

DOI: 10.7596/taksad.v1i4

Kâğıt Geri Dönüşümünde Enzim ve Ultrasonik Enerji Kullanımı*

Arif Karademir⁽¹⁾, Selim Karahan⁽²⁾, Sami İmamoğlu⁽³⁾
Murat Ertaş⁽¹⁾, Ashabil Aygan⁽²⁾, Cem Aydemir⁽⁴⁾, Emrah Peşman⁽³⁾

Özet

Medeniyetin kurulmasında, bilgi depolama ve aktarımında tartışmasız bir yeri olan kâğıt, günümüzde artık çok çeşitli amaçlar için hayatın her kademesinde yer almakta, giderek tüketimi inanılmaz boyutlara ulaşmaktadır. Kâğıt sektöründe hammadde problemine çözüm için, sürdürülebilir ormancılık çalışmalarından daha ziyade, sürdürülebilir geri dönüşüm teknolojilerini geliştirmek gerekmektedir. Bu anlamda atık sınıfına giren kâğıtın, lifler dışında bulunan bütün bileşenlerini en ekonomik ve çevreci metotlarla ayırmak son derece önemlidir. Bu çalışmada, toner baskılı ofis kâğıtlarının mürekkep ve kirliliklerinden arındırılmasında enzim ve ultrasonik enerji kullanımı konusunda elde edilen bazı sonuçlar tartışılmış ve geri dönüşüm açısından kâğıt sektörü çevresel açıdan irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kâğıt geridönüşüm, lazer baskılar, enzim, ultrasonik enerji, çevre

* Bu makale Karabük Üniversitesi tarafından düzenlenmiş olan “Tüketim Toplumu ve Çevre” konulu Ulusal Sempozyumda sunulan tebliğin geliştirilmiş şeklidir.

(1) Bursa Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman End. Müh. Böl.

(2) Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman End. Müh. Böl.

(3) Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman End. Müh. Böl.

(4) Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Matbaa Eğitimi Böl.

Use of Enzyme and Ultrasonic Energy in Paper Recycling

Abstract

Paper has undeniable key roles in establishing civilization, archiving and transferring knowledge. Paper is in all parts of daily life for different purposes today and its consumption is getting at unbelievable level. For solving the problems related to insufficient raw materials, the sustainable recycling technologies should be developed rather than concentrating on sustainable forestry practices. In this sense, extracting all materials from waste papers with economical and environmentally friendly methods are extremely important. In this study, some results obtained from an experimental study carried out on the deinking of toner printed office papers with the help of enzymes and ultrasonic energy were discussed and paper industry was examined in respect to recycling and environment.

Keywords: Paper recycling, laser printings, enzymes, ultrasonic energy, environment.

1. Giriş

Kâğıt benzeri ilk malzemenin MÖ 105 yılında Tsue Lun tarafından bulunduğu kabul edilse de, başka kaynaklarda Orta Asya bölgesindeki mezar kazılarına göre kâğıtın aslında çok daha önceleri Çin dışında kullanıldığı bildirilmektedir. İlk zamanlarda son derece değerli bir malzeme olan kâğıt, çok kısıtlı sayıda ve kontrol altında el ile üretilmekte, devlet yazışmaları, fermanlar ve değerli evraklarda kullanılmaktaydı (Karademir ve ark, 2002; İmamoğlu ve Kayacan, 2002).

Uzun yıllar kâğıt üretiminde yıllık bitkiler, tarımsal üretim artıkları ve eski paçavra kumaşlar kullanılırken, 1850’li yıllarda ağaçlarında hammadde olarak selüloz lifi üretiminde kullanılmaya başlandığını görmekteyiz. Dolayısıyla bulunmasından sonra yaklaşık 2000 yıl otsu bitkileri ve lif kaynaklı atıkları kullanarak çevre dostu bir üretim sergileyen kâğıtçılık, ne yazık ki artan insan nüfusu, ürün çeşidi, aşırı tüketim ve endüstri devrimi sonucu seri üretime geçmek zorunda kalmış, daha fazla hammaddeye ihtiyaç duymuş ve ormanlara yönelmiştir. Kaçınılmaz olarak elbette, orman kaynakları durmadan artan ihtiyaçları ve tüketimi karşılayamaz hale gelmiş, bu nedenle kâğıt ve karton endüstrisi geri kazanım konusuna ağırlık vermek zorunda kalmıştır. Yakın zaman içerisinde hammaddenin dengeli ve akılcı kullanımı amacıyla bazı ülkelerde 3R kuralı diye bir prensip ileri sürülmüştür. Azalt+Tekrar Kullan+Geri Kazan (Reduce+Reuse+Recycle)

şeklinde formüle edilen yaklaşıma göre dengesiz ve aşırı kaynak israfına dikkat çekilmektedir. Sınırlı kaynakların yeterli kullanılmasında ısrafın önüne geçilmesi ve aşırı tüketim alışkanlığının önlenerek, tüketici diye tanımlanan insanların bilinçlendirilmesi son derece önemlidir (Karademir ve ark, 2002).

1.1. Ülkemizde Kâğıt ve Karton Üretimi

Ülkemizde kâğıt hamuru üretimi günümüzde yok denecek seviyededir. Selüloz ve Kâğıt Vakfı'nın (SKV) 2010 yılına ait kâğıt sektörü verileri Tablo 1'de görülmektedir (SKV, 2010). Görüldüğü gibi ülke içerisinde toplam tüketilen kâğıt ve kartonun yarısından fazlası yurtdışından satın alınmaktadır. Yurtiçinde üretilen kâğıt ve karton için kullanılan hamur hammaddesinin de (özellikle ağartılmış kraft hamuru) dışarıdan alındığı hesaba katılırsa, kâğıt sanayinin hammadde ve mamul madde açısından ne yazık ki ciddi derecede dışa bağımlı bir sektör haline geldiği açıkça görülmektedir. Ülkemizin, dünya kâğıt üretiminde 25. ve tüketiminde 16. sırada oluşu da kâğıt üretimimizin yetersiz olduğunu göstermektedir. Kişi başı tüketimde ise 60,3 kg-kişi değeri ile dünya ölçeğinde 50. sırada olduğumuz bildirilmektedir (SKV, 2010).

Tablo 1: Ülkemizde kâğıt sektörüne ait bazı veriler (SKV, 2010).

İşlemler	Yıllar	Kâğıt Türleri								TOPLAM (ton)
		Gazete (ton)	Yazı-Tabı (ton)	Sargılık (ton)	Oluklu Mukavva	Kraft Torba	Karton	Temizlik	Sigara vb.	
Üretim	2007	5.000	337.348	18.600	1.026.475	69.349	451.777	270.668	5.000	2.184.217
	2008	0	323.621	22.500	1.170.806	55.030	432.454	322.500	5.000	2.331.911
	2009	0	309.163	22.500	1.125.833	52.574	410.973	369.265	5.000	2.295.308
İthalat	2007	551.918	689.459	129.754	627.473	160.180	389.004	12.392	9.317	2.569.497
	2008	536.397	651.763	142.107	545.857	55.389	334.835	7.559	11.070	2.284.977
	2009	468.998	641.308	134.152	563.056	54.941	354.261	8.914	12.247	2.237.877
İhracat	2007	378	34.365	31.388	37.230	13.344	59.434	47.659	102	223.900
	2008	1.036	30.029	39.453	95.448	12.042	58.930	66.320	115	303.373
	2009	999	21.521	35.640	71.513	7.635	42.829	60.056	1.012	241.205
Yurtdışı Satış	2007	556.540	996.565	117.339	1.603.007	212.578	772.935	235.399	14.215	4.508.578
	2008	535.361	942.551	125.154	1.578.874	100.055	698.763	263.348	15.955	4.260.061
	2009	467.999	931.803	121.012	1.640.736	101.052	727.049	319.108	16.235	4.324.994

Ülkemizdeki kâğıt sanayi, orman kaynaklarımızın durumu ve gelişmiş ülkelerin doğal kaynaklara yaklaşımı göz önüne alındığında, atık kâğıtların çok daha etkili toplanması ve modern metotlarla çevreye zarar vermeden, sürdürülebilir şekilde geri

değerlendirilmesinin önemi çok daha iyi anlaşılmaktadır. Her hangi bir kullanım alanında fonksiyonunu tamamlayan ve atılan her türlü kâğıt, karton ve mukavvalara atık kâğıt denilmektedir (Kırcı, 2000). Günümüzde ülkemizde yılda yaklaşık 5.5 milyon ton kâğıt/karton tüketimi olmaktadır. Bunların hepsinin geri kazanılması bazı kısıtlayıcı nedenlerden dolayı imkânsızdır ve en fazla %80 geri kazanım yapılabileceği kabul edilmektedir. Dünyada atık kâğıtların daha çok değerlendirilmesini gerektiren bazı nedenler şu şekilde sıralanmıştır (Diesen, 1998);

- Orman kaynaklarının giderek artan hammadde talebini karşılayamaz hale gelmesi,
- Kentlerde yok edilmesi büyük sorun oluşturan katı atık yükünün giderek artması,
- Atık kâğıt işleme teknolojilerindeki hızlı gelişimler,
- Tüketicilerin çevre bilinçlerinin artması,
- Dönüşümlü kâğıt kullanımına yönelik yasal zorunlulukların getirilmesi,
- Geniş çaplı geri dönüşüm projelerinin ekonomik açıdan cazip hale gelmesi.

Ülkemizde kazanılan atık kâğıdın çok büyük kısmı oluklu mukavva ve gri karton üretiminde kullanılmaktadır. Oysa birçok gelişmiş ülkede olduğu gibi atık kâğıtların, içerdikleri mürekkep ve kirliliklerden arındırılarak yazı tabı kâğıtlara dönüştürülmesi gerekmektedir. Tablo 2’de geçmiş yıllara ait ülkemizdeki atık kâğıdın kullanım ve geri kazanım oranları verilmiştir (Karademir, 2001).

Tablo 2: Ülkemizde atık kâğıt kullanım oranındaki değişim

Atık Kâğıt (ton)	Yıllar						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Kullanım Oranı (%)	64.0	65.9	66.3	66.7	68.2	70.5	69.3
Geri Kazanım Oranı (%)	42.4	41.0	39.6	39.5	39.4	43.2	40.5

Genel olarak atık kâğıt kalitesini belirleyen bazı parametreler aşağıda sıralanmıştır (McKinney, 1995; Kırcı, 2000).

- Hamurdaki lif uzunluğu
- Hamurun serbestlik derecesi
- Kâğıtların ıslak sağlamlık derecesi
- Mekanik hamur içeriği
- Parlaklık
- Mürekkep içeriği ve benekler
- Kül içeriği
- Kirlilikler (lif harici maddeler)

Atık kâğıtların değerlendirilmesi sürecinde, “mürekkep giderme işlemlerini” elde edilecek ürün kalitesini en çok etkileyen proses olarak saymak mümkündür. Mürekkep giderme metotlarında, kâğıt hamurundaki özellikle renk koyulaştırıcı bütün kirliliklerin uzaklaştırılmasına çalışılır ve sonunda parlaklık değeri yüksek beyaz elyaf elde edilir. Kâğıtçının öncelikle değerlendireceği atık kâğıdı iyi tanınması, uzaklaştırmaya çalıştığı kirliliklerin özelliklerini ve kâğıda nasıl tutunduğunu iyi bilmesi son derece önemlidir. - Tablo 3’te bazı atık kâğıtların işlenmesiyle ilgili kısa bilgiler verilmiştir (Kırcı, 2006).

Tablo 3: Bazı atık kâğıtlar ve kullanımı (Kırcı, 2006).

Atık Kâğıt Grubu	İşlemler	Kullanım Yerleri
Karışık Atık Kâğıtlar	Hamurlaştırma, Kaba Temizlik	Gri Karton Üretimi, Kalıp Kartonları, Viyol Üretimi
Eski Oluklu Mukavva Kâğıtları	Hamurlaştırma, Temizlik Fraksiyonlama, Dispersiyon	Oluklu Mukavva Örtü Kâğıdı, Torba Kâğıdı
Eski Gazete ve Dergi Kâğıtları	Hamurlaştırma, Temizlik, Mürekkep Giderme, Dispersiyon	Gazete Kâğıdı, Dergi Kâğıdı
Beyaz Ofis Kâğıtları	Hamurlaştırma, Temizlik, Mürekkep Giderme, Dispersiyon, Ağartma	Yazı ve Baskı Kâğıdı, Temizlik Kâğıdı, Beyaz Karton

1.2. Mürekkep ve Baskı Materyalleri

Mürekkep, bir tasarımın belirli materyaller üzerine basılarak çoğaltılabilmesini sağlayan akışkan haldeki homojen renkli karışımdır. Mürekkep aşağıda gösterilen bileşenlerden oluşan karmaşık mamüller grubudur (Aydemir, 2008);

- Pigmentler
- Taşıyıcı sıvı
- Dolgu maddeleri
- Bağlayıcılar
- Yardımcı pastalar
- Kurutucular

Mürekkeplerin özelliklerine bağlı olarak kullanılan baskı teknikleri aşağıdaki sıralanmıştır (Ural, 2010);

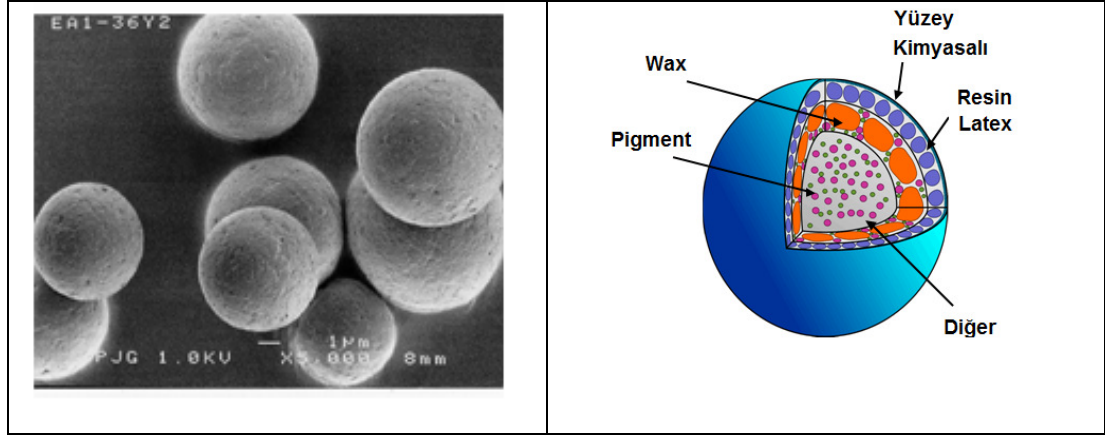
1. Ofset (düz baskı) tekniği
2. Rotatif ofset baskı (web ofset) tekniği
3. Tipografik (yüksek baskı) tekniği
4. Serigrafik (elek baskı) tekniği
5. Tifdruk (çukur baskı) tekniği

6. Lazer baskı tekniği

Bu araştırmada lazer baskılı kâğıtlarla çalışıldığı için kısaca lazer baskıdan sözedilmiştir.

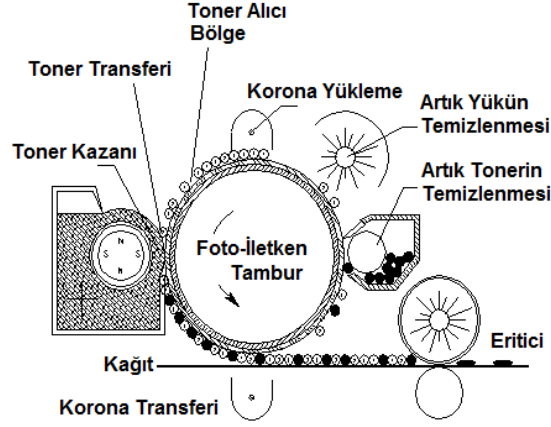
1.2.1. Toner ve Lazer Baskı Sistemi

Fotokopi makinalarında ve lazer yazıcılarda renk verici ana baskı malzemesi ‘toner’ diye isimlendirilen kuru ve çok küçük parçacıklardan (Şekil 1) oluşan bir bileşendir. Üretim teknolojisine bağlı olarak toner taneciğinin çapı 5-10 µm arasında değişir. Toner, karbon elementinden oluşan toz boyalardır. Siyah, kırmızı, mavi ve sarı renk olarak üretilirler. Toner parçacıkları en basit şekliyle %50 demir oksit, %50’de plastik madde içerir. Demir oksit tonerin kolayca elektrostatik olarak yüklenmelerini sağlar. Plastik madde ise toner parçacıklarının erimesini sağlar. Toner taneciğinin, üretim teknolojisine göre yapısında yapıştırıcı/tutundurucu resin/latex, kaydırıcı, kolay dağılım sağlayıcı wax ve yüzey kimyasalları ile pigmentler bulunur (Şekil 1).



Şekil 1: Toner taneciği ve bileşenler (Xerox, 2012).

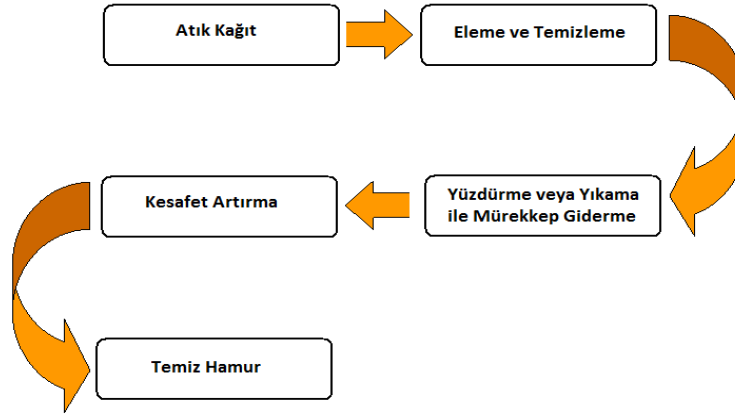
Lazer baskı sisteminde toz halde kuru toner kullanılır. Taşıyıcı sıvı tabaka olmadığından kâğıdın ıslanması diye bir olay yoktur. Tonerlerin kâğıda transferi elektrostatik olarak üzerine yapıştıkları tambur vasıtasıyla gerçekleşir. Tambur üzerindeki toner tanecikleri kâğıda aktarıldıktan sonra, yüksek sıcaklık verilerek (fırınlama) tonerlerin erimesi sağlanır. Erime sonunda, toner taneciğindeki reçine/plastik bileşenler, pigmentleri kâğıt yüzeyine tutundurmuş olurlar (Sreenath, 1996; Lee ve Darah, 2007). Bahsedilen sistem çok basitçe şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2: Toner taneciğinin kâğıda transferi ve tutundurulması, lazer baskı mekanizması.

1.2.2. Mürekkep Giderme İşlemi (Deinking)

Modern anlamda mürekkep giderme, eski kâğıt hamurundan mürekkebin ve elyaf olmayan diğer mahsurlu maddelerin ayrılması demektir (Heise, 1999). Atık kâğıtlara uygulanacak mürekkep giderme işleminin derecesi, hamurdan istenen nihai beyazlık değerine ve mukavemet özelliklerine göre belirlenir. Hamura uygulanan her kimyasal ve mekanik işlem, hem verimi düşürmekte hem de liflerin bireysel mukavemetlerini azaltmaktadır. Atık kâğıtlar kirlilik özelliklerine göre ambalaj sınıfı kâğıtlar, violler, kartonlar ve temizlik kâğıtlarının üretiminde değerlendirilebilmektedir (İmamoğlu 2002; Teander, 2004). Fabrikalarda genel olarak uygulanmakta olan mürekkep giderme iş akış şeması Şekil 3'te verilmiştir.



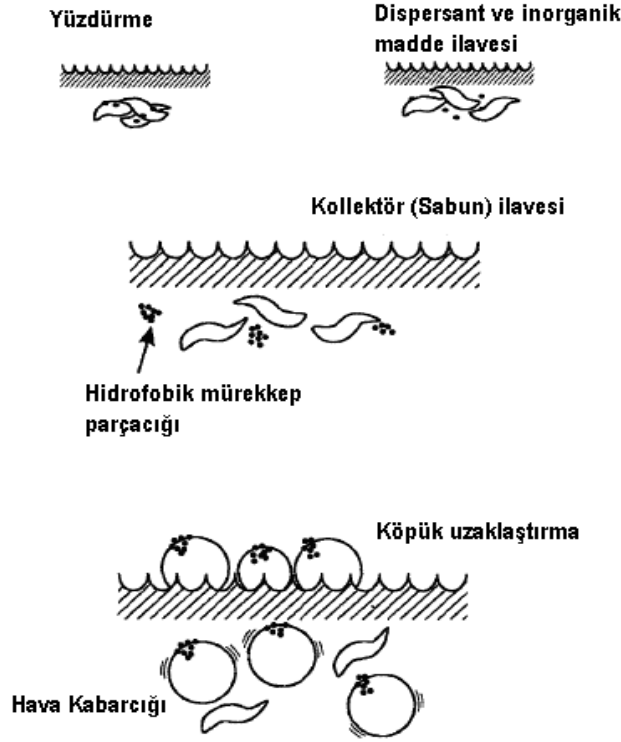
Şekil 3: Mürekkep giderme işlemi iş akış şeması.

Mürekkep giderme işleminde uygulanan mürekkep giderme yöntemleri aşağıda sıralanmıştır (Mckinney, 1995);

1. Kimyasal yöntemler

- a. Yüzdürme
- b. Yıkama
2. Ağartma
3. Biyolojik yöntemler
4. Ultrasonik yöntemler

Bu araştırmada, yüzdürme metodunda (flotasyon) bazı kimyasallar, enzimler ve ultrasonik enerji kullanımı çalışılmıştır. Yüzdürme hücresinde liflerden kimyasallar yardımı ve mekanik etkilerle koparılan mürekkep parçacıkları, hücre içerisine sürekli zeminden verilen hava kabarcıkları yardımıyla yüzeye çıkarılır. Kısaca kirlilikler hava baloncuklarına tutunarak yüzeyde kirli köpük oluşturulur (Şekil 4) (Ferguson, 1992). Bu kirli köpük (froth) belli aralıklarla sürekli yüzeyden sıyırılarak uzaklaştırılır (İmamoğlu ve ark, 2009).



Şekil 4: Dört aşamada yüzdürme işleminin mekanizması (Ferguson, 1992).

Etkili bir yüzdürme işleminin, aşağıda sıralanan faaliyetlerin yeterli düzeyde gerçekleştirilebilmesine bağlıdır (Peşman, 2010).

- Mürekkebin liflerden sökülmesi,
- Mürekkep parçacıklarının hava kabarcığına tutunma kabiliyetinin iyileştirilmesi,

- Hava kabarcığı-mürekkep parçacıkları kompleksinin oluşumu,
- Kompleksin süspansiyon yüzeyine hareketi,
- Mürekkep ve hamurun tekrar karışmasının önlenmesi

Yüzdürme işlemi üzerinde etkili olan faktörleri fiziksel ve kimyasal değişkenler olarak iki sınıfa ayırmak mümkündür (İmamoğlu ve ark, 2009). Bu değişkenlerin kontrol edilmesi ve en uygun değerlerde tutulması gerekmektedir.

A- Fiziksel Değişkenler

1. Mürekkep parçacıklarının büyüklüğü ve yoğunluğu
2. Hava kabarcıklarının büyüklüğü
3. Süspansiyonun kesafeti ve sıcaklığı
4. Karıştırma hızı ve akış şartları

B- Kimyasal Değişkenler

1. Süspansiyonun pH'ı
2. Kullanılan yardımcı maddeler

1.2.3. Enzimler

Enzimler, karbon, oksijen, hidrojen ve azottan oluşan ve yaşayan mikroorganizmalar (bakteriler, virüsler, mantarlar) tarafından salgılanan protein ve molekül olarak sınıflandırılan kimyasal yapılardır. Enzimler katalizör olarak, kimyasal reaksiyonları hızlandırmada ve bir molekülü diğer bir moleküle dönüştürme de kullanılır. Enzimler lignin, selüloz ve hemiselülozu tahrip edebilmesi bakımından özellikle; pişirme, ağartma, mürekkep giderme, dövme işlemi, kâğıt fabrikalarında atık temizlemede ve daha birçok alanlarda kullanılmaktadır (Karademir ve ark (a), 2002).

Çok çeşitli enzimlerin mürekkep gidermede kullanılması ile ilgili oldukça fazla çalışma rapor edilmiştir (Morkbak ve Zimmerman, 1998; Elegir ve ark. 2000; Sreenath ve ark. 1996; Qin ve ark., 1998; Viestures ve Leitte, 1999; Prasad ve ark., 1992; Jeffries ve ark., 1994; Jeffries ve ark., 1994; Elegir ve Berri, 1996; Zollner ve Schroeder, 1998; Yılğör ve ark, 2010). Mürekkep gidermede çoğunlukla alkalen ortam kullanılmasına rağmen birçok tesis mürekkep gidermede nötral şartları tercih etmektedir (Costa, ve Rubio, 2005).

Enzimlerin mürekkep giderme işlemindeki rolleri şu şekilde sıralanabilir (Bajpai ve Bajpai, 1998);

1- Lif yüzeyindeki selüloz fibrillerini uzaklaştırmak yoluyla, baskı mürekkeplerine ait parçacıkların liflerden ayrılmasını sağlarlar.

2- Fibrillerden ayrılmış olan mürekkep parçacıkları, böylece, daha hidrofobik bir yapıya kavuşmuş olurlar ki, buda onların lif süspansiyonu içerisinde daha kolay ayrılabilir hale gelmesini sağlar.

3- Mürekkep parçacıklarının boyutlarının küçülmesine katkıda bulunarak yüzdürme ve yıkama yöntemleri için bu parçacıkların boyutlarını uygun hale getirirler.

1.2.3. Ultrasonik enerji

Ultrason, insan kulağının işitemeyeceği kadar yüksek frekanslı ses dalgalarına verilen isimdir. Ses, cisimlerin titreşimi sonucu oluşan akustik dalga özelliğinde bir enerji türüdür. Ses dalgaları üç temel sınıfa ayrılır;

1. Infrases; Frekansı 20 Hz veya altındaki ses,
2. İşitilebilir ses; Frekansı 20 ile 20.000 Hz arasında olan işitilebilir ses,
3. Ultrases; 20.000 frekansın üzerinde olan işitilemeyen sestir.

Ultrasonik enerjinin sıvı ortamda bulunan materyale uygulanması ile meydana gelen etkiler üç sınıfa ayrılmıştır (Suslick, 1989). Bunlar;

1. Şok ses dalgası ile malzeme yüzeyinde belli bir yıkım ve degradasyon oluşur,
2. Sıvı içerisindeki parçacıkların hızla çarpışması görülür,
3. Ses enerjisine dayanamayan parçacıklarda parçalanma ve küçülme görülür.

Ultrasonik enerjinin kimyasal gücü, kavitasyon olayı ile ortaya çıkmaktadır. Kavitasyon, sıvıya bir negatif basıncın uygulanması sonucunda, sıvı içinde mikro-baloncukların oluşması olayıdır. Bu baloncuklar birbirleri ile sürekli olarak çarpışmaktadırlar ve böylece kuvvetli bir lokal enerji ortaya çıkmaktadır (Büyükgüner, 2012).

Bu araştırmada ofis kâğıtları üzerine siyah lazer baskı yapılmış ve daha sonra bu kâğıtlardan mürekkep giderme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Atık kâğıt süspansiyonuna belli şartlar altında hamurlaştırma işlemleri, enzim muamelesi ve ultrasonik enerji uygulaması yapılmıştır. Son olarak işlem görmüş olan atık kâğıt hamuru, yüzdürme esaslı mürekkep giderme işlemine alınarak mürekkeplerinden tamamen arındırılmaya çalışılmıştır. Konu tüketim ve çevre açısından tartışılmaya çalışılmıştır.

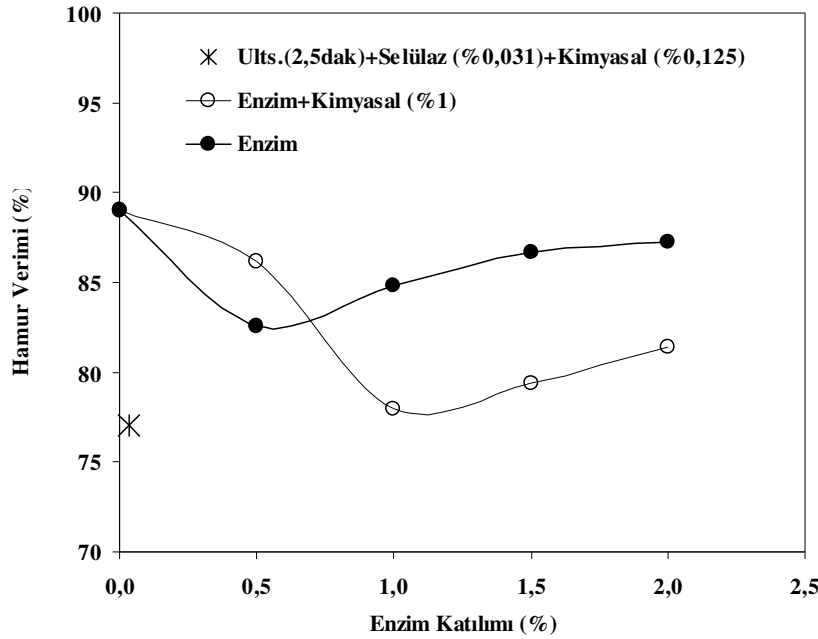
2. Materyal ve Metot

Standart ticari Paperline marka fotokopi kâğıtları üzerine öncelikle lavagraph marka siyah lazer tonerle, belirlenen model ve kapalılıkta (Şekil 5), Fatih Basımevinde

4. Bulgular ve Tartışma

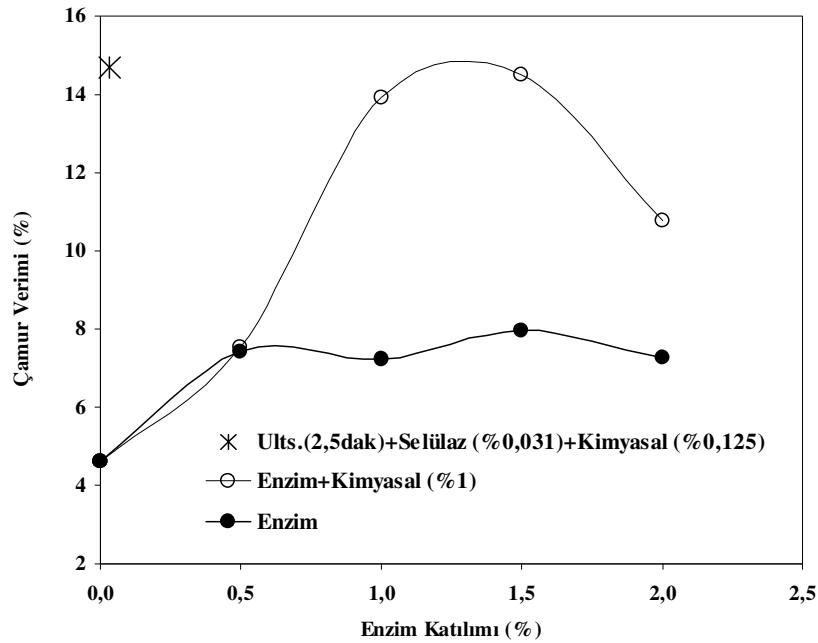
Farklı metotlara göre işlenen baskılı ofis kâğıtlarından elde edilen hamur miktarları aşağıda Şekil 6'da görülmektedir. Ofis kâğıtlarının yaklaşık %10 kadarının kalsiyum karbonat dolgu olduğu ve üzerinde taşıdığı tonerin de yaklaşık %0,5 olduğu hesaba katılmalıdır. Su içerisinde kâğıtların açılması ile elde edilen hamurlarda belli oranlarda kırıntı ve ölü elyaf denen çok küçük ebatlarda lifsel kütle de meydana gelir. Dolgu maddesi ve kırıntı elyafın normal şartlarda kâğıt formasyonu sırasında elek üzerinde tutunması aslında zordur ve çoğunlukla süzme suyu ile atılmak zorunda kalınabilir.

Kimyasal kullanmadan enzimle yapılan işlemlerde hamur kaybı fazla gerçekleşirken, sabit kimyasal desteğinde daha fazla elyaf kaybedildiği anlaşılmaktadır. Sabit oranlarda kimyasal ve enzim kullanımı yanında ultrasonik enerji uygulaması sonucunda daha fazla kütle kaybedilmektedir. Bahsedilen kimyasal, enzim ve ultrasonik enerjinin genel itibari ile, liflerin daha fazla açılması ve şişmesini sağladığı, toner ve lif arası bağlanma yerlerini kısmen tahrip ettiği ve kırıntı oluşumuna neden olduğu bu nedenlerle aşırı kullanımına bağlı hammadde kayıpları olabileceği söylenebilir. Ultrasonik enerjinin özellikle toner parçacıklarını tahrip ettiği, parçaladığı bilinmektedir. Ancak liflere bağlı kirliliklerin koparılması ve ufalanması yanında en önemli ikinci basamağın yüzdürme (flotasyon) aşaması olduğu unutulmamalıdır. Bu açıdan flotasyonda kirlilikler yüzeye çıkarılamaz ve uzaklaştırılmaz ise mürekkep giderme işlemi başarısız olmuş demektir. Bu durumda daha da kötü bir gelişme ile kirlilikler tamamen liflere bulaşabilirler ve optik değerleri çok düşük bir hamur elde etmiş olunur.



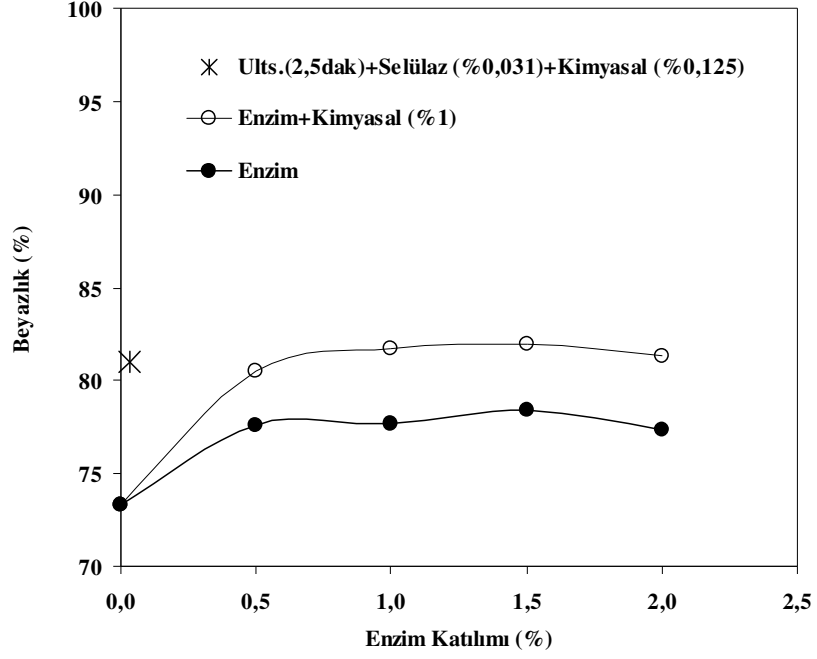
Şekil 6: İşlem tipi ve enzim miktarına bağlı hamur verimi.

Mürekkep giderme sonunda tamamen renkli kirliliklerden (mürekkepler, toner vb) oluşan köpüklü bir çamur elde edilmek istenir. Ancak bu çamurda önlenemez olarak belli oranlarda lifler ve dolgu maddeleride bulunur ki bu durum hamur kaybı ve çamur artışı olarak gözlenir. Şekil 7’de görüldüğü gibi INGEDE metoduna göre önerilen kimyasal miktarının sadece %1 oranında kullanılması ve enzim katılmasıyla yapılan mürekkep giderme denemelerinde çamur miktarında daha fazla artış olmuştur. Kullanılan kimyasallar veya işlemlerin flotasyon performansını, köpük kalitesi ve yüzdürme etkinliğini etkilemesini hesaba katmak gerekir.

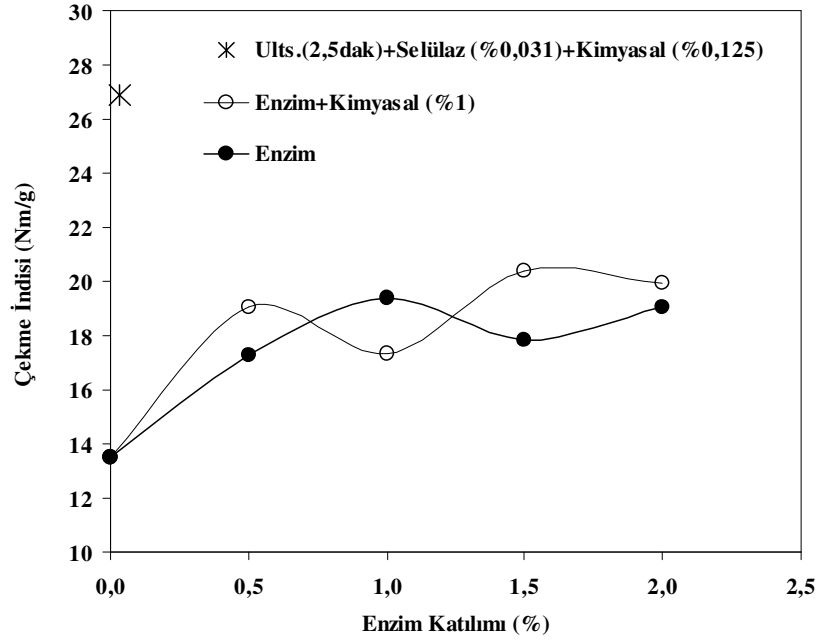


Şekil 7: İşlem tipi ve enzim miktarına bağlı çamur eldesi.

Şekil 8’den anlaşıldığı kadarıyla sabit miktarda kimyasal ve enzim kullanımı sonucu çok daha beyaz kâğıt elde edilmektedir. Ultrasonik enerji takviyesinin beyazlık anlamında ciddi bir katkısı görülmemektedir. Ancak Şekil 9 ultrasonik enerji kullanımının faydasını çok açık şekilde ortaya koymaktadır. Elde edilen kâğıtların çekme indis değerlerinde çok büyük bir gelişme sağlanmıştır. Ultrasonik enerjinin, lifler üzerinde saçaklanma ve fibrillenme meydana getirdiği, mukavemet düşürücü dolgu veya inorganik parçaları çok ufak parçalara ayırdığı ve böylece lifler arası bağlanmayı artırdığı tahmin edilmektedir.



Şekil 8: İşlem tipi ve enzim miktarına bağlı kâğıt beyazlık değerleri.



Şekil 9: Ultrasonik enerji uygulaması kâğıt kopma indisini artırmıştır.

4. Sonuç

Kâğıt geri dönüşümünde enzim kullanımı genel olarak kimyasal kullanımını düşürmekte, ultrasonik enerji kullanımı ise elde edilen kâğıtların mukavemetlerini geliştirmektedir. Konu hakkında daha detaylı çalışmalar yapılması, azalan kaynaklar ve hammadde sıkıntısı çeken kâğıt/karton sanayisi için hayati öneme sahiptir. Kâğıt ve kartonda bulunan selüloz liflerinin çok fazla tahrip edilmeden, kirliliklerinden arındırılması daha fazla kullanılmasına olanak verecek ve böylece yeni ağaçlar yok edilmeyecektir. Ancak geri dönüşümde kullanılan enerji, su ve kimyasal miktarlarının da giderek azaltılması ve çevre dostu bir teknoloji geliştirilmesi gerekmektedir.

Teşekkür: Bu çalışma 111O296 numaralı proje kapsamında yapılmıştır. Bu nedenle projeye destek veren TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Aydemir, C., Özakkun, Ş.C. 2008. Matbaa Malzeme Bilgisi: ISBN: 978-975-400-314-7. *Marmara Üniversitesi Yayını*, İstanbul-Türkiye.
- Bajpai, P., Bajpai, P.K. 1998. Deinking with Enzymes, A Review: *TAPPI Journal*, vol 81 (12): 111-117.
- Büyükgüner, M. 2012. Ultrasonic Enerji ve Parça Temizliğinde Ultrasonic Yıkama Metotları, URL (erişim tarihi 01.04.2012) [http:// everestultrasonic.com](http://everestultrasonic.com).
- Costa, C.A. and Rubio, J. 2005. Deinking Flotation: Influence of Calcium Soap and Surface-Active Substances. *Minerals Engineering*, 18: 59-64.
- Diesen, M. 1998. Economics of The Pulp And Paper Industry. In: Papermaking Science and Technology Series, Book 1. *Published In Cooperation with The Finnish Paper Engineers Association and TAPPI*, Helsinki, 186.
- Elegir, G., Berri, M. 1996, Proceedings of the Fourth European Workshop on Lignocellulosic and Pulp, Advances in Characterization and Processing of Wood, Non-wood and secondary Fibers: *Stazione Sperimentale Cellulosa Carta Tessili Eds.*, Stresa, Italy 1996, 538.

- Elegir, G., Panizza, E., and Canetti, M. 2000. Neutral Enzyme Assisted Deinking of Xerographic Office Waste With A Cellulase/Amylase Mixture: *TAPPI Journal Peer Reviewed Paper*, 183: 11-71.
- Ferguson, L.D. 1992. Deinking Chemistry: Part 2. *Tappi J.*, 75 (8): 49-57.
- Heise, O. U., Unwin, J. P., Klungness, J. H., Fineran, W.G., Sykes, J.R. M., Abubakr, S. 1996. Industrial Scaleup of Enzyme-Enhanced Deinking of Nonimpact Printed Toners: *TAPPI Journal*, 79 (3): 207-212.
- INGEDE Test Method 1. 2007. Test Sheet Preparation from Deinked Pulp for Measurement of Optical Characteristics, *International Association of the Deinking Industry*.
- INGEDE Test Method 11. 2007. Assessment of Print Product Recyclability -Deinkability Test, *International Association of The Deinking Industry*.
- INGEDE Test Method 2. 2007. Measurement of Optical Characteristics of Pulp and Filtrates From Deinking Process, *International Association of the Deinking Industry*.
- İmamoğlu, S. ve Kayacan, B. 2002. Kâğıt Endüstrisinde Lifsel Hammadde Kullanımı ve Orman Kaynakları Yönetimi: *II. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi*, 15-16 Mayıs, Artvin.
- İmamoğlu, S., 2002. Atık Kâğıt Hamurlarının Formamaidin Sülfirik Asit (FAS) ile Ağartılması. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- İmamoğlu, S., Kırıcı, H., Atik, C., Karademir, A., Aydemir, C., Peşman, E. 2009. Ofis Kâğıtları Üzerine Ofset Baskı Makinesinde Basılan CMYK Renk Sistemine Ait Zemin Baskı Mürekkeplerinin Flotasyon Esaslı Sistemle Giderilmesi: *Tübitak Kariyer*, Proje No:106M292.
- Jeffries, T.W., Klungness, J.H., Sykes, M.S., and Cropsey, K.R.R. 1994. Comparison of Enzyme-Enhanced with Conventional Deinking of Xerographic and Laser-Printed Paper: *TAPPI Journal*, 77 (4): 173-179.
- Karademir (a), A., Akgül, M., Tutuş, M. 2002. Kâğıt Endüstrisinde Enzim Kullanımına Genel Bir Bakış, Enzimlerin Kabuk Soyma, Liflerin Modifikasyonu, Çözünebilir Kâğıt Hamuru ve Selüloz Üretiminde Kullanımı: *KSU Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5: 61-71.

- Karademir, A., İmamoğlu, S. Tutuş, A. 2002. Situation of paper based waste in Turkey. In: Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries: vol 1, edited by G. Kocasoy, *ISWA International Congress*, İstanbul, 419-426.
- Kırcı, H. 2000. Atık Kâğıt Geri Kazanma Teknolojisi, KTÜ Basımevi, Trabzon.
- Kırcı, H. 2006. Kâğıt Hamuru Endüstrisi Ders Notları: *KTÜ Yayın*, No 86, Trabzon.
- Lee, C.K., Darah, I., Ibrahim, C.O. 2007. Enzymatic Deinking of Laser Printed Office Waste Papers, Some Governing Parameters on Deinking Efficiency: *Bioresource Techonology*, 98: 1684-1689.
- Mckinney, R.W.J., 1995. Wastepaper Preparation and Contaminant Removal: In Technology of Paper Recycling, Ed. McKinney, R.W.J., *Blackie Academic and Professional Publication*, London, 48-124.
- Morkbak, A. L., and Zimmerman, W. 1998, Deinking of mixed office wastepaper, old newspaper and vegetable oil based ink printed paper using cellulases, xylanases and lipases: *Prog. Paper Recycling*, 7: 14-21.
- Peşman, E. 2010. Atık Gazete ve Magazin Kâğıtlarının Mürekkep Uzaklaştırma ve Ağartma Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Prasad, Y., Heitman, J., Joyce, T. 1992. Enzyme deinking of black and white letterpress printed newsprint waste: *Prog. Paper Recyc.* 1 (3): 21.
- Qin, M., Gao, P., Yinbo, Q., Fu, Y., Shao, Z., and Quan, W. 1998. Physical characteristics of enzymatically modified fibers from old newsprint: *In: Proc. Int. Symp. Emerging Techno*, in Pulping Papermaking Fast-Grow Wood, 462-473.
- SKV. 2010. Selüloz ve Kâğıt Vakfi. Rapor, <http://skv.org/tr/turkkagit>.
- Sreenath, H.K., Yang, V.W., Burdsall, H., Jefferies, T.W. 1996. Toner Removal by Alkaline Active Cellulases from Desert Basidiomycetes In, *Enzymes for pulp and paper Processing: American Chemical Society*, 207–219.
- Sreenath, H.K., Yang, V.W., Burdsall, H., Jefferies, T.W. 1996. Toner Removal by Alkaline Active Cellulases from Desert Basidiomycetes In, *Enzymes for pulp and paper Processing: American Chemical Society*, 207–219.

- Suslick, K.S., 1989, The Chemical Effects of Ultrasound: *Scientific American*, (2) 260: 80-86.
- Tappi T 404 om-87, 1992. Tensile Breaking Strength and Elongation of Paper and Paperboard (using pendulum-type tester) Tappi Test Methods, *Tappi Pres*, Atlanta, 2.
- Teander, K., Pugh, R. 2004. Surface Chemicals Concepts of Flotation De-Inking: *Colloids and Surfaces*, 240: 111-130.
- Viestures, U., and Leitte, M. 1999. Pulp and waste paper bleaching using xylanases and other enzymatic complexes In. Latvian State Institute of Wood Chemistry Year Book, 49-50.
- Yılgör, N., Cameron, J., Velpumadugu, A., Kumar, K. 2009. Enzymatic Deinking of Inkjet Printed Papers: *TAPPI Engineering, Pulping & Environmental Conference*, Oktober 11–14, Memphis, Tennessee, 1-14.
- Zollner, H. K. and Schroeder, L.R., 1998. Enzymatic Deinking of Nonimpact Printed White Office Paper with α -amylase: *TAPPI J.*, 81 (3): 166-170.