	Değer (\$ 1br)	Toplam Değer (\$)
Bakır	20	400	0,98	392
Demir	8	160	0,045	7,2
Kalay	4	80	2,35	188
Nikel	2	40	2,23	89,2
Kurşun	2	40	0,21	8,4
Çinko	1	20	0,48	28,4
Alüminyum	2	40	0,71	9,6
Palladium	0,005	0,1	5019,16	501,916
Plastik	30	600	0,1	60
Altın	0,1	2	3885,57	7771,14
Gümüş	0,2	4	34,4	137,6

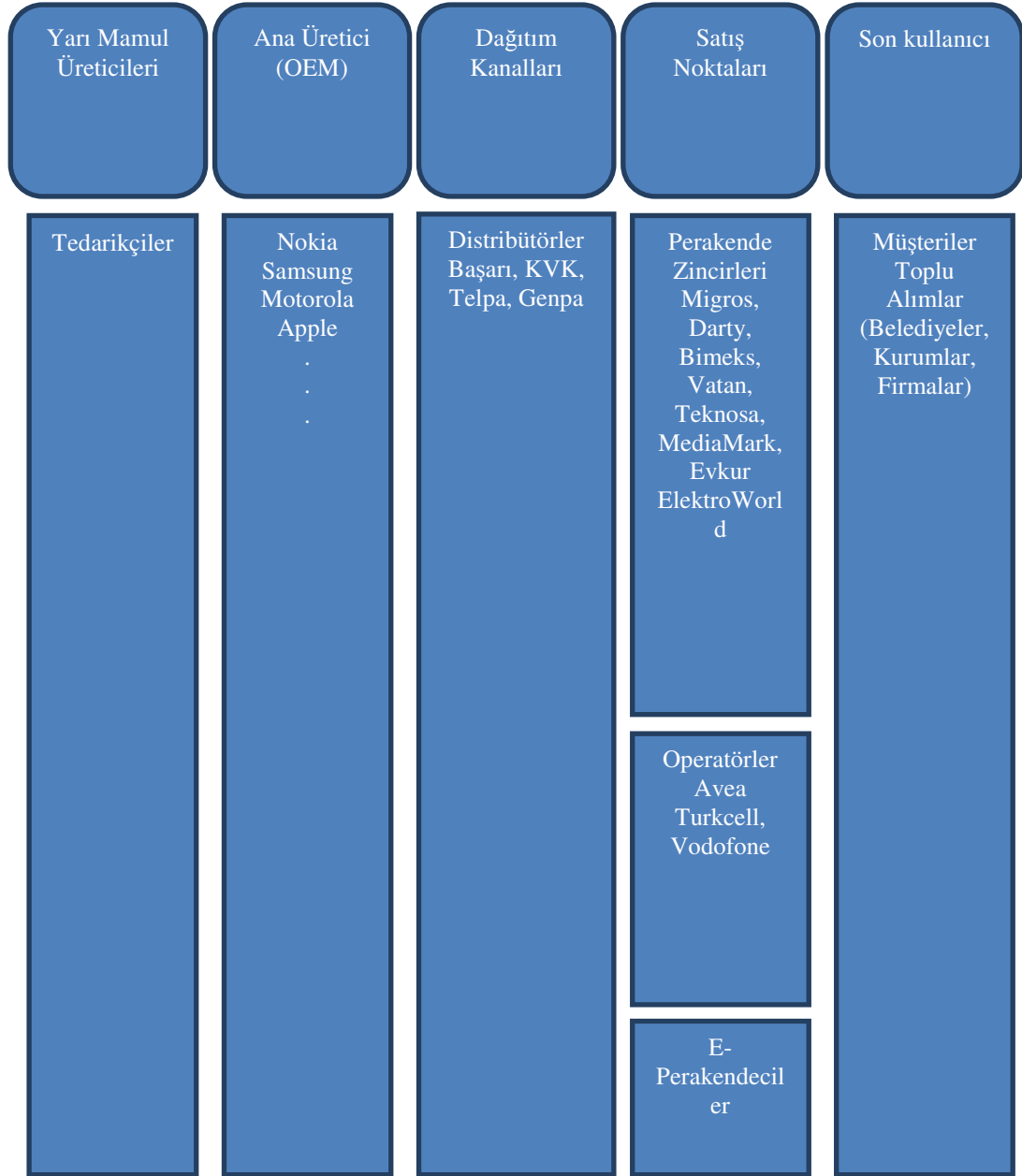
Geri kazanım faaliyetleri ekonomik değer yaratırken aynı zamanda doğanın ve çevrenin korunmasına da katkı sağlamaktadır. Aşağıda şekil 6.6’da bir cep telefonu firmasının ürünlerine ilişkin bileşen yüzdeleri gösterilmektedir. Nokia 2001 yılında dünyada satılan 380 milyon telefonun yaklaşık 40000-50000 ton atığa karşılık geldiğini ve her yıl tahmini 150 milyon ton atık oluşumu gerçekleştirdiği açıklamıştır.

**Şekil 6.6:** Nokia Cep Telefonu Bileşen Yüzdeleri (Kaynak: Nokia Web)



Şekil 6-7: Türkiye’de Cep Telefonlarının Yıllık İthalat ve Satış Rakamları

Türkiye’de cep telefonu endüstrisinde yer alan paydaşlar ve ileri tedarik zinciri yapısı aşağıda şekil 6.8’de gösterilmektedir.



Şekil 6.8: Türkiye’de cep telefonu pazar yapısı, paydaşları

Sistemde Türkiye’de üretim faaliyeti gerçekleştirilmediği için distribütörler pazar yapısındaki en önemli bileşeni oluşturmaktadır. Distribütörler satış noktalarına; elektronik perakendecilerine, operatörlere ve e-perakendecilere dağıtımı

gerçekleştirmektedirler. Zincirin en son ve önemli halkası müşteriler alım işlemlerini bu satış noktalarından gerçekleştirmektedirler.

Bu çalışmada cep telefonlarının müşteri merkezleri aracılığı ile toplandığı varsayılmaktadır. Müşteri merkezleri olarak seçilen alternatifler Türkiye’de faaliyet gösteren elektronik perakendeci firmalarının bulunduğu yerler olarak belirlenmiştir. Aşağıda Tablo 6.5 ve 6.6’ da elektronik perakendecilerinin hizmet verdikleri illeri ve Türkiye’deki mağaza sayılarını göstermektedir.

Tablo 6.5:Türkiye’de faaliyet gösteren elektronik perakende firmaları

Firma Adı	Türkiye’deki Mağaza Sayısı	Hizmet Verilen İl Sayısı
Elektroworld	32	23
Vatan	74	18
Bimeks	67	42
Teknosa	282	75
MediaMarkt	29	13
Darty	70	13

Tablo 6.6: Türkiye’de faaliyet gösteren e- elektronik perakende firmaları Kaynak (Capital Dergisi, 2007)

Firma Adı	Kayıtlı Müşteri Sayısı (aylık/bin)	Ziyaretçi Sayısı (aylık/bin)
hepsiburada.com	985	4,500
gittigidiyor.com	100	10,050
vatanbilgisayar.com	100	1200

Elektronik perakendecilerinin çoğunlukla açıldığı illerde nüfusun fazla olduğu büyükşehir belediyelerinin olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen modelde müşteri merkezi olarak seçilen alternatifler; Türkiye’de büyükşehir belediyesine sahip il merkezleri ve bunlara yakın nüfusu bulunan iller seçilerek belirlenmiştir. Aşağıdaki Tablo 6.7’de büyükşehir belediyelerinin bulunduğu iller ve 2011 TÜİK verileri ile nüfusları yer almaktadır. Literatürde de incelenen problem alanları analiz edildiğinde, perakende kanalları aracılığı ile kullanım ömrünü ya da kullanım süresini tamamlamış ürünlerin toplanması yaygın olarak kullanılan bir yöntem olarak göze çarpmaktadır. (Hong&Yeh,2012), (Savaşkan, 2004), (Zhou&Xou, 2009) Bu şekilde toplama yönteminin tercih edilmesinin en önemli

sebepleri arasında daha fazla kişiye ulaşılması ve paralel olarak geri dönüş oranının yükselmesi ve maliyetlerde avantaj sağlaması gösterilmektedir.

Tablo 6.7: Büyükşehir Belediyesi Olan İller ve Nüfusları

İLLER	NÜFUS VERİLERİ
Adana	1.130.710
Ankara	3.203.362
Antalya	603.190
Bursa	1.194.687
Diyarbakır	545.983
Gaziantep	853.513
Erzurum	361.235
Eskişehir	482.793
İstanbul	8.803.468
İzmir	2.232.265
Kayseri	536.392
Kocaeli	195.699
Konya	742.690
Mersin	537.842
Sakarya	303.989
Samsun	363.180
Hatay	144.910
Balıkesir	215.436
Şanlıurfa	385.588
Van	284.464
Manisa	214.345
Kahramanmaraş	326.198
Trabzon	214.949

*2011 nüfus sayımında büyükşehir belediyesi olan iller

6.4. Problemin Tanımı

Problem, cep telefonu atıklarının yeniden üretimde kullanılması için üçüncü parti bir yeniden üretim tesisi açılmasının Türkiye’deki nüfus verileri ve kullanım oranları dikkate alındığında uygun bir yatırım kararı olup olmadığını değerlendirme amacını taşımaktadır. Üçüncü parti lojistik firmaları orjinal üreticilerin ürün geri dönüşleri için karmaşık ağ tasarımı geliştirme zorunluluklarını hafifletmek amacıyla işlerini devretmesi gerekliliğinden ortaya çıkan bir çözüm şeklidir. (Bernon&Cullen,2007) Türkiye’de cep telefonu orijinal üreticisi (OEM) bulunmaması nedeniyle AEEE’nin yükümlülüklerinin üçüncü parti bir firmaya devredilerek gerçekleştirilmesinin daha avantajlı olacağı varsayımıyla problemin modelinin tasarımı yapılmıştır.

Bu kapsamda kullanım ömrünü tamamlayan cep telefonları son kullanıcılarından perakende kanalları aracılığı ile toplanmakta toplama noktalarında biriktirilmekte ve yeniden üretim tesisine nakledilmektedir.

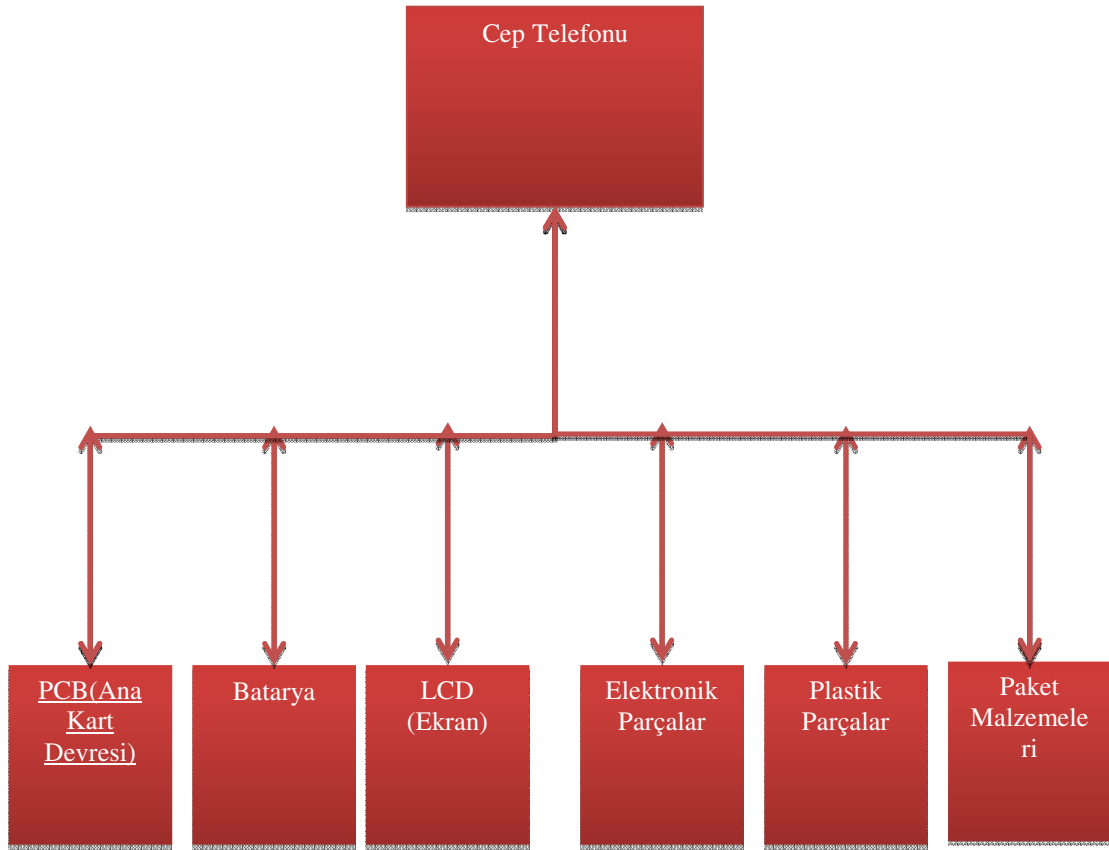
Yeniden üretim tesisinde, atık ya da atık kullanılmayan telefonlar öncelikle çalışıp çalışmadığı test edildikten sonra bileşenlerine ayrıştırılmaktadır. Bileşenlerin çalışıp çalışmadığının test edilmesinden sonra başka telefona takılıp kullanılması ya da bu bileşenlerin farklı kullanım durumu olup olmadığı belirlenmektedir.

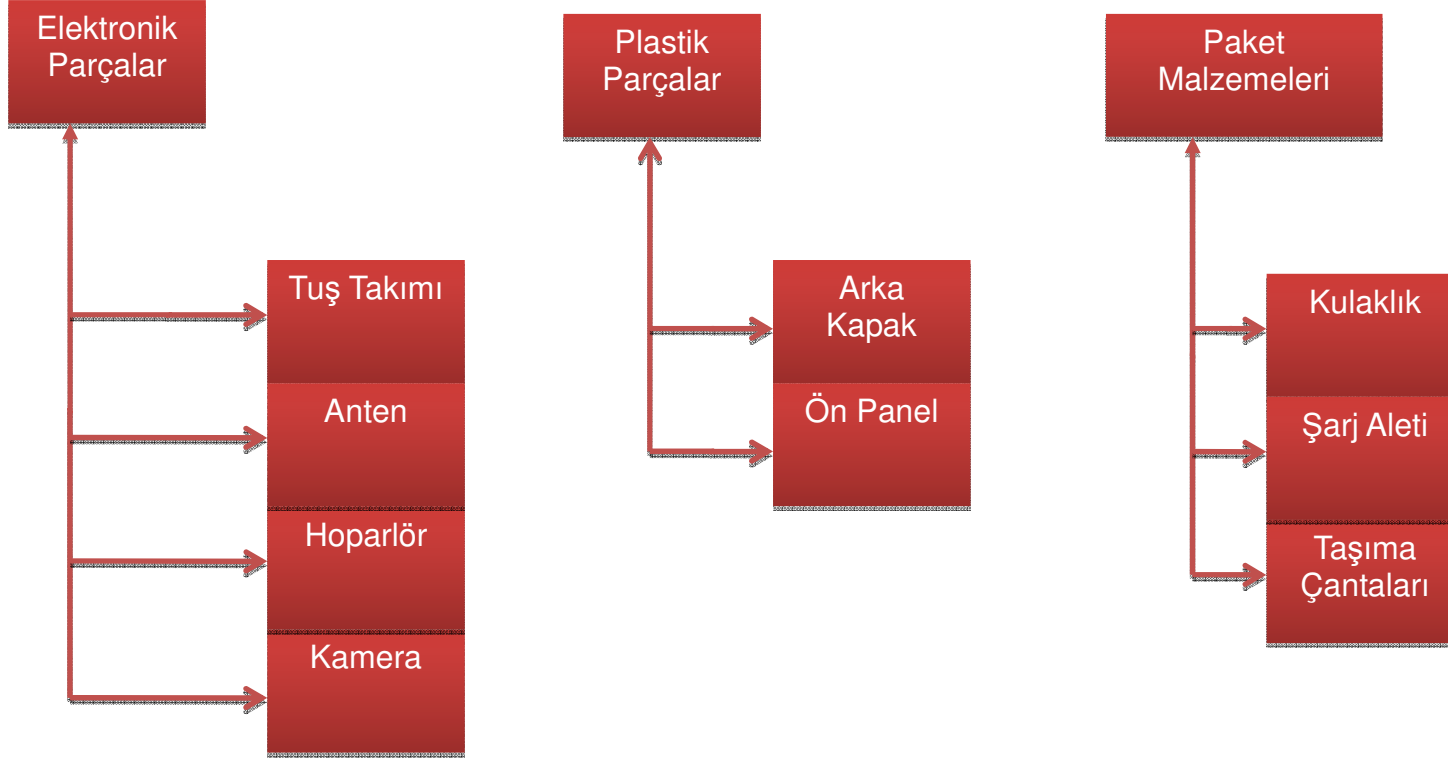
Cep telefonu sektörünün ülkemizdeki gelişim yapısı dikkate alınarak modelde kullanılan ürün çeşitliği belirlenmiştir. Buna göre modelde üç farklı tip ürün dikkate alınmaktadır. 2005 ve öncesi teknolojiye sahip ürünler bir grubu, 2005-2009 aralığı wap (2G) teknolojisi ile uyumlu telefonlar ikinci bir ürün grubunu, 2009 yılı ve sonrasında kullanılan 3G teknolojisine sahip ürünler diğer bir grubu temsil etmektedir.

Model de dikkate alınan diğer bir konu ise yeniden üretim faaliyeti gereği toplanan ürünler bileşenlerine ayrıştırılmaktadır. Problemin tanımlanabilmesi için öncelikle cep telefonu üretiminde gerekli ürün bileşenlerin (BOM-Bill of Materials) neler olduğu tespit edilmiştir.

Ürünler için BOM'un tanıtılması beklenen yeniden kullanılabilir bileşen miktarının tahmin edilmesinin en uygun yöntemi olarak belirtilmektedir.

Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansının (EPA) yayınladığı rapora göre bir cep telefonunun genel olarak içerdiği ana malzemeler; anakart devresi (printed circuit board), ekran (Liquid crystal display (LCD)), batarya (battery), tuş takımı (keypad), anten (antenna), mikrofon (microphone), hoporlör (spekar), plastik aksam (plastic casing) ve aksesuarlar (kulaklık, şarj aleti, taşıma çantaları ..vs) dan oluşmaktadır. (EPA,2009) Aşağıda şekil 6.9' da ile ürün bileşenleri gösterilmektedir.





Şekil 6.9: Cep Telefonları Ürün Bileşenleri

Cep telefonlarının geri kazanımı ile ilgili çalışmalarda tespit edilen değişim/yıpranma oranları dikkate alınarak bileşen seçimi gerçekleştirilmiştir. Modelde dört bileşen dikkate alınmaktadır. Bu bileşenler; ekran (LCD), anakart (PCB), batarya ve plastik aksamdan oluşmaktadır.

Aşağıda tablo ile bir cep telefonu firmasının ürün bileşenlerine ilişkin tedarikçiler, bileşen maliyeti ve ürünün üretim maliyeti tabloda gösterilmektedir. Bu referanslardan yola çıkılarak bileşen tedariki ve yeniden üretim maliyeti değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 6.8: Iphone Bileşen Tedarikçileri, Ürün Bileşenleri ve Maliyetleri (isupli.com)

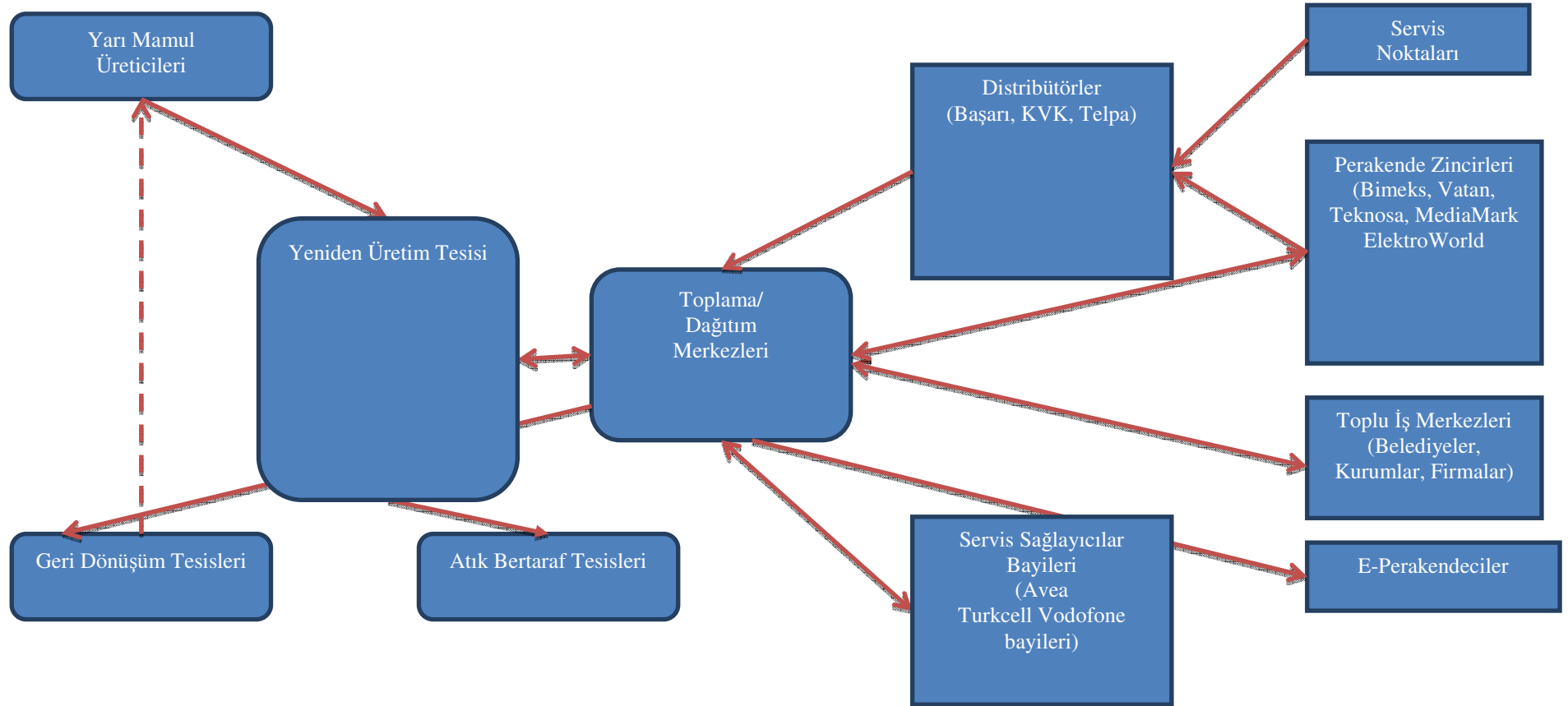
Manufacturer	Multi-Source Probability	Component Description	Cost
Toshiba	High	Flash Memory NAND, 16GB, MLC	\$24.00
	High	Display Module 3.5" Diagonal, 16M Color TFT, 320 x 480 Pixels	\$19.25
	Medium	Touch Screen Assembly Capacitive, Glass	\$16.00
Samsung	Low	Application Processor ARM Core, Package-on-Package	\$14.46
Infineon	Low	Baseband HSDPA/WCDMA/EDGE, Dual ARM926 and ARM7Core	\$13.00
	Medium	Camera Module 3 Megapixel Auto-Focus	\$9.55
Samsung (with Elpida die)	High	SDRAM - Mobile DDR 2Gb Package-on-Package (Mounted on Application Processor,	\$8.50
Broadcom	Low	Bluetooth/FM/WLAN Single Chip, WLAN IEEE802.11b/g, Bluetooth V2.1+EDR, with FM and RDS/RBDS Receiver	\$5.95
Numonyx	High	Memory MCP 128Mb NOR Flash and 512Mb Mobile DDR	\$3.65
Infineon	Low	RF Transceiver Quad-Band GSM/EDGE, Tri-Band WCDMA/HSDPA, 130nm RF CMOS	\$2.80
Infineon	Low	GPS Receiver Single Chip, 0.13um, with Integrated Front-End RF, PLL, PM, Correlator Engine and Host Control Interface	\$2.25
Infineon	Low	Power IC RF Function	\$1.25
Murata	Low	FEM Quad-Band GSM, Tri-Band UMTS Antenna Switch and Quad-Band GSM RX RF SAW Filters	\$1.35
Dialog	Low	Power IC Application Processor Function	\$1.30
Cirrus Logic	Low	Audio Codec Ultra Low Power, Stereo, with Headphone	\$1.15
Rest of Bill-of-Materials*			\$48.00
Total Bill-of-Materials			\$172.46
Manufacturing Costs*			\$6.50
Grand Total			\$178.96

Kullanılabilir parçalar belirlendikten sonra kullanım dışı olan parçaları farklı endüstrilerde kullanılmak üzere geri dönüşüm tesislerine satılmakta, satılamayacak, kullanılamayacak durumdaki parçalar atık bertaraf tesislerine gönderilmektedir. Kullanılabilir çalışabilir durumda olan telefonlar bakım maliyeti ile aynı eski haline «like new» dönüştürülerek dağıtım noktalarına sevk edilmekte buralardan talep merkezlerine dağıtılmaktadır.

6.5. Problemin Modeli

Yeniden üretim faaliyetinin yapılabilirliğinin araştırılmasını planlanan bu çalışmada geliştirilecek model ile cep telefonlarının toplanması, yeniden işler hale getirilmesi (yeniden üretim, yeniden kullanım, yenileme, tamir), kullanılmayan parçaların geri dönüşüm tesislerine gönderilmesi ve uygun bertaraf koşullarının gerçekleştirilmesini sağlayacak bir sistem tasarımı yapılacaktır.

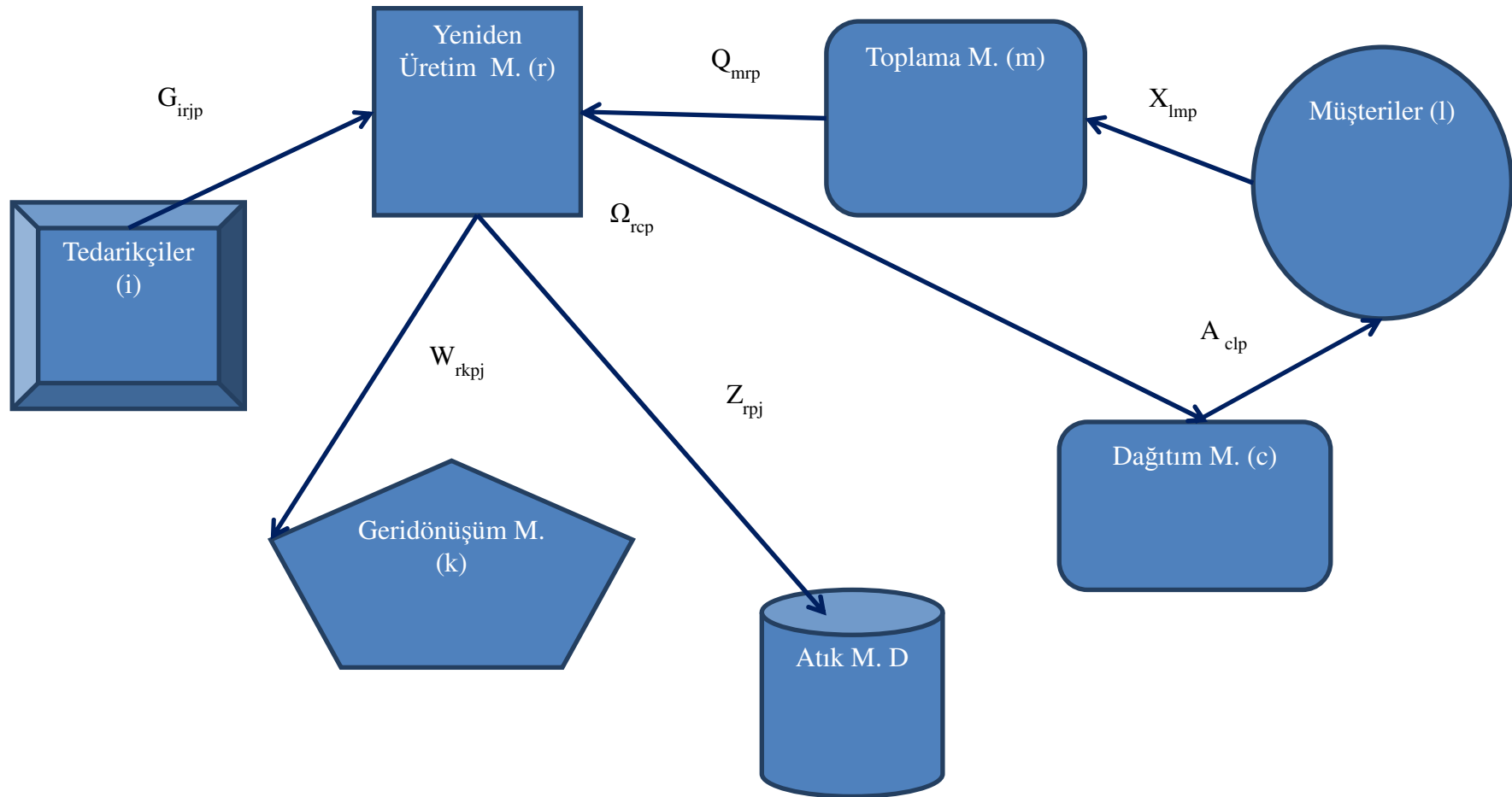
Aşağıda şekil 6-10'de cep telefonu sektöründe KDTZ tedarik zinciri yapısı ve bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 6.10: Cep Telefonu Sektörü Kapalı Döngü Tedarik Tedarik Zinciri

Çalışmanın kavramsal modeli geliştirilirken yukarıdaki yapı dikkate alınmıştır. Ağın farklı aşamaları arasındaki ilişkiler bu yapıya göre oluşturulmuştur. Böylece problem alanının analiz edilerek elde edilen sonuçların sistemi yansıtması beklenmektedir.

Literatürde farklı problem alanlarına ilişkin kapalı döngü tedarik zinciri çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalar farklı özellikler göstermektedir. Ortak özellikleri geri kazanım faaliyetleri ile ilgili aşamaların yer almasıdır. Aşağıda bu çalışmada kullanılan kavramsal model Şekil 6.11’de gösterilmektedir.



Şekil 6.11: Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Kavramsal Modeli

Geliştirilen model ile incelenen problemin temel özellikleri aşağıda özetlenmektedir:

- ⊙ Kapasiteli bir modeldir.
- ⊙ Geri dönüşüm ve yeniden üretim faaliyetleri gerçekleştirilmekte, atıklar bertaraf merkezine gönderilmektedir.
- ⊙ İleri tedarik zinciri aşamalarını bünyesinde barındırır. (tedarik-üretim-dağıtım)
- ⊙ Tersine tedarik zinciri aşamalarını bulundurmaz. (toplama/test-yeniden üretim-geri dönüşüm-atık bertaraf-yeniden dağıtım)
- ⊙ Birden fazla ürün ve bileşenleri ele alınmaktadır.
- ⊙ Deterministik

Tedarik noktalarında yapılan işlemler;

Tedarikçilerden eksik olan ürün bileşenleri satış maliyeti ve ulaştırma maliyetine katlanılarak temin edilmektedir.

Toplama noktalarında yapılan işlemler:

Ürün kontrol edilir. Bu kontrol işlemi sonucunda ürünler için kullanılabilir veya kullanılamaz ayrımı yapılır.

Yeniden üretim merkezine işlem yapılmak üzere gönderilir.

Yeniden üretim merkezinde yapılan işlemler:

Tamir, onarım ve güncelleme işlemleri yapılır ve satılmak üzere dağıtım merkezlerine gönderilir.

Kullanılamayan telefonların yarattığı eksik bileşen ihtiyacı tedarikçilerden üretim kapasitesi doğrultusunda karşılanmaktadır.

Hiçbir işlem yapılmadan geri dönüşüm merkezine satılır. Kullanılmayan, tamir edilemeyen parçalar bertaraf edilmek üzere atık merkezine ulaşım maliyetine katlanılarak gönderilmektedir.

Geri dönüşüm merkezlerinde yapılan işlemler:

Geri dönüşüm merkezine satışlardan gelir elde edilmektedir. Bu noktalara satış esnasında ulaşım maliyetine katlanılmaktadır.

Dağıtım noktalarında yapılan işlemler:

Dağıtım noktaları yeniden üretilen ürünlerin daha düşük ulaştırma maliyetine katlanılarak müşteri merkezlerine ulaştırılmasını sağlamaktadır.

Müşteri merkezlerinde yapılan işlemler:

Müşterilerin kullanım sonu ürünlerinin buralardaki toplama sepetlerine bırakması sonucu kullanım sonu ürünlerin toplanıldığı, ya da ikinci el hala çalışır durumdaki ürünleri belli bir fiyat karşılığı buralara satabildiği merkezlerdir. Bunun dışında müşteri merkezleri yeniden üretilen ürünlerin satışının yapıldığı yerler olarak da kullanılmaktadır.

6.5.1. Varsayımlar

- Müşteri merkezlerine gelen tüm ürünler toplanmaktadır.
- Müşteri merkezlerinden toplanan ürünler toplama noktalarına getirilmektedir.
- Yeniden üretilen ürünlerin müşteri merkezlerindeki talebi karşılanmaktadır.
- Problemden müşteri merkezleri bilinmekte ve sabittir.
- Yeniden üretim tesisi bir adet açılacaktır.
- Toplama ve dağıtım merkezlerinin kaç tane açılacağı bilinmemektedir.
- Toplama ve dağıtım noktaları ayrı merkezler olarak düşünülmektedir.
- Atık miktarı önceden tanımlanmış bir orandır.
- Yeniden üretim yüzdesi bilinmemektedir.
- Geri dönüşüme gönderilecek ürün yüzdeleri bilinmemektedir.
- Sağ taraf değerleri önceden belirli ve bilinmemektedir.

6.5.2. İndisler

$c....C$: Toplama yeri alternatifleri

$i...I$:Tedarikçiler kümesi

$j....J$: Ürün bileşenleri kümesi

$k....K$: Geri dönüşüm firmaları kümesi

$l.....L$: Müşteri merkezleri

$m....M$: Depo yeri alternatifleri

$p...P$: Ürün grubu

$r...R$: Yeniden üretim tesisi yer alternatifleri

6.5.3. Karar değişkenleri

G (I,J,P,R); i.tedarikçiden r.yeniden üretim merkezi için satın alınan p.ürüne ait j. komponent miktarı

X(L,M,P); l.müşteri merkezinden m.depoya/toplama merkezine getirilen p.tipi ürün miktarı

Q (M,R,P); m.depo/toplama merkezinden r.yeniden üretim merkezine gönderilen miktar

W (J,P,K,R); r.yeniden üretim merkezinden k.geri dönüşüm tesisine satılan p.tip ürüne ait j.tip bileşen miktarı

Ω OMEGA (C,P,R); r.yeniden üretim merkezinden c.dağıtım merkezine gönderilen p.tip yeni ürün miktarı

A(L,C,P); c.dağıtım merkezinden l.müşteri merkezine gönderilen p.tip ürün miktarı

Z (J,P,R,D); r' yeniden üretim merkezinde oluşan atık miktarı

Y(M); m.merkezde toplama/depo merkezi açılırsa 1, aksi halde 0

PHI(R) Φ_r ; r.yeniden üretim merkezi alternatifinde tesis açılması halinde 1, aksi halde 0

PSI (C) Ψ_c ; c.dağıtım merkezi alternatifi dağıtım merkezi olarak açılırsa 1, aksi halde 0

6.5.4. Parametreler

v_{lcp} ; p.tip ürünün l.müşteriye br. satış fiyatı

vf_{jpk_r} ; j.tip komponentin k.geri dönüşüm tesisine br.satış fiyatı

$tirc_{jpir}$; i.tedarikçi ile r.yeniden üretim tesisi arası ulaştırma maliyeti

$trcc_{cpr}$; r. yeniden üretim tesisi ile c.dağıtım merkezi arası ulaştırma maliyeti

tlc_{lcp} ; c.dağıtım merkezi ile l.müşteri arası ulaştırma maliyeti

$trmc_{mrp}$; m. toplama merkezi ile r.yeniden üretim merkezi arası ulaştırma maliyeti

$trkc_{jpk_r}$; r.yeniden üretim merkezi ile k.geri dönüşüm tesisi arası ulaştırma maliyeti

$tlmc_{lmp}$; l.müşteri ile m.toplama merkezi arası ulaştırma merkezi

$trdc_{jprd}$; r.yeniden üretim merkezinden atık bertaraf merkezine ulaştırma maliyeti

$sirc_{jpir}$; i. tedarikçiden j.bileşeni tedarik etme maliyeti

$slmc_{lmp}$; l.müşteriden p. tip ürünü satın alma maliyeti

$srcc_{cpr}$; p.tip ürünün yeniden üretim maliyeti

$forr_r$; r.yeniden üretim tesisi inşa ve işletme maliyeti

fo_c ; c.dağıtım merkezini açma ve inşa etme maliyeti

fo_m ; m.toplama merkezini açma ve işletme maliyeti

bcc_{lp} ; l.müşterinin p.tip ürüne ilişkin kapasitesi

acc_{ijp} ; i.tedarikçinin j.bileşene ilişkin kapasitesi

e_m ; m.deponun kapasitesi

h_c ; c.deponun kapasitesi

b_r ; r.yeniden üretim merkezinin kapasitesi

dmd_{lp} ; l.müşterinin p.tip ürüne ilişkin talebi

cdd_{kpj} ; k.geri dönüşüm merkezinin p.tip ürünün j.tip bileşenine ilişkin talebi

Teta Θ ; toplanılan kullanılmış telefonların yeniden üretimde kullanılacak yüzdesi

Delta Δ ; yeniden üretim de kullanılamayacak telefonların geri dönüşüme satılacak yüzdesi

6.5.5. Problemin matematiksel modeli

$$Z_{\text{MAX}} = \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P V_{lcp} A_{lcp} + \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R VF_{jpkr} W_{jpkr} - \left[\begin{aligned} & \left(\sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{r=1}^R \text{tirc}_{jpri} G_{jpri} + \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \text{trcc}_{cpr} \Omega_{cpr} + \right. \\ & \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \text{tclc}_{lcp} A_{lcp} + \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P \text{trmc}_{mrp} Q_{mrp} + \\ & \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \text{tkjc}_{jpkr} W_{jpkr} + \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \text{tlmc}_{lmp} X_{lmp} + \\ & \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^D \text{trdc}_{jprd} Z_{d,jprd} \Big) + \\ & \left(\sum_{r=1}^R \Phi_r \cdot \text{for}_r + \sum_{c=1}^C \Psi_c \cdot \text{foc}_c + \sum_{m=1}^M Y_m \cdot \text{fom}_m \right) + \\ & \left(\sum_{i=1}^I \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \text{sirc}_{ijrp} G_{ijrp} + \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \text{slmc}_{lmp} X_{lmp} + \right. \\ & \left. \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \text{srcc}_{cpr} \Omega_{cpr} \right) \end{aligned} \right] \quad (1)$$

$$\sum_{r=1}^R G_{ijrp} \leq \text{acc}_{ijp} \quad \forall i, j, p \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^M X_{lmp} \leq \text{bcc}_{lp} \quad \forall l, p \quad (3)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P Q_{mrp} \leq e_m \alpha_m \quad \forall m \quad (4)$$

$$\sum_{r=1}^R W_{rkpj} \geq \text{cdd}_{kpj} \quad \forall k, j, p \quad (5)$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \Omega_{rcp} \leq b_r y_r \quad \forall r \quad (6)$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P A_{clp} \leq h_c \mu_c \quad \forall c \quad (7)$$

$$\sum_{c=1}^C A_{clp} \geq \text{dmdd}_{lp} \quad \forall l, p \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J W_{rkpj} \leq \left(\Delta(1 - \Theta) n \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Q_{mrp} \right) \quad \forall r \quad (9)$$

$$\left((1 - \Delta)(1 - \Theta) n \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Q_{mrp} \right) \geq \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J ZD_{jp} \quad \forall r \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J W_{rkpj} + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J Z_{rpj} \leq \left((1 - \Theta) n \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Q_{mrp} \right) \quad \forall r \quad (11)$$

$$\Theta \left(n \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Q_{mnp} \right) + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P G_{ijp} - \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \Omega_{rcp} \geq 0 \quad \forall r \quad (12)$$

$$\sum_{l=1}^I \sum_{p=1}^P X_{lmp} - \sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P Q_{mnp} = 0 \quad \forall m \quad (13)$$

$$\sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P \Omega_{rcp} - \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P A_{clp} = 0 \quad \forall c \quad (14)$$

$$\left(n \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Q_{mnp} \right) + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P G_{ijp} - \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J W_{rkpj} - \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J Z_{rpj} - n \left(\sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \Omega_{rcp} \right) \geq 0 \quad \forall r \quad (15)$$

$$\sum_{r=1}^R \Phi_r = 1 \quad \forall r \quad (16)$$

$$\sum_{c=1}^C \Psi_c \geq 1 \quad \forall c \quad (17)$$

$$\sum_{m=1}^M Y_m \geq 1 \quad \forall m \quad (18)$$

$$Y_m, \Phi_r, \Psi_c = 0 \text{ yada } 1 \quad (19)$$

$$A_{clp}, W_{jpk}, G_{jpr}, \Omega_{cpr}, Q_{mnp}, X_{lmp}, Z_{d_jpr} \geq 0 \quad (20)$$

6.5.6. Amaç fonksiyonu bileşenleri ve açıklamaları

Müşterilere satılan farklı ürünlerden elde edilen gelirler ve geri dönüşüm merkezlerine satılan atık malzemelerden elde edilen gelirlerin toplamı amaç fonksiyonunun gelir kısmını oluşturulmaktadır. Maliyet bileşenleri; tesisler arası ulaştırma maliyetleri, tesis açma ve işletme maliyetleri, bileşen tedarik etme maliyeti, ikinci el piyasalardan ürün toplama maliyeti, yeniden üretim maliyetlerinden oluşmaktadır.

$$\begin{aligned}
Z_{\text{MAX}} = & \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P V_{\text{lcp}} A_{\text{lcp}} + \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R V F_{\text{jpkr}} W_{\text{jpkr}} - \left[\begin{aligned} & \left(\sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{r=1}^R \text{tirc}_{\text{jpkr}} G_{\text{jpkr}} + \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \text{trcc}_{\text{cpr}} \Omega_{\text{cpr}} + \right. \\ & \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \text{tcl}_{\text{lcp}} A_{\text{lcp}} + \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P \text{trmc}_{\text{mnp}} Q_{\text{mnp}} + \\ & \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \text{tkjc}_{\text{jpkr}} W_{\text{jpkr}} + \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \text{tlmc}_{\text{lmp}} X_{\text{lmp}} + \\ & \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^D \text{trdc}_{\text{jpdr}} Z d_{\text{jpdr}} \left. \right) + \\ & \left(\sum_{r=1}^R \Phi_r \cdot \text{for}_r + \sum_{c=1}^C \Psi_c \cdot \text{foc}_c + \sum_{m=1}^M Y_m \cdot \text{fom}_m \right) + \\ & \left(\sum_{i=1}^I \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \text{sirc}_{\text{ijrp}} G_{\text{ijrp}} + \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \text{slmc}_{\text{lmp}} X_{\text{lmp}} + \right. \\ & \left. \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \text{srcc}_{\text{cpr}} \Omega_{\text{cpr}} \right) \end{aligned} \right] \quad (1)
\end{aligned}$$

Kar Maksimizasyonu

Toplam Gelir

- Yeniden üretilen 1.tip cep telefonları satışlarından elde edilen karlar
- Yeniden üretilen 2.tip cep telefonu satışlarından elde edilen karlar
- Yeniden üretilen 3.tip cep telefonu satışlarından elde edilen karlar
- Geri dönüşüm merkezlerine satılan atıklardan (kullanılmayan bileşen / telefonlardan) elde edilen karlar

Toplam Gider

- Toplama /dağıtım/yeniden üretim merkezlerini açmanın sabit maliyeti
- Merkezler arası taşıma maliyeti
- Ürün bileşenlerinin tedarik maliyeti
- Çalışır durumda 2. el cep telefonu satın alım maliyeti

6.5.7. Kısıt açıklamaları

* Tedarikçilerden satın alınacak bileşen miktarları tedarikçilerin kapasiteleriyle sınırlıdır.

$$\sum_{i=1}^r G_{\text{ijp}} \leq \text{acc}_{\text{ijp}} \quad \forall i,j,p \quad (2)$$

* Müşterilerden toplanacak kullanılmış/atık cep telefonu miktarları müşteri merkezlerinin toplama kapasitesiyle sınırlıdır.

$$\sum_{m=1}^n X_{\text{imp}} \leq \text{bcc}_{\text{lp}} \quad \forall l, p \quad (3)$$

* Depolardan yeniden üretim merkezine gönderilecek kullanılmış/atık cep telefonu miktarları depoların kapasiteleriyle sınırlıdır.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P Q_{\text{mp}} \leq e_m \alpha_m \quad \forall m \quad (4)$$

* Yeniden üretim merkezinden geri dönüşüm merkezlerine satılacak miktarlar geri dönüşüm merkezlerinin talep miktarlarını karşılamalıdır.

$$\sum_{r=1}^R W_{\text{rkpj}} \geq \text{cdd}_{\text{kpj}} \quad \forall k, j, p \quad (5)$$

* Yeniden üretim merkezinden dağıtım merkezlerine gönderilecek miktarlar yeniden üretim merkezinin kapasitesi ile sınırlıdır.

$$\sum_{c=1}^n \sum_{p=1}^m \Omega_{\text{rcp}} \leq b_r y_r \quad \forall r \quad (6)$$

* Dağıtım merkezlerinden müşterilere gönderilecek yeniden üretimi yapılan cep tel. miktarları

$$\sum_{l=1}^n \sum_{p=1}^m A_{\text{clp}} \leq h_c \mu_c \quad \forall c \quad (7)$$

* Müşterilerin talepleri karşılanmalıdır.

$$\sum_{c=1}^C A_{\text{clp}} = \text{dmdd}_{\text{lp}} \quad \forall l, p \quad (8)$$

Akış korunumu kısıtları

* Geri dönüşüm merkezlerine satılan miktarlar; depolardan yeniden üretim merkezine gelen ürünlerin yeniden üretilmeyeceklerinin Δ 'sı kadarına eşit ya da küçüktür.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J W_{rkpj} \leq \left(\Delta(1-\Theta)n \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Q_{mnp} \right) \quad \forall r \quad (9)$$

* Bertaraf edilmek üzere atık tesisine gönderilecek miktar; depolardan yeniden üretim merkezine getirilen kullanılmış ürünlerin yeniden üretimde kullanılamayacak kısmının maksimum $(1-\Delta)$ 'sı kadarına eşittir.

$$\left((1-\Delta)(1-\Theta)n \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Q_{mnp} \right) \geq \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J ZD_{jprd} \quad \forall r \quad (10)$$

* Atık bertaraf tesisine gönderilecek miktar ve geri dönüşüme satılacak miktar toplamı; depolardan yeniden üretim merkezine gönderilen kullanılmış ürünlerin maksimum $(1-\Theta)$ 'sı kadarına eşittir.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J W_{rkpj} + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J Z_{rpj} \leq \left((1-\Theta)n \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Q_{mnp} \right) \quad \forall r \quad (11)$$

* Yeniden üretilecek cep telefonu miktarı kullanılmış olarak toplanan veya satın alınan telefonların Θ 'sı kadarı ile ve ilave tedarikçilerden alınan bileşenlerin toplamı ile elde edilmektedir.

$$\Theta \left(n \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Q_{mnp} \right) + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P G_{ijp} - \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \Omega_{rcp} \geq 0 \quad \forall r \quad (12)$$

* Müşteri merkezlerinde toplanan ve ikinci el bayilerden satın alınan telefonların toplamı yeniden üretim merkezine depolardan gönderilen miktara eşittir.

$$\sum_{l=1}^I \sum_{p=1}^P X_{lmp} = \sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P Q_{mnp} \quad \forall m \quad (13)$$

* Yeniden üretim merkezinde üretimi bitmiş olan telefonlar talep noktalarına gönderilmek üzere dağıtım merkezlerine sevk edilir. Dağıtım merkezlerine sevk edilen miktar müşterilere gönderilen miktara eşittir.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P \Omega_{rcp} - \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P A_{clp} = 0 \quad \forall c \quad (14)$$

* Yeniden üretim merkezine toplama noktalarından kullanılmış veya ikinci el bayilerden satın alınmış telefonlar gelir, tedarikçilerden bu telefonların onarımı için hammadde temini yapılır. Yeniden üretim merkezinden tamir edilerek onarılan yeniden üretilmiş telefonlar dağıtım merkezlerine sevk edilir. Kullanılamayacak durumda olanlar geri dönüşüm merkezlerine satılır. Diğer atık maddeler ise bertaraf tesislerine gönderilmektedir.

$$\left(n \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P Q_{mp} \right) + \sum_i^I \sum_j^J \sum_{p=1}^P G_{irjp} - \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J W_{rkpj} - \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J Z_{rpj} - n \left(\sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \Omega_{rcp} \right) \geq 0 \quad \forall r \quad (15)$$

* Yeniden üretim merkezi için alternatif yerler arasından bir tanesi seçilmektedir. Bir adet tesis kurulması planlanmaktadır.

$$\sum_{r=1}^R \Phi_r = 1 \quad \forall r \quad (16)$$

* Dağıtım merkezi en az bir tane açılmalıdır.

$$\sum_{c=1}^C \Psi_c \geq 1 \quad \forall c \quad (17)$$

* Toplama merkezi en az bir tane açılmalıdır.

$$\sum_{m=1}^M Y_m \geq 1 \quad \forall m \quad (18)$$

* 0-1 değişkenler

$$Y_m, \Phi_r, \Psi_c = 0 \text{ yada } 1 \quad (19)$$

* Negatif olmama kısıtları

$$A_{lcp}, W_{jpkr}, G_{jpir}, \Omega_{cpr}, Q_{mp}, X_{lmp}, Z_{jprd} \geq 0 \quad (20)$$

6.5.8. Modelde kullanılan veri setleri

Ağ tasarımı probleminde 2 tedarikçi, 5 dağıtım merkezi, 23 (perakendeciler) müşteri merkezi ileri tedarik zinciri kanalını, 5 toplama merkezi, 23 perakendeci

(müşteri merkezi), 3 yeniden üretim merkezi, 1 atık bertaraf tesisi, 3 geri dönüşüm merkezi ise tersine tedarik zinciri kanalını oluşturmaktadır. Yeniden üretim oranı 0,80, geri dönüşüm oranı ise 0,90 olarak alınmıştır. (Selinger, 2004), (Selinger vd, 2003)

Aşağıda tablolarda sırasıyla modelde problem için kullanılan parametre değerleri verilmektedir.

Yeniden üretim tesisinin kapasitesi Exitcom, Evciler Kimya, Uğur Metal Geri dönüşüm firmalarının kapasiteleri (yıllık) ve Recellular (ABD) dikkate alınarak belirlenmiştir. Toplama ve dağıtım firmalarının kapasitesi taşıma kapasitesi dikkate alınarak belirlenmiştir. Taşıma miktarları toplu olarak perakende merkezlerin gerçekleşmektedir. Taşıma araçlarının kapasitesi 1 ton olarak varsayılmaktadır. Bileşen ve 2.el ürün tedarik maliyetleri elektronik perakende web sayfalarındaki fiyatlar baz alınarak belirlenmiştir. (hepsiburada.com, gittigidiyor.com)

Tablo 6.9: Tesis Açma Sabit Maliyetleri ve Kapasite Miktarları

	1.Alternatif	2.Alternatif	3.Alternatif	4.Alternatif	5.Alternatif
Yeniden Üretim Tesisi Açmanın Sabit Maliyetleri FORR(R)	300000	300000	300000	-	-
Toplama Merkezi Açmanın Sabit Maliyetleri FOM(M)	120000	120000	120000	120000	120000
Dağıtım Merkezi Açmanın Sabit Maliyetleri FOC(C)	120000	120000	120000	120000	120000
Toplama Merkezlerinin Kapasiteleri E(M)	6000	6000	6000	6000	6000
Dağıtım Merkezlerinin Kapasiteleri H(C)	6000	6000	6000	6000	6000
Yeniden Üretim Tesisinin Kapasitesi B(R)	20000	20000	20000	20000	20000

Tablo 6.10: Yeniden Üretim ve Atık Bertaraf Maliyetleri

P	1	2	3
Yeniden Üretim Maliyeti	20	10	5
Atık Bertaraf Maliyeti	8	8	8

Yeniden üretim maliyeti Iphone ve Nokia firmalarının son çıkan ürünlerine ait üretim maliyeti dikkate alınarak belirlenmiştir. (Kaynak: isuppli.com)

Atık bertaraf maliyeti İstanbul belediyesi tarafından yayınlanan fiyat tebliğinden alınmıştır.

Tablo 6.11: Tedarikçilerin ürün bileşenleri satış fiyatları, kapasiteleri ve taşıma maliyetleri

Bileşen Tedarikçileri (I)		Satın Alma Maliyeti VF (I,J,P,R)				Taşıma Maliyeti TIRC (I,J,P,R)			Kapasite SCC (I,J,P)			
		P=1				R=1	R=2	R=3	P=1			
		J=1	J=2	J=3	J=4				J=1	J=2	J=3	J=4
İstanbul	1	30	15	30	40	0.004	0.014	0.003	5000	5000	5000	5000
Ankara	2	25	15	30	35	0.011	0.003	0.014	5000	5000	5000	5000
		P=2							P=2			
		J=1	J=2	J=3	J=4				J=1	J=2	J=3	J=4
İstanbul	1	10	9	15	25				3000	3000	3000	3000
Ankara	2	8	10	12	20				3000	3000	3000	3000
		P=3							P=3			
		J=1	J=2	J=3	J=4				J=1	J=2	J=3	J=4
İstanbul	1	5	6	7	8				5000	5000	5000	5000
Ankara	2	5	6	7	8				5000	5000	5000	5000

J=1 Plastik Aksam, J=2 Ekran, J=3 Batarya, J=4 Anakart

Müşteri Merkezleri İle İlgili Parametreler

Tablo 6.12: Müşteri Merkezlerinin Atık Ürün Toplama Kapasiteleri

Müşteri Merkezleri	Toplama Kapasiteleri			Müşteri Merkezleri	Toplama Kapasiteleri			Müşteri Merkezleri	Toplama Kapasiteleri		
P (ürün)	1	2	3		1	2	3		1	2	3
1	360	120	120	8	180	60	60	15	270	90	90
2	1200	400	400	9	2400	800	800	16	270	90	90
3	360	120	120	10	900	300	300	17	360	120	120
4	450	150	150	11	240	80	80	18	240	80	80
5	300	100	100	12	390	130	130	19	270	90	90
6	300	100	100	13	330	110	110	20	270	90	90
7	180	60	60	14	270	90	90	21	270	90	90
				22	270	90	90	23	270	90	90

Tablo 6.13: Müşteri Merkezlerinin Yeni Ürün Talepleri

Müşteri Merkezleri	Talep			Müşteri Merkezleri	Talep			Müşteri Merkezleri	Talep		
P (ürün)	1	2	3		1	2	3		1	2	3
1	300	100	0	8	150	50	50	15	150	50	0
2	1000	150	150	9	1500	250	100	16	150	50	50
3	350	100	50	10	1000	450	50	17	250	50	50
4	350	100	50	11	120	50	50	18	150	50	50
5	350	100	50	12	350	50	50	19	150	50	50
6	350	100	50	13	350	50	50	20	150	50	0
7	150	25	0	14	200	50	50	21	150	50	25
				22	150	50	25	23	150	50	25

Gelir Parametreleri

Tablo 6.14: Yeni Ürün Satış Fiyatları / VPRP(L,C,P) "p.tip ürünün l.müşteriye br satış fiyatı"

Müş/Ürün	1	2	3	Müş/Ürün	1	2	3
1	700	200	90	13	1000	125	85
2	819	100	60	14	600	120	80
3	600	150	55	15	700	100	60
4	799	250	75	16	650	130	90
5	600	300	35	17	850	125	55
6	555	100	45	18	950	120	65
7	750	200	55	19	650	100	75
8	700	250	65	20	750	100	85
9	1000	250	55	21	800	200	65
10	819	250	70	22	700	120	65
11	725	100	65	23	700	120	65
12	720	150	80				

Geri dönüşüm merkezine satış fiyatları atık borsasında, elektronik hurda fiyatları olarak belirlenen piyasada satışı gerçekleşen rakamlar baz alınarak

belirlenmiştir.¹ Ülkemizde de elektronik geri dönüşümü yapan firmalar bulunmaktadır. Firmalar ve bulundukları şehirler sırasıyla; Evciler Kimya (Ankara), Uğur Metal (İstanbul), Exitcom(Kocaeli)'de dir. Geri dönüşüm merkezlerinin yer seçimin de bu firmalar düşünülerek değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 6.15: Geri Dönüşüm Merkezlerine Satılan Bileşen Satış Fiyatı / VF (J,P,K,R)

"j.tip bileşen p.tip ürüne ait k.geridönüşüm firmasına r.den br satış fiyatı"

J/P	1	2	3
1.bileşen	10	10	10
2.bileşen	10	10	10
3.bileşen	10	10	10
4.bileşen	12	12	12

Taşıma Maliyetleri Parametreleri

Burada kullanılan taşıma maliyeti ölçüsü bir br ürünün km başına taşıma maliyeti olarak hesaplanmıştır. 1 ton cep telefonu yaklaşık 6000 br/adet'e karşılık gelmektedir. (Nokia web, 2001), (EPA,2009). Merkezler arası uzaklıklara göre br taşıma maliyetleri lojistik firmalardan alınan fiyat tekliflerine göre belirlenmiştir.² Buna göre aşağıda bkznz. tablo 6.16 km'göre br/fiyatlar gösterilmektedir.

¹ Model de kullanılan satış fiyatları www.istanbul2099.com , <http://www.elektronikhurda.com/GuncelHurdaFiyatlarıListesi.aspx> adreslerindeki bilgisayar ve elektronik hurda fiyatları referans alınarak düzenlenmiştir.

² (ÇVOB, Proje ve İnşaat Dairesi, Fiyat Teklif Listesi), (Rcycling-Geri Dönüşüm Fuarı 2011)

Tablo 6.16: Uzaklık başına km taşıma fiyatları

Uzaklık	ton /TL fiyatı	Fiyat/6000
90 km	20	0,003
100 km	22	0,003
110	23,93	0,003
120	25,83	0,004
130	28,77	0,004
140	29,7	0,004
150	31,63	0,005
200	41,25	0,006
250	50,88	0,007
300	60,5	0,009
400	79,75	0,011
500	99	0,014
600	119	0,017
700	139	0,020
800	159	0,023
900	179	0,026
1000	199	0,028
1200	219	0,031
1400	239	0,034
1500	259	0,037
1700	279	0,040

*Ortalama =0,018288 yaklaşık 0,02 br taşıma maliyeti olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.17: TIRC (I,J,P,R) " p.tip ürüne ait j.tip bileşenin i.tedarik firmasından r.ye br taşıma maliyeti"

		i(tedarik merkezleri)	r(yeniden üretim merkezleri)		
i=2	1	İstanbul	1	Kocaeli	
r=3	2	Ankara	2	Ankara	
			3	İstanbul	
				uzaklık	br/taşıma maly
		İstanbul	Kocaeli	117	0,004
G(r) (I,J,P,R)			Ankara	452	0,014
			İstanbul	20	0,003
		Ankara	Kocaeli	361	0,011
			Ankara	20	0,003
			İstanbul	452	0,014

Tablo 6.18: TRKC(J,P,K,R) " p.tip ürüne ait j.tip bileşenin k.geri dönüşüm firmasına r. yeniden üretim merkezinden br taşıma maliyeti"

R	k (geri dönüşüm merkezleri)	uzaklık	br/taşıma maly
Kocaeli	Kocaeli	20	0,003
	Ankara	361	0,011
	İstanbul	117	0,004
Ankara	Kocaeli	361	0,011
	Ankara	20	0,003
	İstanbul	452	0,014
İstanbul	Kocaeli	117	0,004
	Ankara	452	0,014
	İstanbul	20	0,003

Tablo 6.19: TRMC (M,P,R) "m. toplama merkezi ile r.yeniden üretim merkezi arası ulaştırma maliyeti"

R	M	Km	Br/fiyat
Kocaeli	Kocaeli	20	0,003
	Ankara	361	0,011
	İstanbul	117	0,004
	Bursa	143	0,005
	İzmir	477	0,014
Ankara	Kocaeli	361	0,011
	Ankara	20	0,003
	İstanbul	452	0,014
	Bursa	394	0,011
	İzmir	587	0,017
İstanbul	Kocaeli	117	0,004
	Ankara	452	0,014
	İstanbul	20	0,003
	Bursa	230	0,007
	İzmir	564	0,017

Tablo 6.20: TLMC (L,M,P) "l.müşteri ile m.toplama merkezi arası ulaştırma maliyeti"
Ortalama br/taşıma 0,02 olarak alınmıştır.

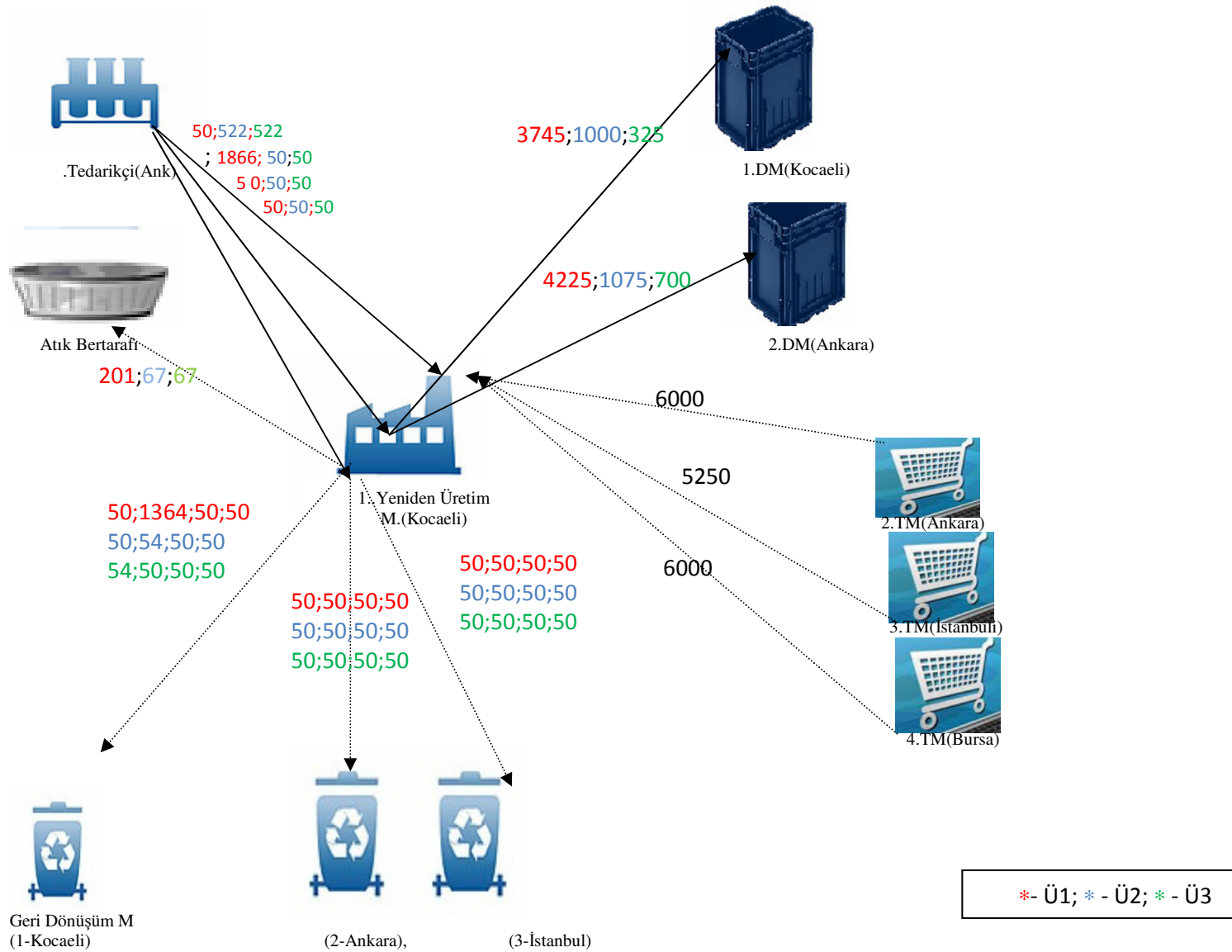
Ankara Adana	431	İstanbul Adana	934	Bursa Adana	841
Ankara	20	Ankara	452	Ankara	395
Antalya	537	Antalya	724	Antalya	562
Bursa	394	Bursa	230	Bursa	20
Diyarbakır	1000	Diyarbakır	1453	Diyarbakır	1360
Gaziantep	698	Gaziantep	1151	Gaziantep	1058
Erzurum	879	Erzurum	1240	Erzurum	1259
Eskişehir	233	Eskişehir	324	Eskişehir	162
İstanbul	452	İstanbul	20	İstanbul	233
İzmir	587	İzmir	564	İzmir	338
Kayseri	319	Kayseri	766	Kayseri	721
Kocaeli	361	Kocaeli	117	Kocaeli	143
Konya	262	Konya	714	Konya	504
Mersin	494	Mersin	947	Mersin	854
Sakarya	313	Sakarya	158	Sakarya	171
Samsun	410	Samsun	740	Samsun	759
Hatay	653	Hatay	1106	Hatay	1013
Balıkesir	547	Balıkesir	387	Balıkesir	162
Şanlıurfa	841	Şanlıurfa	1294	Şanlıurfa	1201
Van	1384	Van	1620	Van	1528
Manisa	564	Manisa	524	Manisa	298
Kahramanmaraş	671	Kahramanmaraş	1124	Kahramanmaraş	1031
Trabzon	742	Trabzon	1069	Trabzon	1088

Tablo 6.21: TRCC (C,P,R) "r. yeniden üretim tesisi ile c.dağıtım merkezi arası ulaştırma maliyeti"

R	C	km	
Kocaeli	Kocaeli	20	0,003
	Ankara	361	0,011
	İstanbul	117	0,004
	Bursa	143	0,005
	İzmir	477	0,014
Ankara	Kocaeli	361	0,011
	Ankara	20	0,003
	İstanbul	452	0,014
	Bursa	394	0,011
	İzmir	587	0,017
İstanbul	Kocaeli	117	0,004
	Ankara	452	0,014
	İstanbul	20	0,003
	Bursa	230	0,007
	İzmir	564	0,017

6.6. Modelin Çözümü ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Sistemin toplam kârını maksimize etmek üzere müşteri merkezlerinden toplanacak kullanılmış ürün miktarları, merkezler arasında taşınacak olan ürün ve bileşen miktarları ile toplama, dağıtım ve yeniden üretim tesislerinin açılıp açılmama kararlarının belirlenebilmesi amacıyla model yukarıda sunulan veriler kullanılarak GAMS-CPLEX eklentisi ile çözülmüştür. Çözüm sonucunda sistemin toplam karı 1.845.806 TL olarak hesaplanmıştır. Model sonucunda 2. 3. ve 4.toplama merkezleri Ankara, İstanbul ve Bursa'da açılmıştır. 1.ve 5. toplama merkezleri açılmamıştır. Buna ek olarak 1.ve 2. dağıtım merkezleri açılmıştır. 3.4.ve 5. dağıtım merkezlerinin açılmadığı gözlenmektedir.. Buna göre Kocaeli ve Ankara'da dağıtım merkezi açılmaktadır. Yeniden üretim merkezi ise 1. alternatif merkezde (Kocaeli'de)açılmıştır.



Modelin çözüm sonuçları incelendiğinde maliyetlerin büyük çoğunluğunu %88 civarında ikincil piyasalardan satın alınan ürünler ve kullanılmayan bileşenlerinin tedarik edilme maliyetleri oluşturmaktadır. İkinci sırayı %5'le taşıma maliyetleri ve yeniden üretim maliyeti almaktadır. Geriye kalan %2'sini sabit maliyetler oluşturmaktadır. Toplam maliyet 3977079 TL değer almıştır.

Bir sonraki adımda bu durum dikkate alınarak duyarlılık analizinde satın alma maliyetlerindeki değişikliğin modelin çözüm sonuçlarını etkileyip etkilemediği kontrol edilmiştir. Bir diğer önemli parametre ise karı etkileyen en önemli gelir kaynağı olan satış fiyatlarının değişmesi durumudur. Bu aşamada fiyat parametresi ele alınmış ve model sonucunda elde edilen optimal değerler aşağıdaki tablolarda sırasıyla verilmiştir.

Tablo 6.22: Tedarikçilerden Satın Alınan Bileşen Miktarları

2.Tedarikçiden Satın Alınan Bileşen Miktarları			
Bileşenler	Değişken G(I,J,P,R)		
	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün
1.Tip	50	522	522
2.Tip	1866	50	50
3.Tip	50	50	50
4.Tip	50	50	50

Tablo 6.23: Müşteri Merkezlerinden Depolara Getirilen Kullanılmış Ürün Miktarları

Müşteriler	2.Depo			3.Depo			4.Depo			Toplam (br/adet)
	1.tip	2.tip	3.tip	1.tip	2.tip	3.tip	1.tip	2.tip	3.tip	
1.	360	120	120							600
2.	1200	400	400							2000
3.							360	120	120	600
4.							450	150	150	750
5.							300	100	100	500
6.	300	100	100							500
7.				180	60	60				300
8.							180	60	60	300
9.				2400	800	800				4000
10.							900	300	300	1500
11.	240	80	80							400
12.				50			340	130	130	650
13.	330	110	110							550
14.	270	90	90							450
15.							270	90	90	450
16.	270	90	90							450
17.	360	120	120							600
18.							240	80	80	400
19.							270	90	90	450
20.				270	90	90				450
21.							270	90	90	450
22.	270	90	90							450
23.				270	90	90				450

Tablo 6.24: Depolardan Yeniden Üretim Merkezine Taşınan Kullanılmış Ürün Miktarları

Q(m,p,r) : m.depodan, p.ürünün r.yeniden üretim merkezine taşınan miktarı

	2.Depo			3.Depo			4.Depo			Toplam		
Müşteriler	1.tip	2.tip	3.tip	1.tip	2.tip	3.tip	1.tip	2.tip	3.tip			
1.	360	120	120							600		
2.	1200	400	400							2000		
3.							360	120	120	600		
4.							450	150	150	750		
5.							300	100	100	500		
6.	300	100	100							500		
7.				180	60	60				300		
8.							180	60	60	300		
9.				2400	800	800				4000		
10.							900	300	300	1500		
11.	240	80	80							400		
12.				50			340	130	130	650		
13.	330	110	110							550		
14.	270	90	90							450		
15.							270	90	90	450		
16.	270	90	90							450		
17.	360	120	120							600		
18.							240	80	80	400		
19.							270	90	90	450		
20.				270	90	90				450		
21.							270	90	90	450		
22.	270	90	90							450		
23.				270	90	90				450		
Toplam	3600	1200	1200	3170	1040	1040	3580	1210	1210	10350	3450	3450
Toplam	6000			5250			6000			17250		

Tablo 6.25: Geri dönüşüm merkezlerine satılan ürün miktarları W (J,P,K,R): J.bileşenin p. ürüne ait k.geri dönüşüm merkezine r'den satışı

1.Geri Dönüşüm Merkezine Satılan Bileşen Miktarları			
Bileşenler	Değişken W(J,P,K,R)		
	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün
1.Tip	50	50	54
2.Tip	1264	54	50
3.Tip	50	50	50
4.Tip	50	50	50

2.Geri Dönüşüm Merkezine Satılan Bileşen Miktarları			
Bileşenler	Değişken W(J,P,K,R)		
	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün
1.Tip	50	50	50
2.Tip	50	50	50
3.Tip	50	50	50
4.Tip	50	50	50

3.Geri Dönüşüm Merkezine Satılan Bileşen Miktarları			
Bileşenler	Değişken W(J,P,K,R)		
	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün
1.Tip	50	50	50
2.Tip	50	50	50
3.Tip	50	50	50
4.Tip	50	50	50

Tablo 6.26: Yeniden üretim merkezinden dağıtım merkezlerine gönderilecek miktarlar
Omega (c,p,r): Yeniden üretim merkezlerinden dağıtım merkezlerine gönderilen p.tip ürün miktarı

Yeniden Üretim Tesisi	1.Dağıtım M.			2.Dağıtım M		
	1.tip	2.tip	3.tip	1.tip	2.tip	3.tip
1.	3745	1000	325	4225	1075	700

Tablo 6.27: Dağıtım Merkezlerinden Müşteri Merkezlerine Gönderilen Yeni Ürün Miktarları/ A(l,c,p) c.dağıtım merkezinden l.müşteriye gönderilecek p.tip ürün miktarı

Müşteriler	1.Dağıtım M.			2.Dağıtım M			Toplam
	1.tip	2.tip	3.tip	1.tip	2.tip	3.tip	
1.				300	100	-	400
2.				1000	150	150	1300
3.				350	100	50	500
4.	350	100	50				500
5.				350	100	50	500
6.				350	100	50	500
7.		-	-	150	25		175
8.	95			55	50	50	250
9.	1500	250	100	-	-	-	1850
10.	1000	450	50				1500
11.				120	50	50	220
12.	350	50	50				450
13.				350	50	50	450
14.				200	50	50	300
15.	150	50	-				200
16.				150	50	50	250
17.				250	50	50	350
18.	150	50	50				250
19.				150	50	50	250
20.				150	50	-	200
21.	150	50	25				225
22.				150	50	25	225
23.				150	50	25	225
Toplam	3745	1000	325	4225	1075	700	7970
Toplam	5070			6000			11070

Tablo 6.28: Bertaraf merkezine gönderilecek miktarlar $Z_d(J,P,R,D)$: j.bileşen p.ürüne ait r'den d'e gönderilecek miktar

Atık Merkezine Gönderilen Bertaraf Edilecek Bileşen Miktarları			
Bileşenler	Değişken $Z_d(J,P,R,D)$		
	1.Ürün	2.Ürün	3.Ürün
1.Tip	-	67	67
2.Tip	201	-	-
3.Tip	-	-	-
4.Tip	-	-	-

6.7. Duyarlılık Analizi

Modelin sonuçlarının güvenilirliğini arttırmak amacıyla karı etkileyen en önemli gelir parametresi olan satış fiyatında $\pm 0,20$ değişim olması ve maliyetin en önemli ağırlığına sahip parametre ürün ve bileşen satın alma maliyetlerinde $\pm 0,20$ değişim olması durumunda modelin sonuçlarının nasıl değiştiği incelenmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Talebin değişmediği varsayımı ile amaç fonksiyonu parametrelerdeki değişim incelenmiştir. Satış fiyatının artması durumu karı olumlu etkilemekte, tersi durumda yine karlı bir sistemdir ancak karda azalma meydana gelmektedir. Satın alma maliyetlerindeki artış karı azaltmakta, tersi durumda karı artırmaktadır.

Tablo 6.29: Satış fiyatında meydana gelen değişimin sonuçlara etkisi

	Kar	Ürün Satış Geliri	Geri Dönüşüm Satış Geliri
Mevcut Problem	1.845.806	5794794	30520
+20	4.241.508	8184680	36336
-20	1.501.128	5456220	24416

Tablo 6.30: Ürün ve bileşen temin maliyetlerinde meydana gelen değişimin sonuçlara etkisi

	Maliyet	Bileşen Tedarik Maliyeti	İkincil Piyasa Ürün Temin maliyeti
Mevcut Problem	3979508	36328	3450000
+20	4676773	43593	4140000
-20	3282242	29062	2760000

SONUÇLAR VE ARAŞTIRMA FIRSATLARI

Bu tez çalışmasında cep telefonu sektöründe Türkiye’de kullanım şekli ve sayısı itibariyle artan kullanıcı sayısı dikkate alınarak ve yeni çıkan AEEE yönetmeliği bağlamında çevreye duyarlı bir üretim süreci ve bunun ekonomik olarak sürdürülebilir olup olmadığının analizi yapılmıştır. Bu analiz kapsamında ürünlerini son kullanıcılarından toplamak zorunda olan orjinal üretici firmaların üçüncü parti lojistik firmalarıyla anlaşma yaparak bu işlemi onlara devretmesi şeklinde yeniden üretim, geri dönüşüm ve atık bertarafı faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi kapsamında bir ağ tasarımı modeli geliştirilmiştir. Problemin modellenmesinde karma tam sayılı matematiksel programlama yöntemi kullanılmıştır. Modelin çözümleri GAMS-CPLEX eklentisi ile elde edilmiştir. Ayrıca model farklı senaryolar altında test edilmiş güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın temel katkısı kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı probleminin cep telefonu sektörü özelinde geliştirilmiş olmasıdır. Modelde tersine ve ileri akışlar eş zamanlı olarak koordine edilmektedir. Kar maksimizasyonu amacı ile geliştirilen model çok aşamalı, çok ürünli ve bileşenli bir yapıda formüle edilmiştir.

AEEE yönetmeliğinin 29/6/2011 tarihinde AB direktiflerine paralel olarak ülkemizde de kabul edilmesi ve 2013/05 tarihinden itibaren uygulamaya başlanacağı belirtilmektedir. Bu nedenle güncel bir olaya yaklaşımı açısından çalışma bu konuda araştırma yapan kişi ve kurumlarca referans niteliği taşıması açısından da önemlidir.

Geri kazanım faaliyetlerinde en önemli girdi kaynağı ikinci el piyasalardan ya da kullanım ömrünü tamamlayan ürünlerden elde edilmektedir. Ancak ne kadar miktarda, hangi kalitede ürün geri dönüşü olacağı belirsizlik taşımaktadır. Belirsizliğin modele dahil edilmesi ve robust bir model geliştirilmesi bu problemlerin daha uzun vadede güvenilirliğini sağlaması açısından önemli bir katkı olacaktır.

KAYNAKÇA

- Akçalı, E., Çetinkaya, S., Üster,H. (2009). “Network Design for Reverse and Closed-Loop Supply Chains: An Annotated Bibliography of Models and Solution Approaches” Networks, Wiley Periodicals, 231-248
- Atasu, A., Boyacı, T., (2010). Take-Back Legislation and its Impact on Closed-loop Supply Chains, Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science,1-18
- Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği (AEEE), <http://www.csb.gov.tr/db/turkce/mevzuat/mevzuat605.doc>(10/09/2011 tarihinde erişildi)
- Amin, S.H., Zhang, G. (2013). “A Three – Stage Model for Closed-loop Supply Chain Configuration Under Uncertainty” International Journal of production Research, Vol (51-5), 1405-1425
- Amini, M.M., Roberts, D.R., Bienstock, C.C. (2004). ”Designing a Reverse Logistics Operation for Short Cycle Time Repair Services” International Journal of Production Economics, Vol(96), 367-380
- AMTA, Australian Mobile Telecommunications Association, A Mobile Phone Life Cycle, <http://www.mobilemuster.com.au/recycle-a-mobile/>
- Barros, A.I., Dekker, R., Scholten, V. (1998). ” A two-level network for recycling sand: A case Study” European Journal of Operational Research, Vol.110, 199-214
- BBC, “Over 5 Billion Mobile Phone Connections Woldwide” <http://www.bbc.co.uk/news/10569081> , (11/06/2010 tarihinde erişildi)
- Bidhandi, H.M., Yusuff, M.Y., “Integrated Supply Chain Planning Under Uncertainty using an Improved Stochastic Approach”, Applied Mathematical Modelling, 2011, V.(35), 2618-2630

- Boks, C., Huisman, J., Stevels, (2000). "A. Combining Economical and Environmental Considerations in Cellular Phone Design," IEEE
- Brito, M.P, Dekker, R. "A Framework for Reverse Logistics", (2004) in Reverse Logistics – Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains. (ed. Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Van Wassenhove, L.N.) Springer-Verlang. Germany, 1-27
- BTK, Bilişim Teknolojileri Kurumu Faaliyet Raporu, (10/01/2013 tarihinde erişildi.) http://www.tk.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/raporlar/faaliyet_raporlari/fr2012.pdf
- Catalan, M., Kotzab, H. (2003). "Assesing the Responsiveness in the Danish Mobile Phone Supply Chain", Internation Journal of Physcal Distribution and Logistics Management, Vol.33, No.8, pp.668-685
- Carter, C.R., Ellram, L.M., (1998). "Reverse Logistics: A Review of the Literature And Framework for Future Investigation", Journal of Business Logistics, Vol.19 (1), p.85-102
- Chip Dergisi, Trkiye'nin Cep Telefonu Deęiřtirme Sıklığı, 2008, Eyll Sayısı
- Cueto, E.P., Mantece, J.A.G., Gallego, R.C.,(2011),"Reverse Logistics Practices for Recovering Mobile Phones in Spain" Supply Chain Forum, Vol.12,No.2
- Capital Dergisi, E-Perakendede şaşırtan Byme, 2007
- evre ve Orman, evre ve şehircilik Bakanlığı Yayını, şubat, 2010
- Debo, L.G., Savaskan, R.C. andVanWassenhove, L.N. (2004). Coordination in closed-loop supply chains, in Reverse Logistics, Quantitative Models for Closed Loop Supply Chains, Dekker, R., Fleischmann,M., Inderfurth, K. and Van Wassenhove, L.N. (eds), Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 295–311.

- Defee, C.C., Esper, T., Mollenkopf, D. "Leveraging closed-loop orientation and leadership for environmental sustainability" *Supply Chain Management: An International Journal*, (2009), Vol.14(2), 87-98
- Dowlatsahi, S. (2000). "Developing a Theory of Reverse Logistics". *Interfaces* 2000; 30(3): pp.143-155.
- Elektronik Hurda Fiyatları, http://www.istanbul2099.com/bilgisayar_ve_elektronik_hurda_fiyatlari_28_mayis_2012_Tanitim_119.html (28/05/2012 tarihinde erişildi.)
- Easwaran, G., Üster, H. A Closed-loop Supply Chain Network Design Problem with Integrated Forward and Reverse Channel Decisions, *IIE Transactions* Vol.42 2010, 779-79
- EPA Rapor, The Life Cycle of a Cell Phone, United States Environmental Protection Agency Report,2009
- Erol, İ., Velioğlu, N. M., Şerifoğlu, (2006). S.F. "AB Uyum Yasaları ve Sürdürülebilirlik Kalkınma Bağlamında Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi: Türkiye'ye Yönelik Araştırma Fırsatları ve Önerileri", *İktisat, İşletme ve Finans Dergisi*, 244 (21), s. 86-104.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard,J.M., Dekker,R., Vander,L.E., VanNunen, J.A.E.E., VanWassenhove,L.N., (1997). "Quantitative models for reverse logistics :a review" *European Journal of Operational Research* 103(1),1–17.
- Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R., Flapper, D.P. (2000). "A Characterisation of Logistics Networks for Product Recovery" *Omega, International Journal of Management Science*, vol.(28), 653-666
- Franke, C., Basdere, B.,Ciupek, M., Selinger, S. (2006). "Remanufacturing of mobile phones, capacity, program and facility adaptation planning ",*Omega*, Vol.34, pp.562-570

- Gfk Türkiye, 2011 Ocak Mayıs Dönemi Telekom Sektör Değerlendirmesi, http://www.gfkrtr.com/imperia/md/content/gfkrtrturkey/gfk_turkiye_telekom_basin_bulteni_ocak_mayis_2011_donemi.pdf (20/06/2011 tarihinde erişildi.)
- Guide, V.D.R. (2000). "Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs" *Journal of Operations Management* 18., 467–483
- Guide, V. D. R., Wassenhove, L. N. Van, (2003). "Special section on closed-loop supply chains.", *Interfaces* 33(6) 1–2.
- Guide, V.D.R., Wassenhove, L.N.V., (2009). "The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research" *Faculty&Research Working Paper, Insead*
- Gungor, A., Gupta, S.M., (1999). "Issue in Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery: A Survey " *Computer & Industrial Engineering*, V.36, 811-853
- Hasani, A., Zegordi, S.H., Nikbakhsh, E., "Robust Closed Loop Supply Chain Network Design for Perishable Goods in Agile Manufacturing Under Uncertainty", *International Journal of Production Research* 2011 1-21, ifirst
- Hong, I.H., Yeh, J.S. "Modeling Closed-Loop Supply Chain in The Electronics Industry: A Retailer Collection Application", *Transportation Research Part E*, 2012 Vol.48, 817-829
- Hongli, J., Jiawang, X., Zhifeng, S. An Optimization Model for Closed-loop Logistics System with Uncertain Demands, *Proceedings of the 29th Chinese Control Conference*, July 29-31, 2010, Beijing, China
- ITU, *The World in 2010, The Rise of 3G*, International Telecommunication Union Report, 2010, <http://www.itu.int/ITU-D/ict/material/FactsFigures2010.pdf> , (13/06/2012 tarihinde erişildi.)
- Jang, Y.C., Kim, M., (2010). Management of used & end of life mobile phones in Korea: A review, *Resources, Conservation and Recycling*, v.55, p.11-19

- Jayaraman, V., Guide, V.D.R., Srivastava, R. (1999). "A Closed-Loop Logistics Model for Remanufacturing" *Journal of the Operational Research Society*, (50), 497-508
- Jayaraman, V., Patterson, R. A., Rolland, E. (2003). "The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solutions Prosedure " *European Journal of operations Research*, 150(1), 128-149
- Kopichy, R.J.,Berg M.J.; Legg L.; Dasappa V. & Maggioni C. (1993)," Reuse and re cycling:reverse logistics opportunities", Council of Logistics Management, Oak Brook, IL
- Ko, H.J., Evans, G.W. (2007). "A Genetic Algorithm -based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse Logistics Network for 3PLs", *Computers & Operations Research* Vol. 34, 346-366
- Krikke, H.R., Ruwaard, J.B., Wassenhove, N.L. Van, (2003). "Concurrent Product and Closed-Loop Supply Chain Design with an Application to Refrigerators", *International Journal Production Research*, V.(41), 16, 3689-3719
- Krikke, H.R., Harten, A., Schuur, P.C. (1999). "Business case Oce: Reverse Logistics Network Re-Design for Copiers" *Or Spektrum*, 21,381-409
- Kusumastuti, R.D., Piplani, R., Lim, G.H., A Stochastic Approach to a Case Study for Product Recovery Network Design, *European Journal of Operational Research* Vol.160, 268-287, 2008
- Kumar, S., Yamaoka,T.(2007). "System Dynamics Study of the Japanese Automotive Industry", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol.18,(2),p.115-138
- Lee, D.H., Dong, M., "A Heuristic Approach to Logistics Network Design for end-of-lease Computer Products Recovery", *Transportation Research Part E*, 2008, V.(44), 455-474
- Listes, O., Dekker, R., (2007). "A Stochastic Approach to a Case Study for Product Recovery Network Design", *European Journal of Operational Research* Vol.160, 268-287,

- Listes, O.(2002). “A Decomposition Approach to a Stochastic Model for Supply and Return Network Design” Econometric Institute Report (EI), p.43
- Meixell, M.J., Gargeya, V.B., (2005). ”Global Supply Chain Design: A Literature Review and Critique”, Transportation Research Part E, V.41, p.531-550
- Milliyet, Eski Buzdolabınızı Bilgisayarınızı Sakın Atmayın, (10/01/2013 tarihinde erişildi.) <http://ekonomi.milliyet.com.tr/eski-buzdolabinizi-bilgisayarinizi-sakin-atmayin/ekonomi/ekonomidetay/09.01.2013/1653158/default.htm>
- Nokia, www.nokia.com.tr, (15/05/2011 tarihinde erişildi)
- Paksoy, T., Pehlivan, N.Y., Özceylan, E., Weber, G.W., (2012). “Fuzzy Optimization of A Multi Stage Multi Item Closed-Loop Flexible Supply Chain Network Under Fuzzy Material Requirement Constraints” 14th International Congress on Computational and Applied Mathematics (ICCAM 2009) Antalya, Turkey.
- Paquette, L. (2009). ”Reverse Logistics and the Creation of Reverse Flows for the Mobile Phone Industry”Bsc, Aarhus University.
- Pishvae, M.S., Torabi, S.A., A Possibilistic Programming Approach for Closed-Loop Supply Chain Network Design Under Uncertainty, Fuzzy Sets and Systems, Vol 161, 2010c, 2668-2683
- Pishvae, M.S., Rabbani, M. Torabi, S.A., A Robust Optimization Approach to Closed-Loop Supply Chain Network, Applied Mathematical Modelling (35), 2011, 637-649
- Pishvae, M.S., Kianfar, K., Karimi, B., “Reverse Logistics Network Design Using Simulated Annealing” Int J Adv Manuf Technol (2010b) 47:269–281
- Pishvae, M.S., Jolai, F., Razmi, J., “A Stochastic Optimization Model for Integrated Forward/Reverse Logistics Network Design”, Journal of Manufacturing Systems, Vol 28, 2009 107-114

- Pokharel, S., Mutha, A. (2009). "Perspectives in reverse logistics: A review" *Resources, Conservation and Recycling* Vol.53, 175-182
- Realf, M. J., Ammons, C.J., Newton, D. (1999). "Carpet Recycling: Determining the reverse production system design" *Polym.-Plast.Technol.Eng.*, 38(3),1999,547-567
- Realf, M. J., Ammons, C.J., Newton, D.J. (2004). "Robust Reverse Production System Design for Carpet Recycling" *IIE Transactions* Vol.36, 767-776
- Rangvani, N., Subramanian, P., Ramkumar, N., Narendran, T.T., (2011). "Heuristic for a Single Period Single Product Closed Loop Supply Chain" *Int. J. Enterprise Network Management*, Vol.4, (3),311-324
- Recycling Endustri Dergisi, (REI), Nisan, 2011, S.43, s.86-106-112
www.recyclingdergisi.com/Hakkimizda.aspx
- Rogers D. S., R. S. Tibben-Lembke *Going Backwards: reverse logistics trends and practices*, Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh, PA, 1999
- San, G. S., Pujawan, N., (2012). "Closed-loop Supply Chain with Remanufacturing: A Literature Review" *International Conference on IML*
- Savaşkan, R.C., Bhattacharya, S., Wassenhove, L.N., (2004). "Closed-loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing" *Management Science*, Vol.50-2, p.239-252
- Souza, G.C. (2012). "Closed-loop Supply Chains: A Critical Review and Future research", *Decision Science*, Vol.44-1, p.7-38
- Selinger. G., Skerlos, S.J., Basdere, B., Zettl, M. (2003). "Design of a Modular Housing Platform to Accommodate the Remanufacturing of Multiple Cellular Telephone Model" *Proceedings of EcoDesign: Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo/Japon

- Selinger, G., Franke, C., Ciupek, M., Başdere, B. (2004). "Proces and Facility Planning for Mobile Phone Remanufacturing", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol.53(1), 9-12
- Selinger, G., Kernbaum, S.(2007). "Planning for Remanufacturing and Rcycling", Chapter 6, *Sustainability in Manufacturing*, Springer, p.313-341
- Sim, E., Jung, S., Kim, H., Park, J.(2004). "A Generic Network Design for a Closed-Loop Supply Chain Using Genetic Algorithm" K. Deb et al. (Eds.): *GECCO 2004*, LNCS 3103, pp. 1214–1225, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004
- Shih, L.H. (2001). "Reverse Logistics System Planning for Rcycling Electrical Appliances and Computers in Taiwan", *Resources, Conservation and Recycling*, V.32 p.55–72
- Soudant, C.,Ohl, B., Saunders, E.,(2008). "Cell-phone take-back programs in Newyork City: Compliance with the New York State Wireless Recycling Act and Voluntary Cell Phone Take-Back programs", Inform Inc.
- Soleimani, H., Esfahani, M.S., Shirazi, M.A.,(2013). "Designing and Planning a Multi – Echelon Multi – Period Multi -Product Closed- Loop Supply Chain Utilizing Genetic Algorithm", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Springer-Verlag
- Stock J. R.. *Reverse Logistics*. Council of Logistics Management, Oak Brook, IL, 1992.
- Talbot, (2006) "Closed-loop Supply Chain Activities and Derived Benefits in Manufacturing SMEs " *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 18 Iss: 6, pp.627 – 65
- Tan, K.N.C, (2005). *Life cycle assesment of a mobile phone*, Dissertation of Southern Queensland, Austria <https://eprints.usq.edu.au/499/1/KevinChinNingTAN-2005.pdf>
- Teleses, "Cepteki Fırsatlar Raporu" <http://www.kanalahaber.com/cepteki-firsatlar-raporu-haberi-12800.htm>, 2008 (08/11/2010 tarihinde erişildi)

- Thierry M, Salomon M, Von Nunen J, Wassenhove L (1995). Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, 37: 114-135.
- TK, Telekomünikasyon Kurumu Başkanlık Bilgi ve İletişim Teknolojileri Sektörü Raporu, 2010. (12/03/2012 tarihinde erişildi.) http://www.tk.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/pazar_verileri/pazar_verileri.php
- TUIK Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi 2011Yılı Sonuçları, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=8428>
- Qin, W.S., Wei, L., Closed-loop Supply Chain Network Design Based on Industry Collaboration, *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 2008, IEEE
- Unep, United Nations Environmental Programme, *Metal Recycling, Opportunities, Limits, Infrastructure*, 2013
- USITC, The U.S. International Trade Commission (30/12/ 2012 tarihinde erişildi) , http://www.usitc.gov/press_room/news_release/2012/er0603kk1.htm
- Üster, H., Easwaran, G., Akçali, E., Çetinkaya, S. (2007). "Benders Decomposition with Alternative Multiple Cuts for a Multi-Product Closed-Loop Supply Chain Network Design Model" *Naval Research Logistics*, (54)8, 890-907
- Yang, G., Wang, Z., Li, X., The Optimization of the Closed-Loop Supply Chain Network, *Transportation Research Part E Vol.45* 16-28, 2009
- Yamane, L.H., Moraes, V.T.D., Espinosa, D.C.R., Tenorio, J.A.S., (2011). "Recycling on WEEE: Characterization of spent printed circuit boards from mobile phones and computers", *Waste Management*, Vol.31, pp.2553-2558
- Wang, H.F., Hsu, H.W., (2010). A closed loop logistics model with a spanning tree based genetic algorithm, *Computers&Operations Research*, Vol 37, 376-389

- Wang, I.L., Yang, W.C., (2007). Fast Heuristics for designing integrated e-waste reverse logistics networks, IEEE Transactions on Electronic Packaging Manufacturing Vol.30, 147-154
- WCIS, World Cellular Information Service, 2009, <http://www.informatandm.com/about/wcis/> (15/03/2012 tarihinde erişildi.)
- Wallstreet Journal, “Entrepreneurs Find Gold in Used Phone”, 24/02/2011, <http://online.wsj.com/article/SB10001424052748704520504576162431091194572.html>
- Zhou, X., Xu, J., (2009). A Class of Integrated Logistics Network Model Under Random Fuzzy Environment, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, V.17, (6), p.807-831
- Zhu, Q., Sarkis, J., Lai, K.hung.(2008). “Green supply chain management implications for closing the loop” Transportation Research Part E, vol. 44, pp. 1-18, Iphone Ürün Bileşenleri, Tedarikçileri, (12/01/2012 tarihinde erişildi)
- 3G- [http://www.isuppli.com/Teardowns/News/Pages/iPhone-4S-Carries-BOM-of-\\$188,-IHS-iSuppli-Teardown-Analysis-Reveals.aspx](http://www.isuppli.com/Teardowns/News/Pages/iPhone-4S-Carries-BOM-of-$188,-IHS-iSuppli-Teardown-Analysis-Reveals.aspx)
- 4S- http://www.isuppli.com/Teardowns/News/Pages/iPhone-3G-S-Carries-178-96-BOM-and-Manufacturing-Cost-iSuppli-Teardown-Reveals.aspx&h=844&w=331&sz=225&tbnid=WFikE8JPCCc3IM:&tbnh=90&tbnw=35&prev=/search%3Fq%3Dbill%2Bof%2Bmaterials%2Bmobile%2Bphone%26tbn%3Disch%26tbo%3Du&zoom=1&q=bill+of+materials+mobile+phone&usg=__pYiYLQaRs03KKM2_NLgAl_bHfI=&docid=LbijEnuXRFuwZM&sa=X&ei=19XzUZLYKYjc4QSwmoCoAw&sqi=2&ved=0CC0Q9QEwAQ