

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ELEKTRONİK EKİPMANLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ,
DEMONTAJ YÖNTEMLERİ VE MALİYET ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muzaffer UYKAN

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Programı: Endüstri Mühendisliği

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Günümüzde, tüketim artışıyla birlikte açığa çıkan atık miktarı da bu paralelde artmaktadır. Elektrikli elektronik atıklar ise gerek diğer evsel atıklara göre artış oranı gerekse içinde bulunan çevreye zararlı maddeler sebebiyle ayrı bir öneme sahiptir. Hem kaynakların etkin kullanımı hem de çevreye göstermemiz gereken özen elektrikli elektronik atıkların geri dönüşümünü zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında elektrikli elektronik ekipman atıklarının geri dönüştürülme sebepleri, yasal yükümlülükler, geri dönüştürme seçenekleri ve geri dönüştürme uygulamaları ile ilgili bir maliyet analizi yapılmaktadır.

Bu projede yer almamı sağlayan İTÜ Geliştirme Vakfı, Arçelik A.Ş. ve Sn. Prof. Dr. Ataç Soysal'a ayrıca tez çalışması sırasındaki katkılarından ötürü, Sn. Prof. Dr. M.Bülent Durmuşoğlu ve Sn. Talat Yüksel'e teşekkür ederim.

Mayıs 2005

Muzaffer UYKAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ VE ÖNEMİ	3
2.1 Çalışmanın Amacı	4
2.2 Geri Dönüşüm Sistemleri ile İlgili Bazı Kavram ve Tanımlamalar	5
2.3 Geri Dönüşüm Sistemlerinin Yasal Boyutu	6
2.3.1 Toplama Hedefi	9
2.3.2 Geri Dönüştürme Hedefi	10
2.3.3 Geri Dönüşüm Garantisi	10
2.3.4 Görünür Maliyet	11
2.3.5 İşaretleme	11
2.3.6 Tarihsel Atık Uygulaması	12
2.4 Geri Dönüşüm Sistem Tipleri	12
2.4.1 Otomatik Demontaj Esaslı Geri Dönüşüm	13
2.4.2 Manuel Demontaj Esaslı Geri Dönüşüm	14
2.4.3 Parçalama Esaslı Geri Dönüşüm	16
3. GERİ DÖNÜŞÜM VE DEMONTAJ SIRASININ BULUNMASINA İLİŞKİN LİTERATÜR TARAMASI.....	18
4. LİNEER PROGRAMLAMA İLE OPTİMUM DEMONTAJ SIRASININ BELİRLENMESİ.....	23
4.1 Yöntem Analizi	24
4.2 Lineer Programlama İle Çamaşır Makinesi Kazan Grubunun Optimum Demontaj Sırasının Bulunması	28
5. GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEM ANALİZİ İÇİN BİR YÖNTEMBİLİM	35
5.1 Geri Dönüşüm Sistem Parametreleri	37
5.1.1 Geri Dönüşüm Yöntem Parametreleri	37
5.1.2 Ürün Parametreleri	38
5.1.3 Talep Parametreleri	40
5.1.4 Mali Parametreler	40
5.2 Yıllık Ülkesel Toplama Miktarının Belirlenmesi	41
5.3 Pilot Ürün Grubu Dağılımı Ve Ortalama Ürün Ağırlığının Belirlenmesi ..	42
5.4 Geri Dönüşüm Sistem Maliyetlerinin Belirlenmesi	42
5.4.1 Yatırım Maliyetinin Belirlenmesi	42
5.4.1.1 Ekipman Maliyetinin Belirlenmesi	42
5.4.1.2 Bina İnşa Ve Altyapı Maliyetinin Belirlenmesi	45

5.4.2	Personel Maliyetinin Belirlenmesi	47
5.4.3	Yedek Parça Maliyetinin Belirlenmesi	47
5.4.4	Enerji Maliyetinin Belirlenmesi	47
5.4.5	Yönetim Maliyetinin Belirlenmesi	48
5.4.6	İşletme Malzemesi Maliyetinin Belirlenmesi	48
5.5	Ürün Optimum Demontaj Sırasının Bulunması	50
5.5.1	Çamaşır Makinesi Demontaj Sırasının Bulunması	50
5.5.1.1	Çamaşır Makinesi Alt montajlarının Demontaj Süreçlerinin Belirlenmesi	51
5.5.1.2	Çamaşır Makinesi Arka Yüz Demontaj Sırasının Belirlenmesi	57
5.5.1.3	Çamaşır Makinesi Ön Yüz Demontaj Sırasının Belirlenmesi	61
5.5.2	Fırın Demontaj Sırasının Belirlenmesi	63
5.5.2.1	Fırın Alt montajlarının Demontaj Süreçlerinin Belirlenmesi	65
5.5.2.2	Fırın Arka Yüzünün Demontaj Sırasının Belirlenmesi	69
5.5.2.3	Fırın Ön Yüzünün Demontaj Sırasının Belirlenmesi	73
5.6	Parçalama Esaslı Sistem Geri Dönüşüm Gelirlerinin Belirlenmesi	76
5.7	Geri Dönüşüm Oranlarının Kıyaslanması	78
6.	GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ KARŞILAŞTIRMASI	79
6.1	0,5 Kg Toplama Hedefi Geri Dönüşüm Sistem Karşılaştırması	80
6.2	1 Kg Toplama Hedefi Geri Dönüşüm Sistem Karşılaştırması	80
6.3	2 Kg Toplama Hedefi Geri Dönüşüm Sistem Karşılaştırması	82
6.4	4 Kg Toplama Hedefi Geri Dönüşüm Sistem Karşılaştırması	83
7.	SONUÇLAR	85
	KAYNAKLAR	89
	EK A	91
	EK B	99
	ÖZGEÇMİŞ	105

KISALTMALAR

EEE	: Elektrikli Elektronik Ekipman
EEEA	: Elektrikli Elektronik Ekipman Atıkları
TMK	: Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1: EEEA Direktifi Kapsamı	8
Tablo 2.2: Ülkesel bazda Toplama Noktaları sayısı	9
Tablo 2.3: EEEA Direktifi Geri Dönüşüm Hedefleri.....	10
Tablo 2.4: Geri Dönüşüm Sistem Kıyaslaması	17
Tablo 3.1: Demontaj ile İlgili Yapılan Çalışmalar	22
Tablo 4.1: Kazan Grubu Komponent ve Demontaj Verileri	29
Tablo 4.2: Kazan Grubu Geçiş Matrisi	31
Tablo 4.3: Kazan Grubu Demontaj İşlem Maliyetleri.....	32
Tablo 4.4: Kazan Grubu Demontaj İşlem Net Gelirleri	33
Tablo 4.5: Kazan Grubu Demontaj Sırası Problemi Kısıtları	34
Tablo 5.1: Geri Dönüşüm Sistemleri Alan İhtiyacı.....	38
Tablo 5.2: Çamaşır makinesi komponent verileri	39
Tablo 5.3: Fırın komponent verileri	39
Tablo 5.4: Hurda Malzeme Fiyatları	41
Tablo 5.5: Toplama Hedefi Bazında Geri Dönüştürülecek Atık Miktarı.....	41
Tablo 5.6: Çamaşır Makinesi ve Fırın Satış Adetleri.....	43
Tablo 5.7: Geri Dönüşüm Sistemleri Ekipmanları ve Maliyetleri	45
Tablo 5.8: Geri Dönüşüm Sistemleri Bina İnşa Ve Altyapı Maliyetleri.....	46
Tablo 5.9: Geri Dönüşüm Sistemleri İşgücü İhtiyaçları	47
Tablo 5.10: Geri Dönüşüm Sistemleri Enerji Maliyeti Kıyaslaması	48
Tablo 5.11: Geri Dönüşüm Sistemleri Yönetim Maliyetleri Kıyaslaması	48
Tablo 5.12: Geri Dönüşüm Sistemleri Yardımcı Malzeme Maliyeti Karşılaştırması.....	49
Tablo 5.13: Geri Dönüşüm Sistemleri Yıllık Toplam Maliyetleri	49
Tablo 5.14: Geri Dönüşüm sistemleri Birim Saniye Maliyetleri	50
Tablo 5.15: Çamaşır Makinesi Alt montajları.....	51
Tablo 5.16: Üst tabla Demontaj Analizi.....	52
Tablo 5.17: Motor Demontaj Analizi.....	53
Tablo 5.18: Şebeke Kablosu Demontaj Analizi	53
Tablo 5.19: Ventil Demontaj Analizi.....	54
Tablo 5.20: Ön Kapak Demontaj Analizi	54
Tablo 5.21: Pano Demontaj Analizi.....	55
Tablo 5.22: Pompa Motoru Demontaj Analizi.....	55
Tablo 5.23: Kablo Grubu Demontaj Analizi	56
Tablo 5.24: Deterjan Kutusu Demontaj Analizi.....	56
Tablo 5.25: Çamaşır Makinesi Arka Yüz Komponent Verileri	57
Tablo 5.26: Çamaşır Makinesi Arka Yüz Demontaj Problemi Kısıtları	60
Tablo 5.27: Çamaşır Makinesi Ön Yüz Komponent Verileri	61
Tablo 5.28: Çamaşır Makinesi Ön Yüz Demontaj Problem Kısıtları	64
Tablo 5.29: Fırın Alt montajları	65
Tablo 5.30: Pişirme Grubu Demontaj Analizi	66
Tablo 5.31: Üst Cam demontaj Analizi.....	66

Tablo 5.32: Isıtıcı ve Isıtıcı Koruma Sacı Demontaj Analizi.....	67
Tablo 5.33: Bek Tablası Demontaj Analizi.....	67
Tablo 5.34: Ön kapak Demontaj Analizi	68
Tablo 5.35: Fırın Düğmeleri Demontaj Analizi	68
Tablo 5.36: Motor Demontaj Analizi.....	69
Tablo 5.37: Fırın Ayakları Demontaj Analizi	69
Tablo 5.38: Fırın Arka Yüz Komponent Verileri.....	70
Tablo 5.39: Fırın Arka Yüz Demontaj Problemi Kısıtları	72
Tablo 5.40: Fırın Ön Yüz Komponent Verileri.....	73
Tablo 5.41: Fırın Ön Yüz Demontaj Problem Kısıtları.....	75
Tablo 5.42: Çamaşır makinesi malzeme miktarları ve gelirleri	76
Tablo 5.43: Fırın malzeme miktarları ve gelirleri	78
Tablo 5.44: Ürün geri dönüşüm oranları	78
Tablo 6.1: Geri dönüşüm sistem kapasiteleri	79
Tablo 6.2: Toplama Hedefine Göre Talep Miktarları	79
Tablo 6.3: Geri Dönüşüm Sistemlerin Ürün Gelirleri.....	79
Tablo 6.4: 0,5 kg toplama hedefine göre birim gelir ve maliyetler.....	80
Tablo 6.5: 0,5 kg hedefine göre net kar/zarar hesaplaması	81
Tablo 6.6: 1 kg toplama hedefine göre birim gelir ve maliyetler.....	81
Tablo 6.7: 1 kg hedefine göre net kar/zarar hesaplaması	82
Tablo 6.8: 2 kg toplama hedefine göre birim gelir ve maliyetler.....	83
Tablo 6.9: 2 kg hedefine göre net kar/zarar hesaplaması	83
Tablo 6.10: 4 kg toplama hedefine göre birim gelir ve maliyetler.....	84
Tablo 6.11: 4 kg hedefine göre net kar/zarar hesaplaması	84
Tablo 7.1: Toplama hedeflerine göre toplam maliyet	85
Tablo A.1: Çamaşır Makinesi Arka Yüz Demontaj İşlem Maliyetleri.....	90
Tablo A.2: Çamaşır Makinesi Arka Yüz Demontaj İşlem Net Gelirleri.....	91
Tablo A.3: Çamaşır Makinesi Ön Yüz Demontaj İşlem Maliyetleri.....	94
Tablo A.4: Çamaşır Makinesi Ön Yüz Demontaj İşlem Net Gelirleri.....	95
Tablo B.1: Fırın Arka Yüz Demontaj İşlem Maliyetleri.....	98
Tablo B.2: Fırın Arka Yüz Demontaj İşlem Net Gelirleri.....	99
Tablo B.3: Fırın Ön Yüz Demontaj İşlem Maliyetleri.....	100
Tablo B.4: Fırın Ön Yüz Demontaj İşlem Net Gelirleri.....	101

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1: EEEA Direktifi Yasama Süreci	8
Şekil 2.2: Ülkeler Bazında Toplama Noktaları Sayısı	9
Şekil 2.3: Ülkelerin Geri Dönüşüm Oranları	10
Şekil 2.4: EEE'lerin Üzerine Yerleştirilecek İşaret Örneği	12
Şekil 2.5: Geri Dönüşüm Sistem Seçenekleri	13
Şekil 2.6: Otomatik Geri Dönüşüm Sistem Uygulaması	13
Şekil 2.7: Demontaj Bandı Genel Görünüm	15
Şekil 2.8: Fırın Demontaj Operasyonları	15
Şekil 2.9: Parçalama Esaslı Sistem Genel Görünüm	16
Şekil 2.10: Geri Dönüşüm Sistemleri Geri Dönüşüm Oran Kıyaslaması	17
Şekil 4.1: Demontaj Sırasının Belirlenmesinde Kullanılacak Örnek bir ve/veya Diyagramı	25
Şekil 4.2: Demontaj Operasyonları ile bir Alt montajın parçalanması	26
Şekil 4.3: Demontaj Operasyonları ile bir Alt montajın parçalanması	26
Şekil 4.4: Kazan Grubu Demontaj Ağacı	30
Şekil 5.1: Ürün Optimum Demontaj Sırasının Belirlenmesi Akış Şeması	35
Şekil 5.2: Geri Dönüşüm Sistem Analizi Akış Şeması	36
Şekil 5.3: Geri Dönüşüm Sistemleri Maliyetlerinin Belirlenmesi Akış Şeması	37
Şekil 5.4: Geri Dönüşüm Sistemleri Maliyet Dağılımı	50
Şekil 5.5: Çamaşır Makinesi Arka Yüz Demontaj Ağacı	58
Şekil 5.6: Çamaşır Makinesi Demontaj Ağacı	62
Şekil 5.7: Fırın Arka Yüz Demontaj Ağacı	71
Şekil 5.8: Fırın Ön Yüz Demontaj Ağacı	74
Şekil 5.9: Çamaşır makinesi malzeme oranları	77
Şekil 5.10: Fırın malzeme oranları	77
Şekil 7.1: Toplama hedeflerine göre toplam maliyet	85
Şekil 7.2: Geri dönüşüm sistemleri ve toplama hedeflerine göre birim işlem maliyetleri	86
Şekil 7.3: Geri dönüşüm sistemleri maliyet dağılımı	86
Şekil 7.4: Ürünlerin geri dönüşüm gelirleri kıyaslaması	87
Şekil 7.5: Ürünlerin geri dönüşüm oranları kıyaslaması	88

SEMBOL LİSTESİ

T	: Geçiş matrisi
T_{ij}	: Geçiş matrisi elemanları
X_j	: İşlem Değişkenleri
R_i	: Alt montaj gelirleri
TC_j	: İşlem maliyetleri
S_j	: Demontaj işlem süresi
C	: Birim demontaj maliyeti
P	: Alt montaj Malzeme satış fiyatı
M	: Alt montaj Malzeme miktarı
i	: Ürün demontajı sırasında ortaya çıkan alt montajların indisi
j	: Demontaj işlem indisi

ELEKTRİKLİ ELEKTRONİK EKİPMANLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ, DEMONTAJ YÖNTEMLERİ VE MALİYET ANALİZİ

ÖZET

Günümüzde elektrikli elektronik ekipman atıkları (EEEA) tüm ülkeler için kritik bir sorun haline gelmiştir. Avrupa Birliği ve üye ülkeler, atıkların içerdiği tehlikeli maddeler ve gömülme için bulunan kısıtlı alan sebebiyle çeşitli endişelere sahiptirler.

Bu durumu kontrol altına almak için 13 Şubat 2003 tarihinde EEEA direktifi yayınlanmıştır. Direktifin amaçları, toprak, su ve havayı mevcut EEEA yönetiminden kaynaklanan kirlilikten muhafaza etmek, değerli kaynakları korumak ve EEEA yönetimi ile ilgili ulusal kriterlerin uyumlaştırılmasını sağlamaktır.

Otomatik demontaj, manuel demontaj ve parçalama esaslı sistemler olmak üzere EEEA'nın geri dönüşümünde kullanılabilecek üç çözüm seçeneği bulunmaktadır. Tüm seçenekler bazı avantaj ve dezavantaja sahip olmalarına karşın otomatik demontaj bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Bu çalışmanın amacı geri dönüşüm sistem seçeneklerini değerlendirmek ve direktifte belirtilen farklı toplama hedeflerine göre üreticilerin katlanacağı maliyetin belirlenmesi için bir yöntem sunmaktır.

Geri dönüşüm gelirinin hesaplanabilmesi için çalışmanın kapsamını oluşturan bir çamaşır makinesi ve fırın için lineer programlama kullanılarak optimum demontaj sıraları bulunmuştur. Bu amaçla ayrıca ürün malzeme oranları da belirlenmiştir.

Üreticilerin katlanacağı maliyeti belirlemek için lojistik ve toplama maliyetlerini de içeren bir maliyet analizi yapılmıştır. Son olarak, 0,5, 1, 2 ve 4 kg/yıl/kişi toplama hedefleri için %50 pazar payına sahip bir firma için toplam kar/zarar hesaplanmıştır.

RECYCLING OF ELECTRICAL ELECTRONIC EQUIPMENT, DISASSEMBLY METHODS AND COST ANALYSIS

SUMMARY

In today's world, electrical electronic equipment waste (WEEE) is becoming a crucial problem for all countries. The European Union (EU) and its member states have concerns about the WEEE due to the hazardous materials and limited space available for landfills.

To control this situation WEEE directive is published on 13 February 2003. The objectives of the directive are to protect soil, water and air from pollution caused by current management of WEEE, preserve valuable resources and harmonization of national measures on the management of WEEE.

There are three optional solution for recycling of WEEE which are automatic disassembly, manual disassembly and recycle with shredders and eddy current systems. Although all options have some advantages and disadvantages in this study automatic disassembly is excluded. The aim of this study is to evaluate these recycling systems and present a method to find the cost that producers should bear according to the different collection targets which is determined in the directive.

To calculate the recycle income, optimum disassembly sequences are found by using linear programming for a washing machine and for an oven which constitute the scope of the study. On this purpose material fractions are also determined for the products.

To determine the cost that producers shall bear a cost analysis is done for recycling systems including logistic and product collection costs for different collection targets. Finally, for 0,5, 1, 2 and 4 kg/year/person collection targets the profit/loss is calculated for a firm with %50 of market share.

1. GİRİŞ

Günümüzde, tüketim artışıyla birlikte açığa çıkan atık miktarı da bu paralelde artmaktadır. Atıkların içerlerinde bulunabilecek zararlı maddeler sebebiyle çevreye verebilecekleri zarar, yine içerlerinde bulunan değerli malzemelerin geri kazanılabilmesi bu atıkların geri dönüşümünü zorunlu kılmaktadır. Dünya nüfusunun giderek arttığı, üretimde kullanılan doğal kaynakların kıt oldukları düşünüldüğünde atıkların gömülmesi son alternatif olmalıdır. Ayrıca kıt kaynakların doğadan elde edilerek üretimde kullanılacak haldeki hammaddelere dönüştürülmesi için harcanacak maliyet ve katlanılacak zorluklar, atık halde bulunan ve geri dönüştürülebilecek malzemelerin tekrar kazanılması ile ortadan kaldırılabilir.

Elektrikli ve Elektronik atıklar en hızlı artış gösteren atık dalgası olarak göze çarpmaktadır. Bu atık grubu diğer ev atıklarına göre ortalama üç kat daha hızlı artış göstermektedir. Avrupa’da kişi başı yıllık ortalama 20 kg atık açığa çıkmaktadır. Elektrikli elektronik atıklar içerlerinde bulunan çevreye zararlı maddeler sebebiyle de ayrı bir öneme sahiptirler. Hem kaynakların etkin kullanımı hem de çevreye göstermemiz gereken özen elektrikli elektronik atıkların geri dönüşümünü zorunlu kılmaktadır.

Avrupa Birliği üyeleri katı atıkların yok edilmesi ile ilgili çeşitli endişelere sahiptirler. Avrupa Birliği başkanlık komisyonu 2015’te evsel atıkların gömme oranının 1995 yılına göre %65 oranında azaltılmasını öngörmektedir. Bu düzenlemeler evsel atıkların gömme yoluyla çevreye verdikleri zararları minimize etmek için yapılmaktadır.

30 Temmuz 1996 yılından beri AB’nin gündeminde olan Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atıkları için Şubat 2003’te 2002/96 sayılı direktif yayınlanmıştır.

Mevcut Elektrikli Elektronik Ekipman Atıkları yönetiminden kaynaklanan kirlilikten hava, su ve toprağın korunması, atık oluşumunun engellenmesi, EEEA’nın zararlılığının azaltılması ve kıt kaynakların daha etkin kullanılması gibi bir takım amaçlar ile çıkarılan bu direktif ile başta enerji olmak üzere EEEA’nın içerisindeki

değerli kaynakları korumak amaçlanmaktadır. Ayrıca direktif ile AB içerisindeki ulusal EEEA atık yönetimlerinin harmonizasyonu da sağlanmış olacaktır.

Direktif içerisinde üreticilerin uygulaması gereken toplama hedefleri, geri dönüştürme hedefleri, geri dönüşüm garantisi, görünür maliyet, işaretleme ve tarihsel atık uygulaması gibi konular bulunmaktadır. Bu uygulamalar arasında bulunan geri dönüşüm hedeflerinin üreticiler tarafından ulaşılmasında üç ana gruba ayrılan geri dönüşüm sistemleri kullanılacaktır. Otomatik demontaj, manuel demontaj ve parçalama esaslı sistemler ile elektrikli elektronik ekipmanların geri dönüşümü sağlanmaktadır. Bu sistemleri birbirlerinden ayıran temel farklılık hasarlı-hasarsız geri dönüşüme olanak sağlamalarıdır. Hasarsız geri dönüşüm komponentlerin tekrar kullanılmalarına olanak tanırken hasarlı geri dönüşüm perçin gibi bağlantı elemanlarının sökülmesinde ve tekrar kullanım olanağı olmayan komponentlerin sökülmesini hızlandırmada uygulanmaktadır.

Bu çalışma yasal ve çevresel sebeplerle elektrikli ve elektronik atıkların geri dönüştürülmesi sürecini irdeleyen, otomatik demontaj, manuel demontaj ve parçalama esaslı geri dönüşüm olarak belirlenen çözüm seçeneklerini ortaya koyup bu seçenekler arasından en olurlu çözümü bulmaya çalışan bir metodoloji ortaya koymaktadır. Bu amaçla öncelikle elektrikli ve elektronik atıklar ile ilgili bazı temel bilgiler verildikten sonra çözüm seçenekleri ortaya konulacak, seçeneklerin avantaj ve dezavantajları açıklanacaktır. Daha sonra manuel demontaj sistemi uygulamaları için en uygun demontaj sırasını veren bir çözüm yönteminin (LP) büyük beyaz eşya ürünleri üzerinde uygulaması yapılacaktır ve bu ürünlerin optimum demontaj düzeyi, demontaj sırası, demontaj maliyeti ve geliri belirlenecektir. Son olarak bir fizibilite çalışması ile Türkiye ölçekli bir elektrikli ve elektronik geri dönüşüm sisteminin hangi seçenek yada seçeneklerden oluşması gerektiği ortaya konacaktır.

2. GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ VE ÖNEMİ

Atık geri dönüştürme problemi günümüzde ortaya çıkan atık miktarının ve bu atıkların gömülmesi için gereken yer miktarının artması ile kritik bir hal almıştır. Atık oluşumu, ülkenin nüfusu, yaşam biçimi ve kişi başına ortaya çıkan atık miktarı ile ilintilidir. Ülke nüfusu kontrol edilmesi zor bir parametre olduğundan diğer parametre olan kişi başına düşen atık miktarının düşürülmesi hedeflenmelidir.

Dünya nüfusunun giderek arttığı, üretimde kullanılan doğal kaynakların kıt oldukları düşünüldüğünde atıkların gömülmesi son alternatif olmalıdır. Ayrıca kıt kaynakların doğadan elde edilerek üretimde kullanılabilecek haldeki hammaddelere dönüştürülmesi için harcanacak maliyet ve katlanılacak zorluklar, atık halde bulunan ve geri dönüştürülebilecek malzemelerin tekrar kazanılması ile ortadan kaldırılabilir.

Düşük nüfusuna karşın büyük yüzölçümüne sahip olan ülkelerde atık gömme alanları önemsiz görünürken nüfus yoğunluğu fazla olan ülkelerde bu önemli bir sorun teşkil edebilmektedir. Dolayısıyla geri dönüşüm, var olan kıt kaynakların etkin kullanılması, atıkların gömülmesi için gerekli alan miktarının azaltılması ve çevreye zararlı olan bazı maddelerin doğaya geri dönüşümünü sağlama açısından önem kazanmaktadır.

Avrupa Birliği üyeleri katı atıkların yok edilmesi ile ilgili çeşitli endişelere sahiptirler. Avrupa Birliği başkanlık komisyonu 2015'te evsel atıkların gömme oranının 1995 yılına göre %65 oranında azaltılmasını öngörmektedir. Bu düzenlemeler evsel atıkların gömme yoluyla çevreye verdikleri zararları minimize etmek için yapılmaktadır. [1]

Elektrikli ve Elektronik atıklar ise en hızlı artış gösteren atık dalgası olarak göze çarpmaktadır. Bu atık grubu diğer ev atıklarına göre ortalama üç kat daha hızlı artış göstermektedir. Avrupa'da kişi başı yıllık ortalama 20 kg atık açığa çıkmaktadır. [2]

İngiltere Çevre Bilgi Değişimi Dairesi Avrupa'da 1998'de 6 milyon ton EEE atığı üretildiğini belirtmiştir. Bu atıkların sadece %10'u tekrar kullanılabilmiş gerisi ise

yok edilmiştir. Bu atıkların 3,6 milyon tonu metal iken 1,2 milyon tonu plastik ayrıca 27.000 tonu kurşun ve 8 tonu civadır. [3]

Elektriksel atıkların %80'inin Asya'ya aktığı sanılmaktadır. Burada işçiler insan ve çevre sağlığının gözetilmediği koşullarda çalıştırılmakta, PCB'ler eritilerek üzerlerindeki kurşun alınırken, kablolar yakılmakta ve böylelikle içlerindeki bakır toplanmaktadır. [1]

Türkiye'de evsel ve endüstriyel katı atık düzenli depolama ve yakma süreçlerinin gerçekleştirilmesi ile ilgilenen firmalar mevcuttur ve süreçler bu firmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Burada enerji elde edilebilecek atıklar yakılmakta diğerleri ise gömülmektedir. Bu tip tesislerin bir diğer avantajı atık taşıma süreçlerinin de kontrol altına alınmasına olanak sağlamasıdır. Bu tip firmalar sadece katı atık taşıma lisansına sahip işletmeler ile çalışmaktadır. [4,5]

Dünya bu durumu kontrol altına almak için çeşitli düzenlemeler yapmaya başlamaktadır. Çevresel ve ekonomik sebeplerle üreticilere birtakım sorumluluklar getiren bazı yasal düzenlemeler ortaya çıkmaktadır.

2.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında öncelikle elektrikli elektronik ekipmanların geri dönüşümüne ilişkin temel bilgiler verilecek ve geri dönüşümün öneminden bahsedilecektir. Avrupa Birliğinin elektrikli elektronik ekipmanların geri dönüşümü ile ilgili yayınlamış olduğu direktif ile ilgili temel bilgiler verildikten sonra ise bu direktif ile üreticilere yüklenen sorumluluklar aktarılacaktır. Çalışma içerisinde daha sonra elektrikli elektronik ekipmanların geri dönüşümünü sağlayan sistemler incelenecek ve bu sistemlerin avantaj ve dezavantajları irdelenecektir. Otomatik demontaj, manuel demontaj ve parçalama esaslı geri dönüşüm sistemleri olmak üzere üç ana gruba ayrılabilen bu sistemler ana hatlarıyla açıklanacaklardır. Manuel demontaj esaslı bir sistemde ürünlerin demontajında hangi sıranın kullanılacağını belirlemek için lineer programlama ile optimum demontaj sırası bulunmasına ilişkin bir yöntem aktarılacaktır. Ayrıca Avrupa içerisinde çeşitli uygulamalara sahip olan manuel demontaj ile parçalama esaslı geri dönüşüm seçenekleri için bir fizibilite çalışması yapılarak, Türkiye ölçeğinde, elektrikli elektronik ekipman üreten bir firmanın seçeceği geri dönüşüm sistemine karşılık katlanmak zorunda kalacağı

maliyetler ile elde edebileceği gelirlerin kıyaslaması yapılacaktır. Böylelikle üretici firmaların geri dönüşüm sorumluluklarını yerine getirmede kendilerine uygun çözümleri seçebilmeleri amaçlanmaktadır.

2.2 Geri Dönüşüm Sistemleri ile İlgili Bazı Kavram ve Tanımlamalar

Elektrikli elektronik ekipmanların geri dönüşümü ile ilgili bazı kavramlar çalışmanın anlaşılması açısından bu bölümde açıklanacaktır.

- Elektrikli elektronik ekipman: Asıl işlevini yerine getirmek için elektrik akımına yada elektro manyetik alana ihtiyaç duyan ve 1000 volt alternatif akım yada 1500 volt doğru akım kullanımını geçmeyecek şekilde dizayn edilmiş ekipmanlardır. [6-7]

- Alt montaj: Bir ürünün belli sayıda komponentlerinin oluşturduğu ve kendi içinde demontaj gerektiren parça grubudur.

- Tekrar kullanım: Elektrikli elektronik ekipmanların bir takım komponentlerinin aynı amaç doğrultusunda tekrar kullanılmasıdır.

- Geri dönüşüm : Parçanın ömrü tamamlandığında malzemelerinin tekrar hammadde olarak üretim sürecine kazandırılabilmesi işlemleridir.

- Geri kazanım: Tekrar kullanım ve geri dönüşüm işlemlerinin yanı sıra enerji elde edilmesi amacıyla yapılan yakma operasyonunu da kapsayan tüm işlemlerdir.

- Gömme ile yok etme: En son tercih edilen ve geri kazanım operasyonlarının hiçbirinin uygulanamaması durumunda kullanılan atık yok etme işlemidir.

- Tekrar kullanım oranı : Üründen tekrar kullanılmak üzere demonte edilmiş olan komponentlerin ürün ağırlığına oranıdır. Ürünün tamamının tekrar kullanılması bu hesaplamalara dahil edilmez.

- Geri dönüşüm oranı: Geri dönüşüm işlemleri sonucunda üründen ayrılan ve geri dönüştürülme olanağı olan malzemelerin ürün ağırlığına oranıdır. Direktif tekrar kullanım oranının da geri dönüşüm oranına eklenmesini öngörmektedir.

- Geri kazanım oranı: Tekrar kullanım ve geri dönüşüm operasyonlarının yanı sıra yakarak enerji elde etme işlemi ile geri kazanılan malzemelerin ürün ağırlığına oranıdır. [8]

- Hasarlı geri dönüşüm: Geri dönüşüm işlemlerinin ürünün komponentlerine hasar vererek tekrar kullanım seçeneğine olanak tanımayacak biçimde yapılmasıdır.

- Hasarsız geri dönüşüm: Geri dönüşüm işlemlerinin ürünün komponentlerine hasar vermeden tekrar kullanım seçeneğine olanak tanıyacak biçimde yapılmasıdır.

[9-10]

- Görünür maliyet: Tarihsel atıkların geri dönüşüm maliyetlerinin tüketicileri bilgilendirmek amacıyla ürünlerin üzerinde ayrı olarak gösterilmesidir. **[6]**

- Tam demontaj: Ürünün tüm komponentlerinin demontaj yöntemleri kullanılarak %100 geri dönüşüm oranının sağlanmasıdır.

- Kısmi demontaj: Ürünün birtakım komponentlerinin demontaj yöntemleri kullanılarak % 100'ün altında bir geri dönüşüm oranı sağlanacak şekilde yapılan demontaj işlemleridir. **[11]**

- Üretici: Kendi markası ile elektrikli elektronik ekipman üreten, başka üreticiler tarafından üretilen ürünleri kendi markaları ile satan, Avrupa Birliğine üye ülkeler dahilinde elektrikli elektronik ekipman ithalat yada ihracatı yapanlar üretici olarak tanımlanmışlardır. **[6]**

- Otomatik geri dönüşüm: Manuel işlem olmadan tamamen otomatik gerçekleştirilen demontaj işlemleridir.

- Takım yardımıyla demontaj: Motorlu olmayan herhangi bir takım yardımıyla (tornavida, yan keski, pense vb.) ve manuel gerçekleştirilen demontajdır.

- Mekanik takım yardımıyla demontaj: Motorlu takımlar yardımıyla manuel olarak gerçekleştirilen demontaj işlemidir.

- Takım desteği olmadan yapılan demontaj: Herhangi bir takım kullanmadan tamamen elle yapılan demontaj işlemidir. **[10]**

2.3 Geri Dönüşüm Sistemlerinin Yasal Boyutu

30 Temmuz 1996 yılından beri AB'nin gündeminde olan Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atıkları (Waste electrical electronic equipment-WEEE-) için Şubat 2003'te 2002/96 sayılı direktif yayınlanmıştır.

Mevcut Elektrikli Elektronik Ekipman Atıkları yönetiminden kaynaklanan kirlilikten hava, su ve toprağın korunması, atık oluşumunun engellenmesi, EEEA'nın zararlılığının azaltılması ve kıt kaynakların daha etkin kullanılması gibi bir takım amaçlar ile çıkarılan bu direktif ile başta enerji olmak üzere EEEA'nın içerisindeki değerli kaynakları korumak amaçlanmaktadır. Ayrıca direktif ile AB içerisindeki ulusal EEEA atık yönetimlerinin harmonizasyonu da sağlanmış olacaktır. [6]

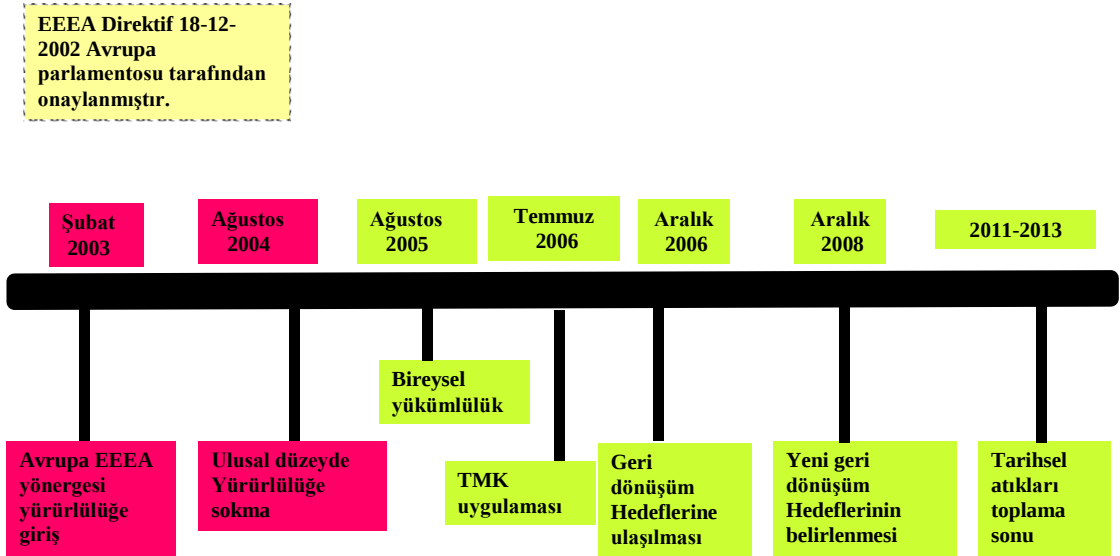
EEE'lerin dizayn değişikliklerini özendirerek atık oluşumunun önüne geçmek ise direktifin bir diğer amacıdır. [1]

Bunun yanı sıra orijinal direktifin bir bölümü çıkarılmış ve tehlikeli maddelerin kısıtlanması (TMK) ile ilgili (RoHS -Restriction of Hazardous Substances) ayrı bir direktif olarak yayınlanmıştır. TMK direktifi kurşun, civa, kadmiyum, 6 değerlikli krom, PBDE ve PBB yanma geciktiricilerinin belirlenen limitler haricinde elektrikli ve elektronik ekipmanlarda kullanılmasını yasaklamaktadır. [7]

EEEA ve TMK direktifleri ile ilgili takvim aşağıdaki gibidir;

- 13 Ağustos 2004: Tüm üye ülkeler tarafından direktif ulusal olarak yasalaştırılacaktır. (13 Ağustos 2004 tarihine kadar sadece Yunanistan ve Hollanda WEEE direktifini yasalaştırmayı gerçekleştirmiştir.) [8]
- 13 Ağustos 2005: Tüm üreticiler ürünlerinin geri alımı ile ilgili bir plana sahip olmak zorunda ve ürünlerinin toplama noktalarından itibaren toplanması, işlem görmesi, geri kazanılması ve yok edilmesi ile ilgili tüm finansmandan sorumludurlar.
- 1 Temmuz 2006: Üye ülkeler tarafından TMK direktifi uygulamaya başlanacaktır.
- 31 Aralık 2006: Tüm üye ülkeler kişi başı 4kg /yıl toplama hedefine ulaşacaklardır.
- 31 Aralık 2008: Toplama, geri dönüştürme ve geri kazanım hedefleri gözden geçirilecektir.

Tüm bu tarihleri göz önüne alındığında direktiflerin yol haritası Şekil 2.1'de görüldüğü gibi oluşmaktadır.



Şekil 2.1: EEEA Direktifi Yasama Süreci

EEEE direktifi 10 ana elektrikli ve elektronik ürün grubu için oluşturulmuş yasal bir düzenlemedir. Tablo 2.1’de bu on ana ürün grup ve bu gruplara dahil olan ürünler için örnekler gösterilmektedir.

Tablo 2.1: EEEA Direktifi Kapsamı

Kategori	Ürünler
1. Büyük Ev Eşyaları	Buzdolabı, dondurucu, çamaşır makinesi, kurutucu, bulaşık makinesi, pişirme ekipmanları, elektrikli ısıtıcılar, klimalar...
2. Küçük Ev Eşyaları	Süpürge makinesi, ütü, tost makinesi, kahve makinesi, saç kurutma makinesi, tıraş makinesi, saat...
3.IT ve telekomünikasyon Ekipmanları	Bilgisayar, yazıcı, kablosuz telefonlar...
4.Tüketici Ekipmanları	Radyo, televizyon, kamera...
5.Aydınlatma Ekipmanları	Florsan lambalar...
6.Elektrikli ve Elektronik Aletler	Matkap, Testere...
7.Oyuncak, Eğlence ve Spor Ekipmanları	Elektrikli oyuncaklar, koşu bantları...
8.Medikal Ekipmanlar	Radyoterapi ekipmanları, kardiyoloji ekipmanları...
9.İzleme ve Kontrol Ekipmanları	Duman dedektörleri,
10.Otomatik Dispanserler	Bankamatikler, İçecek makineleri...

Direktif ulusal güvenliği sağlamak amacıyla kullanılan elektrikli ve elektronik ekipmanlar ile bazı hastalık taşıma riski olan medikal ekipmanları kapsam dışı tutmuştur.

Direktif ile birlikte EEE üreticilerine birtakım sorumluluklar yüklenmektedir.

2.3.1 Toplama Hedefi

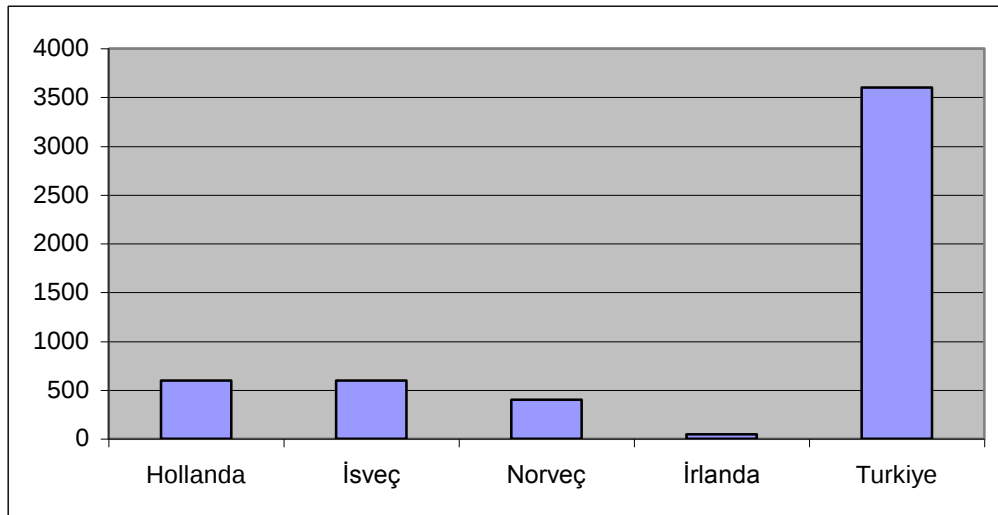
Direktif kişi başı 4 kg kişi /yıl toplama hedefinin ülkeler bazında sağlanmasını öngörmektedir. Aralık 2006 itibariyle AB üyesi ülkelerin bu hedefe ulaşmış olmaları istenmektedir. Bazı AB üyesi olmamış ülkeler için ise bu hedefe ulaşma tarihi iki yıl ötelenmiştir. [6]

Direktifin öngördüğü toplama hedefi bazı Avrupa ülkeleri tarafından şimdiden ulaşılmıştır. Örneğin İngiltere kişi başı yıllık 7,8 kg İsveç ise 14 kg atık toplamaktadır. [9]

Bazı ülkelerin toplama hedefine ulaşmak için kullandıkları atık toplama noktaları ve bu verilere göre hesaplanan Türkiye için gerekli toplama noktası sayısı Tablo 2.2. ve Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Ülkesel bazda Toplama Noktaları sayısı

Ülke	Nüfus (milyon)	Bölgesel Toplama Noktası Sayısı	Toplama Noktası/Nüfus Oranı
Hollanda	16	600	1/27000
İsveç	8,8	600	1/15000
Norveç	4,5	400	1/11000
İrlanda	3,9	45	1/87000
Türkiye	70	3600	1/19444



Şekil 2.2: Ülkeler Bazında Toplama Noktaları Sayısı

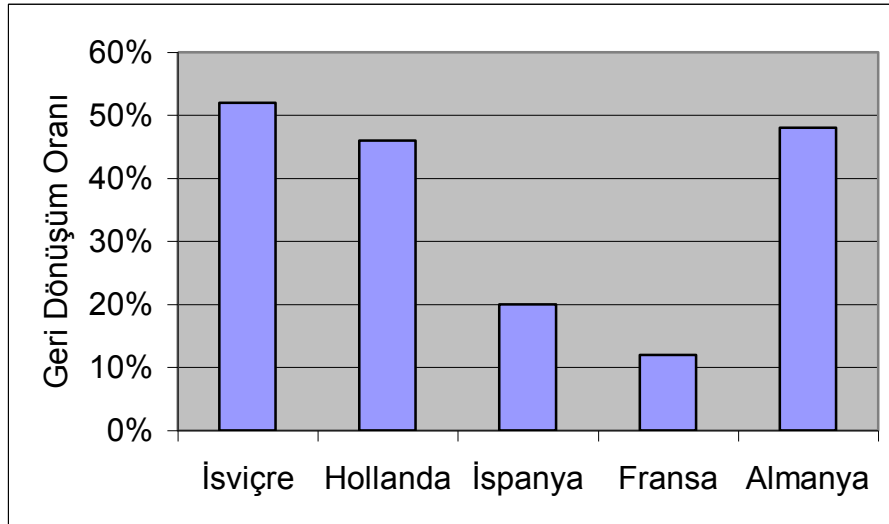
2.3.2 Geri Dönüştürme Hedefi

EEEA direktifi, belirlediği 10 ana ürün grubu için geri dönüşüm ve geri kazanım hedefleri belirlemiştir. Bu hedefler Tablo 2.3’de gösterilmiştir. [6]

Tablo 2.3: EEEA Direktifi Geri Dönüşüm Hedefleri

Kategori	Geri Dönüşüm	Geri Kazanım
1.Büyük ev aletleri	%75	%80
2.Küçük ev aletleri	%50	%70
3.IT ve telekomünikasyon ekipmanları	%65	%75
4.Tüketici ekipmanları	%65	%75
5.Aydınlatma ekipmanları	%50	%70
6.Elektrikli ve elektronik aletler	%50	%70
7.Oyuncak, eğlence ve spor ekipmanları	%50	%70
8.Medikal ekipmanlar		%80
9.İzleme ve kontrol aletleri	%50	%70
10.Otomatik dispanserler	%75	%80

Bazı ülkelerin mevcut durumdaki uygulamalarında elde ettikleri geri dönüşüm oranları Şekil 2.3’te gösterilmiştir. [1]



Şekil 2.3: Ülkelerin Geri Dönüşüm Oranları

2.3.3 Geri Dönüşüm Garantisi

EEEA direktifinin uygulanmasını istediği bir başka yükümlülük ise geri dönüşüm garantisidir. Buna göre her üretici pazara sunduğu her ürün için belirlenecek olan

miktarlarda ürünün hurda haline geldiğinde geri dönüştürüleceğini garanti altına almak amacıyla yetkilendirilmiş kuruluşlara garanti vermek zorundadır. [6] Bu garanti;

- Garanti poliçesi
 - Dondurulmuş banka hesabı
 - WEEE finansmanı için kurulmuş uygun bir üreticiler birliği
- şeklinde verilebilir.

2.3.4 Görünür Maliyet

Üreticiler tarihsel atıklar için ürünlerinin satış fiyatlarında geri dönüşüm maliyetlerini ayrı olarak göstererek tüketiciyi bilgilendirmek zorundadırlar. Bu maliyetler;

- Büyük Ev Eşyaları için 2013
- Diğer kategoriler için 2011

tarihlerine kadar görünür şekilde ürünlere yansıtılacaktır. [6]

2.3.5 İşaretleme

Üreticiler AB üyesi ülkelerde 13 Ağustos 2005 sonrasında üretilen ürünlerini aşağıdaki özellikleri taşıyacak şekilde işaretlemelidirler;

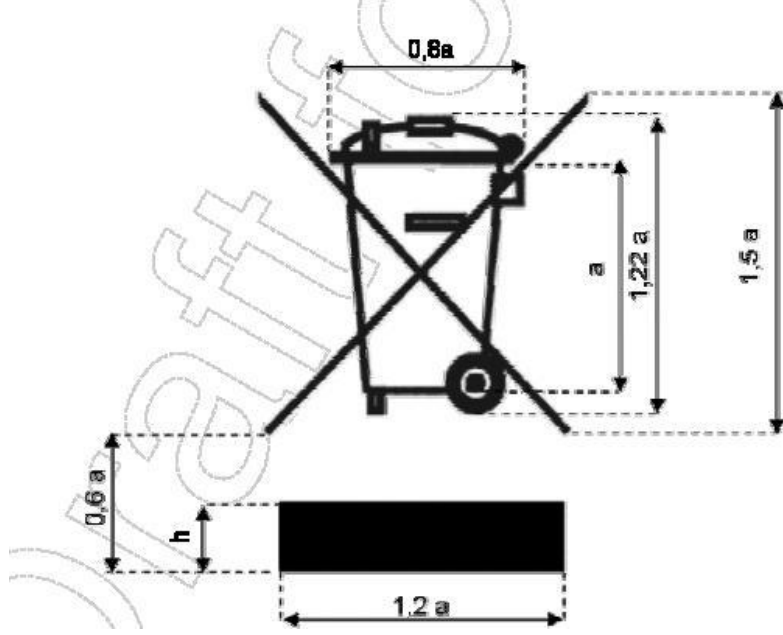
- Üreticinin kolaylıkla tanınmasına olanak vermesi
- Ürünün bu tarihten sonra pazara sunulmuş olduğunun anlaşılabilmesi

EEEA direktifinde belirtilen bu işaret ürünün özelliklerine göre

- Ambalaj üzerine
- Kullanım kılavuzu üzerine
- Garanti belgesi üzerine

konulmalıdır. [6]

Şekil 2.4'te ürünlerin üzerine yerleştirilmesi gereken bu işaret gösterilmektedir.



Şekil 2.4: EEE'lerin Üzerine Yerleştirilecek İşaret Örneği

2.3.6 Tarihsel Atık Uygulaması

Direktifin AB üyesi ülkelerde yürürlüğe giriş tarihi olan 13 Ağustos 2005 tarihinden önce pazara sunulmuş ürünler tarihsel atık olarak tanımlanmış ve bu ürünlerin toplama / geri dönüştürülme sorumluluklarının üreticilere o yılki pazar payları oranında dağıtılması esas alınmıştır. Bu uygulama;

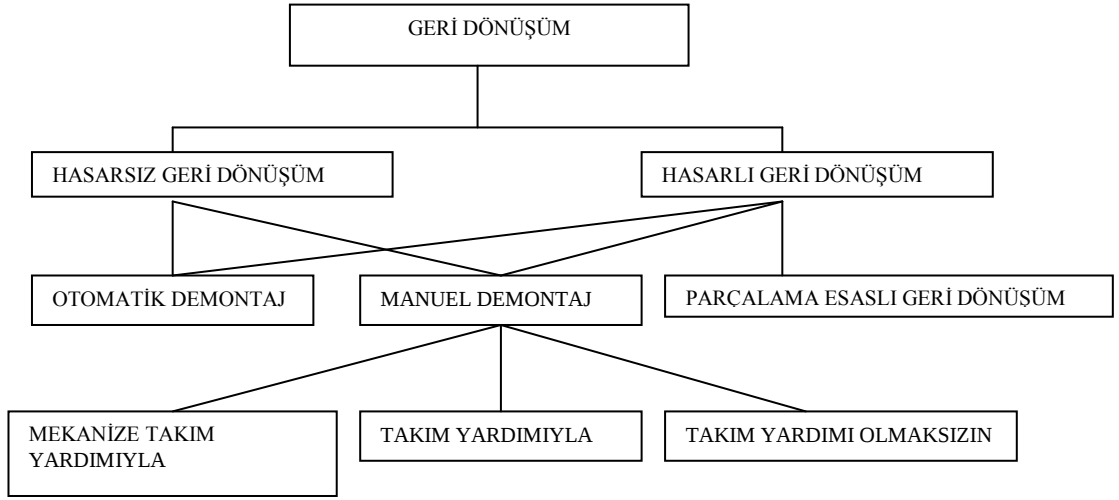
- Büyük ev aletleri için 2013
- Diğer ekipmanlar için 2011

tarihlerine kadar devam edecektir. Bu tarihlerden itibaren üreticiler ürünlerinin geri dönüşümlerinden bireysel olarak sorumlu olacaklardır. [6]

2.4 Geri Dönüşüm Sistem Tipleri

Geri dönüşüm sistemleri temelde üç ana gruba ayrılmaktadır. Otomatik demontaj, manuel demontaj ve parçalama esaslı sistemler ile elektrikli elektronik ekipmanların geri dönüşümü sağlanmaktadır. Bu sistemleri ile ilgili bir başka farklılık ise hasarlı-hasarsız geri dönüşüme olanak sağlamalarıdır. Hasarsız geri dönüşüm komponentlerin tekrar kullanılmalara olanak tanırken hasarlı geri dönüşüm perçin gibi bağlantı elemanlarının sökülmesinde ve tekrar kullanım olanağı olmayan

komponentlerin sökümünü hızlandırmada uygulanmaktadır. Şekil 2.5'te geri dönüşüm sistemleri sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.5: Geri Dönüşüm Sistem Seçenekleri

2.4.1 Otomatik Demontaj Esaslı Geri Dönüşüm

Otomatik demontaj esaslı geri dönüşüm sistemi, insan gücünün sistem içindeki rolü itibariyle manuel sistemden ayrılmaktadır. Burada işlemler robot kolları yardımıyla hasarlı/hasarsız olarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.6'da Berlin Teknik Üniversitesinin pilot tesisinden faydalanılarak yapılan bir otomatik geri dönüşüm çalışması görülmektedir. [9]



Şekil 2.6: Otomatik Geri Dönüşüm Sistem Uygulaması

Yapılan bu pilot çalışmada bir çamaşır makinesinin otomatik demontajı gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ürünün komponentlerinin sadece %25'inin otomatik demontaja uygun olarak tasarlanmış olduğu ve böylece ürünün büyük bir

kısımının (%75) otomatik demontaja uygun olmadığı görülmüştür. Ayrıca otomatik demontaj süresinin, ortalama %32 oranında manuel demontaj süresinden fazla olduğu görülmüştür. [9]

Yapılan bir diğer çalışma otomatik demontajın teknik açıdan olurlu hale getirilebilmesine karşın ekonomik olarak olurlu bir çözüm teşkil etmeyeceğini göstermektedir. [12]

Otomatik demontajın uygulanmasını zorlaştıran en büyük etmen ürün çeşitliliğidir. Aynı markalı bir ürünün model farklılığının bile operasyon farklılıklarına yol açtığı düşünüldüğünde, direktif kapsamında belirlenen 10 ana ürün grubu içerisinde bulunan her türlü elektrikli elektronik ekipman için hazırlanması gereken farklı otomatik demontaj hatlarının sayısı ürkütücü boyutlarda olacaktır.

Uygulamayı zorlaştıran bir diğer nokta ise ürünlerin hurda halinde olmalarından eksik yada değişik parçalara sahip olup çeşitli şekil bozukluklarına sahip olmalarından dolayı robot kolların işlem yapmalarının güçleşmesidir.

2.4.2 Manuel Demontaj Esaslı Geri Dönüşüm

Manuel demontaj işlemleri yapısı itibari ile hasarlı/hasarsız, mekanik bir takım yardımıyla, takım yardımı ile yada takım yardımı olmaksızın yapılabilmektedir.

Bu sistemlerin en büyük özelliği yüksek geri dönüşüm oranlarına sahip olmalarıdır. Yapılan bir pilot çalışma ile büyük beyaz eşyalarda %99'ların üzerinde bir geri dönüşüm oranı sağlanmıştır.

Manuel demontaj sistemlerinin bir diğer özelliği ise düşük yatırım maliyetleridir. Parçalama esaslı sistemler ile kıyaslandığında bu özellik açıkça görülmektedir.

Ayrıca manuel demontaj sistemleri parçalama esaslı geri dönüşüm sistemlerinin aksine kapasite esnekliğine sahiptir. Mevcut durumda parçalama esaslı sistemlerin 60 adet ürün/saat standart kapasiteli oldukları belirlenmiştir. [13-15]

Bir diğer nokta ise manuel sistemde geri dönüştürülebilecek ürün çeşitliliğidir. Sistem otomatik demontajın aksine herhangi bir ürüne özgü tasarlanmadığı için soğutucular haricindeki tüm elektrikli elektronik ekipmanın geri dönüşümüne olanak sağlamaktadır. Buzdolabı ve diğer soğutucuların geri dönüşümü poliüretanın içinde varolan atmosfere zararlı gazların toplanabilmesi açısından sadece parçalama esaslı sistemlerde mümkündür.

Şekil 2.7’de manuel demontaj sistemlerinde yapılan pilot bir uygulamada kullanılan demontaj bandı Şekil 2.8’de ise fırın demontajına ait örnek bazı operasyonlar gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Demontaj Bandı Genel Görünüm



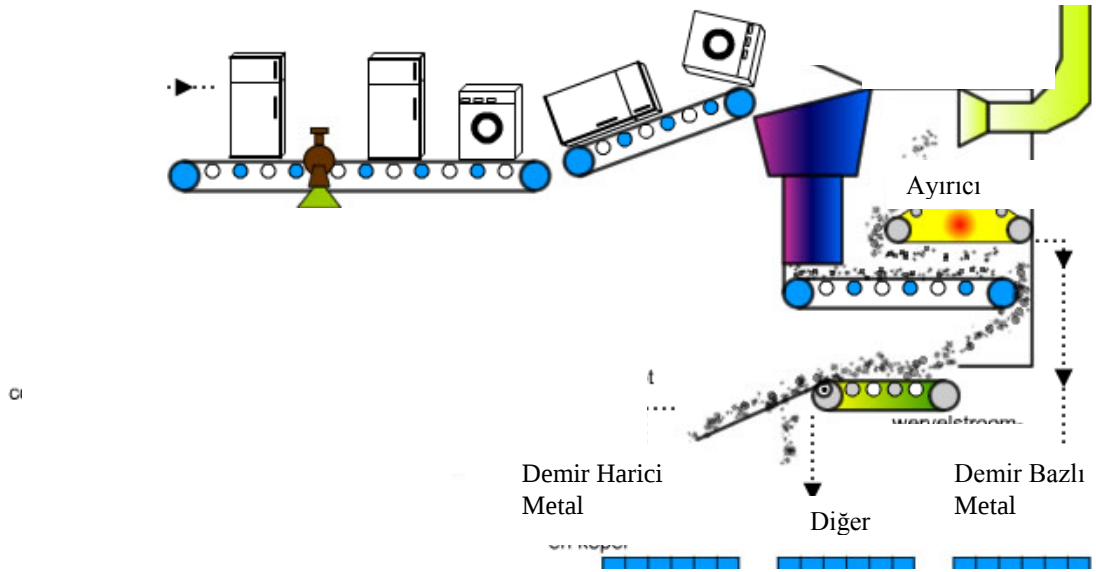
Şekil 2.8: Fırın Demontaj Operasyonları

Bir beyaz eşya üretici firmada pilot uygulama çerçevesinde 9 çalışan/vardiya ile çeşitli beyaz eşyaların malzeme oranları, geri dönüşüm oranları, geri dönüşüm maliyetleri ve gelirleri belirlenmiştir. Bu pilot uygulamada 7 işçi demontaj yapmakta

bir çalışan ürünlerin demontaj bandına yüklenmesi ile ilgilenmekte ve ürün bilgilerini kaydetmekte, bir kişide malzeme ve ürün hareketlerini sağlamaktadır. Bu çerçevede 600 ton ürün manuel demontaj yöntemiyle geri dönüştürülmüştür.

2.4.3 Parçalama Esaslı Geri Dönüşüm

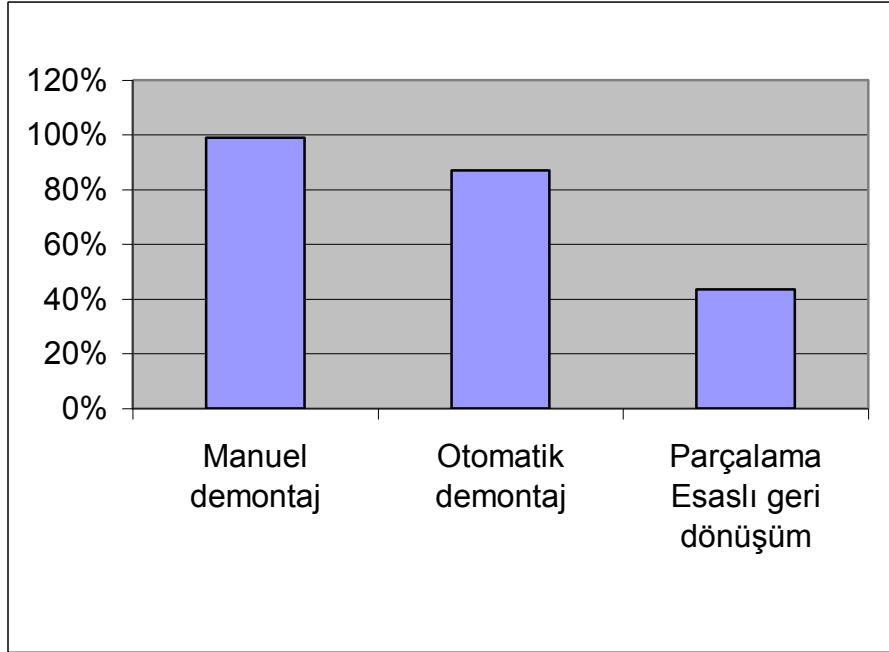
Parçalama esaslı geri dönüşüm sistemleri EEEA direktifi ile üreticilere yüklenen geri dönüşüm sorumluluklarını yerine getirmek için ortaya çıkan alternatiflerin bir diğeridir. Bu sistemlerde ürünler direktifte belirtilen tehlikeli maddeler çıkarıldıktan sonra konveyörlere yüklenmektedir. Ürünler konveyörler aracılığıyla parçalama makinelerine atılmakta burada 5-10 mm büyüklüklerine kadar parçalanmaktadırlar. Buradan çıkan parçalar çeşitli ayırma ekipmanları yardımıyla demir bazlı metal, bakır, alüminyum gibi demir harici metaller ve diğer malzemeler olarak ayrılmaktadırlar. Şekil 2.9'da parçalama esaslı sisteme ilişkin operasyonlar gösterilmektedir. [16]



Şekil 2.9: Parçalama Esaslı Sistem Genel Görünüm

Parçalama esaslı sistemlerin en büyük özelliği buzdolabı gibi soğutucuların geri dönüşümünde tek alternatif olmalarıdır. Bu sistemler buzdolabının içinde bulunan zararlı gazların atmosfere verilmeden toplanıp geri kazanılmasına olanak vermektedirler. Ürünün içerisinde bulunan gazlar, ürün parçalanırken açığa çıkmakta ve açığa çıkan bu gaz parçalama esaslı sistemde kapalı bir alanda yapıldığından toplanabilmektedir. Toplanan gaz geri kazanılmak üzere ilgili işletmelere gönderilmektedir. Bu sistemler genellikle metal oranı yüksek ürünlerde

kullanılmaktadırlar. Bunun sebebi sistemin metalleri kolaylıkla ayrıştırabilmesidir. Metal oranı düşük olan ürünlerde direktifin öngördüğü geri dönüşüm oranlarına ulaşabilmek zorlaşmaktadır. [13-15] Şekil 2.10'da bu sistemlerde bir çamaşır makinesinden elde edilebilen geri dönüşüm oranları kıyaslanmıştır. [10 ,13-15]



Şekil 2.10: Geri Dönüşüm Sistemleri Geri Dönüşüm Oran Kıyaslaması

Parçalama esaslı sistemler mevcut durumda sabit kapasiteli (60 adet ürün/saat) olarak üretilmektedirler. Bu da sistemin esnekliğini kısıtlamakta ve ürünün bulunduğu yere bakılmaksızın belirli sayıda ürünün bu sistemlere götürülmesinden kaynaklanan bir lojistik dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin bir diğer özelliği yüksek yatırım maliyetleridir. Tablo 2.4 geri dönüşüm sistemlerinin kıyaslamasını vermektedir.

Tablo 2.4: Geri Dönüşüm Sistem Kıyaslaması

	Manuel Demontaj	Otomatik Demontaj	Parçalama Esaslı Geri Dönüşüm
Manuel Demontaj	-	Ürün esnekliği, Düşük yatırım maliyeti, yüksek geri dönüşüm oranları	Düşük yatırım maliyeti, kapasite esnekliği, lojistik maliyeti, tekrar kullanım, yüksek geri dönüşüm oranları
Otomatik Demontaj	Hata ve kaza riski	-	Tekrar kullanım
Parçalama Esaslı Geri Dönüşüm	Soğutucu geri dönüşümüne olanak vermesi, metal ağırlıklı ürünlerde düşük geri dönüştürme maliyeti	Soğutucu geri dönüşümüne olanak vermesi, ürün esnekliği,	-

3. GERİ DÖNÜŞÜM VE DEMONTAJ SIRASININ BULUNMASINA İLİŞKİN LİTERATÜR TARAMASI

Elektrikli elektronik ekipmanların geri dönüşümü özellikle son on yılda ortaya çıkmış ve önem kazanmıştır. Literatür taramasında demontaj sırasının bulunması ile ilgili çok sayıda makale göze çarpmaktadır. Ancak genel olarak elektrikli elektronik ekipman geri dönüşüm seçeneklerinin değerlendirildiği çok fazla çalışma bulunmamaktadır.

Demontaj sırasının bulunması ile ilgili yapılan çalışmalarda en belirgin farklılıklar probleme başlama noktaları ile tam demontaj/kısmi demontaj uygulamasıdır. Çalışmaların bir kısmı probleme ürünlerin komponentler arasındaki bağlantıları gösteren diyagramlar ile başlayıp ayrıca bir komponentler için demontaj önceliği diyagramı hazırlamaktadırlar. Bir diğer kısmı ise komponentlerin demontaj önceliğinin bilindiği varsayımı ile demontaj olasılıklarını gösteren bir diyagram oluşturmaktadırlar. Yine çalışmaların bir kısmı ürünlerin tüm komponentlerinin demontaj edilmesi gerekliliğinden yola çıkarak tam demontaja uygun çalışmalar yapmışlardır.

Erdos ve diğerleri [17] çalışmalarında böyle bir yol izlemişlerdir. Komponent ilişki diyagramının oluşturulmasından sonra öncelikler belirlenmiş ve “tamamlayıcı küme” metodunun da yardımıyla demontaj olasılıklarını ifade eden bir ve/veya grafiği oluşturulmuştur. Çalışma içerisinde tam demontaj uygulaması yapılmıştır.

Lambert [11] çalışmalarında tam demontajın ekonomik olmadığını vurgulamakta ve kısmi demontajın öneminden bahsetmektedir. Yasal düzenlemelerinde tam demontajı gerektirmemesi bu çalışmanın önemini arttırmaktadır. Çalışmaların ilki lineer programlama ile çözülebilecek aynı zamanda malzeme gruplandırma ile gelirin optimizasyonunun sağlandığı bir model oluşturmaktadır. Modelin uygulamasını anlatan 10 komponentlik bir örnek de çalışmaya ilave edilmiştir. Model grafiksel olarak ürünü oluşturan tüm komponentlerin bağlı olduğu bir küme ile tüm demontaj işlemlerinin bulunduğu bir kümenin oluşturulması üzerine kurulur. Tüm alt

montajların (subassembly) bir demontaj hareketi ile her zaman iki adet alt montaja ayrıldığı varsayımı yapılarak öncelik ilişkisinin bilindiği varsayımı ile ürün demontaj olasılıklarını ifade eden ve/veya grafiği oluşturulmuştur. Yöntemin optimum çözüm verdiği ve komponent sayısının artmasının çözüm süresini değiştirmeyeceği belirtilmiştir.

Lambert [18] bir diğer çalışmada ise yine ve/veya grafiği ile her demontaj işleminden iki adet alt montajın olduğu varsayımıyla bir ürün geri dönüşüm grafiği oluşturur. Daha sonra demontaj hareketlerinin karlılıkları tek tek sağdan sola doğru incelenir ve böylelikle optimum demontaj sırası bulunur. Çalışma 10 komponentlik bir ürünün demontajını örnek olarak vermiştir.

Konuyla ilgili yapılan bir başka çalışmada, Kuo [19] amacını ürün demontaj haritasının oluşturulması olarak belirlemiştir. Modelde öncelikle komponentlerin birbirleriyle olan ilişkisini ortaya koyan bir komponent bağlantı matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra bu matrise göre bir komponent bağlantı grafiği elde edilmiş, bağlantı sayısı fazla olan kritik komponentlerin araması ile modularite analizi yapıp grafikteki tüm kritik komponentler belirlenmiştir. Buradaki amaç bu komponentlerin çıkarılması ile maksimum sayıda komponentin serbest kalmasıdır. Böylelikle tüm alt montajlar belirlenmiş olmaktadır. Daha sonra ürün için demontaj öncelik matrisleri hazırlanmış ve buna bağlı olarak ürün demontaj ağacı oluşturulmuştur.

Kuo [20] bir başka çalışmada demontaj planlamasını dizayn aşamasından itibaren kontrol edebilmek için bir yöntem sunmaktadır. Çalışma demontaj planlamasını, geometrik montaj gösterimi(komponent bağlantı grafiği), kritik komponent arama analizi, demontaj öncelik matrisi analizi ve demontaj sırası oluşturulması olmak üzere dört ana bölüme ayırmıştır. Optimizasyonun en iyi ilk arama algoritması üzerine kurulduğu belirtilmiştir ancak algoritma ve optimizasyon işleminin sonuçları çalışma içerisinde verilmemiştir.

Gupta ve diğerleri [21] yaptıkları çalışmalarda komponentler arasındaki bağlantılar ve önceliklere dayanılarak otomatik bir petri ağı oluşturulması için bir algoritma verilmişlerdir. Böylelikle oluşturulan petri ağları ile tüm olurlu demontaj sıralarının çıkarılabileceği ifade edilmiştir.

Ayrıca bir başka çalışmalarında [22] CAD çiziminden otomatik olarak bir öncelik ilişkisi matrisi oluşturan bir algoritma ortaya koyulmuş bu öncelik matrisi yardımıyla ürün petri ağı matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra petri ağı oluşturulan ürünün optimum demontaj sırasının oluşturulması için ulaşılabilirlik ağacı metodu kullanılmıştır. Ancak bu yöntem daha çok düğüm sayısının az olduğu durumlarda kullanılabildiğinden kompleks ürünlerde yöntem pek pratik bir uygulama oluşturmamaktadır.

Güngör ve Gupta [23] bir başka çalışmalarında öncelik ilişkilerinin bilindiği varsayımıyla yaklaşık optimum demontaj sırasını bulan bir sezgisel yöntem ortaya koymuşlardır. Çalışmanın içinde ayrıntılı olarak bu yöntemlerin kullanımları açıklanmamıştır.

Güngör ve Gupta'nın [24] bir diğer çalışmasında yine ürünün CAD çiziminden otomatik olarak ürün öncelik matrisi oluşturan algoritma anlatılmakta daha sonra oluşturulan bu algoritma yardımıyla hiyerarşik bir ürün ağacı oluşturulmaktadır. Oluşturulan ürün ağacı üzerinde dal sınır algoritması ile ürünün optimuma yakın demontaj sırasının bulunabileceği anlatılmaktadır. Burada makalenin getirdiği bir yenilik de kullanıcı kontrollü bir değişken yardımıyla kullanıcının hesaplama zamanı ile optimum sonuç arasında tercih yapma olanağına sahip olmasıdır. Ancak yine de makale kompleks ürünlerde bu yöntemin çok kullanışlı olmadığını ilave etmektedir.

Demontaj sırasının bulunmasının dışında genel olarak geri dönüşüm ile ilgili yapılan çalışmalarda bulunmaktadır. Lee ve diğerleri [25] çalışmalarında ürünlerin yaşam sonu geri dönüşüm seçenekleri her komponent için ayrı ayrı belirlenerek komponentler için en uygun geri dönüşüm seçenekleri belirlenmiştir. Geri dönüşüm seçenekleri; tekrar kullanım, tekrar üretim, birincil geri dönüşüm, ikincil geri dönüşüm, yakma ile enerji elde etme ve gömme olarak belirlenmiştir. Makale ayrıca komponentlerin malzeme içeriklerine göre hangi şekilde geri kazanılması gerektiğini de anlatmaktadır. Her komponent için ayrı ayrı tüm geri kazanım seçenekleri için geri kazanım geliri hesaplanıp bir yandan da komponentlerin çevreye zararlı olma durumları da incelenip bu iki değer arasındaki farka bakmak suretiyle her komponent için en iyi seçenek belirlenmiştir.

Özellikle manuel geri dönüşümde demontaj işlem sürelerinin belirlenmesi ile ilgili Kroll ve Carver [26] bir çalışmalarında ürünlerin geri dönüşümünde demontaj

kolaylığının değerlendirilmesi problemini incelemektedirler. Ürün dizaynında dikkat edilmesi gereken kriterlerden biri olarak tahmini demontaj zamanı hesaplanması yöntemi ortaya konmuştur. Elektrikli matkap üzerinde örnek bir çalışma yapılarak modelin daha iyi ortaya konması sağlanmıştır. Ürün demontaj süresi bir tablo üzerinde miktar, işlem tipi, işlem sayısı, gerekli aletler ile 1-10 arasında zorluk derecesi atanarak belirlenen işlem zorluk derecesine göre hesaplanmaktadır. Çalışmanın sonucunda ürünün dizayn aşamasında demonte edilebilirliği ortaya konmuş olmaktadır.

Geri dönüşüm teknolojileri ile ilgili yapılan Boks ve Tempelman'ın [12] bir çalışmada manuel demontaj, otomatik demontaj ve otomatik parçalama ve ayırma sistemlerinin teknik olurluluğu ile ekonomik açıdan olurlu olup olmadığına dair bir "delphi" çalışması yapılmıştır. Daha çok elektrikli ve elektronik ürün üreticileri ile araba üreticilerini ilgilendiren çeşitli yasal düzenlemeler sonucunda geri dönüşüm seçeneklerinin birbirlerine göre üstünlükleri ve hangi seçeneğin uygulanacağını belirlenmesi açısından önemli bir çalışma olarak göze çarpmaktadır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre otomatik demontaj ve ayırma teknik açıdan değil ekonomik açıdan şu an için olurlu değildir ancak otomatik demontaj sadece bazı ürün grupları için önümüzdeki 25 yıl içerisinde olurlu olacak bununla beraber otomatik ayırma teknikleri giderek karmaşık bir hal alacaktır.

Demontaj süreçlerini inceleyen bir diğer çalışma ise Johnson ve Wang [27] tarafından yapılmıştır. Çalışma komponentlerin hangi tip geri dönüşüme uygun olduklarını belirlemenin yanı sıra gruplama ile hangi tip materyallerin toplanacağına da karar veren bir yöntem sunmaktadır. Kanada da geri dönüşüm tesisinden bir ürünün geri dönüşümü ile ilgili bir uygulama da verilmiştir. Demontaj sırası çözümü dal sınır algoritması ile bulunmuştur.

Bu çalışmada, pilot tesisten elde edilen bilgiler ışığında ürünlerin demontajında ve/veya grafiğinin belirlenebilmesi, optimum çözüm vermesi, yüksek komponent sayılı ürünlerde uygulanabilirliği ile tam demontajın ekonomik bir çözüm oluşturmaması, direktifin tam demontaj gerektirmemesi dolayısıyla kısmi demontajın öne çıkması sebeplerinden ötürü Lambert'in [11] 1999 yılında yapmış olduğu çalışma ile lineer programlama kullanılarak ürünlerin demontaj sırası belirlenecektir.

Tablo 3.1: Demontaj ile İlgili Yapılan Çalışmalar

	Problemin başlangıç noktası	Erişilen sonuç	Kullanılan yöntem	Tam / Kısmi demontaj	Değerlendirme	
					Avantaj	Dezavantaj
Lee ve diğerleri 2001	Komponent geri dönüşüm seçeneklerinin belirlenmesi	Demontaj sırası	En kısa yol algoritması	Tam	Yüksek komponent sayılı ürünlerde uygulanabilmesi	Yöntem net değil
Erdos ve diğerleri 2001	Komponentler arası bağlantı grafiği	Demontaj sırası		Tam		
Lambert 1999	Ve/veya grafiği	Demontaj sırası	LP	Kısmi	Yüksek komponent sayılı ürünlerde uygulanabilmesi	
Lambert 1997	Ve/veya grafiği	Demontaj sırası		Kısmi		Düşük komponent sayılı ürünlerde uygulanabilmesi
Kuo ve diğerleri 2000	Komponentler arası bağlantı grafiği	Demontaj ağacı	Grafik teorisi	-		Demontaj sırası belirlenmemesi
Kuo 2000	Komponentler arası bağlantı grafiği	Demontaj sırası	En iyi ilk arama yöntemi	-		Algoritma verilmemesi
Gupta ve diğerleri 1998	Komponentler arası bağlantı grafiği	Demontaj ağacı	Sezgisel ,petri ağı	-		Örnek uygulama verilmemesi
Kroll ve diğerleri 1999	Komponentler arası bağlantı grafiği	Demontaj süresi hesaplaması	MOST	-		Demontaj sırasının bulunması ile bağdaştırılmaması
Boks ve diğerleri 1998	Geri dönüşüm çeşitleri karşılaştırması	Sistem kıyaslaması	Delphi	-	Sistem kıyaslaması ile ilgili tek çalışma olması	
Gupta ve diğerleri 1997	Komponentler arası bağlantı grafiği	Demontaj sırası	Sezgisel	Tam		Yöntemin uygulamasının verilmemesi
Gupta ve diğerleri 2001	Ürün ağacı(CAD)	Demontaj sırası	Ulaşılabilirlik ağacı	Tam		Düşük komponent sayılı ürünlerde uygulanabilmesi
Gupta ve diğerleri 1998	Ürün ağacı	Petri ağına dayanan ürün ağacı	Sezgisel	Tam		Yöntemin uygulamasının verilmemesi
Gupta ve diğerleri 2001	Ürün ağacı(CAD)	Demontaj sırası	Dal sınır algoritması	Tam	Optimum sonuç ile zaman arasında tercih verilmesi	Düşük komponent sayılı ürünlerde uygulanabilmesi
Wang ve diğerleri 1998	Ve/veya grafiği	Demontaj sırası	Dal sınır algoritması	Tam		Düşük komponent sayılı ürünlerde uygulanabilmesi

4. LİNEER PROGRAMLAMA İLE OPTİMUM DEMONTAJ SIRASININ BELİRLENMESİ

Elektrikli elektronik ekipman atıkları direktifi gereği üreticiler atık haline gelmiş ürünlerini toplamak ve bu atıkları çevreye zarar vermeyecek ve ekonomik olacak şekilde geri kazanmak zorundadırlar. Bu noktada da manuel demontaj önem kazanmaktadır. Manuel demontaj her zaman montajın tersi anlamına gelmemektedir. Teknik açıdan bakıldığında demontaj montaja göre daha az kesinlik gerektirmektedir. Montajda geometrik koordinatlar çok önemli ve sürece etki ederken demontajda bu durum biraz daha esnektir. Ayrıca montajın aksine demontaj her zaman tüm komponentler ve bağlantı elemanları ayırt edilene kadar sürdürülmez. Çevresel yarar ile ekonomiklik arasında bir denge yakalanmaya çalışılır ve demontaj seviyesi buna göre kararlaştırılır. Genelde tam demontaj ekonomik bir durum oluşturmamaktadır. Bu durumda ortaya kısmi demontaj kavramı çıkmaktadır.

Kısmi demontaj ürün yada kompleks alt montajları basit alt montaj yada komponent seviyesine getiren bir yöntemdir. Genelde;

- Bakım ve tamir
- Alt montajların yedek parça yada imalatla kullanılması
- İstenen bazı parçalara ulaşmak için diğer parçaların çıkarılması
- Düzenlemelere uymak için çevreye zararlı bazı parçaların çıkarılması

amaçlarıyla uygulanmaktadır.

Demontaj sürecinin bir dizi adım yada işlemten oluştuğu düşünülüp, çevresel şartları yerine getiren en ekonomik dizinin optimum demontaj sırası olduğu söylenebilir. Burada montajın aksine birçok optimum sıra bulunabilir. Demontaj süreci demontaj adımlarından oluştuğundan istendiğinde her adımın karlılığı ayrı olarak hesaplanabilir.

Manuel demontaj işlemi direktifin kapsamı gereği geri dönüştürülecek ürün çeşitliliği sebebiyle otomatik demontaj seçeneğine göre daha iyi bir seçenek oluşturmaktadır.

Bunun yanı sıra parçalama esaslı geri dönüşüm sistemi ürün çeşitliliği açısından daha iyi bir çözümdür. Manuel demontaj esaslı geri dönüşüm sistemi ise diğer parçalama esaslı geri dönüşüm sisteminden farklı olarak komponentlerin tekrar kullanımı ile aynı türdeki malzemelerin bir arada toplanıp değer kazanmasını da sağlamaktadır.

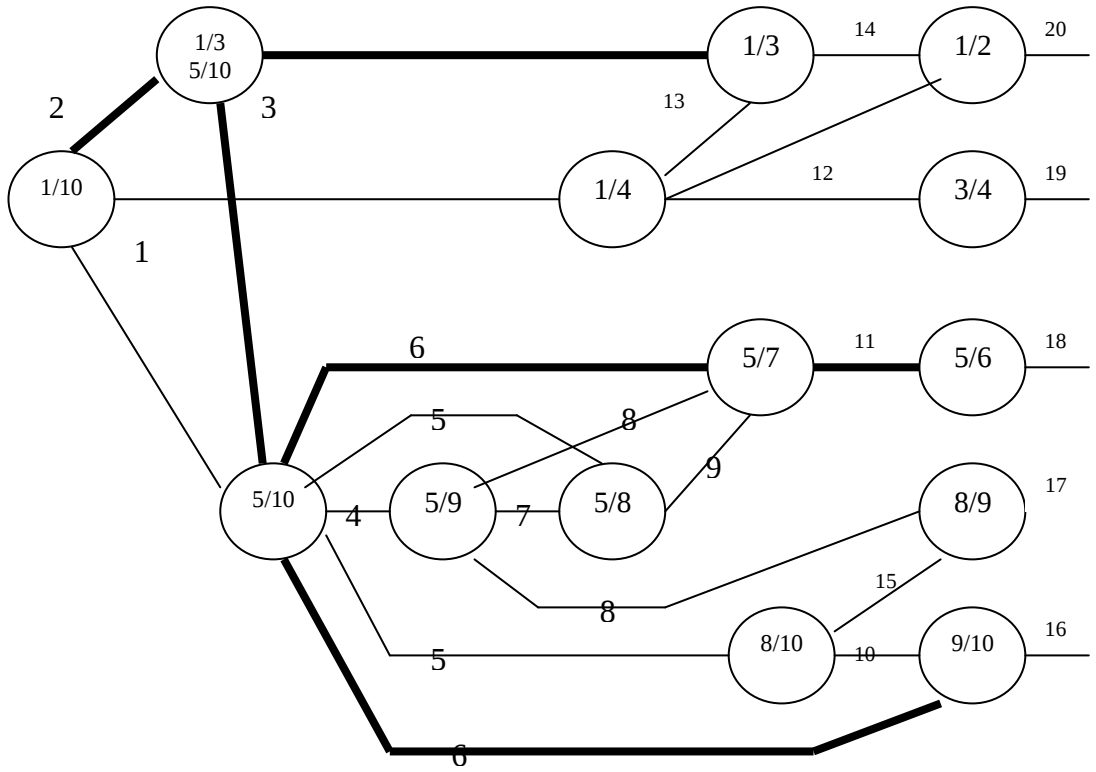
Manuel demontaj esaslı geri dönüşüm sisteminde optimum-optimuma yakın demontaj sırasının bulmak amacıyla literatürde lineer programlama, genetik algoritma, grafik teorisi, petri ağları gibi yöntemlerden yararlanılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde bu yöntemlerden lineer programlama kullanılarak çamaşır makinesinin kazan grubunun demontaj sırası, demontaj maliyeti ve malzeme geliri belirlenecektir.

4.1 Yöntem Analizi

Bu bölümde demontaj sırasının bulunması ile ilgili bir yöntem incelenecektir. Burada öncelikle bir alt montajdan iki adet alt montajın oluştuğu demontaj işlemleri tanımlanmıştır. Daha sonra olası demontaj sıraları bir grafik üzerinde gösterilmiş ve son olarak da grafik bir lineer programa dönüştürülmüştür.

Biri alt montajları (A) diğeri işlemleri (İ) göstermek üzere iki küme tanımlanmıştır. Alt montaj kümesi, ürün ve komponentler dahil olası tüm alt montajları içermekte iken işlemler kümesi de bir ana alt montajı iki çocuk alt montaja dönüştüren tüm işlemleri içermektedir. Optimum demontaj sırası belirlenen kısıtlara göre maksimum karı veren işlemler dizisidir.

Alt montajlar grafik içerisinde düğüm olarak düşünülebilir. İşlemler ise ana alt montajı çocuk alt montajlara bağlayan çizgilerdir. Bu çalışmada işlemleri ifade eden çizgilerin yönlerini belli etmek amacıyla işlem numarası demontaj işleminin uygulandığı ana alt montajın hemen yanına yazılmıştır. Ayrıca demontaj grafiğini yalınlaştırmak amacıyla üründen komponent olarak çıkarılan parçalar grafikte gösterilmemiştir. Böyle bir grafik örneği aşağıda görülmektedir. Burada çemberler alt montajları, çizgilerde işlemleri ifade etmektedir. İşlemler 1'den 20'ye kadar numaralanmışlardır. Alt montajlar ise çemberin içine yazılan komponent numaraları ile tanımlanmışlardır. Örneğin 1/10 alt montajının anlamı 1'den 10'a kadar olan komponentlerin oluşturduğu alt montajdır. Orijinal alt montaj Şekil 4.1'de grafiğin solunda verilmiştir.

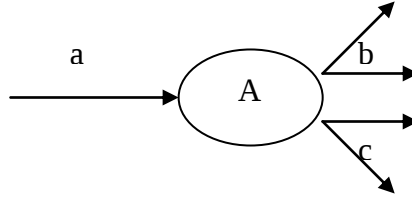


Şekil 4.1: Demontaj Sırasının Belirlenmesinde Kullanılacak Örnek bir ve/veya Diyagramı

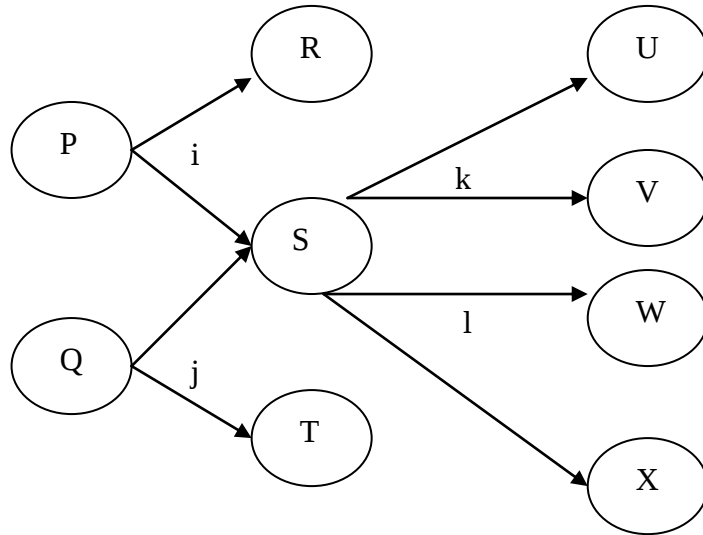
Burada orijinal alt montajın iki şekilde demontaj edilebildiği gösterilmiştir. 1. durumda orijinal alt montaj, 1'den 4'e kadar olan komponentlerden oluşan alt montaj ile 5'den 10'a kadar olan komponentlerden oluşan alt montaja bölünürken 2. durumda 4. komponentin ayrılması ile 1,2,3 ve 5'den 10'a kadar olan komponentlerden oluşan bir alt montaj oluşur. İşlem 16 ise 9 ve 10 numaralı komponentlerden oluşan alt montajın 9 ve 10 numaralı komponentlere ayrıştırılması işlemini ifade eder. Demontaj grafiği $A \times I$ boyutlarında her sırası bir alt montaja ve her sütunu bir işlemi gösteren bir T matrisi ile de ifade edilebilir. Bir işlem ile bir alt montajın parçalanması yada oluşturulması ilgili satıra 1 yada -1 değeri atanarak belli edilir. Her işleme bu işlemin yapılıp yapılmadığını gösteren bir X_i atanır. X_i değeri 0 yada 1 değerini alabilir ancak hesaplamanın her zaman temel bir çözüm verdiği düşünüldüğünde modelin büyüklüğüne göre artabilecek çözüm süresini kısaltmak adına X_i değeri $[0-1]$ aralığında tanımlanabilir.

Aşağıda demontaj grafiğinin tipik parçaları bulunmaktadır. Bunlardan ilki Şekil 4.2'de demontaj grafiğinin başlangıcını göstermektedir. Burada orijinal alt montaj A'yı a oluştururken A alt montajı b ve c ile gösterilen iki ayrı işlem ile demonte

edilebilmektedir. Bu durumda denklem; $X_a = 1$ olmak üzere $X_b + X_c \leq X_a$ şeklinde oluşturulmaktadır. Burada $=$ yerine kullanılan $\leq$ işareti demontaj işleminin yapılmamasına olanak tanımaktadır. Yani b ve c işlemlerinin hiçbirisi uygulanmayarak A alt montajı daha alt parçalara bölünmeden bırakılabilmektedir.



Şekil 4.2: Demontaj Operasyonları ile bir Alt montajın parçalanması



Şekil 4.3: Demontaj Operasyonları ile bir Alt montajın parçalanması

Şekil 4.3’de ise P ve Q belli bir aşamadan sonra oluşan iki alt montaj olmak üzere ve S alt montajı da i ve j işlemleri ile oluşturulabilen bir alt montaj olmak üzere S alt montajı k yada l işlemi ile alt gruplara bölünebilmektedir. Burada P ve Q ’nun aynı anda oluşamayacağı açıktır. Ayrıca S alt montajının demonte edilmeme ihtimaline de izin verilmek istenirse formülasyon aşağıdaki şekilde oluşur.

$$X_k + X_l \leq X_i + X_j$$

Eğer sadece tam demontaja izin veriliyorsa eşitsizliklerde “ $\leq$ ” işareti yerine “ $=$ ” işareti konularak geçerlilikleri korunur. Her alt montajda alt montajdan çıkan işlemlerin toplamının $\leq$ alt montaja giren işlemlerin toplamı olacak şekilde birer adet eşitsizlik oluşturulur. Orijinal alt montaj, parçalanacak ürün 1 değerine eşit olan bir

işlem ile karakterize edilir. Böylelikle tüm olası alt montajlar için eşitsizlikler oluşturulmuş olur. Daha fazla ayıramayan ve komponentleri ifade eden alt montajlar için eşitsizlik oluşturulmasına gerek yoktur.

Böylelikle demontaj grafiğinin oluşturulması ve demontaj sürecini ifade eden eşitsizliklerin oluşturulmasıyla geriye sadece amaç fonksiyonunu oluşturmak kalmaktadır. Amaç fonksiyonunda ekonomik değerler hesaplamanın temelini oluşturabilirken çevresel değerler yada enerji değerleri de çözümde baz olarak alınabilir. Daha önce söylendiği gibi bir ana alt montajın parçalanmasıyla iki çocuk alt montaj oluşmaktadır. Şekil 4.3’de P “i” işlemi ile demonte edilerek R ve S alt montajları oluşmaktadır. Bu işlemin getirisi;

$$\text{Gelir}_i = (\text{Gelir}_R + \text{Gelir}_S - \text{Gelir}_P - \text{Maliyet}_i)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Tüm gelirler alt montajların içerdikleri malzeme cinsleri ve miktarlarına (kg) göre yada alt montajın tekrar kullanıma olanağı gibi sahip olduğu özel bir değer baz alınarak hesaplanır. Bu çalışma içerisinde kullanılacak karar değişkenleri, indisler ve parametreler aşağıda gösterilmiştir.

Karar değişkeni;

X_j: İşlem Değişkenleri (Olası demontaj işlemlerini ifade ediyor)

İndisler;

i: Ürün demontajı sırasında ortaya çıkan alt montajların indisi

j: Demontaj işlem indisi

i: 1.....n (ürün içindeki toplam alt montaj sayısı)

j: 0....m (ürün içindeki toplam demontaj işlem sayısı)

Parametreler;

T: Geçiş matrisi

T_{ij}: Geçiş matrisi elemanları

R_i: Alt montaj gelirleri

TC_j: İşlem maliyetleri

S_j: Demontaj işlem süresi

C: Birim demontaj maliyeti (sabit)

P: Altmontaj Malzeme satış fiyatı (€)

M: Altmontaj Malzeme miktarı (ağırlık/adet)

Amaç denklemi:

$$MaksZ = \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n (T_{ij}R_i - TC_j)X_j \quad (4.1)$$

Kısıtlar ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilirler.

T geçiş matrisinde $X_0=1$ başlangıç koşulu ile geçiş matrisinin her satırında;

$$\sum_{j=0}^m T_{ij}X_j \geq 0 \quad i= 1, \dots, n \quad (4.2)$$

T geçiş matrisinin her satırında $T_{ij} < 0$ için

$$\sum_{j=0}^m -T_{ij}X_j \leq 1 \quad i= 1, \dots, n \quad (4.3)$$

T geçiş matrisinin her satırında $T_{ij} > 0$ için

$$\sum_{j=0}^m T_{ij}X_j \leq 1 \quad i= 1, \dots, n \quad (4.4)$$

ve

$$X_j \in (0,1) \quad (4.5)$$

Amaç denkleminde belirtilen R_i malzeme gelirleri malzeme miktarları ile birim satış fiyatlarının çarpımı ile elde edilirler.

$$R_i = P_i M_i$$

Yine amaç denkleminde belirtilen TC_j demontaj maliyetleri de demontaj işlem süresi ile birim demontaj maliyetinin çarpımı ile elde edilirler.

$$TC_j = S_j C_j \text{ 'dir.}$$

4.2 Lineer Programlama İle Çamaşır Makinesi Kazan Grubunun Optimum Demontaj Sırasının Bulunması

Bu bölümde, beşinci bölümde demontaj sırası bulunmaya çalışılacak olan çamaşır makinesinin kazan grubunun demontaj sırası lineer programlama ile bulunmaya çalışılacaktır. Böylelikle yukarıda anlatılan modelin anlaşılması hedeflenmektedir. Öncelikle örneğimizde orjinal alt montajı, demonte edilecek ürün olan kazan grubunu inceleyelim.

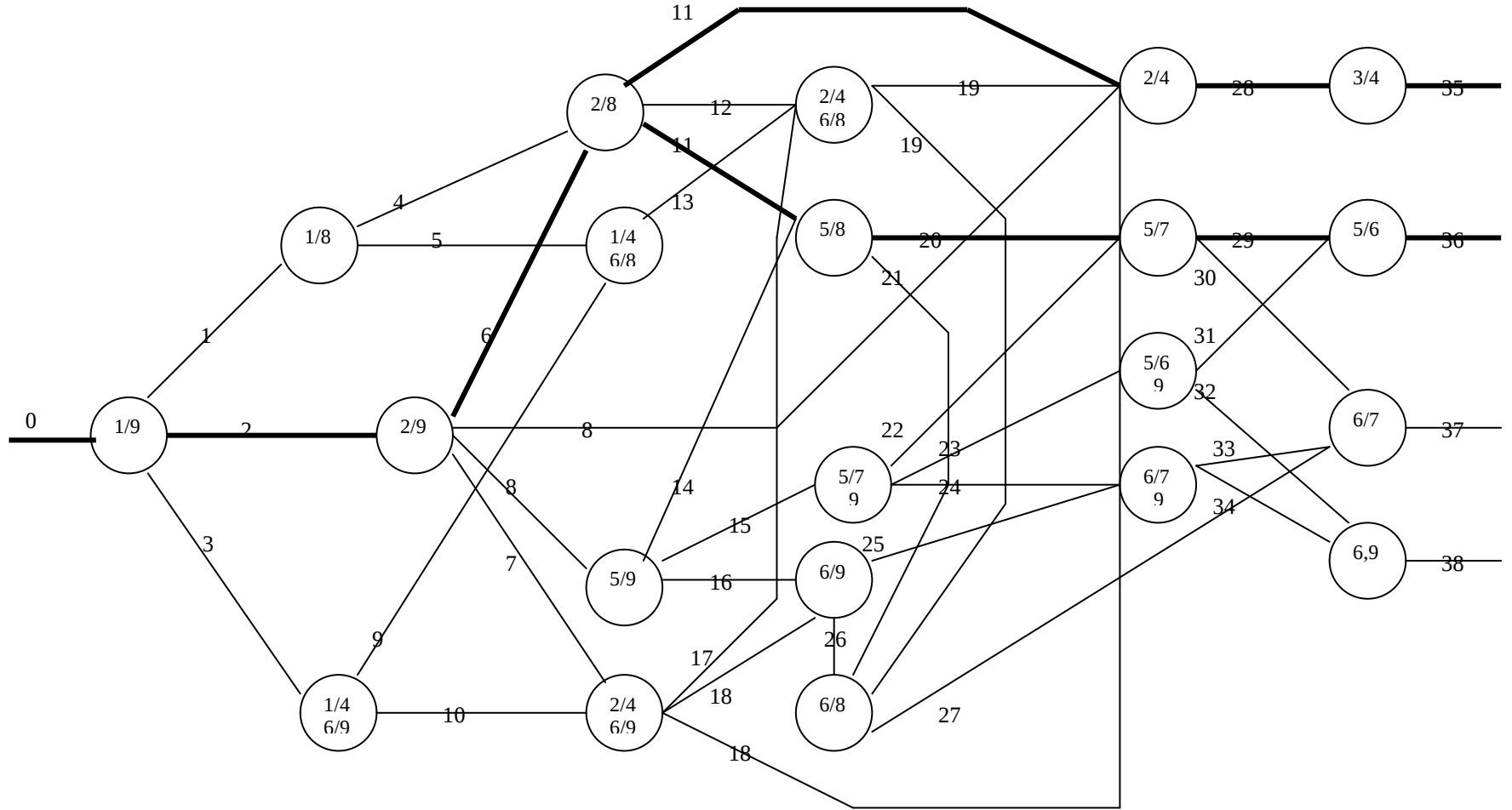
Kazan grubu, çamaşır makinesinde çamaşırların içine yerleştirildiği ve yıkandığı komponent grubu olarak tanımlanabilir.

Tablo 4.1 kazan grubunun komponentlerini, bu komponentlerin malzeme tanımları, geri dönüşüm seçenekleri ve ağırlıkları ve komponentlerin sökümünden elde edilebilecek gelirleri gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Kazan Grubu Komponent ve Demontaj Verileri

Komp. No	Komp. Adı	Malzeme Tanımı	AĞırlık (kg)	Geri dönüşüm şekli	Malzeme Birim Fiyatı	Toplam Gelir
1	Kazan n kapak	PP Plastik	1,0	geri dönüşüm	0,69 €	0,69 €
2	Tanbur	elik	3,9	geri dönüşüm	0,24 €	0,95 €
3	Tanbur flash sapı	Demir	1,5	geri dönüşüm	0,16 €	0,24 €
4	Tanbur flash ayağı	Alüminyum	1,0	geri dönüşüm	0,89 €	0,89 €
5	Rezistans	Karışık malzeme	0,3	gömme	0,13 €	0,04 €
6	Kazan	PP Plastik	5,0	geri dönüşüm	0,69 €	3,47 €
7	Kazan rulman yuvası	Demir	1,5	geri dönüşüm	0,16 €	0,24 €
8	Kazan rulmanı	Demir	0,2	tekrar kullanım	0,22 €	0,04 €
9	Kazan su giriş/çıkış hortumları	Lastik	0,3	geri dönüşüm	0,04 €	0,01 €

Bu komponentlerin üründen demonte edilme olasılıklarını gösteren demontaj ağacı şekil 4.4’de bu demontaj ağacı, ve/veya grafiği, bu demontaj ağacı yardımıyla oluşturulan geçiş matrisi ise Tablo 4.2’de oluşturulmuştur.



Şekil 4.4: Kazan Grubu Demontaj Ağacı

Tablo 4.2: Kazan Grubu Geçiş Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
1/9	-1	-1	-1																																			
1/8	1			-1	-1																																	
2/9		1				-1	-1	-1																														
1/4,6/9			1						-1	-1																												
2/8				1		1					-1	-1																										
1/4, 6/8					1				1				-1																									
5/9								1						-1	-1	-1																						
2/4,6/9							1			1							-1	-1																				
2/4,6/8											1	1					1		-1																			
5/8											1			1						-1	-1																	
5/7,9															1							-1	-1	-1														
6/9																1		1							-1	-1												
6/8																			1		1					1	-1											
2/4								1			1							1	1									-1										
5/7																				1		1							-1	-1								
5/6,9																						1									-1	-1						
6/7,9																							1	1								-1	-1					
3/4																												1								-1		
5/6																													1		1					-1		
6/7																											1			1			1				-1	
6,9																															1		1				-1	
1		1		1						1			1																									
2																												1										
3																																				1		
4																																				1		
5			1		1		1				1					1					1			1						1		1				1		
6																																				1	1	1
7																							1						1				1				1	
8															1					1					1		1											
9	1					1			1					1			1					1				1					1		1					1

Tablo 4.3’de her bir demontaj işlemi ile ilgili demontaj süreleri belirlenmiş ve bu işlemlere ait maliyetler hesaplanmıştır. Birim demontaj maliyeti olarak 5. bölümde manuel demontaj sistemi maliyet analizinde belirlenen 0,001471 €/saniye alınmıştır.

Tablo 4.3: Kazan Grubu Demontaj İşlem Maliyetleri

	Demontaj süresi (sn)	Demontaj maliyeti (€)
X1	60	0,09 €
X2	30	0,04 €
X3	35	0,05 €
X4	30	0,04 €
X5	25	0,04 €
X6	60	0,09 €
X7	35	0,05 €
X8	5	0,01 €
X9	60	0,09 €
X10	30	0,04 €
X11	5	0,01 €
X12	25	0,04 €
X13	30	0,04 €
X14	60	0,09 €
X15	55	0,08 €
X16	35	0,05 €
X17	60	0,09 €
X18	5	0,01 €
X19	5	0,01 €
X20	45	0,07 €
X21	25	0,04 €
X22	60	0,09 €
X23	55	0,08 €
X24	35	0,05 €
X25	55	0,08 €
X26	60	0,09 €
X27	45	0,07 €
X28	40	0,06 €
X29	45	0,07 €
X30	25	0,04 €
X31	60	0,09 €
X32	25	0,04 €
X33	60	0,09 €
X34	55	0,08 €
X35	35	0,05 €
X36	25	0,04 €
X37	45	0,07 €
X38	60	0,09 €

Tablo 4.4’de ise her bir demontaj işlemi sonrası açığa çıkan net gelirler hesaplanmıştır.

Tablo 4.4: Kazan Grubu Demontaj İşlem Net Gelirleri

	Ana alt montaj	Alt montaj 1	Alt montaj 2	Ana montaj servis söküm değeri	Alt montaj 1 değeri	Alt montaj 2 değeri	İşlem maliyeti	Toplam işlem geliri
X1	1/9	1/8	9	1,88 €	1,84 €	0,01 €	0,09 €	-0,12 €
X2	1/9	2/9	1	1,88 €	1,75 €	0,69 €	0,04 €	0,52 €
X3	1/9	1/4,6/9	5	1,88 €	1,84 €	0,04 €	0,05 €	-0,05 €
X4	1/8	2/8	1	1,84 €	1,72 €	0,69 €	0,04 €	0,52 €
X5	1/8	1/4,6/8	5	1,84 €	1,80 €	0,04 €	0,04 €	-0,04 €
X6	2/9	2/8	9	1,75 €	1,72 €	0,01 €	0,09 €	-0,12 €
X7	2/9	2/4,6/9	5	1,75 €	1,72 €	0,04 €	0,05 €	-0,05 €
X8	2/9	2/4	5/9	1,75 €	0,82 €	0,93 €	0,01 €	-0,01 €
X9	1/4,6/9	1/4,6/8	9	1,84 €	1,80 €	0,01 €	0,09 €	-0,12 €
X10	1/4,6/9	2/4,6/9	1	1,84 €	1,72 €	0,69 €	0,04 €	0,52 €
X11	2/8	2/4	5/8	1,72 €	0,82 €	0,90 €	0,01 €	-0,01 €
X12	2/8	2/4,6/8	5	1,72 €	1,68 €	0,04 €	0,04 €	-0,04 €
X13	1/4,6/8	2/4,6/8	1	1,80 €	1,68 €	0,69 €	0,04 €	0,52 €
X14	5/9	5/8	9	0,93 €	0,90 €	0,01 €	0,09 €	-0,12 €
X15	5/9	5/7,9	8	0,93 €	0,91 €	0,04 €	0,08 €	-0,06 €
X16	5/9	6/9	5	0,93 €	0,90 €	0,04 €	0,05 €	-0,05 €
X17	2/4,6/9	2/4,6/8	9	1,72 €	1,68 €	0,01 €	0,09 €	-0,12 €
X18	2/4,6/9	2/4	6/9	1,72 €	0,82 €	0,90 €	0,01 €	-0,01 €
X19	2/4,6/8	2/4	6/8	1,68 €	0,82 €	0,86 €	0,01 €	-0,01 €
X20	5/8	5/7	8	0,90 €	0,87 €	0,04 €	0,07 €	-0,05 €
X21	5/8	6/8	5	0,90 €	0,86 €	0,04 €	0,04 €	-0,04 €
X22	5/7,9	5/7	9	0,91 €	0,87 €	0,01 €	0,09 €	-0,12 €
X23	5/7,9	5/6,9	7	0,91 €	0,72 €	0,24 €	0,08 €	-0,03 €
X24	5/7,9	6/7,9	5	0,91 €	0,87 €	0,04 €	0,05 €	-0,05 €
X25	6/9	6/7,9	8	0,90 €	0,87 €	0,04 €	0,08 €	-0,06 €
X26	6/9	6/8	9	0,90 €	0,86 €	0,01 €	0,09 €	-0,12 €
X27	6/8	6/7	8	0,86 €	0,83 €	0,04 €	0,07 €	-0,05 €
X28	2/4	¾	2	0,82 €	0,32 €	0,95 €	0,06 €	0,39 €
X29	5/7	5/6	7	0,87 €	0,68 €	0,24 €	0,07 €	-0,02 €
X30	5/7	6/7	5	0,87 €	0,83 €	0,04 €	0,04 €	-0,04 €
X31	5/6,9	5/6	9	0,72 €	0,68 €	0,01 €	0,09 €	-0,12 €
X32	5/6,9	6,9	5	0,72 €	0,68 €	0,04 €	0,04 €	-0,04 €
X33	6/7,9	6/7	9	0,87 €	0,83 €	0,01 €	0,09 €	-0,12 €
X34	6/7,9	6,9	7	0,87 €	0,68 €	0,24 €	0,08 €	-0,03 €
X35	3/4	3	4	0,32 €	0,24 €	0,89 €	0,05 €	0,76 €
X36	5/6	5	6	0,68 €	0,04 €	3,47 €	0,04 €	2,79 €
X37	6/7	6	7	0,83 €	3,47 €	0,24 €	0,07 €	2,81 €
X38	6,9	6	9	0,68 €	3,47 €	0,01 €	0,09 €	2,71 €

Demontaj grafiği ve geçiş matrisine göre elde edilen kısıtlar Tablo 4.5’de gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Kazan Grubu Demontaj Sırası Problemi Kısıtları

$X1+X2+X3 \leq 1$	$X4+X6 \leq 1$	$X1-X4-X5 \geq 0$
$X4+X5 \leq 1$	$X5+X9 \leq 1$	$X2-X6-X7-X8 \geq 0$
$X6+X7+X8 \leq 1$	$X7+X10 \leq 1$	$X3-X9-X10 \geq 0$
$X9+X10 \leq 1$	$X12+X13+X17 \leq 1$	$X4+X6-X11-X12 \geq 0$
$X11+X12 \leq 1$	$X11+X14 \leq 1$	$X5+X9-X13 \geq 0$
$X13 \leq 1$	$X16+X18 \leq 1$	$X8-X14-X15-X16 \geq 0$
$X14+X15+X16 \leq 1$	$X19+X21+X26 \leq 1$	$X7+X10-X17-X18 \geq 0$
$X17+X18 \leq 1$	$X8+X11+X18+X19 \leq 1$	$X12+X13+X17-X19 \geq 0$
$X19 \leq 1$	$X20+X22 \leq 1$	$X11+X14-X20-X21 \geq 0$
$X20+X21 \leq 1$	$X24+X25 \leq 1$	$X15-X22-X23-X24 \geq 0$
$X22+X23+X24 \leq 1$	$X29+X31 \leq 1$	$X16+X18-X25-X26 \geq 0$
$X25+X26 \leq 1$	$X27+X30+X33 \leq 1$	$X19+X21+X26-X27 \geq 0$
$X27 \leq 1$	$X32+X34 \leq 1$	$X8+X11+X18+X19-X28 \geq 0$
$X28 \leq 1$	$X2+X4+X10+X13 \leq 1$	$X20+X22-X29-X30 \geq 0$
$X29+X30 \leq 1$		$X23-X31-X32 \geq 0$
$X31+X32 \leq 1$	$X36+X37+X38 \leq 1$	$X24+X25-X33-X34 \geq 0$
$X33+X34 \leq 1$	$X23+X29+X34+X37 \leq 1$	$X28-X35 \geq 0$
$X35 \leq 1$	$X15+X20+X25+X27 \leq 1$	$X29+X31-X36 \geq 0$
$X32+X34-X38 \geq 0$		$X27+X30+X33-X37 \geq 0$
$X3+X5+X7+X12+X16+X21+X24+X30+X32+X36 \leq 1$		
$X1+X6+X9+X14+X17+X22+X26+X31+X33+X38 \leq 1$		

Amaç denklemi ise Tablo 4.4’den yararlanarak

$Z = \text{Maks } (-0.12 X1 + 0.52 X2 - 0.05 X3 + 0.52 X4 - 0.04 X5 - 0.12 X6 - 0.05 X7 - 0.01 X8 - 0.12 X9 + 0.52 X10 - 0.01 X11 - 0.04 X12 + 0.52 X13 - 0.12 X14 - 0.06 X15 - 0.05 X16 - 0.12 X17 - 0.01 X18 - 0.01 X19 - 0.05 X20 - 0.04 X21 - 0.12 X22 - 0.03 X23 - 0.05 X24 - 0.06 X25 - 0.12 X26 - 0.05 X27 + 0.39 X28 - 0.02 X29 - 0.04 X30 - 0.12 X31 - 0.04 X32 - 0.12 X33 - 0.03 X34 + 0.76 X35 + 2,79 X36 + 2,81 X37 + 2,71 X38)$

olarak belirlenir

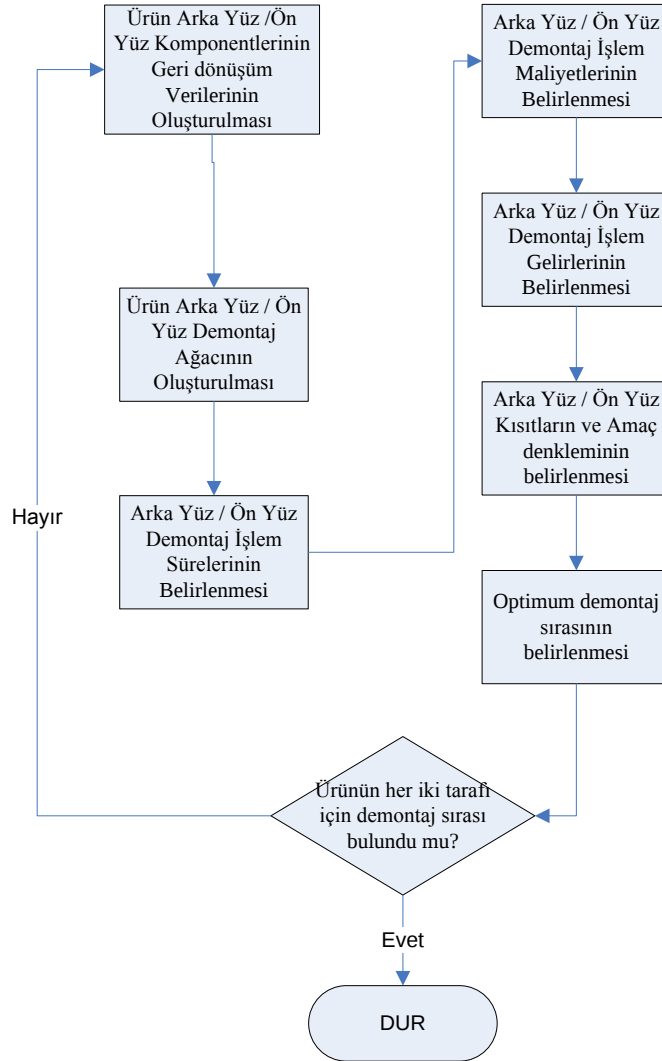
Problemin Excel solver ile çözümü ile elde edilen demontaj sırası

X2-X6-X11-X20-X28-X29-X35-X36 şeklindedir.

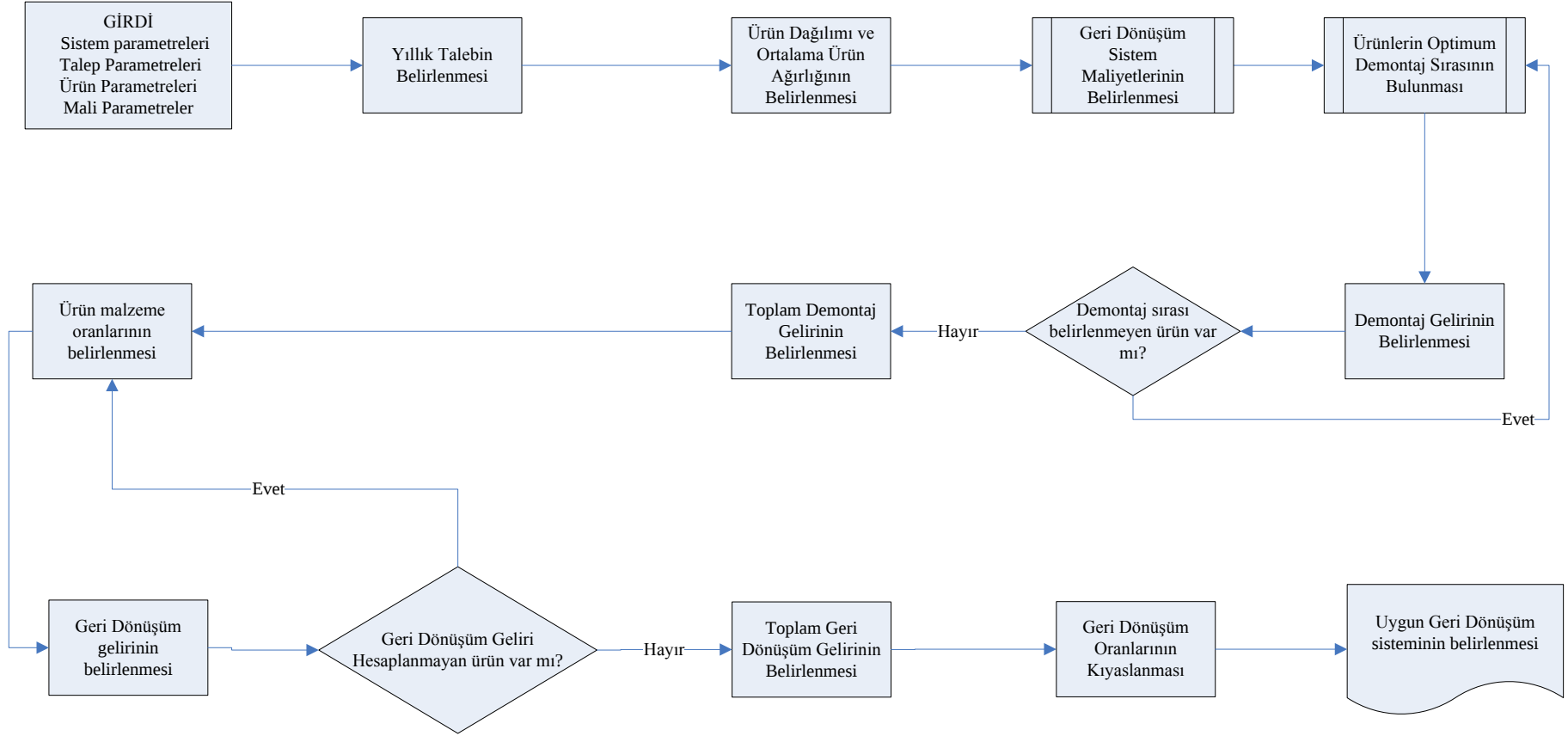
Toplam demontaj süresi 285 sn ve demontaj maliyetleri göz ardı edilerek elde edilen toplam gelir 6,58 € olmuştur.

5. GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEM ANALİZİ İÇİN BİR YÖNTEMBİLİM

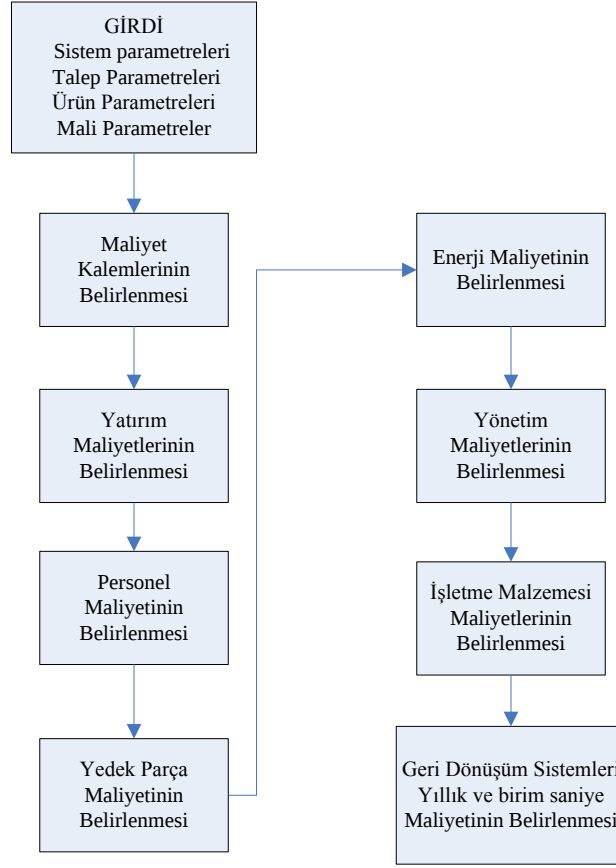
Çalışmanın bu bölümünde geri dönüşüm sisteminin belirlenmesi için kullanılacak parametreler belirlenecek daha sonra bir akış diyagramı ile süreç ifade edilip süreç elemanları tek tek incelenecektir. Şekil 5.1,5.2 ve 5.3'te izlenecek akış gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Ürün Optimum Demontaj Sırasının Belirlenmesi Akış Şeması



Şekil 5.2: Geri Dönüşüm Sistem Analizi Akış Şeması



Şekil 5.3: Geri Dönüşüm Sistemleri Maliyetlerinin Belirlenmesi Akış Şeması

5.1 Geri Dönüşüm Sistem Parametreleri

Bu bölümde geri dönüşüm sistemlerinin analizinde kullanılacak parametreler, açıklamaları ve çalışmada bu parametrelerin alacakları değerler verilmiştir.

5.1.1 Geri Dönüşüm Yöntem Parametreleri

- Tesis ve ekipman ömrü: Manuel demontaj ve parçalama esaslı geri dönüşüm sistemlerinin ve bu sistemlerde kullanılacak yardımcı ekipmanların amortismanının hesaplanması sırasında kullanılacak olan bu parametre çalışma içerisinde ekipmanlar için 10 yıl arsa ve bina için ise 25 yıl olarak belirlenmiştir.
- Amortisman Hesaplama yöntemi: Çalışma içerisinde sabit amortisman yöntemi kullanılacaktır.

- Gerekli açık/kapalı alan (m2): Pilot tesis verileri baz alınarak manuel demontaj geri dönüşüm tesisi alan ihtiyacı, Avrupa’da bulunan parçalama esaslı geri dönüşüm tesislerinin incelenmesi ve firmalardan alınan tekliflerden elde edilen bilgiler ile de parçalama esaslı geri dönüşüm tesisi alan ihtiyacı belirlenmiştir. [13-15]

Tablo 5.1’de sistemler için gerekli alanlar belirtilmiştir.

Tablo 5.1: Geri Dönüşüm Sistemleri Alan İhtiyacı

Alan Tanımı	Manuel Demontaj	Parçalama Esaslı Sistem	Alan Tipi
Makine Alanı	118	480	Kapalı Alan
Geçici Stok Alanı	121	270	Kapalı Alan
Hareket Alanı	203	544	Kapalı Alan
Ofis	18	72	Kapalı Alan
Diğer	40	160	Kapalı Alan
Ürün stok alanı	500	1800	Sundurma
Malzeme stok alanı	250	500	Sundurma
Sevkiyat/Teslimat alanı	250	1000	Açık Alan

5.1.2 Ürün Parametreleri

- Ürün grupları: Tesisin içerisinde normal şartlarda EEEA direktifi kapsamında olan ve bir önceki bölümde tanımlanan 10 adet ürün grubunun tümünün işlem görmesi beklenir. Ancak böyle bir durumda sistemin demontaj tabanlı sistemler ile kıyaslanması direktif kapsamındaki tüm ürünlerin demontaj maliyet ve gelirleri gibi çeşitli bilgilere sahip olunması gerekliliğinden dolayı mümkün olmayacaktır. Bu yüzden sistemde sadece bazı ürün gruplarının işlem göreceği varsayımı yapılacaktır. Çalışma kapsamında geri dönüşüm sistemlerinde işlem görececek ürünler çamaşır makinesi ve fırın olarak belirlenmiştir. Bu ürünlerin komponentlerine ilişkin bilgiler tablo 5.2 ve tablo 5.3’de verilmiştir.
- Ortalama ürün ağırlıkları (kg): Çalışma içerisinde pilot tesis uygulamalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda çamaşır makinesi için ortalama ürün ağırlığı 66,3 kg fırın için ise ortalama ürün ağırlığı 50 kg alınacaktır.

Tablo 5.2: Çamaşır makinesi komponent verileri

Komp. No	Komp. Adı	Malzeme Tanımı	Ağırlık (kg)
1	Tekmelik	HIPS	0,2
2	Ön kapak	Cam, PP, ABS,Al	1,8
3	Deterjan Kutusu	PP, ABS	0,6
4	Pano	ABS, Elektronik kart	0,5
5	Körük teli	Fe	0,1
6	Körük	Kauçuk	0,8
7	Ön duvar	Fe	1,6
8	Pompa motoru	PP, Cu, Fe	0,6
9	Kablo grubu	Cu, PVC	0,8
10	Alt denge ağırlığı	Beton	11
11	Kazan grubu	PP,Fe,Diğer	14,7
12	Gövde	Fe	12
13	Üst tabla	ABS, Tahta	3,0
14	Tahliye hortumu, Şebeke kablosu	Plastik, Cu	0,5
15	Arka duvar	Fe	1,1
16	Ventil	Karışık	0,4
17	Üst denge	Beton	12,0
18	Kasnak kayışı	Lastik	0,1
19	Kasnak	Al	0,4
20	Motor	Al,Cu,Fe	4,1

Tablo 5.3: Fırın komponent verileri

Komp. No	Komp. Adı	Malzeme Tanımı	Ağırlık (kg)
1	Piştirme Grubu	Fe, Al	2,17
2	Üst Cam	Cam, Al	3,18
3	Şebeke kablosu	Cu, Plastik	0,23
4	Üst tabla	Fe	2,90
5	Bek tablası	Cu,Al,Fe	2,10
6	Arka duvar	Fe	2,40
7	Yan Duvar	Fe	5,00
8	Elektronik Aksam	Cu,,Fe, Elektronik Kart	0,57
9	Denge ağırlığı	Beton	3,80
10	İzolasyon	İzocam	1,40
11	Isıtıcı ve Koruma Sacı	Plastik, Fe	1,23
11	Ön kapak	Fe, Cam	6,80
12	Düğmeler	ABS, Fe	0,12
12	Lastik	Lastik	0,06
13	Tepsiler	Fe	3,20
13	Lamba	Karışık	0,06
14	Motor koruma sacı	Fe	1,30
14	Motor	Fe, Cu	0,55
15	Rezistans	Karışık	0,46
15	Gövde ayak	PP, Fe	0,07
16	Gövde	Fe	12,40

- Zararlı atıklar: Belirlenen ürün grupları içerisinde EEEA ve TMK direktiflerine göre hangi komponentlerin çevreye zararlı maddeler içerdiğini gösterip böylece bu komponentlerin kati surette üründen çıkarılması ve çevreye zarar vermeyecek şekilde

işlem görmesini garanti edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında geri dönüşüm sistemlerinde işlem görecektir olan çamaşır makinesi ve fırında bulunan ve ayrı işlem görmesi gereken komponentler direktifte belirtilen elektronik kartlar ve lambalar olarak belirlenmiştir. Demontaj sıralarının belirlenmesi sırasında bu komponentlerin çıkarıldığından emin olunmalıdır.

5.1.3 Talep Parametreleri

- Yıllık Ülkesel talep: Avrupa Birliği üye ülkeleri kişi başı yıllık 4 kg elektrikli elektronik ekipman atığı toplamakla yükümlüdürler. Avrupa Birliği'ne henüz üye olmamış aday ülkeler için ise bazı kolaylıklar sağlanmıştır. Türkiye için EEEA direktifinin yürürlüğe girmesi ile kişi başı 0,5 kg/yıl toplama hedefinin karşılanması gerekmektedir. Ancak bu hedef kişi başı sırasıyla 1 kg, 2 kg ve 4 kg /yıl olmak üzere arttırılacak ve böylelikle direktif standartları yakalanacaktır.
- Ülke nüfusu: Türkiye nüfusu 2000 yılı resmi sayımına göre 67.844.903 olarak tespit edilmiş ve DİE verilerine göre 10 yıllık nüfus artış oranı %18,34 olarak bulunmuştur. Yıllar arasında eş artış olduğu varsayımı ile 2000-2005 arası nüfus artış oranının %8,78 olması beklenir. [28]
- Firma pazar payı: Uygulama yapılan firmanın tüm elektrikli elektronik ekipmanların %50'sini geri dönüştüreceği varsayılmıştır.

5.1.4 Mali Parametreler

- Malzeme fiyatları: Ayrıştırılan malzemenin hurda halde satılması ile elde edilecek gelirin hesaplanması amacıyla kullanılan parametrelerdir. Başlıca kullanılacak malzeme fiyatları Tablo 5.4'de belirtilmiştir.
- Alan maliyetleri: Tesisler için gerekli olan açık ve kapalı alan satın alma maliyeti çalışma kapsamında 50 € /m² olarak alınmıştır.
- Bina İnşa ve alt yapı maliyeti: Her iki geri dönüşüm sistemi içinde m² başına kapalı alan için 250 € sundurma için 100 € açık alan için ise 5 € maliyetleri alınacaktır.

Tablo 5.4: Hurda Malzeme Fiyatları

Malzeme	Birim	Fiyat	Malzeme	Birim	Fiyat
Demir	Kg	0,161 €	Motor	Kg	0,333€
Çelik	Kg	0,244€	Üst tabla	Adet	0,278€
Alüminyum	Kg	0,889€	Servis söküm	Kg	0,128€
Bakır	Kg	1,722€	Cam	Kg	0,038€
Beton Denge Ağırlığı	Kg	0,555€	Katkı maddeli plastik	Kg	0,278€
Karışık plastik	Kg	0,122€	Rotor	Kg	0,156€
Ayrıştırılmış plastik	Kg	0,694€	Kablo	Kg	0,333€
Tahta	Kg	0,033€	Elektronik kart	Kg	-0,056€
ABS (plastik)	Kg	1 €			

- Lojistik Maliyet: Manuel demontaj sistemlerinin kapasite açısından sahip olduğu esneklik ve parçalama esaslı geri dönüşüm sistemlerine karşı üstünlüğü göz önünde bulundurularak, manuel demontaj sistemleri için lojistik maliyeti 5 € parçalama esaslı sistemler için ise 7 € öngörülmüştür.
- Ürün toplama maliyeti: Tüketicilerin ürünlerini kullanma alışkanlıkları ve Türkiye'nin ekonomik ve sosyal koşulları düşünüldüğünde üreticilerin ürünleri toplarken belli bir bedele katlanacakları öngörülmektedir. Bu bedel çalışma kapsamında 10 € /ürün olarak belirlenmiştir.

5.2 Yıllık Ülkesel Toplama Miktarının Belirlenmesi

Bu parametre manuel demontaj ile parçalama esaslı geri dönüşüm sistemlerinde geri dönüştürülecek ekipman miktarının belirlenmesi dolayısıyla gerekli sistem sayısı ve maliyetlerin belirlenmesi açısından önemlidir. Talep parametrelerinde belirtildiği gibi Türkiye nüfusu 2000 yılı resmi sayımına göre 67.844.903 olarak tespit edilmiş ve DİE verilerine göre nüfus artış oranının %8,78 olması beklenir. Böylelikle 2005 yılı Türkiye nüfusu;

$$67.844.903 \times (1+0,0878) = 73.801.685 \quad (5.1)$$

olarak belirlenmiştir. Tablo 5.5'te kişi başı yıllık toplama hedeflerine göre pazar payı belirlenmiş olan firma için geri dönüştürülmesi gereken elektrikli elektronik atık miktarı gösterilmektedir.

Tablo 5.5: Toplama Hedefi Bazında Geri Dönüştürülecek Atık Miktarı

Yıllık Toplama Hedefi (kg kişi/yıl)	Türkiye Nüfusu	Pazar payı	Geri Dönüştürülecek Atık Miktarı
0,5	73.801.685	50%	18.450.421
1			36.900.843
2			73.801.685
4			147.603.370

5.3 Pilot Ürün Grubu Dağılımı Ve Ortalama Ürün Ağırlığının Belirlenmesi

Geri dönüştürülecek ürünlerin hangi oranlarda sisteme gireceği önemli bir parametredir. Tablo 5.6’da çalışma kapsamında kullanılacak ürünlerin satış oranları verilmektedir. [29] Buna göre çalışma kapsamında geri dönüştürülecek ürünlerin %70’inin çamaşır makinesi %30’unun ise fırın olması beklenir. Ürün parametrelerinde çalışma kapsamında ortalama çamaşır makinesi ağırlığının 66,3 kg ortalama fırın ağırlığının ise 50 kg alınacağı belirtilmiş idi. Dolayısıyla ortalama ürün ağırlığı 61,2 kg olarak hesaplanmaktadır.

5.4 Geri Dönüşüm Sistem Maliyetlerinin Belirlenmesi

Bu bölümde manuel demontaj ve parçalama esaslı geri dönüşüm sistemlerinin yıllık maliyetleri ile manuel demontaj sisteminde demontaj işlemlerinin karlılığının belirlenmesinde kullanılacak olan birim (saniye) maliyet hesaplanacaktır. Geri dönüşüm sistemlerinin maliyetlerinin belirlenmesi altı ana başlık altında incelenecektir. Bunlar; Yatırım maliyetleri, personel maliyetleri, yedek parça maliyetleri, enerji maliyetleri, yönetim maliyetleri ve işletme malzemesi maliyetleridir. Bu maliyetler hesaplandıktan sonra lojistik ve ürün toplama maliyetleri de eklenerek toplam maliyetler belirlenecektir

5.4.1 Yatırım Maliyetinin Belirlenmesi

Yatırım maliyetlerinin belirlenmesi iki ana başlık altında yapılacaktır. Bunlar ekipman maliyetleri ile bina inşa ve altyapı maliyetleridir.

5.4.1.1 Ekipman Maliyetinin Belirlenmesi

Bu parametre manuel ve parçalama esaslı geri dönüşüm sistemleri ile sistem içerisinde kullanılacak ekipmanların satın alma maliyetlerini içermektedir. Manuel demontaj sistemi ele alındığında mevcut sistemde yapılan uygulama göz önünde bulundurularak, bu sistemin kurulması safhasında çeşitli firmalardan alınan teklifler doğrultusunda Tablo 5.7’de sistemde kullanılacak ekipmanlar ve maliyetleri gösterilmiştir. Sistem içerisinde ürünlerin demontajının gerçekleştirildiği manuel demontaj bandı, ürünlerin banda yüklenmesine yardımcı olan vinç, ürün ve malzeme hareketlerinde kullanılacak olan forklift ve transpalet, ürün demontajında kullanılacak olan el aletleri, malzeme stoklamada kullanılacak olan malzeme kasaları

Tablo 5.6: Çamaşır Makinesi ve Fırın Satış Adetleri

(x) 1000		TÜRKİYE SATIş ADETLERİ												
ÜRÜN CİNSİ	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Toplam	%
AM. MAK.	914	762	786	1070	1464	1498	1222	1417	795	824	1075	1917	13744	70%
FIRIN	594	403	446	495	608	587	474	526	339	339	378	599	5788	30%
TOPLAM	1508	1165	1232	1565	2072	2085	1696	1943	1134	1163	1453	2516	19532	100%

ile ürün stoklamada kullanılacak olan paletler, ürün ağırlıkları ile malzeme ağırlıklarını tartmada kullanılacak olan kantar, manuel demontaj sisteminde plastik malzemelerin geri dönüşüm için kullanılacak olan plastik kırma makinesi, metal malzemelerin sevkiyatı öncesinde lojistik avantaj elde etmek amacıyla kullanılacak olan pres, çamaşır makinesi rulmanlarının sökümü için kullanılacak olan rulman sökme aparatı, demontaj işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan kompresör, bunların yanı sıra jeneratör, bilgisayar/yazılım, yazıcı/fotokopi makinesi ekipmanları kullanılacaktır. **[30-32]**

Parçalama esaslı sistem göz önüne alındığında Avrupa'daki uygulamalar ve sistem ekipmanları için alınan teklifler doğrultusunda yine Tablo 5.7'de özetlenen ekipmanlar ve karşılık gelen maliyet verileri elde edilmiştir. Sistem içerisinde ürünlerin geri dönüşümünün gerçekleştirildiği manuel demontaj bandı ile parçalama presleri, demir bazlı ve demir bazlı olmayan metalleri ayırma ekipmanları, plastik malzemeleri ayırma ekipmanlarından oluşan anahtar teslim bir geri dönüşüm sistemi, ürün ve malzeme hareketlerinde kullanılacak olan forklift ve transpalet, ürün demontajında kullanılacak olan el aletleri, malzeme stoklamada kullanılacak olan malzeme kasaları ile ürün stoklamada kullanılacak olan

paletler, ürün ağırlıkları ile malzeme ağırlıklarını tartmada kullanılacak olan kantar, bunların yanı sıra jeneratör, bilgisayar/yazılım, yazıcı/fotokopi makinesi ekipmanları kullanılacaktır.

Tesis içinde kullanılan tüm ekipmanlar tam kapasite çalışmaktadırlar.

Tablo 5.7: Geri Dönüşüm Sistemleri Ekipmanları ve Maliyetleri

Ekipman	Manuel Demontaj (Adet)	Parç. Esaslı Sistem (Adet)	Birim maliyet (€)	Ekipman Ömrü	Yıllık Manuel Demontaj Maliyeti (€)	Yıllık Parç. Esaslı Sistem Maliyeti (€)
Manuel Demontaj Bandı	1		100.000 €	10	10.000 €	0 €
Parçalama Esaslı Geri dönüşüm sistemi		1	3.000.000 €		0 €	300.000 €
Vinç	1		3.000 €		300 €	0 €
Forklift	1	2	20.000 €		2.000 €	4.000 €
Havalı El Aletleri	15	3	1.000 €		1.500 €	300 €
Manuel El Aletleri	15	3	500 €		750 €	150 €
Transpalet	1	2	2.000 €		200 €	400 €
Malzeme Kasaları	150	600	100 €		1.500 €	6.000 €
Plastik kırma Makinesi	1		5.000 €		500 €	0 €
Pres	1		25.000 €		2.500 €	0 €
Rulman sökme aparatı	1		2.000 €		200 €	0 €
Kantar	1	1	3.000 €		300 €	300 €
Palet	225	900	30 €		675 €	2.700 €
Jeneratör	1	1	5.000 €		500 €	500 €
Bilgisayar/yazılım	3	3	2.000 €		600 €	600 €
Yazıcı/fotokopi makinesi	1	1	2.000 €		200 €	200 €
Kompresör	1		5.000 €		500 €	0 €
TOPLAM					22.225 €	315.150 €

Sistemlerde bir haftalık stok bulundurulması pilot çalışma uygulamasına dayanılarak uygun bulunmuştur. Pilot çalışma kapsamında 225 adet palet kullanılmaktadır. Parçalama esaslı sistem manuel demontaj esaslı pilot tesisin dört katı bir kapasiteye sahip olduğundan yaklaşık 900 adet palet kullanılacağı öngörülebilir.

Yine pilot tesis uygulamasında ortalama 150 adet malzeme kasası kullanılmaktadır. Parçalama esaslı sistemde bu sayının kapasite farkı sebebiyle 600 olması beklenecektir.

5.4.1.2 Bina İnşa Ve Altyapı Maliyetinin Belirlenmesi

Bölüm 5.1.1 ve 5.1.4'te belirlenen manuel demontaj sistemleri ile parçalama esaslı sistemlerin alan ihtiyacı ve alan maliyetleri ile amortisman süresi göz önünde bulundurularak Tablo 5.8'de bina ve altyapı maliyetleri belirlenmiştir.

Tablo 5.8: Geri Dönüşüm Sistemleri Bina İnşa Ve Altyapı Maliyetleri

Alan Tanımı	Manuel Demontaj	Parçalama Esaslı Sistem	Alan Tipi	Birim Alan Satın alma Maliyeti	Birim Alan İnşa ve Altyapı maliyeti	Amortisman Süresi	Manuel Demontaj	Parçalama Esaslı Sistem
Makine Alanı	118	480	Kapalı Alan	50 €	250 €	25	1.416 €	5.760 €
Geçici Stok Alanı	121	270	Kapalı Alan				1.452 €	3.240 €
Hareket Alanı	203	544	Kapalı Alan				2.436 €	6.528 €
Ofis	18	72	Kapalı Alan				216 €	864 €
Diğer	40	160	Kapalı Alan				480 €	1.920 €
Ürün stok alanı	500	1800	Sundurma		3.000 €		10.800 €	
Malzeme stok alanı	250	500	Sundurma		1.500 €		3.000 €	
Sevkiyat/Teslimat alanı	250	1000	Açık Alan		5 €		550 €	2.200 €
TOPLAM							11.050 €	34.312 €

5.4.2 Personel Maliyetinin Belirlenmesi

Geri dönüşüm sistemleri içerisinde çalışan ve sistemin devamlılığı için gerekli olan direkt ve endirekt çalışanlar ile ustabaşı ve mühendis kadrosu Tablo 5.9’da gösterilmiştir. Manuel demontaj verileri pilot tesiste mevcut durumda var olan bilgiler ışığında oluşturulmuştur. Parçalama esaslı sistemler için kullanılan veriler ise çeşitli firmalar ile yapılan mülakatlar sonucu belirlenmiştir. [13-15]

Tablo 5.9: Geri Dönüşüm Sistemleri İşgücü İhtiyaçları

	Manuel Demontaj Sistemi	Parç. Esaslı Sistem	Birim Maliyet (€)	Yıllık Manuel Demontaj Maliyeti (€)	Yıllık Parç. Esaslı Sistem Maliyeti (€)
Direkti işçi	27	15	640 €	207.360 €	115.200 €
Usta başı	1	1	750 €	9.000 €	9.000 €
Teknisyen		1	1.000 €	0 €	12.000 €
Endirekt işçi	1	1	450 €	5.400 €	5.400 €
Mühendis	1	1	2.000 €	24.000 €	24.000 €
TOPLAM				245.760 €	165.600 €

5.4.3 Yedek Parça Maliyetinin Belirlenmesi

Yedek parça miktarı ve maliyeti: Parçalama esaslı sistemlerde, ürünü 5-10 mm’lik parçalara bölen makinelerin bıçaklarının değişimi gibi bir takım yedek parça maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Alınan tekliflerde yedek parça maliyeti 0,98€/ürün olarak belirlenmiştir. Önceki bölümde belirtildiği gibi parçalama esaslı sistemlerin kapasitesi sabit ve 400.000 adet /yıldır. Böylelikle parçalama esaslı sistemlerin yedek parça maliyeti 392.000 € /yıl olarak belirlenir. Manuel demontaj sistemlerinde ise pilot çalışma verileri göz önünde bulundurularak bu tipte bir yedek parça maliyeti oluşmadığı gözlenmiştir. [13-15]

5.4.4 Enerji Maliyetinin Belirlenmesi

Yıllık bazda sistemde kullanılacak enerji miktarı ve buna karşılık gelen enerji maliyetidir. Birim enerji maliyeti 0,07 € / kw saattir. [33] Tablo 5.10’da pilot tesis

verilerinden elde edilen ve manuel demontaj sistemi için baz alınan enerji maliyeti verileri ile parçalama esaslı sistemin enerji maliyet verileri karşılaştırılmıştır.[13,33]

Tablo 5.10: Geri Dönüşüm Sistemleri Enerji Maliyeti Kıyaslaması

	Manuel Demontaj	Parçalama Esaslı Sistem
Birim enerji maliyeti (€/kwh)	0,07 €	0,07 €
Saatlik enerji tüketimi (kwh/h)	112	430
Çalışma saati/vardiya	7,5	7,5
Vardiya sayısı	3	3
Yıllık çalışma günü sayısı	300	300
Yıllık enerji maliyeti	51.840 €	198.935 €

5.4.5 Yönetim Maliyetinin Belirlenmesi

Geri dönüşüm tesislerinin yönetim maliyetleri bir adet yönetici ve ofisler için 8 € /m2 lik bir ofis mefruşat maliyeti atanmıştır. [34]

Tablo 5.11’de geri dönüşüm sistemlerinin yönetim maliyetleri kıyaslanmıştır.

Tablo 5.11: Geri Dönüşüm Sistemleri Yönetim Maliyetleri Kıyaslaması

	Manuel Demontaj Sistemi	Parçalama Esaslı Sistem	Birim Maliyet (€)	Yıllık Manuel Demontaj Maliyeti (€)	Yıllık Parç. Esaslı Sistem Maliyeti (€)
Yönetici	1	1	€ 5.000	€ 60.000	€ 60.000
Ofis Alanı	18	72	€ 8	€ 1.728	€ 6.912
TOPLAM				€ 61.728	€ 66.912

5.4.6 İşletme Malzemesi Maliyetinin Belirlenmesi

Geri dönüşüm sürecinde pilot tesis verileri göz önünde bulundurularak streç, eldiven, gözlük, havalı matkap ucu malzemelerinin belirtilen miktarlarda kullanıldığı belirlenmiştir. Parçalama esaslı sistemde kullanılacak malzeme sayıları da çalışan sayısı göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Streç manuel demontaj sisteminde tekrar kullanılacak komponentler için kullanıldığından parçalama esaslı sistemde kullanılmasına gerek yoktur. Tablo 5.12’de geri dönüşüm sistemlerinin işletme malzemesi maliyetleri kıyaslanmıştır.

Tablo 5.12: Geri Dönüşüm Sistemleri Yardımcı Malzeme Maliyeti Karşılaştırması

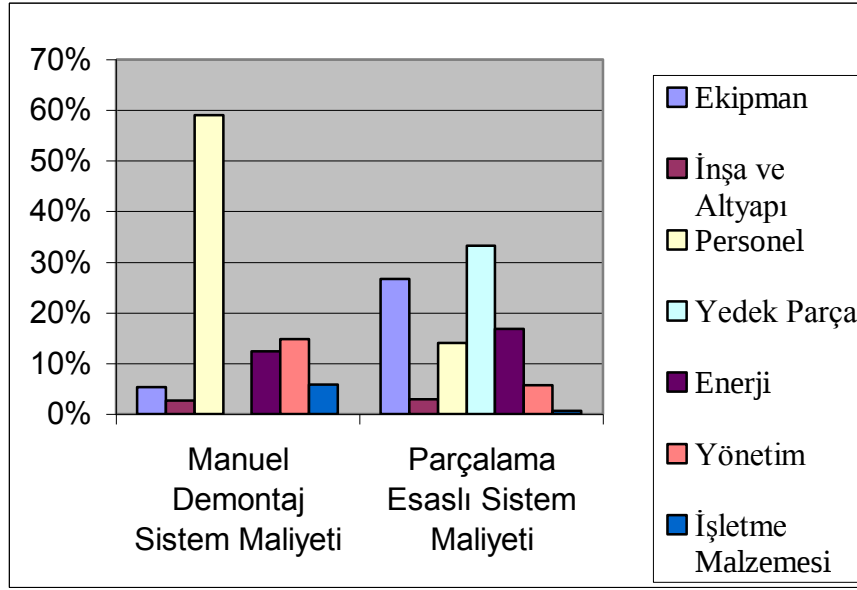
	Birim Maliyet	Manuel Demontaj Sistemi	Parçalama Esaslı Sistem	Yıllık Manuel Demontaj Maliyeti (€)	Yıllık Parç. Esaslı Sistem Maliyeti (€)
Streç	5,56	75		€ 5.000	€ 0
Eldiven	1,39	250	125	€ 4.167	€ 2.083
Matkap ucu	5,56	100	20	€ 6.667	€ 1.333
Maske	2,78	250	125	€ 8.333	€ 4.167
TOPLAM				€ 24.167	€ 7.583

Tüm bu maliyetlerin hesaplanmasından sonra manuel demontaj geri dönüşüm sistemi ile parçalama esaslı geri dönüşüm sistemlerinin yıllık maliyeti Tablo 5.13’de görüldüğü gibi oluşur.

Tablo 5.13: Geri Dönüşüm Sistemleri Yıllık Toplam Maliyetleri

	Yıllık Manuel Demontaj Maliyeti (€)	Yıllık Parç. Esaslı Sistem Maliyeti (€)
Ekipman Satınalma Maliyeti	22.225 €	315.150 €
Bina İnşa ve Altyapı Maliyeti	11.050 €	34.312 €
Personel Maliyeti	245.760 €	165.600 €
Yedek Parça Maliyeti	0 €	392.000 €
Enerji Maliyeti	51.840 €	198.935 €
Yönetim Maliyeti	61.728 €	66.912 €
İşletme Malzemesi Maliyeti	24.167 €	7.583 €
TOPLAM MALİYET	416.770 €	1.180.492 €

Her bir maliyet kaleminin toplam maliyet içerisindeki dağılımı ise Şekil 5.4’te verilmiştir.



Şekil 5.4: Geri Dönüşüm Sistemleri Maliyet Dağılımı

Manuel demontaj ve parçalama esaslı sistemler için bir saniyelik işlem maliyeti ise Tablo 5.14'te personel, yedek parça, enerji ve işletme malzeme maliyetleri baz alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.14: Geri Dönüşüm sistemleri Birim Saniye Maliyetleri

	Birim Manuel Demontaj Maliyeti (€)	Birim Parç. Esaslı Sistem Maliyeti (€)
Toplam direkt maliyet	321.767 €	764.118 €
Yıllık çalışma gün sayısı	300	300
Günlük çalışma saati	22,5	22,5
Birim vardiyada çalışan sayısı	9	5
Birim işlem maliyeti (saniye)	0,001471 €	0,006289 €

5.5 Ürün Optimum Demontaj Sırasının Bulunması

Bu bölümde bir adet çamaşır makinesi ve fırının optimum demontaj sırası belirlenecektir.

5.5.1 Çamaşır Makinesi Demontaj Sırasının Bulunması

Çamaşır makinesi demontaj sırasının belirlenmesinde bölüm 5.1'de ortaya konan akış diyagramından faydalanılacaktır. Buna göre öncelikle çamaşır makinesinden sadece alt montaj olarak demonte edilebilen parçalar belirlenecek ve bu alt montajların daha alt birimlere parçalanma/parçalanmama kararı verilecektir. Daha

sonra önce çamaşır makinesinin arka yüzü için ve/veya grafiği oluşturulacaktır. Ardından bu grafikte ortaya çıkan her bir olası demontaj işlemi için demontaj süreleri belirlenip demontaj işlem maliyetleri/gelirleri hesaplanacaktır. Ve/veya grafiğine göre kısıtlar ve amaç denkleminin oluşturulmasıyla da problem çözülecektir. Daha sonra aynı işlemler çamaşır makinesi ön yüzü için yapılacak ve çamaşır makinesinin optimum demontaj sırası belirlenmiş olacaktır.

5.5.1.1 Çamaşır Makinesi Alt montajlarının Demontaj Süreçlerinin Belirlenmesi

Çamaşır makinesi demontajı sırasında bazı parçalar önce alt montaj şeklinde makineden alınmakta daha sonra bu alt montaj, malzeme yada komponent bazında daha küçük birimlere ayrıştırılmaktadır. Bu uygulamanın iki sebebi vardır. Bunlar;

- Bazı komponentlerin sistemden sadece bağlı bulundukları alt montaj ile sökülebilmeleri
- Ürün demontajında bant üzerinde yapılan işlemlerin azaltılması ve hat dengelemenin yapılabilmesi için uygun bir ortam yaratmak

Çamaşır makinesi demontajında bu şekilde ayrı işlem gerektiren alt montajlar

tablo 5.15'te gösterilmiştir.

Tablo 5.15: Çamaşır Makinesi Alt montajları

Alt montaj Adı	Ürün Üzerindeki Konum
Üst tabla	Arka Yüz
Motor	Arka Yüz
Şebeke Kablosu	Arka Yüz
Ventil	Arka Yüz
Ön kapak	Ön Yüz
Pano	Ön Yüz
Pompa Motoru	Ön Yüz
Kablo Grubu	Ön Yüz
Deterjan Kutu Grubu	Ön Yüz
Kazan Grubu	Ön Yüz

İşlemlerde kullanılan süreler alt montajların üründen demonte edilmesi sürelerini kapsamamaktadır. Bunun sebebi bu bölümde alt montajın üründen ayrıldığı

öngörülmesi, ayrıldıktan sonra ek işlem görüp görmeyeceğine kararı verilmeye çalışılmasıdır. Böylelikle ürün demontaj sırası bulunurken her alt montajın optimum demontaj geliri belirlenmiş olmaktadır.

Üst tabla; Üst tabla sunta ve plastik malzemeden (ABS) oluşan bir alt montajdır. Plastik ve sunta yapışkan bir malzeme kullanılarak birleştirilmiştir. Yapışkan malzeme sebebiyle üst tablanın sunta ve plastik hammaddelerine ayrıştırılması sırasında sunta parçaları plastik parçanın üzerinde kalmakta plastiğin temizlenmesini zorlaştırmaktadır. Tablo 5.16’da bu iş için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak üst tablanın daha fazla parçalanmadan satılmasına karar verilmiştir.

Tablo 5.16: Üst tabla Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir (€)	Birim söküm maliyeti (sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti (€)
Üst tabla	3	0,278	0,278	0,0015	300	0,45
Sunta	2,5	0,033	0,083			
Plastik	0,5	1	0,5			

$$\text{Demontaj Geliri} = (\text{Gelir}_{\text{sunta}} + \text{Gelir}_{\text{plastik}} - \text{Gelir}_{\text{üst tabla}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}})$$

$$= 0,083 + 0,5 - 0,278 - 0,45$$

$$= -0,145€$$

Motor; Alüminyum koruma kapakları, statora bağlı bakır, demir malzemeden yapılmış stator ve rotordan oluşmaktadır. Rotor ise bakır(0,4 kg) ve demir (1,7)malzemeden oluşmuştur. Ancak rotor üzerindeki bakırın manuel yöntemlerle demontajı mümkün gözükmemektedir. Tablo 5.17’de motor söküm işi için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak motorun daha fazla parçalanmadan satılmasına karar verilmiştir.

Tablo 5.17: Motor Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir (€)	Birim söküm maliyeti (sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti (€)
Motor	4,1	0,333	1,3653	0,0015	320	0,48
Al	0,5	0,889	0,445			
Demir	1	0,161	0,161			
Bakır	0,5	1,722	0,861			
Rotor	2,1	0,156	0,328			

$$\begin{aligned}
\text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{Al}} + \text{Gelir}_{\text{Demir}} + \text{Gelir}_{\text{Bakır}} + \text{Gelir}_{\text{Rotor}} - \text{Gelir}_{\text{Motor}} - \\
&\quad \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
&= 0,445 + 0,161 + 0,861 + 0,328 - 1,3653 - 0,48 \\
&= -0,05 \text{ €}
\end{aligned}$$

Şebeke kablosu: plastik ve bakır malzemeden oluşmaktadır. Tablo 5.18’de şebeke kablosu söküm işi için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak şebeke kablosunun daha fazla parçalanmadan satılmasına karar verilmiştir.

Tablo 5.18: Şebeke Kablosu Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti (sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Şebeke kablosu	0,3	0,333	0,0999	0,0015	250	0,375
Plastik	0,15	0,122	0,018			
Bakır	0,15	1,722	0,258			

$$\begin{aligned}
\text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{Plastik}} + \text{Gelir}_{\text{Bakır}} - \text{Gelir}_{\text{Şebeke kablosu}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
&= 0,018 + 0,258 - 0,0999 - 0,375 \\
&= -0,1989 \text{ €}
\end{aligned}$$

Ventil; Ventil demir ve plastik malzemelerin karışımından oluşan bir komponenttir. Tablo 5.19’da ventilin alt malzemelere ayrılması işi için harcanan maliyet ve elde

edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak ventilin daha fazla işlem görmeden satılmasına karar verilmiştir.

Tablo 5.19: Ventil Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Ventil	0,4	0,128	0,0512	0,0015	180	0,27
Demir	0,2	0,161	0,032			
Plastik	0,2	0,122	0,024			

$$\begin{aligned}
 \text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{Demir}} + \text{Gelir}_{\text{Plastik}} - \text{Gelir}_{\text{Ventil}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
 &= 0,032 + 0,024 - 0,0512 - 0,27 \\
 &= -0,2652 \text{ €}
 \end{aligned}$$

Ön kapak: Cam, polipropilen ve ABS türü iki plastik çeşidi ve alüminyum menteşe parçalarından oluşan bir alt montajdır. Tablo 5.20’de ön kapağın alt malzemelere ayrılması işi için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak ön kapak alt gruplara ayrıştırılarak geri dönüştürülmüştür.

Tablo 5.20: Ön Kapak Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Ön kapak	1,8	0,128	0,2304	0,0015	60	0,09
Cam	1,0	0,039	0,039			
PP	0,2	0,694	0,139			
ABS	0,1	1,000	0,100			
Al	0,5	0,889	0,445			

$$\begin{aligned}
 \text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{Al}} + \text{Gelir}_{\text{PP}} + \text{Gelir}_{\text{ABS}} + \text{Gelir}_{\text{Cam}} - \text{Gelir}_{\text{Ön kapak}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
 &= 0,039 + 0,139 + 0,1 + 0,445 - 0,2334 - 0,09 \\
 &= + 0,402 \text{ €}
 \end{aligned}$$

Pano: Pano, ABS hammaddeli plastik ve EEEA direktifine göre tehlikeli atık olarak belirtilen elektronik kart parçalarından oluşmaktadır. Tablo 5.21’de pano grubunun alt malzemelere ayrılması işi için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak pano grubu alt gruplara ayrıştırılarak geri dönüştürülmüştür. Ancak burada elektronik kartın özel durumu sebebiyle gelir negatif olması durumunda da demontaj işlemi gerçekleştirilmek durumunda idi.

Tablo 5.21: Pano Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Pano	0,5	0,128	0,064	0,0015	120	0,18
ABS	0,3	1,000	0,300			
Elektronik Kart	0,2	-0,056	-0,011			

$$\text{Demontaj Geliri} = (\text{Gelir}_{\text{ABS}} + \text{Gelir}_{\text{Elektronik kart}} - \text{Gelir}_{\text{Pano}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}})$$

$$= 0,3 + (-0,011) - 0,064 - 0,18$$

$$= +0,045 \text{ €}$$

Pompa motoru: Pompa motoru, demir malzemeden yapılmış stator, statora sarıllı bakır ve çeşitli plastik malzemelerden oluşmaktadır. Tablo 5.22’de pompa motorunun alt malzemelere ayrılması işi için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak pompa motorunun alt gruplara ayrıştırılmamasına karar verilmiştir.

Tablo 5.22: Pompa Motoru Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Pompa motoru	0,6	0,333	0,1998	0,0015	180	0,27
Demir	0,2	0,161	0,032			
Bakır	0,1	1,722	0,172			
Plastik	0,3	0,694	0,208			

$$\begin{aligned}
\text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{Demir}} + \text{Gelir}_{\text{Bakır}} + \text{Gelir}_{\text{Plastik}} - \text{Gelir}_{\text{Pompa motoru}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
&= 0,032 + 0,172 + 0,208 - 0,1998 - 0,27 \\
&= -0,0578 \text{ €}
\end{aligned}$$

Kablo grubu: Kablo grubu plastik ve bakır malzemeden oluşmaktadır. Tablo 5.23’de kablo grubunun alt malzemelere ayrılması işi için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak kablo grubunun alt gruplara ayrıştırılmamasına karar verilmiştir.

Tablo 5.23: Kablo Grubu Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Kablo grubu	0,8	0,333	0,2664	0,0015	1200	1,8
Plastik	0,4	0,694	0,278			
Bakır	0,4	1,722	0,689			

$$\begin{aligned}
\text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{Plastik}} + \text{Gelir}_{\text{Bakır}} - \text{Gelir}_{\text{Kablo grubu}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
&= 0,278 + 0,689 - 0,2664 - 1,8 \\
&= -1,0994 \text{ €}
\end{aligned}$$

Deterjan kutusu grubu: Deterjan kutusu grubu PP ve ABS hammaddeli plastiklerden oluşmaktadır. Tablo 5.24’de deterjan kutu grubunun alt malzemelere ayrılması işi için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak deterjan kutu grubu alt gruplara ayrıştırılarak geri dönüştürülmüştür.

Tablo 5.24: Deterjan Kutusu Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Deterjan kutusu	0,6	0,122	0,0732	0,0015	5	0,0075
PP	0,5	0,694	0,347			
ABS	0,1	1,000	0,100			

$$\begin{aligned}
\text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{PP} + \text{Gelir}_{ABS} - \text{Gelir}_{\text{Deterjan kutusu}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
&= 0,347 + 0,1 - 0,0732 - 0,0075 \\
&= +0,366 \text{ €}
\end{aligned}$$

Kazan grubu: Bir önceki bölümde kazan grubunun demonte edilip edilmeyeceğine karar verilmiş ve demontaj sırası bulunmuştur.

Çamaşır makinesi alt montajlarının alt birimlere demonte edilmesi/edilmemesi kararı verildikten sonra çamaşır makinesi için optimum demontaj sırasının bulunması problemine geçilebilir. Demontaj işleminin uygulandığı bant özellikleri dolayısıyla çamaşır makinesinin öncelikle arka yüzü daha sonra da ön yüzü için iki ayrı demontaj sırası bulunacaktır.

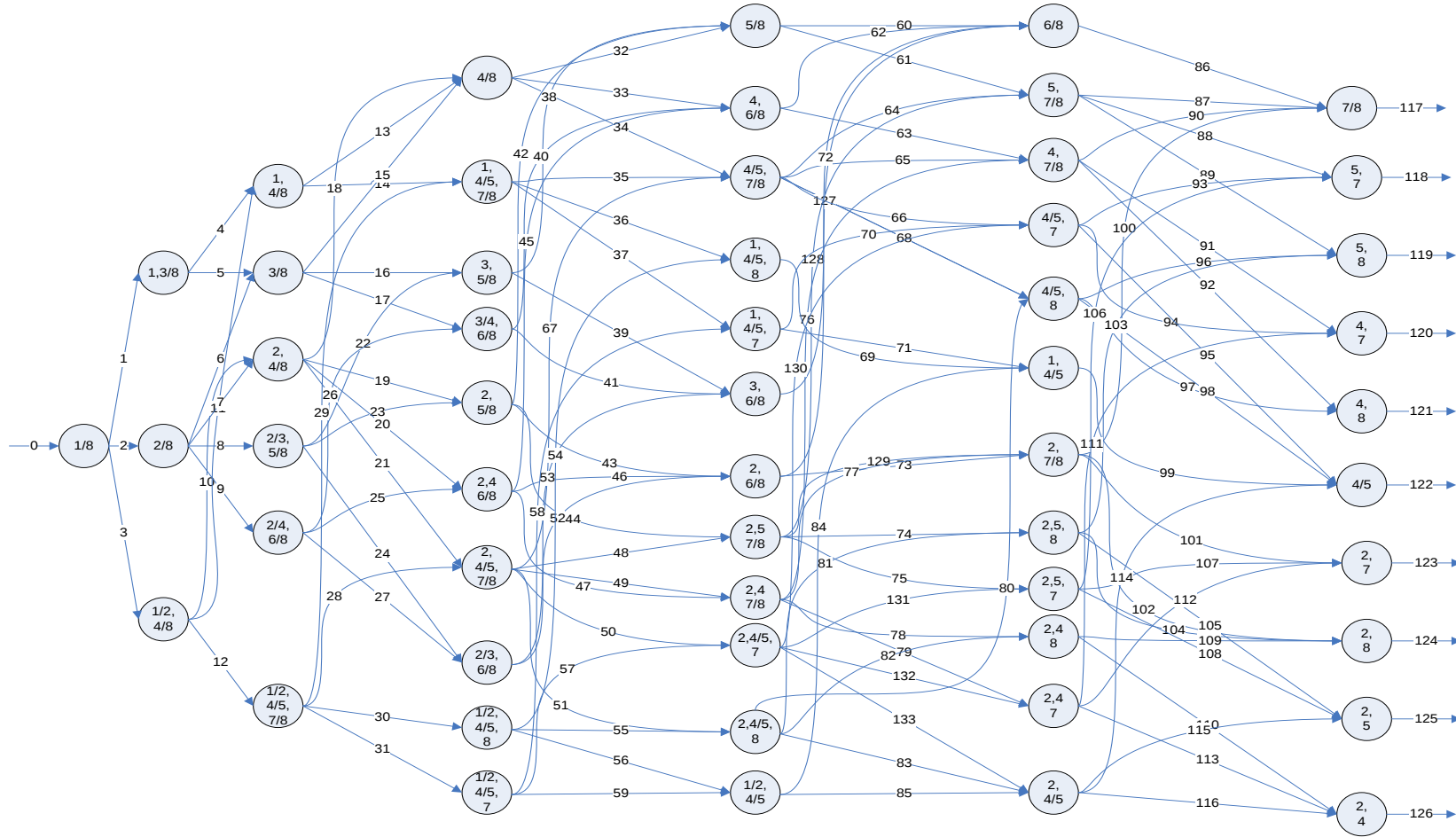
5.5.1.2 Çamaşır Makinesi Arka Yüz Demontaj Sırasının Belirlenmesi

Çamaşır makinesi arka yüzünden demonte edilebilecek komponentler, bu komponentlerin malzeme cinsleri, malzeme tanımları, geri dönüşüm seçenekleri ve ağırlıkları Tablo 5.25’te gösterilmiştir.

Tablo 5.25: Çamaşır Makinesi Arka Yüz Komponent Verileri

Komp. No	Komp. Adı	Malzeme Bileşimi	Ağırlık (kg)	Geri dönüşüm şekli	Malzeme Birim Fiyat (€)	Toplam Gelir
1	Üst tabla	ABS, Tahta	3,0	geri dönüşüm	0,28 €	0,28 €
2	Tahliye hortumu, Şebeke kablosu	Plastik, Cu	0,5	geri dönüşüm	0,48 €	0,24 €
3	Arka duvar	Demir	1,1	geri dönüşüm	0,16 €	0,18 €
4	Ventil	Karışık	0,4	geri dönüşüm	0,13 €	0,05 €
5	Üst denge	Beton	12,0	tekrar kullanım	0,56 €	0,56 €
6	Kasnak kayışı	Lastik	0,1	geri dönüşüm	0,04 €	0,00 €
7	Kasnak	Al	0,4	geri dönüşüm	0,89 €	0,36 €
8	Motor	Al,Cu,Demir	4,1	geri dönüşüm	0,33 €	1,37 €

Bu komponentlerin üründen demonte edilme olasılıklarını gösteren demontaj ağacı ise Şekil 5.5’te gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Çamaşır Makinesi Arka Yüz Demontaj Ağacı

Şekil 5.5'teki demontaj ağacından da görüldüğü üzere 133 olası demontaj işlemi ile çamaşır makinesinin arka yüz demontaj işlemi tamamlanabilmektedir. Optimum demontaj sırasının bulunması için her bir demontaj işleminin oluşturduğu maliyet ve gelirin hesaplanması gerekmektedir. Eklerde Tablo A.1'de her bir işlemin oluşturduğu maliyet ve Tablo A.2'de bu maliyetler düşüldükten sonra elde edilen net gelirler hesaplanmıştır. Her bir demontaj işlemi için elde edilecek net gelirler belirlendikten sonra yine demontaj ağacından yararlanılarak modelin kısıtları oluşturulur. Tablo 5.26'da bu kısıtlar belirlenmiştir.

Tablo A.2'de verilen demontaj işlemleri gelir tablosundan faydalanılarak amaç denklemi oluşturulur;

$$\text{Maks } Z = (0.09 \text{ } X_1 - 0.16 \text{ } X_2 - 0.04 \text{ } X_3 - 0.07 \text{ } X_4 - 0.16 \text{ } X_5 + 0.06 \text{ } X_6 - 0.07 \text{ } X_7 - 0.07 \text{ } X_8 + 0.38 \text{ } X_9 - 0.19 \text{ } X_{10} + 0.06 \text{ } X_{11} - 0.07 \text{ } X_{12} - 0.16 \text{ } X_{13} - 0.04 \text{ } X_{14} - 0.07 \text{ } X_{15} - 0.09 \text{ } X_{16} + 0.42 \text{ } X_{17} - 0.06 \text{ } X_{18} - 0.04 \text{ } X_{19} + 0.42 \text{ } X_{20} - 0.04 \text{ } X_{21} + 0.09 \text{ } X_{22} - 0.04 \text{ } X_{23} + 0.42 \text{ } X_{24} - 0.04 \text{ } X_{25} + 0.09 \text{ } X_{26} - 0.04 \text{ } X_{27} - 0.16 \text{ } X_{28} + 0.09 \text{ } X_{29} + 0.26 \text{ } X_{30} + 0.75 \text{ } X_{31} - 0.04 \text{ } X_{32} + 0.42 \text{ } X_{33} - 0.04 \text{ } X_{34} - 0.16 \text{ } X_{35} + 0.26 \text{ } X_{36} + 0.75 \text{ } X_{37} - 0.04 \text{ } X_{38} + 0.42 \text{ } X_{39} - 0.07 \text{ } X_{40} - 0.04 \text{ } X_{41} + 0.09 \text{ } X_{42} + 0.42 \text{ } X_{43} - 0.04 \text{ } X_{44} + 0.09 \text{ } X_{45} - 0.04 \text{ } X_{46} - 0.04 \text{ } X_{47} - 0.04 \text{ } X_{48} + 0.42 \text{ } X_{49} + 0.75 \text{ } X_{50} + 0.26 \text{ } X_{51} - 0.04 \text{ } X_{52} + 0.09 \text{ } X_{53} + 0.09 \text{ } X_{54} - 0.16 \text{ } X_{55} + 0.75 \text{ } X_{56} - 0.16 \text{ } X_{57} + 0.09 \text{ } X_{58} + 0.26 \text{ } X_{59} + 0.42 \text{ } X_{60} - 0.04 \text{ } X_{61} - 0.04 \text{ } X_{62} - 0.04 \text{ } X_{63} - 0.04 \text{ } X_{64} + 0.42 \text{ } X_{65} + 0.75 \text{ } X_{66} + 0.09 \text{ } X_{67} + 0.26 \text{ } X_{68} + 0.75 \text{ } X_{69} - 0.16 \text{ } X_{70} + 0.26 \text{ } X_{71} - 0.04 \text{ } X_{72} - 0.04 \text{ } X_{73} + 0.26 \text{ } X_{74} + 0.75 \text{ } X_{75} + 0.09 \text{ } X_{76} - 0.04 \text{ } X_{77} + 0.26 \text{ } X_{78} + 0.75 \text{ } X_{79} + 0.09 \text{ } X_{80} - 0.04 \text{ } X_{81} + 0.42 \text{ } X_{82} + 0.75 \text{ } X_{83} + 0.09 \text{ } X_{84} - 0.16 \text{ } X_{85} - 0.04 \text{ } X_{86} + 0.42 \text{ } X_{87} + 0.75 \text{ } X_{88} + 0.26 \text{ } X_{89} - 0.04 \text{ } X_{90} + 0.75 \text{ } X_{91} + 0.26 \text{ } X_{92} - 0.04 \text{ } X_{93} + 0.42 \text{ } X_{94} + 0.26 \text{ } X_{95} - 0.04 \text{ } X_{96} + 0.42 \text{ } X_{97} + 0.75 \text{ } X_{98} - 0.16 \text{ } X_{99} + 0.09 \text{ } X_{100} + 0.75 \text{ } X_{101} + 0.26 \text{ } X_{102} + 0.09 \text{ } X_{103} + 0.42 \text{ } X_{104} + 0.75 \text{ } X_{105} + 0.09 \text{ } X_{106} + 0.42 \text{ } X_{107} + 0.26 \text{ } X_{108} - 0.04 \text{ } X_{109} + 0.75 \text{ } X_{110} + 0.09 \text{ } X_{111} - 0.04 \text{ } X_{112} + 0.26 \text{ } X_{113} + 0.09 \text{ } X_{114} - 0.04 \text{ } X_{115} + 0.42 \text{ } X_{116} + 1.01 \text{ } X_{117} + 0.68 \text{ } X_{118} + 1.17 \text{ } X_{119} + 0.22 \text{ } X_{120} + 0.71 \text{ } X_{121} + 0.38 \text{ } X_{122} + 0.35 \text{ } X_{123} + 0.84 \text{ } X_{124} + 0.51 \text{ } X_{125} + 0.04 \text{ } X_{126} + 0.09 \text{ } X_{127} + 0.09 \text{ } X_{128} + 0.42 \text{ } X_{129} + 0.09 \text{ } X_{130} - 0.04 \text{ } X_{131} + 0.42 \text{ } X_{132} + 0.26 \text{ } X_{133})$$

Lindo kullanılarak elde edilen çözüm; 1-5-17-41-72-86-117 sırası şeklinde oluşmaktadır. Toplam demontaj süresi 380 sn ve maliyet harici toplam gelir 3,02 € olmaktadır.

Tablo 5.26: Çamaşır Makinesi Arka Yüz Demontaj Problemi Kısıtları

$X1+X2+X3 \leq 1$	$X1-X4-X5 \geq 0$
$X6+X7+X8+X9 \leq 1$	$X3-X10-X11-X12 \geq 0$
$X13+X14 \leq 1$	$X5+X6-X15-X16-X17 \geq 0$
$X15+X16+X17 \leq 1$	$X7+X10-X18-X19-X20-X21 \geq 0$
$X18+X19+X20+X21 \leq 1$	$X8-X22-X23-X24 \geq 0$
$X22+X23+X24 \leq 1$	$X9-X25-X26-X27 \geq 0$
$X25+X26+X27 \leq 1$	$X12-X28-X29-X30-X31 \geq 0$
$X28+X29+X30+X31 \leq 1$	$X13+X15+X18-X32-X33-X34 \geq 0$
$X32+X33+X34 \leq 1$	$X14+X29-X35-X36-X37 \geq 0$
$X35+X36+X37 \leq 1$	$X16+X22-X38-X39 \geq 0$
$X38+X39 \leq 1$	$X17+X26-X40-X41 \geq 0$
$X40+X41 \leq 1$	$X19+X23-X42-X43-X44 \geq 0$
$X42+X43+X44 \leq 1$	$X20+X25-X45-X46-X47 \geq 0$
$X45+X46+X47 \leq 1$	$X21+X28-X48-X49-X50-X51-X67 \geq 0$
$X48+X49+X50+X51+X67 \leq 1$	$X24+X27-X52-X53 \geq 0$, $X2-X6-X7-X8-X9 \geq 0$
$X52+X53 \leq 1$	$X30-X54-X55-X56 \geq 0$, $X4+X11-X13-X14 \geq 0$
$X54+X55+X56 \leq 1$	$X31-X57-X58-X59 \geq 0$
$X57+X58+X59 \leq 1$	$X32+X38+X42-X60-X61 \geq 0$
$X60+X61 \leq 1$	$X33+X40+X45-X62-X63 \geq 0$
$X62+X63 \leq 1$	$X34+X35+X67-X64-X65-X66-X68 \geq 0$
$X64+X65+X66+X68 \leq 1$	$X36+X54-X69 \geq 0$
$X70+X71 \leq 1$	$X37+X58-X70-X71 \geq 0$
$X73+X127 \leq 1$	$X39+X41+X53-X72 \geq 0$
$X74+X75+X128+X129 \leq 1$	$X43+X46+X52-X73-X127 \geq 0$
$X76+X77+X78+X79 \leq 1$	$X44+X48-X74-X75-X128-X129 \geq 0$
$X130+X131+X132+X133 \leq 1$	$X47+X49-X76-X77-X78-X79 \geq 0$
$X80+X81+X82+X83 \leq 1$	$X50+X57-X130-X131-X132-X133 \geq 0$
$X84+X85 \leq 1$, $X10+X11+X12 \leq 1$	$X51+X55-X80-X81-X82-X83 \geq 0$
$X87+X88+X89 \leq 1$, $X4+X5 \leq 1$	$X56+X59-X84-X85 \geq 0$
$X90+X91+X92 \leq 1$	$X60+X62+X72+X127-X86 \geq 0$
$X93+X94+X95 \leq 1$	$X61+X64+X128-X87-X88-X89 \geq 0$
$X96+X97+X98 \leq 1$	$X63+X65+X76-X90-X91-X92 \geq 0$
$X100+X101+X102 \leq 1$	$X66+X70+X130-X93-X94-X95 \geq 0$
$X103+X104+X105 \leq 1$	$X68+X80-X96-X97-X98 \geq 0$
$X106+X107+X108 \leq 1$	$X69+X71+X84-X99 \geq 0$
$X109+X110 \leq 1$	$X73+X77+X129-X100-X101-X102 \geq 0$
$X111+X112+X113 \leq 1$	$X74+X81-X103-X104-X105 \geq 0$
$X114+X115+X116 \leq 1$	$X75+X131-X106-X107-X108 \geq 0$
$X91+X94+X111-X120 \geq 0$	$X78+X82-X109-X110 \geq 0$
$X92+X97-X121 \geq 0$	$X79+X132-X111-X112-X113 \geq 0$
$X95+X98+X99+X114-X122 \geq 0$	$X83+X85+X133-X114-X115-X116 \geq 0$
$X101+X107+X112-X123 \geq 0$	$X86+X87+X90+X100-X117 \geq 0$
$X102+X104+X109-X124 \geq 0$	$X88+X93+X106-X118 \geq 0$
$X105+X108+X115-X125 \geq 0$	$X89+X96+X103-X119 \geq 0$
$X110+X113+X116-X126 \geq 0$	$X2+X5+X10+X13+X28+X35+X55+X57+X70+X85+X99 \leq 1$
$X1+X6+X11+X22+X26+X29+X42+X45+X53+X54+X58+X67+X76+X80+X84+X100+X103+X106+X111+X114+X123+X124+X125+X126+X127+X128+X130 \leq 1$	
$X3+X4+X7+X15+X18+X23+X25+X38+X40+X52+X72 \leq 1$	
$X8+X16+X19+X27+X32+X41+X46+X48+X62+X64+X77+X81+X90+X93+X96+X109+X112+X115+X120+X121+X122+X126+X131 \leq 1$	
$X9+X17+X20+X24+X33+X39+X43+X49+X60+X65+X82+X87+X94+X97+X104+X107+X116+X118+X119+X122+X125+X129+X132 \leq 1$	
$X12+X14+X21+X34+X44+X47+X61+X63+X73+X86 \leq 1$	
$X30+X36+X51+X59+X68+X71+X74+X78+X89+X92+X95+X102+X108+X113+X117+X118+X120+X123+X133 \leq 1$	
$X31+X37+X50+X56+X66+X69+X75+X79+X83+X88+X91+X98+X101+X105+X110+X117+X119+X121+X124 \leq 1$	

5.5.1.3 Çamaşır Makinesi n Yüz Demontaj Sırasının Belirlenmesi

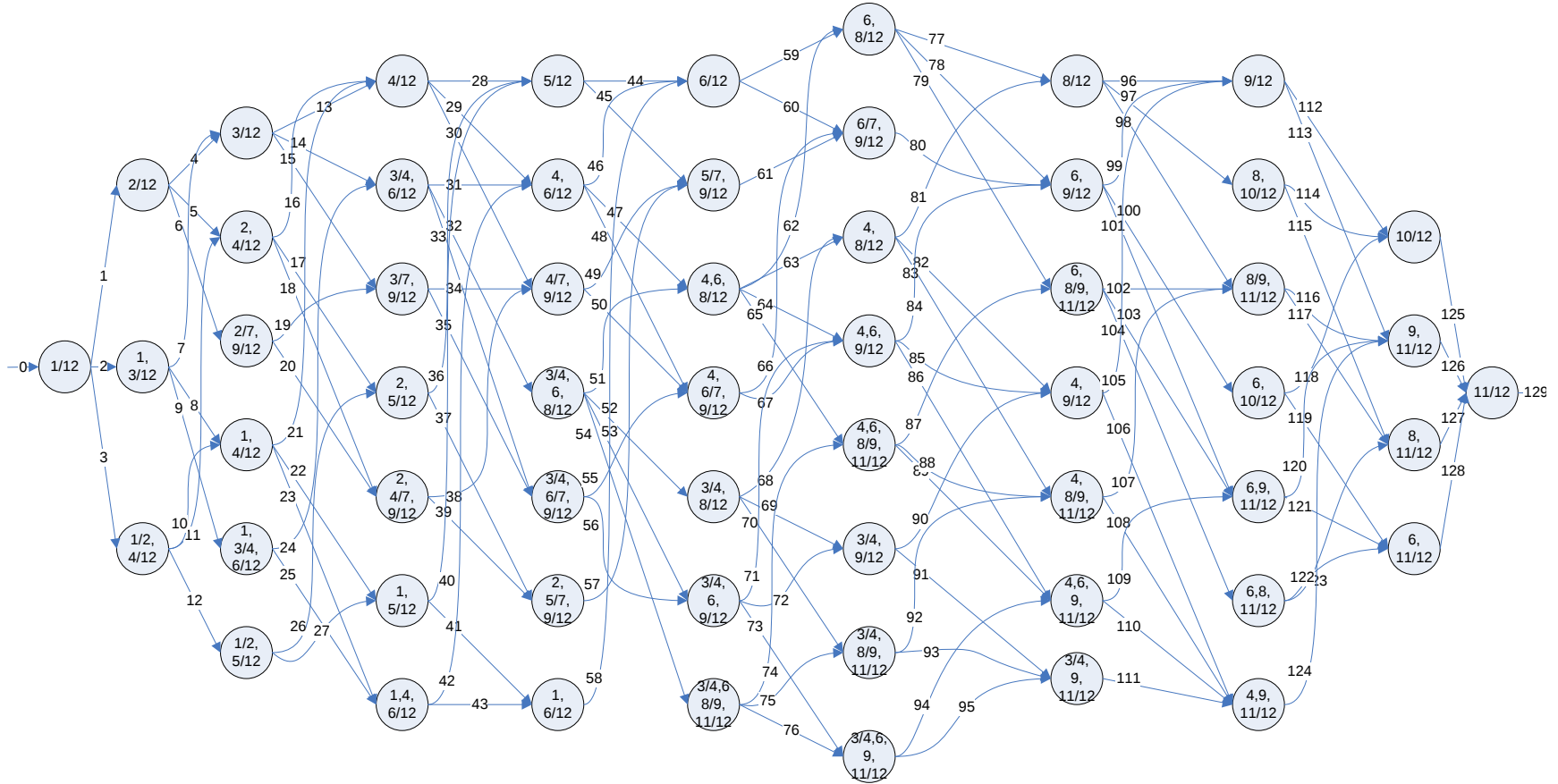
Çamaşır makinesi arka yüz demontajından sonra ürün bantta ilerleyerek ön yüzü işlem göreceğ pozisyona gelir. Çamaşır makinesi arka yüzünden demonte edilebilecek komponentler, bu komponentlerin malzeme tanımları, geri dönüşüm seçenekleri ve ağırlıkları Tablo 5.27’de gösterilmiştir.

Tablo 5.27: Çamaşır Makinesi n Yüz Komponent Verileri

Komp. No	Komp. Adı	Malzeme Tanımı	Ağırlık (kg)	Geri dönüşüm şekli	Malzeme Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir (€)
1	Tekmelik	HIPS	0,2	geri dönüşüm	0,69 €	0,14 €
2	Ön kapak	Cam, PP, ABS,Al	1,8	geri dönüşüm	0,40 €	0,72 €
3	Deterjan Kutusu	PP, ABS	0,6	geri dönüşüm	0,75 €	0,45 €
4	Pano	ABS, Elektronik kart	0,5	geri dönüşüm, gömme	0,58 €	0,29 €
5	Körük teli	Demir	0,1	geri dönüşüm	0,16 €	0,01 €
6	Körük	Kauçuk	0,8	geri dönüşüm	0,04 €	0,03 €
7	Ön duvar	Demir	1,6	geri dönüşüm	0,16 €	0,26 €
8	Pompa motoru	PP, Cu, Demir	0,6	geri dönüşüm	0,33 €	0,20 €
9	Kablo grubu	Cu, PVC	0,8	geri dönüşüm	0,33 €	0,27 €
	Alt denge					
10	ağırlığı	Beton	11	tekrar kullanım	0,55 €	0,55 €
11	Kazan grubu	PP,Demir,Diğer	14,7	geri dönüşüm	0,45 €	6,58 €
12	Gövde	Demir	12	geri dönüşüm	0,16 €	1,93 €

Bu komponentlerin üründen demonte edilme olasılıklarını gösteren demontaj ağacı ise Şekil 5.6’da oluşturulmuştur. Demontaj ağacından da görüldüğü üzere 129 olası demontaj işlemi ile çamaşır makinesinin ön yüz demontaj işlemi tamamlanabilmektedir. Optimum demontaj sırasının bulunması için her bir demontaj işleminin oluşturduğu maliyet ve gelirin hesaplanması gerekmektedir. Tablo A.3’te demontaj işlem maliyetleri ile Tablo A.4’te her bir işlemin oluşturduğu maliyet düşüldükten sonra elde edilen net gelirler hesaplanmıştır.

Her bir demontaj işlemi için elde edilecek net gelirler belirlendikten sonra yine demontaj ağacından yararlanılarak modelin kısıtları oluşturulur. Tablo 5.28’de bu kısıtlar gösterilmiştir.



Şekil 5.6: Çamaşır Makinesi Demontaj Ağacı

Tablo A.4'ten yararlanarak amaç denklemi elde edilir:

Maks $Z=(0.07 X_1+0.27 X_2+0.28 X_3-0.04 X_4+0.19 X_5-0.06 X_6+0.01 X_7+0.25 X_8-0.06 X_9-0.04 X_{10}+0.04 X_{11}-0.33 X_{12}+0.25 X_{13}-0.06 X_{14}-0.05 X_{15}+0.27 X_{16}-0.04 X_{17}-0.01 X_{18}+0.02 X_{19}+0.25 X_{20}+0.07 X_{21}-0.04 X_{22}-0.06 X_{23}+0.07 X_{24}+0.27 X_{25}+0.06 X_{26}+0.02 X_{27}-0.04 X_{28}-0.06 X_{29}-0.01 X_{30}+0.24 X_{31}-0.12 X_{32}-0.01 X_{33}+0.28 X_{34}-0.06 X_{35}-0.04 X_{36}-0.01 X_{37}+0.27 X_{38}-0.04 X_{39}+0.07 X_{40}-0.06 X_{41}+0.07 X_{42}-0.04 X_{43}-0.06 X_{44}-0.01 X_{45}-0.04 X_{46}-0.08 X_{47}-0.01 X_{48}-0.04 X_{49}-0.06 X_{50}+0.28 X_{51}-0.14 X_{52}-0.01 X_{53}+0.42 X_{54}+0.25 X_{55}-0.08 X_{56}+0.27 X_{57}+0.07 X_{58}-0.08 X_{59}-0.01 X_{60}-0.06 X_{61}-0.04 X_{62}-0.14 X_{63}-0.01 X_{64}+0.42 X_{65}-0.04 X_{66}-0.08 X_{67}+0.28 X_{68}-0.01 X_{69}+0.42 X_{70}+0.26 X_{71}-0.14 X_{72}+0.37 X_{73}+0.25 X_{74}-0.14 X_{75}-0.05 X_{76}-0.14 X_{77}-0.01 X_{78}+0.42 X_{79}-0.08 X_{80}-0.04 X_{81}-0.01 X_{82}+0.42 X_{83}-0.04 X_{84}-0.14 X_{85}+0.42 X_{86}-0.04 X_{87}-0.14 X_{88}-0.01 X_{89}+0.28 X_{90}+0.37 X_{91}+0.28 X_{92}-0.01 X_{93}+0.28 X_{94}-0.14 X_{95}-0.01 X_{96}+0.09 X_{97}+0.42 X_{98}-0.14 X_{99}+0.09 X_{100}+0.42 X_{101}-0.14 X_{102}-0.01 X_{103}+0.09 X_{104}-0.04 X_{105}+0.37 X_{106}-0.04 X_{107}-0.01 X_{108}-0.04 X_{109}-0.14 X_{110}+0.28 X_{111}+0.09 X_{112}+0.37 X_{113}-0.01 X_{114}+0.42 X_{115}-0.01 X_{116}+0.09 X_{117}-0.14 X_{118}+0.42 X_{119}-0.14 X_{120}+0.09 X_{121}-0.14 X_{122}-0.01 X_{123}-0.04 X_{124}+0.42 X_{125}+0.09 X_{126}-0.01 X_{127}-0.14 X_{128}+4.36 X_{129})$

Lindo kullanılarak elde edilen çözüm;

2-9-24-33-56-72-90-105-112-125-129 demontaj sırası elde edilmektedir.

Toplam demontaj süresi 1330 sn ve maliyet harici toplam gelir 11,42 € 'dur.

Böylelikle çamaşır makinesi demontajı toplam 1710 sn (28,5 dk) süresinde tamamlanırken toplam gelir 14,44 € olmuştur.

5.5.2 Fırın Demontaj Sırasının Belirlenmesi

Fırın demontaj sırasının belirlenmesinde bölüm 5.1'de ortaya konan akış diyagramından faydalanılacaktır. Buna göre öncelikle fırından sadece alt montaj olarak demonte edilebilen parçalar belirlenecek ve bu alt montajların daha alt birimlere parçalanma/parçalanmama kararı verilecektir. Daha sonra önce fırın arka yüzü için ve/veya grafiği oluşturulacaktır. Ardından bu grafikte ortaya çıkan her bir olası demontaj işlemi için demontaj süreleri belirlenip demontaj işlem

maliyetleri/gelirleri hesaplanacaktır. Ve/veya grafiğine göre kısıtlar ve amaç denkleminin oluşturulmasıyla da problem çözülecektir.

Tablo 5.28: Çamaşır Makinesi Ön Yüz Demontaj Problem Kısıtları

$X1+X2+X3 \leq 1$	$X10+X11+X12 \leq 1$	$X1-X4-X5-X6 \geq 0$
$X4+X5+X6 \leq 1$	$X13+X14+X15 \leq 1$	$X2-X7-X8-X9 \geq 0$
$X7+X8+X9 \leq 1$	$X16+X17+X18 \leq 1$	$X3-X10-X11-X12 \geq 0$
$X19+X20 \leq 1$	$X21+X22+X23 \leq 1$	$X4+X7-X13-X14-X15 \geq 0$
$X24+X25 \leq 1$	$X28+X29+X30 \leq 1$	$X5+X11-X16-X17-X18 \geq 0$
$X26+X27 \leq 1$	$X31+X32+X33 \leq 1$	$X6-X19-X20 \geq 0$
$X34+X35 \leq 1$	$X46+X47+X48 \leq 1$	$X8+X10-X21-X22-X23 \geq 0$
$X36+X37 \leq 1$	$X49+X50 \leq 1$	$X9-X24-X25 \geq 0$
$X38+X39 \leq 1$	$X51+X52+X53+X54 \leq 1$	$X12-X26-X27 \geq 0$
$X40+X41 \leq 1$	$X62+X63+X64+X65 \leq 1$	$X13+X16+X21-X28-X29-X30 \geq 0$
$X42+X43 \leq 1$	$X68+X69+X70 \leq 1$	$X14+X24-X31-X32-X33 \geq 0$
$X44+X45 \leq 1$	$X71+X72+X73 \leq 1$	$X15+X19-X34-X35 \geq 0$
$X55+X56 \leq 1$	$X74+X75+X76 \leq 1$	$X17+X26-X36-X37 \geq 0$
$X59+X60 \leq 1$	$X77+X78+X79 \leq 1$	$X18+X20-X38-X39 \geq 0$
$X66+X67 \leq 1$	$X81+X82+X83 \leq 1$	$X22+X27-X40-X41 \geq 0$
$X90+X91 \leq 1$	$X84+X85+X86 \leq 1$	$X23+X25-X42-X43 \geq 0$
$X92+X93 \leq 1$	$X87+X88+X89 \leq 1$	$X28+X36+X40-X44-X45 \geq 0$
$X94+X95 \leq 1$	$X96+X97+X98 \leq 1$	$X29+X31-X46-X47-X48 \geq 0$
$X105+X106 \leq 1$	$X99+X100+X101 \leq 1$	$X30+X34+X38+X42-X49-X50 \geq 0$
$X107+X108 \leq 1$	$X102+X103+X104 \leq 1$	$X97-X114-X115 \geq 0$
$X109+X110 \leq 1$	$X118+X119 \leq 1$	$X33+X35-X55-X56 \geq 0$
$X112+X113 \leq 1$	$X120+X121 \leq 1$	$X37+X39-X57 \geq 0$
$X114+X115 \leq 1$	$X122+X123 \leq 1$	$X41+X43+X46-X58 \geq 0$
$X116+X117 \leq 1$	$X70+X75-X92-X93 \geq 0$	$X44+X58-X59-X60 \geq 0$
$X98+X102+X107-X116-X117 \geq 0$		$X47+X51-X62-X63-X64-X65 \geq 0$
$X100-X118-X119 \geq 0$		$X48+X50+X55-X66-X67 \geq 0$
$X101+X103+X109-X120-X121 \geq 0$		$X52-X68-X69-X70 \geq 0$
$X104-X122-X123 \geq 0$		$X53+X56-X71-X72-X73 \geq 0$
$X45+X49+X57-X61 \geq 0$		$X54-X74-X75-X76 \geq 0$
$X59+X62-X77-X78-X79 \geq 0$		$X64+X67+X71-X84-X85-X86 \geq 0$
$X60+X61+X66-X80 \geq 0$		$X65+X74-X87-X88-X89 \geq 0$
$X63+X68-X81-X82-X83 \geq 0$		$X69+X72-X90-X91 \geq 0$
$X1+X7+X11+X21+X24+X26+X40+X42+X58 \geq 0$		
$X2+X4+X10+X16+X19+X27+X36+X38+X57 \geq 0$		
$X3+X5+X8+X13+X20+X25+X31+X34+X51+X55+X68+X71+X74+X90+X92+X94+X111 \geq 0$		
$X12+X17+X22+X28+X39+X43+X46+X49+X62+X66+X81+X84+X87+X105+X107+X109+X124 \geq 0$		
$X9+X14+X23+X29+X35+X41+X44+X50+X61 \geq 0$		
$X52+X63+X72+X75+X77+X85+X88+X95+X99+X102+X110+X118+X120+X122+X128 \geq 0$		
$X32+X47+X56+X59+X67+X80 \geq 0$		
$X6+X15+X18+X30+X33+X37+X45+X48+X53+X60+X64+X69+X76+X78+X82+X89+X93+X96+X103+X108+X114+X116+X123+X127 \geq 0$		
$X97+X100+X104+X112+X117+X121+X126 \geq 0$		
$X54+X65+X70+X73+X79+X83+X86+X91+X98+X101+X106+X113+X115+X119+X125 \geq 0$		

Daha sonra aynı işlemler fırın ön yüzü için yapılacak ve fırın optimum demontaj sırası belirlenmiş olacaktır.

5.5.2.1 Fırın Alt montajlarının Demontaj Süreçlerinin Belirlenmesi

Fırın demontajı sırasında bazı parçalar önce alt montaj şeklinde makineden alınmakta daha sonra bu alt montaj, malzeme yada komponent bazında daha küçük birimlere ayrıştırılmaktadır. Fırın demontajında bu şekilde ayrı işlem gerektiren alt montajlar Tablo 5.29’da gösterilmektedir.

Tablo 5.29: Fırın Alt montajları

Alt montaj Adı	Ürün Üzerindeki Konum
Piştirme Grubu	Arka Yüz
Üst Cam	Arka Yüz
Şebeke Kablosu	Arka Yüz
Kablo grubu ve Elektronik kart	Arka Yüz
Isıtıcı ve Isıtıcı koruma sacı	Arka Yüz
Bek tablası	Arka Yüz
Ön kapak	Ön Yüz
Fırın Düğmeleri	Ön Yüz
Motor	Ön Yüz
Fırın Ayakları	Ön Yüz

İşlemlerde kullanılan süreler alt montajların üründen demonte edilmesi sürelerini kapsamamaktadır. Bunun sebebi bu bölümde alt montajın üründen ayrıldığı öngörülmesi, ayrıldıktan sonra ek işlem görüp görmeyeceğine kararı verilmeye çalışılmasıdır. Böylelikle ürün demontaj sırası bulunurken her alt montajın optimum demontaj geliri belirlenmiş olmaktadır.

Piştirme grubu; Piştirme grubu fırın üzerinde bulunan Izgaralar, bek üstü saçlar ve alüminyum beklerden oluşmaktadır. Tablo 5.30’da bu iş için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak piştirme grubunun alt birimlere ayrıştırılmasına karar verilmiştir.

Tablo 5.30: Pişirme Grubu Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
pişirme grubu	2,17	0,128	0,278	0,0015	10	0,015
ızgaralar ve bek saçları	1,78	0,161	0,287			
Bekler	0,39	0,889	0,34671			

$$\text{Demontaj Geliri} = (\text{Gelir}_{\text{bekler}} + \text{Gelir}_{\text{ızgaralar}} - \text{Gelir}_{\text{pişirme grubu}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}})$$

$$= 0,34671 + 0,287 - 0,278 - 0,015$$

$$= +0,341 \text{ €}$$

Üst cam; Üst cam, cam ve alüminyum tutamak parçalarından oluşmaktadır. Tablo 5.31’de bu iş için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak üst cam grubunun alt birimlere ayrıştırılmasına karar verilmiştir.

Tablo 5.31: Üst Cam demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Üst cam	3,18	0,0388	0,123384	0,0015	20	0,03
Cam	2,9	0,039	0,113			
Alüminyum	0,28	0,889	0,249			

$$\text{Demontaj Geliri} = (\text{Gelir}_{\text{Al}} + \text{Gelir}_{\text{cam}} - \text{Gelir}_{\text{üst cam}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}})$$

$$= 0,249 + 0,113 - 0,1233 - 0,03$$

$$= +0,208 \text{ €}$$

Şebeke kablosu: Şebeke kablosu çamaşır makinesi analizinde görüldüğü gibi ayrıştırılma zorluğundan alt parçalara ayrıştırılmamaktadır.

Kablo grubu ve Elektronik kart: Kablo grubu çamaşır makinesi analizinde görüldüğü gibi ayrıştırılma zorluğundan alt parçalara ayrıştırılmayacaktır. Elektronik kart ise yasal zorunluluk gereği kablo grubundan ayrılıp çevreye zarar verilmeyecek şekilde yok edilmelidir.

Isıtıcı ve Isıtıcı koruma sacı: Isıtıcı grubu, daha alt parçalara ayrılamayan ısıtıcı (demir ağırlıklı malzeme) ile koruma sacından oluşmaktadır. Tablo 5.32’de bu iş için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak ısıtıcı grubunun alt birimlere ayrıştırılmasına karar verilmiştir.

Tablo 5.32: Isıtıcı ve Isıtıcı Koruma Sacı Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
ısıtıcı grubu	1,23	0,128	0,15744	0,0015	5	0,0075
ısıtıcı	0,53	0,128	0,068			
koruma sacı	0,7	0,161	0,113			

$$\begin{aligned}
 \text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{koruma sacı}} + \text{Gelir}_{\text{ısıtıcı}} - \text{Gelir}_{\text{ısıtıcı grubu}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
 &= 0,113 + 0,068 - 0,157 - 0,0075 \\
 &= +0,016 \text{ €}
 \end{aligned}$$

Bek tablası: Bek tablasını oluşturan komponentler ve özellikleri tabloda gösterilmiştir. Tablo 5.33’te bu iş için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak bek tablasının alt birimlere ayrıştırılmamasına karar verilmiştir.

Tablo 5.33: Bek Tablası Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Bek tablası	2,1	0,128	0,2688	0,0015	360	0,54
Bakır	0,085	1,440	0,122			
Alüminyum	0,335	0,889	0,298			
Demir	1,68	0,161	0,270			

$$\begin{aligned}
 \text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{Al}} + \text{Gelir}_{\text{Bakır}} + \text{Gelir}_{\text{demir}} - \text{Gelir}_{\text{bek tablası}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
 &= 0,27 + 0,298 + 0,122 - 0,2688 - 0,54 \\
 &= -0,118 \text{ €}
 \end{aligned}$$

Ön Kapak: Ön kapağı oluşturan komponentler ve özellikleri tabloda gösterilmiştir. Tablo 5.34'te bu iş için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak ön kapağın alt birimlere ayrıştırılmasına karar verilmiştir.

Tablo 5.34: Ön kapak Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Ön Kapak	6,8	0,128	0,3712	0,0015	100	0,15
Demir	2,9	0,161	0,467			
Cam	3,9	0,039	0,151			

$$\begin{aligned}
 \text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{Fe}} + \text{Gelir}_{\text{Cam}} - \text{Gelir}_{\text{ön kapak}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
 &= 0,151 + 0,467 - 0,3712 - 0,15 \\
 &= +0,097 \text{ €}
 \end{aligned}$$

Fırın Düğmeleri: Fırın düğmelerini oluşturan komponentler ve özellikleri tabloda gösterilmiştir. Tablo 5.35'de bu iş için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak fırın düğmelerinin alt birimlere ayrıştırılmamasına karar verilmiştir.

Tablo 5.35: Fırın Düğmeleri Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Düğmeler	0,12	0,128	0,01536	0,0015	120	0,18
ABS	0,11	1,000	0,110			
Demir	0,01	0,161	0,002			

$$\begin{aligned}
 \text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{ABS}} + \text{Gelir}_{\text{Fe}} - \text{Gelir}_{\text{düğme}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
 &= 0,002 + 0,110 - 0,01536 - 0,18 \\
 &= -0,084 \text{ €}
 \end{aligned}$$

Motor: Motoru oluşturan komponentler ve özellikleri tabloda gösterilmiştir. Tablo 5.36’da bu iş için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak motorun alt birimlere ayrıştırılmamasına karar verilmiştir.

Tablo 5.36: Motor Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Motor	0,554	0,333	0,1998	0,0015	150	0,225
Demir	0,434	0,161	0,072			
Bakır	0,12	1,722	0,258			

$$\begin{aligned}
 \text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{Fe}} + \text{Gelir}_{\text{Cu}} - \text{Gelir}_{\text{motor}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
 &= 0,258 + 0,072 - 0,1998 - 0,225 \\
 &= -0,094 \text{ €}
 \end{aligned}$$

Fırın Ayakları: Fırın ayaklarını oluşturan komponentler ve özellikleri tabloda gösterilmiştir. Tablo 5.37’de bu iş için harcanan maliyet ve elde edilebilecek gelir kıyaslaması yapılmış sonuç olarak fırın ayaklarının alt birimlere ayrıştırılmamasına karar verilmiştir.

Tablo 5.37: Fırın Ayakları Demontaj Analizi

	Ağırlığı	Birim Fiyatı (€)	Toplam Gelir	Birim söküm maliyeti(sn)	Söküm süresi (sn)	Toplam Söküm Maliyeti
Ayak	0,068	0,128	0,008704	0,0015	120	0,18
Demir	0,58	0,161	0,093			
PP	0,1	0,694	0,069			

$$\begin{aligned}
 \text{Demontaj Geliri} &= (\text{Gelir}_{\text{Fe}} + \text{Gelir}_{\text{PP}} - \text{Gelir}_{\text{fırın ayakları}} - \text{Maliyet}_{\text{demontaj}}) \\
 &= 0,069 + 0,093 - 0,0087 - 0,18 \\
 &= -0,026 \text{ €}
 \end{aligned}$$

5.5.2.2 Fırın Arka Yüzünün Demontaj Sırasının Belirlenmesi

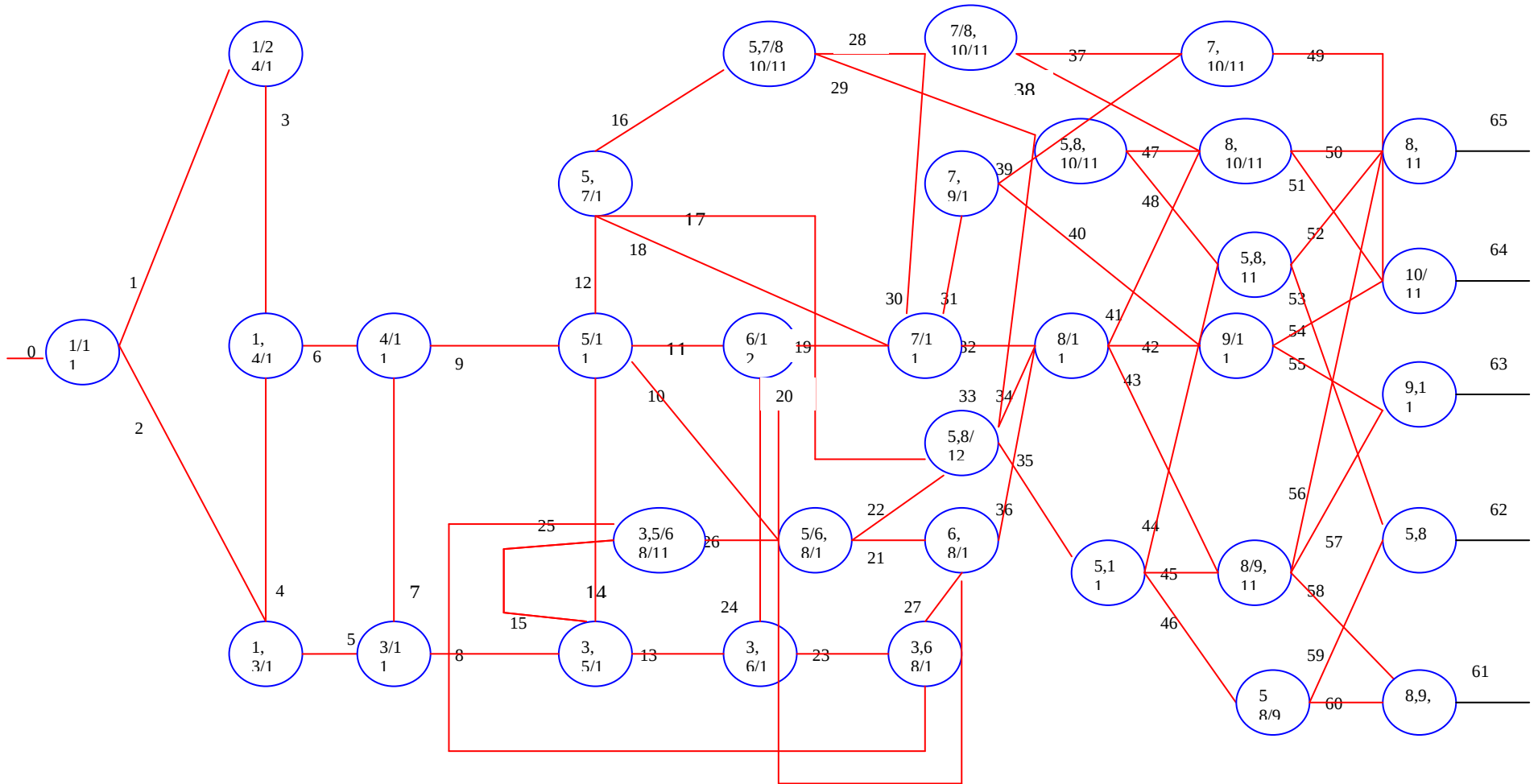
Fırın arka yüzünden demonte edilebilecek komponentler, bu komponentlerin malzeme cinsleri, malzeme tanımları, ve ağırlıkları Tablo 5.38’de gösterilmiştir.

Tablo 5.38: Fırın Arka Yüz Komponent Verileri

Komp. No	Komp. Adı	Malzeme Tanımı	Ağırlık (kg)	Alt montaj Toplam Gelir
1	Piştirme Grubu	Fe, Al	2,17 €	0,63 €
2	Üst Cam	Cam, Al	3,18 €	0,36 €
3	Şebeke kablosu	Cu, Plastik	0,23 €	0,08 €
4	Üst tabla	Demir	2,90 €	0,47 €
5	Bek tablası	Cu,Al,Fe	2,10 €	0,27 €
6	Arka duvar	Demir	2,40 €	0,39 €
7	Yan Duvar	Demir	5,00 €	0,81 €
8	Elektronik Aksam	Cu,,Fe, Elektronik Kart	0,57 €	0,16 €
9	Denge ağırlığı	Beton	3,80 €	0,56 €
10	İzolasyon	İzocam	1,40 €	0,78 €
11	Isıtıcı ve Koruma Sacı	Plastik, Demir	1,23 €	0,18 €

Bu komponentlerin üründen demonte edilme olasılıklarını gösteren demontaj ağacı ise şekil 5.7’de görülmektedir. Demontaj ağacından da görüldüğü üzere 65 olası demontaj işlemi ile fırın arka yüz demontaj işlemi tamamlanabilmektedir. Optimum demontaj sırasının bulunması için her bir demontaj işleminin oluşturduğu maliyet ve gelirin hesaplanması gerekmektedir. Ek B’de Tablo B.1’de demontaj işlem maliyetleri ile Tablo B.2’de her bir işlemin oluşturduğu maliyet düşüldükten sonra elde edilen net gelirler hesaplanmıştır. Her bir demontaj işlemi için elde edilecek net gelirler belirlendikten sonra yine demontaj ağacından yararlanılarak modelin kısıtları oluşturulur. Tablo 5.39’da bu kısıtlar görülmektedir. Amaç denklemi ise aşağıdaki gibi oluşur;

$$\begin{aligned} \text{Maks } Z = & (0.003 X_1 - 0.085 X_2 - 0.107 X_3 - 0.012 X_4 + 0.289 X_5 + 0.267 X_6 - 0.012 X_7 \\ & + 0.029 X_8 + 0.015 X_9 + 0.077 X_{10} - 0.066 X_{11} - 0.031 X_{12} - 0.081 X_{13} + 0.003 X_{14} \\ & + 0.062 X_{15} + 1.542 X_{16} + 0.062 X_{17} + 0.003 X_{18} - 0.031 X_{19} + 0.077 X_{20} - 0.066 \\ & X_{21} - 0.031 X_{22} + 0.077 X_{23} + 0.003 X_{24} - 0.066 X_{25} + 0.003 X_{26} + 0.003 X_{27} - \\ & 0.066 X_{28} + 0.077 X_{29} + 1.542 X_{30} + 0.053 X_{31} + 0.077 X_{32} + 1.542 X_{33} - 0.066 X_{34} \\ & + 0.311 X_{35} - 0.031 X_{36} + 0.068 X_{37} + 0.077 X_{38} + 1.556 X_{39} + 0.077 X_{40} + 1.542 \\ & X_{41} + 0.053 X_{42} + 0.311 X_{43} + 1.556 X_{44} - 0.066 X_{45} + 0.008 X_{46} - 0.066 X_{47} \\ & + 0.311 X_{48} + 0.077 X_{49} + 0.311 X_{50} + 0.053 X_{51} - 0.066 X_{52} + 0.008 X_{53} + 1.556 \\ & X_{54} + 0.311 X_{55} + 1.542 X_{56} + 0.068 X_{57} - 0.006 X_{58} + 1.556 X_{59} - 0.066 X_{60} \\ & + 1.639 X_{61} + 0.002 X_{62} + 1.565 X_{63} + 0.319 X_{64} + 0.076 X_{65}) \end{aligned}$$



Şekil 5.7: Fırın Arka Yüz Demontaj Ağacı

Tablo 5.39: Fırın Arka Yüz Demontaj Problemi Kısıtları

$X1+X2 \leq 1$	$X1-X3 \geq 0$
$X4+X5 \leq 1$	$X2-X4-X5 \geq 0$
$X7+X8 \leq 1$	$X3+X4-X6 \geq 0$
$X9+X10 \leq 1$	$X6+X7-X9 \geq 0$
$X13+X14+X15 \leq 1$	$X5-X7-X8 \geq 0$
$X10+X11+X12 \leq 1$	$X8-X13-X14-X15 \geq 0$
$X16+X17+X18 \leq 1$	$X9+X14-X10-X11-X12 \geq 0$
$X25+X26 \leq 1$	$X12-X16-X17-X18 \geq 0$
$X23+X24 \leq 1$	$X15-X25-X26 \geq 0$
$X19+X20 \leq 1$	$X13-X23-X24 \geq 0$
$X28+X29 \leq 1$	$X11+X24-X19-X20 \geq 0$
$X21+X22 \leq 1$	$X16-X28-X29 \geq 0$
$X33+X34+X35 \leq 1$	$X10+X26-X21-X22 \geq 0$
$X30+X31+X32 \leq 1$	$X23+X25-X27 \geq 0$
$X39+X40 \leq 1$	$X20+X21+X27-X36 \geq 0$
$X37+X38 \leq 1$	$X17+X22-X33-X34-X35 \geq 0$
$X44+X45+X46 \leq 1$	$X18+X19-X30-X31-X32 \geq 0$
$X41+X42+X43 \leq 1$	$X31-X39-X40 \geq 0$
$X47+X48 \leq 1$	$X28+X30-X37-X38 \geq 0$
$X59+X60 \leq 1$	$X35-X44-X45-X46 \geq 0$
$X56+X57+X58 \leq 1$	$X32+X34+X36-X41-X42-X43 \geq 0$
$X54+X55 \leq 1$	$X29+X33-X47-X48 \geq 0$
$X52+X53 \leq 1$	$X46-X59-X60 \geq 0$
$X50+X51 \leq 1$	$X43+X45-X56-X57-X58 \geq 0$
$X37+X39-X49 \geq 0$	$X40+X42-X54-X55 \geq 0$
$X58+X60-X61 \geq 0$	$X44+X48-X52-X53 \geq 0$
$X53-X59-X62 \geq 0$	$X38+X41+X47-X50-X51 \geq 0$
$X55+X57-X63 \geq 0$	$X50+X52+X56-X65 \geq 0$
$X6+X7 \leq 1$	$X2+X3 \leq 1$
$X8+X9 \leq 1$	$X12+X19+X22 \leq 1$
$X1+X4+X7+X14+X24+X26+X27 \leq 1$	
$X11+X13+X18+X21+X25+X28+X34+X45+X47+X52+X60+X62 \leq 1$	
$X10+X15+X17+X20+X23+X29+X32+X36+X38+X40+X49 \leq 1$	
$X31+X37+X42+X51+X57+X61+X62+X65 \leq 1$	
$X16+X30+X33+X39+X41+X44+X54+X56+X59+X61+X63 \leq 1$	
$X35+X43+X48+X50+X55+X64 \leq 1$	
$X46+X53+X58+X63+X64+X65 \leq 1$	

Ek B’de verilen Tablo B.2’den yararlanarak amaç denklemi oluşturulur;

Lindo kullanılarak elde edilen çözüm; 2-5-8-14-12-18-32-43-57-63 demontaj sırasını vermektedir. Toplam demontaj süresi 590 sn ve maliyet harici toplam gelir 4,67 € ‘dur.

5.5.2.3 Fırın Ön Yüzünün Demontaj Sırasının Belirlenmesi

Fırın arka yüz demontajından sonra bantta ilerleyerek ön yüzü işlem görecektir pozisyona gelir. Fırın ön yüzünden demonte edilebilecek komponentler, bu komponentlerin malzeme tanımları, geri dönüşüm seçenekleri ve ağırlıkları Tablo 5.40’da görülmektedir. Bu komponentlerin üründen demonte edilme olasılıklarını gösteren demontaj ağacı ise Şekil 5.8’de görülmektedir.

Tablo 5.40: Fırın Ön Yüz Komponent Verileri

Komp. No	Komp. Adı	Malzeme Tanımı	Ağırlık (kg)	Geri dönüşüm şekli	Malzeme birim fiyatı (€)	Toplam Gelir (€)
1	Ön kapak	Demir, Cam	6,8	geri dönüşüm	0,09 €	0,62 €
2	Düğmeler	ABS, Demir	0,12	geri dönüşüm	0,13 €	0,02 €
3	Lastik	Lastik	0,1	geri dönüşüm	0,04 €	0,002 €
4	Tepsiler	Demir	3,2	geri dönüşüm	0,16 €	0,52 €
5	Lamba	Karışık	0,1	geri dönüşüm	-0,06 €	0,00 €
6	Motor koruma sacı	Demir	1,3	geri dönüşüm	0,16 €	0,21 €
7	motor	Demir, Bakır	0,6	geri dönüşüm	0,33 €	0,18 €
8	Rezistans	Karışık	0,5	geri dönüşüm	0,13 €	0,06 €
9	Gövde ayak	PP, Demir	0,1	geri dönüşüm	0,13 €	0,01 €
10	Gövde	Demir	12,4	geri dönüşüm	0,16 €	2,00 €

Tüm bu demontaj işlemleri için demontaj maliyetleri ve malzeme gelirleri hesaplanmalı ve modele aktarılmalıdır. Optimum demontaj sırasının bulunması için her bir demontaj işleminin oluşturduğu maliyet ve gelirin hesaplanması gerekmektedir. Ek B’de Tablo B.3’te demontaj işlem maliyetleri ile Tablo B.4’te her bir işlemin oluşturduğu maliyet düşüldükten sonra elde edilen net gelirler hesaplanmıştır.

Her bir demontaj işlemi için elde edilecek net gelirler belirlendikten sonra yine demontaj ağacından yararlanılarak modelin kısıtları oluşturulur. Tablo 5.41’de bu kısıtlar görülmektedir.

Tablo 5.41: Fırın Ön Yüz Demontaj Problem Kısıtları

$X1+X2 \leq 1$	$X5+X6-X13-X14 \geq 0$
$X3+X4+X5 \leq 1$	$X7+X13-X15-X16-X17 \geq 0$
$X7+X8+X9+X10 \leq 1$	$X8+X11-X18-X19-X20 \geq 0$
$X11+X12 \leq 1$	$X9-X21-X22-X23 \geq 0$
$X13+X14 \leq 1$	$X10-X24-X25-X26-X27-X28 \geq 0$
$X15+X16+X17 \leq 1$	$X12+X14-X29 \geq 0$
$X18+X19+X20 \leq 1$	$X15+X24-X30-X31-X32-X33 \geq 0$
$X21+X22+X23 \leq 1$	$X16+X21-X34-X35 \geq 0$
$X24+X25+X26+X27+X28 \leq 1$	$X17+X18+X29-X36-X37 \geq 0$
$X30+X31+X32+X33 \leq 1$	$X19+X22-X38-X39 \geq 0$
$X34+X35 \leq 1$	$X20+X25-X40-X41-X42-X43 \geq 0$
$X36+X37 \leq 1$	$X23+X26-X44-X45-X46-X47 \geq 0$
$X38+X39 \leq 1$	$X27-X48-X49-X50 \geq 0$
$X40+X41+X42+X43 \leq 1$	$X28-X51-X52-X53-X54 \geq 0$
$X44+X45+X46+X47 \leq 1$	$X30+X36+X40-X55-X56-X57 \geq 0$
$X48+X49+X50 \leq 1$	$X31+X34+X44-X58-X59-X60 \geq 0$
$X51+X52+X53+X54 \leq 1$	$X32+X49-X61-X62-X63 \geq 0$
$X55+X56+X57 \leq 1$	$X33+X51-X64-X65-X66 \geq 0$
$X58+X59+X60 \leq 1$	$X35+X37+X38-X67 \geq 0$
$X61+X62+X63 \leq 1$	$X39+X41+X45-X68-X69-X70 \geq 0$
$X64+X65+X66 \leq 1$	$X42+X48-X71-X72-X73 \geq 0$
$X68+X69+X70 \leq 1$	$X43+X52-X74-X75-X76 \geq 0$
$X71+X72+X73 \leq 1$	$X46+X50-X77-X78-X79 \geq 0$
$X74+X75+X76 \leq 1$	$X47+X53-X80-X81-X82 \geq 0$
$X77+X78+X79 \leq 1$	$X54-X83-X84-X85 \geq 0$
$X80+X81+X82 \leq 1$	$X55+X64+X74-X86-X87 \geq 0$
$X83+X84+X85 \leq 1$	$X56+X61+X71-X88-X89 \geq 0$
$X86+X87 \leq 1$	$X57+X58+X67+X68-X90 \geq 0$
$X88+X89 \leq 1$	$X59+X62+X77-X91-X92 \geq 0$
$X91+X92 \leq 1$	$X60+X65+X80-X93-X94 \geq 0$
$X93+X94 \leq 1$	$X63+X66+X83-X95-X96 \geq 0$
$X95+X96 \leq 1$	$X69+X72+X78-X97-X98 \geq 0$
$X97+X98 \leq 1$	$X70+X75+X81-X99-X100 \geq 0$
$X99+X100 \leq 1$	$X73+X76+X84-X101-X102 \geq 0$
$X101+X102 \leq 1$	$X79+X82+X85-X103-X104 \geq 0$
$X103+X104 \leq 1$	$X86+X88+X95+X101-X105 \geq 0$
$X1+X6 \leq 1$	$X87+X93+X99-X106 \geq 0$
$X1-X3-X4-X5 \geq 0$	$X89+X90+X91+X97-X107 \geq 0$
$X2-X6 \geq 0$	$X92+X94+X96+X104-X108 \geq 0$
$X3-X7-X8-X9-X10 \geq 0$	$X98+X100+X102+X103-X109 \geq 0$
$X4-X11-X12 \geq 0$	$X105+X106+X107+X108+X109-X110 \geq 0$
$X2+X5+X7+X12+X18+X21+X24+X38+X40+X44+X49+X51+X68+X71+X74+X77+X80+X83+X97+X99+X101+X104+X109 \leq 1$	
$X4+X8+X14+X17+X22+X25+X30+X35+X45+X48+X52+X58+X61+X64+X78+X81+X84+X91+X93+X95+X103+X108 \leq 1$	
$X3+X11+X13+X29 \leq 1$	
$X9+X16+X19+X26+X31+X37+X41+X50+X53+X57+X62+X65+X72+X75+X85+X87+X89+X96+X102+X105 \leq 1$	
$X10+X15+X20+X23+X34+X36+X39+X67 \leq 1$	
$X27+X32+X42+X46+X54+X56+X59+X66+X69+X76+X82+X86+X90+X94+X100+X106 \leq 1$	

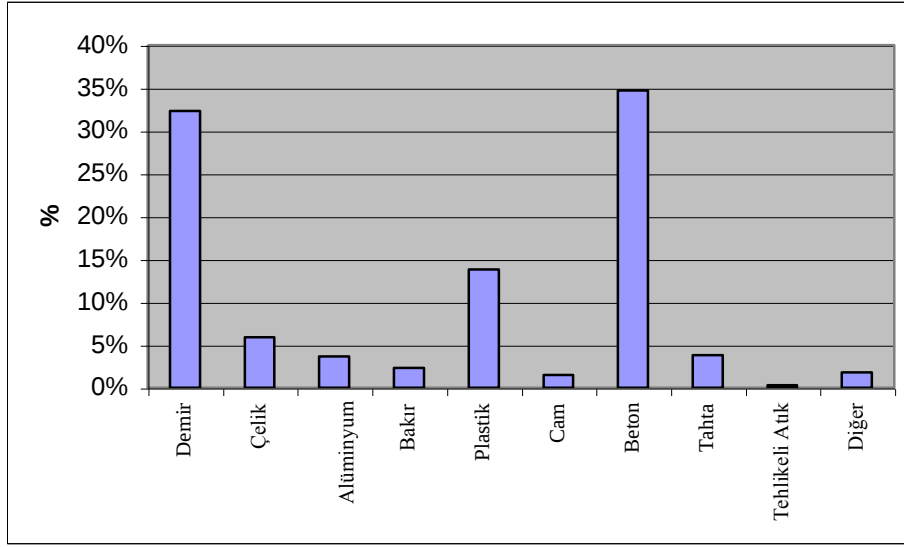
Amaç denklemini de demontaj işlem gelirleri tablosundan yararlanarak model tamamlanmış olmaktadır. Maks $Z = (0.07X_1 - 0.08X_2 + 0.03X_3 - 0.05X_4 - 0.08X_5 + 0.06X_6 - 0.08X_7 - 0.05X_8 - 0.07X_9 - 0.02X_{10} + 0.02X_{11} - 0.08X_{12} + 0.02X_{13} - 0.05X_{14} - 0.02X_{15} - 0.07X_{16} - 0.05X_{17} - 0.08X_{18} - 0.07X_{19} - 0.03X_{20} - 0.07X_{21} - 0.04X_{22} - 0.02X_{23} - 0.07X_{24} - 0.05X_{25} - 0.06X_{26} + 0.02X_{27} - 0.09X_{28} + 0.03X_{29} - 0.03X_{30} - 0.06X_{31} + 0.03X_{32} - 0.09X_{33} - 0.02X_{34} - 0.03X_{35} - 0.02X_{36} - 0.06X_{37} - 0.07X_{38} - 0.02X_{39} - 0.07X_{40} - 0.06X_{41} + 0.03X_{42} - 0.09X_{43} - 0.07X_{44} - 0.03X_{45} + 0.03X_{46} - 0.09X_{47} - 0.03X_{48} - 0.07X_{49} - 0.06X_{50} - 0.08X_{51} - 0.05X_{52} - 0.07X_{53} + 0.17X_{54} - 0.09X_{55} + 0.03X_{56} - 0.06X_{57} - 0.03X_{58} + 0.03X_{59} - 0.09X_{60} - 0.03X_{61} - 0.06X_{62} - 0.09X_{63} - 0.03X_{64} - 0.11X_{65} + 0.03X_{66} - 0.02X_{67} - 0.07X_{68} + 0.03X_{69} - 0.02X_{70} - 0.07X_{71} - 0.06X_{72} - 0.02X_{73} - 0.07X_{74} - 0.06X_{75} + 0.03X_{76} - 0.07X_{77} - 0.03X_{78} - 0.02X_{79} - 0.07X_{80} - 0.03X_{81} + 0.03X_{82} + 0.05X_{83} - 0.05X_{84} - 0.07X_{85} + 0.17X_{86} - 0.06X_{87} - 0.09X_{88} - 0.06X_{89} + 0.03X_{90} - 0.09X_{91} - 0.09X_{92} - 0.03X_{93} + 0.03X_{94} - 0.03X_{95} - 0.06X_{96} - 0.07X_{97} - 0.03X_{98} - 0.07X_{99} + 0.03X_{100} + 0.05X_{101} - 0.06X_{102} - 0.03X_{103} - 0.07X_{104} - 0.06X_{105} + 0.16X_{106} - 0.1X_{107} - 0.05X_{108} - 0.08X_{109} + 0.34X_{110})$ Lindo programı, çözümü ;1-3-10-28-54-83-95-105-110 sırası olarak vermektedir. Toplam demontaj süresi, 475 sn ve demontaj maliyeti harici toplam gelir 3,61 € dur.

5.6 Parçalama Esaslı Sistem Geri Dönüşüm Gelirlerinin Belirlenmesi

Parçalama esaslı geri dönüşüm sistemlerinde ürünler demir bazlı ve demir bazlı olmayan metaller olarak ayrılmakta üründen çıkan diğer malzemeler ise değerlendirilememektedir. Çamaşır Makinesi malzeme oranları ve geri dönüşüm geliri Tablo 5.42’de ve Şekil 5.9’da verilmiştir.

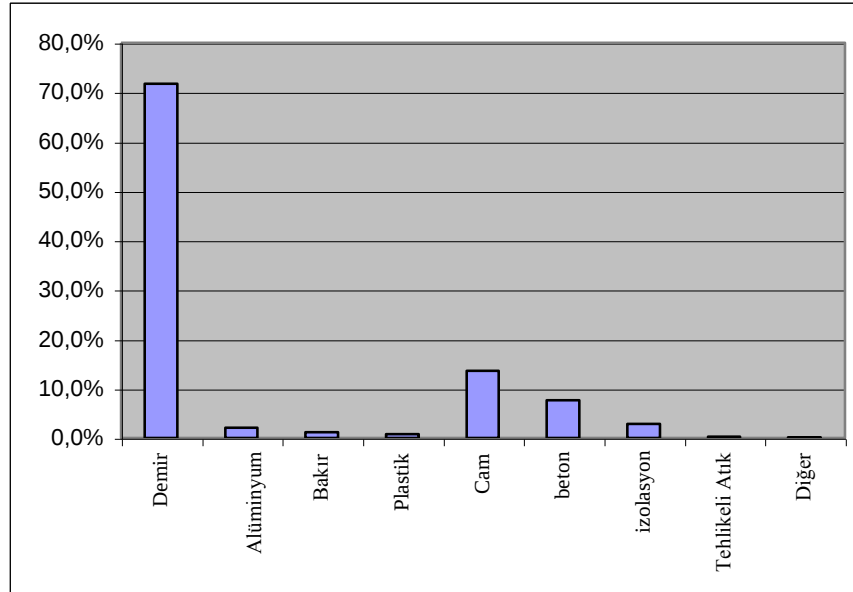
Tablo 5.42: Çamaşır makinesi malzeme miktarları ve gelirleri

	Ağırlık (kg)	Birim satış fiyatı(€)	Toplam Gelir(€)
Demir bazlı Metaller	25,3		4,07 €
Demir	21,4	0,16 €	3,45 €
Çelik	3,9	0,16 €	0,63 €
Demir harici metaller	3,95		4,80 €
Alüminyum	2,4	0,89 €	2,13 €
Bakır	1,55	1,72 €	2,67 €
Plastik	9,15	0,00 €	0,00 €
Cam	1	0,00 €	0,00 €
Beton	23	0,00 €	0,00 €
Tahta	2,5	0,00 €	0,00 €
Elektronik kart	0,2	-0,06 €	-0,01 €
Diğer	1,2	0,00 €	0,00 €
TOPLAM	66,3		8,86 €



Şekil 5.9: Çamaşır makinesi malzeme oranları

Fırın malzeme oranları ve geri dönüşüm geliri Tablo 5.43 ve Şekil 5.10'da Verilmiştir.



Şekil 5.10: Fırın malzeme oranları

Tablo 5.43: Fırın malzeme miktarları ve gelirleri

	Ağırlık (kg)	Birim satış fiyatı(€)	Toplam Gelir(€)
Demir bazlı Metaller	35,882		5,78 €
Demir	35,882	0,16 €	5,78 €
Demir harici metaller	1,56		1,85 €
Alüminyum	1,005	0,89 €	0,89 €
Bakır	0,555	1,72 €	0,96 €
Plastik	0,37	0,00 €	0,00 €
Cam	6,8	0,00 €	0,00 €
beton	3,8	0,00 €	0,00 €
izolasyon	1,4	0,00 €	0,00 €
Tehlikeli Atık	0,145	-0,06 €	-0,01 €
Diğer	0,058	0,00 €	0,00 €
TOPLAM	50,0		7,54 €

5.7 Geri Dönüşüm Oranlarının Kıyaslanması

Lineer programlama ile elde edilen demontaj sırasına göre manuel demontajda çamaşır makinesinde elektronik kart gömülmekte, motor, kablo grubu, şebeke kablosu, pompa motoru, üst tabla, ventil ve rezistans ayrıştırılmamaktadır. Elde edilen geri dönüşüm oranı %85,6 olmaktadır. Fırın demontajında ise elektronik kart ve lamba gömülmekte, şebeke kablosu, kablo grubu, bek tablası, ısıtıcılar, düğmeler, motor ve gövde ayakları geri dönüştürülmemektedir. Geri dönüşüm oranı ise %90,6 olmaktadır. Parçalama esaslı sistemler ulaşılan geri dönüşüm oranları ise sırasıyla çamaşır makinesi için %44,1, fırın için ise %74,9 olmaktadır. Manuel demontaj esaslı geri dönüşüm sistemlerinde elde edilen geri dönüşüm oranları parçalama esaslı sistemde elde edilenlere nazaran daha yüksek olmaktadır. Ayrıca manuel demontaj sisteminde istenildiği takdirde geri dönüşüm oranı optimum demontaj sırasından vazgeçilerek arttırılabilir ancak parçalama esaslı sistemlerde böyle bir esneklik söz konusu değildir. Tablo 5.44’de geri dönüşüm sistemlerine göre elde edilen ürün geri dönüşüm oranları belirtilmiştir.

Tablo 5.44: Ürün geri dönüşüm oranları

	Çamaşır Makinesi	Fırın
Parç. Esaslı Sistem	44,1%	74,9%
Manuel Sistem	85,6%	90,6%

6. GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ KARŞILAŞTIRMASI

Bu bölümde gelir ve maliyetleri hesaplanan manuel demontaj ve parçalama esaslı geri dönüşüm sistemlerinin karşılaştırması yapılacaktır. Elektrikli elektronik ekipman atıkları direktifinin öngördüğü toplama hedefleri baz alınarak sırasıyla 0,5 kg, 1 kg, 2 kg, 4 kg toplama hedefi durumları incelenecektir. Tablo 6.1’de manuel demontaj ve parçalama esaslı sistemlerin teorik ve gerçek kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 6.1: Geri dönüşüm sistem kapasiteleri

		Geri Dönüştürme Süreci (sn)	Ürünlerin Yüzde Oranı	Ortalama Ürün İşlem Süresi	Yıllık Çalışma Süresi (sn)	Teorik Kapasite	Verim Oranı	Gerçek Kapasite (adet)
Manuel Sistem	Çamaşır makinesi	1330	70%	1250,5	24.300.000	136.026	73,50%	100.000
	Fırın	1065	30%					
Parç. Esaslı Sistem	Çamaşır makinesi	60	70%	60	24.300.000	405.000	98,77%	400.000
	Fırın	60	30%					

Tablo 6.2’de sistem içinde geri dönüştürülecek çamaşır makinesi ve fırın miktarları hesaplanmıştır. Tablo 6.3’de ise geri dönüşüm sistemlerinde elde edilen birim ürün gelirleri gösterilmiştir.

Tablo 6.2: Toplama Hedefine Göre Talep Miktarları

Toplam Geri Dönüştürülecek Atık Miktarı (kg)		Geri Dönüştürülecek Çamaşır Makinesi Adedi	Geri Dönüştürülecek Fırın Adedi
0,5 kg Hedefi	18.450.421	210.000	90.000
1 kg Hedefi	36.900.843	420.000	180.000
2 kg Hedefi	73.801.685	840.000	360.000
4 kg Hedefi	147.603.370	1.680.000	720.000

Tablo 6.3: Geri Dönüşüm Sistemlerin Ürün Gelirleri

Manuel Demontaj		Parçalama Esaslı Sistem	
Çamaşır Makinesi	Fırın	Çamaşır Makinesi	Fırın
11,42 €	8,28 €	8,86 €	7,54 €

6.1 0,5 Kg Toplama Hedefi Geri Dönüşüm Sistem Karşılaştırması

0,5 kg toplama hedefinin gerçekleştirilmesi için toplanması gereken ürün miktarları çamaşır makinesi ve fırın için sırasıyla 210.000 ve 90.000 adettir.

Dolayısıyla sistemlerin kapasiteleri ile kıyaslandığında 3 adet manuel sistemin bu hedefi karşılamak için kurulması gerekirken parçalama esaslı sistemde 1 adet sistem %25 boş kapasite ile çalışacaktır. Parçalama Esaslı sistemlerde yapılan ürün sayısı ile orantılı olan değişken maliyetler de göz önünde bulundurulduğunda ortaya çıkan görüntü Tablo 6.4 ve 6.5’de özetlenmiştir.

5. bölümde hesaplanan maliyetler bu bölümde kapasite oranında değiştirilmiştir. Manuel demontaj sisteminde genel olarak tüm maliyetler üçe katlanmıştır. Sadece yönetim maliyetlerinde yönetici sayısının sabit kalacağı varsayılmıştır.

Parçalama esaslı sistemlerde ise inşaa ve altyapı maliyetlerinde açık alanlar, direkt işçilik, yedek parça, enerji, yönetim maliyetlerinde ofis mefruşat ve işletme malzemesi maliyetleri % 25 oranında azalmıştır. Burada ayrıca geri dönüştürülecek ürün sayısı da belirlendiğinden lojistik ve ürün toplama maliyetleri de eklenmiştir. Tablo 6.4’de 0,5 kg toplama hedefine göre birim maliyet ve gelirler gösterilmiş, Tablo 6.5’de ise toplama hedefine göre ortaya çıkan net kar/zarar hesaplanmıştır.

Tablo 6.4: 0,5 kg toplama hedefine göre birim gelir ve maliyetler

	Birim İşlem Maliyeti	Birim Toplama Maliyeti	Birim Lojistik Maliyeti	Birim Ürün Malzeme Geliri
Parç. Esaslı Sistem	3,34 €	10 €	7 €	8,46 €
Manuel Sistem	3,77 €	10 €	5 €	10,48 €

6.2 1 Kg Toplama Hedefi Geri Dönüşüm Sistem Karşılaştırması

1 kg toplama hedefinin gerçekleştirilmesi için toplanması gereken ürün miktarları çamaşır makinesi ve fırın için sırasıyla 420.000 ve 180.000 adettir.

Dolayısıyla sistemlerin kapasiteleri ile kıyaslandığında 6 adet manuel sistemin bu hedefi karşılamak için kurulması gerekirken parçalama esaslı sistemde 2 adet sistem %25 boş kapasite ile çalışacaktır. Parçalama Esaslı sistemlerde yapılan ürün sayısı ile orantılı olan değişken maliyetler de göz önünde bulundurulduğunda ortaya çıkan görüntü Tablo 6.6 ve 6.7’de özetlenmiştir.

Tablo 6.5: 0,5 kg hedefine göre net kar/zarar hesaplaması

	Yıllık Manuel Demontaj Maliyeti (€)	Yıllık Parç. Esaslı Sistem Maliyeti (€)
Ekipman	66.675 €	315.150 €
İnşa ve Altyapı	33.150 €	30.312 €
Personel	737.280 €	142.560 €
Yedek Parça	0 €	294.000 €
Enerji	155.520 €	149.201 €
Yönetim	65.184 €	65.184 €
İşletme Malzemesi	72.500 €	5.688 €
Lojistik Maliyeti	1.500.000 €	2.100.000 €
Ürün Toplama Maliyeti	3.000.000 €	3.000.000 €
TOPLAM MALİYET	5.630.309 €	6.102.095 €
Çamaşır makinesi geliri	2.398.200 €	1.860.600 €
Fırın Geliri	745.200 €	678.600 €
TOPLAM GELİR	3.143.400 €	2.539.200 €
NET KAR/ZARAR	-2.486.909 €	-3.562.895 €

5. bölümde hesaplanan maliyetler bu bölümde kapasite oranında değiştirilmiştir. Manuel demontaj sisteminde genel olarak tüm maliyetler altıya katlanmıştır. Sadece yönetim maliyetlerinde yönetici sayısının sabit kalacağı varsayılmıştır.

Parçalama esaslı sistemlerde ise inşa ve altyapı maliyetlerinde açık alanlar, direkt işçilik, yedek parça, enerji, yönetim maliyetlerinde ofis mefruşat ve işletme malzemesi maliyetleri 1,5 kat artmış diğer maliyetler ise ikiye katlanmıştır. Burada ayrıca geri dönüştürülecek ürün sayısı da belirlendiğinden lojistik ve ürün toplama maliyetleri de eklenmiştir. Tablo 6.6'de 1 kg toplama hedefine göre birim maliyet ve gelirler gösterilmiş, Tablo 6.7'de ise toplama hedefine göre ortaya çıkan net kar/zarar hesaplanmıştır.

Tablo 6.6: 1 kg toplama hedefine göre birim gelir ve maliyetler

	Birim İşlem Maliyeti	Birim Toplama Maliyeti	Birim Lojistik Maliyeti	Birim Malzeme Geliri
Parç. Esaslı Sistem	3,24 €	10 €	7 €	8,46 €
Manuel Sistem	3,67 €	10 €	5 €	10,48 €

Tablo 6.7: 1 kg hedefine göre net kar/zarar hesaplaması

	Yıllık Manuel Demontaj Maliyeti (€)	Yıllık Parç. Esaslı Sistem Maliyeti (€)
Ekipman	133.350 €	630.300 €
İnşa ve Altyapı	66.300 €	60.624 €
Personel	1.474.560 €	285.120 €
Yedek Parça	0 €	588.000 €
Enerji	311.040 €	298.402 €
Yönetim	70.368 €	70.368 €
İşletme Malzemesi	145.000 €	11.376 €
Lojistik Maliyeti	3.000.000 €	4.200.000 €
Ürün Toplama Maliyeti	6.000.000 €	6.000.000 €
TOPLAM MALİYET	11.200.618 €	12.144.190 €
Çamaşır makinesi geliri	4.796.400 €	3.721.200 €
Fırın Geliri	1.490.400 €	1.357.200 €
TOPLAM GELİR	6.286.800 €	5.078.400 €
NET KAR/ZARAR	-4.913.818 €	-7.065.790 €

6.3 2 Kg Toplama Hedefi Geri Dönüşüm Sistem Karşılaştırması

2 kg toplama hedefinin gerçekleştirilmesi için toplanması gereken ürün miktarları çamaşır makinesi ve fırın için sırasıyla 840.000 ve 360.000 adettir.

Dolayısıyla sistemlerin kapasiteleri ile kıyaslandığında 12 adet manuel sistemin bu hedefi karşılamak için kurulması gerekirken parçalama esaslı sistemde 3 adet sistem tam kapasite ile çalışacaktır. Bu durumda ortaya çıkan görüntü Tablo 6.8 ve 6.9’da özetlenmiştir.

5. bölümde hesaplanan maliyetler bu bölümde kapasite oranında değiştirilmişlerdir. Manuel demontaj ve parçalama esaslı sistemlerde genel olarak tüm maliyetler sırasıyla üç ve on ikiye katlanmıştır. Sadece yönetim maliyetlerinde yönetici sayısının sabit kalacağı varsayılmıştır.

Burada ayrıca geri dönüştürülecek ürün sayısı da belirlendiğinden lojistik ve ürün toplama maliyetleri de eklenmiştir. Tablo 6.8’de 2 kg toplama hedefine göre birim maliyet ve gelirler gösterilmiş, Tablo 6.9’de ise toplama hedefine göre ortaya çıkan net kar/zarar hesaplanmıştır.

Tablo 6.8: 2 kg toplama hedefine göre birim gelir ve maliyetler

	Birim İşlem Maliyeti	Birim Toplama Maliyeti	Birim Lojistik Maliyeti	Birim Malzeme Geliri
Parç. Esaslı Sistem	2,85 €	10 €	7 €	8,46 €
Manuel Sistem	3,62 €	10 €	5 €	10,48 €

Tablo 6.9: 2 kg hedefine göre net kar/zarar hesaplaması

	Yıllık Manuel Demontaj Maliyeti (€)	Yıllık Parç. Esaslı Sistem Maliyeti (€)
Ekipman	266.700 €	945.450 €
İnşa ve Altyapı	132.600 €	102.936 €
Personel	2.949.120 €	496.800 €
Yedek Parça	0 €	1.176.000 €
Enerji	622.080 €	596.805 €
Yönetim	80.736 €	80.736 €
İşletme Malzemesi	290.000 €	22.750 €
Lojistik Maliyeti	6.000.000 €	8.400.000 €
Ürün Toplama Maliyeti	12.000.000 €	12.000.000 €
TOPLAM MALİYET	22.341.236 €	23.821.477 €
Çamaşır makinesi geliri	9.592.800 €	7.442.400 €
Fırın Geliri	2.980.800 €	2.714.400 €
TOPLAM GELİR	12.573.600 €	10.156.800 €
NET KAR/ZARAR	-9.767.636 €	-13.664.677 €

6.4 4 Kg Toplama Hedefi Geri Dönüşüm Sistem Karşılaştırması

4 kg toplama hedefinin gerçekleştirilmesi için toplanması gereken ürün miktarları çamaşır makinesi ve fırın için sırasıyla 1680.000 ve 720.000 adettir. Dolayısıyla sistemlerin kapasiteleri ile kıyaslandığında 24 adet manuel sistemin bu hedefi karşılamak için kurulması gerekirken parçalama esaslı sistemde 6 adet sistem tam kapasite ile çalışacaktır. Bu durumda ortaya çıkan görüntü Tablo 6.10 ve 6.11’de özetlenmiştir. 5. bölümde hesaplanan maliyetler bu bölümde kapasite oranında değiştirilmiştir. Manuel demontaj ve parçalama esaslı sistemlerde genel olarak tüm maliyetler sırasıyla altı ve yirmi dörde katlanmıştır. Sadece yönetim maliyetlerinde yönetici sayısının sabit kalacağı varsayılmıştır. Burada ayrıca geri dönüştürülecek ürün sayısı da belirlendiğinden lojistik ve ürün toplama maliyetleri de eklenmiştir. Tablo 6.10’da 4 kg toplama hedefine göre birim maliyet ve gelirler

gösterilmiş, Tablo 6.11’de ise toplama hedefine göre ortaya çıkan net kar/zarar hesaplanmıştır.

Tablo 6.10: 4 kg toplama hedefine göre birim gelir ve maliyetler

	Birim İşlem Maliyeti	Birim Toplama Maliyeti	Birim Lojistik Maliyeti	Birim Malzeme Geliri
Parç. Esaslı Sistem	2,83 €	10 €	7 €	8,46 €
Manuel Sistem	3,59 €	10 €	5 €	10,48 €

Tablo 6.11: 4 kg hedefine göre net kar/zarar hesaplaması

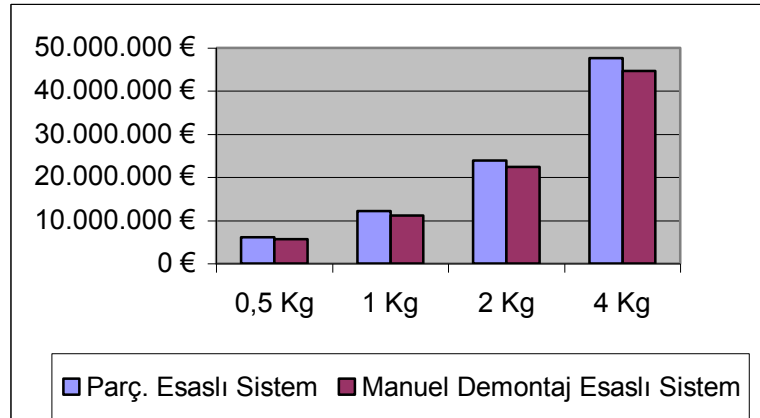
	Yıllık Manuel Demontaj Maliyeti (€)	Yıllık Parç. Esaslı Sistem Maliyeti (€)
Ekipman	533.400 €	1.890.900 €
İnşa ve Altyapı	265.200 €	205.872 €
Personel	5.898.240 €	993.600 €
Yedek Parça	0 €	2.352.000 €
Enerji	1.244.160 €	1.193.610 €
Yönetim	101.472 €	101.472 €
İşletme Malzemesi	580.000 €	45.500 €
Lojistik Maliyeti	12.000.000 €	16.800.000 €
Ürün Toplama Maliyeti	24.000.000 €	24.000.000 €
TOPLAM MALİYET	44.622.472 €	47.582.954 €
Çamaşır makinesi geliri	19.185.600 €	14.884.800 €
Fırın Geliri	5.961.600 €	5.428.800 €
TOPLAM GELİR	25.147.200 €	20.313.600 €
NET KAR/ZARAR	-19.475.272 €	-27.269.354 €

7. SONUÇLAR

Elektrikli elektronik ekipman atıklarının geri dönüşümü gerek çevresel gerekse yasal zorunluluklar sebebiyle gerçekleştirilmesi üreticilerin birtakım ek maliyetlere katlanmalarına sebep olacaktır. Geri dönüşüm sistemlerinin maliyet analizinde temel olarak, yatırım maliyetleri, personel maliyetleri, yedek parça maliyetleri, enerji maliyetleri, yönetim maliyetleri, işletme malzemesi maliyetleri, lojistik maliyetleri ile ürün toplama maliyetleri ele alınmıştır. Buna göre 0,5 kg, 1 kg, 2 kg ve 4 kg toplama hedeflerine göre oluşan geri dönüşüm sistem maliyetleri Tablo 7.1 ve Şekil 7.1’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1: Toplama hedeflerine göre toplam maliyet

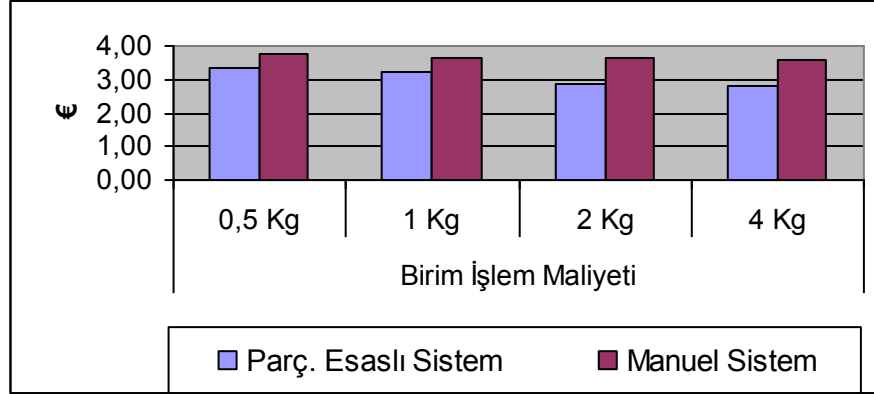
	0,5 Kg	1 Kg	2 Kg	4 Kg
Parç. Esaslı Sistem	6.102.095 €	12.144.190 €	23.821.477 €	47.582.954 €
Manuel Demontaj Esaslı Sistem	5.630.309 €	11.200.618 €	22.341.236 €	44.622.472 €



Şekil 7.1: Toplama hedeflerine göre toplam maliyet

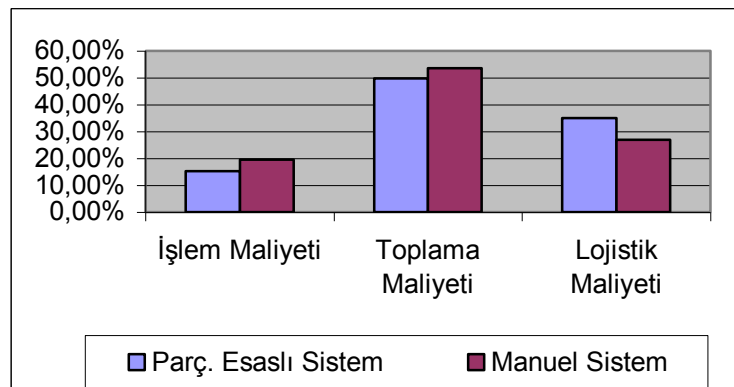
Şekil 7.2’de geri dönüşüm sistemlerine ve toplama hedeflerine göre birim işlem maliyetleri verilmiştir. Bu maliyetler yatırım maliyetleri, personel maliyetleri, yedek parça maliyetleri, enerji maliyetleri, yönetim maliyetleri, işletme malzemesi

maliyetleri baz alınarak hesaplanmıştır. Lojistik maliyetleri ile ürün toplama maliyetleri göz ardı edilmişlerdir.



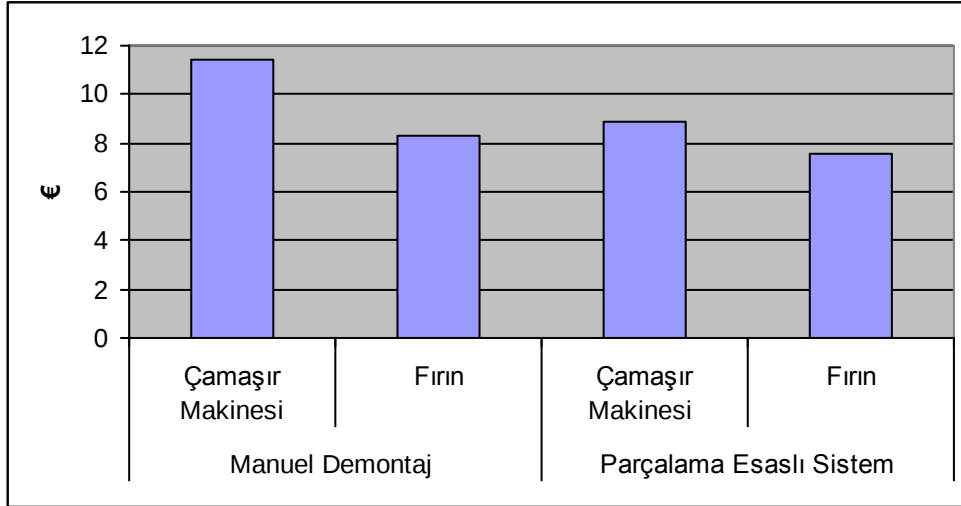
Şekil 7.2: Geri dönüşüm sistemleri ve toplama hedeflerine göre birim işlem maliyetleri

Şekil 7.2’de görüldüğü gibi parçalama esaslı sistemler manuel demontaj sistemlerine göre daha düşük birim maliyetlere sahiptirler. Ancak lojistik ve ürün toplama maliyetleri de göz önünde bulundurulduğunda ise Tablo 7.1 ve Şekil 7.1’de görüldüğü gibi manuel demontaj sistemleri toplamda daha düşük maliyetlere sahiptirler. Manuel sistemler kapasite esnekliğinden dolayı bir lojistik avantaja sahiptirler. Şekil 7.3’de geri dönüşüm sistemlerinin maliyet dağılımı gösterilmiştir. Buna göre toplama maliyeti her iki sistemde de en büyük paya sahiptirler.



Şekil 7.3: Geri dönüşüm sistemleri maliyet dağılımı

Maliyet hesaplamasının yanı sıra bu geri dönüşüm sistemlerinde ürünlerin geri dönüştürülmesi ile elde edilecek malzeme gelirleri de ortaya konmuştur. Şekil 7.4’de çamaşır makinesi ve fırın ürünlerinin geri dönüşüm sistem gelirleri gösterilmiştir.



Şekil 7.4: Ürünlerin geri dönüşüm gelirleri kıyaslaması

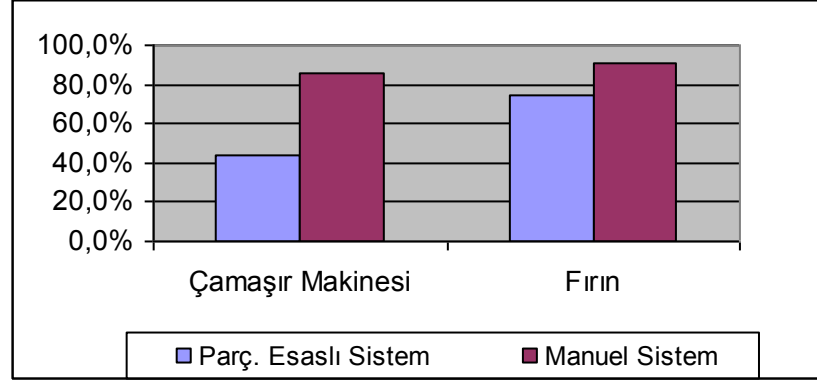
Şekil 7.4’de de görüldüğü gibi manuel demontaj geri dönüşüm sistemlerinde ekipmanların ayrıntılı demontajının sağlanabilmesi ile parçalama esaslı sistemlere göre daha yüksek hurda malzeme gelirleri elde edilebilmektedir. Yine Şekil 7.4’de görüldüğü gibi fırın geri dönüşümünden elde edilen malzeme geliri farkı çamaşır makinesine göre daha düşüktür. Bunun sebebi parçalama esaslı sistemin metal oranı özellikle demir bazlı yüksek ürünlerde diğer ürünlere göre daha yüksek geri dönüşüm oranlarına ulaşabilmesidir.

Çamaşır makinesinin metal oranının fırına göre daha düşük olmasına karşın parçalama esaslı sistemde çamaşır makinesi geri dönüşümünden daha yüksek bir gelir elde edilmesi ise çamaşır makinesi içerisinde bakır ve alüminyum gibi değerli ve demir bazlı olmayan metallerin ağırlıkça fazla olması ile açıklanabilir.

Manuel demontaj sistemlerinde çamaşır makinesi ve fırın geri dönüşümünden elde edilen gelirler kıyaslandığında ise çamaşır makinesi içerisinde yer alan plastik malzemelerin geri dönüşüm değerleri önem kazanmaktadır.

Gerek parçalama esaslı gerekse manuel demontaj esaslı geri dönüşüm sistemlerinde elde edilen malzeme gelirleri birim ürün maliyetleri ile kıyaslandığında yüksek lojistik ve ürün toplama maliyetleri sebebiyle çamaşır makinesi ve fırın geri dönüşümü üreticilerin katlanmak zorunda olacakları bir maliyet getirmekte ve sonuç olarak hem manuel demontaj esaslı geri dönüşüm sistemleri hem de parçalama esaslı geri dönüşüm sistemleri geri dönüştürülen ürün sayısı ile doğru orantılı olarak zarar etmektedirler.

Geri dönüşüm sistemlerinde elde edilen ürün geri dönüşüm oranlarına bakıldığında manuel demontaj sistemlerinde parçalama esaslı sistemlere göre daha yüksek geri dönüşüm oranları elde edildiği görülmektedir. Şekil 7.5’de ürün geri dönüşüm oranları belirtilmiştir.



Şekil 7.5: Ürünlerin geri dönüşüm oranları kıyaslaması

Bu çalışma elektrikli elektronik ekipmanların geri dönüşümünde kullanılabilecek geri dönüşüm sistemlerini genel olarak tanıtmakta ve özellikle manuel demontaj ile parçalama esaslı sistemler bazında üreticilerin katlanmak zorunda kalacakları maliyetler ortaya konmaktadır. Konuyla ilgili bundan sonra yapılabilecek çalışmalarda özellikle Türkiye gibi elektrikli elektronik ekipman atıklarının ayrı toplanmadığı ülkeler için toplama ve lojistik maliyetleri incelenmelidir. Ayrıca manuel demontaj esaslı geri dönüşüm sistemlerinde malzeme gelirlerinin hesaplanabilmesi için kullanılan optimum demontaj sırasının bulunmasında değişik yöntemler kullanılıp değişik demontaj sıralarına ulaşıp ulaşılamayacağı da incelenmelidir.

Bu çalışmanın kapsamı iki ürün çeşidi ile sınırlandırılmıştır. Ürün yelpazesi direktifin kapsamı çerçevesinde genişletilerek çalışma tekrarlanmalı EEEA direktifinin getirdiği toplam maddi yükümlülük hesaplanmalıdır. Bunun yanı sıra Türkiye için EEE’ların toplam atıklar içindeki payı ve çevreye verdikleri zararın büyüklüğü araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Michael, P.**, 2003. Waste electrical and electronic equipment (WEEE):
Creating an electronics equipment takeback program in light of
current European Union directives and possible U.S. legislation, MSc
thesis, University of Wisconsin-Stout, Wisconsin
- [2] **Darby, L. and Obara, L.**, 2004. Household recycling behaviour and attitudes
towards the disposal of small electrical and electronic equipment,
Resources, Conservation and Recycling
- [3] Background facts, electrical and electronic equipment recycling, 2005.
<http://www.brookes.ac.uk/eie/weee.htm>
- [4] İzaydaş, Nisan 2005. www.izaydas.com.tr
- [5] The Global Directory for Environmental Technology, Nisan 2005.
www.eco-web.com
- [6] **EC. Directive 2002/96/EC Waste Electrical and Electronic Equipment**,
February 13, 2003. *Official Journal of the European Union*
- [7] **EC. Directive 2002/95/EC Restriction of Hazardous Substances**, January 27,
2003. *Official Journal of the European Union*
- [8] <https://www.cecce.org/community/index.html>
- [9] **Study into European Weee Schemes**, 2003. Future Energy Solutions
- [10] **Tümör, S. ve Özgün, Y.S.**, 2003. Çamaşır Makinesi Otomatik Demontaj
Sonuç Raporu, **ARN-218**, İstanbul, Türkiye.
- [11] **Lambert, A.J.D.**, 1999. Linear Programming in Disassembly/Clustering
Sequence Generation, *Computers & Industrial Engineering*, **36**, 723-
738.
- [12] **Boks C. and Tempelman E.**, 1998. Future Disassembly and Recycling
Technology Results of a Delphi study, *Futures*, **30**, 425–442.
- [13] <http://www.adelmann.de>
- [14] <http://www.eldan-recycling.com/>
- [15] <http://www.erdwich.de>
- [16] Processing of Refrigerators and Freezers, Nisan 2005. www.apparec.be
- [17] **Erdos, G., Kıs T. and Xirouchakis P.**, 2001. Modelling and Evaluating
Product End-of-Life Options *International Journal of Production
Research*, **39**, 1203-1220.

- [18] **Lambert A.J.D.**, 1997. Optimal Disassembly of Complex Products, *International Journal of Production Research*, **35**, 2509-2523.
- [19] **Kuo, T.C., Zhang, H.C. and Huang S.H.**, 2000. Disassembly Analysis for Electromechanical Products: A Graph-Based Heuristic Approach, *International Journal of Production Research*, **38**, 993-1007.
- [20] **Kuo T.C.**, 2000. Disassembly Sequence and Cost Analysis for Electromechanical Products, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, **16**, 43-54.
- [21] **Moore, K. E., Gungor A. and Gupta S. M.**, 1998. A Petri Net Approach to Disassembly Process Planning, *Computers Industrial Engineering*, **35**, 165-168.
- [22] **Moore, K. E., Gungor A. and Gupta S. M.**, 2001. Petri Net Approach to disassembly process planning for products with and/or precedence relationships, *European Journal of Operational Research*, **135**, 428-449.
- [23] **Gungor A. and Gupta S. M.**, 1997. An Evaluation Methodology For Disassembly Processes, *Computers Industrial Engineering*, **33**, 329-332.
- [24] **Gungor A. and Gupta S. M.**, 2001. Disassembly sequence plan generation using branch-and-bound algorithm, *International Journal of Production Research*, **39**, 481-509.
- [25] **Lee, S.G., Lye, S.W. and Khoo M.K.**, 2001, A Multi Objective Methodology for Evaluating Product End-of-Life Options and Disassembly, *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, **18**, 148-156.
- [26] **Kroll, E. and Carver, B.S.**, 1999. Disassembly Analysis through Time Estimation and Other Metrics, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, **15**, 191-200.
- [27] **Johnson, M.R. and Wang M.H.**, 1998. Economical Evaluation of Disassembly operations for recycling, remanufacturing and reuse, *International Journal of Production Research*, **36**, 3227-3252.
- [28] Genel Nüfus Sayımlarına göre Nüfus, Yıllık Nüfus Artışı, Yüzölçümü ve Nüfus Yoğunluğu, Nisan 2005.
<http://www.die.gov.tr/konular/nufusSayimi.htm>
- [29] Beyaz Eşyanın Son Oniki Yılı, Nisan 2005. <http://www.beysad.org.tr/index.asp>
- [30] Mimsan Şirketler Grubu, Nisan 2005. <http://www.mimsan.com.tr/>
- [31] Özhan Dış Ticaret Limited Şirketi, Mayıs 2005. <http://www.ozhan-2000.com/>
- [32] Koçtaş, Mayıs 2005, <http://www.koctas.com.tr/catalog/>
- [33] Türkiye Elektrik Dağıtım Tarifeleri, Mayıs 2005.
<http://www.tedas.gov.tr/tarife.html>
- [34] **Yüksel, T.**, 2005. Kişisel görüşme

EK A**Tablo A.1 amaşır Makinesi Arka Yüz Demontaj İşlem Maliyetleri**

	Demontaj süresi (sn)	Demontaj maliyeti (€)		Demontaj süresi (sn)	Demontaj maliyeti (€)		Demontaj süresi (sn)	Demontaj maliyeti (€)
X1	60	0,09 €	X51	30	0,04 €	X101	60	0,09 €
X2	40	0,06 €	X52	50	0,07 €	X102	30	0,04 €
X3	50	0,07 €	X53	60	0,09 €	X103	60	0,09 €
X4	75	0,11 €	X54	60	0,09 €	X104	90	0,13 €
X5	40	0,06 €	X55	40	0,06 €	X105	60	0,09 €
X6	75	0,11 €	X56	60	0,09 €	X106	60	0,09 €
X7	75	0,11 €	X57	40	0,06 €	X107	90	0,13 €
X8	45	0,07 €	X58	60	0,09 €	X108	30	0,04 €
X9	120	0,18 €	X59	30	0,04 €	X109	30	0,04 €
X10	60	0,09 €	X60	90	0,13 €	X110	60	0,09 €
X11	75	0,11 €	X61	20	0,03 €	X111	60	0,09 €
X12	40	0,06 €	X62	30	0,04 €	X112	30	0,04 €
X13	40	0,06 €	X63	20	0,03 €	X113	30	0,04 €
X14	20	0,03 €	X64	30	0,04 €	X114	60	0,09 €
X15	75	0,11 €	X65	90	0,13 €	X115	30	0,04 €
X16	60	0,09 €	X66	60	0,09 €	X116	90	0,13 €
X17	90	0,13 €	X67	60	0,09 €	X117	90	0,13 €
X18	50	0,07 €	X68	30	0,04 €	X118	120	0,18 €
X19	30	0,04 €	X69	60	0,09 €	X119	150	0,22 €
X20	90	0,13 €	X70	40	0,06 €	X120	60	0,09 €
X21	20	0,03 €	X71	30	0,04 €	X121	90	0,13 €
X22	60	0,09 €	X72	50	0,07 €	X122	120	0,18 €
X23	50	0,07 €	X73	20	0,03 €	X123	90	0,13 €
X24	90	0,13 €	X74	30	0,04 €	X124	120	0,18 €
X25	50	0,07 €	X75	60	0,09 €	X125	150	0,22 €
X26	60	0,09 €	X76	60	0,09 €	X126	90	0,13 €
X27	30	0,04 €	X77	30	0,04 €	X127	60	0,09 €
X28	40	0,06 €	X78	30	0,04 €	X128	60	0,09 €
X29	60	0,09 €	X79	60	0,09 €	X129	90	0,13 €
X30	30	0,04 €	X80	60	0,09 €	X130	60	0,09 €
X31	60	0,09 €	X81	30	0,04 €	X131	30	0,04 €
X32	30	0,04 €	X82	90	0,13 €	X132	90	0,13 €
X33	90	0,13 €	X83	60	0,09 €	X133	30	0,04 €
X34	20	0,03 €	X84	60	0,09 €			
X35	40	0,06 €	X85	40	0,06 €			
X36	30	0,04 €	X86	20	0,03 €			
X37	60	0,09 €	X87	90	0,13 €			

X38	50	0,07 €	X88	60	0,09 €			
X39	90	0,13 €	X89	30	0,04 €			
X40	75	0,11 €	X90	30	0,04 €			
X41	30	0,04 €	X91	60	0,09 €			
X42	60	0,09 €	X92	30	0,04 €			
X43	90	0,13 €	X93	30	0,04 €			
X44	20	0,03 €	X94	90	0,13 €			
X45	60	0,09 €	X95	30	0,04 €			
X46	30	0,04 €	X96	30	0,04 €			
X47	20	0,03 €	X97	90	0,13 €			
X48	30	0,04 €	X98	60	0,09 €			
X49	90	0,13 €	X99	40	0,06 €			
X50	60	0,09 €	X100	60	0,09 €			

Tablo A.2: Çamaşır Makinesi Arka Yüz Demontaj İşlem Net Gelirleri

	Ana altmontaj	Alt montaj 1	Alt montaj 2	Ana montaj değeri	Alt montaj 1 değeri	Alt montaj 2 değeri	İşlem maliyeti
X1	1/8	1,3/8	2	2,76 €	2,70 €	0,24 €	0,09 €
X2	1/8	2/8	1	2,76 €	2,38 €	0,28 €	0,06 €
X3	1/8	1/2,4/8	3	2,76 €	2,62 €	0,18 €	0,07 €
X4	1,3/8	1,4/8	3	2,70 €	2,56 €	0,18 €	0,11 €
X5	1,3/8	3/8	1	2,70 €	2,32 €	0,28 €	0,06 €
X6	2/8	3/8	2	2,38 €	2,32 €	0,24 €	0,11 €
X7	2/8	2,4/8	3	2,38 €	2,24 €	0,18 €	0,11 €
X8	2/8	2/3,5/8	4	2,38 €	2,33 €	0,05 €	0,07 €
X9	2/8	2/4,6/8	5	0,84 €	0,84 €	0,56 €	0,18 €
X10	1/2,4/8	2,4/8	1	2,62 €	2,24 €	0,28 €	0,09 €
X11	1/2,4/8	1,4/8	2	2,62 €	2,56 €	0,24 €	0,11 €
X12	1/2,4/8	1/2,4/5,7/8	6	2,62 €	2,61 €	0,00 €	0,06 €
X13	1,4/8	4/8	1	2,56 €	2,18 €	0,28 €	0,06 €
X14	1,4/8	1,4/5,7/8	6	2,56 €	2,55 €	0,00 €	0,03 €
X15	3/8	4/8	3	2,32 €	2,18 €	0,18 €	0,11 €
X16	3/8	3,5/8	4	2,32 €	2,27 €	0,05 €	0,09 €
X17	3/8	3/4,6/8	5	0,78 €	0,78 €	0,56 €	0,13 €
X18	2,4/8	4/8	2	2,24 €	2,18 €	0,08 €	0,07 €
X19	2,4/8	2,5/8	4	2,24 €	2,19 €	0,05 €	0,04 €
X20	2,4/8	2,4,6/8	5	0,70 €	0,70 €	0,56 €	0,13 €
X21	2,4/8	2,4/5,7/8	6	2,24 €	2,23 €	0,00 €	0,03 €
X22	2/3,5/8	3,5/8	2	2,33 €	2,27 €	0,24 €	0,09 €
X23	2/3,5/8	2,5/8	3	2,33 €	2,19 €	0,18 €	0,07 €
X24	2/3,5/8	2/3,6/8	5	0,79 €	0,79 €	0,56 €	0,13 €
X25	2/4,6/8	2,4,6/8	3	0,84 €	0,70 €	0,18 €	0,07 €
X26	2/4,6/8	3/4,6/8	2	0,84 €	0,78 €	0,24 €	0,09 €
X27	2/4,6/8	2/3,6/8	4	0,84 €	0,79 €	0,05 €	0,04 €
X28	1/2,4/5,7/8	2,4/5,7/8	1	2,61 €	2,23 €	0,28 €	0,06 €
X29	1/2,4/5,7/8	1,4/5,7/8	2	2,61 €	2,55 €	0,24 €	0,09 €
X30	1/2,4/5,7/8	1/2,4/5,8	7	2,61 €	2,56 €	0,36 €	0,04 €
X31	1/2,4/5,7/8	1/2,4/5,7	8	2,61 €	2,09 €	1,37 €	0,09 €

X32	4/8	5/8	4	2,18 €	2,12 €	0,05 €	0,04 €
X33	4/8	4,6/8	5	0,64 €	0,64 €	0,56 €	0,13 €
X34	4/8	4/5,7/8	6	2,18 €	2,16 €	0,00 €	0,03 €
X35	1,4/5,7/8	4/5,7/8	1	2,55 €	2,16 €	0,28 €	0,06 €
X36	1,4/5,7/8	1,4/5,8	7	2,55 €	2,50 €	0,36 €	0,04 €
X37	1,4/5,7/8	1,4/5,7	8	2,55 €	2,02 €	1,37 €	0,09 €
X38	3,5/8	5/8	3	2,27 €	2,12 €	0,18 €	0,07 €
X39	3,5/8	3,6/8	5	0,73 €	0,73 €	0,56 €	0,13 €
X40	3/4,6/8	4,6/8	3	0,78 €	0,64 €	0,18 €	0,11 €
X41	3/4,6/8	3,6/8	4	0,78 €	0,73 €	0,05 €	0,04 €
X42	2,5/8	5/8	2	2,19 €	2,12 €	0,24 €	0,09 €
X43	2,5/8	2,6/8	5	0,65 €	0,65 €	0,56 €	0,13 €
X44	2,5/8	2,5,7/8	6	2,19 €	2,18 €	0,00 €	0,03 €
X45	2,4,6/8	4,6/8	2	0,70 €	0,64 €	0,24 €	0,09 €
X46	2,4,6/8	2,6/8	4	0,70 €	0,65 €	0,05 €	0,04 €
X47	2,4,6/8	2,4,7/8	6	0,70 €	0,69 €	0,00 €	0,03 €
X48	2,4/5,7/8	2,5,7/8	4	2,23 €	2,18 €	0,05 €	0,04 €
X49	2,4/5,7/8	2,4,7/8	5	0,69 €	0,69 €	0,56 €	0,13 €
X50	2,4/5,7/8	2,4/5,7	8	2,23 €	1,70 €	1,37 €	0,09 €
X51	2,4/5,7/8	2,4/5,8	7	2,23 €	2,18 €	0,36 €	0,04 €
X52	2/3,6/8	2,6/8	3	0,79 €	0,65 €	0,18 €	0,07 €
X53	2/3,6/8	3,6/8	2	0,79 €	0,73 €	0,24 €	0,09 €
X54	1/2,4/5,8	1,4/5,8	2	2,56 €	2,50 €	0,24 €	0,09 €
X55	1/2,4/5,8	2,4/5,8	1	2,56 €	2,18 €	0,28 €	0,06 €
X56	1/2,4/5,8	1/2,4/5	8	2,56 €	2,04 €	1,37 €	0,09 €
X57	1/2,4/5,7	2,4/5,7	1	2,09 €	1,70 €	0,28 €	0,06 €
X58	1/2,4/5,7	1,4/5,7	2	2,09 €	2,02 €	0,24 €	0,09 €
X59	1/2,4/5,7	1/2,4/5	7	2,09 €	2,04 €	0,36 €	0,04 €
X60	5/8	6/8	5	0,59 €	0,59 €	0,56 €	0,13 €
X61	5/8	5,7/8	6	2,12 €	2,11 €	0,00 €	0,03 €
X62	4,6/8	6/8	4	0,64 €	0,59 €	0,05 €	0,04 €
X63	4,6/8	4,7/8	6	0,64 €	0,63 €	0,00 €	0,03 €
X64	4/5,7/8	5,7/8	4	2,16 €	2,11 €	0,05 €	0,04 €
X65	4/5,7/8	4,7/8	5	0,63 €	0,63 €	0,56 €	0,13 €
X66	4/5,7/8	4/5,7	8	2,16 €	1,64 €	1,37 €	0,09 €
X67	2,4/5,7/8	4/5,7/8	2	2,23 €	2,16 €	0,24 €	0,09 €
X68	4/5,7/8	4/5,8	7	2,16 €	2,11 €	0,36 €	0,04 €
X69	1,4/5,8	1,4/5	8	2,50 €	1,97 €	1,37 €	0,09 €
X70	1,4/5,7	4/5,7	1	2,02 €	1,64 €	0,28 €	0,06 €
X71	1,4/5,7	1,4/5	7	2,02 €	1,97 €	0,36 €	0,04 €
X72	3,6/8	6/8	3	0,73 €	0,59 €	0,18 €	0,07 €
X73	2,6/8	2,7/8	6	0,65 €	0,64 €	0,00 €	0,03 €
X74	2,5,7/8	2,5,8	7	2,18 €	2,12 €	0,36 €	0,04 €
X75	2,5,7/8	2,5,7	8	2,18 €	1,65 €	1,37 €	0,09 €
X76	2,4,7/8	4,7/8	2	0,69 €	0,63 €	0,24 €	0,09 €
X77	2,4,7/8	2,7/8	4	0,69 €	0,64 €	0,05 €	0,04 €
X78	2,4,7/8	2,4,8	7	0,69 €	0,64 €	0,36 €	0,04 €
X79	2,4,7/8	2,4,7	8	0,69 €	0,17 €	1,37 €	0,09 €
X80	2,4/5,8	4/5,8	2	2,18 €	2,11 €	0,24 €	0,09 €
X81	2,4/5,8	2,5,8	4	2,18 €	2,12 €	0,05 €	0,04 €
X82	2,4/5,8	2,4,8	5	0,64 €	0,64 €	0,56 €	0,13 €
X83	2,4/5,8	2,4/5	8	2,18 €	1,65 €	1,37 €	0,09 €

X84	1/2,4/5	1,4/5	2	2,04 €	1,97 €	0,24 €	0,09 €
X85	1/2,4/5	2,4/5	1	2,04 €	1,65 €	0,28 €	0,06 €
X86	6/8	7/8	6	0,59 €	0,58 €	0,00 €	0,03 €
X87	5,7/8	7/8	5	0,58 €	0,58 €	0,56 €	0,13 €
X88	5,7/8	5/7	8	2,11 €	1,59 €	1,37 €	0,09 €
X89	5,7/8	5,8	7	2,11 €	2,06 €	0,36 €	0,04 €
X90	4,7/8	7/8	4	0,63 €	0,58 €	0,05 €	0,04 €
X91	4,7/8	4,7	8	0,63 €	0,10 €	1,37 €	0,09 €
X92	4,7/8	4,8	7	0,63 €	0,58 €	0,36 €	0,04 €
X93	4/5,7	5/7	4	1,64 €	1,59 €	0,05 €	0,04 €
X94	4/5,7	4,7	5	0,10 €	0,10 €	0,56 €	0,13 €
X95	4/5,7	4/5	7	1,64 €	1,59 €	0,36 €	0,04 €
X96	4/5,8	5,8	4	2,11 €	2,06 €	0,05 €	0,04 €
X97	4/5,8	4,8	5	0,58 €	0,58 €	0,56 €	0,13 €
X98	4/5,8	4/5	8	2,11 €	1,59 €	1,37 €	0,09 €
X99	1,4/5	4/5	1	1,97 €	1,59 €	0,28 €	0,06 €
X100	2,7/8	7/8	2	0,64 €	0,58 €	0,24 €	0,09 €
X101	2,7/8	2,7	8	0,64 €	0,12 €	1,37 €	0,09 €
X102	2,7/8	2,8	7	0,64 €	0,59 €	0,36 €	0,04 €
X103	2,5,8	5,8	2	2,12 €	2,06 €	0,24 €	0,09 €
X104	2,5,8	2,8	5	0,59 €	0,59 €	0,56 €	0,13 €
X105	2,5,8	2,5	8	2,12 €	1,60 €	1,37 €	0,09 €
X106	2,5,7	5/7	2	1,65 €	1,59 €	0,24 €	0,09 €
X107	2,5,7	2,7	5	0,12 €	0,12 €	0,56 €	0,13 €
X108	2,5,7	2,5	7	1,65 €	1,60 €	0,36 €	0,04 €
X109	2,4,8	2,8	4	0,64 €	0,59 €	0,05 €	0,04 €
X110	2,4,8	2,4	8	0,64 €	0,12 €	1,37 €	0,09 €
X111	2,4,7	4,7	2	0,17 €	0,10 €	0,24 €	0,09 €
X112	2,4,7	2,7	4	0,17 €	0,12 €	0,05 €	0,04 €
X113	2,4,7	2,4	7	0,17 €	0,12 €	0,36 €	0,04 €
X114	2,4/5	4/5	2	1,65 €	1,59 €	0,24 €	0,09 €
X115	2,4/5	2,5	4	1,65 €	1,60 €	0,05 €	0,04 €
X116	2,4/5	2,4	5	0,12 €	0,12 €	0,56 €	0,13 €
X117	7/8	7	8	0,58 €	0,36 €	1,37 €	0,13 €
X118	5,7	5	7	0,05 €	0,56 €	0,36 €	0,18 €
X119	5,8	5	8	0,52 €	0,56 €	1,37 €	0,22 €
X120	4,7	4	7	0,10 €	0,05 €	0,36 €	0,09 €
X121	4,8	4	8	0,58 €	0,05 €	1,37 €	0,13 €
X122	4/5	4	5	0,05 €	0,05 €	0,56 €	0,18 €
X123	2,7	2	7	0,12 €	0,24 €	0,36 €	0,13 €
X124	2,8	2	8	0,59 €	0,24 €	1,37 €	0,18 €
X125	2,5	2	5	0,06 €	0,24 €	0,56 €	0,22 €
X126	2,4	2	4	0,12 €	0,24 €	0,05 €	0,13 €
X127	2,6/8	6/8	2	0,65 €	0,59 €	0,24 €	0,09 €
X128	2,5,7/8	5,7/8	2	2,18 €	2,11 €	0,24 €	0,09 €
X129	2,5,7/8	2,7/8	5	0,64 €	0,64 €	0,56 €	0,13 €
X130	2,4/5,7	4/5,7	2	1,70 €	1,64 €	0,24 €	0,09 €
X131	2,4/5,7	2,5,7	4	1,70 €	1,65 €	0,05 €	0,04 €
X132	2,4/5,7	2,4,7	5	0,17 €	0,17 €	0,56 €	0,13 €
X133	2,4/5,7	2,4/5	7	1,70 €	1,65 €	0,36 €	0,04 €

Tablo A.3: Çamaşır Makinesi n Yüz Demontaj İşlem Maliyetleri

	Demontaj süresi (sn)	Demontaj maliyeti (€)		Demontaj süresi (sn)	Demontaj maliyeti (€)		Demontaj süresi (sn)	Demontaj maliyeti (€)
X1	30	0,04 €	X51	60	0,09 €	X101	90	0,13 €
X2	150	0,22 €	X52	50	0,07 €	X102	50	0,07 €
X3	60	0,09 €	X53	90	0,13 €	X103	90	0,13 €
X4	360	0,53 €	X54	90	0,13 €	X104	50	0,07 €
X5	120	0,18 €	X55	80	0,12 €	X105	180	0,26 €
X6	125	0,18 €	X56	90	0,13 €	X106	120	0,18 €
X7	70	0,10 €	X57	150	0,22 €	X107	180	0,26 €
X8	85	0,13 €	X58	30	0,04 €	X108	90	0,13 €
X9	40	0,06 €	X59	90	0,13 €	X109	180	0,26 €
X10	360	0,53 €	X60	90	0,13 €	X110	50	0,07 €
X11	50	0,07 €	X61	40	0,06 €	X111	60	0,09 €
X12	380	0,56 €	X62	180	0,26 €	X112	50	0,07 €
X13	80	0,12 €	X63	50	0,07 €	X113	120	0,18 €
X14	40	0,06 €	X64	90	0,13 €	X114	90	0,13 €
X15	120	0,18 €	X65	90	0,13 €	X115	90	0,13 €
X16	150	0,22 €	X66	180	0,26 €	X116	90	0,13 €
X17	180	0,26 €	X67	90	0,13 €	X117	50	0,07 €
X18	90	0,13 €	X68	60	0,09 €	X118	50	0,07 €
X19	320	0,47 €	X69	90	0,13 €	X119	90	0,13 €
X20	80	0,12 €	X70	90	0,13 €	X120	50	0,07 €
X21	30	0,04 €	X71	75	0,11 €	X121	50	0,07 €
X22	180	0,26 €	X72	50	0,07 €	X122	50	0,07 €
X23	40	0,06 €	X73	120	0,18 €	X123	90	0,13 €
X24	30	0,04 €	X74	85	0,13 €	X124	180	0,26 €
X25	70	0,10 €	X75	50	0,07 €	X125	90	0,13 €
X26	35	0,05 €	X76	120	0,18 €	X126	50	0,07 €
X27	320	0,47 €	X77	50	0,07 €	X127	90	0,13 €
X28	180	0,26 €	X78	90	0,13 €	X128	50	0,07 €
X29	40	0,06 €	X79	90	0,13 €	X129	500	0,74 €
X30	90	0,13 €	X80	90	0,13 €			
X31	90	0,13 €	X81	180	0,26 €			
X32	120	0,18 €	X82	90	0,13 €			
X33	90	0,13 €	X83	90	0,13 €			
X34	60	0,09 €	X84	180	0,26 €			
X35	40	0,06 €	X85	50	0,07 €			
X36	360	0,53 €	X86	90	0,13 €			
X37	90	0,13 €	X87	180	0,26 €			
X38	150	0,22 €	X88	50	0,07 €			
X39	180	0,26 €	X89	90	0,13 €			
X40	30	0,04 €	X90	60	0,09 €			
X41	40	0,06 €	X91	120	0,18 €			
X42	30	0,04 €	X92	60	0,09 €			
X43	180	0,26 €	X93	90	0,13 €			
X44	40	0,06 €	X94	60	0,09 €			
X45	90	0,13 €	X95	50	0,07 €			
X46	180	0,26 €	X96	90	0,13 €			

X47	90	0,13 €	X97	50	0,07 €			
X48	90	0,13 €	X98	90	0,13 €			
X49	180	0,26 €	X99	50	0,07 €			
X50	40	0,06 €	X100	50	0,07 €			

Tablo A.4: Çamaşır Makinesi Ön Yüz Demontaj İşlem Net Gelirleri

	Ana altmontaj	Alt montaj 1	Alt montaj 2	Ana montaj değeri	Alt montaj 1 değeri	Alt montaj 2 değeri	İşlem maliyeti	Toplam işlem geliri
X1	1/12	2/12	1	5,72 €	5,69 €	0,14 €	0,04 €	0,07 €
X2	1/12	1,3/12	2	5,72 €	5,48 €	0,72 €	0,22 €	0,27 €
X3	1/12	1/2,4/12	3	5,72 €	5,64 €	0,45 €	0,09 €	0,28 €
X4	2/12	3/12	2	5,69 €	5,46 €	0,72 €	0,53 €	-0,04 €
X5	2/12	2,4/12	3	5,69 €	5,61 €	0,45 €	0,18 €	0,19 €
X6	2/12	2/7,9/12	8	5,69 €	5,61 €	0,20 €	0,18 €	-0,06 €
X7	1,3/12	3/12	1	5,48 €	5,46 €	0,14 €	0,10 €	0,01 €
X8	1,3/12	1,4/12	3	5,48 €	5,41 €	0,45 €	0,13 €	0,25 €
X9	1,3/12	1,3/4,6/12	5	5,48 €	5,48 €	0,01 €	0,06 €	-0,06 €
X10	1/2,4/12	1,4/12	2	5,64 €	5,41 €	0,72 €	0,53 €	-0,04 €
X11	1/2,4/12	2,4/12	1	5,64 €	5,61 €	0,14 €	0,07 €	0,04 €
X12	1/2,4/12	1/2,5/12	4	5,64 €	5,57 €	0,29 €	0,56 €	-0,33 €
X13	3/12	4/12	3	5,46 €	5,38 €	0,45 €	0,12 €	0,25 €
X14	3/12	3/4,6/12	5	5,46 €	5,45 €	0,01 €	0,06 €	-0,06 €
X15	3/12	3/7,9/12	8	5,46 €	5,38 €	0,20 €	0,18 €	-0,05 €
X16	2,4/12	4/12	2	5,61 €	5,38 €	0,72 €	0,22 €	0,27 €
X17	2,4/12	2,5/12	4	5,61 €	5,55 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X18	2,4/12	2,4/7,9/12	8	5,61 €	5,54 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X19	2/7,9/12	3/7,9/12	2	5,61 €	5,38 €	0,72 €	0,47 €	0,02 €
X20	2/7,9/12	2,4/7,9/12	3	5,61 €	5,54 €	0,45 €	0,12 €	0,25 €
X21	1,4/12	4/12	1	5,41 €	5,38 €	0,14 €	0,04 €	0,07 €
X22	1,4/12	1,5/12	4	5,41 €	5,34 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X23	1,4/12	1,4,6/12	5	5,41 €	5,40 €	0,01 €	0,06 €	-0,06 €
X24	1,3/4,6/12	3/4,6/12	1	5,48 €	5,45 €	0,14 €	0,04 €	0,07 €
X25	1,3/4,6/12	1,4,6/12	3	5,48 €	5,40 €	0,45 €	0,10 €	0,27 €
X26	1/2,5/12	2,5/12	1	5,57 €	5,55 €	0,14 €	0,05 €	0,06 €
X27	1/2,5/12	1,5/12	2	5,57 €	5,34 €	0,72 €	0,47 €	0,02 €
X28	4/12	5/12	4	5,38 €	5,32 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X29	4/12	4,6/12	5	5,38 €	5,38 €	0,01 €	0,06 €	-0,06 €
X30	4/12	4/7,9/12	8	5,38 €	5,31 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X31	3/4,6/12	4,6/12	3	5,45 €	5,38 €	0,45 €	0,13 €	0,24 €
X32	3/4,6/12	3/4,6,8/12	7	5,45 €	5,25 €	0,26 €	0,18 €	-0,12 €
X33	3/4,6/12	3/4,6/7,9/12	8	5,45 €	5,38 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X34	3/7,9/12	4/7,9/12	3	5,38 €	5,31 €	0,45 €	0,09 €	0,28 €
X35	3/7,9/12	3/4,6/7,9/12	5	5,38 €	5,38 €	0,01 €	0,06 €	-0,06 €
X36	2,5/12	5/12	2	5,55 €	5,32 €	0,72 €	0,53 €	-0,04 €
X37	2,5/12	2,5/7,9/12	8	5,55 €	5,47 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X38	2,4/7,9/12	4/7,9/12	2	5,54 €	5,31 €	0,72 €	0,22 €	0,27 €
X39	2,4/7,9/12	2,5/7,9/12	4	5,54 €	5,47 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X40	1,5/12	5/12	1	5,34 €	5,32 €	0,14 €	0,04 €	0,07 €

X41	1,5/12	1,6/12	5	5,34 €	5,34 €	0,01 €	0,06 €	-0,06 €
X42	1,4,6/12	4,6/12	1	5,40 €	5,38 €	0,14 €	0,04 €	0,07 €
X43	1,4,6/12	1,6/12	4	5,40 €	5,34 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X44	5/12	6/12	5	5,32 €	5,31 €	0,01 €	0,06 €	-0,06 €
X45	5/12	5/7,9/12	8	5,32 €	5,24 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X46	4,6/12	6/12	4	5,38 €	5,31 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X47	4,6/12	4,6,8/12	7	5,38 €	5,17 €	0,26 €	0,13 €	-0,08 €
X48	4,6/12	4,6/7,9/12	8	5,38 €	5,30 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X49	4/7,9/12	5/7,9/12	4	5,31 €	5,24 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X50	4/7,9/12	4,6/7,9/12	5	5,31 €	5,30 €	0,01 €	0,06 €	-0,06 €
X51	3/4,6,8/12	4,6,8/12	3	5,25 €	5,17 €	0,45 €	0,09 €	0,28 €
X52	3/4,6,8/12	3/4,8/12	6	5,25 €	5,15 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X53	3/4,6,8/12	3/4,6,9/12	8	5,25 €	5,17 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X54	3/4,6,8/12	3/4,6,8,9,11/12	10	3,84 €	3,84 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X55	3/4,6/7,9/12	4,6/7,9/12	3	5,38 €	5,30 €	0,45 €	0,12 €	0,25 €
X56	3/4,6/7,9/12	3/4,6,9/12	7	5,38 €	5,17 €	0,26 €	0,13 €	-0,08 €
X57	2,5/7,9/12	5/7,9/12	2	5,47 €	5,24 €	0,72 €	0,22 €	0,27 €
X58	1,6/12	6/12	1	5,34 €	5,31 €	0,14 €	0,04 €	0,07 €
X59	6/12	6,8/12	7	5,31 €	5,11 €	0,26 €	0,13 €	-0,08 €
X60	6/12	6/7,9/12	8	5,31 €	5,24 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X61	5/7,9/12	6/7,9/12	5	5,24 €	5,24 €	0,01 €	0,06 €	-0,06 €
X62	4,6,8/12	6,8/12	4	5,17 €	5,11 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X63	4,6,8/12	4,8/12	6	5,17 €	5,07 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X64	4,6,8/12	4,6,9/12	8	5,17 €	5,09 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X65	4,6,8/12	4,6,8,9,11/12	10	3,76 €	3,76 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X66	4,6/7,9/12	6/7,9/12	4	5,30 €	5,24 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X67	4,6/7,9/12	4,6,9/12	7	5,30 €	5,09 €	0,26 €	0,13 €	-0,08 €
X68	3/4,8/12	4,8/12	3	5,15 €	5,07 €	0,45 €	0,09 €	0,28 €
X69	3/4,8/12	3/4,9/12	8	5,15 €	5,07 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X70	3/4,8/12	3/4,8,9,11/12	10	3,74 €	3,74 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X71	3/4,6,9/12	4,6,9/12	3	5,17 €	5,09 €	0,45 €	0,11 €	0,26 €
X72	3/4,6,9/12	3/4,9/12	6	5,17 €	5,07 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X73	3/4,6,9/12	3/4,6,9,11/12	10	3,76 €	3,76 €	0,55 €	0,18 €	0,37 €
X74	3/4,6,8,9,11/12	4,6,8,9,11/12	3	3,84 €	3,76 €	0,45 €	0,13 €	0,25 €
X75	3/4,6,8,9,11/12	3/4,8,9,11/12	6	3,84 €	3,74 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X76	3/4,6,8,9,11/12	3/4,6,9,11/12	8	3,84 €	3,76 €	0,20 €	0,18 €	-0,05 €
X77	6,8/12	8/12	6	5,11 €	5,00 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X78	6,8/12	6,9/12	8	5,11 €	5,03 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X79	6,8/12	6,8,9,11/12	10	3,70 €	3,70 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X80	6/7,9/12	6,9/12	7	5,24 €	5,03 €	0,26 €	0,13 €	-0,08 €
X81	4,8/12	8/12	4	5,07 €	5,00 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X82	4,8/12	4,9/12	8	5,07 €	4,99 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X83	4,8/12	4,8,9,11/12	10	3,66 €	3,66 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X84	4,6,9/12	6,9/12	4	5,09 €	5,03 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X85	4,6,9/12	4,9/12	6	5,09 €	4,99 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X86	4,6,9/12	4,6,9,11/12	10	3,69 €	3,69 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X87	4,6,8,9,11/12	6,8,9,11/12	4	3,76 €	3,70 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X88	4,6,8,9,11/12	4,8,9,11/12	6	3,76 €	3,66 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X89	4,6,8,9,11/12	4,6,9,11/12	8	3,76 €	3,69 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X90	3/4,9/12	4,9/12	3	5,07 €	4,99 €	0,45 €	0,09 €	0,28 €

X91	3/4,9/12	3/4,9,11/12	10	3,66 €	3,66 €	0,55 €	0,18 €	0,37 €
X92	3/4,8/9,11/12	4,8/9,11/12	3	3,74 €	3,66 €	0,45 €	0,09 €	0,28 €
X93	3/4,8/9,11/12	3/4,9,11/12	8	3,74 €	3,66 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X94	3/4,6,9,11/12	4,6,9,11/12	3	3,76 €	3,69 €	0,45 €	0,09 €	0,28 €
X95	3/4,6,9,11/12	3/4,9,11/12	6	3,76 €	3,66 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X96	8/12	9/12	8	5,00 €	4,93 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X97	8/12	8,10/12	9	5,00 €	4,90 €	0,27 €	0,07 €	0,09 €
X98	8/12	8/9,11/12	10	3,60 €	3,60 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X99	6,9/12	9/12	6	5,03 €	4,93 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X100	6,9/12	6,10/12	9	5,03 €	4,93 €	0,27 €	0,07 €	0,09 €
X101	6,9/12	6,9,11/12	10	3,62 €	3,62 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X102	6,8/9,11/12	8/9,11/12	6	3,70 €	3,60 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X103	6,8/9,11/12	6,9,11/12	8	3,70 €	3,62 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X104	6,8/9,11/12	6,8,11/12	9	3,70 €	3,60 €	0,27 €	0,07 €	0,09 €
X105	4,9/12	9/12	4	4,99 €	4,93 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X106	4,9/12	4,9,11/12	10	3,58 €	3,58 €	0,55 €	0,18 €	0,37 €
X107	4,8/9,11/12	8/9,11/12	4	3,66 €	3,60 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X108	4,8/9,11/12	4,9,11/12	8	3,66 €	3,58 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X109	4,6,9,11/12	6,9,11/12	4	3,69 €	3,62 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X110	4,6,9,11/12	4,9,11/12	6	3,69 €	3,58 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X111	3/4,9,11/12	4,9,11/12	3	3,66 €	3,58 €	0,45 €	0,09 €	0,28 €
X112	9/12	10/12	9	4,93 €	4,83 €	0,27 €	0,07 €	0,09 €
X113	9/12	9,11/12	10	3,52 €	3,52 €	0,55 €	0,18 €	0,37 €
X114	8,10/12	10/12	8	4,90 €	4,83 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X115	8,10/12	8,11/12	10	3,49 €	3,49 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X116	8/9,11/12	9,11/12	8	3,60 €	3,52 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X117	8/9,11/12	8,11/12	9	3,60 €	3,49 €	0,27 €	0,07 €	0,09 €
X118	6,10/12	10/12	6	4,93 €	4,83 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X119	6,10/12	6,11/12	10	3,52 €	3,52 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X120	6,9,11/12	9,11/12	6	3,62 €	3,52 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X121	6,9,11/12	6,11/12	9	3,62 €	3,52 €	0,27 €	0,07 €	0,09 €
X122	6,8,11/12	8,11/12	6	3,60 €	3,49 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X123	6,8,11/12	6,11/12	8	3,60 €	3,52 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X124	4,9,11/12	9,11/12	4	3,58 €	3,52 €	0,29 €	0,26 €	-0,04 €
X125	10/12	11/12	10	3,42 €	3,42 €	0,55 €	0,13 €	0,42 €
X126	9,11/12	11/12	9	3,52 €	3,42 €	0,27 €	0,07 €	0,09 €
X127	8,11/12	11/12	8	3,49 €	3,42 €	0,20 €	0,13 €	-0,01 €
X128	6,11/12	11/12	6	3,52 €	3,42 €	0,03 €	0,07 €	-0,14 €
X129	11/12	11	12	3,42 €	6,58 €	1,93 €	0,74 €	4,36 €

EK B

Tablo B.1: Fırın Arka Yüz Demontaj İşlem Maliyetleri

	Demontaj süresi (sn)	Birim demontaj maliyeti (€)		Demontaj süresi (sn)	Birim demontaj maliyeti (€)
X1	30	0,04 €	X34	45	0,07 €
X2	25	0,04 €	X35	200	0,29 €
X3	40	0,06 €	X36	75	0,11 €
X4	40	0,06 €	X37	10	0,01 €
X5	45	0,07 €	X38	60	0,09 €
X6	60	0,09 €	X39	45	0,07 €
X7	40	0,06 €	X40	60	0,09 €
X8	45	0,07 €	X41	55	0,08 €
X9	55	0,08 €	X42	20	0,03 €
X10	60	0,09 €	X43	200	0,29 €
X11	45	0,07 €	X44	45	0,07 €
X12	75	0,11 €	X45	45	0,07 €
X13	55	0,08 €	X46	10	0,01 €
X14	30	0,04 €	X47	45	0,07 €
X15	70	0,10 €	X48	200	0,29 €
X16	55	0,08 €	X49	60	0,09 €
X17	70	0,10 €	X50	200	0,29 €
X18	45	0,07 €	X51	20	0,03 €
X19	75	0,11 €	X52	45	0,07 €
X20	60	0,09 €	X53	10	0,01 €
X21	45	0,07 €	X54	45	0,07 €
X22	75	0,11 €	X55	200	0,29 €
X23	60	0,09 €	X56	55	0,08 €
X24	30	0,04 €	X57	10	0,01 €
X25	45	0,07 €	X58	20	0,03 €
X26	30	0,04 €	X59	45	0,07 €
X27	30	0,04 €	X60	45	0,07 €
X28	45	0,07 €	X61	45	0,07 €
X29	60	0,09 €	X62	55	0,08 €
X30	55	0,08 €	X63	55	0,08 €
X31	20	0,03 €	X64	210	0,31 €
X32	60	0,09 €	X65	20	0,03 €
X33	55	0,08 €			

Tablo B.2: Fırın Arka Yüz Demontaj İşlem Net Gelirleri

	Ana altmontaj	Alt montaj 1	Alt montaj 2	Ana montaj servis söküm değeri	Alt montaj 1 değeri	Alt montaj 2 değeri	İşlem maliyeti	Toplam işlem geliri
X1	1/11	1/2,4/11	3	3,20 €	3,17 €	0,08 €	0,04 €	0,00 €
X2	1/11	1,3/11	2	3,20 €	2,79 €	0,36 €	0,04 €	-0,08 €
X3	1/2,4/11	1,4/11	2	3,17 €	2,76 €	0,36 €	0,06 €	-0,11 €
X4	1,3/11	1,4/11	3	2,79 €	2,76 €	0,08 €	0,06 €	-0,01 €
X5	1,3/11	3/11	1	2,79 €	2,51 €	0,63 €	0,07 €	0,29 €
X6	1,4/11	4/11	1	2,76 €	2,48 €	0,63 €	0,09 €	0,27 €
X7	3/11	4/11	3	2,51 €	2,48 €	0,08 €	0,06 €	-0,01 €
X8	3/11	3,5/11	4	2,51 €	2,14 €	0,47 €	0,07 €	0,03 €
X9	4/11	5/11	4	2,48 €	2,11 €	0,47 €	0,08 €	0,01 €
X10	5/11	5/6,8/11	7	2,11 €	1,47 €	0,81 €	0,09 €	0,08 €
X11	5/11	6/11	5	2,11 €	1,84 €	0,27 €	0,07 €	-0,07 €
X12	5/11	5,7/11	6	2,11 €	1,80 €	0,39 €	0,11 €	-0,03 €
X13	3,5/11	3,6/11	5	2,14 €	1,87 €	0,27 €	0,08 €	-0,08 €
X14	3,5/11	5/11	3	2,14 €	2,11 €	0,08 €	0,04 €	0,00 €
X15	3,5/11	3,5/6,8/11	7	2,14 €	1,50 €	0,81 €	0,10 €	0,06 €
X16	5,7/11	5,7/8,10/11	9	1,80 €	1,32 €	2,11 €	0,08 €	1,54 €
X17	5,7/11	5,8/11	7	1,80 €	1,16 €	0,81 €	0,10 €	0,06 €
X18	5,7/11	7/11	5	1,80 €	1,54 €	0,34 €	0,07 €	0,00 €
X19	6/11	7/11	6	1,84 €	1,54 €	0,39 €	0,11 €	-0,03 €
X20	6/11	6,8/11	7	1,84 €	1,20 €	0,81 €	0,09 €	0,08 €
X21	5/6,8/11	6,8/11	5	1,47 €	1,20 €	0,27 €	0,07 €	-0,07 €
X22	5/6,8/11	5,8/11	6	1,47 €	1,16 €	0,39 €	0,11 €	-0,03 €
X23	3,6/11	3,6,8/11	7	1,87 €	1,23 €	0,81 €	0,09 €	0,08 €
X24	3,6/11	6/11	3	1,87 €	1,84 €	0,08 €	0,04 €	0,00 €
X25	3,5/6,8/11	3,6,8/11	5	1,50 €	1,23 €	0,27 €	0,07 €	-0,07 €
X26	3,5/6,8/11	5/6,8/11	3	1,50 €	1,47 €	0,08 €	0,04 €	0,00 €
X27	3,6,8/11	6,8/11	3	1,23 €	1,20 €	0,08 €	0,04 €	0,00 €
X28	5,7/8,10/11	7/8,10/11	5	1,32 €	1,05 €	0,27 €	0,07 €	-0,07 €
X29	5,7/8,10/11	5,8,10/11	7	1,32 €	0,68 €	0,81 €	0,09 €	0,08 €
X30	7/11	7/8,10/11	9	1,54 €	1,05 €	2,11 €	0,08 €	1,54 €
X31	7/11	7,9/11	8	1,54 €	1,46 €	0,16 €	0,03 €	0,05 €
X32	7/11	8/11	7	1,54 €	0,90 €	0,81 €	0,09 €	0,08 €
X33	5,8/11	5,8,10/11	9	1,16 €	0,68 €	2,11 €	0,08 €	1,54 €
X34	5,8/11	8/11	5	1,16 €	0,90 €	0,27 €	0,07 €	-0,07 €
X35	5,8/11	5,8/9,11	10	1,16 €	0,98 €	0,78 €	0,29 €	0,31 €
X36	6,8/11	8/11	6	1,20 €	0,90 €	0,39 €	0,11 €	-0,03 €
X37	7/8,10/11	7,10/11	8	1,05 €	0,98 €	0,16 €	0,01 €	0,07 €
X38	7/8,10/11	8,10/11	7	1,05 €	0,41 €	0,81 €	0,09 €	0,08 €
X39	7,9/11	7,10/11	9	1,46 €	0,98 €	2,11 €	0,07 €	1,56 €
X40	7,9/11	9/11	7	1,46 €	0,82 €	0,81 €	0,09 €	0,08 €
X41	8/11	8,10/11	9	0,90 €	0,41 €	2,11 €	0,08 €	1,54 €
X42	8/11	9/11	8	0,90 €	0,82 €	0,16 €	0,03 €	0,05 €
X43	8/11	8,9,11	10	0,90 €	0,72 €	0,78 €	0,29 €	0,31 €
X44	5,8/9,11	5,8,11	9	0,98 €	0,50 €	2,11 €	0,07 €	1,56 €
X45	5,8/9,11	8,9,11	5	0,98 €	0,72 €	0,27 €	0,07 €	-0,07 €
X46	5,8/9,11	5,8/9	11	0,98 €	0,83 €	0,18 €	0,01 €	0,01 €
X47	5,8,10/11	8,10/11	5	0,68 €	0,41 €	0,27 €	0,07 €	-0,07 €

X48	5,8,10/11	5,8,11	10	0,68 €	0,50 €	0,78 €	0,29 €	0,31 €
X49	7,10/11	10,11	7	0,98 €	0,34 €	0,81 €	0,09 €	0,08 €
X50	8,10,11	8,11	10	0,41 €	0,23 €	0,78 €	0,29 €	0,31 €
X51	8,10,11	10,11	8	0,41 €	0,34 €	0,16 €	0,03 €	0,05 €
X52	5,8,11	8,11	5	0,50 €	0,23 €	0,27 €	0,07 €	-0,07 €
X53	5,8,11	5,8	11	0,50 €	0,34 €	0,18 €	0,01 €	0,01 €
X54	9/11	10,11	9	0,82 €	0,34 €	2,11 €	0,07 €	1,56 €
X55	9/11	9,11	10	0,82 €	0,64 €	0,78 €	0,29 €	0,31 €
X56	8,9,11	8,11	9	0,72 €	0,23 €	2,11 €	0,08 €	1,54 €
X57	8,9,11	9,11	8	0,72 €	0,64 €	0,16 €	0,01 €	0,07 €
X58	8,9,11	8,9	11	0,72 €	0,56 €	0,18 €	0,03 €	-0,01 €
X59	5,8/9	5,8	9	0,83 €	0,34 €	2,11 €	0,07 €	1,56 €
X60	5,8/9	8,9	5	0,83 €	0,56 €	0,27 €	0,07 €	-0,07 €
X61	8,9	8	9	0,56 €	0,16 €	2,11 €	0,07 €	1,64 €
X62	5,8	5	8	0,34 €	0,27 €	0,16 €	0,08 €	0,00 €
X63	9,11	9	11	0,64 €	2,11 €	0,18 €	0,08 €	1,56 €
X64	10,11	10	11	0,34 €	0,78 €	0,18 €	0,31 €	0,32 €
X65	8,11	8	11	0,23 €	0,16 €	0,18 €	0,03 €	0,08 €

Tablo B.3: Fırın Ön Yüz Demontaj İşlem Maliyetleri

	Demontaj süresi (sn)	Demontaj maliyeti (€)		Demontaj süresi (sn)	Demontaj maliyeti (€)		Demontaj süresi (sn)	Demontaj maliyeti (€)
X1	120	0,18 €	X38	45	0,07 €	X75	30	0,04 €
X2	55	0,08 €	X39	45	0,07 €	X76	60	0,09 €
X3	50	0,07 €	X40	45	0,07 €	X77	45	0,07 €
X4	30	0,04 €	X41	30	0,04 €	X78	20	0,03 €
X5	55	0,08 €	X42	60	0,09 €	X79	60	0,09 €
X6	120	0,18 €	X43	60	0,09 €	X80	45	0,07 €
X7	55	0,08 €	X44	45	0,07 €	X81	20	0,03 €
X8	30	0,04 €	X45	20	0,03 €	X82	60	0,09 €
X9	40	0,06 €	X46	60	0,09 €	X83	45	0,07 €
X10	45	0,07 €	X47	60	0,09 €	X84	30	0,04 €
X11	55	0,08 €	X48	20	0,03 €	X85	40	0,06 €
X12	55	0,08 €	X49	45	0,07 €	X86	60	0,09 €
X13	55	0,08 €	X50	30	0,04 €	X87	30	0,04 €
X14	30	0,04 €	X51	55	0,08 €	X88	60	0,09 €
X15	45	0,07 €	X52	30	0,04 €	X89	30	0,04 €
X16	40	0,06 €	X53	40	0,06 €	X90	60	0,09 €
X17	30	0,04 €	X54	60	0,09 €	X91	20	0,03 €
X18	55	0,08 €	X55	60	0,09 €	X92	60	0,09 €
X19	40	0,06 €	X56	60	0,09 €	X93	20	0,03 €
X20	50	0,07 €	X57	30	0,04 €	X94	60	0,09 €
X21	50	0,07 €	X58	20	0,03 €	X95	20	0,03 €
X22	25	0,04 €	X59	60	0,09 €	X96	30	0,04 €
X23	45	0,07 €	X60	60	0,09 €	X97	45	0,07 €
X24	50	0,07 €	X61	20	0,03 €	X98	70	0,10 €
X25	30	0,04 €	X62	30	0,04 €	X99	45	0,07 €
X26	35	0,05 €	X63	60	0,09 €	X100	60	0,09 €
X27	65	0,10 €	X64	20	0,03 €	X101	45	0,07 €
X28	60	0,09 €	X65	30	0,04 €	X102	30	0,04 €

X29	50	0,07 €	X66	60	0,09 €	X103	20	0,03 €
X30	20	0,03 €	X67	45	0,07 €	X104	45	0,07 €
X31	30	0,04 €	X68	45	0,07 €	X105	30	0,04 €
X32	60	0,09 €	X69	60	0,09 €	X106	70	0,10 €
X33	60	0,09 €	X70	60	0,09 €	X107	65	0,10 €
X34	45	0,07 €	X71	45	0,07 €	X108	30	0,04 €
X35	20	0,03 €	X72	30	0,04 €	X109	55	0,08 €
X36	45	0,07 €	X73	60	0,09 €	X110	45	0,07 €
X37	30	0,04 €	X74	45	0,07 €			

Tablo B.4: Fırın Ön Yüz Demontaj İşlem Net Gelirleri

	Ana altmontaj	Alt montaj 1	Alt montaj 2	Ana montaj değeri	Alt montaj 1 değeri	Alt montaj 2 değeri	İşlem maliyeti	Toplam işlem geliri
X1	1/10	2/10	1	2,70 €	2,33 €	0,62 €	0,18 €	0,07 €
X2	1/10	1,3/10	2	3,20 €	3,19 €	0,02 €	0,08 €	-0,08 €
X3	2/10	2/3,5/10	4	2,33 €	1,92 €	0,52 €	0,07 €	0,03 €
X4	2/10	2,4/10	3	2,33 €	2,32 €	0,00 €	0,04 €	-0,05 €
X5	2/10	3/10	2	2,33 €	2,32 €	0,02 €	0,08 €	-0,08 €
X6	1,3/10	3/10	1	2,70 €	2,32 €	0,62 €	0,18 €	0,06 €
X7	2/3,5/10	3,5/10	2	1,92 €	1,91 €	0,02 €	0,08 €	-0,08 €
X8	2/3,5/10	2,5/10	3	1,92 €	1,92 €	0,00 €	0,04 €	-0,05 €
X9	2/3,5/10	2/3,6/10	5	1,92 €	1,91 €	0,00 €	0,06 €	-0,07 €
X10	2/3,5/10	2/3,5,7/10	6	1,92 €	1,76 €	0,21 €	0,07 €	-0,02 €
X11	2,4/10	2,5/10	4	2,32 €	1,92 €	0,52 €	0,08 €	0,02 €
X12	2,4/10	4/10	2	2,32 €	2,31 €	0,02 €	0,08 €	-0,08 €
X13	3/10	3,5/10	4	2,32 €	1,91 €	0,52 €	0,08 €	0,02 €
X14	3/10	4/10	3	2,32 €	2,31 €	0,00 €	0,04 €	-0,05 €
X15	3,5/10	3,5,7/10	6	1,91 €	1,74 €	0,21 €	0,07 €	-0,02 €
X16	3,5/10	3,6/10	5	1,91 €	1,90 €	0,00 €	0,06 €	-0,07 €
X17	3,5/10	5/10	3	1,91 €	1,90 €	0,00 €	0,04 €	-0,05 €
X18	2,5/10	5/10	2	1,92 €	1,90 €	0,02 €	0,08 €	-0,08 €
X19	2,5/10	2,6/10	5	1,92 €	1,91 €	0,00 €	0,06 €	-0,07 €
X20	2,5/10	2,5,7/10	6	1,92 €	1,75 €	0,21 €	0,07 €	-0,03 €
X21	2/3,6/10	3,6/10	2	1,91 €	1,90 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X22	2/3,6/10	2,6/10	3	1,91 €	1,91 €	0,00 €	0,04 €	-0,04 €
X23	2/3,6/10	2/3,7/10	6	1,91 €	1,75 €	0,21 €	0,07 €	-0,02 €
X24	2/3,5,7/10	3,5,7/10	2	1,76 €	1,74 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X25	2/3,5,7/10	2,5,7/10	3	1,76 €	1,75 €	0,00 €	0,04 €	-0,05 €
X26	2/3,5,7/10	2/3,7/10	5	1,76 €	1,75 €	0,00 €	0,05 €	-0,06 €
X27	2/3,5,7/10	2/3,5,8/10	7	1,76 €	1,69 €	0,18 €	0,10 €	0,02 €
X28	2/3,5,7/10	2/3,5,7,9/10	8	1,76 €	1,70 €	0,06 €	0,09 €	-0,09 €
X29	4/10	5/10	4	2,31 €	1,90 €	0,52 €	0,07 €	0,03 €

X30	3,5,7/10	5,7/10	3	1,74 €	1,73 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X31	3,5,7/10	3,7/10	5	1,74 €	1,73 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X32	3,5,7/10	3,5,8/10	7	1,74 €	1,67 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X33	3,5,7/10	3,5,7,9/10	8	1,74 €	1,68 €	0,06 €	0,09 €	-0,09 €
X34	3,6/10	3,7/10	6	1,90 €	1,73 €	0,21 €	0,07 €	-0,02 €
X35	3,6/10	6/10	3	1,90 €	1,89 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X36	5/10	5,7/10	6	1,90 €	1,73 €	0,21 €	0,07 €	-0,02 €
X37	5/10	6/10	5	1,90 €	1,89 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X38	2,6/10	6/10	2	1,91 €	1,89 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X39	2,6/10	2,7/10	6	1,91 €	1,74 €	0,21 €	0,07 €	-0,02 €
X40	2,5,7/10	5,7/10	2	1,75 €	1,73 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X41	2,5,7/10	2,7/10	5	1,75 €	1,74 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X42	2,5,7/10	2,5,8/10	7	1,75 €	1,68 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X43	2,5,7/10	2,5,7,9/10	8	1,75 €	1,69 €	0,06 €	0,09 €	-0,09 €
X44	2/3,7/10	3,7/10	2	1,75 €	1,73 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X45	2/3,7/10	2,7/10	3	1,75 €	1,74 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X46	2/3,7/10	2/3,8/10	7	1,75 €	1,68 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X47	2/3,7/10	2/3,7,9/10	8	1,75 €	1,69 €	0,06 €	0,09 €	-0,09 €
X48	2/3,5,8/10	2,5,8/10	3	1,69 €	1,68 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X49	2/3,5,8/10	3,5,8/10	2	1,69 €	1,67 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X50	2/3,5,8/10	2/3,8/10	5	1,69 €	1,68 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X51	2/3,5,7,9/10	3,5,7,9/10	2	1,70 €	1,68 €	0,02 €	0,08 €	-0,08 €
X52	2/3,5,7,9/10	2,5,7,9/10	3	1,70 €	1,69 €	0,00 €	0,04 €	-0,05 €
X53	2/3,5,7,9/10	2/3,7,9/10	5	1,70 €	1,69 €	0,00 €	0,06 €	-0,07 €
X54	2/3,5,7,9/10	2/3,5,9/10	7	1,70 €	1,63 €	0,33 €	0,09 €	0,17 €
X55	5,7/10	5,7,9/10	8	1,73 €	1,67 €	0,06 €	0,09 €	-0,09 €
X56	5,7/10	5,8/10	7	1,73 €	1,66 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X57	5,7/10	7/10	5	1,73 €	1,73 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X58	3,7/10	7/10	3	1,73 €	1,73 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X59	3,7/10	3,8/10	7	1,73 €	1,66 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X60	3,7/10	3,7,9/10	8	1,73 €	1,67 €	0,06 €	0,09 €	-0,09 €
X61	3,5,8/10	5,8/10	3	1,67 €	1,66 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X62	3,5,8/10	3,8/10	5	1,67 €	1,66 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X63	3,5,8/10	3,5,9/10	8	1,67 €	1,61 €	0,06 €	0,09 €	-0,09 €
X64	3,5,7,9/10	5,7,9/10	3	1,68 €	1,67 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X65	3,5,7,9/10	3,7,9/10	5	1,68 €	1,67 €	-0,06 €	0,04 €	-0,11 €
X66	3,5,7,9/10	3,5,9/10	7	1,68 €	1,61 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X67	6/10	7/10	6	1,89 €	1,73 €	0,21 €	0,07 €	-0,02 €
X68	2,7/10	7/10	2	1,74 €	1,73 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X69	2,7/10	2,8/10	7	1,74 €	1,67 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X70	2,7/10	2,7,9/10	8	1,74 €	1,68 €	0,13 €	0,09 €	-0,02 €
X71	2,5,8/10	5,8/10	2	1,68 €	1,66 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X72	2,5,8/10	2,8/10	5	1,68 €	1,67 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €

X73	2,5,8/10	2,5,9/10	8	1,68 €	1,62 €	0,13 €	0,09 €	-0,02 €
X74	2,5,7,9/10	5,7,9/10	2	1,69 €	1,67 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X75	2,5,7,9/10	2,7,9/10	5	1,69 €	1,68 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X76	2,5,7,9/10	2,5,9/10	7	1,69 €	1,62 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X77	2/3,8/10	3,8/10	2	1,68 €	1,66 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X78	2/3,8/10	2,8/10	3	1,68 €	1,67 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X79	2/3,8/10	2/3,9/10	8	1,68 €	1,62 €	0,13 €	0,09 €	-0,02 €
X80	2/3,7,9/10	3,7,9/10	2	1,69 €	1,67 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X81	2/3,7,9/10	2,7,9/10	3	1,69 €	1,68 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X82	2/3,7,9/10	2/3,9/10	7	1,69 €	1,62 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X83	2/3,5,9/10	3,5,9/10	2	1,63 €	1,61 €	0,13 €	0,07 €	0,05 €
X84	2/3,5,9/10	2,5,9/10	3	1,63 €	1,62 €	0,00 €	0,04 €	-0,05 €
X85	2/3,5,9/10	2/3,9/10	5	1,63 €	1,62 €	0,00 €	0,06 €	-0,07 €
X86	5,7,9/10	5,9/10	7	1,67 €	1,60 €	0,33 €	0,09 €	0,17 €
X87	5,7,9/10	7,9/10	5	1,67 €	1,67 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X88	5,8/10	5,9/10	8	1,66 €	1,60 €	0,06 €	0,09 €	-0,09 €
X89	5,8/10	8/10	5	1,66 €	1,65 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X90	7/10	8/10	7	1,73 €	1,65 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X91	3,8/10	8/10	3	1,66 €	1,65 €	0,04 €	0,03 €	0,00 €
X92	3,8/10	3,9/10	8	1,66 €	1,60 €	0,06 €	0,09 €	-0,09 €
X93	3,7,9/10	7,9/10	3	1,67 €	1,67 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X94	3,7,9/10	3,9/10	7	1,67 €	1,60 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X95	3,5,9/10	5,9/10	3	1,61 €	1,60 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X96	3,5,9/10	3,9/10	5	1,61 €	1,60 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X97	2,8/10	8/10	2	1,67 €	1,65 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X98	2,8/10	2,9/10	8	1,67 €	1,61 €	0,13 €	0,10 €	-0,03 €
X99	2,7,9/10	7,9/10	2	1,68 €	1,67 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X100	2,7,9/10	2,9/10	7	1,68 €	1,61 €	0,18 €	0,09 €	0,03 €
X101	2,5,9/10	5,9/10	2	1,62 €	1,60 €	0,13 €	0,07 €	0,05 €
X102	2,5,9/10	2,9/10	5	1,62 €	1,61 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X103	2/3,9/10	2,9/10	3	1,62 €	1,61 €	0,00 €	0,03 €	-0,03 €
X104	2/3,9/10	3,9/10	2	1,62 €	1,60 €	0,02 €	0,07 €	-0,07 €
X105	5,9/10	9/10	5	1,60 €	1,60 €	0,00 €	0,04 €	-0,06 €
X106	7,9/10	9/10	7	1,67 €	1,60 €	0,33 €	0,10 €	0,16 €
X107	8/10	9/10	8	1,65 €	1,60 €	0,06 €	0,10 €	-0,10 €
X108	3,9/10	9/10	3	1,60 €	1,60 €	0,00 €	0,04 €	-0,05 €
X109	2,9/10	9/10	2	1,61 €	1,60 €	0,02 €	0,08 €	-0,08 €
X110	9/10	9	10	1,60 €	0,01 €	2,00 €	0,07 €	0,34 €

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İstanbul’da doğan Muzaffer Uykan, 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde lisans eğitime başlamış, 2003 yılında Toplam Üretken Bakım konulu bitirme çalışması ile bu bölümden mezun olmuştur. Aynı sene yine İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği yüksek lisans eğitime başlamıştır. Üniversite-Sanayi işbirliği projesi çerçevesinde Arçelik A.Ş.’de Elektrikli Elektronik Ekipmanların Geri Dönüşümü, Demontaj Yöntemleri ve Maliyet Analizi ile ilgili çalışmalarda bulunmuş ve aynı konulu yüksek lisans tez çalışması ile 2005 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır.