



# PROSES DEĞİŞKENLERİNİN KAĞIT GERİ DÖNÜŞÜMDE VERİM VE KALİTEYE ETKİSİ

**H.Turgut ŞAHİN<sup>\*1</sup>**

Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi

## ÖZET

Geri dönüşümden, beklenen kalitede selüloz liflerinin elde edilmesi, kullanılan ekipmanlar ve teknolojik yaklaşımlarla yakından ilişkilidir. Bu değişkenlerin dikkate alınması özellikle tesislerdeki ekipmanların hammadde özelliğine bağlı olarak uygun şekilde düzenlenmesiyle verim ve kalitede önemli kazanımlar elde edilebilir. Farklı özellikteki kağıt ve karton ürünlerinin geri dönüşümdeki işlem basamakları, tesisin imkanları ve elde edilmek istenilen kağıt sınıfına bağlı olarak değişebilir. Geri dönüşümden elde edilen selüloz liflerinden çok geniş kalite sınıflarında kağıt ve karton ürünleri üretildiğinden, geleneksel olarak uygulanan bazı işlem basamakları örneğin mürekkep uzaklaştırma ve ağartma, sadece yüksek kalitede kağıt ürünlerinin üretilmesi durumlarına uygulanır.

**Anahtar kelimeler:** atık kağıt, geri dönüşüm, hamurlaştırma, mürekkep uzaklaştırma, proses değişkenleri

## THE EFFECT OF PROCESS VARIABLES AT THE RECYCLING ON THE YIELD AND QUALITY

### ABSTRACT

From recycling, expecting quality level of cellulose fibers have closely related to technological approaches and equipments that utilized in recycling plants. These variables should be carefully considered and suitable arrangements in recycling plants effects improving yield and quality. However, recycling of various type of paper and paperboard products effects process stages. These closely related to plant specifications as well as target paper qualities. Due to the fact that wide range of paper and paperboard products can be produced from recovered cellulose fibers, some conventional process stages such as deinking and bleaching should be only established for producing high quality paper products from recycled fibers.

**Keywords:** waste paper, recycling, repulping, deinking, process variables

\* Yazışma yapılacak yazar: sahin@orman.sdu.edu.tr

Makale metni 10.10.2011 tarihinde dergiye ulaşmış, 15.11.2011 tarihinde basım kararı alınmıştır.

## 1. Giriş

Değişik kalite sınıfındaki kağıt ve karton ürünlerinin geri dönüşümdeki işlem basamakları, tesisin imkanları ve elde edilmek istenilen kağıt sınıfına bağlı olarak değişebilir. Geri dönüşümünde kullanılan proses değişkenleri, uygulamalarda bazı farklı düzenlemeler olmakla birlikte, en genel olarak 5 ana grup altında incelenebilir. Bunlar;

- Hamurlaştırma /lif açma (pulper)
- Eleme ve temizleme
- Yoğurma (dispersiyon)
- Mürekkep uzaklaştırma (bazı özel kağıt ürünleri için)
- Ağartma (bazı özel kağıt ürünleri için)

Geri dönüşümden elde edilen selüloz liflerinden çok geniş kalite sınıflarında kağıt ve karton ürünleri üretildiğinden, yukarıda kısaca belirtilen işlem basamaklarından bazıları örneğin mürekkep uzaklaştırma ve ağartma, sadece yüksek kalitede kağıt ürünlerinin üretilmesi durumlarına uygulanmaktadır. Bu nedenle aşağıda kısaca belirtilen kalite sınıfında kağıt ürünleri üretilcekse;

- Eski oluklu mukavva ve esmer kraft atık kağıtlarından, benzer kullanım yerleri için kağıt hamuru üretilcekse
- Karışık sınıftaki atık kağıtların geri dönüşümü yapılacaksa
- Mekanik odun hamuru oranı yüksek kağıtların geri dönüşümünden gri karton üretilcekse

mürekkep uzaklaştırma ve ağartma işleminin uygulanması gerekli değildir [Biermann, 1993; Kleinau, 1990a].

Son zamanlarda bazı geri dönüşüm tesislerinde, yukarıda kısaca belirtilen ana işlem basamaklarına ilave olarak su ve bazı kimyasal maddelerle atık kağıtların ön ıslatma işlemine tabi tutulması/suda bekletme ve devamında daha düşük hamurlaştırma sürelerinin uygulanması yönünde düzenlemeler yapılmaktadır. Gerçekte bu işlemin etkisi tesisin düzenlenişine ve kullandığı prosese göre değişiklikler gösterebilir. Bu çalışmada geri dönüşüm tesislerinde kullanılan proses basamaklarının özellikleri ve bunların geri dönüşümdeki verim ve lif kalitesine olan etkileri incelenmiştir.

## 2. Geri Dönüşümde Hamurlaştırma/Lif açma işlemi

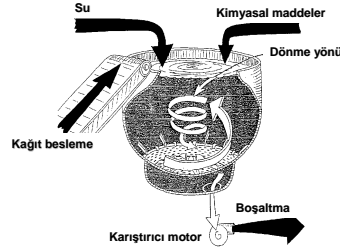
Kağıtların sayfa yapısındaki lifsel dokuların ayrılarak kağıt hamuruna dönüştürülmesi hamurlaştırıcıda başlar. Hamurlaştırıcı/lif açıcının (pulper) esas görevi, kağıtlardaki selüloz liflerinin en az zarar göreceği şekilde bireysel lif haline getirilmesi (kağıt hamuru), lifsel olmayan dolgu ve fonksiyonel maddelerin mümkün olan en yüksek seviyede uzaklaşmasının sağlanması olarak özetlenebilir. Ayrıca, mürekkep uzaklaştırmada etkili bazı kimyasal maddeler (alkali, sabun, yüzey aktif maddeler, ağartıcılar vb.) kağıt ile ilk teması burada sağlarlar [Kırcı, 2009]. Hamurlaştırma/lif açma aşamasında kağıt ve karton ürünlerindeki lifsel olmayan büyük boyutlu veya ağır maddelerde örneğin; metaller, ipler, plastikler, kum vb., bu aşamada uzaklaştırılırlar.

Geri dönüşüm işleminden beklenen faydanın sağlanması ve selüloz liflerinin en az zarar göreceği şartların sağlanması açısından, hamurlaştırıcıda;

- Konsantrasyon,
- Sıcaklık
- pH

gibi önemli değişkenlerin kontrol altında tutulması önemlidir.

Kağıtların cinsi, dolgu ve katkı madde içeriği ile lif dışı istenmeyen madde miktarı hamurlaştırıcının tipini ve buna bağlı olarak kullanılacak yardımcı ekipmanların seçiminde etkili olur. Geri dönüşüm tesislerinde yaygın olarak kullanılan modern hamurlaştırıcılar genellikle, birbirine bağlı olarak çalışan ve yabancı maddeleri hamur içinden ayıran bazı yardımcı ekipmanlar ile donatılmıştır (Kırcı, 2009). Aşağıda Şekil 1 de tipik bir geri dönüşüm hamurlaştırma kazanı ve bağlı ekipmanları görülmektedir.



Şekil 1. Hamurlaştırıcı ve yardımcı ekipmanlar

## 2.1. Hamurlaştırıcı Yoğunluğunun Verim ve Kaliteye Etkisi

Geri dönüşüm tesislerinde faydalanılan hamurlaştırıcılar, çalışma koşullarındaki yoğunluk özelliklerine ve hammadde besleme durumuna göre 4 grup altından incelenebilir [Cleveland, 1993].

- 1) Düşük konsantrasyonda (%3-8) kesintili çalışan hamurlaştırıcılar
- 2) Düşük konsantrasyonda sürekli çalışan hamurlaştırıcılar
- 3) Orta konsantrasyonda (%10-15) kesintili çalışan açık tank tipi hamurlaştırıcılar
- 4) Orta ve yüksek konsantrasyonda (%10-20) sürekli çalışan döner tambur tipi hamurlaştırıcılar

Hamurlaştırma esnasında kazanın yoğunluğu (lif yoğunluğu), geri dönüşümden elde edilen selüloz liflerinin kalitesi üzerine önemli etkiler yapmaktadır. Kullanılan hamurlaştırıcı tipi, özellikle karıştırma/çalkalama, kazan içindeki yoğunluğun etkisini artırmaktadır.

Düşük yoğunlukta %5-8, yüksek yoğunlukta hamurlaştırma işlemi genellikle %15-20 lif yoğunluğunda yapılır. Optimum hamurlaştırma konsantrasyonu sadece ekipmana bağlı olmayıp ayrıca geri dönüşümü yapılacak kağıt çeşidi ile de yakından ilişkilidir. Pratik olarak sadece selülozik lifler süspansiyonun yoğunluğunu artırabilir, dolgu ve çözünebilir maddelerin süspansiyon yoğunluğuna etkileri çok azdır. Bu bakımdan kağıt yoğunluğundan ziyade, liflerin süspansiyondaki yoğunluğu dikkate alınması gerekir. Örneğin eğer bir hamurlaştırma işleminde kazanda %8 atık kağıt bulunuyorsa, bu kağıtlarda %18 dolgu maddesi ve %8 çözünebilir madde içeriyorsa, gerçek süspansiyonun lif yoğunluğu sadece %5-9 civarında olduğu kabul edilir [Cleveland, 1993].

Bilindiği gibi binlerce kullanım yeri için üretilen kağıt-karton ürünlerinde çok değişik lifsel olmayan dolgu ve katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu durum, geri dönüşüm esnasında önemli sorunlar yaratabilmektedir. Zira, kullanılmış atık kağıt ürünleri, yüksek miktarda ve farklı kaynaklardan toplanmasından dolayı heterojen hammadde özelliği taşımaktadırlar. Kalite sınıflarına göre ayrıştırılmadan aynı anda geri dönüşüme sokulan kağıt ürünlerinden değişik kalite özelliklerine sahip selüloz lifleri üretilir [Şahin, 2010]. Özellikle geri dönüşüm işlemlerine başlamadan önce, kağıt stoğunda kül oranı testleri yapılması gerekir. Zira kül oranı eklenecek kimyasal madde oranının belirlenmesi ve oluşacak kayıpların anlaşılması bakımından faydalıdır [Cleveland, 1993; Kleinau,1990a]. Kağıt stoğundaki kül oranının yanında, gerçek lif süspansiyon yoğunluğunun bilinmesi için atık kağıtların içerdiği nem oranı ile çözünebilir madde oranının da belirlenmesi gerekir. Bunların bilinmesi ile (kül oranı, rutubet ve çözünebilir madde miktarı), prosesteki teknik verim, eklenmesi gereken dolgu maddesi oranı üzerine fikir sahibi olunabilir.

1980'li yıllardan itibaren, kağıt geri dönüşüm tesislerinde, düşük yoğunlukta (% 4-8) çalışan sistemlerden daha yüksek yoğunlukta (%12-18) çalışan proseslere doğru kaymalar gözlemlenmiştir. Bazı tesisler, hamurlaştırma kazanlarının kapasitelerinde değişiklikler yaparak, yüksek hızda çalışabilen bazı yardımcı ekipmanlar eklemiştir.

Yeni kurulan geri dönüşüm tesisleri çoğunlukla sürekli çalışma prensibine göre çalışan aynı zamanda yüksek yoğunlukta hamurlaştırma/lif açma işlemi yapabilen sistemler uygun yardımcı ekipmanlar ile birlikte kurulmaktadır. Böylece buhardan, elektrik enerjisinden ve kağıtların yeniden liflendirilmesi için gerekli zamandan önemli miktarda tasarruf sağlanması amaçlanmaktadır [Şahin, 2010]. Aslında tartışmasız olarak yüksek yoğunlukta çalışan sistemlerde maliyet avantajı yanında, daha hızlı liflendirilme yapılabilmektedir. Kağıt yüzeylerindeki kirlerin ve kaplama filmlerinin daha küçük boyutlara getirilmesine gerek kalmadan, örneğin selofan, polietilen, sıcak eritilmiş tutkallar, basınç etkili yapıştırıcılar vb., belli oranlarda uzaklaştırılabilir. Bunun

nedeni ise, yüksek yoğunlukta kağıt stoğundaki kirlerin çoğunun santrifüjlü temizleyicilerle uzaklaştırılabilir olması olarak özetlenebilir.

Genel olarak eğer düşük ve ucuz kalitedeki atık kağıtların geri dönüşümü yapılacaksa örneğin gazete kağıtları, oluklu mukavva gibi, yüksek yoğunlukta çalışan geri dönüşüm proseslerinin kullanılması avantajlı olabilir. Yüksek yoğunlukta geri dönüşüm prosesiyle, daha düşük yoğunlukta çalışmaya göre, elektrik enerjisinden yaklaşık %25-35, buhardan %40-70, kimyasal madde kullanımından ise %20'ye kadar avantaj sağlanabileceği, her bir liflendirme işleminin 35-45 dakika olan düşük yoğunlukta hamurlaştırmaya göre, 15-20 dakikada başarı ile yapılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, bazı kağıt türlerinin geri dönüşümlerinde örneğin lazer yazıcılardan çıkan kağıtların yüzeylerindeki mürekkep, yüksek yoğunlukta çalışan sistemlerle daha kolay uzaklaştırılabileceği belirtilmektedir. Fakat yüksek yoğunlukta çalışmada, lifler gereğinden fazla liflenerek, kazan içindeki stok hareketinin azalmasına neden olabilir. Bu aşırı liflenmeden korunmak için hamurlaştırmada yoğunluğun %12-13'e düşürülmesi veya % 15-17 yoğunlukta hamurlaştırma işleminin 15-17 dakikada yapılması önerilebilir [Cleveland, 1993; Kleinau, 1990a].

Bazı tesislerde düşük veya yüksek yoğunlukta çalışan hamurlaştırıcılar sürekli veya kesikli çalışan sistemlere entegre edilerek kullanılabilir. Burada en önemli husus, geri dönüşüm işlemlerinde çok fazla proses değişkeninin birbirleriyle kombine edilerek kullanılmasıyla, hamur ve lif kalitesini en iyi şekilde kontrol edilmesi oluşturmaktadır. Bu bakımdan, tesiste çalışan personelin yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olması başarılı bir geri dönüşüm işlemi için önemli konuların başında gelmektedir.

## 2.2. Kesikli veya Sürekli Çalışan Hamurlaştırıcı Sisteminin Verim ve Kaliteye Etkisi

Geri dönüşüm sistemlerindeki hamurlaştırıcılar genellikle kesikli veya sürekli çalışma prensibine göre düzenlenmiş olabileceği gibi bazı tesislerde bu her iki sistemin birbirine kombine edilmesi ile de çalıştırılabilir [Cleveland, 1993; Hamilton, 1990]. Her iki sistemde yan ekipmanları ile birlikte çok farklı şekillerde düzenlenebilir. Sürekli ve kesintili çalışan hamurlaştırıcıların çalışmaları esnasında ortaya çıkan bazı önemli avantaj ve dezavantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir [Hamilton, 1990];

### 1) Sürekli Çalışan Hamurlaştırıcı Sisteminin Avantajları;

- Kağıt taşıma, boşaltma besleme işlemleri için daha az zaman harcadığından, sürekli çalışan hamurlaştırıcıların kapasitesi, kesikli çalışanlara göre daha yüksektir
- Sıcak su akışı sürekli sağlandığından, sıcak su sağlama tankı ve beraberinde sıcak su taşıma boruları daha az, sistem genel olarak daha küçüktür
- Hamurlaştırma tankına sürekli hammadde sağlandığından, büyük hammadde dökme tankına gerek yoktur. Fakat daha büyük karıştırıcıya ihtiyaç vardır.

### 2) Sürekli Çalışan Hamurlaştırıcı Sisteminin Dezavantajları;

- Hamurlaştırma işleminin başarıyla yapılabilmesi için hamurlaştırıcı tankında kimyasal reçeteler ve dozajın sürekli kontrol edilmesi ve gerekli müdahalelerin yapılması gerekir.
- Hamurlaştırıcı tankında kağıt stoğu kısa süre bulunduğundan, kirlerin, mürekkep ve diğer istenmeyen maddelerin dispers olması zorlaşır.
- Hamurlaştırıcı tankında daima bazı liflerine ayrılmamış kağıt parçaları bulunabilir ve bu durum kalite kontrol testlerinin daha zor yapılmasına sebep olur.
- Karıştırma/dökme teknesinde daha yüksek oranda kirli kağıt stoğu bulunur.
- Kağıtların hamurlaştırıcı tankına ulaştırılması daha maliyetlidir.
- Sürekli sistemde çalışan geri dönüşüm tesislerinde elde edilen kağıtların direnç, parlaklık ve optik özellikleri geniş kalite aralıklarında değişebilir.

Günümüzde, sürekli ve kesikli veya birbiri ile kombine edilmiş hamurlaştırıcı sistemlerinin daha düşük maliyetle ve daha kolay çalışması üzerine çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir.

## 2.3. Sıcak veya Soğuk Hamurlaştırmanın Verim ve Kaliteye Etkisi

Atık kağıtların geri dönüşümünde ortamın sıcaklığına bağlı olarak, sıcak ve soğuk prosesler uygulanabilir. Bu ayırım tam kesin olmamakla birlikte genellikle 60 °C nin altındaki sıcaklık soğuk proses olarak kabul edilmektedir. Sistemdeki sıcaklığın yükselmesi için dışarıdan çok fazla ısı/enerji vermeye gerek yoktur. Zira kapalı sistemlerde suyun sıcaklığı kendi kendine bir miktar artabilir.

Geri dönüşüm tesislerinin çoğunluğunda başlangıçta veya prosesin ortasında sıcak hamurlaştırma yapılmaktadır. Zira, sıcaklığın artması ile asfalt kaplama maddeleri, ıslak direnç reçineleri ve verniklerin uzaklaştırılması kolaylaşır. Ayrıca, yüksek sıcaklıkta kirlerin toplanması veya uzaklaştırılması bazı kimyasalların eklenmesiyle daha kolay sağlanabilir. Safılık gerektiren hassas kağıtların üretilmesinde ise genellikle yüksek sıcaklıkta geri dönüşümün yapılması uygundur. Genel olarak sıcaklığın hafif yükseltilmesi dahi liflendirme hızının ve ekipmanların kapasitesinin artmasına, elektrik enerjisi kullanım oranının azalmasını neden olduğu yönünde düşünceler vardır [Cleveland, 1993].

Soğuk prosesler genellikle yüzey kaplama malzemelerinin, baskı mürekkeplerinin ve benzer kimyasal maddelerinin çözünmesinin istenmediği işlemlerde kullanılır. Kartonların, bilgisayar çıktılarının ve plastik kaplanmış kalitedeki kağıtların geri dönüşümünde soğuk sistem kullanılabilir. Böylece plastiklerin küçük partiküller olarak sisteme girmesi ve lifler üzerine çökmesi engellenir.

Birçok durumda lif açma işlemi esnasında ortam sıcaklığının artırılmasının, kağıtların parlaklık ve temizliğinin artmasına neden olduğu bilinmekle birlikte kağıtların renk özelliklerinin bozulduğuna inanılmaktadır. Bu nedenle genel olarak, geri dönüşümden elde edilen selüloz liflerinden üretilen kağıt ürünlerinin yüzeylerindeki lekelenmelerin ve renk düzensizliğinin önlenmesi için daha çok düşük sıcaklıkta geri dönüşüm yapılmaktadır. Örneğin, mürekkep uzaklaştırma yapılan bazı geri dönüşüm tesislerinde, kalitenin artırılması amacıyla proseste daha düşük sıcaklıkta, tercihen 45-60 °C de hamurlaştırma uygulanmakta, böylece yapışkanimsi maddelerin oluşumu azaltılmaktadır. Fakat sıcaklığın düşürülmesiyle hamurlaştırma/liflendirme için gerekli zaman ve kullanılan kimyasal madde oranı artabilir.

Genel olarak hamurlaştırmada sıcaklığın artırılması, kağıtların liflerine ayrışma süresini kısaltır. Zira mürekkep ve diğer lifsel olmayan materyal yumuşar ve kimyasal reaksiyonlar hızlanır böylece liflenme hızı artar. Aşağıda Çizelge 1 de hamurlaştırmadaki sıcaklığın bağlı geri dönüşümdeki kağıtların tipik liflenme zamanı verilmiştir [Cleveland, 1993; Hamilton, 1990; Kleinau, 1990a].

Çizelge 1. Sıcaklığa bağlı olarak geri dönüşümde liflenme zamanı

Sıcaklık (°C)	Liflenme zamanı (dakika)
20	40
30	30
50	20
65	12

Yüksek mekanik hamur içeren kağıtların liflendirilmesinde genellikle düşük sıcaklık dereceleri kullanılır. Bu kağıtlardan mürekkep uzaklaştırma ve liflendirme işlemi, tipik olarak 50-70 °C'de yapılmakta ve belli oranda hidrojen peroksit katılarak hamurun muhtemel renk bozunması önlenmektedir.

Yapılan bazı çalışmalarda ise, kostik soda ile mürekkep uzaklaştırma yapan ve orta seviyede mekanik hamur kullanan, çok az veya hiç ağartma uygulamayan geri dönüşüm tesislerinde etkili liflendirme için daha yüksek sıcaklıkların kullanılması tavsiye edilmektedir. Sonuç olarak, hamurlaştırma esnasında kullanılan sıcaklık, geri dönüşümü yapılacak kağıdın tipine, sistemde kullanılan kimyasal maddelere, ağartma kimyasalları türüne ve elde edilmek istenilen selüloz kalitesine göre değişir [Şahin, 2010].

### 3. Yıkamanın Verim ve Kaliteye Etkisi

Kağıt ve karton ürünlerinde kullanılmış dolgu maddelerinin çoğu (kil, kalsiyum karbonat), yıkama silindirlerindeki açıklıklardan kısa boyutlu liflerle (fines) birlikte uzaklaşabilir. Eğer yıkama flotasyon hücrelerinde (yüzdürme) ile yapılması durumunda ise ortamda dolgu maddeleri bulunur. Bu bakımdan geri dönüşümü yapılacak, toplanmış atık kağıtlardaki lif ve dolgu maddesi oranının bilinmesi önemlidir. Selülozik lifler, dolgu maddelerinden çok daha değerlidir. Ayrıca lif/dolgu maddesi oranı, su ile dövme/rafinasyon işlemini etkilediğinden, bu oranının bilinmesi başarılı liflendirmenin yapılması açısından gereklidir [Şahin, 2010].

Genel olarak, yıkamanın yüksek konsantrasyonda yapılması durumunda, ortamda daha yüksek miktarda dolgu ve istenmeyen maddeler bulunacağından, uzaklaşmış haldeki mürekkep ve kirlerin yeniden lifler üzerine çökmesi mümkündür [Horacek, 1993].

#### 4. Yoğurma (Dispersiyon) İşleminin Verim ve Kaliteye Etkisi

Bu aşamada, lif yüzeyinde tutunan kirler ve mürekkep parçacıkları hamur süspansiyonu içerisinde dağıtılmaktadır. Hamur yoğurma işleminde en önemli işlem değişkenleri;

- Hamur konsantrasyonu,
- Sıcaklık
- Basınçtır.

Yoğurma/dispersleştirme (çalkalama), kimyasal maddelerin sayfa yapısına girmesi ve ihtiyaç duyulan kimyasal etkinin sağlanması bakımından önemlidir. Uygun yoğurma yapılmazsa kimyasal maddelerin etkisi azalır, proses yavaşlar. Ayrıca düzgün yoğurma işlemi sonucunda sıcaklığın materyale homojen etki etmesi sağlanır. Genel uygulamada konsantrasyon %25-30, sıcaklık 72-83 °C tutulup, atmosferik basınçta yoğurma yapılır. Geri dönüşümde uygun şekilde disperleşme/yoğurma yapılmamış kağıt hamurlarından yeniden üretilen kağıtların içinde mürekkep benekler halinde kalmakta ve kağıdın parlaklığını ve optik özellikleri düşmektedir [Horacek, 1993; Kleinau, 1990b].

Yoğurma ile geri dönüşümde kağıtların yeniden liflenmesi kolaylaşır. Zira sayfa yapısı daha kolay zayıfladığından, kimyasal etkiye karşı lif yüzey miktarı artar. Bu etki olmazsa mürekkep uzaklaştırma ve yıkamadan tam bir başarının sağlanması zordur.

Etkili yoğurma ile ısı ve kimyasal kullanımından tasarruf sağlanabilir ve liflerin kimyasal bozulması azalır. Mürekkep uzaklaştırma işlemi yapan tesisler için iyi bir yoğurma işleminin, liflerin direnç, verim ve kalite özelliklerini artırdığına inanılmaktadır. Ayrıca, mekanik çalkalama işlemiyle, lifsel olmayan atıklar daha kolay ayrışabilir [Horacek, 1993; Kleinau, 1990b]. Genel olarak yoğurma işlemi amaca uygun şekilde yapılabilirse;

- Enerji ve kimyasal madde kullanımında ekonomi sağlanabilir
- Lif açma (liflendirme) için gerekli zaman azalır
- Daha sonraki mürekkep uzaklaştırma işlemleri kolaylaşır
- Selüloz liflerinin geri kazanılmasında verim ve kalite artışı sağlanır

#### 5. Mürekkep Uzaklaştırmanın Verim ve Kaliteye Etkisi

Geri dönüşümde, kalite özelliklerini en fazla etkileyen faktörlerin başında toplanmış atık kağıtlarda kullanılmış yüzey kaplama maddesi oranı, türü ile birlikte mürekkep miktarı gelmektedir. Zira geri dönüşümden yüksek kalitede kağıt hamurlarının üretilmesi için bu mürekkep ve yüzey kaplama maddelerinin uzaklaştırılması gerekir. Özellikle mürekkep uzaklaştırma işlemleri çok basamaklı, yüksek maliyetle yapılan ve çok dikkatli uygulanması gereken bir dizi prosesi içerir. Çizelge 2 de, bazı kağıt türlerinde bulunan mürekkep oranları verilmiştir [Biermann, 1993; Kleinau, 1990b].

Çizelge 2. Kağıt türlerine göre mürekkep oranları

Kağıt tipi	Mürekkep oranı (%)
Gazete kağıdı	1-2
Kitap	0,5-1
Dergiler	1-7

Bazı geri dönüşüm tesislerinde daha yüksek kalitede kağıt hamuru elde etmek için uygulanan mürekkep uzaklaştırma işlemiyle, yüksek kalite sınıfı olarak ifade edilen kağıt hamurları elde edilir ve bunlar odun hamurları ile birlikte karışım olarak veya tek başlarına değişik kalitede bir çok kağıt türünün üretilmesinde kullanılabilir. Fakat mürekkep uzaklaştırma işlemi, geri dönüşüm tesislerinin en maliyetli çalışan ve zor olan işlem basamaklarını kapsamaktadır. Ayrıca mürekkep uzaklaştırma işleminde yüksek enerji ile birlikte birçok kimyasal madde kullanılmaktadır. Bu maddeler çevre için zehirli kimyasalların ortaya çıkmasını sağlar, ayrıca verim azalmasına ve prosesin yavaşlamasına neden olurlar [Şahin, 2010].

Atık kağıtlardan mürekkep uzaklaştırma işlemi (deinking) daha hamurlaştırıcıda başlar. Zira lif açma/hamurlaştırma işleminde şiddetli karıştırma ile oluşturulan makaslama kuvvetleri, sıcaklık ve bazı kimyasalların etkisi ile mürekkep partikülleri kağıt yüzeylerinden koparılabilmektedir. Geri dönüşümün diğer aşamalarında (eleme, temizleme, yüzdürme, yıkama) da mürekkep partikülleri kağıt/lif yüzeylerinden belli derece uzaklaştırılır.

Mürekkep uzaklaştırma işleminde %10-30 oranında lifsel kayıpların oluşması doğaldır. Eğer kâğıt-karton ürünlerinde çok yoğun yüzey işlemi ve plastik kaplama yapılmış ise veya mekanik hamur oranı yüksek ise kayıp %40'a kadar çıkabilir. Aşağıda geri dönüşüm prosesinde mürekkep uzaklaştırma işleminin etkileri kısaca özetlenmiştir [Göttsching ve Pakarinen 2001; Kırıcı 2009; Kleinau, 1990b].

1) Mürekkep uzaklaştırma işlemi uygulanmış, geri kazanılmış liflerden kağıt üretiminde stok hazırlama düşük su tutma derecesinden dolayı daha yavaştır ve kağıt makinesi eleklerinde daha uzun sürede su uzaklaşma/süzülme olur. Bu durum kağıt makinesinin hızını azaltır. Bazı durumlarda süzülmenin düzenlenmesi için bir miktar odun hamuru katılabilir.

2) Mürekkep ve diğer lifsel olmayan materyalin uzaklaştırılmasıyla, geri kazanılmış liflerinin üzerinde kir lekelerinin oluşumu en aza iner.

3) Mürekkep uzaklaştırma işlemiyle geri dönüşüm liflerinden yeniden kağıt üretimi esnasında lif stoğunda yapışkanimsı materyal/partiküller oranı azalır ve bunların elekleri tıkararak sorun yaratması en aza indirilir.

4) Geri dönüşümde kullanılan atık kağıtların özelliklerinin sürekli değişiklik göstermesinden dolayı, mürekkebi uzaklaştırılmış kağıt ürünlerinin rengi, parlaklığı, direnç özellikleri ve su tutma derecelerinde önemli farklılıklar olabilir.

5) Geri dönüşümden kazanılmış liflerin değişik metotlarla üretilmiş olması örneğin mekanik hamur, kraft, soda vb., mürekkep uzaklaştırma işleminde verim kayıplarının artmasına neden olabilir.

6) Mürekkep uzaklaştırılma işlemi bulunan tesislerde oluşan atık su çevre için tehlikeli bileşenleri içerir.

Çizelge 3 de, geri dönüşümü yapılacak kağıtlardaki kağıt hamuru türü ve miktarının verime olan etkisi örnek olarak verilmiştir [Kleinau 1990b].

Çizelge 3. Atık kağıtlardaki odun hamur çeşidi ve oranının verime etkisi

Mekanik hamur oranı (%)	Kül (%)	Mürekkep uzaklaştırmada verim (%)	Ağartmada kayıp (%)	Toplam verim (%)
<b>Mekanik hamuru oranının geri kazanmada verime etkisi</b>				
0	16,0	66,3	6,7	61,9
25	21,0	61,7	10,1	55,5
50	19,0	58,5	20,5	46,5
80	17,0	58,6	47,3	30,9
<b>Soda hamuru oranının geri kazanmada verime etkisi</b>				
Kimyasal hamur oranı (%)				
0	1,7	88,3	5,8	83,2
25	9,9	78,5	9,2	71,3
35	8,9	75,5	6,8	70,4

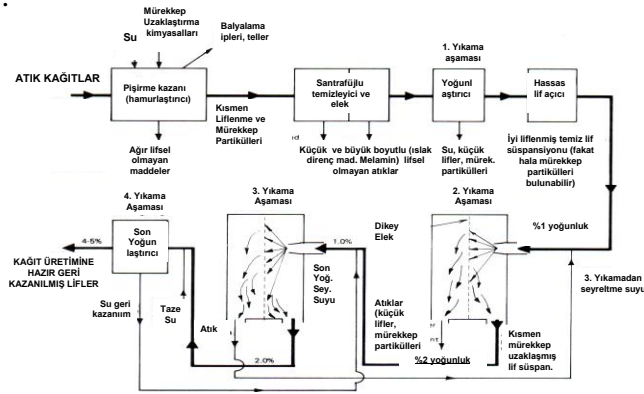
## 6. Ağartma İşleminin Verim ve Kaliteye Etkisi

Genel olarak atık kağıtların geri dönüşümlerinde ağartma çok sınırlı ve sadece yüksek kaliteli hamurların üretilmesinde kullanılır. Ağartma işlemi, hamurdaki boya ve renklenmiş lignin yapılarının renksiz hale getiren kimyasal maddelerle yapılmaktadır [Kırıcı, 2009; Şahin, 2010].

Ağartmada kullanılan basamak sayısı ve kimyasal madde çeşidi lif kaybının değişik oranda olmasını sağlar. Ayrıca ağartma uygulanacak lif çeşidi örneğin kısa veya uzun lif, kimyasal veya mekanik lif oranı önemlidir. Yüksek oranda mekanik liflere sahip hamurlar hidrojen peroksit, sodyum peroksit veya sodyum hidrosülfür kullanılarak ağartılması durumunda verim kayıplarında belli derecede iyileşmeler gözlemlenebilir. Zira bu tip ağartmalarda lignin fraksiyonları çözünmediğinden, uzaklaşmaz sadece ağartılmış olarak kalır.

Mürekkep uzaklaştırma işlemi uygulanmış kağıt hamurları düşük mekanik hamur ve ağartılmamış kimyasal hamura sahipse tek aşamalı olarak ağartılması uygundur. Ağartma işleminde birden çok basamağın kullanılması durumunda daha yoğun kimyasal maddelerin kullanılması gerekeceğinden, ağartmaya konu olan hamurlardaki lignince zengin lif oranının artması verim kaybının artmasına neden olur. [Biermann, 1993; Cleveland, 1993; Klein, 1990b].

Atık kağıtların ağartılmasında son zamanlarda yoğun çevre kirlenmesine yol açmayan oksijen bazlı reaktifler tercih edilmeye başlanmıştır. Bunlardan hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ), oksijen ( $O_2$ ) ve ozon ( $O_3$ ); indirgeyici maddelere ise sodyum hidrosülfid (ditiyonit) ve formamidin sülfirik asit (FAS) anılmaya değer olanlarıdır (Kırcı 2009). Aşağıda Şekil 2 de sürekli hamurlaştırma prensibine göre çalışan, ayrıca yıkama ile mürekkep uzaklaştırma işlemi yapılan, tipik geri dönüşüm prosesi şematik olarak gösterilmiştir [Göttsching ve Pakarinen 2001].



Şekil 2. Tipik geri dönüşüm iş akış şeması (Yıkama ile mürekkep uzaklaştırma ünitesi mevcut)

## 7. Sonuç

Atık kağıt geri dönüşüm işleminin amaca uygun olarak yapılması ve geri kazanılan selüloz liflerinin en az zarar görecektir şartların sağlanması açısından, geri dönüşümdeki işlem basamaklarındaki değişkenlerin kontrol altında tutulması önemlidir. Genel olarak, kağıtların cinsi, dolgu ve katkı madde içeriği ile lif dışı istenmeyen madde miktarı işlem basamağındaki değişkenlerin seçilmesinde etkili olmaktadır.

Son zamanlarda, geri dönüşüm tesisleri genellikle sürekli çalışma prensibine göre ve yüksek yoğunlukta hamurlaştırma/lif açma işlemi yapabilen sistemler olarak kurulmaktadır. Bu durumda tesisin işleme kapasitesi artarken maliyetlerde azalmalar oluşmaktadır. Ayrıca, düşük ve ucuz kalitedeki atık kağıtların geri dönüşümlerinde çoğunlukla mürekkep uzaklaştırma ve ağartma işlem basamaklarına gerek bulunmamaktadır. Daha yüksek kalitede kağıt hamuru elde etmek için mürekkep uzaklaştırma işlemi uygulanarak daha yüksek kalite sınıfında kağıt hamurları elde edilir ve bunlar odun hamurları ile birlikte karışım olarak veya tek başlarına değişik kalitede bir çok kağıt türünün üretilmesinde kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Biermann, C.J. 1993. Essentials of pulping and papermaking, Academic Press, Inc. San Diego, CA.  
 Eroğlu, H. 1990. Kağıt ve karton üretim teknolojisi, KTÜ Orman Fakültesi yayın no 90; Orman Fakültesi yayın no: 6. Trabzon.  
 Göttsching, L., Pakarinen, H. 2001. Secondary fiber and deinking, (ed), Finnish paper engineers assoc.-Tappi, Atlanta-GA.  
 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, Kocurek, M.J. (Series Editor), Tappi Press, Atlanta, GA.
- Kleinau, J.H. 1990b. Contaminants, In: Secondary fibers and non wood pulping', Kocurek, M.J. (Series Editor), Tappi Press, Atlanta, GA.
- Cleveland, F.C. 1993. Pulping of secondary fibers, In: Secondary fiber recycling, Spangenberg, R.J. (Ed). Tappi Press. Atlanta, GA.
- Hamilton, F.R. 1990. Pulping systems, In: Secondary fibers and non wood pulping, Kocurek, M.J. (Series Editor), Tappi Press, Atlanta, GA.
- Horacek, R.G. 1993. Washing, In: Secondary fibers and non wood pulping, Kocurek, M.J. (Series Editor), Tappi Press, Atlanta, GA.
- Sahin, H.T. 1996. Strength developments of recycled pulp fibers, Unpublished data, University of Wisconsin-Madison, WI.
- Sahin, H.T. 2007. 'Kullanılmış atık kağıtların yeniden kağıt üretiminde kullanılması' Orman Mühendisliği Dergisi, 44 (3); Sayı 7-9.
- Sahin, H.T. 2010. Geri dönüşüm ders notları, (Basılmamıştır), SDU Orman Fakültesi, Isparta
- Smith, D.G. 1990. Secondary fiber sources, In: Secondary fibers and non wood pulping', Kocurek, M.J. (Series Editor), Tappi Press, Atlanta, GA.
- Smook, G. A. 1994. Handbook for pulp & paper technologists, Angus Wilde Publications. Canada.
- Tank, T. 1998. Kağıt fabrikasyonu ders kitabı, İÜ yayın no: 4028, Orman Fakültesi yayın no: 446, İstanbul.
- Thomson, C.G. 1992. Recycled papers, the essential guide, MIT press, Cambridge, London, UK.
- Wistara, N. 1997. Properties and treatments of paper from recycled pulps, Ph.D Theses, University of Wisconsin-Madison, WI