

HURDA GERİ DÖNÜŞÜM EKONOMİSİ VE

YAPAY ZEKA KULLANIM ALANLARI

Mehmet Fatih Taşkın*, Mehmet Faruk Yaren*, Özer Uygun*, Ahmet Alp*

**Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*

ÖZET

Geri dönüşüm terim olarak, kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır. Hurda malzeme geri dönüşümü; katı atıkların ayrılması ve tekrar kullanıma sokulması anlamına gelmektedir. Geri dönüşümün temel hedefleri arasında uzaklaştırılacak atık hacimlerinin azaltılması ve doğal kaynakların korunması ve çevre kirliliğinin azaltılması yer almaktadır.

Başlıca geri dönüşüm malzemeleri kâğıt, metal, plastik, cam, vb. şeklindedir. Bunların içinde hurda metal geri dönüşüm endüstrisi çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Miktar olarak en çok geri dönüştürülen metallerin bazıları; demir, çelik, bakır, pirinç (sarı), alüminyum, çinko, paslanmaz çelik, kurşun vb. hurda metaller genel olarak demirli (ferrous) ve demir dışı (non-ferrous) olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Hurda metallerin geri kazanılması için harcanan enerji metallerinin madenlerden çıkartılması için gereken enerjiden çok daha azdır. 1 ton alüminyum geri dönüşümle hurdadan kazanmak için gereken enerji, cevherden üretilecek alüminyum, bakır ve demir/çelik için harcanan enerjinin sırasıyla sadece %4, % 13 ve % 19'udur. Aynı şekilde 1 ton kullanılmış kâğıdın geri kazanılması ile 17 ağaç kurtarılmakta, 4100 kilovat saatlik enerji tasarruf edilmektedir ki bu miktar bir ailenin ortalama olarak 1 yılda kullandıkları elektrik enerjisidir.

Geri dönüşüm konusunda atık suların tekrar değerlendirilmesinin sağlanmasında kullanılan Yapay Sinir Ağları (YSA) vb. tekniklerin yanı sıra; katı atıkların geri dönüşümü sürecinde ayrıştırılması, tasnifi ve değerlendirilmesi aşamalarında da çeşitli Yapay Zeka teknolojileri kullanılabilir. Örüntü Tanıma teknolojisi ile malzemelerin fiziki özelliklerine göre sınıflandırılarak, buna göre işleme tabi tutulması yoluyla ekonomik kazanım sağlanabilir. Yine aynı şekilde malzeme karışım oranlarının Bulanık Mantık ile değerlendirilmesi ve buna bağlı kimyasal proseslere uygulanması sayesinde gerek enerji gerekse kimyasal malzeme kullanım oranlarının düşürülmesi söz konusu olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüşüm, Geri dönüşüm ekonomisi, Yapay zeka, Örüntü tanıma, Bulanık mantık

Sorumlu Yazar: Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Esentepe Kampüsü, 54187, SAKARYA
mftaskin@sakarya.edu.tr

1-GİRİŞ

Geri dönüşüm ile ilgili birçok tanımlama yapılabilmektedir. Üzerinde uzlaşmaya varılan geri dönüşüm tanımlarından birisi de, "doğal kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlayacak, gelecek kuşaklara potansiyel kaynakların mümkün olabilen en fazla miktarını bırakabilecek en önemli atık yönetim biçimi" olduğudur.

Hızla büyüyen Dünya nüfusu ile paralel olarak tüketim ve doğadaki tahribat da hızla artmaktadır. Hurda olarak nitelendirdiğimiz kullanım dışı kalan maddeleri tekrar kullanılabilir kılarak enerjiden, paradan ve zamandan ciddi tasarruf edilebilir gözükmemektedir. Tabii kaynakların sınırsız olmadığı, dikkatlice kullanılmadığı takdirde bir gün bu kaynakların tükeneceği şüphesizdir. Kaynak israfını önlemenin yanında, hayat standartlarını yükseltme çabaları ve her an ortaya çıkabilen enerji krizleri ile bu gerçeği gören gelişmiş ülkeler atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması için yöntemler aramış ve geliştirmişlerdir. Aynı gerçeğin ışığı altında Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde atıkların geri kazanılması şartı getirilmiştir. Ülkemizde de Çevre ve Orman Bakanlığı'nca çıkartılan yönetmeliklerle belli başlı bazı atıkların geri kazanılması ile ilgili yasal düzenlemeler tamamlanmış olup daha çok uygulama sıkıntıları yaşanmaktadır.

Kalkınma çabasında olan ülkemizin de, tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmesi için atık israfına son verilmesi, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırması önem arz etmektedir.

Demir, çelik, bakır, kurşun, kağıt, plastik, kauçuk, cam gibi maddelerin geri kazanılması ve tekrar kullanılması, tabii kaynaklarımızın tükenmesini önleyeceği gibi, ülke ihtiyaçlarını karşılayabilmek için ithal edilen hurda malzemeye ödenen döviz miktarını da azaltacak, kullanılan enerjiden büyük ölçüde tasarruf edilecektir. En az yukarıda sayılanlar kadar önemli olan diğer bir husus da uzaklaştırılacak katı atık miktarlarındaki büyük azalma ve dolayısıyla çevre kirliliğinin büyük ölçüde önlenmesidir.

2-BİRİNCİL MALZEME ÜRETİMİ, HURDA MALZEMELER VE GERİ DÖNÜŞÜM

Dünyada nüfusa, zenginleşmeye, ihtiyaçlara, beklentilere vb bağlı olarak artan tüketim, geri dönüşümün de hala yeterli seviyede olmaması gibi nedenler birincil malzeme (hammadeden hareketle) üretim hızının artarak devam etmesine neden olmaktadır. Dünya ham çelik üretimi, 2000 yılından sonra küresel ekonomideki istikrarlı büyümeye ve artan talebe bağlı olarak hızlı bir büyüme sürecine girmiştir. 2000 yılında 847 milyon ton olarak gerçekleşen Dünya ham çelik üretimi, 2010 yılında 1 milyar 430 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. 2011 yılında ise 1 milyar 527 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye, 2012 yılı itibarıyla gerçekleştirilen 35,8 milyon tonluk üretimiyle bir önceki yıla göre (34,1 milyon ton) ham çelik üretimini % 5,2 arttırmıştır. Bu performansı ile Türkiye, Dünya

Ham Çelik Üretim sıralamasında ilk 10 ülke arasında 8. sırada yer almıştır. Tablo 1’de Türkiye’nin yıllara göre ham çelik üretimi yer almaktadır [1].

Tablo 1: Türk Demir Çelik Sektörünün Yıllara Göre Ham Çelik Üretimi (milyon ton)

YILLAR	2005	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Üretim Miktarı	20,9	25,8	26,8	25,3	29,0	34,1	35,8

AB ve diğer batı ülkeleri döküm sektörünün zorluğu, katma değerinin düşüklüğü, emeğe dayalı olması nedeniyle, bu sektörde yeni yatırımlar yapmayıp ihtiyaçlarını Doğu Avrupa, Türkiye, Çin, Hindistan gibi ülkelere temin etme yoluna gitmektedirler. Türk döküm sektörünün gerek Avrupa’da, gerekse dünyada önemli bir yeri vardır. Türkiye, Avrupa Döküm Birliği verilerine göre 2010 yılında toplam 1,3 milyon tonluk döküm üretimi ile toplam döküm üretimi açısından Avrupa’da 4. sırada yer almaktadır. Hammadde fiyatlarındaki dalgalanmalar, enerji fiyatlarının yüksekliği, Çin, Hindistan ve Doğu Avrupa ülkeleri ile yaşanan rekabet, sektördeki büyümeyi etkileyebilecek faktörler olarak ön plana çıkmaktadır. Hurda ve geri dönüşüm oranlarının artması ile döküm maliyetlerin düşmesinin sağlanması ile rekabet şartlarımızın lehimize döndürülmesi mümkündür [2].

Tablo 2’de döküm üreticisi ilk 10 ülkenin yer aldığı üretim miktarları çeşitlerine göre gösterilmektedir [1].

Tablo 2: 2009 yılı Dünya Döküm Üreticileri (İlk 10 ülke)(milyon ton)

	Pik	Sfero	Çelik	Demir dışı	Toplam
Çin	17	8,7	4,8	4,2	34,7
Hindistan	5	0,8	0,9	0,6	7,3
ABD	0,4	2,6	0,7	1,7	5,4
Japonya	1,7	1,4	0,2	1,1	4,4
Rusya	1,7	1,2	0,7	0,5	4,1
Almanya	1,8	1,2	0,2	0,7	3,9
Brezilya	1,9		1,2	0,2	3,3
Fransa	0,6	0,9	0,6	0,3	2,4
G. Kore	1	0,6	0,2	0,3	2,1

İtalya	0,6	0,4	0,1	0,7	1,8
Türkiye (12)	0,5	0,4	0,1	0,1	1,1

Hurdalar, genelde ikincil hammaddeler olarak tanımlanmaktadır. Metalik veya metal içeren karakterde olmalarına karşın, üretim prosesi, sirkülasyon ve piyasa açısından değerini kaybetmiş ve devre dışı kalmış ancak içerikleri nedeni ile yeniden işlenebilecek değerde olan ticari malzemelerdir. Hurda olarak nitelendirilerek geri dönüşümü yapılan başlıca malzemeler, çeşitli üretim prosesleri sırasında oluşmuş olup, buna göre çeşitli şekillerde isimlendirilen ve prosese üretim sırasında dahil olan maddeler yanında plastik, metal, cam, kâğıt/karton ve kompozit ambalaj atıklarıdır. Su, meşrubat, deterjan, şampuan, sıvı yağ plastik ambalajları, yoğurt ve margarin kapları, bidonlar, plastik ambalajlara örnek olarak gösterilmektedir. Plastik ambalaj atıklarından, üretildiği hammaddenin özelliklerine göre sentetik elyaf, dolgu malzemesi, gıda sanayinde kullanılmamak koşuluyla plastik şişe, çöp torbası, atık su borusu, marley ve çeşitli dolgu malzemeleri gibi ürünler elde edilebilmektedir.

Demir-çelik bazlı hurda malzemeleri Değirmen Hurdası, HMS hurdası (heavy melting scrap-Ağır ergitme hurdası), DKP hurdası (kaporta veya sac artıkları), ÇHGD hurdası (curuf artığı, yolluk, dolu kalıp vs.), HHGD hurdası (baş, ayak, krop kesimleri, standart dışı malzeme), Pik hurdası, Çelik talaşı, İmalat artığı, Yüksek alaşımlı hurda, Fabrika hurdası (proses geri döndüsü), Yerli hurda, İthal hurda, Metal ambalajlar vb isimleriyle sınıflandırılmaktadır. Alüminyum hurda malzemeleri, inşaat sektöründe (pencere ve kapılar, oluklar, tente, tavan ve cephe kaplamaları, süsleme ve dekorlar, güneş kollektörleri, karayolu işaret ve levhaları, otoyol bariyerleri vb), kimya ve gıda sanayinde (kağıt endüstrisinde hamur değirmenleri, mineral asit üretim teçhizatı, petrol üretim yapıları, ambalaj endüstrisinde vb), ulaştırma sektöründe (karayolu taşıtlarında motor parçaları, demiryolu taşıtlarında vagonlar ve aksesuarları, denizyolu ve havayolu taşıtlarında işaret şamandıraları, yakıt, basınç ve havalandırma sistemleri vb), elektrik ve elektronik sanayinde (yalıtılmış güç kabloları, enerji dağıtım cihazları, antenler, iç dağıtım ve aydınlatma gereçleri vb.), makine ve ekipman imalat sanayinde (makine yatakları, pompa, kompresör, fan vb) ve muhtelif mutfak ve ev eşyaları, spor araç ve gereçleri gibi alanlarda oluşmaktadır [3].

Dünyada geri dönüşüm için en çok toplanan malzeme kola, konserve gibi içecek ve gıdaların saklandığı çelik kutulardır. IISI rakamlarında göre 2006 yılında 35 ülkeden toplam 6,6 milyon ton çelik kutu geri dönüşüme tabi tutulmuştur. Bu sayede yaklaşık 11,9 milyon ton karbondioksitin havaya karışması engellenmiş ve çevre ciddi bir yükten kurtulmuştur.

Geri dönüşümün önemi artık ülkemizde de anlaşılmaya başlandığından, 2006 yılı rakamlarında Türkiye ilk defa, Brezilya ve Çin ile birlikte raporda yer verilen ülkeler arasına girmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. 2006 yılı çelik kutu geri dönüşümü

2006 YILI ÇELİK KUTU GERİ DÖNÜŞÜMÜ	
Ülke/Bölge	Geri Dönüşüm Tonajı (bin ton)
Avrupa Birliği	2.479
ABD	1.306
Çin	1.266
Japonya	721
Brezilya	292
Güney Kore	222
Güney Afrika	129
Kanada	145
Türkiye	79
Toplam	6.639

Ancak, demir cevherinden çelik üretimi gerçekleştirmekten daha ucuz olan hurda çeliğin hammadde olarak kullanılmasıyla çelik üretimi uygulamasındaki hâlihazırdaki hurda kullanım oranı kuşkusuz ki yetersizdir. Bunda ülkelerin ekonomik gelişimlerini tamamlaması yüzünden, sağladıkları hurda atığının yetersiz olmasının yanında, çeliğin kullanıldığı alandaki uzun ömrünün de etkisi vardır. Yeni yatırımların da ağırlıklı olarak hurda esaslı çalışan elektrik ark ocaklı tesislere yöneldiği zamanımızda, geri dönüşümün önemi her geçen gün artmaktadır [4].

Kıt olan doğal kaynakları gelecek kuşakların da kullanabilmeleri için, sürdürülebilir kalkınma anlayışı çerçevesinde, tüketimlerinin azaltılması, enerji tüketiminin düşürülmesi ve çevrenin korunması açılarından hurda alüminyumun toplatılarak yeniden değerlendirilen ikincil alüminyum sektörü büyük önem taşımakta, hurdadan üretilen alüminyumun toplam alüminyum üretimi içindeki payı sürekli olarak artmaktadır. Çünkü yeniden kullanımda (ikincil alüminyum) birincil (cevherden) üretimde harcanan enerjinin en fazla % 5 i kadar enerji kullanılmaktadır.

Bugün dünyada üretilen toplam alüminyumun yaklaşık %40'ı ikincil (hurdadan üretilen) alüminyumdur. Bunun hemen hemen yarısını ABD tek başına üretmektedir. Avrupa alüminyum piyasasına bakıldığında; birincil üretimin yüksek enerji girdisi ve çevresel etkileri nedeniyle birincil tüketimdeki artışa paralel olarak birincil üretimin artmadığı, ithal yoluna gidildiği görülmektedir.

Alüminyum hurda arzının önemli bir kısmı içecek kutularından kaynaklanmakta olup, dünya ikincil alüminyum üretiminde içecek kutularının payı %27-55 arası değişmektedir [5].

Tablo 4. Avrupa'da Alüminyum Kutu Kullanımı ve Geri Dönüşümü

ÜLKE	İçecek Kutusu Kullanımı			
	Toplam Kutu(1)	Al Kutu(2)	Al Payı(%)	Geri Dönüş Oranı(%)
İngiltere	7120	5300	74	42

İspanya	5880	2350	40	20
İtalya	1500	1850	97	46
Yunanistan	1050	1050	100	36
Almanya	7300	950	13	80(2)
İsveç	916	916	100	88
Türkiye	1030	835	81	50
Fransa	2500	820	28	29(2)
Genel Toplam	37400	21440	57	---
(1)Milyon adet; (2)Tahmini				

Cam şişe ve kavanozlar günlük hayatta kullanılan cam ambalaj atıkları, renklerine göre ayrılıp, kırılıp, elendikten sonra yıkanmaktadır. Sonra demir dışı metal ayrımı, ardından opak malzeme ayrımı yapıp, yüksek sıcaklıktaki fırınlarda eritilerek üretime tekrar dâhil edilmektedir [6]. Karton koliler ve kâğıt paketler gibi çok yaygın kullanımı olan ambalajların atıkları da kolaylıkla geri dönüştürülerek kâğıt ve kartondan yeni ürünler elde edilmesi sağlanmaktadır.

Kompozit ambalajlar, kâğıt/metal/plastik gibi birden fazla farklı malzemenin bir arada kullanılmasıyla oluşan ambalajlardır. Süt ve meyve suyu gibi içecekler, sıvı gıdalar için kullanılan içecek kartonları yüzde 80'i kâğıt ile az oranda plastik ve alüminyumdan imal edilmektedir. Bu tür ambalajlar da geri dönüştürülerek pelur kâğıt olarak kullanılmaktadır. Aşağıdaki Tablo 5'de bazı atıklardaki malzemelerin geri kazanımı durumunda orijinal hammadde den elde edilmeye göre hangi parametrelerden ne kadar kazanç sağlanabileceği net olarak gösterilmektedir.

Tablo 5. Geri dönüşüm sonucu kazançlarımız

	ENERJİ	HAVA KİRLİLİĞİ	SU KİRLİLİĞİ
Kâğıt	% 20 - 50	% 74 - 94	% 35
Demir - Çelik	% 35	% 85	% 76
Cam	% 32	% 20	% 50
Alüminyum	% 94	% 85 - 95	% 76

Hızlı nüfus artışı, konforlu hayat şartlarının gelişmesi, şehirleşme, okuma alışkanlığının artması, matbaacılığın ve ambalajlama sanayisinin gelişmesi, kâğıt - karton tüketimini artırmaktadır. Ülkelerin kâğıt tüketimi gelir seviyeleri ile değişmektedir. Atık kâğıt geri kazanım oranı dünyada ortalama % 34,5 olup, kullanım oranı % 56 civarındadır.

Ülkemizde atık kağıt birim fiyatı kalitesine göre değişmekte olup genellikle 0,1-0,2 USD/kg arasındadır. Ayrıca lamine kartonlar da geri kazanılabilmektedir. İçecek kartonları olan lamine kartonlar, %80 kâğıttan ve az bir oranda polietilen ve alüminyumdan oluşmaktadır. Kullanılmış lamine karton yüksek sıcaklıkta preslenerek yoğunlaştırılıp masa, sandalye, dolap gibi mobilya üretiminde ve aynı zamanda kağıt hammaddesi olarak da kullanılabilir. Aşağıdaki Tablo 6'da ülkelere göre kişi başı kağıt tüketimleri verilmiştir.

Yurdumuzda toplanan atık kağıtlarla oluklu mukavva, dış ambalaj kutuları (buzdolabı, T.V. v.b.), kromo karton (ilaç+deterjan ve diğer ambalaj kutuları), temizlik kağıtları (peçete+mendil+tuvalet kağıdı v.b.), yazı kağıtları (defter ve kitap), yumurta kartonları, çatı kaplamaları(ondüline) yapılmaktadır. Üretimde kâğıt kullanan sanayi kuruluşları devamlı olarak "hamur hazırlama" kısımlarına yatırım yapmakta olup, mümkün olduğunca atık kağıt kullanma gayreti içersindedir. Yıllara göre atık kâğıt kullanım oranı aşağıdaki Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6: Çeşitli Ülkelerin Kişi Başına Kâğıt Tüketimi

Ülkeler	Kağıt Tüketimi (Kg/Kişi/Yıl)
ABD	332
Almanya	187.7
Japonya	239
Hollanda	203.2
İngiltere	163.5
A.B. Topluluğu Ülkeleri	190
Diğer Batı Ülkeleri	203
Asya Ülkeleri	26
Afrika Ülkeleri	5.5
Dünya Ortalaması	50.4
Türkiye Ortalaması	42.0
İstanbul	53.0

Tablo 7: Türkiye'de Atık Kâğıt Kullanım ve Geri Kazanım Oranları (bin ton) [7]

Grup / Yıl	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Seka	86.4	91.0	46.8	30,6	17,3				
Özel	963.5	885.9	1.175	1,258.3	1.395.6	1.509	1.669	1.823	1.913
Toplam Atık Kağıt Alımı	1,049.9	977.8	1,221.8	1,288.9	1.412.9	1.509	1.669	1.823	1.913
Kağıt - Karton üretimi	1,567.2	1,484.9	1,643.3	1,619.3	1.769.3	1.952	2.118	2.229	2.332
Kullanım Oranı (%)	67.0	65.8	74.4	79.6	79.9	77.3	78.8	81.78	82.03
Atık Kağıt İthalatı (Ton)	62.4	91.9	186	63	37	28	43	27	73
Geri Kazanma Oranı	39.7	43.8	41.67	43	41.33	39.53	39.55	39.23	42.65

Dünyada bakır üretiminin kaynağı yalnızca bakır cevheri olmayıp önemli miktarlara varan bakır hurdası vasıtasıyla üretim de gerçekleştirilmekte, hatta kullanılan hurda cevherden daha fazla olmaktadır. Toplam hurdanın yaklaşık olarak %90'ının gelişmiş ülkelerde kullanıldığı görülecektir. Diğer yandan hurda bakırın %30'u tekrar rafine bakıra dönüşmekte, %70'lik kısım doğrudan imalat sanayiine gitmektedir. Bakır dayanıklı bir malzemedir. Elektriksel iletkenliğini bozulmadan sürdürür ve genellikle yıllarca bozulmaz ve paslanmaz. Örnek olarak evlerde ve bürolarda kullanılan bakır tel ve borular ile pirinç aksamalar uzun süre değiştirilmemektedir. Bakırın yapı sektöründeki bu uzun süreli kullanımı nedeniyle bu alanlardan az miktarda hurda ortaya çıkmaktadır. Binalarda kullanılan bu malzemeler için hurdaların geri dönüşüm hızı, yani eski hurda tüketiminin toplam bakır tüketimine oranı; çelik, alüminyum ve plastiklerle karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Bunun başlıca nedeni, çelik, alüminyum ve plastiğin uç kullanım alanlarından olan paketleme ürünlerinin birkaç haftalık kullanım süreleri olmaları ve yılda birkaç kez geri dönüştürülmeleridir. Diğer taraftan bakır bazlı ürünler daha uzun kullanım sürelerine sahiptirler. Bu da geri dönüştürülecek bakır hurdası miktarını azaltmaktadır [2].

3- GÜNÜMÜZDE HURDA GERİ DÖNÜŞÜMÜNDEKİ UYGULAMALAR

Ülkemizin çelik üretim hızı artmakta olup, dünyada en fazla çelik üreten ülkeler sıralamasında üst sıralarda yer bulmaktadır. Hurda kaynakları ise gerek sıvı çelik üretimini gerçekleştirmek gerekse entegre tesislerdeki üretim için gerekli hurda talebini karşılama açısından oldukça yetersizdir. Bu nedenle hurda talebi de artmaktadır. Bu talebin değişik kaynaklardan karşılanması mümkündür. Hurda kullanımı için hurdaların sınıflandırılması gerekli görülmektedir. Bunun için klasik kimyasal analiz metotları yanında hızlı ve kesin analiz yapan taşınabilir cihazlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin Outokumpu

(Finlandiya) firmasının geliştirdiği *X-MET* ve *ARC-MET* cihazları hurda analizi ve sınıflandırmada geniş bir uygulama alanı bulmakta ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

Hurdanın yeniden kullanımının devam etmesi, doğal olarak saflığın azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle proseste hurdadan gelen element seviyelerinin kontrolü ve gerektiğinde metalin periyodik olarak temizlenmesi gerekmektedir. Hurdaların kaynaklarının çeşitliliği veya değişik alaşımlardan oluşması halinde yeniden ergitme sürecinde oluşacak curuf ve benzeri atıkları azaltılması, baca gazı yoluyla çevreye olan olumsuz etkilerinin giderilmesi amacıyla ön ayırma sistemlerine ihtiyaç görülmektedir. Bu amaçla hurda işleyen çeşitli kuruluşlar, hurdaların selektif (seçici) olarak ayrılıp sınıflandırılabilmesi için de hurda cinsine özgü hurda işleme sistemleri geliştirmişlerdir.

Örnek olarak Outokumpu (Finlandiya) firmasının geliştirdiği hurda ayırma sisteminin ana üniteleri; EC (Eddy Current) Seperatör, RC (Rising Current) Seperatör, Allsep Seperatör, MHS (Magneto-Hydro-Static) Seperatör şeklindedir. Eddy Current Seperatör alüminyum, bakır ve çinkonun cam, seramik veya ahşaba göre daha yüksek elektrik iletkenliğine sahip olması esasına göre çalışmaktadır. EC seperatör daimi mıknatıslardan yapılıdır. Daimi mıknatıs fiberglas bir tambur içerisinde dönen manyetik bir tambura yerleştirilir. Bu sistemde elektrik iletkenliği olan metaller ile bu özellikte olmayan plastikler birbirinden ayrılmaktadır. EC seperatörünün kapasitesi takriben 4 ton/saat olup 20-150 mm boyuttaki parçaları ayırabilmektedir. RC Seperatörünün çalışma sistemi artan su akımına dayanmaktadır. Hurda malzemeler seperatörün tepe kısmına beslenir, yüzen maddeler su akımıyla seperatörün üst kısmındaki elekten geçerek ayrılırlar. Orta kısımdaki maddeler seperatörün merkezindeki elek vasıtasıyla alınır. Dipteki maddeler ise bir konveyör vasıtası ile eleğe taşınırlar. RC seperatöre beslenen malzemenin ebadı 0,1-100 mm'dir. Allsep Seperatör, X-ray fluoresan metodu ile çalışmaktadır. Bu ayırma sisteminde her elemente ait farklı dalga boylarına sahip x-ışınları hurda üzerine gönderilir ve dağılım ölçülür. Değerler bir mikro işlemciye sevk edilir. Bu seperatörde analiz süresi yaklaşık 100 msn, parça boyutu 20-2000 mm ve kapasitesi 5 ton/saat olabilmektedir. MHS ise ağırlık esas alınarak çalışan bir sistemdir. Manyetik kutuplar arasında bulunan bir ferromanyetik sıvı içine beslenen metaller ayırma uğramaktadır. Kutuplar arasındaki manyetik alanın kuvveti değiştirilerek metallerin karakteristik ağırlıkları değiştirilebilmektedir. Bu şekilde seperatör ile karakteristik ağırlıkları 0,8-17 kg/dm³ olan parçalar ayrılabilir. MHS'ye beslenen parça boyutu 0,1-30 mm ve seperatörün kapasitesi 0,5-2 ton/saat'tir.

Kablo hurdalarının yeniden değerlendirilmesi prosesi, ürün üretimi, hurdanın toplanması, hurdanın işlenmesi, hurdadan üretilen malzemenin rafinasyonu şeklinde dört kademeli bir çevrim oluşturmaktadır. Hurdanın işlenmesi kablo hurdalarının yoğunluğunun, saflığının ve işlenebilirliğinin arttırılması olarak tarif edilmektedir. Bu değerlendirme işleminde; soyma, yakma, dondurma ve granül hale getirme teknikleri kullanılmaktadır.

İçecek kutuları için yapılan bir uygulama olan ALCOA prosesinde ilk önce balyalanmış kullanılmış içecek kutuları bir çekiçli kırıcıya gelmekte, daha sonra lak giderme fırından geçmekte ve bir ergitme fırınına taşınmaktadır. Bir başka geri dönüşüm prosesi de ALCAN

prosesidir. ALCAN geri dönüşüm prosesinde önce alüminyum kutular “Parçalama” kısmında parçalanır. Akabinde “Magnetik Separatör” bölümünde demirli kısımlar (varsa) ayrıştırılır. “Decoating” bölümünde yavaş hareket eden bir konveyör üzerindeki parçalanmış alüminyum hurdaları üzerine yaklaşık 500°C de sıcak hava üfleme yapılır. Amaç hurdalar üzerindeki kirlilikleri ve lak kısmını gidermektir. Temizlenmiş hurdalar bir vorteks oluşturularak ergitilir [3]. Ergitme oranını yükseltmek, elde edilecek sıvı metalin kirlenmesini önleyerek eriyik kalitesini yükseltmek ve emisyonu azaltmak amacıyla boyalı ve yağlı hurda malzemeler ergitme öncesi boyadan ve yağdan arındırılırlar. Nemin giderilmesi amacı ile ön-ısıtma uygulanması da bir diğer ergitme öncesi işlemdir.

İkincil alüminyum üretiminde fırınlar döner, reverber ve indüksiyon fırınlar kullanılmaktadır. Kullanılacak fırın tipini belirlemede ergitilecek hurdanın cinsi, büyüklüğü ve kirlilik derecesi göz önünde bulundurulmaktadır. Ergitilecek hurdanın cinsine ve yapılmak istenen ürünün özelliklerine göre mevcut ergitme tekniklerinden bir veya birkaçı kullanılmaktadır. İkincil alüminyum üretiminde kullanılan fırınlarda hurdaların yapısına göre geri kazanım oranları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Hurdaların Değerlendirilmesinde Geri Kazanım Oranları [8]

Hurda Cinsi	Geri Kazanım Oranı (%)		
	Reverber Fırını	Döner Fırın	İndüksiyon Fırını
Levha, Kırpıntı, Arais	87	90	90
Preslenmiş Talaş, Folyo	80	85	90
Döküm Makine Parçaları	85	88	--
İçecek Kutuları	75	85	85
Şişe Kapakları	65	70	75

4-GERİ DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE YAPAY ZEKA KULLANIM ALANLARI

Yapay Zeka tekniklerinin geri dönüşüm süreçlerinde kullanılması son dönemde daha yaygın karşılaşılmaktadır. 2000’li yılların ilk başlarında çok nadir uygulama örnekleri varken; günümüzde değişik şekillerde karşımıza çıkmaktadır.

Hatami-Marbini [9] arkadaşlarıyla birlikte, tehlikeli atık geri dönüşüm tesislerinin güvenlik ve sağlık açısından değerlendirilmesinde bulanık çok-kriterli ve grup karar verme tekniği kullanmışlardır.

Schweiger ve Sahamie [10] kağıt geri dönüşüm ağının tasarımı için hibrid Tabu arama yaklaşımı uygulamışlardır. Benzer şekilde Diabat ve diğerleri [11], ürün geri dönüşleri için tersine lojistik ağının toplam maliyetini minimum kılacak şekilde tersine lojistik ağı tasarımının optimizasyonunda genetik algoritmalar ve yapay bağışıklık sistemi yaklaşımlarını uygulamışlar ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Yapay zeka tekniklerinin geri dönüşüm konusunda nispeten daha erken kullanıldığı çalışmalardan biri Tandler ve arkadaşlarına [12] aittir. Bu çalışmalarında plastik geri dönüşüm ürünlerinin sınıflandırılmasında üç farklı uzman sistem türü kullanmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Luo ve Huang [13], elektroliz ile kaplama tesisinde atıkların

minimizasyonu için yapay zeka ve bulanık mantık temelli zeki karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Wen ve Vassiliadis [14], atık suların işlenmesinde gerçek zamanlı kontrol ve yapay zeka tekniklerine dayanan bir otomatik kontrol sistemi önermişlerdir. Yapay zeka teknikleri, atık suların doğaya salınmasında önce içerisindeki yabancı malzemelerin arındırılması veya belirli standartlar içerisinde tutulması gibi karmaşık işlemleri barındıran sürecin daha farklı nasıl olabileceğine, sürecin enerji sarfiyatını azaltmaya ve arıtma teçhizatının daha etkin çalışmasına katkı sağlamaktadır. Bu çalışmalarında gerçek zamanlı uzman sistem kullanmışlardır.

Chao ve Liao [15] ise cam geri dönüşüm sürecinin minimum maliyetle gerçekleştirilebilmesi için sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Öncelikle problemin tamsayı programlama modeli oluşturulmuş ve buna bağlı olarak iki sezgisel yöntem önermişlerdir. Önerdikleri bu yöntemleri hem tamsayı programlama modeli sonucu ile hem de genetik algoritma ile değerlendirmişlerdir. Önerdikleri sezgisel yöntemlerin makul bir süre içerisinde optimuma yakın sonuç verdiğini göstermişlerdir. Shih vd. [16], durum-tabanlı çıkarsama yöntemi kullanarak elektronik ürünlerin geri dönüşümü için zeki değerlendirme yaklaşımı önermişlerdir. Durum-tabanlı çıkarsama yöntemi geri dönüşüm stratejisinin ve sökme işleminin performansının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bununla birlikte geliştirilen ekonomik analiz modeli ile geri dönüşümün maliyeti ve faydası tahmin edilmiştir.

Tachwali [17] arkadaşlarıyla birlikte, plastik şişelerin sınıflandırılması sisteminde yapay zekâ teknikleri önermişler ve bunu test etmişlerdir. Sınıflandırmada plastik şişelerin kimyasal bileşenleri ve renkleri kullanılmıştır. Yakın kızılötesi yansıma ölçümleri ile şişenin kimyasal yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte matematiksel ve karar verme yöntemleri destekli kamera ile şişenin renk sınıflandırılması yapılmıştır. Sınıflandırma, görüntü işleme tekniklerine dayanmaktadır.

Zhu ve Deshmukh [18], ürünün çevre dostu olması açısından (yeşil tasarım ve imalat gibi) ürün-ömrü performansının incelenmesi için tasarım kararlarının etkisini Bayes karar ağları ile araştırmışlardır.

Kana vd. [19], Yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar yoluyla testere talaşı, inek gübresi, muz artığı, pirinç kabuğu ve kağıt atığı gibi malzemelerin karışımından biyogaz üretiminin optimizasyonu ve modellemesini rapor etmişlerdir.

Golebiewski ve diğerleri [20], ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm tesisinin nereye kurulması gerektiğinin belirlenmesinde genetik algoritmaları kullanmışlardır. Optimizasyonda eski araçların taşınması, depolanması ve parçalanması işlemlerinin maliyet minimizasyonu temel alınmıştır. Önerilen modelin genel bir yapıda olduğu ve başka tersine lojistik problemlerinde de kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Yukarıda verilen literatür incelemesine göre geri dönüşümün herhangi bir safhasında kullanılan Yapay Zeka tekniklerinin özet bir gösterimi Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Yapay Zeka Tekniklerinin Geri Dönüşüm Süreçlerinde Kullanılması

Kullanılan aşama	Kullanım alanı	Kullanılan teknik	Kaynak
Geri dönüşüm tesislerinin değerlendirilmesi	Tehlikeli atık geri dönüşüm tesisi	Bulanık çok kriterli ve grup karar verme tekniği	Hatami-Marbini vd. (2013)
	Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşüm tesisinin kurulum yerinin belirlenmesi	Genetik algoritmalar	Golebiewski vd. (2013)
Geri dönüşüm ağı (tersine lojistik) tasarımı	Kağıt geri dönüşüm ağının tasarımı	Hibrid Tabu arama	Schweiger ve Sahamie (2013)
	Ürün geri dönüşleri tersine lojistik ağı maliyet optimizasyonu	Genetik algoritmalar ve Yapay bağışıklık sistemi	Diabat vd. (2013)
Yeşil tasarım	Ürün tasarımı kararları	Bayes karar ağları	Zhu ve Deshmukh (2003)
Atık minimizasyonu	Elektroliz kaplama tesisi	Bulanık mantık temelli zeki karar destek sistemi	Luo ve Huang (1997)
	Atık suların işlenmesi	Uzman sistem tabanlı gerçek zamanlı kontrol sistemi	Wen ve Vassiliadis (1998)
Geri dönüşüm ürünlerinin sınıflandırılması	Plastik geri dönüşüm ürünlerinin sınıflandırılması	Uzman sistemler	Tandler vd. (1995)
	Plastik şişelerin sınıflandırılması	Görüntü işleme teknikleri	Tachwali vd. (2007)
Geri dönüşüm sürecinin minimizasyonu	Cam geri dönüşümü	Sezgisel yöntemler, genetik algoritmalar	Chao ve Liao (2011)
	Elektronik ürünlerin geri dönüşümü	Durum-tabanlı çıkarsama yöntemi	Shih vd. (2006),
Atıktan enerji üretimi	Testere talaşı, inek gübresi, muz artığı, pirinç kabuğu ve kâğıt atığı gibi malzemelerin karışımından biyogaz üretimi	Yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar	Kana vd. (2012)

5-HURDA GERİ DÖNÜŞÜMÜN EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Geri dönüşüm uygulaması her ne kadar tarih öncesi zamanlara kadar uzanıyorsa da, o günkü işlevi ile bugünkü anlamı arasında oldukça büyük farklılıklar söz konusudur. Önemi ülke koşullarına göre değişiklik göstermekle birlikte genelde üzerinde hemfikir olunan nedenleri;

- Rasyonel hammadde kullanımı ve buna bağlı hammadde tasarrufu
- Rasyonel enerji kullanımı ve buna bağlı enerji tasarrufu
- Çevre kirliliği mücadelesi
- Hepsinin temelindeki ekonomik kazanç sağlama arzusu

olarak özetlemek mümkündür.

5.1- Endüstriyel Çevre Kirliliği Açısından Geri Dönüşüm

Dünya nüfusunun sürekli artışı, buna bağlı olarak doğal kaynakların hızla tüketilmesi ve bunların değerlendirilmesinde sayısız teknolojik proseslerin kullanılması, doğal çevrenin oksijenini tüketmekte ve karşılığında çevreye atık ürünlerini iade etmekte, bunun sonucunda da sistemler arasındaki madde alışverişinde bir krize neden olmaktadır. Ulaşılan teknolojik seviye, doğal sistemin rejenerasyon olanağını aşırı zorlayıcı niteliktedir. Teknik çevre her geçen gün doğal çevrenin kabul edip dönüştürebileceğinden çok daha fazla miktarda zararlı madde üretmektedir. Kısaca çevre zehirlenmesi olarak tanımlanabilecek bu problemin çözüm yollarını bulmak, günümüzün en önemli sorunlarından biri olarak acil çözümler beklemektedir. Bugünün koşullarında artık ve atıksız bir üretim teknolojisinin var olmadığını kabullendiğimize göre, minimum atık ve artık üreten bir üretim gerçekleştirmek ve diğer taraftan da doğal çevrenin maddesel dönüştürme ile sağlamaya çalıştığı rejenerasyona katkıda bulunmak zorunluluğu doğmuştur. Söz konusu problemin çözümüne yönelik stratejinin adımları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

- Önlemek
- Değerlendirmek
- Çevre korumaya yönelik çalışmak

Bugün için çevre korumacılığına yönelik uygulamalarda temel düşünce, artık ve atıklardan malzeme veya enerji elde etmek şeklindedir. Dolayısıyla bu tür bir yaklaşım sınırlayıcı nitelik taşımaktadır. Diğer taraftan bu sınırlayıcılık, sektörel değerlendirmelerle, örneğin hava, su veya toprağın korunması yönünde tedbir alınmasına yol açmıştır. Artık ve atıkları azalan bir üretim ve bunların değerlendirilmesi yönünde bir çalışma gereklidir. Bunun sonucu olarak bir taraftan çevreyi kirleten atık ve artıkların azalması söz konusu olurken, diğer taraftan üretim için gerekli hammadde kullanımında azaltma ve aynı zamanda enerji tasarrufu sağlanabilecektir [3].

5.2- Ekonomik Açıdan Geri Dönüşüm

Hurda geri dönüşümünün sağladığı en önemli kazançlar olarak hammadde ve enerji tasarrufu yanında çevre korumacılığını ifade etmek, bunlara bağlı olarak da sağlanan ekonomik kazancın oluşturduğunu söylemek mümkündür. Bu durum özellikle nitelikli ve doğrudan üretime uygun cevher rezervlerinin giderek azalması nedeniyle de oldukça önemlidir. Bu konuya örnek olarak çelik üretimi incelendiğinde, Türkiye’de demir cevheri rezervleri konusunda sıkıntılar söz konusu olması, mevcut rezervlerin daha uzun süre gitmesini sağlama açısından çelik üretiminin asıl cevherden hareketle gerçekleştirilmesi yerine hurdaya dayalı olarak gerçekleştirildiği teknolojilerin (EAF vb) uygulanması sonucu artan hurda kullanımını söz konusu olmuştur.

Benzer durum sadece hammadde açısından değil aynı zamanda harcanan enerji için de geçerlidir ve hurdadan hareketle çelik üretimi için harcanan enerji daha azdır. Aynı konuya çevre korumacılığı açısından bakıldığında da daha az ve temiz enerji kullanımı, çıkan atık gazların ve artık ürünlerin de az olmasını sağlamaktadır. Bu özellikleri nedeniyle örneğin Elektrik Ark Fırınlarıyla çelik üretimi her geçen gün daha entegre bir yapıya doğru gelişme göstermiştir. Bu gelişmenin temel amacı daha düşük maliyetle daha yüksek kalitede ürünler üretebilmektir.

Hurda hammaddeye göre içindeki daha saf bileşenlerin sağladığı nitelik itibarı ile değil, ayrıca ekonomik açıdan son derece önemli olan depolanma ve nakletme konularında da daha fazla ekonomiklik sunmaktadır. Bunun sonucunda hurda değerli bir madde olarak dünya piyasasında değişik fiyatlarla, arz ve talep dengesine göre fiyatlanmakta ve değerlendirilebilmektedir [3].

Hurda geri dönüşümün farkında olan toplumlar hurdanın yüksek oranda geri dönüşümü için “vakıflar” da kurmuşlardır. Avrupa'da ERRA (European Recycling and Recovery Association) , İtalya'da İVR , ABD'de de Recycling America, Almanya'da Dual System Deutschlands bu amaçla kurulmuştur. Avrupa Amerikada içecek kutuları daha çevreci bilinen Alüminyumdan yapılmakta ve bu kutuların atıklarının yaklaşık % 60'ı ambalaj atığı olarak geri kazanılmakta ve değerlendirilmektedir [21].

6-SONUÇLAR

Yeryüzünde bulunan tüm doğal kaynaklar elbette ki insanlığın yararına kullanılan birer malzeme haline dönüşmektedir. Giyimden ulaşıma, yeme-içmeden barınmaya tüm ihtiyaçların karşılanmasında yeraltı ve yeryüzünde bulunan kaynaklar kullanılmaktadır. Yalnız unutulmaması gereken bir şey var ki, gerek Dünya nüfusunun artması ve gerekse insanların kaynakları tüketmesi gelecek bu tür ihtiyaçların karşılanmasını güçleştirecektir. Bu kaynakların da bir sonunun olduğu bilinciyle hareket ederek, günlük hayatımıza giren bu tür birincil malzemelerin geri dönüşümüne katkıda bulunulmalıdır.

Geri dönüşüm, üretim proseslerinin maliyetlerini düşürmeden tutun da çevre kirlenmesine daha az kaynaklık yapmasına, daha az enerji tüketimi yoluyla çevrenin entropisinin daha az artmasına sebep olması gibi birçok faydalar sağlaması açısından Dünya ve ülkemiz için son derece önem arz etmektedir. Geri dönüşümle sağlanan atıklardaki hurda malzemenin eldesi ve iyi bir tasnif yaparak üretim proseslerinin kolaylaştırılması ise en başta gelen sorunlardan biri olmaktadır. Kompleks atıklar içindeki hurda malzemeleri sınıflandırmada en etkin olarak kullanılan yöntemlerin başında ise son yıllarda Yapay Zeka uygulaması gelmektedir. Hurdaların tanınması ve daha yüksek saflıkta ayrı ayrı kazanılmasında bu yöntemin yaygınlaştırılmasının hurda geri dönüşüm verimliliğini artıracığı anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Sanayi Genel Müdürlüğü Demir Çelik Sektörü Raporu (2013/1), Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi <http://www.sanayi.gov.tr/Files/Documents/demir-celik-sektor-raporu-16042013164815.pdf>
- [2] T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye Demir-Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı, 2012-2016
- [3] Kenan Yıldız, Metalurjik Hurda ve Atıkların Değerlendirilmesi Ders Notları, 2010
- [4] <http://laletasarim.blogcu.com/demir-celik-hurdasinda-geri-donusumun-onemi/3945731>,
- [5] http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_1445.pdf
- [6] Ayşe Öz, Camın Geri Dönüşüm Süreci ve Çevre, KOÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, <http://www.kocaeliaydinlarocagi.org.tr/Yazi.aspx?ID=32>
- [7] <http://www.geridonusum.org/haberler/turkiye-ve-dunyada-kagit-karton-geri-donusumu.html>
- [8] Y. Temürtürkan, K. S. Kabukcu, Alüminyumun Sektördeki Yeri ve Önemi, II. Alüminyum Sempozyumu, Mayıs 2003, Seydişehir
- [9] Hatami-Marbini, A., Tavana, M., Moradi, M., Kangi, F., “A fuzzy group Electre method for safety and health assessment in hazardous waste recycling facilities”, *Safety Science* 51 (2013) 414–426.
- [10] Schweiger, K., Sahamie, R., “A hybrid Tabu Search approach for the design of a paper recycling network”, *Transportation Research Part E* 50 (2013) 98–119.
- [11] Diabat, A., Kannan D, Kaliyan, M., Svetinovice, D., “An optimization model for product returns using genetic algorithms and artificial immune system”, *Resources, Conservation and Recycling* 74 (2013) 156– 169.
- [12] Tandler, P.J., Butcher, J.A., Tao, H., Harrington, P.B., “Analysis of plastic recycling products by expert systems” *Analytica Chimica Acta* 312 (1995) 231-244.
- [13] Luo, K.Q., Huang, Y.L., “Intelligent Decision Support for Waste Minimization in Electroplating Plants”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 10 (1997) 4 321-334.
- [14] Wen, C.-H., Vassiliadis, C.A., “Applying hybrid artificial intelligence techniques in wastewater treatment”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 11 (1998) 685–705.
- [15] Chao, C.W., Liao, C.J., “Approaches to eliminate waste and reduce cost for recycling glass”, *Waste Management* 31 (2011) 2414–2421.
- [16] Shih, L.-H, Chang, Y.-S., Lin, Y.-T., “Intelligent evaluation approach for electronic product recycling via case-based reasoning”, *Advanced Engineering Informatics* 20 (2006) 137–145.
- [17] Tachwali, Y., Al-Assaf, Y., Al-Ali, A.R., “Automatic multistage classification system for plastic bottles recycling”, *Resources, Conservation and Recycling* 52 (2007) 266–285.

- [18] Zhu, J.Y., Deshmukh, A., “Application of Bayesian decision networks to life cycle engineering in Green design and manufacturing”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 16 (2003) 91–103.
- [19] Kana, E.B.G., Oloke, J.K., Lateef, A., Adesiyan, M.O., “Modeling and optimization of biogas production on saw dust and other co-substrates using Artificial Neural network and Genetic Algorithm”, *Renewable Energy* 46 (2012) 276-281.
- [20] Golebiewski, B., Trajer, J., Jaros, M., Winiczenko, R., “Modelling of the location of vehicle recycling facilities: A casestudy in Poland”, *Resources, Conservation and Recycling*, Article in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.005>.
- [21] Ertuğrul ERDİN; Davut Özdağlar; Halil Köse, Gerikazanma Yolu İle Endüstriyel İkincil Hammaddeler, <http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc69.htm>