



Atık Kağıt Üretim Süreçlerinde Formasyon ve Atıkların Yönetimi

Formation, Wire Retention and Wastes in Waste Paper Mill

Arif Karademir^{1,2} , Hülya Varlıbaş Başboğa^{1*} , Lale Çağlar² 

¹ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, 16310 Bursa, Türkiye

² Balıkesir Varaka Kağıt Fabrikası, 10185 Balıkesir, Türkiye

MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi: 20/09/2024
Kabul Tarihi: 10/01/2025

Atıf:

Karademir, A., Başboğa, V. H., & Çağlar, L. (2025). Atık Kağıt Üretim Süreçlerinde Formasyon ve Atıkların Yönetimi. *Ağaç ve Orman*. 6(1), 16-28.

*Sorumlu yazar: Hülya Varlıbaş Başboğa
E-mail: hulya.varlibas@btu.edu.tr

Anahtar Kelimeler / Keywords:

Tutunma / Retention
Formasyon / Formation
Atıklar / Wastes

© Telif hakkı 2005 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

ÖZET

Kâğıt, ilk icadında böğürtlen ve pirinç saplarından basit metotlarla elde edilen selüloz elyaflarından üretilmiştir. Takip edilen sonraki yıllarda kağıda olan talebin artmasıyla çeşitli yıllık bitkiler, tarımsal atıklar ve aynı zamanda bitkisel elyaf içeren eski kumaşlar da kağıt üretimi için kullanılmıştır. Ormanlar ise 1800'lü yıllarda ağaçlardan selüloz elde edilmesi geliştirildikten sonra, kâğıt endüstrisi için ana hammadde kaynağı olarak işletilmeye başlanmıştır. Günümüzde ise artan insan nüfusu ve tüketimle beraber çoğu endüstrilerde olduğu gibi kâğıt sektöründe de hammadde kıtlığı azami seviyede olup, talepler karşılanamamaktadır. Bu nedenle kâğıt üretiminde özellikle atık kağıtların geri kazanılması, farklı yıllık bitkilerden selüloz elyafı elde edilmesi ve hammaddenin en etkin şekilde değerlendirilmesi son derece önem arz etmektedir. Kağıt fabrikalarında atık kağıttan tekrar kağıt üretilme süreciyle birlikte, kağıt üretiminde bazı sorunlar oluşmaya başlamıştır. Kâğıt üretiminde özellikle elyafların tutunması ve etkin su kullanımı, işletme maliyetlerini etkileyen en önemli kalemlerin başında gelmektedir. Atık kağıt üretiminde hammaddenin temini, temin sürecinin zorlukları ve hammadde kalitesinin yetersizliği gibi faktörler kağıt üretimini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu çalışmada atık kâğıt işleyen bir kağıt fabrikası üzerinden tutunma, su kullanımı ve atıklar konusu incelenmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT

Paper was initially produced using cellulose fibers obtained from blackberry and rice stalks through simple methods. As the demand for paper increased, various annual plants, agricultural waste, and old fabrics containing plant fibers were also used for paper production in the following years. On the other hand, forests became the primary raw material source for the paper industry after the development of methods to extract cellulose from trees in the 1800s. Nowadays, with the growing human population and increased consumption, the shortage of raw materials has reached the utmost levels in the paper industry, as in many other sectors, making it difficult to meet demands. For this reason, the recovery of wastepaper, the extraction of cellulose fibers from different annual plants, and the efficient utilization of raw materials are of utmost importance in paper production. Alongside the process of recycling wastepaper in paper mills, specific challenges have emerged in paper production. Fiber retention and efficient water usage are among the most critical factors influencing operating costs. Factors like the supply of raw materials, difficulties in the procurement process, and insufficient raw material quality negatively impact paper production in wastepaper production. This study aims to examine the topics of retention, water usage and waste through the lens of a paper mill that processes waste paper.

1. Giriş

Kâğıt, bilindiği gibi ağaçlardan, yıllık bitkilerden veya atık kağıtlardan kazanılan bitkisel elyaflardan üretilmektedir. Ağaçlar ve bitkilerden farklı metotlarla elde edilen elyaflara birincil elyaf denirken atık kağıtlardan kazanılan elyaflara ise ikincil elyaf veya geri kazanılmış elyaf denilmektedir. Birincil elyaflar ileri işlemler ile ağartılabilir ve tamamen beyaz selüloz hamuru şeklinde üretilir. Birincil elyaflardan oluşan kâğıt hamurlarında lignin, odun ekstraktifleri ve pişirme/ağartma işlemlerinden kalıntı kimyasallar bulunabilir. Atık kağıtlardan elde edilen hamurlarda ise çok daha çeşitli kirlilikler bulunmaktadır. Farklı dolgu maddeleri, kuşe katman bileşenleri, katkı kimyasalları, çok çeşitli amaçlarla katılmış polimerler ve renklendirici bileşenler bunlara örnek verilebilir. Ülkemizde atık kâğıt sektörü ciddi hammadde sıkıntısı yaşamakta, üretim sistemine giren atık kağıtların kalitesi ne yazık ki giderek daha da kötüleşmektedir. Kısa, zayıf ve kırıntı elyaf oranı oldukça artan atık kâğıt hamurlarında ayrıca kimyasal ve inorganik çok sayıda ve çeşitte de bileşenler bulunmaktadır. Bu açıdan ikincil elyaf içeren kâğıt hamurundan yüksek verimde üretim yapmak, su arıtma, enerji ve atıklar gibi çoğu konuda işletmenin performansını ciddi etkilemektedir.

1.1. Kâğıt hamuru bileşenleri

Kâğıt, büyük oranda bitki elyaflarından oluşan çok seyreltik bir süspansiyonun (%0,7-1,2) hareket eden bir elek üzerinden filtre edilmesi, suyunun süzülmesi, ıslak bir safiha oluşturulması, bu safihanın vakumlanması, preslenmesi ve nihayet sıcak silindirler arasından geçirilerek nem oranı %5-8 arasında esnek bir yapı üretilmesiyle elde edilmektedir (Smook, 1992).

Kâğıt üretimi temel yapısı itibarı ile tamamen filtrasyon prensibine dayanır. Bu amaçla en fazla kullanılan formasyon sistemi, yatay konumlanmış hareketli bir süzme/formasyon eleği (sonsuz elek) sistemi ile çalışan Fourdrinier sistemidir. Bunun yanında silindir elekli, çift elekli ve çift elekli jet (gap former) formasyon mekanizması ile çalışan makinelerde mevcuttur.

Kâğıt, bilindiği gibi selüloz elyaflarının birbirlerine temas eden yüzeylerinde gelişen hidrojen bağları ile mukavemet kazanmaktadır. Hidrojen bağlarının gelişmesi için ise sistemin sulu ortamda çalışması, yani selüloz elyaflarının seyreltik bir su süspansiyonunda organize şekilde üst üste yerleşerek

ıslak kâğıt keçesini oluşturması gerekir. Nihayetinde üretilen kâğıdın toplam mukavemeti elyafların bireysel kuvvetleri ile elyaf arası bağ kuvvetlerinin bileşkesi olacaktır (T'anson vd., 2006).

1.1.1. Kâğıt hamuru

Ağaçlardan ve çeşitli yıllık bitkilerden hamur üretimi yapılırken, hammadde yapısındaki elyafları bir arada tutan lignin başta olmak üzere bağlayıcı yapıları gevşetme ve/veya tamamen uzaklaştırarak bitki hücrelerini (selüloz elyafları) bireysel hale getirmeye ve istenirse optik özellikleri iyileştirilmeye çalışılır (Şekil 1).

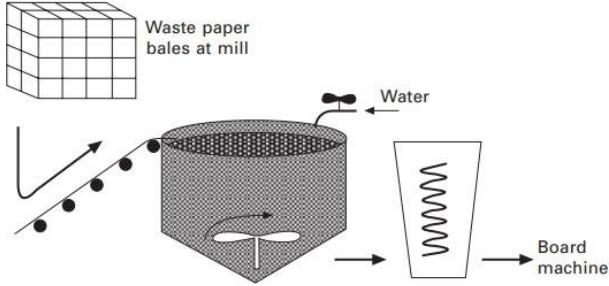


Şekil 1: Primer elyaf üretiminde kademeli ağartma (Brückle, 2009).

Figure 1: Gradual bleaching in primary fiber production (Brückle, 2009).

Atık kağıtlardan tekrar hamurlaştırma yapılırken ise, temelde su içerisinde mekanik etkilerle kağıtların ayrıştırılmasına ve elyaflardan oluşan bir kütle elde etmeye çalışılır (Şekil 2). Ancak atık kağıtlarda elyaflar arasında oluşmuş hidrojen bağları dışında ıslak ve/veya kuru mukavemet kimyasallarının oluşturduğu bağlar, bazı tutkallardan, renklendiricilerden, kuşe katmanı bileşenlerinden (lateks, nişasta vb) ve mürekkep bileşenlerinden kaynaklanan çeşitli bağlarda doğal olarak bulunabilir. Dolayısıyla bu bağların açılması için suyun sıcaklığı artırılabilir gibi, bazı yardımcı kimyasallar katılabilir ve/veya bazı mekanik işlemlerde

yapılabilir. Atık kağıtlardan elde edilen hamurların optik değerlerini iyileştirmek için mürekkep giderme ve ağartma işlemleri de yapılabilir (Şekil 3). Geri dönüşüme gelmiş atık kağıtlardan hamur elde ederken kaçınılmaz olarak bazı kayıplar oluşur. Özellikle dolgu maddeleri, renklendiriciler, kuşe katmanı ve elyaflarda oluşan kırıntı ve tozlar kaybedilir.



Şekil 2: Atık kâğıt balyasından hamur açma ve hamur süspansiyonu oluşumu (Riley, 2012).

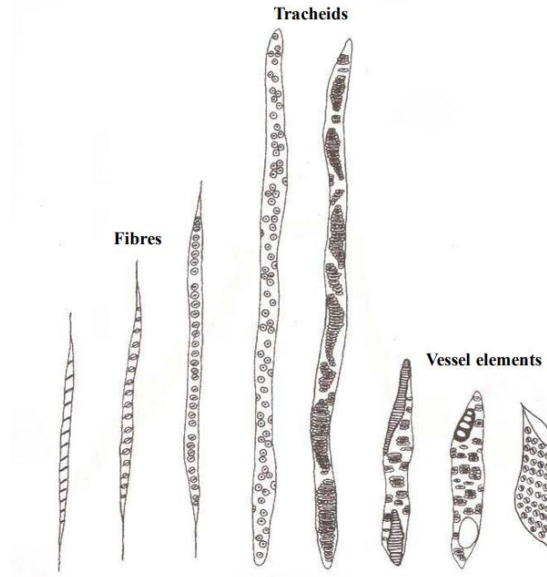
Figure 2: Pulping and pulp suspension formation from waste paper bale (Riley, 2012).

Kâğıt hamurunu oluşturan bitki elyafları, sektördeki yaygın tabiri ile selüloz elyafları çok farklı fiziksel, morfolojik ve kimyasal özelliklerde olabilir. O nedenle hammadde kaynağına, hamurlaştırma metoduna ve mekanik işlemler gibi faktörlere bağlı olarak kâğıt hamurlarının özellikleri değişkenlik gösterebilir. Genel olarak ibreli ağaçların (softwood) elyafları uzun elyaf diye isimlendirilir ve 3-7 mm uzunluklarda olabilir. Geniş yapraklı ağaçların (hardwood) elyafları ise kısa elyaf diye tanımlanır ve 1-2 mm uzunluklarda olabilirler. Yıllık bitkiler ve tarımsal bitkilerin elyafları da morfolojik ve kimyasal bileşim olarak farklılıklar gösterir. Pirinç ve buğday sapları örneğin %15'lere kadar silisyum içerebilirler ve oldukça ince, kısa elyaf verirler (Tutuş & Eroğlu, 2003). Tek bir selüloz elyafının lümen kısmı boş olup, hücre çeperi de 4 tabakadan oluşur (Şekil 4). Ağaç elyafları içi boş borucuklar şeklinde olup, uzunluk, genişlik, lümen genişliği ve hücre çeper kalınlığı gibi ölçülerinin özel formüllerde kullanılması ile bazı genel özellikleri (runkel oranı, elastiklik katsayısı, keçeleşme oranı vb.) ifade edilir.



Şekil 3: Atık kağıtların hamurlaştırılmasında mürekkep giderme köpüğü oluşumu ve hamurun kademeli ağartılması ile beyazlığın yükselmesi (CNBM Int., 2023; Karademir, 2023).

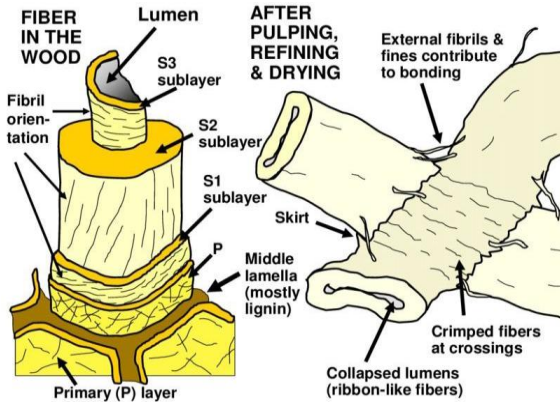
Figure 3: Formation of deinking foam in the pulping of waste paper and increase in whiteness with gradual bleaching of the pulp (CNBM Int., 2023; Karademir, 2023).



Şekil 4: Ağaç içinde çok farklı elyaflar bulunur (Jinagool, 2016).

Figure 4: There are many different fibers within trees (Jinagool, 2016).

Bitkilerden elde edilen hamurlara dövme yapmadan iyi bir kâğıt yapmak mümkün değildir. O nedenle birincil elyaflar, farklı modelleri bulunan dövücülerde (refiner/beater) mekanik etki altında iç ve dış saçaklanmaya maruz bırakılırlar (Şekil 5). Saçaklanma yanında ayrıca lümenleri çöken selüloz elyafları arasında, formasyon sırasında çok daha fazla temas alanı oluşur, hidrojen bağları daha fazla gelişir ve mukavemetleri yüksek kağıtlar üretilebilir (Eroğlu & Usta, 2004; I'Anson vd., 2006; Danielewicz, 2024).



Şekil 5: Elyafarda dövme sonucu saçaklanma ve lümen çökmesi oluşur (Hubbe, 2014).

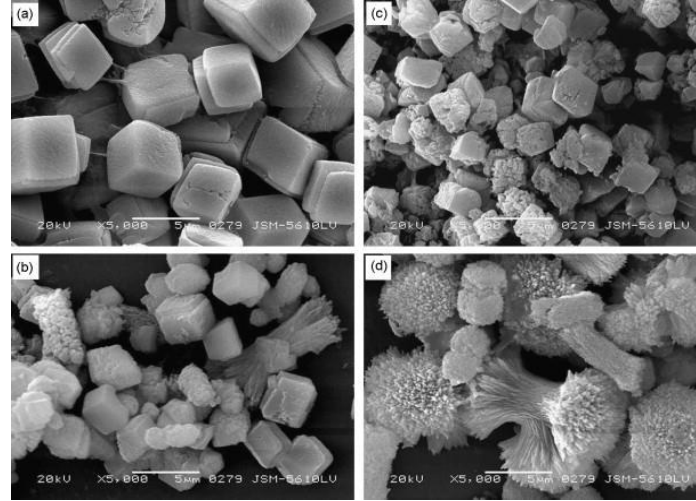
Figure 5: Binding and lumen collapse occur in the fibers as a result of beating (Hubbe, 2014).

1.1.2. Dolgu ve katkı maddeleri

Kâğıt, kendi kendine bağ yapabilen lifli bir malzemedir. Bu bağlar tüm lifleri bir arada tutar, dolgu maddeleri ve yardımcı tutundurucu gibi herhangi bir katkı maddesi olmadan kâğıt safijasını oluşturmak için temel bir işleve sahiptir Liflerin

bağlanma yeteneği olmasına rağmen, birçok durumda dolgu maddeleri ve yardımcı tutundurucular maliyet ve enerji tasarrufu sağlamak (Dong vd., 2008) için genellikle birlikte kullanılır. Kâğıt malzemelerinin üretimi ve katkı maddelerinin seçimi, kâğıdın beklenen özelliklerine ve son kullanıcıların beklentilerine göre değişebilir (Engin & Atik, 2018) (Şekil 6).

Kâğıt hamurunda bulunan bitki elyaflarının 1-7 mm boylarda olduğu düşünüldüğünde, kâğıtçılıkta kullanılan dolguların son derece küçük ebatlarda olduğu söylenebilir (Wypych, 1999). Bir dolgu taneciği, bir selüloz elyafından en az bin ile üç bin (1000-3000) kat daha küçüktür (Tablo 1). Öyle ki bazı tekniklerle elyafların geçitlerine ve lümenlerine dolgu yüklemesi yapılabilmektedir. Dolguların özgül ağırlıkları da genelde elyaflardan çok yüksek olup bu durum sulu süspansiyonda ve süzülme sırasında problemlere neden olmaktadır. Kristal yapıları da çok farklılık gösteren dolgu maddelerinin, optik özellikleri selüloz elyafından çok daha iyi seviyededir. Dolgu maddelerinin elyaflara tutunması, oluşan kâğıt matriksi içerisinde tüm boyutlarda (x, y ve z) düzgün homojen dağılımı, kurutma ve kullanımda kolay ayrışmaya bağlı tozlanma oluşumu, üretim sırasında aşırı kimyasal ihtiyacı, düşük tutunmaya bağlı olarak kâğıt makinesinin ıslak parti kısmında depozit oluşumları, elek altı su kontaminasyonu ve düşük tutunmaya bağlı formasyon eleklerinin hızlı aşınması gibi çok sayıda problem yaşanabilmektedir (Wypych, 1999; Karademir vd., 2003, 2005).



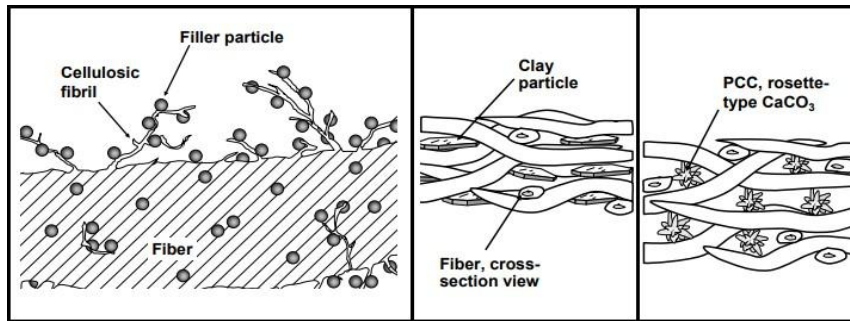
Şekil 6: Kağıtlarda kullanılan farklı kristal yapılarında dolgu maddeleri (Karademir vd., 2005).
Figure 6: Fillers with different crystal structures used in papers (Karademir et al., 2005).

Tablo 1: Tipik kağıt dolgu maddelerine ait bazı parametreler (Wypych, 1999).
Table 1: Some parameters of typical paper fillers (Wypych, 1999).

Ürün Tipi	Kil (Kaolin)	GCC (Kireç Taşı)	Kireç Taşı	Talk
Yoğunluk (g/cm ³)	2.6	2.7-2.9	2.7-2.9	2.7-2.85
Sertlik (Moh ölçekli)	2	3-4	3-4	1-1.5
Yanma Kaybı, 900 °C (%)	12-14	43.5	43.5	4.8-17
Kırılma İndisi	1.55	1.48, 1.65, 1.7	1.48, 1.65, 1.7	1.58
Ortalama Çap (mikron)	2-5	0.8-2	2	1-20
Yüzey Alanı (m ² /g)	10-20	5-12	3-5	2.6-35
Klasik Ürün Şekilleri	Katmanlı	Düzensiz Bloklar	Kokolit, Yuvarlak	Katmanlı
En/boy Oranı (Uzunluk/Genişlik)	4-30	1-1.5	1-1.5	5-20
Yansıtma Katsayısı (% , 547 nm ışıktı)	80-90	95	88	78-93
Aşınma	2-5	4-8	-	3-5

Elyaf ve dolgu arasındaki fiziksel büyüklük farkı Şekil 7’de açıkça görülmekte olup, dolgu taneciklerinin selüloz elyaf yüzeyine, elyaf saçaklarına bağlanmaları ve kağıt matrisinde elyaf arasında yerleşimleri sembolik olarak çizilmiştir (Hubbe & Gill, 2016). Özellikle elyaf arasında yerleşen dolguların elyaf arası bağlanmayı

olumsuz etkilediği ve kağıt mukavemetlerini düşürdüğü bilinmektedir. Bu durumu iyileştirmek için dolgularda bazı modifikasyon işlemleri ve/veya daha fazla mukavemet artırıcı kimyasalın hamura dozlanması gerekmektedir.

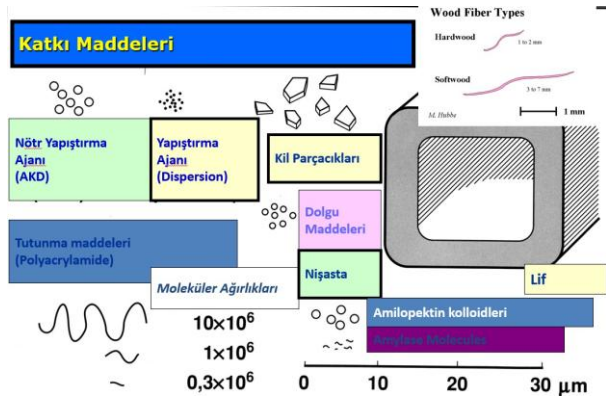


Şekil 7: Dolgu maddeleri ve selüloz elyafları ile tutunma olasılıkları (Hubbe & Gill, 2016).
Figure 7: Possibilities of retention with fillers and cellulose fibers (Hubbe & Gill, 2016).

Kağıt hamurunda bitki elyafları ve dolgular dışında, hamurun ve üretilecek ürünün özelliklerine göre daha farklı bileşenlerde bulunur. Miktar olarak az olmalarına rağmen hamurun iletkenliği, zeta potansiyel ve yük değerlerini belirleyen/etkileyen bu

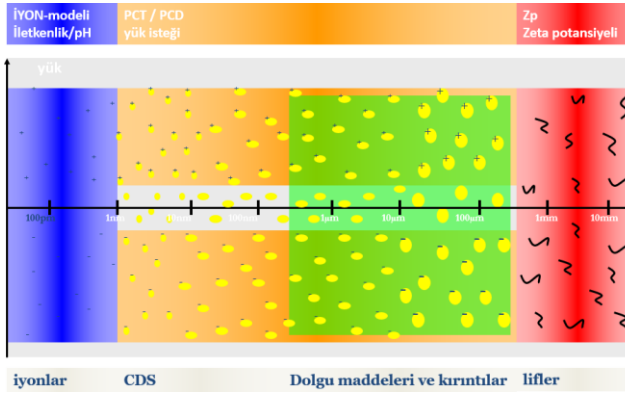
bileşenlerinde bilinmesi ve ona göre süreç yönetimi yapılması gerekmektedir. Atık kağıtlardan elde edilen hamurlarda, birincil elyaf hamuruna göre çok daha çeşitli ve karmaşık bileşenler bulunur. Hamur bileşenlerinden bazıları fiziksel boyutları da kabaca

karşılaştırılabilecek şekilde aşağıda gösterilmeye çalışılmıştır (Şekil 8). Şekil 9'da ise elyaflardan iyonlara kadar olan bileşenler gösterilmektedir.



Şekil 8: Hamurda bulunan elyaflar, dolgular ve bazı katkı kimyasalları (Karademir, 2023).

Figure 8: Fibers, fillers and some additive chemicals found in the pulp (Karademir, 2023).



Şekil 9: Elyaplardan iyonlara kadar hamur bileşenleri (Karademir, 2023).

Figure 9: Pulp components from fibers to ions (Karademir, 2023).

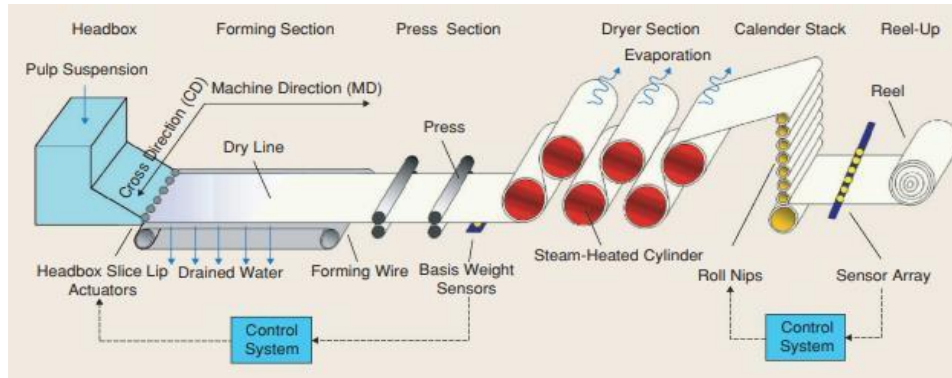
Kâğıt üretiminde, süreci iyileştirmek ve ürünü istenen özelliklere ulaştırmak için çeşitli performans ve

fonksiyonel kimyasallar kullanılır. Tutundurma, mukavemet kimyasalları, köpük söndürücüler ve kağıtların su/yağ emilimini ayarlamak için kullanılan kimyasallar en yaygın bilinen katkıların başında gelir.

2. Kağıt Formasyonu

Kâğıt formasyonu, son derece seyreltik bir sulu hamur süspansiyonunun (%0,7-1,2), hareketli bir elek üzerine sevk edilmesi ve suyunun uzaklaştırılarak, elek üzerinde hamur bileşenlerinin tutundurulması prensibine dayanmaktadır (Smook, 1992). Hamur kasasında (headbox), mal sarıcı/bobin (reel) kısmına kadar basitçe bir fourdriner makinesinin kısımları aşağıda Şekil 10'da gösterilmektedir.

Kâğıt makinesi Wet-End ve Dry-End (ıslak uç ve kuru uç) diye uçtan uca temel 2 kısma ayrılmıştır. Wet end denen ıslak parti kısmı, balyaların açıldığı, pulperlerden başlayıp, temizleme, eleme, dövme, seyreltme, hamur kasası, makine bütesi ve nihayet ıslak preslere kadar olan kısım olarak tanımlanır. Dry end denen kuru parti kısmı ise genel olarak ıslak preslerden bobin sarıcıya kadar olan nispeten ürünün katı madde miktarının giderek yükseldiği aşamaları içine alır. Kâğıt üretiminde makine bütesinde seyreltik hamur süspansiyonunda yaklaşık %1 olan katı madde miktarı üretim sonunda kağıt bobininde %95 seviyelerine çıkarılarak kağıt üretilmektedir. Başlangıçta seyreltik hamur süspansiyonunda %99 olan su miktarı, özellikle formasyon eleğinin ilk aşmalarında yerçekimi ve vakum etkisiyle yüksek miktarda uzaklaştırılır ve sonsuz elekten ıslak preslere geçen ıslak safihadaki katı madde/nem oranı %50/50 seviyelerine kadar çıkar (Smook, 1992; NCAS Inc, 2003; Karademir, 2023).



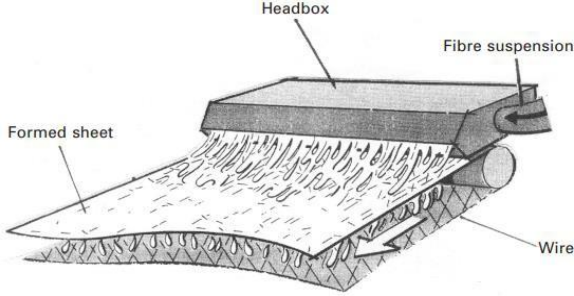
Şekil 10: Tipik bir fourdriner sonsuz elekli kâğıt makinesi formasyon ve kuru uç kısmı (Mercangöz & Doyle, 2006).

Figure 10: Formation and dry end section of a typical fourdriner endless wire paper machine (Mercangöz & Doyle, 2006).

Fourdriner makinesi sonsuz elek üzerindeki formasyon tablasına makine büteden katı madde miktarı çok düşük, neredeyse tamamen sudan oluşan bir kütle hızla verilir (Şekil 11). Bu seyreltik hamur

süspansiyonun hızı ile elek hızı birbirlerine çok yakın veya elek hızı biraz daha fazla olabilir. Sadece suyu geçirmesi, selüloz elyafları başta olmak üzere, dolgular ve katkı maddeleri gibi tüm hamur

bileşenlerini üzerinde tutması için özel tasarlanmış elekler üzerinde başlangıçta bir su filmi oluşur ki buna “su aynası” denmektedir (Şekil 12). Su aynası, suyun drenajı (süzülmesi) ve elek üzerinde tutunan katı madde oranının artması, diğer bir ifade ile ıslak kâğıt safihasının oluşumu ile kaybolur.



Şekil 11: Fourdrinier makinede elek üstünde süspansiyon ve filtrasyon süreci (Riley, 2012).

Figure 11: Suspension and filtration process on the wire in the Fourdrinier machine (Riley, 2012).



Şekil 12: Fourdrinier kâğıt makinesinde sonsuz elekte formasyon kısmı ve su aynası (XWP Machine, 2023)

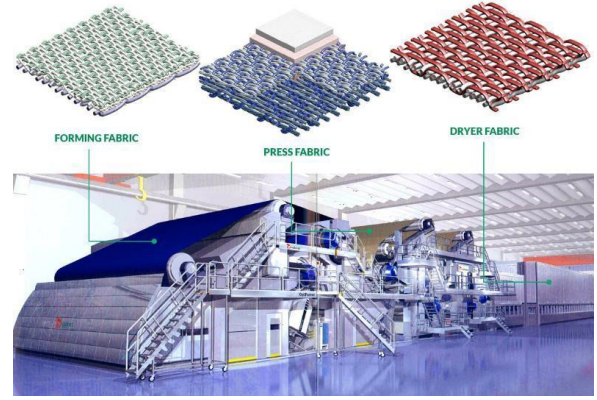
Figure 12: Formation part and dry line in the endless wire in the Fourdrinier paper machine (XWP Machinery, 2023).

Formasyon eleğinde suyun hızla süzülmesi, maksimum katı maddenin elek üzerinde kalması ve formasyonun homojen gerçekleşmesi istenir. Formasyon eleğinde suyun uzaklaştırılması başlangıçta doğal olarak yerçekimi ile gerçekleşir. Elek altında eleği taşıyan ve su süzülmesini hızlandıracak şekilde tasarlanmış özel çıtalar (shoes) bulunur. Ayrıca elek altında vakum kasası ve üzerinde de vakumlu döner silindir bulunabilir. Sonsuz elekte suyun hızla uzaklaştırılabilmesi tüm makinenin aslında hızını belirleyen en temel kriterdir denilebilir.

2.1. Elekler, hamur hareketi ve formasyon

Kâğıt makinesinin en önemli sarf malzemeleri başında “machine fabrics, clothing, dressing” şeklinde ifade edilmekte olan formasyon, ıslak pres elekleri, kurutma keçeleri ve kağıtları taşımada destek

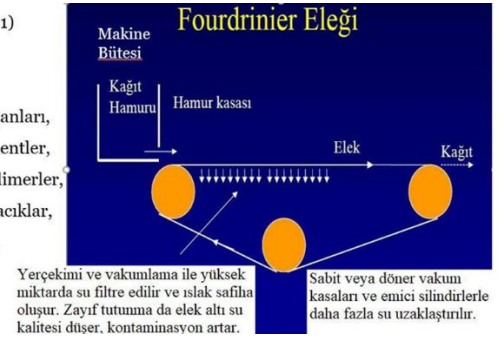
olan teknik tekstiller gelmektedir (Şekil 13, 14). Bu elekler ve keçeler, hızlı su ve buhar uzaklaştırma özellikleri olan, yüksek basınç, gerilim, sürtünme ve sıcaklıklara dayanıklı özel malzemelerden üretilmekte olup, makinenin çalışma performansı ve ürünün kalitesi üzerinde yüksek etkiye sahiptirler.



Şekil 13: Kâğıt makinesinde bazı elek ve keçeler (Valmet, 2023).

Figure 13: Some wires and felts in the paper machine (Valmet, 2023).

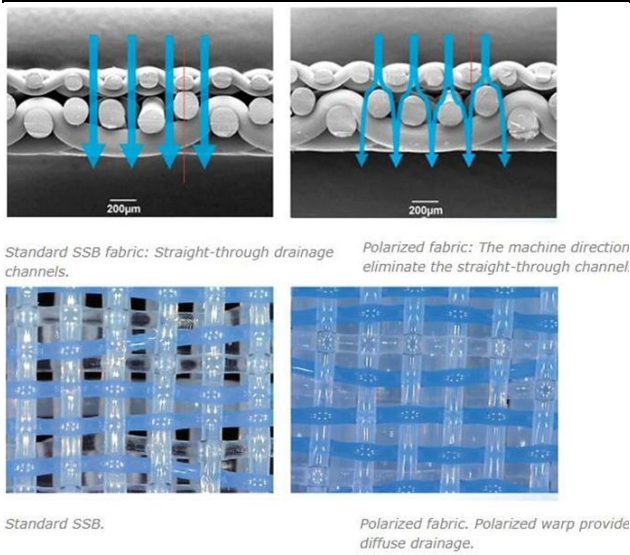
- Lifler (% 0,2-1)
- Kırıntılar,
- Mineraller,
- Yüzey aktif ajanları,
- Boya ve pigmentler,
- Çözülmüş polimerler,
- Dağıtıcı parçacıklar,
- İnorganikler,



Şekil 14: Normal ve yeni geliştirilmiş olan bir kâğıt formasyon elek yapısı (Valmet, 2023).

Figure 14: A normal and newly developed paper formation wire structure (Valmet, 2023).

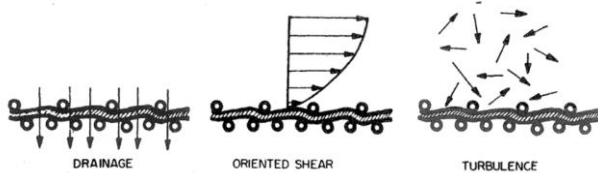
Formasyon eleklerinin çok ağır bir kütleyi taşıması ve yüksek miktarda suyu filtre etmesi beklenir. Formasyon tablasının (platformun) son derece düzgün terazide olması, su filmi çok düzgün bir kesit olarak üzerinde taşıması, dengeli ve hızlı şekilde suyun elek altına geçmesini sağlaması beklenir. Şekil 15’te tipik bir fourdrinier sonsuz elek kısmı ve hamurda olabilecek katı bileşenler gösterilmiştir. Özellikle atık kâğıt hamurlarında selüloz elyafı çok daha fazla tahrip olmuştur, kısa elyaf ve kırıntı oranı yüksektir. Aynı zamanda önceki üretimlerden kalan çok fazla bileşen kirlilik boyutunda mevcuttur. Bu hamur bileşenlerinin makine hızını düşürmeden ve üretilen kâğıt özelliklerini olumsuz etkilemeden yüksek oranda elek üzerinde tutunması istenir ki bu mekanizma “tutunma” (retansiyon) olarak bilinir.



Şekil 15: Kâğıt makinesinde formasyon kısmı ve hamur bileşenleri (Karademir, 2023).

Figure 15: Formation part and pulp components in the paper machine (Karademir, 2023).

Formasyon eleği üzerine verilen seyreltik hamur süspansiyonu temelde 3 tip akış hareketini takip edebilir, bunlar dikey olarak süzülme, yatay olarak yönelmiş akım ve türbülans akış şeklinde ifade edilebilir (Şekil 16). Elyaf, dolgu maddeleri ve katkı kimyasallarının boyutları dikkate alındığında formasyon eleği üzerinde hamur bileşenlerini yüksek oranda tutabilmek oldukça zor bir iştir. Elyafın yönelmesinin makine ve enine yönde orantılı dağılması ve dolguların daha homojen kâğıt matrisi içinde yerleşebilmesi için formasyon eleğine ayrıca kontrollü derecede titreşim de verilmektedir.



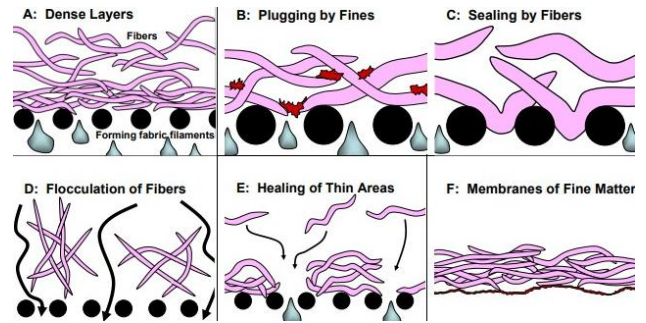
Şekil 16: Elek üzerindeki süspansiyon akım tipleri (Adanur, 1997).

Figure 16: Types of suspension current on the wire (Adanur, 1997).

Fourdriner eleğine normalde ilk etapta temas eden küçük elyaf parçacıkları ve dolgular elek gözeneklerinden geçerek kaybedilir. Elek üzerinde ilk katmanı, fiziksel olarak elek deliklerinden geçemeyen büyük elyaf ile flokülasyon ve/veya koagülasyon yapmış parçacıklar oluştururlar. Elek üzerinde ilk ince kâğıt katmanı oluşumu ile eleğin geçirgenliği azalır ve daha fazla katı bileşimin tutunması gerçekleşir. Kısaca elek üzerine tutunan her katı bileşen eleğin geçirgenliğini düşürür ve suyun süzülmesi zorlaşır. Bu nedenle elek üzerinde ıslak kâğıt safihası oluştuktan sonra suyun yerçekimi

ile uzaklaşması zorlaşır, aksine vakum uygulamak ve/veya elek üzerinden basınçlı ve vakumlu delikli silindirlerle suyun daha fazla alınması gerekir. Şekil 17’de formasyon eleği üzerinde olabilecek hamur hareketleri ve kombinasyonları gösterilmiştir (Hubbe vd., 2020; Karademir, 2023).

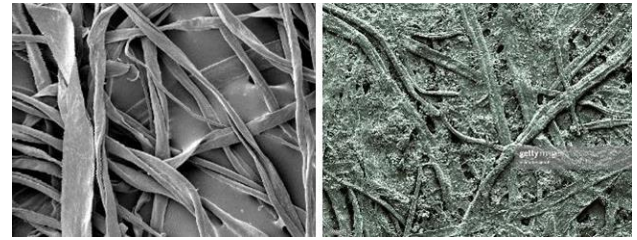
Fourdriner eleğinde hamurun süzülmesine bağlı olarak genelde üretilen kâğıtlarda “çift yüzölçüm” oluşur. Kâğıtlarda elek yüzü ve üst veya silindir yüzü özellikle yüzey düzgünlüğü açısından farklılık göstermektedir. Elek yüzü daha kaba ve pürüzlü iken, üst/silindir yüzü daha düzgün olmaktadır. Bu durum yüzeylerde bulunan uzun/kısa elyaf harmanı, dolgu, kırıntı ve kimyasal miktarlarının farklılıklarından oluşmaktadır.



Şekil 17: Kâğıt üretiminde filtrasyonu zorlaştıran temel bazı durumlar (Hubbe vd., 2020).

Figure 17: Some basic situations that make filtration difficult in paper production (Hubbe et al., 2020).

Elekler üzerinde hamur bileşenlerinin rastgele birbirleri üzerine yerleşmesi, sonra preslenmesi ve kurutulması ile esnek ve ince bir malzeme elde edilir. İçerisinde dolgu olan ve olmayan iki adet kâğıda ait elektron mikroskop görüntüleri Şekil 18’de paylaşılmıştır. Üretilen kâğıtların yüzeylerine yüzey yapıştırma, kuşeleme ve kalenderleme gibi bazı ileri işlemler yapılarak özellikleri değiştirilebilir.



Şekil 18: Dolgusuz ve dolgulu kâğıtların elektron mikroskopta yüzeyleri (Hubbe vd., 2020).

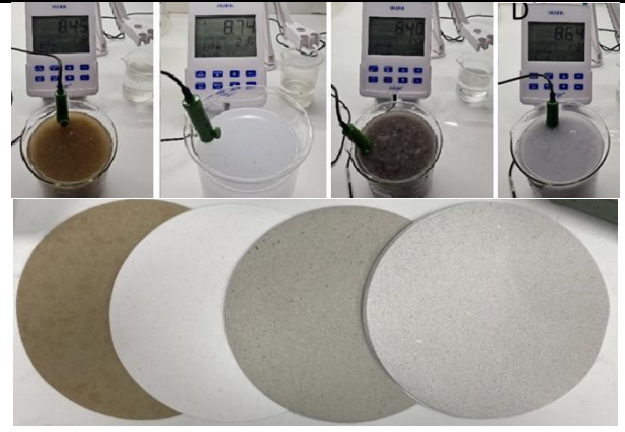
Figure 18: Surfaces of unfilled and filled papers under electron microscope (Hubbe et al., 2020).

2.1.1. Elekte tutunma

Hamur süspansiyonundaki suyun çok büyük bir kısmı, hamur, göğüs silindirine temas eder etmez yerçekimi ve drenaj levhalarının (süzülme levhaları) etkisi ile uzaklaştırılır. Bu süreçte hamurdaki ufak kırıntıların, dolgu maddelerinin ve kimyasalların

oluşacak kâğıt taslağı içinde tutulması son derece zor olacaktır. Hamurdaki tüm bileşenlerin elek üzerinde kalmasına tutunma denmektedir. Elekte tam bir tutunma olması (%100) mümkün olmayıp, hamur, elek ve makine özelliklerine bağlı olarak tutunma değeri %70-90 arasında değişebilir (Gess, 1998; Theo, 2005; Anna, 2007).

Ülkemizde atık kağıtlar çok büyük oranda ambalaj sınıfı kağıtların üretiminde değerlendirilmektedir. Şekil 19'da sırasıyla oluklu, ofis, gazete ve kuşe atık kağıtlarından hazırlanan hamurlar ve üretilen laboratuvar tipi test kağıtları görülmektedir. İşletme ortamında ambalaj kâğıdı üretilirken hazırlanan kâğıt hamur harmanında Şekil 19'da görülen atık kağıtlardan belli oranlarda bulunmakta olup, ayrıca farklı katkı kimyasalları da hamura eklenmektedir. Dolayısıyla atık kağıtlardan ambalaj sınıfı kâğıt üreten (mürekkep giderme olmadan) fabrikalarda elek üzerindeki hamur bileşenleri son derece zengin olup, hamur tutunması için ayrıca tek veya çift bileşenli tutundurucu kimyasallar kullanmak gerekmektedir.



Şekil 19: Atık kağıt hamurları ve ilgili laboratuvar test kağıtları (soldan sağa sırasıyla; oluklu, ofis, gazete ve kuşe atık kağıtları) (Usta, 2023).

Figure 19: Waste paper pulps and related laboratory test papers (from left to right; corrugated, office, newspaper and coated waste papers) (Usta, 2023).

Kâğıt hamurunda bulunan dolgu maddelerinin tutunması zor olduğu gibi, tutunduğu zamanda da kağıtlarda özellikle mukavemetleri olumsuz etkilediği bilinmektedir (Tablo 2). Konu hakkında çok sayıda çalışmalar yapılmış ve bazı gelişmeler kaydedilmiştir (Gess, 1998; Karademir vd., 2003; Theo, 2005; Anna, 2007; Hubbe & Gill, 2016).

Retansiyon ve drenaj kavramları kâğıt üretiminde önemli iki parametredir. Aralarında iyi bir denge kurulması, fabrika hızını düşürmeden, kaliteli kâğıt üretimini gerçekleştirmek şarttır. Elek üzerinde fiziksel/mekanik ve kimyasal olmak üzere iki çeşit tutunma sistemi vardır. Tutunmaya bağlı temel formüller aşağıda gösterilmiştir (Denklem 1, 2, 3 ve 4) (Varlıbaş, 2010).

Tablo 2: Dolgu maddesi kullanımına bağlı bazı problemler (Hubbe & Gill, 2016).

Table 2: Some problems related to the use of fillers (Hubbe & Gill, 2016).

Dolgu Maddesinden Kaynaklanan Sorunlar	Sorunun Azaltılması İçin Öneriler	Kaynaklar
Mukavemet azalması, bağ kopmalarının daha sık görülmesi	Daha büyük parçacık boyutları, katyonik nişasta, artan hamur rafinasyonu	Bown, 1985
Kağıdın görünür yoğunluğunun artması	Hacimli dolgu maddelerinin kullanımı, elyaf optimizasyonu	Moberg, 1985
Düşük ilk geçiş tutunması, kağıtta iki yüzölçüm	Etkili tutunma yardımcıların kullanımı	Tanaka vd., 1982
Şekillendirici keçelerin, kesici bıçakların, kalıp kesicilerin aşınması	Kuvars safsızlıklarının önlenmesi, ince parçacık boyutu	Laufmann & Rapp 1995
Tozlanma, baskı preslerinde kontaminasyon, fotokopi makineleri	Yüzey uygulamalı nişasta	Fineman & Hoc 1978
Yapıştırma (tutkallama) ajanlarına artan ihtiyaç gibi	Kimyasal katılımın artımı, dolgu maddesi içeriğinin azaltılması, daha büyük parçacık boyutları	Krogerus, 1999; Chabot vd., 2004

$$Retansiyon [R] = \frac{CHamur\ Kasası - CElek\ Altı\ Suyu}{CHamur\ Kasası} \times 10 \quad (1)$$

$$Retansiyon [R] = \frac{CHamur\ Kasası - CElek\ Altı\ Suyu}{CHamur\ Kasası} \times 100 \quad (2)$$

$$C = Hamur\ Konsantrasyonu [g/l] \quad (3)$$

$$Q = \frac{Kuru\ Hamur}{Zaman} [kg/dk] \quad (4)$$

Hamur içerisindeki büyük parçacıklar elek gözeneklerinden geçemeyip, elek üzerinde kalır ki buna fiziksel tutunma denir. Ancak dolgu maddelerinin, kırıntıların ve küçük bileşenlerin ya kendi aralarında kümelenmeleri, ya da büyük elyaf ve parçacıklara tutunmaları gerekir ki buna kimyasal

tutunma denmektedir. Kâğıt hamurunda elyaflar genel itibariyle negatif yüklüdürler. Kimyasal tutunma mekanizması temelde hamur bileşenlerinin elektrik yüklerine göre planlanarak negatif, pozitif veya nötr kimyasallar kullanarak çalıştırılır. Genel itibari ile hamur süspansiyonuna katılan kimyasal tutundurucuların çoğu katyoniktir (Gess, 1998). Küçük parçacıkların birbirlerine tutunması ve gruplar oluşturmaya flokülasyon denmektedir (Karademir, 2023).

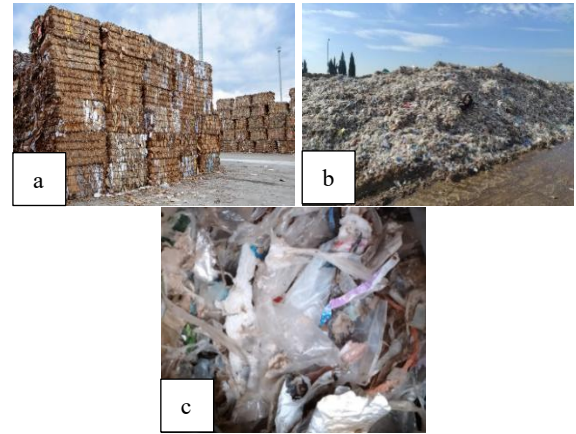
Küçük dolgu ve kırıntıların, hamurdaki uzun elyaflar etrafında tutunmasına ise koagülasyon denmektedir (Varlıbaş, 2010). Kısa veya uzun katyonik veya negatif yüklü polimerler kullanılması oluşacak kümelenmelerin boyutlarını değiştirdiği gibi, drenajı ve üretilen kâğıdın eperi (formasyonunu) de etkilenir. Optimum büyüklükte elyaf kümelenmeleri, üretilen kâğıdın yüzey düzgünlüğünü etkiler, aynı zamanda kâğıdın mukavemetlerine de ciddi etki yapar. Çok iri kümeler, pürüzlü ve engebeli bir kâğıt yüzeyi, bulutlu bir eper, düşük çekme ve patlama indisi değerleri verecektir. Dolayısıyla hamur bileşenlerinin sadece elek üzerinde yüksek tutunması yeterli olmayıp, kâğıdın formasyon kalitesi ve mukavemetlerinin de yüksek olmasına dikkat etmek gerekmektedir.

3. Kâğıt Fabrikasında Atıklar

Atıklar genellikle kaynakta ayıklama, çöp kutularında ya da çöp sahalarında ayıklama ve lisanslı toplama-ayırma tesislerinde ayıklama yöntemleri ile toplanmaktadır (Gümüşkaya, 2018). Atık yönetiminde karşılaşılan sorunlar arasında kentlerde aşırı yoğunlaşan nüfus sorunu ve kentleşmelerin plansız olması, atıkların depolanması ile ilgili yer sorunlarının olması ve bu yerlerin sayılarının az olması, atıkların salınımı ile ilgili cezai işlemlerin yetersiz kalışı, zamanla birlikte değişen tüketim alışkanlıkları bulunmaktadır. Ayrıca toplumsal çevre bilincinin yetersiz olmasından ötürü ülkemizde ne yazık ki atık kâğıtların çok büyük bir oranı çöpe düştükten sonra vahşi toplama da denilen sistemle kazanılmakta, balyalanmakta ve kâğıt fabrikalarına sevk edilmektedir. O nedenle kâğıtlarda çöpten gelen çok farklı kontaminasyonlar olabileceği gibi, kâğıt dışı çok çeşitli ve yüksek oranda kirlilikler de bulunmaktadır (İmamoğlu vd., 2005). Bunların içerisinde en büyük kısmı plastikler oluşturmaktadır (Şekil 20). Ayrıca metal, taş, kum ve muhtelif kirliliklerde yaygın olarak görülmektedir. Günlük yaklaşık 800 ton atık kâğıt işleyen Varaka Kâğıt Sanayi A.Ş.'de ortalama 100 ton civarı plastik, cam, metal, taş ve benzer kirliliklerden oluşan atıklar açığa çıkmaktadır. Bu materyaller, kâğıt balyalarının

pulperda açılması, elenmesi, temizlenmesi sürecinde ayrıştırılan atıklardır. Devletin uygulanabilir ve verimli bir atık yönetimi için uygulanması gereken adımları; yetkili/sorumlu belirlemek, atığın tanımlanması, atığın kaynağında ayrı toplanması, personel için çevre eğitimi, geçici atık depolama sahası kurulması, atıklara ön işlem uygulanması, atıkların bertaraf/geri kazanıma gönderilmesi ve kayıtların tutulması gibi sıralamak mümkündür (Gümüşkaya, 2018). Bu maddelere ek olarak sosyal duyarlılığın iyileştirilerek toplumun bilinçlenmesine, kâğıtların son kullanıcıdan doğrudan toplanmasına, çok daha etkin çalışan ayrıştırma tesislerinin sayısının artması ile sadece atık kâğıtlar değil, ülkemizde açığa çıkan çoğu atığın çok daha temiz, kaliteli toplanmasına ve ekonomiye kazandırılmasına yönelik çalışmalar arttırılmalıdır.

Ayrıca atıkların miktarını azaltmak, çıkan atıkları inovatif ürünlere dönüştürmek, çevresel ve karlı olarak döngüsel ekonomiye sürdürülebilir olarak kazandırmak, düşük karbon ve su ayak izi hedeflerine ulaşmak için tüm işletmelerin üzerinde yoğun çalıştıkları konuların başında gelmektedir.



Şekil 20: Atık kâğıt balyaları ve açığa çıkan plastik atıklar (a: atık kâğıt balyaları, b: plastik çöp yığını, c: plastik atık karışımı) (Varaka Kâğıt San. A.Ş., 2024).

Figure 20: Waste bag bales and resulting plastic waste (a: waste paper bales, b: accumulation of plastic refuse, c: plastic waste mixture) (Varaka Paper Industry Inc., 2024).

Kaba, ince ve ultra eleklerden geçirilen, kısa ve uzun elyaf olarak ayrıştırılan ve ayrı depolarda toplanan ikincil elyaflar belli oranlarda (%60/40 gibi) karıştırılarak kâğıt hamuru oluşturulur ve makineye sevk edilerek kâğıt üretimi yapılır. Atık kâğıtlardan elde edilen kâğıt hamurlarına üretimin amacına göre birincil elyaflar, dolgular ve bazı fonksiyonel bileşenlerde katılabilir. Hazırlanan kâğıt hamuru süspansiyonu (stock) formasyon eleğine verildiğinde doğal olarak hızla süzülen su ile beraber küçük ebatlardaki hamur bileşenleri kaybedilir ve elek altı suya geçerek kirlilik kaynağına dönüşür (Karademir,

2002; Varlıbaş, 2010; Karademir vd., 2013). Kâğıt üretiminde hamur bileşeninden kayıp vermeden maksimum tutunma hedeflenirken, aynı zamanda hızlı filtrasyonda istenir. Zira suyun hızlı uzaklaştırılması, yani süzülme, makine hızını belirlemede önemli bir parametredir. Ancak elek altı suyuna geçen katı bileşenler de çoğunluğu selüloz elyafları, kırıntılar ve belli oranda dolgulardan oluşan bir atık olarak açığa çıkar. Varaka Kâğıt Sanayi A.Ş.'de elek altı elyaf çamuru %60 nem de günlük yaklaşık 50 ton, atık su arıtma tesisinden ise %80 nemde yaklaşık 25 ton arıtma çamuru açığa çıkmaktadır (Şekil 21).

14 Mart 2005 tarihli ve 25755 sayılı resmi gazetede yayınlanan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre atık yönetimi; atığın kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, ara depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası kontrolü ve benzeri işlemleri ifade eder (TAK Yönetmeliği, 2005). Günümüzde artan nüfus ile birlikte açığa çıkan atık miktarının da artması, sanayileşme ve doğal kaynakların azalması atık yönetimini daha da önemli bir hale getirmiştir (Ağaçsapan, 2016).



Şekil 21: Elek altı elyaf ve arıtma çamuru atıkları (Varaka Kâğıt San. A.Ş., 2024).

Figure 21: Under-screen fiber and treatment sludge waste (Varaka Paper Industry Inc., 2024).

4. Sonuç

Hammadde sıkıntısını ciddi şekilde yaşayan kâğıt sanayinde atıkların azaltılması, özellikle elyaf içerikli atıkların en etkin şekilde değerlendirilmesi son derece önemlidir. Kâğıt formasyonunda elek altına kaybedilen hamur bileşenleri, sadece hammadde kaybına değil, aynı zamanda makine kirlenmesine, eleklerin/makinenin hızlı aşınmasına, deposit oluşumuna ve atık su arıtma yükünün artmasına neden olur. O nedenle kâğıt formasyonunda tutunmanın maksimum olması için mevcut teknikleri ve ilgili kimyasalları kontrollü şekilde kullanmak gerekir. Giderek elyaf kalitesi kötüleşen atık kâğıt hamurlarından kâğıt üretilmesinde tutunmayı iyileştirmenin daha da zorlaşacağı öngörülmektedir. Atık kâğıt fabrikasında kaçınılmaz olarak oluşan

üretim atıklarının özelliklerine göre en uygun tekniklerle değerlendirilmesi, hatta bunun bölgede oluşan benzer atıkları değerlendirecek şekilde planlanması ve bölgesel bir çözüm merkezi şeklinde kurgulanması çok daha uygun olacaktır. Elbette, plastikler başta olmak üzere atıkları özelliklerine göre inovatif yöntemlerle değerlendirmek için gelişmiş ülkelerdeki modellerin detaylı çalışılması ve iyi planlama yapılması önemlidir.

Makale Bilgileri

Finansal Açıklama: Bu çalışma Balıkesir Varaka Kağıt Fabrikası tarafından desteklenmiştir.

Teşekkür: Çalışma süresince verdikleri katkılardan dolayı Balıkesir Varaka Kağıt Fabrikası'na teşekkürlerimizi sunarız.

Yazarların Katkıları: Konsept: A.K.; Tasarım: A.K., H.V.B., L.Ç.; Danışmanlık: A.K.; Kaynaklar: H.V.B., L.Ç.; Veri Toplama: H.V.B., L.Ç.; Analiz: H.V.B.; Literatür Taraması: H.V.B., L.Ç.; Makale Yazımı: A.K., H.V.B., L.Ç.; Eleştirel İnceleme: A.K.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar: Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Kaynaklar

- Adanur, S. (1997). Paper machine clothing. Technomic Publishing Company Inc.
- Ağaçsapan, B. (2016). Katı atık yönetiminde coğrafi bilgi sistemleri: eskişehir ili atık aktarma istasyonları için yer seçimi örnekleme [Yüksek lisans tezi]. Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Anna, S. (2007). Valuation of retention/formation relationships using a laboratory pilot paper machine [Graduate thesis]. Royal Institute of Technology Department of Fibre and Polymer Technology, Stockholm.
- Bown, R. (1985). Review of methods for increasing filler loadings. Paper Technol. Ind., 26(6), 289–292.
- Brückle, I. (2009). Bleaching in paper production versus conservation. Restaurator, 30(4), 280–293.
- Chabot, B., Daneault, C., Fournier, F., Morneau, D., & Arial, M. (2004). A methodology to determine

retention and drainage in laboratory. Paperi Puu, 86(6), 445–449.

CNBM Int. (2023, Feb 3). Brief analysis of waste paper pulp processing. <http://www.paperpulpmachine.com/analyze-waste-paper-pulp-processing/>

Danielewicz, D. (2024). Effects of pre-treatment with commercial cellulase and hemicellulase and laboratory beating of unbleached pine kraft pulp on freeness, paper strength, and fiber quality. BioResources, 19(4), 7737–7751.

Dong, C., Song, D., Patterson, T., Ragauskas, A., & Deng, Y. (2008). Energy saving in papermaking through filler addition. Industrial & Engineering Chemistry Research, 47(21), 8430–8435.

Engin, M., & Atik, C. (2018). The impact of zeolite filler on ageing and mechanical failure of paper. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 33(3), 512–521.

Eroğlu, H., & Usta, M. (2004). Kağıt ve karton üretim teknolojisi (1. Cilt). Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Fineman, I., & Hoc, M. (1978). Surface properties, especially linting, of surface-sized fine papers. Tappi, 61(5), 43–46.

Gess, J. (1998). The chemistry and mechanics of fine particle retention. TAPPI Press.

Gümüşkaya, T. (2018). Atık geri dönüşümünde üretim maliyetlerinin incelenmesi: bir kâğıt üretim tesisinde uygulama [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Hubbe, M. A., & Gill, R. A. (2016). Fillers for papermaking: a review of their properties, usage practices and their mechanistic role. BioResource, 11(1), 886–2963.

Hubbe, M. A. (2014). Prospects for maintaining strength of paper and paperboard products while using less forest resources: a review. BioResources, 9(1), 634–1763.

Hubbe, M. A., Sjöstrand, B., Nilssonb, L., Koponen, A., & McDonalds, J. D. (2020). Rate-limiting mechanisms of water removal during the formation, vacuum dewatering and wet-pressing of paper webs: a review. BioResource, 15(4), 9672–9755.

I'Anson, S., Karademir, A., & Sampson, W. (2006). Specific Contact Area and the Tensile Strength of Paper. Appita: Technology, Innovation, Manufacturing, Environment, 59(4), 297–301.

İmamoğlu, S., Atik, C., & Karademir, A. (2005). Atık kağıt kullanan kağıt-karton fabrikalarında ortaya çıkan mikrobiyolojik sorunlar. Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 6(1-2), 179–190.

Jinagool, W. 2016. Genetic variability of drought tolerance of trees of agronomic interest : the role of vulnerability to xylem cavitation [Doktora tezi]. Université Blaise Pascal, Agricultural sciences, France.

Karademir, A., Varlıbaş, H., & Çiçekler, M. (2013). Kağıt üretiminde CaCO₃ dolgu maddesinin kimyasal tutunması üzerine bir araştırma. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 14, 48–52.

Karademir, A. (2002). Quantitative determination of alkyl ketene dimer (AKD) retention in paper made on a pilot paper machine. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 26(5), 253–260.

Karademir, A. (2023). Kağıt fabrikası ıslak parti operasyonları: YL ders notları. Bursa Teknik Üniversitesi. Bursa.

Karademir, A., Chew, Y. S., Hoyland, R. W., & Xiao, H. (2005). Influence of fillers on sizing efficiency and hydrolysis of alkyl ketene dimer. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 83(3), 603–606.

Karademir, A., Tutuş, A., & Mengenoğlu, F. (2003, Sep 3–6). AKD absorption properties of kaolen, CaCO₃, and TiO₂ [Symposium presentation]. XI National Clay Symposium, İzmir, Türkiye.

Krogerus, B. (1999). Modified starch pigments as paper additives. Proc. Minerals in Papermaking – Sci. Technol. Adv. in Fillers, 14.

Laufmann, M., & Rapp, H. U. (1995). Wire abrasion and its potential causes: Proc. TAPPI 1995 Dyes, Fillers, and Pigments Short Course Notes, TAPPI Press.

Mercangöz, M. & Doyle, F. J. (2006). Characterizing the process from the digester to the paper machine, IEEE Control System Magazine, 30–39.

Moberg, K. (1985). Highly-filled papers: obstacles and approaches. TAPPI Press.

NCAS Inc. (2003). Pulp mill process closure: a review of global technology developments and mill experiences in the 1990s. (Technical Bulletin No. 860), Research Triangle Park, National Council for Air and Stream Improvements Inc.

Riley, A. (2012). Paper and board packaging. Woodhead Publishing.

Smook, A. G. (1992). Wet-end operations. Angus Wilde Publication.

Tanaka, H., Luner, P., & Côté, W. (1982). How retention aids change the distribution of filler in paper. Tappi, 65(4), 95–99.

Tehlikeli Atıkların Kontrolü (TAK) Yönetmeliği. (2005). 1. Bölüm: Tanımlar (Sayı 25755).

Theo, G. M. (2005, Sep 11–16). Filler and fines retention in papermaking [Symposium presentation]. 13th Fundamental Research Symposium, Chambridge, UK.

Tutuş, A., & Eroğlu, H. (2003). A practical solution to silica problem in straw pulping. APPITA Journal, 56(2), 111–115.

Usta, U. C. (2023). Farklı atık kağıtlar üzerinde bazı fonksiyonel kimyasal denemeleri [Yüksek lisans tezi] Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.

Valmet, (2023, Feb 3). Papermachine clothing and filter fabrics for board and paper machines. <https://www.valmet.com/board-and-paper/services-for-board-and-paper/paper-machine-clothing-and-filter-fabrics/>

Varaka Kağıt San. A.Ş., (2024). Balıkesir Kağıt Fabrikası.

Varlıbaş, H. (2010). Lif modifikasyon işleminin retansiyon üzerine etkileri [Yüksek lisans tezi].

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Wypych, G. (1999). Handbook of fillers (2nd Edition). Plastic Design Laboratory.

XWP Machine. (2023, Feb 2). Paper board making machine.

<https://www.xwpapermachine.com/products/Paper-Board-Making-Machine.html>