

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEVRE DOSTU TASARIM VE DEMONTAJA
UYGUNLUK DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Göksel ŞENOL

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KONSTRÜKSİYON

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEVRE DOSTU TASARIM VE DEMONTAJA
UYGUNLUK DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Göksel ŞENOL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007

Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Serdar TÜMKOR

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Tahsin KUT (İ.T.Ü.)

Y.Doç.Dr. Cüneyt FETVACI (İ.Ü.)

MAYIS 2007

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışması boyunca beni sürekli olumlu yönde motive eden kıymetli hocam ve tez danışmanım Y.Doç.Dr. Serdar TÜMKOR'a, tüm İTÜ Makina Fakültesi, 330 CAD ve Makina Elemanları Hilmi İleri Laboratuvarı çalışanlarına, desteklerinden ötürü teşekkürü borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, sevgili annem Fatma ŞENOL, babam Kerim ŞENOL ve ablam Sibel KEMERLİ'ye, tanıdığım günden beri sevgi ve desteğini esirgemeyen nişanlım Seda ERYILMAZ'a, sevgili dostum H. Ergün ÇEKLİ'ye ve burada adlarını anamadığım tüm dostlarıma şükranlarımı sunarım.

Bu tez, Tübitak MAG tarafından desteklenen 104M303 numaralı proje kapsamında hazırlanmıştır, Tübitak'a da bu vesile ile teşekkür ederim.

Mayıs 2007

Göksel ŞENOL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. ÇEVRE DOSTU TASARIM VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	12
3. MAMUL ÖMÜR SONU SENARYOLARI	20
3.1 Mamul ömür sonu tanımı	20
3.2 Mamul ömür sonu senaryoları	21
3.2.1 Yeniden kullanım	21
3.2.2 Geri dönüşüm	23
3.2.3 Yakmak	28
3.2.4 Kontrolsüz Çevreye Bırakmak	29
3.3 Uygun EOL Seçeneğinin Tespiti	30
4. DEMONTAJ PROSESİ	31
4.1 Demontaj Karakteristikleri	34
4.2 Demontaj İşlemleri	38
4.3 Demontaj Seviyesi ve Sırası	41
5. MAMUL ÖMÜR SONU SEÇENEĞİ DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ	43
5.1 Demontaj Süreleri	43
5.2 Demontaj Masraf ve Kârı	45
5.3 Çevresel Etki Değerlendirmesi	49
6. DEMONTAJ VE GERİ KAZANIM DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN WEB TABANLI ARAÇLAR	52
6.1 ERIS Eksper Sistemi	53
6.2 Sistemin Örnek Mamullerde Uygulaması	56
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	62
KAYNAKLAR	64

KISALTMALAR

AB/EU	: Avrupa Birliği
DFD	: Demontaja uygun tasarım (Design for Disassembly)
DfE	: Çevre dostu tasarım (Design for Environment)
EEE	: Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlar
EEEA/WEEE	: Elektrikli ve elektronik ekipman atığı
EOL	: Mamul ömür sonu (End-of-life)
ERIS	: End-of-life recovery information system
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
PBDE	: Polybrominated diphenyl ether
PCB	: Baskılı devre kartı (Printed Circuit Board)
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil klorür

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1	Ülkelerin elektronik atık üretim miktarı 5
Tablo 1.2	RoHS direktifi ile kullanımı sınırlanan malzemeler ve yasal sınırlar 6
Tablo 1.3	Farklı mamuller içerisindeki malzemelerin yüzdeleri (ağırlığına göre) 6
Tablo 1.4	EEE'ler içerisindeki malzeme bileşimi 7
Tablo 1.5	EEE'lerdeki malzemelerin toplam parça değeri içindeki yüzdesi 7
Tablo 1.6	WEEE direktifi ile hedeflenen geri kazanım oranları 9
Tablo 2.1	Masaüstü bilgisayarın mamul ömür çevriminde tükettiği enerji ve çevreye verdiği CO2 miktarı 15
Tablo 2.2	Geri dönüştürülmüş malzeme kullanımındaki enerji kazançı 15
Tablo 3.1	Bazı ürünlerin EOL özellikleri 21
Tablo 3.2	Çamaşır makinasının tekrar kullanımı ile kazanılacak enerji miktarı 22
Tablo 3.3	Yüzdürme yönteminde kullanılan sıvıların yoğunlukları 25
Tablo 3.4	Elektronik atıkların geri dönüşümün son yıllardaki hacmi ve 2009 yılı tahmini (Milyon dolar olarak) 27
Tablo 3.5	Demir ve çelik atıklarının geri dönüşümü ile elde edilen faydalar 28
Tablo 3.6	Çevre ve Orman Bakanlığının WEEE tanımı 29
Tablo 5.1	Geri dönüşüm işlemi maliyetleri 48
Tablo 5.2	Kırma işlemi maliyetleri 49
Tablo 5.3	Bazı malzeme ve işlemlerin çevresel etki puanları 53
Tablo 6.1	Pompa motoru parça listesi 57
Tablo 6.2	Bilgisayar faresi parça bilgileri 58

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Enerji kaynaklarına göre tüketim miktarları (ABD için)	2
Şekil 1.2	Tahmini Küresel Enerji İhtiyacı (2000 yılındaki enerji tüketim miktarı 100 olarak alınmıştır)	3
Şekil 1.3	Petrol Fiyatları	3
Şekil 1.4	Elektrikli ve Elektronik Ekipman Satışlarının Mamullere Göre Dağılımı	4
Şekil 2.1	Mamul Yaşam Döngüsü	13
Şekil 2.2	Çeşitli Malzemelerin Üretimindeki Enerji İhtiyacı	14
Şekil 2.3	Plastik malzemelerin uygunluğu	16
Şekil 2.4	Mühendislik Plastiklerinin Hammadde Saflığının Maliyet Üzerine Etkisi	17
Şekil 2.5	EOL Değerlendirme Seçenekleri Maliyetinin Üretim Maliyetiyle Mukayesesi	18
Şekil 2.6	Aktif Demontaj için Tasarlanmış Cıvata Malzemesinin Elastiklik Modülünün Sıcaklık ile Değişimi	19
Şekil 3.1	Boyut Küçültme Makinalar	24
Şekil 3.2	Yaygın olarak kullanılan Plastiklerin Yoğunlukları	26
Şekil 3.3	Bir Tesiste Plastiklerin Yüzdürme Yöntemiyle Ayrıştırılması	27
Şekil 3.4	Uygun EOL Seçeneğinin Araştırılması	30
Şekil 4.1	EOL Demontaj Şekilleri	32
Şekil 4.2	Bağlama Elemanlarının Temas Tipine Göre Sınıflandırılması	32
Şekil 4.3	Demontaj İşlem Akışı	33
Şekil 4.4	Cıvata Bağlantısı için Standart Demontaj İşlemleri	38
Şekil 4.5	Kaynak Bağlantısı için Standart Demontaj İşlemleri	39
Şekil 4.6	Perçin Bağlantısı için Standart Demontaj İşlemleri	40
Şekil 4.7	Bağlama Elemanlarının Demontaj Edilebilirliği	41
Şekil 4.8	Demontaj Önceliği Grafiği	42
Şekil 5.1	Bağlama Uzunluğunun Demontaj Süresine Etkisi	44
Şekil 5.2	Öngerilme Momentinin Demontaj Süresine Etkisi	45
Şekil 5.3	Maliyet Modelleri	46
Şekil 6.1	Mamul Ömür Döngüsündeki Aktörler ve İlgili Konuları	53
Şekil 6.2	ERIS Programının Akış Şeması	54
Şekil 6.3	ERIS Giriş Sayfası	55
Şekil 6.4	İstekler Sayfası	55
Şekil 6.5	Çevresel Etki Veritabanı	56
Şekil 6.6	Pompa Motoru Parçaları	57
Şekil 6.7	Pompa Motorunun Demontaj Grafiği	57
Şekil 6.8	Bilgisayar Faresinin Demontaj Grafiği	58
Şekil 6.9	Demontaj Miktarına Bağlı Olarak Süre -Maliyet Eğrisi	61

SEMBOL LİSTESİ

C	: Maliyet (\$)
C_{R,j}	: Yeniden kullanım için yapılan j işleminin masrafı (\$/saat)
CV_i	: Parça i'nin kalorifik değeri (J/kg)
RMV_i	: i parçasının geri dönüştürülmüş malzemesinin değeri [\$/kg]
SHV_i	: i parçasının ikinci el değeri
W	: Ağırlık (kg)

ÇEVRE DOSTU TASARIM VE DEMONTAJA UYGUNLUK DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlar (EEE) çağımızda en hızlı büyüyen mamul grubunu oluşturmaktadır. Her yıl yeni modellerin ortaya çıkması ve teknolojik ömürlerinin gittikçe kısılması, her yıl katlanarak artan elektronik atıklara sebep oluyor. Yakın geçmişe kadar kontrolsüz olarak biriktirilen elektronik atıkların çevreye ciddi zararlar verdiği bilinmektedir. Ayrıca büyük bir hızla artan insan nüfusu, onların ihtiyacını karşılayacak üretim ile o hızda azalan hammadde miktarları, gelecek için bir tehlike oluşturmaktadır. Iskartaya çıkartılmış bir ürünü değerlendirmeden yenisini üretmek enerji ve malzeme tüketimini hızlandırmaktadır. Bu amaçla sürdürülebilir ürün ve sürdürülebilir tasarım fikri ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilirlik, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'na göre bugünün ihtiyaçlarını karşılarak gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılamasına tehdit oluşturmamaktır. Sürdürülebilir tasarım ise de tasarım safhasında sürdürülebilirlik fikrinin gözönünde bulundurulmasıdır.

Toplumsal baskılar Avrupa Birliği'ni bir dizi çevre yasasını çıkartmaya zorlamıştır. Bu yasaların ana amacı parça içerisinde zararlı madde kullanımını kısıtlamak ve ömrünü tamamlamış mamullerin tekrar değerlendirilerek malzeme ve enerji kazanılmasıdır. Başarılı geri kazanım başarılı bir demontaj ile mümkün olabilir. Demontaj, mamulün servis, mamul ömür sonunda tekrar kullanım ve malzeme geri dönüşüm maksadıyla parça ve bileşenlerine fiziksel olarak ayrılması işlemidir. Geri kazanım işleminin ekonomik kazanımı sırasıyla tekrar kullanım-geri dönüşüm-yakmak-çevreye bırakmak yönündedir. Çevreye bırakmak en az kârlı işlem olmasına rağmen en yaygın olarak kullanılan değerlendirme biçimidir. Demontaj işlemi belirli bir zaman kaybına ve buna bağlı olarak da bir masrafa sebep olur. En yüksek faydayı elde etmek için optimum demontaj demontaj sırası ve derinliğinin tespiti gerekir. Bu fayda en az gider, en kısa süre veya en düşük çevresel etki olabilir. Karmaşık parçaların demontajı faydalı demontaj için iyi bir planmaya ihtiyaç duyar. Bu çalışmada tasarımcıya mamulün ömür sonu çıktılarını tasarım safhasında göstermeye yarayan End-of-life Recovery Information System ERIS (Mamul Ömür Sonu Değerlendirme Bilgi Sistemi) hazırlanmıştır

DESIGN FOR ENVIRONMENT AND DISASSEMBLY EVALUATION

SUMMARY

Electrical and electronic equipments (EEE's) are growing dramatically. This results increase in material and energy resource consumption. World population is increasing unavoidably. Increasing population results increase energy demand. Technological development shortens lifespan of the EEE's. On the other hand the most common treatments of electrical and electronic equipment (WEEE) are disposal. But discarded EEE's contains valuable materials, low value parts and hazardous substances. Replacing new product with the old one is need great amount of energy. Moreover hazardous substances in EEE are contaminating the ground and water unless cared with special handling. To avoid threat next generation sustainability is draw attention more than ever. Sustainability is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own need. With the sustainable design, the needs of the future generation are taken into account in the design phase.

The public concern motivated EU to establish environmental directives. The purpose of the directives is to restrict the hazardous materials usage in the EEE and increase recovery rate in end of life phase to recover energy and material. Successful recovery can be achieved with successful disassembly. Disassembly is the process of physically separating a product into its parts or components for service, end-of-life reuse and material recycling. The economic performance of recovery option is achieved in turn of reuse-recycle-incineration-landfill. Although landfill is the worst EOL option, it is the most common one. Because disassembly processes consume time and energy, which means additional costs, it is important to find the optimal disassembly sequence and depth, in order to maximize the benefit. The maximum environmental benefit can be reach with minimum cost, shortest time or lowest environment impact. The disassembly of the complex products requires a good planning if a beneficiary recovery is expected. In this project, EOL Recovery Information System (ERIS) that enables designer to calculate environmental impact, process time and the cost algorithm in the earlier design phase has been presented.

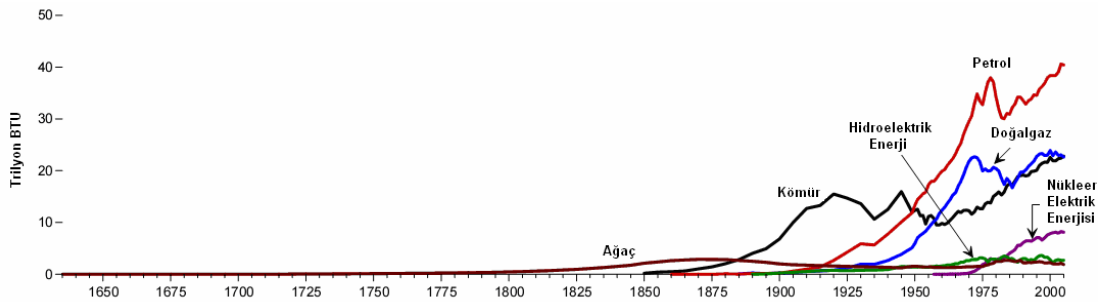
1. GİRİŞ

Çalışmak için elektrik akımına veya elektrik alanına ihtiyacı duyan ve akımı oluşturan, ileten ve ölçen cihazların hepsine elektrikli ve elektronik ekipmanlar (EEE) olarak tanımlanmıştır [WEEE, 2003]. Elektrikli çamaşır makinası üzerinde kullanımı 20. yüzyılın başında başlamıştır [Washing Machine Museum, 2006]. Baskılı devreli kartların (PCB) bulunuşu (1936) ve yüzey işleme yöntemlerinin geliştirilmesi (1960) EEE'ler için dönüm noktası olmuştur [Wikipedia, 2006a, 2006b]. 1980'lerde yüzey işleme yöntemlerinin yaygınlaşması ile EEE'lerin üretimi kolaylaşmış ve EEE'lerin ürün çeşitliliği ve adetleri bu tarih itibarıyla büyük bir hızla artmıştır. Artan üretim miktarları hammadde ve enerji ihtiyacını da arttırmaktadır. EEE'ler teknoloji yoğun mamuller olduğu için ömürleri diğer mamullerle kıyaslandığında daha kısadır. Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlar (EEE) kullanım ömürleri sonunda atık halini almaktadır. Bu atıklara genel olarak Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atık (EEEA) adı verilir. EEE piyasası büyük bir hızla büyümeye gösterdiğinden bununla paralel olarak EEEA miktarlarında da artış olmaktadır. Bu günden güne tüm dünya için çok önemli bir konu haline gelmektedir. Mevcut durumda, atık haline gelmiş EEE'ler kontrolsüz olarak çevreye bırakılmaktadır. Fonksiyonunu artık yitirmiş haline gelen mamulün yerine kullanılacak mamul için yeni malzeme ve enerji gerekir. Bu atıkları çevreye bırakmak yerine geri kazanılması bu enerji ve malzemenin tasarrufu anlamına gelecektir. Çevreye kontrolsüz bırakılması ise daha büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektronik cihazlar içlerinde insan sağlığına zararlı birçok malzeme içerirken bünyelerinde değerli malzemeler de barındırmaktadırlar. Ayrıca beyaz eşyalar gibi yüksek kütleli mamullerin de kolay geri kazanılabilecek malzeme içerdiği söylenebilir. Bu EEEA'ların mamul ömür sonunda (EOL) geri toplanıp tekrar değerlendirilmesi Avrupa Birliği'nin çıkardığı WEEE direktifi ile de zorunlu hale getirilmiştir. Bu değerlendirme biçimlerinde demontaj en önemli adımlardan birisidir. Demontaj işlemi ile parça alt montajlarına ayrılarak yeniden kullanım, geri dönüşüm, yakma ve kontrollü atık olarak ifade edilen EOL değerlendirme biçimleriyle değerlendirilebilir. Demontaj işlemi zaman ve enerji gerektirdiği için maliyet artışına sebep olan bir

işlemdir. EOL işlemleri ile elde edilecek kazanımlar ile bu maliyet düşürülebilir veya kâr edilebilir.

Modern üretim sürecinin sanayi devrimi ile başladığı kabul edilir. Sanayi devrimi ile üretim sürecinde insan gücüne bağlı üretimden makinaların yoğun olarak kullanıldığı sisteme geçilmiştir. Bu hızlı değişim, üretimde bir patlamaya yol açmıştır. Artan üretim hacmi, hammaddeye ve enerjiye olan ihtiyacı hızla arttırmıştır. Şekil 1.1’de Amerika Enerji İstatistiği Kurumu’nun yayınlamış olduğu rapora göre Amerika Birleşik Devletleri’nin yıllık, enerji kaynaklarına göre, tüketim miktarları verilmiştir [EIA 2005].

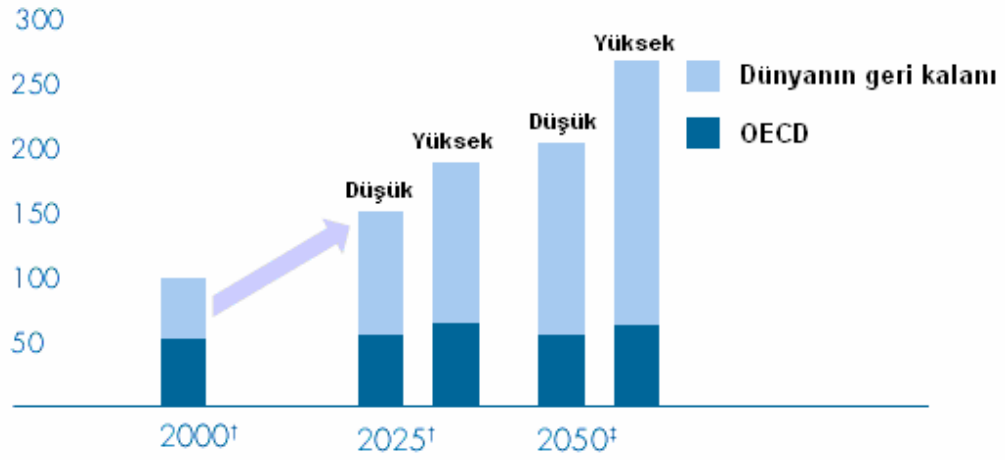
Şekil 1.1’den de görüldüğü gibi kullanılan enerji kaynaklarına bakıldığında çoğunluğu fosil kaynaklar oluşturmaktadır. Fosil kaynaklar da sınırlı bir rezerve sahiptirler. Yapılan çalışmalarda kesin bir rakam olmasa da ortalama petrol rezervleri mevcut kullanım miktarlarındaki artışlar göz önüne bulundurulduğunda ve önlem alınmadığı takdirde yaklaşık olarak 35-40 yıl olarak kabul edilmektedir [Smale 2004]. Ayrıca fosil kaynaklı kaynaklar kullanım sonucunda sera gazları adı verilen CO₂ ve NO_x gazlarını oluşturmalarından ötürü küresel ısınma üzerinde pozitif etki yapmaktadır. Düşürülen fosil kaynak tüketimi bu gazların verdiği olumsuz etkisiz azaltılması için bir seçenektir.



Şekil 1.1: Enerji kaynaklarına göre tüketim miktarları (ABD için)

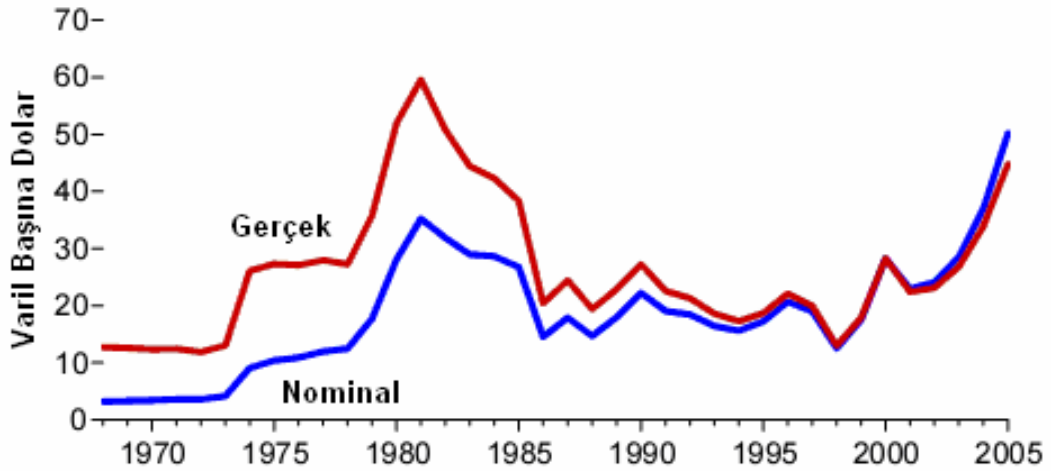
Diğer taraftan her geçen gün enerji kaynaklarına olan ihtiyaç artmaktadır. Öngörülere göre de bu ihtiyaç 50 yıl içinde yaklaşık olarak 3 katına çıkacaktır (Şekil 1.2) [Shell 2005]. Temel enerji kaynağının petrol ve türevleri olduğu düşünüldüğünde artan arz ile petrol fiyatları günden güne artmıştır (Şekil 1.3) [EIA, 2005]. Ayrıca polimer esaslı malzemelerin mamuller içerisindeki kullanım oranının gittikçe arttığı düşünüldüğünde artan petrol fiyatları hammadde fiyatlarında artışa sebep olmaktadır. Özellikle EEE ler üretiminde yüksek miktarda enerji ve malzemeye ihtiyaç

duymaktadır. Misal olarak bir bilgisayar ve monitörün üretiminde 240 kg fosil yakıt, 22 kg kimyasal, 1,5 ton da su kullanılmaktadır [Kuehr and Williams, 2003]



Şekil 1.2: Tahmini Küresel Enerji İhtiyacı (2000 yılındaki enerji tüketim miktarı 100 olarak alınmıştır)

OECD: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organization for Economic Co-operation and Development) üyesi ülkeler

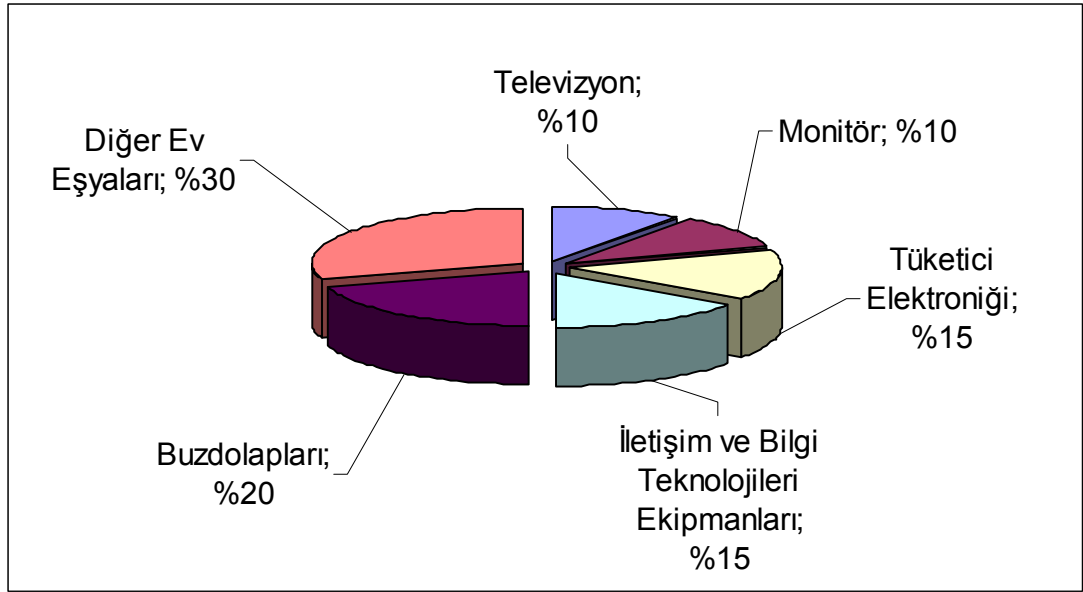


Şekil 1.3: Petrol Fiyatları

Elektrikli ve elektronik ekipmanlar ilk ortaya çıkışları 1960 lı yıllara dayansa da çok kısa zamanda popüler olmuşlardır. Örneğin, televizyon, bilgisayar ve cep telefonu gibi elektronik ekipmanlar piyasaya çıktıktan çok kısa süre içinde büyük taleplerle karşılanmışlardır. Bu teknolojik yoğun mamuller hızla değişen teknoloji ile demode olmakta ve güncelliğini kaybetmektedirler. Bu yüzden mamuller aşınmadan kullanıcılar tarafından ihtiyaçların karşılanmadığı düşüncesiyle emekliye ayrılmaktadır [Tumkor ve diğerleri, 2004]. Aynı zamanda teknolojik gelişmelerin ürünler üzerindeki etkisi ve kullanıcı eğilimleri de EEE ömrünün kısalmasına sebep

oluyor. Örneğin, bu ömür kişisel bilgisayarlar için 2-3 yıl iken yükseltmeler ile en fazla 1-2 yıl daha uzatılabilir, bu ise fonksiyonel ömürden çok kısadır. [Earth 911, 2007]

Cep telekomunikasyon ve internet birliğinin sözcüsü Travis Larson'a göre Amerika Birleşik Devletleri'nde 153 milyon cep telefonu kullanıcısı mevcuttur. Cep telefonları için ortalama ömrün 18 ayla iki yıl arası olduğu düşünüldüğünde her yıl kullanılabilecek birçok telefon emekliye ayrılmaktadır [Noffsinger 2004]. Salvage ve diğerlerine göre Avrupa Birliği'nde elektronik atıklar %3-5 artış hızı ile en yüksek büyüme hızına sahip (diğer atıklardan 3 kat daha yüksek büyüme hızı) atık grubunu oluşturmaktadır. [2006]. Bu hızlı artış ile atık hacmi tehlikeli boyutlara ulaşmaktadır. Avrupa birliğinde 2004 yılı itibariyle her yıl kişi başına 14 kg elektrikli ve elektronik atık ortaya çıkartmaktadır [EU 2004]. Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın 5. çevre uyarı bültenine göre tüm dünya genelinde yıllık 20 ila 50 milyon ton elektrikli ve elektronik ekipman atığı oluşmaktadır. Elektrikli ve elektronik ekipman satışlarının mamullere göre dağılımı şekil 1.4 'te takdim edilmiştir. [UNEP- GRID, 2005]



Şekil 1.4: Elektrikli ve Elektronik Ekipman Satışlarının Mamullere Göre Dağılımı

Tablo 1.1'de de görülebildiği gibi Britanya'da 1998 yılında 915000 ton elektrikli ve elektronik atık üretilmişken bu rakam 2005 yılında İngiltere sanayii ve ticaret bakanının verdiği rakama göre tüm elektronik ürünlerde 2.000.000 tona ulaşmıştır [Wicks, 2006].

EEE'lerin büyük çoğunluğu günümüzde toprağa gömülmekte veya kontrolsuz olarak bertaraf edilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na göre 2000 yılında 4,6 milyon ton EEEA çevreye bırakılmıştır [EPA, 2000]. Avrupa Birliği EEE'lerde yaygın olarak kullanılan 6 ana malzeme belirleyerek bunların mamul içersinde kullanım oranlarını RoHS (2003) direktifi ile sınırlamıştır. Sınırlanan malzemeler ve bunların kullanım yerleri Tablo 1.2 de gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Ülkelerin elektronik atık üretim miktarı [EMPA, 2007]

Ülke	Toplam EEEA üretimi (ton/yıl)	Elektronik atığı oluşturan ürün grupları	Yılı
İsviçre	66.042	Ofis telekomünikasyon cihazları, tüketici eğlence elektroniği, büyük ve küçük ev aletleri, buzdolabı	2003
Almanya	1.100.000	Ofis telekomünikasyon cihazları, tüketici eğlence elektroniği, büyük ve küçük ev aletleri, buzdolabı	2005 tahmini
Britanya	915.000	Ofis telekomünikasyon cihazları, tüketici eğlence elektroniği, büyük ve küçük ev aletleri, buzdolabı	1998
ABD	2.124.400	Görüntü sistemleri, ses sistemleri, bilgisayar ve telekomünikasyon cihazları	2000
Tayvan	14.036	Bilgisayarlar, ev elektroniği (televizyon, çamaşır makinası, klima, buzdolabı)	2003
Tayland	60.000	Buzdolabı, klima, televizyon, çamaşır makinası, bilgisayar	2003
Danimarka	118.000	Elektrikli ve elektronik ürünler (buzdolabı dâhil)	1997
Kanada	67.000	Bilişim ürünleri (bilgisayar, yazıcı vb.) ve tüketici elektroniği (televizyon)	2005 tahmini

Geri kazanılabilecek değerli malzemeler, Tablo 1.3'de mamul gruplarına göre listelenmiştir [Truttmann and Rechberger, 2006].

Tablo 1.2: RoHS Direktifi ile Kullanımı Sınırlanan Malzemeler ve Yasal Sınırlar

Yasaklı Malzeme	Kullanım Alanları	Homojen Malzemedeki* Kullanım oranı
Kurşun	Lehim, aktif ve pasif elektronik malzeme, terminasyon uçları, baskılı devre kaplamaları, cam, akü ve piller	ağırlıkça en fazla %0.1'e kadar
Civa	Piller, anahtarlar, sensörler, röleler, floresan lambalar	ağırlıkça en fazla %0.1'e kadar
Kadmiyum	Elektroliz kaplamalar, plastik malzeme, NiCd piller, kıvılcım çıkaran kontaklar	ağırlıkça en fazla %0.01'e kadar
Heksavalent Krom	Krom, kaplamalar	ağırlıkça en fazla %0.1'e kadar
PBB (çok bromlu bifenil)	Plastiklerde Alev geciktirici olarak	ağırlıkça en fazla %0.1'e kadar
PBDE (çok bromlu difenil eteril)	Plastiklerde Alev geciktirici olarak	ağırlıkça en fazla %0.1'e kadar

* Homojen malzeme, malzeme bütünlüğü arzeden parça. Örneğin lehim için lehim eriği.

Tablo 1.3: Farklı Mamuller İçerisindeki Malzemelerin Yüzdeleri (Ağırlığına Göre)

	Buzdolabı	Çamaşır Makinası	Bulaşık Makinası	Mikrodalga Fırın	Pc (Mönitör hariç)	Video	CRT Monitör	TV
Metaller								
Çelik	43,0	15,2	50,0	71,3	62,8	50,0	6,6	17,0
Demir	4,0	35,5			1,1		8,1	
Demir Dışı Metaller								
Bakır	4,0	2,4	2,5	3,9	4,8	6,0	7,8	5,0
Alüminyum	2,0	2,6	2,5	3,9	5,0	6,6	0,4	2,0
Diğer					1,1		0,5	
Plastikler	44,0	8,9	14,0	3,8	24,9	22,6	28,5	11,5
Cam	1,0	1,3		7,0	0,1		48,1	46,5
Elektrik Bileşeni	2,0			10,1		7,2		
Lastik		2,1						
Beton		28,8						
Ağaç		3,3	21,0					18,0
Katran			10,0					
Ortalama Ağırlık (kg)	50	75	50	23	10	5	14	30
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Özellikle metaller yüksek hammadde değerine ve kolay geri dönüştürülebilirliğe sahip olması sebebiyle uzun yıllar geri dönüşümü yapılmıştır. Ayrıca altın, gümüş ve paladyum elementleri alaşım elementi olarak elektronik devrelerde kullanılabilir. Tablo 1.4 ve Tablo 1.5'te yaygın olarak kullanılan EEE'lerdeki malzeme bileşimi ve bu malzemelerin parça değeri içindeki payı verilmiştir [Hagelüken 2006]. Görüldüğü gibi bilgisayarların ana kartlarında kart değerinin çoğunu alaşım elementleri

oluşturmaktadır. Uygun ayrıştırma yöntemleri ile bu elementlerin EEE'ler içerisinde çıkarılması mümkündür. Ayrıca gelişen geri dönüşüm teknolojileri ve hammadde olan petrolün fiyatlarındaki artış plastik geri kazanım işlemlerini de cazip kılmıştır.

Tablo 1.4: EEE'ler İçerisindeki Malzeme Bileşimi

		Cep Telefonu 1999	Telsiz Telefon 1999	Taşınabilir Müzikçalar 2000	DVD 2001	DVDR 2002	Hesap Makinası	TV kartı	PC Anakartı
Ağırlık	[gr/adet]	125	175	515	3050	4350			
Cu	[%]	13	10	21	5	6	3	10	20
Al	[%]	1	2	1	2	4	5	10	5
Fe	[%]	5	13	23	62	57	3	28	7
Plastikler	[%]	57	41	47	24	25	61	28	23
Cam	[%]	2					13	6	18
Diğer	[%]	21	32	8	6	7	14	15	22
Ni	[%]	0,1	0,1	0,03	0,05	0,1	0,5	0,3	1
Pb	[%]	0,3	0,8	0,14	0,3	0,4	0,1	1	1,5
Sn	[%]	0,5	0,9	0,1	0,2	0,2	0,2	1,4	2,9
Ag	[ppm]	1340	1350	150	115	170	260	280	1000
Au	[ppm]	350	120	10	15	25	50	17	250
Pd	[ppm]	210	95	4	4	5	5	10	110

Tablo 1.5: EEE'lerdeki Malzemelerin Toplam Parça Değeri İçindeki Yüzdesi

	Fe	Al	Cu	Ag	Au	Pd	Toplam Alaşım Elementi
Tv - Kartı	4%	11%	42%	8%	27%	8%	43%
PC - Kartı	0%	1%	14%	5%	65%	15%	85%
Cep Telefonu	0%	0%	7%	5%	67%	21%	93%
Taşınabilir Müzikçalar	3%	1%	77%	4%	13%	3%	20%
DVD - Çalar	13%	4%	36%	5%	37%	5%	48%
Hesap Makinası	0%	5%	11%	7%	73%	4%	84%

Health and Environment Alliance isimli çevre kuruluşunun 21 ülkede yaptığı araştırma sonucu her altı kadından birinde sağlık açısından sınır olarak kabul edilen miktarın üzerinde civa bulunmuştur [Health and Environment Alliance, 2007]. Bu civa, özellikle kadınlarda, vücutta birikerek, hamilelik döneminde çocuğa geçmektedir. Etkileri kesin olarak belirlenemese de, olması gerekenden fazla miktardaki civa, çocuklarda zeka geriliği ve kanser türlerini oluşumuna etkisi olduğu ortaya çıkartılmıştır [Berry and Bove, 1997]. Agrell ve diğerleri [2004] çalışmalarında plastiklerde alev geciktirici olarak kullanılan PBDE'ler için de durumun çok kritik olduğunu belirtmişlerdir. PBDE, plastiklerde kullanılan tüm alev geciktiriciler içinde %32 pazar payına sahiptir. [WHO, 1994] PBDE içeren malzemeler özellikle çevreye bırakıldığında su ile temas ederek çözünmekte bu su kaynaklarına bulaşmaktadır. Suların direk içilmesi veya bu sulara yetişmiş

balıkların tüketilmesi ile bu zararlı malzeme insanlara geçmekte ve geçen yıllarda vücutta birikerek konsantrasyonunu arttırmaktadır.

PBDE'ler toksittir [deWit 2002, Darnerd et al. 2001] ve vücut içindeki konsantrasyonun artması tiroid hormonunu etkilemektedir. Bu ise merkezi sinir sistemini etkileyerek uzun dönemde otonom hareketlerdeki bozukluğa ve öğrenme yavaşlığına sebep olmaktadır [Meerts, 2001]. Özellikle hamile bayanlar ve 0-4 yaş grubundaki çocuklar bu etkilere en açık gruptur. [Thomsen et al., 2002]

Artık miktarındaki hızlı artış ve azalan hammadde miktarlarına karşı özellikle Avrupa'da bir kamuoyu oluşmuş ve bu kamuoyuna karşı kanun koyucular kayıtsız kalmamış ve elektrikli ve elektronik ekipmanların ömür sonlarında belirli oranlarda tekrar değerlendirilmesini zorunlu kılan WEEE direktifini çıkartmıştır. Bu direktif ile üreticiler ürettikleri elektrikli ve elektronik ekipmanların mamul ömür sonunda toplanıp değerlendirilmesinden sorumlu hale getirilmiştir. Elektrikli ve elektronik ekipman olarak; alternatif akım kullanan ekipmanlar için 1000 volt a kadar olan, doğru akım kullanan ekipmanlar için 1500 volt a kadar geriliminde çalışan ekipmanlar direktif kapsamına alınmıştır. Elektrikli ve elektronik ekipmanlar gruplara ayrılmış ve her bir grup için farklı oranlarda geri kazanım oranları belirtilmiştir. Çevresel faydayı da maksimize etmek için de yeniden kullanım ve geri dönüşüm alt sınırları belirlenmiştir. Tablo 1.6'da direktif kapsamındaki mamuller ve bu mamulleri için istenilen en düşük geri dönüşüm oranları verilmiştir.

Ortalama olarak bir bilgisayar % 23 plastik, % 32 demir ihtiva eden metaller, %18 demir içermeyen metaller (kurşun, kadmiyum, antimon, berilyum, krom ve cıva), %12 elektronik kartlar (altın, paladyum, gümüş ve platin) ve %15 cam ihtiva eder. Bilgisayarın yaklaşık olarak yalnızca %50'sinin geri dönüşümü sağlanabilir ve kalan kısmı atılır. Atığın zehirliliği büyük oranda kurşun, cıva ve kadmiyumdan kaynaklanır. Geri dönüştürülemeyen tek bir bilgisayar 2 kg'a yakın kurşun ihtiva edebilir. Dahası kullanılan plastiklerin birçoğu yangın geciktiriciler içerirler ve bunların geri dönüştürülmesi zordur. Bu maddelerin çevreye bırakılması büyük problem içerir. Avrupa Birliği'nde üreticiler mamullerinin ömür sonunda değerlendirilmesinden yasal olarak sorumlu tutularak bu zararların etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır.

Tablo 1.6: WEEE Direktifi ile Hedeflenen Geri Kazanım Oranları

Mamul Kategorileri	Örnek Mamuller	Direktif Hedefleri
Büyük Ev Eşyaları	Büyük soğutma cihazları, buzdolapları, dondurucular, çamaşır mak., kurutma mak., bulaşık mak., fırın, elektrikli soba, elektrikli ocak, mikrodalga fırın, elektrikli ısıtma aletleri, klimalar, fanlı ısıtma havalandırma aletleri	Geri kazanım en az % 80, yeniden kullanım veya geri dönüşüm en az % 70
Küçük Ev Eşyaları	Süpürgeler, halı yıkama makinası, diğer temizlik aletleri, tekstil ürünlerine dikiş, kesme, ütüleme ve benzer işlemleri yapan ekipmanlar, Ütüler ve ütüleme ve presleme işlemleri yapan diğer ekipmanlar, tost makinası, fritöz, kıyma makinası, kahve makinası, paket veya kapların açmasını veya saran ekipmanlar, elektrikli bıçak, saç traş eden, saç kurulayan, diş fırçalayan, traş etmeye yardım eden, masaj veya diğer cilt bakımlarını yapan ekipmanlar, saatler (kol veya masa) ve saati gösteren, ölçen ekipmanlar ve elektroniktartılar	Geri kazanım en az % 70, yeniden kullanım veya geri dönüşüm en az % 50
Bilgi teknolojileri (IT) ve telekomünikasyon Cihazları	Anayapılar, minibilgisayarlar, yazıcı uniteleri, masaüstü bilgisayarları (işlemci, fare, ekran ve klavye dahil), taşınabilir bilgisayar (işlemci, fare, ekran ve klavye dahil), notebook ve notepad bilgisayarlar, yazıcılar, kopyalama ekipmanları, elektrikli ve elektronik daktilo, cep veya masa hesap makinası, toplama, depolama, işleme, yansıtma ve iletişim amaçlı ekipmanlar, kullanıcı terminalleri ve sistemleri, faks makinası, kontürlü telefon, telsiz telefon, cep telefonu, telesekreter sistemleri ve ses, görüntü ve diğer telekomünikasyon ileten mamuller ve ekipmanlar	Geri kazanım en az % 75, yeniden kullanım veya geri dönüşüm en az % 65
Tüketici Eşyaları	Radyo sistemleri, televizyon sistemleri, videokameralar, video kaydediciler, ses sistemleri, ses kuvvendiricileri, müzik aletleri ve iletim için sinyal veya diğer teknolojileri kullanan, ses ve görüntüleri kaydetme, dönüştürmeye yarayan ekipmanlar	Geri kazanım en az % 75, yeniden kullanım veya geri dönüşüm en az % 65
Aydınlatma ekipmanları	Floresan lambalar için avize (ev aletleri için avizeler hariç), düz floresan lambalar, küçük floresan lambalar, yüksek yoğunluklu desanj lambası, (basınçlı sodyum lambası ve metal halojen lambası dahil), düşük yoğunluklu sodyum lambası ve ışığı yayma veya kontrol etmeye yarayındığer aydınlatma ekipmanları (akkor ampül hariç)	Geri kazanım en az % 70, yeniden kullanım veya geri dönüşüm en az % 50
Elektrikli ve elektronik aletler (Büyük endüstriyel istasyon aletleri hariç)	Matkaplar, testereler, dikiş makinaları, ağaç, metal ve diğer metaller için tornalama, taşlama, delme, öğütme, kesme, yırtma, delme, zımbalama, bükme, kıvrırma işlemleri ekipmanları, perçinleme, zımbalama, diş açma, perçinleri kaldırma veya benzer işlemleri takımları, kaynak, lehim veya benzer işlemlerde kullanılan takımları, sıvı yada gazları spreyleme, püskürtme, yayma işlemlerini yapan ekipmanlar, çim biçme ve diğer bahçe işlemleri için olan takımlar	Geri kazanım en az % 70, yeniden kullanım veya geri dönüşüm en az % 50

Tablo 1.7: WEEE Direktifi ile Hedeflenen Geri Kazanım Oranları (Devam)

Oyuncak, hobi ve spor ekipmanları	Elektrikli trenler ve araba yarışları setleri, oyun konsolları kontrol kumandaları, video oyunları, bisiklet süreme, araba kullanma koşma ve kürek çekme işlemlerinde kullanılan bilgisayarlar, elektrikli ve elektronik bileşen içeren spor ekipmanları, jeton ile çalışan makinalar	Geri kazanım en az % 70, yeniden kullanım veya geri dönüşüm en az % 50
Sağlık ekipmanları (implant ve bulaşma riski olanlar hariç)	Radyoterapi ekipmanları, kardiyoloji, diyaliz, akciğer hücresel aletler, tüp anelizlerinde kullanılan laboratuvar ekipmanları, analizör, dondurucu, hamilelik testleri ve tanımlama, önleme, tanımlama, tedavi eden, hastalığı, sakatlanmayı veya özürllülüğü azaltan diğer ekipmanlar	yeniden kullanım veya geri dönüşüm en az % 80
Görüntüleme ve kontrol ekipmanları	Duman dedektörü, ısı dedektörleri, termostatlar, ev aletleri veya laboratuvar ekipmanlarında ölçme tartma veya ayarlama işlemlerini yapan aletler, endüstriyel uygulamalarda kullanılan diğer görüntüleme ve kontrol aletleri (misal olarak kontrol paneli)	Geri kazanım en az % 70, yeniden kullanım veya geri dönüşüm en az % 50
Otomat Cihazları	Sıcak içecekleri için otomat cihazları, sıcak veya soğuk şişe veya kutu içecek kutuları otomatları, katı mamuller için otomatlar, para otomatları, ve mamullerin müşterilerine otomatik olarak sunan diğer tüm aletler	Geri kazanım en az % 80, yeniden kullanım veya geri dönüşüm en az % 70

Başarılı demontaj başarılı gerikazanım için en önemli adımdır. Demontaj işlemi servis ve bakım yapmak, mamulün alt montajlarına ve parçalarına ayırmak, aynı veya uyumlu malzemeye sahip malzeme elde etmek, tehlikeli maddeler içeren parçaları mamulden ayırmak işlemleri için kullanılabilir. Demontaj işlemi el ile, takımla, mekanize ve otomatik olarak yapılabilir. Her biri için harcanan demontaj zamanı ve enerji miktarı farklıdır. Zaman ve enerji tüketimi, işlemi yapan için ek bir maliyet anlamına gelmektedir. Diğer taraftan, demontaj işlemi ile daha değerli malzemeler elde edildiği için, EOL değerlendirme biçimleriyle elde edilen malzemelerin değeri de artmaktadır. Burdaki kâr-zarar ilişkisi üründen ürüne farklılık gösterse de çoğu zaman zarar yönünde bulunmaktadır. EOL işlemleri ile elde edilecek fayda tasarım fazında modellenerek maksimize edilebilir [Tumkor ve Şenol, 2007]. Ayrıca WEEE'lerin değerlendirilmesinin sorumluluğu üreticilere verildiği için üreticiler bu maliyeti düşürücü tedbirler almak yoluna gitmektedirler. Demontaj maliyetini düşürmek ve çevreye daha az zararlı ürünler tasarlamak amacı günümüzde Çevre Dostu Tasarım kapsamına girmektedir.

Bu çalışmada sürdürülebilir tasarım ve adımları, maml ömür sonu değerlendirme imkanları, demontaj prosesi araştırılmış; mamul ömür sonu değerlendirme kriterleri tanımlayarak, demontaj optimizasyonu yapılabilmesine imkan veren ve mamul ömür sonu seçeneklerinin online olarak tanımlanarak en uygun değerlendirmenin yapılmasında konstrktre yardımcı olacak End-of-life Recovery Information System ERIS (Mamul mr Sonu Değerlendirme Bilgi Sistemi) hazırlanmıştır.

2-5. Bölümlerde, evre dostu tasarım, Mamul mr sonu değerlendirmesi ve Demontaj sistemiği hakkında bilgi verildikten sonra, 6. Bölümde hazırlanan sistem tanıtılarak, uygulamalara yer verilmiştir.

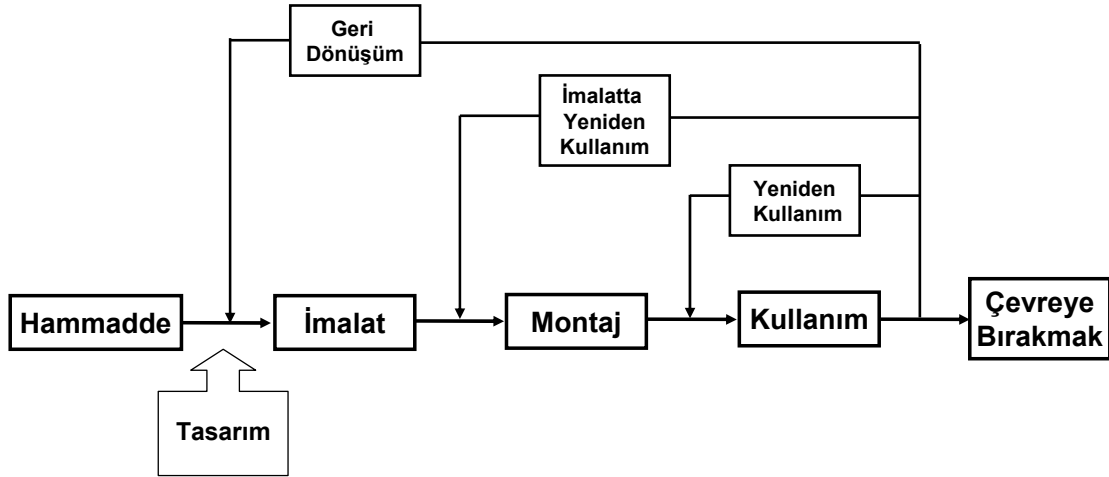
2. ÇEVRE DOSTU TASARIM ve SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

İmalatçılar uzun yıllar boyunca üretim giderleri düşürmek ve mamul üretimini kolaylaştırmak amacıyla çalışmalar yaptılar. Mamul ömür sonunda ürünleri geri kazanmak, hurdacılara bırakıldı. Hurdacılar da kâr edecekleri ürünleri değerlendirme yoluna gittiler. Hurdacıların önem verdiği husus maksimum ekonomik kazanç olmaktaydı. Bu kazanç için, çevre yasalarının ve bu yasaların denetiminin yetersiz kaldığı ülkelerde, geri kazanım işlemlerinde, çevreye fayda yerine zarar veren tekniklerin de kullanılmasında bir mahzur görülmedi. Bunun sonucunda çevreye büyük zararlar verildi. Diğer tarafta çevre konusundaki duyarlı ülkeler gerekli yasal zorunluluklar ile toksik malzemeler içeren ürünleri değerlendirmeleri zorunlu hale getirdiler. Bu ülkelerde faaliyet gösteren firmalar kendi tasarımlarında çevreye verilen zararların azaltılması yönünde çalıştılar.

Avrupa Birliği'nin geri kazanımı zorunlu haline getirmesi ve bunun sorumluluğunu üreticilere vermesi üreticilerin dikkatlerini bu konu üzerine çekmiştir. Ayrıca küresel ısınma ve kimyasal kirlenmenin etkilerinin somut olarak görülmesi toplumları bu konuda daha duyarlı hale getirmektedir. Geri kazanım işlemi para ve enerji gerektirdiği için üreticilere ek bir maliyet getirmektedir, buna rağmen araştırmalar kullanıcıların % 25'inin çevre dostu ürünlere daha fazla para vermeye gönüllü, %50'si daha pahalı olmadığı sürece tercih sebebi olarak gördüğünü göstermektedir [Der, 2004]. Dahası artık tüketiciler satın aldıkları ürünlerin çevre üzerindeki etkilere daha fazla dikkat etmektedir. Tüm bu etkiler Çevre Dostu Tasarım fikrini ortaya çıkartmıştır. Çevre Dostu Tasarım (DFE) mamulün çevreye verdiği olumsuz etkiyi azaltmak amacıyla yapılan tasarım değişikliğidir.

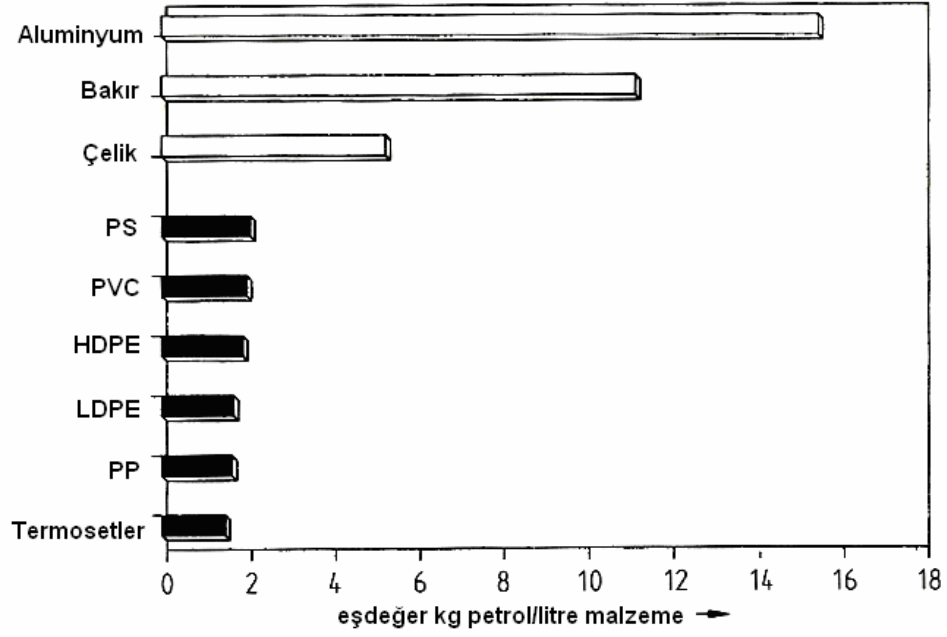
Üreticilerin geri kazanım işleminden sorumlu olmadığı zaman tasarımda ilgilenilen sadece mamul ömründeki hammadde-imalat-montaj-satış ve satış sonrası servis olmaktadır. Bu durumda sanayicilerin çabası daha optimum maliyette satılabilecek mamuller imal etmektir. Mamullerin ekonomik olarak tekrar değerlendirilmesi geri kazanıma uygun tasarımla mümkün olabilir. Bu da ancak, geri kazanım sorumluluğunun imalatçıya verilmesi ile sağlanabileceği düşünülmektedir. Şekil

2.1’de mamul ömür sonunda uygulanabilecek değerlendirme biçimleri görülmektedir. Burada değerlendirme seçenekleri, çevreye verilen olumlu etkilerine göre sıralanmıştır. Bunlar sırasıyla, mamulün bütün olarak tekrar kullanımı, mamulün alt parçalarının üretim hattında tekrar kullanımı, mamullerin malzemelerinin geri dönüşümüdür. Ayrıca şekilde gösterilmeyen diğer bir seçenek ise mamullerin yakılarak ısı enerjilerinden faydalanma yöntemidir, fakat bu her zaman mümkün olmaz veya yasalar izin vermez.



Şekil 2.1: Mamul Yaşam Döngüsü

Sürdürülebilirlik, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu’na göre bugünün ihtiyaçlarını karşılarak gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılamasına tehdit oluşturmamaktır. [UN- CSD, 2007] Sürdürülebilirlik EPA’ya göre 4 ana başlık içerisinde incelenebilir: 1)Yerleşim yerleri, 2) Su, ekosistem ve tarım, 3) Enerji ve çevre, 4) Malzeme ve toksinler. Yerleşim yerleri olarak yaşadığımız ve yaşamsal aktiviteler, yerine getirdiğimiz tüm alanları kapsamaktadır. Bina içi ve bina dışı hava kalitesinin iyileştirilmesi, hayvan ekosisteminin ve bozunmamış alanların korunması bu başlık altındaki faaliyetler olarak isimlendirilebilir. Su, ekosistem ve tarım; çevrenin elverişsiz koşulları tolere edebilme kapasitesini de inceleyecek şekilde birbirleri ile etkileşiminin anlaşılabilmesini içerir. Enerji ve çevre; gelecekte daha temiz ve doğal kaynakları koruyacak şekilde ve mümkün olduğu kadar yenilenebilir kaynaklara dayalı enerji üretimini içerir. Malzeme ve toksik ise artık miktarlarını azaltmak, kimyasal kirlenmeyi azaltıcı tedbirleri almak ve temiz malzemelerin kullanımını arttırmak olarak nitelenebilir. Bu maddelerin gözönünde bulundurulması uzun vadeli sürdürülebilirlik için gereklidir.



Şekil 2.2: Çeşitli Malzemelerin Üretimindeki Enerji İhtiyacı

Şekil 2.2’de verilen grafikte de görüldüğü gibi 1 kg malzeme hazırlanmak için büyük miktarlarda eşdeğer petrol kullanılmaktadır [Erhard 2006]. Özellikle alüminyum aralarında 1kg malzeme elde etmek için ihtiyaç duyduğu 16 litre petrol ile başı çekmektedir. Metallerin büyük çoğunluğu geri dönüşümünde birincil malzeme elde edilebilmektedir. Bu sayede mamuller geri dönüştürülerek üretim maliyetleri düşürülebilir. Şekil 2.3 de bir masaüstü bilgisayar üretimi, kullanımı ve mamul ömür sonu fazlarında harcanan enerji ve bunun sonucu doğaya bırakılan CO2 miktarları verilmiştir. EEE’lerde elektrik kullanımını azaltmak, birçok firma tarafından kullanıcı tercihlerinde ön planda olduğu için uzun zamandır araştırılmaktadır. Lakin özellikle bilgisayar gibi teknolojik ürünlerde, teknolojik gelişim ile tüketim miktarları oldukça artmıştır. Ne yazık ki bilgisayarda tüketilen enerjinin büyük kısmı ısı olarak dışarıya verilmektedir. Fakat bilgisayarlarda elektrik tüketimi kullanıcı ayarları ile ilişkilidir. Kort ve diğerlerine göre, 3 yıl önce Dell Optiplex PC modeli 30 watt enerji tüketirken yeni modeli için bu değer 70 Watt’a çıkmıştır. Bilgisayarların güç ayarlarının değiştirilmesi ile yıllık 100\$ enerji tasarrufu yapılabilecektir [2006].

Tablo 2.1: Masaüstü bilgisayarın mamul ömür çevriminde tükettiği enerji ve çevreye verdiği CO2 miktarı

Ömür Döngüsü Safhası	Enerji (TJ/yıl)	Toplamdaki %'de	GHG emisyonları (Mg Co2/yıl)	Toplamdaki %'de
İmalat	15,4	%46	785	%50
Kullanım	18,5	%55	805	%51
EOL	-0,4	%-1	-25	%-2
TOPLAM	33,5		1.565	

Kullanılan hammadde miktarlarının sınırlı olması ve mamullerin üretimindeki yüksek enerji ihtiyacı, ürünlerden mümkün olduğu kadar faydalanma yöntemlerine itmiştir. Bu da malzemenin ve ardından parça ve mamullerin sürdürülebilir olması fikrini ortaya çıkartmıştır. Bu sayade mamul geçmişteki olduğu gibi beşikten mezara değil beşikten beşiğe dönecek ve mamul akışı bir döngü haline gelerek Mamul Ömür Döngüsü halini alacaktır. EEE'ler içerisinde kullanılan malzemelerin toprağa gömülmesi ile yeniden aynı malzemeyi üretmek için enerjiye ihtiyaç duyulacaktır. Belirli bir ek enerji harcanarak tekrar değerlendirilen EEE'ler ile büyük miktarlarda enerji tasarrufu edilebilir. Tablo 2.1'de üretimde saf madde kullanımı yerine geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı ile kazanılacak enerji tasarrufu vermiştir [Cui J., Forssberg E. 2003]. Geri dönüşüm işleminin maliyeti üreticiye yansısı da toplumun kazanımı artacaktır.

Tablo 2.2: Geri Dönüştürülmüş Malezeme Kullanımındaki Enerji Kazanç

Malzeme	Enerji Kazancı (%)
Aluminyum	95
Bakır	85
Demir ve çelik	74
Kurşun	65
Çinko	60
Kağıt	64
Plastikler	>80

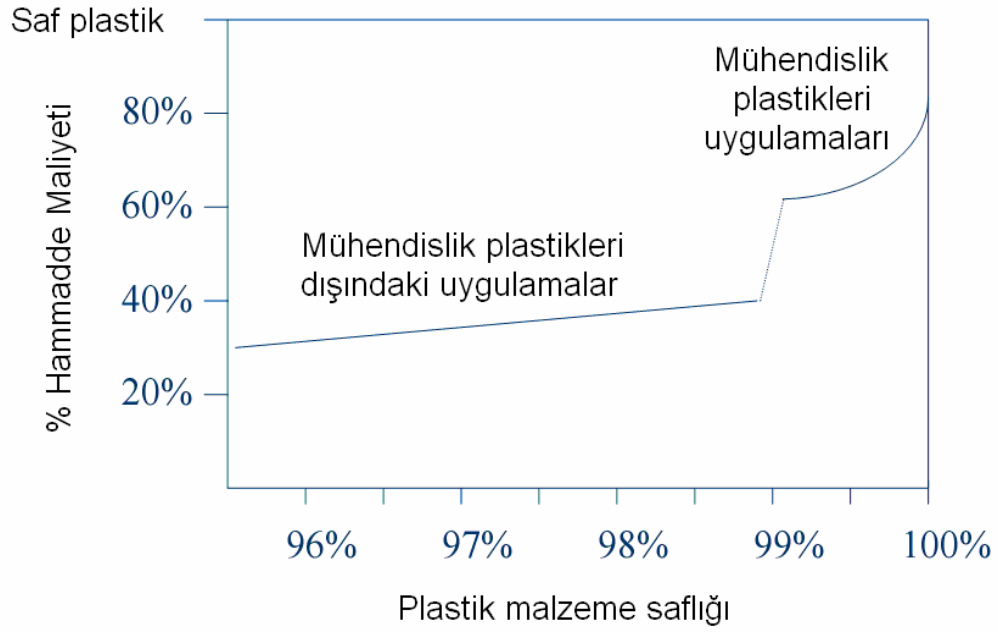
Plastik malzemeler gerek zararlı katkı maddeleri gerekse sınırlı hammadde sebebiyle geri dönüşümü büyük önem taşır. Plastik malzemelerde bulunan geri dönüşüm kodları ve bu plastiklerin geri dönüşüm için kullanım alanları kodlarla belirtilmiştir. Bu sayede üretilen her plastik malzemeye koyması zorunlu olan bu kodlar yardımıyla plastik türü belirlenmiş olur. Plastik malzemeler geri dönüşüm işlemi sonucunda belirli bir saflık derecesine erişebilirler. Şekil 2.3'de plastiklerin birbirleri ile

uygunlukları verilmiştir [Pahl and Beitz 1996]. Mühendislik plastiklerinin saflık değerinin hammadde değeri ile karşılaştırılması Şekil 2.4'te verilmiştir [Murphy, 2000]. Buna göre mühendislik plastikleri için malzeme saflığı %99 ve üzeri olmalıdır. Bu ise hammadde maliyetini %60-%80 değerine kadar bir maliyet oluşturmaktadır. Görüldüğü gibi ayrıştırma işlemleri ile malzem saflığı elde etme amacı büyük maliyetler ortaya çıkartmaktadır.

		Katkı Malzemesi												Önemli Sentetik Tasarım Malzemeleri	Ana Malzeme	
		PE	PVC	PS	PC	PP	PA	POM	SAN	ABS	PBTP	PETP	PMMA			
	PE	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○			
	PVC	○	●	○	○	○	○	○	○	☆	○	○	○			
	PS	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	PC	○	★	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○			
	PP	★	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○			
	PA	○	○	★	○	○	●	○	○	○	★	★	○			
	POM	○	○	○	○	○	○	●	○	○	★	○	○			
	SAN	○	●	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○			
	ABS	○	☆	○	○	○	○	★	○	○	★	★	○			
	PBTP	○	○	○	○	○	★	○	○	○	○	○	○			
	PETP	○	○	★	○	○	★	○	○	○	○	○	○			
	PMMA	○	○	★	○	○	○	★	○	○	○	○	○			

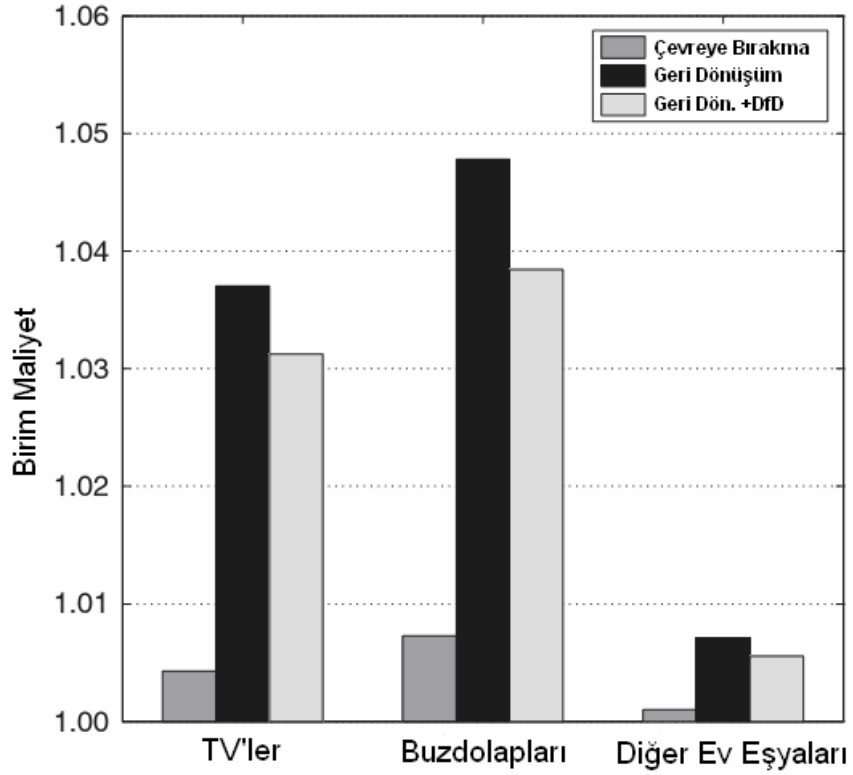
Şekil 2.3: Plastik malzemelerin uygunluğu

Geri Dönüşüme Uygun Tasarım mamulün ömür sonunda geri dönüşüm ile değerlendirilmesi için tasarım değişikliklerine gitme işlemidir. Örnek olarak bir mamul içerisindeki malzemeler aynı malzemedan yapıldığı takdirde geri dönüşüm işleminde büyük bir kalem tutan ayrıştırma maliyeti ortadan kaldırılmış olur. Örneğin Nokia firması 6650 modelini geri dönüşüme uygun şekilde tekrar dizayn etmiş ve bu sayede %100 geri dönüşüm oranını yakalamıştır [Nokia, 2003]. Benzer bir çalışma HP tarafından yapılmaktadır. HP 1992 yılından beri ürünlerinin geri dönüşüm konusundaki performansını arttırmak için çalışmalar yapmaktadır. 2006 yılında bir evvelki yıla oranla %16 artışla 74000 ton donanım ekipmanı ve yazıcı kartuşu geri dönüşümü yapmıştır. Günümüze kadar toplam geri dönüştürülen kartuş ve donanım ekipmanı 417000 tondur.



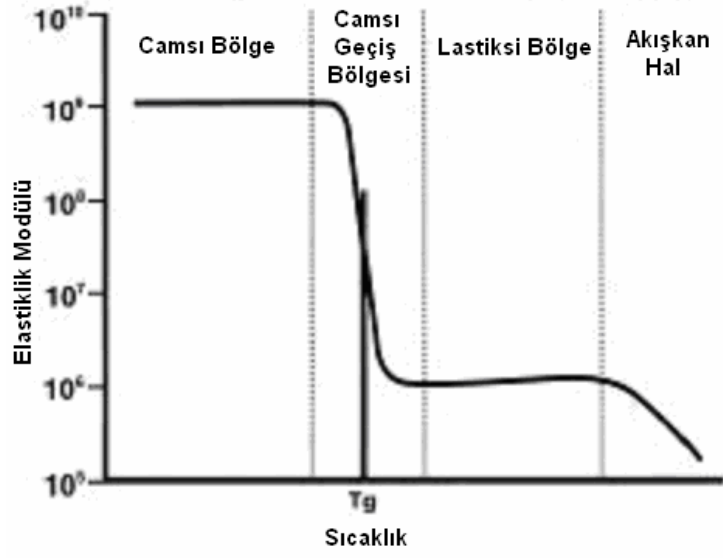
Şekil 2.4: Mühendislik Plastiklerinin Hammadde Saflığının Maliyet Üzerine Etkisi

Mamulleri ömür sonunda değerlendirme işlemi üreticilere ek bir ücret gerektirmektedir. Bu ücret toplama maliyeti, taşıma maliyeti, demontaj maliyeti, bakım maliyeti, kırma-ayırıştırma maliyeti, tekrar paketleme maliyetini içermektedir. Mevcut olan tasarımlarda mamul ömür sonu değerlendirme göz önünde bulundurulmadığı için bu mamulleri değerlendirmek demontaj maliyeti yüksek ve geri kazanım işlemleri ile elde edilecek kazanımlar düşük miktarlardadır. Eğer mamullerin ömür sonu değerlendirme planları ürün tasarım fazında iken planlanır ve mamul buna göre şekillendirilirse geri kazanım ile elde edilecek fayda arttırılabilir. Örneğin parça üzerindeki birçok bağlantı, eğer servis edilecek bir parça değilse, bir defa monte edilecek şekilde tasarlanır. Bu durumda, mamul ömür sonunda, mamulün alt parçalarına erişim için uygulanan demontaj işlemi uzun ve zahmetli olmaktadır. Mamullerin demonte edilebilirliğini kolaylaştırmak amacıyla Demontaja Uygun Tasarım (DFD) terimi ortaya atılmıştır. DFD mamullerin şeklinin, boyutunun ve bağlantılarının demontaj edilmeye uygun şekilde tekrar şekillendirilmesi işlemidir. Şekil 2.5’de toprağa gömme, mevcut haliyle geri dönüşüm ve demontaja uygun şekilde tekrar şekillendirmeden sonraki geri dönüşüm işlemlerinin maliyetlerinin mamulün üretim maliyetine göre birim maliyetleri verilmiştir [Nakamura and Kondo, 2006]. Burada kabul edilen toprağa gömme maliyeti, Japonya Devleti çevre mevzuatına göre hesap edilmiştir. Ayrıca diğer ev aletleri olarak sınıflandırılan grup çamaşır makinası, bulaşık makinası ve benzeri ev eşyalarını kapsamaktadır.



Şekil 2.5: EOL Değerlendirme Seçenekleri Maliyetinin Üretim Maliyetiyle Mukayesesi

Parçaları kolay demonte etme çabası alternatif bağlama elemanları arayışlarını hızlandırmıştır. Bunlar arasında Aktif Demontaj Sistemleri gelecek için umut veren çalışmalarındandır. Aktif Demontaj Dr. Joseph Chiodo tarafından 1980 yılında ortaya atılmıştır. Prensip olarak prensip çalışması shape-memory alıoyların tırnaklı geçme bağlantılarında kullanımı esasına dayanmaktadır. Bağlantılar belirli bir sıcaklık değeriinin üzerine çıktığında şekil veya kuvvet bağı ortadan kalkmakta ve iki parça sökülebilmektedir. Misal olarak civatalarda kullanılan polimer malzemenin sıcaklık ile elastiklik modülünün değişimi şekil 2.6’de verilmiştir. T_g ile ifade edilen camı dönüşüm sıcaklığım üzerine çıkılması ile civata dişlerinin deforme edilmesine gereken kuvvet.100 kat düşecektir. Isıtma işlemini kolaylaştırmak için vida yuvalarına metal yaylar bağlamak suretiyle lokal ısıtmalar ile civataların sökölmesine olanak sağlamaktadır. Sony playstation oyun konsolunun tasarımı bu şekilde değiştirilmiştir [Chiodo et al., 1999].



Şekil 2.6: Aktif Demontaj için Tasarlanmış Cıvata Malzemesinin Elastiklik Modülünün Sıcaklık ile Değişimi

3. MAMUL ÖMÜR SONU SENARYOLARI

Yakın geçmişe kadar elektrikli ve elektronik ekipmanların ömür döngüsü üretim-kullanım-çevreye bırakma adımlarından oluşmaktaydı. Mamuller ömür sonlarında, tekrar değerlendirilerek mamullerden kazanılan fayda arttırılabilir.

3.1 Mamul ömür sonu tanımı

Elektronik ürünlerde ömür kavramı diğer ürün gruplarından farklılık gösterir. Diğer mamuller için anlamlı olan aşınma veya fonksiyon ömrü, elektronik ekipmanda ömür tanımı için yeterli değildir. çalışmalar elektronik ürünlerin fonksiyon ömrünün uzunluğunun tam bir kesinlikle tahmin edilebildiğini göstermektedir.[Tümkor ve diğerleri] Fakat günümüzde bu ürünler bir arıza çıkarmadan önce güncelliğini kaybetmektedirler. Yeni teknolojiye sahip bir ürün piyasaya girdiğinde ürün eskimiş olmakta ve kullanılmaz hale gelmektedir. [2005] Elektronik ekipmanlar için tanımlanan ömürler ve kimi ürünlerin EOL fazındaki özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir [Ishii, 1999].

Güncel etkiler ve moda mamulün kullanım ömrünü etkilemektedir. Bir mamulün modasının sürdürdüğü süre onun pazar ömrünü oluşturur. Burada bu süreyi etkileyen en önemli parametre pazardaki rakip ikame ürünlerdir. Pazar ömrü üründen ürüne farklılık gösterir. Örneğin mürekkep püskürtmeli bir yazıcı için bu süre 1 yıl iken renkli televizyon için 3 yıldır. Cep telefonları için bu ömür aylarla ifade edilecek kadar azalmıştır. Değişen kullanıcı profillerine uyum için de firmalar fonksiyonu aynı olan fakat yeni görünümlü (modaya uygun) ürünlerini piyasaya sürmektedirler. Örnek olarak mürekkep püskürtmeli yazıcılarda, sürekli bir tasarım değişikliğine gidilir, fakat çalışma prensibi aynıdır.

Tablo 3.1: Bazı ürünlerin EOL özellikleri

	HP Renkli Mürekkep Püskürtmeli yazıcı	Xerox Fotokopi Makinası	Panosonic Ev süpürgesi	Toshiba Bulaşık Makinası	Philips 21" Renkli Televizyon
Aşınma Ömrü [yıl]	5	5	8	10	15
Tasarım Ömrü [yıl]	1	2	1	2	3
Teknolojik Ömrü [yıl]	1	2	5	5	6
Yenilenme Ömrü [yıl]	2	4	7	10	14
Fonksiyonel Karmaşıklık	Yüksek	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Malzeme Sayısı	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük	Yüksek
Parça Sayısı	Orta	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek
Modül Sayısı	5	7	4	4	5
Zararlı Kısım	Mürekkep	Toner	PVC	Motor Yağı	Ekran Tüpü
Kirlilik	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
Boyut	Orta	Büyük	Orta	Büyük	Orta
Geri Kazanım Değeri	Yedek Parça	Yeniden kullanım	Metal, Plastik	Metal, Plastik	Cam, Metal, Plastik

3.2 Mamul ömür sonu senaryoları

Elektrikli ve elektronik ekipmanlar genel olarak 4 temel biçimde değerlendirilebilir, bunlar yeniden kullanım, geri dönüşüm, yakma ve kontrollü/kontrolsüz depolamadır. Yeniden kullanım ve geri dönüşüm ekonomik olarak en cazip olan seçeneklerdir.

3.2.1 Yeniden kullanım:

Bir mamulün bütün olarak veya alt parçalarının mamul ömür sonuna geldiğinde tasarlandığı maksatla kullanılmasıdır. Bu senaryonun gerçekleşmesi mamul veya parçanın fiziksel ömrünü tamamlamadığı durumlarda mümkün olmaktadır. Gerçekte bu işlem ile mamulün kullanım ömrünü uzatarak, atık miktarını azaltmak bu senaryonun temel çıkış noktasıdır. Yeniden kullanımdaki temel amaç, atık hale gelen bir mamulün yerine yeniden imal edilecek yeni mamulün üretiminde harcanacak malzeme ve enerjiden kâr etmektir [U.S. Environmental Protection Agency, 2000].

Günümüzde mamul ömür sonunda mamulün bütün olarak yeniden kullanım maksadıyla değerlendirilmesi hayır kuruluşları tarafından yapılabilmektedir. Bu

kuruluşlar mamulleri bağış olarak kabul etmektedirler ve eğer gerekliyse tamir ve bakım işlemleri için bir miktar ücret talep edebilmektedirler. İngiltere’de Computer Aid isimli hayır kuruluşu kullanıcıların bilgisayarlarını toplayarak, ufak bir bakım sonrası az gelişmiş Afrika ülkelerinin kâr amacı olmayan eğitim, sağlık veya hayır kuruluşlarına bağışlıyor [Computer Aid, 2007]. Amerika Birleşik Devletleri’nde cep telefonları için benzer bir çalışma The Charitable Recycling Program (Hayır için Geri Dönüşüm Programı) isimli kuruluşu tarafından yapılmaktadır [Cell phone recycling donation, 2007]. Bu işlem için cep telefonuna veya onun alt parçalarına bir bakım gerekebilmektedir. Ekonomik açıdan, mevcut EOL işlemleri arasında en yüksek faydaya sahip değerlendirme biçimidir. 1000 çamaşır makinasının 15 yıl kullanımı göz önüne alındığında mamul ömür sonunda tekrar kullanımı ile elde edilecek kazanımların tekrar kullanılmadığı duruma göre mukayesesi Tablo 3.2’de takdim edilmiştir [Truttmann and Rechberger, 2006].

Tablo 3.2: Çamaşır Makinasının Tekrar Kullanımı ile Kazanılacak Enerji Miktarı

	Yeniden kullanım yapılmadığında	Yeniden kullanım yapıldığında
	GJ/1000 kullanımdaki makina için; sistem sınırı 15 yıl	
Malzeme Üretimi	2.800	1.870
Montaj	3.000	20.000
Kullanım	13.400	14.100
Toplama	60	40
Geri Dönüşüm	2.800	1.880
Toplam	22.000	19.900

Diğer taraftan bu değerlendirme kendi içinde birçok tartışmayı da beraberinde getirmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre komisyonun raporuna göre Hindistan’da yaklaşık olarak 5 milyon bilgisayar bulunmaktadır. Bunların 1,38 milyonu 486 veya daha eski modeldedir. Yeniden kullanım mamullerin ömürlerini uzatmak için iyi bir seçenek olsa da gelişmekte olan ülkeler için kısa sürede atık halini alabilecek mamuller anlamına gelmektedir [UNEP- GRID, 2005]. Science in Africa elektronik dergisi BAN isimli Amerika tabanlı lobi grubuna dayanarak her ay Lagos kentine ve limanına 500 dev konteyner dolusu bilgisayar, televizyon ve cep telefonları geldiğini belirtmektedir. Bu ekipmanların tamir ve tekrar kullanım için gönderilse de BAN bunların %75’inin tamir edilemez ve ekonomik değere sahip olmadığını belirtmektedir [Science in Africa, 2005]. Aslında Basel antlaşması ile zararlı atıkların ticareti hukuksal olarak yasaklansa da bu değerlendirme biçimi kimi gruplar tarafından kötü amaçla kullanılabilmektedir.

Bu değerlendirme biçimi için firmaların da bazı endişeleri vardır. Bakım yapılarak satılacak olan ürünler üzerlerinde kendi orjinal üretici amblemleri ile satılacaklardır, bu mamulün performansının firma ile ilişkilendirildiği için kullanıcı üzerindeki olumsuz etkiden çekinceleri mevcuttur. Ayrıca garanti konusundaki belirsizlikler de karanlık olan noktadır [Tumkor et.al, 2005].

Mamulün tamamının yeniden kullanımının mümkün olmadığı yerlerde diğer cazip olan yöntem mamulün alt parçalarının tekrar kullanımıdır. Bu parçalar direk olarak alt montajın üretim sürecine dahil edilebileceği (remanufacturing) gibi servis amaçlı olarak da kullanılabilir.

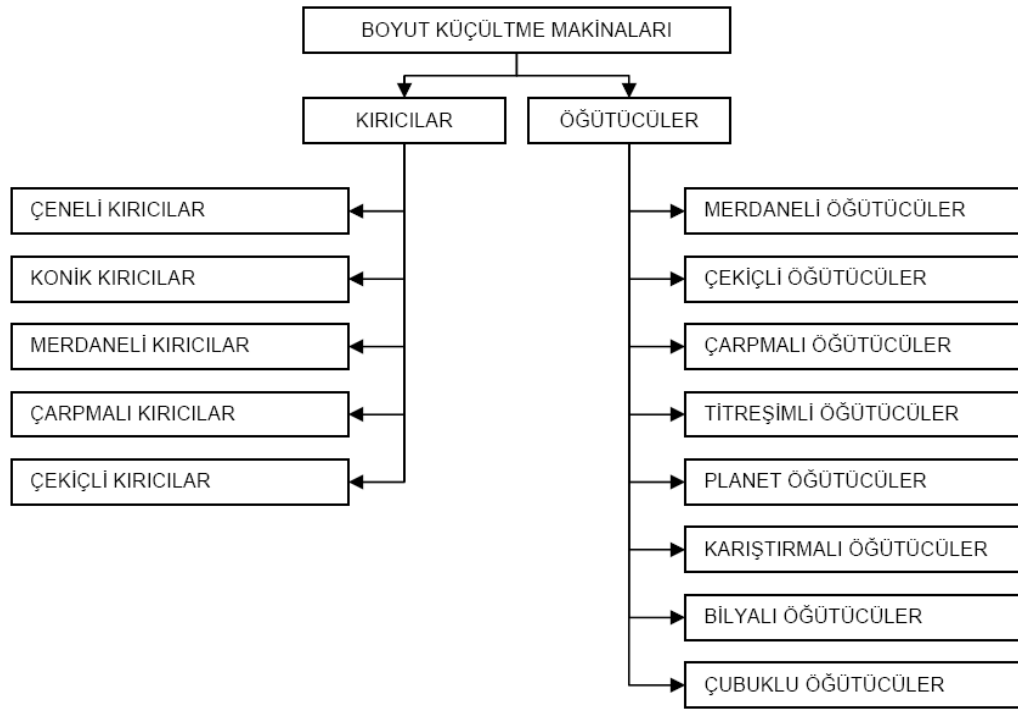
Stobbe ve diğerleri baskılı devre elemanlarının tekrar kullanımı için otomatik demontaj tesisi tasarlamış ve sistemin optimizasyonu hakkında çalışmalar yapmışlardır [2004]. Baskılı devre kartı (PCB) elemanlarının kart üzerinden ayrılması için tanımlama, lehimin kaldırılması ve kalite testleri işlemlerinin yapılması öngörölmüşür. Lehimin kaldırılması için sıcak hava gaz tabancası ile parametrelerin optimizasyonu yapılmıştır. Bu sayede bileşenler makul bir maliyetle demontaj edilmiştir. Ayrıca piyasadaki yaygın ürünlerin bilgilerini veribankasına alarak parça tanımlaması da otomasyon ile sağlanmışır.

3.2.2 Geri dönüşüm:

Günümüzde elektronik atıklarda en yaygın olarak kullanılan değerlendirme biçimidir. Geri dönüşüm, uzun yıllardan beri beyaz eşyadan otomobile kadar birçok ürün gruplarında uygulanmaktadır. Bu yöntemde işlemler temel olarak 3 ana aşamada incelenebilir: 1. ön hazırlık olarak demontaj işlemi; 2. tane küçöltme işlemi; 3. mamul malzemesinin ayrıştırılması ve vasıflandırma işlemi [Lee ve diğerleri, 2007]. Ön hazırlık olarak demontaj işlemi ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir. Malzemenin ayrıştırılması ve vasıflandırma işlemi parça içerisindeki birçok malzeme içerisinden saf malzeme elde etmek için yapılır. Saf olmayan malzeme geri dönüşüm işleminde malzeme kalitesini düşürerek hem malzeme kalitesini hem de buna bağlı olarak malzeme değerini düşürür.

Tane küçöltme işlemleri, tane serbestleşmesini sağlamak ve mamulün ayrıştırma işlemleri için gerekli ebattaki parça boyuna getirilmesi işlemidir. Tane serbestleşmesi parçanın tanelerinin ufalmasıyla tek bir malzemeye sahip tanenin oluşmasıdır. Tane küçöltme makinaları temel olarak kırıcılar ve öğütücüler olarak 2 tipe ayrılır (Şekil

3.1). Kırılacak malzemenin sertliği, istenen boyut büyüklüğü ve kapasite boyut küçültme makinasının tipini belirler. [Çığgın 2007]



Şekil 3.1: Boyut Küçültme Makinaları

Boyut küçültme makinaları büyük miktarlarda enerji tüketirler. Bu tüketilen enerjinin küçük bir kısmı faydalı işe çevrilebilir. Geri kalan büyük miktardaki enerji parçalanmış tanelerin elastik şekil değişimi, parçalanmayan tanelerin elastik şekil değişimi, plastik özellikleri olan kısımların plastik şekil değişimi, yüzeysel amorflaştırma gibi diğer bağlantı şekillerine geçiş, kırma makinelerinin parçalarının elastik ve plastik şekil değişimi, kırma makinelerinin çalışan yüzeylerinin aşınması ile taneler arası ve tanelerle makinenin çalışan yüzeyleri arasındaki sürtünmelere harcanır [Önal ve Ateşok, 1994]. Bu sebeple çok verimli bir proses değildir.

Kırma ve öğütme işlemleriyle değişik tane büyüklüğüne sahip karışım, ayrıştırma işleminin arzu ettiği tane büyüklüğündeki parçalara ayrıştırılması için eleme veya sınıflama işlemine tabi tutulur [Çığgın, 2007]. Bu sayede belirli bir tane büyüklüğüne indirilmiş olan karışım ayrıştırma işlemleri ile istenilen malzeme saflığına sahip ürün elde edilir. Ayrıştırma işlemi karışımı oluşturan malzemelerin iletkenlik özelliklerine göre ve yoğunluğuna göre olabilir.

İletkenlik temelli ayırma 3 tipte olabilir; elektrostatik ayırma (electrostatic separation), girdap akımı ile ayırma (eddy current separation) ve triboelektrik ayırma

(triboelectric separation) ile yapılabilir. Elektrostatik ayırma demir dışı metalleri ayrıştırmada kullanılır. Eddy current metal ile metal olmayanları ayrıştırır. Triboelektrik ayrıştırma ile iletken olmayan farklı plastiklerin ayrıştırma işlemlerinde kullanılır.

Özgül ağırlık farkına göre ayırma, değişik yoğunluklara sahip malzemelerin ayrıştırılmasında kullanılır. Tane büyüklükleri 50cm- 6 μ m arasında olan durumlarda uygulanabilir. En yaygın olduğu uygulama sıvı içersindeki yüzdürme methodudur. Belirli bir yoğunluğa sahip akışkan içerisinde farklı yoğunluklara sahip malzemeler atılarak yüzüp batmasına göre parçalar sınıflandırılır. Tablo 3.3’de özgül ağırlık farkına göre ayırma işleminde kullanılan sıvılar ve yoğunlukları verilmiştir [Zhang and Forssberg, 1997]. Birbiri içinde çözülebilen sıvılar, uygun oranlarda karıştırılarak istenilen yoğunlukta sıvı elde edilebilir.

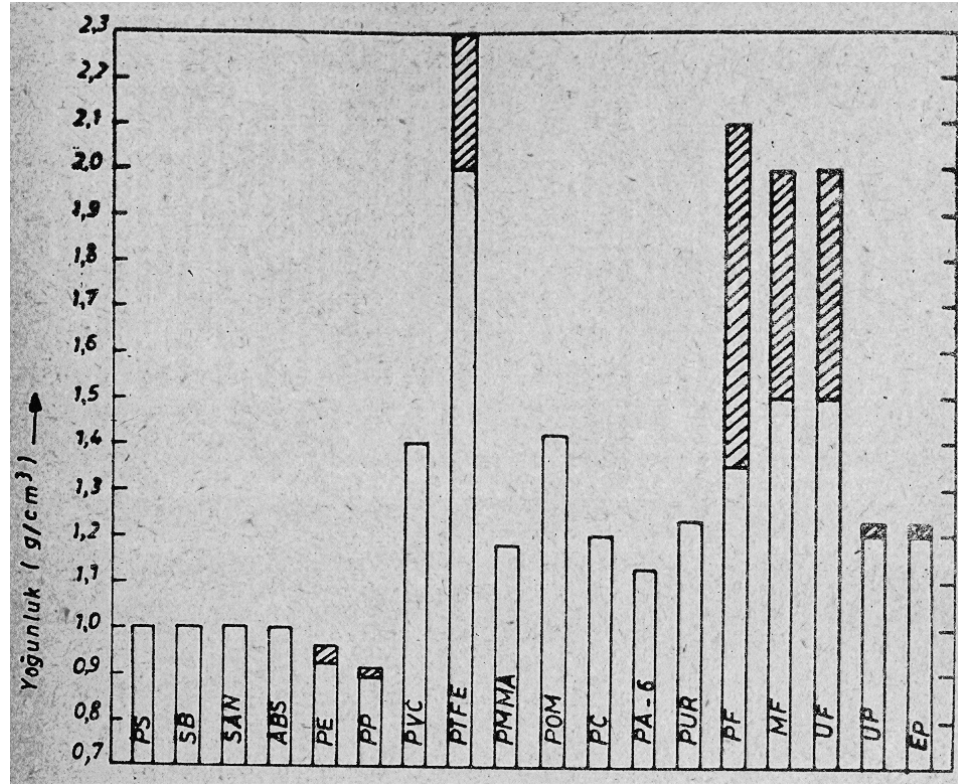
Özellikle farklı yoğunluk değerlerine sahip olan malzemelerde uygulanır. En ucuz ve işletme gideri en düşük olan değerlendirme yöntemlerinden birisidir. Farklı malzemelere sahip karışım batmasına veya yüzmesine göre ayrıştırılır. Bu sebeple ikiden fazla türde malzemesi bulunan karışım birden fazla havuza ihtiyaç duyacaktır. Elektriksel özelliklerinin düşük olması sebebiyle genellikle plastiklerin ayrıştırılmasında kullanılır. Plastik malzemelerin yoğunlukları Şekil 3.2’te verilmiştir [Maraşoğlu ,1986].

Tablo 3.3: Yüzdürme Yönteminde Kullanılan Sıvıların Yoğunlukları

Malzeme	Yoğunluğu (gr/cm^3)
Alkol	0,79
H_2O	1,00
$NaCl - H_2O$	1,20
$CaCl_2 - H_2O$	1,50
Aseton: TBE = 4:5	2,00
Aseton: TBE = 0.27:1	2,50
Tetrabromo-ethane (TBE)	2,96

Şekil 3.3.’te bir plastik ayıştırma tesisinin şematik görünüşü verilmiştir [Ehrig and Curry, 1992]. 5 farklı plastik malzeme karışımı ayrıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu sebeple 4 farklı yoğunluğa sahip havuz kullanılmıştır.

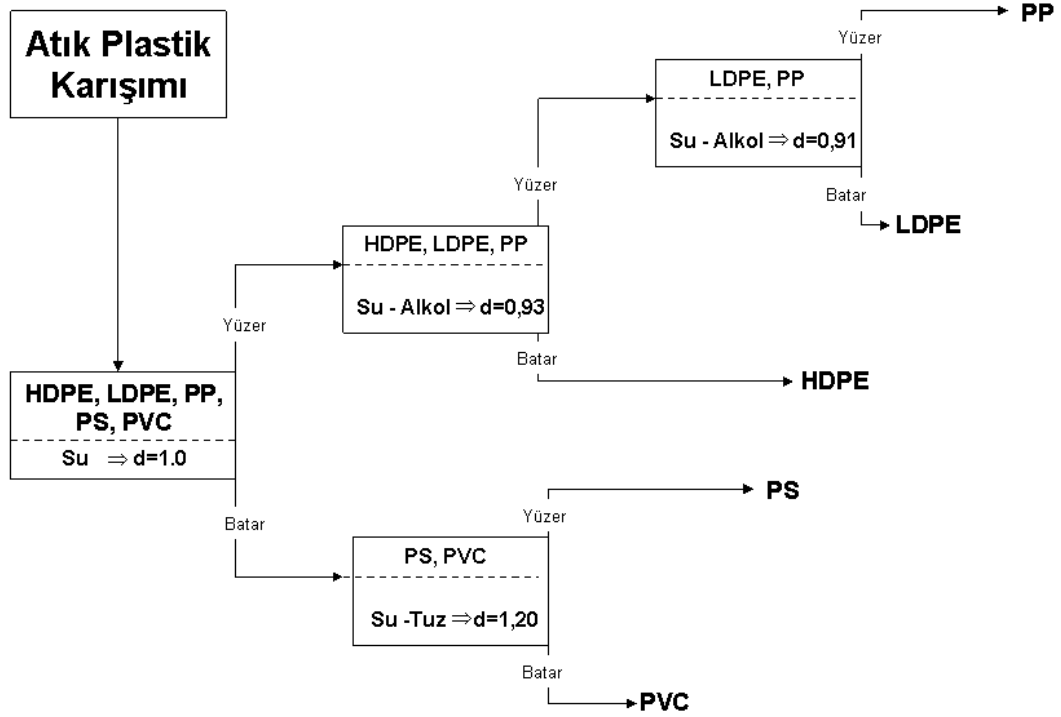
Yoğunluk farkına göre ayırıştırma kuru sistemlerle de yapılabilir. Bu sistemler havalı ayırıştırıcılar veya elekler ile ayırıştırma olabilir. Havalı ayırıştırıcılar karışımı belirli bir hava akımının olduğu ortama verilmesi ile yoğunluk farkına göre karışımın ayrışması temeline dayanır. Titreşim ile ayırıştırma bir hazne içerisindeki karışımın dışarıdan verilen bir titreşim ile yoğunluk farkına göre üste veya alta yerleşmesi ile ayırıştırma yapılır.



Şekil 3.2: Yaygın olarak kullanılan Plastiklerin Yoğunlukları

Geri dönüştürülmüş malzemelerin yeni ürünlerdeki kullanımı giderek artmaktadır. Tablo 3.4’de yıllara göre geri dönüştürülmüş malzeme kullanımındaki artış ve 2009 için tahmin edilen değerler verilmiştir [Rajan, 2005]. Özellikle plastiklerin geri dönüşümü 2002-2004 döneminde büyük bir artış göstermiştir. Bunun altındaki en önemli neden bu dönem içerisinde petrol varil fiyatlarının hızlı artışıdır. Artan hammadde fiyatları dolaylı olarak hammadde üreticilerini geri dönüştürülmüş malzeme kullanmaya itmiştir. Misal olarak bu dönemde plastik geri dönüşüm miktarı yüzde 10,2 büyümeyle 2357,2 milyon dolardan 2551,9 milyona çıkmıştır. Bu değer 2009 yılı itibarıyla 4156,7 milyona çıkması beklenmektedir. Halihazırda ekonomik açıdan en yüksek geri dönüşüm hacmi metallere aittir. Hem ayırıştırma kolaylığı hem de malzemenin yüksek ekonomik değeri metallere geri dönüşümünü

cazip kılmaktadır. 2009 yılı içinde metallerin geri dönüşümün yıllık % 8,1 artış hızıyla 6244,5 milyon dolara ulaşması beklenmektedir.



Şekil 3.3: Bir Tesiste Plastiklerin Yüzdürme Yöntemiyle Ayrıştırılması

Tablo 3.4: Elektronik Atıkların Geridönüşümün son yıllardaki hacmi ve 2009 yılı tahmini (Milyon dolar olarak)

	2002	2003	2004	2009	YOBO*% 2004-2009
Geri Dönüştürülmüş Metaller	3992,3	4112,3	4236,4	6244,5	8,1
Geri Dönüştürülmüş Plastikler	2357,2	2450,2	2551,9	4156,7	10,2
Geri Dönüştürülmüş Silika	39,1	40,2	41,3	59,3	7,5
Diğer Geri Dönüştürülmüş Teknolojiler	287,8	400,9	414,7	590	7,3
Toplam:	6776,4	7003,6	7244,3	11050,5	8,8

*YOBO: Yıllık Ortalama Büyüme Oranı

Geri dönüştürülmüş malzeme kullanımının birçok faydası vardır. Malzeme hazırlama işlemleri önemli miktarlarda enerji tüketmektedir. Tüketilen enerji sonucunda çevreye zararlı birçok atık ortaya çıkmaktadır. Malzemelerin geri dönüşümü ile bu zararların önemli bir kısmı azaltılabilir. Tablo 3.5’de çelik ve demir için geri dönüşüm ile enerji ve atık miktarlarındaki kazançlar verilmiştir [Cui and Forssberg, 2003]. Malzeme hazırlama işlemleri sırasında tüketilen enerji malzemeden

malzemeye farklılık gösterir. Tablo 3.6’da değişik malzemelerin geri dönüşümü ile elde edilen kazançlar verilmiştir [Cui and Forssberg, 2003].

Tablo 3.5: Demir ve Çelik Atıklarının Geri Dönüşümü ile Elde Edilen Faydalar

Fayda	Oranı (%)
Enerji kazancı	74
Hammadde kullanımındaki kazanç	90
Hava kirliliğindeki azalma	86
Su kullanımındaki azalma	40
Su kirliliğindeki azalma	76
Maden atıklarında azalma	97
Tüketici atık oluşumunda azalma	105

3.2.3 Yakmak

İlk üç değerlendirme yönteminin cazip olmadığı durumlarda tercih edilen bir değerlendirme seçeneğidir. Enerji elde etmek maksadıyla kullanılabilir. Bazen bu işlem evsel atıkların değerlendirmesi için de kullanılmaktadır. WEEE’lerde kullanımı küçük geri dönüşümcülerde ve geri kazanımcılar tarafından metallerin geri kazanılması ve özellikle kablolardan bakırı ayırtmak amacıyla başlamıştır. Kabloların açık alanda yakılması ile yakma işlemi artıkları arasında bakır kablolar ortaya çıkar. Özellikle az gelişmiş ülkelerde denetimsiz olarak uygulanmaktadır [UNEP, 2006]. Fakat bu yakma işlemi ile zararlı kimyasallardan birisi olan dioxin maddesi ortaya çıkar. Yanma küllerinde biriken dioxin çevreye kontrolsüz olarak bırakılması ile suya ve toprağa bulaşır [Greenpeace, 2007].

EOL değerlendirmesi olarak yakmak işlemi büyüyen atıkların hacimlerinin azaltılması için bir seçenek olarak düşünülmektedir. Fisher ve diğerleri çalışmalarında, kimi durumlarda plastiklerin mekanik geridönüşümünün ne kolay ne de çevreye duyarlı olmadığını belirtmektedir [2004]. Bu gibi durumlarda enerji kazanımının uygun bir alternatif olarak nitelemişlerdir WEEE’lerin düşük ısı değerleri ve yanma sonucu oluşan zehirli atıkları azaltmak için doğalgaz ile tahrikli yakma sistemleri kullanılmaktadır. Burada yüksek sıcaklıklarda ($>500\text{ }^{\circ}\text{C}$) atıklar yakılmaktadır. Stewart ve Lemieux bilgisayar anakartı ve klavyesi atıklarının yakılarak değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Yakma atıklarının azaltılması için atığı fırına besleme miktarı ve fırın sıcaklığının optimizasyonu ile ilgili çalışmalar yapmışlardır [2003]. EOL değerlendirme seçenekleri arasında kazanılan fayda açısından iyi olmasa da toprağa gömmek yerine parçaların ısısından

faydalanmak kârlı bir seçenektir. Bu tip Atık santrallerinin kanuni olarak denetim altında çalışmaları, dikkat edilmesi gereken husustur.

3.2.4 Kontrolsüz Çevreye Bırakmak

Çevreye en fazla zararı veren EOL değerlendirme seçeneği olmasına rağmen hâlâ en çok tercih edilen yöntemdir. Bunun sebebi üreticiye en düşük ek maliyet getirmesi ve yasal boşluklardır. Artan tüketici bilinci ve buna bağlı yasal kısıtlamalar ile çevreye bırakma işleminin mümkün olduğunca azaltılması, eğer tercih edileceği durumda da atıkların gerekli tedbirler alınarak çevreye bırakılması gerekmektedir. Atık yönetimin ülkeden ülkeye farklılık gösterdiği için gerekli maliyet ve atık değerlendirme esasları da değişiklik göstermektedir. Ülkemizde Çevre ve Orman Bakanlığının elektronik atık olarak kabul ettiği maddeler Tablo 3.7’de verilmiştir [Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005].

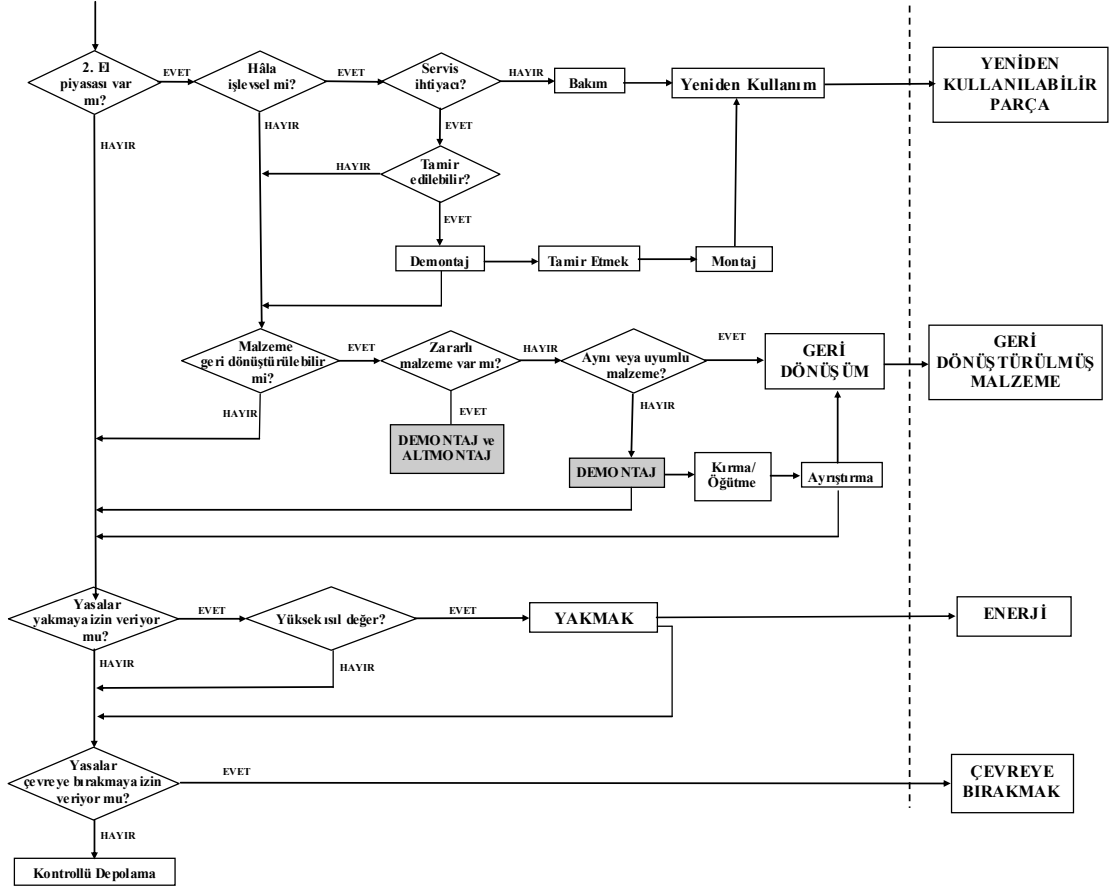
Tablo 3.6: Çevre ve Orman Bakanlığının WEEE Tanımı

16 02 09	PCB’ler içeren transformatörler ve kapasitörler
16 02 10	16 02 09 ’de bahsedilenlerin dışındaki PCB’ler içeren yada üzerlerine PCB bulaşmış ıskartaya ayrılmış ekipmanlar
16 02 11	Kloroflorokarbon, HCFC, HFC içeren ıskarta ekipmanlar
16 02 12	Serbest asbest içeren ıskarta ekipman
16 02 13	16 02 09 dan 16 02 12’ye kadar bahsedilenlerin dışında tehlikeli bileşenler içeren ıskarta ekipmanlar ^[1]
16 02 15	Iskartaya çıkan parçalardan çıkartılmış tehlikeli maddeler içeren parçalar

1: Elektrikli ve elektronik ekipmanların arasındaki tehlikeli bileşenler içerisinde (1606)’da bahsedilen akümülatör ve piller ile tehlikeli olarak işaretlenmiş olan cıvalı anahtarlar, katot ışın tüplerinin camları ve diğer aktifleştirilmiş camlar ve benzerleri bulunabilir.

3.3 Uygun EOL Seçeneğinin Tespiti

Demontaj işleminin süresi ve demontaj işleminin maliyeti yapılan proseslere bağlıdır. Bir parçaya veya montaj grubuna uygun demontaj biçiminin tespiti, bir sistematik dahilinde mamul hakkında sorulabilecek sorular ile araştırılarak yapılabilir [Tumkor ve Senol, 2007]. Bu proseslerin uygun tespiti ile demontaj işleminin giderleri hesap edilebilir.

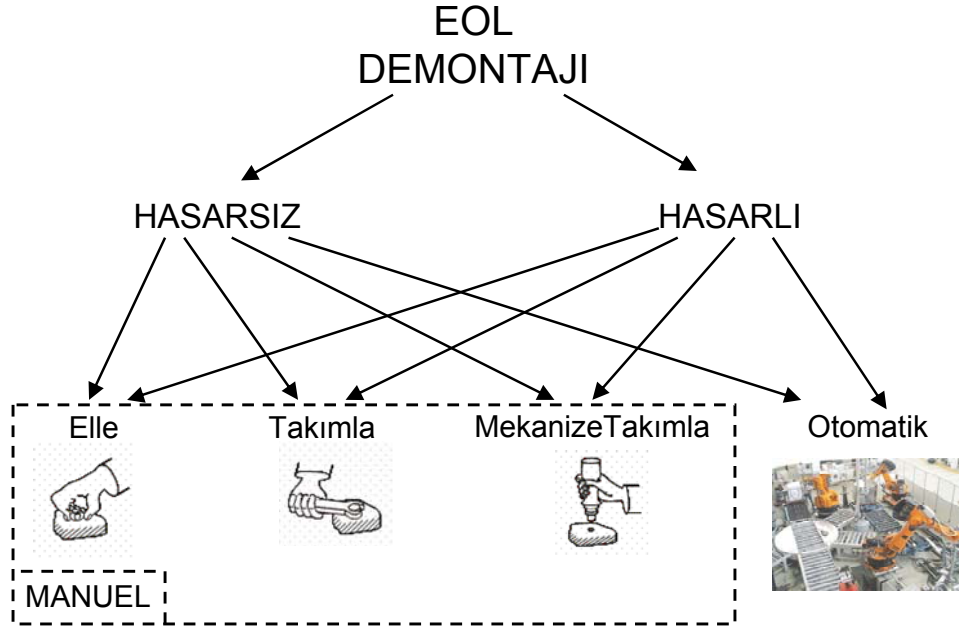


Şekil 3.4: Uygun EOL Seçeneğinin Araştırılması

4. Demontaj Prosesi

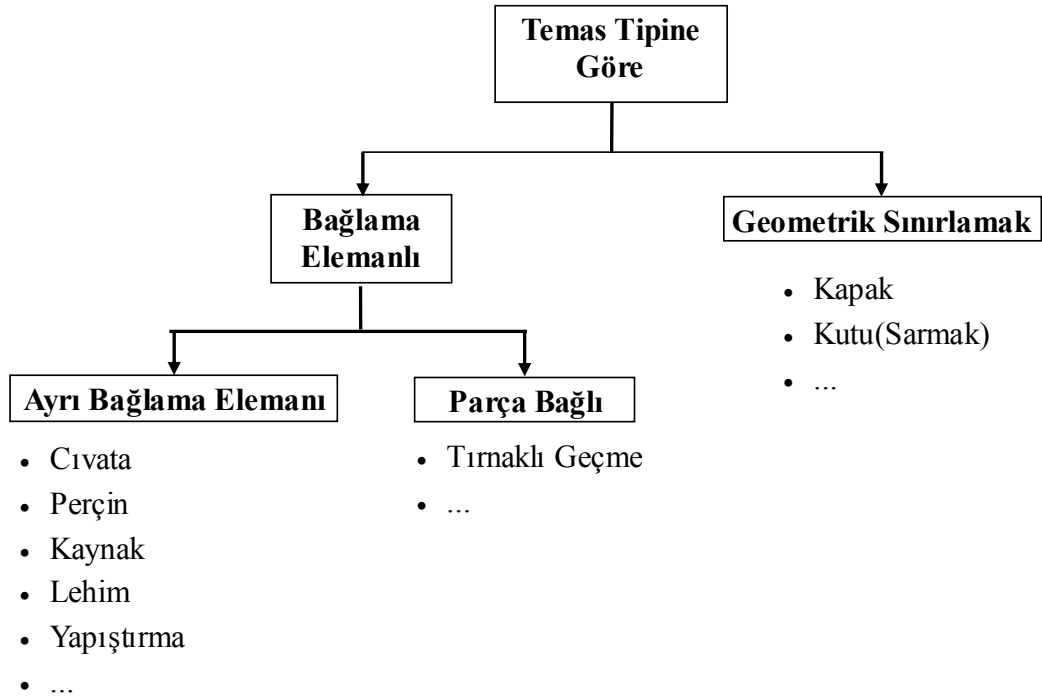
Demontaj işlemi uzun yıllar boyunca sadece mamullere servis ve tamir hizmeti vermek amacıyla uygulanmaktaydı. Bu demontaj işlemi mamulü söküp tekrar eski halinde bağlama amacı taşıyan ve hem parçanın hem de bağlama elemanının hasara uğramadan sökümü olan Hasarsız Demontaj işlemidir. Servis amaçlı demontaj, servis sorumluları tarafından yapılmaktadır. Firmalar demontaj süresinin tespiti ve bu sürenin iyileştirme gibi bir kaygıyı sadece hızlı servis verebilmek için gözetmişlerdir. WEEE'ler içerisinde, hem değerli ve hem de çevreye zararlı malzemeler barındıran birçok parça bulundurmaktadırlar. Bu değerli malzemeler gerek taşıdığı fonksiyenellik açısından yeniden kullanılabilmesi, gerekse PCB kartlarında olduğu gibi maddi değeri çok yüksek malzemelerin alışım elementi olarak kartın içerisinde kalmasından kaynaklanır. Diğer taraftan içerisinde toksik malzemeler bulunan parçalar, atık olarak özel değerlendirme yöntemleriyle işlenmesi gerekir. Özellikle RoHS direktifinin yürürlüğe girdiği tarih olan 1 Temmuz 2006'dan önce üretilmiş olan mamullerde zararlı birçok malzeme mevcuttur. Kısa vadede bu ürünlerdeki zararlı malzemelerin EOL fazında değerlendirilmesi çevre için büyük önem taşımaktadır. Bu maksatlarla, erişimi hedeflenen parçalar, çoğu zaman parçanın erişimi zor olan alt montajlarında bağlıdır. Mamul ömür sonu demontajının amacı, her parçayı hasarsız demonte etmek değil erişilmesi amaçlanan parçalara göre en uygun demontaj proses sıra ve miktarını içermesidir. Bu amaçla eğer bir engeli yoksa hedeflenen parçaya erişmek için ondan evvel sökülmesi gereken parçalar veya bağlantılar hasara uğratılarak sökülebilir. Bağlantının ayrılması amacıyla, bağlantı elemanının veya parçalardan birinin hasara uğratılması işlemine Hasarlı Demontaj işlemi adı verilir. Örnek olarak perçin bağlantılarında, perçinin başı deforme edilerek demontaj işlemi yapılabilir.

Demontaj işlemi el ile, takım ile el kuvvetini kullanarak, kuvvet yardımı almak amacıyla mekanize takımla, tam veya kısmen otomatik olarak robotlar yardımıyla yapılabilir (Şekil 4.1)..

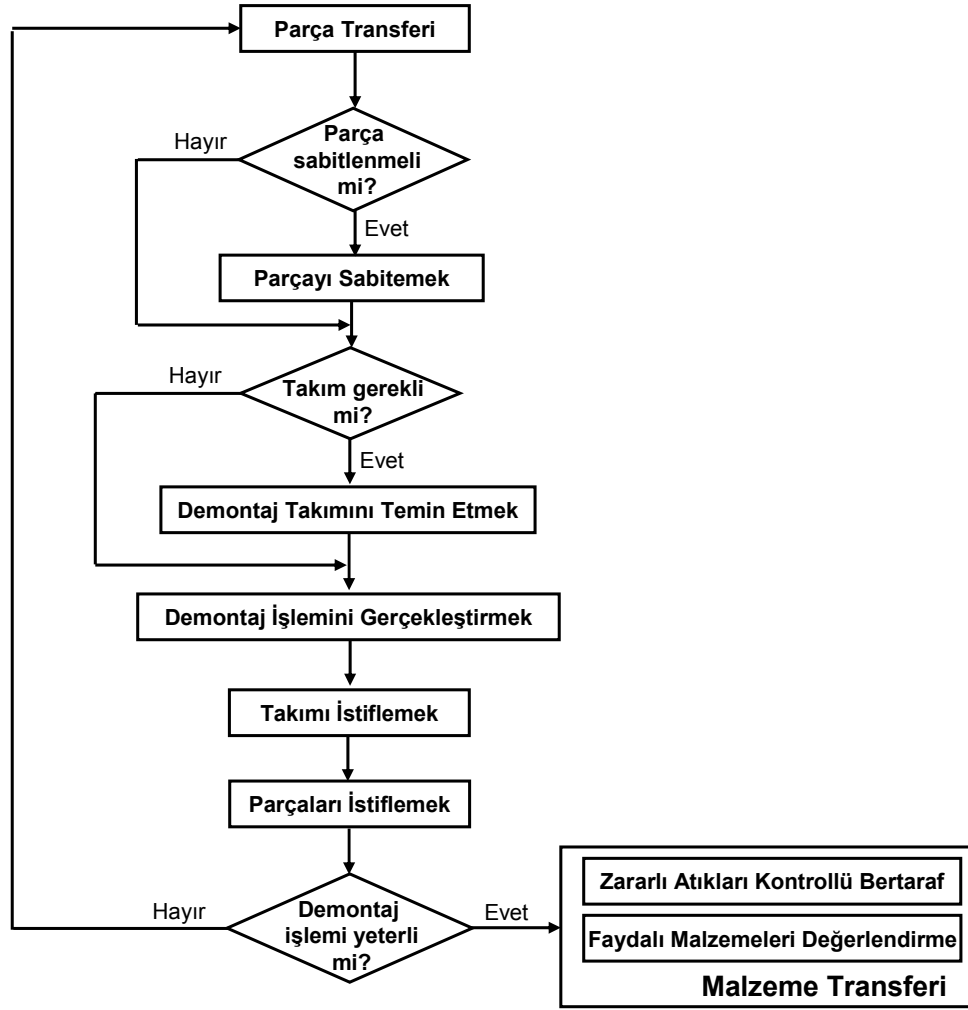


Şekil 4.1: EOL Demontaj Şekilleri

Bağlama elemanlarında temas birçok şekilde olabilir (Şekil 4.2). Bağlantı ayrı bir bağlama elemanı (civata, perçin) ile olabilirken parçanın kendisinin bağlama elemanı olduğu tırnaklı geçme bağlantısı da olabilir. Bir başka bağlantı biçimi de arada hiçbir bağlantı elemanı olmadan parçanın geometrik olarak sınırlandırıldığı durumdur. Misal olarak bir parçanın kapak ile sınırlandırılması gösterilebilir. Bu durumda kendisini sınırlandıran bağlantı elemanı söküldüğünde parça da serbest kalır.



Şekil 4.2: Bağlama Elemanlarının Temas Tipine Göre Sınıflandırılması



Şekil 4.3: Demontaj İşlem Akışı

Demontaj işlemi birçok alt işlemleri içerisinde barındırır. Genel olarak demontaj işlem akışı şekil 4.3'te verildiği şekilde gösterilebilir. Demonte edilecek parça, ağırlığı, kütle merkezinin yeri ve demontaj kuvvetine göre sabitlenip sabitlenmeyeceği tespit edilir. Ardından demontaj işlemi için takım gerekliyse takımın tespiti (gerekli durumlarda 2. takım ihtiyacı da olabilir) ile demontaj işlemi gerçekleştirilir. Demontaj işleminde, eğer kullanıldıysa, takım istiflenir. Ardından erişilen alt montajlar uygun şekilde istiflenerek demontaj işlemi sonuçlanır. Eğer alt montajlar tekrar demontaj işlemine tabi tutulmak isteniyorsa tekrar bu döngü içerisine sokulur. Demontaj işleminin yeterli olduğu durumda ortaya çıkan parçalar eğer değerli ise EOL işlemleri ile değerlendirilir. Zararlı olan parçalar ise kontrollü bertaraf edilir.

4.1 Demontaj Karakteristikleri

Mamul ömür sonunda yapılan demontaj işlemi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler:

- Ağırlık
- Boyutlar
- Bağlanan parçaların özellikleri
- Bağlantı Özellikleri
- Bağlantı sayısı

olarak sayılabilir. Bu faktörler yardımıyla demontaj işlemi gereksinimleri ve demontaj işlemi ile elde edilecek kazanımlar tanımlanabilir. Bu faktörleri oluşturmak için mamulün özelliklerinin araştırılması gerekir. Bu özellikler parçayı tanımlayan mamul karakteristikleri ve bağlantı özelliklerinden oluşur. Aşağıda bu iki özelliği oluşturan alt faktörler birbirleri ile ilişkilerini tanımlayacak şekilde verilmiştir.

1. Mamul karakteristikleri

1.1. Geometrik Parametreler

1.1.1. Ana Şekil:-Tel yapılı, Düzlemsel, Silindirik, Blok şekilli, Konik şekilli, Piramit şekilli, Mantar şekilli, Delik şekilli (kabuk ve boru tipi de dahil), Yapı oluşturmuş parça, Düzensiz şekilli, Küre şekilli, Uzun şekilli

1.1.2. Temel boyutları:-80 mm^3 'e kadar, 125 mm^3 'e kadar, 170 mm^3 'e kadar, 215 mm^3 e kadar, 271 mm^3 e kadar, 2000 mm^3 den büyük

1.1.3. Tutma yüzeyleri arasındaki mesafe [mm]

1.1.4. Tutma yüzeyinin şekli:- Yüzey, Çizgi, Nokta, Karmaşık şekilli

1.1.5. 2. Tutma yüzeyinin şekli:-Yüzey, Çizgi, Nokta, Karmaşık şekil

1.1.6. Tutma yüzeylerinin yeri:-Sağdan ve soldan, Önden ve arkadan, Üstten ve alttan

1.1.7. Kütle merkezinin yeri:-Tutma noktasının 50 mm yakınında , Tutma noktasından 50 mm'den daha uzak

1.1.8. Deformasyon :Mevcut, Mevcut değil

1.2. Fiziksel Parametreler

- 1.2.1. Malzeme sınıfı :-Çelik, Alüminyum, Diğer metal, Plastik, Kauçuk, Seramik, Cam, Tahta, Kompozit, Diğer
- 1.2.2. Malzeme: [%]:
 - 2.1.1.1 Kıymetli
 - 1.2.2.2 Zararlı
- 1.2.3. Ağırlık [gr]:-Hafif [0-1 kg], Orta [1-3 kg], Ağır [3-8 kg], Çok ağır [8+ kg]
- 1.2.4. Dayanım [Mpa]
- 1.2.5. Sertlik :-Sert, Elastik, Yumuşak
- 1.2.6. Yüzey kalitesi:-Düz, Yuvarlak, Ayrık, Hassas
- 1.2.7. Parçanın yaşı [yıl]
- 1.2.8. Parçanın çalışma ortamı durumu:-Aşırı nemli veya sıcak ortamda çalışmış, dış etkilere açık ve bunun izleri mevcut, Kapalı bir ortamda (ev ortamı gibi) bulunmuş ve bakımlı, İyi bir çalışma ortamında ve çok iyi durumda ise, Görülen hiçbir yaşlanma belirtisi yoksa
- 1.3. Bağlantı parametreleri
 - 1.3.1. Bağlanan parça sayısı
 - 1.3.2. Bağlama metodu sayısı
 - 1.3.3. Bağlama elemanına erişebilirlik:-Bağlama elemanı direk karşı yüzeyde ve görüş ve erişim tam, demontaj takımı ile tam erişim mevcut., Bağlama elemanı karşı yüzeyde, görüş tam, ilave demontaj takımı ile erişim sağlanabilir, Bağlama elemanı karşı yüzeyde, görüş ilave ekipman ile sağlanabilir, erişim ilave demontaj takımıyla sağlanabilir.
 - 1.3.4. Bağlama elemanı tipi
 - 1.3.4.1 İlk bağlama elemanı tipi :-Civata , Civata –somun, Perçin, Kaynak, Lehim, Yapı tırma, Sıkma geçme, Tırnaklı geçme
 - 1.3.4.2 İkinci bağlama elemanı tipi (varsa): Civata, Civata – somun, Perçin, Kaynak, Lehim, Yapıştırma, Sıkma geçme, Tırnaklı geçme
 - 1.3.5. Bağlama elemanı Boyutu ve Şekli: (Misal: M8x30 gibi)

1.3.6. Bağlama elemanı malzemesi:-Çelik, Alüminyum, Diğer metal, Plastik, Kauçuk, Seramik, Cam, Tahta, Kompozit, Diğer

2. Demontaj prosesi karakteristikleri

2.1. Demontaj

2.1.1. Demontaj biçimi

2.1.1.1 Manuel

2.1.1.1.1 Manuel Hasarlı Demontaj prosesi :-Deforme etmek (dikiş kıvrımının açılması), Ayırarak kırmak (Perçin yapıştırma veya sıkı geçmeyi sökmek), Kesmek (Teli veya kabloyu kesmek), Testere ile kesmek , Delmek (matkap ile kesmek), Kırmak (kuvvet uygulayarak kırmak), Eritmek (çözdürme yöntemiyle çözmek), Ezerek kırmak (CRT ekranlarda ön camın kırılarak içerdeki parçalara erişmek), Soymak (etiketi veya folyoyu çıkartmak), Termal aşındırma (oksiasetilen kaynağı alevi ile)

2.1.1.1.1.1 Demontaj Takımı:-Yan keski, Pense, Jet Taşı, Hidrolik makaslı kesme takımı, Oksiasetilen alevi

2.1.1.1.2 Manuel Hasarsız Demontaj prosesi :-Döndürerek çıkartmak (kapağın çevirerek tırnağından kurtulması), Bastırarak çıkartmak (tırnaklı geçme bağlantılarında , Çevirerek gevşetmek (civata nın sökülmesi), Kelepçeyi sökmek, Çıkartmak (erişebilirliği veya çıkarılabilirliği sağlamak), Yerinden (yuvasından) çıkartmak (tırnaklı geçme bağlantısını sökmek), Akışkanı Boşaltmak

2.1.1.1.2.1 Demontaj Takımı:-Şekil Bağlı Takımlar (Tornavida, anahtar, vs.), Kuvvet Bağlı (Pense, Boru anahtarı, vs.), Mekanize ve Yarıotomatik takımlar

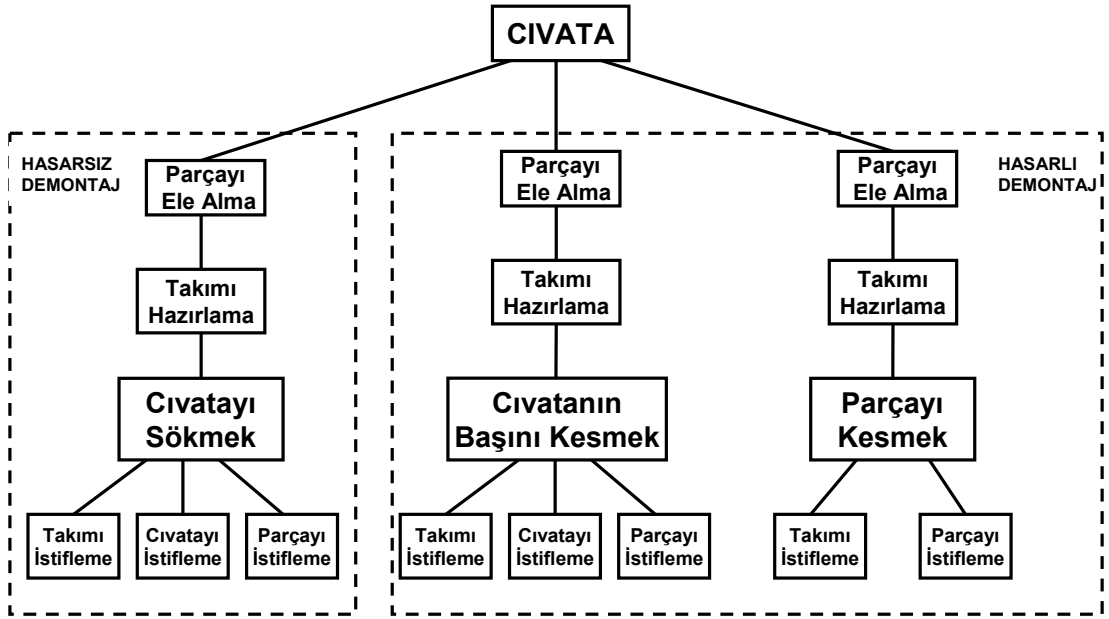
2.1.1.2 Otomatik

2.1.1.2.1 Otomatik Hasarlı

2.1.1.2.2.1 Demontaj prosesi :-Deforme etmek (dikiş kıvrımının açılması), Ayırarak kırmak (Perçin, yapıştırma veya sıkı geçmeyi sökmek), Kesmek (Teli veya kabloyu kesmek), Testere ile kesmek , Delmek (matkap ile kesmek), Kırmak (kuvvet uygulayarak kırmak), Eritmek

4.2 Demontaj İşlemleri

Demontaj işlemini karakterize eden ana faktör bağlama elemanıdır. Bağlama elemanının tipi hasarsız demontajı olup olamayacağını belirler. Civata bağlantısı ve sökülebilir tırnaklı geçme bağlantısı hasarsız demontaja örnek olarak gösterilebilir. Kaynak, perçin, yapıştırma gibi bağlantılar ise sadece hasarlı demontaj ile sökülebilir bağlantılardır. EEE’lerde yaygın olarak kullanılan bağlantıların demontaj prosesi standart işlemlere bölünerek zaman ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4.4’te civata bağlantısı için tanımlanan standart demontaj işlemleri takdim edilmiştir.



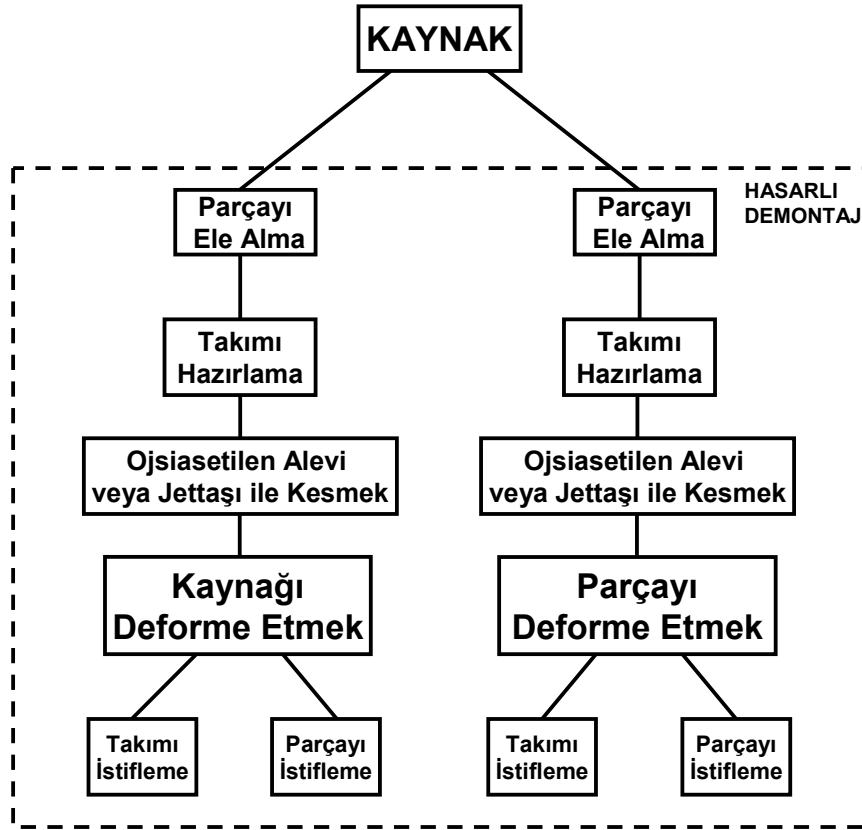
Şekil 4.4: Civata Bağlantısı için Standart Demontaj İşlemleri

Civata bağlantısının demontajı hasarlı veya hasarsız olarak yapılabilir. İşlem parçayı ele almak ile başlar. Eğer gerekliyse sabitlenir ve mümkünse söküme uygun şekilde geometrik olarak ayarlanır. Hasarsız demontaj civata başına uygun forma sahip takım ile yapılabilir. Takımın hazırlanması işlemi takımı ele almak, eğer varsa, takımı aktive etme işlemini içerir. Civatanın söküm işlemi yapıldıktan sonra takım, sökülen civata/civatalar ve söküm işlemi ile serbestlik kazanan alt montajların istiflenmesi ile işlem tamamlanır.

Civata başının hasarlı demontajı parçanın kesilmesi veya civata başının kesilmesi ile yapılabilir. İşlem hasarsız demontaj ile benzerdir. Önemli fark parça kesilerek demontaj işlemi yapıldığında bağlama elemanının parça üstünde kalması sebebiyle

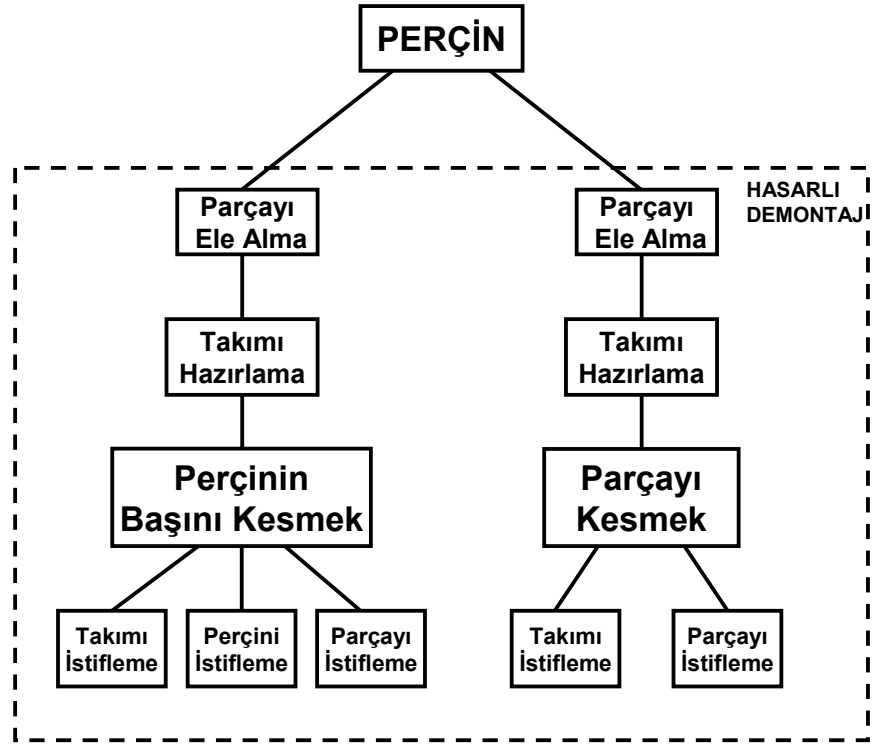
istiflenmesine gerek kalmamasıdır. Civata başının hasarlı olarak demonte edilmesine rağmen alt parçalara hasarsız olarak erişilebilir.

Kaynak bağlantısı için çıkartılan standart demontaj işlemleri şekil 4.5'te takdim edilmiştir. Kaynak bağlantısı malzeme bağlı bir bağlantıdır. Kaynağın veya parçanın hasarlı demontajı sözkonusudur. Bu sebeple ayrılan iki alt montajın yeniden kullanılması mümkün değildir. Ama daha alttaki montajlara erişmenin gerekli olduğu durumlarda tercih edilir.



Şekil 4.5: Kaynak Bağlantısı için Standart Demontaj İşlemleri

Perçin bağlantısının demontajı sadece hasarlı olarak yapılabilir (Şekil 4.6). Parçanın kendisi veya perçin başı kesilerek demontaj işlemi gerçekleştirilir. EEE'lerde bulunan perçin bağlantılarının daha küçük ebatlarda ve standart dışı olmaları sebebiyle perçinin deformasyonu halinde ana parçalarda da kısmi hasar görülebilir. İşlemin zorluğu perçin bağlantılarının tek olarak değil de sıra olarak bağlanması ve bu sebeple işlemin çok uzun sürmesidir.



Şekil 4.6: Perçin Bağlantısı için Standart Demontaj İşlemleri

EEE’lerde yaygın olarak kullanılan standart bağlama elemanlarının bağlantı prensibine göre sınıflandırması ve bu bağlantıların demonte şekillerine uygunluğu Şekil 4.7’te verilmiştir. Yapıştırma, kaynak ve perçin tek hasarlı demontaja uygun bağlantı elemanlarıdır. El ile demontaj sadece düşük bağlantı kuvvetine sahip yapıştırma bağlantılarında mümkün olabilmektedir.

Tırnaklı geçme bağlantıları hasarsız sökülebilir ve sökülemeyen tipte olabilir. Hem sökülebilen bağlantılar hem de sökülemeyen bağlantılar şekil bağlı yapılardır. Sökme işlemi geri çıkartma kuvvetinin belirli bir değere ulaştığı zaman gerçekleşir. Demontaj kuvvetinin büyüklüğüne göre işlem el ile yapılabilir.

Plastik malzemeli cıvata bağlantılarında cıvata başının şekline göre demontaj işlemi yapılır. Mekanik aşınma ve yaşlanmanın etkisi ile parçanın demontajında görülür. Bu sebeple hasarsız demontaj işleminde sorunlar görülebilir.

		MALZEME BAĞLI		HEM ŞEKİL HEM KUVVET BAĞLI			ŞEKİL BAĞLI	
		Plastik/ Metal yapıştırma	Kaynak	Cıvatalı bağlantılar		Perçinler	Çözülemez Tırnaklı Geçme	Çözülebilir Tırnaklı Geçme
		Plastic/Metal Glueing	Welding	Metal	Metal Dışı	Rivet	Snap Joint	
HASARLI DEMONTAJ	El ile Demontaj	○	✗	○	○	✗	○	●
	Takımla Demontaj	●	●	●	●	●	●	●
	Mekanize Demontaj	●	●	●	●	●	●	●
	Otomatik Demontaj	●	●	●	●	●	●	●
HASARSIZ DEMONTAJ	El ile Demontaj	✗	✗	✗	✗	✗	✗	○
	Takımla Demontaj	✗	✗	●	○	✗	✗	●
	Mekanize Demontaj	✗	✗	●	○	✗	✗	●
	Otomatik Demontaj	✗	✗	●	○	✗	✗	●

- Tamamen uygun
 ○ Kısmi olarak uygun
 ✗ Hiç uygun değil

Şekil 4.7: Bağlama Elemanlarının Demontaj Edilebilirliği

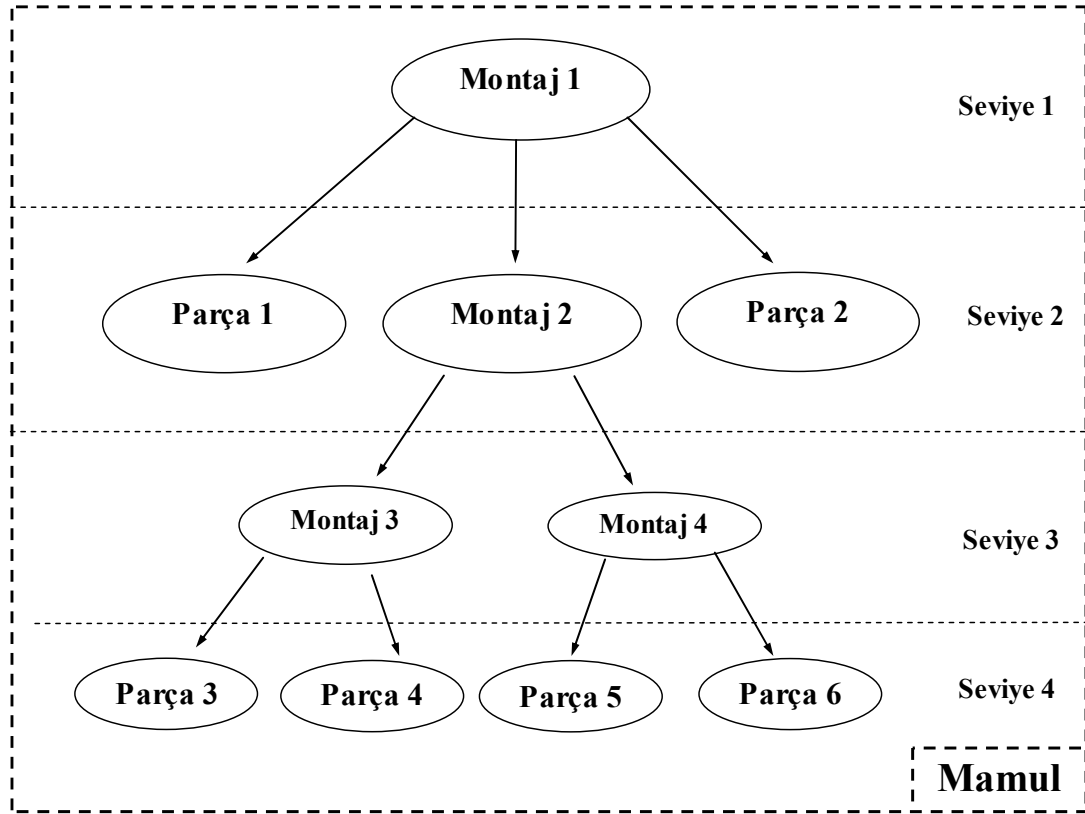
4.3 Demontaj Seviyesi ve Sırası

Mamulleri oluşturan parçaların birbiri ile ilişkisini ve montaj sıralarını göstermek için birçok grafik yöntem mevcuttur. Bunların önemlileri montaj ağacı, balık kılçığı gösterimi, ve/veya grafiği, durum diyagramı, montaj önceliği grafiğidir. Demontaj işleminin grafiksel olarak gösteriminde bu grafiklerin benzeşimleri yapılır. Demontaj önceliği grafiği bilgisayar ile programlanmaya uygun olması sebebiyle tercih edilmiştir. Örnek bir mamulün demontaj önceliği grafiği ile gösterimi Şekil 4.8’de takdim edilmiştir.

Mamul, tüm parça ve alt-montajları oluşturan ana montajdır. Tüm yapı mamul-montaj-parça sırasındadır. Parçalar montajı, montajlar ise mamulü oluşturur. Montaj en az 2 parça veya alt-montajdan oluşmuş yapıdır. Demontaj önceliği grafiği erişim sırası ile seviyelere bölünmüştür. Burada aynı seviyedeki parçalar söküm işlemi ile serbestlik kazanmış ve yeniden demontaj işlemine tabi tutulmadan alt-montajlarına ayrılamayan parçalardır. İki seviye arasında en az 1 adet demontaj işlemi yapılması gerekir.

EOL demontajında, mamul montajında yapıldığı gibi bütün elemanların demonte edilmesine gerek yoktur. Zaten bu işlem yüksek emek gerektireceği için tercih de edilmez. Bunun yerine demontaj işlemi ile elde edilecek kazanımlar ile harcanan

enerji arasında denge kurularak demontaj işlemlerinin yapılması uygun bir seçenektir. Buna Seçici Demontaj (Selective Disassembly) adı verilir [Tumkor et al. 2004]. Kazanımları maksimize etmek amacıyla, demontaj önceliği grafiğindeki parçalar içindeki uygun olanların seçilip sadece onları demontaj ederek kalan kısmını demonte etmeden bırakma işleminde demontaj sırası ve miktarının tesbiti önem kazanır.



Şekil 4.8: Demontaj Önceliği Grafiği

5. Mamul Ömür Sonu Seçeneği Değerlendirme Kriterleri

Mamul içerisindeki her bir parça ve montaj farklı mamul değerlendirme seçeneği ile değerlendirilebilir. Mamulün hangi seviyeye kadar ve hangi sıra ile demonte edileceği ise ayrı bir sorundur. Bu seçeneklerin en uygunu birçok şarta bağlı olarak değişir. Demontaj süresi, demontaj masraf ve kârı ve çevresel etki değerlendirme kriterleri olarak gözönüne alınabilir. Aşağıda bu kriterler ve expert sistem içinde uygulanan sistematik verilmiştir.

5.1 Demontaj Süreleri

Demontaj zamanı değerlendirme seçenekleri üzerinde en önemli etkiye sahip faktörlerden birisidir. Her bir mamulün değerlendirilme işlemlerinde geçen toplam süre geri kazanım tesisinin işletme kapasitesini belirleyen temel büyüklüktür. Toplam demontaj süresi;

- Parçayı Hazırlama Süresi
- Takımı Hazırlama Süresi
- Bağlantı Demontajı İşlemi Süresi
- İstifleme Süresi

Parçayı hazırlama süresi parçayı ele almak ve gerekliyse sabitlemek işlemlerinin sürelerini içerir. Takımı hazırlama süresi takımı ele almak ve, eğer takım mekanizeyse, takımı aktive etme süresini de içerir. İstifleme süresi takımı, bağlantıyı ve demonte edilen parçaların istiflenmesini içerir.

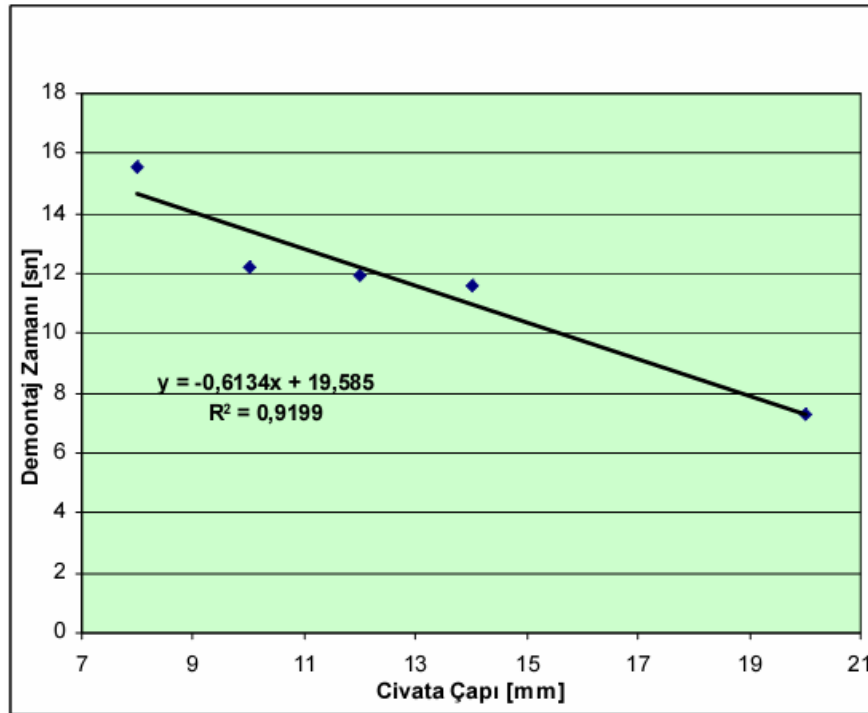
Bağlama elemanları arasından EEE’lerde en yaygın olarak kullanılan bağlama elemanı olan civatalar ele alınmış ve civata demontajı etkileyen parametreler sistematik dahilinde incelenmeye çalışılmıştır. Buna göre civatalar için demontaj sürelerini etkileyen parametreler şunlardır:

- Çap
- Erişebilirlik

- Malzeme Türü
- Bağlama Uzunluğu
- Hasar ve Mekanik Aşınma Durumu
- Demontaj Takımı
- Bağlama Elemanı Yaşı
- Öngerilme Kuvveti

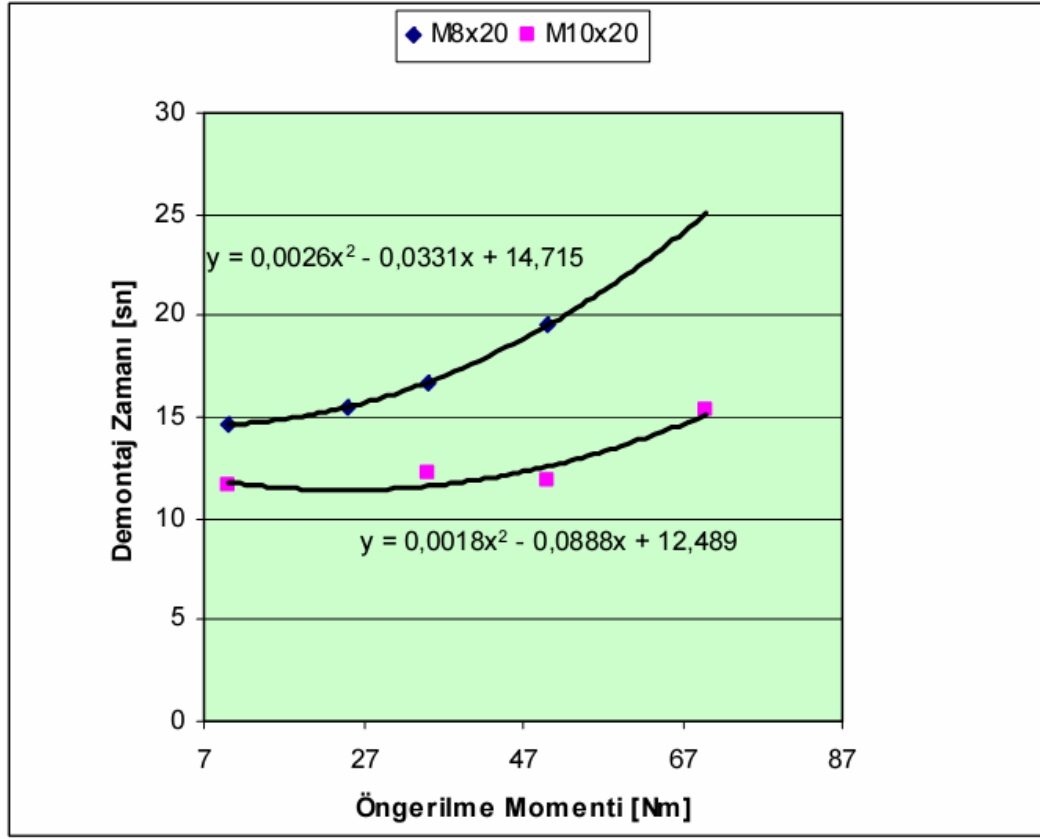
Bulunan parametrelerin demontaj süresi üzerinde etkisi vardır. Ölçümlerle bu parametrelerin etkileri bulunmuş ve katsayılar halinde demontaja etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır.

Bu amaçla altıköşebaşlı civatalar aynı kalınlıklaki parçalara bağlanmış ve demontaj süreleri tutulmuştur. Deney sonuçları Şekil 5.1’de takdim edilmiştir.



Şekil 5.9: Bağlama Uzunluğunun Demontaj Süresine Etkisi

Civataların montajında uygulanan öngerilme momentinin etkisi incelenmiş ve bulunan sonuçlar Şekil 5.2’de verilmiştir [104M303-3, 2007]. Artan öngerilme kuvveti ile demontaj süresinde artma görülmektedir. Belirli bir değerden sonra civata dişlerinde plastik deformasyonların başlaması sebebiyle demontaj süresi oldukça artmaktadır.

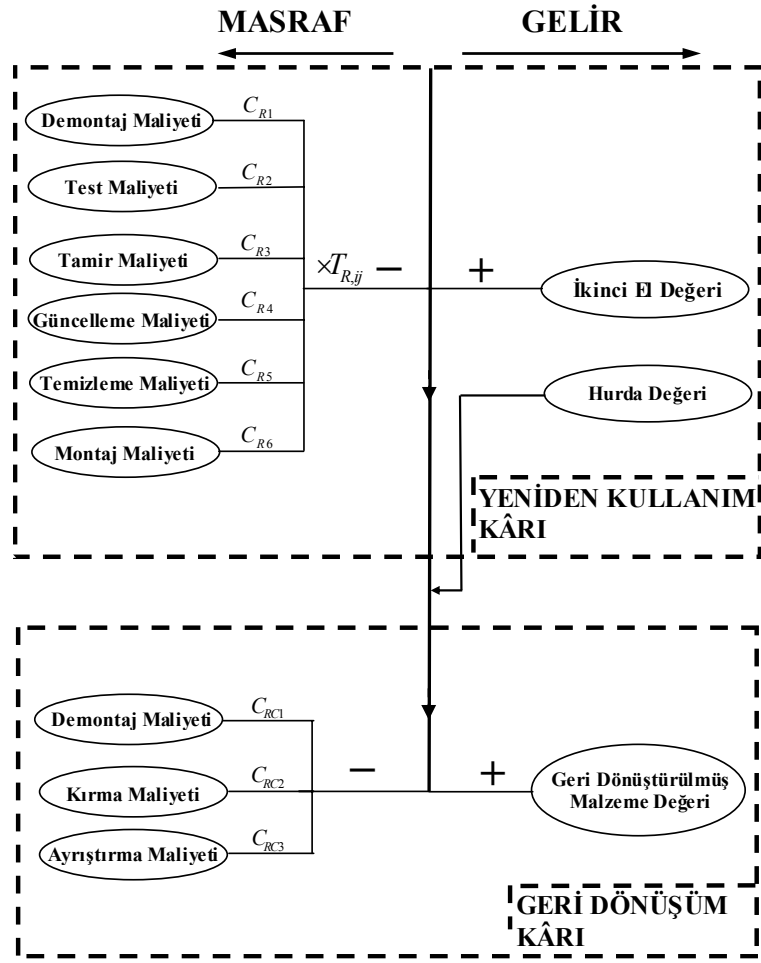


Şekil 5.10: Öngerilme Momentinin Demontaj Süresine Etkisi

5.2 Demontaj Masraf ve Kârı

Demontaj işlemi enerji ve zaman tüketen bir işlem olmasından ötürü bir maliyet oluşturur. Diğer taraftan mamul ömür sonu senaryolarıyla değerlendirilerek ekonomik kazanımlar elde edilir. Tüm EOL değerlendirme işlemlerinin maliyet modeli Şekil 5.3’de verilmiştir [Tümkor and Şenol, 2007].

Bir parçanın tekrar kullanımı birçok işlem ihtiyacını beraberinde getirir. Öncelikle parçanın tekrar kullanılabilmesi için parçanın fonksiyonelliğinin tespit edilmesi gerekir. Bazı durumlarda bu şekilde parçanın kalan ömrü uygun test yöntemleri ile tahmin edilebilmektedir. Böylece parçanın bakım gerektirip gerektirmediği de ortaya çıkar. Buna göre parça demonte edilir. Kısa süren teknolojik ömrü ile parçaların güncelliğini kısa sürede yitirmesi ile güncelleme (upgrade) ihtiyacının doğması, EEE’lerin en büyük sorunlarından biridir. Güncelleme parçaların alt parçalarında/montajında olacağı için demontaj işlemi burada da önem kazanmaktadır. Kullanım sırasında kirlenen ve aşınan parçalara temizlik ve bakım işlemi gerekecektir. Parçanın, eğer demontaj işlemi yapıldıysa, tekrar toplanıp monte edilmesi gerekir.



Şekil 5.11: Maliyet Modelleri

Bileşenler için maliyet-kazançları aşağıdaki şekilde modellenlenebilir:

$$C_{Reuse} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^6 (C_{R,j} \cdot T_{R,jj}) \quad (5.1)$$

$$R_{Reuse} = \sum_{i=1}^n SHV_i \quad (5.2)$$

Burada:

i : Parça numarası

j : EOL değerlendirme seçeneği indeksi; yeniden kullanım için 1, geri kazanım için 2, yakma işlemi için 3, çevreye bırakma işlemi için 4

n : Parça sayısı

SHV_i : i parçasının ikinci el değeri

C_{Reuse} : Yeniden kullanımı için yapılan işlemlerin maliyeti (\$)

$C_{R,j}$: Yeniden kullanım maliyeti (Demontaj, test, tamir, güncelleme, temizleme, tekrar monte etme işlemleri maliyeti) [\$/saat]

$T_{R,j}$: Bileşen i'nin işlem süresi (Demontaj, test, tamir, güncelleme, temizleme, tekrar monte etme işlemleri süreleri) [saat]

Parçanın geri dönüşüm maliyeti,

$$C_{Recycle} = \sum_{i=1}^n \left[(C_{RC,1} \cdot T_{RC,i1}) + (C_{RC,2} \cdot W_i \cdot C_E) + (C_{RC,3} \cdot W_i \cdot C_E) \right] \quad (5.3)$$

$$R_{Recycle} = \sum_i^n (RMV_i \cdot W_i) \quad (5.4)$$

Burada,

$C_{RC,1}$ = Demontaj maliyeti [\$/saat]

$C_{RC,2}$ = Kırma maliyeti [kWh/kg]

$C_{RC,3}$ = Ayırıştırma maliyeti [kWh/kg]

$T_{RC,i1}$ = Parça i'nin demontaj süresi [saat]

W_i = Parça i'nin ağırlığı [kg]

C_E = Enerji birim fiyatı [\$/kWh]

RMV_i = i parçasının geri dönüştürülmüş malzemesinin değeri [\$/kg]

Yakma maliyeti:

$$C_{Incineration} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 (C_{I,j} \cdot W_i) \quad (5.5)$$

Burada,

$C_{I,1}$ = Toplama/taşıma maliyeti [\$/kg]

$C_{I,2}$ = Yakma istasyonunun birim maliyeti [\$/kg]

Toplama ve taşıma maliyeti, yakma işleminin geri kazanım işleminin yapıldığı tesisi dışında yapıldığı takdirde oluşmaktadır. Yakma istasyonunun birim maliyeti değişken değildir; istasyon tipine bağlıdır. Diğer taraftan yakma işleminden elde edilen kâr:

$$R_{Incineration} = \sum_i^n (CV_i \cdot W_i) \quad (5.6)$$

CV_i = Parça i'nin kalorifik değeri (J/kg)

Çevreye bırakma seçeneği için bir kâr yoktur. Masraf ise:

$$C_{Landfill} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 (C_{L,j} \cdot W_i) \quad (5.7)$$

$C_{L,1}$ = Toplama ve taşıma maliyeti [kg]

$C_{L,2}$ = Çevreye bırakma maliyeti [\$/kg]

Geri kazanım tesislerinin farklı tiplerde olması ve farklı ülkelerde bulunmaları sebebeyle ortak bir maliyet değeri vermek güçtür. Literatürde önceden yapılmış çalışmalardaki değerler yol göstermek amacıyla kullanılabilir. ABD'de mamullerin geri dönüşümü için plot çalışma yapılmış ve bu çalışmalar sonucu ortaya konan kimi malzemelerin geri dönüşüm işlemi maliyetleri Tablo 5.1'de verilmiştir [Moore, 1992].

Tablo 5.1: Geri Dönüşüm İşlemi Maliyetleri

Malzeme	Toplama Maliyetleri [\$/t]	İşleme Maliyetleri [\$/t]	Malzeme Satış Değeri [\$/t]	Net Maliyet [\$/t]	Brüt Toplama-İşleme maliyetleri [\$/hane/ay]	Toplama/İşleme Maliyeti Malzeme Satış Gelirinin Kârı [\$/hane/ay]	Çevreye Bırakma Maliyetinden Kaçınma [\$/hane/ay]	Toplama/İşleme Maliyetleri Malzeme Satış Geliri ve Çevreye Bırakma Maliyetlerinden Kaçınma Kârı [\$/hane/ay]
Gazete	45 (50)	35 (39)	20 (22)	60 (66)	0,96	0,72	(0.33) (0.36)	0,39
Alüminyum	450 (496)	100 (110)	900 (992)	350 (386)	0,16		(0.02) (0.01)	(0.13)
Cam	34 (37)	56 (62)	30 (33)	60 (66)	0,5	0,34	(0.06) (0.17)	0,28
Çelik kutu	156 (172)	50 (55)	50 (55)	156 (172)	0,25	0,19	(0.04) (0.04)	0,15
PET/HDPE Plastik	500 (551)	106 (117)	180 (198)	426 (470)	0,55	0,38	(0.06) (0.03)	0,32
TOPLAM	75 (83)	46 (51)	45 (50)	76 (84)	2,42	1,52	(0.51) (0.61)	1,01

(Ortalama Piyasa Değeri) (Ortalama Piyasa Değeri) (Ortalama Piyasa Değeri) (Ortalama Piyasa Değeri)

Elektrikli elektronik aletlerin geri dönüşümü için kırma (boyut küçültme) işlemi için benzer bir çalışma Lambert ve Gupta tarafından yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalardan derlenen bilgiler ışığında Tablo 5.2'deki maliyetler ortaya konmuştur [2005].

Tablo 5.2: Kırma işlemi Maliyetleri

İŞLEM	Maliyet (\$/kg)
Küçük Aletleri Kırma	0,1-1,15
Kırma	0,05
İri Aletleri Kırma	0,019
Öğütmek	0,02
Taşıma (1)	0,045
Depolama (2)	0,001-0,005 (Fe) 0,008-0,04 (Plastik)

1: Mesafeye ve taşıma methoduna bağlıdır. Ortalama mesafe kabul edilmiştir.

2: Depolama süresine bağlıdır. Maliyet, depolama hacminden ötürü özgül ağırlığa bağlıdır.

5.3 Çevresel Etki Değerlendirmesi

Çevresel etki katsayısı, her yapılan işlemin doğaya bir miktar zarar verdiği düşüncesiyle bu zararın ölçeklendirmesidir. Literatürde çevresel etkinin ölçeklendirilmesi ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır [Ecobilan, 2006], [SimaPro, 2006], [Goedkoop and Demmers, 2001a]. Bu çalışmalarda her yapılan işlemin çevreye verdiği bir etki olduğunu kabul etmişlerdir. Kabul, yüksek katsayının çevreye daha büyük zarar verdiği üzerinedir. Bizim çalışmalarımızda kullandığımız ECO Indicator 99 malzeme üretimi, imalat işlemleri, taşıma işlemleri, enerji üretimi işlemleri ve çevreye bırakma işlemleri için katsayılar içerir. Katsayılar işlemlerin insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynaklar üzerindeki etkilerin hesaplanmasıyla çıkartılmıştır [Goedkoop and Demmers, 2001b]. Katsayıların birimi Pt (point)'tir. Lakin bu çok büyük bir sayı olduğu için bunun 1/1000'i olan miliPoint (mPt) kullanılır.

Literatürde, elektrik santralının çevriminden nano teknoloji ürünlerinin üretimine kadar birçok farklı prosesin çevreye verdiği etkiyi hesaplamak amacıyla çalışmalar yapılmıştır [Bakshi and Ukidwe 2006, Rhodes et al. 2006].

Tablo 5.3'te örnek bazı işlemler ve bunların çevresel etki katsayıları verilmiştir [Goedkoop and Demmers, 2001a]. Çevresel etki kriteri ana işlemi oluşturan her alt işlemlerin etkilerinin tek tek hesaplanması ile yapılır. Örnek olarak Bir parçanın

malzemesinin üretiminden dolayı oluşan çevresel etki aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$EIOC_j = \sum_{i=1}^n (EOLI_{i,j} \cdot W_j) \quad (5.8)$$

i : Parçaya uygulanan işlem

n : j parçasına uygulanan toplan işlem sayısı

$EIOC_j$: j parçasının çevreye verdiği etki

$EOLI_{i,j}$: Malzeme üretimi, imalat işlemleri, taşıma işlemleri, enerji üretimi işlemleri ve çevreye bırakma işlemlerinin çevresel etki katsayısı

W_j : j parçasının ağırlığı [kg]

Demontaj, öğütme ve ayırma gibi geri kazanım süreçlerinde oluşan etkinin, yeni ürünün imalatı sürecinde ortaya çıkan etkiden çıkarılması ile değerlendirme biçiminin çevreye olan etkisi hesaplanır. Örneğin, öğütme işleminde polimerler 0.075 kWh/kg enerjiye ihtiyaç duyar, bu değer 2.025 mPt/kg ye karşılık gelir (AB ortalama enerji tüketimi için).

Benzer şekilde malzeme üretimi, kullanılan elektrik ve atıkların çevreye bırakılması işlemleri için tek tek etkiler hesaplanabilir. Böylece tüm bu etkiler toplanarak parçanın çevreye verdiği etki hesaplanır. Bu katsayılar kıyas edilme amacını taşımaktadır ve bir değerlendirme seçeneğinin diğerine karşı verdiği etkinin büyüklüğünün görülmesi amacıyla kullanılabilir. EOL seçenekleri de dahil olmakta işlemin etkisi hesaplanmaktadır. Misal olarak bir parçanın yeniden kullanımı ile elde edilecek kazanç; yeniden kullanım işlemleri için harcanan enerji eksi o parçanın sıfırdan üretimi sırasında verilen etki olarak hesaplanabilir.

Tablo 5.3: Bazı Malzeme ve İşlemlerin Çevresel Etki Puanları

İşlem veya malzeme	Katsayı (mPt)	Açıklama
Malzeme Üretimi (mPt/ kg olarak)		
Dökme Demir	240	<%2 karbon içeren dökme demir
Aluminyum %100	60	Sadece ikincil malzeme içeren blok
Geri dönüşmüş Bakır	1400	Sadece ikincil malzeme içeren blok
Metal işleme prosesi (mPt olarak)		
Alüminyum bükme	0,000047	1 metre genişliğinde, 1mm kalınlığında sacı 90° bükme
Freze, torna ve torna	800	Kaldırılan dm^3 malzeme başına, hatalı malzeme olmadığı kabulüyle
Presleme	23	Deforme edilen 1 kg için, deforme edilmemiş kısım hariç.
Plastik taneleri oluşturma (mPt/ kg olarak)		
ABS	400	
PA 6.6	630	
PVC (rijid)	270	%10 plastikleştirici içeren rijid PVC (ham tahmin)
Atıkların geri dönüşümü (mPt/ kg olarak)		
PE'i geri dönüştürme	-240	
Kağıdı geri dönüştürme	-1,2	Geri dönüştürme yeni kağıt üretmeği engellemektedir.
Alüminyum geri dönüştürme	-720	Geri dönüştürme birincil alüminyum üretmeği engellemektedir
Elektrik* (mPt/ kW olarak)		
Elektrik YV Avrupa	22	Yüksek Voltaj (>24kVolt)
Elektrik OV Avrupa	22	Orta Voltaj (1 kV -24kVolt)
Elektrik DV Avrupa	26	Düşük Voltaj (<1000V)

*Elektrik katsayıları ortalama değerlerdir. Elektrik üretimindeki farklı kaynaklardan ötürü EI katsayıları ülkeden ülkeye değişmektedir.

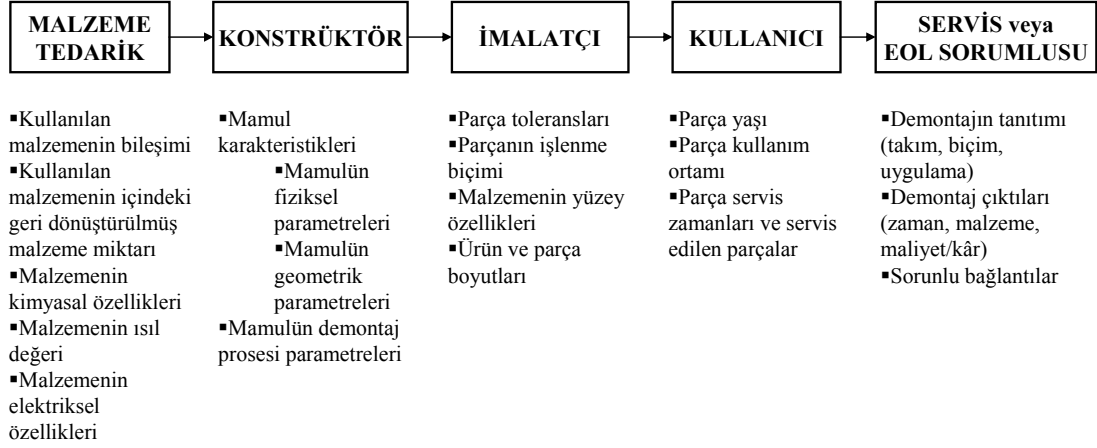
6. Demontaj ve Geri Kazanım Değerlendirilmesi için Web Tabanlı Araçlar

Mamulün ömür döngüsünde etkili olan, malzeme tedarikçisi, konstrüktör, imalatçı, kullanıcı, servis sorumlusu gibi çok sayıda aktör vardır. Mevcut durumda, mamulleri ömür sonlarında değerlendirme işlemlerinden sorumlu olan servis sorumlusu parça üzerinden söküm işleminde elde ettiği bilgiler ile demontaj işlemini planlamaya çalışmaktadır. Karmaşık, modellenmesi zor ve birçok parametreye bağlı olan mamul ömür sonu kararları, her bir aktörden gelecek bilgilerin değerlendirilmesi ile daha uygun alınabilir. Fakat maalesef, mamul yaşam döngüsünü etkileyen aktörler mamul hakkında birçok bilgiyi birbirlerine aktaramamaktadırlar ve elde edilmesi ve paylaşılması zor ve zahmetli birçok bilgi kullanılamamaktadır.

Mamul ömür sonunda tekrar değerlendirilme maksadıyla geri kazanılan parçalar, mamul ömür döngüsündeki yerini malzeme veya servis görmüş parça olarak yerini almalıdır. Bu safhada aktörlerin davranış ve kabulü çok önemlidir. Geri kazanılan malzemenin gerek ekonomik gerekse fiziksel özellikleri karar verme prosesinde önem kazanmaktadır, fakat bu bilgilerin çeşitli ve değerlendirilmesinin güç olması en önemli problemdir. Hammadde, enerji ve işgücü maliyetlerindeki değişiklikler demontaj gelir-gider dengesini değiştirmekte ve önceden yapılmış demontaj planlarının değiştirilmesini gerektirebilmektedir. Bu bilgiler değerlendirilerek, demontaj sırasının ve derinliğinin optimize edilmesi mümkün olabilir, demontaj maliyetleri ve mamul ömür sonu geri kazanımı ile elde edilecek gelirler daha güncel ve doğru bir şekilde hesaplanabilir, zararlar azaltılabilir ve fayda maksimize edilebilir. Asıl en önemlisi yeni tasarlanacak mamuller için geri besleme imkanı sağlanarak, çevre dostu ve geri kazanıma uygun mamullerin geliştirilmesi mümkün olabilir. Şekil 6.1’de mamul yaşam döngüsündeki aktörlerden alınabilecek bilgiler takdim edilmiştir.

Mamul ömür döngüsü içinde rol alan aktörlerden toplanacak verilerin saklanabilmesinin ve birbiri ile iletişim içinde bu bilgilere ulaşılmasının yolları araştırılmıştır. En uygun çözüm olarak bir eksper sistem tasarlanarak bilgi paylaşımının bu sistem üzerinden yapılması planlanmıştır. Tüm bu aktörlerin farklı

coğrafi konumlarda olabilecekleri düşünülerek, iletişim ortamı olarak internet seçilmiştir. Bu maksatla, eksper sistem tek bir server üzerinden çalışma imkanı sağlayan ASP.NET platformu üzerinde inşa edilmiştir.



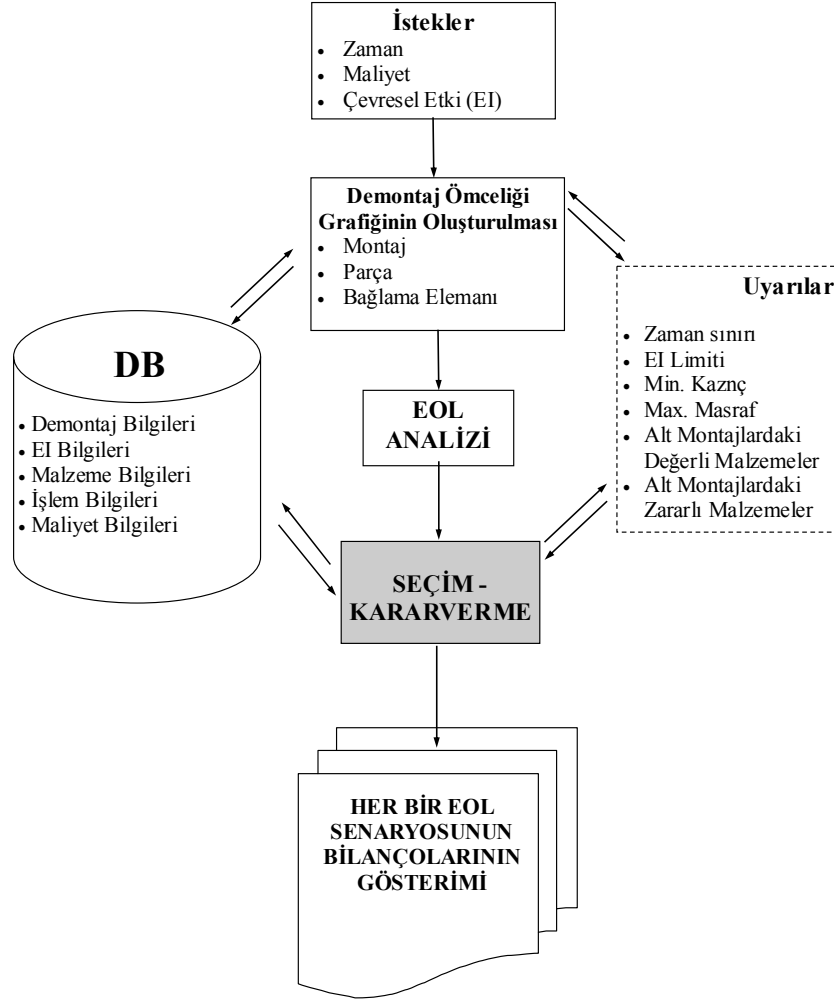
Şekil 6.12: Mamul Ömür Döngüsündeki Aktörler ve İlgili Konuları

6.1 ERIS Eksper Sistemi

Eksper sistemin Türkçe açılımı “Mamul Ömür Sonu Geri Kazanımı Bilgi Servisi” olan, EOL Recovery Information Service (ERIS) programı tasarlanmıştır. Prototip olarak, Konstrüktör tarafından kullanılacak şekilde hazırlanmıştır. Bu bilgi bazlı, ekspert sistem ile, konstrüktör tasarım aşamasında, EOL senaryolarını analiz edebilmekte ve sonuçlarını görebilmektedir. Bu sistem ile bir mamulün EOL performansını görerek çevre dostu bir şekilde dizayn edilebilmesi sağlanabilir ve çevre kanunları ile uyumu test edilebilir.

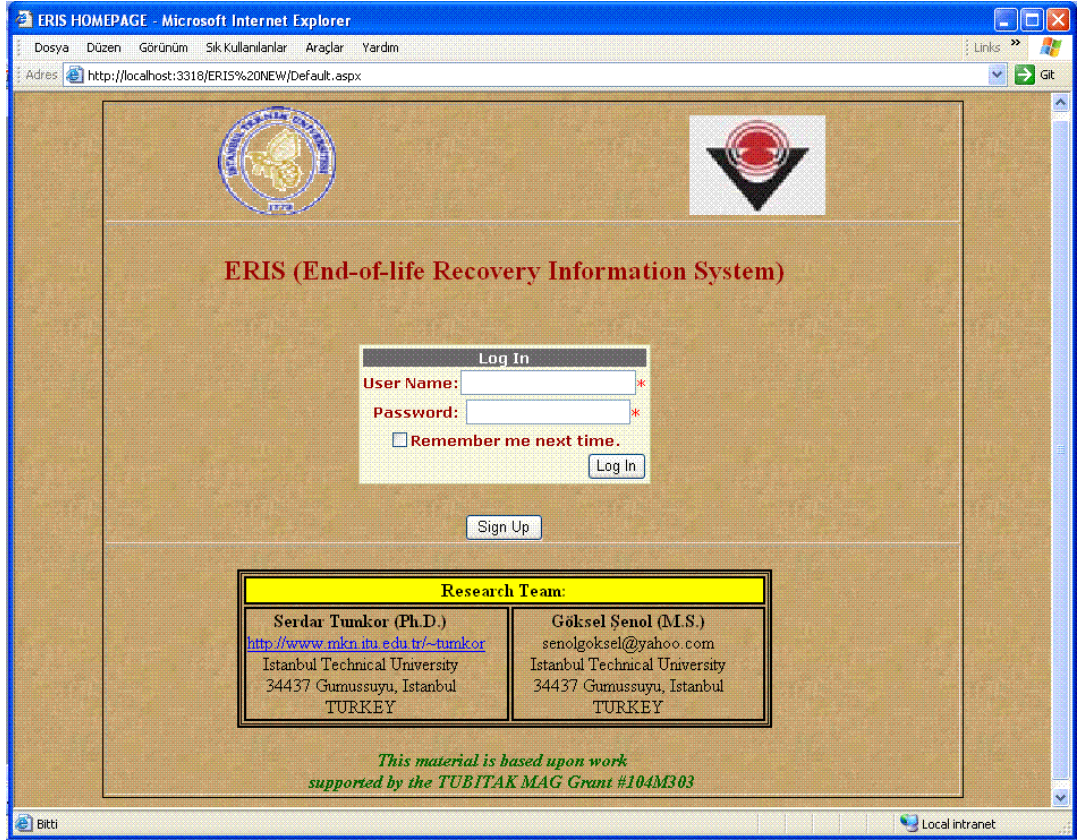
Şekil 6.2’de eksper sistemin akış şeması görülmektedir. Sistem, kullanıcıdan demontaj işlemindeki parametrelerin sınır değerlerini ve maksimize edilmesi istenen amaç fonksiyonu tanımlanması ile başlamaktadır. Programımızda sınırları verilen parametreler (Maksimum) Demontaj Zamanı, (Maksimum) Demontaj Giderleri, (Minimum) Geri Kazanım Oranı ve (Maksimum) Çevreye Etki faktörüdür. Çok parametrelili olarak modellenen geri kazanım demontajında, amaç fonksiyonunu etkileyen bir parametre değişken alınarak çözüme gidilir. Burada bir değer kontrol edilirken diğer değer maksimize (bazen de minimize) edilmeye çalışılır. Ardından kullanıcı dostu formlar vasıtasıyla mamullerin geometrik-fiziksel karakteristikleri, ve parçalar arasındaki bağlantı karakteristiklerinin obje bazlı (parent-child) tanımlanması yapılır. Böylece mamul demontaj grafiği oluşturulabilir. Doldurulan

formlar ile önceden tanımlanmış bilgiler, veri tabanındaki değerler ile karşılaştırılarak interaktif olarak demontaj planlaması yapılabilir. Hazırlanan demontaj planlarından farklı senaryolar için bilançolar elde edilerek EOL kararlarının sonuçları gösterilir. Bu süreçte programa önceden girilmiş bilgiler ışığında sistem, kullanıcıya yönlendirici uyarı ve tavsiyelerde bulunur.



Şekil 6.13: ERIS Programının Akış Şeması

Şekil 6.3’de ERIS ekspert sisteminin giriş sayfası verilmiştir. Kullanıcıların bilgilerinin gizli kalması amacıyla siteye giriş bir şifre ile korunmaktadır. Şifre bilgilerini girerek yetkilendirilen kullanıcı istekler sayfasına geçerek demontaj limitini ve maksimum fonksiyon kriterini ve değerini belirler (Şekil 6.4). Tanımlanan her parçanın değerleri önceden program içerisine verilmiş olan veritabanına alınır. ERIS sisteminde veritabanı MS Access programı ile oluşturulmuştur. Program içerisindeki çevresel etkilerin hesaplanmasında kullanılan veritabanı şekil 6.5’te verilmiştir.



Şekil 6.14: ERS Giriş Sayfası

Şekil 6.15: İstekler Sayfası

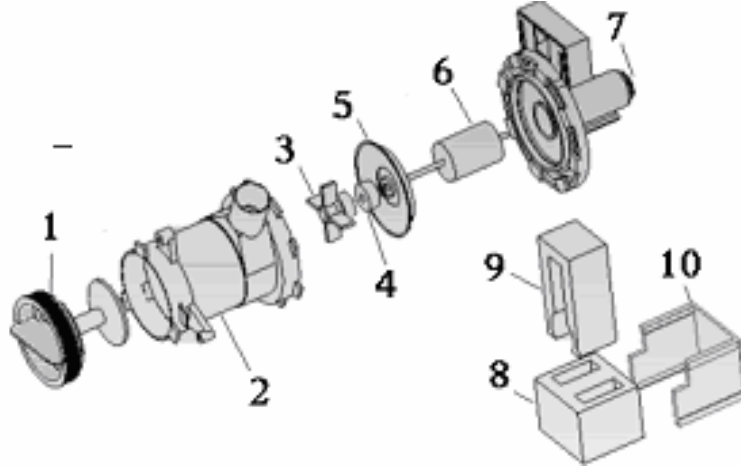
ID	Material_group	Material	El Indicator
1	Chromium	Chromium	970
2	Copper	Copper	1400
3	Lead	Lead	640
4	Nickel	Nickel (Enriched)	5200
5	Palladium	Palladium(Enriched)	4600000
6	Platinum	Platinum	7000000
7	Rhodium	Rhodium (Enriched)	12000000
8	Zinc	Zinc	3200
9	Polymer	Polymer-ABS	400
10	Polymer	Polymer-HDPE	330
11	Polymer	Polymer-LDPE	360
12	Polymer	Polymer-PA 6.6	630
13	Polymer	Polymer-PC	510
14	Polymer	Polymer-PET	380
15	Polymer	Polymer-PET (bottle grade)	390
16	Polymer	Polymer-PP	330
17	Polymer	Polymer-PS (GPPS)	370
18	Polymer	Polymer-PS (HIPS)	360
19	Polymer	Polymer-PS (EPS)	360
20	Polymer	Polymer-PUR energy absorbing	490
21	Polymer	Polymere-PUR flexible block foam	480
22	Polymer	Polymer-PUR hardfoam	420
23	Polymer	Polymer-PUR semi rigid foam	480
24	Polymer	Polymer-PVC high impact	280
25	Polymer	Polymer-PVC (rigid)	270
26	Polymer	Polymer-PVC (flexible)	240
27	Polymer	Polymer-PVDC	440
28	Iron Based	Iron Based-Cast Iron	240
29	Iron Based	Iron Based-Coverter Steel	94
30	Iron Based	Iron Based-Electro Steel	24
31	Iron Based	Iron Based-Steel	86
32	Iron Based	Iron Based-Steel High Alloy	910
33	Iron Based	Iron Based-Steel Low Alloy	110
34	Aluminium	Aluminium-%100 Recycled	60

Şekil 6.16: Çevresel Etki Veritabanı

6.2 Sistemin Örnek Mamullerde Uygulaması

ERIS ile çamaşır makinasında kullanılan atıksu pompası incelenmiştir. Pompa, 10 parça ve hurda değeri yüksek bir malzeme olan bakır bobin telinden oluşmaktadır. Pompayı oluşturan parçaların şekilleri Şekil 6.6'da özellikleri de Tablo 6. 1'de verilmiştir.

Demontaj sırası P1-P2-P10-P7-P9-P8 (P11) -P3-P4-P5-P6 olarak düşünülmüştür. Bu sıra için pompa ERIS sisteminde tanımlanmıştır. Çıkarılan demontaj grafiği Şekil 6.7'de verilmiştir. Bu işlemlere göre toplam demontaj süresi 48,1 sn olarak ölçülmüştür. Kazanılan malzeme 0,6993 \$ ve bu işlemler sonucu çevreye verilen zarar -1,7755 mPt dir. Değerin eksi olması ile çevreye olumlu katkı yapıldığı görülmüştür..



Şekil 6.17: Pompa Motoru Parçaları

Tablo 6.4: Pompa Motoru Parça Listesi

ID	İsmi	Ağırlığı (gr)	Malzemesi
P1	Pompa Kapağı	15	PA
P2	Pompa Gövdesi	26	PA
P3	Pompa Çarkı	8	POM
P4	Conta	4	Lastik
P5	Rotor Kapağı	7	PA
P6	Rotor	54	Çelik
P7	Rotor Yatağı	19	PA
P8	Bobin	118	Demir
P9	Stator	97	Demir
P10	Bobin Kapağı	6	PP
P11	Bobin Teli	123	Bakır

ERIS PROGRAM - Microsoft Internet Explorer

Dosya Düzen Görünüm Sık Kullanılanlar Araçlar Yardım

Adres: http://localhost:3318/ERIS%20NEW/eris1.aspx

Product Name: Pompa Motoru

☐ Product
☐ Assembly
☐ Part

Part Name:
 Parent Name: Bobin Montajı

Material Properties:
 Product Age: 0 - 3 Years
 Material Variety: Select One
 Total Weight: gr
 Second Hand Value: Select One \$

Hazardous Substances?: Select One
 Still Functional: Select One
 Needs Service: Select One
 Reconditionable: Select One
 Incineration permissible: Select One

-Pompa_x0020_Motoru
 -Pompa Motoru
 -Pompa Kapağı
 -Gövde
 -Bobin Montajı
 -Bobin Yatağı
 -Bobin
 -Bobin Kapağı
 -Bobin Teli
 -Pompa Pervanesi
 -Conta
 -Rotor Kapağı
 -Rotor

Local intranet

Şekil 6.18: Pompa Motorunun Demontaj Grafiği

Benzer bir çalışma da bilgisayar faresine uygulanmıştır. 1998 yılında imal edilmiş, toplu bilgisayar faresi kullanılmıştır. Parça listesi Tablo 6.2’de listelenmiştir. Her bir parçanın geri kazanılması ile elde edilecek gelirler ve çevreye bırakma maliyetleri verilmiştir. Geri dönüşüm veya çevreye bırakma işlemlerinden kârlı olanları seçilmiştir. Seçilen değerlendirme seçenekleri Tablo 6.2’de koyu renklerle verilmiştir. Şekil 6.8’de bilgisayar faresinin ERIS programında tanıtılması ile oluşturulmuş olan demonaj grafiği verilmiştir.

Tablo 6.5: Bilgisayar Faresi Parça Bilgileri

ID	İsmi	Ağırlığı (gr)	Malzemesi	Geri Dönüştürülmüş Malzeme Değeri (\$)	Çevreye Bırakma Maliyeti (\$)
P1	Top Kapağı	0,92	ABS	0,0003036	0,00003036
P2	Top	31,59	Kompozit	-0,0023092	0,00104247
P3	Top Kaplaması	3,01	Lastik	-	0,00009933
P4	Metal Top	28,58	Demir	0,0024293	0,00094314
P5	Alt Kapak	24,67	ABS	0,0081411	0,00081411
P6	Üst Kapak	31,66	ABS	0,0104478	0,00104478
P7	PCB Kartı	8,63	Kompozit	0,018986	0,00028479
P8	Kablo	40,03	Kompozit	0,024018	0,00132099

Şekil 6.19: Bilgisayar Faresinin Demontaj Grafiği

Bilgisayar faresinin söküm işlemleri adımları, süreleri ve bu işlemler sonucu elde edilen parçalar aşağıda verilmiştir.

Topu çıkartmak (El ile)

Ele almak	: 1,01 sn
Sökmek	: 3,44 sn
İstiflemek	: 1,05 sn
Toplam	: 5,49 sn
Top	: 31,59 gr
Top Kapağı	: 0,92 gr

Alt Kapağı Sökmek (Tornavida İle)

Takımı ele almak	: 0,91 sn
Takımı Hizalamak	: 1,41 sn
Küçük cıva.sökmek	: 4,88 sn
Küçük cıva.İstifleme	: 1,97 sn
Takımı Tekrar Hiza.	: 1,19 sn
2. somunu Sökme	: 3,86 sn
Takımı istifleme	: 0,68 sn
Kapağı ayırmak	: 4,82 sn
Kapağı istiflemek	: 1,03 sn
Toplam	: 18,68 sn
Arka kapak (ABS)	: 24,67 gr

Kablo+PCB'nin Ayrılması (El ile çıkartmak)

Ele almak	: 1.00 sn
Sökmek	: 2,71 sn
İstiflemek	: 1,82 sn
Toplam	: 4,53 sn

Üst Kapak :

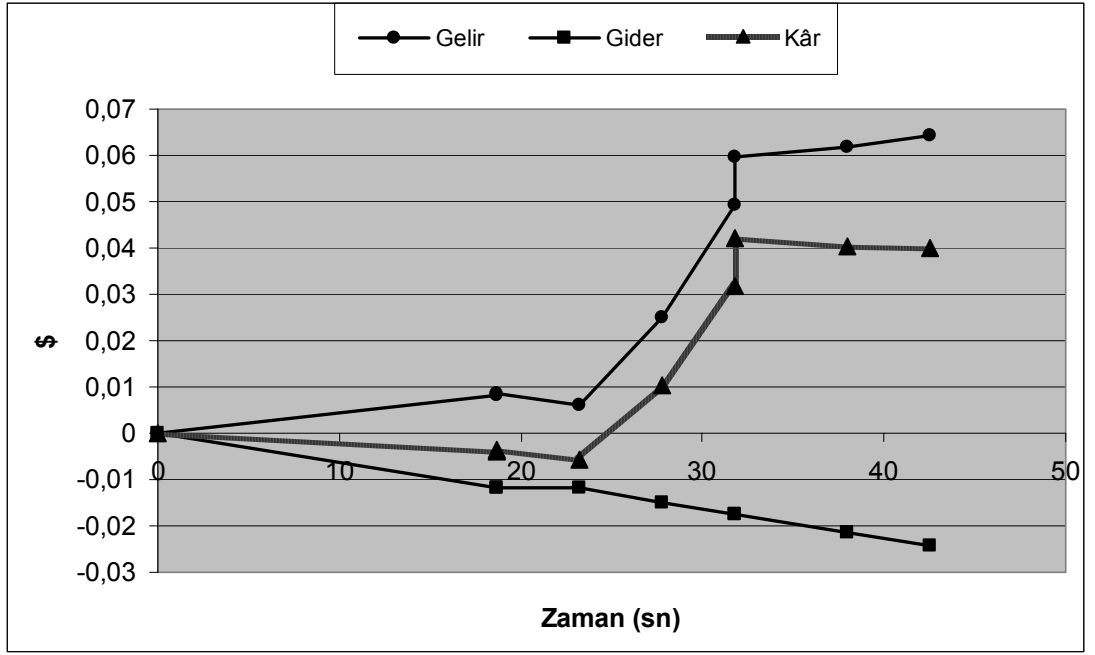
Kabloyu PCB'den Ayrılması (El ile çıkartmak)

Ele almak	: 1,15 sn
Sökmek	: 1,80 sn
İstifleme	: 1,07 sn
Toplam	: 4,01 sn
Kablo	: 40,03 gr
PCB	: 8,63 gr

Topun Parçalarına Ayrılması (Bıçak ile soymak)

Ele almak	: 1,15 sn
Takımı ele almak	: 0,91 sn
Sökmek	: 2,30 sn
Takımı istiflemek	: 0,82 sn
Parçaları İstifleme	: 1,07 sn
Toplam	: 6,25 sn
Demir Top	: 28,58 gr
Plastik Kılıf	: 3,01 gr

Uygun demontaj sırası (P5-P1)-P2-P7-P8-P6-P3-P4 olarak tasarlanmıştır. Mamülün tamamı demonte edilmiştir. Demontaj süresi ise toplam 33,47 sn olarak ölçülmüştür. Demontaj işlemi manuel yapıldığında demontaj giderleri 0,0214 \$'dır. Seçilen EOL seçeneklerinden elde edilen gelir 0,0642 \$ olmuştur. Buna göre toplam kâr 0,0428 \$ olmuştur. Şekil 6.9'de demontaj işlemi sırasında geçen süre ile demontaj ekonomisinin ilişkisi görülmektedir. Burada geliri oluşturan kalemler tablo 6.2 de koyu renkte verilmiş olan EOL seçeneğine bağlı gelirlerdir. Giderler ise demontaj işlemi ile geçen süreye bağlı olarak ortalama işçilik giderleridir. Bunların farkı, demontaj işleminin kârını göstermektedir.



Şekil 6.20: Demontaj Miktarına Bağlı olarak Süre -Maliyet Eğrisi

}

7. Sonuçlar ve Tartışma

Bu alışma, elektrikli ve elektronik ekipmanların mamul ömür sonlarında değerlendirilmek maksadıyla yapılan demontaj işleminin sonuçlarını tasarımın ilk adımlarında görmesini sağlayacak eksper bir sistem tasarımı hakkındadır.

Elektrikli ve elektronik ekipmanların bünyesinde altın gümüş, bakır , paladyum, demir, elik, alüminyum gibi değerli malzemeler bulunduğu gibi, bunların yanında kurşun, civa insan sağlığına zararlı malzemeler de bulunur. Yakın geçmişe kadar çevreye kontrolsüz olarak bırakılan atıklar toprağı kirletmekte ve değerli malzemelerin geri dönüşümü ile kazanılabilecek malzemelerin faydalarından yararlanılmamaktadır. Ayrıca azalan hammadde miktarları da gelecek nesiller için bir tehdit oluşturmaktadır. Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atıkları için uygun değerlendirme yöntemleri araştırılmış ve her bir değerlendirme yöntemi için gerekli işlemler tanıtılmıştır. Demontaj işleminin fonksiyonunu yitirmiş parçalardan oluşan ve parçaların farklı aşınma ve eskime durumunda olması sebebiyle karmaşık ve modellenmesi zor bir yapıdadır. Bazı bağlantı elemanları ve Standart demontaj işlemleri için zaman etüdleri yapılmış ve bu bilgiler eksper sisteme entegre edilmiştir.

Demontaj işleminin zaman ve enerji tüketen bir işlem olduğu için ek bir maliyet gerektirir. Demontaj işleminin ile elde edilen parçaların değerlendirilmesi durumunda ise ekonomik kazanımlar elde edilebilir. Bunun yanında mamullerin atık olarak çevreye verdiği zararları da gözönüne almak gerekir. Bunun çoğu zaman ölçülerek mukayese edilmesi çok güçtür, fakat mamullerin ömür dnşs boyunca çevreye verdikleri etkinin de değerlendirmede gözönüne alınması gerekir. Bu maksatla lklendirme çalışmaları yapılmıştır. Hazırlanan eksper sistemde mamullerin yaşam çevrimi boyunca çevreye olan etkilerini de gösterecek şekilde tasarlanmıştır.

ERIS eksper sistemi mamulün kullanıcı dostu formlar vasıtasıyla tanımlanarak demontaj grafiğini oluşturmakta ve seçilen EOL değerlendirme seçenekleri ile demontaj seviye ve sırasını değiştirerek tasarım esnasında EOL sonuçlarına dikkat edilmesine imkan sağlar. Bu geliştirilen sistemin uygulaması, çamaşır makinası

pompası ve bilgisayar faresi gibi farklı sektörlerden mamuller üzerinde yapılmış ve tez çalışmasında bunların sonuçları açıklanmıştır.

Kaynaklar

- Agrell, C., ter Schure, A.F.H., Sveder, J., Bokenstrand, A., Larsson, P., Zegers, B.N.,** 2004, Polybrominated diphenyl ethers (PBDES) at a solid waste incineration plant I: Atmospheric concentrations, *Atmospheric Environment* 38 (2004), pp.5139–5148
- Bakshi, B.R., Ukidwe, N.U.,** 2006, The Role of Thermodynamics in Life Cycle Assessment of Existing and Emerging Technologies, *Electronics and the Environment*, 2006. Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on, Vol., Iss., 8-11 May 2006, Pages: 15- 20
- Berry, M., Bove, F.,** 1997, Birth Weight Reduction Associated with Residence near a Hazardous Waste Landfill, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 105, No. 8 (Aug., 1997), pp. 856-861
- Cell phone recycling donation,** 2007, <http://www.charitablerecycling.com/CR/home.asp>
<http://www.charitablerecycling.com/CR/home.asp>
- Chiodo, J.D., Billett, E.H., Harrison, D.J.,** 1999, "Preliminary Investigations of Active Disassembly Using Shape Memory Polymers," *ecodesign*, p. 590, First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing
- ComputerAid,** 2007, Computer Aid passes 80,000 PC milestone, <http://www.computeraid.org/>
- Cui J., Forssberg E.,** 2003, Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review, *Journal of Hazardous Materials*, B99 (2003), Page:243–263
- Çevre ve Orman Bakanlığı,** 2005, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 14 Mart 2005 Tarihli Resmi Gazete, Sayı: 25755
- Çığgın, C.T.,** 2006, Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atıklarının Geri Kazanımı için tesis Konstrüksiyonu ve sistem Parametrelerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Der, M.,** 2004, Demontaja etki eden faktörlerin analizi ve yeniden malzeme kullanımı stratejilerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Earth 911,** 2007, Frequently asked Questions about Electronics & The Environment, http://www.earth911.org/master.asp?s=lib&a=electronics/elec_faq.asp

- Ecobilan**, 2006, <http://www.ecobalance.com> adresinden erişilebilir **Ehrig, R.J., Curry, M.J.**, 1992, *Plastics recycling, Introduction and History*, Eds. Enrig, R.J., Hanser/Gardner, München, Germany **EIA (Energy Information Administration)**, 2006, Annual Energy Review 2005, Report No. DOE/EIA-0384(2005), elektronik kaynak, <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/pdf/perspectives.pdf>
- EPA**, 2005, US Environmental Protection Agency, www.epa.gov
- EMPA**, 2007, “International E-waste Generation”, online kaynak http://www.ewaste.ch/facts_and_figures/economics/quantities/, son ziyaret 11 Ocak 2007
- Erhard, G.**, 2006, *Designing with plastics*, Hanser, Munich
- EU**, 2004, “Electronic waste: two important Directives due to be implemented in EU Member States”, Reference: IP/04/1033, Date: 13/08/2004, <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/04/1033&format=HTML&aged=1&language=EN&guiLanguage=en> sitesinde elektronik olarak mevcuttur.
- Fisher M., Kingsbury, T., Headley, L.**, 2004, Sustainable Electrical and Electronic Plastics Recycling, International Symposium on Electronics and the Environment and SUMMIT, May 10–13, 2004, Phoenix, Arizona
- Goedkoop, M., Demmers, M.**, (2001a, June, 22) “Eco-Indicator 99: Manual for designer”, <http://www.pre.nl>
- Goedkoop, M., Demmers, M.**, 2001b, The Eco-indicator 99 A damage oriented method for life cycle impact assesment: Methodology Report, 22 June 2001, <http://www.pre.nl>
- Greenpeace**, 2007, *Ending incineration*, <http://www.greenpeace.org/new-zealand/campaigns/toxics/incineration>
- Hagelucken, C.**, 2006, Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling, Electronics and the Environment, Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on, Vol., Iss., 8-11 May 2006, Pages: 218- 223
- Health and Environment Alliance**, 2007, Exposure survey highlights need for global mercury ban, *Newsletter January 2007*, elektronik adres: <http://www.env-health.org/a/2426>
- Ishii, K.** 1999. Incorporating end-of-life strategy in product definition, *Proceedings of EcoDesign '99: First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, 1–3February 1999, Tokyo, Japan, 364-369
- Korn, D.; Huang, R.; Bolioli, T.; Walker, M.**, 2006, Electronics and the Environment, 2006. Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on, Vol., Iss., 8-11 May 2006, Pages: 161- 166
- Kuehr, R., and Williams, E.**, 2003, *Computers and the environment : understanding and managing their impacts*, Kluwer Academic Publisher,

- Lee, J., Song, H.T., Yoo, J.M.**, 2007, Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea, article in press, *Resources, Conservation and Recycling* xxx (2007) xxx-xxx
- Maraşoğlu, M.**, 1986, *Plastik Malzemeler*, Arpaz Matbaacılık, İstanbul
- Masanet, E., Horvath, A.**, 2006, Enterprise Strategies for Reducing the Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Personal Computers, *Electronics and the Environment*, 2006. Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on, Vol., Iss., 8-11 May 2006, Pages: 21- 26
- Meerts, I.A.T.M., Letcher, R.J., Horing, S., Marsh, G., Bergman, A., Lemmen, J.G., van der Burg, B., Brouwer, A.**, 2001, In vivo estrogenicity of polybrominated diphenyl ethers, hydroxylated PBDEs, and polybrominated bisphenol A compounds, *Environmental Health Perspectives* 109, 399–407.
- Moore, W.P.**, 1992, *Plastics Recycling; products and processes, Collection and Separation*, Eds.Ehrig, R.J., Hanser publishers, München, Germany
- Murphy, C.F.**, 2004, End of life electronics, Lecture notes of: Material flow analysis at national and regional scales , The University of Texas at Austin
- Nakamura, S., Kondo, Y.**, 2006, A waste input-output life-cycle cost analysis of end-of-life electrical home appliances, *Ecological Economics* 57 (2006), pp. 494–506
- Noffsinger, J.**, 2004, Old Cell Phones Get a Second Chance, on available <http://www.foxnews.com/story/0,2933,107794,00.html>
- Nokia**, 2003, The Nokia 6650 Phone: Designed for Recyclability, electronic source, available at <http://www.nokia.com/A4211231> , received at November 19, 2006
- Önal, G. ve Ateşok G.**, 1994. *Cevher Hazırlama El Kitabı*, Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Pahl, G., Beitz, G.**, 1996, *Engineering Design: A Systematic Approach*, Springer, Glasgow, Scotland
- Rajan, M.**, 2005, Global e-waste market to creoss \$11 billion by 2009, based on research of the report *RE-128 Electronic Waste Recovery Business* from Business Communications Company, Inc, source: <http://www.bccresearch.com/editors/RE-128.html>
- Rhodes, S., Karsell, B., Palmer, C., Blazek, M.**, 2006, Standardization of the Life Cycle Environmental Performance in the Energy Sector: ASTM Draft Standard: E067110 Quantifying and Reporting the Environmental Performance of Electric Power Generation Facilities and Infrastructure; Implications to the Electronics Sector, *Electronics and the Environment*, 2006. Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on, Vol., Iss., 8-11 May 2006, Pages: 61- 66
- RoHS**, 2003, DIRECTIVE 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS), Official Journal of the European Union, 13.2.2003, L 37/19

- Savage, M., Ogilvie, S., Slezak, J. and Artim, E.** 2006, Implementation of waste electric and electronic equipment directive in EU2 5, teknik rapor, <http://www.jrc.es/home/pages/detail.cfm?prs=1408>
- Science in Africa**, 2005, "World's broken electronics pile up in Lagos", creating toxic dumps, elektronik kaynak, Kasım 2005, adresi: <http://www.scienceinafrica.co.za/2005/november/television.htm>
- Shell**, 2005, The Shell Sustainability Report 2005, http://www.shell.com/static/envandsoc-en/downloads/about_this_site/shell_sustainability_report_2005.pdf
- SimaPro**, 2006, <http://www.pre.nl/simapro/default.htm> adresinden erişilebilir.
- Smale, W.**, 2004, "The world's overflowing oil reserves?", BBC 20 Nisan 2004, <http://news.bbc.co.uk/1/hi/business/3590137.stm>
- Stewart, E. S., Lemieux, P. M.**, 2003, Emissions from the Incineration of Electronics Industry Waste, Electronics and the Environment, 2003. IEEE International Symposium on, Vol., Iss., 19-22 May 2003 Pages: 271- 275
- Stobbe, I., Pötter, H., Griese, H., Fotheringham, G., Reichl, H.**, 2004, Quality challenges of reused components, International IEEE Conference on Asian Green Electronics (AGEC), Pages: 218- 225
- Thomsen, C., Lundanes, E., Becher, G.**, 2002, Brominated flame retardants in archived serum samples from Norway: a study on temporal trends and the role of age, Environmental Science and Technology 36, pp. 1414-1418
- Truttmann, N., Rechberger, H.**, 2006, Contribution to resource conservation by reuse of electrical and electronic household appliances, Resources, Conservation and Recycling 48 (2006), pp 249–262
- Tumkor, S., Der, M. and Fidan, I.**, 2004, Effect of Product end-of-life options and disassembly level on cost and environmental impact, Volume XXXII and for North American Manufacturing Research Conference (NAMRC XXXII) June 1-4, 2004, pp. 287-294
- Tumkor, S., Senol, G.**, 2007, Disassembly precedence graph generation, IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing, on July 22-25, 2007, Michigan, Ann Arbor, USA
- Tumkor, S., Sutherland, J.W., Kumar, V.**, 2005, Electrical and electronic equipment recovery and recycling in Turkey, 2005 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, November 5-11, 2005, Orlando, Florida USA
- UN- CSD**, 2007, The United Nations Commission on Sustainable Development, <http://www.un.org/esa/sustdev/>
- UNEP**, 2006, *E-waste Management*, United Nations Environment Programme, Production and Consumption Unit, http://www.uneptie.org/pc/pc/waste/e_waste_faq.htm
- UNEP- GRID**, 2005, United Nations Environment Programme; Environment Alert Bulletin 5, January 2005

- U.S. Environmental Protection Agency**, 2000, Elektronik kaynak, <http://www.epa.gov/wastewise/pubs/wwupda14.txt>
- Washing MachineMuseum**, 2006, <http://www.oldewash.com/>
- WEEE**, 2003, DIRECTIVE 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council on waste electrical and electronic equipment (WEEE), Official Journal of the European Union, 13.2.2003, L 37/24
- WHO (World Health Organization)**, 1994, Environmental Health Criteria 162, Brominated Diphenyl Ethers
- Wicks, M.**, 2006, Caring about electrical waste needn't cost the earth, <http://www.gnn.gov.uk/environment/fullDetail.asp?ReleaseID=249686&NewsAreaID=2&NavigatedFromDepartment=False>
- Wikipedia**, 2006a, Printed circuit board, http://en.wikipedia.org/wiki/Washing_machine
- Wikipedia**, 2006b, Surface-mount technology, http://en.wikipedia.org/wiki/Surface-mount_technology
- Zhang, S., Forssberg, E.**, 1997, Mechanical separation-oriented characterization of electronic scrap, Resources, Conservation and Recycling 21 (1997), pp. 247-269
- Tümkor,S., Göksel, Ş.**, 2007, Elektrik ve Elektronik Ekipmanlar için Çevre Dostu Tasarım ve Mamul Ömür Çevrimi Değerlendirilmesi Metodolojisi **104M303 Nolu** Tübitak Projesi 3.Gelişme Raporu, Nisan 2007

Özgeçmiş

Göksel Şenol 17.11.1982 tarihinde Çanakkale'nin Çan ilçesinde doğdu. 1994 yılında Çan 18 Eylül İlkokulunu, 2000 yılında Çanakkale Milli Piyango Anadolu Lisesini bitirdi. 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Programını tamamladı. Halen 2005 yılında başladığı İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Konstrüksiyon Programının öğrencisi olup tez çalışmasına devam etmektedir. **104M303 Nolu** Tübitak Projesinde, Yardımcı Araştırmacı olarak çalışmaktadır.