

## Geri kazanılmış sekonder liflerin yeniden kullanılması üzerine bir inceleme

H. Turgut Şahin\*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta

\* İletişim yazarı/Corresponding author: halilsahin@sdu.edu.tr, Geliş tarihi/Received:22.05.2014, Kabul tarihi/Accepted: 25.08.2014

**Özet:** Kağıt yapısının ana iskelet elemanı selülozdur. Kullanımın tamamlayarak atık durumuna gelmiş kağıtların yapısında bulunan selülozun geri kazanılmasıyla yeniden kağıt üretiminde değerlendirilmesi mümkündür. Geri kazanılmış selüloz liflerinden (sekonder lif) yeniden kağıt üretimi esnasında, geleneksel odun hamurundan kağıt üretimine göre bazı farklı uygulamalar gereklidir. Zira daha önce kurumuş ve yeniden kağıt üretilen selülozun yapısı modifiye olmuştur. Sekonder liflerden yeniden üretilen kağıtların kalite ve direnç özellikleri odun hamurundan üretilenlere göre belirgin seviyede düşmektedir. Geri dönüşüm işlemleriyle selülozun yapısında meydana gelen değişikliklerin bilinmesi, kağıt fabrikasyonu esnasında bazı ilave işlemlerle fiziksel ve optik kalite düşmeleri belli sınırlar içerisinde tutulabilir.

**Anahtar kelimeler:** Selüloz, Kağıt geri dönüşüm, Kağıt özellikleri, Stok hazırlama, Optik özellikler

## A study on recovered secondary fiber for reuse

**Abstract:** Cellulose is the main structural elements of paper. However, cellulose from waste paper products can be recover and reuse for papermaking. Moreover, paper manufacturing from recovered cellulose fibers have some differences compare to conventional paper production from pulp. Because cellulose has already dry and rewetted in that secondary pulp compared to wood pulp, so the paper strength and physical properties have decreased considerably compared to wood pulp. For improving this situation, it is important to know cellulose properties during recycling. Hence further treatments should be done to improve these quality decreases some level.

**Keywords:** Cellulose, Paper recycling, Paper properties, Stock preparation, Optical properties

### 1. Giriş

Son yıllarda dünya genelinde giderek önem kazanan ve değişik birçok kağıt türünün imalinde kullanılması mümkün olan atık kağıt (selüloz) hammaddesinin özellikleri ve geri dönüşüm esnasında uğradığı değişimler üzerine literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Zira dünya genelinde atık kağıtlardan yılda milyonlarca ton selüloz geri kazanılarak (sekonder lif) çok değişik kağıt türlerinin yeniden imalinde kullanılmaya başlanmıştır (Biermann, 1993; Reese, 1991; Şahin, 2007).

Tipik olarak, geri kazanılmış sekonder liflerden yeniden üretilmiş kağıtların fiziksel direnç özellikleri odun hamurundan üretilenlere göre daha düşük olmaktadır. Bu durumun oluşmasında özellikle selülozun yapısında kuruma sonucu meydana gelen değişimler önemlidir. Bu olumsuz durumun belli derecede düzenlenmesi amacıyla stok hazırlama ve kağıt fabrikasyonu esnasında selüloz üzerine etkisi bilinen bazı kimyasallar ilave edilmesi veya hassas rafinasyon işlemleri uygulanması önerilmektedir (Gurnagul, 1995; Şahin, 2009 ve 2013; Wistara ve Young, 1999).

Teorik olarak uzun liflerden kısa liflere göre daha yüksek direnç özelliklerine sahip kağıtların üretildiği bilinmektedir. Ayrıca, lifler arasındaki bağlanma derecesi de, liflerin şişme/plastikleşme ve hidrojen bağ yapma özelliği ile yakından ilişkilidir. Fakat geri kazanılmış sekonder lifler tipik olarak orijinal lif boylarına göre daha kısa (lifler kısalmakta) ve sert (rijit) özelliktedirler. Benzer şekilde liflerin yüzey alanları daralmış olduğundan bağ

yapma potansiyelleri daha düşüktür. Atık kağıtlardan selüloz liflerinin geri kazanılması esnasında uğradığı fizikokimyasal değişimler ve kalite özellikleri üzerine bazı önemli hususlar değişik kaynaklardan sağlanabilir (Biermann, 1993; Clark, 1978; McKee, 1971; Minor, 1994; Üner ve Şahin, 2004).

Atık kağıt geri dönüşüm işlemlerinin geneli atmosferik şartlarda çalışacak şekilde dizayn edilmektedir. Fakat bazı özel durumlarda örneğin yoğun ıslak direnç maddeleri içeren (melamin/üre-formaldehit) kağıtların lif açma/hamurlaştırma işlemlerinde basınçlı bazı işlem basamakları kullanılabilir. Zira termo-set özellikteki sayfa direnç artırıcı maddelerin uzaklaştırılmaları genel olarak diğer maddelerin uzaklaştırılmasına göre oldukça zor işlemleri gerektirmektedir (Kleinau, 1990a).

Atık kağıtlarda bulunan lif dışı istenmeyen maddelerin önemli kısmı (kirler, yapıştırıcılar, dolgu ve fonksiyonel maddeler, vb.) daha geri dönüşümün ilk aşaması olan lif açma/hamurlaştırma ünitesinde, devamında eleme ve yıkama aşamasında uzaklaşmaya başlar. Lif süspansiyonda bulunabilecek kum, cam, kil ve metal kalıntıları gibi daha ağır maddeler ise santrifüjlü temizleyicilerle çöktürme ile uzaklaştırılabilir. Özgül ağırlığı daha düşük olan ve 'stickies' olarak isimlendirilen yüzey kaplama kalıntıları, plastikler, filmler, lastik benzeri partiküller ve mükrekler ise çoğunlukla lif süspansiyonunun üzerinde yüzdüklerinden, yüzey aktif maddeleri kullanılarak veya süspansiyonun alkali derecesi ayarlanarak büyük oranda ortamdan uzaklaştırılabilir. Fakat en gelişmiş işlemlerde

dahi lif dışı istenmeyen maddelerin bir kısmı selüloz lifleriyle birlikte süspansiyonda çözünmüş veya partikül şeklinde bulunabilir. Bu maddelere örnek olarak nişasta, inorganik mükrek maddeleri, silikatlar ve tutkalların yapısındaki proteinler verilebilir. Bu nedenle geri kazanılmış sekonder selüloz liflerinden hazırlanan kağıt stoğunun makineye verilmesiyle lif dışı istenmeyen katı maddeler cetvel ağzında, eleklerde ve yaş bitim (wet end) kısmında önemli sorunlar yaratabilirler (Biermann, 1993; Kleinau, 1990a ve b; Smook, 1994).

Ayrıca geri dönüşümle selüloz gibi hidrofilik olan ve liflerin şişmesine yardım eden hemiselülozlar da uzaklaşmaktadır. Hemiselülozların hücre çeperinden uzaklaştırılması liflerin şişme özelliğini negatif yönde etkilediği açıklanmıştır (Biermann, 1993; Üner ve Şahin, 2004).

## 2. Geri kazanılmış sekonder liflerden kağıt stoğunun hazırlanması

Geri kazanılmış sekonder selüloz lifleri tipik olarak daha az şişme/plastikleşme özelliği ve daha düşük bireysel lif direncine sahip olduğu birçok araştırmada açıklanmıştır (Scott ve Abbott, 1995; Smook, 1994; Şahin, 2013). Bu nedenle, yeniden kağıt üretimi esnasında kağıt makinesinde oluşabilecek bazı olumsuz etkilerin örneğin; lif süspansiyonun elekler üzerindeki geç süzülme ve köpüklenmesinin, artan mikrobiyolojik aktiviteler ile kağıtların makinede sık kopma durumu vb., en aza indirilmesi amacıyla kağıt stoğunun hazırlanması esnasında lifsel olmayan bazı fonksiyonel ve proses kolaylaştırıcı ilave işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla liflerin şişmesi ve bağ yapma potansiyelinin düzenlenmesi için çoğunlukla alkali kimyasalların (NaOH) ilave edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, daha uzun liflere ve bireysel lif direncine sahip odun hamuru belli oranda kağıt stoğuna katılması yanında hassas ve ilave rafinasyon işlemlerinin uygulanması da tavsiye edilmektedir (Bhat vd., 1991; Clark, 1978; Gurnagul, 1995; Paavilainen, 1990; Wistara and Young, 1999; Wistara vd., 1999).

Özellikle, kağıt makinesinde sayfa yapısının oluşması esnasında presleme ve yaş bitim bölümünde küçük lifler boşluklarını tıkadığından elekten suyun uzaklaşması belli derecede azalır. Bu durum suyun uzaklaşmasını geciktirdiği gibi kağıt makinesinin hızının yavaşlamasına, makinede sayfaların daha sık kopmasına neden olur.

Yapılan bir çalışmada, kraft odun hamurundan kağıt üretimi esnasında lif süspansiyonuna, %20 oranında sekonder selüloz liflerinin eklenmesinin biyolojik madde kullanımının maliyetini yaklaşık iki katına çıkardığı açıklanmıştır (Kleinau, 1990a; Spangenberg, 1993). Kağıt makinelerinde ortamın pH'nın 5-7 arasında, sıcaklığında 50 °C nin altında olması mantar aktivitesi için yeterli ortam oluşturmaktadır. Ayrıca, kağıt ve kartonların yüzeylerindeki nişasta esaslı kaplama malzemeleri bakteri gelişimi için uygun besin maddeleri yaratmaktadır. Bu bakımdan, geri kazanılmış lifler orta seviyede mikrop taşısa dahi ortamda uygun rutubet ve sıcaklık oluşmasından dolayı biyolojik ortam mikropların hızla üremesine yardımcı olmaktadır (Kleinau, 1990a ve b; Spangenberg, 1993).

Kağıt stoğuna partikül şeklinde katı halde eklenen maddeler, çoğunlukla termoplastik, termosetting veya bazı inorganik maddeler (çoğunlukla pigment) olabilir. Kullanılan bu değişik türdeki lifsel olmayan kimyasal

maddelerin selüloz lifleri üzerine olan olumsuz etkilerini en aza indirmek ve yukarıda kısaca açıklanan sorunların belli derecede düzenlenmesi ve daha uygun şartlarda kağıt fabrikasyonu için aşağıda Çizelge 1 de özet olarak açıklanan hususların göz önünde tutulması önerilmektedir (Atalla, 1992; Kleinau, 1990a ve b; Spangenberg, 1993).

Sekonder liflerden kağıt stoğunun hazırlanması esnasında, sayfaların yaş ve kuru direnç özelliklerinin artırılması amacıyla daha yüksek oranda direnç artırıcı maddelerin eklenmesi gerekir. Bu amaçla çoğunlukla katyonik özellikte nişasta kullanılmaktadır. Sayfaların direnç özelliklerinin artırılması için aşağıda kısaca açıklanan yollardan birisinin denenmesi tavsiye edilmektedir;

- Lif süspansiyonundaki küçük boyutlu lif ve partikül (kırıntı lif) oranının azaltılması,
- Liflerin yıkanması esnasında lifsel olmayan çok küçük boyutlu partiküllerin sistemden uzaklaştırılması,
- Hassas rafinasyon işlemleriyle liflerin yüzey alanlarının artırılarak birbirlerine daha uygun temas etmesinin (bağlanması) sağlanması,
- Direnç artırıcı maddelerin ilavesiyle lifler arasında hidrojen bağ yapma potansiyelinin artırılması,
- Lifleri şişirme özelliğindeki maddelerin (alkali) ilavesiyle liflerin birbirlerine göre temas alanlarının artırılması.

Yukarıda özet olarak açıklanan hususların dikkate alınması, sekonder selüloz liflerinden yeniden kağıt üretiminde karşılaşılan bir çok sorunun çözümünde katkı sağlayabileceği üzerine görüşler bulunmaktadır (Clark, 1978; Paavilainen, 1990; Scott ve Abbott, 1995; Spangenberg 1993).

## 3. Geri kazanılmış sekonder liflerden üretilen kağıtların genel özellikleri

Atık kağıtların geri kazanılmış sekonder selüloz liflerinden tek başına veya odun hamurları ile belli oranlarda karıştırılarak birçok kağıt ve karton ürünleri üretilebilir. Genel olarak, düşük veya orta kalitede kağıt mendil ve havlu, gazete kağıdı ve düşük kaliteli ucuz ambalaj kağıtları ile karton imalinde çoğunlukla yüksek oranda mekanik hamurla birlikte geri kazanılmış sekonder selüloz lifleri yoğun olarak kullanılabilir. Bu tip kağıtların sayfa yapıları genel olarak; Lifin orijinine (kısa/uzun lif, geri kazanılmış lif veya mekanik/kimyasal lif oranı), kağıt fabrikasyonu esnasında eklenen maddelere ve kullanılan teknolojiyle yakından ilişkilidir. Bu özelliğinden dolayı yeniden üretilmiş kağıtlar tipik olarak;

- Sayfa yapısında daha fazla kir (benek) ve boşluk oranına sahiptir,
- Kısa liflerin (kırıntı lif) bulunmasından dolayı direnç özellikleri daha düşüktür,
- Lifsel olmayan partiküllerin yüksek oranda bulunmasından dolayı fiziksel direnç özellikleri önemli derecede düşüktür,
- Daha kolay kabarmalı özelliktedirler,
- Kağıtların optik özellikleri (parlaklık, renk, vb.) önemli derecede düşüktür,
- Yüksek kül oranına sahiptirler,
- Daha yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahiptirler.

Çizelge 1. Kağıt üretimi esnasında karşılaşılan bazı problemler ve çözüm önerileri

Problem	Çözüm önerisi
Sekonder liflerin ve lifsel olmayan maddelerin reaksiyon kabiliyeti	Sekonder liflerin anyonik veya katyonik kimyasallara karşı reaksiyon kabiliyeti, <i>zeta potansiyeli</i> ölçülerek anlaşılır. Bazı düzenleyici maddeler ilave edilerek (dispers maddeler), lifsel olmayan partiküllerin iyonik yükleri artırılabilir ve bunların lif süspansiyonunda stabil durumda kalmaları sağlanabilir
Dolgu maddelerinin kullanılması	Alçı ve kireç gibi maddelerin kullanılması durumunda topaklanma ve ekipmanların yüzeylelerinde birikmelere dikkat edilmelidir. Ayrıca bunlar lif süspansiyonunda karbondioksit ve köpük oluşmasına sebep olabilirler. Köpüklenmenin önlenmesi için hamurlaştırma ve kağıt stoğu hazırlama esnasında lif süspansiyonunun pH'nın düşürülmesi, tercihen 6'nın altında olması ve karbondioksitin uzaklaştırılması gerekir.
İnorganik maddelerin bulunması/ kullanılması	Uzaklaştırılmamış mürekkep partiküllerinin pres ve yaş bitim kısmında elek yüzeylelerini tıkayabilecekleri göz önünde tutulmalıdır. Çözünmüş inorganik katı madde oranının artması, elek ve makine ekipmanlarında korozyonuna neden olabilir. Bu nedenle lif dışı istenmeyen maddelerin etkileri konsantrasyonlarına bağlı olduklarından lif süspansiyonunun konsantrasyonu düzenlenerek (azaltılarak) etkileri azaltılabilir.
Biyolojik aktiviteler	Sekonder lifler potansiyel olarak biyolojik ve mikrobik aktiviteler için uygun ortam sağlarlar. Stok hazırlamada uygun düzenlemelerin yapılmaması durumunda (fungusit kullanımı, vb.) makine hızı önemli derecede etkilenebilir.
Yüzey aktif maddeleri kullanılması	Geri dönüşüm basamaklarında çoğunlukla iyonik olmayan yüzey aktif maddeleri kullanılır. Fakat bu maddeler sistemde köpüklenmelere, ayrıca presleme ve suyun uzaklaşması (kuruma) esnasında lifler arasındaki hidrojen bağlarının etkisini azaltabilirler.
Nişasta kullanılması	Lif süspansiyonunda nişastanın küçük miktarda dahi bulunması, alkali pH ortamında titanyum dioksit'in lifler üzerine çökmesini engeller. Ayrıca nişasta lif süspansiyonundan suyun süzülmesini yavaşlatır. Nişastanın etkisinin düzenlenmesi için lif süspansiyonunda bazı enzimler ilave edilebilir.
Suyun kalitesi	Kağıt stoğu hazırlamada kullanılan suyun kalitesi çok dikkatli ve sürekli kontrol edilmelidir. Zira suyun yüzey gerilimi çok önemlidir ve %0,05 oranında yüzey aktif maddelerinin katılması bile ciddi sorunlar yaratabilir. Suyun yüzey geriliminin 50 dynes/cm nin altına düşmesi ile (saf suyun yüzey gerilimi 76 dynes/cm) kağıt sayfalarının maksimum dirence ulaşması mümkün olmadığı belirtilmektedir.

### 3.1. Geri kazanılmış sekonder liflerden üretilen kağıtların fiziksel özellikleri

Temel olarak selüloz liflerinden kağıt ve karton ürünlerinin üretiminde, kağıt sınıfının kalitesini ve kağıt direncini belirleyen önemli değişkenler olarak:

- Bireysel lif uzunluğu,
- Bireysel lif direnci,
- Liflerin şişme/plastikleşme özelliği,
- Liflerin bağ yapabilme potansiyeli,
- İnorganik madde içeriği (kül),
- Lifsel olmayan maddelerin bulunması (metaller, plastikler, dolgu maddeleri, yapıştırıcılar vb..) verilebilir.

Yukarıda kısaca belirtilen özelliklerin hepsi kalite ve direnç özellikleri üzerine etkili olmakla birlikte özellikle liflerin ortalama uzunlukları ve hidrojen bağ yapma potansiyeli çok önemlidir (Clark, 1978; Howard ve Bichard, 1992).

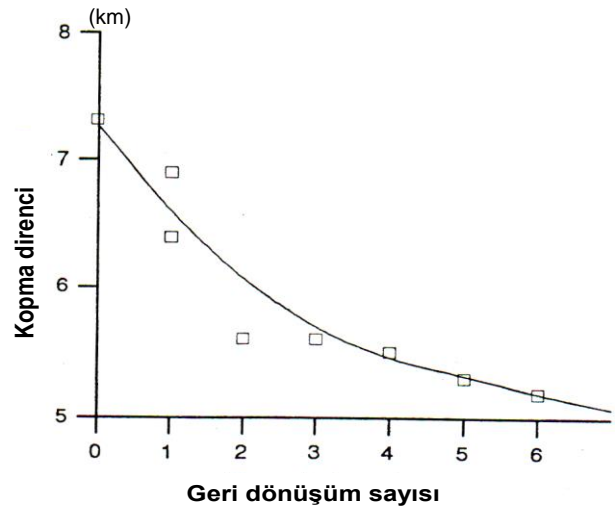
Geri dönüşümünden kazanılmış selüloz liflerinden üretilen kağıtların özelliklerinde meydana gelen değişimler ve dereceleri üzerine literatürde birçok farklı görüşe rastlamak mümkündür. Burada literatür bilgileri ışığında geri dönüşüm proseslerinin selüloza olan etkileri üzerine en genel olarak kabul görmüş bilgiler özet olarak açıklanmıştır.

Tüm geri kazanılmış sekonder liflerin boyları, odun hamuru liflerinden daha kısa, suda şişme özelliği karakteristik olarak daha azdır. Ayrıca bu liflerin hidrojen bağ yapma potansiyeli ve lif yüzey alanları geri dönüşümsüz olarak azalmaktadır (*hornifikasyon olayı*). Çok küçük boyutlardaki kırıntı lifler (fines) kâğıdın mekanik özelliklerine en büyük etki eden faktörlerin başında gelir. Bunlar özellikle lifler arası bağlanmada etkili olmaktadır (Ellis ve Sedlachek, 1993; Howard ve Bichard, 1992).

Bilindiği üzere, liflerin su ile dövülmesi (rafinasyon) işlemi ile birbirleriyle bağ yapma potansiyelleri belli

derecede iyileştirilebilir. Fakat, sekonder liflerin dövülmesi sonucu liflerin soyulması kolaylaştığından liflerin (kağıtların) geri dönüşüm potansiyelinin azaldığı ifade edilmiştir (Minor, 1994; Üner ve Şahin, 2004).

Literatürdeki en genel kanıya göre, aynı kağıdın 4. geri dönüşümüne kadar, liflerde dramatik değişimler (boy kısalması, direnç azalması vb..) oluşmakta, devam eden geri dönüşüm basamaklarında ise birçok fiziksel özellikler daha az değişim göstermektedir. Özellikle geri kazanılmış selüloz liflerinden yeniden üretilen kağıtların kopma, patlama ve katlama direnç ile yoğunluğu ve esnemesinin azaldığı; buna karşılık yırtılma direncinin, opaklık gibi özelliklerin belli derecede arttığı ifade edilmiştir (Cathie ve Guest, 1991; Wistara 1997; Üner ve Şahin 2004). Aşağıda Şekil 1 de geri dönüşüm sayısına bağlı olarak tipik olarak kağıtların kopma direncinde gözlemlenen azalma gösterilmiştir (McKee, 1971; Spangenberg, 1993).



Şekil 1. Geri dönüşüm sayısının kağıtların kopma direncine etkisi

Bir başka araştırmada ise kağıtların yırtılma dirençleri lif bağlanma özelliği ile ters orantılı olduğu yani geri dönüşüm sayısının artması ile aynı liflerden üretilmiş kağıtların yırtılma direncinin arttığı belirtilmiştir (Wistara vd.,1999).

Mekanik hamurdan imal edilmiş gazete kağıtlarında liflerin ortalama uzunluğu 0,7-1,0 mm, kırıntı lif (fines) miktarı ise %10 'un üzerindedir. Eğer bir atık kağıt hamurundaki liflerin ortalama uzunluğu 1,0 mm ( $\pm 0,2$ ) ve kırıntı lif oranı (fines) %8 ( $\pm 2$ ) civarında ise bu kağıdın bileşiminde yüksek oranda mekanik hamur liflerinin bulunduğunu belirtmektedir (Kırcı, 2009).

Özellikle sekonder kimyasal kağıt hamurlarından yeniden üretilen kağıtlar, mekanik hamurlardan üretilenlere göre daha yüksek oranda kalite ve direnç azalması gösterdiği belirtilmektedir. Benzer şekilde, sekonder sülfat veya sülfat hamurlarından yeniden üretilen kağıtların direnç ve kalite düşme dereceleri de farklıdır (Howard ve Bichard, 1992; Spangenberg 1993).

Yukarıda kısaca bahsedildiği üzere, geri kazanılmış kimyasal hamur liflerinden yeniden üretilen kağıtların direnç özellikleri önemli derecede azalmakla birlikte mekanik odun hamur liflerinden (geri dönüşüme uğramamış) üretilmiş kağıtlardan çoğunlukla daha yüksektir.

Aşağıda Çizelge 2 de, farklı atık kağıt türlerinden üretilmiş kağıtların direnç özellikleri gösterilmiştir (Cathie ve Guest, 1991).

Aşağıda Çizelge 3 de iğne yapraklı (uzun) ve yapraklı odunlardan (kısık) kraft metoduna göre üretilmiş aynı tür kağıtların 1. ve 5. geri dönüşüm aşamasında geri kazanılmış sekonder liflerden üretilmiş kağıtların bazı fiziksel özellikleri özellikleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Spangenberg, 1993).

### 3.2. Geri karılmış liflerden üretilen kağıtların baskı kalitesi

Sekonder selüloz liflerinden yeniden üretilen kağıtların 3 önemli karakteristik özelliği son kullanım için önemlidir. Bunlar;

- Kağıtların baskı işlemleri esnasında mürekkep emme ve mürekkep partiküllerini yüzeyde tutma özelliği,
- Kağıtların dış görünüşünde renkli maddelerin, parlaklığın ve diğer kirlerin bulunması,
- Kağıt dönüştürme işlemlerinde örneğin; paketler, bardak-tabak üretimi vb, sayfa yapısının direncinin yeterli seviyede bulunması, katlama-kıvrılma ve boyutsal kararlılığının uygun olması.

Yukarıda kısaca açıklanan özelliklerden dolayı farklı tür kağıtların geri dönüşümlerinden yeniden üretilen kağıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri de farklıdır. Aşağıda bu farklı durumlar özet olarak açıklanmıştır.

1) Gazete ve mekanik hamur kalitesi: Mekanik kağıtlardan geri kazanılmış sekonder liflerden yeniden üretilen kağıt ürünlerinin sayfa yapıları çoğunlukla daha serttir ve bu nedenle kağıt fabrikasyonu esnasında bazı sorunlara neden olmaktadır. Bu kağıtların yoğunlukları tipik olarak azaldığından basım işlerinde daha az direnç gösterirler. Ayrıca kağıtların geçirgenlik özellikleri (poröz yapısı) azalmaktadır.

2) Yüzeyi kaplanmış—odun dışı kağıt kalitesi: Sekonder liflerden yeniden üretilen basım işlerine uygunluğunda özellikle yüzey pürüzlülüğü önemlidir. Genel olarak kraft kağıtlarının geri dönüşümünden elde edilen kağıtların yüzey pürüzlülüğü, liflerin bağ yapma potansiyelinin azalmasından dolayı artmaktadır. Kraft lifleri TMP liflerinden daha fazla şişebilir. Fakat TMP liflerin geri dönüşümü daha zordur ve geri dönüşümle liflerin özellikleri daha olumsuz değişim gösterebilir ve bu lifler kağıt üretiminde problem yaratabilir.

3) Küçük boyutlu lifler (kırıntı lif) ve mürekkep tutma: Yapılan bir çalışmaya göre geri dönüşüm liflerinden üretilmiş gazete kağıtlarının yağ esaslı mürekkeple basım işlerinde kullanılmasıyla, mürekkep moleküllerinin sayfa yüzeylerinde tutulması, kırıntı lif oranının artmasına bağlı olarak artmaktadır. Fakat mürekkebin tutulması oranı, liflerin morfolojik özellikleri ve orijini ile yakından ilişkilidir. Aslında küçük (kırıntı) ve uzun boyutlu lifler ayrılarak farklı işlemler uygulanması sonucunda, benzer özellikteki liflerin bir arada olduğu lif stoğundan daha homojen ve kalite özellikleri yüksek kağıtlar üretilebileceği açıklanmıştır (Brancato, 2008).

4) Optik özellikler: Genel bir kural olarak, yıkanmış ve mürekkep uzaklaştırma işlemi uygulanmış sekonder liflerden üretilen kağıtlar daha düşük beyazlık ve parlaklık özelliği göstermektedir. Benzer şekilde gazete kağıdı üretimi esnasında sekonder lif oranının artması parlaklığın azalmasına ve opaklığın artmasına neden olmaktadır. Kağıtların yüzey parlaklık özellikleri basımlık işler için oldukça önemlidir.

Çizelge 2. Sekonder liflerden üretilmiş kağıtların direnç özellikleri

Kağıt türü	Patlama direnci (kPam <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Yırtılma direnci (mNm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Kopma direnci (Nm g <sup>-1</sup> )
Karışık ofis atık kağıdı	3,0	9,0	47
Sınıflandırılmış ofis atık kağıdı	3,0	8,3	40
Okoliptus Kraft kağıdı	2,1	5,2	39

Çizelge 3. Farklı kağıt türlerinden yeniden üretilmiş kağıtların direnç özellikleri

	Sert odunlar			İbrelili odunlar		
	0	1,0	5,0	0	1	5
Geri Dönüşüm Sayısı	0	1,0	5,0	0	1	5
Lif kalınlığı (1/100 mm)	8,1	10,0	10,6	7,8	8,7	9,3
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6
Kopma direnci (km)	6,4	2,5	1,1	8,6	4,4	3,7
Su tutma değeri (WRV)	131,0	114,0	106	132	113	106

Atık kağıtlarda çok küçük oranlarda mürekkep kullanılmış olsa dahi, mürekkepli kağıtların geri dönüşümünden yeniden üretilen kağıtların parlaklık değerleri geleneksel mürekkep kullanılmışlarda önemli derecede düşmektedir. Örneğin gazete kâğıtlarında %0,002 (ağırlık olarak) gibi çok az mineral yağ-esaslı mürekkep kullanılması durumunda dahi parlaklık değeri 20 birime yakın düştüğü açıklanmıştır. Hatta daha az geleneksel olarak kullanılan su-bazlı mürekkepler örneğin fleksografik basılı kağıtlarda, parlaklık değeri 30 birimin üzerinde azalış gösterdiği ifade edilmiştir (Cathie ve Guest, 1991; Scott ve Abbott, 1995; Spangenberg, 1993).

5) Geri dönüşümden üretilen kağıtların sıvı emme özellikleri: Çok renkli ofset basımlık işlerde, kağıtların gereğinden fazla ve homojen olmayan su emme özelliği göstermesi, önemli problemlere neden olmaktadır. Örneğin baskı işlemlerinde sayfaların kıvrılması, baskılarda kaymalar ve yüzeyde karışıklıkların oluşması bu duruma örnek olarak verilebilir (McKee, 1971).

Odun hamuru liflerinden üretilen gazete kağıtları yüzeylerinde sıvıların emilmesine karşı oluşan direnç doğal hidrofobik maddelerden gelmektedir. Bu hidrofobik materyalin geri dönüşüm esnasında (yıkama-mürekkep uzaklaştırma) uzaklaştırılması ile kağıtlar daha fazla sıvıları emebilir. Genelde kağıt üreten tesisler odun hamuru liflerine alum (aliminyum) ekleyerek su emme özelliklerini düzenlemektedirler.

Flatasyonlu (yüzdürme) mürekkep uzaklaştırma işleminde hidrofobik materyal liflerden uzaklaşmayabilir ve bu liflerden üretilen gazete kağıtlarının yüzeylerinde su emilmesi azalır. Genel olarak özellikle mekanik hamur kağıtlarının geri dönüşümü sonrasında elde edilen kağıtların boyutsal dayanım özellikleri daha iyidir ve bu durum ofset basımlık işlerinde faydalıdır. Aşağıda Çizelge 4’de mekanik ve kimyasal kağıtlardan geri kazanılmış sekonder liflerden yeniden üretilmiş kâğıtların genel baskı özellikleri özet olarak verilmiştir (Cathie ve Guest, 1991; Spangenberg, 1993).

Çizelge 4. Farklı tür atık kağıtlardan yeniden üretilmiş kağıtların baskı özellikleri

Mekanik kağıtlar	Kimyasal kağıtlar
Kâğıtların yüzeyleri daha düzgün	Kâğıtların yüzeyleri daha düzensiz
Sayfa yapısı daha az geçirgen (daha az poröz)	Sayfa yapısı daha geçirgen (daha poröz)
Kâğıtlar tipik olarak daha düşük yoğunlukta	Kâğıtlar tipik olarak daha düşük yoğunlukta
Kâğıtlara karakteristik olarak daha az parlaklık değerine sahip (daha az beyaz)	Kâğıtlara karakteristik olarak daha az parlaklık değerine sahip (daha az beyaz)
Kâğıtların görünüşü daha fazla kir ve renk beneklerine sahip	Kâğıtların görünüşü daha fazla kir ve renk beneklerine sahip
Kâğıtlar daha sert	Kâğıtlar daha sert

#### 4. Sonuç ve öneriler

Atık kağıtlardan yeniden kağıt üretimi, kullanılmış selüloz hammaddesinden katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesini sağlaması açısından önem arz etmektedir. Fakat bu üretim prosesi esnasında hammadde özelliklerinin (sekonder lif) bilinmesi başarılı üretimin gerçekleşmesi için gereklidir.

Atık kağıtlardan yeniden kağıt üretimi özellikle orman kaynakları kısıtlı bulunan bölge ve ülkeler için alternatif bir üretim modeli sunmaktadır. Selüloz özelliklerinin yakından bilinmesi, sekonder liflerden yeniden kaliteli kağıt üretimi için gereklidir.

#### Teşekkür

Yazar, sağladığı mali destek için (Proje no: 3924-D1-14) SDÜ-BAP Koordinasyon Birimi’ne teşekkür etmektedir.

#### Kaynaklar

- Atalla, R.H. 1992. Structural Change in Cellulose during papermaking and Recycling. *In: Rowell, et.al. Eds. Material Interaction Relevant to recycling of Wood-Based Material: Proceeding of Materials Research Society Symposium; 1992 April 27-29, San Francisco, CA.*
- Bhat, G.R., Heitmann, J.A. and Joyce, T.W. 1991. Novel techniques for enhancing the strength properties of secondary fiber. *Tappi J.74(9), 151-157.*
- Brancato A. A. 2008. Effect of progressive recycling on cellulose fiber surface properties, Ph.D Theses, Georgia Institute of Technology, GA, USA 116 s.
- Biermann, C.J. 1993. *Essentials of Pulping and Papermaking.* Academic Press, Inc. San Diego, USA.
- Cathie, K., Guest, D. 1991. *Waste Paper*, Pira International, Antony Rore Ltd. England. 134 s.
- Clark, J. d'A. 1978. *Pulp Technology and Treatment of Paper.* Miller Freeman Publications, Inc. San Francisco, USA.
- Ellis, R.L., Sedlachek, K.M. 1993. Recycled-versus virgin-fiber characteristic: a comparison. *In : Secondary Fiber Recycling.* Spangenberg, R.J. Ed. Tappi Press. Atlanta, Georgia.
- Gurnagul, N. 1995. Sodium hydroxide addition during recycling; effects on fiber swelling and sheet strength. *Tappi Journal, 78(12); 119.*
- Howard, R.C., Bichard, W. 1992. The basic effects of recycling on pulp properties, *Journal of Pulp and Paper Sci.:* 18(4): J151.
- Kleinau, J.H. 1990a. Contaminants, *In: Secondary fibers and non wood pulping*, Kocurek, M.J. (Series editor), Tappi Press, Atlanta, GA.
- Kleinau, J.H. 1990b. Processes and their equipment, *In: Secondary fibers and non wood pulping*, Kocurek, M.J. (Series editor), Tappi Press, Atlanta, GA.
- Kırcı, H. 2009. *Kağıt Hamuru Endüstrisi Ders Notları*, KTU Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon.
- McKee, R.C. 1971. Effect of repulping on sheet properties & fiber characteristics, *Paper Trade Journal:* 155 (5): 34.
- Minor, J. 1994. Hornification. its origin and meaning. *Progress in Paper Recycling:* 3 (2): 93-95.

- Paavilainen, L. 1990. Importance of particle size; fiber length and fines; for the characterization of softwood kraft pulp. *Paperi ja Puu*: 72(5): 516.
- 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), s. 71-75, Miller Freeman Inc., San Francisco, USA.
- Scott, W.E., Abbott, J.E., 1995. *Properties of Paper: an Introduction*, (Eds.) Tappi Press, Atlanta, GA. 174 s.
- Smook, G.A., 1994. *Handbook for Pulp and Paper Technologists*. Angus Wilde Publications, Canada, 419 s.
- 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.
- Şahin, H.T. 2013. Kağıt geri dönüşüm işlemlerinin selülozun yapısında meydana getirdiği değişimler üzerine bir inceleme. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14:1, 74-80.
- Üner, B., Şahin, H.T. 2004. Geri dönüşümde yaş pres ve kurutmanın lif özelliklerine etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, 1, 145-158.
- Wistara, N., Young, R.A. 1999. Properties and treatments of pulps from recycled paper. Part I. Physical and chemical properties of pulps, *Cellulose* 6 (4): 291-324
- Wistara, N., Zhang, X.J., Young, R.A. 1999. Properties and treatments of pulps from recycled paper. Part II. Surface properties and crystallinity of fibers and fines, *Cellulose* 6 (4): 325-348.