

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**ELEKTRONİK ATIK GERİ DÖNÜŞÜMÜNÜN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE
ETKİSİ: ÖRNEK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZ ERDOĞAN

İSTANBUL, 2014

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ**

**ELEKTRONİK ATIK GERİ DÖNÜŞÜMÜNÜN ENERJİ
VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ: ÖRNEK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZ ERDOĞAN

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. GÖKSEL DEMİR
Tez II. Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. HÜSEYİN ÖZDEMİR**

İSTANBUL, 2014

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

Tezin Adı: Elektronik Atık Geri Dönüşümünün Enerji Verimliliğine Etkisi: Örnek Bir Çalışma
Öğrencinin Adı Soyadı: Oğuz ERDOĞAN
Tez Savunma Tarihi: 12.06.2014

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. Tunç BOZBURA
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu onaylarım.

Prof. Göksel DEMİR
Program Koordinatörü

Bu tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Göksel DEMİR

.....

Üye:
Yrd. Doç. Dr. Hatice Eser ÖKTEN

.....

Üye:
Öğr. Üyesi Dr. Adnan ÇORUM

.....

ÖNSÖZ

Araştırmanın bilimsel danışmanlığını üstlenen ve bana böyle bir araştırma fırsatı veren, çalışmanın başlatılması, gerçekleştirilmesi ve sonuca ulaştırılmasında her türlü bilimsel rehberliğini, deneyimini, bilgi ve desteklerini esirgemeyen, ayrıca yüksek lisans öğrenimim süresince ve tez çalışmalarım boyunca, karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yön gösterici olan, çok değerli hocalarım Prof. Dr. Göksel DEMİR'e ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR'e en derin saygı ve şükranlarımı sunarım.

Araştırmamın örnek çalışmasında sistem önerisinde bulunma aşamasında sistemin tasarlanmasında bana yardımlarını esirgemeyen hocalarım Yrd. Doç. Dr. Hatice Eser ÖKTEN, Yrd. Doç. Dr. Yavuz SAMUR, Yrd. Doç. Dr. Ali Osman PEKTAŞ, Öğr. Üyesi Dr. Adnan ÇORUM ve Doç. Dr. Hüseyin Kurtuluş ÖZCAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tezimin uygulama bölümü için fikir ve görüşlerini benden esirgemeyen ve her konuda bana yardımda bulunan Pendik Belediyesi çalışanları Özge ÖNŞEN, Abdullah Bahadır ŞAŞMAZ, Fatma Zehra EMİR ve Fatih YILMAZ'a teşekkür ederim.

Çalışmamı yürüttüğüm süre boyunca benden manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen ailem ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, 2014

Oğuz ERDOĞAN

ÖZET

ELEKTRONİK ATIK GERİ DÖNÜŞÜMÜNÜN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ: ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Oğuz Erdoğan

Enerji ve Çevre Yönetimi

Tez Danışmanı: Prof. Göksel Demir

Tez II. Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Özdemir

Haziran 2014, 70 sayfa

Elektronik teknolojisinin özellikle günümüzde sürekli bir gelişme göstermesi ve her geçen yeni sürümlerin ortaya çıkması bu eşyaların kullanım ömürlerini kısaltmaktadır. Bu yüzden elektronik atık miktarı her geçen gün bir çığ gibi büyümekte ve buna bağlı olarak çevreye verilen zararlar da artmaktadır.

Bu tez kapsamında, dünya üzerindeki elektronik atık geri dönüşüm yönetim sistemlerinin detaylı bir analizi yapılmıştır. Bu analiz aracılığı ile elektronik atıkların ne tür uygulamalar ile geri dönüştürüldüğü, geri kazanıldığı ve bertaraf edildiği incelenmiştir. Bahsi geçen uygulamaların enerji verimliliğine etkisi ve bu etkilerin Pendik İlçesi'nde örnek bir değerlendirmesi yapılmış; muhtemel enerji ve maddi tasarruflar hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektronik Atık, Geri Dönüşüm, Geri Kazanım, Enerji Verimliliği

ABSTRACT

CONTRIBUTIONS TO ENERGY EFFICIENCY THROUGH ELELECTRONIC WASTE RECYCLING: A CASE STUDY

Oğuz Erdoğan

Energy and Environmental Management

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Göksel Demir

Thesis II. Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hüseyin Özdemir

June 2014, 70 pages

The continuous development of electronic technology and fast generation change in versions make the life span of these goods shorten. That is why waste electronic and electrical equipment grow enormously day-by-day. Related to this issue, damages done to environment grow accordingly.

In this thesis, a detailed research is conducted for different electronic waste management systems in different countries all around the world. Through this study, it various applications for electronic waste recycling, recovering, disposal have been analysed. Moreover, the contributions of these applications to energy efficiency have been evaluated by a case study conducted in Pendik, Istanbul. Finally, possible energy and cost savings were calculated.

Key Words: Electronic Waste, Recycling, Recovering, Energy Efficiency

İÇİNDEKİLER

TABLolar	VII
ŞEKİLLER	IX
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRONİK ATIKLARLA İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1 ELEKTRONİK ATIKLARIN İNSAN VE ÇEVRE SAĞLIĞINA ZARARLARI	5
2.2 ELEKTRONİK ATIĞIN YÖNETİMİ	8
2.2.1 Gönüllü Özel Girişimler	8
2.2.2 Bölgesel Girişimler	9
2.2.2.1 Avrupa'daki Uygulamalar	9
2.2.2.2 Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Uygulamalar	17
2.2.2.3 Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Uygulamalar	20
2.2.2.4 Türkiye'deki Uygulamalar	31
2.2.3 Uluslararası Girişimler	38
2.3 SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ENERJİ KAZANIMI	40
3. ELEKTRONİK ATIK YÖNETİMİNDE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI	48
3.1 LCA	51
3.2 MFA	52
3.3 MCA	53
3.4 Sayısal Modeller	54
4. ELEKTRONİK ATIK YÖNETİMİ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMALARI: PENDİK ÖRNEĞİ	59
5. SONUÇ	68
KAYNAKÇA	71

TABLULAR

Tablo 2.1: Kategorisine göre AEEE toplama ve geri dönüşüm/tekrar kullanım oranları.....	10
Tablo 2.2: Avrupa’da 2008 yılında toplanan AEEE türleri ve oranları.....	12
Tablo 2.3: Türkiye-Almanya E-Atık Karşılaştırması.....	14
Tablo 2.4: 2003 yılında Birleşik Krallık’ta üretilen evsel AEEE miktarları.....	15
Tablo 2.5: 2008 yılında AEEE ayrıştırılması ile geri kazanılan materyaller.....	16
Tablo 2.6: 2003 – 2005 yılları arasında A.B.D.’de AEEE bertaraf yöntemleri (bin ton).....	18
Tablo 2.7: 2007 Çin AEEE geri dönüşüm sektörü işçi artış miktarları.....	21
Tablo 2.8: Wang ve diğerlerinin 2009 yılında Çin’de yaptığı anket sonuçları.....	26
Tablo 2.9: Nijerya’da yıllara göre cep telefonu hattı sayıları.....	30
Tablo 2.10: Türkiye’deki elektronik atık işleme firmaları tarafından toplanan.....	35
Tablo 2.11: Nüfusa Göre Belediye AEEE Toplama Başlangıç Tarihleri.....	36
Tablo 2.12: E-Atık Toplama Hedefleri.....	36
Tablo 2.13: Geri Dönüşüm Hedefleri.....	37
Tablo 2.14: Geri kazanım Hedefleri.....	38
Tablo 2.15: Birincil Kaynaklara Kıyasla Geri Kazanımın Sağladığı Enerji Tasarrufu...43	
Tablo 2.16: Cevher ve E-atıkların bazı özelliklerinin karşılaştırılması.....	44
Tablo 2.17: E-atıklardan metal geri kazanımı için uygulanabilecek yöntemlerin karşılaştırılması.....	45
Tablo 2.18: Birincil kaynak kullanımı yerine hurda demir ve çelik kullanımının faydaları.....	47
Tablo 3.1: AEEE Geri Dönüşüm Süreç Akış Şeması.....	50
Tablo 3.2 Elektronik eşyalar için LCA uygulamaları.....	52
Tablo 4.1 Pendik İlçesi Genel Nüfus Bilgileri.....	60
Tablo 4.2 Pendik İlçesi Mahalle Bazında Nüfus Bilgileri.....	61

Tablo 4.3 2011 ve 2012 yılları arasında Pendik İlçesi'nde türlerine göre toplanan elektronik atık miktarları (adet)	62
Tablo 4.4 Yönetim sistemi için önerilen teşvik puanlama sisteminde getirilen atığın puanlaması.....	64
Tablo 4.5 Yönetim sistemi için önerilen teşvik puanlama sisteminde ödüllerin puanlaması.....	65
Tablo 4.6: Pendik İlçesi'nde 2011 ve 2013 yılları içerisinde toplanan buzdolaplarının ortalama içerdikleri bakır miktarları (kg)	67
Tablo 4.7: Pendik İlçesi'nde 2011 ve 2013 yılları içerisinde toplanan buzdolaplarının yapımında kullanılan bakırın birincil kaynaktan elde edilirken ihtiyaç duyduğu enerji miktarı (kW.h)	68
Tablo 4.8: Pendik İlçesi'nde 2011 ve 2013 yılları içerisinde toplanan buzdolaplarının yapımında kullanılan bakırın geri kazanımı ile elde edilebilecek enerji tasarrufları (kW.h)	68
Tablo 4.9: Pendik İlçesi'nde 2014 yılı içinde önerilen sistem ile olası toplama artışları ile enerji tasarruf miktarları (kW.h)	68
Tablo 4.10: Pendik İlçesi'nde 2014 yılı içinde önerilen sistem ile olası toplama artışları ile Türk Lirası tasarruf miktarları (TL)	69
Tablo 4.11: Türkiye'de 2014 yılı içinde önerilen sistem ile olası toplama artışları ile Türk Lirası tasarruf miktarları (TL)	69
Tablo 4.12: Türkiye'de 2014 yılı içinde önerilen sistem ile olası toplama artışları ile Türk Lirası tasarruf miktarları (TL)	69
Tablo 4.13: İstanbul'da 2014 yılı içinde kurulacak bir elektronik atık geri dönüşüm tesisinin yüzde yüzlük toplama artışı ile beyaz eşyadan bakır geri kazanımı ile geri ödeme süresi	70
Tablo 4.14: İstanbul'da 2014 yılı içinde kurulacak bir elektronik atık geri dönüşüm tesisinin yüzde yetmiş beşlik toplama artışı ile beyaz eşyadan bakır geri kazanımı ile geri ödeme süresi	71
Tablo 4.15: İstanbul'da 2014 yılı içinde kurulacak bir elektronik atık geri dönüşüm tesisinin yüzde ellilik toplama artışı ile beyaz eşyadan bakır geri kazanımı ile geri ödeme süresi	71
Tablo 4.16: İstanbul'da 2014 yılı içinde kurulacak bir elektronik atık geri dönüşüm tesisinin yüzde yetmiş beşlik toplama artışı ile beyaz eşyadan bakır geri kazanımı ile geri ödeme süresi	71

ŞEKİLLER

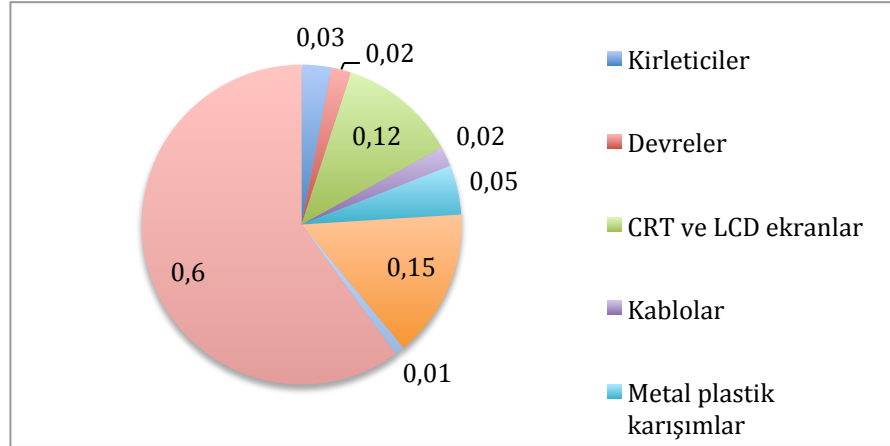
Şekil 1.1: AEEE materyal içeriği.....	1
Şekil 1.2: AEEE ayrıştırma süreci.....	3
Şekil 2.1: Avrupa AEEE kontrol süreci.....	10
Şekil 2.2: Çin’de AEEE geri dönüşümünde finansal sorumluluklar için örnek çalışma.	23
Şekil 2.3: Beijing AEEE akış şeması.....	24
Şekil 2.4: Hindistan AEEE geri dönüşüm sisteminde malzeme ve finansal akış.....	27
Şekil 2.5: Nijerya’da yapılan anket sonucu çevre dostu telefon için yüzde ek ödeme isteğinin dağılımı	30
Şekil 2.6: Sisteme Kayıtlı Üreticilerin Dağılımı.....	32
Şekil 2.7: Geri dönüşüm süreç akış şeması örneği.....	40
Şekil 2.8: Elektronik atıkların geri dönüşüm süreç şeması.....	44
Şekil 3.1: AEEE Geri Dönüşüm Süreç Akış Şeması.....	47
Şekil 3.2 Danimarka’da elektronik atık toplama sistemi akış şeması.....	53
Şekil 4.1: Pendik İlçesi AEEE akış şeması.....	59
Şekil 4.2 Pendik İlçesi Esenler Mahallesi Namık Kemal İlk Öğretim Okulu’na kurulan atık getirme noktası.....	65
Şekil 4.3 Pendik İlçesi Güllübağlar Mahallesi atık getirme merkezi.....	66
Şekil 4.4: Pendik İlçesi’nde 2011 ve 2013 yılları içerisinde toplanan buzdolaplarının ortalama içerdikleri bakır miktarları (kg)	67
Şekil 4.5: Pendik İlçesi’nde 2011 ve 2013 yılları içerisinde toplanan buzdolaplarının yapımında kullanılan bakırın birincil kaynaktan elde edilirken ihtiyaç duyduğu enerji miktarı (kW.h)	67
Şekil 4.6: Pendik İlçesi’nde 2011 ve 2013 yılları içerisinde toplanan buzdolaplarının yapımında kullanılan bakırın geri kazanımı ile elde edilebilecek enerji tasarrufları (kW.h)	68
Şekil 4.7: Pendik İlçesi’nde 2014 yılı içinde önerilen sistem ile olası toplama artışları ile enerji tasarruf miktarları (kW.h)	69
Şekil 4.8: Pendik İlçesi’nde 2014 yılı içinde önerilen sistem ile olası toplama artışları ile Türk Lirası tasarruf miktarları (TL)	69

Şekil 4.9: Türkiye’de 2014 yılı içinde önerilen sistem ile olası toplama artışları ile Türk Lirası tasarruf miktarları (TL)70

1. GİRİŞ

Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar (AEEE), kullanım ömrünü tamamlamış olan, içerisinde bir veya daha fazla elektrik iletim elemanı bulunduran ürünlere verilen addır. Bir AEEE günümüzde 40'tan fazla farklı hammadde içermektedir. Bu maddelerin arasında Kobalt, Baryum, Cıva, Berilyum, Krom, Kurşun, ve Arsenik gibi insan sağlığını tehdit eden maddeler de mevcuttur. Bu maddeler, düzgün bir şekilde bertaraf edilmediğinde veya toprağa karıştığında çevreye de çok ciddi zararlar vermektedir (Sunar, 2012). Özellikle cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlar gibi yüksek değiştirme oranına sahip modern iletişim cihazlarının satışlarındaki büyük artış değerli atık miktarında da büyük bir potansiyel yaratmıştır. Bir cep telefonu bugün kobalt, galyum, platin ve nadir toprak elemanları içermektedir (MRMA for EUFW, 2012). AEEE içerisinde bulunan tipik materyal içerikleri Şekil 1.1'de verilmektedir.

Şekil 1.1: AEEE materyal içeriği



Kaynak: (Ongondo, 2011)

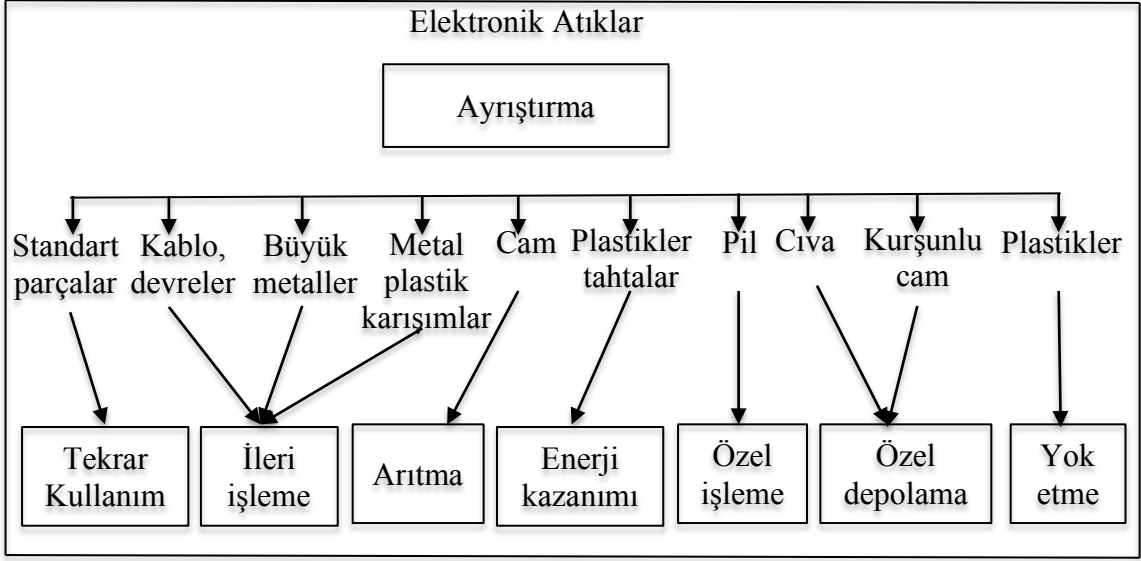
Elektronik atıklar kullanım ömürlerini bitirdiklerinde sistematik bir şekilde parçalarına ayrılarak içeriğindeki değerli metaller, devreler v.b ayrıştırılabilir. Ayrıştırma süreçleri ve yöntemleri atığın türüne göre farklılık göstermektedir. Ayrıştırma sürecinin planlanması aşağıdaki sistematığe göre yapılmaktadır:

- a. Ürün girdi çıktı analizi: Bu süreçte yeniden kullanılabilir, değerli ve tehlikeli parça ve materyaller belirlenir. Maliyet analizi ile optimal ayrıştırma metodu tanımlanır.
- b. Ayrıştırma analizi: Birleşim parçaları, parçaların hiyerarşisi ve ayrıştırma aşamaları analiz edilir.
- c. Belirsizlik analizi: Belirsizlik, tüketici kullanımı veya ayrıştırma sırasında zarar görmüş veya görebilecek parça ve bağlantılardan kaynaklanmaktadır.
- d. Ayırma stratejisinin belirlenmesi: Bu son aşamada yıkıcı veya yıkıcı olmayan ayrıştırma yolunun izlenmesine karar verilir.

Ayrıştırma sürecinin en etkin şekilde yapılması otomasyon ile mümkündür. Robotlar aracılığı ile yapılan bu ayrıştırma süreci daha yenilikçi bir yaklaşım olduğundan bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Pratikte ayrıştırma demontaj yapılarak değerli materyallerin daha az zarar görek ayrıştırılması ile yapılır. Bu süreç Şekil 1.2’de verilmiştir (Cui, 2003).

Avrupa Komisyonu’nun 2003 direktiflerine göre üretici firmalar ürettikleri AEEE’nin ağırlıkça yüzde 70-80’nini geri toplaması gerekmektedir. Bu uygulaması zor bir süreç olduğu için her ülke henüz geçişini tamamlayamamıştır. Hollanda ve Yunanistan geçişini tamamlamış ülkeler arasında gösterilir. Geçiş zorlaştıran nedenler arasında önceki direktiflerin değiştirilmesi / adapte edilmesi ve paydaşların sorumluluklarının belirlenmesi gibi durumlar vardır. Avrupa Birliği bu süreçte 6 tehlikeli maddenin kullanımını yasaklamıştır: kurşun, cıva, kadmiyum, altı değerlikli krom, polibrominatlı bifeniller, polibromine difeniller. Ayrıca, İsviçre’de iki farklı atık yönetim sistemi uygulanmaktadır. Bunlardan biri ofis, dişçi, grafik ve telekomünikasyon sektörleriyle ilgilenen Swiss Association for Information, Communication and Organization Technology. Diğeri ise evsel atıklarla ilgilenen Swiss Foundation for Waste Management’tir. Bu iki kuruluş 2004 yılında kişi başı 11kg’lık, toplamda 75000tonluk elektronik atık toplamıştır. Karşılaştırma oluşturması açısından, Avrupa Birliği’nin önerdiği miktar kişi başı 4kg’dır (Kahhat, 2008; Kahhat, 2008). Ayrıca Avrupa Birliği AEEE yönetmeliğine göre, 2016 yılında markete sürülen elektronik aletlerin yüzde 45’i oranında bir senelik toplama yapılması hedeflenmektedir. 2019 yılında bu oranın yüzde 65’e çıkarılması da yine hedefler arasında yer almaktadır (European Commission, 2012).

Şekil 1.2: AEEE ayrıştırma süreci



Kaynak: (Cui, 2003)

Amerika Birleşik Devletleri'nde 2005 yılı itibari ile 1,36 milyon ton elektronik atık bulunduğu raporlanmıştır. Environmental Protection Agency (EPA), 2007 yılı verilerine göre: 1890 ile 2004 yılları arasında tahmini olarak elektroniklerin yüzde 9'u satılmış, televizyonlar, bilgisayarlar, ekranlar v.b. 180 milyon birim ise hala elden çıkarılmayı beklemektedir. ABD'de EPA verilerine göre 2003 ile 2005 yılları arasında AEEE geri kazanım oranı yüzde 20, gömülme oranı yüzde 78, yakılma oranı ise yüzde 2'dir. Dünya üzerinde hali hazırda Avrupa birliği, Japonya, Tayvan, Güney Kore, İsviçre elektronik atık geri dönüşümü yaptırımlarına sahip ülkelerdir.

Japonya da 1998'de uygulamaya başlanan ve 2001'de zorunlu hale getirilen evlerde geri dönüşüm yasası gereği ömrünü tamamlamış AEEE için tüketiciler, televizyonlar, buzdolapları, çamaşır makinaları, ve klimalar olmak üzere 4 tip geri dönüşüm uygulanması için bilgilendirilmiştir. Ömrünü tamamlamış bu AEEE için tüketiciler ömrünü tamamlama ücreti ödemek zorundadır. Bu ücret yaklaşık, 23-46 dolar arasındadır. Bu ücret taşıma ve geri dönüşüm maliyetlerini kapsamaktadır. Benzer bir uygulama bilgisayarlar için de 29-40 dolar arasında bir ücretle yapılmıştır.

Güney Kore'de üretici sorumlulukları 2003 yılında belirlenen yönetmelik çerçevesinde yerel üreticiler tarafından yüzde 70 oranında AEEE toplanmıştır. Bu atıkların yüzde 12'si tekrar kullanılmış, yüzde 69 u geri kazanılmış ve geri kalan yüzde 19'luk kısım da

düzenli depolamaya gönderilmiştir. Ayrıca atıkların toplama sürecinde yerel yönetimler yüzde 40, üreticiler ise yüzde 50 atık toplama değerlerine sahiptir.

Bu tezin amacı AEEE hakkında detaylı bir literatür taraması ile dünyada ve Türkiye'deki AEEE yönetim sistemlerinin karşılaştırmasını yapmak, sürdürülebilir bir sistem olgusunu araştırmak, AEEE'nin geri kazanımı ile elde edilecek enerji ve maliyet tasarrufunu incelemek ve olası uygulamaları Pendik İlçesi için değerlendirmektir.

2. ELEKTRONİK ATIKLARLA İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

2.1 ELEKTRONİK ATIKLARIN İNSAN VE ÇEVRE SAĞLIĞINA ZARARLARI

Elektronik teknolojinin özellikle günümüzde sürekli bir gelişme göstermesi ve her geçen yeni sürümlerin ortaya çıkması bu eşyaların kullanım ömürlerini kısaltmaktadır. Bu yüzden elektronik atık miktarı her geçen gün bir çığ gibi büyümekte ve buna bağlı olarak çevreye verilen zararlar da artmaktadır. Çevreye verilen zararların nedenleri aşağıdaki gibidir:

- a. Monitör ve televizyonların toprağa gömülmesi sonucu toksin maddeler ortaya çıkar.
- b. AEEE içeriğindeki klorlu ve bromlu alev geciktirici organik maddeler yakıldıklarında atmosfere furanlar ve dioksinler karışır.
- c. Elektronik devre kartları yakıldığında kurşun ve cıva gibi zehirli bileşenler çevreye yayılır.
- d. Cıvalı elektronikler gömüldüğünde içeriğindeki cıva toprağa ve suya karışır.
- e. Poliklorür Bifenil içeren elektronikler toprağı ve suyu kirletir (Deniz, 2008).

1 adet bilgisayar ve monitörün üretimi için ihtiyaç duyulan hammadde içeriğı şöyledir:

- a. 240 kg fosil yakıt,
- b. 22 kg kimyasal madde,
- c. 1.500 kg su kullanılır.

Dolayısıyla masaüstü bilgisayarlardan dizüstü bilgisayarlara geçilmesi sevindirici gibi gözükür. Fakat dizüstü bilgisayar üretiminde de çok farklı bir durum yoktur. 2,7 kg ağırlığında bir dizüstü bilgisayar yapımında ihtiyaç duyulan hammadde 429 kg iken ortalama 400 kg atık üretilmektedir. Ayrıca bir dizüstü de 5-7 yıl içinde atık haline gelmektedir (Dursun, 2009).

AEEE içeriğindeki zararlı bileşenlerin çevre ve insan sağlığına olan olumsuz etkileri aşağıdaki gibidir:

- a. Kurşun (Pb): Katot ışın tüpler ve entegre devrelerin içeriğinde bulunur. Sinir sistemi, endokrin ve dolaşım sistemine zararı vardır.
- b. Civa (Hg): Zehirli bir maddedir. Özellikle beyin ve böbreklere ciddi zararlar verir. Anne sütüyle çocuklara bulaşması çok kolaydır. Çok az oranlarda bile teması tehlikelidir..
- c. Kadmiyum (Cd): Yonga dirençleri, kızılötesi detektörleri ve eski tip katot ışını tüplerinin içeriğinde bulunmakla birlikte plastiklerde stabilizatör olarak kullanılır. Ayrıca gümüş kaynaklarda ve spreyci boyalarda da kullanılmaktadır. Suda çok kolay çözünür. Böbrekte birikerek insanı zehirleyebilir ve kanserojen özelliğe sahiptir. Aşırı dozda alımı böbrek yetmezliğine neden olur.
- d. Bromlu Alev Geciktiriciler (BFR): Kanserojen ve nörotoksik özelliktedir. Üremeyi ve hormonal gelişmeyi olumsuz etkiler. Gömüldüğü takdirde çözünerek toprağa sızar ve buharlaşarak yayılır. Yakıldığında ise dioksin ve furan oluşumuna sebebiyet verir. Bilgisayarlar üzerindeki tozlarda bulunmaktadır. A.B.D. ve İsveç'te yapılan araştırmalarda anne sütünde bu bileşiğe rastlanmıştır.
- e. Fosfor (P): Katot ışını tüplerinin iç yüzünü kaplamak için kullanılır. Toz halinde koklandığında zararlı olduğu bilinmektedir fakat; kesin zararları hakkında pek fazla bilgi yoktur.
- f. Baryum (Ba): Radyasyon azaltıcı olarak kullanılır. Kısa süre baryuma maruz kalma beyin şişmesine, kas zayıflığına, kalp ve karaciğer hastalığına neden olabilmektedir.
- g. Altı Değerlikli Krom (Cr^{6+}): Korozyonu azaltmak için kullanılır. DNA hasarı ve astıma sebep olabilir.
- h. Berilyum (Be): Ana kart ve bağlantılarda bulunur. Kanserojen olduğu bilinmektedir.
- i. Nikel (Ni): Endokrin, bağışıklık sistemi, deri ve gözler üzerinde olumsuz etkisi vardır.
- j. Plastikler: Bilgisayarlarda çok kullanılır. Yakıldığında dioksin oluşturur. En tehlikeli plastik polivinil klorür (PVC) olarak bilinmektedir (Kahvecioğlu, 2004).

Yapılan başka bir çalışmada cep telefonlarındaki çevre için tehlike arz eden materyaller incelenmiştir. Örneğin bir cep telefonu bataryasındaki Cd miktarı 600,000 litre suyu

kirletmeye yeterlidir. Cep telefonlarında dikkat edilmesi gereken maddeler aşağıdaki gibidir:

- a. Metaller: Cep telefonu devre kartlarında bol miktarda bakır, kadmiyum ve kurşun içerir. Özellikle eski telefonlarda kullanılan kurşun lehim 1 gramdan az olmasına rağmen büyük tehlike arz eder. Günümüzde kurşun lehim kullanılmasa da gelişmekte olan ülkeler için bu önemli bir husustur. Bazı telefonlarda tasarım amaçlı yine tehlikeli bir metal olan heksavalent krom da kullanılmaktadır.
- b. Ekran: Sıvı kristal ekran denilen LCD ekranlar eski telefonlarda 5g kadar kullanılmaktaydı. Yeni teknoloji telefonlar ise LCD yerine ince iletken ekranlar (TFT) kullanmaktadır.
- c. Plastikler: Bir cep telefonunun neredeyse yüzde 30'u plastiktir. Ayrıca plastik içinde stabilizör olarak kadmiyum, kurşun, nikel, krom ve baryum da kullanılır. Bunun yanı sıra polimer içerisinde bromlu alev geciktiriciler de kullanılmaktadır.
- d. Alev geciktiriciler: Günümüzde cep telefonlarında iki tip alev geciktirici kullanılır. Bunlar tetrabromobisfenol-A (TBBPA) ve deka bromodifenil eter (Deca-BDE) olarak bilinirler. TBBPA devre kartlarında, Deca-BDE de plastik kasada kullanılır. Bir cep telefonunda neredeyse 2g alev geciktirici kullanıldığı bilinmektedir.
- e. Aksesuarlar: Batarya gibi aksesuarlarda lityum, nikel ve kobalt gibi kirletici maddeler bulunmaktadır (Nnorom, 2008).

2.2 ELEKTRONİK ATIĞIN YÖNETİMİ

Sürdürülebilir bir atık yönetimi için Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR) de önemli bir araç teşkil etmektedir çünkü; ekonomik, çevresel ve sosyal açılardan sistemi besler. Ekonomi, çevre ve sosyal hayat üçgeni arasındaki güçlü bağıntı uzun süredir kabul edilmiş bir olgudur. Sürdürülebilir bir atık yönetiminin önemli bir parçası olan girişimler de çeşitlendirilmiştir:

- i. Gönüllü özel girişimler,

- ii. Bölgesel girişimler,
- iii. Uluslararası girişimler.

2.2.1 GÖNÜLLÜ ÖZEL GİRİŞİMLER

Hem gelişmiş ülkelerde hem de gelişmekte olan ülkelerde özel firmalar tarafından geri alım programları uygulanmaktadır. Örneğin Dell, Hewlett Packard (HP), International Business Machines (IBM) ve bu markette yer alan bir çok diğer marka bu tip programları desteklemektedir ancak; hiç biri yüzde 10'luk geri dönüşüm miktarından daha fazlasını taahhüt edememektedir.

Çin'deki cep telefonu firmaları da kullanılmış cep telefonlarını ve aksesuarlarını toplamaktadır. Nokia 2002 yılında "Gelecek Sizin Ellerinizde" adlı kampanyasıyla 100'den fazla şehirde mağazalarına kurduğu 200'den fazla geri dönüşüm kutusuyla neredeyse 0,5 ton batarya ve şarj aleti toplamıştır. Aynı şekilde Motorola ve Philips de Çin ve Asya'da bu tip girişimlere destek vermektedir.

Avrupa'da da benzer girişimler mevcuttur. Bu girişimlerin en çok konuşulana Avrupa Elektronik Endüstrisi Cep Telefonu Geri Alım Grubu adı altında buluşan, içinde Alcatel, Ericson, Motorola, Nokia, Panasonic ve Philips'in de bulunduğu bir kampanya olmuştur. Ayrıca, Fujitsu Siemens Bilgisayarları da büyük bir başarıya imza atarak 2005 yılında Almanya'da 3500-4000 tona civarı elektronik atık toplamıştır (Nnorom, 2008).

2.2.2 BÖLGESEL GİRİŞİMLER

Bölgesel girişimler ülkeler bazında veya üye eyaletlerden oluşan Avrupa Birliği veya Amerika Birleşik Devletleri gibi çoklu eyalet yapılarında gerçekleştirilen uygulamaları kapsamaktadır. Her ülke kendi kültür veya devlet yapısına göre farklı tip uygulamaları takip etmektedir. Bu bölümde Avrupa Birliği'ndeki, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki, gelişmekte olan ülkelerdeki ve Türkiye'deki uygulamalar tartışılacaktır.

2.2.2.1 Avrupa'daki Uygulamalar

Avrupa'da 2003 yılında çıkan direktife göre AEEE kontrol süreci belirli bir düzene oturtulmuştur. Bu direktif kapsamında bir çok önlem alınmış ve gömü veya yakma yerine doğaya daha duyarlı ve enerji korunumunu ön plana çıkarmayı amaçlayan yasalar çıkarılmıştır. Bu kapsamda direktifin öne çıkan bazı maddeleri aşağıdaki gibidir:

- a. Elektronik eşyaların dizaynı kullanım ömürlerini bitirdikleri zaman basit ayrıştırılabilir ve tekrar kullanımı kolaylaştıracak şekilde yapılmalıdır.
- b. AEEE diğer tür atıklardan ayrı toplanmalı ve bu tüketici için bedava yapılmalıdır.
- c. Çevreyi ve insan sağlığını koruyucu teknikler kullanılarak geri dönüşüm, geri kazanım ve onarım yapılmalıdır.
- d. 13 Ağustos 2005 tarihinden itibaren elektronik eşyalar özel bir logo taşıyarak tüketicinin bu atıkları evsel atıklar ile karıştırmaması konusunda bilinçlendirme yapılmalıdır.
- e. 2006 sonu itibari ile yıllık kişi başına 4kg AEEE toplanması sağlanmalıdır.
- f. 2006 sonu itibari ile kategorisine göre değişen yüzde 50 ile yüzde 80 arasında bir geri dönüşüm, geri kazanım veya onarım oranı sağlanmalıdır. Tablo 2.1'de bu oranlar detaylandırılmıştır.
- g. Üreticiler geri alım ve AEEE'nin yönetiminden finansal olarak sorumludur.
- h. Bu gereksinimleri karşılama konusunda tüketicilerin ve geri dönüşüm firmalarının bilgilendirilmesi gerekmektedir.
- i. Üreticiler ve üye ülkeler belirli periyotlarda yönettikleri AEEE hakkında rapor vermelidir (Nnorom, 2008).

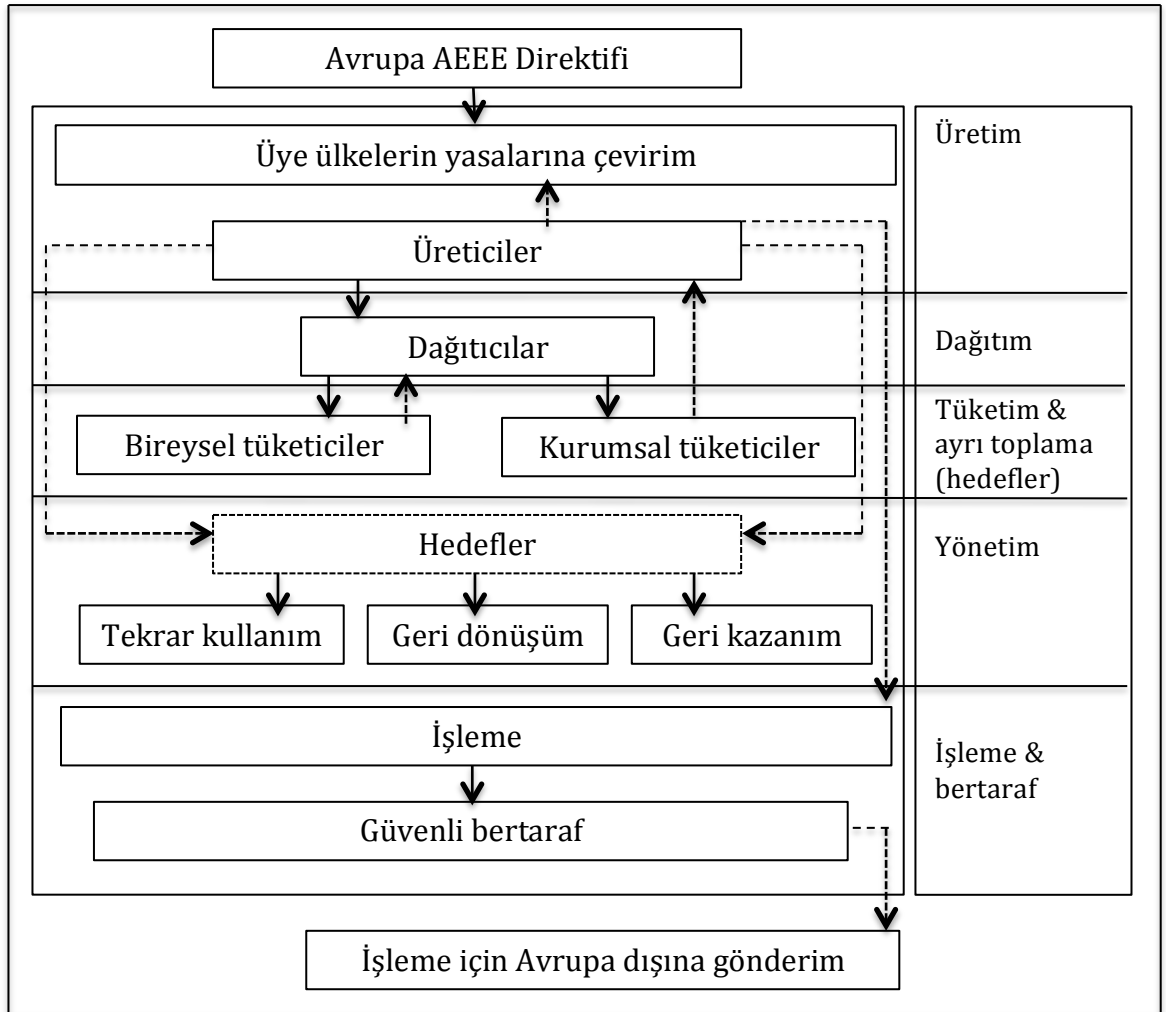
Direktifte uygun görülen süreçlerin akışı Şekil 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Kategorisine göre AEEE toplama ve geri dönüşüm/tekrar kullanım oranları

Kategoriler	Toplama	Geri dönüşüm/tekrar kullanım
Geniş hane halkı cihazları	80	75
Bilgi teknolojileri ve telekomünikasyon	75	65
Aydınlatma ekipmanları	80	80
Diğer	70	50

Kaynak: (Nnorom, 2008)

Şekil 2.1: Avrupa AEEE kontrol süreci



Kaynak: (Ongondo, 2011)

Günümüzde, Avrupa’da her yıl 6,5 milyon ton AEEE elden çıkarılmaktadır. Her 5 yılda bir yüzde 16 ile 28 arasında bir artış olduğu da gözlemlenmektedir. Bu artışa göre 2015 yılında AEEE miktarının 12 milyon tonu bulması öngörülmektedir. Tablo 2.2’de 2008 yılında Avrupa’da toplanan AEEE türleri ve miktarları verilmiştir.

Tablo 2.2: Avrupa’da 2008 yılında toplanan AEEE türleri ve oranları

Kategoriler	Toplanan AEEE %
Geniş hane halkı cihazları	49,07
Küçük hane halkı cihazları	7,01
Bilgi teknolojileri ve telekomünikasyon	16,27
Tüketici ekipmanları	21,10
Aydınlatma ekipmanları	2,40
Elektrikli ve elektronik araçlar	3,52
Eğlence ve spor ekipmanları	0,11
Medikal cihazlar	0,12
İzleme ve kontrol ekipmanları	0,21
Otomatik dağıtım makineleri	0,18
Toplam	100

Kaynak: (Ongondo, 2011)

Yine Avrupa AEEE direktifi kapsamında EPR olgusu yasalaştırılmıştır. Bu yasa çerçevesinde elektronik eşyalar tüketici elinden çıktıktan sonra bile üretici sorumluluğunda tutulmaktadır. Yani ürünler atık haline geldikten itibaren bu atıkların toplanması, geri dönüştürülmesi, geri kazanılması, tekrar kullanımı ve bertarafından üretici firma sorumlu tutulmaktadır. Böylece ürün geri alımı (take back) diye bir strateji hayata geçmiş ve geri dönüşüm sürecine katılmıştır (Widmer, 2005).

Sürdürülebilirlik açısından büyük bir önemi olan EPR literatürde sıkça tartışılmış yapılan bir araştırma kapsamında aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- a. Genel sorumluluk: Üreticinin ürünün kanıtlanmış çevresel zararlarına olan sorumluluğunu kapsar. Bu zararlar ve yaptırımları yasalarla belirlenmiştir.

- b. Ekonomik sorumluluk: Ürün atık haline geldikten sonra toplanması, geri dönüşümü veya bertarafını finanse etme sorumluluğudur. Bu finansman ya üretici tarafından direkt karşılanır ya da vergilendirilerek alınır.
- c. Fiziksel sorumluluk: Üretici ürününün fiziksel olarak yönetiminden sorumludur, örneğin: teknolojik güncellemeler. Geri alma süreci ve bertarafında da yine fiziksel olarak aktif bir rol alır.
- d. Sahip olma: Bazı durumlarda üretici ürününün her süreçte sahibidir. Tüketici ürünü sadece kiralar. Bu tip durumlarda üretici ürün ile ilgili her şeyden sorumludur.
- e. Eğitici sorumluluk: Üretici ürünün yaşam döngüsü boyunca oluşturacağı etkileri ve ürünün özelliklerini tüketiciye bildirmelidir (Nnorom, 2008).

Bir EPR sistemi dizayn edilirken aktörler ve rolleri kesin bir şekilde belirtilmelidir. Bu süreçte dikkat edilmesi gereken hususlar beş gruba ayrılmaktadır:

- a. Yasal düzenleme,
- b. Sistem kapsamı,
- c. Sistem finansmanı,
- d. Üretici sorumluluğu,
- e. Sigorta kapsamı (Widmer, 2005).

EPR ile ilgili etkili bir program Fishbein tarafından 2002 yılında tanımlanmıştır:

- a. Sadece ömrünü tamamlamış atıklara odaklanmalıdır.
- b. Toplama, ulaştırma ve geri dönüşüm süreçlerinin tamamı için üreticinin finansal sorumluluklarının açıkça belirtilmesi gerekmektedir.
- c. Toplama ve geri dönüşüm için mantıklı hedefler belirlenmelidir.
- d. Geri dönüşümü atıktan enerji dönüşümü gibi teknolojilerden ayırmak gerekmektedir.
- e. Zorlayıcı bir mekanizma ve raporlama yapılması gerekmektedir.
- f. Üreticiler tekrar kullanım ve geri dönüşüm için teşvik edilmelidir.
- g. Tüketiciler atıklarını geri dönüşüme getirmeleri için teşvik edilmelidir (Nnorom, 2008).

Almanya’da evsel küçük elektronik atıklar toplam evsel atıkların yüzde 1,5’lik kısmını oluşturmaktadır. Bu oran da yıllık evsel elektronik atık miktarının 1 ile 1,4 milyon ton civarında olduğunu göstermektedir. 2006 yılında elde edilen verilere göre kişi başına düşen yıllık AEEE miktarı hedef 4kg/yıl olmasına rağmen 8,6 kg/yıla dayanmıştır. Bu durum da yüzde 50 ile 63 arasında bir geri dönüş oranı olduğunu belirtmektedir. Ancak her ne kadar toplama oranları çok yüksek olsa da, hala bir takım AEEE diğer evsel atıklarla birlikte çöpe atılmaktadır. Ayrıca, yasalardaki bazı boşluklar yüzünden gelişmekte olan ülkelere AEEE gönderilmesi de söz konusudur. Bu ülkeler arasında Hindistan, Çin ve Nijerya yer almaktadır. Kayıtlara göre dışarı gönderilen AEEE 2007 yılında 6.856 tondur (Ongondo, 2011).

Yapılan bir çalışmada da Türkiye ile Almanya arasında AEEE uygulamaları arasındaki farklar incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda Türkiye’deki uygulamaların Almanya’ya kıyasla ne kadar düşük olduğu Tablo 2.3’teki değerlerle gösterilmektedir.

Tablo 2.3: Türkiye-Almanya E-Atık Karşılaştırması

	Almanya	Türkiye
Toplanan e-atık / yıl	1.6 milyon Ton	~10000 Ton
Geri Dönüşüm Tesisi (Adet)	500	12
Toplama Merkezleri (Adet)	1400	24

Kaynak: (Yeşilkaya, 2012)

Birleşik Krallık’ta 2003 yılının verilerine göre 940 bin ton ağırlığında 93 milyon adet AEEE toplanmıştır (Tablo 2.4). 2009 yılında piyasaya 1,5 milyon ton elektronik eşya sürülmüştür. Bu eşyaların yüzde 79’u ise evsel elektronik eşyalardır. 2010 yılında 454 bin ton AEEE toplanmış olup bu miktar kişi başı yıllık 7,4 kg AEEE’ye denk gelmektedir. Birleşik Krallık yasalarına göre AEEE’nin işlenmesi, geri dönüşümü, geri kazanımı ve çevresel etkilerin en aza indirgenerek bertarafı üreticinin finansal sorumluluğundadır. Bu süreçler özel izinli geri dönüşüm tesislerince organize edilmektedir. Bütün bu sistemi de Çevre Ajansı (Environment Agency) denetlemektedir. Dağıtıcı firmaların da üreticiler gibi sorumlulukları vardır. Toplama

aşamasında finansal destek sağlamalarının yanı sıra mağazalara getirilen elektronik atıkları da geri almakla hükümlüdürler (Ongondo, 2011).

Tablo 2.4: 2003 yılında Birleşik Krallık'ta üretilen evsel AEEE miktarları

Kategoriler	Atılan (bin ton)	%	Atık miktarı (milyon adet)	%
Geniş hane halkı cihazları	644	69	14	16
Küçük hane halkı cihazları	80	8	30	31
Bilgi teknolojileri ve telekomünikasyon	68	7	21	23
Tüketici ekipmanları	120	13	12	13
Aydınlatma ekipmanları	2	<1	9	10
Elektrikli ve elektronik araçlar	23	2	5	5
Eğlence ve spor ekipmanları	2	<1	2	2
İzleme ve kontrol ekipmanları	<1	<1	<1	<1
Toplam	940	100	93	100

Kaynak: (Bains, 2006)

İsviçre Avrupa AEEE direktifi çıkmadan çok öncesinde bile yasaları ile düzgün bir sistem oturtmuş ve 2003 yılında toplanan toplam evsel atığın yüzde 2,6'sını elektronik atık olarak toplamıştır. Koymuş olduğu yasalarla üretici ve dağıtıcı firmaların ve tüketicilerin görevlerini açıkça belirtmiştir. 1993 yılında İsviçre Bilişim, İletişim ve Organizasyon Teknolojileri Birliğini (SWICO) kurup geri dönüşüm sistemini garantiye almayı başarmıştır. 1994 yılında bu kuruluş sadece ofis elektronik atıklarını toplarken, zaman içerisinde misyonunu genişletmiş ve cep telefonu, tüketici elektronikleri, telefon devreleri ve dişi ekipmanlarını da toplar hale gelmiştir. Ayrıca 1990 yılında kurulan İsviçre Atık Yönetimi Kuruluşu (S.EN.S) kar amacı gütmeyen bir kuruluş olup, üretici ve dağıtıcılar adına AEEE toplanmasını sağlamıştır. Günümüzde evsel AEEE'den sorumlu olan kuruluş S.E.N.S'tir. 2004 yılında 40 bin ton AEEE toplanmasını sağlamıştır. Bu iki kuruluş da çok disiplinli bir şekilde toplama işlemlerini yürütmektedir. Masraflar ise vergilerden elde edilen gelire sağlanmaktadır. Bu vergiler üretici ve dağıtıcılardan toplanmaktadır; ancak tüketiciden de elektronik eşya satın alırken ekstra bir elektronik atık vergisi alınmaktadır. Bu iki büyük kurumun yanında çok daha küçük iki kar amacı gütmeyen kuruluş da toplama konusunda destek

sağlamaktadır. Neredeyse mükemmel şekilde çalışan bu sistem için İsviçre yetkilileri sistem çok daha iyi olabileceğini ve konuda çalışmalar yürütmekte olduklarını belirtmektedir (Ongondo, 2011).

Toretta ve diğerleri Romanya ile İtalya'daki AEEE uygulamalar ile ilgili karşılaştırmalı bir değerlendirme ortaya koymuştur. Bu araştırmaya göre Romanya'da AEEE yönetiminde dikkat edilen hususlar aşağıdaki gibi verilmiştir:

- a. Bertaraf edilecek AEEE miktarının azaltılabilmesi için geri dönüşüm, geri kazanım ve tekrar kullanıma öncelik vermek,
- b. AEEE yaşam döngüsüne üretici, dağıtıcı ve tüketiciyi birlikte dahil etmek ve özellikle ekonomik etkenleri ve etkileyicileri belirlemek.

İtalya'da ise AEEE'nin sınıflandırılması büyük önem taşımaktadır. Sınıflandırma şu şekilde yapılmıştır:

- a. R1: Buz dolapları ve klimalar
- b. R2: Büyük ev eşyaları
- c. R3: Televizyon ve ekranlar
- d. R4: Küçük ev eşyaları, elektronikler, bilgisayar parçaları ve aydınlatıcılar
- e. R5: Aydınlatıcı kaynakları

Bu ayrıştırmaya göre toplanacak AEEE'nin toplama masrafları ise üretici/dağıtıcıya aittir. 2008 yılında ayrıştırılarak toplanan AEEE'den elde edilen materyal yüzde geri kazanımları ve miktarları Tablo 2.5'te verilmiştir.

2010 yılında toplanan AEEE miktarlarına bakıldığında ise halkın bilinçlendirilme kampanyalarının ve yasaların düzenlenmesinin çok büyük etkisi olduğu ve toplanan atık miktarının 4 katına çıktığı belirtilmiştir. Romanya ve İtalya'daki AEEE toplama miktarlarına bakıldığında iki ülkede de bölgelere göre çok büyük farklılıklar olduğu gözlenmiştir. İspanya da bu tip ülkelere bir örnek teşkil etmektedir. Çalışmada, sonuç olarak, atık toplamanın arttırılmasında en büyük etkenin iletişim ve bilinçlendirme olduğu, gerekiyorsa teşvik sistemlerinin geliştirilmesi bölgelerin sosyo-ekonomik yapısı dikkate alınarak uygulanması gerektiği vurgulanmıştır (Toretta, 2012).

Tablo 2.5: 2008 yılında İtalya’da AEEE ayrıştırılması ile geri kazanılan materyaller

Materyal	Geri kazanım (%)	Miktar (ton)
Demir	43,04	83.181
Cam	17,88	34.558
Alüminyum	1,97	3.811
Plastik	25,57	49.419
Diğer geri dönüştürülebilir materyaller	2,99	5.782
Diğer geri dönüştürülemez materyaller	8,54	16.504

Kaynak: (Toretta, 2012)

2.2.2.2 Amerika Birleşik Devletleri’ndeki Uygulamalar

Her geçen gün teknolojinin gelişmesi ve elektronik eşyaların ömürlerinin kısalmasıyla birlikte AEEE oluşumunda büyük bir artış gözlenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri’nde (A.B.D.) elektronik atıklarla iki şekilde baş edilmektedir: (1) A.B.D.’nin katı atık depolama alanlarında bertaraf veya (2) elektronik atıkların ihracı.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) verilerine göre 2003 ve 2005 yılları arasında elektronik atıkların yüzde 80 ile 85’i düzenli depolamaya gönderilmiştir. Bu durum, elektronik atığın içerisindeki kurşun, krom, kadmiyum ve cıva gibi tehlikeli maddelerin çevresel zararlarından dolayı endişe uyandırmıştır. Bir araştırma grubunun U.S. EPA’nın toksisite karakteristik inceleme prosesine göre bir simülasyon hazırlayıp bu toksin maddelerin zaman içerisindeki zararlarını incelemiştir. Bulunan sonuçlara göre kurşunun ulusal sınır değerlerini aştığı tespit edilmiştir. Ancak daha sonradan başka bir bölgede yapılan çalışmada kurşun toksisitesinin sınır değerleri geçmediği, hatta demir ve çinko miktarlarının çok daha fazla olduğu görülmüştür. Bu sebepten dolayı, depolama alanının koşullarının ve kompozisyonunun toksisite üzerinde olan etkisi yadigaranamaz. Her ne olursa olsun, bu tehlikeli maddelerin çevreye olan olumsuz etkisi sınır değerleri aşmasa da küçümsenemeyecek kadar önemlidir. Bu yüzden geri dönüşüm ve geri kazanımın önemi çoktur. Tablo 2.6’da A.B.D.’de 2003 ve 2005 yılları arasında AEEE ile ne şekilde baş edildiği gösterilmektedir (Kahhat, 2008).

Tablo 2.6: 2003 – 2005 yılları arasında A.B.D.’de AEEE bertaraf yöntemleri (bin ton)

	Geri Dönüştürülen		Gömülen		Yakılan		Toplam
2003	315,5	%20	1234,9	%78	35,1	%2	1585,5
2004	326,5	%20	1281,9	%78	36,5	%2	1644,8
2005	343,8	%20	1353,7	%78	38,5	%2	1736,0

Kaynak: (Kahhat, 2008)

İhraç durumunda belirli izinler olmak zorundadır. İhraç eden ülke ve ithal eden ülke arasında antlaşma yapılması ve Basel Antlaşması (Basel Convention Agreement) kurallarına uygun bir şekilde ihraç yapılması gerekmektedir. Basel Eylem Ağı (Basel Action Network – BAN) ve Silicon Vadisi Toksin Koalisyonu (The Silicon Valley Toxics Coalition – SVTC) olmak üzere iki hükümetten bağımsız denetleyici ajans tarafından yapılan incelemelerde A.B.D.’nin 2002 yılında geri dönüşüm amacıyla toplamış olduğu AEEE’nin yüzde 80’nini ihraç ettiği ortaya çıkmıştır. A.B.D. bu yüzden uyarı almıştır. Günümüzde Çin A.B.D.’nin elektronik atıklarının büyük bir bölümünü ithal etmektedir. Yasal olmayan yollardan geri dönüşüm yapılması elektronik atıkların içeriğindeki değerli materyallerin el ile ayrıştırılması olarak tanımlanır. Çin’de bu şekilde bir uygulama olduğu bilinmekte ve bu uygulamanın çok ciddi sonuçlar doğurduğu anlaşılmıştır:

- İçme suyunun ağır metaller yüzünden kirlenmesi,
- Poliklorür dibenzo-p-diyoksinler ve dibenzofuranlar, polibromür dibenzo-p-diyoksinler ve dibenzofuranlar ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar yüzünden toprak ve havanın kirlenmesi,
- Kanda yüksek kurşun oluşumu gibi insan sağlığının olumsuz etkilenmesi.

Çin’in dışında Hindistan da A.B.D.’den her geçen gün daha çok elektronik atık ithal etmektedir. Hükümetten bağımsız denetleyici kuruluşlar bu ithalat-ihracat ilişkisini engellemeye çalışsa da arada kurulan ekonomik denge yüzünden bu çok mümkün gözükmemektedir. Özellikle A.B.D. açısında ucuz Çin ve Hindistan’daki yasal olmayan

yollardan ayrıştırma yapılması iş gücü ucuzluğundan dolayı çok çekici gelmektedir (Kahhat, 2008).

AEEE konusunda A.B.D.'de bir çok eyalet ciddi önlemler almaya başlamıştır. 21 eyaletten 15'i üretici sorumluluğunu kesin kurallar ile belirlemiştir: Connecticut, Hawaii, Illinois, Massachusetts, Maryland, Minnesota, Nebraska, New Jersey, New York, Oregon, Rhode Island, South Carolina, Tennessee, Vermont ve New York City. Bunların dışında California eyaleti ARF adı altında yüksek geri dönüşüm vergileri uygulamaktadır. Monitör, televizyon ve dizüstü bilgisayarlarda 6 ile 10\$ arası bir vergi satış fiyatının üzerine konmaktadır. Ayrıca Washington Eyalet, Electronic Product Recycling Law Chapter adı altında getirmiş olduğu yasa çerçevesinde evlerden, küçük işyerlerinden, okullardan ve bağış kurumlarından elektronik atıkların ücretsiz bir şekilde toplanmasını sağlamaktadır. Bütün bunların dışında, 800'den fazla özel şirket de elektronik atıkların toplanmasına katkıda bulunmakla birlikte özel atık toplama etkinlikleri de düzenlemektedir. Günümüzde A.B.D.'de atık toplanması 5 şekilde yapılmaktadır:

- a. Evin önünden toplama: Evlerin önüne çıkarılan elektronik atık kutularını toplama
- b. Özel toplama etkinlikleri: Oyunlar oynatılan ve ödülleri verilen özel etkinlik günleri düzenlenerek atık toplama
- c. Kalıcı atık konteynırları: Belirli noktalarda kalıcı konteynırlar aracılığı ile toplama
- d. Geri alım: Elektronik mağazalarının müşterilerden elektronik atıkları alması ile toplama
- e. Satın alma noktaları: Müşterilerin elektronik aletlerini aldıkları mağazalara

Sürdürülebilirlik açısından her eyaletin kendi içerisinde yaptığı çalışmalar çok önemlidir; ancak A.B.D. gibi coğrafi ve siyasi olarak bu kadar büyük bir ülkenin AEEE sorununa daha merkezi bir yöntem bulması gerekmektedir. Yasal yaptırımların geliştirilmesi ile sürdürülebilir bir AEEE geri dönüşümü sağlanabilir. Federal yasaların eksikliği dolayısıyla toplama, geri dönüşüm ve tekrar kullanımı süreçlerinin düzgün bir şekilde çalışmasına engel olmaktadır. Sürdürülebilir bir sistem için finansal

sorumlulukların iyi belirlenmesi şarttır. Çözüm olarak bütün finansal sorumluluğu üretici ve dağıtıcılara bırakmak mümkün olabilir. Diğer bir ihtimal ise bu sorumluluğu sistemin bütün elemanlarına dağıtılması olabilir: Üreticiler, dağıtıcılar, tüketiciler ve devlet (Kahhat, 2008).

2.2.2.3 Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Uygulamalar

Çin günümüzde elektronik endüstrisinin en önemli parçalarından biri olmuştur. Elektronik üretiminde 2008 yılında 754 milyar Amerikan doları gelir elde edildiği bilinmektedir. Ancak bu büyüme AEEE açısından Çin için gerek miktar olarak gerekse çevre kirliliği olarak kötü etkilemektedir.

Çin'in ithal ettiği AEEE dışında ayrıca kendisinin oluşturduğu AEEE miktarı da ciddi rakamlara ulaşmıştır. 2003 yılında 55,9 milyon adet olan AEEE'nin 2015 yılında 400 milyon adete (5,4 milyon ton) çıkması öngörülmüştür.

Elektronik eşyaların kullanım ömürlerinin de gittikçe azaldığı düşünülecek olursa bu problemin her geçen gün artacağı öngörülmektedir. 2007 yılında bu sektörde 0,7 milyon kişinin çalıştığı bilinmektedir. Bu rakamın yüzde 98'i kayda geçmeyen işçileri oluştururken, geri dönüşüm sürecine katılan firmaların yüzde 60'ının hükümet yasalarının dışında hareket eden ufak tefek şirketler olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla AEEE geri dönüşüm sektörü de Çin'de büyük bir sektör olmuştur. Tablo 2.7'de Çin'in AEEE geri dönüşüm endüstrisinde 2007 yılı verilerine göre çalışan işçi sayılarındaki artış verilmiştir (Yu, 2010).

Usulsüz çalışan firmaların çoğu Guangdong, Zhejiang, Jiangsu, Shandong, Hebei ve Beijing bölgelerinde faaliyet göstermektedir.

Tablo 2.7: 2007 Çin AEEE geri dönüşüm sektörü işçi artış miktarları

Çalışılan Geri Dönüşüm Süreci	İşçi sayısı		
	Kayda geçen	Kayda geçmeyen	Toplam
Toplama	-	440.000	440.000
Ayrıştırma	400	125.000	125.400
Geri kazanım	15.000	125.000	140.000
Bertaraf	600	-	600
Toplam	16.000	690.000	706.000

Kaynak: (Yu, 2010)

Çin hükümeti AEEE'nin yol açtığı ve açacağı sağlık ve çevre sorunlarının farkında olarak bir dizi önlem almıştır. 2000 yılından günümüze kadar bir çok direktifle bu önlemleri yasalaştırmayı amaçlamıştır:

- a. AEEE Çevresel Yönetimini Güçlendirme Genelgesi (2003): Çevre Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu bu genelgede AEEE'nin çevreye zarar veren süreçleri engellenmek istenmiştir. Çevre Bakanlığı'nın yerel şubeleri katı atık hava kirliliği kontrolü yasasına uygun olarak yerel firmalar için lisans çıkartarak kirliliğe karşı önlem almalıdır. Ancak bu genelge doğrultusunda çıkarılan lisanslar sistematik bir şekilde yapılmamıştır.
- b. AEEE Kaynaklı Kirliliği Engellemek için Teknik Önlem (2006): AEEE geri dönüşüm standartlarının yükseltilerek tekrar kullanımı arttırmak ve elektronik atık miktarını azaltmak amaçlanmıştır. 3R olarak kısaltılan "Reduce (Azalt), Reuse (Yeniden Kullan) ve Recycle (Geri Dönüştür)" yaklaşımını benimseyerek doğa dostu dizaynlar ve geri dönüşüm süreçleri oluşturmak istenmiştir. Bu direktif içerisinde ulusal standartları sağlayan teknoloji ve ekipmanlar da listelenmiştir.
- c. AEEE Kaynaklı Kirliliği Kontrol Etmek ve Engellemek için Yasa (2007): Endüstri ve Bilişim Teknolojileri Bakanlığı tarafından çıkarılan bu yasa kapsamında elektronik eşyalarda toksin ve tehlikeli materyallerin azaltılması ve

bu eşyaların üretimi, geri dönüşümü ve bertarafı sonucu oluşan kirliliği engellemek istenmiştir. Pb,, Hg, Cd, Cr⁶⁺, PBB ve PBDE maddelerinin kullanımı konusunda kısıtlar getirilmiştir. Üreticilere bu maddeler hakkında bilgi verilmiş güvenli kullanımları anlatılmıştır.

- d. AEEE Kaynaklı Kirliliği Önleyici Yönetim Ölçütü (2008): Bu yasa AEEE'nin ayrıştırma, geri dönüşüm ve bertarafı sırasında oluşan kirliliği önlemek üzere çıkarılmıştır. Özellikle bu süreçler sırasında görev alan geri dönüşüm firmalarının sorumluluklarından bahsederek, bakanlığın da bu firmaları yaydıkları kirlilik konusunda denetleyeceğinden bahsedilmiştir.
- e. AEEE'nin Geri Dönüşüm ve Bertarafının Yönetimi Yasası (2009): Bu yasa ile birlikte Avrupa AEEE direktifleri kabul edilmiş ve tam bir yönetim şeması ortaya konulmuştur. Elektronik atıkların çoklu kanallar aracılığı ile toplanması ve geri dönüştürülmesi sağlanmak istenmiştir. Bu işlem için üretici firmalar ve ithalatçıların ortak bir hibe ayırması ve böylelikle sürece dahil olmaları sağlanmıştır. Bu genelgenin devreye girmesi ile birlikte her bölgenin yönetiminin AEEE'nin geri dönüşümü ve bertarafı için bir plan oluşturması hedeflenmiştir. Ancak 2011 yılında zorunlu kılınan bu genelgeye hala uyum sağlayamamış bölgeler vardır (Yu, 2010).

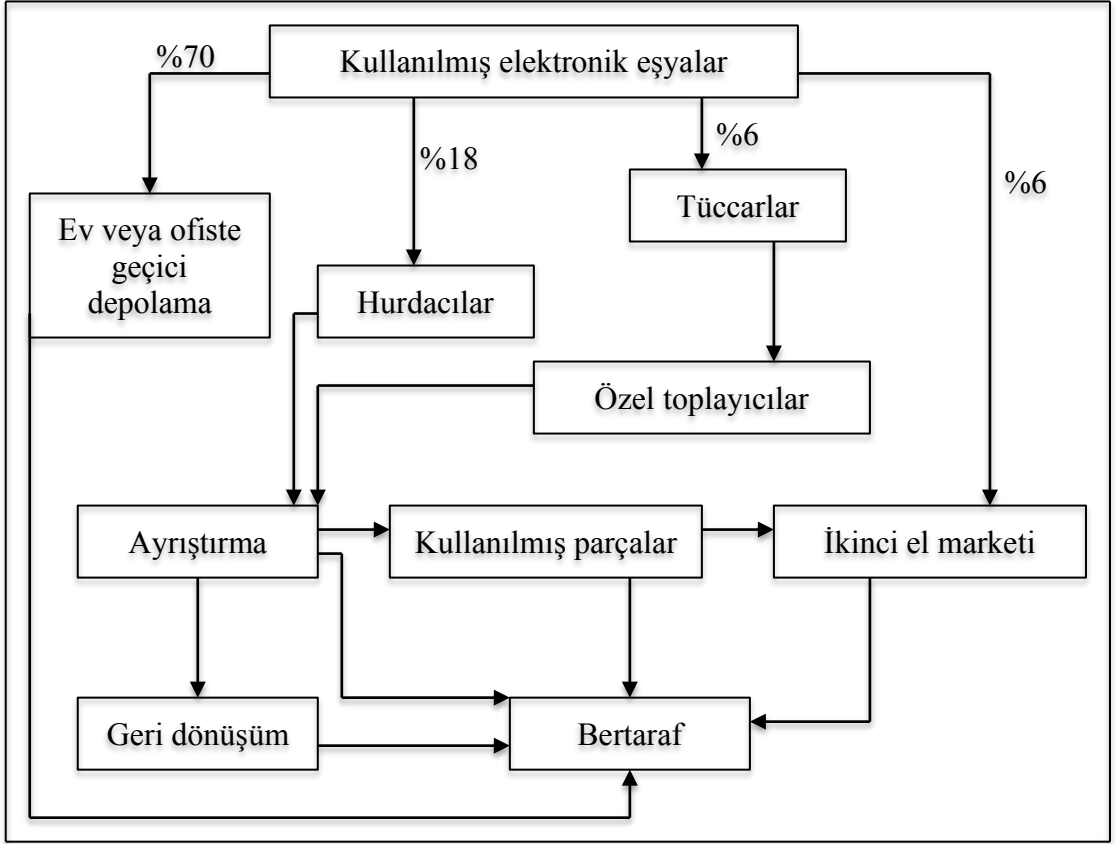
AEEE yönetim sistemi oluşturmuş A.B.D., Avrupa, Japonya gibi ülkeler ile Çin'deki durum arasında büyük bir fark vardır. Bu farkın nedeni 3 faktöre bağlıdır:

- a. Kaydedilmeyen tekrar kullanım/geri dönüşümün karlı olması: Düşük maaşlar, kullanılmış elektroniklere, parçalara ve materyallere olan yüksek talep nedeniyle Çin'de önüne geçilmez bir sektör olan kaydedilmeyen tekrar kullanım/geri dönüşüm endüstrisi bir sorun haline gelmiştir. Gelişmiş ülkelerde tüketici elektroniklerini elinden çıkarmak için gönüllü olurken Çin'de tüketiciden eski elektronikleri satın alınmaktadır. Dolayısıyla yasal yollardan yapılan geri dönüşüm çalışmaları aynı talebi karşılayamamaktadır. Bu sorunla baş edebilmek için iki yol vardır. İlki yasal olmayan firmaların devlet tarafından kapatılması ve böylece tüketicinin eski elektroniklerini satabileceği bir Pazar bulamaması olabilir. İkinci yol ise tüketiciye finansal teşvik sunmak olabilir.

- b. Çok çeşitli ve dinamik bir üretim ve EPR: Çin'deki elektronik eşya üretimi dünyanın en dinamik endüstrisi olarak bilinmektedir. 2008 yılında dünyayı elektronik üretiminin yüzde 26'sının Çin'de yapılması ve bu sektöre her geçen yeni bir üretici katılması Çin'in önemini daha da arttırmıştır. Bu oranla Çin A.B.D.'yi bile geride bırakarak birinci sıraya yerleşmiştir. Bu sebepten dolayı EPR'ın önemi Çin için ciddi boyutlara ulaşmıştır. Bu kadar büyük bir üretimin sorumluluğu da aynı derecede büyük olmalıdır. EPR konusunda en deneyimli ülkeler İsviçre ve Japonya olarak bilinmekte ve buradaki uygulamalar örnek alınmaktadır fakat; Çin'de üreticisi belli olmayan ürünlerin yarattığı sorun bu uygulamaları zorlaştırmaktadır. Kapanan üretici firmaların ürünlerinin çoğunun hala piyasada olması gibi zorluklar bu problemi daha da büyütmektedir.
- c. Hükümet ve uygulamada yaşanan zorluklar: Daha önceden de söylendiği gibi yasal olmayan işletmelerin kapatılması devlet tarafından sağlanmalıdır ancak; Çin'de özellikle yoksulluğun çok yüksek olduğu bölgelerde bunu yapmak kolay bir eylem değildir. Bunun dışında Çin yüz ölçümü dolayısıyla da kontrolü zor bir ülkedir. Bu sebepten dolayı ulusal ölçütte çıkarılan yasalar yerel yönetimler tarafından tam olarak uygulanamamakta veya uygulanmak istenmemektedir. Bir başka zorluk da çıkarılan yasaların tek bir kurum tarafından çıkarılmaması ve dolayısıyla tek bir çatı altında denetlenmemesinden kaynaklanmaktadır (Yu, 2010).

Bahsedilen bu sorunlarla başa çıkabilmek amacıyla yapılan bir çalışmada paylaşılan sorumluluklardan oluşan bir EPR sistemi modellenmiştir. Bu çalışmada depozito sistemi kullanılarak tüketicinin de sisteme katılması sağlanmıştır. Üreticinin sorumluluğu sadece geri dönüşüm sürecinde kullanılırken, tüketiciden alınan depozitoların toplama, taşıma ve tüketici teşvikleri için harcanması hedeflenmiştir. Hükümet ise her aşamadan eşit derecede sorumlu olacak ve özellikle üreticisi belli olmayan ürünlerin tamamının kontrolünü sağlayacaktır (Yu, 2010). Bütün bu yönetim olgusu Şekil 2.2'de anlatılmaktadır.

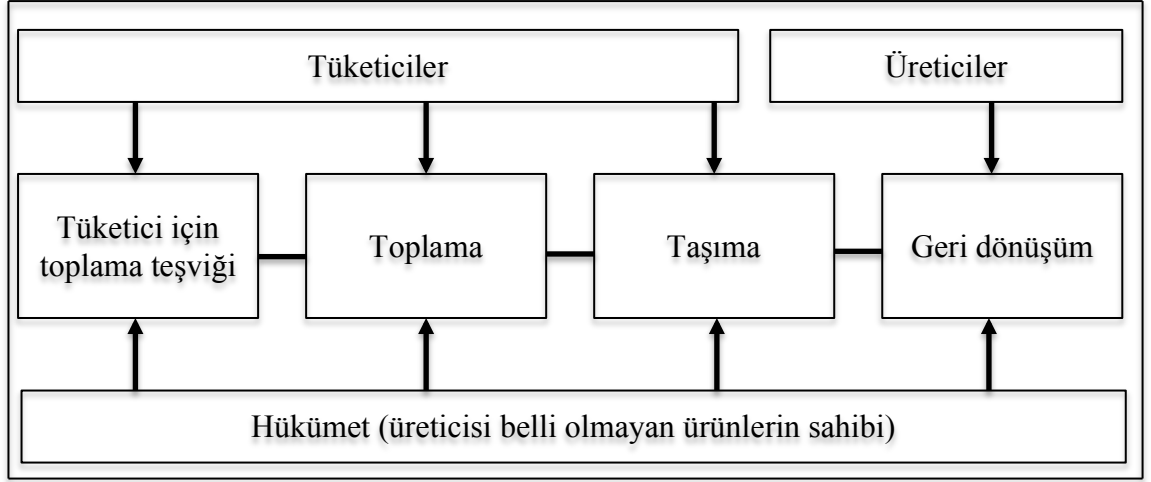
Şekil 2.2: Çin’de AEEE geri dönüşümünde finansal sorumluluklar için örnek çalışma



Kaynak: (Yu, 2010)

Yine Çin’de yapılmış bir çalışmada Çin’in AEEE açısından en önemli bölgelerinden biri olan Beijing’de tüketici davranışları ile ilgili bir modelleme oluşturulmuştur. Her ülkenin kültürel yapısı farklılık gösterdiğinden toplum alışkanlıkları ve tutumları da farklılık gösterecektir. Örneğin Avrupa’da finansal sorumluluk üreticiye aitken, Japonya’da tüketici vergilendirilerek bu sorumluluğu üzerine almaktadır. A.B.D.’de ise AEEE’nin yönetimi tüketici ve üretici arasında paylaşılarak bir finansman sağlanmaktadır. Tüketici davranışlarını incelemek için öncelikle o bölgedeki AEEE akışı iyi bilinmelidir (Wang, 2011). Beijing’deki AEEE akış şeması Şekil 2.3’te verilmiştir.

Şekil 2.3: Beijing AEEE akış şeması



Kaynak: (Wang, 2011)

Beijing bölgesindeki en önemli sorunlardan biri Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi AEEE'nin yüzde 70'lik bir bölümü evlerde saklanarak tüketici elinden hiç çıkmamakta ve geri dönüşüm sürecine katılabilecek değerli materyaller çöp haline gelmektedir. Belirli bir süre evlerde bekletilen bu atıklar geri dönüşüm sürecine girmeden mecburen bertarafa gönderilmektedir. Bu yüzden tüketici bilincinin artırılması ve tüketicinin de AEEE yönetim sürecine katılması gerekmektedir. Tüketicilerin geri dönüşüm alışkanlıklarının çeşitliliği AEEE geri dönüşüm yeri ve zamanını direkt olarak etkilemektedir. Ayrıca, geri dönüşüm vergisini ödeme isteği de atık miktarını büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, her ne kadar kurulu bir AEEE geri dönüşüm sistemi olsa da tüketicinin bu sisteme katılıp katılmama isteği önemli bir faktör olmaktadır (Wang, 2011).

Tüketicilerin AEEE geri dönüşümü üzerine sergiledikleri davranışlar hakkında literatürde epey çalışma yapılmış. Bu çalışmaların bulgularına bakılacak olursa, örneğin gelir durumu önemli bir faktör olmaktadır. Düşük gelirli bireyler ulaştırma sorunu nedeniyle AEEE geri dönüşüm sürecine katılmamakta ve sahip oldukları elektronik eşyaların kullanım ömürlerini uzatmaya çalışmakta ve mümkün olduğunca ikinci el eşyaları kullanmaktadırlar (Darby, 2005). Bunun yanı sıra yüksek gelirli bireyler geri dönüşüm sürecine katılmaya gönüllüdürler fakat; bu süreç çok zamanlarını alıyorsa katılmamayı tercih edebiliyorlar. Dolayısıyla zaman kavramı da bu durumda önemli bir değişken haline gelmektedir (Van Beukering, 2006). Her ne olursa olsun, yapılan

çalışmalar şunu ortaya çıkarmaktadır ki; tüketicileri AEEE konusunda eğitmek, bu atıklarını nereye ve ne şekilde atarak geri dönüşüm sürecine katabileceklerini anlatmak halkın geri dönüşüm sürecine dahil olmasını sağlayabilir (Guagnano, 1995).

Wang ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada bir anket hazırlayıp, bu anketi Şubat 2009'dan Ağustos 2009'a kadar geçen sürede 1173 kişiye dağıtmış ve yüzde 83,8'lik bir cevap oranı yakalamıştır. Anketin cevaplanma oranları ve sayıları Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8: Wang ve diğerlerinin 2009 yılında Çin'de yaptığı anket sonuçları

Konum	Nüfus	Uygulanan miktar	Cevap alınan miktar	Cevaplanma oranı
Xicheng	112.000 kişi	195	90	46,15
Dongcheng	101.000 kişi	120	111	92,50
Haidian	906.000 kişi	285	285	100,00
Chaoyang	998.000 kişi	360	294	81,67
Xuanwu ve Chongwen	168.000 kişi	213	198	78,87
Toplam		1173	978	83,38

Kaynak: (Wang, 2011)

Anket sonuçlarına göre 978 kişinin yüzde 41,79'u geri dönüşüm sürecine katılırken, yüzde 36,59'u AEEE'yi çöpe atmakta ve geri kalan kısım da evinde depolamaktadır. Geri dönüşüm sürecine katılırken vergi vermeye gönüllü tüketicilerin sayısına bakıldığı zaman gelir seviyesinin bir önem taşımadığı görülmüştür. Ancak yine gelir seviyesinden bağımsız olarak tüketicilerin büyük bir çoğunluğu devlet vergiyi zorunlu kılar ise ödeme yapacağını belirtmiştir. Ayrıca atıklarını hurdacılara vermek isteyen kişilerin sayısı oldukça az olmuştur (yüzde 7,63). Bunun nedeni olarak tüketicilerin hurdacıların yasal olmayan yolları tercih ederek doğaya ve insan sağlığına zarar verdiklerini bilmeleri olarak belirtilmiştir. Ancak hala günümüzde Beijing bölgesinde hurdacılar önemli bir geri dönüşüm kanalıdır. Devlet bu konuda önlemler almaktadır fakat; daha çok önlemler alınması gerekmektedir (Wang, 2011).

Hindistan günümüzde Çin'den sonra nüfus bakımından ikinci büyük ülkedir. Gelişmekte olan bir ülke olmasına rağmen yüksek gelirli bir çok ülkeye göre elektronik marketi daha büyüktür. Bu market ayrıca her geçen daha da büyümektedir. 1998 ve 2000 yılları arasında küçük ve büyük ev aletleri satışlarında yüzde 53,1'lik bir büyüme gözlenmiştir. Bunun yanı sıra 1993 ve 2000 yılları arasında bilgisayar sahibi kişilerin sayısında da dünya ortalaması yüzde 181'lik bir artış gösterirken Hindistan yüzde 604'lük bir artış yaşamıştır. Bu dönemde kişisel bilgisayarların sayısı 450.000'den 4.200.000'e kadar çıkmıştır.

Ancak ekonomik büyüme çevresel sorunları azaltmamıştır. Sürdürülebilir Çevre İndeks'leri incelendiğinde Hindistan 2005 yılında 101. olmuştur. Dolayısıyla çevre bilinci ne üreticilerde ne de tüketicilerde pek gelişmemiştir. Devlet tarafından bir çok yasa konulmuş ve çevre koruması adına adımlar atılmıştır ancak; yasaların uygulanması ve denetimi konusunda hala çok eksik bulunmaktadır.

Gelir seviyelerinin düşüklüğü elektronik eşyaların kullanım ömürlerini bitirip geri dönüşüm sürecine katılmalarını geciktirmektedir. Bir çok elektronik eşya ikinci hatta üçüncü el kullanıcıları tarafından satın alınmaktadır. Çoğu zaman elektronik eşya atık haline geldiğinde değerini kaybetmiş antikalara dönüşmektedir. Neredeyse her yıl ortalama 1,38 milyar kişisel bilgisayar antika olarak bertaraf edilmektedir.

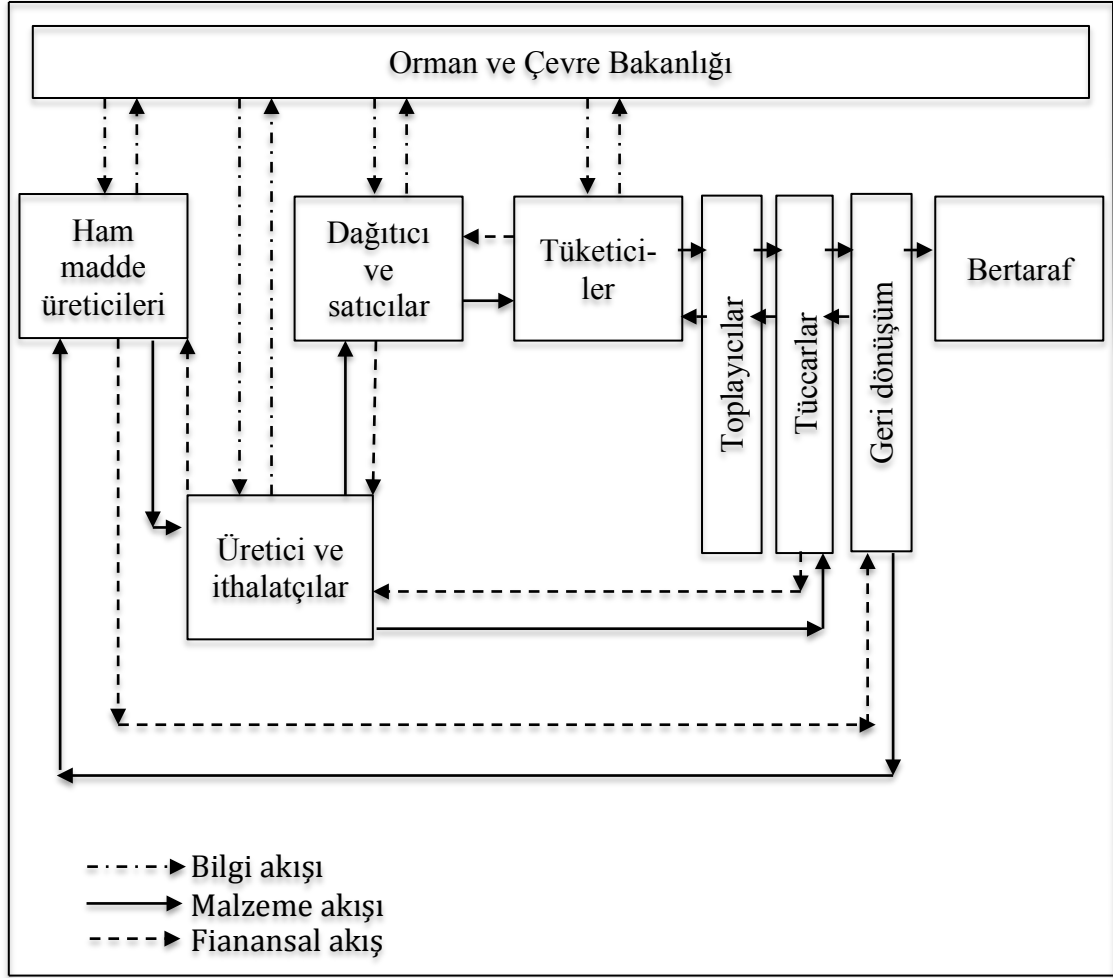
Hindistan'da göze çarpan bir başka sorun ise hatalı üretim parçaların oluşturduğu kirliliktir. Örneğin hatalı üretim devre kartları, çipler ve diğer bilgisayar parçaları üretim esnasında çöpe ayrılıp geri dönüşüm sürecine katılmaktadırlar.

Bunların dışında Hindistan da Çin gibi diğer ülkelere yoğun bir şekilde AEEE ithal etmektedir. Orman ve Çevre Bakanlığı'nca denetlenen bu ithalatlar kurallara uygun ve özel izinli yapılmalıdır. Fakat yasa dışı ithalatlar oldukça yaygın bir şekilde sürmektedir (Sinha-Khetriwal, 2005).

Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi AEEE tüketiciden toplayıcılar tarafından alınıyor ve bunun için tüketiciye bir ücret ödüyorlar. Toplayıcılar da bu atıkları tüccarlara satıyor. Tüccarlar ise geri kazanımdan sorumlu geri dönüşüm firmalarına aldıkları bu atıkları

satıyorlar. Hindistan’da günümüzde uygulanan AEEE yönetim akış şeması Şekil 2.4’te verilmiştir.

Şekil 2.4: Hindistan AEEE geri dönüşüm sisteminde malzeme ve finansal akış



Kaynak: (Sinha-Khetriwal, 2005)

Hindistan’da hurda işçiliği çok eskiden beri süregelen bir iştir. Eski gemi, araba ve binaların atıklarından değerli metallerin ayrıştırılması çok yaygın bir sektördür. Dolayısıyla elektronik sektörü popüler olunca elektronikler içerisindeki değerli metallerin ayrıştırılması hurda sektörü tarafından benimsenmiş ve AEEE’den elde edilen metaller çelik, alüminyum fabrikaları ve rafinerilerde hammadde olarak kullanılmaya başlamıştır. Endüstriyel geri dönüşüm sistemi kendi kendisini kontrol eden ve marketin yön verdiği bir mekanizma haline gelmiştir.

Aslında bütün bu mekanizma toplayıcılar, tüccarlar ve geri dönüşüm firmaları ekseninde işlemektedir. İşleri yaratan, sektörü büyüten ve sisteme değer katan bu üç aktör olmaktadır. Elektronik atık miktarındaki artış bu aktörlerin elektronik alanında uzmanlaşmasını, küçük firmalar için de az bir bütçeyle yeni bir iş alanı oluşturmak için imkan sağlamıştır. 2004'te elde edilen verilere göre geri kazanım ve geri dönüşüm süreçlerinde çalışan 10.000 vasıfsız işçi kayda geçmiştir. Ekonomik anlamda getirisi olan bu sektörün çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz etkileri olmuştur. Havaya, suya ve toprağa karışan kirleticilerin yanı sıra duman, kül ve zararlı kimyasallar yalnızca çalışan işçilere değil, aynı zamanda temasta buldukları yakın çevresine de zarar vermektedir.

Nijerya için yapılan bir uygulamada AEEE'nin bir türü olan cep telefonları konu alınmıştır. Bu çalışmada bir anket üzerinden halkın çevre duyarlılığı, bu konuda finansal destek sağlayıp sağlamayacakları, atıklarını geri dönüşüm sürecine katmak isteyip istemedikleri ve çevreye duyarlı ürünler için daha fazla ödeme yapıp yapmayacakları sorgulanmıştır.

Dünyada hemen hemen her ülkede cep telefonlarının yayılımı yüksek olmuştur. 2000 yılında batı Avrupa'da yüzde 60, Japonya'da yüzde 47, A.B.D.'de yüzde 41 ve Çin'de yüzde 6'lık bir yayılma hızı gözlemlenmiştir. Nijerya ise 2001 yılında cep telefonlarıyla tanışmış ve ancak bu aşamada telekom sektörü özelleştirilmiş olduğundan bu ülkelere oranla çok daha yüksek bir yayılma hızı olmuştur. 2001 yılından 2006 yılına kadar cep telefonu ağlarında yüzde 3.000'lik bir yayılma hızı gözlemlenmiştir (Osibanjo, 2009). Telefon hattı sayılarının yıllara göre miktarları Tablo 2.9'da verilmiştir.

Günümüzde Nijerya'da cep telefonu her evde mutlaka bulundurulmuş bir gereksinim haline gelmiştir. Bu yüzden cep telefonlarının atıkları da her geçen gün artmakta ve her hangi bir geri kazanım yapılmadığından sağlık koşullarını hiçe sayan açık çöp alanlarına atılmaktadırlar. Bu çöp alanlarında toksin metaller ve halokarbonlar batarya ve devrelerden çevreye yayılmaktadır.

Tablo 2.9: Nijerya’da yıllara göre cep telefonu hattı sayıları

Yıl	Cep telefonu hattı (milyon)
2002	1,6
2003	3,1
2004	9,2
2005	18,6
2006	32,3

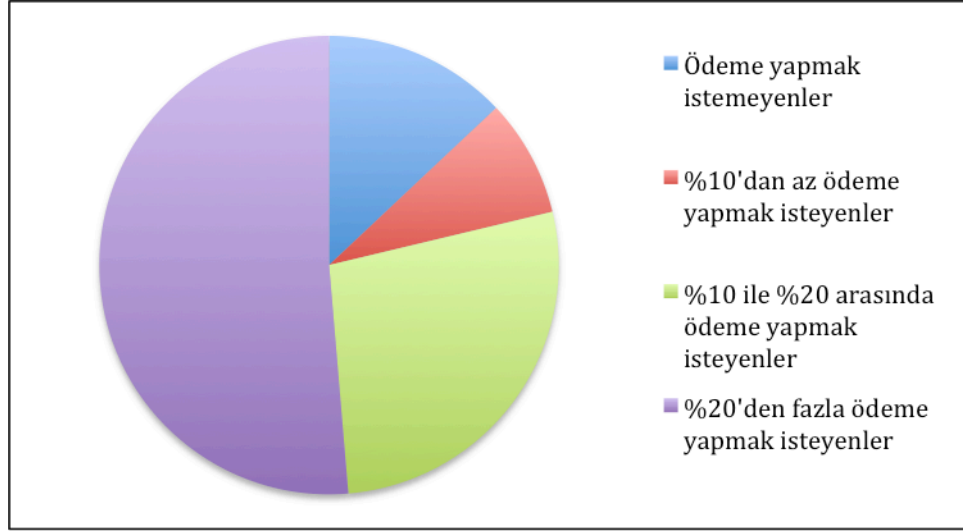
Kaynak: (Osibanjo, 2009)

Aynı çalışmada 1000 kişilik bir anket çalışması yapılmıştır. Anket iki farklı şehirde yapılmıştır:

- i. Okigwe: Hızlı gelişen bir şehir, eğitim oranı ve gelir seviyesi yüksek ve nüfusu 132.237 (69.232 erkek, 63.005 kadın)
- ii. Isuikwuato: Kırsal bir alan, eğitim oranı ve gelir seviyesi düşük ve nüfusu 104.442 (56.831 erkek, 57.611 kadın)

Anket sonuçlarına göre Şekil 2.5’te de görüldüğü üzere çevre dostu bir telefon için ankete katılanların yarısından fazlası telefon fiyatının yüzde 20’sinden fazlasını ek olarak ödemeye istekli çıkmıştır. Çıkan sonuçlardan başka biri de halkın büyük bir çoğunluğunun iklim değişiklikleri ve genel olarak çevre için endişeli oldukları sonucudur. Ayrıca yaş ve gelir durumu çevre dostu telefonlara ek ücret ödeme isteğini doğrudan etkilemektedir. Genç nesil ve gelir durumu iyi olanlar çevreye karşı daha duyarlı gözükmektedir. Halkın büyük çoğunluğunun çevreye duyarlı olmasına rağmen, cep telefonları için her hangi bir geri dönüşüm amaçlı toplama yapılmaması bir eksikliklerdir. Bu konuda kampanyalar düzenlenip, teşvikin artırılması gerekmektedir. Bu kampanyalar elektronik atıkların güvensiz bir şekilde atıldıklarındaki tehlikeleri, geri dönüşümün önemini ve çevreye duyarlılığı arttırmak için çok önemlidir.

Şekil 2.5: Nijerya’da yapılan anket sonucu çevre dostu telefon için yüzde ek ödeme isteğinin dağılımı



Kaynak: (Ongondo, 2011)

2.2.2.4 Türkiye’deki Uygulamalar

Türkiye’de AEEE geri dönüşüm uygulamalarında büyük boşluklar ve boşa giden maliyetler söz konusudur. Bu eksikliklerden kaynaklı olarak, 2012 yılında yürürlüğe giren Atık Elektrikli Ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği hedeflerine ulaşmak zorlaşmakta ve kurulmuş olan AEEE geri dönüşüm tesisleri de randımanlı çalışmamaktadır. Her ne kadar ihtiyaca yönelik bir yönetmelik belirlenmiş olsa da, gerekli toplum bilincinin oluşmaması ve AEEE’nin toplama sürecinin düzgün işlememesi sonucu toplanan atık miktarı yetersiz olmaktadır. Yeterli atık olmaması da sistemin düzgün işlemlerini engellemektedir.

Söz konusu yönetmeliğin amacı; çevre ve insan sağlığının korunması amacıyla, elektrikli ve elektronik eşyalarda bazı zararlı maddelerin kullanımının sınırlandırılması, bu sınırlandırılmaları muaf tutulacak uygulamaların belirlenmesi, elektrikli ve elektronik eşyaların ithalatının kontrol altına alınmasına dair idari, hukuki ve teknik esasları düzenleyerek elektrikli ve elektronik eşya atıklarının çevreyle uyumlu şekilde geri kazanılması ve bertaraf edilmesine ilişkin usul ve esasları düzenlemektir.

Yönetmelik ile, ithal veya imal yoluyla piyasaya sürülen elektrikli ve elektronik eşyalarda kurşun, cıva, artı altı değerlikli krom, polibromürlü bifeniller ve polibromürlü difenil eterler ile kadmiyumun bulunması yasaklanmıştır.

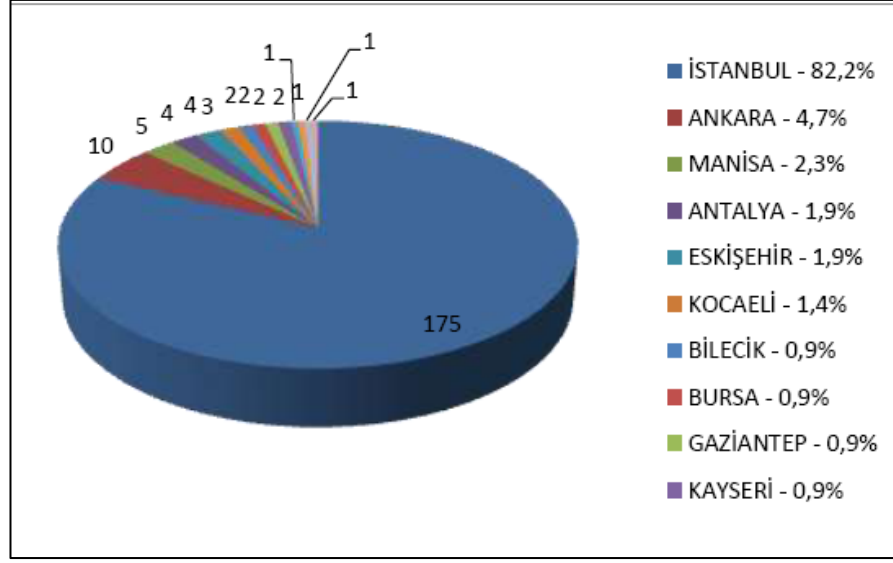
Yönetmelik Gereği Bakanlık:

- a. Üreticilerden, piyasaya sürülen elektrikli ve elektronik eşyalar için hazırlanmış olan Uygunluk Beyan Formunu yıllık olarak toplamakla, gerekli kayıt sistemini oluşturmakla ve beyan formunu veren üreticilere “Beyan Kayıt Belgesi” düzenlemekle,
- b. Piyasa gözetimi ve denetimi yapmak veya yaptırmakla,
- c. Yönetmeliğe aykırılık durumunda,
- d. Ürünün piyasaya arzının yasaklanmasını,
- e. Piyasaya arz edilmiş ürünlerin piyasadan toplatılmasını,
- f. Çevre Kanunu’nda öngörülen cezaların tatbik edilmesini sağlamakla, görevli ve yetkili kılınmıştır.

Üreticiler piyasaya sürdükleri ürünlerin yönetmelikte belirtilen teknik kriterleri sağladığını gösteren bilgi ve belgeleri ürünün piyasaya sunulduğundan itibaren beş yıl süreyle muhafaza etmekle, her yıl şubat ayı sonuna kadar uygunluk beyan formunu doldurarak Bakanlığa vermekle, ithal edilecek elektrikli ve elektronik eşyaların söz konusu Yönetmeliğe uygunluğunun kontrolünü DTM düzenlemelerine göre yapmakla, ürün bilgisi açıklamalarında “EEE Yönetmeliğine Uygundur” ibaresine yer vermekle yükümlüdür (AEEEKY, 2012).

Türkiye’de sisteme kayıtlı AEEE üreticilerine bakıldığında en çok üreticinin (yüzde 82.2) İstanbul’da olduğu görülmektedir (Ünal, 2012). Dolayısıyla İstanbul tüketimin de çok yoğun olduğu bir büyük şehir olarak AEEE’nin kontrolü açısından Türkiye’nin en önemli şehirlerinden biri olmaktadır. Sisteme kayıtlı AEEE üreticilerin dağılımı Şekil 2.6’da verilmiştir.

Şekil 2.6: Sisteme Kayıtlı Üreticilerin Dağılımı



Kaynak: (Ünal, 2012)

Elektrik ve elektronik endüstrisi dünyanın en büyük ve hızla büyüyen üretim sanayisidir. Bu büyümenin sonucu olarak hızla eskime nedeniyle AEEE önemli bir katı atık problemi oluşturmaktadır. Türkiye’de de son yıllarda bilişim sektörü önemli gelişmeler göstermiştir ve büyüme hızı yüzde 30’un üzerine çıkmıştır. Bu yüzden, elektronik aletlerin ömürleri de günden güne kısalmaktadır (Sunar, 2012).

Yönetmeliğin hükümleri kullanılan satış tekniğine bakılmaksızın (doğrudan / uzaktan / elektronik satış dahil olmak üzere) bütün ürün ve üreticilere uygulanmaktadır. Bu yönetmeliğe göre belediyeler, elektronik atıkların toplanması, ayrılması ve tesise ulaştırılmasından sorumlu olup, üreticiler ise geri kazanımı ve çevresel açıdan uygun olarak bertarafını sağlamakla yükümlüdürler. Bu sistemin denetiminden de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı sorumludur.

Avrupa Birliği’nde, kişi başı yıllık AEEE 17 kg civarında olup, 2020 yılında bu miktarın 24 kg'a kadar artacağı öngörülmüştür (MRMA for EUFW, 2012). Günümüzde Türkiye’de 0,3 kg/kişi-yıl olan kişi başı toplanan evsel AEEE miktarı 2018 yılına kadar 4 kg/kişi-yıl’a çıkarılmak istenmektedir (AEEKY, 2012).

Bu hedefe ulaşma doğrultusunda, 2012 yılında yürürlüğe giren Atık Elektrikli Ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği her ne kadar ihtiyaca yönelik bir yönetmelik

olsa da, gerekli toplum bilincinin oluşmaması ve AEEE'nin toplama sürecinin düzgün işlememesi sonucu toplanan atık miktarı yetersiz olmaktadır. Yeterli atık olmaması da sistemin düzgün işlemlerini engellemektedir.

Elektronik atıkların işlenmesi sonucunda ortaya çıkan ve mevcut durumda Türkiye'de geri dönüşümü mümkün olmayan flüoresan, kartuş-toner, kondansatörler vb. atıklar lisanslı tesislerde bertaraf edilmektedir. 2009 yılında bertarafa gönderilen elektrikli ve elektronik atık miktarı 122 tondur. Türkiye'de AEEE için toplama miktarları 2006 yılında 1800 ton iken 2011 yılında bu sayı 8200 tona kadar çıkmıştır. Ayrıca, 2006 yılında AEEE işleme konusunda uygunluk belgesi alan 1 tesis bulunurken 2011 yılında bu sayı 21'e yükselmiştir (Geri Dönüşüm, 2013).

Tablo 2.10: Türkiye'deki elektronik atık işleme firmaları tarafından toplanan elektronik atık türleri ve miktarları

Kategoriler	2009	%	2010	%	Total	Total
Geniş hane halkı cihazları	72	3	116	4	188	4
Küçük hane halkı cihazları	216	9	265	9	481	9
Bilgi teknolojileri ve telekomünikasyon	1.282	56	2.290	75	3.572	67
Tüketici ekipmanları	84	4	121	4	204	4
Aydınlatma ekipmanları	1	0	0	0	1	0
Elektrikli ve elektronik araçlar	649	28	239	8	889	17
Eğlence ve spor ekipmanları	0	0	0	0	0	0
Medikal cihazlar	0	0	3	0	3	0
İzleme ve kontrol ekipmanları	0	0	0	0	0	0
Otomatik dağıtım makineleri	0	0	0	0	0	0
Toplam	2.302	100	3.034	100	5.338	100

Kaynak: (Ünal, 2012)

Mayıs 2012’de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın yayınladığı Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre her belediye AEEE toplamak zorundadır. AEEE’nin belediyeler tarafından toplanması için oluşturulan zaman çizelgesi Tablo 2.11 ‘de verilmiştir.

Tablo 2.11: Nüfusa Göre Belediye AEEE Toplama Başlangıç Tarihleri

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

Kaynak: (AEEKY, 2012)

Elektronik atık işleme firmaları tarafından toplanan on kategoride incelenmiş elektronik atık miktarlarına (ton) bakıldığında bilgi teknolojileri ve telekomünikasyon sınıfı atıkların toplam AEEE’nin yüzde 67’sini oluşturduğu dikkat çekmektedir. Bölgesel

Çevre Merkezi’nin hazırlamış olduğu miktar ve yüzdeler Tablo 2.10’de gösterilmektedir (Ünal, 2012).

Yönetmelikte ayrıca AEEE 6 kategoriye ayrılmış olup, her kategori için 2018 yılına kadar toplama hedefleri belirlenmiştir. Bu hedefler Tablo 2.12’de verilmiştir. Ayrıca yine Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenmiş olan geri dönüşüm ve geri kazanım hedefleri de Tablo 2.13 ve 2.14’te verilmiştir (AEEKY, 2012).

Tablo 2.12: E-Atık Toplama Hedefleri

EEE Kategorileri	Yıllara Göre Toplama Hedefi (kg/kişi-yıl)				
	2013	2014	2015	2016	2018
1. Buzdolabı/Soğutucular/İklimlendirme cihazları	0,05	0,09	0,17	0,34	0,68
2. Büyük beyaz eşyalar (Buzdolabı/soğutucular/iklimlendirme cihazları hariç)	0,1	0,15	0,32	0,64	1,3
3. Televizyon ve monitörler	0,06	0,10	0,22	0,44	0,86
4. Bilişim ve telekomünikasyon ve tüketici ekipmanları (Televizyon ve monitörler hariç)	0,05	0,08	0,16	0,32	0,64
5. Aydınlatma ekipmanları	0,01	0,02	0,02	0,04	0,08
6. Küçük ev aletleri, elektrikli ve elektronik aletler, oyuncaklar, spor ve eğlence ekipmanları, izleme ve kontrol aletleri	0,03	0,06	0,11	0,22	0,44
TOPLAM EVSEL AEEE (kg/kişi-yıl)	0,3	0,5	1	2	4

Kaynak: (AEEKEY, 2012)

Tablo 2.13: Geri Dönüşüm Hedefleri

Elektrikli ve Elektronik Eşya Kategorileri	Yıllar	
	2013	2018
	Ağırlıkça (%) olarak	
Büyük ev eşyaları (%)	0,05	0,09
Küçük ev aletleri (%)	0,1	0,15
Bilişim ve telekomünikasyon ekipmanları (%)	0,06	0,10
Tüketici ekipmanları (%)	0,05	0,08
Işıklandırma cihaz ve aletleri (%)	0,01	0,02
Gaz deşarj lambaları	0,03	0,06
Elektrikli ve elektronik aletler (%)	40	50
Oyuncaklar, eğlence, spor aletleri (%)	40	50
Tıbbi cihazlar (%)	---	---
İzleme ve kontrol cihaz ve aletleri (%)	40	50
Otomatlar (%)	65	75

Kaynak: (AEEKY, 2012)

Tablo 2.14: Geri Kazanım Hedefleri

Elektrikli ve Elektronik Eşya Kategorileri	Yıllar	
	2013	2018
	Ağırlıkça (%) olarak	
Büyük ev eşyaları (%)	75	80
Küçük ev aletleri (%)	55	70
Bilişim ve telekomünikasyon ekipmanları (%)	60	75
Tüketici ekipmanları (%)	60	75
Işıklılandırma cihaz ve aletleri (%)	50	70
Gaz deşarj lambaları	70	80
Elektrikli ve elektronik aletler (%)	50	70
Oyuncaklar, eğlence, spor aletleri (%)	50	70
Tıbbi cihazlar (%)	---	---
İzleme ve kontrol cihaz ve aletleri (%)	50	70
Otomatlar (%)	70	80

Kaynak: (AEEKY, 2012)

2.2.3 ULUSLARARASI GİRİŞİMLER

En bilindik ve kapsamlı uluslararası girişim Basel Antlaşması olarak bilinmektedir. Bu girişim 1992 yılında başlamış ve çevre dostu güvenilir yönetimlerle zararlı atık üretimini en aza indirerek insan sağlığının ve çevrenin korunmasını, imalat, depolama, taşıma, işleme, tekrar kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım ve bertaraf aşamalarının her birini kontrol etmeyi ve ülkeler arasındaki AEEE ve tehlikeli maddelerin dolaşımını kontrol etmeyi amaç edinmiştir. Bu antlaşma, ülkemiz de dahil olmak üzere 170 ülke tarafından imzalanmıştır.

Bir başka oluşum da Birleşmiş Milletler desteği ile yürümekte olan E-atık problemini çözme (SteP) girişimidir. Bu oluşum Berlin’de düzenlenen “Elektronikler Yeşil Oluyor” konferansı ile başlamıştır. Amacı ise uluslararası bir platformda ülkelerin AEEE yönetimi hakkında bilgi alış verişi yapabilmelerini sağlamaktır. Dünyada her geçen gün daha büyük bir sorun haline gelmekte olan elektronik atığın daha sürdürülebilir ve

uygulanabilir yaklaşımlarla sorun olmaktan çıkması için SteP'in üzerinde çalıştığı alanlar aşağıdaki gibidir:

- a. Politika,
- b. Tekrar dizayn,
- c. Geri dönüşüm,
- d. Tekrar kullanım,
- e. Kapasite oluşumu ve
- f. Bilgi yönetimi.

Ayrıca Fujitsu gibi bazı üretici firmalar da bölgesel girişimlerinin yanı sıra Uluslararası Geri Dönüşüm Ağı (GRN) adı altında bir ağda toplanarak geri alım ve hammadde tekrar kullanımını arttırmak için uluslararası bir perspektife geçmeye başlamıştır (Nnorom, 2008).

2.3 SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ENERJİ KAZANIMI

Kahhat ve diğerleri yaptığı çalışmada A.B.D.'deki geri dönüşüm sisteminin toplama, geri dönüşüm ve yeniden kullanım konusunda yetersiz olduğunu savunmaktadır. Sistemin daha sürdürülebilir olması amacıyla bir depozito sistemi önermektedir; böylece kültürel olarak A.B.D. vatandaşlarını da teşvik etmenin mümkün olduğu görüşünü belirtmektedir. Depozito uygulamasının iyi bir teşvik unsuru olduğunu ve böylece toplama işleminin kolaylaşacağını savunmaktadır. Bu sistem ile A.B.D.'nin 3 ana karakteristik özelliğini tatmin etmek amaçlanmaktadır:

- a. Düzgün bir geri dönüşüm için gelir toplanması,
- b. Elektronik atığını getiren tüketiciler için finansal bir teşvik oluşturması,
- c. Firmaların daha sıkı bir rekabete gireceği, daha etkin bir yeniden kullanım ve atık yönetim servisi desteği sağlayacağı yeni bir market oluşumu.

Önerilen sistemde bir takip sistemi olan Radio-Frequency Identification Device (RFID) kullanılması amaçlanmaktadır. Bu yöntem ile ürünlerin satışından geri dönüşüm

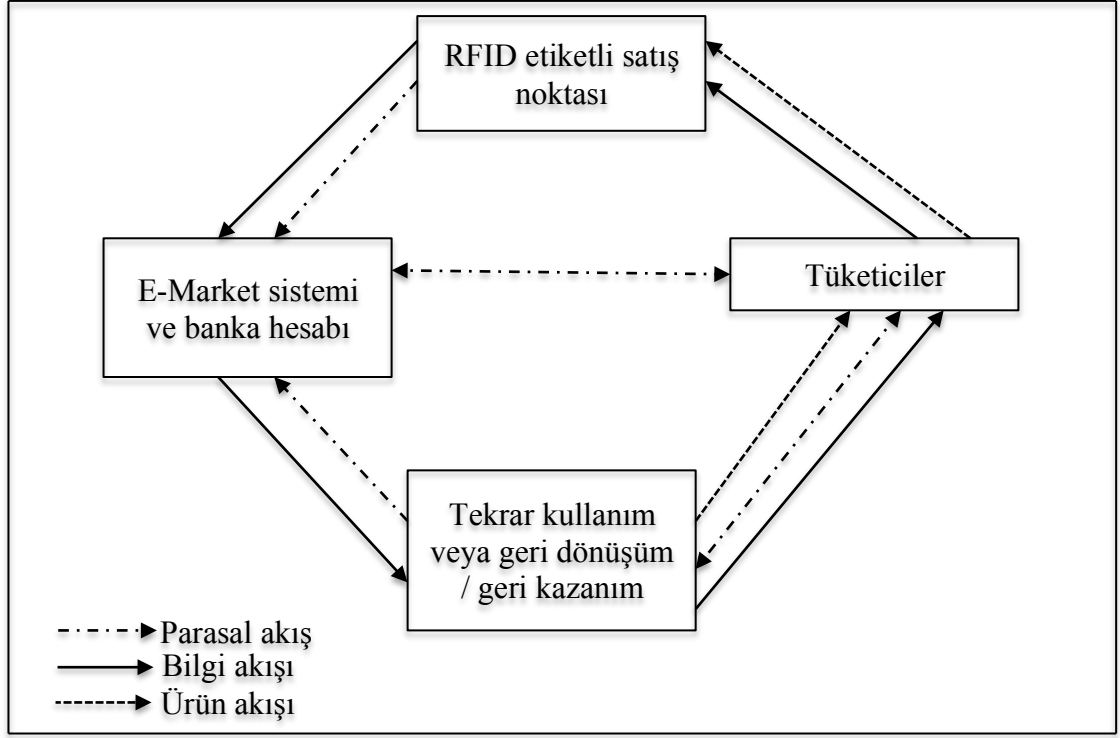
sürecinin sonuna kadar kolaylıkla izlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada tasarlanan sistem 3 ana akış bulunmaktadır:

- a. Bilgi akışı: Bilgi akışı ürün satılırken ürünün tüm özelliklerini içeren bir etiket görevi görecektir. Tüketici aldığı ürün ömrünü tamamladığı sırada özel tasarlanmış bir E-Market internet sitesi üzerinden ürünün tanım kodu ile kendisine en yakın ve en iyi geri ödeme yapan geri dönüşüm firmaları görebilecek istediğini seçebilecektir. Geri dönüşüm firması daha sonra tüketici ile temasa geçip ürünü alacak, ürünün durumuna göre geri dönüşüm, bertaraf veya tekrar kullanıma karar verecektir.
- b. Parasal akış: Depozito miktarı ürünün türüne, boyutuna ve içeriğindeki metal ve diğer malzemelere göre değişiklik göstermektedir. Depozito ürünün taşıma ve geri dönüşüm masraflarını karşılayacak şekilde belirlenmelidir. Ancak tüketiciyi de etkilemeyecek miktarda olmalıdır.
- c. Ürün akışı: Ürün internet üzerinden veya mağazadan satın alındıktan itibaren başlayan bu süreç tüketicide ömrünü tamamladıktan sonra tüketici ve geri dönüşüm firmasının arasındaki anlaşmaya göre transfer edilir. Bu anlaşma gereği ürün ya firma tarafından evden alınır ya da tüketici tarafından teslim edilir (Kahhat, 2008).

Şekil 2.7’de bu akışlar görsel bir şekilde sunulmuştur.

Önerilen sistemin en önemli avantajı tekrar kullanımı ön plana çıkarması olarak belirtilmiştir çünkü; tekrar kullanımın sosyal yaşama ve çevre olan olumlu etkisi yadsınamaz. Yapılan araştırmalar sonucu bilgisayarların sadece yüzde 10’unun tamir edilip tekrar kullanılması yüzde 8,6 ile yüzde 5,2 arasında bir enerji tasarrufu sağlayacaktır. Ancak tüketici bilinçsizliği, ikinci el marketlerin gelişmiş olmaması ve teşviklerin eksiksizliği nedeniyle istenilen boyutta bir yeniden kullanım söz konusu değildir. Ayrıca bahsedilen sistemin yaygınlaşması toplumda sosyal bir farkındalık ve sorumluluk duygusu oluşturacaktır. Bu sistem diğer bir yandan ikincil bir market oluşturarak rekabet ortamını güçlendirecek geri dönüşüm / tekrar kullanım firmalarının daha aktif bir şekilde çalışmasına zemin hazırlayacaktır (Kahhat, 2008). Sistemin tekrar kullanıma yaptığı teşvik de sürdürülebilirlik için çok önemli bir adım teşkil edecektir.

Şekil 2.7: Geri dönüşüm süreç akış şeması örneği



Kaynak: (Kahhat, 2008)

Wang ve diğerlerinin 2011 yılında Beijing bölgesinde yapmış olduğu çalışmada anket sonuçlarının değerlendirilmesinde elde edilen sonuçlara göre sürdürülebilir bir AEEE yönetim sisteminde tüketici tarafında dikkat edilmesi gereken faktörleri şöyle sıralamıştır:

- Geri dönüşüm firma ve servislerinin uygunluğu,
- Yerleşim koşulları,
- Geri dönüşüm alışkanlıkları,
- Ekonomik kazanç (Wang, 2011).

Wang ve diğerlerinin de belirttiği gibi elektronik atıkların geri kazanımı ile yüksek bir ekonomik kazanç elde etmek mümkündür. Dolayısıyla elektronik atıkların geri dönüşüm sürecinde en önemli adım değerli metallerin ayrıştırılmasıdır. Bu aşamaya birim materyal geri kazanım prosesi denir.

Materyal geri kazanım prosesinden önce elektronik eşyalar kategorize edilir: Yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir. Yeniden kullanılabilir eşyalar ve parçalar

ayrıştırıldıktan sonra geri dönüştürülebilir eşyalar ya geri dönüştürülür, ya da hurda olarak kullanılır. Bu aşamada ekonomik kazancın değeri elektronik eşyanın yaşı ve ekonomik durumuna bağlıdır. Geri kazanımın başlıca avantajları ise aşağıdaki gibidir:

- a. Birincil kaynakların korunumu,
- b. Katı atık miktarının azalımı,
- c. Plastik, cam gibi metal dış malzemelerin kazanımı,
- d. Demir, altın, gümüş ve paladyum gibi değerli materyallerin kazanımı (Malhotra, 1985).

Ayrıca, geri kazanılan bu metallerin işlenmesi ve ikincil kaynak olarak kullanılması, birincil kaynaklardan elde edilmesine oranla enerji açısından da yüzde 60-95 arası bir tasarruf sağlar (Tablo 2.15). Böylelikle geri kazanım yalnızca doğal kaynakları korumaya değil enerjiden de tasarruf edilmesini sağlar (Toprak, 2013). Fakat günümüzde Türkiye de dahil olmak üzere her ülkede metal geri kazanımı yapılmamaktadır.

Tablo 2.15: Birincil Kaynaklara Kıyasla Geri Kazanımın Sağladığı Enerji Tasarrufu

Metal/Malzeme	Enerji Tasarrufu (%)
Alüminyum	95
Bakır	85
Demir ve Çelik	74
Kurşun	65
Çinko	60
Kağıt	64
Plastik	>80

Kaynak: (Toprak, 2013)

Ancak, elektronik atıkların içeriği ile cevherlerin özellikleri birbirinden farklıdır. İçeriğinde metal veya alaşımlar bulunduran elektronik atıklar cevherlere göre daha heterojen ve kompleks bir yapıya sahiptirler. Geri kazanım sırasında teknik, ekonomik

ve çevresel açıdan daha etkin süreçler geliştirilmesi için bu özelliklerin bilinmesi gereklidir (Cui, 2003). Daha detaylı bir karşılaştırma Tablo 2.16'da verilmiştir.

Tablo 2.16: Cevher ve E-atıkların bazı özelliklerinin karşılaştırılması

Özellik	Cevherler	E-Atıklar
İçerdiği malzeme türü	Oksitli veya sülfürlü mineraller	Metal ve/veya alaşımlar
Boyut küçültme	Kırılgan / gevrek malzeme Kırılması kolay	Esnek malzeme Kesme kuvveti gerekli
Metal içeriği	Düşük Tipik bakır cevheri (% 0,5-1 Cu) Tipik altın cevheri (1-10g/ton Au)	Yüksek Bilgisayar devre kartları için % 20 Cu, 250 g/ton Au
Homojenlik	Homojen	Heterojen
Serbestleşme tane boyutu	İnce	İri (Atık türüne göre değişken)
Tane şekli	Üniform şekilde	Çubuk, plaka v.b. değişken şekiller
Çözünme oranı	Asidik/bazik ortam	Oksitleyici koşullar altında

Kaynak: (Wilson, 1994)

Metal geri kazanımı dört farklı metotla geri kazanılabilir. Bu metotların avantajları ve dezavantajları Tablo 2.17'de verilmiştir.

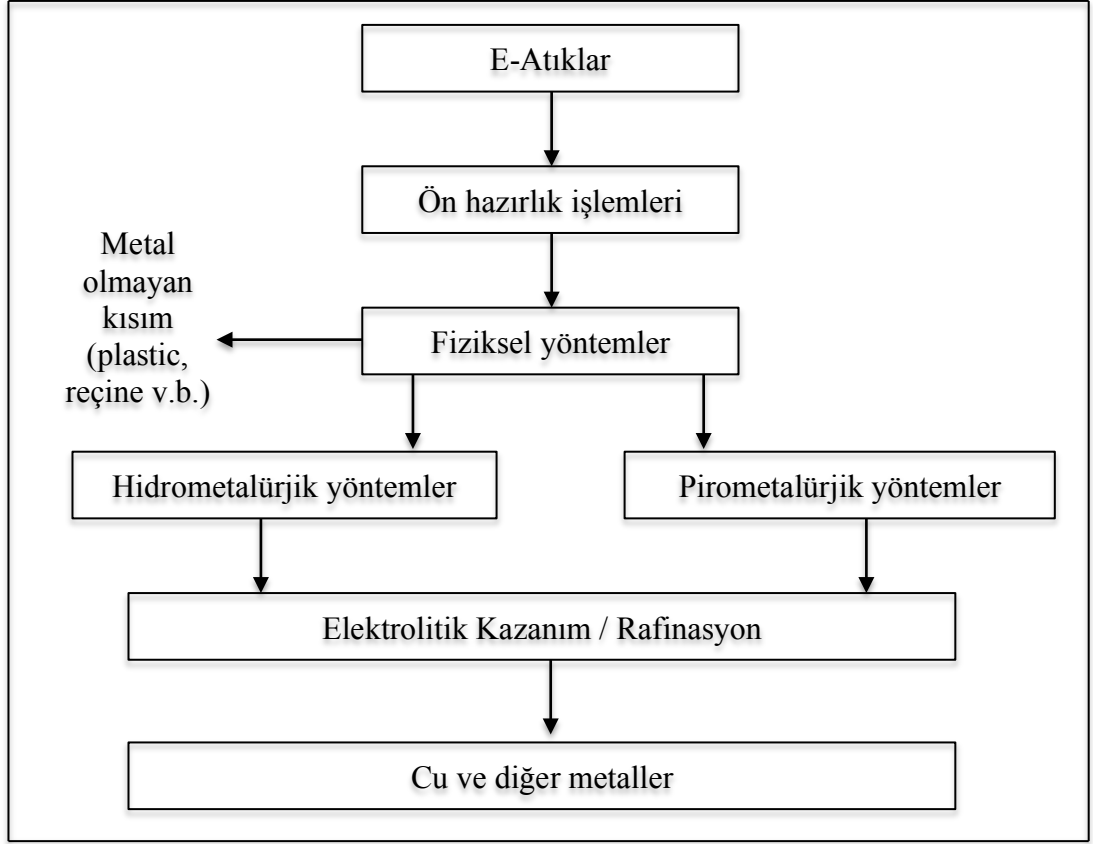
Tablo 2.17: E-atıklardan metal geri kazanımı için uygulanabilecek yöntemlerin karşılaştırılması

Yöntem	Avantaj	Dezavantajlar
Fiziksel yöntemler	-Bütün e-atık çeşitleri için uygun -Zararlı gaz çıkışı yok -Basit prosesler	-Değerli metal kaybı fazla -Ekstraktif metalürjik işlemlere gerekir
Hidrometalürjik yöntemler	-Küçük ölçekte uygulanabilir -Esnek -Metal kazanma verimi fazla -Yüksek saflıkta ürün -Çevresel etkisi az -Zararlı gaz çıkışı yok -Toz salınımı yok	-Ön hazırlık işlemi gerekir -Atık çözeltinin arıtılması gerekir -Yan ürün eldesi zor
Biyohidrometalürjik yöntemler	-Küçük ölçekli işletmeler için uygun -Çevresel etkisi az -Zararlı gaz çıkışı yok -Toz salınımı yok	-Liç süresi uzun -Metallerin toksin etkisi liç işlemine zararlı -Liç için katı oranı düşük (<20%)
Pirometalürjik yöntemler	-Bir çok e-atık türü için uygun -Boyut küçültme aşaması gerekli olmayabilir -Plastik ergitme işleminde enerji kaynağı olarak işlev görebilir	-Değerli metal içeriği çok olan atıklar için ekonomik -Seramik ve cam malzemeler cüruf miktarını artırıyor ve bu da metal kaybını artırıyor -Al ve Zn kazanımı yok -Metal olmayan kısımların kazanımı yok -Pahalı ve enerji gereksinimi fazla -Dioksin ve furan çıkışı var

Kaynak: (Zhang, 2000)

Geri kazanımdan önce elektronik atıklar ön işlemlerden geçerler. Ön işlemlerinden sonra boyutları küçültülür ve bu aşamada ya hidrometalürjik veya pirometalürjik proseslere gönderilir; ya da fiziksel ayırma yöntemleriyle metal olmayan kısımları ayrıştırılır (Yazıcı, 2009). Daha sonrasında da elektrolitik kazanım ile değerli metaller elde edilir. Bu süreçlerin akışları Şekil 2.8’de gösterilmektedir.

Şekil 2.8: Elektronik atıkların geri dönüşüm süreç şeması



Kaynak: (Yazıcı, 2009)

E-atıkların uygun yöntemlerle geri kazanımı hem çevreci bir yaklaşım olup; hem de önemli ölçüde iş sahası yaratabilecek önemli bir pazardır. Tablo 2.18’de hurda demir ve çelik kullanımının enerji verimliliği ve çevreye katkıları bakımından etkileri verilmiştir (Cui, 2003).

Tablo 2.18: Birincil kaynak kullanımı yerine hurda demir ve çelik kullanımının faydaları

Faydalar	%
Enerji tasarrufu	74
Birincil kaynak kullanımındaki azalma	90
Hava kirliliğinde azalma	86
Su kullanımında azalma	40
Su kirliliğinde azalma	76
Maden atıklarında azalma	97
Tüketici atık miktarında azalma	105

Kaynak: (Cui, 2003)

3. ELEKTRONİK ATIK YÖNETİMİNDE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Kelime anlamı ile optimizasyon en iyi şekilde kullanmak demektir. Sistem optimizasyonu ise kaynakların en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara ulaşmak amacıyla geliştirilen teknoloji olarak tanımlanabilir. Sistem kaynakları işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi sistemin tanımlı elemanlarıdır. Sistem kaynaklarına aynı zamanda sistem kısıtları da denir. Amaçlar ise maliyetin minimize edilmesi, kârın en maksimize edilmesi, kapasite kullanımının veya verimliliğin maksimize edilmesi gibi sistem gereksinimleri olabilir (Gass, 2000).

AEEE geri dönüşüm yönetim sistemi bir sistem bakış açısı ile incelendiğinde süreç akışı en genel haliyle şöyledir: Elektronik eşyalar atık haline geldiğinde tüketiciden toplanır; bir ulaştırma ağı içerisinde geri dönüşüm sürecine katılmak üzere geri dönüşüm tesislerinde sınıflandırılır, ayrıştırılır ve derecelendirilir; burada yeniden değerlendirilir veya geri dönüştürülür veya bertaraf edilir; geri dönüştürülecek eşyalar ise geri kazanılabilir veya kazanılamaz. Bu süreçler Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

AEEE geri dönüşüm yönetim sisteminin optimizasyonu için yapılan çalışmalar genelde yönetsel seviyede kalmıştır. Yönetim stratejileri belirlenerek bu stratejiler aracılığı ile verimin artırılması hedeflenmiştir. Bu stratejiler birer araç olarak üçe ayrılmaktadır:

- a. Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assessment – LCA)
- b. Malzeme Akışı Analizi (Material Flow Analysis – MFA)
- c. Çoklu Kriter Analizi (Multi Criteria Analysis – MCA)

2013 yılına ait bir çalışmada detaylı bir literatür taraması sonucu LCA, MFA ve MCA kullanılmış bilimsel araştırmalar özetlenmiştir (Kiddee, 2013). Bu çalışmalar Tablo 3.1’de verilmiştir.

Şekil 3.1: AEEE Geri Dönüşüm Süreci Akış Şeması



Kaynak: (Devcon3e-waste)

Bunun yanı sıra bazı çalışmalarda özellikle sistemin lojistik aşamasında sayısal modeller kurulup optimizasyonları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1: AEEE Geri Dönüşüm Süreç Akış Şeması

Araç	Uygulama	İlgi alanı	Ülke
LCA	Geri dönüşüm potansiyeli	Çevre, ekonomi	Kore
LCA	Cep telefonu geri dönüşümü	Çevre	İsviçre
LCA	Kişisel bilgisayarların geri dönüşümü	Çevre	Kore
LCA	Dizüstü bilgisayarların geri dönüşümü	Çevre, ekonomi	Tayvan
LCA	Geri dönüşüm potansiyeli	Çevre	Japonya
LCA	Bilgisayarlar atıklarının yönetimi	Çevre, ekonomi	Hindistan
LCA	Flüorsan lambalar	Çevre	Tayland
LCA	Farklı senaryoların karşılaştırması	Çevre	Almanya
LCA	Yazıcılar	Çevre, ekonomi	İngiltere
LCA, MFA	Okul bilgisayarları	Çevre, ekonomi	Kolombiya
LCA, MFA	Geri dönüşüm sistemleri	Çevre	İsviçre
LCA, MFA	Toplama ve geri kazanım	Çevresel etkiler	İsviçre
MFA	E-atık akışı	Üretim	Çin
MFA	E-atık değer zinciri	Pazarlama	Hindistan
MFA	Kişisel bilgisayar akışı	Ekonomi	Hindistan
MFA	Cep telefonu akışı	Çevre, verim	Nijerya
MFA	E-atık akışı	Çevre, kirlilik	Asya
MFA	Kişisel bilgisayar akışı	Geri dönüşüm	Japonya
MFA	E-atık miktarları	Üretim	Şili
MCA	Ayrıştırma optimizasyonu	Çevre, ekonomi	A.B.D.
MCA	E-atık yönetimi karar süreci	Çevre, ekonomi	Kıbrıs
MCA	Geri dönüşüm tesis belirleme karar süreci	Ekonomi	İspanya

Kaynak: (Kiddee, 2013)

3.1 LCA

LCA (Life Cycle Assessment) bir ürünün hammaddelerinin elde edilip, üretim, sevkiyat, kullanım, geri dönüşüm veya bertarafına kadar olan bütün evrelerini içeren ve bunları raporlayarak analiz eden bir yaklaşımdır. LCA çevresel etkileri analiz etmek, çevre dostu ürünler dizayn etmek için 1990'dan beri kullanılmakta olan çok yaygın bir araçtır. Günümüze kadar bir çok araştırmada elektronik eşyaların dizaynı sırasında çevresel ve ekonomik etkilerin irdelenmesi gerektiği belirtilmiştir. Çevre dostu ürünler hem daha iyi bir alternatif olmakta hem de tüketicinin daha çok ilgisini çekmektedir. LCA bilgisayar, yazıcı, klima, bulaşık makinası ve oyuncaklar gibi bir çok elektronik eşyanın dizayn aşamasında potansiyel çevresel etkilerin keşfedilmesinde kullanılan çok güçlü bir araçtır. Ayrıca bu potansiyel çevresel etkileri aşağıda belirtilen türlerde kategorize etmeye yarar:

- a. Kanserojen etki,
- b. İklim değişikliğine etki,
- c. Ozon tabakasına etki,
- d. Asidifikasyona etki,
- e. Ötrofikasyona etki,
- f. Çevre toksisitesine etki ve
- g. Alan kullanımına etki (Kiddee, 2013).

Bu metot özellikle Avrupa'da elektronik atık yönetiminde çok sık kullanılmıştır. Örneğin İsviçre'de yapılan bir araştırmada ömrünü tamamlamış elektronik eşyaların geri alım ve geri dönüşümünün yakmaya oranla çevreye çok daha az zarar verildiği görülmüştür (Hischier, 2005).

LCA sadece çevresel etkileri değil, aynı zamanda ekonomik etkileri de ölçmekte kullanılır. Örneğin Kore'de yapılmış bir araştırmada, geri dönüşüm potansiyeline göre değer sıralaması yapılmıştır. Bu sıralamaya göre değeri en yüksek materyaller cam ve devreler iken, bakır, alüminyum ve plastik daha az değere sahip olarak bulunmuştur. Ekonomik değerlere bakıldığında ise, bakır, alüminyum, demir, plastik, cam ve devreler yüksek değerden düşüğe doğru sıralanmıştır (Kim, 2004).

Tablo 3.2’de elektronik eşyalar için literatürde bahsedilen LCA uygulamaları listelenmiştir.

Tablo 3.2 Elektronik eşyalar için LCA uygulamaları

Kategori	Ürünler	Uygulama
Büyük Ev Eşyaları	Klimalar	Çevresel etkiler
	Havalandırmalar	Çevre dostu dizayn
	Soğutucular	Çevresel ve ekonomik etkiler
	Bulaşık makineleri	Çevre dostu dizayn
Bilgi Teknolojileri ve Telekomünikasyon	Yazıcılar	Ürün geliştirilmesi
	CD okuyucular	Çevresel etkiler (karbon emisyonları)
	Elektronik parçalar	Çevresel etkiler (enerji verimliliği)
	Elektronik parçalar	Çevresel etkiler
	Kişisel bilgisayarlar	Çevre dostu dizayn ve ekonomik etki Ürün geliştirilmesi
		Çevresel etkiler
	Telefonlar	Çevresel etkiler Çevresel etkiler (sera gazı etkileri)
	Cep telefonları	Çevresel etkiler
Elektrikli ve Elektronik Araçlar, Eğlence ve Spor Ekipmanları	Televizyonlar	Çevresel etkiler
	Flüorsan lambalar	Çevresel etkiler
	Oyuncaklar	Çevre dostu dizayn

Kaynak: (Kiddee, 2013)

3.2 MFA

Basel Antlaşması'nın yürürlüğe girmesiyle birlikte gelişmiş ülkelerden gelişmekte olan ülkelere yüksek miktarda elektronik atık akışı olmuştur. MFA (Material Flow Analysis)'nın amacı herhangi bir ağda bulunan malzeme akışını yer ve zaman ölçütlerinde analiz etmek olarak tanımlanmaktadır. Elektronik atık sektöründe ise, MFA ülkeler arasındaki elektronik atıkların kaynak noktalarından varış noktalarına ulaşımını ve bu süre içerisindeki konumlarını ve izledikleri yolları analiz etmek için kullanılır. Bu süreçte çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri değerlendirerek kritik kararların alınmasına yardımcı olur (Kiddee, 2013).

MFA kullanılarak yapılan araştırmalardan bazıları şu sonuçlara ulaşmıştır:

- a. Japonya'dan ithal edilen elektronik atıkların az bir kısmı Vietnam ve Kamboçya gibi güneydoğu Asya ülkelerinde ikinci el alıcılar bulurken; büyük bir kısmı Çin'de yasal olmayan geri dönüşüm sürecine katılmaktadır (Shinkuma, 2009).
- b. Japonya'da 2004 yılında AEEE sektöründe ülke içi bertaraf ve geri dönüşüm oranı yüzde 37 düşerken; ülke içi tekrar kullanım yüzde 37, ithalat da yüzde 26 artmıştır.
- c. Başka bir çalışmada anket metodu da kullanılarak gelecek için elektronik atık oluşum tahminleri yapılmıştır. Çin'de 2005 ve 2010 yılları arasında atık miktarının ikiye katlanacağı 2020 yılına kadar elektronik eşyaların yüzde 70'inin antika olarak kabul edileceği öngörülmüştür (Liu, 2006). Şili'de de 2010 ve 2019 yılları arasında atık miktarının 4-5 kat artacağı savunulmaktadır (Steubing, 2010).
- d. Hindistan için yapılan bir araştırmada, MFA ve ekonomik analizi birlikte kullanılarak kişisel bilgisayarların geri dönüşümünden elde edilen altın ve bakırın akışı analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda yüksek değere sahip bu metallerin geri dönüşümcülere yüksek kazanç sağladığı görülmüştür. Ekonomik analiz ve MFA'nın birlikte kullanılması ise ilk defa bu çalışmada yer almış ve bu iki metodun birlikte kullanılmasının yetersiz veri durumunda oldukça yararlı olduğu görülmüştür (Streicher-Porte, 2007).

3.3 MCA

Bir stratejik karar verme aracı olarak bilinen MCA (Multi Criteria Analysis), hem kalitatif hem de kantitatif kısıtları içeren çok kriterli kompleks problemleri çözmek için kullanılır. AEEE yönetim sistemi de çok kriterli kompleks bir sistem olduğundan MCA'nın bu sistem için kullanılması şaşırtıcı değildir (Kiddee, 2013).

Yapılan bir araştırmada, MCA yöntemi kullanılarak ömrünü tamamlamış kahve makinalarının çevresel ve ekonomik etkilerinin dengesi üzerine çalışılmıştır. Altı adımdan oluşan bu çalışmada izlenen yol şöyledir:

- i. Senaryoların belirlenmesi,
- ii. Ürün modellerinin tanımlanması,
- iii. Değerlendirme modellerinin oluşturulması,
- iv. Çok amaçlı problemin formülasyonu,
- v. Pareto analizi için sonuçların tespiti,
- vi. Pareto analizi ile çevresel etkileri ve ekonomik giderleri minimize edecek stratejinin belirlenmesi (Hula, 2003).

Başka bir çalışmada, İspanya'da MCA yöntemi kullanılarak; geçici depo alanlarının konumları baz alınarak; sadece kalitatif kısıtlardan oluşan bir modelleme ile olası geri dönüşüm tesisleri için optimal konumlar hesaplanmıştır (Queiruga, 2008).

Kıbrıs'ta yapılan bir araştırmada ise AEEE yönetim sistemi için 12 farklı yönetim sistemi karşılaştırılmış ve performans ve etkinliğine göre sıralanmıştır. En optimal stratejinin elektronik atıkların kısmi ayrıştırılmasının ülke içinde yapıldıktan sonra; geri dönüştürülebilecek parçaların ithal ve geri kalanının de ülke içinde bertaraf edilmesi olduğu belirlenmiştir (Rousis, 2008).

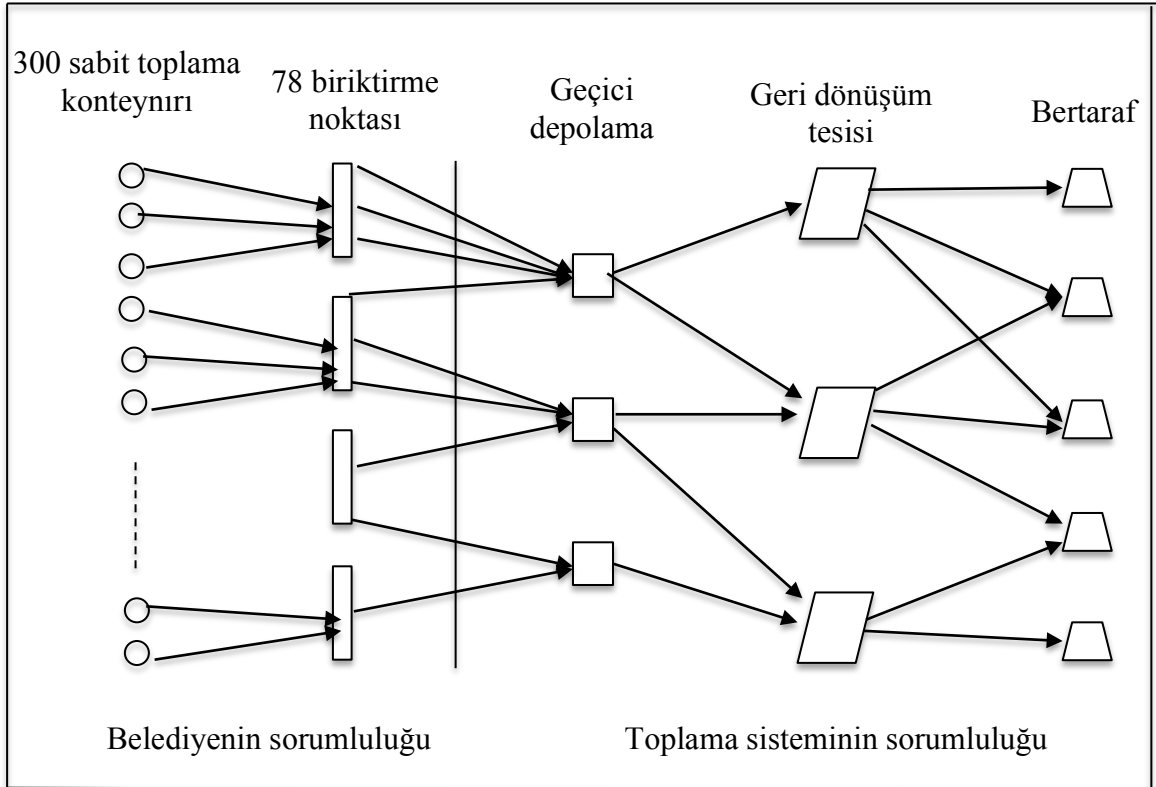
MCA elektronik atık yönetimi sektöründe çok fazla kullanılmamış olsa da tehlikeli atık ve katı atık yönetiminde sıkça kullanılmıştır. Elektronik atık için daha çok sosyal hayatı etkileyen durumlarda kullanıldığı görülmüştür. Bu yüzden diğer araçlar ve metotlarla birlikte kullanıldığında daha etkili olduğu savunulmaktadır (Kiddee, 2013).

3.4 Sayısal Modeller

Literatürde elektronik atık yönetim sistemleri için oluşturulan sayısal modeller genelde tesis yeniden üretim veya kapasite planlama, tesis konumu hesaplama ve optimal bertaraf konumlarını hesaplama gibi ağ akışı modelleri üzerine kurulmuştur. Grunow ve diğerleri ise elektronik atık yönetim sisteminin önemli bir bölümü olan toplama sürecinin optimize edilmesi üzerine çalışmıştır. Danimarka’da yapılmış olan bu çalışmada atıkların toplayıcılara atanması üzerinde durulmuştur. Sistemi özetleyen şema Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Grunow, 2009).

Atama probleminin çözümü karışık tam sayılı lineer programlama yöntemi kullanılmıştır. Tam sayılı lineer programlama modelde kullanılan değişkenlerin bir ya da daha fazlasının tam sayı olduğu doğrusal programlama tekniğidir. Amaç formülü ya maksimize ya da minimize edilirken; sistem kısıtlarını da sağlamalıdır (Winston, 1994).

Şekil 3.2 Danimarka’da elektronik atık toplama sistemi akış şeması



Kaynak: (Grunow, 2009)

Model kurulurken verimliliği arttırmak amacıyla aşağıdaki noktalara odaklanılmıştır:

- a. Etkileşim gereksinimi: Sistemin ana amacı toplam giderleri azaltmaktır. Bu amaç belirlenirken devlet politikası esas alınmıştır.
- b. Lojistik: Toplama noktaları seçilirken limitli bir alan kullanılmıştır.
- c. Ağ değişikliği: Sistem ağının sabit kaldığı ve birimlerin konumlarının değişmediği varsayılmıştır.
- d. Rekabetçi fiyatlar: Piyasadaki rekabet sayesinde ithalatçılar ve üreticiler toplama firmaları arasında seçim yapabilmekte ve değişiklikler oluşabilmektedir. Dolayısıyla bu durum da sistemin bir parçası olmalıdır.

İki aşamalı olarak kurulan modelin ilk aşamasında başlangıç koşulları modellenmiş; ikinci aşamada ise değişen koşullar modellenmiştir.

İlk modele statik temel model adı verilmiştir. Bu modelin simgeleri aşağıdaki gibidir:

İndeks:

i: belediyeler;

j: toplama birimleri;

k: bölge;

Sabitler:

n: belediye sayısı;

m: toplama birimi sayısı;

p: bölge sayısı;

T: tolerans;

S_{jk} : *j* toplama biriminin *k* bölgesinden toplaması gereken atık miktarı (kg)

q_{ik} : *i* belediyesi tarafından *k* bölgesinde toplanan atık miktarı (kg)

Karar deęişkenleri:

$$X_{ij} \begin{cases} 1 & i \text{ belediyesi } j \text{ toplama birimine atandıysa;} \\ 0 & \text{atanmadıysa} \end{cases}$$

$$Y_{ij} \begin{cases} 1 & i \text{ belediyesinin } k \text{ bölgesi } j \text{ toplama birimine atandıysa;} \\ 0 & \text{atanmadıysa} \end{cases}$$

$$\text{Min } \sum_i^n \sum_j^m X_{ij},$$

Kısıtlar:

$$\sum_j^m Y_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, n; k=1, \dots, p \quad (1)$$

$$\sum_i^n Y_{ijk} \cdot q_{ik} \geq S_{jk} \cdot (1 - T), \quad j=1, \dots, m; k=1, \dots, p \quad (2)$$

$$\sum_i^n Y_{ijk} \cdot q_{ik} \leq S_{jk} \cdot (1 + T), \quad j=1, \dots, m; k=1, \dots, p \quad (3)$$

$$\sum_k^p Y_{ijk} \leq X_{ij} \cdot p, \quad i=1, \dots, n; j=1, \dots, m \quad (4)$$

Modelin amaç fonksiyonu belediyelere atanan toplama birimlerinin sayısını minimize etmektir. Bir baka deyişle, toplama işleminin mümkün olduğunca az sayıda toplama birimince yapılması istenmektedir. Bunun nedeni de lojistik masraflarını azaltmaktır.

Kısıtlara bakıldığında:

- (1) Her i belediyesinin k bölgesi tek bir toplama birimine ait olabilir. Böylece toplama noktalarının kontrolü belediyeler için kolaylaşmış olacaktır.
- (2) Her bir toplama biriminin toplaması gereken atık miktarı ile belediyenin
- (3) sağladığı miktar bir tolerans seviyesi ile dengelenmek istenmiştir.
- (4) Bir toplama birimi bir bölgeden atık topladığı anda o bölge için X_{ij} değişkeni 1 değerini alır.

Statik temel model biraz kısıtlı bir kapasiteye sahip olup; piyasadaki dalgalanmaları, toplama birimlerinin değişkenliğini ve olası yeni toplama firmalarını değerlendiremez. Bu sebepten dolayı modelin ikinci aşamasında, zamanın getireceği değişikliklere uyum sağlayacak yeni değişkenler ve kısıtlar modele eklenmiştir.

Yeni sabitler:

$$P_{ijk} \begin{cases} 1 & \text{bir önceki sene } i \text{ belediyesinin } k \text{ bölgesi } j \text{ toplama birimine atandıysa;} \\ 0 & \text{atanmadıysa} \end{cases}$$

w_1 : Amaç fonksiyonunun ilk bölümü için belirlenmiş ağırlık kat sayısı, $w_1 \in [0,1]$

w_2 : Amaç fonksiyonunun ikinci bölümü için belirlenmiş ağırlık kat sayısı, $w_1 \in [0,1]$, $w_1 + w_2 = 1$

Yeni değişken:

$$Z_{ijk} \begin{cases} 1 & i \text{ belediyesinin } k \text{ bölgesi yeni bir } j \text{ toplama birimine atandıysa;} \\ 0 & \text{atanmadıysa} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonunda yapılan değişiklik:

$$\text{Min } w_1 \cdot \sum_i^n \sum_j^m X_{ij} + \frac{w_2}{p} \sum_i^n \sum_j^m \sum_k^p Z_{ijk}$$

Eklenen yeni kısıt:

$$Y_{ijk} - P_{ijk} \leq Z_{ijk}, \quad i=1, \dots, n; \quad j=1, \dots, m; \quad k=1, \dots, p \quad (5)$$

Amaç fonksiyonun ilk bölümü bir önceki ile aynı olup; bir ağırlık faktörüyle çarpılmaktadır. İkinci kısım ise bir önceki sene ile bu sene arasındaki değişikliği belirtmektedir. Dolayısıyla amaç fonksiyonu artık sadece atama sayısını azaltmaya değil; aynı zamanda atamalarda yapılan değişiklikleri de azaltmayı hedeflemektedir. Yeni eklenen 5. kısıt ise eğer i belediyesinin k bölgesindeki atık bir önceki sene oradan toplama yapmayan yeni bir j toplama birimine atandıysa Z_{ijk} değişkenine 1 değerini atamaktadır.

Bu model, Danimarka'da 2006 yılında elde edilen veriler ile çalıştırılmış ve AEEE toplama ağında belirgin iyileştirmeler sağlamıştır. Örneğin belediyeler ne kadar az toplama birimiyle çalışırsa, toplam giderlerin o kadar azaldığı görülmüştür. Böylelikle daha az toplama ile daha çok atık bir kerde toplanarak lojistik masrafları düşürülebilmektedir. Ayrıca yönetim sistemi için karar verme süresini azaltan bu model parametreler kolaylıkla değiştirilerek 1 dakikadan kısa bir süre içerisinde sonuç

vermektedir. Böylece belediyeler atamalarını çok daha hızlı ve optimal bir şekilde yapabileceklerdir (Grunow, 2009).

4. ELEKTRONİK ATIK YÖNETİMİ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMALARI: PENDİK ÖRNEĞİ

Bölüm 2.2.2.4'te de bahsedildiği üzere Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği'nce belirlenen elektronik atık toplama zorunlulukları Türkiye'deki ilçe belediyelerinin nüfusu 400,000'den fazla olan ilçelerinde 01.05.2013 tarihinden itibaren uygulamaya başlanmıştır. Bu kapsamda, Pendik Belediyesi ile görüşmeler yapılmış ve bu gelişmeler sonucu Pendik İlçesi içerisinde elektronik atık yönetiminin ne şekilde yapıldığı araştırılmıştır.

Bu araştırmalar ışığında yönetim sistemindeki elektronik atık akışı şu şekilde gerçekleşmektedir:

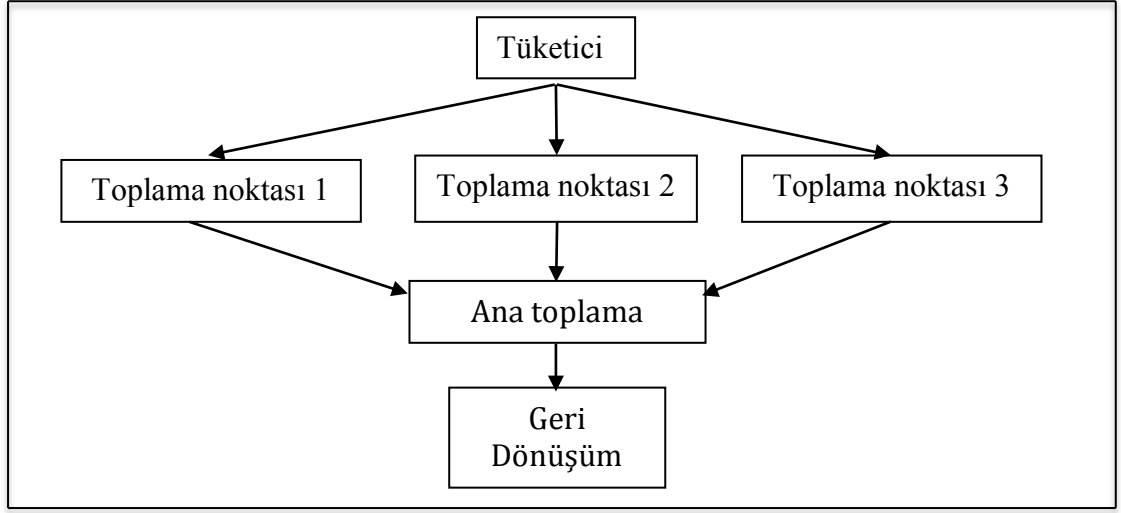
- a. Sadece elektronik değil geri dönüştürülebilir bütün atıklar tüketiciler tarafından 3 atık toplama noktasına getirilmektedir.
- b. Bu noktalardan ise geçici depolama alanı olan ana bir toplama merkezine düzenli aralıklarla atık taşınmaktadır.
- c. Büyük ev eşyaları için ise tüketici telefon edip belediye çalışanlarını çağırabilmektedir.
- d. Daha sonra ilçe belediyesinin protokol imzalamış olduğu Akademi Çevre Entegre Atık Geri Dönüşüm tesisi tarafından teslim alınmaktadır.
- e. Daha sonra Akademi Çevre tarafından geri dönüşüm veya bertaraf gerçekleştirilmekte veya geri kazanım amacı ile yurt dışına ithal edilmektedir.

Bu akışı anlatan şema Şekil 4.1'de verilmiştir.

Pendik Belediyesi çalışanları ve Akademi Çevre ile yapılan görüşmeler sonucu sistemdeki en temel sorunun atık yetersizliği olduğu ortaya çıkmıştır. Çıkarılan elektronik atık yönetmeliği uyarınca 2018 yılına kadar kişi başı 4kg/yıl elektronik atık toplanması şart koşulmuş olup, bu hedefe ulaşabilmek amacı ile çözüm yolları geliştirilmesi gerekmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2013 verilerine göre Pendik İlçesi genel nüfus bilgileri ve mahalle bazında nüfus bilgileri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir.

Şekil 4.1: Pendik İlçesi AEEE akış şeması



Tablo 4.1 Pendik İlçesi Genel Nüfus Bilgileri

İstanbul	Erkek	Kadın	Toplam
Pendik	328.607	317.768	646.375
Toplam	328.607	317.768	646.375

Kaynak: (TÜİK)

Tablo 4.2 Pendik İlçesi Mahalle Bazında Nüfus Bilgileri

Araç	Uygulama
Ahmet Yesevi	23.066
Bahçelievler	11.495
Balıca	457
Batı	15.171
Çamçeşme	31.449
Çamlık	11.427
Çınardere	19.091
Doğu	16.031
Dumlupınar	25.525
Emirli	297
Ertuğrul Gazi	15.232
Esenler	28.241
Esenyalı	13.460
Fatih	20.416
Fevzi Çakmak	36.174
Göçbeyli	1.051
Güllü Bağlar	12.693
Güzelyalı	31.408
Harmandere	6.876
Kavakpınar	57.305
Kaynarca	45.650
Kurna	1.279
Kurtdoğan	456
Kurtköy	25.113
Orhangazi	26.880
Orta	5.993
Ramazanoğlu	3.069
Sanayi	3.673
Sapan Bağları	9.814
Süluntepe	22.085
Şeyhli	13.805
Velibaba	32.856
Yayalar	10.494
Yeni Mahalle	14.376
Yenişehir	48.203
Yeşilbağlar	5.764

Kaynak: (TÜİK)

2011 ve 2013 yılları arasında toplanan atık miktarları incelendiğinde 2013 yılında toplama miktarın yüzde 225'lik bir artış olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni sorulduğunda, belediye yetkilileri 2013 yılı içerisinde gerçekleştirdikleri aktiviteleri şöyle tanımlamışlardır:

- a. Pendik İlçesi sınırlarında seçilen üç ilk öğretim okulunda atık getirme noktaları kurulmuştur.
- b. Atık noktaları kurulan okullarda bilgilendire / bilinçlendirme çalışmaları yürütülmüştür.
- c. Bu kampanya bütün geri dönüştürülebilir atıklar için düzenlenmiştir.
- d. Kampanya yalnızca o okul öğrencilerince getirilen atıkları kapsamaktadır.
- e. Büyük ev eşyaları için ayrı bir kampanya düzenlenmiştir.

Eski büyük ev eşyaları tüketici isteği ile evlerden alınıp yeniden kullanım prosesine girip, ihtiyaç sahiplerine ulaştırılmıştır. adet bazında Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 2011 ve 2012 yılları arasında Pendik İlçesi'nde türlerine göre toplanan elektronik atık miktarları (adet)

ELEKTRONİK EŞYALAR	2011	2012	2013
BUZDOLABI	70	41	93
FIRIN	30	20	44
ELEKTRİK SÜPÜRGESİ	22	17	24
ÇAMAŞIR MAKİNESİ	28	37	70
BULAŞIK MAKİNESİ	11	6	20
MUTFAK ROBOTU	10	4	2
SET ÜSTÜ OCAK	4	5	17
TV	38	40	144
BİLGİSAYAR MONİTÖRÜ	5	6	20
BİLGİSAYAR KASASI	3	1	4
YAZICI	1	2	8
ÜTÜ	6	2	7
EV ALETLERİ	3	34	5
Diğer	0	0	27
TOPLAM	231	215	485

Kaynak: Pendik Belediyesi

Bu kampanyadaki başarı her ne kadar büyük olsa da, yönetmelik gereği sağlanması gereken sınır değerleri sağlayamamaktadır. Ayrıca yine belediye çalışanları ile yapılan görüşmeler sonucu elektronik atık toplama kapasitelerinin çok fazla ancak gelen atığın çok az olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Bu sebepten dolayı, atık miktarını arttırmak amacıyla ve daha sürdürülebilir, Avrupa ve gelişmiş ülkeler standartlarını sağlayabilecek çok yönlü bir elektronik atık yönetim sistemi bu tezde önerilmektedir.

Temel sorunun atık miktarının azlığı olması nedeniyle, önerilen yönetim sisteminin en önemli bileşimlerinden biri bir teşvik sistemi kurulmasıdır. Öncelikle, teşvik sisteminin kapsamı ve sürdürülebilir olması açısından maddi boyutu da önem taşımaktadır. Dolayısıyla teşvik sistemi adı verdiğimiz unsur aslında bir ödül sistemi gibi tasarlanmıştır. Getirilen elektronik atıklar için Akademi Çevre Entegre Atık Geri Dönüşüm Tesisinden alınan bilgiler ışığında bir puanlama yapılmıştır. Getirilen atıklar kişinin adres bilgisi üzerinde saklanıp be puan biriktirerek hediye seçimi yapabilecektir. Teşvik ürünlerinin seçiminde dikkat edilen noktalar şu şekildedir:

- a. Her kitleye hitap edebilecek ürün skalası seçilmesi,
- b. Elektronik atıklarla ilgili yine elektronik teşvikler seçilmesi,

Getirilen atıkların puanlaması Tablo 4.4'te, ödüllerin puanlaması ise Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Yönetim sistemi için önerilen teşvik puanlama sisteminde getirilen atığın puanlaması

Atık Türleri	Puan
Klavye	1
Mouse	1
Kulaklık/Mikrofon	1
Web Kamerası	1
Hoparlör	1
PC Kasa Dolu	110
PC Kasa Boş	20
CD/DVD-Rom/Fan	5
Hard disk	15
Devre Kartları	5
Monitör	8
Modem	5
Router/Switch	5
Server	150
USB Bellekler	1
Laptop	80
Scanner	4
Yazıcılar	10
Fotokopi Makinesi	30
Fax Makinesi	5
CD/DVD-Player/ Receiver	15
Projeksiyon	20
Power Supply	10
Büyük Ev Aletleri (beyaz eşya)	90
Elektrikli Mutfak Eşyaları	5
Televizyon	15
Elektrikli Süpürge	15
Ütü	5
Elektrikli Isıtıcılar	5
Dikiş Makinesi	7

Kaynak: Pendik Belediyesi

Tablo 4.5 Yönetim sistemi için önerilen teşvik puanlama sisteminde ödüllerin puanlaması

Ödüller	Puan
Toshiba 16 GB USB Bellek	250 p
Logitech Kulaklık	500 p
Logitech 2+1 Ses Sistemi	750 p
Sony MP3 Player 4 GB	1250 p
1 TB Harici Hard Disk	2500 p
Samsung NP 1025 Netbook	7500 p

Kaynak: Pendik Belediyesi

Yönetim sisteminin bir diğer birimi de teşvik sistemini de destekleyecek olan eğitim / bilinçlendirme çalışmaları olarak tasarlanmaktadır. Bu konuda Pendik Belediyesi okullarda eğitimler düzenlemektedir ancak; yetişkin tüketicilere yönelik bir çalışma yürütmemektedir. Bu yüzden televizyonlarda ve belediyeye ait alanlarda kamu spotu gösterilmesi, halk eğitim merkezlerinde yetişkinlere özel eğitim verilmesi ve AVM’lerde elektronik atık toplama günlerinin düzenlenmesi halkın bilinç düzeyini arttırmaya yönelik girişimler olacaktır.

Bu tez kapsamında, Pendik İlçesi için üç farklı toplama şekli öngörülmüştür. Böylelikle bu üç toplama yönteminin her biri birer yönetim şekli olarak benimsenip; toplanan atık miktarlarına göre bir seçim yapılması hedeflenmektedir. Bu üç toplama şekli ve uygulama yerleri ise aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- a. Evden toplama: Yenişehir mahallesinde seçilecek bir kaç sitede ayda bir tüketicinin evinden elektronik atık toplanması hedeflenmektedir. Atıkların toplanacağı günden bir gün önce kapılara broşür ve atık poşetleri bırakılması düşünülmüştür. Verilen atığın değerine göre puanları tüketicinin puanlarının adres bilgisi üzerinden kaydedilmesi ve böylece veri toplanması da öneriler arasındadır. Puanlarını nasıl takip edecekleri ile ilgili bilgilendirme de broşürlerde yer alacaktır. Bu uygulama tek günde evden toplanan elektronik atık toplama verimini ölçmek için düşünülmüştür. Yenişehir mahallesinin bu uygulama için seçilmesinin amacı sitelerin bu bölgede yoğun olmasıdır.

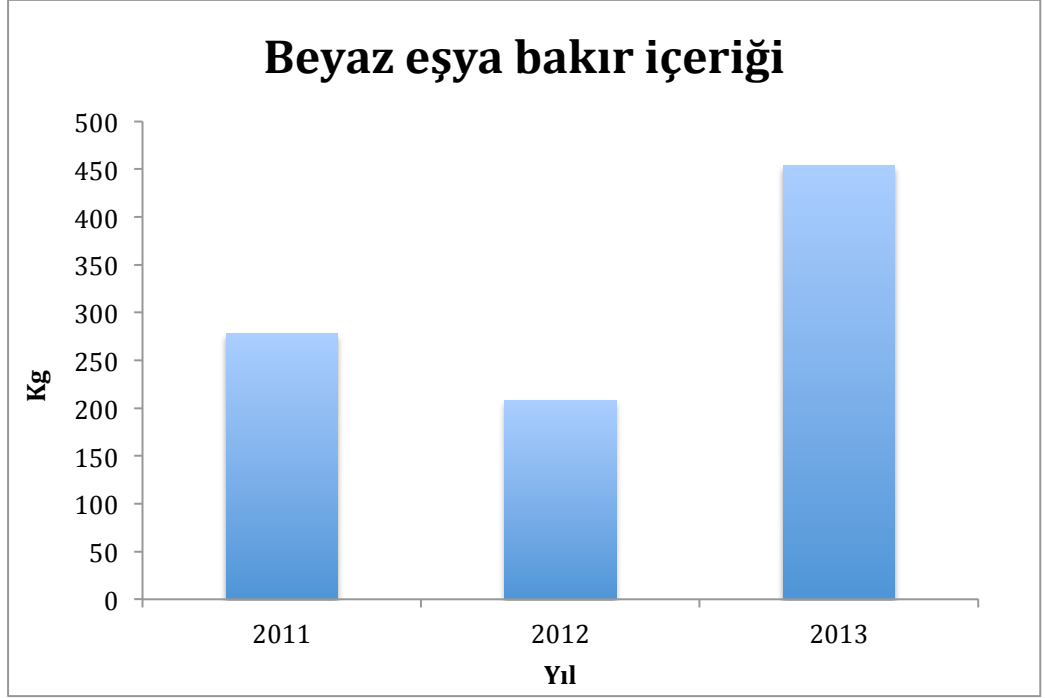
- b. Yaygın toplama: Esenler mahallesinde belediyenin mevcut atık getirme noktası iyileştirilerek elektronik atık için özel bir uygulama yapılması hedeflenmektedir. Bu atık getirme noktalarının içinde bulunduğu okulda da eğitimler düzenlenmesi düşünülmektedir. Bu uygulama halkın yakın bir getirme merkezine elektronik atık getirme verimini ölçmek için düşünülmüştür. Okul bahçesinde yer alan atık getirme noktası Şekil 4.2’de gösterilmektedir.
- c. Tek merkezde toplama: Güllübağlar mahallesinde yer alan atık getirme merkezi ise tüm Pendik İlçesi halkından atık kabul edebilmektedir (Şekil 4.3). Halk eğitim merkezlerinde ve proje bölgelerinde belirlenecek alışveriş merkezlerinde atık getirme merkezi ve puanlama sistemi ile ilgili bilgilendirmeler yapılması hedeflenmektedir. Ayrıca kamu spotu Pendik İlçesi içerisindeki sinemalarda Pendik Belediyesi izni ile film gösterimleri öncesi izletilebilecektir. Bu uygulama halkın uzak bir getirme merkezine elektronik atık getirme verimini ölçmek için düşünülmüştür.

Şekil 4.2 Pendik İlçesi Esenler Mahallesi Namık Kemal İlk Öğretim Okulu’na kurulan atık getirme noktası

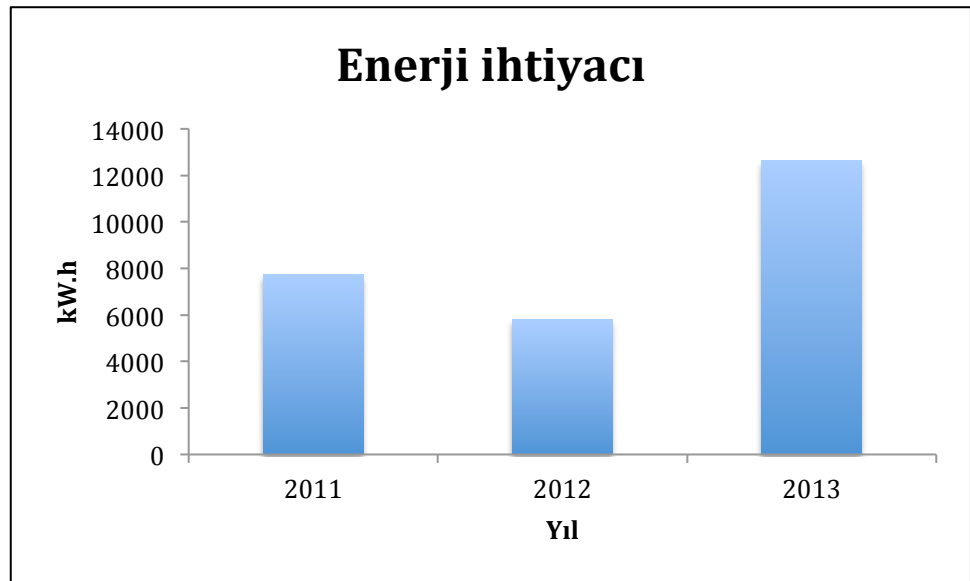


Kaynak: Pendik Belediyesi

Şekil 4.4: Pendik İlçesi'nde 2011 ve 2013 yılları içerisinde toplanan beyaz eşyaların ortalama içerdikleri bakır miktarları (kg)

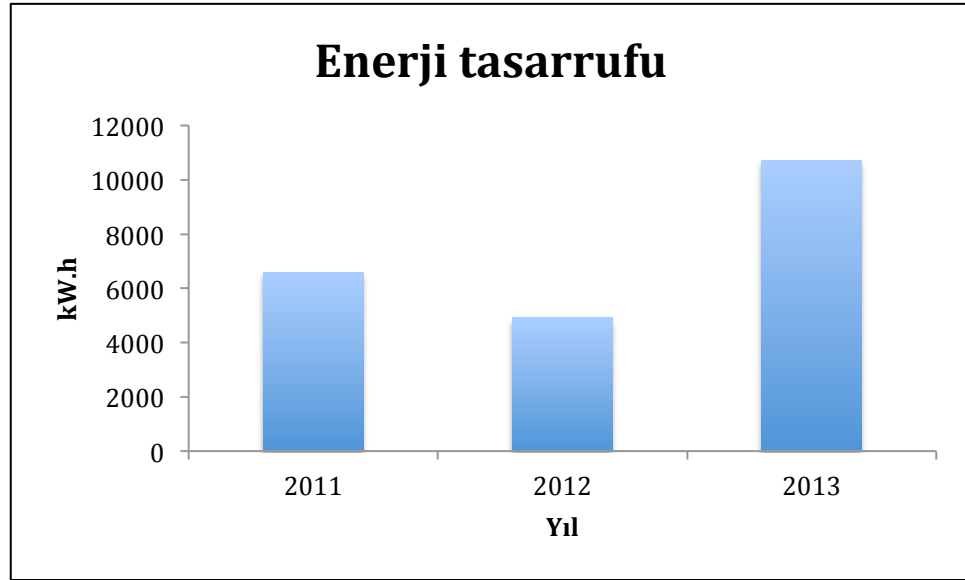


Şekil 4.5: Pendik İlçesi'nde 2011 ve 2013 yılları içerisinde toplanan beyaz eşyaların yapımında kullanılan bakırın birincil kaynaktan elde edilirken ihtiyaç duyduğu enerji miktarı (kW.h)



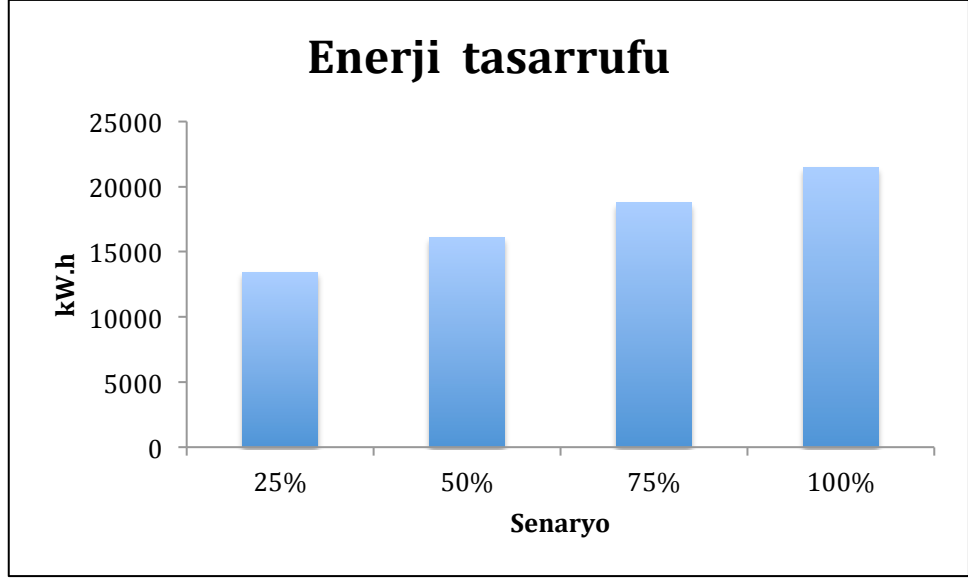
Bölüm 2.3'teki Tablo 2.15'de birincil kaynaklara kıyasla geri kazanım yaparak elde edilen materyallerin getirmiş olduğu enerji tasarrufları yüzde olarak verilmişti. Bu bilgiye göre bakır cevherinin birinci kaynaktan kullanılması yerine geri kazanımı yapılırsa yüzde 85'lik bir enerji tasarrufu elde edileceği bilinmektedir. Buradan yola çıkarak Pendik İlçesi'nde toplanmış olan beyaz eşyalardan elde edilen bakırların tekrar kullanımı ile ne kadar enerji tasarrufu yapılabileceği hesaplanabilir. Enerji tasarrufları Şekil 4.6'da verilmektedir.

Şekil 4.6: Pendik İlçesi'nde 2011 ve 2013 yılları içerisinde toplanan beyaz eşyaların yapımında kullanılan bakırın geri kazanımı ile elde edilebilecek enerji tasarrufları (kW.h)



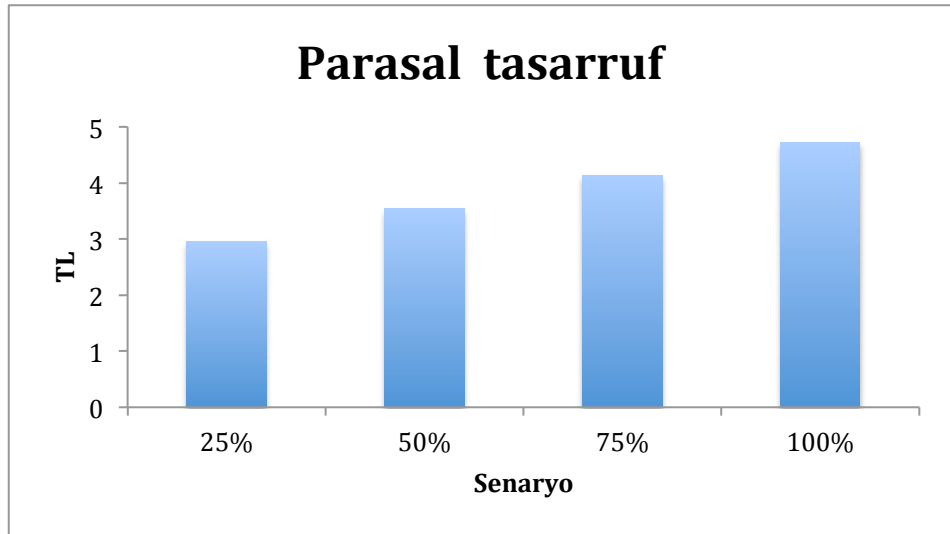
Bahsi geçen teşvik ve toplama yöntemleri uygulandığında toplama miktarlarında elde edilebilecek olası yüzde 25, yüzde 50, yüzde 75 ve yüzde 100'lük artışlara göre enerji tasarruflarındaki değişiklik lineer enerji tasarrufu artışı varsayımı yapılarak Şekil 4.7'de gösterilmektedir.

Şekil 4.7: Pendik İlçesi'nde 2014 yılı içinde önerilen sistem ile olası toplama artışları ile enerji tasarruf miktarları (kW.h)



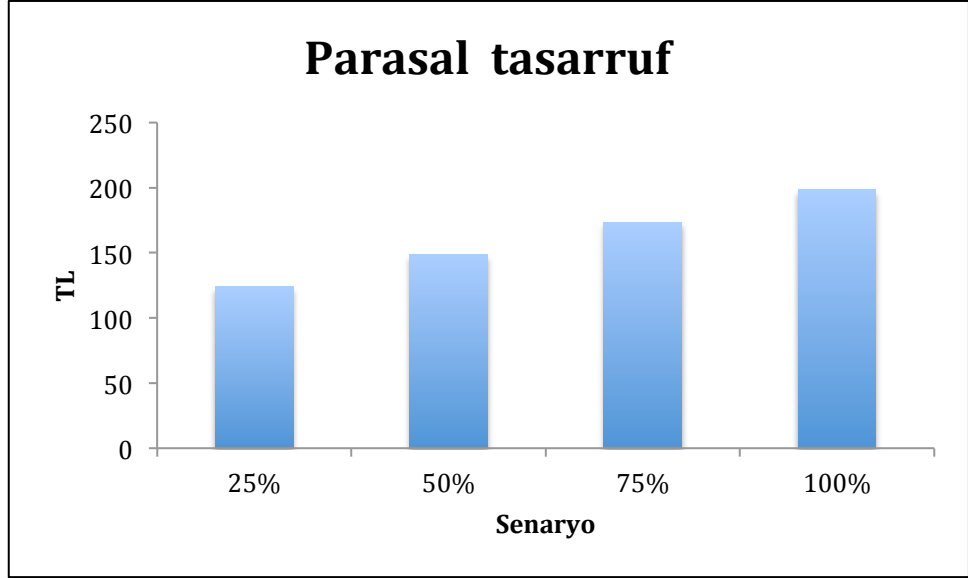
Enerji tasarrufunu parasal açıdan değerlendirecek olursak; 1 kWh'lik bir elektrik enerjisi vergilerle birlikte ortalama 22 kuruş değerindedir (EET). Bu durumda önerilen sistem ile olası toplama artışlarının maddi açıdan ülkemize kazancı ise sadece Pendik İlçesi baz alındığında Şekil 4.8'de verilmektedir.

Şekil 4.8: Pendik İlçesi'nde 2014 yılı içinde önerilen sistem ile olası toplama artışları ile Türk Lirası tasarruf miktarları (TL)



Pendik nüfusunu İstanbul nüfusuna oranladığımızda ise Şekil 4.9'daki değerlere ulaşmaktayız.

Şekil 4.9: İstanbul'da 2014 yılı içinde önerilen sistem ile olası toplama artışları ile Türk Lirası tasarruf miktarları (TL)



5. SONUÇ

Dördüncü bölümde Pendik İlçesi'nde 2011 ile 2013 yılları arasında toplanmış olan elektronik atık miktarlarının önerilen sistem ve yöntemler ile olası artışlarından yola çıkarak; önce Pendik İlçesi genelinde parasal olarak ne kadar tasarruf sağlanacağı 2014 yılı için hesaplanmıştır. Ancak, hesaplanan tasarrufların sadece beyaz eşya içeriğindeki bakır miktarı örneği için olduğu düşünülecek olursa bütün elektronik atıklardaki bütün değerli metaller geri kazanıldığı takdirde elde edilecek tasarruf miktarı çok daha fazla olacaktır.

Elektronik atıkların toplama miktarlarındaki artış yalnızca parasal bir tasarrufa değil, aynı zamanda bu atıkların ikinci bölümde bahsedilen insan ve çevre sağlığına olan olumsuz etkilerini de azaltacaktır.

Bu sebepten evden toplama, yaygın toplama ve tek merkezde toplama stratejileri denenerek en çok artış sağlayacak toplama yönteminin seçilmesi bu tez kapsamında önerilmektedir. Literatürde örneklerini görmüş olduğumuz bu yöntemlerin başarısı her ülkenin sosyo-politik yapısına göre değişiklik göstereceğinden dolayı Türk halkının yapısına en uygun yöntem seçilmelidir (Kahhat, 2008). Böylece Türk halkının hangi yönteme daha duyarlı yaklaşacağı anlaşılabilir; bu yöntemin diğer ilçelerde ve tüm Türkiye genelinde uygulanması söz konusu olabilecektir.

Dördüncü bölümde bahsi geçen sistemin bir proje ile hayata geçirilmesi sayesinde toplama miktarlarındaki yüzde artışlar hesaplanabilir ve böylece daha kesin enerji ve parasal tasarruflar ortaya konulabilir. Bu çalışmanın bir sonraki aşaması olarak düşünülen projenin sonuçlarına göre diğer elektronik aletler ve içeriğindeki diğer değerli metaller için enerji ve parasal tasarrufların hesaplanması planlanmaktadır.

Sonuç olarak, bu tez kapsamında önerilen elektronik atık geri dönüşüm sistemi yönetsel açıdan bir bütünlük sağlayarak literatürde bahsi geçen iyileştirmelere ek olarak sürekli bir teşvik sistemi ile sürdürülebilirliğin artırılmasını sağlamaya yöneliktir (Kiddee, 2013). Gelişmekte olan ülkelerde halkın elektronik atığın tehlikelerini ve bu atıkları değerlendirme yöntemlerini bilmemesi veya bu konuda yeterli duyarlılığı

göstermemesi Çin ve Hindistan'da ciddi sağlık sorunlarına neden olmuştur (Sinha-Khetriwal, 2005), (Wang, 2011). Türkiye'de her geçen gün artmakta olan elektronik atık miktarının da toplum sağlığı açısından tehlike arz etmemesi için gereken önlemler alınmalıdır. Bütün bunların yanı sıra 2012 yılında yürürlüğe girmiş olan Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği'nin doğru bir şekilde uygulanabilmesi için bu tez kapsamında önerilen sistematığın belediyelere ve üreticilere katkı sağlayacağı düşünölmektedir.