İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK ATIKLARDAN METAL VE PLASTİK GERİ KAZANIMININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Cemil ÇELİK

Anabilim Dalı : MADEN MÜHENDİSLİĞİ

Programı : CEVHER VE KÖMÜR HAZIRLAMA

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK ATIKLARDAN METAL VE PLASTİK GERİ KAZANIMININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Cemil ÇELİK
(505031100)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Haziran 2007

Tez Danışmanı :	**Prof.Dr. Güven ÖNAL**
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof.Dr. Ali GÜNEY**
	Prof.Dr. Ercan AÇMA

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu tez Almanya'da 'Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen' (RWTH) 'Lehstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe' (Katı Atık Geri Dönüşümü ve Hazırlanması Enstitüsü)'nde hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde önemli rol sahibi olan tez danışmanım Prof. Dr. Güven Önal'a teşekkür ederim.

Desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen ve her zaman yardımcı olmaya çalışan Prof. Dr. Fatma Arslan'a ve Prof. Dr. Neşet Acarkan'a teşekkür ederim.

Tez savunmamda yer alan sayın jüri üyeleri Prof. Dr. Ali GÜNEY ve Prof. Dr. Ercan AÇMA'ya teşekkür ederim.

Tezimi hazırlamamda yol gösteren, daima yardımcı olan Almanya'daki danışmanım Dr.-Ing. Jörg Julius'a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans yaptığım süre içerisinde, ders aşamasında emeği geçen bütün hocalarıma, çıkan resmi sorunları çözmemde yardımcı olan ve anlayış gösteren Prof. Dr. Melek Tüter'e ve Enstitü Sekreteri sayın Azize Çıtlık'a teşekkür ederim.

Teknik konulardaki yardımları ve aydınlatıcı fikirleri için arkadaşım Jeoloji ve Maden Yüksek Mühendisi Barış G. Yıldırım'a teşekkür ederim.

Manevi desteğiyle ve yardımlarıyla sürekli yanımda olan, beni yalnız bırakmayan Endüstri Mühendisi Ebru Taşkın'a teşekkür ederim.

Almanya'da olduğum süre zarfında Türkiye'deki bütün yasal işlemleri gerçekleştiren ve yüksek lisansımı tamamlayabilmemde çok büyük emeği olan kardeşim Galip Çelik'e teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca beni destekleyen ve bu noktaya gelmemde en büyük pay sahibi olan babam Adnan Çelik'e ve annem Suzan Çelik'e teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2007 Cemil ÇELİK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
ÖZET **ix**
SUMMARY **xi**

1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**

2. GENEL TANIMLAMA **3**
2.1. Atık Yönetimi ve Geri Dönüşümü 3
2.2. Elektronik Atık 5
2.3. Atık Elektrik Elektronik Eşyalar (AEEE) Yönetmeliği 8
2.4. Dünyada E-Atık Durumu 13
2.5. Türkiye'de E-Atık Durumu 21

3. E-ATIK GERİ KAZANIM TEKNİĞİNDE BUGÜNKÜ DURUM **24**
3.1. Elle Demontaj 24
3.2. Mekanik Demontaj 24
3.3. Hazırlama Prosesi 25
3.4. Atık Bilgisayarlara Uygulanan Genel Hazırlama Prosesi 28
3.5. E-Atık Geri Dönümüşünde Malzeme Balansı ve Mekanik Proses 30

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **32**
4.1. Boyut Küçültme İşlemleri 33
4.1.1. Kesici (Shredder) 33
4.1.2. Çekiçli Kırıcı 35
4.2. Zenginleştirme İşlemleri 36
4.2.1. 60mm Altına İndirilmiş Malzeme ile Yapılan Zenginleştirme İşlemleri 36
4.2.1.1. Manyetik Ayırıcı 37
4.2.1.2. Havalı Masa 39

4.2.2. 40mm Altına İndirilmiş Malzeme ile Yapılan Zenginleştirme İşlemleri 44
4.2.3. 20mm Altına İndirilmiş Malzeme ile Yapılan Zenginleştirme İşlemleri 47
4.2.4. Alternatif Zenginleştirme Yöntemleri 49
4.2.4.1. Burgaç Akımları ile Ayırma (Eddy Current) 49
4.2.4.2. Elektrostatik Ayırma 52

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 57

KAYNAKLAR 59

ÖZGEÇMİŞ 60

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AEEE	: Atık Elektrik Elektronik Eşya
EEE	: Elektrik Elektronik Eşya
E-Atık	: Elektronik Atık
BDK	: Baskılı Devre Kartı
PCB	: Printed Circuit Board
RWTH	: Reinische Westfaelliche Technische Hochschule
WEEE	: Waste Electrical and Electronic Equipment

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1	Elektronik atık kompozisyonu.....	6
Tablo 2.2	Atık elektrik elektronik eşya (AEEE) toplama oranları.....	10
Tablo 2.3	AEEE geri kazım oranları.....	12
Tablo 2.4	AEEE geri dönüşüm oranları.....	13
Tablo 2.5	Firmaların bilgisayar satışları ve hedefleri ….....	18
Tablo 2.6	Dünya'da kullanımda olan kişisel bilgisayar miktarı.....	19
Tablo 2.7	Almanya'daki yıllık elektronik atık miktarı ve çeşitleri.....	20
Tablo 2.8	Hanelerde bilişim teknolojileri ekipman durumu.....	21
Tablo 4.1	Eddy current ayırıcılrı teknik özellikleri…….……..	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 **:** Atık yönetimi basamakları..... 4
Şekil 2.2 **:** ABD'deki kentsel atık miktarları 14
Şekil 2.3 **:** ABD'deki kentsel atık kompozisyonu..... 15
Şekil 2.4 **:** ABD'deki yıllık atık bilgisayar miktarları..... 15
Şekil 2.5 **:** ABD'deki atık bilgisayarların durumu 16
Şekil 2.6 **:** Girişimlerin büyüklük grubuna göre bilgisayar sahipliği oranı... 22
Şekil 3.1 **:** Elle demontaj yöntemi ve elde edilen ürünler..... 26
Şekil 3.2 **:** Mekanik dmeontaj yöntemi ve elde edilen ürünler..... 27
Şekil 3.3 **:** Atık bilgisayarların geri dönüşümündeki safhalar..... 29
Şekil 3.4 **:** E-atık dönüşümünde malzeme balansı 31
Şekil 4.1 :: Deney numunesi..... 32
Şekil 4.2 : Kesici taslak resmi..... 33
Şekil 4.3 : Kesicide boyut küçültme işlemi (güç kutusu)..... 34
Şekil 4.4 : Kesicide boyut küçültme işlemi (klavye):..... 34
Şekil 4.5 : Kesiciden alınan malzeme..... 35
Şekil 4.6 : Çekiçli kırıcı..... 35
Şekil 4.7 : Çekiçli kırıcıdan alınan ürün-60mm ızgara açıklığı..... 36
Şekil 4.8 : Çekiçli kırıcıdan alınan toz ve folyolar..... 37
Şekil 4.9 : Manyetik ayırıcı..... 37
Şekil 4.10 : Manyetik ayırıcıdan alınan manyetik ürün..... 38
Şekil 4.11 : Manyetik ayırıcıdan alınan manyetik olmayan ürün..... 38
Şekil 4.12 : Havalı masa..... 39
Şekil 4.13 : Havalı masa çalışma prensibi..... 40
Şekil 4.14 : Havalı masa ağır ürünü..... 40
Şekil 4.15 : Havalı masa hafif ürünü..... 41
Şekil 4.16 : Havalı masadan alınan toz ve folyolar..... 41
Şekil 4.17 : Havalı elek yüzeyinde topaklanmış kablolar..... 42
Şekil 4.18 : Akım şeması 1..... 43
Şekil 4.19 : Akım şeması 2..... 44
Şekil 4.20 : Akım şeması 2 manyetik ürünü..... 45
Şekil 4.21 : Akım şeması 2 hafif ürün..... 45
Şekil 4.22 : Akım şeması 3..... 46
Şekil 4.23 : Bağlı taneler..... 47
Şekil 4.24 : Akım şeması 4..... 48
Şekil 4.25 : Burgaç akımları oluşumu..... 49
Şekil 4.26 : Burgaç akımları ayırıcısı yapısı..... 50
Şekil 4.27 : Kesme Değirmeni..... 52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.28 : Havalı ayırıcı genel görünüm..... 53
Şekil 4.29 : Havalı ayırıcı 54
Şekil 4.30 : Elektrostatik ayırıcı..... 55
Şekil 4.31 : Elektrostatik ayırıcıdan alınan ürünler..... 56

ELEKTRİK ELEKTRONİK ATIKLARDAN METAL VE PLASTİK GERİ KAZANIMININ ARAŞTIRILASI

ÖZET

Bu çalışmada elektronik atıklardan değerli ürünlerin geri kazanımı araştırılmış, günümüzde kullanılan geri dönüşüm yöntemleri göz önünde bulundurularak basit ve ekonomik bir cevher hazırlama prosesi geliştirilmiştir. Bilgisayar, monitor, televizyon, buzdolabı, çamaşır makinası, cep telefonu ve bunun gibi ev, ofis ve endüstride kullanım alanı bulan, yararlı ömrünü tamamlamış veya arıza nedeniyle daha fazla kullanılmayan, tamiri mümkün olmayan aletlerin tümü elektronik atık kategorisi altında toplanmaktadır. Bu araçlar başta metal ve plastik olmak üzere çok çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır.

Bu araştırmada Almanya'nın Aachen şehrinde elektronik atık ticareti yapan özel bir firmadan alınan eski bilgisayar parçaları ile deneyler yapılmıştır. Deney numunesi klavye ve bilgisayar güç kutularından oluşmaktadır. Bilgisayar monitörleri el ile demonte edilip, bileşenlerine ayrılarak geri kazanımı sağlandığı için deneylerde yer almamıştır. Gerçekleştirilen deneyler tamamen mekanik cevher hazırlama yöntemleri olup, ergitme yöntemiyle geri kazanım prosesi uygulanmamıştır.

Ana olarak bu proseste kesme, selektif boyut küçültme, manyetik ayırma, ağırlığa göre ayırma, elektrostatik ayırma ve elektrik iletkenliğine göre ayırma işlemleri yer almaktadır. İlk ve ikinci adımlarda malzeme, sırasıyla kesiciden (shredder) ve çekiçli kırıcıdan geçirilmiştir. Bu adımlarda malzemenin kaba olarak parçalanması ve farklı ızgara çıkış açıklıkları sayesinde selektif olarak boyutunun küçültmesi, bağlı tanelerin birbirinden ayrılması sağlanmıştır. Burada bağlı tane ile halen birbirine monte edilmiş, serbestleşmemiş halde bulunan metal, plastik ve kablolar kastedilmektedir.

Manyetik ayırıcı ile demirden, aluminyum ve bakır gibi manyetik özellik göstermeyen diğer metaller birbirinden ayrılmıştır. Bu aşamada % 98,9 saflıkta demir ürünü elde edilmiştir.

Bir sonraki aşamada malzeme içerisinde plastik ve manyetik olmayan metaller yer almaktadır. Prosesin bu kısmında malzemelerin farklı iki özelliğinden yararlanılarak zenginleştirme işlemlerine devam edilebilir. Bu özellikler ağırlığa göre ve elektrik iletkenliğine göre ayırma işlemlerine el vermektedir. Birinci ve ana seçenek olarak aslında cevherlerden çok küçük boyutlu tanelerin ayrılması için geliştirilen havalı masa ile iri boyutlarda (-20, -40 mm gibi) ayırma sağlanabilir. İkinci opsiyon olarak ise havalı masadan alınan hafif malzeme, kesici değirmen (cutting mill) ile 4 mm altına indirildikten sonra havalı ayırıcı (air separator) ve ardından elektrostatik ayırıcı ile işleme devam edilebilir. İlk kademede havalı ayırıcı ile toz ve folyo gibi hafif ürünler ayrıldıktan sonra ikinci kademede elektrostatik ayırıcı ile metal ve plastik ürün kazanımı gerçekleştirilir. Havalı masa yöntemi ile malzeme içerisindeki % 40 oranındaki plastik ürünün neredeyse tamamı geri kazanılmaktadır.

Havalı masa adımından sonra elektrik iletkenliği özelliğine dayalı olarak çalışan girdap akımları (Eddy Current) yöntemi kullanılabilir. Ancak bu yöntem ile ekonomik bir zenginleştirme sağlanamamıştır ve nedenleri ileriki bölümlerde değerlendirilecektir. Bu çalışmada deney sonuçlarından elde edilen ürünler elle ayıklama yöntemiyle analiz edilerek cevher hazırlama tabloları hazırlanmıştır.

RECYCLING OF WASTE ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENTS

SUMMARY

In this study recycling of waste electrical and electronic equipments (WEEE) are investigated. Recovery of the second raw materials is aimed and a simple mechanical recycling process is developed. Waste electrical and electronic equipments are a waste type consisting of any irreparable, broken or unwanted computers, monitors, televisions, refrigerators, washing machines, cell phones and other electrical or electronic appliance accumulating from households, industry, trade and other sources. Electrical and electronic scrap particularly is characterised by the multiplicity of varying types of equipment and their very complex composition, a composite material system consisting of the main components metals and plastics. The samples are supplied by an electronic scrap trade company which is located in Aachen/Germany. Obsolete computers are used as the main material for the experiments. Computer monitors are manually dismantled and recycled in scrap plants. Therefore, a monitor treatment and recycling haven't been experimented. The experiments are completely mechanical mineral processing methods and don't involve any smelting process.

The recycling process in this thesis consists of cutting, selective size reduction, magnetic separation, gravity separation, air classification, electrostatic separation and eddy current (electrical conductivity) separation. For an effective size reduction and a better liberalisation degree of the linked components, the material is treated first by a cutting mill and a hammer mill which is equipped with changeable discharge grates for the selectivity of the end product. Linked components are the metals, plastics and cables that are mounted to each other. Then the obtained material is processed in magnetic separator to separate the ferromagnetic particles from non-ferromagnetic ones. Ferrous product is obtained with a purity of up to 98,9%.

After magnetic separation the material, with the grain size of -20mm, - 40mm, carries plastic and non-ferrous metals that can be separated with the help of gravity and electrical conductivity methods. Gravity separation can be achieved with an air table which is originally developed for the separation of stones grain and seed. Subsequently, the light product of air table is fed successively to the cutting mill (-4mm), to the air separator for separation of dust and folio, and then to the electrostatic separator to recover the metal fraction from plastics. With air table, it is possible to recycle all the plastic product which is found in the input material in the range of up to approx. 40%.

Additionally, further experiments are performed in order to improve the quality of the separated product by eddy current separator, also named non-ferrous metal separator. This separator is based one the fact that in magnetic fields with a changing flux only in electrically well conductive particles a voltage is induced.

However, it could not be achieved any economical results with eddy current separation. The reasons are discussed in the next chapters.

In this thesis, hand picking method is used for product analysis and the mass balance tables are prepared on every step accordingly.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Türkiyede son yıllarda bilişim sektörü önemli gelişmeler göstermiştir ve büyüme hızı % 30'un üzerindedir [1]. Teknolojinin bu hızlı gelişimi karşısında elektronik aletlerin ömürleri de günden güne kısalmakta ve buna paralel olarak üretilen atık elektrik elektronik eşya (AEEE) miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Bu atıklardan değerli olan kısımların geri kazanılmasının ülke ekonomisine getireceği pozitif etkilerin yanında uzaklaştırılması gereken tehlikeli bileşik içerikleri de atık yönetiminin önemini arttıran hususlardan biridir. Henüz ülkemizde bu atık miktarları zararlı düzeyde olmasa da yakın gelecekte büyük bir sorun haline gelecektir.

Türkiye İstatistik Kurumu tarafından ilk defa gerçekleştirilen girişimlerde bilişim teknolojileri kullanımı araştırması sonuçlarına göre; 2005 yılı Ocak ayı içerisinde girişimlerde, bilgisayar kullanımı oranı % 87,76 olarak tespit edilmiştir. Bu girişimlerin % 50'si teknolojik yenilik yapmaktadırlar. Yine bu kurumun yaptığı diğer bir araştırmaya göre ise bilişim teknolojilerine sahip hane oranı şu şekildedir; kişisel bilgisayar % 10, cep/araç telefonu % 54, TV % 92. Tüm bu veriler ülkemizde hızla gelişmekte olan elektrik elektronik alet kullanımını ve yakın gelecekte ortaya çıkacak olan e-atık sorununu ortaya koymaktadır [2].

Dünyada ise elektronik atık sorunu ve bu sorunun çözümüne yönelik çalışmalar ülkemize oranla çok daha gelişmiş durumdadır. Bu konuda önde gelenler arasında Amerika ve Avrupa Topluluğu ülkeleri yer almaktadır. ABD'nin e-atık sorununa karşı alınan önlemlerle Avrupa Birliği'nin (AB) atık yönetimi ile ilgili projelerine paralel gittiği rahatlıkla söylenebilir. Üreticinin kendi cihazını geri dönüştürme zorunluluğuna benzer bir kanun Avrupa Birliği'nin takviminde de görülmektedir. Kaliforniya'da 2007'den itibaren AB kurallarına uygun olmayan elektronik cihaz yapımının yasaklanması da bu paralelliğin bir başka göstergesidir [3].

Ülkemizde AEEE'ların toplatılması, geri kazanımı ve uygun olarak bertarafını sağlamak için T.C. Çevre ve Orman bakanlığı AEEE'ların yönetimi konusunda bir yönetmelik çıkarmıştır. Bu yönetmeliğin hükümleri kullanılan satış tekniğine bakılmaksızın (doğrudan / uzaktan / elektronik satış dahil olmak üzere) bütün ürün ve üreticilere uygulanmaktadır. Bu yönetmeliğe göre üreticiler, AEEE'ların toplanması, ayrılması, geri kazanımı ve çevresel açıdan uygun olarak bertarafını sağlamakla yükümlüdürler ve 1 Temmuz 2007 tarihinden sonra piyasaya sürülen ürünler için, her üretici kendi ürünlerinin oluşturdukları AEEE'ların finansmanından sorumlu tutulacaklardır. Ayrıca elektrik elektronik eşya (EEE) üreticileri en iyi ayırma, geri dönüşüm ve geri kazanım tekniklerini uygulamaya koymalıdırlar [4].

Bu bağlamda yapılan bu çalışmada ortaya konan cevher hazırlama prosesi ülkemiz AEEE yönetmeliğine uygun olarak üretici firmaların hazırlayacakları elektrik elektronik atık bertarafı işlemlerinin geliştirilmesinde bir adım niteliğindedir. E-atıklardaki değerli metaller ve plastiklerin hangi oranlarda ve hangi yöntemler ile geri kazanılabileceğeni gösteren, temel cevher hazırlama ilkeleri uygulanarak hazırlanan bu tezde, Türkiye'deki elektronik atıklar arasında da yüksek miktarda bulunan eski bilgisayar parçaları ile çalışılmıştır.

Avrupa Birliği'ne giriş sürecinde yapılması gereken uyum çalışmaları arasında katı atık yönetimi büyük rol oynamaktadır. Yakın gelecekte artacak elektrik elektronik atık miktarı nedeniyle de bu konunun önemi artacaktır. Bu doğrultuda yapılan bu araştırmada genel bir mekanik e-atık geri dönüşüm prosesi geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL TANIMLAMA

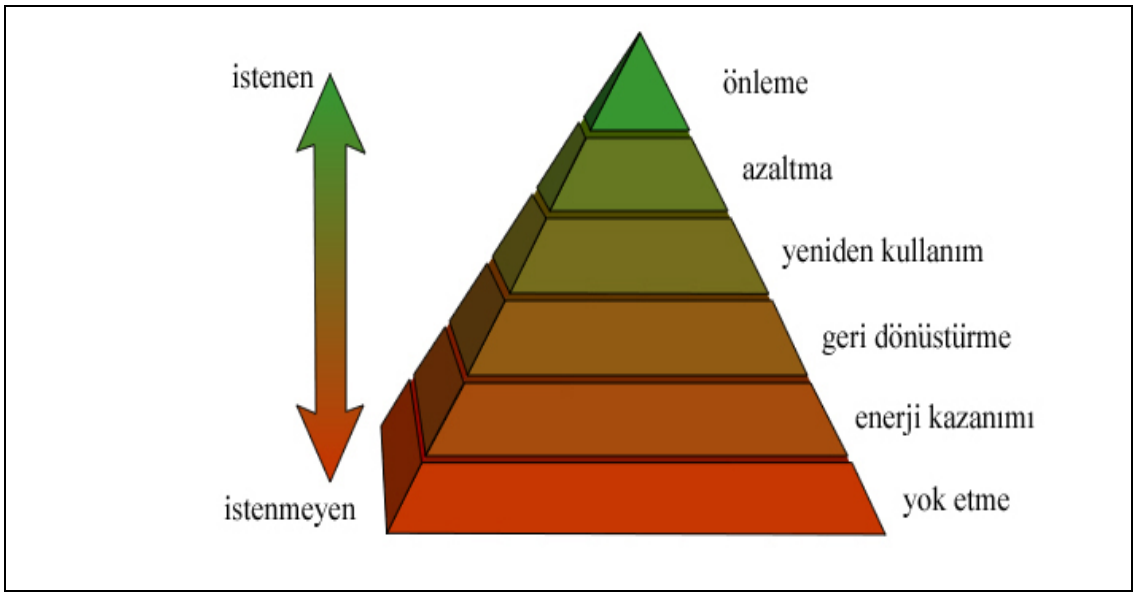
2.1 Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm

Tabii kaynakların sınırsız olmadığı, dikkatlice kullanılmadığı takdirde bir gün bu kaynakların tükeneceği şüphesizdir. Kaynak israfını önlemenin yanında, hayat standartlarını yükseltme çabaları ve ortaya çıkan enerji krizi ile bu gerçeği gören gelişmiş ülkeler atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması için yöntemler aramış ve geliştirmişlerdir. Aynı gerçeğin ışığı altında Avrupa Ekonomik Topluluğuna üye ülkelerde atıkların geri kazanılması şartı getirilmiştir [5].

Kalkınma çabasında olan ve ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan gelişmekte olan ülkelerin de tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir.

Atık yönetimi, yaşam aktiviteleri sonucunda insanlar tarafından oluşturulan atıkların toplanması, nakliye edilmesi, yeniden kullanımı ve yok edilmesi konularını kapsamaktadır. Amaç bu atık malzemelerin (katı, sıvı ya da gaz formunda) insan sağlığına zarar vermeden ve yaşam standartlarını kötü yönde etkilemeden bertaraf edilmesidir. Geri dönüşüm ise terim olarak, kullanım dışı geri dönüştürülebilir atık malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemler ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır. Geri dönüştürülebilir maddeler ev ve endüstriyel boyutlu kullanımlar sonucunda oluşabilirler [6].

Atık yönetimi konusunda ülkeden ülkeye değişiklik gösteren çeşitli kavramlar bulunmaktadır. Genel bir atık yönetimi hiyerarşisi aşağıdaki grafikte görülmektedir. Şekilde de detaylı olarak görülen bu kavram ana hatları ile şu basamaklardan oluşmaktadır ; atık miktarının azaltılması, yeniden kullanım ve geri dönüşüm. Atık yönetiminin amacı, ürünlerden maksimum düzeyde yarar sağlamak ve mümkün olduğu kadar az miktarda atık üretmektir.



Şekil 2.1 : Atık Yönetimi Basamakları

Tüketilen maddelerin geri dönüştürülüp yeniden kullanılabilmesi öncelikle hammadde ihtiyacını azaltır. Böylece insan nüfusunun artışı ile paralel olarak üst seviyelere çıkan tüketimin doğal dengeyi bozması ve doğaya verilen zarar engellenmiş olur. Bunun yanında yeniden dönüştürülebilen maddelerin tekrar hammadde olarak kullanılması büyük miktarda enerji tasarrufunu mümkün kılar. Araştırmalara göre metallerin geri kazanılması için harcanan enerji, metallerinin madenlerden çıkartılması için gereken enerjiden çok daha azdır.

Geri dönüşüm, malzeme üretiminde endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle enerji tasarrufu sağlar. Şöyle ki; 1 kg'lık aluminyumun geri dönüştürülmesi ile 8 kg boksit cevheri, 4 kg kimyasal madde ve 14kW saat elektrik tasarrufu sağlanmaktadır [7,8]. Aynı şekilde bakır bileşimlerin geri kazanılması için gereken enerji bu metalin madenlerden çıkartılması için gereken enerjinin sadece % 13'ü ve demir/çelik için % 19'u kadardır [9].

Genel olarak evsel ve endüstriyel boyuttaki atıkların içerisindeki geri dönüştürülebilir malzemelerin önemli bir miktarını metal, plastik ve cam atıklar ile kağıt ve karton oluşturmaktadır. Geri dönüşüm hadisesi genel olarak ele alınacak olursa bu sistemin 5 temel kademesi şu şekilde olacaktır;

1.Kaynakta Ayırma; Değerlendirilebilir nitelikli atıkları çöple karışmadan oluştukları kaynakta ayırarak biriktirme.

2.Değerlendirilebilir Atıkları Ayrı Toplama; Bu işlem değerlendirilebilir atıkların çöple karışmadan temiz bir şekilde ayrı toplanmasını sağlar. (örneğin elektronik atıklar)

3.Sınıflama; Bu işlem kaynağında ayrı toplanan malzemelerin cam, metal, plastik ve kağıt bazında sınıflara ayrılmasını sağlar.

4.Değerlendirme; Temiz ayrılmış kullanılmış malzemelerin ekonomiye geri dönüşüm işlemidir. Bu işlemde malzeme kimyasal ve fiziksel olarak değişime uğrayarak yeni bir malzeme olarak ekonomiye geri döner.

5.Yeni Ürünü Ekonomiye Kazandırma; Geri dönüştürülen ürünün yeniden kullanıma sunulmasıdır [6,10].

Geri dönüşüm ülkemiz ve dünya çapında çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak ve değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklar verimli olarak kullanılmış olacaktır. Malzemelerin ikincil hammadelerden üretilmesinin doğal yollardan elde edilmesine oranla çok daha ucuz ve az zahmetli olması nedeniyle geri dönüşüm bu anlamda enerji tasarrufunda da önemli rol oynamaktadır. Ayrıca bu sayede atık miktarı azlatılarak çevreye ve ülke ekonominisine katkıda olumlu yönde etki etmektedir.

2.2 Elektronik Atık

Eelektronik atık (e-atık) küresel olarak elektronik cihazların kullanıcısı tarafından yararlı kullanım süresini tamamlamasıyla ortaya çıkartılan atıktır. E-atıklar (TV, bilgisayar, yazıcı, telefon, fax, fotokopi makinaları, ekranlar, DVD, VCR, entegre devreler, yarı iletkenler, baskılı devreler, algılayıcılar, kablolar, iPod, MP3, tıbbi cihazlar, çamaşır makinaları, buz dolapları vs) başlıca metal(ler), plastik ve cam içermektedir.

Bu elektronik atıklar bakır, aluminyum, altın gibi çeşitli metalleri içermelerinin yanında tekrar kazanım veya kullanım için demonte edildiklerinde, parçalandıklarında, yakıldıklarında veya kimyasal işleme tabi tutulduklarında içerdikleri kurşun, kadmiyum, civa gibi zehirli metaller de açığa çıkabilmektedir [3].

Hızlı ilerleyen teknoloji sebebiyle yenileme çalışmalarının ardından daha fazla kullanılmayan elektronik aygıtlar genellikle atık olarak nitelendirilse de tekrar kullanıma ve geri kazanıma yüksek derecedeki uygunluğundan ötürü çok önemli bir ikincil hammade kaynağıdır. E-atıklar uygun bir biçimde işlem görmesi durumunda içerdikleri değerli maddelerin tamamı geri kazanılabilmektedir. Aksi takdirde ise bu atıklar önemli birer toksik madde kaynağına dönüşerek büyük sorunlara sebep olacaktır. Bu durumu daha iyi gözler önüne sermek için elektronik atık bileşenleri yüzde değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.1 : Ekeltronik Atık Kompozisyonu [11]

Malzeme Grubu	**İçerik (Ağırlıkça %)**
Manyetik Metaller (Demir)	36
Manyetik olmayan Metaller (Aluminyum)	21
Plastik	19
Elektronik bileşenler (Kondensatör)	4
Cam	10
Diğer	10

Elektronik hurda çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Bunlardan en önemlileri de birbirine monte edilmiş halde bulunan metaller ve plastiklerdir. Kullanılmış elektrik elektronik cihazlar yukarıda da gösterildiği üzere çeşitli değerli maddeler içerdiği gibi zararlı bileşenler de barındırmaktadırlar. Bu ürünlerin üretiminde kullanılan bu malzemelerin ve yöntemleri farklı olması kesin bir elektronik atık tanımı yapılmasını da engellemektedir. Çünkü geri kazanılan miktarlar da buna bağlı olarak değişken

olacaktır. Yukarıdaki tabloda görülen değerler genelleme yapılarak ortaya konmuştur.

Burada görülen değerli metaller özellikle ingilizce ismi 'Printed Circuit Board' (PCB) olan baskılı devre kartlarından (BDK) kazanılabilir. Bu kartlar elektronik atıkların %3'lük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bilgisayarlardaki bu kartlar 450g/ton'a kadar altın, 900 g/ton'a kadar palladyum, ve 1000 g/ton'a kadar da gümüş içermektedirler. İşte bu sebepledir ki değerli metaller içeren elektronik hurda parçaları ayrı olarak işleme tabi tutulmalıdırlar. Kısaca bu işlem sırasında yarı iletici çipler, kondensatörler ve dirençler mekanik olarak uzaklaştırılmakta ve sökülen parçalar çelik bidonlarda biriktirilmektedir. Değerli elementler kuru veya yaş proseslerle ayrılmakta ve tekrar kullanılmaktadır. Plastik plakalar metal kaplamalarından ayrılmaları için parçalanmakta, metaller tekrar kullanılmakta ve plastikler de düzenli olarak depolanmaktadır [1, 11, 12].

Elektronik atıklarda yüksek miktarlarda bulunan zararlı maddelerin ayrılması geri dönüşüm sistemleri için önemli bir basamaktır. Asağıda bu zararlı bileşenler sıralanmıştır.

- Ağır metaller (cıva, baryum, kadmiyum, kurşun, kalay)
- Poliklorit Biphenil
- Yanmaya dayanıklı malzemeler
- Florkarbon

Büyük problem teşkileden bileşenler özellikle bilgisayar, televizyon, monitör, video, cd, radyo gibi aletlerde bulunmaktadır. Örneğin bir bilgisayar monitörü veya bir televizyon 25 grama kadar kurşun, 3 gram çinkosülfit, 1,8 gram doğada nadir bulunan elementler, 0,1 gram kadmiyumsülfit ve 0,8 gram baryum içermektedir. Bu bileşenleri içeren elektronik atıklar çeşitli cevher hazırlama yöntemleriyle zenginleştirilebilir [12].

2.3 Atık Elektrik Elektronik Eşyalar (AEEE) Yönetmeliği

Ülkemizin mevcut çevre politikalarının amaçları; çevrenin vasıflarını korumak, muhafaza etmek ve geliştirmek, insan sağlığını korumak ve doğal kaynakların zarar görmeden ihtiyatlı bir şekilde kullanılmasını kapsamaktadır. Kısaca, çevreye olabilecek zararlar kaynağında önlenmelidir ve kirleten kişi bunun bedelini ödemekle yükümlüdür.

Türkiye Avrupa Birliğine katılmak arzusundadır ve bu üyelik süreci içerisinde Hükümet, Türkiye'nin çevre yönetmelikleri politikası için bir başlangıç olarak AB çevre yönetmelik direktiflerini benimsemiştir. Dolayısıyla çevre yönetmeliklerinin AB standartlarına göre uyumlaştırılması üyelik sürecinde atılacak en önemli adımlardan biridir. Programa göre, atıkların geri kazanımı, güvenli atık bertarafı ve ilgili prensiplerin uygulanması bakımından atık elektrik elektronik eşyalar yönetmeliğini düzenlenmesi hedeflenen alanlardan biridir. AB yönetmeliklerindeki en önemli unsurlardan bir tanesi 'Üreticinin Sorumluluğu' prensibidir. Bu sorumluluk üreticilerin veya ithalatçıların ürünlerinin son kullanıcı tarafından kullanıldıktan sonra geriye kalan atığın belirli bir yüzdesinin geri kazanımı aktivitelerini kapsar. Pratikte bu atıkların toplama işlemleri konunun ehli bir temsilci tarafından yapılabilir, ancak sorumluluk tamamen üretici ve ithalatçılara verilmiştir.

Türkiye'de üretilen atık elektrik elektronik eşyaların sayısı gün geçtikte artmaktadır ve bu sorun geri dönüşüm kapsamında yeterince ele alınamamaktadır. AEEE'ların toplatılması, geri kazanılması ve uygun bertarafını sağlamak için T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı AEEE'ların yönetimi konusundaki bu yönetmeliği benimsemiştir. Bu yönetmeliğin hükümleri kullanılan satış tekniğine bakılmaksızın (doğrudan, uzaktan ve elektronik satış dahil olmak üzere) bütün ürün ve üreticilere uygulanmaktadır. AEEE Yönetmeliği tüketiciler tarafından evsel ve profesyonel amaçlı kullanılan her türlü elektrik elektronik eşyaları (EEE) kapsamaktadır.

AEEE Yönetmeliğine göre her üretici ve ithalatçı bir geri dönüşüm ve geri kazanım sisteminin kurulmasından ve kendi ürünlerinin geri dönüşümü ve geri alınması için finansman sağlamakla yükümlüdür. Bu sistem, diğer üretici ve ithalatçılarla kollektif bir plan oluşturularak ortak olarak da yapılabilir.

AEEE'lerin özel olarak bertarafının ve geri dönüşümünün sağlanabilmesi için ayrı toplama gerekli bir ön koşuldur. Bu konu kapsamında öncelik, mümkün olduğunca AEEE'ların bileşenlerinin ve parçalarının tekrar kullanılabilmesi ilkesidir. Tekrar kullanım mümkün olmadığında ve yüksek seviyelerde geri dönüşüm gerekli olduğunda ayrı olarak toplanan AEEE'ların geri dönüşümü sağlanmalıdır. EEE'ların üretiminde kullanılan yanmayı geciktirici belirli maddelerin ve ağır metallerin kullanımı yasaklanacaktır ve buna ek olarak üreticiler yeni ürünlerinde geri dönüştürülmüş malzeme kullanmaya teşvik edilecektir. AEEE yönetmeliği üretici ve tüketicilere bazı sorumluluklar getirmektedir. Bu sorumluluklar aşağıda sıralanmıştır.

- Tüketiciler, AEEE'ları diğer evsel atıklarla karıştırmamakla, ellerindeki AEEE'ları üreticiler tarafından istenilen toplama noktalarına getirmekle veya yenisini alırken eskisini bayilere götürmekle yükümlüdürler.

- Bayiler, sattıkları eşya ile eşdeğer veya aynı özellikte olduğu müddetçe kendilerine getirilen AEEE'ları ücretsiz olarak geri almakla sorumludurlar.

- Üreticiler AEEE'ları tüketiciler, bayiler, perakendeciler ve belediyelerden bedelsiz olarak almakla yükümlüdürler. Diğer kullanıcılardan kaynaklanan AEEE'lara yönelik olarak üreticiler yine üretilen atıkları geri almakla yükümlüdürler. Üreticiler aktif olarak AEEE toplamak mecburiyetinde değildir. Uzmanlaşmış firmalarla anlaşma yaparak da bu yükümlülüklerini yerine getirebilirler. Üreticiler aynı zamanda AEEE'ların geri dönüşümünü sağlamak ve daha kolay geri kazanımı için araştırmalar yapmak ve yaptırmakla da yükümlüdürler.

- Belediyeler AEEE'ların evsel atık depo sahalarında diğer atıklarla birlikte muamele edilmesini önlemekle yükümlüdürler.

- EEE kullanıcıları ellerindeki AEEE'ları herhangi bir bedel ödemeden geri vermek imkanına sahip olmalıdırlar. Bu nedenle üreticiler AEEE'ların toplanması, geri kazanılması ve bertaraf işlemlerini finanse etmelidirler. 10 yıllık bir periyot için, üreticiler isteğe bağlı olarak yeni ürün satışı sırasında eski atıkların toplanması ve bertarafı ile ilgili maliyetleri satın alanlara yansıtabilirler.

Bu Yönetmelik aşağıdaki kategorilerdeki EEE'lara uygulanır.

- Büyük ve küçük ev aletleri;
- Bilgisayar ve telekomünikasyon ekipmanları;
- Tüketici ekipmanları;
- Aydınlatma ekipmanları;
- Elektrik ve elektronik aletler (Büyük endüstriyel aletler hariç);
- Oyuncaklar, boş zaman ve spor ekipmanları;
- Tıbbi aygıtlar (enfekte olmuş ürünler hariç);
- İzleme ve kontrol aygıtları;
- Otomatik dağıtıcılar (automatic dispensers)

Tablo 2.2 : AEEE Toplama Miktarları

Yıl	**Toplama hedefi [kg/(kişi*yıl)]**
2006 *(seçmeli)*	0.5
2007	1
2008	1.5
2010	2.5
2012	4

Evsel atıkarla birlikte bertaraf edilen AEEE miktarını azaltmak ve ayrı toplamayı kolaylaştırmak için üreticiler ayırma ve toplama sistemleri kuracak ve yukarıdaki tabloda belirtilen oranlarda AEEE'yi ayrı olarak toplayacaklarını garanti edeceklerdir. Bakanlık, teknik ve ekonomik veriler ile diğer (AB) ülkelerde yaşanılmış tecrübelere dayanarak ve üreticilerin önerilerini dikkate alarak, Türkiye için geçerli olacak hedefleri 31 Aralık 2012 tarihine kadar belirleyecektir. Bu hedeflerin belirlenmesinde, geçmiş yıllarda kullanılan / satılan EEE miktarlarını esas alınacaktır. Üreticiler bu atıkların toplanması için gerekli ekipmanları sağlamalı ve ülkemizde tüm AEEE'ların lisanlı geri kazanım tesislerine gönderilmesini garanti etmelidirler.

EEE üreticileri en iyi ayırma, geri dönüşüm ve geri kazanım tekniklerini uygulamaya koymalıdırlar. Bu uygulamalarda sıvı maddeler ayrıştırılabilmeli ve sistem AEEE'ları ayırabilecek, geri kazandırabilecek özellikte olmalıdır. Bertaraf işlemleri Türkiye dışında da yürütülebilir. Ancak bu durumda atıkların nakliyesinin denetim ve kontrollerinde Türk Yönetmeliklerine uymalıdırlar. Yurt dışında AEEE'lerin Yönetmeliğin hedeflerine ulaşmak amacı ile bertaraf edilmesi durumu sadece ihracatçının bertaraf işlemlerinin Yönetmelik hükümlerine uygun yapıldığını taahhüt etmesi ve kanıtlaması durumunda söz konusu olabilir. Üreticilerin geri kazanımını ve geri dönüşümünü garanti edecekleri elektrik elektronik eşya miktarları aşağıdaki tablolarda görülmektedir.

Bakanlık, teknik ve ekonomik veri ve tecrübelere dayanarak ve üreticilerin önerilerini de dikkate alarak, 31 Aralık 2012 tarihine kadar hem 8'inci atık grubu için bağlayıcı hedefleri belirleyecek, hem de diğer atık grupları için verilen hedefleri gözden geçirip yeniden düzenleyecektir. Bu hedeflerin belirlenmesi için, önceki yıllarda evsel kullanıcılara satılan EEE miktarları esas alınacaktır.

1 Temmuz 2007 tarihinden sonra piyasaya sürülen ürünler için, her üretici kendi ürünlerinin oluşturdukları AEEE'ların finansmanından sorumludurlar. Temmuz 2007 tarihinden önce piyasaya sürülen ürünlerden kaynaklanan AEEE'ların (eski atık) yönetim maliyeti, bu maliyetin ortaya çıktığı zaman piyasada faaliyet gösteren bütün üreticiler tarafından karşılanacaktır.

13 Ağustos 2005 tarihinden itibaren bertaraf işlemleri (özel amaçlı kullanım söz konusu olmayan ve bu tarihten sonar piyasaya sürülmüş ürünlerden kaynaklanan atıkların) maliyetleri üreticileri tarafından karşılanmak durumundadır. 13 Ağustos 2005 tarihinden önce piyasaya sürülen ürünlerden kaynaklanan atıkların yönetimi için gerekli maliyetler mevcut üreticiler/ ithalatçılar tarafından karşılanmalıdır. Bununla beraber üye ülkeler kullanıcıların da belirli miktarda ya da tamamı ile bu maliyetlerden sorumlu olmasını sağlayabilir.

Tablo 2.3 : AEEE Geri Kazanım Oranları

Atık grupları		Yıl				
		2006	2008	2010	2011	2012
		AEEE toplama yüzdesi				
1 Büyük ev aletleri		60	65	70	75	80
2 Küçük ev aletleri		20	30	40	55	70
3 IT ve telekomünikasyon ekipmanı		20	30	45	60	75
4 Tüketici ekipmanı		20	30	45	60	75
5	Aydınlatma ekipmanı	10	20	30	50	70
	Gazlı lambalar	50	55	60	70	80
6 Elektrik ve Elektronik aletler (Büyük durağan endüstriyel aletler hariç)		10	20	30	50	70
7 Oyuncaklar, boş vakit ve spor ekipmanları		10	20	30	50	70
8 Tıbbi aygıtlar (enfekte olmuş bütün ürünler hariç)						
9 İzleme ve kontrol aygıtları		10	20	30	50	70
10 Otomatik dağıtıcı		50	55	60	70	80

Tablo 2.4 : AEEE : Geri Dönüşüm Oranları

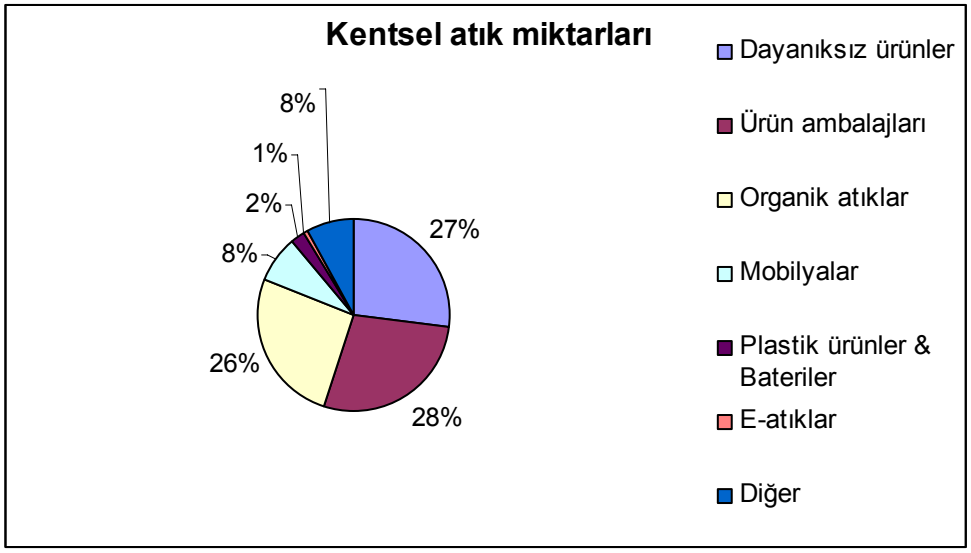
Atık grupları		Yıl				
		2006	2008	2010	2011	2012
		AEEE toplama yüzdesi				
1 Büyük ev aletleri		50	55	60	65	75
2 Küçük ev aletleri		10	20	30	40	50
3 IT ve telekomünikasyon ekipmanı		15	25	35	50	65
4 Tüketici ekipmanı		15	25	35	50	65
5	Aydınlatma ekipmanı	10	20	30	40	50
	Gazlı lambalar	50	55	60	70	80
6 Elektrik ve Elektronik aletler (Büyük durağan endüstriyel aletler hariç)		10	20	30	40	50
7 Oyuncaklar, boş vakit ve spor ekipmanları		10	20	30	40	50
8 Tıbbi aygıtlar (enfekte olmuş bütün ürünler hariç)						
9 İzleme ve kontrol aygıtları		10	20	30	40	50
10 Otomatik dağıtıcı		50	55	60	65	75

2.4 Dünyada E-Atık Durumu

Ülkemize oranla Amerika'da ve Avrupa ülkelerinde e-atık sorunu çok daha büyük boyutlardadır. Bunun nedeni ise tahmin edilebileceği gibi bu ülkelerdeki teklonolojik gelişimin çok daha hızlı ve bizimkinden ileride seyretmesinin yanı sıra alım güçlerinin de daha yüksek olmasıdır. Dünya genelinde elektronik atık pazarı yıllık büyümesi %8,8'lik bir hızla 2004 yılında 7,2 milyar dolardan 2009 yılı sonunda 11 milyar dolara artacaktır. 2004-2009 yılları arasında küresel e-atık pazarında geri dönüştürülen metallerin satışı 2004'te 4236 milyon dolardan yıllık %8,1'lik artışla

2009'da 6245 milyon dolara yükselecektir. Aynı şekilde geri dönüştürülen plastik pazarı 2004'te 2552 milyon dolardan yıllık %10,2 artışla 4157 milyon dolara ulaşacaktır [7].

Özellikle içinde bulunduğumuz bilgi çağında meydana gelen elektronik atıkların büyüme hızı, kentsel atıklar içinde en büyük paya sahip olanıdır. Gelişmiş ülkelerde e-atıklar katı atıkların %1'ini oluştururken bu oranın 2010'da %2'ye çıkması beklenmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise e-atıklar katı atıkların %0,01-%1'i arasında değişmektedir. Çin ve Türkiye gibi diğer gelişmekte olan ülkelerde e-atık miktarının gelecek beş yılda üç katına çıkma potansiyeli vardır. Aşağıdaki şekilde örnek olarak ABD'deki kentsel atık miktarları görülmektedir.

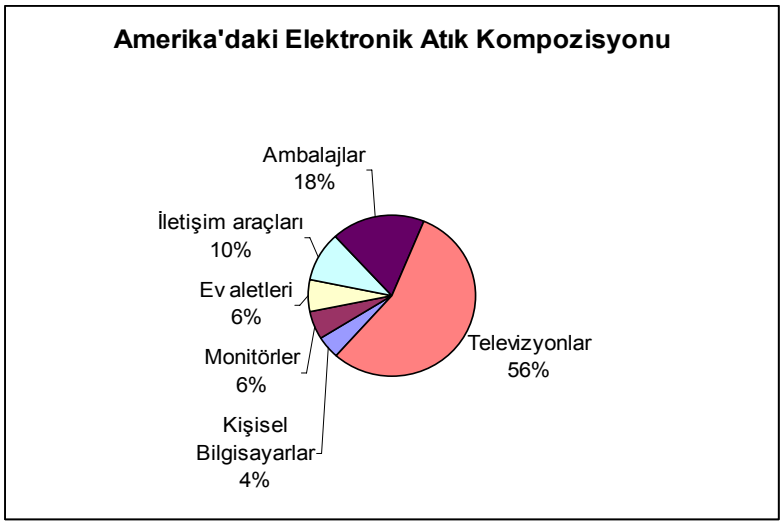


Şekil 2.2 : ABD'deki Kentsel Atık Miktarları

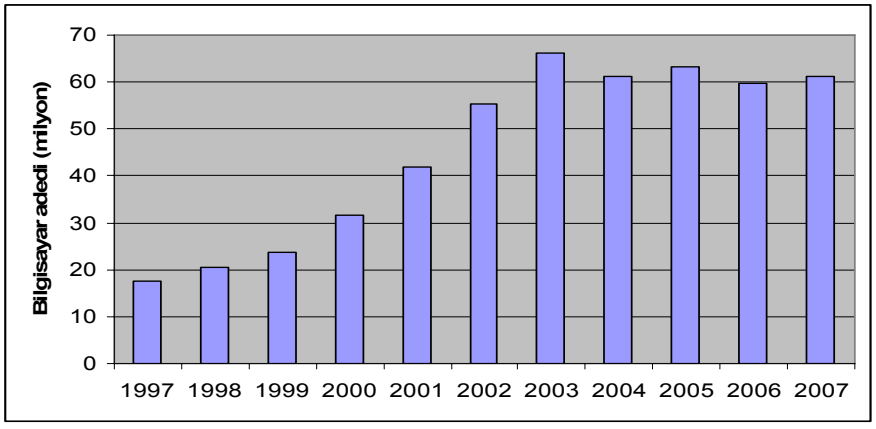
ABD'de elektrik elektronik aletler toplam milli üretimin %6'sını teşkil etmektedir. Yine Amerika'da bundan yaklaşık 15 yıl kadar önce nüfusun % 16'sı kişisel bilgisayara sahip iken, bugün bu sayı % 60'ın üzerindedir. Dünya'da 1981 yılından bu yana yaklaşık 1 milyar kişisel bilgisayar satışı gerçekleşmiştir. Bu miktarın 400 milyonu Amerika'da satılmıştır ve sadece 2003 yılı verilerine göre bu sayı 50 milyonun üzerindedir. 1997-2003 yılları arasında 253 milyon adet bilgisayar satılmış, 2004 yılından itibaren 2007 yılı sonuna kadar ise 250 milyon adet daha kişisel bilgisayarın yeni kullanıcılar tarafından alınacağı tahmin edilmektedir. Bu üretim

miktarının yanında ABD'de 300-500 milyon adet kullanım dışı bilgisayar bulunduğu kaydedilmişir [3].

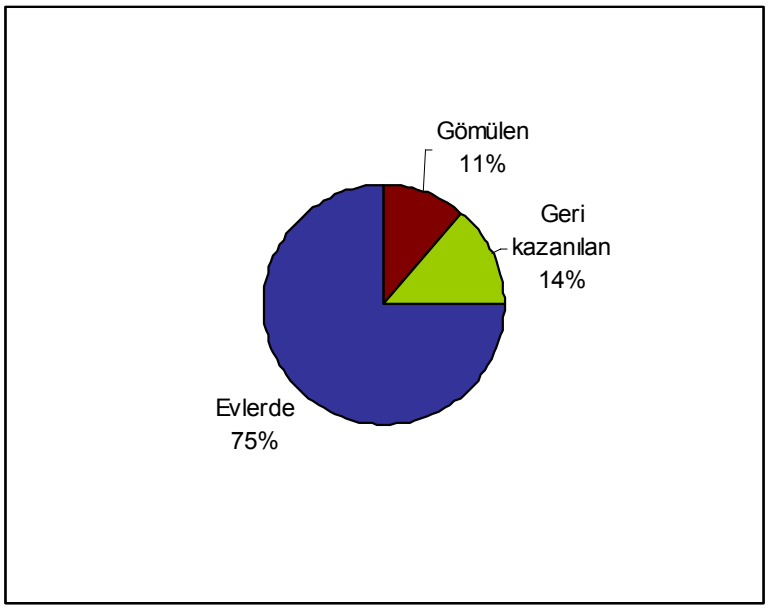
Kullanım süresi tamamlanan bilgisayarların hepsinin henüz atık olarak geri dönüşüm proseslerine tabi tutulmadığı ve yaklaşık olarak % 75'inin evlerde saklandığı tahmin edilmektedir. Geriye kalan miktarın % 14'ünün geri kazanılarak tekrar kullanıldığı ve % 11'inin ise dolgu malzemesi olarak çöplüklere atıldığı bilinmektedir. Aşağıdaki grafiklerde Amerika'daki elektronik atık kompozisyonu, yıllık atık bilgisayar miktarları ve bunların geri kazanım döngüsü içinde ne kadarının hangi konumda bulunduğu görülmektedir [13].



Şekil 2.3 : ABD'deki Kentsel Atık Kompozisyonu [14]



Şeklil 2.4 : ABD'deki Yıllık Atık Bilgisayar Miktarı [13]



Şekil 2.5 : ABD'deki Atık Bilgisayaların Durmu [13]

Elektronik atıkların kentsel katı atıklara göre çok daha fazla bir hızla büyümesi ve bu büyüme sonunucunda atık bertarafı için uygun sahaların kalmamaması tehlikesi Dünya genelinde bir korku yaratmaktadır. Bilgisayarlar ve diğer e-atıklar depolandıklarında, dolgu malzemesi olarak gömüldüklerinde veya yakıldıklarında içerdikleri zehirli maddelerin toprağa ve havaya karışması bunun en büyük nedenidir. Bu duruma karşı izlenen genel politika ise; doğal kaynakların ve çevrenin korunması için sıfır katı atıktır. Yakılan elektronik atıklar kadar, gömülü halde bulunanlar da insan sağlığı üzerinde içerdikleri zehirli maddeler nedeniyle zararlı etkilere sahiptir. Örneğin bir bilgisayar monitör tüpü yaklaşık 1,7 kilogram kurşun içermektedir [13].

Dünyada elektronik atık sorunu, gelişmiş ülkelerin artık kullanılamayacak durumda olan bilgisayarlarını gelişmekte olan diğer ülkelere göndermeye başlamasıyla daha da büyük bir hal almıştır.

ABD e-atık geri dönüşümünde çoğunlukla bu atıkları Asya'daki ülkelere ihraç etmektedir. Bunun sonucunda ise Çin ve Hindistan gibi ülkeler hızla Dünya'nın e-atık çöplüğüne dönüşmektedir. Özellikle Kuzey Amerika, Singapur ve Güney Kore'den yollanan eski bilgisayarlar bu ülkenin önemli gelir kaynaklarındandır. Hint Hükümeti'nin yasaklarına karşın ülkeye diğer atıklarla birlikte bağış ve hibe yoluyla giren eski bilgisayarlar Ahmetabad kentinde toplanmaktadır. Yurtdışından giren atıkların yanı sıra üretilen yerel elektronik cihazlar da bu çöplüklerde toplanmaktadır.

Hindistan'da 1,38 milyon adet eski bilgisayar bulunmakta ve her yıl buna 1000 tondan fazla elektronik atık eklenmektedir. Kuzey Amerika'da ise bu sayı 20 milyondur. Söz konusu elektronik atıklar monitör, yazıcı, klavye, işlemciler, anakart, sabit disk gibi parçalardan oluşmaktadır. Bu parçaların aksamlarındaki altın, bakır, aluminyum ve platin gibi değerli kısımlar işçiler tarafından elle ayıklanırken, kurşun gibi tehlikeli maddeler ise toprak ve suya karışmaktadır [15, 13].

Dünyadaki elektronik atık sorunun gelecekte hangi boyutlara varacağını anlayabilmek için şu anda kullanımda olan kişisel bilgisyar sayısı ve artan taleple birlikte çeşitli firmaların önümüzdeki 5 yıl içerisindeki toplam satış hedeflerine bakmak yeterli olacaktır.

Şu anda Dünya genelinde kullanımda olan kişisel bilgisayar sayısı 2005 yılı verilerine göre 900 milyon adettir. Amerika % 25 gibi yükek bir oranla listenin en başında yer almaktadır [8]. Kullanılan bu bilgisayar ömürlerinin hızla gelişen teknoloji karşısında en fazla 2-3 yıl ömrü kaldığını söylemek yanlış olmayacaktır. Bu süre sonunda, bu araçların yararlı ömürlerini tamamlamaları sonucunda, yukarıda da beliritildiği gibi %75'inin evlerde saklanacağı veya gelişmişlik oranı daha düşük yörelere, ülkelere gönderileceği varsayılırsa %25'inin elektronik atık döngüsüne gireceğini söyleyebiliriz. Bu da hiç de azımsanamayacak bir rakamdır. Aşağıdaki tablolarda 2005 yılı sonu itibariyle bilgisayar firmalarının 1991 yılından bu yana sattıkları ve önümüzdeki beş yıllık süre içinde üretip satmayı planladıkları miktarlar ile Dünya'da kullanımda olan kişisel bilgisayar miktarları verilmiştir.

Tablo 2.5 : Firmaların Bilgisayar Satışları ve Hedefleri [8]

Yıl Aralığı	**Toplam Kişisel Bilgisayar Satışı (milyon)**
1991-1995	201
1996-2000	492
2001-2005	810
2006-2010	1,300

Tabloya bakıldığında Dünya'da teknolojinin ne kadar hızla geliştiği ve dolayısıyla bilgisayar kullanımının günden güne arttığı, buna bağlı olarak da elektronik atık miktarı artış hızının ne kadar yüksek olduğu ve olacağı anlaşılmaktadır. Toplam kişisel bilgisayar satışı tarihinin ilk otuz yılında yani 1975-2004 yılları arasında 1,4 milyar adettir. 2005-2010 yılları arasındaki beş yıllık zaman periyodu içerisinde ise 1,3 milyar adet bilgisayar satılmıştır ve neredeyse otuz yıllık satış oranı yakalanmıştır.

Amerika'daki kullanımda olan bilgisayar sayısı en yakın takipçisi olan Japonya'nın yaklaşık üç katı kadardır. Ayrıca Amerika ve Kanada kişisel bilgisayar kullanım oranı, cep telefonu kullanım oranından yüksek olan iki ülkedir.

Tablo 2.6 : Dünya'da Kullanımda Olan Kişisel Bilgisayar Miktarı [14]

Ülkeler	**Kullanımda olan kişisel bilgisayar sayısı (milyon)**	**Toplama göre oran (%)**
1-Amerika	230,4	25,49
2-Japonya	73,66	8,15
3-Çin	63,52	7,03
4-Almanya	50,42	5,58
5-İngiltere	38,62	4,27
6-Fransa	32,40	3,58
7-Güney Kore	28,38	3,14
8-İtalya	25,96	2,87
9-Kanada	23,77	2,63
10-Rusya	22,76	2,52
11- Brezilya	22,40	2,46
12-Hindistan	16,98	1,88
13-Avusturalya	14,62	1,62
14-Meksika	12,79	1,41
15-Türkiye	11,25	1,24
Diğer Ülkeler	235,97	26,13
Dünya genelinde toplam	903,9	100,0

Avrupa'nın bu konudaki en önemli ülkelerinden biri olan Almanya'da yılda 1,5-2 milyon ton arasında kullanılmış elektrik elektronik cihaz atılmaktadır. Bu miktarın yaklaşık %5'ini bilgisayar ve bilgisayar parçalarının oluşturduğunu göz önüne alırsak yılda 75000-100000 ton kadar eski bilgisayarın elektronik atık olarak atıldığı sonucuna varırız. Bu değerin önümüzdeki bir kaç yılda %10'a kadar çıkması beklenmektedir. Almanya'daki yıllık elektronik atık miktarları ve çeşitleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2.7 : Almanya'daki Yıllık Elektronik Atık Miktarı ve Çeşitleri [11]

Miktar (ton/yıl)	**Kategori**
560,000	Büyük ev aletleri
250,000	Oyuncak, spor ve eğlence aletleri 150,000 t Televizyon 100,000 t Diğer
72,500	Küçük ev aletleri
10,000	Elektrik elektronik iş aletleri
206,000	Piller
31,500	Lambalar
110,800	İletişim aletleri
35,000	Tıbbi aletler
165,000	İzleme ve kontrol aletleri
60,000	Diğer

2.5 Türkiye'de E-Atık Durumu

Bilgi toplumu olma yolunda Dünya'da olduğu gibi ülkemizde de hızla bir ilerleme söz konusudur. Bu ilerleme ve gelişme sonucunda elektronik cihazların kullanım süreleri her geçen gün azalmakta ve satın alınan her ürün yararlı ömrünü kısada sürede tamamlayarak atılmaktadır. Bu atıklar demonte edildiklerinde veya yakıldıklarında çevreye ve insan sağlığına yüksek derecede zararlı bileşikler ortaya çıkarabilmektedirler. Ülkemizde e-atıklar diğer çöplerle birlikte gelişigüzel yakılmakta ve bu bağlamda e-atık sektörünü meydana getirmektedir.

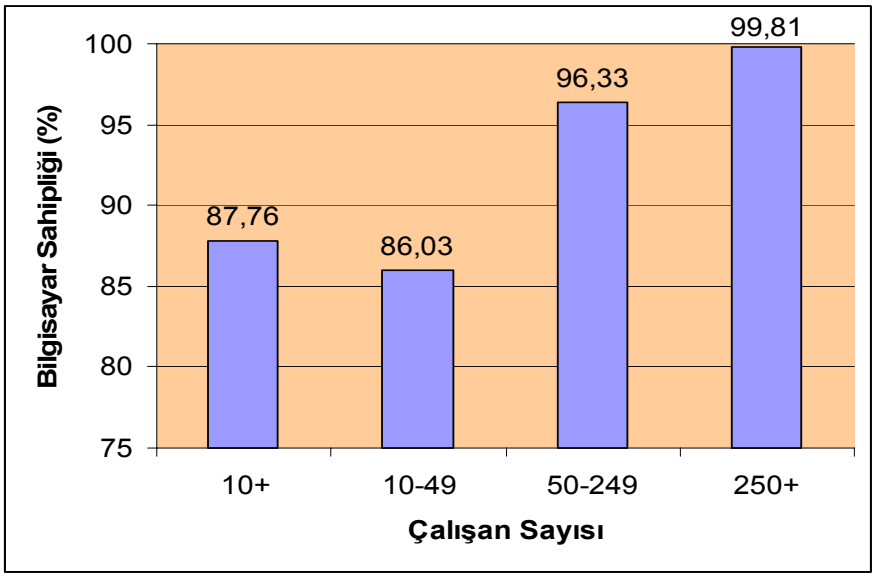
Türkiye'de bilgisayar ürünlerinde 3,8 milyar dolar ithalat, 1 milyar dolar da üretim olmak üzere toplam 4,8 milyar dolarlık bir pazar bulunmaktadır. Yıllık büyüme oranı % 8 olan dünya ülkelerine paralel olarak hızlı bir ilerleme gösteren ülkemizde 2007 yılı sonunda bilgasayar satışlarının 3 milyon adete ulaşacağı ve bunun 1,8 milyonluk kısmının yakın zamanda e-atık olarak ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir [10, 13].

Türkiye İstatistik Kurumu'nun yayımladiği yıllık istatistik verilerine göre kişisel bilgisayara sahip hane orani yaklaşık %10'dur. Önümzdeki 5 yıl içerisinde bu oranların artacağı göz önünde bulundurulursa bu araçlar kullanım sürelerinin kısalması nedeniyle elektronik atık olarak döngüdeki yerini alacaktır. Aşağıdaki tabloda hanelerdeki bilişim teknolojileri ekipman durumu görülmektedir.

Tablo 2.8 : Hanelerde Bilişim Teknolojileri Ekipman Durumu [2]

Teknolojik Ekipman	**Hane Oranı (%)**
Kişisel bilgisayar	9,98
Taşınabilir bilgisayar	0,85
El bilgisayarı	0,13
Cep/Ara. telefonu	53,64
Televizyon	92,19
Oyun konsolu	2,85

Ülkemizdeki girişimlerin büyüklük grubuna göre bilgisayar bulundurma oranına bakıldığında ise oldukça yüksek değerlerle karşılaşılmaktadır. Aşağıdaki tabloda çalışan kişi sayısına göre gruplandırılmış girişimlerin bilgisayar sahipliği oranları görülmektedir. Bu girişimlerin yıllık olarak %50'sinden fazlasının teknolojik ekipmanlarını yenilediğini göz önünde bulundurursak Türkiye'deki elektronik atık miktarı artışının göz ardı edilemeyecek değerde olduğu görülmektedir.



Şekil 2.6 : Girişimlerin Büyüklük Grubuna Göre Bilgisayar Sahipliği Oranı

Türkiye'de günümüz itibariyle elektrik elektronik katı atık bertarafı yapan tesis yok denebilecek kadar az sayıdadır. Gelişmekte olan ülkeler kategorisindeki ülkemizde elektronik atık sorununu bilgisayar, monitör, cep telefonu vb. cihazların atıkları oluşturmaktadır. Ayrıştırılabilir maddelerinin geri dönüşümünün yanı sıra doğada tehlike teşkil eden toksik maddelerin bertarafına çözüm bularak elektronik atıklar kabusuna son vermeye çalışan kurumların düzenlediği bazı kampanyalar son birkaç yıldır sürmektedir.

Örneğin Türkiye Çevre Koruma ve Yeşillendirme Kurumu'nun 2004 senesinde başlattığı elektronik atıkları geri dönüştürmeye yönelik çalışması kapsamında İstanbul'un Kadıköy semtine bir elektronik atık kumbarası konulmuştur. Bu proje kapsamında bir yıl zaman zarfı içerisinde toplanan 1.301.652.348 kg elektronik atık İzmitte kurulu olan ve elektronik atık bertarafı yapan (yakma işlemi) İZAYDAŞ'ta işlem görmüştür.

Türkiye'de elektronik atık bertarafı bilgisayar (monitör, kasa, klavye, mouse, vs), printer, scanner, faks, fotokopi makinesi, telefon, cep telefonu, santral, televizyon, müzik aletleri, küçük ev aletleri, kartus, toner, kablo, switch, röle, konnektör gibi elektronik komponentler ve diğer elektrikli ve elektronik tüm malzemeleri kapsamaktadır. Plastiklerin çok büyük bir kısmı geri dönüşmemektedir ve en büyük oranda faydalanılan materyaller metal aksamlardır. Elektronik devreler ise öğütülmek üzere yurt dışına gönderilmektedir. Geri kazanılan metallerin büyük bir kısmı otomotivden beyaz eşyaya kadar bu metalleri hammadde olarak kullanan firmalara gönderilmekte, ancak monitör camı gibi sadece kendi yapımında hammadde olarak kullanılabilen materyaller yine elektronik firmalarına iletilmektedir. Bu sayede toplanan atıkların % 90'ı geri dönüştürülmektedir.

Ülkemizde şu anda kimyasal geri dönüşüm yapılmadığından AEEE'lardan sadece kimyasal prosesler sonucu ortaya çıkabilecek civa ve kurşun gibi tehlikeli maddeler günümüz itibariyle bir tehlike arzetmemektedir.

3. E-ATIK GERİ KAZANIM TEKNİĞİNDE BUGÜNKÜ DURUM

Elektrik ve elektronik atıklara uygulanan geri dönüşüm işlemlerindeki ana amaç; bu cihazların tekrar kullanımının söz konusu olmadığı durumda, çeşitli yöntemlerle mümkün olduğunca fazla miktarda metal ve plastik geri kazanımıdır. Bunun yanında, zararlı maddeler de sistemden uzaklaştırılmalıdır.

Boyut küçültme ve kesme gibi işlemlerin uygulanabilmesi için öncelikle atık elektronik aletler manuel olarak demonte edilmelidir. Elle demonte işlemi sırasında metal gibi değerli ikincil hammaddeler yanında çöp yakma tesislerinde ikincil yanıcı hammadde olarak kullanılabilecek olan plastik de yüksek oranlarda geri kazanılmaktadır. Bir diğer değerli fraksiyon ise bilgisayar mönitörlerinden ve televizyonlardan elde edilen kurşun içeren camdır. Bu da yine monitörlerde kullanılmak üzere çeşitli işlemlere tabi tutulmaktadır. Aşağıda AEEE'lar için şu an İsviçre'de uygulanmakta olan genel bir cevher hazırlama yöntemi adım adım açıklanmıştır.

3.1 Elle Demontaj

Elle demontaj yöntemi elektronik atık içerisindeki zararlı bileşenleri geri dönüştürülebilir yararlı malzemelerden ayırmanın ilk metodudur. Basit araç gereçlerle yapılabilen bu yöntemle cevher hazırlama işleminden önce elektronik hurda farklı sınıflara ayrılmaktadır. Şekil 3,1'de elle demonte işleminin akım şeması görülmektedir.

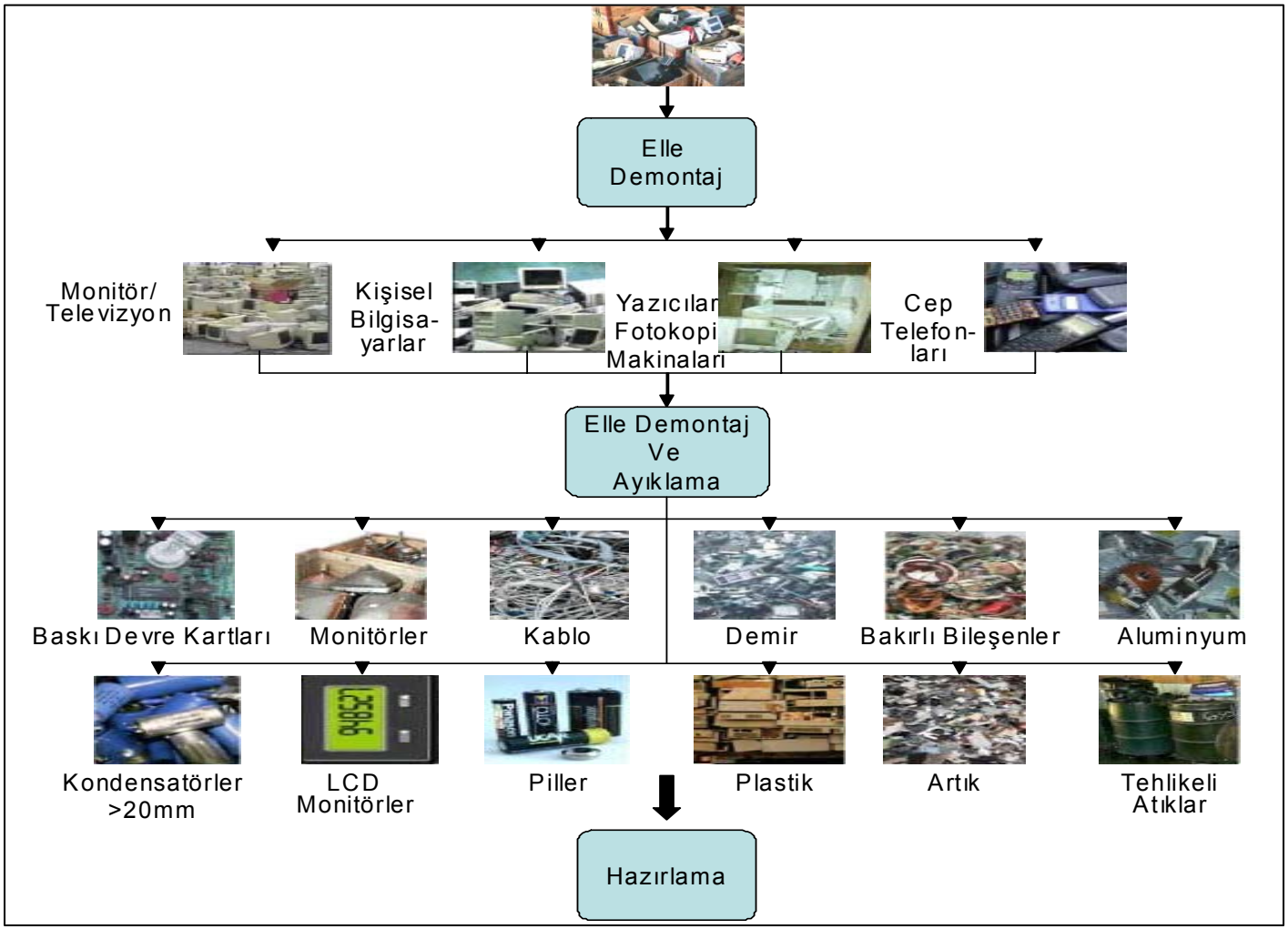
3.2 Mekanik Demontaj

Mekanik demontaj yöntemi cevher hazırlama işlemi uygulanmadan önce zararlı atıkları, değerlendirilebilir atıklardan ayırmanın ikinci adımıdır. İşlem tamamıyla makinalar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Açığa çıkan zehirli gazlar gaz bertaraf

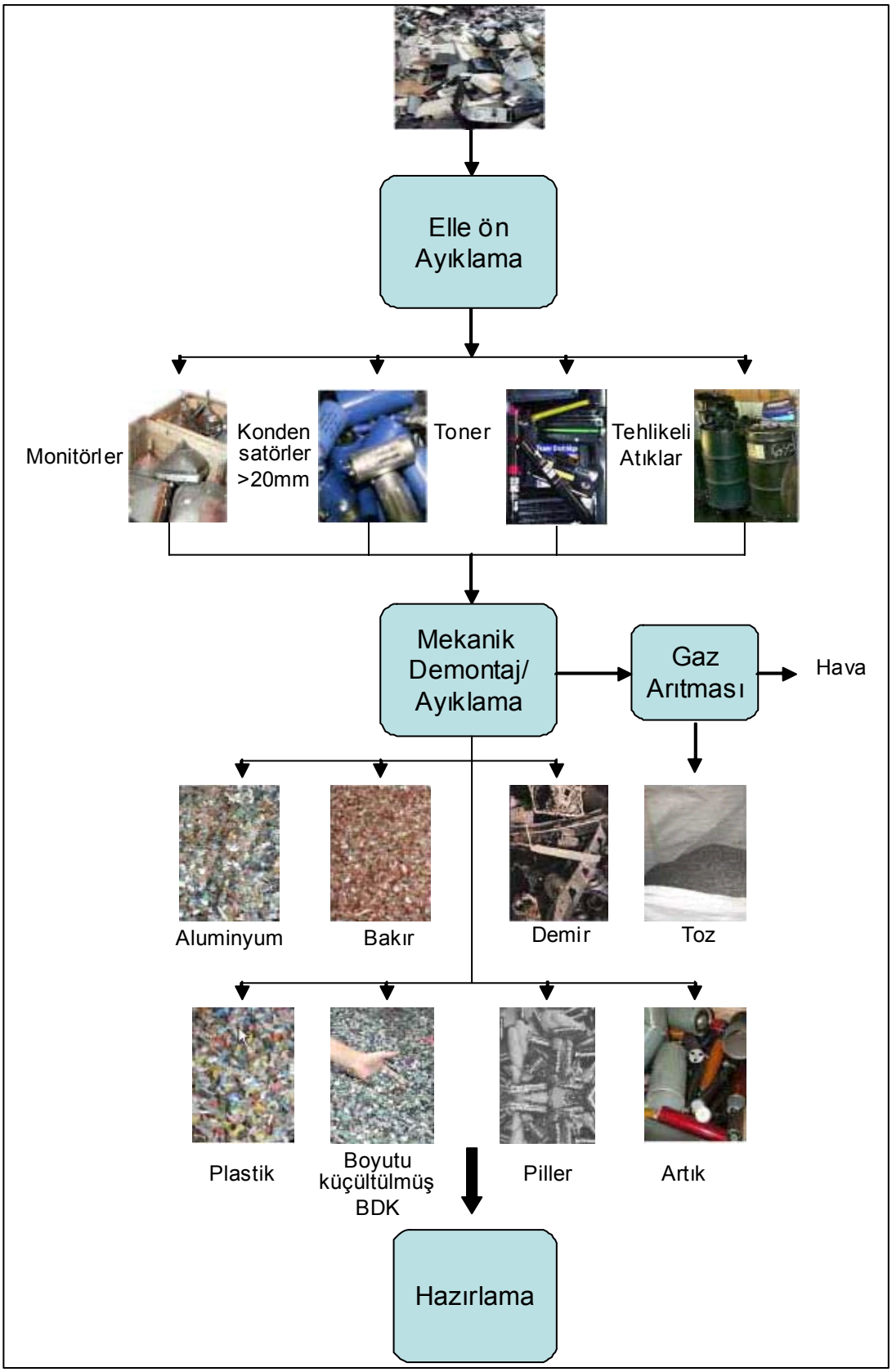
sistemlerinde arındırılmakta, çok küçük boyutlu taneler ise hava filtrelerinde toplanmaktadır. Şekil 3,2'de mekanik demontaj akım şeması yer almaktadır.

3.3 Hazırlama Prosesi

Yukarıda bahsedilen adımlardan elde edilen fraksiyonların büyük bir kısmı yeniden kullanılabilmeleri için bir hazırlama prosesine tabi tutulmak zorundadırlar. Bunlar; termik, mekanik, kimyasal proseslerdir ve metal ve plastik fraksiyonlar için uygulanırlar. Bu çalışma kapsamında mekanik proses dışındaki diğer yöntemler yer almamaktadır [1].



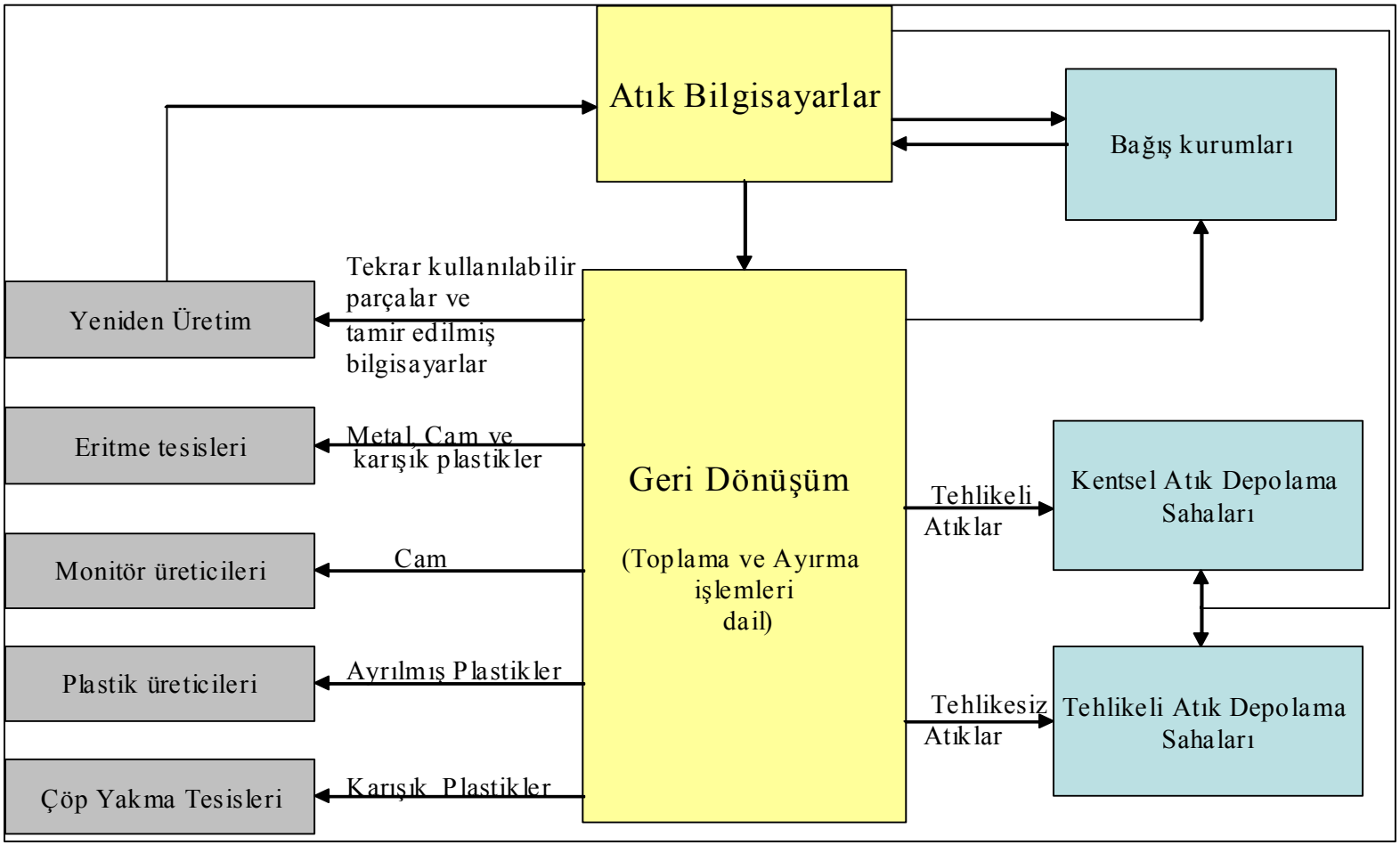
Şekil 3.1 : Elle Demontaj Yöntemi ve Elde Edilen Ürünler



Şekil 3.2 : Mekanik Demontaj Yöntemi ve Elde Edilen Ürünler

3.4 Atık Bilgisayarlara Uygulanan Genel Hazırlama Prosesi

Yukarıdaki şekillerde genel olarak elektronik atıklara uygulanan bertaraf işlemleri gösterilmiştir. Bu adımda ise toplanan bilgisayar atıklarının genel olarak hangi işlemlerden geçirildiği açıklanmaktadır. Burada, toplananan bilgisayarlar ve bilgisayar parçaları öncelikle ön ayırma işleminden geçirilirler. Tekrar kullanılabilir veya tamir edilebilecek durumda olan cihazlar ayrı olarak toplanır. Bu cihazlar genellikle refah düzeyi daha düşük yörelere bağışlanmaktadır. Daha sonraki ayırma işlemlerinde elde edilen tehlikeli atıklar uygun depolama sahalarına gönderilir. Tehlikesiz atıklar ise belediyelerin kentsel atık sahalarında biriktirilmekte ve dolgu malzemesi olarak diğer çöplerle birlikte gömülmektedir. Geri kazanılan metal, cam ve plastikler yüksek fırınlarda eritilerek ikincil hammadde olarak kullanım alanı bulurken, uygun olan camlar monitör üreticilerine, karışık plastikler yanıcı madde olarak enerji elde etmek üzere çöp yakma tesislerine, ayrılmış ve herhangi bir işlem görmeden kullanılabilecek durumdaki plastikler ise plastik üreticilerine gönderilmektedir. Aşağıdaki şekilde bu atık döngüsü açıkça görülmektedir.

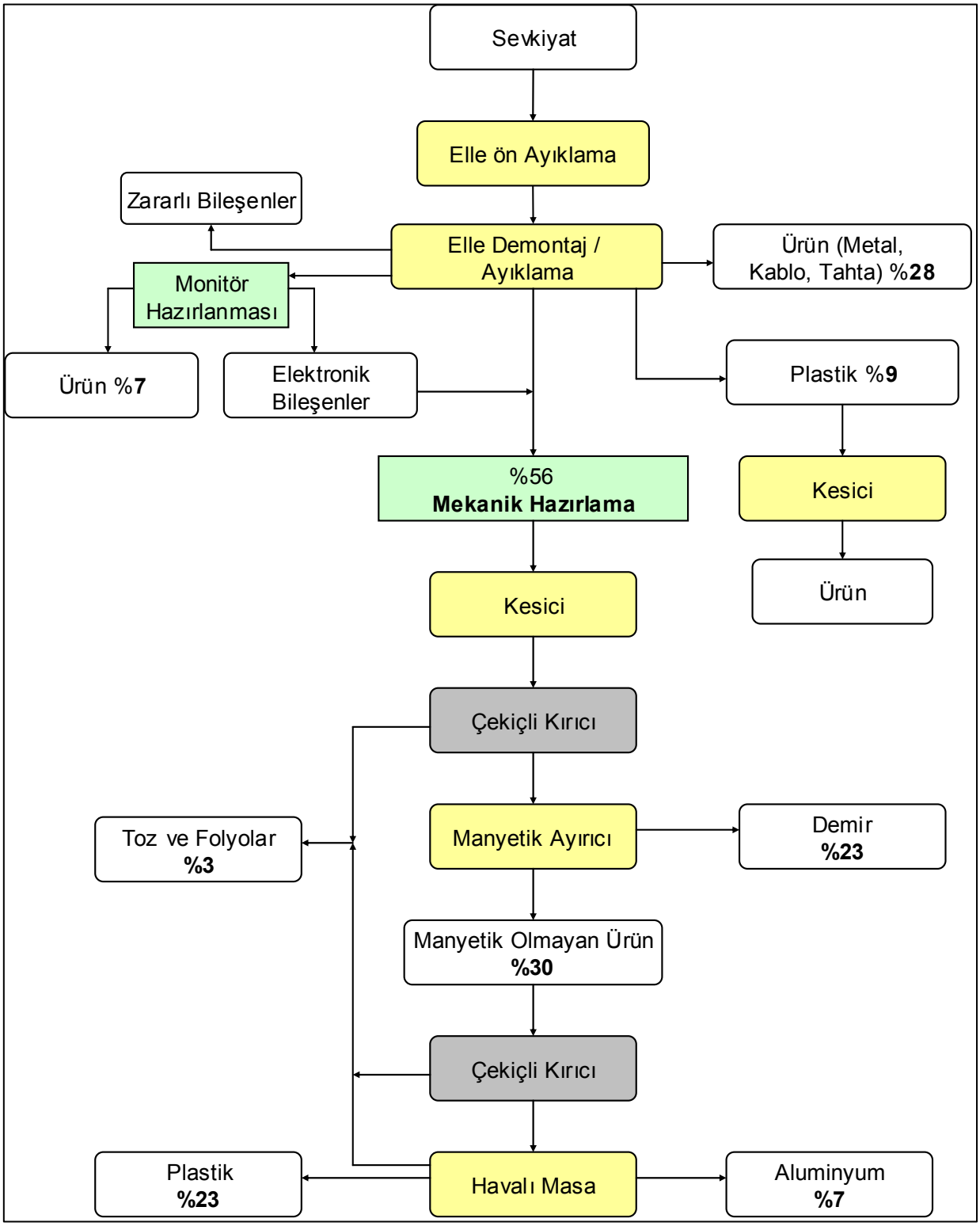


Şekil 3.3 : Atık Bilgisayarların Geri Dönüşümündeki Safhalar [17]

3.5 Elektronik Atık Geri Dönüşümünde Malzeme Balansı ve Mekanik Proses

Bu bölümde elektrik elektronik atıklara uygulanan mekanik geri dönüşüm prosesi açıklanmaktadır. Her adımda açığa çıkan ürün miktarları ve türleri çeşitli kaynaklardan ve bu çalışma kapsamında yapılan deney sonuçlarından yola çıkılarak ortalama olarak hesaplanmıştır.

Bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi mekanik işlem uygulanmadan önce malzeme elle ayıklanarak metal, plastik ve kablo gibi kısımlar ayrılır. Kolay demonte edilebilen elektronik cihazlar ve küçük boyutlu elektrik elektronik aparatlar direkt olarak mekanik cevher hazırlama prosesine tabi tutulabilirler. Bir sonraki şekilde uygulanan prosesin akım şeması görülmektedir. Proseste bir önceki kademe olan elle demontajdan alınan bütün malzeme bir kesici (shredder)' ye beslenmektedir. Amaç malzemenin boyutunu kaba olarak küçültmektir. Kesiciye gönderilen miktar tüm malzemenin %56'sını oluşturmaktadır. Çekiçli kırıcı ile yapılan ikinci bir boyut küçültme işleminden sonra, manyetik ve manyetik olmayan ürünleri birbirinden ayırmak için manyetik ayırma işlemi yapılmaktadır. Buradan elde edilen manyetik ürün olan demir tüm besleme malzemesinin %23'ünü oluşturmaktadır. Giriş malzemesine göre %30 orana sahip olan manyetik olmayan ürünün (aluminyum ve plastik) ise tekrar bir çekiçli kırıcı kademesinden geçirilerek üçüncü kez boyutu küçültülür. Bu adımdan sonra plastik içeren hafif ürünler ile metal içeren ağır ürünlerin birbirinden ayrılması için malzeme havalı masada işlem görmektedir. Boyut küçültme ve havalı masa işlemlerinden bir vakum vasıtasıyla toplanan toz ve folyo gibi ürünler beslemenin %3'ünü oluşturmaktadır [11, 16].



Şekil 3.4 : E-Atık Dönüşümünde Malzeme Balansı

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmaların amacı, elektronik atıkların önemli bir bölümünü teşkil eden eski bilgisayar parçalarından metal ve plastik gibi ikincil hammadde olarak kullanılabilecek değerli mazemelerin kazanılmasıdır. Çalışmalar Almanya'nın Aachen kentinde bulunan RWTH'ya bağlı, "Katı Atık Geri Dönüşüm ve Hazırlanması Enstitüsü"nde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan numune Aachen ve Köln şehirlerinde ofisleri bulunan, elektronik atık ticareti yapan özel bir firmadan temin edilmiştir. Aşağıdaki resimde deney numunesi görülmektedir.



Şekil 4.1 : Deney numunesi

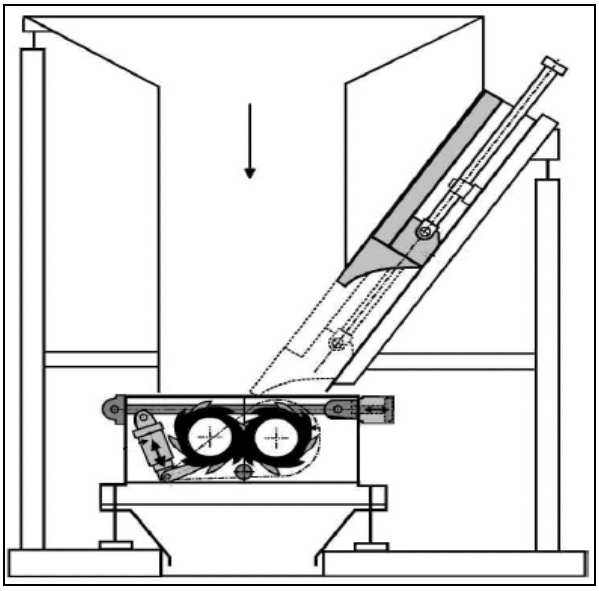
Deneylere konu olan bilgisayar parçaları homojen içeriklidir. Her parça içerisindeki metal ve plastik miktarları aynı orandadır. Bu nedenle herhangi bir numune bölme işlemi yapılmadan, her deneyde 15 klavye ve 15 güç kutusu kullanılmak üzere çeşitli akım şemaları uygulanarak zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Bir klavye ortalama 0,85 kg, bir güç kutusu ise ortalama 1,8 kg ağırlığındadır. Buna göre her deneyde yaklaşık 40 kg numune ile çalışılmıştır. Akım şemalarında görülen "Miktar%"ifadesi her ürünün besleme malzemesine göre elde edilen ağırlıkça oranını, "içerik%" ifadesi ise her ürünün kendi içindeki saflığını ifade etmektedir.

Elde edilen ürünlerin analizleri numune bölme işlemlerinden sonra elle sınıflandırma ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan oranlamalarla besleme malzemesinin tam içeriği ve hangi kademede hangi derecede zenginleşme olduğu geriye dönük olarak hesap edilmiştir.

4.1 Boyut Küçültme İşlemleri

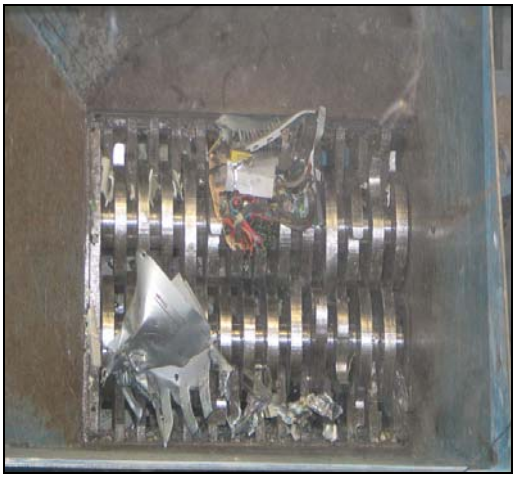
4.1.1 Kesici (Shredder)

Getirilen numunelerin tümü ilk olarak iri boyut küçültme işlemi için Kesiciye beslenmiştir. Bir kesici, birbirine ters yönde dönen, çapları 250-800 mm arasında değişen iki merdaneden oluşmaktadır. Bu merdaneler üzerinde kesme işlemini gerçekleştiren ve makinanın türüne göre sayısı değişen bıçaklar bulunmaktadır. Çalışma prensibi asimetriktir. Bir merdane artı (+) yönde dönerek malzemenin taşınmasını sağlarken, diğerinin eksi (-) yönde dönmesiyle kesme işlemi gerçekleşir. Merdanelerin çevresel hızları 0,3-0,8 m/s arasındadır. Kesicinin malzeme giriş açıklığı 150-250 mm'den 1500-2500 mm'ye kadar çeşitlilik gösterebilir. Herhangi bir çıkış açıklığı yoktur. Elde edilen ürünlerin tane boyutu <100mm / <300 mm arasında değişmektedir. Aşağıda Kesicinin çalışma prensibini gösteren bir taslak verilmiştir.

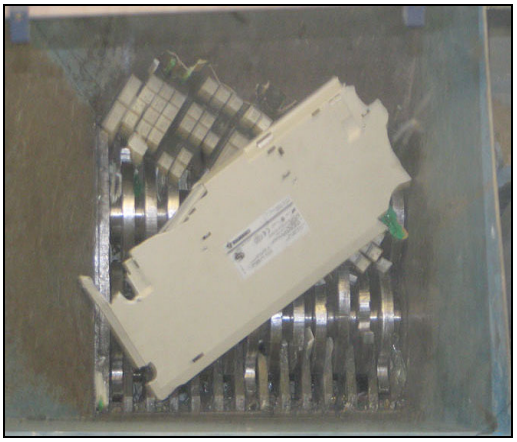


Şekil 4.2 : Kesici Taslak Resmi [10]

Kesme işleminden geçen malzemeler uzun parçlardan oluşmaktadır ve serbestleşme oranı yeterli düzeyde olmadığından ikincil bir boyut küçültme işlemi gerekmektedir. Aşağıdaki resimlerde klavye ve güç kutularının boyut küçültme esnasında çekilen fotoğrafları görülmektedir. Kesiciler elektronik atıktan başka bir çok alanda kullanım alanı bulmaktadır. Ev çöpleri, halılar, textil ürünleri, plastik atıklar, kamyon tekerlekeri, otomobil geri dönüşümü, aluminyum ve çelik levhalar, kimyasal atıklar gibi farklı alanlarda boyut küçültme aracı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.3 : Kesicide Boyut Küçültme İşlemi (Güç Kutusu)



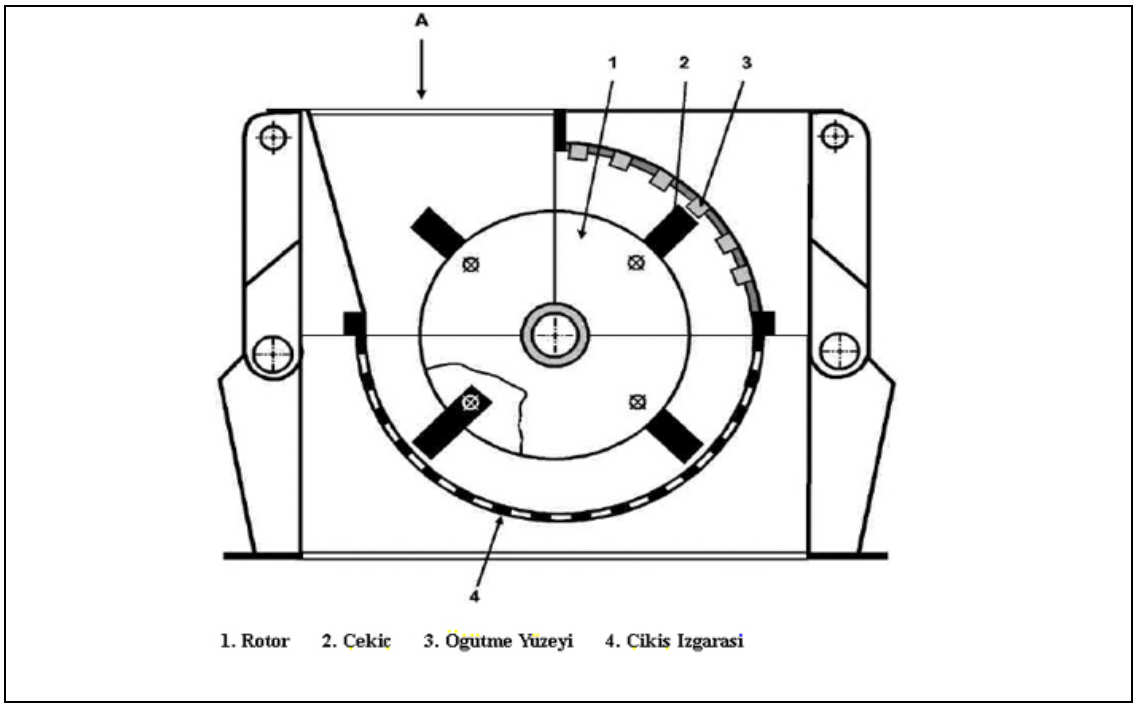
Şekil 4.4 : Kesicide Boyut Küçültme İşlemi (Klavye)

4.1.2 Çekiçli Kırıcı

Bu kısımda, aşağıda resmi görülen, kesiciden çıkmış malzemenin ikincil boyut küçültme işlemi gerçekleşmektedir. Kırıcı, dönen bir bir silindir üzerinde bulunan hareketli çekiçlerden oluşmaktadır. Silindirin çevresel hızı 20-50 m/s arasında değişmektedir. Çıkışta bulunan ızgara, malzemenin istenilen boyuta gelene kadar kırıcı içinde kalmasını sağlar, dolayısıyla ürün boyutunu belirler.



Şekil 4.5 : Kesiciden Alınan Malzeme



Şekil 4.6 : Çekiçli kırıcı [10]

Çekiçli kırıcı içerisinde parçalar çarpma ve kesme etkilerine maruz kalırlar. Çekiçlerin ve dönme yönüne bağlı olarak çekiçlerin karşılarına gelecek şekilde yerleştirilmiş öğünme duvarının etkisiyle çarpma etkisi, malzemenin hızla dönen çekiçler arasında kalması suretiyle de kesme etkisi gerçekleşir. Şekil 4.6'da, bahsedilen kısımlar gösterilmektedir.

Çekiçli kırıcı ile 60, 40 ve 20 mm ızgara çıkış açıklıkları kullanılarak deneyler yapılmıştır. Tüm deneylerde çekiçli kırıcı rotor dönüş hızı 1500 rpm olarak ayarlanmıştır.

4.2 Zenginleştirme ve Ayırma İşlemleri

4.2.1 60mm Altına İndirilmiş Malzeme ile Yapılan Zenginleştirme İşlemleri

Kesici ile boyutu küçültülen <300mm boyutlu malzeme çekiçli kırıcıda 60mm ızgara çıkış açıklığı kullanılarak işleme tabi tutulmuştur. Şekil 4.7'de alınan malzeme görülmekterdir. Çekiçli kırıcıda meydana gelen diğer bir ürün ise kırma işlemi sırasında klavyelerin içinde yer alan folyolar ve genel olarak oluşan tozdur. Bu hafif ürünler bir vantilatör vasıtasıyla kırıcı üzerine monte edilen bir plastik boru ile vakumlanmış ve ayrı bir bölmede toplanmıştır. Hali hazırda bu ürün içerisindeki kayıp değerli metal miktarı bir doktora çalışması kapsamında incelenmektedir. Şekil 4.8'de toz ve folyolar gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : Çekiçli Kırıcıdan Alınan Ürün-60 mm Izgara Açıklığı

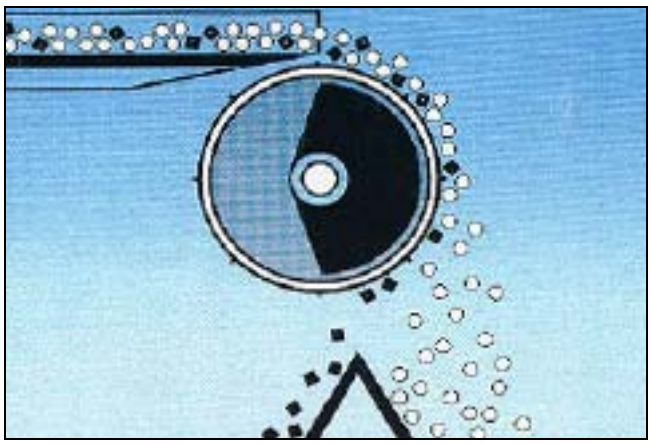
Bir sonraki kademede bu malzemenin içindeki manyetik özellik gösteren metalleri ayırmak için manyetik ayırıcı kullanışmıştır. Kullanılan manyetik ayırıcı ve alınan ürünler aşağıdaki kısımda görülmektedir.



Şekil 4.8 : Çekiçli Kırıcıdan Alınan Toz ve Folyolar

4.2.1.1 Manyetik Ayırıcı

Boyut küçültme işlemlerinin ardından çeşitli kısımlarda malzeme içerisindeki demiri ve manyetik olmayan ürünü ayırmak için tamburlu manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Aşağıdaki şekilde kullanılan tamburlu manyetik ayırıcı ve ayırma prensibi görülmektedir.



Şekil 4.9 : Manyetik ayırıcı [10]

Tromel manyetik ayırıcılar ağırlıklı olarak küçük ve orta büyüklükteki taneleri (150mm'ye kadar) ayırmada kullanılmaktadırlar. Dayanıklı bir tromel içerisinde bulunan bir manyetik sistemden oluşmaktadır.

Tromel, bu magnet sistemin etrafında dönmektedir. Besleme titreşimli bir bant aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin en önemli avantajı, güçlü manyetik özellik gösteren parçaların manyetik alanın en güçlü olduğu bölgeye direkt olarak girmeleri ve böylece daha zayıf manyetik özellik gösteren ve küçük boyutlu parçaların da kolaylıkla ayrılabilmesidir. Bu tür manyetik ayırıcılar çoğunlukla otomobil geri dönüşümü tesislerindeki kesme makinalarının hemen ardından metal kazanımı için kullanılmaktadır.

Manyetik ayırma işleminden sonra besleme malzemesine göre ağırlıkça %46,23 oranında, %96,2 saflıkta manyetik ürün ve ağırlıkça %53,27 oranında manyetik olmayan ürün elde edilmektedir. Şekil 4.10 ve 4.11'de bu ürünler görülmektedir. Manyetik olmayan ürün çoğunlukla plastikten oluşmaktadır ve zenginleştirme işlemine bu ürün ile devam edilmiştir. 20mm ızgara çıkış açıklıklı çekiçli kırıcı ile bir kademe daha boyut küçültüldükten sonra havalı masa ile plastikler, daha ağır olan metal ve kablolardan ve daha hafif olan folyolardan ayrılmıştır. Sonraki kısımda havalı masa çalışma prensibi açıklanmıştır.



Şekil 4.10 : Manyetik ayırıcıdan alınan manyetik ürün



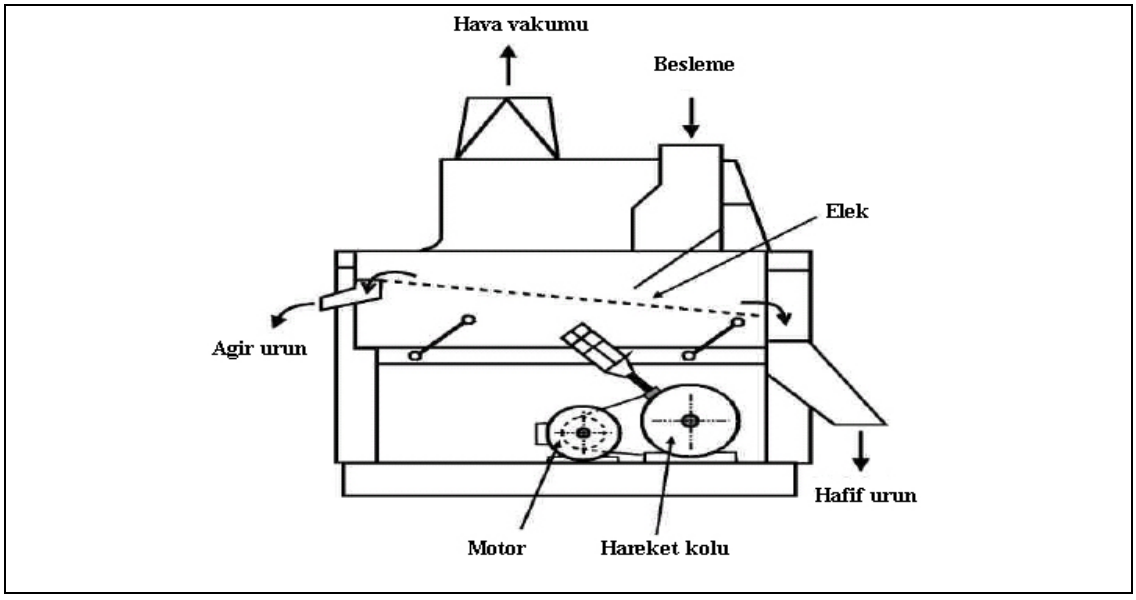
Şekil 4.11 : Manyetik ayırıcıdan alınan manyetik olmayan ürün

4.2.1.2 Havalı Masa

Havalı masa asıl olarak cevherlerden çok küçük boyutlu tanelerin ayrılması için geliştirilmiştir. Bunula birlikte, katı atık proseslerinde de geniş olarak kullanılmaktadır. Geri dönüşüm proseslerinde başlıca kullanım alanları ise şöyledir;

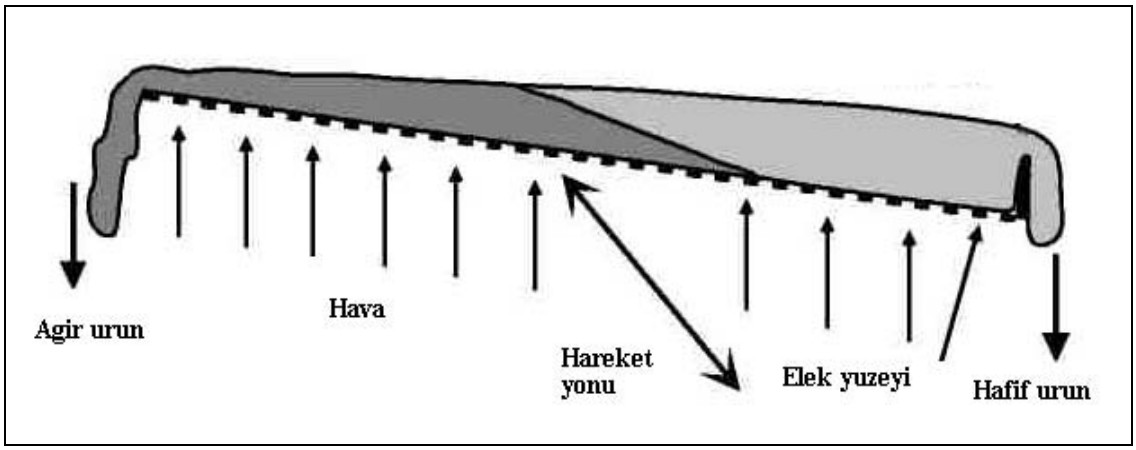
- Kablo ve elektronik atıklardan metal geri kazanımı
- Kırılmış PVC ve pencerelerden cam geri kazanımı
- Gübreden cam ve taşların ayrılması

Prensip olarak havalı masalar altından hava akımı verilen eğimli ve titreşimli bir elekten ibarettir. Elek yüzeyinin salınım hareketi ekzantrik mil vasıtasıyla sağlanmakta ve elek, ağır ürünün çıkış yönünde hareket yapmaktadır. Vantilatör yardımıyla üretilen hava, elek açıklıklarından yukarı doğru geçecek şekilde ortama üflenir. Besleme yaklaşık olarak elek yüzeyinin ortasına denk gelmektedir. Hava akımının uygun değerde ayarlanması ile ağır malzemeler elek yüzeyi ile temas halinde olur ve sürtünmenin de etkisiyle elek hareket yönünde meyil yukarı ilerleyerek ortamı terk eder. Hafif malzemeler ise hava akımıyla yükselerek sürtünmeye maruz kalmadan meyil aşağı hareket ederek ortamdan uzaklaşır. Yapılan deneylerde hava miktarı her deney için optimum olarak ayarlanmıştır. Şekil 4.12'de havalı masa genel hatlarıyla açıklanmıştır.



Şekil 4.12 : Havalı Masa [10]

Havalı masanın üst kısmında bir baca bulunmakta ve bu açıklıktan vantilatör yardımıyla toz ve folyo gibi hafif malzemeler emilerek ayrılmaktadır. Çalışma prensibi Şekil 4.13'te açıkça gösterilmektedir. Zenginleştirilecek malzeme, beslendikten sonra hava akımı yoluyla yoğunluk farkına göre iki ana ürüne ayrılmaktadır. Aşağıdaki şekilde elek yüzeyi, etkiyen kuvvetler ve malzemenin elek üzerindeki davranışı detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 4.13 : Havalı masa çalışma prensibi

Zenginleştirme işlemlerinden üç farklı ürün elde edilmektedir. Bunlar ; metal içeriği yüksek olan ağır ürün, plastik ve kablo içeriği yüksek olan hafif ürün ve çekiçli kırıcıda olduğu gibi vakum yoluyla alınan toz ve folyolardır. Aşağıdaki resimlerde bu ürünler görülmektedir.



Şekil 4.14 : Havalı masa ağır ürünü



Şekil 4.15 : Havalı masa hafif ürünü



Şekil 4.16 : Havalı masadan alınan toz ve folyolar

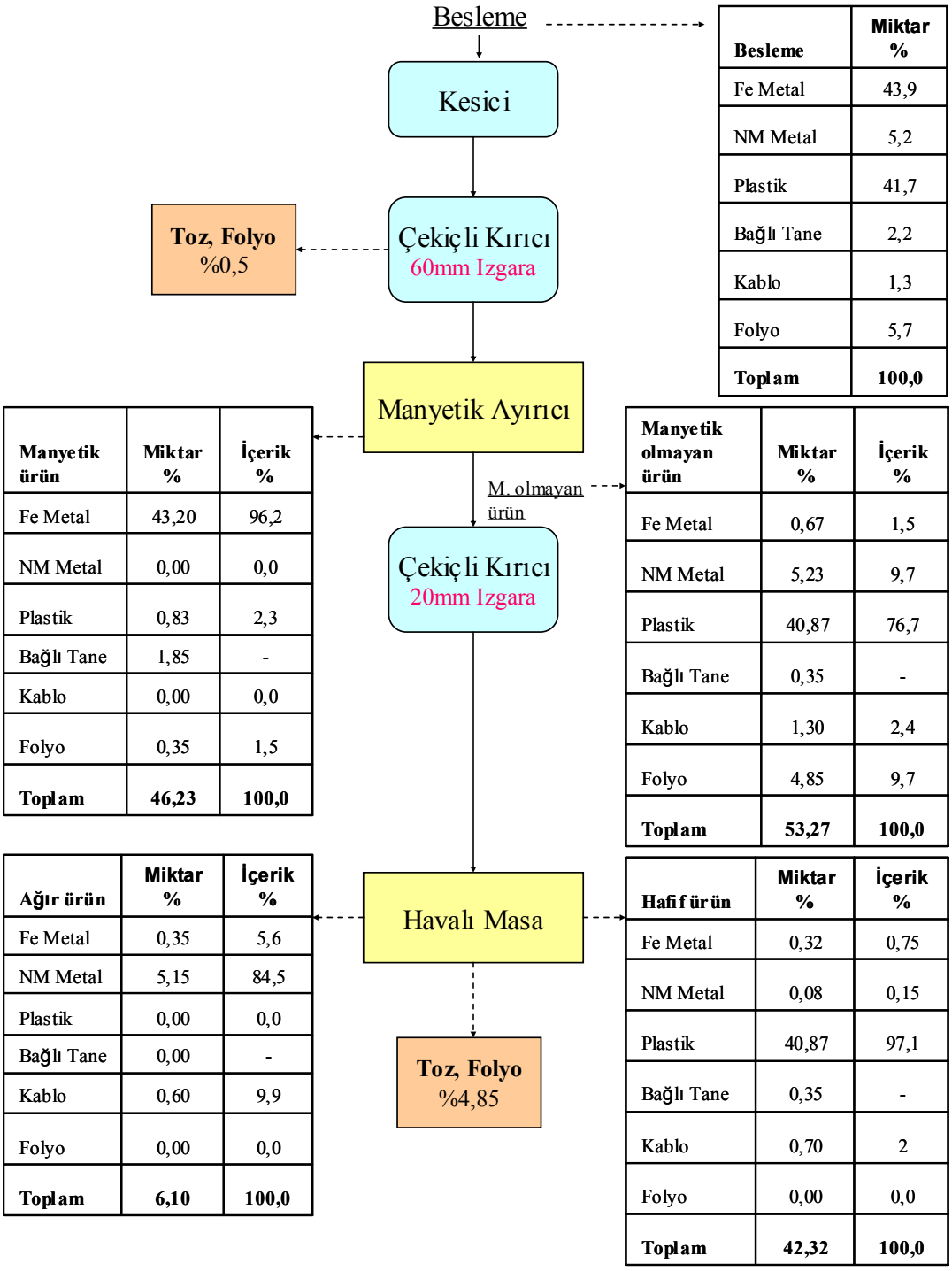
Havalı masanın verimli çalışabilmesi için elek şeklinde olan yatak üzerinde sürekli olarak ince bir malzeme tabakasının varlığı korunmalıdır. Aksi taktirde hava, az malzeme bulunan bölgelerde etkisini daha çok gösterecektir ve homojen bir ayırma sağlanamayacaktır. Havalı masada yapılan deneylerde malzemedeki kabloların malzeme yatağı üzerinde topaklanması sorunu gözlenmiştir. Topaklanan bu kablolar ağırlıkları ve elek yüzeyine takılmaları nedeniyle sistemi terk edememektedir.

Aşağıdaki fotoğrafta deney sonunda havalı masa elek yüzeyinden alınan bu kablolar görülmektedir.



Şekil 4.17 : Havalı Masa Elek Yüzeyinde Topaklanmış Kablolar

Havalı masada uygulanan hava miktarı sabit ve yaklaşık 12,5m/s'dir. Şekil 4.14'te görülen, besleme malzemesine göre %6,1 miktarındaki havalı masa ağır ürünü %84,5 manyetik olmayan metal, %5,6 demir ve %9,9 bakır kablo içermektedir. %42,32 miktarındaki hafif ürün ise %97,1 saflıkta plastik içermektedir. Şekil 4.18'de, uygulanan akım şeması ve her kademede elde edilen ürünlerin miktar ve analizleri gösterilmektedir.



Besleme	Miktar %
Fe Metal	43,9
NM Metal	5,2
Plastik	41,7
Bağlı Tane	2,2
Kablo	1,3
Folyo	5,7
Toplam	**100,0**

Manyetik ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	43,20	96,2
NM Metal	0,00	0,0
Plastik	0,83	2,3
Bağlı Tane	1,85	-
Kablo	0,00	0,0
Folyo	0,35	1,5
Toplam	**46,23**	**100,0**

Manyetik olmayan ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	0,67	1,5
NM Metal	5,23	9,7
Plastik	40,87	76,7
Bağlı Tane	0,35	-
Kablo	1,30	2,4
Folyo	4,85	9,7
Toplam	**53,27**	**100,0**

Ağır ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	0,35	5,6
NM Metal	5,15	84,5
Plastik	0,00	0,0
Bağlı Tane	0,00	-
Kablo	0,60	9,9
Folyo	0,00	0,0
Toplam	**6,10**	**100,0**

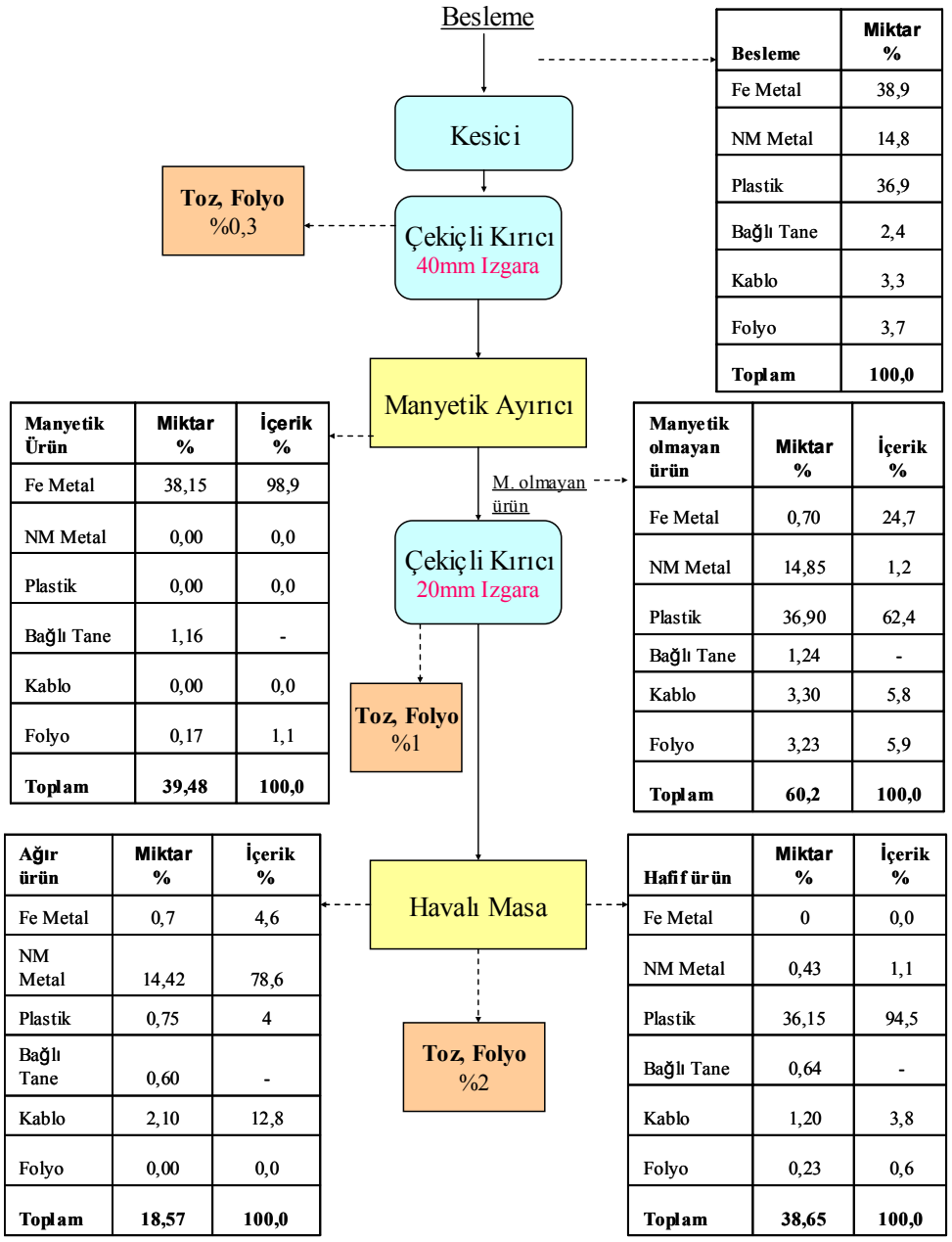
Hafif ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	0,32	0,75
NM Metal	0,08	0,15
Plastik	40,87	97,1
Bağlı Tane	0,35	-
Kablo	0,70	2
Folyo	0,00	0,0
Toplam	**42,32**	**100,0**

Şekil 4.18 : Akım Şeması 1

Besleme malzemesindeki bağlı tanelerin büyük bir bölümünün elde edilen manyetik üründe olduğu görülmektedir. Bunun nedeni birinci kademedeki çekiçli kırıcı çıkış açıklığının büyük (60mm) olmasıdır. Yeterli derecede malzeme serbestleşmesi gerçekleşmemiştir. Bu sorunu gidermek amacıyla aynı akım şemasında birincil kırmada 40mm çıkış açıklıklı ızgara kullanılmıştır.

4.2.2 40mm Altına İndirilmiş Malzeme ile Yapılan Zenginleştirme İşlemleri

Burada kesme işleminden sonra gelen birinci kırma kademesinde 40mm açıklıklı ızgara kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyin bundan sonraki adımları şekil 4.18'de görülen akım şeması 1'deki ile aynıdır. Besleme malzemesine göre %39,48 miktarında elde edilen manyetik ürün %98,9 oranında demir ve %1,1 oranında da folyo içermektedir. Deney sonucunda elde edilen %38,65 miktarındaki hafif ürün ise %94,5 oranında plastik içermektedir.



Besleme	Miktar %
Fe Metal	38,9
NM Metal	14,8
Plastik	36,9
Bağlı Tane	2,4
Kablo	3,3
Folyo	3,7
Toplam	**100,0**

Manyetik Ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	38,15	98,9
NM Metal	0,00	0,0
Plastik	0,00	0,0
Bağlı Tane	1,16	-
Kablo	0,00	0,0
Folyo	0,17	1,1
Toplam	**39,48**	**100,0**

Manyetik olmayan ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	0,70	24,7
NM Metal	14,85	1,2
Plastik	36,90	62,4
Bağlı Tane	1,24	-
Kablo	3,30	5,8
Folyo	3,23	5,9
Toplam	**60,2**	**100,0**

Ağır ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	0,7	4,6
NM Metal	14,42	78,6
Plastik	0,75	4
Bağlı Tane	0,60	-
Kablo	2,10	12,8
Folyo	0,00	0,0
Toplam	**18,57**	**100,0**

Hafif ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	0	0,0
NM Metal	0,43	1,1
Plastik	36,15	94,5
Bağlı Tane	0,64	-
Kablo	1,20	3,8
Folyo	0,23	0,6
Toplam	**38,65**	**100,0**

Şekil 4.19 : Akım Şeması 2



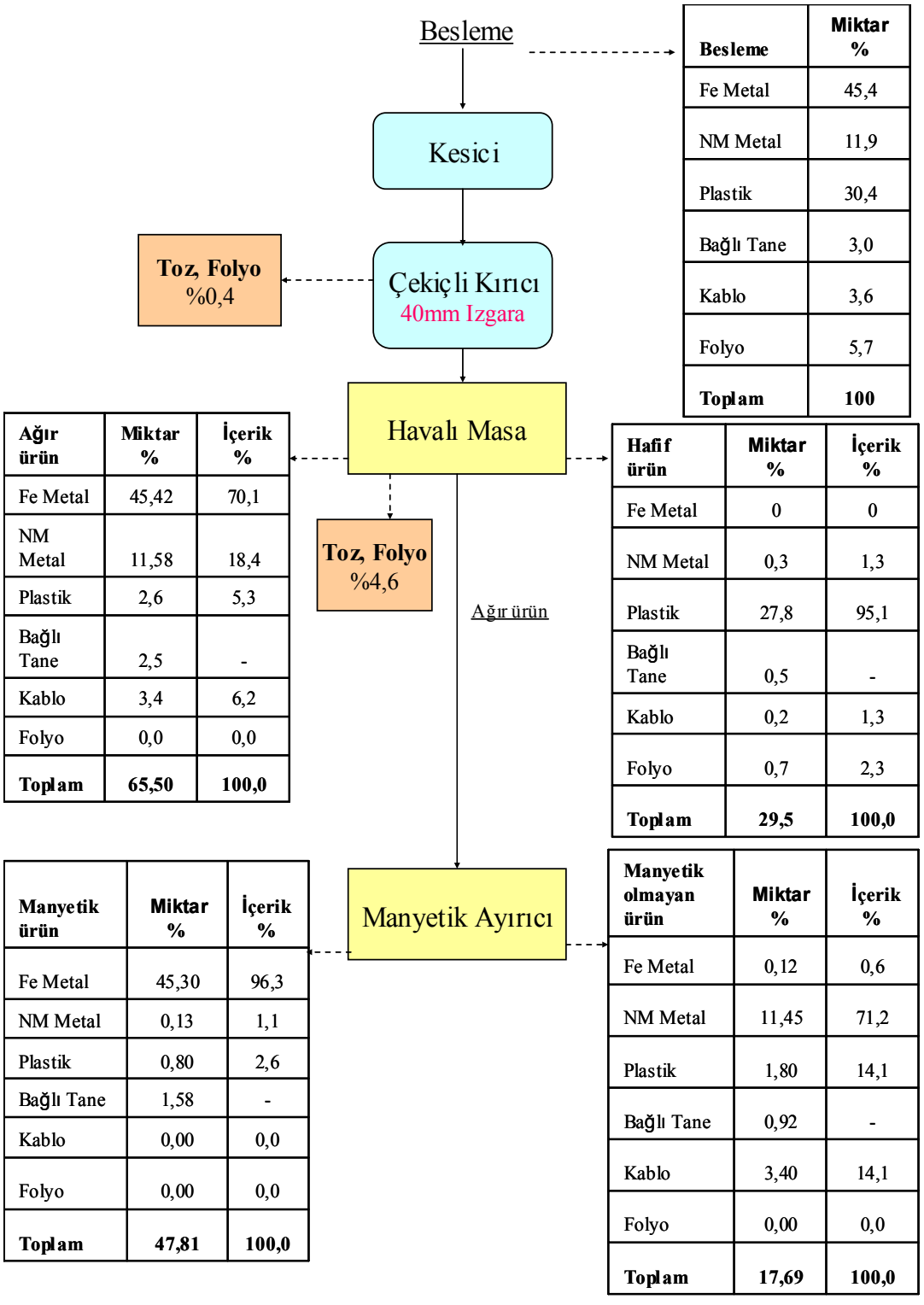
Şekil 4.20 : Akım Şeması 2 Manyetik Ürünü



Şekil 4.21 : Akım Şeması 2 Hafif Ürün (Plastik)

Akım şeması 2'de elde edilen %18,57 miktarındaki ağır ürün, şekil 4.19'da da görülebileceği gibi %78,6 oranında manyetik olmayan metal ve %12,8 oranında kablo içermektedir. Bir sonraki adımda, işlem sayısını azaltmak amacıyla birinci kademe kırma işleminden sonra malzeme direkt olarak havalı masaya beslenmiştir. İkinci bir kırma gerçekleştirilmemiştir. Çalışmanın başında da vurgulandığı üzere amaç basit ve ekonomik bir cevher hazırlama prosesi ortaya koymaktır.

Havalı masadan elde edilen %29,5 miktarındaki hafif ürün %95,1 saflıkta plastik içermektedir. Giriş malzemesinin %65,5'ini oluşturan ağır üründe ise manyetik ve manyetik olmayan metaller birlikte bulunduğundan bu ürün bir manyetik ayırma işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 4.22'de uygulanan akım şeması görülmektedir.



Besleme	Miktar %
Fe Metal	45,4
NM Metal	11,9
Plastik	30,4
Bağlı Tane	3,0
Kablo	3,6
Folyo	5,7
Toplam	**100**

Ağır ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	45,42	70,1
NM Metal	11,58	18,4
Plastik	2,6	5,3
Bağlı Tane	2,5	-
Kablo	3,4	6,2
Folyo	0,0	0,0
Toplam	**65,50**	**100,0**

Hafif ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	0	0
NM Metal	0,3	1,3
Plastik	27,8	95,1
Bağlı Tane	0,5	-
Kablo	0,2	1,3
Folyo	0,7	2,3
Toplam	**29,5**	**100,0**

Manyetik ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	45,30	96,3
NM Metal	0,13	1,1
Plastik	0,80	2,6
Bağlı Tane	1,58	-
Kablo	0,00	0,0
Folyo	0,00	0,0
Toplam	**47,81**	**100,0**

Manyetik olmayan ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	0,12	0,6
NM Metal	11,45	71,2
Plastik	1,80	14,1
Bağlı Tane	0,92	-
Kablo	3,40	14,1
Folyo	0,00	0,0
Toplam	**17,69**	**100,0**

Şekil 4.22 : Akım Şeması 3

Akım şeması 3'te elde edilen manyetik üründe hiç toz ve folyo bulunmadığı dikkat çekmektedir. Bunun nedeni ise manyetik ayırıcının havalı masadan sonra kullanılmış olmasıdır. Çekiçli kırıcıda vakum yardımıyla hafif ürünler sistemden ayrılmaktadır ancak bu yeterli miktarda değildir. Havalı masada da bir vakum sistemi bulunduğundan malzeme iki kez ard arda vakum edilerek oluşan toz ve folyolardan temizlenmiştir.

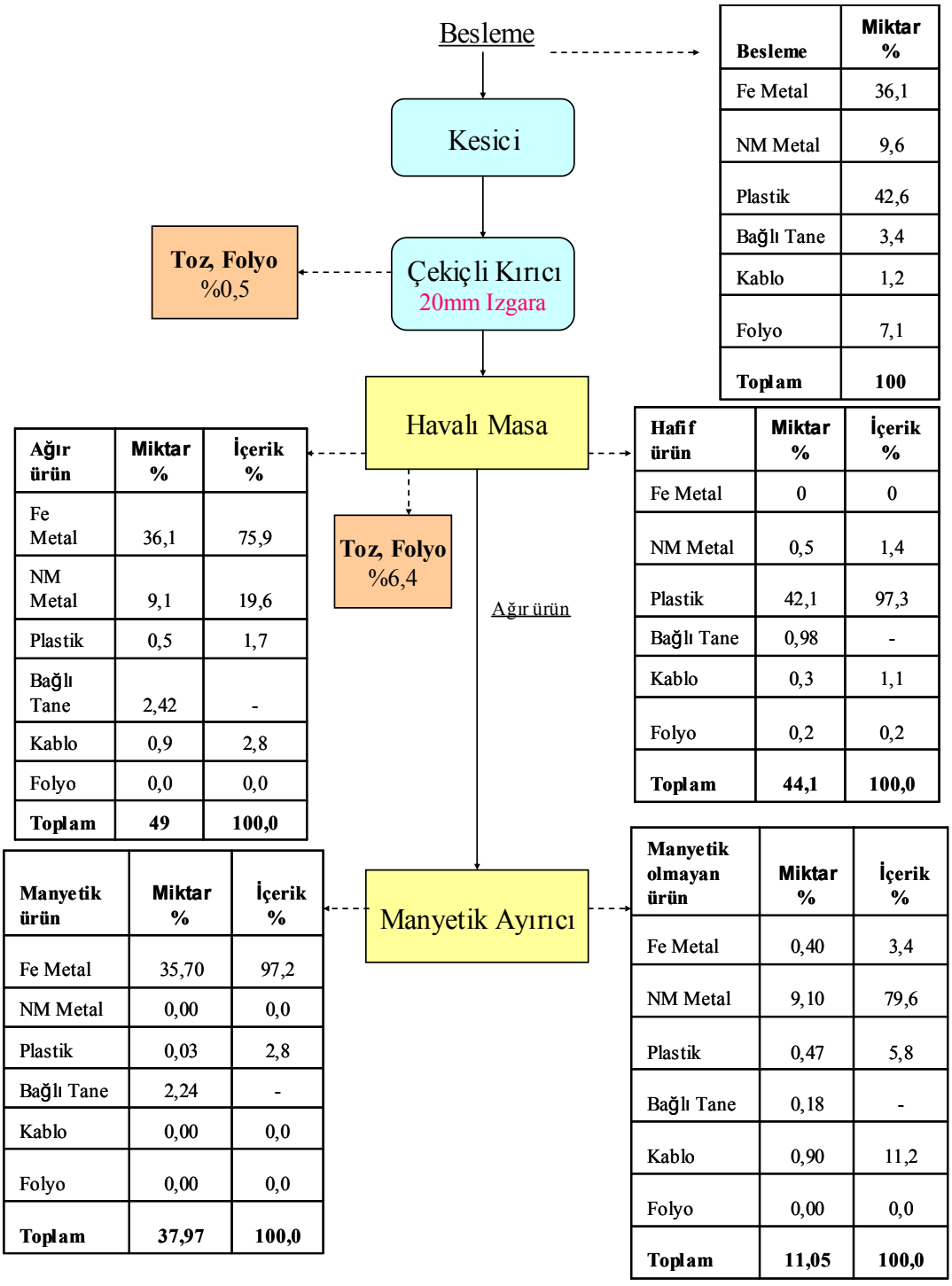
4.2.3 20mm Altına İndirilmiş Malzeme ile Yapılan Zenginleştirme İşlemleri

Bir önceki şekilde de görüleceği üzere havalı masadan elde edilen ağır ürün %2,5 bağlı tane içermektedir. Besleme malzemesindeki bağlı tane oranının %3 olduğu düşünülürse bu oldukça yüksek bir değerdir. Çalışmanın bundan sonraki adımında bu sorun göz önünde bulundurularak 20mm açıklıklı çıkış ızgarası kullanılmıştır. Uygulanan akım şeması şekil4.24'te görülmektedir.

Burada küçük ızgara çıkış açıklığı kullanıldığında, malzemenin kırıcı içinde kalma süresi artmaktadır. Izgara çıkış boyutu altına inmeyen malzeme sürekli olarak kırıcı içinde kaldığından öğünme devam etmekte ve sürtünme etkisiyle ısı açığa çıkmaktadır. Bu sebeple ısınan metal parçaları plastik üzerine yapışmakta ve şekil 4.23'te görülen bağlı taneler meydana gelmektedir. Bu taneler daha sonra uygulanan manyetik ayırıcıda metal aksamın manyetik özelliği nedeniyle manyetik ürün içerisine gelmektedir. Böyleliklle manyetik üründeki metal içeriği beklenenden az olacaktır.



Şekil 4.23 : Bağlı Taneler



Besleme	Miktar %
Fe Metal	36,1
NM Metal	9,6
Plastik	42,6
Bağlı Tane	3,4
Kablo	1,2
Folyo	7,1
Toplam	**100**

Ağır ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	36,1	75,9
NM Metal	9,1	19,6
Plastik	0,5	1,7
Bağlı Tane	2,42	-
Kablo	0,9	2,8
Folyo	0,0	0,0
Toplam	**49**	**100,0**

Hafif ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	0	0
NM Metal	0,5	1,4
Plastik	42,1	97,3
Bağlı Tane	0,98	-
Kablo	0,3	1,1
Folyo	0,2	0,2
Toplam	**44,1**	**100,0**

Manyetik ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	35,70	97,2
NM Metal	0,00	0,0
Plastik	0,03	2,8
Bağlı Tane	2,24	-
Kablo	0,00	0,0
Folyo	0,00	0,0
Toplam	**37,97**	**100,0**

Manyetik olmayan ürün	Miktar %	İçerik %
Fe Metal	0,40	3,4
NM Metal	9,10	79,6
Plastik	0,47	5,8
Bağlı Tane	0,18	-
Kablo	0,90	11,2
Folyo	0,00	0,0
Toplam	**11,05**	**100,0**

Şekil 4.24 : Akım Şeması 4

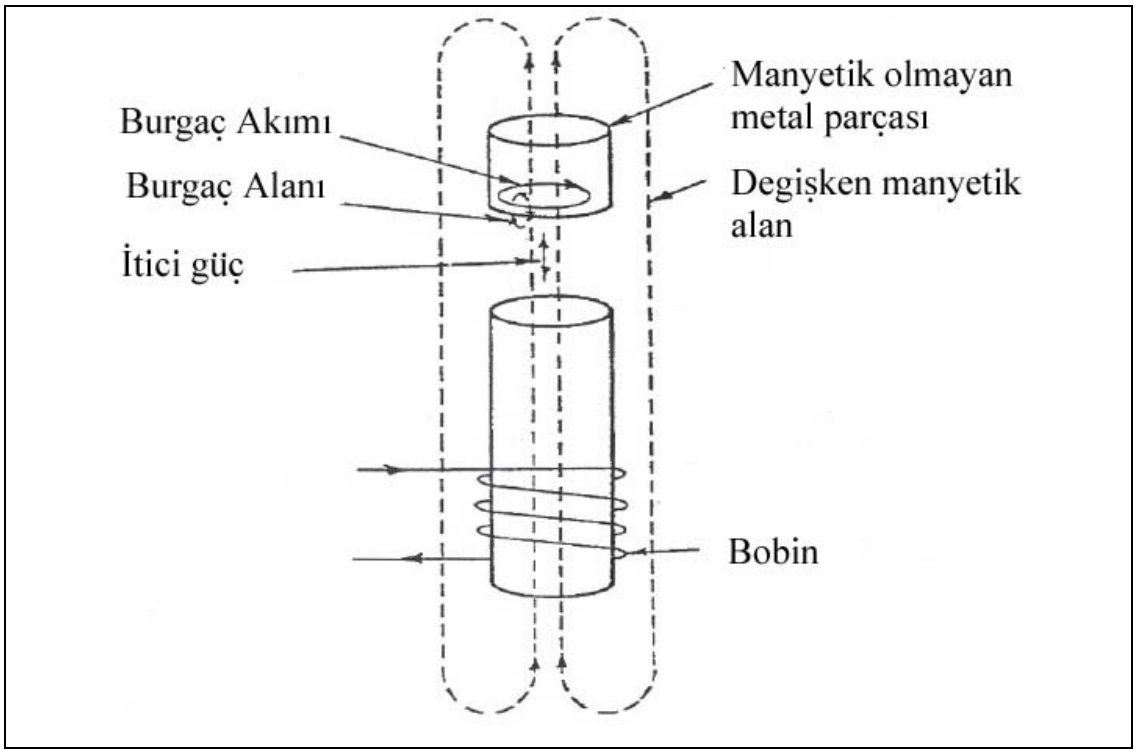
Akım şeması 4'ten farklı olarak manyetik ayırıcının havalı masan önce, yani kırma işleminden hemen sonra kullanıldığı durumda elde edilen manyetik üründe ağırlıkça %22,8 toz ve folyo bulunmaktadır. Bunun sebebi ızgara açıklığının küçük olması nedeniyle fazla toz ve folyo açığa çıkması ve kırma sistemine eklenen vakumun yetersiz kalmasıdır.

4.2.4 Alternatif Zenginlştirme Yöntemleri

Buraya kadar uygulanan akım şemalarında havalı masadan elde edilen hafif ürünlerde ağırlıkça %1,1 metal ve %3,8 bakır kablo olmak üzere toplam %4,9 kadar metal içeriği görülmektedir. Bu, işlemler sırasında kaybedilen manyetik olmayan metal üründür. Bu bölümde plastik ürün yanında kayıp olan metal ürünün geri kazanılabilirliği araştırılmıştır. Deney numunesi olarak akım şeması 2'de elde edilen hafif ürün kullanılmıştır.

4.2.4.1 Burgaç Akımları ile Ayırma (Eddy Current)

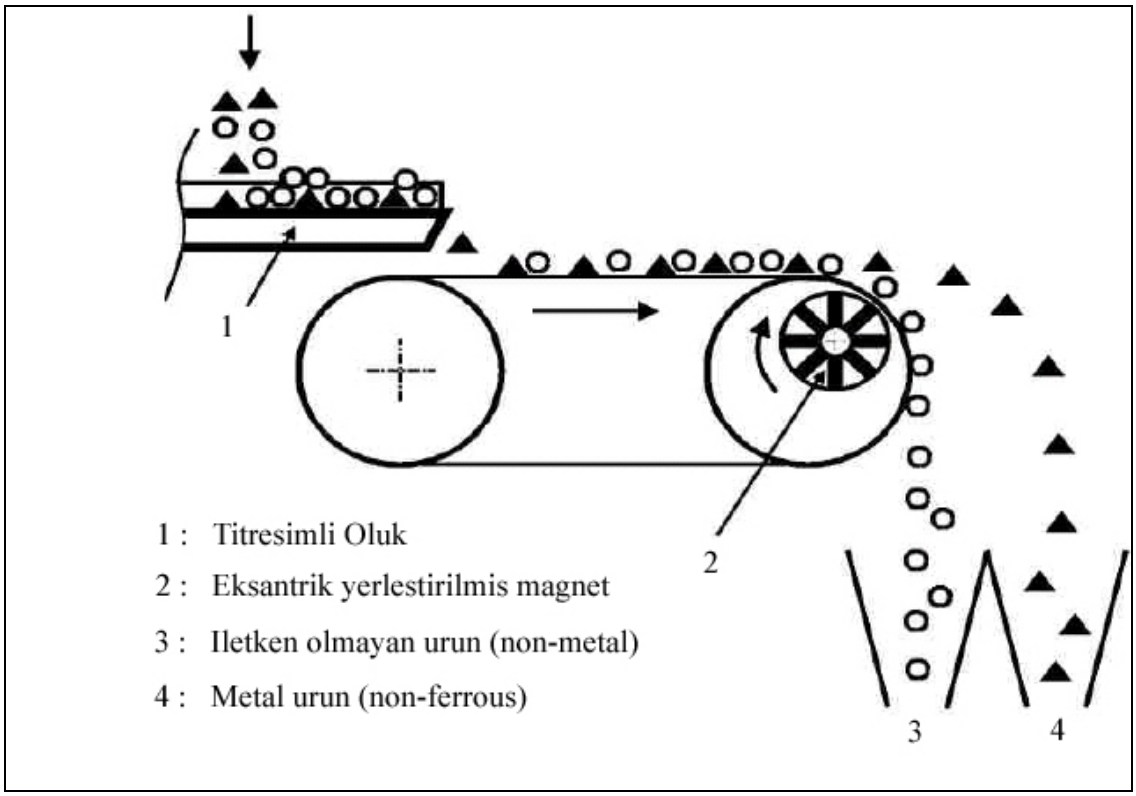
Burgaç akımları ayırıcıları çoğunlukla geri dönüşüm proseslerinde manyetik olmayan metallerin selektif olarak geri kazanılmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem temel olarak, bir alternatif akım bobini vasıtasıyla oluşturulan değişken manyetik alanın elektrik iletkenliği olan parçalar üzerinde dairesel girdap akımlarını endüklemesi prensibine göre çalışır. Endüklenenen bu girdap akımları, bobindeki manyetik alana ters yönde ikinci bir manyetik alan meydana getirir. Böylece iki manyetik alanın birbirini itici kuvvetleri kullanılarak manyetik özellik göstermeyen metallerin, elektrik iletkenliği kötü olan malzemelerden ayrılması sağlanır. Aşağıdaki şekilde bu burgaç akımlarının oluşma prensibi detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 4.25 : Burgaç akımları Oluşumu [10, 11]

Bu proseste uygulanabilecek malzeme boyutu 3-150mm arasında değişmektedir. Tane boyut aralığı ne kadar küçük olursa ayırma işleminin verimi de o kadar artacaktır. En küçük ve en büyük tane boyutu arasındaki oran 1/5 olmalıdır. Ayırmaya etki eden parametreler arasında parçanın yüzey alanı ve şekli çok büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bakır kablo gibi ürünler bu yöntemle zenginleştirilmeye uygun değildir. Aynı şekilde elektrik iletkenliğinin yüksek olması ayırmada pozitif rol oynamaktadır. Bir diğer önemli husus ise manyetik alanın malzeme akışına yakınlığı, yani yüzey alanın büyüklüğüdür. Parçaya etki eden itici kuvvet bu alanın karesiyle doğru orantılı olarak artar.

'Eddy Current' ayırıcılarının çalışma prensibi şekil 4.26'da gösterilmektedir. Yüksek hızlarda dönebilen bir magnet bant konveyörün baştaki tamburuna monte edilmiştir. Bu magnet, kendi çevresinde sürekli değişken bir manyetik alan oluşturur ve deneylerde kullanılan ayırıcıda da olduğu gibi eksantrik ya da eş merkezli olarak tambura bağlanabilir. Tablo 4.1'de bu ayırıcının teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil 4.26 : Burgaç Akımları Ayırıcısı Yapısı [10]

Tablo 4.1 : Eddy Current ayırıcıları teknik özellikleri

Özellikler	**Burgaç akımları ayırıcısı**
Besleme genişliği	450-2000 mm
Bant hızı	1,0-2,5 m/s
Manyetik alan frekansı	400-1000 cps (24000-60000 RPM)
Kapasite	5-20 m^3/h

Besleme daima titreşimli oluk yardımıyla ve yavaşça yapılmalıdır. Manyetik alanın her taneye ayrı ve efektif olarak etki edebilmesi için parçalar bant üzerinde eşit olarak ve tek tabaka halinde yayılmalıdırlar. Malzeme çıkışı ayarlanabilir bir ayırıcı plaka yardımıyla gerçekleştirilir. Bu plakanın fazla eğik, yukarıdaki şekile göre sola yatık olması iletken olmayan ürünün metal ürüne karışmasına sebep olabilir.

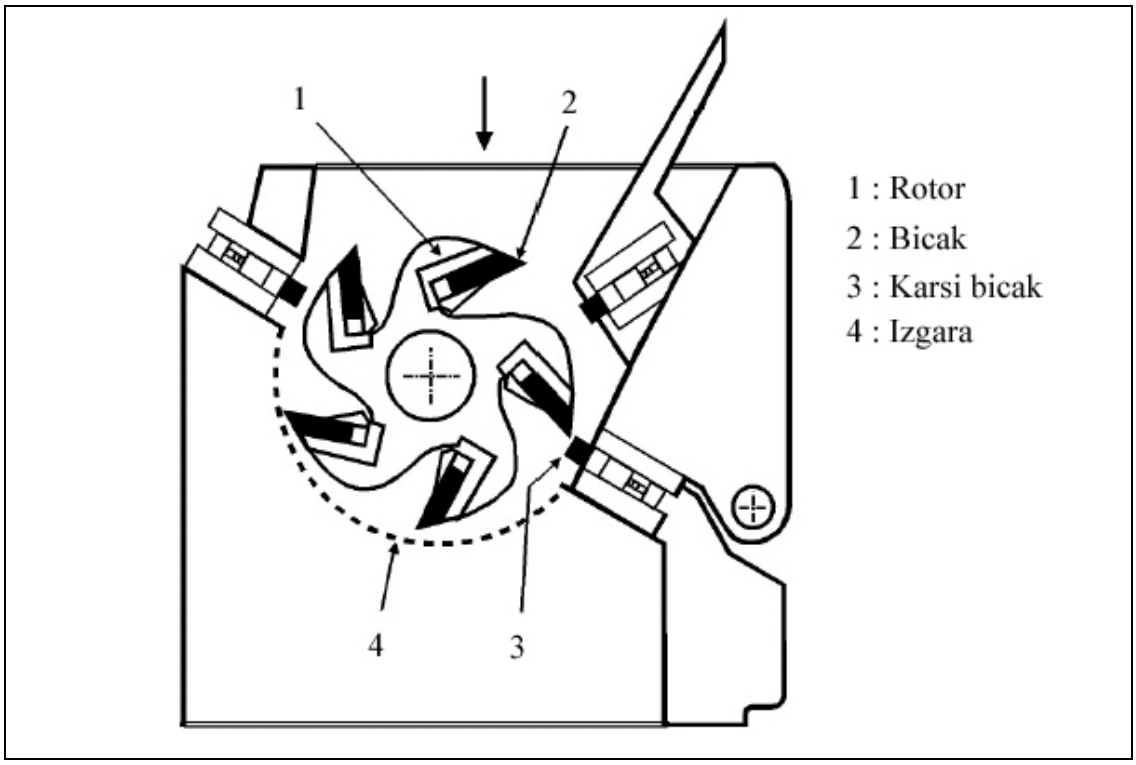
Bunun tam tersi durumda ise manyetik alan tarafından fırlatılan metal ürün, iletken olmayan malzemede safsızlık meydana getirecektir. Bu nedenle malzeme, belirli bir bant hızında ve magnet kapalı konumdayken makinadan bir kere geçirilerek ayırıcı plakanın konumu ayarlanır. Plaka, parçaların uçuş yörüngesine teğet gelecek şekilde ayarlanır. Aynı şekilde magnetin dönüş hızı da, oluşan manyetik alanı etkileyeceğinden ayırmayı etkileyen önemli parametrelerden biridir. Prosese engel olacak manyetik ürün, işlem öncesinde tromel manyetik ayırıcı ile ayrılmıştır.

Burgaç akımları ayırıcısı ile yapılan deneylerde ekonomik bir zenginleştirme gerçekleştirilememiştir. Besleme malzemesinin yüzey alanı küçük ve hafif metallerle birlikte bakır kablolar içermesi bunun nedenidir. Manyetik alanların oluşturduğu itme kuvveti metal parçalarını yeteri kadar uzağa fırlatamamaktadır. Bakır kablolar üzerinde ise yeterli yüzey alanı olmadığından herhangi bir girdap akımı endüklenmesi söz konusu değildir.

4.2.4.2 Elektrostatik Ayırma

Uygulanan bu yöntemde havalı masadan alınan hafif ürünün elektrostaik ayırıcıda ayrılabilmesi için bir boyut küçültme işlemi gerekmektedir. Malzeme <20mm boyutundadır ve bir kesme değirmeni (cutting mill) ile 4mm altına indirilmiştir.

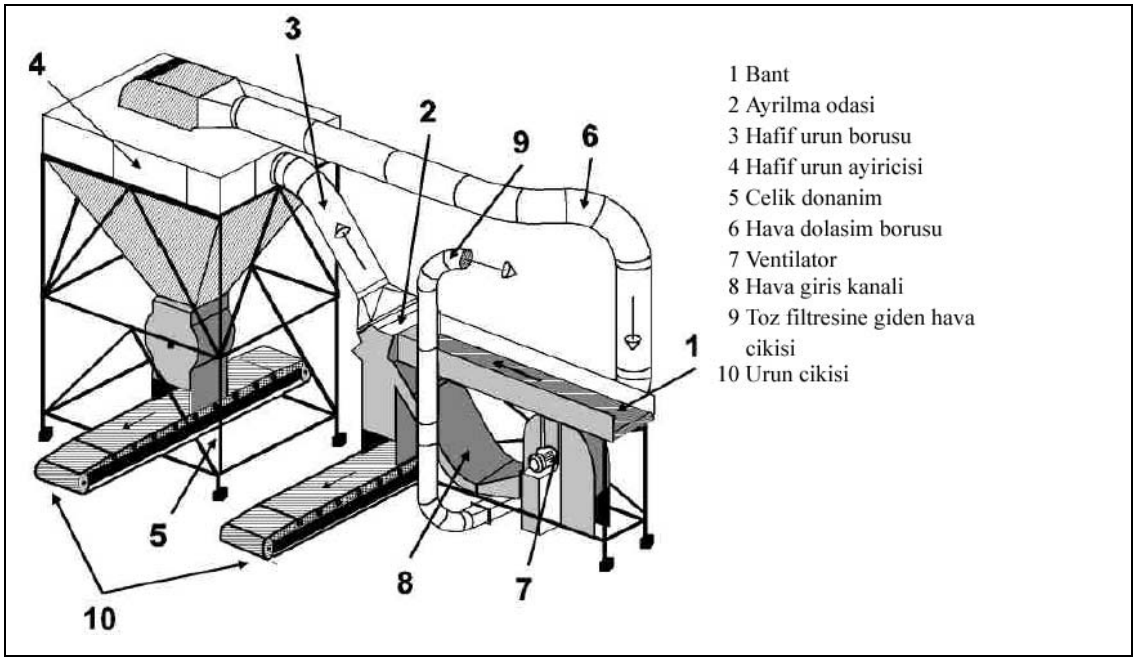
Kesme değirmeni yumuşak, elastik ve lifli hammaddelerin boyut küçültme işlemlerinde kullanılır. Deneylerde de yapıldığı üzere plastik ürünler bu alet için uygundur. Malzeme kesme etkisine maruz kalır. Ürün boyut aralığı ızgaralar yardımı ile <1mm / <800mm arasında değişebilir. Değirmen içierisinde sabit ve dönen rotor üzerine monte edilmiş olan haraketli bıçaklar bulunmaktadır. Rotor çevresel hızı 12-14 m/s arasında değişmektedir. Bıçak uzunlukları maksimum 500 mm'dir. Aşağıdaki şekilde bir kesme değirmeni taslağı gösterilmiştir.



Şekil 4.27 : Kesme değirmeni [10]

Boyut küçültme işleminden sonra bir havalı ayırıcı (air separator) ile malzeme içerisinde toz ve folyo gibi hafif maddeler ayrılmıştır. Hava yardımıyla ayırma işlemi katı malzemelerin şekil, tane boyutu ve yoğunluk farkına göre ayrılmalarını mümkün kılar. Efektif bir ayırma için en küçük ve en büyük tane arasındaki maksimum oran 1/3 olmalıdır. Daha çok otomobil ve bu çalışmada da olduğu gibi elektronik atık geri

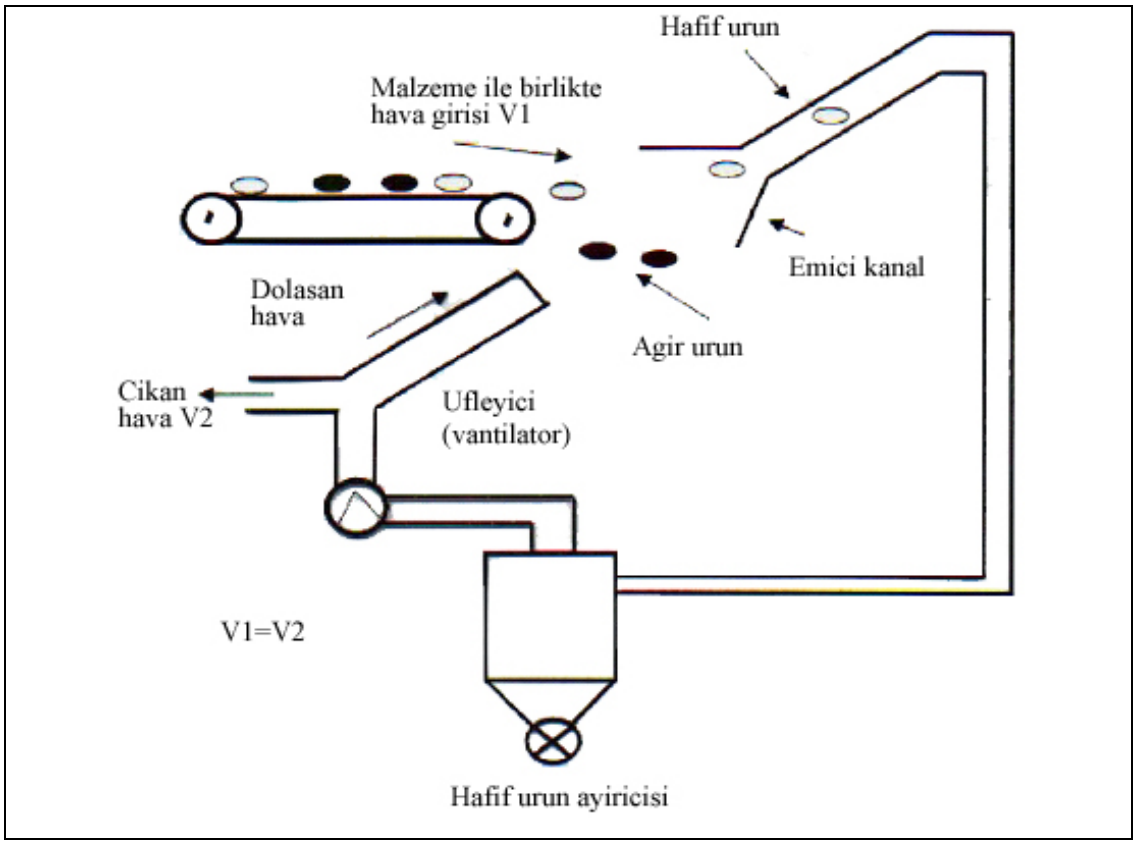
dönüşümü işlemlerinde elde edilen farklı ara ve ana ürünlerden folyo gibi hafif malzemelerin ayrılmasında kullanılır. Aletin görünümü aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.28 : Havalı Ayırıcı Genel Görünüm [10]

Besleme bir bant konveyor (1) yardımı ile gerçekleşir. Vantilator (7) tarafından üretilen hava akımı ayrılma odasına (2) aşağıdan yukarı doğru eğimli olarak verilir. Ağır ürünler havanın kaldırma kuvvetini yenerek aşağı düşerken, hafif ürünler bu kuvvetle birlikte yukarıdaki bölmeye (3) aktarılır ve malzeme çıkışları iki farklı banttan (10) gerçekleşir. Hava dolaşımı bir boru (6) vasıtasıyla sağlanır. Vantilatörün oluşturduğu hava akımının yaklaşık %30'u toz filtresine ayrılır (9). Şekil 4.29'da daha detaylı bir anlatım görümektedir.

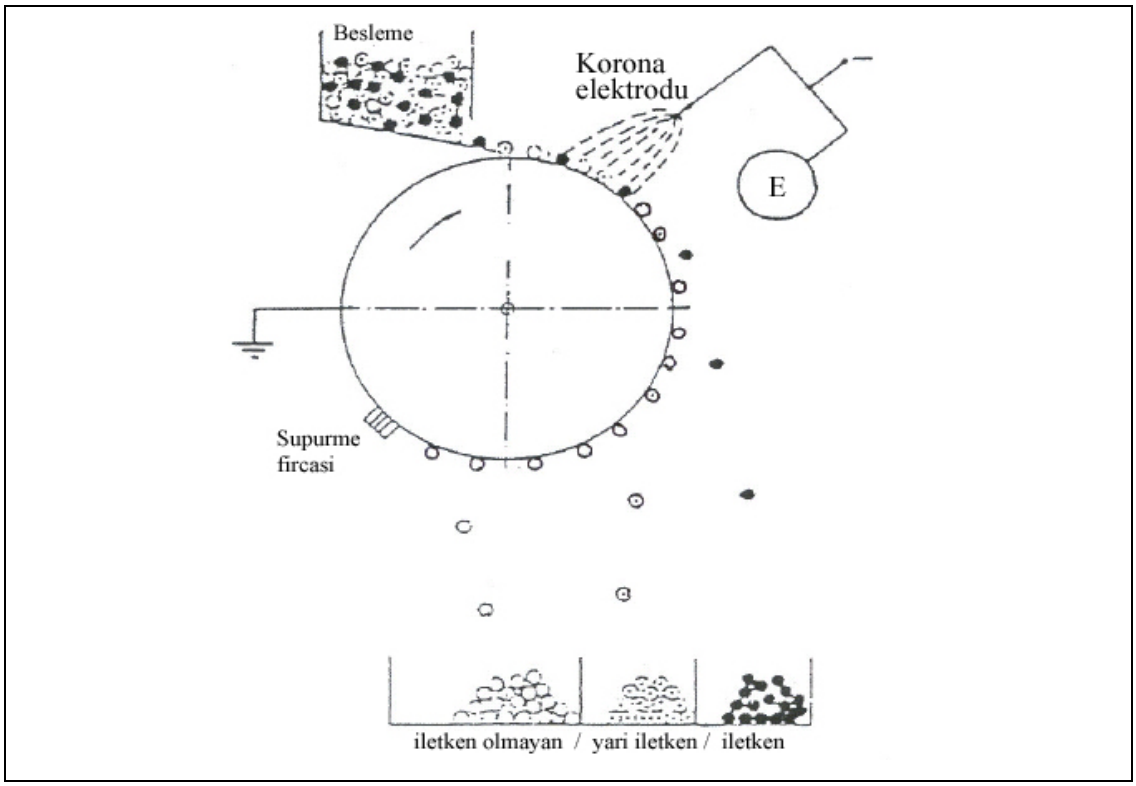
Havalı ayırıcıya beslenen ürünün %4,6'sı toz ve folyo olarak alınmıştır. Geriye kalan %95,4'lük miktarı oluşturan ağır ürün iletken malzemelerin, yani metallerin ve iletken olmayan plastiklerin ayrılması amacıyla elektrostatik ayırıcıya beslenmiştir.



Şekil 4.29 : Havalı Ayırıcı [10]

Deneylerde iğne uçlu elektrostatik ayırıcı kullanılmıştır. Çalışma prensibi malzeme yüzeyinin elektrik iletkenliği özelliğine dayalıdır. Geri dönüşüm sektöründe çoğunlukla kablo ve elektronik atıklarkan küçük boyutlu metal parçalarının geri kazanımında kullanılmaktardır. Besleme boyut aralığı 0,1-6mm arasında değişmektedir. Ayırılacak olan malzeme kendi ekseni etrafında dönen bir tambur üzerine beslenir. Bu tambura belirli bir uzaklıkta bir korona elektrodu (iğne uçlu elektrod) ve bir elektrostatik elektrod bulunmaktadır. Korona elektrodu yardımıyla bir yüksek gerilim alanı oluşturulur ve bu alanda korona elektrodundan çıkan elektron spreyi ile malzeme elektrostatik olarak yüklenir. İletkenliği yüksek olan taneler yüklerini tambura aktarırlar ve dönmenin de etkisiyle sistemden uzaklaştırılırlar. İletkenliği zayıf olan taneler ise elektrostatik yüklerini aktaramayarak tambur yüzeyinde kalırlar ve ara ürün olarak bir toplama kabında birikirler.

İletken olmayanlar ise tambura daha güçlü tutunurlar ve bir süpürme fırçasıyla sistemden uzaklaştırılırlar. Burada malzeme yüzeyinin nemsiz olması önem taşımaktadır.



Şekil 4.30 : Elektrostatik Ayırıcı [10]

Burada kaliteyi arttırmak amacıyla ara ürün tekrar sisteme geri döndürülüp metal ve plastik ayırımına devam edilmiştir. Elde edilen ürünler şekilde görülmektedir.

Elektrostatik ayırıcıda yapılan deney sonuçları akım şemalarında da görüleceği gibi şöyledir;

- İletken ürün (metal) : %2,5
- Ara ürün (metal ve plastik): %11
- İletken olmayan ürün (plastik) %86,5



Şekil 4.31 : Elektrostatik Ayırıcıdan Alınan Ürünler 1: Deney yapılışı 2: İletken ara ürün 3 : Yari iletken ürün 4 : İletken olmayan plastik ürün

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu araştırmada, ülkemizde büyük bir potansiyeli olan ve yakın gelecekte miktarının hızla artması beklenen elektronik atıkların geri dönüşümü için basit ve mekanik bir cevher hazırlama prosesi geliştirilmiştir. Proseste metal ve plastik gibi ikincil hammadde kaynağı olarak kullanılabilecek ürünler elde edilmektedir. Malzemelerin şekil ve yoğunluk farkına göre çalışan havalı masa ile genel zenginleştirme işlemleri yapılmıştır. Çekiçli kırıcı ile boyut küçültme işlemlerinde tane serbestleşmesini etkileyen 20, 40 , 60 mm ızgara çıkış açıklıkları ve manyetik ayırıcının proseste farklı adımlarda kullanılmış olması prosesi yönlendiren önemli kısımlardır.

Şekillerde görülen akım şemalarında her basamak için elle ayıklama yöntemiyle analiz yapılarak miktar % ve içerik % değerleri hesap edilmiştir. Daha önce de açıklandığı gibi miktar; her kademedeki ürünün giriş malzemesine ve türüne göre ağırlıkça oranıdır. İçerik ise her ürünün kendi içindeki saflığını ifade etmektedir.

Uygulanan proseslere ve denge tablolarına göre en iyi sonuçlar ikinci akım şeması uygulandığında elde edilmiştir. Bu proseste malzeme kesiciden ve 40mm açıklıklı ızgara bulunan çekiçli kırıcıdan geçirildikten sonra manyetik ayırıcıya beslenmektedir. Manyetik ürün alındıktan sonra manyetik olmayan kısım tekrar çekiçli kırıcıda 20mm altına indirilmekte ve havalı masada zenginleştirme işlemine tabi tutulmaktadır.

Manyetik ayırıcıdan elde edilen %39,48 miktarında manyetik ürün %98,9 saflıkta demir içermektedir. Havalı masadan alınan %38,65 miktarındaki hafif ürün %94,5 oranında plastik içermektedir. %18,57 miktarındaki ağır ürün ise toplam %91,4 oranında manyetik olmayan metal (aluminyum ve bakır) içermektedir.

40mm altına kırılan malzemenin doğrudan Havalı Masa'ya beslendiği üçüncü akım şemasına göre, elde edilen sonuçlar ise şöyledir; %47,81 miktarında %96,3 demir içerikli manyetik ürün, %29,5 miktarında %94,3 plastik içeren hafif ürün ve %17,69 miktarında %85,3 manyetik olmayan metal içeren manyetik olmayan ürün.

Üçüncü akım şemasında ikinci akım şemasına kıyasla elde edilen ürün miktarları daha fazla ve ürün saflıkları nispeten daha azdır. Ancak endüstriyel boyutta düşünüldüğünde üçüncü akım şemasında görülen prosesin yapılabilirliği ekonomik

ve teknik açıdan daha kolaydır. Çünkü sistemdeki işlem sayısı bir basamak daha azdır. Yani daha basit ve ucuz bir prosestir.

Geliştirilen ikinci akım şemasında havalı masa hafif ürününde toplam %6,6 içerikli metal bağlı tane, kablo ve manyetik olmayan ürün olarak bulunmaktadır. Bu metalleri geri kazanmak ve plastik ürünü safsızlaştırmak amacıyla elektostatik ayırıcı ile deneyler yapılmıştır. Bu aşama sonucunda %2,5 miktarında saf metal ürün elde edilmektedir. Elektrostatik ayırıcıda efektif bir ayırma yapabilmek için malzeme kesici değirmende öğütülmelidir. Ayrıca malzeme içerisinde hafif ürünlerin ayrılması için havalı ayırıcı (Air Separator) da kullanılmıştır. Dolayısıyla bu yöntem ekonomiklikten uzaktır ve araştırma amacıyla denenmiştir.

Bu çalışmada, henüz ülkemizde uygulaması olmayan bir yöntem araştırılarak basit bir mekanik cevher hazırlama prosesi geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Erdin, E.,** 1998. Bilgisayar Teknolojisi ve Atıkları (Yönetmelikler ve Geri Kazanılması), *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü,* 1,5,7,9.

[2] **Türkiye İstatistik Kurumu**, 2004. Türkiye İstatistik Yıllığı (www.tuik.gov.tr)

[3] **Kaya, M.,** 2003. Bigi Çağının Zehirli Atıkları (E-Atıklar), *Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi*

[4] **Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetmi Genelmüdürlüğü Atık Yönetim Dairesi Başkanlığı, 2007.** Atık Elektrik Elektronik Eşyaların Kontrolü ve Yönetimi Yönetmeliği

[5] **Curi, K.,** 1992. Türkiye'de Katı Atıkların Geri Kazanılması ve Uzaklaştırılması Sorunları, *Katı Atık ve Çevre*, **28.**

[6] **Letsrecycle,** Nisan 2007. PM Advisor Hails Recycling as Climate Change Action (http://www.letsrecycle.com)

[7] **Bussiness Communications Company**, Nisan 2007. Elektronik Atık Kazanma İşi Raporu (http://www.bccresearch.com)

[8] **CIA**, Mayıs 2007. Computer Industry Almanac (http://www.c-i-a.com)

[9] **Lyons J.**, Nisan 2007. Türkiye Çevre Sayfalarından (http//:st.fatih.edu.tr)

[10] **Pretz, T**., 2006. Aufbereitung fester Abfallstoffe und Recyclingtechnologien (RWTH Aachen, Geri Dönüşüm Dersi)

[11] **Julius, J.,** 2006. Processing of WEEE, *Institute and Chair of Processing and Recycling Solid Waste Materials (I.A.R.), RWTH Aachen,* 2-4.

[12] **WEEE Richtlinie,** 2003. Richtlinie des Europaeischen Parlaments und des Rates über Elektro- und Elektronik- Altgearaete. (Avrupa E-Atık Yönetmeliği)

[13] **Gattuso, D.,J.,** 2005. Mandated Recycling of Electronics (A Lose-Lose-Lose Proposition), *Competitive Enterprise Institute,* 3-5.

[14] **DCEO Electronics Recycling,** 2003. Economic Opportunities and Environmental Impacts, *Illınois Department Of Commerce And Economic Opportunity,* 1-2.

[15] **EPA**. Environmental Protection Agency, Nisan 2007. (http://www.epa.gov.tr)

[16]**, Morf, L., Taverna, R.,** 2003. Metallische und Nichtmetallische Stoffe im Elektronikschrott, *Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft,* **374,** 42.

[17] **Bleiwas, D.,** 2001. Obsolete Computers, 'Gold Mine' or High-Tech Trash Resource Recovery from Recycling, *USGS Science For A Changing World,* 1-4.

ÖZGEÇMİŞ

Cemil ÇELİK 26.02.1981 tarihinde İstanbul'da doğdu. 1987-1992 yılları arasında ilk öğrenimini tamamladıktan sonra 1992-1995 Rami Ortaokulu'nda ve 1995-1998 yılları arasında da Şehremini Lisesi'nde eğitimine devam etti.

1999'da İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 2003 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Cevher ve Kömür Hazırlama Bölümü'nde yüksek lisansa başladı.

2004 yılında eğitiminin devamı için Almanya'ya gitti. Aachen Teknik Üniversitesi'nde (RWTH) İTÜ ile ortak bir program çerçevesinde yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.