



Atık Kâğıt Geri Dönüşüm İşlemlerinde Genel Esaslar ve Mürekkep Uzaklaştırma İşlemi

Halil Turgut ŞAHİN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta, Tel: 246 211 3975, Fax: 246 2371810

(Dergiye gönderilme tarihi: 11 Aralık 2015, kabul tarihi 29 Mart 2016)

Özet

Son yıllarda atık kağıtların geri dönüşümü üzerine çok yoğun araştırmalar yapılmıştır. Çalışmalarda, atık kâğıtların toplanarak selüloz hammaddesi olarak yeniden kağıt-karton ürünlerinin imalinde kullanılması üzerine (sekonder hamur) literatürde birçok olumlu görüş sunulmuştur. Kağıt geri dönüşüm üzerine geçmişte ve şimdiki düşünceler bazı farklılıklar göstermektedir. Eskiden geri dönüşüme, ekonomik ve ucuz hammadde sağlamak açısından bakılmıştır. Bu birçok bakımdan doğrudur. Fakat günümüzde ise çevresel faktörlerde atık kağıtların geri dönüşümünü zorlayıcı bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Piyasada oluşan şartlar ve kağıt özellikleri incelendiğinde geri dönüşümde bazı potansiyel olumsuzluklarında göz önüne alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada literatür bilgileri ışığında atık kağıtların değerlendirilmesiyle elde edilebilecek olumlu faydaların yanında, muhtemel olarak oluşabilecek ve üzerinde fazla durulmayan bazı olumsuz durumlarda açıklanmıştır. Ayrıca, geri dönüşümde mürekkep uzaklaştırma işlemlerinde kullanılan teknolojik yaklaşımlar da açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kağıt geri dönüşüm, sekonder lif, kağıt özellikleri, mürekkep giderme

Basic Principles on Paper Recycling and Deinking Process

During the past decades, numerous studies have been conducted on the potential of papermaking from recycled fibers. Most studies have shown that the paper recycling has many advantages compare to wood pulping. However, recycling produces different effects on the different types of pulps. There are many well opinions on waste papers that using raw materials for paper/cardboard manufacturing. The difference between recycling practices in the past and at present is the driving forces underlying the recycling action. In the past, the most important driving force for paper recycling was economic factors. Hence, recycled fibers were considered a cheap fiber source. This has been true for many situations. In the present time, in addition to economic factors, environmental pressure has greatly promoted the recycling of paper.

However, it is important to consider some unwanted conditions/disadvantages of waste paper use in paper industry. In this study, in view of literature findings, some advantages as well as disadvantages of that secondary fibers as a raw material try to explain. Deinking process can also be explained.

Keywords: Paper recycling, seconder fiber, paper properties, deinking.

1. Giriş

Günümüzde, dünya genelinde üretilen kâğıt/karton ürünlerinin %90'dan fazlası, odun hammaddesinden karşılanmaktadır. Zaten belli derecede tahrip edilmiş ormanlardan gelecekte, kâğıt endüstrisinin ihtiyaç duyacağı büyük miktarlardaki odun hammaddesinin karşılanması oldukça zor görülmektedir (Şahin, 2007 ve 2009).

Kullanımını tamamlayarak atıl duruma gelmiş durumdaki kâğıt ürünlerinde selüloz zaten lif formunda ve hazır olarak bulunduğundan, odunsu ve otsu bitkisel (lignoselülozik) materyalden uzun ve masraflı işlemlerle selülozun üretilmesine gerek kalmadan (pulping) çok daha basit ve ekonomik olarak geri kazanılabilir. Genel olarak geri dönüşüm tesislerinin kurulması ve işletilmesi;

- Çok daha az maliyetle yapılabilen,

- Daha düşük enerji kullanımı ve işletim masrafları ile çalıştırılabilmekte,
- Çevreye karşı daha az zarar verilerek üretim sürdürülebilme,
- Atık kağıtların değerlendirilmesiyle belediyelerin katı atık problemleri önemli ölçüde azaltılabilmekte ve milli ekonomiye hatırı sayılır bir katma değer kazandırılmaktadır. Böylece, çok yüksek yatırım ve işletme maliyeti gerektiren, odundan kâğıt hamuru üreten tesislere alternatif olarak, bazı kâğıt-karton ürünleri geri kazanılmış selüloz liflerinden ekonomik olarak imal edilebilmektedir (Cathie ve Guest 1991; Clar, vd., 1990; Kırcı, 2009).

Atık kâğıtların yeniden kullanımı üzerine ilgi giderek artış göstermekte ve günümüzde atık kâğıtlar uluslararası ticaretin konusu durumuna gelmiştir. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri, çok yüksek toplama oranına sahip olmasından dolayı, ihtiyaç duyan bazı Orta Doğu ve Asya ülkelerine önemli

miktarlarda atık kâğıt ihraç etmektedir (Cathie ve Guest 1991; Clar, vd., 1990).

1.1. Atık Kâğıtların Piyasa Ekonomisine Etki Eden Faktörler

Sekonder kâğıt hamuru tek başına veya odun hamurlarına belli oranlarda katılarak farklı kalite sınıfında kâğıt-karton ürünlerinin imalinde kullanılabilir. Bu bakımdan, toplumların bilinçlenmesi ve doğal orman kaynaklarını korumaya olan ilginin artması sonucu kullandığımız birçok kâğıt ürününde atık kâğıt esaslı lifler oranda kullanılmaya başlanmıştır. ABD de yapılan bir araştırmaya göre, geri dönüşümden elde edilmiş sekonder kâğıt hamuru, kalite özellikleri dikkate alınarak beş ayrı kategori içinde de sınıflandırılmıştır (Broeren, 1991). Bu sınıflar ve oranları aşağıda Çizelge 1 de özet olarak gösterilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere atık kâğıtların çoğunluğu (%90 dan fazlası), mürekkep uzaklaştırma işlemi yapılmadan, ucuz kâğıt ve karton ürünleri imalinde değerlendirilmektedir.

Çizelge 1. Sekonder kâğıt hamuru sınıfları (Broeren, 1991).

Oran (%)	Kâğıt hamuru sınıfı
9	Mürekkep uzaklaştırılmış yüksek kaliteli sınıf
11	Karışık kâğıt hamuru sınıfı
15	Odun hamuru destekçisi sınıf
16	Gazete kâğıdı destekçisi sınıf
49	Karton/oluklu mukavva sınıfı

Yukarıda belirtilen hamur türlerinin imalatında kullanılan atık kâğıtlar ise aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Kırcı, 2009):

- **EOM:** Eski oluklu mukavva kutular, esmer kraft hamuru esaslı torba kâğıtları ve ambalaj kâğıtları,
- **EGK-EDK:** Eski gazete, dergi ve mecmua kâğıtları, gazete matbaasından alınan hatalı basım yapılmış kâğıtlar ve baskı fazlalıkları,
- **Kırpıntı:** Kâğıdı işleyip defter, zarf vb. ürünlere dönüştüren işletmelerden alınan en yüksek kalitede mürekkepsiz kırpıntı kâğıtlar,
- **KK (Karışık kâğıtlar):** Ofis, mesken, eğitim kurumları vb. kaynaklı renkli kâğıtlar, zarflar, eski dergi ve kataloglar ve yiyecek paketlemede kullanılan kâğıt ve kartonları içeren karışık kâğıtlar,
- **Eski defterler, bilgisayar yazıcı çıktıları:** Genellikle mürekkebi temizlenerek işlenecek kalitede kampanya ile toplanmış daha çok kimyasal hamurca zengin atık kâğıtlar, eski defterler bilgi işlem merkezinden alınan yazıcı çıktıları.

Sekonder kâğıt hamuru piyasası, odun hamuru piyasasından bağımsızdır ve piyasa şartları, tesisin kurulduğu bölge, tüketim merkezi ve ulaşım özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Aşağıda atık kâğıtların toplanması, değerlendirilmesi ve fiyatı üzerine etki eden faktörler özet olarak açıklanmıştır (Cathie ve Guest 1991; Clar, vd., 1990; Reese, 1991).

a) Kâğıt fabrikasyonu esnasında oluşan artıklar: Tipik olarak yazı ve baskı kâğıdı üreten tesislerde kenar kırpıntıları ve tıraşlama kesimleri sonucunda %1-10 oranında atıklar oluşabilmektedir. Bu artıkların üzerlerinde henüz herhangi bir baskı işlemi uygulanmamış olduğundan, uygun şekilde kirlenmeden ayrıştırılıp toplanabilirse daha yüksek fiyata satılabilirler. Fakat, kâğıtların içeriğinde bulunan bazı maddeler örneğin basınç hassasiyetli tutkallar ve yoğun mürekkepli kısımlar ayrıştırılmazsa kâğıtların fiyatı önemli ölçüde azalır.

b) Odun hamuru fiyatı: Herhangi kalitedeki atık kâğıt hamurunun fiyatı, odun hamuruna göre çoğunlukla daha düşüktür. Genel olarak mürekkebi uzaklaştırılmış ve ağartılmış kalitedeki geri kazanılmış kâğıt hamuru yüksek kaliteli sınıf olarak ifade edilir ve fiyatı ağartılmış odun hamuru fiyatına yakın seviyelere ulaşabilir.

c) Bölgesel ihtiyaç ve taşıma maliyeti: Atık kâğıtların fiyatları bölgesel olarak değişebilir. Zira bazı bölgelerde toplumların daha bilinçli veya geri dönüşüm tesislerinin tüketim merkezlerine yakın olması fiyat/maliyeti direkt olarak etkilemektedir. Taşıma maliyeti, atık kâğıt lif fiyatlarını etkilemekte özellikle uzun mesafelere avantajlı olmamaktadır.

d) Liflerin teknik özellikleri: Karışık sınıf kâğıtlardan veya mürekkep uzaklaştırma işlemi yapılmadan elde edilen geri dönüşüm lifleri teknik özellikleri itibarıyla düşük kalite sınıfına dâhil ucuz kâğıt ve karton ürünleri üretiminde kullanılırlar. Fakat şu unutulmamalıdır ki, geri dönüşüm tesislerinin kapasitesinin yüksek olması, çoğunlukla bu liflerden üretilen kâğıtların kalitesinin düşmesine neden olur. Zira yüksek miktarda ve aynı özellikteki kâğıtların bir anda toplanması ve ayrıştırılmaları güçleşir ve çoğunlukla karışık kâğıt türlerinin aynı anda geri dönüşümde kullanılması eğilimi oluşur.

e) Lif verimi: Geri kazanılmış liflerin ekonomisi, proseste oluşan kayıpların maliyeti ile yakından ilgilidir. Bu bakımdan lif verimi teknik analiz ve maliyet için en önemli göstergelerden birisidir. Verim, toplanan atık kâğıtlardaki liflerin özelliklerine ve prosese bağlı olarak değişmektedir. Burada lif verimini hesaplarken tanımların yapılması gerekir.

Kayıp: Kayıp en genel olarak, ilk olarak satın alınan kâğıtlardaki ağırlık kaybı oluşumudur.

$$\text{Kayıp} + \text{Verim} = 100$$

$$\text{Kayıp} (\%) = 100 \times (A-B/A)$$

*A: İlk satın alınan atık kâğıt (kg); B: geri dönüşümden üretilen kâğıt hamuru (kg)

Genel olarak atık kâğıtlardan selüloz esaslı liflerin geri dönüşüm oranı, mürekkep uzaklaştırma işlemi olmayan tesislerde %90'ın üzerinde, fakat mürekkep uzaklaştırma işlemi uygulanan tesislerde %60'a düşebilmektedir. Geri dönüşüm tesislerinde oluşan kayıplar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Toplanan kâğıtların sınıflandırılması esnasında atılan lifsel malzeme,
- Geri dönüşümde yanlış lif açma işlemi sonrasında oluşan lifsel artıklar,
- Hamur açma sonrası elemelerde oluşan lifsel artıklar,
- Kâğıt üretimi esnasında zemine düşen materyal,
- Kısa boyutlu liflerin yıkama ve yüzdürme esnasında kaybedilmesi,
- Bazı liflerin ağartma esnasında ve ağartmadan sonra yıkama esnasında çözünmesi.

1.2. Atık Kâğıtların Geri Dönüşümünden Sağlanabilecek Bazı Avantajlar

Selüloz ve kâğıt hamuru maliyetine değişik birçok etmen etki etmektedir. Odun hamurundan ucuz olduğu müddetçe atık kâğıtların geri dönüşüm için toplanması ve kullanımının sürmesi beklenebilir.

Genel olarak, ekonomik ve çevresel birçok faktör atık kâğıtların toplanarak yeniden kâğıt üretiminde değerlendirilmesinin olumlu etkiler sağlayacağını işaret etmektedir. Bu avantajların bazıları aşağıdaki şekilde belirtilebilir (Cathie ve Guest 1991; Ellis ve Sedlachek 1993; Reese, 1991);

a) Atık kâğıt endüstrisi, orman kaynaklarına bağımlı olmayan hammadde kaynağına sahiptir. Bu bakımdan sınırlı orman

kaynakları kâğıt ve orman ürünleri endüstrisi için daha rasyonel kullanılabilir,

- b) Atık kâğıt esaslı kâğıt hamurunun ayrı bir piyasası vardır. Bu nedenle odun hamuru piyasasında oluşabilecek dalgalanmalara göre (üretim miktarı, fiyat vb.), geri kazanılmış lifler alternatif ve güvenli bir kaynak sağlayabilir,
- c) Atık kâğıtların geri dönüşüm işlemleri, odun hamuru üretimine göre kolay, daha az kimyasal madde ve enerji tüketilerek gerçekleştirildiğinden, sekonder kâğıt hamurunun fiyatı aynı özellikteki odun hamuruna göre genellikle daha ucuzdur,
- d) Katı atık durumundaki atık kâğıtların değerlendirilmesi ile çevre kirliliği azalmasına yardımcı olunur,
- e) Mürekkebi uzaklaştırılmış atık kâğıt hamuru lifleri yüksek opaklığa sahip olduklarından bazı basım/matbaa işlerinde avantaj sağlayabilir,
- f) Sekonder liflerden oluşan kâğıt sayfa yapısında, rutubetin liflere etkisi azaldığından kıvrılma, topaklanma vb., belli derecede azalır. Dolgu ve yüzey kaplama malzemelerinin liflere tutunması kolaylaşır. Daha yumuşak, emici özellikte kâğıt ürünleri üretilebilir,
- g) Sekonder liflerden yeniden kâğıt imalinde kullanılan makine ve ekipmanlar, geleneksel olarak odun hamurundan üretim yapan tesislerdeki donanımlara benzerlik gösterir. Sadece bazı teçhizatlar ve işlem basamakları modifiye edilmesi yeterlidir. Örneğin; kâğıt makinesindeki eleklerin gözenek yapısı farklı açıklıklarda düzenlenebilir, çok kademeli ve ilave temizleme üniteleri eklenebilir (hidrosiklonlar), liflerin rafinasyon/dövme işlemleri daha hassas ekipmanlarla uygulanabilir.

1.3. Atık Kâğıtların Geri Dönüşümde Oluşabilecek Bazı Dezavantajlar

Literatürde ve birçok kaynakta, atık kâğıtların geri dönüşümü sayesinde elde edilebilecek ekonomik ve çevresel avantajlar ayrıntılarıyla açıklanmıştır. Yukarıda da kâğıt ve karton ürünlerinin geri dönüşümü sonucu elde edilebilecek faydalara kısaca değinilmiştir. Fakat dünya genelinde hızla artan kâğıt geri dönüşüm oranı beraberinde bazı sorunlara beraberinde getirmiştir. Bu muhtemel sorunların çok dikkatlice gözden geçirilmesi gerekir (Cathie ve Guest 1991; Clar, vd., 1990; Reese, 1991; Spangenberg, 1993). Aşağıda muhtemel olarak oluşabilecek bazı olumsuz durumlar kısaca açıklanmıştır.

Kullanılmış atık kâğıtlarının bulunabilirliği: Bilim ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak kâğıt endüstrisinde, özellikle makineleşme konusunda büyük ilerlemeler gözlemlenmiştir. Günümüzde, yeni kurulan kâğıt makineleri günde yüzlerce ton kâğıt üretebilecek kapasitededir. Bu bakımdan gelecekte bu tesislerin yıl boyu çalışmasını sağlayacak düzeyde atık kâğıt kaynaklarının sağlanmasında oluşabilecek olumsuz faktörlerinde dikkatlice gözden geçirilmesi gerekir. Fakat şur husus unutulmamalıdır ki, aynı cins ve türdeki kâğıtların aynı anda çok yüksek miktarlarda örneğin binlerce ton olarak toplanması ve geri dönüşüm tesislerine ulaştırılması oldukça zordur.

Kir ve istenmeyen maddeler: Artık ve atık kâğıt-karton ürünlerinin geri dönüşümünde en büyük problemleri bunlar oluştururlar. Zira, geri dönüşüm işlemlerinde plastikler, sıcak eritilmiş kaplama maddeleri, basınca duyarlı yapıştırıcılar, mürekkepler, yüzey kaplama maddeleri ve bağlayıcılar gibi kirlerin bulunduğu kâğıtların sınıflandırılması ve aynı anda geri dönüşümlerinin sağlanması oldukça zordur. Ayrıca, yüksek oranda geri dönüşüm liflerine ihtiyaç duyulması bu durumun

gittikçe zorlaşmasını sağlayacak ve maliyetin artmasına sebep olabilecektir.

Geri dönüşüm artık oranı: Atık kâğıtların geri dönüşümü sırasında özellikle mürekkep uzaklaştırmada yüksek oranda (%10-40) lifsel kayıplar oluşmaktadır. Gelecekte geri dönüşüm sistemlerinin büyümesine bağlı olarak oluşan lifsel artıklar önemli derecede artacaktır ve bu artışa bağlı olarak tedarik ve kullanımda bazı sınırlamaların olması beklenebilir. Ayrıca, özellikle mürekkep uzaklaştırma işlemi yapılan tesislerde oluşan atık sularda süspansiyon halindeki madde miktarı dolayısıyla çevre için zararlı kimyasal madde oranı yüksektir.

Liflerin direnç özellikleri: Her geri dönüşüm işlemi sırasında selüloz ılımlı da olsa mekanik parçalanmaya uğramakta, eleme ve temizleme işlemi sırasında hamur içindeki ince lif fraksiyonları şeklinde bir kısmı uzaklaşmaktadır. Sonuçta hamurun sağlamlığı her geri dönüşüm işlemi sırasında bir miktar azalmaktadır. Bu olumsuz durum, mürekkep uzaklaştırma işlemleri ile daha da artmaktadır.

Yüksek maliyet: Gün geçtikçe kimyasalların, enerjinin ve atık kâğıtların fiyatının artması, üreticileri sürekli daha ucuz, alternatif yeni lif kaynakları aramaya itmektedir. Son yıllarda özellikle odun dışı lignoselülozik bitkisel materyalin (otsu bitkiler) kâğıt endüstrisinde kullanım oranı artmıştır ve gelecekte bu lignoselülozik kaynakların kâğıt sanayinde kullanım oranının artması beklenmektedir. Benzer şekilde hızlı yetişen ağaç bazı türleri de özel olarak kâğıt endüstrisi için yetiştirilmekte (özellikle çam türleri) ve odundan kâğıt hamuru üretiminin maliyeti azaltılmaya çalışılmaktadır. Bu bakımdan ileride atık kâğıt tedarik ve maliyetinde oluşabilecek dalgalanmalar, odun hamuru fiyatı ile rekabette sıkıntıların oluşmasına sebep olabilir.

2. Atık kâğıt geri dönüşümde mürekkep giderme işlemi

Geri kazanılmış sekonder lifleri çoğunlukla daha düşük kalitedeki kâğıtların imalinde kullanılmaktadır. Bu bakımdan mürekkep giderme işlemi sadece yüksek kaliteli kâğıt ürünleri imal edilmek istendiği durumlarda uygulanmaktadır.

Atık kâğıt ve karton ürünlerinde bulunan mürekkep ve boyar maddeleri birçok şekilde sınıflandırılabilir. Fakat en genel olarak kimyasal formülasyonları ve uygulama şekilleri dikkate alınmaktadır (Horacek, 1990; Spangenberg, 1993). Günümüzde dergi, kitap, gazete, afiş, broşür vb., kullanılan mürekkepler *basık* ya da *matbaa* mürekkebi olarak ifade edilmektedir. Bu basılı yayınlardaki çoğunlukla trigromi renk denilen (cyan, magenta, yellow ve black-CMYK) mürekkep serisi kullanılmaktadır (Cathie ve Guest, 1991). Genel olarak, matbaa mürekkepleri 4 farklı ana bileşenden meydana gelmektedir. Bunlar;

Pigmentler: Mürekkebin rengini veren bileşenler,

Solvent ve çözücüler: Mürekkebin akışkanlığını düzenleyen bileşenler,

Bağlayıcılar: Renk maddesinin (pigment) basım yapılacak olan kâğıt- karton üzerine yapışmasını sağlayan bileşenler,

Aktif maddeler: Basım işlerinde ortamın durumuna uygun halde mürekkebin kullanılmasını sağlayan bileşikler.

Özellikle mürekkep uzaklaştırma işlemi uygulanacak atık kâğıtlar mümkün olduğu durumlarda daha toplama tesislerinde tür ve cinslerine göre ayrıştırılmaktadır. Zira geri dönüşümdeki başarının artırılması için benzer özellikteki kâğıtların birlikte geri dönüşüme tabi tutulması gerekir. Fakat, özel sınıf kâğıtlar olarak sınıflandırıldığında; karbon kâğıtları, vaks ile yoğun yüzey işlemi uygulanmış kâğıtlar, aydınlar, kapaklı magazin dergileri vb.,

özellikleri itibarıyla mürekkep uzaklaştırma işlemine uygun değildirler. Bunlar diğer kağıt ürünleriyle karıştırılarak geri dönüşüm işlemi uygulanabilir (mürekkep uzaklaştırma yapılmadan).

Mürekkep uzaklaştırma işlemi daha ilk aşama olan kağıdın su ile temas ettiği ve karıştırıldığı lif açma/hamurlaştırma basamağında başlar. Henüz bu ilk aşamada kağıtlar liflerine ayırmaya, yüzey kaplama maddeleri çözünmeye ve mürekkep ile kaplama maddeleri belli oranda dispers hale geçmeye başlar (Brancato, 2008). Genel olarak lif açma/hamurlaştırma basamağında kostik soda, hidrojen peroksit, sodyum silikat veya sodyum fosfat gibi kimyasallar liflerin açılması yanında atık kağıt üzerindeki mürekkebin çözündürülmesi ve lif yüzeyinden söktürülmesine yardımcı olmaktadır. Bu bakımdan, başarılı bir mürekkep uzaklaştırma işlemi için *hamurlaştırıcıda (pulper)* mürekkebin lif yüzeyinden koparılması gerekir. Bu işlem etkili bir şekilde gerçekleştirilemezse, daha sonraki iş akışında mürekkep uzaklaştırma tesisi öncesinde ilave teçhizatların kullanımı gerekli olur ki bu sistemi oldukça karmaşık ve zor idare edilebilir hale getirebilir.

Özellikle son yıllarda yapılan yoğun çalışmalar sonucu, hamurlaştırma/lif açma ünitesinde uygun yıkamanın yapılması ve kirli suyun sistemden uzaklaştırılmasının başarıyı artırdığı belirtilmektedir (Kleinau, 1990a ve b). Zira lif açma ve devamında yıkama işleminin uygun yapılması durumunda

mürekkep partikülleri büyük boyutlarda bir araya gelerek liflerin yüzeylerine yeniden çökebilme ve *yüzdürme* ile mürekkep uzaklaştırma ünitesinde mürekkebin ayrılmasını zorlaştıracaktır (Horacek, 1990; Orner, 1993). Geri dönüşüm tesislerinde mürekkep uzaklaştırma işlemlerinin etkisinin artırılması için üç konuda ortak görüşler bulunmaktadır (Horacek, 1990; Kleinau, 1990a ve b; Orner, 1993). Bunlar;

- Atık kağıtların sınıflandırılmasının daha dikkatli yapılarak aynı türdeki kağıtların aynı anda geri dönüşümlerinin yapılması,
- Geri dönüşümde hamurlaştırma ve ağartmada kullanılacak kimyasal maddelerin kağıt türü dikkate alınarak daha dikkatli seçilmesi,
- Geri dönüşüm proseslerinde kullanılacak ekipmanların uygun seçilmesi.

Mürekkeplerin uzaklaştırılması için bazı mineral esaslı dolgu maddeleri de kullanılmaktadır. Bunların etkileri farklı ve çok çeşitli olmakla birlikte, mineral dolgu maddelerinin koloidal dispersiyon sisteminin düzenlenmesinde faydalı oldukları bilinmektedir. Aşağıda Çizelge 2 de, mürekkep uzaklaştırma ünitesi bulunan bazı geri dönüşüm tesislerinde kullanılan kimyasal madde reçeteleri örnek olarak verilmiştir (Kleinau, 1990a).

Çizelge 2. Mürekkep Uzaklaştırmada Kullanılan Bazı Kimyasal Maddeler (Kleinau, 1990a).

Oran (%)	Kimyasal Madde
2,0-5,0	Kostik Soda (NaOH)
3,5/4,5	Soda (Na ₂ CO ₃)
1,5/1,5	Kostik Soda/Metansilikat
2,5/2,5/3,0	Kostik Soda/Soda/ Sodyum Silikat
2/0,25	Kostik Soda/Sodyum Silikat
1,5-2,0/3,0-6,0	Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂)/Sodyum Silikat
2,5/2,5/1,5/3,0	Kostik Soda/Soda/ Hidrojen peroksit/Sodyum Silikat
2,0	Hidrojen peroksit

Mürekkep uzaklaştırma işlemi uygulanacağı zaman pulperde ilave edilen bu maddelerden kostik soda (NaOH) ve soda (Na₂CO₃) gibi alkaliler mürekkep partiküllerinin lif yüzeyinden çözündürülerek uzaklaştırılmasında, sodyum silikat ve metan silikatın yüzey aktif özelliği ve mürekkep partiküllerini dağıtma özelliğinden, hidrojen peroksitten ise özellikle mekanik odun hamuru gibi lignin zengin hamurların sararmasını önleme fonksiyonlarından yararlanılır.

Mürekkep giderme/uzaklaştırma (deinking) işlemi geleneksel kağıt geri dönüşüm işlemlerine ilave ve en basite indirgenmiş şekliyle;

- Kimyasal maddelerin eklenmesini,
- Birden fazla işlem basamaklarının uygulanmasını,
- Yoğun enerji ve su kullanımını,
- Verimi düşürücü ve maliyeti artırıcı işlem basamaklarını,
- Çoğunlukla ağartma kimyasalı eklemeyi gerektirir.

Dünya genelinde mürekkep uzaklaştırma işleminde yoğun olarak uygulanan iki ana yöntem bulunmaktadır (Biermann, 1993). Bunlar;

- *Yıkama* ile mürekkep uzaklaştırma,
- *Yüzdürme* (Flotasyon) hücresi ile mürekkep uzaklaştırma,

Temel olarak yıkama ve yüzdürme iki farklı sistemdir ve her iki sistemden birisini veya kombine edilerek ikisini birden

kullanarak başarıyla çalışan yüzlerce geri dönüşüm tesisi bulunmaktadır.

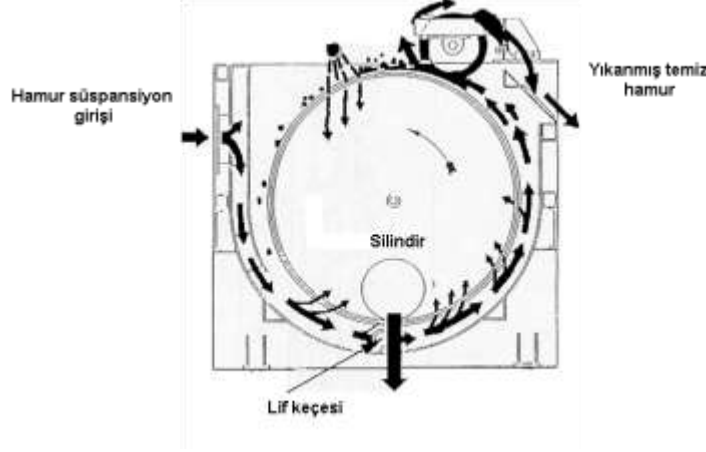
2.1 Yıkama ile mürekkep uzaklaştırma

Yıkama işlemi sadece mürekkep uzaklaştırmak için değil aynı zamanda diğer küçük boyutlu lif dışı istenmeyen maddelerin (kir, tutkal, vb.) uzaklaştırılması için de uygulanmaktadır. Yıkama ile kağıt yüzeylerinden koparılan mürekkebin partikül büyüklüğü ile kullanılan su oranı arasında bir oran bulunmaktadır (Horacek, 1990).

Mürekkep uzaklaştırma işleminde mürekkepler çözelti içindeki durumları dikkate alınarak *dispers olabilenler* veya *dispers olamayanlar* olmak üzere iki ana kategori içinde incelenebilir. Genel olarak *dispers olabilen* mürekkep veya diğer lif dışı parçacıklar daha küçük boyutlara bölünerek yıkama ile uzaklaştırılabilirler. Fakat *dispers olamayanlar* ise daha küçük parçalara bölünemediklerinden uzaklaştırılmazlar ve hamurla birlikte yıkama sonunda bulunabilirler. Bunlar daha sonraki kağıt ürünlerinde koyu benek ve nokta şeklinde görülürler. Bu olumsuz durumun en aza indirilmesi ve etkili mürekkep uzaklaştırma için çok basamaklı yıkama işlemi uygulanır (Horacek, 1990 ve 1993). Yıkama işleminde;

- Lif süspansiyonu (hamur) %0,8 kesafette kazana girer ve yıkama makinesinden yaklaşık %, kesafette ayrılır,
- Yıkama işleminin yapıldığı döner silindirlere su hassas eleklerden girer fakat bu boşluklardan lifler geçemez,
- Yıkamada vakum uygulanarak suyun ortamdan uzaklaşma oranı artırılır.

Aşağıda Şekil 1 de yıkamada yaygın olarak kullanılan silindirli yıkama ünitesi gösterilmiştir. Bu sisteme göre;



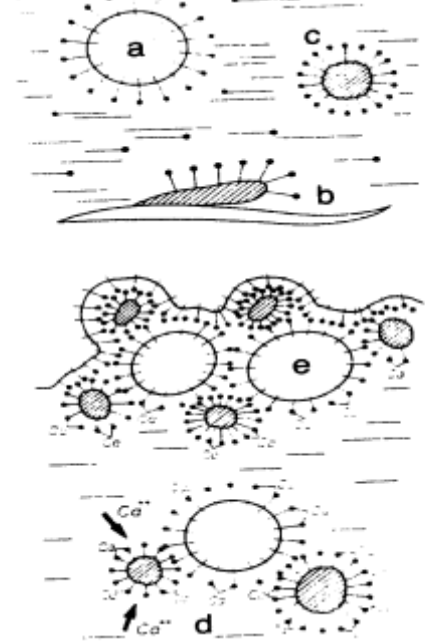
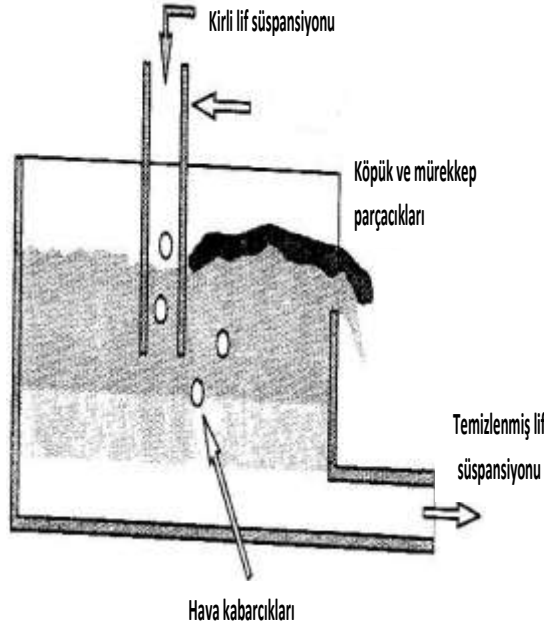
Şekil 1. Silindirli yıkama ünitesi (Horacek, 1990)

2.2 Yüzdürme ile mürekkep uzaklaştırma

Yüzdürme işlemi (flotasyon) son yıllarda yoğun olarak kullanılmaya başlanmış bir sistemdir. Bu yaklaşımda, sürekli çalışma prensibine göre bir besleme ve çıkış (lif hamuru) bölümü vardır. Yüzdürme, aynı zamanda kimyasal ve mekanik ayrıştırma prosesi olarak da tanımlanabilir. Bu yaklaşımda temel prensip, düşük yoğunluktaki lif süspansiyonuna hava verilerek oluşan hava kabarcıklarına mürekkep parçacıklarının tutunması ve yüzeye çıkarılarak uzaklaştırılması esas alınmıştır (Cathie, ve Guest, 1991; McCool, 1993; Ortner, 1993). Ortama bazı heteropolar kimyasallar eklenerek (örneğin, yağ asitlerinin alkali tuzları, sabunlaştırıcı maddeler,vb.) yüzeylerde

silindirin dönmesine bağlı olarak mürekkep ve su ayrıştırılarak lif keçesi oluşturulur. Bu lif keçesi daha sonra sistemden ayrıştırılır. Kullanılan kağıt türü ve renklendirici madde (mürekkep, boyar maddeler, kir, vb..) oranına bağlı olarak genel olarak 3-4 aşamalı ters akımlı bir yıkama işlemi yapılır (Horacek, 1990).

mürekkep parçacıklarının toplanması ve köpük oluşumu sağlar. Yüzeyde toplanmış küçük mürekkep parçacıkları uygun araçlarla alınır/süpürülür. Böylece geriye temiz lif süspansiyonu kalır. Zira mürekkeplerin yapılarındaki bileşenlerin çoğu hidrofobik karakterdedir. Bilindiği gibi hidrofobik materyalin suyla uyuşmadığından veya suda çözünmediğinden bunlar hava köpüklerine/kabarcıklarına daha iyi tutunabilirler. Oysa hidrofilik materyal suyla ilişki kurabilirler veya çözünebilirler. Bu durumda hava kabarcıklarına tutunmaları daha zordur. Bu kimyasal farklılık, hidrofobik karakterdeki küçük parçacık ve moleküllerin yüzdürme tekniği ile ayrılmasını mümkün hale getirir (Biermann, 1993; Cathie, ve Guest, 1991). Şekil 2 de yüzdürme tekniğinin çalışma prensibi özet olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. A. Tipik bir yüzdürme hücresi; B. Yüzdürme İşleminin çalışma prensibi (a: Hava kabarcıkları stabilize durumda, b: mürekkep parçacıkları liften ayrışıyor, c: mürekkep parçacıkları dispers hale geçiyor, d: mürekkep parçacıklarının aktif kimyasallarla etkileşimi ve hava kabarcıklarına yapışması, d: köpük içinde mürekkep parçacıkları (McCool, 1993; Ortner, 1993).

Şekilden görüldüğü gibi hücre içinde üç farklı bölge vardır. Bunlar;

- Hava kabarcıkları ile hamur süspansiyonunun karıştırıldığı bölge,
 - Kabarcıkların mürekkep parçacıklarını tutarak topladığı bölge,
 - Köpük içinde dağılmış mürekkebin uzaklaştırıldığı bölge.
- Yüzdürme işlemiyle mürekkep uzaklaştırmada, değişik tip ve büyüklüğe sahip mürekkep parçacıkları uzaklaştırılabilir. Fakat ortamın pH ve sıcaklığı çok dikkatli kontrol edilmesi gerekir.

Genel olarak sistem %1,5 hamur kesafetinde çalışır ve lif süspansiyonunun kazanda bekleme süresi tipik olarak 30-60 dakika arasındadır. Bu sistemde, birbiri ile bağlantılı olarak aynı çalışma prensibini kullanan birçok yüzdürme hücresi bulunmaktadır (McCool, 1993; Ortnier, 1993).

Yukarıda kısaca açıklandığı üzere her iki mürekkep uzaklaştırma sisteminde kendine özgü avantajları bulunmaktadır. Aşağıda Çizelge 3 de bu iki sistemin avantajlı yönleri kısaca açıklanmıştır.

Çizelge 3. Yüzdürme ve yıkama ile mürekkep uzaklaştırmanın avantajları (Cathie ve Guest, 1991; Horacek, 1990 ve 1993).

Yıkama	Yüzdürme
Yüksek kül (inorganik madde) uzaklaştırma oranı (%95)	Yüksek verim (%85-90)
Yüksek dirençli kağıt imali	Daha düşük kimyasal madde maliyeti
Daha kolay kül uzaklaştırma kontrolü	Kapalı sistem olmasından dolayı daha düşük su kullanımı
Lif keşesinden su uzaklaştırmasının daha hızlı olması	Daha az zararlı atık kimyasal madde oluşumu
Islak direnci daha yüksek kağıt elde edilebilmesi	Mürekkep parça büyüklüğünün daha az etkili olması

Yıkama ile külün %90'ı ve mürekkepteki küçük partiküllerin büyük çoğunluğu uzaklaştırılır. Yüzdürme ile ise külün en fazla %50'si uzaklaştırılır. İlave yıkama işlemleri ile ise külün en fazla %50'si uzaklaştırılır. İlave yıkama işlemleri ile ise külün en fazla %50'si uzaklaştırılır.

Yukarıda kısaca açıklanan avantajlı yönlerin birleştirilerek verim ve kalitenin artırılması için iki sisteminde birbirinin devamı olarak kullanılması mümkündür. Fakat bazı istenmeyen lif dışı maddeler örneğin; hücre çeperine nüfuz etmiş kirler, boyar maddeler, liflerdeki lignin vb., fiziksel ayrıştırmada etkili şekilde ayrılmaz. Bu maddelerin uzaklaştırılmaları için ilave bir ağartma işlemi kullanılarak bu renk verici (kromoforlar) maddeler sistemden uzaklaştırılmaya çalışılır. En yaygın olarak kullanılan ağartma kimyasalları olarak sodyum hipoklorit ve hidrojen peroksit kullanılmaktadır (Cathie ve Guest, 1991; Horacek, 1990 ve 1993). Ağartma işlemi ile;

- Boya ve mürekkep gibi renk verici maddelerin ortamdan uzaklaştırılır,
- Liflerin parlaklığı artırılır.

3. Sonuç ve Öneriler

Kullanılarak atıl duruma gelmiş ve çevre için katı atık oluşturan kağıt/karton ürünlerinin toplanarak yeniden kağıt ve karton ürünlerinin imalinde kullanılması birçok olumlu faktör ve ekonomik bir üretim şekli sunmaktadır. Kağıt üretiminde kullanılan lif kaynağı olarak atık kağıt kaynaklı hamurun tek başına veya bakir hamurlarla karıştırılarak kullanılması mümkündür. Atık kağıt geri dönüşüm konusunda özellikle gelişmiş ülkelerde yoğun çalışmalar yapılmış, önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Dünyada konu ile ilgili çalışmalar dikkatlice gözden geçirilmesi ve uygun planlamaların yapılması ülkemiz kağıt sanayiinin hammadde sorununun çözümüne yardımcı olabilir.

Teşekkür

Yazar, sağladığı mali destek için (Proje no: 4349-YL1-15) SDÜ-BAP Koordinasyon Birimi'ne teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

- Biermann, C.J. 1993. Essentials of Pulping and Papermaking, Academic Press, Inc. San Diego, USA.
- Brancato A. A. 2008. Effect of progressive recycling on cellulose fiber surface properties, Ph.D Theses, Georgia Institute of Technology, GA, USA 116 s.
- Broeren, L.A. 1991. New Technology, Economic Benefits Give Boost to Secondary Fiber Use, In: 'Paper Recycling, Strategies, Economics, and Technology', Ken L. Patrick, (Ed), Miller Freeman Inc., San Francisco, ABD, s. 65-70,
- Cathie, K., Guest, D. 1991. Waste Paper, Pira guide series, Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire, England s.134.
- Clar, E.D., Hamilton, F.R., Kleinau, J.H. 1990. Economics of Secondary Fiber, In: 'Secondary Fibers and Non wood Pulping', M.J. Kocurek, (Series Editor), Tappi Press, Atlanta, GA. s.151-158
- Ellis, R.L. and Sedlachek, K.M. 1993. Recycled-versus virgin-fiber characteristic: a comparison. In: Secondary Fiber Recycling. Spangenberg, R.J. Ed. Tappi Press. Atlanta, Georgia.
- Kırcı, H. 2009. Kağıt Hamuru Endüstrisi Ders Notları, KTU Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon.
- Kleinau, J.H. 1990a. Processes and Their Equipment, In: Secondary Fibers and Non wood Pulping, M.J. Kocurek, (Series Editor), Tappi Press, Atlanta, GA. s.159-178.
- Kleinau, J.H. 1990b. Contaminants, In: Secondary fibers and Non wood Pulping, M.J. Kocurek, (Series Editor), Tappi Press, Atlanta, GA. s.126-142.
- McCool, M. 1993. Flotation Deinking, In: Secondary Fiber Recycling, R.J. Spangenberg, (Editör), Tappi Press, Atlanta, GA. USA. s.141-162.
- Horacek, R.G. 1990. Washing Ink from the Pulp Slurry In: Secondary Fibers and Non wood Pulping, M.J. Kocurek, (Series Editor), Tappi Press, Atlanta, GA. s.189-205.
- Horacek, R.G. 1993. Washing, In: Secondary Fiber Recycling, R.J. Spangenberg, (Editör), Tappi Press, Atlanta, GA. USA. S. 163-183.
- Orner, H.E. 1993. Flotatin Deinking, In: Secondary Fibers and Non wood Pulping, M.J. Kocurek (Series Editor), Tappi Press, Atlanta, GA. s.206-220.

- Reese, A. R. 1991. OCC Consumption Expected to Grow as Cost of Virgin Fiber Increases In: 'Paper Recycling, Strategies, Economics, and Technology', Ken L. Patrick, (Ed), Miller Freeman Inc., San Francisco, ABD, s.71-75.
- Spangenberg, R.J. 1993. Secondary Fiber Recycling, (Editor), Tappi Press, Atlanta, GA.
- Şahin, H.T. 2007. Kullanılmış Atık Kâğıtların Yeniden Kağıt Üretiminde Kullanılması, Orman Mühendisliği, 44 (7-9): 18-21.
- Şahin, H.T. 2009. Atık kağıt Özelliklerinin geri dönüşüme etkisi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 10 (2): 117-123.