

**OTOKOPİ KAĞITLARININ MÜREKKEP GİDERME
ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Yalçın KOCABEY

Yüksek Lisans Tezi

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sami İMAMOĞLU

2015



T.C
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOKOPİ KAĞITLARININ MÜREKKEP
GİDERME ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yalçın KOCABEY

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

BURSA
Kasım 2015

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

“Yalçın KOCABEY” tarafından “Prof. Dr. Sami İMAMOĞLU” yönetiminde hazırlanan “Otokopi Kağıtlarının Mürekkep Giderme Etkinliğinin İncelenmesi” başlıklı tez, kapsamı ve niteliği açısından incelenmiş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Sami İMAMOĞLU

(Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği)

Prof. Dr. Arif KARADEMİR

(Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği)

Yrd. Doç. Dr. Emrah PEŞMAN

(Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği)

Tez Savunma Tarihi: 25/12/2015

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Nurettin ACIR

25/12/2015

.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Yalçın KOCABEY

İmzası :

Teşekkür

“Otokopi Kağıtlarının Mürekkep Giderme Etkinliğinin İncelenmesi ”adlı bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi (BTÜ), Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Azalan hammadde kaynakları karşısında önemi gün geçtikçe artan atık kağıt geri dönüşümünde otokopi kağıdı atıklarının daha verimli kullanılmasını amaçlayan bu tez çalışmada yüksek lisans danışmanlığımı üstlenerek çalışmanın her aşamasında karşılaşılan sorunların aşılmasında fikirlerinden yararlandığım, her konuda destek ve yardımlarını esirgemeyen gerek mesleki gerekse de kişilik açısından daima örnek alacağım Sayın Hocam Prof. Dr. Sami İMAMOĞLU’na sonsuz teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Çalışmaya ait bazı fiziksel ve optik testlerin yapılmasında yardımcı olan, yakın ilgilerini esirgemeyen Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Emrah PEŞMAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında her zaman yardım ve desteklerini sakınmayan Arş. Gör. Hülya VARLIBAŞ’a ve diğer bütün hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın hazırlanmasında 2015-02-002 kodlu Bilimsel Araştırma Projesi ile maddi destek sağlayan BTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimine (BAP) ve proje yürütücüsü Sayın Hocam Prof. Dr. Sami İMAMOĞLU’na ve tez çalışmam sürecinde 113O257 ve 115R068 kodlu projeler kapsamında aldığım maddi destekten dolayı TÜBİTAK’a ve proje yürütücüleri olan Sayın Hocalarım Prof. Dr. Ramazan KURT’a ve Yrd. Doç. Dr. Oktay GÖNÜLTAŞ’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmamda laboratuvar imkânlarını hizmetime açan Bursa Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi başta olmak üzere, Artvin Çoruh Üniversitesi’ne ve kimyasal maddelerin tedarikini sağlayan İzmir Caran Kimya A.Ş.’ye ve özellikle Sayın Duygu DOĞAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, beni bugünlere yetiştiren ve öğrenim süresince maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme tüm kalbimle sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>sayfa no</u>
İçindekiler	vi
Şekil Listesi	x
Çizelge Listesi	xiii
Sembol ve Kısaltma Listesi	xiv
Özet	xvi
SUMMARY	xviii
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Atık Ofis Kağıtlarından Kağıt Hamuru Üretimi	9
1.2.1. Hamurlaştırma İşlemi	9
1.2.2. Temizleme ve Eleme İşlemleri	11
1.2.3. Yüzdürme (Flotasyon) Yöntemi ile Mürekkep Giderme İşlemi	11
1.2.4. Yıkama (washing) Yöntemi ile Mürekkep Giderme İşlemi	14
1.2.5. Kesafet Artırma İşlemi	15
1.2.6. Dispersiyon İşlemi	15
1.2.7. Ağartma İşlemi	16
1.3. Mürekkep Giderme İşleminde Kullanılan Kimyasal Maddeler	16
1.3.1. Sodyum Hidroksit	17
1.3.2. Sodyum Silikat	18
1.3.3. Aglomeratlar (Yığılma ve Topaklanma Sağlayan Kimyasallar)	18
1.3.4. Yüzey Aktif Maddeler (Surfactant)	18
1.3.4.1. Dispersantlar (Dağıtıcı)	18
1.3.4.2. Kollektörler (Toplayıcı Kimyasallar)	19
1.3.5. Aktif Oksijen İçeren Ağartıcılar	21
1.3.5.1. Hidrojen Peroksit	21
1.3.5.2. Sodyum Perborat Tetrahidrat	21
1.3.5.3. Sodyum Perkarbonat	21
1.3.6. İndirgeyici Özellikteki Ağartıcı Kimyasallar	22
1.3.6.1. Sodyum Hidrosülfite (Ditiyonit)	22

1.3.6.2. Formamidin Sülfirik Asit (FAS)	22
1.3.6.3. Sodyum Borhidrür	23
1.3.7. Çelatlayıcılar	23
1.4. Baskı Sistemleri ve Kullanılan Mürekkepler	24
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. Materyal	33
3.1.1. Hammadde (Atık Kağıt)	33
3.1.1.1. Otokopi Kağıdı	33
3.1.1.2. Rutubet Tayini	35
3.1.1.3. Otokopi Kağıtlarının Kül İçeriği	36
3.1.2. Kullanılan Su	38
3.1.3. Mürekkep Giderme ve Ağartma İşlemi için Kullanılan Kimyasallar	38
3.1.3.1. Sodyum Hidroksit	38
3.1.3.2. Sabun ve Kalsiyum Klorür	38
3.1.3.3. EDTA ve Sodyum Silikat	38
3.1.3.4. Hidrojen Peroksit	39
3.1.3.5. FAS ve Sodyum Hipoklorit Asit	39
3.2. Yöntem	40
3.2.1. Baskı İşlemi	40
3.2.2. Hızlandırılmış Isıl Yaşlandırma ve İklimlendirme	41
3.2.3. Örnek Hazırlama	42
3.2.4. Hamurlaştırma İşlemi	43
3.2.5. Yıkama İşlemi	44
3.2.6. Yüzdürme İşlemi	45
3.2.7. Kesafet Artırma İşlemi	47
3.3. Uygulanan Kimyasal ve Fiziksel Analizler	47
3.3.1. Kağıt Hamurlarına Uygulanan Analizler	47
3.3.1.1. Kağıt Hamurların Verimlerinin Belirlenmesi	47
3.3.1.2. Kağıt Hamurları İçerisindeki Anorganik Madde Tayini	48

3.3.2. Atık Çamur ve Su Analizleri	48
3.3.2.1. Atık Su İçerisindeki Askıda Katı Madde (AKM) Tayini	49
3.3.2.2. Atık Su İçerisindeki Çözünmüş Katı Madde (ÇKM) Tayini	50
3.3.2.3. Atık Suyun İletkenlik ve pH Değerinin Belirlenmesi	51
3.3.3. Optik Testler	51
3.3.3.1. Optik Testler İçin Test Kağıtları Hazırlama İşlemi	51
3.3.3.2. Test Kağıtlarına Ait ISO Parlaklık Ölçümü	51
3.3.3.3. Test Kağıtlarına Ait CIE Beyazlık İndeksi (WI) Ölçümü	52
3.3.3.4. Test Kağıtlarına Ait Sarılık İndeksi (YI) Ölçümü	53
3.3.3.5. Test Kağıtlarına Ait CIE L*a*b* Renk Değerlerinin Ölçümü	53
3.3.3.6. INGEDE ve ISO Test Kağıtlarından Mürekkep Uzaklaştırma Etkinliği IE700 ve IE950 Değerlerinin Ölçülmesi	53
3.3.4. Test Kağıtlarına Uygulanan Fiziksel Testler	54
3.3.4.1. Fiziksel Testler İçin Laboratuvar Kağıdı Formasyonu	54
3.3.4.2. Test Kağıtlarının Şartlandırılması	54
3.3.4.3. Rutubet, Gramaj, Kalınlık ve Yoğunluk Tayinleri	54
3.3.4.4. Kopma Testi	55
3.3.4.5. Yırtılma Testi	56
2.4. İstatistiksel Yöntemler	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	57
4.1. Prosesler Sırasında Ölçülen pH Değerleri ve Madde Bilançosu Analizi	57
4.1.1. Prosesler Sırasındaki Ölçülen pH Değerleri	57
4.1.2. Madde Bilanço Analizi	60
4.2. İşlemler Sonunda Ortaya Çıkan Atık Suyun Özellikleri	64
4.3. Kağıt Hamuru ve Atık Çamurdaki Anorganik-Organik Madde Dengesi	68
4.4. Standart Laboratuvar Test Kağıtlarının Optik Özellikleri	74
4.4.1. Test Kağıtlarının Parlaklık Değerleri	74
4.4.2. Test Kağıtlarının Beyazlık Değerleri	81
4.4.3. Test Kağıtlarının Renk Değerleri	85

4.4.4. INGEDE ve ISO Test Kağıtlarından Mürekkep Uzaklaştırma Etkinliği	
IE ₇₀₀ Değeri	92
4.5. Standart Laboratuar Test Kağıtlarının Temel ve Fiziksel Direnç Özellikleri	95
4.5.1. Test Kağıtlarının Temel Özellikleri	96
4.5.2. Test Kağıtlarının Fiziksel Direnç Özellikleri	99
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	102
5.1.Sonuçlar	102
5.1.1. Madde Dengesi ve Kağıt Hamuru Verimi	102
5.1.2.Optik Testlere Ait Sonuçlar	105
5.1.3. Fiziksel Testlere Ait Sonuçlar	110
5.2. Öneriler	112
6. KAYNAKLAR	114
7. EKLER	121
8. ÖZGEÇMİŞ	129

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa no</u>
Şekil 1.1	Toz halindeki pigmentler	4
Şekil 1.2	Global kağıt karton üretimi ve atık kağıt kullanımının üretimdeki oranı (FAO)	5
Şekil 1.3	Türkiye’de üretilen kağıt karışımının üretimdeki yeri [15]	5
Şekil 1.4	Mürekkep giderme işlemi iş akış şeması	9
Şekil 1.5	Yıkama ve yüzdürme tekniğinin mürekkep uzaklaştırabilme etkinlikleri	12
Şekil 1.6	Dört aşamada yüzdürme işleminin mekanizması [27]	13
Şekil 1.7	Yıkama ile mürekkep giderme işleminin mekanizması [27]	14
Şekil 1.8	Yağ asidi sabununun şematik gösterimi [27]	19
Şekil 1.9	Kalsiyum iyonları ile sabunun etkileşimi [39]	20
Şekil 1.10	Ofset baskı makinesi ve mürekkepleri	24
Şekil 3.1	Çalışmada baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıtları	33
Şekil 3.2	Temel sistem	34
Şekil 3.3	Üst kağıt	34
Şekil 3.4	Orta kağıt	34
Şekil 3.5	Alt kağıt	34
Şekil 3.6	Otokopi kağıt sistemi	35
Şekil 3.7	Rutubet tayini	36
Şekil 3.8	Kül Tayini	36
Şekil 3.9	Çalışmada kullanılan bazı kimyasal maddeler	39
Şekil 3.10	Uygulanan laboratuvar iş akışı şeması	41
Şekil 3.11	Hızlandırılmış ısıtma ve iklimlendirme işlemi	42
Şekil 3.12	Yapılan baskı işlemi ve örnek grupları	42
Şekil 3.13	Hobart tipi pulper ve hamurlaştırma işlemi	44
Şekil 3.14	Hamurlaştırma işlemi sonrası yapılan yıkama işlemi	44
Şekil 3.15	Degusa yüzdürme hücresinin şematik gösterimi [17]	45
Şekil 3.16	Yüzdürme işlemi	46

Şekil 3.17	Kesafet artırma ve soğutucuda saklama işlemi	47
Şekil 3.18	Kağıt hamurları içerisindeki anorganik madde tayini	48
Şekil 3.19	Çamur taslağın oluşturulma işlemi	49
Şekil 3.20	Atık Su İçerisindeki Askıda Katı Madde (AKM) bulunması	50
Şekil 3.21	Atık Su İçerisindeki Çözünmüş Katı Madde (ÇKM) hesaplanması	50
Şekil 3.22	Optik testler için test kağıdı hazırlama işlemi	52
Şekil 3.23	Test kağıtlarına ait CIE L*a*b* renk değerlerinin ölçümü	53
Şekil 3.24	Test kağıtlarının şartlandırılması	55
Şekil 3.25	Kağıdın gerilme eğrisi	56
Şekil 3.26	Kağıdın yırtılma aşamaları	56
Şekil 4.1	Proses aşamaları sırasında ölçülen ortalama pH değerleri	59
Şekil 4.2	Flotasyon süresinin değişken olduğu proseslere ait hamur verimi	63
Şekil 4.3	Flotasyon süresine bağlı olarak uzaklaştırılan flotasyon çamur miktarı ve hamur içerisindeki anorganik madde oranı	63
Şekil 4.4	Flotasyon süresine ve Yıkama yöntemine bağlı olarak atık su içerisindeki pH, ÇKM, AKM ve iletkenlik değişimi	67
Şekil 4.5	Yıkama ve/veya kesafet artırma ünitesi ve anorganik madde tayini	69
Şekil 4.6	Yıkama yöntemine bağlı olarak elde edilen kağıt hamuru ve AKM içerisindeki anorganik-organik madde dengesi	72
Şekil 4.7	Flotasyon süresine bağlı olarak elde edilen kağıt hamuru, uzaklaşan flotasyon çamuru ve AKM içerisindeki anorganik-organik madde dengesi	73
Şekil 4.8	Flotasyon süresi değişkenine ve Yıkama yöntemine bağlı olarak kazanılan ISO parlaklığı	80
Şekil 4.9	Flotasyon süresine değişkenine ve Yıkama yöntemine bağlı olarak kazanılan CIE beyazlığı	83
Şekil 4.10	CIELAB renk modeline ait üç boyutlu renk koordinatları[78]	86

Şekil 4.11	Flotasyon süresine bağlı olarak değişen ΔE^* , ΔL^* , $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ ve b^* değerleri	89
Şekil 4.12	Yıkama yöntemine bağlı olarak değişen ΔE^* , ΔL^* , $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ ve b^* değerleri	90
Şekil 4.13	Flotasyon süresinin ve Yıkama yönteminin mürekkep giderme etkinliği (IE700) değeri üzerine etkisi	95
Şekil 4.14	Standart laboratuvar test kağıtlarının bazı fiziksel direnç özelliklerinden olan SR° , kalınlık ve gramaj hesaplanması	97
Şekil 4.15	Test kağıtlarının kopma ve yırtılma dirençlerinin hesaplanması	99
Şekil 4.16	Flotasyon süresine ve Yıkama yöntemine bağlı olarak değişen test kağıtlarının kopma ve yırtılma indisleri	101
Şekil 5.1	Temel proses aşamaları arasındaki anorganik-organik madde dengesi	103
Şekil 5.2	Temel proses aşamaları arasındaki ISO parlaklık, CIE beyazlık ve IE_{700} değerleri	107
Şekil 5.3	Atık suyun kirlilik derecesini belirleme	107
Şekil 5.4	Temel proses aşamaları arasındaki renk koordinatları	108
Şekil 5.5	Ön deneme çalışmalarında elde edilen kağıt örnekleri	109
Şekil 5.6	Temel proses aşamalarındaki fiziksel testlere ait değişimler	111
Şekil 7.1	INGEDE test kağıdına ait ΔE^* , ΔL^* , $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ ve b^* değerleri	123
Şekil 7.2	Baskılı kontrol grubu proseslerine ait kopma testi değerleri	126
Şekil 7.3	Grup 3 proseslerine ait kopma testi değerleri	127
Şekil 7.4	Grup 5 (Yıkama) proseslerine ait kopma testi değerleri	128

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa no</u>
Çizelge 1.1 Ülkemizde atık kâğıt kullanım oranındaki değişim	3
Çizelge 1.2 Dört farklı atık kâğıt kategorisi için uygulanan iş akışı ve üretilen kâğıt hamurlarının kullanım yerleri [18]	7
Çizelge 1.3 2005-2009 yılları arası ülkemizde tüketilen, üretilen, ihraç ve ithal edilen kâğıt ve karton miktarları (ton) [15]	8
Çizelge 1.4 Yüzdürme sisteminin etkinliğini belirleyen önemli parametreler	14
Çizelge 1.5 Yüzdürme ile mürekkep uzaklaştırma iş akışında kullanılan kimyasal maddeler [30]	17
Çizelge 1.6 Yüzey aktif maddesi iyonikliği [40]	20
Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan baz kâğıtlara ait bazı fiziksel ve optik Özellikler	37
Çizelge 3.2 Laboratuvar çalışmasında uygulanan şartlar	46
Çizelge 4.1 Proses aşamaları sırasında ölçülen pH, iletkenlik ve ÇKM (Toplam Çözünmüş Katı Madde) değerlerine ait bulgular	59
Çizelge 4.2 Hamurlaştırıcıya giren ve yüzdürme veya yıkama işlemleri sonrası çıkan katı madde miktarlarına ait bulgular	61
Çizelge 4.3 Proseslere ait atık suların kimyasal analiz değerleri	66
Çizelge 4.4 Kâğıt hamuru ve atıklardaki anorganik-organik madde dengesi	71
Çizelge 4.5 Çalışma proseslerine ait test kâğıtlarının ISO parlaklık değerleri	76
Çizelge 4.6 Çalışma proseslerine ait test kâğıtlarının CIE beyazlık değerleri	82
Çizelge 4.7 Çalışma proseslerine ait CIE L* a* b* değerleri	87
Çizelge 4.8 Standart INGEDE ve ISO test kâğıtlarına ait renk değerleri	88
Çizelge 4.9 Test kâğıtlarından mürekkep uzaklaştırma etkinliği (IE ₇₀₀) değeri	94
Çizelge 4.10 Standart test kâğıtlarına ait bazı fiziksel özellikler	98
Çizelge 4.11 Standart test kâğıtlarının fiziksel direnç özellikleri	100
Çizelge 7.1 Çalışma proseslerinden INGEDE test kâğıtlarına ait CIE L* a* b* değerleri	121
Çizelge 7.2 INGEDE ve ISO test kâğıtlarına ait sarılık (ASTM D1925) değerleri	122
Çizelge 7.3 Standart test kâğıtlarına ait kopma direnç özellikleri	124

SEMBOL VE KISALTMA LİSTESİ

CEPAC	Confederation of the European Paper Industry
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
SiO ₂	Silisyum Dioksit
Na ₂ O	Sodium oxide
(OOH-)	perhidroksil
FAS	Formamidin Sülfirik Asit
NaOH	Sodyum Hidroksit
NaBH ₄	Sodyum Borhidrür
DTPA	Dietilentiaininpentaasetik Asit
EDTA	Etilendiamintetraasetik Asit
ONP	Flexographically
PTS	Papier Technische Stiftung
CaCl ₂	Kalsiyum Klorür
ÜK	Üst Kağıt
OK	Orta Kağıt
AK	Alt kağıt
HIY	Hızlandırılmış Isıl Yaşlandırma
PE	Polietilen
ABH	Baskısız Beyaz Hamur
ASH	Baskısız Sarı Hamur
AYH	Baskısız Yeşil Hamur
BBH	Baskılı Beyaz Hamur
BSH	Baskılı Sarı Hamur
BYH	Baskılı Yeşil Hamur
BH	Beyaz Hamur
SH	Sarı Hamur
YH	Yeşil Hamur
ABK	Baskısız Beyaz Otokopi Kağıdı

ASK	Baskısız Sarı Otokopi Kağıdı
AYK	Baskısız Yeşil Otokopi Kağıdı
BBK	Baskılı Beyaz Otokopi Kağıdı
BSK	Baskılı Sarı Otokopi Kağıdı
BYK	Baskılı Yeşil Otokopi Kağıdı
AKM	Askıda Katı Madde
ÇKM	Çözünmüş Katı Madde
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
µm	Mikrometre
NACI	Sodyum Klorür
ISO	International Standards of Organisations
SR°	Schopper-Riegler(Hamur süspansiyonu serbestlik değeri
AÇÜ	Artvin Çoruh Üniversitesi
BTÜ	Bursa Teknik Üniversitesi
CIELAB	CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) tarafından 1976 yılında geliştirilen ve kağıt renk ölçümü için resmi olarak önerilen bir sistem.
IE 700	700 dalga boyunda görülebilen mürekkep giderme analiz değeri (Ink Elimination 700)
dak	Dakika

ÖZET

Otokopi Kağıtlarının Mürekkep Giderme Etkinliğinin İncelenmesi

Yalçın KOCABEY

Bursa Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Sami İMAMOĞLU

Tez Sunum Tarihi : 25/12/2015, Sayfa Sayısı : 129

Tarih boyunca, bilgi depolama ve aktarımında önemli bir yere sahip olan kağıt, ilerleyen teknolojiye rağmen çeşitli amaçlar için hayatın her kademesinde yer almakta, giderek tüketimi ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Kâğıt endüstrisinde hammadde problemini azaltmak ve/veya gidermek için, sürdürülebilir ormancılık faaliyetlerinden daha ziyade, sürdürülebilir geri dönüşüm yöntemlerini geliştirmek daha uygun olmaktadır. Bu sayede ormansızlaşma, çevre kirliliğinin önlenmesi ve tüketicilerin çevre bilincinin gelişmesi noktasında büyük ilerlemeler kaydedilmektedir. Geri dönüşümde arzu edilen kağıdın elde edilebilmesi için atık kağıt üzerindeki baskı mürekkepleri ve kağıt yapımı sırasında olumsuzluk oluşturan diğer maddelerin uygun yöntemle uzaklaştırılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında Bursa Renkvizyon Matbaa'da tek yüzeylerine baskı işlemi yaptırılan, A4 boyutlu ofis kağıtları grubuna giren kendinden kopyalı “Üç Yaprak Sistemi” otokopi kağıtlarına laboratuarda hızlandırılmış ısıtma ve yaşlandırma ve iklimlendirme işlemi yapılmış; ön denemelerle belirlenen optimum proses şartları ve kimyasal madde konsantrasyonları kullanılarak hamurlaştırılan kağıt hamurlarının mürekkebi yıkama ve flotasyon yöntemleri ile giderilmeye çalışılmış ve bu yöntemlerin; hamurun mürekkep giderme etkinliği, fiziksel direnç ve optik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

Elde edilen analiz ve testlere göre flotasyon yöntemiyle mürekkebi giderilen proseslerde artan flotasyon süresinin ilk 13 dakikasına kadar hamurun optik ve fiziksel değerlerinde yükselme olduğu ancak bu dakikadan sonra fazla bir yükselme olmamakla birlikte bazı proseslerde düşüş kaydedilmiştir. Mürekkep giderme

etkinliği IE₇₀₀; BH (Beyaz Hamur)'de % 90.35, SH (Sarı Hamur)'de % 79 ve YH (Yeşil Hamur)'de % 79.4'e ulaşırken, yıkama yöntemiyle mürekkebi giderilen proseslerde bu değerler sırasıyla % 94.66, % 79.91 ve % 82.12 olarak tespit edilmiştir. İşlemler sonunda kağıt, kağıt hamuru, flotasyon çamuru ve atık su analizleri yapılarak sonuçlar yorumlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Atık Kağıt Geri Dönüşümü, Yıkama ve Flotasyon İşlemi ile Mürekkep Giderme, IE₇₀₀ Etkinliği

SUMMARY

Investigation on Deinkability Activity of Waste Carbonless Paper

Yalçın KOCABEY

Bursa Technical University

Institute for Graduate Studies in Science and Technology

Department of Forest Industry Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Sami İMAMOĞLU

Date of Thesis Submission : 25/12/2015, Page Number: 129

Throughout history, the paper which has an important role in information storage and transferring takes part in all stages of human life for various purposes. Due to this reason, the consumption of paper is reaching serious levels in spite of advancing technology. In order to reduce and/or solve the problem of raw material in the paper industry, developing sustainable recycling methods is more suitable rather than sustainable forestry activities. Thus, major advances are recorded in the prevention of deforestation, environmental pollution, and development of consumers' environmental consciousness. In order to obtain desirable paper in recycling, ink on the waste paper and other substances which cause problem during papermaking must be eliminated by suitable method.

In this thesis, self-copied “Three Leaf System” autocopy papers which were categorised to the group of A4 office paper and printed to one side in Bursa Renkvizyon Press were treated with accelerated thermal aging and air conditioning processes in the laboratory. The optimal conditions and chemical concentrations were determined by preliminary tests. In these optimal conditions, the ink of pulp which separated individual fibers was tried to be eliminated by washing and flotation methods and the effects of these methods on the efficiency of ink elimination, physical resistance and optical properties were researched.

According to analysis and test results, in the processes of ink elimination with flotation methods, the optical and physical values of pulp were increased until the first 13 minutes of flotation time but after this time, there was not much change on this values and it was also observed decrease in some processes. While the efficiency of ink elimination IE_{700} reach to 90.35 % in BH (White Pulp), 79 % in SH (Yellow

Pulp) and 79.4% in YH (Green Pulp), this values in the ink elimination by using washing method were determined as 94.66 %, 79.91% and 82.12 %, respectively. At the end of all processes, the analysis results of paper, paper pulp, flotation mud and waste water were evaluated.

Key Words: Waste Paper Recycling, Ink Elimination with Washing and Flotation Process, IE₇₀₀ Efficiency

1. GENEL BİLGİLER

Giriş

İlk insanlar haberleşmek ve bilgileri kayıtlamak amacıyla mağara duvarlarına ve taşlar üzerine resimler çizmişlerdir. Daha sonraları ise yumuşak taşlar, kil tabletleri, hayvan kemikleri, odun parçaları, ağaç kabukları, metal levhalar ve hayvan derileri üzerine yazı yazma yoluna gitmişlerdir. Kâğıdın atası ve birçok dilde ona adını veren Papirus'tur. Papirus adı bir kamış varyetesi olan ve Nil nehri kıyısında yetişen Papyrus Antiquorum bitkisinden gelmektedir. Papirus üretiminin ilk ne zaman gerçekleştiği tam olarak bilinmemekle birlikte ilk Mısır Krallarına ait mezarlarındaki bulgular, bu üretimin milattan önce 3100–2900 yıllarına kadar gittiğini göstermektedir [1]. M.Ö.356–323 yıllarında Büyük İskender Mısır'ı fethedince Yunanlılar Papirus'u öğrendiler. Daha sonra, oradan da kullanımı İtalya'ya ve Akdeniz'e yayılmıştır [2].

Kâğıt benzeri ilk malzemenin MÖ 105 yılında Tsue Lun tarafından bulunduğu kabul edilse de, başka kaynaklarda Orta Asya bölgesindeki mezar kazılarına göre kâğıdın aslında çok daha önceleri Çin dışında kullanıldığı bildirilmektedir. İlk zamanlarda son derece değerli bir malzeme olan kâğıt, çok kısıtlı sayıda ve kontrol altında el ile üretilmekte, devlet yazışmaları, fermanlar ve değerli evraklarda kullanılmaktaydı [3-4].

Uzun yıllar kâğıt üretiminde yıllık bitkiler(papirüs, pamuk, keten, kabuk, kendir, kenevir, jüt, saman vb.), tarımsal üretim artıkları ve eski paçavra kumaşlar kullanılırken, 1850'li yıllarda ağaçların da hammadde olarak selüloz lifi üretiminde kullanılmaya başlandığını görmekteyiz. Dolayısıyla bulunmasından sonra yaklaşık 200 yıl otsu bitkileri ve lif kaynaklı atıkları kullanarak çevre dostu bir üretim sergileyen kâğıtçılık, ne yazık ki artan insan nüfusu, ürün çeşidi, aşırı tüketim ve endüstri devrimi sonucu seri üretime geçmek zorunda kalmış, daha fazla hammaddeye ihtiyaç duymuş ve ormanlara yönelmiştir. Kaçınılmaz olarak elbette, orman kaynakları durmadan artan ihtiyaçları ve tüketimi karşılayamaz hale gelmiş, bu nedenle kâğıt ve karton endüstrisi geri kazanım konusuna ağırlık vermek zorunda kalmıştır. Yakın zaman içerisinde hammaddenin dengeli ve akılcı kullanımı amacıyla bazı ülkelerde 3R kuralı diye bir prensip ileri sürülmüştür. Azalt+Tekrar Kullan+Geri Kazan (Reduce+Reuse+Recyle) şeklinde formüle edilen yaklaşıma göre

dengelesiz ve aşırı kaynak israfına dikkat çekilmektedir. Sınırlı kaynakların yeterli kullanılmasında israfın önüne geçilmesi ve aşırı tüketim alışkanlığının önlenerek, tüketici diye tanımlanan insanların bilinçlendirilmesi son derece önemlidir [3].

Kağıtçılığın tarihi incelendiğinde aslında atıkların değerlendirilmesi oldukça geçmişe dayanmaktadır [5]. Şu an kullandığımız endüstriyel kağıt üretim yöntemlerinin yaklaşık 2000 yıl önceki keşfinden önce kağıt için gerekli lif kaynağı, tamamen ikincil lifleri içeren eski tekstil ürünlerinden elde edilebilmekteydi.

Endüstriyel kağıt üretiminin keşfinden yıllar önce 1799 yılında keşfedilen ilk kağıt makinesi ile paçavralardan üretilen kırtasiye ve yazı kağıtları geri dönüştürülerek düşük sınıflı kartonların üretiminde kullanılmıştır. Ayrıca 1774 yılında Almanya Göttingen’de Claproth, kullanılmış kağıtlardan el yapımı kağıt üretim prosesi geliştirmiştir. Bu prosesin en önemli özelliği ise bugün mürekkep uzaklaştırma sistemlerinde olduğu gibi mürekkebi atık kağıtlardan uzaklaştıran ilk sistem oluşudur [6].

1843 yılında mekanik hamur üretiminin, 19. yüzyılın ikinci yarısında da kimyasal hamur üretim tekniklerinin keşfedilmesi ile kağıt hamuru üretimi için ikincil liflerin kullanılmasına artık ihtiyaç kalmamış ve bunun sonucu olarak hızla artan talebi karşılayabilmek için uzun yıllar boyunca tüm kağıt ve karton, odun bazlı bakır hamurlardan üretilmiştir [7].

Son yıllarda ise azalan orman kaynakları ile birlikte hızla artan talebi karşılayabilmek için Batı Avrupa ve Japonya’nın öncülüğünde atık kağıdın geri kazanılması tekrar önem kazanmaya başlamıştır [5]. Günümüzde atık kağıt geri kazanma sistemleri, yasal yaptırımlar sayesinde kağıt ve kağıt hamuru fabrikalarının vazgeçilmez prosesleri haline gelmiştir.

Herhangi bir kullanım alanında fonksiyonunu tamamlayan ve atılan her türlü kâğıt, karton ve mukavvalara atık kâğıt denilmektedir [12]. Atık kâğıtların geri dönüşümündeki esas amaç; çok farklı kaynaklardan gelen ve homojen bir yapı sergilemeyen atık kâğıt hammaddesini istenilen türdeki kâğıt üretimi için uygun özellikte olan temiz ve homojen bir hamura çevirmektir [8].

Kağıt endüstrisinde ikincil lif kullanımının artmasının nedeni olarak aşağıdaki şu maddeleri sıralayabiliriz [9].

- ☐ Orman kaynaklarının giderek artan hammadde talebini karşılayamayacak hale gelmesi
- ☐ Kentlerde yok edilmesi büyük sorun oluşturan katı atık yükünün giderek artması
- ☐ Mürekkep giderme, temizleme, ağartma ve diğer atık kağıt işleme teknolojilerindeki hızlı gelişmeler
- ☐ Tüketicilerin çevre bilincinin artması
- ☐ Atık kağıt kullanımına yönelik yasal zorunlulukların getirilmesi
- ☐ Geniş çaplı geri dönüşüm projelerinin ekonomik açıdan cazip hale gelmesi

Ülkemizde kazanılan atık kâğıdın çok büyük kısmı oluklu mukavva ve gri karton üretiminde kullanılmaktadır. Oysa birçok gelişmiş ülkede olduğu gibi atık kâğıtların, içerdikleri mürekkep ve kirliliklerden arındırılarak yazı tabı kâğıtlara dönüştürülmesi gerekmektedir. Ülkemizde de atık kâğıttan bu şekilde faydalanılması yolunda girişimlerde bulunulması gerekmektedir [10]. Çizelge 1.1’de geçmiş yıllara ait ülkemizdeki atık kâğıdın kullanım ve geri kazanım oranları verilmiştir [11].

Çizelge 1.1 Ülkemizde atık kâğıt kullanım oranındaki değişim

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

Atık kâğıtlar, değişik metotlar ile üretilmiş farklı özelliklerdeki kağıt hamuru harmanları, çeşitli dolgu maddeleri ve çok değişik kimyasal katkı maddeleri içerebilirler. Buna bağlı olarak lif kalitesi, işlenebilirliği ve işlem sonunda elde edilecek ürün verimi, kalite ve maliyetinde ciddi farklılıklar olur [11].

Genel olarak atık kâğıt kalitesini belirleyen bazı parametreler aşağıda sıralanmıştır [5-12].

- ☐ Hamurdaki lif uzunluğu
- ☐ Hamurun serbestlik derecesi

- ☐ Kâğıtların ıslak sağlamlık derecesi
- ☐ Mekanik hamur içeriği
- ☐ Parlaklık
- ☐ Mürekkep içeriği ve benekler
- ☐ Kül içeriği
- ☐ Kirlilikler (lif harici maddeler)

Atık kâğıtların değerlendirilmesi sürecinde, “mürekkep giderme işlemlerini” elde edilecek ürün kalitesini en çok etkileyen proses olarak saymak mümkündür. Mürekkep giderme metotlarında, kâğıt hamurundaki özellikle renk koyulaştırıcı bütün kirliliklerin uzaklaştırılmasına çalışılır ve sonunda parlaklık değeri yüksek beyaz elyaf elde edilir. Kâğıtçının öncelikle değerlendireceği atık kâğıdı iyi tanıması, uzaklaştırmaya çalıştığı kirliliklerin özelliklerini ve kâğıda nasıl tutunduğunu iyi bilmesi son derece önemlidir [8].

Mürekkep, bir tasarımın belirli materyaller üzerine basılarak çoğaltılabilmesini sağlayan akışkan haldeki homojen renkli karışımdır. Mürekkep aşağıda gösterilen bileşenlerden oluşan karmaşık mamuller grubudur [13-8].

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

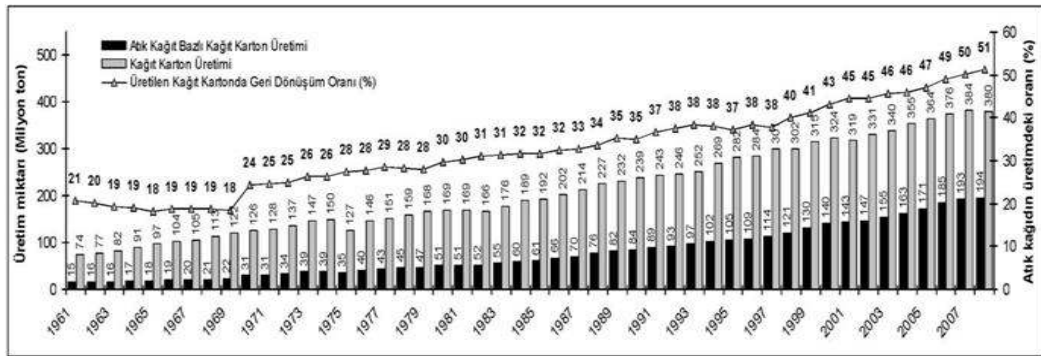
Temel olarak mürekkepte renk veren mineral kısım pigmentlerden oluşur (Şekil 1.1). Bu pigmentlerin liflere bağlanması, tutunması için bazı polimerler ve reçinelerde bulunur. Diğer önemli ve büyük bir bileşende sıvı taşıyıcı kısım. Taşıyıcı bileşen, su, yağ veya bazı solventler olabilir ve görevi mürekkebin belli bir kıvamda kâğıda kolay transfer edilebilmesini sağlamaktır [13-8].



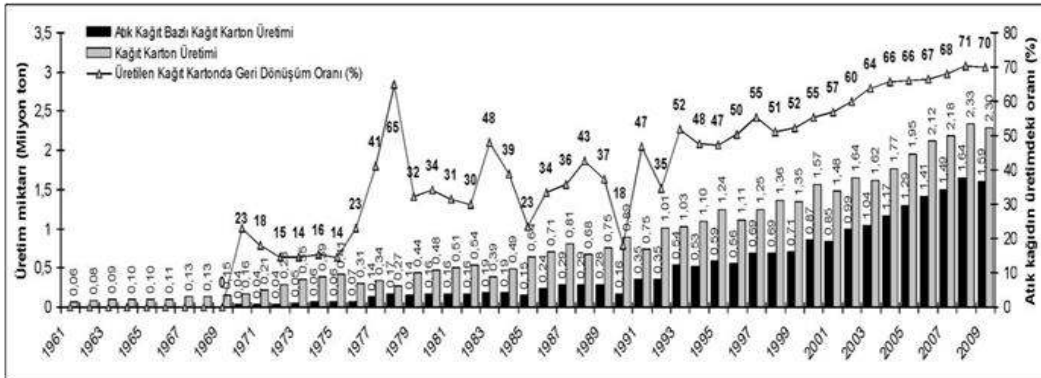
Şekil 1.1 Toz halindeki pigmentler

Şekil 1.2’de dünyamızda üretilen toplam kağıt karton üretim miktarları ve atık kağıt geri dönüşüm oranları görülmektedir. Grafiği incelediğimizde FAO’nun verilerine göre 1961 yılında toplam kağıt-karton üretimi 74.154.896 ton iken 2008 yılında nüfus artışı ve dolayısı ile kağıda olan talep artışı ile birlikte yaklaşık beş kat büyümeye 379.785.461 tona çıkmıştır. Bununla birlikte artan hammadde sıkıntısı ve tükenen kaynaklar nedeniyle atık kağıt dönüşüm oranlarında da artış gözlenmektedir. 1960 ve 1970’li yıllarda üretilen kağıdın yaklaşık % 20’si atık kağıtlardan üretilirken bugün üretilen kağıdın % 51’i atık kağıtlardan üretilmektedir [14].

Ülkemizdeki durumu inceleyecek olursak, Şekil 1.3’te FAO ile Selüloz ve Kağıt Sanayi Vakfının (2010) verileriyle oluşturulan grafikten görüldüğü gibi kağıt karton üretim miktarımız 1961 yılında FAO’nun verilerine göre 63.600 ton iken 2009 yılında toplam üretim miktarımız selüloz ve kağıt sanayi vakfının verilerine göre toplam 2.295.308 tona kadar artmıştır. Gerçekleştirilen kağıt-karton üretiminin 2009 yılında % 70 gibi önemli kısmı ise atık kağıtlardan üretilmiştir. 2009 yılında tüketmiş olduğumuz kağıt karton miktarı 4.324.994 ton olup tüketilen kağıdın yaklaşık % 41’i tekrar üretime geri kazandırılabilmiştir. Geriye kalan 2.237.877 ton kağıt ve karton ise ithalat yolu ile tedarik edilmiştir [15].



Şekil 1.2 Global kağıt karton üretimi ve atık kağıt kullanımının üretimdeki oranı (FAO)



Şekil 1.3 Türkiye’de üretilen kağıt karışımının üretimdeki yeri [15]

Atık kağıt proseslerindeki temel amaç, bir çok kaynaktan elde edilen heterojen yapıdaki atık kağıt hammaddesini, istenen türdeki kağıt hamuru üretimi için temiz ve yeknesak kağıt hamuru haline çevirmektedir. Bilindiği üzere atık kağıt hamurları birincil kağıt hamurlarından farklı olarak, elde edildikleri kağıt türüne ve uğradıkları işlemlere göre bir takım lif dışı katkı maddeleri ile karışım halinde bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri, mineral dolgu maddeleri, nişasta, iç yapıştırma ve yüzey tutkalları, boyalar, kuşe tabakası ve baskı mürekkepleridir. Temiz, homojen ve daha parlak bir kağıt hamurunun elde edilebilmesi için yukarıda belirtilen tüm safsızlıkların fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemler ile modifiye edilmesi veya uzaklaştırılması gerekmektedir.

Atık kağıtlar, farklı karışımlar halinde kullanılması durumunda düşük değerli hammadde kaynağı iken, iyi bir sınıflandırma ve temizleme işlemi yapılması durumunda yüksek değerli hammadde kaynağına dönüşebilmektedir [16].

Ülkelere göre toplanan atık kağıtlar birçok kalite sınıflarına ayrılmıştır. Örneğin CEPAC (Confederation of the European Paper Industry) 4 ana grup ve bunlara bağlı 49 alt grup olarak sınıflandırılırken, İngiltere, 11 ana grup ve 68 alt grup, Almanya, 4 ana grup ve 40 alt grup, Japonya ise 9 ana grup ve 26 alt grup olarak sınıflandırmışlardır [17]. Ülkemizde ise TSE kurumu 1989 yılında 4 ana grup ve 11 alt grup olmak üzere bir sınıflandırma sistemi yayınlanmasına rağmen kağıt karton sektörü tarafından tam olarak benimsenememiştir.

Atık kağıt proses tasarımı, öncelikle işlenecek olan kağıt niteliğine ve son ürün kullanım yerine bağlı olarak farklı şekillerde planlanmakta ve uygulanmaktadır. Diğer yandan, uzaklaştırılması istenen lif dışı materyalin türü ve miktarı, etkin enerji ve proses suyu kullanım isteği ile öngörülen verim düzeyi ve kayıpların geri dönüştürülme isteği gibi birçok faktör proses tasarımına karar vermede belirleyici etkenlerdendir. Bütün bu sayılanlar proses tasarımı için önemli etkenler olmasına rağmen Çizelge1.2’de verildiği gibi genel olarak endüstride 4 temel uygulama şekli vardır [18].

Çizelge 1.2 Dört farklı atık kağıt kategorisi için uygulanan iş akışı ve üretilen kağıt hamurlarının kullanım yerleri [18]

Atık Kağıt Kategorisi	Prosesler	Kullanım Yeri
Karışık Kağıtlar	Hamurlaştırma, Kaba Kir Uzaklaştırma	Gri Karton Üretimi, Kalıp Kartonlar
Oluklu Mukavva Kağıtları	Hamurlaştırma, Kir Uzaklaştırma Fraksiyonlama, Dispersiyon	Oluklu Mukavva Liner Katı, Torba Kağıdı
Gazete ve Magazin Kağıtları	Hamurlaştırma, Kir Uzaklaştırma, Mürekkep Giderme, Dispersiyon (Ağartma)	Gazete Kağıdı, Dergi kağıdı
Ofis Kağıtları	Hamurlaştırma, Kir Uzaklaştırma, Mürekkep Giderme, Dispersiyon, Ağartma	Yazı ve Baskı Kağıdı, Temizlik Kağıdı

Çizelge 1.2’de görüldüğü gibi karışık kağıtlar hariç tüm kağıt kategorileri yine aynı kağıdın üretimi için kullanılmaktadır. Oysa ülkemizde atık kağıtların büyük kısmı oluklu mukavva üretiminde ve karışık kağıtlar olarak değeri fazla olmayan karton üretiminde kullanılmaktadır [14].

Çizelge 1.3’de Selüloz ve Kağıt Sanayi Vakfı’nın verilerine göre Türkiye’de tüketilen, üretilen ve dışarıdan tedarik edilen kağıt ve karton türlerinin ton cinsinden miktarları yer almaktadır. Tablo incelendiğinde 2009 yılında % 38’lik oran ile en fazla tüketilen ürünün ambalaj sanayisinde kullanılan oluklu mukavva olduğu görülmektedir. Tüketilen oluklu mukavvanın yaklaşık % 69’u ülkemiz tarafından üretilmektedir. Oluklu mukavvayı, % 22’lik oranla yazı tabı kağıtları takip etmektedir. Yazı tabı kağıtlarının da yaklaşık % 33’ü ülkemizde üretilmektedir. En fazla tüketilen üçüncü ürün % 17’lik oranla kartonlar olup % 56’sı iç piyasadan sağlanabilmektedir. Temizlik kağıdı üretiminde ise ülkemiz tükettiği kağıdın tamamını üretebilirken bir kısmını da ihraç etmektedir. En fazla tüketilen dördüncü kağıt türü ise % 11’lik oran ile gazete kağıdıdır [14].

Çizelge 1.3 2005-2009 yılları arası ülkemizde tüketilen, üretilen, ihraç ve ithal edilen kağıt ve karton miktarları (ton) [15]

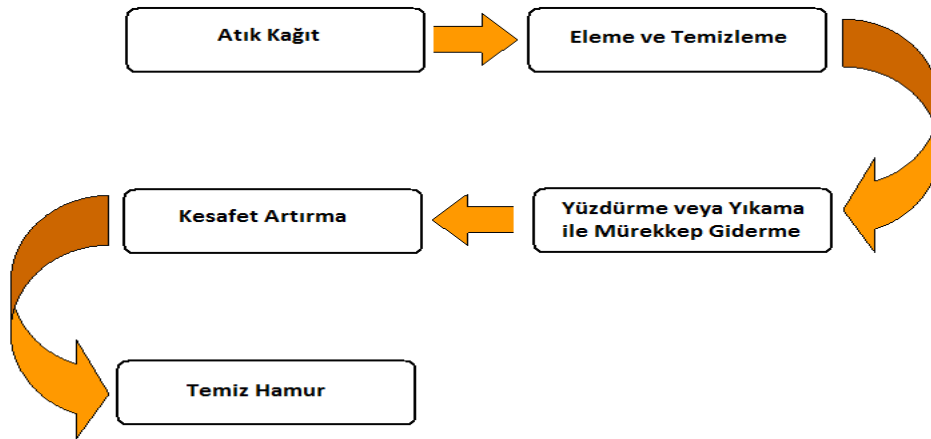
		2005	2006	2007	2008	2009
Gazete Kağıdı	Yurt İçi Tüketim	522.169	575.846	556.540	535.361	467.999
	Üretim	21.000	15.000	5.000	0	0
	İthalat	501.788	561.273	551.918	536.397	468.998
	İhracat	619	427	378	1.036	999
Yazı-Tabı Kağıtları	Yurt İçi Tüketim	793.704	856.161	996.565	942.551	931.803
	Üretim	342.366	345.261	337.348	323.621	309.163
	İthalat	483.632	549.818	689.459	651.763	641.308
	İhracat	35.125	33.360	34.365	30.029	21.521
sargılık Kağıtları	Yurt İçi Tüketim	126.739	131.464	117.339	125.154	121.012
	Üretim	23.477	21.616	18.600	22.500	22.500
	İthalat	124.461	135.164	129.754	142.107	134.152
	İhracat	22.690	24.943	31.388	39.453	35.640
oluklu Mukavva Kağıtları	Yurt İçi Tüketim	1.347.752	1.492.168	1.603.007	1.578.874	1.640.736
	Üretim	922.629	1.012.176	1.026.475	1.170.806	1.125.833
	İthalat	456.821	520.036	627.473	545.857	563.056
	İhracat	27.187	34.330	37.230	95.448	71.513
Kraft Torba Kağıtları	Yurt İçi Tüketim	103.435	103.770	212.578	100.055	101.052
	Üretim	43.318	47.236	69.349	55.030	52.574
	İthalat	66.393	61.855	160.180	55.389	54.941
	İhracat	5.736	5.120	13.344	12.042	7.635
Kartonlar	Yurt İçi Tüketim	662.745	733.532	772.935	698.763	727.049
	Üretim	396.095	430.631	451.777	432.454	410.973
	İthalat	313.660	332.182	389.004	334.835	354.261
	İhracat	42.122	47.635	59.434	58.930	42.829
Temizlik Kağıtları	Yurt İçi Tüketim	168.212	205.393	235.399	263.348	319.108
	Üretim	195.472	238.438	270.668	322.500	369.265
	İthalat	12.818	16.036	12.392	7.559	8.914
	İhracat	40.840	43.562	47.659	66.320	60.056
Sigara ve İnce Özel Kağıtlar	Yurt İçi Tüketim	15.392	14.295	14.215	15.955	16.235
	Üretim	7.500	7.500	5.000	5.000	5.000
	İthalat	7.976	6.872	9.317	11.070	12.247
	İhracat	84	77	102	115	1.012
TOPLAM TÜKETİM		3.740.148	4.508.578	4.508.578	4.324.994	4.324.994

Kağıt karton üretimi dışında dikkat edilmesi gereken diğer bir husus üretimimiz için gerekli hammaddeyi nasıl sağladığımızdır. Hammadde ihtiyacımızın % 70'i atık kağıtlardan temin edilirken geri kalan selüloz ve kağıt hamuru ihtiyacının tamamı dış ülkelerden temin edilmektedir. Bugün ne yazık ki yüksek maliyet, hammadde sıkıntısı ve yatırımsızlık nedeniyle ülkemizde kağıt hamuru üretimi artık yapılamamaktadır. Sonuç olarak ülkemizin yaklaşık 4.3 milyon tonluk kağıt karton tüketiminin yalnız 2.3 milyonu iç piyasada üretilirken geriye kalan 2 milyon tonu

ithalat yoluyla tedarik edilmektedir. Bu veriler incelendiğinde, atık kağıt dönüşümümüzün % 41'den daha yukarılara çıkarmak gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla yazı-baskı kağıdı üreten fabrikaların üretim proseslerinin atık kağıt ve mürekkep giderme sistemleri ile desteklenmesi ve üretim kapasitelerinin artırılması gerekmektedir. Aynı şekilde şu an atıl durumda olan mekanik hamur üreten tesislerinde atık kağıt işleme tesisleri ile desteklenip üretim maliyetleri makul seviyelere getirilerek üretim kapasiteleri artırılmalı ve tekrar faaliyete geçirilmelidir [14].

1.1. Atık Ofis Kağıtlarından Kağıt Hamuru Üretimi

Daha çok işyerleri ve okullarda kullanılan fotokopi, defter, yazıcı kağıtları gibi veya matbaa ve kesim tesislerinin mekanik hamur oranı düşük beyaz kağıt içerikli atık veya artıkları, yüksek optik niteliklerinin istendiği temizlik ve yazı kağıdı üretiminde kullanılan sekonder lif kaynaklarıdır. Şekil 1.4'te atık ofis kağıtlarının işlenebileceği basit bir proses dizaynı verilmiştir. Buna göre temel prosesleri altı başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar; pulper içerisinde atık kağıtların hamurlaştırılması, temizlik ve eleme işlemleri, flotasyon işlemi, kesafet artırma, dispersiyon ve kulede ağartma olarak sıralanabilir [17].



Şekil 1.4 Mürekkep giderme işlemi iş akış şeması

1.2.1. Hamurlaştırma İşlemi

Hamurlaştırıcı (pulper) içerisinde liflerin serbest hale geçirilmesi, atık kağıt iş akışının ilk basamağını oluşturmaktadır. Hamurlaştırmanın temel fonksiyonları, erken aşamada kaba kirliliklerin ortamdan uzaklaştırılması, atık kağıtların bireysel lifler haline getirilmesi, mürekkebin taşıyıcı tabakasının hidroliz edilip mürekkep

pigmentlerinin serbest hale getirilmesi, ağartıcı ve mürekkep giderme işlemi için gerekli kimyasalların sisteme verilmesi olarak sıralanabilir [19].

Bu amaçla uygulamalarda kesikli veya sürekli çalışan 10-20 ton kapasiteli hidropulperler kullanılmaktadır. Hidropulper olarak % 10-18 arasında kuru madde oranı ile çalışan orta veya yüksek konsantrasyonlu helikopulperler tercih edilmektedir. Ayrıca etkili bir kir uzaklaştırma için silindir tipi pulperler de kullanılabilir. Pulper konsantrasyonunun yüksek olmasının avantajları şunlardır [19].

- ❖ Lifler üzerindeki mürekkebin ayrılmasını hızlandırır, dolayısı ile işlem sonrası daha temiz bir hamur elde edilir.
- ❖ Hamurlaştırma işlem süresi daha kısadır.
- ❖ Lifler arasında sürtünmenin daha fazla olması sebebiyle mürekkebin dispersiyonu hızlanır.
- ❖ Enerji tüketimi bir ton hamur için daha düşüktür.
- ❖ İlave edilen mürekkep giderici ve ağartıcı kimyasal maddelerin lifler ile etkileşimi daha hızlı gerçekleşir.

İlk aşamada belirli miktardaki atık kağıt pulper içerisine alınır ardından su ve gerekli kimyasal maddeler ilave edilir. Pulper kesafeti, sıcaklığı, süresi ve ilave edilen kimyasal maddelerin oranı pulper işleminin etkinliğini belirleyen en önemli faktörlerdendir [24]. Pulper sıcaklığının artması ile hamurlaştırma süresi kısaltılabilir. Çünkü yüksek sıcaklık, mürekkep ve diğer kirlerin yumuşayarak lif yüzeyinden sökülmesini hızlandırırken diğer yandan kimyasal maddelerin etkinliği artar [25]. Atık kağıdın ıslanması büyük oranda pulper koşullarına bağlı olmakla birlikte kağıt türü ve ağırlığının da etkisi oldukça fazladır. Bilindiği gibi kağıtlar su içerisine bırakıldıklarında hidrojen bağlarının su molekülleri ile bağlanması sonucu lifler arası bağların kuvveti azalmaktadır. Eski oluklu mukavvalar içerdikleri hava nedeniyle gazete kağıdına kıyasla çok daha zor ıslanmaktadır [5]. Islanmış kağıtlarda bağlanma zayıf olmakla birlikte kağıt türüne göre farklılık göstermektedir. Kopma uzunluğu gazete kağıtları için 3300 m, yazı tabı kağıtları için 5860 m ve kraft kağıdı için 8100 m kadardır [5-21].

Hamurlaştırma işlemi sonrası liflerine ayrılmış hamur seyretilerek perfore elekten geçirilerek, deflaker (düğüm çözücü), temizleme ve eleme elemanlarına sevk edilir.

1.2.2. Temizleme ve Eleme İşlemleri

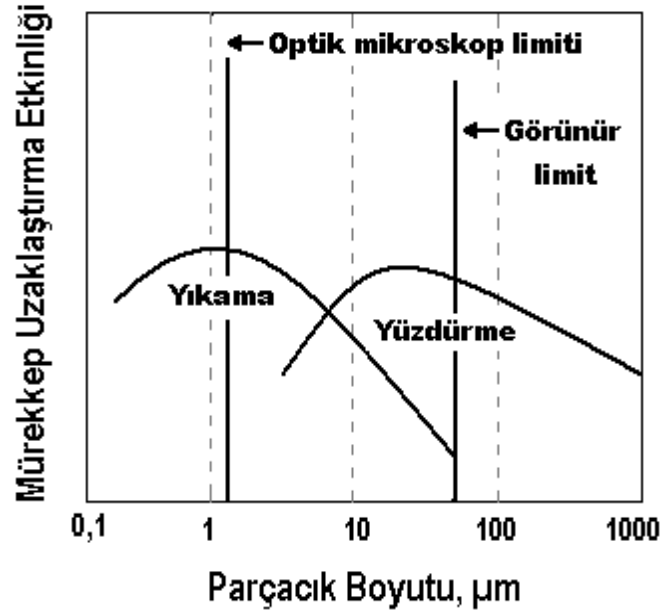
Temizleme ve eleme işlemlerinin amacı, lif dışı kirlerin en az lif kaybıyla kağıt hamuru içerisinde uzaklaştırmaktır. Eleme işlemlerinde kuşkusuz kirlerin biçimi, boyutu uzaklaştırılabilmesi açısından oldukça önemlidir. Santrifüj temizleyiciler kullanılması durumunda ise kirlerin yoğunluğu etkin faktördür. Eleme sistemlerini kaba ve ince olarak iki kısma ayırmak mümkündür. Kaba eleme, adından da anlaşılacağı üzere boyutça fazla olan kirlerin uzaklaştırılmasını ve ince eleme yapan sistemin aşırı yüklenmesini engellemektedir. İnce eleme ise daha küçük kirlerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca atık kağıt işleme sistemlerinde santrifüj temizleyiciler de fazlaca kullanılmaktadır. Santrifüj temizleyiciler kirin boyutu ve yapısına göre üçe ayrılmaktadır [5].

- Yüksek yoğunluklu, yüksek konsantrasyonda çalışan temizleyiciler: Kağıt atacı, cam, kum taşı gibi yüksek yoğunluklu, orta boylu kirlerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır.
- Yüksek yoğunluklu, düşük konsantrasyonda çalışan temizleyiciler: ince kum, yapışkan, kuşe yüzeyleri, bazı mürekkepler gibi yüksek yoğunluklu (>1.0) küçük boyutlu kirlerin uzaklaştırılması için kullanılmaktadır.
- Düşük yoğunluklu, düşük konsantrasyonda çalışan temizleyiciler: Vaks, plastik ve bazı yapışkanlar gibi düşük yoğunluklu (<1.0) ufak kirlerin uzaklaştırılması için kullanılmaktadır.

1.2.3. Yüzdürme (Flotasyon) Yöntemi ile Mürekkep Giderme İşlemi

Tekrar yazı-baskı kağıdı veya gazete kağıdı olarak kullanılacak atık kağıtların geri dönüşümünde, hamurlaştırma ve diğer işlemler ile serbest hale gelen ve suya karışan mürekkebin ortamdaki uzaklaştırılması gerekmektedir. Mürekkep pigmentleri eleme ve temizleyiciler ile uzaklaştırılmayıp ancak mürekkep giderme teknikleri ile uzaklaştırılmaktadır. Mürekkep giderme işlemi, temel olarak yüzdürme ve yıkama metodu ile gerçekleştirilmesine rağmen yüzdürme yöntemi, yüksek verimliliği, proses suyunu daha az oranda kirlilemesi gibi sebeplerden ötürü daha çok tercih edilmektedir. Diğer yandan Şekil 1.5'ten de belli olduğu gibi yıkama metodu, büyük boyutlu mürekkep parçacıklarını uzaklaştırmada daha az etkin iken yüzdürme yöntemi ise küçük boyutlu mürekkep pigmentlerinin uzaklaştırılmasında etkin

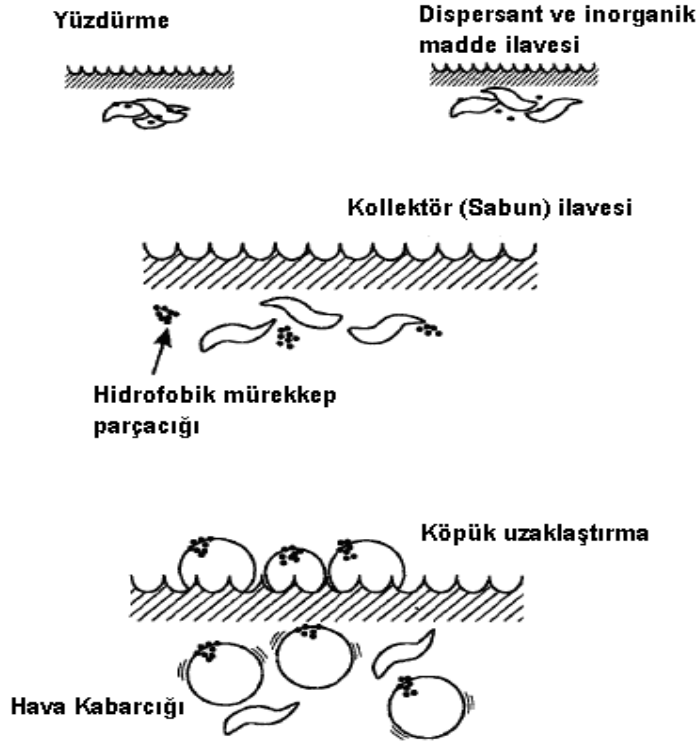
değildir [22]. Ancak bu sorun küçük boyutlu mürekkep parçacıklarının aglomerasyonu ile çözülebilmektedir.



Şekil 1.5 Yıkama ve yüzdürme tekniğinin mürekkep uzaklaştırabilme etkinlikleri

Kimyasal ve mekanik bir proses olan [23] yüzdürme sistemi havanın kullanıldığı seçici bir ayırma uygulamasıdır. Bu proses çeşitli parçacıkların farklı yüzey özelliklerini kullanarak mürekkep pigmentlerini hamur içerisinde ayırmaktadır. 30 ile 80 µm boyutları arasındaki mürekkep partikülleri yüzdürme sistemi için en ideal boyutlardır [26]. Yüzdürme işleminin temeli, baskı mürekkeplerinin hidrofobik ve liflerin de hidrofilik özellik göstermesine bağlıdır. Bununla birlikte bazı lifler hidrofobik olurken bazı mürekkep parçacıkları da hidrofilik olabilmektedir.

Şekil 1.6'da dört aşamada yüzdürme işleminin gerçekleşme mekanizması gösterilmiştir [27]. Yüzdürme işleminin etkinliğini artırmak için pulper, yoğurucu veya yüzdürme hücresi içerisine palmitik, stearik veya oleik yağ asitlerinin sodyum tuzları ilave edilir. Sabun, sulu ortamda yeterli miktarda kalsiyum iyonlarının bulunması ile çözünmez kalsiyum tuzlarını oluşturur. Oluşan bu vaksa benzer yapının mürekkep taneciklerinin yüzeyini kapladığı ve hidrofobik özellik kazandırdığına inanılmaktadır. Bu sayede, yüzeyi hidrofobik yapıya dönüşen mürekkep tanecikleri hava kabarcığına yapışarak süspansiyon içerisinde uzaklaştırılır. Bu yüzden yüzdürme sistemine ilave edilen sabun, kollektör yani toplayıcı olarak adlandırılır.



Şekil 1.6 Dört aşamada yüzdürme işleminin mekanizması [27]

Etkili bir yüzdürme işlemi, aşağıda sıralanan faaliyetlerin yeterli düzeyde gerçekleştirilebilmesine bağlıdır [14].

- Mürekkebin liflerden sökülmesi,
- Mürekkep parçacıklarının hava kabarcığına tutunma kabiliyetinin iyileştirilmesi,
- Hava kabarcığı-mürekkep parçacıkları kompleksinin oluşumu,
- Kompleksin süspansiyon yüzeyine hareketi,
- Mürekkep ve hamurun tekrar karışmasının önlenmesi

Yüzdürme işlemi olasılığa dayalı bir proses olmasından dolayı birçok değişkenden etkilenen karmaşık bir sistemdir. Çizelge 1.4'te yüzdürme işlemini etkileyen önemli parametreler verilmiştir [28].

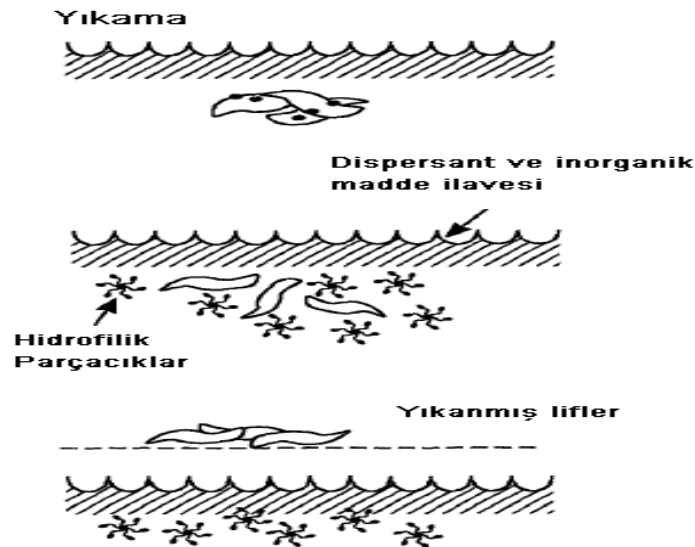
Çizelge 1.4 Yüzdürme sisteminin etkinliğini belirleyen önemli parametreler [28]

Mürekkep Parçacığı	Hava Kabarcığı	Proses Şartları	Karıştırma
Miktarı Boyutu Şekli Yoğunluğu Yüzey kimyası Aglomerasyon	Tipi (Gaz) Sayısı Boyutu Yüzey kimyası Yapısı (Çözünmüş veya Dağınık)	Atık kağıdın türü Mürekkep miktarı ve türü İnorganik madde miktarı Lif karakteristiği Yüzdürme konsantrasyonu Yüzdürme sıcaklığı Yüzdürme hücresinin dizaynı Ortamın pH'ı Kimyasal ortam	Şekli Şiddeti Süresi

1.2.4. Yıkama (washing) Yöntemi ile Mürekkep Giderme İşlemi

10 µm ve daha küçük tanecik boyutuna sahip olan mürekkeplerin uzaklaştırılmasında etkin bir yöntemdir. Mürekkep ayırma etkinliği; mürekkep parçacıklarının boyutuna, şekline ve yoğunluğuna bağlıdır [5].

Genelde 150 µm'den daha büyük mürekkep parçacıkları eleme kademesinde, 25–150 µm büyüklüğündeki parçacıklar yüzdürme hücresinde daha küçük boyutlu parçacıklar ise yıkama işlemi sırasında uzaklaştırılırlar. Yıkama işleminde, uzaklaştırılan kirlilik oranı, yıkamanın cinsine, kirli doğal yapısına ve kullanılan makinenin tipine bağlı olarak farklılık gösterir [5]. İşlemin ana prensibi, lif süspansiyonunun yoğunlaştırılması ve tekrar seyreltilerek suyun uzaklaştırılmasıdır [29]. Yıkama ile mürekkep giderme işleminin mekanizması Şekil 1.7'de görülmektedir [27].



Şekil 1.7 Yıkama ile mürekkep giderme işleminin mekanizması [27]

1.2.5. Kesafet Artırma İşlemi

Kesafet artırma işlemi kağıt hamuru içerisinde bulunan büyük miktardaki proses suyunun uygun ekipmanlar ile fiziksel olarak ayrıştırılması işlemidir. Bu şekilde, dispersiyon, yoğurma ve ağartma işlemleri gibi yüksek konsantrasyon gereken prosesler için gerekli hamur kesafetinin sağlanması, kirli proses suyunun ortamdaki uzaklaştırılması ve temizlenerek tekrar kullanılması gerçekleştirilirken diğer yandan elde edilen hamurun daha az hacim kaplaması sebebiyle depolama ve taşıma işlemlerinin daha ekonomik hale getirilmesi sağlanmaktadır [17].

Kesafet artırma işleminin performansı öncelikle ekipmana giren hamurun kesafetine, serbestlik derecesine, sıcaklığına ve bileşimine bağlıdır. Diğer yandan kesafet artırma işleminde rol oynayan kuvvetler, yer çekimi, santrifüj kuvveti, vakum etkisi ve mekanik pres olarak sıralanabilir [19]. Kesafet artırma işlemi için yaygın olarak kayışlı, tamburlu, diskli ve vidalı presler kullanılmaktadır.

1.2.6. Dispersiyon İşlemi

Dispersiyon işlemi, atık kağıt hamuru içerisindeki mürekkep veya diğer kirlilik verici maddelerin boyutlarını küçültme ve hamur içerisinde homojen dağılımlarını sağlama işlemi olarak tanımlanabilir. Bu şekilde hamur içerisindeki kirlilik verici maddeler uzaklaştırılmaya gerek kalmadan gözle görülemeyecek boyutlarda hamur içerisinde homojenize edilerek, hem elde edilecek kağıdın görünümü iyileştirilmiş olur hem de kağıt üretimi sırasında bu kirlerden dolayı ortaya çıkabilecek problemler azaltılmış olur [17].

Bu amaçla, endüstride yaygın olarak yüksek devirli diskli disperser ve düşük devirli helezon vidalı yoğurma (kneading) sistemleri kullanılmaktadır [17].

Dispersiyon sistemlerinin atık kağıt proses aşamalarında kullanılmasının aşağıda belirtilen faydaları bulunmaktadır [19-5].

- ❖ Gözle görülebilecek büyüklükteki yabancı maddelerin boyutları küçültülerek hamur içerisinde homojen dağılımı sağlanır.
- ❖ Mürekkep kalıntılarının lifler üzerinden sökülmesini sağlayarak giderilmelerini mümkün hale getirir.
- ❖ Yüksek hızlı dispersiyon sisteminin kullanılması durumunda ilave bir rafine işlemine gerek kalmaz.

- ❖ Ağartıcı kimyasalların iyi derecede kağıt hamuruna karışmasını sağlar.
- ❖ Yüksek sıcaklık kullanılması sebebi ile atık kağıt üretiminde önemli problemlerden olan mikroorganizma faaliyetleri önlenir.
- ❖ Liflerin yüksek sıcaklık ile muamelesi sonucu hacimliliği artar.

1.2.7. Ağartma İşlemi

Ağartma işleminin temel amacı, kağıt hamuru içerisinde bulunan lignin ve ligninin degradasyon ürünleri, ekstraktif maddeler, metal iyonları, selülozik olmayan karbonhidrat bileşenleri ve her türlü renk verici maddelerin uygun kimyasal maddeler ve sistemler kullanarak modifiye edilmesi ve/veya ortamdan uzaklaştırılması ile istenen parlaklığın sağlanmasıdır [17].

Ancak ağartma terimi, ağartma işlemi uygulanacak kâğıt hamurunun türüne bağlı olarak farklı anlamlarda kullanılmaktadır. Kimyasal hamurlarda ağartmanın fonksiyonu hamurdaki kalıntı ligninin uzaklaştırılması ve liflerin parlaklığının sağlanması iken mekanik hamurlarda ağartmanın fonksiyonu ortamdaki lignini uzaklaştırmadan sadece liflerin parlaklığını sağlamaktır. Atık kağıt hamurlarında ise ağartmanın temel üç fonksiyonu vardır [17].

- Boya ve mürekkep gibi renk verici maddelerin ortamdan uzaklaştırılması.
- Kalıntı ligninin ortamdan uzaklaştırılması veya yapısının değiştirilmesi.
- Liflerin parlaklığının sağlanması.

Hamurda diğer renk verici olan karbon siyahı ve metal içerikli mürekkep pigmentleri gibi inorganik yapıların ağartılması mümkün olmayıp yalnızca mürekkep uzaklaştırma sistemleri ile hamurdan uzaklaştırılabilirler [14].

Ağartma işlemi atık kağıt işleyen tesislerde, hamurlaştırıcı (pulper), yoğurucu (disperser) ve/veya ağartma kulelerinde yapılmaktadır [14].

1.3. Mürekkep Giderme İşleminde Kullanılan Kimyasal Maddeler

Çizelge1.5'te görüldüğü gibi mürekkep giderme amacıyla kullanılan kimyasalların önemli kısmı iş akışına hamurlaştırma işlemi sırasında ilave edilmektedir [30]. Mürekkep giderme işlemi bir bütün olarak düşünüldüğünde, yüzdürme hücresi sistemin kalbi olarak adlandırılırsa hamurlaştırıcıda (pulper) kuşkusuz sistemin beynini oluşturmaktadır. Hamurlaştırıcıda yapılan bir hatanın telafisi olmamakla birlikte tüm iş akışını doğrudan etkilemektedir. Mürekkep giderme işlemi için

kullanılan kimyasal maddeler ve kullanım amaçları alt başlıklar halinde aşağıda anlatılmıştır.

Çizelge 1.5 Yüzdürme ile mürekkep uzaklaştırma iş akışında kullanılan kimyasal maddeler [30]

KİMYASALLAR	UYGULAMA YERLERİ
Sodyum hidroksit	Hamurlaştırıcı, Ağartma
Sodyum silikat	Hamurlaştırıcı, Ağartma
Çelat	Hamurlaştırıcı, Ağartma
Hidrojen peroksit	Hamurlaştırıcı, Ağartma
Yüzey aktif maddesi (Surfactant)	Hamurlaştırıcı, Yüzdürme, Yıkama
Kolektör kimyasallar (Sabun, SDS)	Hamurlaştırıcı, Yüzdürme
Aglomerasyon kimyasalları	Hamurlaştırıcı, Temizleme Üniteleri
Kalsiyum klorit	Yüzdürme İşlemi (Flotasyon)
Dispersant	Yıkama, Stok Hazırlama
Sodyum hipoklorit	Ağartma
Sodyum hidrosülfit	Ağartma
Sodyum borhidrür	Ağartma
Formamidin sülfonik asit	Ağartma
Kir kontrolü	Hamurlaştırıcı, Depolama, Stok Hazırlama
Atık su saflaştırma polimerleri	Atık İşleme Sistemleri

1.3.1. Sodyum Hidroksit

Kostik soda olarak da adlandırılan sodyum hidroksit, mürekkep uzaklaştırma yapan atık kağıt iş akışlarına, ortam pH'ını alkali seviyeye çıkarmak, mürekkebin taşıyıcı tabakasını hidroliz etmek veya sabunlaştırmak, dolayısı ile mürekkep pigmentlerinin serbest hale gelmesini sağlamak amacıyla katılmaktadır [31]. Ayrıca sodyum hidroksitin, hamur liflerini şişirdiği ve mürekkep ve dolgu maddesi gibi safsızlıkların uzaklaşmasını kolaylaştırdığı da iddia edilmektedir [32-33]. Ne var ki hamurlaştırma kademesinde sodyum hidroksidin lif şişmesini artırıp artırmadığı tartışmalı bir konudur [31-34]. Bununla birlikte, Gurnagul (1995) termomekanik hamur ve dövülmemiş kraft hamurlarının geri dönüşümü ile ilgili olarak yapmış olduğu bir çalışmada, sodyum hidroksit ilavesinin, termomekanik hamur liflerinin şişmesinde ve yapılan kağıtların sağlamlık özelliklerinin gelişmesinde etkili olduğunu fakat kraft hamuru liflerinin şişmesi üzerinde dikkate değer bir gelişmenin olmadığını tespit etmiştir.

Sodyum hidroksit ilavesi, özellikle mekanik hamur gibi odunun tüm yapılarını içeren hamurlarda sararma veya renk koyulaşmasına neden olmaktadır. Bu amaçla hidrojen peroksit ve benzeri bazı ağartıcıların kullanılması gerekmektedir [14].

1.3.2. Sodyum Silikat

Sodyum silikat bir diğer deyişle cam suyu, mürekkep giderme yapan fabrikalarda 41.6° (Be°) derecelik sodyum meta silikat çözeltileri olarak kullanılmaktadır. Kabaca eşit oranlarda SiO₂ ve Na₂O içermektedir. Bu durum silikata, sodyum hidroksitin % 11'i kadar alkalilik sağlamaktadır.

Silikatların ağır metal iyonları ile kollodial yapılar oluşturduğu ve bu şekilde hidrojen peroksidin ağartma reaksiyonlarını koruduğu düşünülmektedir [35]. Ayrıca silikatlar, mürekkep parçacıklarının dispersiyonunu artırmakta ve mürekkebin yeniden lifler üzerine yığılmasını da önlemektedir [31].

1.3.3. Aglomeratlar (Yığılma ve Topaklanma Sağlayan Kimyasallar)

Aglomeratlar genellikle ofis kağıdı atıklarında bulunan lazer ve buna benzer baskılarla oluşturulan toner tipi mürekkeplerin uzaklaştırılması amacıyla kullanılmaktadır [14].

1.3.4. Yüzey Aktif Maddeler (Surfactant)

Yüzey aktif maddeler, dispersantlar (dağıtıcı), kolektörler (toplayıcı), ıslatma reaktifleri, displektörler (ayırıcı) ve yeniden kümelenmeyi önleyici kimyasallar gibi birçok kimyasalı kapsayan genel bir terimdir. En önemli yüzey aktif maddeler, yıkama ile mürekkep giderme işleminde etkili olan dispersant ve yüzdürme ile mürekkep giderme işleminde etkili olan kolektörlerdir. Yüzey aktif maddelerinin etkinlikleri genellikle kullanılacakları amaca göre içerdikleri hidrofilik (suyu seven) uç ve hidrofobik (suyu sevmeyen) uç grup sayılarının oranı yani HLB değerine göre belirlenmektedir [27].

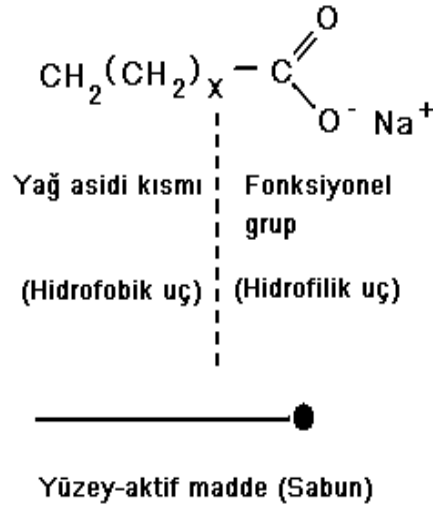
1.3.4.1. Dispersantlar (Dağıtıcı)

Dağıtıcı özellikteki bu kimyasalların amacı çok küçük boyutlu olan mürekkep gibi parçacıkları süspansiyon içerisinde serbest hale getirerek yıkama veya kesafet artırma işlemiyle ortamdan uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Yıkama ile mürekkep uzaklaştırma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan dispersantlar, nonilfenil etoksilat

ve liner etoksilatlanmış alkollerdir. Kısa periyotlu iş akışlarında ise Eo/Po kopolimerleri (etilen oksit (hidrofilik)/propilen oksit (hidrofobik)), glikoller ve ağır yağ alkol alkoksilatları karışım halinde kullanılmaktadır. Yıkama ile mürekkep giderme işleminin şematik gösterimi Şekil 1.7’de verilmiştir. Burada amaçlanan, parçacıkların yıkama makinesinin eleğinden geçebilecek kadar küçük (10µm’nin altı, ideal olarak 5 µm’nin altı) ve elekten rahatça süzulebilecek kadar hidrofilik olmasının sağlanmasıdır [27].

1.3.4.2. Kollektörler (Toplayıcı Kimyasallar)

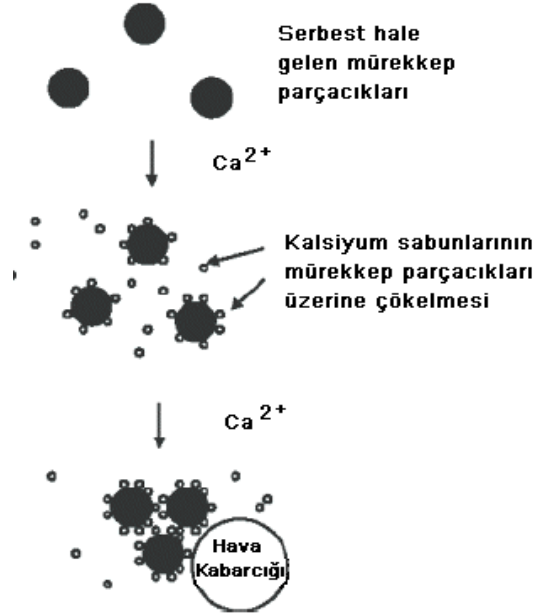
Kolektör kimyasallarının amacı adından da anlaşıldığı gibi hamurlaştırma sırasında serbest hale gelen mürekkep parçacıklarını bir araya toplayarak hava kabarcığı vasıtasıyla ortamdan uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Kollektör kimyasalları yüzdürme yani flotasyon ile mürekkep uzaklaştırma sistemlerinde hamurlaştırıcı veya yüzdürme hücresinden hemen önce sisteme katılmaktadır. Kollektör kimyasalları olarak, yağ asidi sabunları gibi doğal maddeler, etilen oksit (hidrofilik) / propilen oksit (hidrofobik) kopolimerleri gibi sentetik maddeler ve etoksilatlanmış yağ asitleri kullanılmaktadır. En fazla kullanılan kollektör kimyasalları yağ asidi sabunlarıdır. Şekil 1.8’de yağ asidi sabununun şematik gösterimi bulunmaktadır [27].



Şekil 1.8 Yağ asidi sabununun şematik gösterimi [27]

Yağ asidi sabunları, 12 ile 18 arasında değişen karbon atomu zincir yapısına sahip stearik, oleik, palmitik, linoleik ve palmitoleik asitlerin karışımlarından oluşmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda karbon zincirinde stearik asitte olduğu gibi çifte bağların bulunmasının mürekkep uzaklaştırmayı arttırdığı belirlenmiştir[33-36].

Bununla birlikte ortamda kalsiyum iyonu bulunmaması durumunda yağ asidi sabunları görevlerini yerine getirememektedir. Şekil 1.9’da kalsiyum iyonları ile sabunun etkileşimi görülmektedir. Kalsiyum iyon oranı optimum düzeylerde kullanıldığında mürekkep uzaklaştırma etkinliğini artırmaktadır [37-38].



Şekil 1.9 Kalsiyum iyonları ile sabunun etkileşimi [39]

Ayrıca yüzey aktif maddesi olarak anyonik ve katyonik maddelerin yanında kalsiyum iyonuna ihtiyaç duymayan iyonik olmayan kolektörlerde kullanılabilmektedir. Çizelge 1.6’da yüzey aktif maddelerinin iyonikliğine göre sınıflandırılması yapılmıştır.

Çizelge 1.6 Yüzey aktif maddesi iyonikliği [40]

Anyonik (Negatif)	Katyonik (Pozitif)	Amfoterik (Hem negatif hem pozitif)	Noniyonik (Yük içermeyen)
Sülfonatlar Sülfatlar Karboksilatlar Fosfatlar	Amonyum Piridinyum- İmidazolinyum Piperidinyum- Sülfoksonyum Bileşikler vb.	Aminokarbon asitleri vb.	Akil Alkilaril Açıl-Açılamid- bileşikler Poliglikol eterleri Poliollerler Alkanolamidler Etilenoksitler Propilenoksitler

1.3.5. Aktif Oksijen İçeren Ağartıcılar

1.3.5.1. Hidrojen Peroksit

Hidrojen peroksit yukarıda belirtildiği gibi alkalinin neden olduğu kromofor oluşumunun etkisini azaltmak amacıyla hamurlaştırma kademesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte hamurlaştırıcı içerisinde hidrojen peroksit kullanımı, mürekkep, dolgu maddesi vb. safsızlıkların fazla olması ve bu maddelerin peroksidin ağartma etkinliğini düşürmesinden dolayı ağartıcı olarak çok etkili olamamaktadır [31]. Hidrojen peroksidin ağartma reaktifliği aşağıdaki formülde (1.1) görüldüğü gibi alkali ortamda oluşan perhidroksil (OOH-) anyonları ile gerçekleşmektedir [41].



Perhidroksil iyonlarının oluşabilmesi ve hidrojen peroksidin bozunmaması, ortamın pH'ı, hamurun metal iyon konsantrasyonu, sodyum silikat ve çelatlayıcı oranı, ortam sıcaklığı ve işlem süresi gibi birçok değişkenden etkilenmektedir. Hidrojen peroksitin etkin olabilmesi için ortam pH'ı 10.0-11.5 arasında, ortam sıcaklığının ise 40-80°C arasında olması gerekmektedir [41].

Bununla birlikte hidrojen peroksit, kolayca suya ve oksijene bozunan çevre dostu bir ağartıcıdır. Ayrıca kullanıldığı ortamda etkinliğini düşürebilecek safsızlıklar bulunmaması halinde oldukça etkili olabilen bir ağartıcı reaktiftir. Bu amaçla yüksek verim ve parlaklık değerine sahip hamurların üretilmesi amacıyla yaygın bir şekilde ağartma kulelerinde son ağartma kademesi olarak kullanılmaktadır [31].

1.3.5.2. Sodyum Perborat Tetrahidrat

Sodyum perborat tetrahidrat, alkali karakterde olan önemli aktif oksijen kaynaklarından birisidir. Yaklaşık % 11 oranında içerdiği aktif oksijen ile etkili bir ağartıcıdır. Hidrojen peroksitten farklı olarak alkaliye ihtiyaç duymadan mekanik hamurların ağartılmasında oldukça etkili olabilmektedir [42-43].

1.3.5.3. Sodyum Perkarbonat

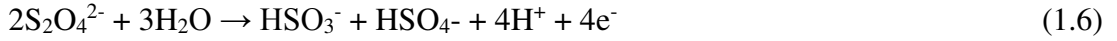
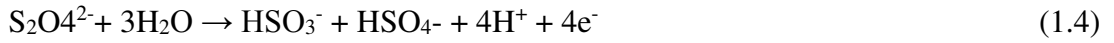
Sodyum perkarbonat da sodyum perborat gibi önemli aktif oksijen kaynaklarından birisidir. Perboratlar ile karşılaştırıldığında alkali özelliği, içerdiği sodyum karbonattan dolayı oldukça yüksektir. Aktif oksijen içeriği de yaklaşık % 15

civarındadır. Perboratlar gibi alkaliye ihtiyaç duymadan tek başına mekanik hamurların ağartılmasında oldukça etkili olabilen bir ağartıcıdır [44].

1.3.6. İndirgeyici Özellikteki Ağartıcı Kimyasallar

1.3.6.1. Sodyum Hidrosülfid (Ditiyonit)

Sodyum ditiyonit beyaz renkte kristal yapıda bir ağartıcıdır. Kağıt hamurunun ağartılmasında çözelti olarak veya toz halinde kullanılabilir. Sulu çözelti içerisinde sodyum ditiyonit aşağıdaki şekillerde hidroliz olmaktadır [45].



İlk dört reaksiyon ağartma işleminden sorumlu reaksiyonlardır. (1.6) nolu reaksiyon pH'ın düşmesi ile oluşan sodyum ditiyonitin bozunma reaksiyonudur. (1.7) nolu reaksiyon ise havanın neden olduğu bozunma reaksiyonudur. Ditiyonitin ağartma reaksiyonlarındaki etkisi aşağıdaki şekilde özetlenebilir [46].

- ❖ Kinoidik grupların hidrokinonlara indirgenmesi,
- ❖ α - karbonil gruplarının indirgenmesi,
- ❖ koniferil aldehit gruplarının indirgenmesi,
- ❖ Fe⁺³'ün daha az renkli olan Fe⁺²'ye indirgenmesini sağlar.

Ağartma işlemlerinde genellikle % 0.5-1 oranlarında kullanılmaktadır. Ağartma işleminde ortam pH'ı 6-6.5 arasında olmalıdır. pH değeri yükselirse hamurda kararmaya neden olmaktadır. pH'ın düşük olması durumunda ise ditiyonit bozunmakta ve ağartma etkisi zayıflamaktadır. İşlem süresinin 30-60 dakika arasında olması yeterlidir. Ortam sıcaklığı ise 50-70°C arasında olmalıdır.

1.3.6.2. Formamidin Sülfenik Asit (FAS)

FAS, diğer adıyla tüyoüre dioksit veya aminoiminometan sülfenik asit 1983 yılında alınan bir patentle atık kağıtların ağartılmasında tek başına veya diğer ağartıcılar ile birlikte kullanılabilirliği önerilmiştir [47]. Formamidin sülfenik asit beyaz renkli,

kokusuz ve indirgen özelliğe sahip bir ağartıcıdır. Molekül ağırlığı 108.12 g/mol, yoğunluğu 1,68 g/cm³ ve kapalı kimyasal formülü CH₄N₂O₂S dir. Su içerisinde litrede 27 gramı rahatlıkla çözünürken alkali ortamda litrede 100 grama kadar çözünür. Sulu çözeltisinin raf ömrü kısa olduğu için kullanılacağı zaman çözelti haline getirilmektedir. Litrede 10 gram çözündürülmesi halinde pH değeri 4 tür. Yaklaşık 123°C de bozunan bu kimyasal soğuk ve kuru bir ortamda depolanmalıdır [59].

Uygun ağartma şartları gerçekleştiğinde, FAS ile atık kağıt içerisindeki indirgenebilir bileşikler (kromoforlar) reaksiyona girerek üre ve sodyum hidrojen sülfid açığa çıkarır. Devam eden reaksiyonlarda sodyum hidrojen sülfid yükseltgenerek sodyum hidrojen sülfata dönüşmektedir.

FAS, atmosferik havaya karşı diğer indirgen ağartıcılardan daha fazla dayanıklıdır. Bu yüzden son ağartmanın yapıldığı ağartma kulelerinden farklı olarak hidrojen peroksitler gibi hamurlaştırıcı ve benzeri birçok yerde kullanılabilir. [59].

FAS, alkali ortamda kullanılan bir ağartıcıdır ve sodyum hidroksit ile birlikte hamura ilave edilmektedir. FAS: NaOH oranı 2:1 olması durumunda optimum ağartmanın gerçekleştiği saptanmıştır [48-49]. Ayrıca ağartma başındaki pH 10'dan ağartma işleminin sonunda nötr değerlere inmektedir [50].

1.3.6.3. Sodyum Borhidrür

Kimyasal formülü NaBH₄ olan sodyum borhidrürün molekül ağırlığı 37,84 g/mol, olup bozunma sıcaklığı 400°C dir. Sodyum borhidrür aldehit ve ketonları da kapsayan organik bileşikler için kuvvetli bir indirgeyicidir [51]. Ayrıca kimyasal hamurların pişirilmesinde selülozun ve hemiselülozların indirgen ucundaki karbonil gruplarını hidroliz eder ve soyulma reaksiyonlarına karşı koruduğu belirtilmektedir [52]. Ayrıca ligninin renk grupları üzerine etkisi nedeniyle lignini koruyucu ağartma elemanı olarak da kullanılmaktadır [53].

1.3.7. Çelatlayıcılar

Çelatlayıcıların görevi ağır metal iyonları ile çözünebilir formda kompleksler oluşturarak, hidrojen peroksit gibi ağartıcı kimyasalları, zararlı metal iyonlarına karşı korumaktır. En fazla kullanılan çelatlayıcılar DTPA (dietilentriaminpentaasetik asit) ve EDTA (etilendiamintetraasetik asit) dir [54]. Ayrıca mekanik hamur

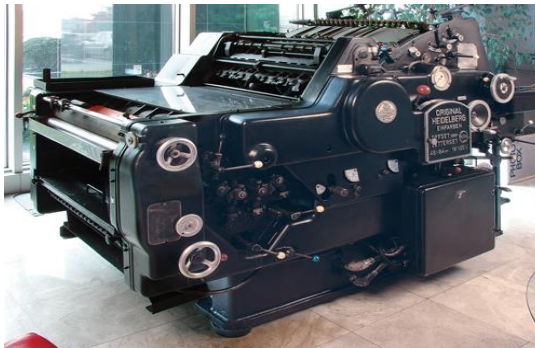
ağartılmasında, DTPA türdeşi DTMPA yani dietilen triamin pentametilen fosfonik asit gibi fosfonatlar çok daha avantajlı olabilmektedir [55].

Bununla birlikte İsveç ve Norveç gibi bazı ülkelerde atık sular vasıtası ile su altı yaşamını olumsuz etkilemesinden dolayı DTPA ve EDTA kullanımına sınırlamalar ve yasaklamalar getirilmiştir [31].

Çelatlayıcı olarak epsom tuzu olarak bilinen magnezyum sülfatın kağıtçılıkta kullanımı da yaygındır. Genellikle birincil liflerin ağartılmasında kullanılmakta olup mürekkep giderme sistemlerinde az da olsa kullanılmaktadır. Magnezyum sülfat, metal iyonlarını etkisizleştirmek yerine daha çok peroksit bozunma reaksiyonlarını durdurmaktadır. Ayrıca sodyum silikat ile birleşerek metal iyonlarını etkisiz hale getirdiği belirtilmektedir [56].

1.4. Baskı Sistemleri ve Kullanılan Mürekkepler

Ofis kağıtlarının basılmasında yaygın olarak, web ofset ve su bazlı fleksografik baskı teknikleri kullanılmaktadır. İki teknikte de kullanılan mürekkebin pigmenti hidrokarbonlardan elde edilen ve boyutları 10-15 nm olan karbon siyahıdır. Ofset baskı mürekkepleri bağlayıcı olarak hidrokarbon reçineleri içermektedir ve baskı sonrası kuruyarak pigmenti baskı yapılan yüzeye sabitlemektedir. Taşıyıcı tabaka olarak mineral yağlar kullanılmaktadır. Taşıyıcının görevi baskı yapılan kadar kimyasalların çözünür durumda olması ve pigmentlerin taşınmasını sağlamaktır. Ofset baskı sistemlerinde en yaygın kullanılan teknik, şeklin indirekt olarak baskı levhasından kağıda kauçuk yüzeyler veya silindir ile aktarıldığı lithografik yöntemidir.



Şekil 1.10 Ofset baskı makinesi ve mürekkepleri

Fleksografik baskı mürekkeplerinin ofset baskı mürekkeplerinden farkı, formülasyonlarında bağlayıcı olarak akrilik ya da maleik reçinelerin, taşıyıcı olarak

ise suyun kullanılmasıdır. Fleksografik yöntemde baskı, direkt olarak silindir etrafına sarılmış esnek kauçuk veya fotopolimerlerden yapılmış kabartma levhalar ile oluşturulmaktadır [37-57].

Ofset baskı mürekkepleri buharlaşmadan ziyade absorblama ile kuruyacak şekilde formüle edilmiştir. Bu yüzden tam olarak kuruyamamakta ve okuyucunun belli bir süre sonra parmaklarının kararmasına neden olmaktadır. Bu yüzden ofset ile yeni basılmış ofis kağıtlarının geleneksel yüzdürme sistemleri ile mürekkeplerinin uzaklaştırılması oldukça kolaydır. Bunun yanı sıra fleksografik yöntemler ile basılan kağıtların mürekkebinin uzaklaştırılması çok daha zordur. Çünkü bu tür su bazlı mürekkeplerin pigmentleri daha çok hidrofilik karakterdedir ve disperse olan pigment boyutu oldukça küçüktür. Hamurlaştırma işleminden sonra ofset baskı mürekkebinin pigmentleri 2-100 μm arasında kümelenebilirken, fleksografik mürekkep pigmentleri 0,3-2 μm arasında kalmaktadır [58].

Yakın zamana kadar mürekkep formülasyonlarının hazırlanmasında temel amaç sadece iyi baskı kalitesi, uzun süre dayanım ve baskı sırasında problem yaşanmaması iken günümüzde giderek, mürekkep üreticileri çevresel baskıların da etkisiyle çevre dostu ve baskılı kağıdın geri kazanılması durumunda kolayca mürekkeplerinin giderilebildiği mürekkep formülasyonları geliştirmek zorunda kalmaktadırlar [17].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Eriksson, K. 1998 çalışmasında % 30 oranında ofset mürekkep içeren eski gazete kâğıdı, % 40 oranında flexo mürekkep içeren eski gazete kâğıdı ve % 30 oranında eski magazin kâğıdı kullanılmış ve atık kâğıtlar 2x2 cm ebadında kesilerek liflendirilmiştir. İki aşamalı yüzdürme işlemi yapılan bu çalışmada pH 9,5'te tutulmuştur. Hamurlaştırma işlemi, düşük hızda 2 dakika süre ile % 6 kesafette ve 180 gram tam kuru hamur üzerinden yapılmıştır. Yüzdürme işlemi 6 lt kapasiteli yüzdürme hücresinde; sıcaklık 40 °C, yüzdürme işlemi 1200 devir /dak, süre 5 dak ve kesafet % 1'de gerçekleştirilmiştir. Laboratuarlarda yapılan çeşitli flekso içeren mürekkep giderme denemelerinde eski gazete kâğıtların içinde önemli miktarının flexo oluşturduğu bulunmuş, çalışmada toplayıcı olarak kullanılan lignosülfon veya phosphoric acid ester kimyasallarının mürekkep giderme üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı bildirilmiştir. Ayrıca hidrojen peroksit kullanılmadan, iki aşamalı yüzdürme işleminin her bir aşamasında bile, ürünün parlaklığında artışlar olduğu kaydedilmiştir [60].

İmamoğlu S., 2002 çalışmasındaki optik değerlere genel olarak bakıldığında, yapılan yüksek derecedeki ağartma sayesinde kâğıt içerisindeki mürekkep kalıntılarının büyük ölçüde uzaklaştırıldığı bunun sonucunda da parlaklık ve beyazlık gibi ışığın yansımaya bağlı değerler yükselirken, uzaklaştırılan anorganik maddelerin de etkisi ile ışığın absorbe ve opaklık değerlerinin düştüğü belirtilmiştir. Ayrıca flotasyon süresinin 10 dakikanın üzerinde uygulanması ile kâğıt hamurunun optik niteliklerine ilave bir katkı sağlamadığı aynı zamanda madde ve enerji kaybına sebep olacağı bildirilmiştir [17].

Peşman, E. 2010 çalışmasında, atık gazete ve magazin kâğıtlarının geri dönüşümünde hamurlaştırma, yüzdürme ve ağartma kademeleri sırasında kullanılan bazı kimyasalların etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında en düşük lif kaybı ile en yüksek parlaklık ve mürekkep uzaklaştırma etkinliğini elde etmek amaçlanmıştır. En az verim kaybı ile en etkili mürekkep uzaklaştırma derecesi, 0,001 mol/l kalsiyum klorür ve % 1 yağ asidi sabunu kullanılarak elde edilirken, hamurlaştırma sırasında alkalinin yol açtığı renk koyulaşmasını dengelemek için hamurlaştırıcıya ilave edilen hidrojen peroksit, sodyum perborat tetrahidrat ve sodyum perkarbonatın, yüzdürme işlemi sonrası hamurun renk değerleri ve mürekkep uzaklaştırma derecesi üzerine etkilerine bakıldığında en etkili sonuçlara, % 1 aktif oksijen içeren sodyum

perkarbonatın alkali ilavesi olmaksızın kullanılması sonucu ulaşılmıştır. Ayrıca Oksidatif ağartıcılarda en yüksek ISO parlaklık değerine sodyum perkarbonat ile ulaşılırken, indirgeyici ağartıcılar ile en yüksek sonuçları formamidin sülfünik asit vermiştir. Bununla birlikte sodyum borhidrürün renk kırma özelliği açısından çok daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sodyum perkarbonat ile sodyum borhidrür ve formamidin sülfünik asit kademelerinin ard arda kullanılması sonucu ISO parlaklık değeri % 62,34'e kadar artırılmıştır. Çalışma kapsamında ışık muamelesi sonucu kağıt hamurlarının renk değerlerini koruyamadığı bununla birlikte sodyum borhidrürün kullanıldığı kademelerin, çok az da olsa daha dirençli olduğu tespit edilmiştir [14].

Teander, K., Pugh, R. 2004 çalışmasında yüzdürme ile mürekkep gidermedeki önemli parametreler ile işlemin yüzey kimyasal etkisi özetleniyor. Yapılan ön çalışmalarda yüzdürme işlemi öncesinde yapılan hamurlaştırma boyunca liflerdeki mürekkep parçacıklarını uzaklaştırmak için pH ve sıcaklık artırım ayarlaması yapılmış, fakat bu durum yüzdürme verimliliğini artırmak veya azaltmak adına pek bir fikir edinilememiştir. Farklı gazlar ile yapılan (hava yerine oksijen ve azot) testlerinde ise, lifin optik ve mekaniksel özelliklerinde önemli kazanımlar olmadığı bulunmuştur. Çalışmada kullanılan yüksek zincir uzunluklu yağ asitleri daha az köpük oluşturmıştır. Bu durum kısa liflerde bir iyileşme sağlamıştır. Yağ asidi yüzdürme hücrelerine kalsiyum sabunu katılımı ile kabarcık/mürekkep parçacık yakalama işlemi olup ardından ise bir karışık yakalama mekanizması meydana gelmiştir. Optimum yüzdürme işlemindeki fazla yağ asidi ise, yüzey gerilimi ve kalsiyum seviyelerini azaltmıştır. Düşük kalsiyum seviyesi düşük stok kayıp vermiştir. Çalışmada, pH'ın potansiyel zeta üzerindeki etkisinde pH 6 iken potansiyel zeta -25Mv, pH 10 iken de -50 Mv olarak belirlenmiştir. Yüksek pH hava kabarcığı oluşumunu zora soktuğunu ve fatty asit ve diğer kimyasalların çözünürlüklerini de etkilediğini bildirmektedirler. Yüzdürme hücrelerinde mürekkep giderme işleminde pH'ın optimum 8-10 olduğunu, mürekkep partikül boyutunun ise yüzdürmede çoğunlukla hidrofobik kirlilikler ve mürekkep partikülleri için 20-300 µm olduğunu fakat bu aralığın ise eklenen kimyasallar ve mürekkep tiplerine göre de değişebileceğini bildirmişlerdir. Hava kabarcık boyutu ise kapiler borunun çapına, hava akışına ve hamur akışı ve sıvının yüzey gerilimine bağlı olduğu bildirilmiştir. Hava kabarcık boyutunun mürekkebi giderilmiş hamurun kimyasından da etkileneceği bildirilmiştir. Ayrıca işlem suyunda Ca^{+2} iyonunun fazlalığı mürekkep

gidermeyi olumsuz etkilediğini, bunun ise stok kaybına neden olduğunu, bunun için de mürekkep giderme boyunca fatty asit kullanımının sınırlandırılması gerektiği bildirilmiştir. Bu durum mürekkebi giderilmiş lifin kalitesini düşürdüğünü, çözüm olarak da iyonik olmayan kimyasallar kullanılması gerektiği üzerinde durulmaktadır. Ticari olarak fatty asiti sabunun yeniden hamurlaştırmada liflerden mürekkebi sökmede etkili olduğu bildirilmiştir. Fabrikalarda genellikle % 20 konsantrasyonda sıvı sabun hazırlanarak kullanıldığını bunun kısa zincir yapısından dolayı bol köpük oluşturduğunu fakat mürekkep gidermeyi azatlığı da bildirilmiştir. Fabrikaların daha verimli çalışabilmesi için farklı tiplerde surfaktan birleşimleri ile pH, sıcaklık yüzey gerilimi kalsiyum seviyesi hava kabarcık boyutu mürekkep parçacık boyutu, kirli köpük vs ile çalışılması ile kendileri için en uygun toplayıcı surfaktanları seçebileceği de bildirilmiştir. Ayrıca İyonik olmayan sentetik surfaktanlar ile yapılan yüzdürme işleminde % 0.1 ve 0.25 konsantrasyonda yüksek parlaklık ve düşük kirlilik verdiği de belirtilmiştir [61].

Karahan S. 2012, mürekkep gidermeye alternatif olarak enzim ve yeni bir teknoloji olan ultrasonik işlem uygulaması çalışmasında; çevre dostu kimyasala kıyasla, maliyette düşüş ve özellikle enzim için daha az enerji tüketimi olduğu ve çalışmada enzim ve ultrasonik işlem ile başarılı mürekkep giderme işlemleri yapıldığını kaydetmiştir. Ayrıca çalışmada kimyasal madde miktarı minimum seviyeye kadar düşürülmüş ve üretilen kağıtların optik özelliklerinde çok iyi denilebilecek iyileşmeler elde edilirken fiziksel mukavemet değerlerinde ise biraz düşüş olduğu, bu durum da ultrasonik enerji kullanımıyla iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Genel olarak ulaşılan bazı noktalar aşağıda sıralanmıştır [62].

- Enzimlerden selüloz en iyi çalışmıştır.
- Ultrasonik enerji son derece etkilidir.
- Enzim ve ultrasonik enerji, kâğıt mukavemetlerini geliştirmiştir.
- Çamurların yaklaşık %55'i anorganiktir.
- Ultrasonik enerji leke boyutunu düşürmektedir.
- Ultrasonik enerji son derece hızlı ve pratiktir.
- Liflerde ciddi deformasyon olmamıştır.

Fricker, A., and Ark. 2006 çalışmasında indigo baskı sistemi tarafından üretilmiş baskı kâğıtlarındaki mürekkep giderme zorluklarından bahsedilmiş ve çalışmada yüksek yoğunluktaki ultra sesler kullanılmıştır. Bu sesler hem indigo dijital baskı

kâğıtlarından mürekkebi uzaklaştırmak için hem de mürekkep parçacık çapını küçültmek için kullanılmıştır. Yapılan bu işlemler mürekkep giderme fabrikalarında kullanılan yüzdürme işlemiyle de uyumlu olduğu bildirilmektedir. Ayrıca bu çalışmada sıcaklık ve güç yoğunluğunun etkisi de araştırılmış ve her iki faktöründe parçacık büyüklüğü ve mürekkep parçacık dağılımında önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Çalışmada mürekkebin % 100'e yakınının uzaklaştırılmasının ultrasesler ve yıkama etkisiyle başarıldığı da bildirilmiştir. Ayrıca çalışma sonucunda dağılma ve parçacık büyüklüğünün azaltılması işleminde ultrases ve yıkama işlemi ile indigo dijital baskı kâğıtları üzerinde mürekkep giderme ve bu kâğıtların geri dönüşümünün çok zor olmayacağı' fikrine varılmıştır [63].

Flotasyon Süresinin Mürekkep Giderme İşlemi ve Hamur Kalitesine Etkisinin incelendiği çalışmada (İmamoğlu, S, 2001.) tek yüzeyleri baskılı ofis kağıtlarının mürekkepleri Degussa flotasyon sistemi kullanılarak giderilmeye çalışılmıştır. Hamurlaştırma işleminde Formamidin Sülfirik Asit kullanılmış ve hamurlaştırma aşamasında sıcaklık, hamurlaştırma süresi, kimyasal madde dozajı ve kesafet bütün denemelerde aynı tutulmuştur. Flotasyon aşamasında kesafet, karıştırma hızı, hava miktarı gibi tüm işlem şartları sabit tutulurken yalnızca flotasyon süreleri (0, 3, 6, 9, 12 ve 15 dak.) değiştirilerek elde edilen hamurun kalitesine, verimine, dolgu maddesi-lif dengesine ve atık su kalitesine etkileri incelenmiştir. Flotasyon süresinin artışına paralel olarak elde edilen hamurların optik niteliklerinde ciddi anlamda iyileşmeler gözlenirken belli noktadan sonra optik niteliklerde herhangi bir kazanım elde edilememiştir. Flotasyon hücresinin üst kısmından belirli aralıklarla flotasyon çamurunun sıyrılması sonucu hamur kaybı beklenti doğrultusunda artış göstermiştir. Flotasyon süresinin artışıyla birlikte belli bir noktaya kadar çamur içerisindeki dolgu maddesi oranında artış görülürken organik lif oranında azalma görülmüştür. Diğer yandan hamur içerisindeki mürekkep kalıntıları ve dolgu maddesinin uzaklaştırılması sayesinde temizlenen hamurdan elde edilen kâğıtların fiziksel niteliklerinde olumlu yönde gelişmeler görülmüştür. Bu çalışma ile flotasyon süresinin kritik noktaya kadar (bu çalışmada 9 dakika) artırılması elde edilecek hamurun fiziksel ve optik niteliklerine olumlu katkılar sağladığı bu kritik noktadan sonra artan hamur kayıpları, harcanan zaman ve enerjiye rağmen hamur kalitesinde ciddi manada herhangi bir gelişme sağlanamadığı gözlenmiştir [64].

Laboratuvar ölçeğinde karışık atık kâğıtlar üzerinde mürekkep giderme işlemi çalışılmıştır. Ön yıkama ve karıştırmanın mürekkep gidermeye olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada önceden hamuru yıkamanın mürekkep giderme işlemini iyileştirdiği bildirilmektedir. Ayrıca hamur muamelesi esnasında yapılan şartlarda mürekkep parçacık özelliklerinin değiştirilmesi ve mürekkep giderme mekanizmasını, kâğıt hamurunu ve kâğıt özelliklerini etkileyebileceği söylenmektedir. Çalışma sonunda üretilen el kâğıtlarının patlama ve çekme mukavemetleri artarken yırtılma dirençleri azaltmıştır. Ayrıca NaOH katılımı ile de mürekkep uzaklaşma etkinliğinin arttığı bildirilmiştir [65].

Fricker, A., Ark. 2007'deki çalışmada, sıcaklığın partikül boyutu üzerinde laboratuvar disintegratöründeki yeniden liflendirmede çok az yada hiç etkisi olmadığını bulmuşlardır. Fakat sıcaklığın ultrasound üzerinde etkisinin olduğundan bahsedilmiştir. Bunu ise, sıcaklıkla birlikte lifler şişerek tonerin yumuşamasına katkı sağlar ve ultrasoundun çalışmasına da yardımcı olur diye bildirmişlerdir. Yüzdürme hücresinin tarif ederken, mürekkep partiküllerinin yüzdürme hücresinin içerisine püskürtülen hava kabarcıklarına tutunarak yüzeye çıkması ve oradan da alınması şeklinde yorumlanmıştır. Burada hava kabarcık boyutunu 50–150 μm arasında gösterilmiştir. Fakat yine de etkili mürekkep uzaklaştırmada hava kabarcık boyutuna karar verilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur. Yüzdürme hücreğine verilen çok sayıdaki havanın ise hava kabarcığı ile mürekkep partiküllerinin çarpışma olasılığını artıracaklarını bunun ise süspansiyonda türbülansa sebep olup lif ile mürekkep arasında kargaşa sorununa neden olabileceği bildirilmiştir. Bu yüzden havanın düşük hacimde (hacimce % 20) tutulması önerilmiştir. Su bazlı flexo mürekkeplerin yüzdürme ile uzaklaşmasının zor olduğunu çünkü sonradan yeniden hamurlaştırmada mürekkep boyutunun 0.2–1.0 μm arasında olduğunu ve yüzdürme hücresi için çok küçük partikül olduğundan bahsedilmiştir. Mürekkeplerin suyu sevdiğini fakat bir araya gelmesinin zor olduğunu ve hamur parlaklığında % 6–10 oranında bir kayba neden olacağından bahsedilmiştir. Sıcaklığın, tonerlerin parçacık boyutlarında önemli bir etkiye sahip olduğunu dolayısıyla da sıcaklığın artırılıp azaltılması ile de parçacık hacminde değişiklikler meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca kâğıt hamurunun ultra seslere maruz kalmasının sadece banyo işlemiyle mümkün olabileceğini de bildirmişlerdir. Gelecekteki gelişmelerin dairesel ultrasonik halkalar işbirliğiyle halkaların dâhil olduğu bir akış sisteminde kullanılabileceğini, pratikteki uygulamaların ise kâğıdın geri dönüşümü esnasında, ultrasonik yöntemle kimyasal

kullanılmadan ofis kâğıtları üzerinde mürekkep giderme işlemi yapılabileceğini kaydetmişlerdir [66].

İmamoğlu, S, 2001 çalışmasında mürekkebi giderilmiş hamurlardan elde edilen test kağıtların fiziksel niteliklerinin diğerlerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca bu kağıtların CIE L* değeri 92.15 ve $(a^*2+b^*2)^{1/2}$ değeri ise 8.08 olarak ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan özellikleri belli atık kağıdın "Mürekkep Giderilebilme Faktörü" % 86.11 olarak bulunurken, her üç hamur için %30 civarında madde kayıpları söz konusu olmuştur. Çevre açısından önemli bir kriter olarak kabul edilen kimyasal oksijen isteği analizi her üç hamurun yıkama sonrası atık sularında yapılmış ve sonuçta aralarında su kalitesi açısından önemli bir farkın olmadığı saptanmıştır [64].

Hubbe, M.A., Ark. 2007 çalışmasında atık kağıtların yeniden hamurlaştırma, mürekkep giderme, ıslak parti, pres, baskı, kurutma ve depolanması işlemlerinde lifler üzerinde gerçekleşen bazı değişimleri incelemişlerdir. Bu değişikliklerin, kağıdın geri dönüşümü sırasında yaş pres ve kurutmada hücre duvarlarının çökmesine ve açıklıklarının kapanmasına neden olduğu, hidrojen bağlarını etkileyerek selülozun kristal yapısını artırdığı bildirilmiştir. Lifler tekrar ıslatıldığında ise, hücre duvarlarının çökmesi ve açıklıklarının kapanmasıyla oluşan artan sayıdaki hidrojen bağları lifteki boşlukların tekrar açılmasını önleyerek, selüloz liflerinin şişmesini engellemektedir. Bu olay lifler arasında oluşacak bağları ve dolayısıyla da kâğıdında direnç özelliklerini etkilediğini bildirmişlerdir. Aynı zamanda liflerdeki bu çökme olayı liflerin elastikiyetini ciddi derecede azaltmaktadır [67].

Laboratuvar ortamında atık kâğıtlar üzerinde yapılan mürekkep giderme etkinlik derecelerinin belirlenmesi amacıyla; görüntü analizi, ERIC ve ISO parlaklık ölçüm denemeleri yapılmıştır. Bu amaçla çalışmada karışık atık kâğıt, karışık ofis kâğıdı, mürekkebi giderilmiş karışık ofis kâğıdı, lazer baskı kâğıdı, mürekkep püskürtmeli ve fotokopi baskılı kâğıt örnekleri kullanılmıştır. Mürekkep giderme işlemi sonrasında kalan mürekkep parçacıklarının ölçümünün zor olduğunu bunun için sonuçların kullanılan metodolojiye bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir. Mürekkep giderme etkinliği her test yöntemine göre farklı şekillerde ölçülmüştür. Kullanılan kâğıt ve hamur örneklerinde bu üç teknik arasında uyum sağlanmış ve mürekkep

partikül dağılım analizlerin den benzer değerler olarak ölçülmüştür. Çalışma sonunda ise görüntü analizinin en güvenilir metot olduğu bulunmuştur [68].

İmamoğlu, S., Ark. 2009 çalışmasında tam kuru kâğıt ağırlığının % 1'i kadar sabun çözeltisi pulper içerine ilave edilmiş ve flotasyon aşamasından önce homojen bir karışımın sağlanabilmesi için pulper yaklaşık 1 dk daha çalıştırılmıştır. Sonuç olarak, mürekkepler lifler üzerinden parçalanarak çözeltiye geçmiş ve kâğıt örnekleri tamamen bireysel lifler haline gelerek kâğıt hamuru elde 0edilmiştir. Ayrıca baskılı ve baskısız aynı miktardaki kâğıt örnekleri pulper içerisinde kimyasal madde kullanmadan kâğıt hamuru haline getirilmiştir [69].

Mürekkep giderme (deinking) işleminde 10 litre kapasiteli Degussa flotasyon hücresinde gerçekleştirilmiştir. Pulper ağartma işlemi sonrasında tamamen bireysel lifler haline gelen atık kâğıt hamuru flotasyon hücresi içerisine boşaltılmıştır. Flotasyon sırasında 10 °dH su sertliğinin sağlanabilmesi için hesaplanan miktardaki Kalsiyum Klorür (CaCl_2) sıcak su içerisinde çözülerek flotasyonda kullanılan su içerisine ilave edilmiştir. Ardından toplam hacim 10 litre ve kesafet %1 olacak şekilde 40 °C lik proses suyu ile ayarlanmıştır. Hamur verimi açısından düşünüldüğünde kuşe ve yazı tabı kâğıtlarının karışım halinde kullanılması gerektiği de tavsiye edilmiştir [69].

Mürekkep gidermenin amacının, mürekkebin bağlı bulunduğu liflerden ayrılarak uzaklaştırılması ve ayrılan taneciklerinin tekrar lifler üzerine yerleşmesinin engellenmesi şeklinde bildirilmiştir [70].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan hammadde ve kimyasallar aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.1.1. Hammadde (Atık Kağıt)

Bu çalışmada hammadde olarak Bursa Renkvizyon Matbaa' dan temin edilen ofis kağıtları grubuna giren A4 boyutlu baskısız ve tek yüzeylerine ofset baskı ile işlem yapılmış otokopi kağıtları kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların karşılaştırılabilirliği için kullanılan hammaddenin aynı özellikte olmasına ve eşit baskıyı içermesine özen gösterilmiştir. Her bir deney için % 100 otokopi kağıdından oluşan tam kuru ağırlığı 100 g olan örnekler kullanılmıştır. Deneyde kullanılan örnekler yaklaşık 2x2 cm olacak şekilde elde kırılmış ve polietilen poşetler içerisinde muhafaza edilmiştir (Şekil 3.1). Makas, bıçak vb. kesici aletler liflerin kesilmesine ve hamurlaştırma işlemi sırasında liflerin kaybolmasına neden olduğundan dolayı kırma işleminde kullanılmamıştır.



Şekil 3.1 Çalışmada baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıtları

Aşağıda otokopi kağıdına ait bazı önemli özellikler verilmiştir.

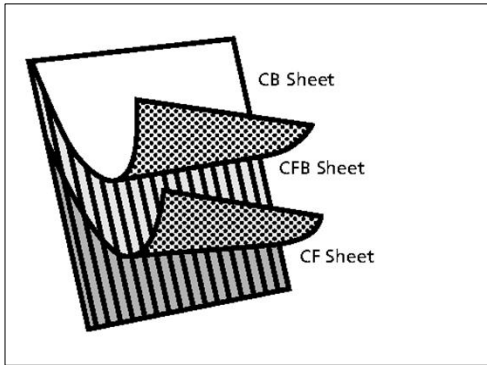
3.1.1.1. Otokopi Kağıdı

Ofis kağıtları grubuna giren otokopi kağıdı, içerisinde bulunan özel kapsüller sayesinde hızlıca kopyalama işlemi yapan kâğıtlardır. Kopyalama işlemini sorunsuz gerçekleştirilebilmesi için yüzeyleri kullanılacakları yere göre kimyasallarla kaplıdır.

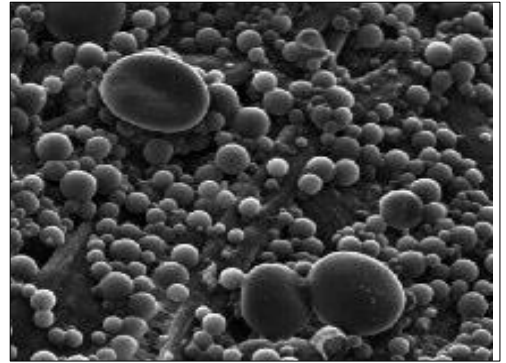
Kullanımından sonra atık kağıt sınıfına dahil olan ve bu çalışmada baz kağıt olarak değerlendirilen “Üç Yaprak Sistemi Otokopi Kağıtları” 55g/m² standart gramajda olup kendinden kopya veren üç yapraktan oluşmaktadır. Bunlar;

- a) Üst Kağıt - ÜK : Kağıdın alt tarafı renk veren mikrokapsül ile kaplıdır.
- b) Orta Kağıt - OK : Kağıdın üst tarafı özel kuşe, alt tarafı ise renk veren mikrokapsül ile kaplıdır.
- c) Alt Kağıt - AK : Kağıdın üst tarafı özel kuşe ile kaplıdır.

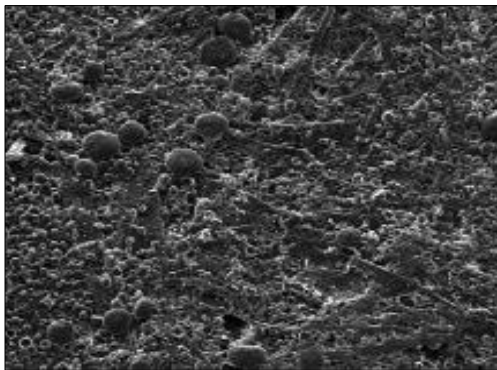
Otokopi kâğıtları en temel şekliyle, alıcı, verici, alıcı ve verici olarak adlandırılır. ÜK, arka yüzeyi mikro kapsül kaplamalı olan verici kâğıttır. Üstteki yazıyı, alt kısma aktarır. OK, arka ve ön yüzeyi mikro kapsül kaplamalı kâğıttır. Üstündeki kâğıdın yazısını yüzeyine alır ve alt kısma aktarır. AK, ön yüzeyi mikro kapsül kaplamalı kâğıttır. Sadece üstündeki kâğıdın yazısını alır.



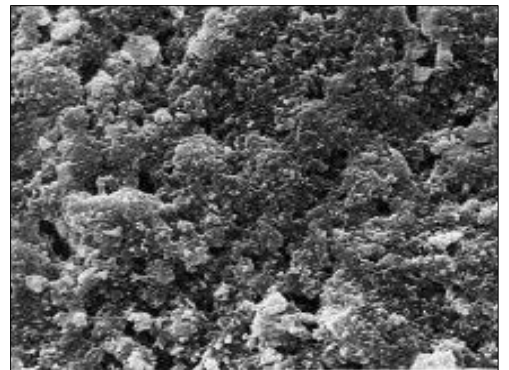
Şekil 3.2 Temel sistem



Şekil 3.3 Üst kağıt



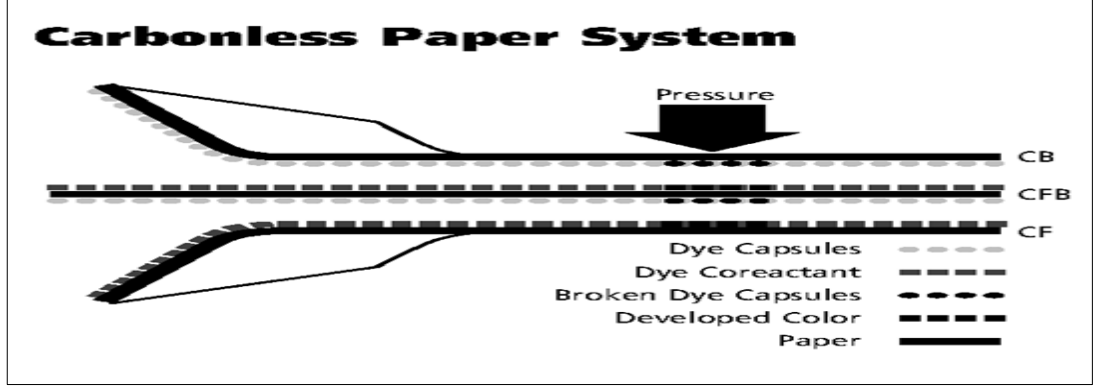
Şekil 3.4 Orta kağıt



Şekil 3.5 Alt kağıt

Basınç ile alt tabakadaki mikro kapsüller patlar ve içindeki renkli sıvıyı alttaki kağıdın üzerindeki alıcı ton tabakasına verir ve kopya meydana gelir. Orta kağıt kopya adedine göre arzu edildiği kadar çoğaltılabilmektedir. Ayrıca çalışmada baz

kağıt olarak kullanılan otokopi kağıdına ait bazı fiziksel ve optik özellikler Çizelge 3.1’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Baz kağıda ait fiziksel nitelikler MD (makine doğrultusu) ve ED (enine doğrultu) dikkate alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.6 Otokopi kağıt sistemi

3.1.1.2. Rutubet Tayini

Çalışmada baz kağıt olarak kullanılan baskılı ve baskısız otokopi kağıtları, ısıtma ve iklimlendirme işleminden sonra hava kuru ağırlığı hesaplanıp tam kuru ağırlıklarını bulmak için etüvde (kurutma fırını) 103±2 sıcaklıkta 6 saat süre ile kurutmaya bırakılmıştır. Bu süre sonucunda kağıt örnekleri etüvden desikatöre alınıp 10 dakika bekletildikten sonra hassas terazide kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

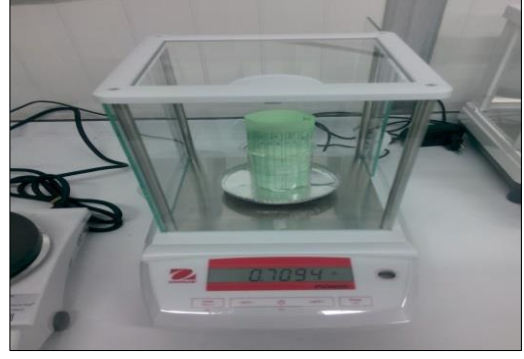
Rutubet miktarlarını belirlemek için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$\text{Rutubet Oranı} = 100 - \left(\frac{K_1}{K_0} \times 100 \right) \quad (3.1)$$

K_1 : Kuru (son) ağırlık (g)

K_0 : Yaş (ilk) ağırlık (g)

Tam kuru ağırlığı 100 gram olacak şekilde gerekli miktar tartılıp parçalandıktan sonra örnekler PE torbaların içerisine konularak ağzı bantlanmış ve hamurlaştırma işlemine kadar < 4 °C şartlarında muhafaza edilmiştir. Rutubet tayinleri; beyaz, sarı, yeşil renklerdeki baskılı ve baskısız otokopi kağıtlarının her birisi için ayrı ayrı hesaplanmıştır.



Şekil 3.7 Rutubet tayini

3.1.1.3. Otokopi Kağıtlarının Kül İçeriği

Tez kapsamında kullanılan atık otokopi kağıtlarının içermiş olduğu renk pigmentleri anorganik maddelerden oluşmaktadır. Kullanım aşamasında olumlu birçok katkısının yanı sıra atık kağıt geri kazanma prosesinde zararlı etkileri olabilmektedir. Bu amaçla ortamda bulunabilecek inorganik madde miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Kullanılan atık kâğıtların kül içeriği TAPPI T-211 standardına göre belirlenmiştir.

Tam kuru madde miktarı bilinen kağıt örnekleri porselen krozelere konulup $575 \pm 25^\circ\text{C}$ de 4 saat süre ile kül fırınında bırakılmıştır. Krozeler fırından maşa yardımıyla alınarak 30 dakika desikatörde bekletildikten sonra hassas terazide tartılarak kağıt içerisindeki % anorganik madde miktarı hesaplanmıştır.

Numunelerin kül miktarını belirlemek için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$\text{Anorganik Madde Miktarı \%} = B/A \times 100 \quad (3.2)$$

$$\text{Tam Kuru Madde Miktarı (g)} = A$$

$$\text{Kül Miktarı (g)} = B$$



Şekil 3.8 Kül Tayini

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan baz kağıtlara ait bazı fiziksel ve optik özellikler

Fiziksel ve Optik Özellikler	Baskısız Otokopi Kağıtları						Baskılı Otokopi Kağıtları					
	Beyaz		Sarı		Yeşil		Beyaz		Sarı		Yeşil	
	MD	ED	MD	ED	MD	ED	MD	ED	MD	ED	MD	ED
Fiziksel Özellikler	Gramaj (g/m ²)	60		60		55,17		59,2		59,5		55,2
	Kalınlık (µm)	74,25		74		62,25		74		73,5		64,5
	Yoğunluk (g/cm ³)	0,808		0,811		0,886		0,8		0,81		0,856
	Kopma İndisi (N.m/g)	42,01	24,92	39,82	19,72	42,77	21,67	43,46	24,03	40,39	23,03	43,59
	Gerilme (%)	1,111	4,048	1,277	2,753	1,125	2,918	1,097	3,672	0,924	3,515	1,111
	Yırtılma İndisi (mN.m ² /g)	13,08	12,8	11,15	10,81	9,84	9,66	12,17	11,48	14,7	12,91	13,18
	Anorganik Madde 575 °C (%)	16,95		17,85		21,35		17,8		16,85		21,25
Optik Özellikler	ISO Parlaklık (%)	100,33		44,77		52,55		98,82		43,88		51,45
	CIE Beyazlık (%)	127,05		-72,06		-16,99		134,1		-69,06		-14,38
	CIE Sarılık (%)	-15,79		54,01		15,51		-23,62		47,88		13,66
	CIE L*	95,3		91,9		87,13		94,05		89,26		86,4
	CIE a*	2,24		-2,54		-18,13		2,29		-3,07		-17,78
	CIE b*	-8,61		32,87		17,02		-9,99		29,38		16,05

3.1.2. Kullanılan Su

Hamurlaştırma, yıkama, yüzdürme, kesafet artırma ve standart kağıt formasyon işlemleri sırasında kaynak suyu kullanılmıştır. Kullanılan proses suyunun toplam çözünmüş katı madde miktarı (ÇKM),iletkenliği, pH ve NACI oranı Hanna HI 255 Combination pH/mV and EC/NaCl Meter cihazı yardımı ile ölçülmüştür. Buna göre; iletkenlik: 317 $\mu\text{S/cm}$, NACI: % 0.7 ve son olarak suyun pH değeri: 7.42 olarak tespit edilmiştir. Suyun sertliği, tam kuru kağıt ağırlığının % 3 oranında ortama ilave edilen kalsiyum klorür ile istenilen 6.5 °dH sağlanmıştır.

3.1.3. Mürekkep Giderme ve Ağartma İşlemi için Kullanılan Kimyasallar

3.1.3.1. Sodyum Hidroksit

Kağıt örneklerinin daha kısa zamanda ve deformasyona uğramadan şişmelerinin sağlanarak hamurlaştırma işleminin gerçekleşmesi ve ağartma için gerekli alkali ortamın sağlanabilmesi için ön denemelerle belirlenen sabit oranda hamurlaştırma (pulper) kademesine ilave edilmiştir.

3.1.3.2. Sabun ve Kalsiyum Klorür

Flotasyon işlemleri sırasında mürekkep partiküllerine hidrofobik(itici) özellik kazandırarak hava baloncuklarına tutunmasını sağlamak amacıyla yağ asidi sabunu kullanılmıştır. Yağ asidi sabunu Viking Kağıt ve Selüloz A.Ş.'den (İzmir) temin edilmiştir. Tam kuru kağıt ağırlığının % 0.067 kadar sabun, 50 ml ve 70 °C su içerisinde çözündürülerek yüzdürme işleminden önce yüksek kesafetteki hamur içerisine ilave edilmiş ve hızlı bir şekilde karıştırılmıştır. Yıkama yöntemi ile mürekkep uzaklaştırma aşamasında ise sabun; % 0.25 oranında hamura(pulper) ilave edilmiştir. Ayrıca flotasyon aşaması sırasında belirlenen su sertliğinin sağlanabilmesi için gerekli miktardaki CaCl_2 kristalleri sıcak suda çözülerek yüzdürme ünitesine ilave edilmiştir.

3.1.3.3. EDTA ve Sodyum Silikat

Hamurlaştırma aşamasında ağartıcı olarak kullanılan hidrojen peroksidi, ortamdaki metal iyonlarının zararlı etkilerinden korumak amacıyla % 0,2 oranında EDTA (Etilen diamin tetra asetik asit) kullanılmıştır. Ayrıca ortamın alkaliliğini artırmak, mürekkebin liflerden sökölmesini sağlamak ve hidrojen peroksidi stabilize etmek amacıyla hamurlaştırma kademesine % 3 oranında sodyum silikat ilave edilmiştir.

3.1.3.4. Hidrojen Peroksit

İlk ağartma olarak da adlandırabilen hamurlaştırma kademesinde alkali ortamın neden olduğu renk koyuluğunu azaltmak için hamurlaştırıcıya hidrojen peroksit ve benzeri ağartıcı kimyasallar ilave edilmektedir. Yapılan tez çalışması kapsamında, Sigma-Aldrich'ten temin edilen % 30'luk hidrojen peroksit % 2 oranında pulpere ilave edilmiştir.

3.1.3.5. FAS ve Sodyum Hipoklorit Asit

Yüzdürme ve yıkama işlemleri sonrası mürekkebi uzaklaştırılan kağıt hamurlarının, kullanım amacı ve kalite gereksinimlerine göre bazı durumlarda renginin daha parlak olması istenebilmektedir. Bu durumda kağıt hamurlarının ağartılması gerekmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında hamurlaştırma işlemi sırasında hamura ilave edilen kimyasal maddelerle birlikte tam kuru kağıt ağırlığının % 3'ü oranında FAS ve sodyum hipoklorit asit katılarak flotasyon işlemi yapılmayıp sadece yıkama yöntemi ile mürekkep uzaklaştırılmış ve hamurun renk, parlaklık ve sağlamlık özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. FAS ve sodyum hipoklorit asit 50 °C sıcaklıkta az miktar su içerisinde çözülerek hamura ilave edilmiştir.



Şekil 3.9 Çalışmada kullanılan bazı kimyasal maddeler

3.2. Yöntem

Bu araştırma, ofis kağıtları grubuna giren atık otokopi kağıtlarının çok daha etkin bir şekilde üretime dahil edilebilmesi amacıyla mürekkep uzaklaştırma işleminde kullanılan yıkama ve flotasyon yöntemlerinin etkilerinin araştırılmasını kapsamaktadır. Çalışmanın karşılaştırılabilir olması için ön denemelerle elde edilen parametreler doğrultusunda işleme devam edilmiştir (Çizelge 3.2). Bu tez çalışması hedeflenen sonuçlara ulaşılması amacıyla iki ayrı bölüme ayrılmıştır.

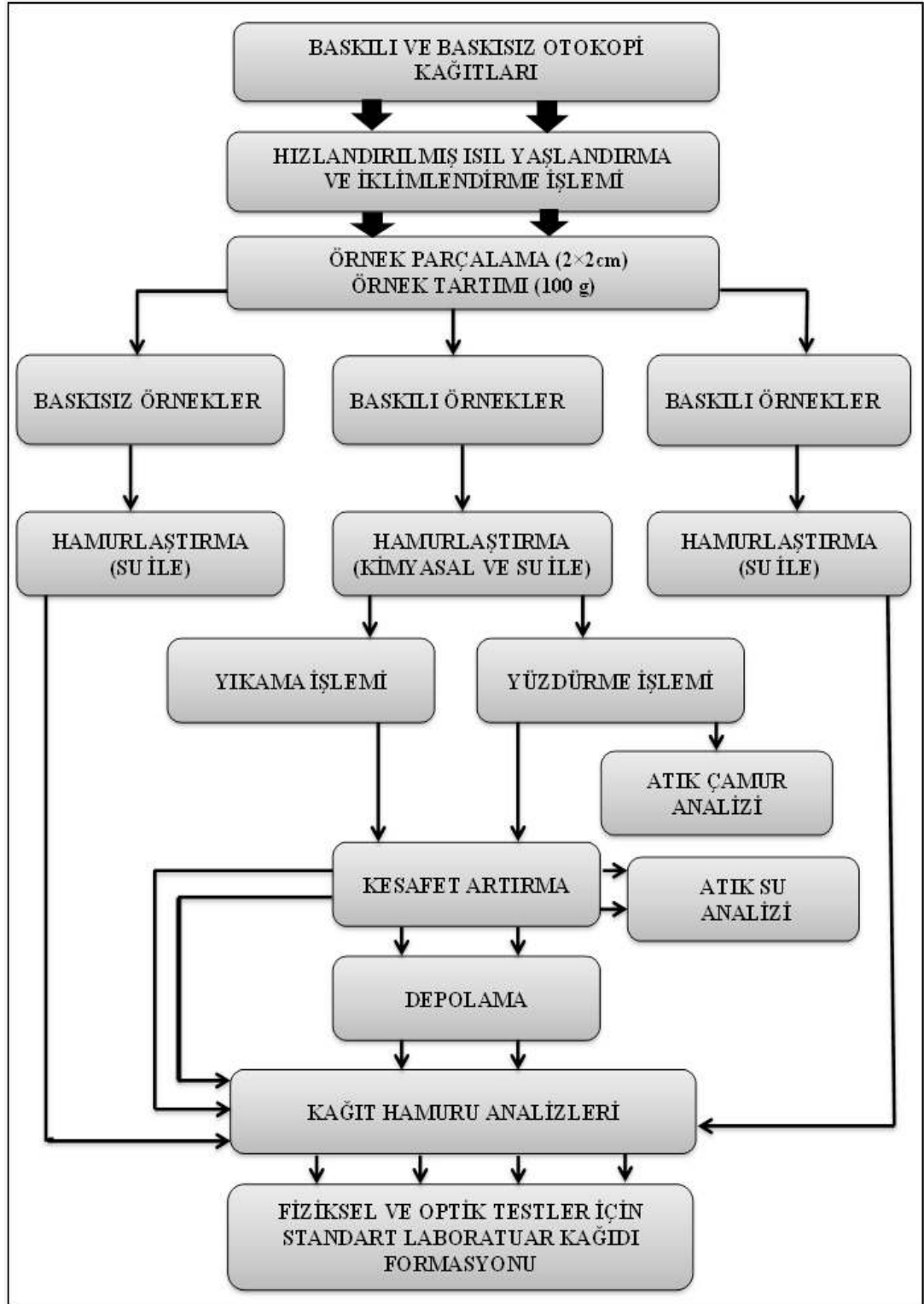
İlk bölümde tam kuru ağırlığı 100 gram olan beyaz otokopi nüshalarından oluşan kağıt örnekleri hamurlaştırma işleminden sonra yüzdürme hücrelerine aktarılmış; yüzdürme yönteminin süreye (9-11-13-15 dak) bağlı olarak ağartma, verim ve mürekkep uzaklaştırma derecesi üzerine etkileri araştırılmış ve optimum flotasyon süresi tespit edilmiştir. Bu işlem sarı ve yeşil otokopi kağıt örnekleri için de yapılmıştır.

İkinci bölümde ise hamurlaştırma kademesine (pulper) FAS ve sodyum hipoklorit asit ağartıcıları ile % 0.25 oranındaki sabun Çizelge 3.2’de verilen kimyasal maddelerle birlikte ilave edilip hamurlaştırma işleminden sonra bu hamur gruplarından yıkama yöntemi ile mürekkep giderme işlemi yapılmıştır. Burada yıkama yöntemi, kullanılan ağartma kimyasalları ve sabun miktarının; hamurun fiziksel ve optik özellikleri üzerine etkileri araştırılarak yıkama ve flotasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır.

Aşağıda laboratuvar işlem akışı sıralanmıştır.

3.2.1.Baskı İşlemi

Baskı işlemi yaygın olarak kullanılan orijinal Heidelberg Cylinder markalı ofset baskı makinesi ile Renkvizyon Matbaa’da (Bursa) gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılacak kağıtlarda eşit baskı işlemi gerçekleştirebilmek amacıyla, daha önceden 12 punto, Times New Roman yazı tipi, aralıklı ve sayfanın tümünü kaplayacak şekilde hazırlanmış baskı formu baz alınarak baskı makinesinde kağıtların tek yüzeyine baskı işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.10 Uygulanan laboratuvar iş akışı şeması

3.2.2.Hızlandırılmış Isıl Yaşlandırma ve İklimlendirme

Baskılı ve baskısız A4 boyutlarındaki baz kağıtlara PTS (Papier Technische Stiffung) metoduna uygun olarak $60\pm 3^{\circ}\text{C}$ ve 144 ± 2 saat süre ile hava sirkülasyonlu bir etüvde ısı yaşlandırma işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.11). Bu işlemin amacı 3-12 aylık doğal

yaşlanmaya eş değer bir hızlandırılmış ısı yaşlandırma (HIY) gerçekleştirmektedir [64]. Daha önce yapılan çalışmalarda ısı yaşlandırmanın mürekkep giderme etkinliği üzerine etkisi tespit edilmiştir [71]. Isı yaşlandırma işleminden sonra, kağıtlar $23\pm1^{\circ}\text{C}$ ve $\% 50\pm2$ bağıl nem şartlarında TAPPIT 402 om-88 metoduna uygun olarak iklimlendirilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Hızlandırılmış ısı yaşlandırma ve iklimlendirme işlemi

3.2.3.Örnek Hazırlama

Hamuru elde etmek amacı ile ısı yaşlandırma işlemleri tamamlanan baskılı ve baskısız otokopi kağıtları laboratuvar tipi hamurlaştırıcıda homojen bir liflendirme sağlamak için yaklaşık 2x2 cm boyutlarında parçalanarak rutubet tayinleri yapılmıştır. Tam kuru ağırlığı 100 gram olacak şekilde gerekli miktar parçalanmış örnekler tartıldıktan sonra PE torbaların içerisine konularak ağzı bantlanmış ve hamurlaştırma işlemine kadar $< 4^{\circ}\text{C}$ şartlarında muhafaza edilmiştir.

Örnek hazırlama işleminde, yapılan her deneyin birbiriyle karşılaştırılabilir olması için kırılan kağıtların aynı sayfalardan oluşmasına, aynı eşit baskıyı içermesine önem verilmiştir.



Şekil 3.12 Yapılan baskı işlemi ve örnek grupları

3.2.4. Hamurlaştırma İşlemi

Hamurlaştırma işlemi karıştırıcı devri esnek bir şekilde ayarlanabilen Şekil 3.13'te görülen Hobart tipi pulper içerisinde gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında istenen hamur sıcaklığının işlem boyunca sabit tutulabilmesi için pulper, sirkülasyonlu sıcak su banyosu içerisine yerleştirilmiştir. Hamurlaştırma işlemi için tam kuru ağırlıkları 100 gram olan otokopi kağıdının beyaz, sarı, yeşil nüshaları karıştırılmadan öncelikle sıcaklığı 45 °C olan su ile ölçülü bir kap içerisinde % 20 konsantrasyona ayarlanmış ve 10 dakikalık süre ile kağıtların ıslanması sağlanmıştır. Daha sonra ilk devirde (55devir/dak) çalışır duruma getirilen hamurlaştırıcı içerisine aktarılmıştır. Bu sırada hamurlaştırıcı sıcaklığı 45°C'ye ayarlanmıştır. Hamurlaştırıcı yaklaşık 5 dakika sonra orta devire (85devir/dak) ayarlanıp bu hızda 2 dakika boyunca karıştırma işlemi uygulanmış ve hamurlaştırıcı durdurularak ilk pH ölçümü yapılmıştır. Bu işlemin ardından Çizelge 3.2'de belirtildiği oranlarda ortama, sodyum hidroksit, sodyum silikat, EDTA ve ağartıcı olarak kullanılan reaktif (hidrojen peroksit) ilave edilmiştir. Kimyasal maddelerin ilave edilmesinin ardından hamurlaştırıcı 150 (devir/dakika) ye çıkarılıp kimyasalların homojen şekilde hamura karışması sağlanmış ve üç dakikalık süre sonunda ikinci pH ölçümü yapılmıştır. pH ölçümünün ardından hamurlaştırıcı tekrar çalıştırılmış ve hamurlaştırma işlemine devam edilmiştir. Toplam 15 dakika olan işlem süresinin bitimine üç dakika kala hamurlaştırıcı içerisine Çizelge 3.2'de belirtilen oranda kolektör madde (sabun) ilave edilmiştir. Hamurlaştırma işleminin sonunda tekrar pH ölçümü yapılmış ve kağıt hamuru yıkama veya yüzdürme hücresine transfer edilmiştir. Ayrıca baskılı ve baskısız aynı miktardaki kağıt örnekleri hamurlaştırıcı içerisinde kimyasal madde kullanılmadan kağıt hamuru haline getirilmiştir.

Adı geçen üç değişik hamurun kısaca tanımları aşağıdaki gibidir;

- ABH-ASH-AYH: Baskısız kağıtların su ile hamurlaştırılması ile elde edilen hamur (ABH: Baskısız beyaz hamur, ASH: Baskısız sarı hamur, AYH: Baskısız yeşil hamur),
- BH-SH-YH: Baskılı kağıtların su ve kimyasal maddelerle hamurlaştırılması ve yıkama - flotasyon yöntemleri ile mürekkebinin giderilmesinden sonra elde edilen hamur (BH: Baskılı Beyaz hamur, SH: Baskılı Sarı hamur, YH: Baskılı Yeşil hamur),

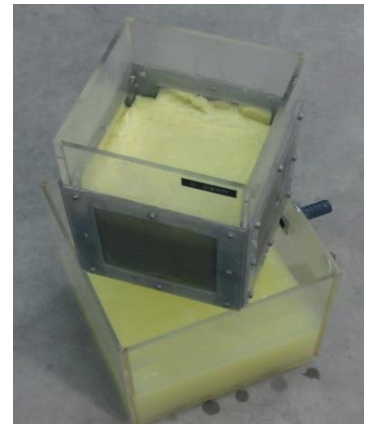
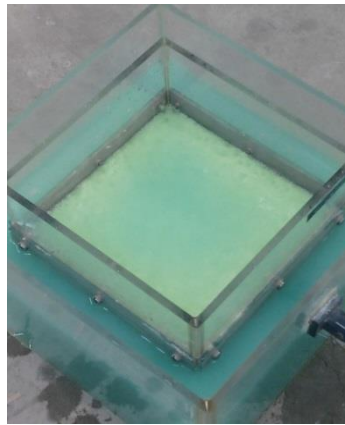
- BBH-BSH-BYH: Baskılı kağıtların su ile hamurlaştırılması ile elde edilen hamur (BBH: Baskılı beyaz hamur, BSH: Baskılı sarı hamur BYH: Baskılı yeşil hamur).



Şekil 3.13 Hobart tipi pulper ve hamurlaştırma işlemi

3.2.5. Yıkama İşlemi

Yıkama işlemi 10 litre kapasiteli 150 mesh'lik iç hazne eleğine sahip Degussa yıkama hücresinde gerçekleştirilmiştir. Mürekkep giderme işleminin birinci aşaması olan hamurlaştırma kademesinden sonra hamur yıkama ünitesinin iç haznesine doldurularak Çizelge 3.2'de verildiği gibi 2.0 L/dak su akımında 10 dakika süre ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlem sonucunda iç haznedeki hamur yaklaşık % 30-32 kesafete getirilerek rutubet tayini için gerekli örnek alındıktan sonra standart test kağıtları yapmak için soğutucu içerisinde saklanılmıştır. Yıkama sonrasında muhafaza edilen atık suyun iletkenliği ve pH değeri Hanna Instruments 255 Combined Meter cihazı ile ölçülmüştür. Ayrıca yıkama esnasındaki madde kayıplarını bulmak ve atık su içerisindeki kalıntıların optik niteliklerini tespit etmek amacıyla muhafaza edilen atık sudan gerekli miktar külsüz filtre kağıdından süzölmüştür.

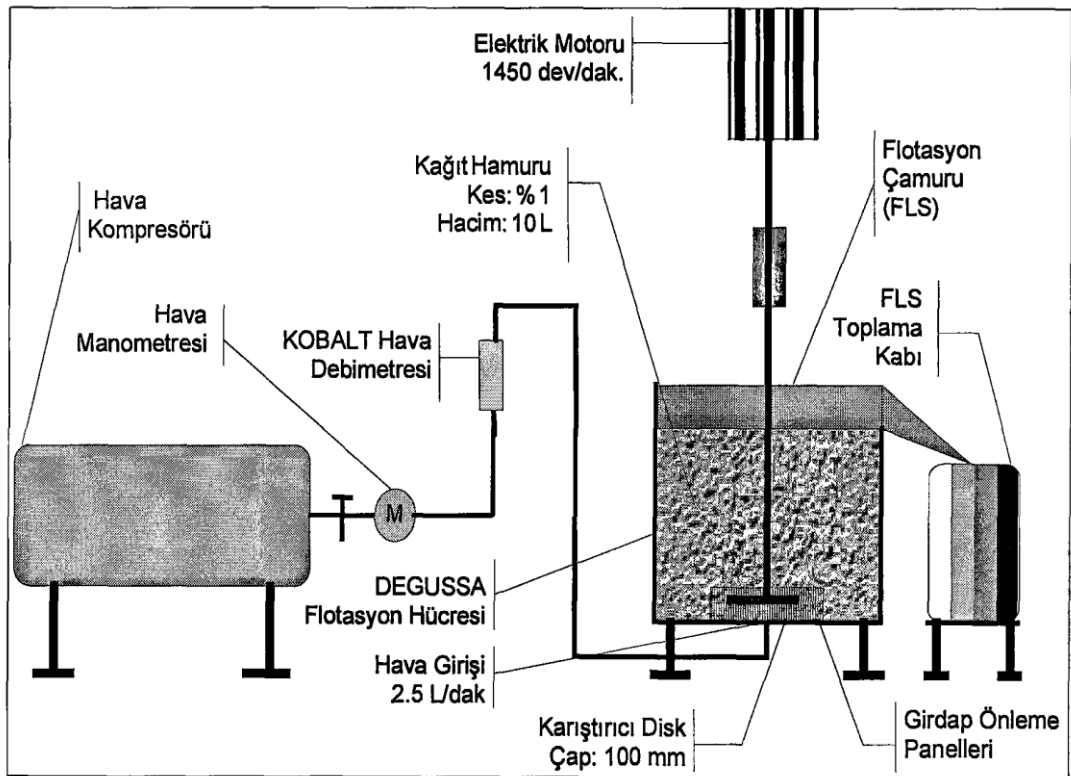


Şekil 3.14 Hamurlaştırma işlemi sonrası yapılan yıkama işlemi

3.2.6. Yüzdürme İşlemi

Mürekkep uzaklaştırma işlemi 10 litre kapasiteli degussa tipi yüzdürme hücresinde (Şekil 3.15) gerçekleştirilmiştir. Hamurlaştırma işlemi sonrasında tamamen bireysel lifler haline gelen atık kağıt hamuru yüzdürme hücresi içerisine boşaltılmıştır. Yüzdürme işlemi sırasında istenilen su sertliğinin sağlanabilmesi için Çizelge 3.2’de belirtilen oranda kalsiyum klorür (CaCl_2) sıcak su içerisinde çözülerek hücre içerisine ilave edilmiştir. Ardından toplam hacim 10 litre olacak şekilde konsantrasyon 45°C ’lık su ile % 1’e ayarlanmıştır. Yüzdürme hücresine hava debimetresi ve hızı ayarlanabilir hava pompası yardımıyla dakikada 2,5 litre olacak şekilde alt kısımdan hava verilmiştir. Karıştırıcı hızı 1450 devir/dakika olarak ayarlanıp, 100 mm çapındaki delikli karıştırma disk kullanılmıştır. Yüzdürme işlemine (9-11-13-15) dakika devam edilmiş ve her 20 saniyede bir yüzeydeki köpüklü kısım bir kap içerisine sıyrılmıştır. Biriktirilen mürekkep, su, lif ve dolgu maddesi içerikli karışım ileriki analizler için muhafaza edilmiştir. İşlem boyunca yüzdürme hücresindeki süspansiyonun seviyesi ilave sıcak su ile sabit tutulmuştur.

Tüm deneysel işlemler, oda sıcaklığının $21\pm 2^\circ$ olduğu standart koşullar altında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15 Degusa yüzdürme hücresinin şematik gösterimi [17]



Şekil 3.16 Yüzdürme işlemi

Çizelge 3.2 Laboratuar çalışmasında uygulanan şartlar

Hamurlaştırma Re-Pulping	Sodyum Hidroksit Sodyum Silikat Hidrojen Peroksit Kalsiyum Klorür EDTA FAS Sodyum Hipoklorit Asit Sabun Sıcaklık Kesafet İşlem Süresi	Sodium Hydroxide Sodium Silicate Hydrogen Peroxide Calcium Chloride Ethylene diamine tetra acetic acid Formamidine Sulfinic Acid Sodium Hypochlorite Acid Soap Temperature Consistency Retention Time	%2.0* %3.0* %2.0* %3.0* %0.2* %3.0* %3.0* %0.067* 45°C % 15 15 dak
Flotasyon Flotation	Hava Debisi Sıcaklık Kesafet İşlem Süresi Karıştırıcı Hızı	Air Flow Temperature Consistency Retention Time Agitation Speed	2.5 L/dak 45 °C % 1.0 (9-11-13-15) dak 1450 devir/dak
Yıkama Washing	Su debisi Sıcaklık Kesafet İşlem Süresi	Water Flow Temperature Consistency Retention Time	2.0 L/dak 45 °C % 1.0 10 dak
Disintegrasyon Disintegration	Sıcaklık Kesafet İşlem Süresi	Temperature Consistency Retention Time	45 °C % 2.5 3 dak
Diğer Parametreler Other Parameters	Kullanılan Suyun İletkenliği Kullanılan Suyun pH Kullanılan Suyun Sertliği	Mater Conductivity Water pH Water Hardness	317 µS/cm 7.42 6.5 °dH
* Verilen kimyasal madde oranları ön denemelerle tam kuru madde ağırlığına göre ayarlanmıştır.			

3.2.7. Kesafet Artırma İşlemi

Kesafet artırma işlemi 10 litre kapasiteli ve 200 tyler meshlik (0,075mm açıklık veya DIN No:80) iç hazne eleğine sahip Degussa yıkama hücresinde gerçekleştirilmiştir. Yüzdürme ve/veya yıkama işleminden sonra % 1 konsantrasyondaki mürekkebi giderilmiş hamur, yıkama hücresinin iç haznesine doldurulmuş ve atık suyun elek dışına çıkması kendi haline bırakılarak sağlanmıştır. Ardından, iç haznede kalan hamur sıkılarak konsantrasyonun % 30-32 civarına gelmesi sağlanmıştır. Dış hazne içerisindeki atık su ise 15 litrelik kovada ileriki analizler için muhafaza edilmiştir. Yüksek konsantrasyondaki hamur (BH, SH, YH), rutubet tayini için gerekli örneğin alınmasından hemen sonra polietilen poşet içerisine koyularak -15°C'lik soğutucuda ileriki işlemler için saklanmıştır.



Şekil 3.17 Kesafet artırma ve soğutucuda saklama işlemi

3.3. Uygulanan Kimyasal ve Fiziksel Analizler

3.3.1. Kağıt Hamurlarına Uygulanan Analizler

3.3.1.1. Kağıt Hamurların Verimlerinin Belirlenmesi

Hamurlaştırma ve ardından uygulanan yıkama ve yüzdürme işlemleri sonrası elde edilen hamurların verimleri, hamurlaştırıcıya ilave edilen tam kuru atık kağıda oranla hesaplanmaktadır. Çalışma kapsamında aynı zamanda, yıkama ve yüzdürme işlemleri sonrası oluşan atık çamur, kesafet artırma işlemleri sonrası açığa çıkan süzüntü sudaki askıda katı madde miktarı ve çözülmüş katı madde miktarı, hamur verimi ve ilk başta hamurlaştırıcıya ilave edilen toplam katı madde miktarı yani atık kağıt ve kimyasal maddelerin hesaba katıldığı bilanço analizi dolayısı ile sistem verimliliği belirlenmiştir.

3.3.1.2. Kağıt Hamurları İçerisindeki Anorganik Madde Tayini

Laboratuvar çalışmaları boyunca yapılan anorganik madde tayinleri temel olarak üç ana grup altında yapılmıştır. Birinci grup, hamurlaştırma ve ardından uygulanan yıkama ve yüzdürme işlemleri sonrası elde edilen kağıt hamurlarının anorganik madde miktarı, ikinci grup kesafet artırma işlemi sonrası atık sudaki askıda katı maddenin anorganik madde miktarı, üçüncü grup ise yüzdürme işlemi sırasında uzaklaştırılan atık çamurun anorganik madde miktarı tayinidir.

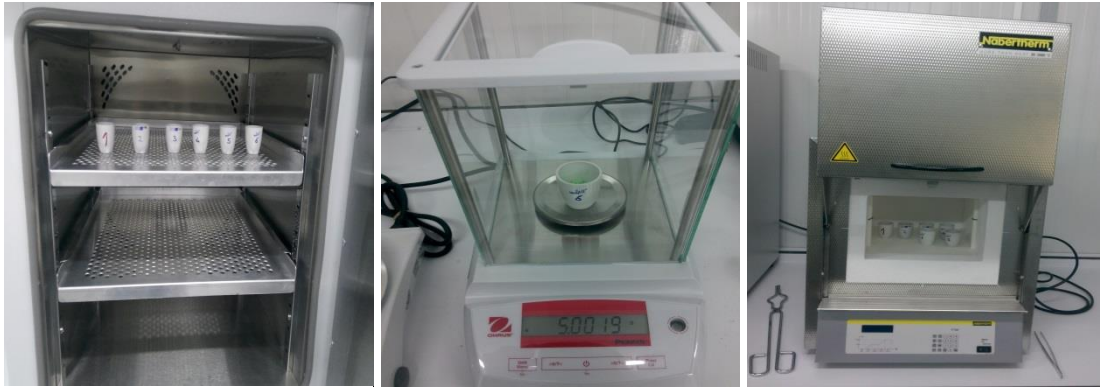
Yıkama ve yüzdürme işlemleri sonrası elde edilen kağıt hamuru, askıda katı madde miktarı ve atık çamurun anorganik madde miktarını belirlemek amacıyla Tappi 211 om-85 metodu kullanılmıştır.

Tam kuru madde miktarı bilinen hamur örnekleri, ilk olarak porselen krozeler içerisinde etüvde kurutulmuş ardından çeker ocak altında alevsiz şekilde yakılmıştır. Yakma işleminden sonra, krozeler kül fırınına alınarak $575 \pm 25^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 4 saat süre ile tüm organik maddelerin yanması sağlanmıştır. Kroze içerisindeki kalıntı madde tartılarak hamur içerisindeki % anorganik madde miktarı hesaplanmıştır (3.3).

$$\text{Anorganik Madde Miktarı (\%)} = [B/A] \times 100 \quad (3.3)$$

A :Tam kuru hamur ağırlığı (g)

B : 575°C 'de yakma işleminden sonraki kalıntı (g)



Şekil 3.18 Kağıt hamurları içerisindeki anorganik madde tayini

3.3.2. Atık Çamur ve Su Analizleri

Yüzdürme işlemi sırasında uzaklaştırılan madde atık çamur miktarının belirlenmesi ve çamur içerisindeki anorganik madde miktarının saptanması elde edilecek hamurun verimi ve diğer nitelikleri açısından önemlidir. Bu amaçla, yüzdürme hücresinin üst

kısımında biriken lif, dolgu maddesi, mürekkep ve kirlilik karışımından oluşan süspansiyon yani yüzdürme atık çamuru, 1 litrelik bir mezüre alınarak bir süre katı maddelerin çökmesi için beklenmiştir. Çamur taslağın oluşturulma işlemi, daha önceden tam kuru ağırlığı belirlenmiş siyah bant külsüz filtre kâğıdından buhner hunisi ve vakum pompası yardımı ile süspansiyonun önce sıvı fazının daha sonra da katı fazının süzülmesi ile sağlanmıştır. Süzme sonunda oluşturulan yaklaşık % 50 kesafetteki çamur taslağı 105 ± 2 °C'ye ayarlı bir etüvde kurutularak tam kuru madde miktarı hesaplanmıştır. Kuru haldeki bu taslaklar daha sonra yapılacak anorganik madde tayinleri için uygun bir ortamda muhafaza edilmiştir (Şekil 3.19).

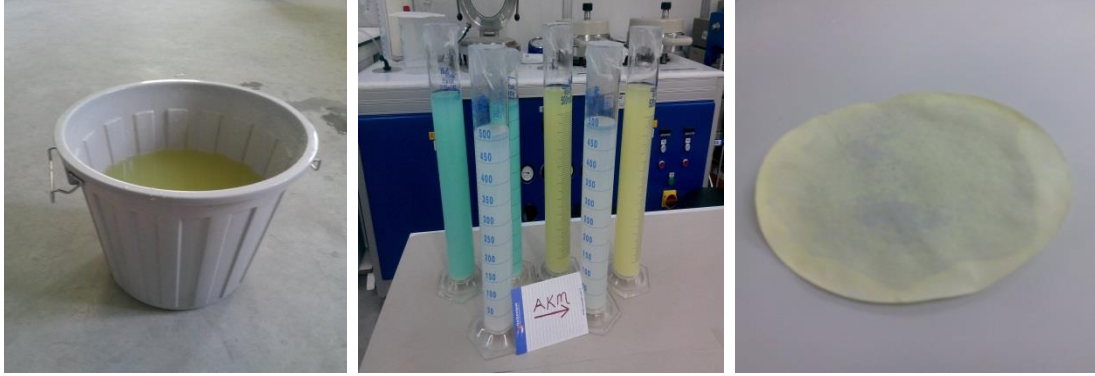


Şekil 3.19 Çamur taslağın oluşturulma işlemi

3.3.2.1. Atık Su İçerisindeki Askıda Katı Madde (AKM) Tayini

Özellikle kapalı devre sistemi ile üretim yapan kâğıt fabrikalarında işlemler sonrasında uzaklaştırılan süzüntü su tekrar kullanıldığı için bu su içerisinde bulunan askıda ve çözülmüş katı maddelerin miktarı önemlidir. Kesafet artırma işleminden sonra biriktirilmiş atık su içerisinde bulunan askıda katı madde miktarı tayini Tappi-656 metoduna göre yapılmıştır. 10 litrelik atık su 25 ± 2 °C'ye kadar soğutulduktan sonra homojenliğin sağlanması için iyice karıştırılmış ve bundan 500 ml örnek alınmıştır. Süzme işlemi 50 mm çaplı külsüz ve tam kuru ağırlığı daha önceden belirlenmiş beyaz bant filtre kâğıdından, süzme hunisi ve vakum pompası yardımı ile gerçekleştirilmiştir. İşlem sonunda filtre kâğıdı ve üzerindeki kalıntı 105 ± 2 °C'lik etüvde tam kuru hale gelene kadar kurutulmuş ve hassas terazide tartılmıştır. Bu değerden tam kuru filtre kağıdı ağırlığı çıkarılarak kalıntı madde bulunmuş ve bu değer de 20 ile çarpılarak atık su içerisinde bulunan toplam askıda katı madde miktarı hesaplanmıştır (Şekil 3.20). Filtre kağıdı ve üzerindeki kalıntı madde

anorganik madde tayini için uygun bir ortamda muhafaza edilmiştir. Ayrıca süzöntü su, çözünmüş katı madde miktarı tayini için temiz bir nuçe erleninde biriktirilmiştir.



Şekil 3.20 Atık Su İçerisindeki Askıda Katı Madde (AKM) bulunması

3.3.2.2. Atık Su İçerisindeki Çözünmüş Katı Madde (ÇKM) Tayini

İşlemler sırasında çözünen ve atık su içerisine karışan katı maddenin (ÇKM) tayini için Tappi-656 test metodu kullanılmıştır. Toplam çözünmüş katı madde miktarını belirlemek için AKM tayininden sonra nuçe erleninde biriktirilen süzöntü kullanılmıştır. 250 ml süzöntü daha önceden tam kuru ağırlığı belirlenmiş ısıya dayanıklı cam beher içerisine dökülerek kaynatılmıştır. Kaynatma işlemi beher içerisinde yaklaşık 20-30 ml süzöntü kalana kadar devam edilmiş ve ardından düşük sıcaklıkta tamamen buharlaşma tamamlanmıştır. İşlem sonunda beher tekrar hassas terazide tartılarak kalıntı madde miktarı hesaplanmıştır. Bu değer de 40 ile çarpılmak sureti ile 10 litre atık su içerisindeki işlemler sırasında çözünmüş katı madde miktarı bulunmuştur (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Atık su içerisindeki Çözünmüş Katı Madde (ÇKM) hesaplanması

3.3.2.3. Atık Suyun İletkenlik ve pH Değerinin Belirlenmesi

Kesafet artırma işlemi sonrası oluşan süzüntü sudan alınan numuneler üzerinden pH ve iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Bu değerler özellikle ortamda bulunan kalsiyum iyon yoğunluğu, ortama ilave edilen alkali ve kimyasalların özelliklerine göre farklılık göstermektedir.

3.3.3. Optik Testler

3.3.3.1. Optik Testler İçin Test Kağıtları Hazırlama İşlemi

Hamurlaştırıcı, yıkama ve yüzdürme hücresi içerisinde farklı proses koşullarında üretilen hamurların mürekkep uzaklaştırma etkinliği, parlaklık, beyazlık ve renk değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla Rapid Köthen test cihazında standart laboratuvar test kağıtları ISO standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Makine giriş suyunun, elde edilecek kağıtların optik niteliklerine zarar vermemesi için makine ana giriş ve kağıt formasyonu ünitesine giriş noktalarına iki adet su filtresi takılmış ve aralıklarla değiştirilmiştir. Elde edilen laboratuvar kağıtlarının gramajları ise 70 g/m² olarak hedeflenmiş ve taslaklar kurutma ünitesinde 93±4°C sıcaklıkta 7 dakika süre ile kurutulmuştur (Şekil 3.22).

Optik özelliklerin belirlenebilmesi, özellikle mürekkep giderme etkinliğinin belirlenebilmesi için kağıt hamurundan süzgeç kağıdı ve buhner hunisi kullanılarak oluşturan INGEDE test kağıtları aynı hamurdan hazırlanan deneme kağıtlarına göre bazı durumlarda daha hatasız sonuçlar verebilmektedir. Bunun nedeni kağıt hazırlama prosesi sırasında ortamda bulunan küçük mürekkep parçacıkları ve dolgu maddelerinin yıkanarak ortamdan uzaklaşmasıdır. Oysa INGEDE test kağıtları, geçirgenliği daha az olan süzgeç kağıdı kullanımından ve konsantrasyonun daha yoğun olmasından dolayı hamurun özelliklerini daha iyi temsil etmektedir [14-17]. Bu amaçla INGEDE Test Method 1'in 4.1.1 maddesine göre INGEDE kağıtları hazırlanmıştır. Bu yöntemle göre tam kuru ağırlığı 4 g olacak şekilde alınan kağıt hamuru 1 litreye seyreltilmiş ve üzerine filtre kağıdı yerleştirilen 160 mm çaplı buhner hunisinde bir vakum kaynağı ile süzölmüştür. Daha sonra elde edilen test kağıtları Rapid-Köthen kurutucusunda 10 dakikalık süreyle kurutulmuştur. Ölçüm yapılana kadar INGEDE kağıt süzgeç kağıdından sökülmemiştir.



Şekil 3.22 Optik testler için test kağıdı hazırlama işlemi

3.3.3.2. Test Kağıtlarına Ait ISO Parlaklık Ölçümü

Deneme kağıtlarının parlaklık değerleri ISO 2470-1977 (E) standardı esas alınarak Minolta CM-2600d Spektrofotometresinde belirlenmiştir. Parlaklık ölçümleri, deneme kağıtları ışığı geçirmeyecek şekilde dörde katlanarak aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde kağıdın iki yüzündeki farklı noktalardan yapılan ölçümler ile gerçekleştirilmiştir.

☐ MASK/GLOSG	:M/I+E
☐ UV Ayarları	:UV%0
☐ Aydınlatıcı 1	:D65
☐ Aydınlatıcı 2	:C
☐ Observer	:10°C
☐ Ekran	:Diff&ABS
☐ Renk Genişliği	:B ISO 2470
☐ Auto Avg	:1
☐ Gecikme Zamanı	:0,05

3.3.3.3. Test Kağıtlarına Ait CIE Beyazlık İndeksi (WI) Ölçümü

Beyazlık ölçümü Minolta CM-2600d Spektrofotometresinde ISO/DIS 11476 standardına göre yapılmıştır. Beyazlık ölçümünde farklı yöntemler bulunmakla birlikte bu çalışma kapsamında CIE beyazlık değerleri ve Ganz tint değerleri ölçülmüştür. Dış (D65/10°) ve iç (C/2°) ışık ortamında gerçekleştirilen analizler için hesaplama işlemi, ISO 11475 ve 11476 standartlarında verilen 400-700nm dalga boylarına karşılık gelen X (kırmızı), Y (Yeşil) ve Z (mavi) ışıkların ağırlık faktörleri kullanılarak otomatik olarak yapılmıştır [14].

3.3.3.4. Test Kağıtlarına Ait Sarılık İndeksi (YI) Ölçümü

Sarılık indeksi ölçümü Minolta CM-2600d Spectrofotometresinde ASTM D1925 standardına göre yapılmıştır.

3.3.3.5. Test Kağıtlarına Ait CIE L*a*b* Renk Değerlerinin Ölçümü

Renk ölçümleri ISO/CD 5631 standardına göre difüz reflektans metodu ile yapılmıştır. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) tarafından 1971 yılında kağıt endüstrisi için önerilen bu sistem trisitumulus (X, Y, Z) değerlerinden program aracılığı ile L*a*b* CIELAB koordinatlarının hesaplanmasıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.23 Test kağıtlarına ait CIE L*a*b* renk değerlerinin ölçümü

3.3.3.6. INGEDE ve ISO Test Kağıtlarından Mürekkep Uzaklaştırma Etkinliği IE₇₀₀ ve IE₉₅₀ Değerlerinin Ölçülmesi

Bu amaçla INGEDE test metod 2 ye göre INGEDE test kağıdı ve ISO test kağıdı üzerinden IE₉₅₀ ve IE₇₀₀ yani 950nm ve 700nm dalga boyunda ölçülen reflektans değeri ile baskılı ve baskısız kağıtlardan hazırlanan kontrol örneklerinin reflektans değerleri baz alınarak hesaplanan, mürekkep giderme etkinliği (Ink Elimination) ölçülmüştür (Formül 3.4). Reflektans ölçümleri Specord 40 UV-VIS-NIR spektrofotometresi ve bu alete uygun kağıt ve benzeri yüzeyler üzerinden ölçüme olanak veren diffuse reflektans ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$IE_{700}(\%) = \frac{\left[\frac{(1-R_{\infty,UP})^2}{R_{\infty,UP}} \right] - \left[\frac{(1-R_{\infty,DP})^2}{R_{\infty,DP}} \right]}{\left[\frac{(1-R_{\infty,UP})^2}{R_{\infty,UP}} \right] - \left[\frac{(1-R_{\infty,unpr})^2}{R_{\infty,unpr}} \right]} \times 100 \quad (3.4)$$

- **IE700 veya IE950** : 700 veya 950nm Dalga Boyunda Ölçülen Mürekkep Giderme Etkinliği
- **$R_{\infty,UP}$** : Mürekkebi Giderilmemiş Hamurun 700 veya 950nm Dalga Boyundaki Reflektansı
- **$R_{\infty,DP}$** : Mürekkebi Giderilmiş Hamurun 700 veya 950nm Dalga Boyundaki Reflektansı
- **$R_{\infty,unpr}$** : Baskı Yapılmamış Kâğıttan Elde Edilen Hamurun 700 veya 950nm Dalga Boyundaki Reflektansı

$$\frac{(1 - R_{\infty,unpr})^2}{R_{\infty,unpr}} \quad (3.5)$$

Değeri bazı durumlarda, özellikle baskı yapılmamış kağıt hamurunun temin edilemediği durumlarda sıfır olarak kabul edilmektedir.

3.3.4. Test Kağıtlarına Uygulanan Fiziksel Testler

3.3.4.1. Fiziksel Testler İçin Laboratuvar Kağıdı Formasyonu

Yıkama ve yüzdürme sonucunda elde edilen hamurların test kağıtları Rapid Köthen test kağıdı cihazında ISO standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Makine giriş suyunun, elde edilecek kağıtların optik niteliklerine zarar vermemesi için makine ana giriş ve kağıt formasyonu ünitesine giriş noktalarına iki adet su filtresi takılmış ve aralıklarla değiştirilmiştir. Elde edilen laboratuvar kağıtlarının gramajları ise 70 g/m² olarak hedeflenmiş ve taslaklar kurutma ünitesinde 93±4°C sıcaklıkta 7 dakika süre ile kurutulmuştur.

3.3.4.2. Test Kağıtlarının Şartlandırılması

Elde edilen laboratuvar test kağıtları, Tappi 402-om-88 standardına göre 23 ± 1°C sıcaklık ve % 50 ± 2 bağıl nem içerecek şekilde ayarlanan şartlandırma odasında 1 hafta bekletildikten sonra fiziksel testlere tabi tutulmuştur.



Şekil 3.24 Test kağıtlarının şartlandırılması

3.3.4.3. Rutubet, Gramaj, Kalınlık ve Yoğunluk Tayinleri

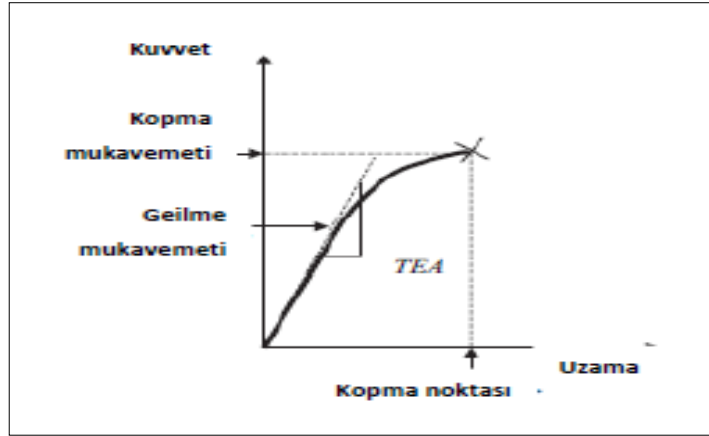
Kullanılan baz kağıtta ve standart laboratuvar kağıtlarında rutubet tayinleri Tappi 412 standart yöntemine göre, gramajları ise ISO/DIS 536 standardı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar 1m² deki tam kuru madde miktarı olarak verilmiştir. Ayrıca kağıtların kalınlıkları Tappi T411 om-89 metoduna uygun olarak belirlenirken hacimlilik ve yoğunlukları da hesaplama yoluyla bulunmuştur.

3.3.4.4.Kopma Testi

Tappi 404 om-87 standardına uygun olarak Testometric 2.5 kN tipi kopma cihazı ile kağıt şeritlerin kopma direnci ölçülmüştür. 15 mm genişliğinde kesilen kağıt şeritler, 100 mm uzunluğunda aralığa sahip koparma çeneleri arasına yerleştirilerek ve çekme hızı 120 mm/dak olarak ayarlanarak kopmanın 20 ± 5 saniyede gerçekleşmesi sağlanmıştır. Kaydedilen gram-kuvvet (gN) cinsinden kopma direnci aşağıdaki formüle (3.6) göre kopma indisine çevrilmiştir.

$$Kopma \text{ Ind.}(N.m/g) = \frac{Kopma \text{ Direnci}(gN) \times 0.0098}{Şerit \text{ Gen.}(m) \times Gramaj(g/m^2)} \quad (3.6)$$

Ayrıca, kopma işlemi sırasında meydana gelen % uzama, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, gerilme indeksi, T.E.A., gerilme uzunluğu değerleri de kaydedilmiştir.

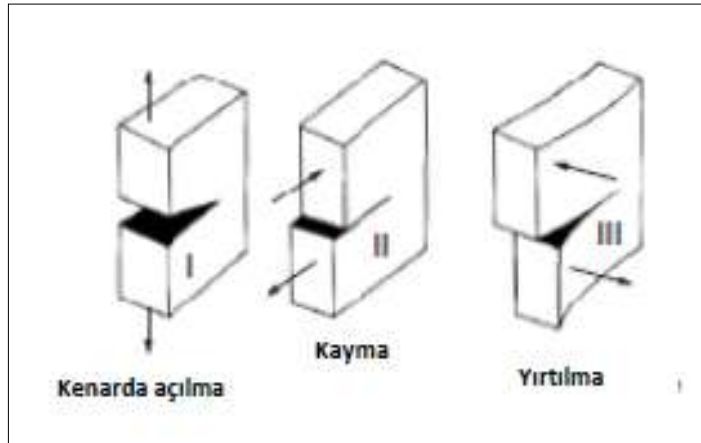


Şekil 3.25 Kağıdın gerilme eğrisi

3.3.4.5. Yırtılma Testi

Yırtılma testi, Tappi 414 om-88 standardına göre TMI Group of Companies tipi yırtılma cihazında yapılmıştır. Kağıt örnekleri 63×75mm boyutlarında kesildikten sonra 4 kat olacak şekilde yırtılma işlemi gerçekleştirilmiştir. Cihazda okunan değer aşağıdaki formül (3.7) yardımı ile yırtılma indisine çevrilmiştir.

$$Yırtılma\ Ind.(mN.m^2/g) = \frac{Okunan\ Değ. \times 3 \times 9,8}{Kağıt\ Ad. \times Gramaj(g/m^2)} \quad (3.7)$$



Şekil 3.26 Kağıdın yırtılma aşamaları

2.4. İstatistiksel Yöntemler

Bu çalışmada yapılan test veya analizler için örnek sayısı ve seçimi, kullanılan ekipmanların kalibrasyonu ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi Tappi ve ISO gibi uluslararası standartlara göre yapılmıştır. Flotasyon ve yıkama prosesleri temel iki grup olarak düşünülmüş ve bu iki gruba ait fiziksel ve optik test sonuçları varyans analizi kullanılarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması, “Materyal ve Metot” bölümünde belirtildiği gibi iki ana bölümden oluşmaktadır. Çalışma sonucu elde edilen bulgular, bu iki ana başlık altında sunulmuştur. İlk bölümde flotasyon süresine bağlı olarak mürekkep uzaklaştırma derecesi, verim değerleri, optik ve fiziksel testlere ait bulgular; ikinci bölümde hamurlaştırma sırasında kullanılan FAS, sodyum hipoklorit asit kimyasalları ve yağ asidi sabunuyla birlikte yıkama yönteminin mürekkep giderme etkinliği ve diğer özelliklere ait bulgular yer almaktadır. Proseslerin uygulanması sırasında yapılan ölçüm değerlerinden başlanarak en son işlem olan standart test kâğıtlarının ölçümlerine kadar olan kimyasal ve fiziksel testlere ait bulgular beş başlık altında incelenmiştir;

1. Prosesler sırasında ölçülen pH değerleri ve madde bilançosu analizi.
2. İşlemler sonunda ortaya çıkan atık suyun özellikleri.
3. Kağıt hamuru ve atıklardaki anorganik-organik madde dengesi.
4. Standart laboratuvar test kâğıtlarının optik özellikleri
5. Standart laboratuvar test kâğıtlarının temel ve fiziksel direnç özellikleri

4.1. Prosesler Sırasında Ölçülen pH Değerleri ve Madde Bilançosu Analizi.

4.1.1. Prosesler Sırasındaki Ölçülen pH Değerleri

Pulper içerisinde yapılan hamurlaştırma, yüzdürme, ilk ağartma ve yıkama (BH, SH, YH) ile baskısız ve baskılı baz kâğıtların hamurlaştırılması proseslerine (ABH, ASH, AYH; BBH, BSH, BYH) ait pH ölçüm değerleri toplu olarak Çizelge 4.1’de verilmiştir. Sırasıyla Çizelge 4.1’de belirtilen “pH 1” kimyasal madde ilavesi yapılmadan önce atık kâğıt ve çalışmada kullanılan suyun hamurlaştırıcı içerisindeki pH değerini, “pH 2” kimyasal maddeler ilave edildikten sonra hamurlaştırıcı içerisindeki pH değerini, “pH 3” hamurlaştırma işlemi sonrası ortamın pH değerini, “pH 4” ise yüzdürme veya yıkama işlemi ardından kesafet artırma işlemi sonrası ortaya çıkan süzüntü suyun pH değerini belirtmektedir. “ABH, ASH, AYH ve BBH, BSH, BYH” proseslerinde ortama kimyasal madde ilavesi yapılmamasına rağmen pH değerleri aynı sistemle kaydedilmiştir.

Ayrıca Çizelge 4.1’de kesafet artırma işlemi sonrası oluşan süzüntü suyun iletkenlik değeri ve toplam çözünmüş katı madde (ÇKM) miktarı da yer almaktadır. Sıvı içerisindeki toplam çözünmüş katı madde (ÇKM) miktarı, kesafet artırma işleminden sonra elde edilen suyun buharlaştırılması sonucu ortamda kalan katı çökeltinin ağırlığının ölçülmesi ile hesaplanmaktadır. Çözünmüş katı madde miktarı olarak adlandırılan bu değer, ileride ayrıca incelenmiştir.

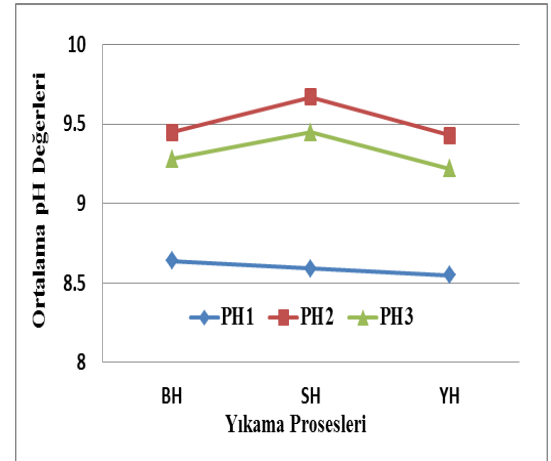
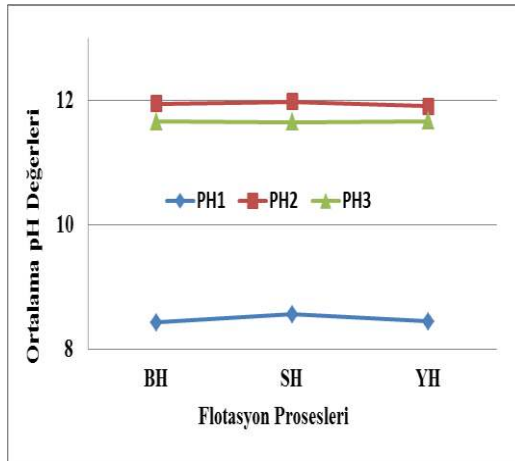
Şekil 4.1’de görüldüğü gibi kaydedilen pH-1 bütün gruplarda birbirine yakın değerler olduğu görülmekte ve bazı küçük farkların olması ise laboratuvar çalışma standartları ve ortamın o anki durumundan dolayı olduğu muhtemeldir. pH-2 değerleri kontrol grupları dışındaki gruplara ilave edilen kimyasal maddelere bağlı olarak yükseldiği, pH-3’ün ise son olarak pulpere eklenen 50 ml’lik sulu çözelti halindeki sabunla düştüğü gözlenmiştir. Çizelge 4.1’de de görüldüğü üzere flotasyon süresinin artmasına bağlı olarak BH, SH, YH gruplarına ait pH-4 değerlerinde düşüş olduğu kaydedilmiştir. Bu durum ise hamur içerisindeki anorganik madde yükünün flotasyon aşaması sırasında uzaklaştırılmasına bağlanabilir. Ayrıca bu grupların ortalama pH değerleri arasında önemli bir farkın olmadığı görülmüştür.

“ABH, ASH, AYH” ve “BBH, BSH, BYH” proseslerinde ortama kimyasal madde ilavesi söz konusu olmadığından pH-1 değerleri arasında belirgin bir fark yoktur. pH-2 değerlerinde bir miktar düşme hamurlaştırma sırasında pulpere bir miktar daha su ilave edilerek kesafetin % 20’den % 15’e düşürülmesi ile ve hamurlaştırmanın sonunda kaydedilen pH-3 değerlerindeki bir miktar yükselme ise kağıt içerisinde bulunan kalsiyum iyonlarının açığa çıkması ile değerlendirilebilir.

Son olarak atık kağıttaki mürekkebin yıkama yöntemiyle uzaklaştırıldığı Grup 5’in pH değerlerine bakıldığında, pulpere ilave edilen % 0.25 oranındaki sabunla birlikte ağartma kimyasalları olan FAS ve sodyum hipoklorit asidin pH-2, pH-3 ve pH-4 değerlerini diğer gruplara oranla fazla düşürdüğü gözlenmiştir. Pulper içerisinde yapılan hamurlaştırma proseslerine ait pH ölçümlerinde belirgin farklar veya ilişkiler gözlemlenmemiştir.

Çizelge 4.1 Proses aşamaları sırasında ölçülen pH, iletkenlik ve ÇKM (Çözülmüş Katı Madde) değerlerine ait bulgular

Grup No	Proses No	HAMURLAŞTIRICI						YÜZDÜRME ve YIKAMA HÜCRESİ			
		Toplayıcı	Ağartıcı		PH1	PH2	PH3	Flotasyon Süresi	PH4	ÇKM	İletkenlik
		Sabun	FAS	NAOCl							
		g	g	g	-	-	-	dak	-	g	µS/cm
Grup kontrol	ABH	-	-	-	8.48	8.21	8.29	-	-	-	944
	ASH	-	-	-	8.57	8.36	8.32	-	-	-	1094
	AYH	-	-	-	8.34	8.29	8.25	-	-	-	726
Grup kontrol	BBH	-	-	-	8.56	8.34	8.36	-	-	-	1027
	BSH	-	-	-	8.63	8.40	8.47	-	-	-	1186
	BYH	-	-	-	8.46	8.35	8.38	-	-	-	783
Grup 1	BH1	0.067	-	-	8.50	11.93	11.69	9	9.37	11.12	785
	SH1	0.067	-	-	8.61	12.08	11.59	9	9.40	13.76	812
	YH1	0.067	-	-	8.42	11.84	11.55	9	9.41	11.52	814
Grup 2	BH2	0.067	-	-	8.33	11.92	11.72	11	9.30	10.36	750
	SH2	0.067	-	-	8.47	11.92	11.58	11	9.36	13.36	793
	YH2	0.067	-	-	8.44	11.85	11.69	11	9.34	10.44	805
Grup 3	BH3	0.067	-	-	8.41	11.98	11.65	13	9.28	10.25	735
	SH3	0.067	-	-	8.55	12.08	11.87	13	9.31	12.53	785
	YH3	0.067	-	-	8.35	12.04	11.74	13	9.32	9.78	775
Grup 4	BH4	0.067	-	-	8.46	11.96	11.59	15	9.23	9.79	733
	SH4	0.067	-	-	8.50	11.85	11.56	15	9.23	10.16	777
	YH4	0.067	-	-	8.58	11.90	11.68	15	9.24	9.44	761
Grup 5	BH5	0.25	3	3	8.64	9.45	9.28	-	8.00	19.84	909
	SH5	0.25	3	3	8.59	9.67	9.45	-	8.03	18.92	963
	YH5	0.25	3	3	8.55	9.43	9.22	-	7.51	16.16	945



Şekil 4.1 Proses aşamaları sırasında ölçülen ortalama pH değerleri

4.1.2. Madde Bilanço Analizi

Çalışma kapsamında hamurlaştırma kademesinde ilave edilen FAS ve sodyum hipoklorit asit ile sabunun oranına bağlı olarak yıkama işleminin ve farklı flotasyon sürelerinin yüzdürme işlemi sonrası, hamur verimi, atık çamur miktarı, askıda katı madde miktarı (AKM) ve çözünmüş katı madde miktarları (ÇKM) üzerine gerçekleştirdiği etkileri araştırılmıştır. Çizelge 4.2’de bu değerlere ait bulgular yer almaktadır.

Çizelgede yer alan;

- “Madde girdisi”: Sisteme giren tüm katı maddelerin yani atık otokopi kağıdı ile ortama ilave edilen sodyum hidroksit, sodyum silikat, kalsiyum klorür, EDTA, FAS, sodyum hipoklorit asit ve sabun gibi kimyasal maddelerin miktarlarının toplamını
- “Hamur Miktarı” : Yüzdürme ve yıkama işlemi sonrası mürekkebi uzaklaştırılmış hamur miktarını,
- “Çamur” : yüzdürme işlemi sırasında ortamdan uzaklaştırılan mürekkep, lif, dolgu maddesi ve benzerlerini içeren flotasyon çamur miktarını,
- “AKM” : yüzdürme ve yıkama işlemi sonrası kesafet artırma işlemi sırasında oluşan süzöntü sudaki askıda kalan katı madde miktarını,
- “ÇKM” : süzöntü suda bulunan çözünmüş katı madde miktarını,
- “Toplam Katı Madde Miktarı” : yüzdürme ve yıkama işlemi sonrası belirlenen hamur, atık çamur, askıda katı madde ve çözünmüş katı madde miktarlarının toplamını,
- “Madde Bilançosu” : ise toplam katı madde miktarının, giren madde miktarına oranını belirtmektedir. Hesaplama işlemi aşağıdaki formüle (4.1) göre yapılmıştır [14-17].

$$\text{Madde Bilançosu (\%)} = \frac{\text{Çamur} + \text{AKM} + \text{ÇKM} + \text{Hamur(g)}}{\text{Madde Girdisi}} \times 100 \quad (4.1)$$

Çizelge 4.2 Hamurlaştırıcıya giren ve yüzdürme veya yıkama işlemleri sonrası çıkan katı madde miktarlarına ait bulgular

Grup No	Proses No	Sabun	Madde Girdisi	Hamur Miktarı	Atık Çamur	AKM	ÇKM	Toplam Katı Madde Miktarı	Madde Bilançosu
		g	g	g	g	g	g	g	%
Grup kontrol	ABH	–	100	96.25	–	–	–	96.25	96.25
	ASH	–	100	97.83	–	–	–	97.83	97.83
	AYH	–	100	97.16	–	–	–	97.16	97.16
Grup kontrol	BBH	–	100	98.19	–	–	–	98.19	98.19
	BSH	–	100	97.80	–	–	–	97.80	97.80
	BYH	–	100	96.68	–	–	–	96.68	96.68
Grup 1	BH1	0.067	110.267	87.54	8.96	1.48	11.12	109.10	98.94
	SH1	0.067	110.267	83.85	8.35	2.86	13.76	108.82	98.69
	YH1	0.067	110.267	87.98	5.78	2.89	11.52	108.17	98.10
Grup 2	BH2	0.067	110.267	83.61	12.27	1.35	10.36	107.59	97.57
	SH2	0.067	110.267	80.79	12.09	2.41	13.36	108.65	98.53
	YH2	0.067	110.267	88.65	7.43	2.57	10.44	109.09	98.93
Grup 3	BH3	0.067	110.267	82.93	14.46	1.27	10.25	108.91	98.77
	SH3	0.067	110.267	79.55	15.70	2.28	12.53	110.06	99.81
	YH3	0.067	110.267	86.64	10.44	2.53	9.78	109.39	99.20
Grup 4	BH4	0.067	110.267	80.36	16.91	1.25	9.79	108.31	98.23
	SH4	0.067	110.267	78.90	18.10	2.13	10.16	109.29	99.11
	YH4	0.067	110.267	84.59	11.99	2.25	9.44	108.27	98.19
Grup 5	BH5	0.25	113.25	85.15	–	7.35	19.84	112.34	99.15
	SH5	0.25	113.25	81.31	–	8.92	18.92	109.15	96.37
	YH5	0.25	113.25	83.10	–	10.90	16.16	110.16	97.31

Bütün proseslere ait madde bilanço yüzdelerine bakıldığında madde girdisinin tamamının geriye kazanılmadığı görülmektedir. Bu değerlerin ortalaması % 98.67 civarındadır ve sonuç olarak proses aşamalarında % 1.33 civarında bir madde kaybının olduğu görülmektedir. Bu göz ardı edilebilecek kayıp laboratuvar şartlarının fiziki yetersizliği ve ölçüm hataları ile açıklanabilir.

Bünyesinde farklı türden dolgu maddeleri, iç yapıştırma tutkalları, baskı mürekkebi ve değişik türde ve boyutta lifsel maddeler içeren atık kağıtlar oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Doğal olarak işlemler sırasındaki madde kayıpları ve nihai hamur verimi bu karmaşık yapıyı oluşturan maddelerin oranlarına ve kullanılan proses teknolojilerine bağlıdır. Diğer yandan sonuç olarak ne türde bir kağıt hamuru

hedeflendiği doğal olarak verimi etkileyecektir. Hamur verimi aşağıdaki formüle (4.2) göre hesaplanmaktadır [17].

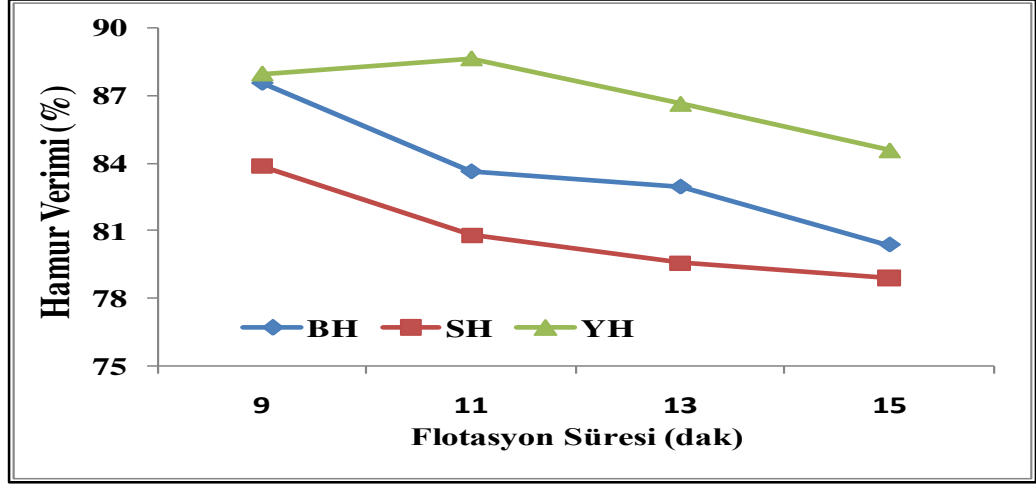
$$\text{Verim (\%)} = \frac{\text{İşlem Sonundaki Kağıt Hamuru (kg)}}{\text{Atık Kağıt Girdisi}} \times 100 \quad (4.2)$$

Atık kağıt proseslerinde madde kaybı, kağıdın içerdiği rutubet miktarı, pulper ve temizleme aşamalarında uzaklaştırılan kağıt harici yabancı maddeler, flotasyon aşamasında ayrılan flotasyon çamuru ile kesafet artırma ve santrifüj işlemlerinde suya karışan askıda veya çözünmüş haldeki katı maddeler ortaya çıkmaktadır [72].

Çizelge üzerinde proseslere ait hamur verimleri üç temel grupta incelenebilir. Birinci kısım, kontrol gruplarını oluşturan baskısız ve baskılı kağıtların hamurlaştırılması ile elde edilen “ABH, ASH, AYH” ve “BBH, BSH, BYH” proseslerine ait kağıt hamur verimleridir. Bu proseslere ait ortalama hamur verimi % 97.32 civarında tespit edilmiştir. Yaklaşık % 2.68 civarındaki madde kaybının büyük kısmını, hamurlaştırma işlemi ardından yapılan kesafet artırma sırasında atık suya karışan askıda ve çözünmüş maddeler oluştururken bir kısım da laboratuvar işlemleri sırasında geri kazanılamayarak kaybedilmiştir.

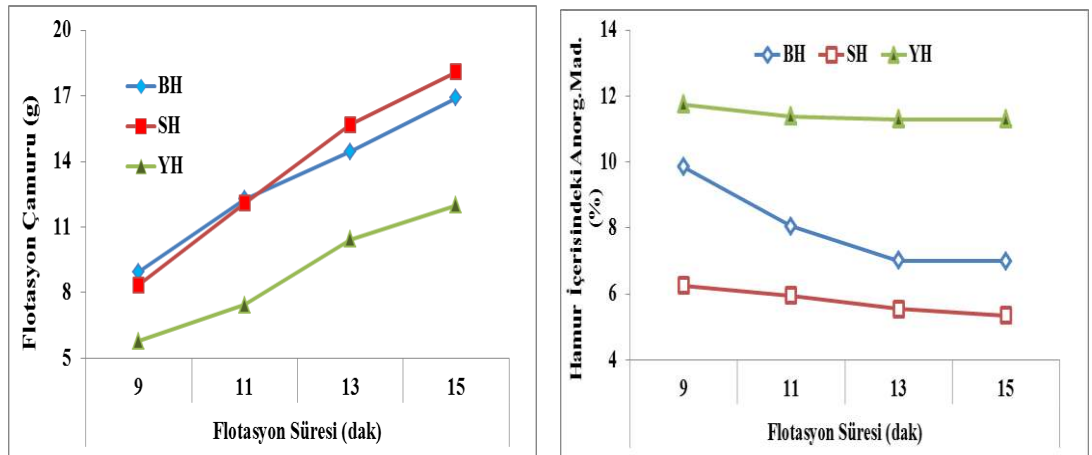
İkinci kısım, pulper içerisinde eşit şartlarda hamurlaştırma işlemi yapılmış kağıt hamurlarının flotasyon hücresinde 9 ile 15 dakika arasında dört farklı sürede mürekkeplerinin giderilmesinden oluşan “Grup(1-2-3-4)” proseslerine ait kağıt hamur verimleridir. Bu gruplara ait ortalama hamur verimi % 83.78 civarındadır. Diğer bir deyişle % 16.22 civarında bir madde kaybı söz konusudur. Bu grupların hamur verimlerine ayrı ayrı bakıldığında; BH ’nin ortalama hamur verimi % 83.61, SH % 80.77 olurken YH % 86.97 olarak kaydedilmiştir. Burada SH proseslerinin diğer hamur prosesleri gibi aynı işlemlere tabi tutulmasına rağmen ortalama hamur veriminin diğer proseslere göre düşük olduğu görülmektedir(Şekil 4.2). Bu durum otokopi kağıdının ikinci nüshasını yani genel alıcı-verici kısmını oluşturan SH kağıt hamurlarının çözünen katı madde olan karbon siyahı pigmentlerini daha fazla içermesi ile açıklanabilir. Flotasyon sırasında uzaklaştırılan çamur atık kağıt girdisinin ortalama olarak; BH’nin % 13.15’ine, SH’nin % 13.56’sına, YH’nin % 8.91’ine karşılık gelirken, diğer yandan toplam madde kaybının ise yaklaşık BH: % 81.10, SH: % 83.60, YH: % 54.93 gibi büyük bir oranını oluşturmaktadır. Diğer madde kayıpları ise atık suya karışan çözünmüş ve askıda katı maddelerden

oluşmaktadır. Baskı mürekkeplerinin uzaklaştırıldığı flotasyon aşaması hamur verimi açısından en kritik aşamadır. Kullanılan atık kağıt türü ve anorganik madde içeriği, flotasyon ekipman dizaynı, proses kimyasal dengesi, hamur kesafeti ve flotasyon süresi elde edilecek kağıt hamuru verimini etkilemektedir [17].



Şekil 4.2 Flotasyon süresinin değişken olduğu proseslere ait hamur verimi

Çizelge 4.2’de verildiği gibi yüzdürme ile mürekkep giderme yönteminde flotasyon süresinin artmasıyla uzaklaştırılan çamur miktarı bütün gruplarda hızlı bir şekilde artmıştır. Şekil 4.3’de flotasyon süresine bağlı olarak uzaklaştırılan çamur miktarı ve hamur içerisinde kalan anorganik madde oranı verilmiştir. Bu iki grafik incelendiğinde, uzaklaştırılan flotasyon çamurunun hamur içerisindeki anorganik madde miktarı ile doğrudan ilgili olduğu ve bu miktarın belli seviyenin altına inmesi ile uzaklaştırılan çamur miktarının da düştüğü anlaşılmaktadır.



Şekil 4.3 Flotasyon süresine bağlı olarak uzaklaştırılan flotasyon çamur miktarı ve hamur içerisindeki anorganik madde oranı

Kağıt hamuru verimi açısından incelenmesi gereken üçüncü kısım ise yıkama yöntemi ile mürekkebin uzaklaştırıldığı Grup 5'e ait "BH, SH, YH" proseslerinin değerlendirilmesidir. Bu proseslere ait hamur verimi; BH: % 85.15 SH: %.81.31 YH: 83.10 civarındadır. Ortalama hamur verimi ise % 83.19 iken % 16.81 civarındaki kayıplar ise yine atık su içerisine karışan katı maddelerden oluşmaktadır. Bu değerlerden anlaşılacağı üzere yıkama ve flotasyon yöntemleri sonucu ortalama hamur verimleri arasında % 0.59 civarında düşük bir fark bulunmaktadır.

4.2. İşlemler Sonunda Ortaya Çıkan Atık Suyun Özellikleri

Çizelge 4.3'te hamurlaştırma işleminden sonra gerçekleştirilen flotasyon ve yıkama proseslerine ait atık su analizleri verilmiştir. Bu analizler, yapılan işlemlerden sonra kesafet artırma sonucunda ortaya çıkan atık su üzerinde yapılmıştır. Çizelge'de sırasıyla pH metre yardımıyla ölçülen pH değerleri, askıda katı madde (AKM), çözülmüş katı madde (ÇKM), askıda ve çözülmüş maddelerin toplamından oluşan toplam katı madde analizleri sütunlar halinde verilmiştir.

İşlem sonundaki atık suyun pH değeri kapalı devre sistemi uygulanan fabrikalarda oldukça önemlidir. Kağıt üretiminin hangi pH ortamında gerçekleştirilecek olması (asidik veya alkali) proses suyu olarak kullanılan atık suyun pH değeri ile ilgilidir. Örneğin, atık su ve üretilecek kağıt pH ortamlarının farklı olması bu durumu nötralize etmek için ilave kimyasal madde kullanımı demektir [17]. Çizelge'de flotasyonla mürekkebi giderilen Grup(1-2-3-4)'e ait atık su pH değerleri incelendiğinde ortalama değer 9.32 civarında bulunurken yıkama grubu olan Grup 5'in ortalama pH değeri 7.85 civarında tespit edilmiştir. Bu iki temel yöntem (flotasyon ve yıkama grubu) arasındaki 1.47'lik fark, hamurlaştırma esnasında Grup 5'e diğer gruplardan fazla olarak FAS, sodyum hipoklorit ağartıcıları ve yüksek oranda yağ asidi sabunun pulpere ilave edilmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca flotasyon süresinin 9-15 dakika arasında değişmesi atık su pH değerlerini de ters orantılı bir şekilde etkilemiştir(Çizelge 4.3). Atık su pH değerlerinin flotasyon süresinin artmasıyla giderek düşmesi; askıda ve çözülmüş katı maddeler, mürekkep partikülleri, ortamın kimyasal madde oranı vb. azalmasına bağlanabilir.

Atık su içerisinde bulunan katı maddeler, lif, mineral dolgu maddeleri, lif kırıntıları, mürekkep partikülleri, kolloidal anorganik maddelerin karışımlarından meydana

gelirken bunların oranları üretimde kullanılan atık kağıt türüne ve uygulanan teknolojiye bağlıdır [73].

Askıda ve çözünmüş katı maddelerin atık su içerisindeki miktarlarının artması ile iletkenlik yükü de artmaktadır. Çizelgeden de görüldüğü gibi yıkama grubunda (Grup 5) AKM ve ÇKM değerleri diğer gruplara ait ortalama AKM ve ÇKM değerinden yüksek olduğundan iletkenlik yükü de yüksek olmuştur. Kontrol gruplarına ait iletkenlik yükünün yüksek olması ise toplam atık su miktarıyla ilgilidir. Diğer yandan bu katı maddeler, eğer ciddi bir atık su saflaştırma işlemi uygulanmaz ise üretim hattında sayısız problemin oluşmasına ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır.

Pulper içerisinde yapılan hamurlaştırma işleminden sonraki flotasyon ve yıkama gruplarına ait atık suların askıda ve çözünmüş katı madde değerleri grafik ortamında Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde flotasyon gruplarının ortalama ÇKM/AKM oranının 5.23 olduğu, yıkama grubunun ortalama ÇKM/AKM oranı ise 2.02 olduğu görülmektedir. Yıkama grubunda flotasyonda olduğu gibi atık çamur ayırma imkanı olmadığından çamuru oluşturan partiküllerin büyük bir bölümü AKM oranını yükselttiğinden dolayı ÇKM/AKM oranı da dolaylı olarak düşük olmuştur.

Flotasyon süresinin değişken olduğu Grup 1, Grup 2, Grup 3 ve Grup 4'e ait atık sudaki askıda ve çözünmüş katı madde miktarları, sürenin artmasına bağlı olarak bütün gruplarda azalma göstermiştir. Askıda katı madde miktarındaki azalma, flotasyon süresinin artması sayesinde daha fazla anorganik madde ve kırıntı lifin flotasyon çamuru ile uzaklaştırılması, dolayısıyla atık suya daha az miktarda maddenin geçmesi ile açıklanabilirken, çözünmüş katı madde miktarındaki değişim ise yine süreye bağlı olarak flotasyon aşamasında daha fazla miktardaki proses suyunun uzaklaştırılması, eksilen miktarın taze su ile ikame edilmesi, flotasyon hücresinde karıştırma ve havanın etkisi ile askıda kalan katı maddenin de çözünmesiyle açıklanabilir.

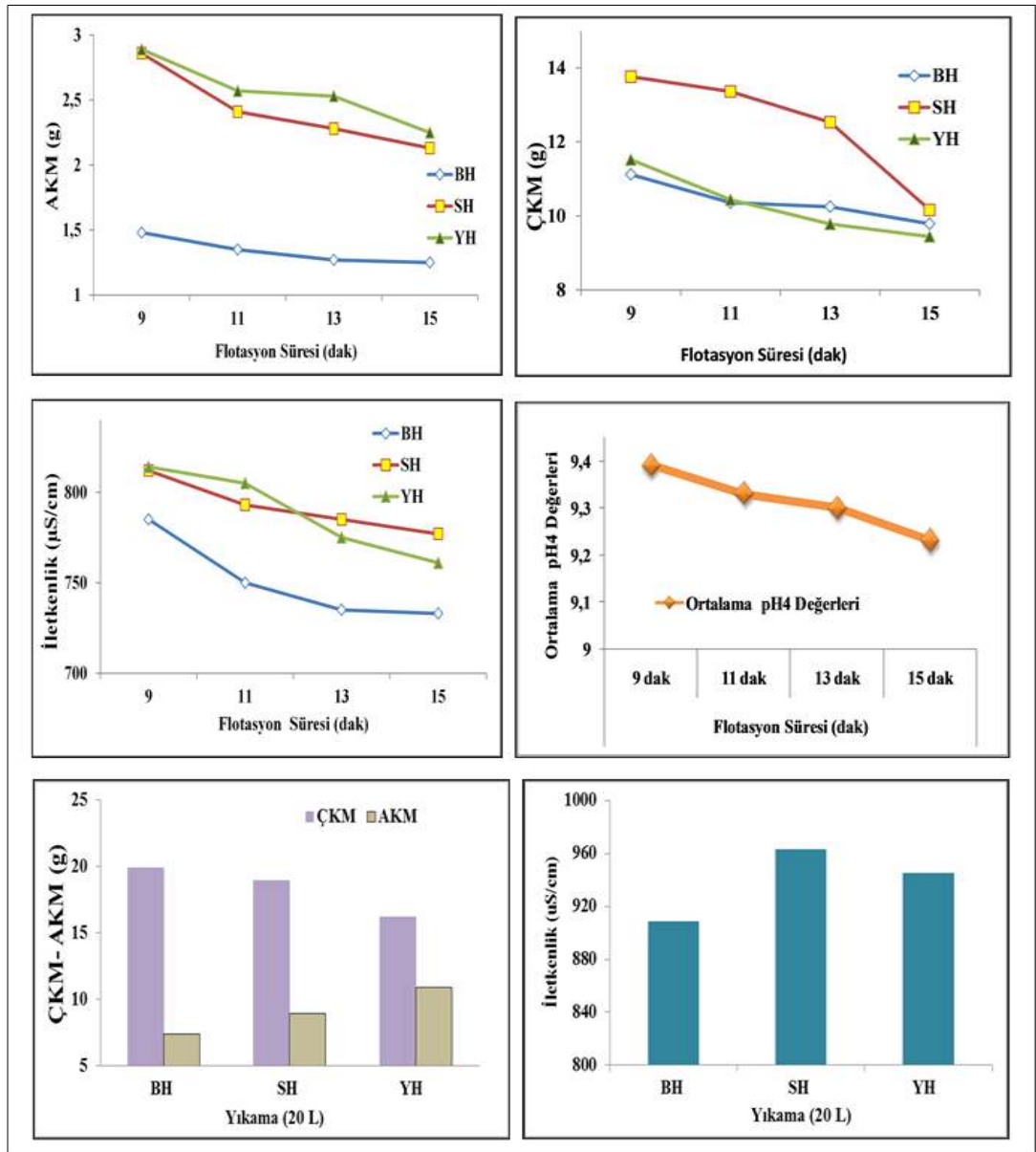
Flotasyon yöntemiyle mürekkebi giderilen proseslere ait ortalama AKM oranı; BH: 1.34, SH: 2.42 ve YH:2.56 civarındadır. Görüldüğü gibi AKM oranı, birinci nüsha olan BH 'den üçüncü nüsha olan YH 'ye doğru gittikçe artış kaydetmektedir. Bu durum otokopi kağıtlarını oluşturan birinci nüshaların (BH) diğer nüshalara göre daha az lif kırıntısı, mineral dolgu maddesi vb. içermesi dolayısıyla daha dayanıklı

liflerden oluştuğu söylenebilir. Flotasyon proseslerine ait ortalama ÇKM 11.04 civarında iken her bir prosese ait ortalama ÇKM ise; BH:10.38, SH:12.45 ve YH:10.30 civarındadır. Otokopi kağıdının genel alıcı –verici nüshasını oluşturan SH kağıdının hem üst hem de alt yüzü karbon siyahı pigmentlerini içerdiğinden ortalama çözünen katı madde (ÇKM) oranı da diğer nüshalara nispeten yüksek olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.3 Proseslere ait atık suların kimyasal analiz değerleri

Grup No	Proses No	Atık Su pH Değeri	Atık Sudaki Katı Madde Dağılımı			İletkenlik	Atık Su
			AKM	ÇKM	Toplam		
		–	g	g	g	µS/cm	ml
Grup kontrol	ABH	–	–	–	–	944	350
	ASH	–	–	–	–	1094	350
	AYH	–	–	–	–	726	350
Grup kontrol	BBH	–	–	–	–	1027	350
	BSH	–	–	–	–	1186	350
	BYH	–	–	–	–	783	350
Grup 1	BH1	9.37	1.48	11.12	12.60	785	10000
	SH1	9.40	2.86	13.76	16.62	812	10000
	YH1	9.41	2.89	11.52	14.09	814	10000
Grup 2	BH2	9.30	1.35	10.36	11.71	750	10000
	SH2	9.36	2.41	13.36	15.77	793	10000
	YH2	9.34	2.57	10.44	13.01	805	10000
Grup 3	BH3	9.28	1.27	10.25	11.52	735	10000
	SH3	9.31	2.28	12.53	14.81	785	10000
	YH3	9.32	2.53	9.78	12.31	775	10000
Grup 4	BH4	9.23	1.25	9.79	11.04	733	10000
	SH4	9.23	2.13	10.16	12.29	777	10000
	YH4	9.24	2.25	9.44	11.69	761	10000
Grup 5	BH5	8.00	7.35	19.84	27.19	909	20000
	SH5	8.03	8.92	18.92	27.84	963	20000
	YH5	7.51	10.90	16.16	27.06	945	20000

FAS ve sodyum hipoklorit asit ağartıcıları ile sabun miktarının, değişken olduğu yıkama grubuna yani Grup 5'e ait atık sudaki askıda katı madde miktarı, BH'den YH'ye doğru artarken, çözülmüş katı madde miktarı ise yaklaşık aynı miktarda azalmıştır. Askıda katı madde miktarının artması, kağıt hamurlarının içerisinde bulunan kırıntı lif oranına ve liflerin fiziksel yapısı ile ilgili olduğu söylenebilir. Çözünen katı madde miktarındaki değişim ise kağıtlarda kopyalama işlemini gerçekleştiren mikrokapsül türüne ve oranına bağlanabilir. Ayrıca yıkama yönteminde mürekkep gidermeden sonra FAS ve sodyum hipoklorit asidin de etkisiyle hamur renginin daha çok açıldığı söylenebilir.



Şekil 4.4 Flotasyon süresine ve Yıkama yöntemine bağlı olarak atık su içerisindeki pH, ÇKM, AKM ve iletkenlik değişimi

4.3.Kağıt Hamuru ve Atık Çamurdaki Anorganik-Organik Madde Dengesi

Yüzdürme veya yıkama ile mürekkep uzaklaştırma işleminin amacı, atık kağıtlar içerisindeki mürekkep pigmentlerini uzaklaştırıp en yüksek verimle kağıt yapımına uygun lifleri tekrar geri kazanmaktır. Geri kazanmak istenen liflerin organik, uzaklaştırılmak istenen mürekkep pigmentlerinin anorganik madde olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yüzdürme ve yıkama işlemleri sonrası elde edilen hamur ve atık çamurun içerdiği anorganik madde miktarının belirlenmesi, işlem verimliliğinin anlaşılabilmesi açısından oldukça önemlidir. Çizelge 4.4’te yüzdürme ve yıkama işlemi sonrası hamur, atık çamur ve askıda katı maddenin (AKM) içerdiği organik ve anorganik madde miktarlarına ait bulgular yer almaktadır. Anorganik madde tayini tam kuru ağırlığı belli örneğin $575\pm 25^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki kül fırınında organik maddelerin tamamen yakılması sonucunda elde edilen kalıntının tartılması ile bulunurken, organik madde miktarı ise tam kuru ağırlıktan kalıntı anorganik madde ağırlığının çıkarılması ile tespit edilmiştir.

Standartlarda kağıt ve kartonların kalıntı kül tayini için öngörülen $900\pm 25^{\circ}\text{C}$ sıcaklığın, bu testlerde uygulanmamasının sebebi kağıt içerisinde bulunan kalsiyum karbonatın yüksek sıcaklıklarda karbondioksit'e dönüşerek madde kaybı oluşması ve yanılığa sebep olmasıdır [17].

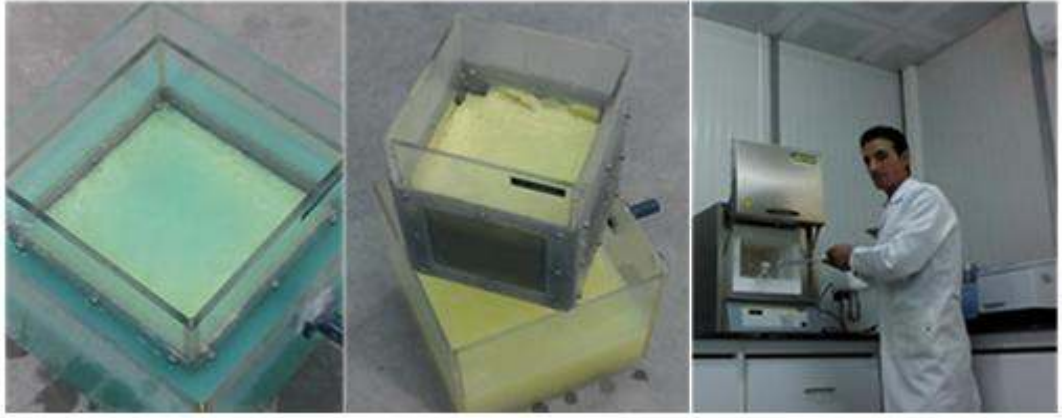
Baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıtlarının içerdiği anorganik madde veya kül oranı ortalama %18.68 olarak bulunmuştur. Ayrıca baskısız ve baskılı otokopi kağıtlarının beyaz, sarı, yeşil nüshalarına ait organik ve anorganik madde oranları Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelde yer alan;

- “ABK”: Baskısız beyaz otokopi kağıdını,
- “ASK”: Baskısız sarı otokopi kağıdını,
- “AYK”: Baskısız yeşil otokopi kağıdını,
- “BBK”: Baskılı beyaz otokopi kağıdını,
- “BSK”: Baskılı sarı otokopi kağıdını,
- “BYK”: Baskılı yeşil otokopi kağıdını ifade eden proseslerdir.

Diğer yandan bu otokopi kağıtlarının baskılı (BBH, BSH, BYH) veya baskısız (ABH, ASH, AYH) şekilde kimyasal madde kullanılmadan hamurlaştırılması

sonucunda elde edilen kağıt hamurlarının anorganik madde miktarları ortalama % 19.12 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu prosesler arasındaki % 0.4 civarındaki fark, baz kağıtların içermiş olduğu kalsiyum karbonatın bir kısmının yakma işlemi sırasında karbondioksit'e dönüşerek uçtuğu ile açıklanabilir. İşlemler sırasında kullanılan yıkama ve/veya kesafet artırma ünitesi içerisinde bulunan iç hazne eleğinin gözenek açıklığı ve ünitenin titreşimi atık suya karışan dolgu maddesinin miktarını etkilediği ön çalışmalarla tespit edilmiştir. Bu amaçla her işlemin başlangıcında elektteki tıkanmış gözenekler basınçlı su ile temizlenmiş ve işlemler sırasında homojenliği sağlamak amacıyla süzütünün dışarı çıkması sarsıntı yapılmadan kendi halinde bırakılarak sağlanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Yıkama ve/veya kesafet artırma ünitesi ve anorganik madde tayini

Pulperde yapılan hamurlaştırma işleminden sonra flotasyon proseslerine ait (Grup 1, 2, 3, 4) elde edilen kağıt hamurları içerisinde bulunan anorganik madde miktarı ortalama % 8.31 civarında iken, yıkama grubu proseslerinin anorganik madde miktarı ise ortalama % 7.28 civarında bulunmuştur. Bu oranların baz kağıtta % 18.68 civarında olduğu göz önüne alınırsa, flotasyon yöntemiyle toplam anorganik madde miktarının ortalama % 55.51 kadarının, yıkama yöntemi ile ise ortalama % 61.03 kadarının uzaklaştığı görülmektedir. Flotasyon kademesinde uzaklaşan bu anorganik maddelerin büyük bir kısmı, yüzdürme sırasında uzaklaşırken geriye kalan kısmı da yıkama yönteminde olduğu gibi atık suya karışıp uzaklaşmıştır.

Flotasyon süresinin değişken olarak uygulandığı Grup 1, Grup 2, Grup 3 ve Grup 4 proseslerine bakıldığında; ortalama BH: % 7.97, SH: % 5.78 YH: % 11.43 civarında anorganik madde içerirken, yıkama yönteminin uygulandığı Grup 5'e ait olan proseslerden BH: % 6.90, SH: % 4.85, YH: % 10.10 oranında anorganik madde

içermektedir. Mürekkep uzaklaştırmada kullanılan flotasyon ve yıkama yönteminin her ikisinde de otokopi kağıdının ikinci nüshası olan SH'den diğer nüshalara göre daha fazla miktarda anorganik madde uzaklaştırılmıştır. Çizelge 4.7'de görüldüğü üzere flotasyon gruplarında sürenin artmasıyla kağıt hamuru içerisinde hızlı bir şekilde uzaklaştırılan anorganik maddede Grup 3'ten sonraki sürelerde bir durağanlaşma gözlenmiş ve hatta sürenin daha da uzaması ile birlikte hamur içerisindeki anorganik madde oranında hafif bir düşme görülmüştür. Bu durum flotasyonun ilk aşamalarında flotasyon hücresinin üzerinden hızlı bir biçimde anorganik sıyrılması söz konusu iken devam eden sürelerde anorganik maddenin azalmasına bağlı olarak lif kırıntıları ve liflerin de uzaklaştırılması ile açıklanabilir.

Çizelge' de Grup 5 proseslerine ait organik-anorganik madde oranlarına bakıldığında flotasyon gruplarına göre daha fazla miktarda anorganik maddenin uzaklaştırıldığı görülmektedir. Bu durum, Grup 5 proseslerine katılan yüksek miktardaki sabun oranı ve ağartma kimyasallarının yanı sıra flotasyon proseslerinde organik maddelerin anorganik maddelerle birlikte yüzdürme sırasında atık çamur ile uzaklaştırılmasına bağlanabilir.

Flotasyon çamur içeriğini gösteren Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi yüzdürme süresine bağlı olarak çamur içerisindeki anorganik madde oranı Grup 1'den Grup 3'e kadar ortalama % 46.38' den başlayarak ortalama % 57.02 civarına kadar bir artış kaydederken sürenin uzaması ile birlikte Grup 4'te olduğu gibi çamur içerisindeki anorganik madde oranı yavaş yavaş azalmış, bunun yerini lif kırıntıları ve liflerden kaynaklanan organik maddeler doldurmaya başlamıştır. Yani flotasyon süresinin 9-13 dakika arası anorganik madde miktarı artarken 13'üncü dakikadan sonra düşmeye başlamıştır (Şekil 4.7).

Flotasyon çamurundaki anorganik maddeler karşılaştırıldığında ortalama BH % 55.94, SH % 48.26 ve YH % 53.49 civarında anorganik madde içerirken geriye kalan yüzdelik bölümü ise organik maddeler oluşturmuştur. Burada en az oranda anorganik madde içeren SH prosesi diğer proseslere göre daha fazla kırıntı lif içerdiğinden flotasyon süresi boyunca anorganik maddelerle birlikte organik maddelerin uzaklaştırıldığı düşünülmektedir.

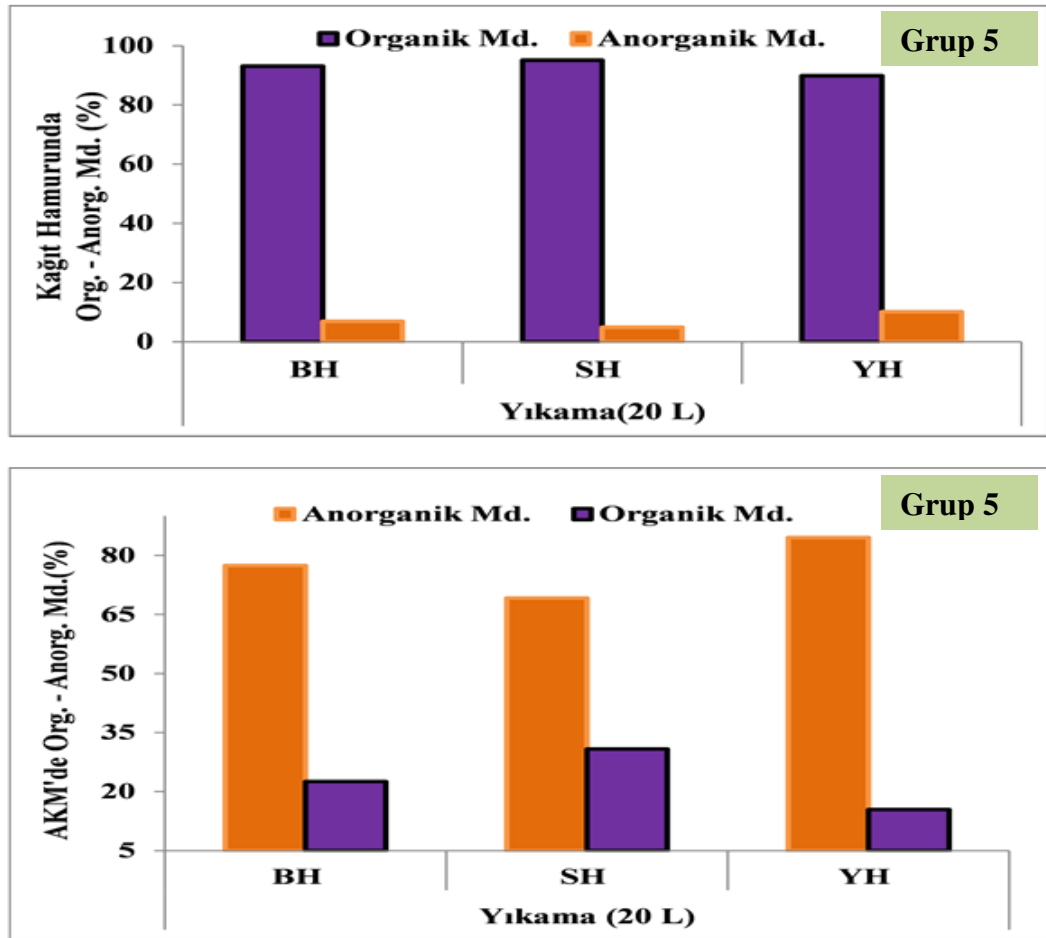
Çizelge 4.4 Kağıt hamuru ve atıklardaki anorganik-organik madde dengesi

Grup No	Proses No	Kağıt Hamuru		Flotasyon Çamuru		Atık Suda AKM	
		Organik Madde	Anorganik Madde	Organik Madde	Anorganik Madde	Organik Madde	Anorganik Madde
		%	%	%	%	%	%
Baskısız Otokopi Kağıdı	ABK	83.05	16.95	–	–	–	–
	ASK	82.15	17.85	–	–	–	–
	AYK	78.65	21.35	–	–	–	–
Baskılı Otokopi Kağıt	BBK	82.20	17.80	–	–	–	–
	BSK	83.15	16.85	–	–	–	–
	BYK	78.75	21.25	–	–	–	–
Grup kontrol	ABH	81.75	18.25	–	–	–	–
	ASH	82.65	17.35	–	–	–	–
	AYH	78.10	21.90	–	–	–	–
Grup kontrol	BBH	81.95	18.05	–	–	–	–
	BSH	82.81	17.19	–	–	–	–
	BYH	78.01	21.99	–	–	–	–
Grup 1	BH1	90.16	9.84	44.95	55.05	34.84	65.16
	SH1	93.75	6.25	57.96	42.04	33.36	66.63
	YH1	88.25	11.75	57.96	42.04	19.49	80.51
Grup 2	BH2	91.95	8.05	44.25	55.75	28.86	71.14
	SH2	94.05	5.95	48.47	51.53	23.97	76.03
	YH2	87.62	11.38	45.90	54.10	15.68	84.32
Grup 3	BH3	93.00	7.00	41.67	58.33	34.80	65.20
	SH3	94.45	5.55	46.62	53.38	33.40	66.60
	YH3	87.70	11.30	40.65	59.35	25.06	74.94
Grup 4	BH4	93.01	6.99	45.38	54.62	41.80	58.20
	SH4	94.65	5.35	53.90	46.10	44.56	55.44
	YH4	87.70	11.30	41.55	58.45	48.12	51.88
Grup 5	BH5	93.10	6.90	–	–	22.58	77.42
	SH5	95.10	4.85	–	–	30.86	69.14
	YH5	89.90	10.10	–	–	15.44	84.56

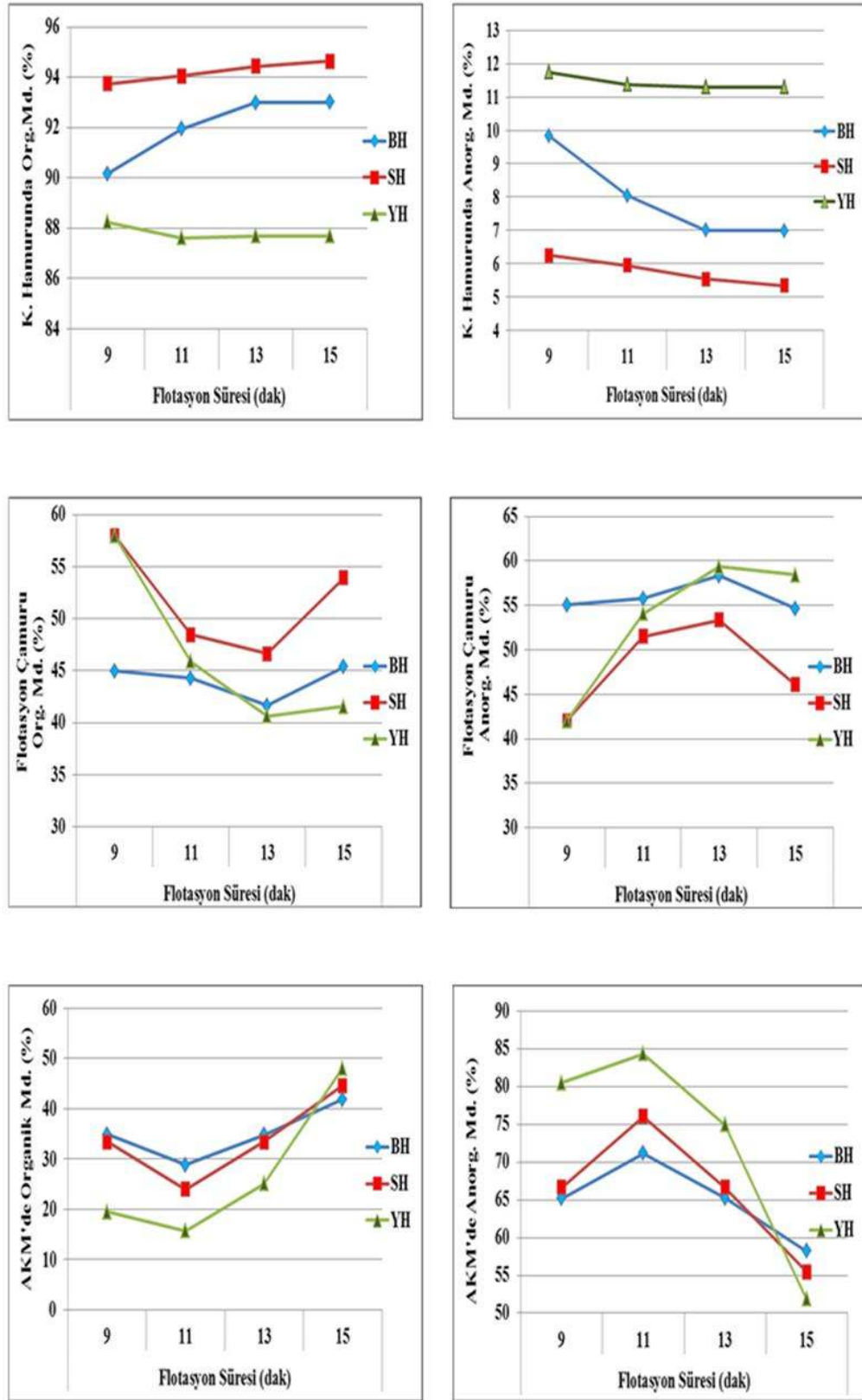
Flotasyon işlemi sırasında uzaklaştırılan çamur çevresel ve ekonomik açıdan oldukça önemli bir konudur. Çamura ait kimyasal ve fiziksel özellikler, bu çamurun hangi yöntemle bertaraf edileceği ve/veya nerelerde kullanılacağını belirlemede önemli kriterlerdendir. Tam kuru haldeki flotasyon çamurunun % 50-60 civarı mineral veya anorganik maddelerden oluştuğu, geri kalanın ise lif veya lif kırıntıları gibi organik esaslı maddelerden oluştuğu saptanmıştır [74]. Diğer yandan ortaya çıkan bu çamurun klasik olarak yok edilmesi (toprağa gömme ve yakma) dışında birçok

alternatif metotla tekrar kazanıldığı ve endüstriyel amaçla tekrar farklı alanlarda kullanıldığı bilinmektedir [75-76].

Atık suya geçen askıda katı madde içerisindeki anorganik madde oranları incelendiğinde, flotasyon ve yıkama yönteminde kesafet artırma sonucunda elde edilen atık sulardaki anorganik madde oranlarının birbirinden çok farklı olduğu görülmektedir. Flotasyon yönteminde anorganik madde oranı ortalama % 68.01 iken, yıkama yönteminde bu oran ortalama % 77.04 civarındadır. Hamurlaştırma işleminde sadece yıkama grubu proseslerine katılan FAS ve sodyum hipoklorit asit ağartıcıları ve sabun oranı ile değişken flotasyon süresi, bulunan değerlerin birbirinden farklı olmasına neden olduğu söylenebilir (Şekil 4.6). Çözücü özelliği olan sodyum hipoklorit asit atık suya geçen anorganik madde miktarını artırırken, flotasyon proseslerinde kesafet artırma sırasında uzaklaştırılamayan anorganik maddeler kağıt hamuru içerisinde kalmaktadır.



Şekil 4.6 Yıkama yöntemine bağlı olarak elde edilen kağıt hamuru ve AKM içerisindeki anorganik-organik madde dengesi



Şekil 4.7 Flotasyon süresine bağlı olarak elde edilen kağıt hamuru, uzaklaşan flotasyon çamuru ve AKM içerisindeki anorganik-organik madde dengesi

Flotasyon süresinin değişken olduğu Grup 1, Grup 2, Grup 3, ve Grup 4'e ait askıda katı madde içerisindeki anorganik madde oranları, sürenin artmasıyla birlikte önce artış gösterirken daha sonra bütün proseslerde düşüş kaydedilmiştir (Şekil 4.7). Grup 2'den yani 11'inci dakikadan sonra anorganik madde oranı giderek düşmüş, düşen anorganik madde yerini organik madde almıştır. Bu arada proseslere ait anorganik madde oranları ortalama BH % 64.93, SH % 66.18, YH % 72.91 olarak bulunmuştur.

Elde edilen kağıt hamurundan üretilecek nihai kağıdın anorganik madde içeriği doğrudan bu kağıdın kullanım yerine bağlıdır. Örneğin temizlik kağıdı üretiminde % 2-3 civarında dolgu maddesi istenirken yazı kağıtlarında bu oran % 15-20 civarlarına çıkmaktadır. Bu sebeple dolgu maddesinin uzaklaştırma isteği üretilecek kağıdın türüne bağlı olarak değişecektir [17].

4.4. Standart Laboratuvar Test Kağıtlarının Optik Özellikleri

Kağıdın optik nitelikleri, kullanım yerine bağlı olarak çoğu zaman diğer fiziksel özelliklerinden daha önemli bir konuma gelebilmektedir. Birçok kullanım yerinde büyük önem taşıyan kağıdın görünümü, doğrudan kağıdın sahip olduğu optik niteliklerine bağlıdır. Özellikle atık kağıtlara uygulanan mürekkep giderme ve ağartma işlemleri, üretilcek kağıdın görünümünü daha iyi bir duruma getirmek içindir [17]. Genel olarak kağıdın optik niteliklerini etkileyen faktörler; kağıt hamurunun türü, ağartma şartları, dolgu maddesi ve kuşe içeriği, boya ve renkli pigment içeriği, katkı maddeler içeriği ve kağıda uygulanan yüzey işlemleri olarak sıralanabilir [77].

Kağıdın en önemli optik özellikleri, parlaklık, beyazlık, renk koordinatları, opaklık ve ışık geçirgenliğidir. Bu özellikler, ışık kaynağından gelen ışığın kağıt yüzeyine çarpması sonucu yansımaları, emilmesi, dağılması veya diğer tarafa geçmesinin uygun metotlar ve ekipmanlarla ölçülmesi ile belirlenir. Bu yüzden tutarlı sonuçların alınabilmesi için kullanılan spektrometre cihazının ölçüm geometrisi, kalibrasyonu, ultraviyole ışık miktarı, ışık kaynağı, ölçme alanı gibi şartların ölçümlerde eşit olması veya bilinmesi gerekmektedir [17].

4.4.1. Test Kağıtlarının Parlaklık Değerleri

Kağıda uygulanan ağartma işlemi sayesinde bütün dalga boylarında reflektans değerlerinin artmasıyla birlikte özellikle 450-500 nm dalga boyu aralığındaki mavi

bölgedeki artış en yüksek derecede olduğu bilinmektedir. Bu sebepten, ağartma ile kağıdın optik niteliğindeki en küçük bir değişimin duyarlılıkla görüldüğü 457 nm dalga boyunda parlaklık ölçümü yapılmaktadır.

Kağıdın parlaklık ölçümü günümüzde iki metota uygun olarak yapılmaktadır. Yönsel ışık metodunun (directional method) benimsendiği Tappi 452 standardında (Tappi Parlaklığı), ışık kaynağı yüzeyine 45° lik bir açıyla gönderilirken, dağınık ışık metodunun (diffuse method) kullanıldığı ISO 2470 ve Tappi 525 standartlarında (ISO Parlaklığı) ise küresel bir ortamda ışık dağınık şekilde kağıda gönderilir ve algılayıcı (observer) ışığı dikey ve 0° de almaktadır.

ISO parlaklığında ölçme işleminde, sadece 457 nm dalga boyundaki ışık yerine 380 nm ile 510 nm arasındaki dalga boylarındaki ışıkların ağırlık fonksiyonları hesaba katılmaktadır. Ağırlık fonksiyonu bağıl duyarlılığın en yüksek olduğu 457 nm de 100 iken 380 ve 510 nm dalga boylarına yaklaştıkça sıfır değerine yaklaşmaktadır.

Ölçümler sırasında diğer bir önemli konu ise kağıtlarda bulunan flüoresan etkiye sahip kimyasal maddelerdir. Flüoresan etkiye sahip parlaklık veya beyazlatma kimyasal maddeleri (fluorescent brightening or whitening agent) olarak bilinen organik yapıya sahip maddeler, üretim sırasında daha yüksek optik niteliğin kazandırılması için kağıda katılırlar. Bu kağıtlar tekrar hamurlaştırıldıklarında veya ağartıldıklarında kalıntı olarak hamurda kalırlar ve ölçümler sırasında yanılgılara sebep olurlar. Bu maddeler 350-370 nm'ler arasında ışık kaynağından gelen görünmeyen (ultraviyole veya mor ötesi) ışınları absorbe eder ve daha sonra mavi dalga boylarında yansıtırlar [78]. Bu problemin giderilebilmesi için ISO, 420 nm dalga boyundaki ışığın filtrelenmesini önermektedir. Bu sayede bu dalga boyunda flüoresan etkisiyle oldukça yüksek çıkan değer elimine edilerek anormal derecede yüksek parlaklık değerlerin okunması engellenmektedir.

Parlaklık ölçümleri, 240 g/m² gramajlı standart INGEDE test kağıdı ve 70 g/m² gramajlı standart ISO test kağıtlarında yapılmıştır. Çizelge 4.5'te kağıtların alttan ve üstten ölçülen ortalama parlaklık değerleri verilirken ayrıca parlaklık kazanımları (delta parlaklık) Şekil 4.8'de grafik ortamında verilmiştir.

Çizelge 4.5 Çalışma proseslerine ait test kağıtlarının ISO parlaklık değerleri

Grup No	Proses No	Standart INGEDE Kağıdı 240 g/m ²			Standart ISO Kağıdı 70 g/m ²		
		Üst	Alt	Ort.	Üst	Alt	Ort.
Grup kontrol	ABH	87.58	86.78	87.18	95.37	93.14	94.26
	ASH	53.01	53.22	53.12	45.58	47.58	46.58
	AYH	59.19	59.24	59.22	53.96	56.19	55.08
Grup kontrol	BBH	71.48	71.01	71.25	80.07	77.20	78.64
	BSH	38.84	39.17	39.01	31.77	33.57	32.67
	BYH	44.53	47.08	45.81	39.84	41.82	40.83
Grup 1	BH1	91.29	90.69	90.99	96.35	93.88	95.12
	SH1	58.39	58.79	58.59	55.61	56.92	56.27
	YH1	60.44	60.86	60.65	56.42	58.60	57.51
Grup 2	BH2	93.03	92.51	92.77	99.09	96.99	98.04
	SH2	61.17	61.78	61.48	55.50	57.21	56.34
	YH2	61.89	62.49	62.19	56.68	58.97	57.83
Grup 3	BH3	93.22	93.05	93.14	99.49	97.56	98.52
	SH3	61.56	61.81	61.69	56.67	58.08	57.38
	YH3	63.00	63.22	63.11	56.67	59.06	57.87
Grup 4	BH4	92.91	92.55	92.73	98.87	97.54	98.21
	SH4	59.23	59.62	59.43	55.12	56.72	55.92
	YH4	61.72	62.03	61.88	55.14	57.29	56.22
Grup 5	BH5	97.82	97.23	97.53	102.95	100.65	101.80
	SH5	71.32	72.39	71.86	71.23	71.27	71.25
	YH5	81.92	82.12	82.02	81.46	81.60	81.53

Çalışma proseslerine ait parlaklık değerleri Çizelge 4.5’te toplu olarak verilmiştir. Standart INGEDE test kağıdı ve ISO test kağıdına ait parlaklık değerleri kağıdın üst-alt yüzlerinin farklı noktalarında ölçülmüş ve bunlara ait ortalama parlaklık değerleri kaydedilmiştir. Özellikle atık kağıt hamurlarından oluşturulan kağıdın üst ve alt yüzeyleri arasında, yapılan mürekkep giderme etkinliğine bağlı olarak parlaklık farklılığının olduğu ve parlaklık ölçümlerine seyreltmede kullanılan proses suyunun, kağıdın yüzey düzgünlüğünün, test kağıdı yapmak için kullanılacak hamurun kesafetinin ve gramajının etkin olduğu bilinmektedir [79].

Baskısız ve baskılı kağıtlardan kağıt hamuru elde edilen ABH-ASH-AYH ve BBH-BSH- BYH proseslerine ait test kağıtlarının parlaklık değerleri, baz kağıdın parlaklığını görmek ve baskı işleminin ne ölçüde aynı hamurda parlaklık azalmasına neden olduğunu gözlemlemek için Çizelge 4.5'te verilmiştir. Materyal-Metot bölümünde, baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıdının parlaklık değeri Çizelge 3.1'de ISO parlaklık olarak verilmiştir. ABH-ASH-AYH prosesleri, bilindiği üzere bu otokopi kağıtlarının yalnızca su ile hamurlaştırılmasından oluşmaktadır. Doğal olarak bu proseslere ait ölçülen parlaklık değerlerinin otokopi kağıdinkine yakın olması beklenir. Fakat değerler karşılaştırıldığında aralarında ciddi farklılıkların olduğu görülmektedir. Örnek olarak parlaklık ölçümleri incelendiğinde INGEDE test kağıdında ortalama 12.70 birim azalma görülürken ISO test kağıdındaki azalma ise ortalama 14.01 birim azalmıştır. Ayrıca BBH-BSH-BYH proseslerine ait parlaklık değerlerine bakıldığında ISO test kağıdında sırası ile 20.18, 11.21 ve 10.62 birim azalma görülürken INGEDE test kağıdında ise sırasıyla 27.57, 4.87 ve 5.67 birim azalma olmuştur. Buna göre aşağıdaki çıkarımları yapmak mümkündür.

- Otokopi kağıtlarında karbondan oluşan kapsüllerin hamurlaştırma esnasında patlaması, optik parlaticı maddelerin hamurlaştırma ve test kağıdı formasyonu sırasında hamurdan uzaklaşması parlaklığı azaltmaktadır.
- Hamurlaştırma sırasında baskı mürekkebi ile birlikte renk pigmentleri parlaklığı olumsuz yönde etkilemektedir.
- Parlaklık azalması ISO kağıdında INGEDE kağıdına göre daha fazla gerçekleşmiştir. Bu durum ISO kağıdının gramajının daha düşük olması ve seyreltik bir hamurdan oluşması sebebiyle hamur içerisindeki kalıntı mürekkeplerin yıkanarak suya geçmesi ile açıklanabilir.

Diğer yandan ABH-ASH-AYH ve BBH- BSH- BYH proseslerine ait test kağıtlarının parlaklık değerleri incelendiğinde baskı mürekkebinin parlaklık değerini ne derece düşürdüğünü görmek mümkündür. Örneğin bu proseslere ait parlaklık farkları INGEDE test kağıtlarında sırasıyla 15.93, 14.11, 13.41 birim iken ISO test kağıtlarında sırasıyla 15.62, 13.91, 14.25 birim civarında olduğu ve dolayısıyla INGEDE test kağıtları ile ISO test kağıtları arasında önemli bir parlaklık farkın olmadığı görülmektedir. Ancak ABH ve BBH proseslerine ait parlaklık değerleri ISO test kağıtlarında daha yüksek olurken, ASH-AYH- BSH- BYH prosesleri ise INGEDE test kağıtlarında daha yüksek parlaklık değerleri kaydetmiştir (Çizelge 4.5).

Bu durum otokopi kağıdının ikinci ve üçüncü nüshalarını oluşturan ASH-AYH-BSH- BYH proseslerinin daha fazla kısa ve kırıntı lifle birlikte dolgu maddesi içerdiği anlamına gelebilir. Çünkü kısa ve kırıntı lifler, dolgu maddeleri, renk pigmentleri vb. kağıt makinesinin eleğinden kolay bir şekilde geçip elek altı suya (beyaz suya) karışırken; fakat filtre kağıdından geçmesi daha zor olmaktadır.

Diğer bir önemli konu ise test kağıtlarının üst ve alt yüzeylerinden ölçülen parlaklık değerlerinin farklılık göstermesidir. Örneğin ABH-ASH-AYH proseslerine ait INGEDE test kağıtlarının üst ve alt yüzeyleri arasındaki fark sırasıyla % 0.92, % 0.40. % 0.10 iken ISO test kağıtlarında üst ve alt yüzeyleri arasındaki fark ise sırasıyla % 2.39, % 4.39 % 4.13 civarındadır. Bu iki test kağıdı arasındaki fark daha önceden de bahsedildiği gibi kağıt makinesinin eleğinin filtre kağıdından daha fazla geçirgen olmasından kaynaklanmaktadır. ISO test kağıtlarının BBH- BSH- BYH proseslerinin üst ve alt yüzleri arasındaki parlaklık farkı sırasıyla % 3.72, % 5.67 ve % 4.97'dir. ABH-ASH-AYH proseslerine ait hamurlarda kirlilik verici maddelerin olmaması sebebiyle kağıt formasyonu sırasında iki yüzey arasında önemli farklılıklar oluşmamıştır. BBH- BSH- BYH proseslerine ait kağıt hamurlarında ise baskı mürekkebinden gelen dispers olmuş mürekkep pigmentler kağıt formasyonu sırasında su ile beraber taşınarak yüzeyler arasındaki farkı oluşturmaktadır.

Şekil 4.8'de grafik ortamında ise proses gruplarına ait parlaklık kazanımları verilmiştir. Parlaklık kazanımları veya delta parlaklık olarak verilen değerler flotasyon süresine ve ağartmalara ait test kağıtlarının parlaklık değerlerinden BBH-BSH-BYH proseslerine ait test kağıtlarının parlaklık değerlerinin çıkarılması ile sağlanmıştır. Burada, BBH-BSH-BYH ve BH-SH-YH proseslerine ait aynı tür test kağıtları ve aynı UV pozisyonunda kaydedilen parlaklık değerlerinin farkları alınmıştır.

$$\text{ISO Parlaklık Kazanımı (\%)} = [\text{BH PARLAKLIK}] - [\text{BBH PARLAKLIK}]$$

Kimyasal madde miktarı ile yıkama ve flotasyon süresine bağlı olarak parlaklık değerleri incelendiğinde, test kağıdının türüne göre farklı miktarda parlaklık kazanımları kaydedilmiştir. Parlaklık artırımları kimyasal madde miktarına ve flotasyon süresine göre artması ile birlikte INGEDE test kağıdı ile ISO test kağıdı arasında ortalama yaklaşık 1.9 birim parlaklık fark bulunmaktadır. Bu durum ISO test kağıtlarında formasyon aşamasında INGEDE test kağıdına kıyasla daha seyreltik

hamur süspansiyonu veya daha fazla su kullanılması ve gramaj farklılıklarından ileri geldiği düşünülmektedir.

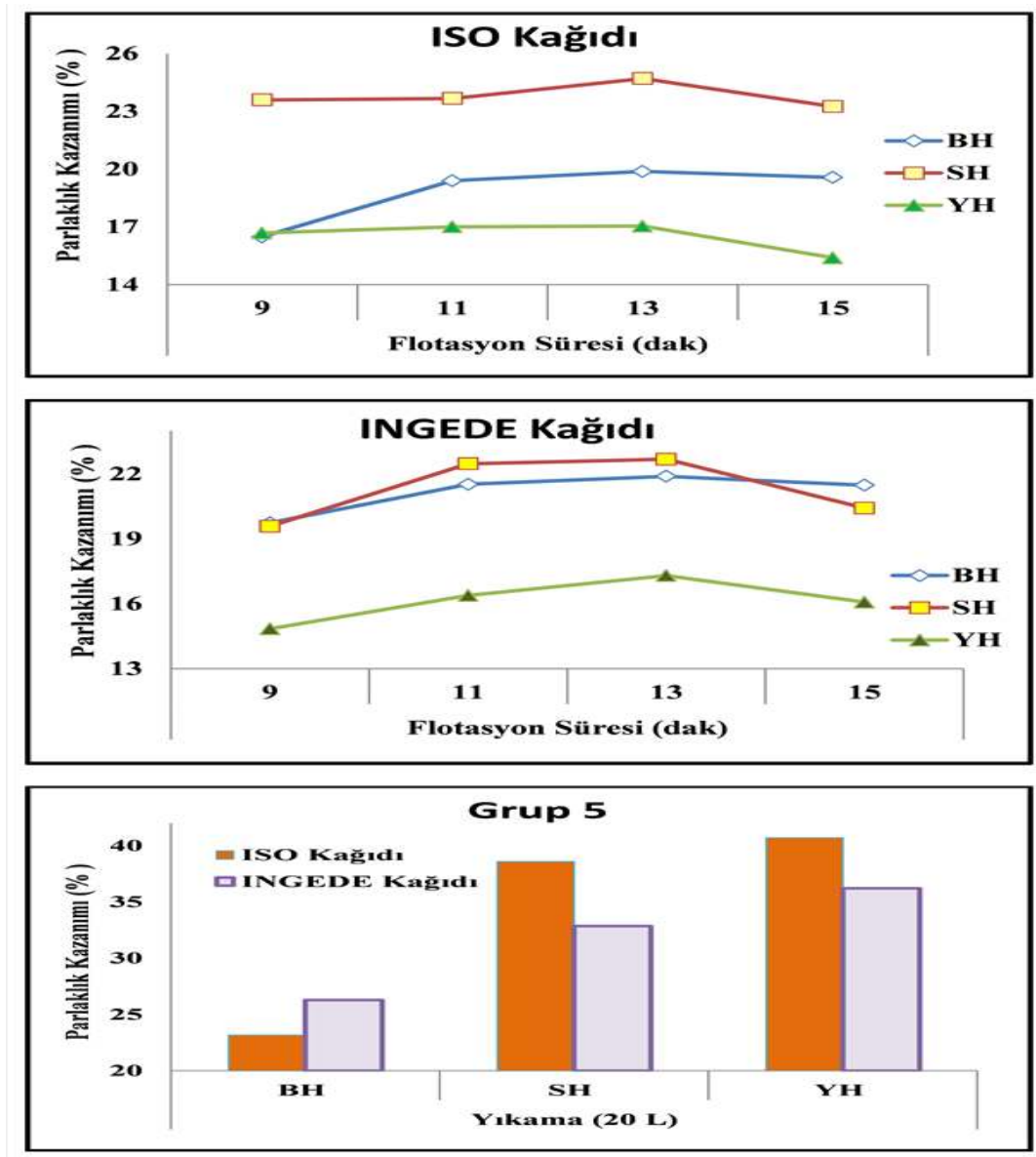
Diğer bir konu ise test kağıdının türüne bağlı olarak parlaklık değişkeninin farklı olmasıdır. Örneğin, BH prosesinde ortama parlaklık 97.47 birim iken, SH'de 56.48 birim, YH'de ise 57.36 birim olmuştur. Bu durum test kağıtlarının içermiş olduğu renk pigmentleri ve mikrokapsül türü ile açıklanabilir. INGEDE test kağıdı ile ISO test kağıdı arasındaki temel parlaklık farklılıkları ise şunlardır [17]:

- ❖ INGEDE test kağıdının gramajı 240 g/m^2 iken, ISO test kağıdının gramajı 70 g/m^2 dir. Buna bağlı olarak kağıt kalınlıkları arasında da ciddi farklılıklar vardır.
- ❖ INGEDE test kağıdının formasyonu sırasında hamur kesafeti yaklaşık % 0.3 iken ISO test kağıdının formasyonu sırasında hamur kesafeti yaklaşık % 0.03 civarındadır. Dolayısıyla formasyon sırasında su kullanımı açısından standartlar arasında 100 kat fark vardır. Bu durum, lifler arasındaki kalıntı mürekkebin ve renk pigmentin yıkanarak uzaklaşmasını etkilemektedir.
- ❖ INGEDE test kağıdında formasyon filtre kağıdı üzerine vakum yardımıyla oluşturulurken ISO test kağıdında formasyon eleği olarak 200 tyler mesh elek kullanılmıştır. Birinci durumda kalıntı mürekkeple birlikte renk pigmentinin dolgu maddesinin filtre kağıdından geçmesi çok zor olacağından alt yüzeyde birikir, diğerinde ise kalıntı mürekkep veya kirlilikler suyun da etkisi ile elekten geçerek atık suya karışmaktadır.

Flotasyon süresinin değişken olarak uygulandığı Grup1-2-3-4 Proseslerinde ise flotasyon süresinin artışına paralel olarak parlaklık değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Gerçek ISO parlaklığı incelendiğinde süreye bağlı olarak parlaklık kazanımı ilk 13 dakikaya kadar bir artış trendinde olduğu, takip eden sürelerde ise bu trendin düştüğü görülmektedir. Flotasyon süresinin ilk aşamalarında yüksek miktarda madde hamurdan uzaklaşırken süre uzadıkça uzaklaşan madde miktarında azalma olduğu daha önce belirtilmişti. Buradan yola çıkarak, ilk aşamalarda büyük oranda mürekkep pigmentleri, dolgu maddeleri çamura karışırken ilerleyen dakikalarda bu oranın azaldığı söylenebilir. Bu konu ile yapılan çalışmalarda da [17] aynı yönde sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak flotasyon süresinin belli kritik noktadan sonra uzatılması fazla bir parlaklık kazanımı sağlamazken hem fazladan madde kaybına sebep olacak hem de üretim masraflarını artıracaktır. Otokopi kağıdının genel alıcı-

verici nüshasını oluşturan SH hamurlaştırma ve flotasyon işleminin etkisi ile üst ve alt yüzündeki kapsüller kolayca uzaklaştırıldığında BH ve YH 'ye göre daha yüksek bir parlaklık kazanımı kaydetmiştir (Şekil 4.8).

Yıkama yöntemi ile mürekkebi giderilen Grup 5 prosesleri, ağartma kimyasallarının ve yıkamanın etkisi ile yüksek bir parlaklık kazanımı sağlamıştır. SH ve YH proseslerinin parlaklık kazanımı, ISO test kağıdında en yüksek olurken INGEDE test kağıdında ise BH prosesi en yüksek parlaklık kazanımı kaydetmiştir. Ayrıca ağartma kimyasalları SH ve YH'ye yüksek bir parlaklık kazandırırken BH'ye o kadar fazla bir katkı sağlamamıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Flotasyon süresi değişkenine ve Yıkama yöntemine bağlı olarak kazanılan ISO parlaklığı

4.4.2. Test Kağıtlarının Beyazlık Değerleri

Genellikle yüksek derecede parlaklığa sahip bir kağıdı, insan gözü beyaz olarak algıladığı için parlaklık terimi bazen kağıdın beyazlığı olarak da kullanılmaktadır. Ancak, herhangi bir kağıt hamurundan elde edilen yüksek parlaklığa sahip mavi kağıt, aynı hamurdan elde edilen daha düşük parlaklığa sahip beyaz bir kağıttan daha yüksek bir parlaklığa sahiptir [77]. Parlaklık ölçümü sadece sınırlı mavi bölgedeki reflektans değerlerine göre değerlendirilirken beyazlık ölçümü toplam görünen ışık bölgesi olan 400-700 nm arasındaki tüm dalga boyları arasındaki reflektanslara göre değerlendirilir. Diğer bir deyişle beyazlık, toplam beyaz ışık reflektansı görünen tüm dalga boylarındaki reflektansların homojen kombinasyonudur. Beyazlık değeri algılanan tüm reflektans ve reflektansların homojenliğine bağlı olmasına rağmen homojenliğin toplam reflektans değerinden daha önemli olduğu bilinmektedir. Kağıt üreticilerin, daha beyaz bir görünüm sağlamak için kağıt içerisine mavi renk boya ilave etmelerinin sebebi, zaten bir miktar sarılık bulunan doğal kağıt hamurunu mavi renk ile etkisini azaltmak ve homojen bir yapı oluşturmaktır. Kağıt içerisine ilave edilen optik beyazlatıcıların amacı ise görünmeyen yani ultra viyole ışığı absorbe ederek görünen ışık olarak genellikle mavi dalga boyunda tekrar yansıtmasıdır. Bu yüzden % 100'den daha fazla bir beyazlık değerinin ölçülmesi teorik olarak mümkündür. Yüksek derecede ağartılmış kağıt hamurlarına optik beyazlatıcının ilave edilmesi ile % 150'ye yakın değerler sağlanabilmektedir. Flüoresans etkiye sahip boyaların kağıda katılmasıyla toplam reflektans artmakla kalmaz aynı zamanda reflektansın bütün ışık bölgelerinde yeknesaklığı sağlanır [17].

Beyazlık ölçülmesinde farklı metotlar kullanılmasına bu çalışmada CIE beyazlığı değerleri tespit edilmiştir. Dış (D65/10°) ve iç (C/2°) ışık ortamında gerçekleştirilen analizler için hesaplama işlemi, ISO 11475 ve 11476 standartlarında verilen 400-700 nm dalga boylarına karşılık gelen X (kırmızı), Y (yeşil) ve Z (mavi) ışıklarının ağırlık faktörleri kullanılarak otomatik olarak yapılmıştır.

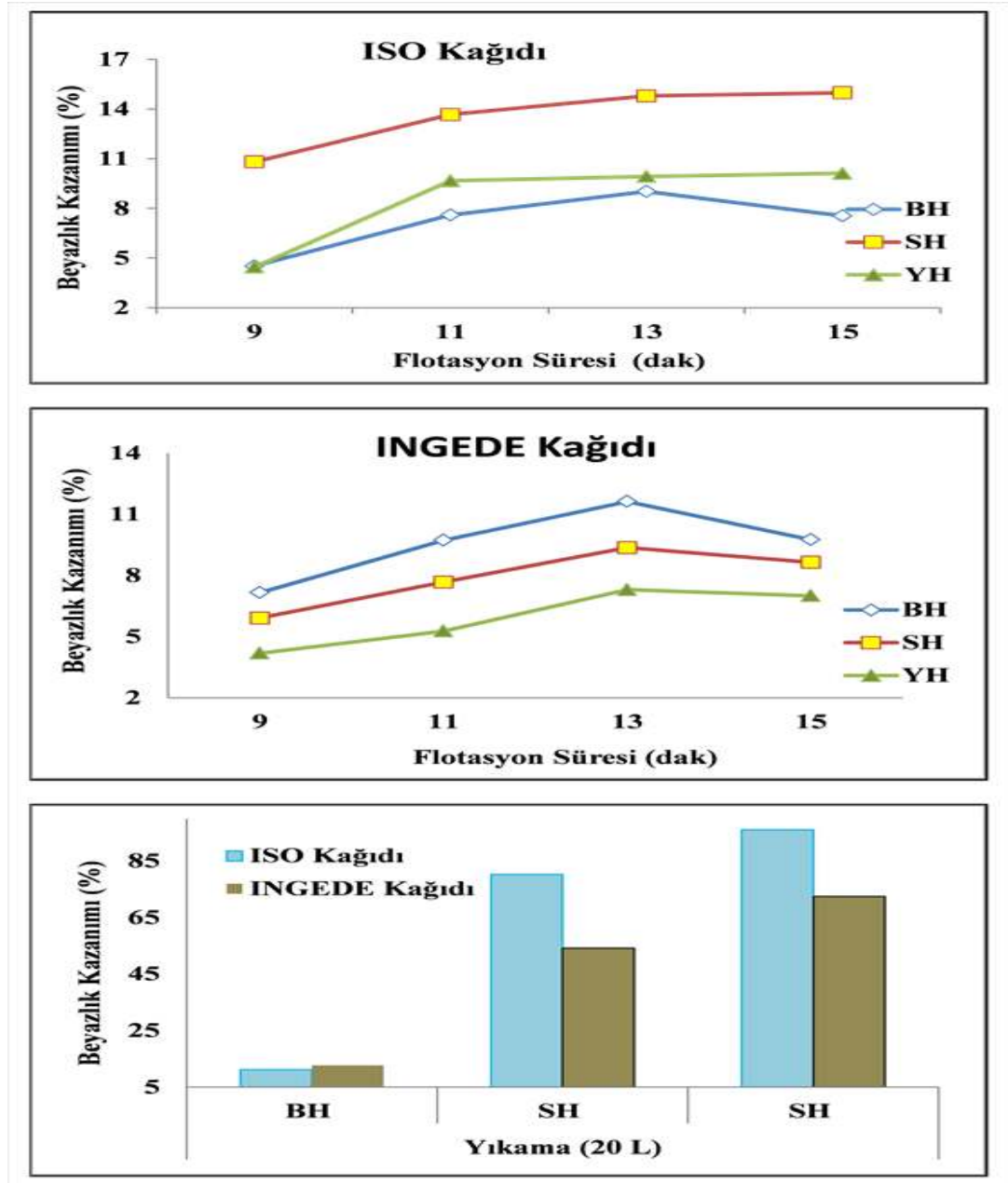
Çizelge 4.6'da INGEDE ve ISO test kağıtlarına ait beyazlık ölçüm değerleri verilmiştir. Şekil 4.9'da ise delta beyazlık veya beyazlık kazanımları grafik ortamında verilmiştir.

Çizelge 4.6 Çalışma proseslerine ait test kağıtlarının CIE beyazlık değerleri

Grup No	Proses No	Standart INGEDE Kağıdı 240 g/m ²			Standart ISO Kağıdı 70 g/m ²		
		Üst	Alt	Ort.	Üst	Alt	Ort.
Grup kontrol	ABH	125.00	124.55	124.78	134.80	131.20	133.00
	ASH	7.61	6.92	7.26	-36.66	-20.97	-28.82
	AYH	27.91	26.78	27.34	-11.41	2.87	- 4.27
Grup kontrol	BBH	111.65	110.9	111.28	125.2	119.55	122.38
	BSH	1.28	1.23	1.26	- 40.8	-27.89	-34.35
	BYH	6.43	4.89	5.66	-24.35	-12.45	-18.40
Grup 1	BH1	118.55	118.30	118.43	128.80	124.55	126.90
	SH1	7.31	7.04	7.17	-28.19	-18.88	- 23.54
	YH1	10.33	9.34	9.84	-19.47	-8.43	-13.95
Grup 2	BH2	121.35	120.65	121.00	132.45	127.5	129.98
	SH2	8.56	9.24	8.90	-19.05	-12.33	-20.69
	YH2	11.10	10.76	10.93	-12.59	- 4.88	- 8.73
Grup 3	BH3	123.45	122.35	122.90	134.10	128.7	131.4
	SH3	11.39	9.85	10.62	-15.00	- 8.11	-19.56
	YH3	13.70	12.21	12.96	-13.83	- 3.10	- 8.47
Grup 4	BH4	121.35	120.70	121.03	132.90	126.95	129.93
	SH4	9.25	9.55	9.90	-14.59	- 8.15	-19.37
	YH4	12.75	12.57	12.66	-13.60	- 2.96	- 8.28
Grup 5	BH5	124.60	123.40	124.00	136.50	130.65	133.58
	SH5	56.22	54.70	55.46	45.03	46.72	45.88
	YH5	78.26	77.99	78.12	75.55	75.77	75.66

Çizelge 4.6’da flotasyon ve yıkama yöntemleri ile mürekkepleri giderilen proseslere ait kağıt hamurlarının beyazlık değerleri verilmektedir. Bu çalışmada baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıdının beyazlık değerleri sırasıyla BBK (baskılı beyaz otokopi kağıdı):% 134.10, BSK (baskılı sarı otokopi kağıdı):% -69.06, ve BYK(baskılı yeşil otokopi kağıdı): %-14.38 CIE beyazlığı olduğu hatırlanırsa, bu değerlere bakılarak otokopi kağıtları içerisinde optik beyazlatıcının olduğu bellidir. Diğer yandan bu otokopi kağıtlarının baskı işlemi yapılmadan hamurlaştırılmasıyla elde edilen ABH (baskısız beyaz hamur), ASH (baskısız sarı hamur) ve AYH

(baskısız yeşil hamur)'ye ait ISO test kağıdının beyazlık değerleri ise sırası ile % 133, % -28.82, %-4.27 CIE beyazlığı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla kağıt formasyonu sırasında bir miktar optik beyazlatıcının atık suya geçtiği söylenebilir. Diğer yandan grafiklere genel olarak bakıldığında en fazla beyazlık kazanımının ISO test kağıdında gerçekleştiği ve aynı test kağıdında ortalama BH % 7.17 CIE beyazlık kazanımı kaydederken, SH % 13.56 ve YH % 8.54 CIE beyazlık kazanımı sağladığı görülmektedir. Parlaklık kazanımında ise hatırlanacağı üzere en fazla artım ISO test kağıdında sırasıyla SH-BH-YH' de gerçekleşmişti.



Şekil 4.9 Flotasyon süresi değişkenine ve Yıkama yöntemine bağlı olarak kazanılan CIE beyazlığı

Beyazlık artımı veya delta beyazlık, parlaklık ölçümlerinde olduğu gibi proseslere ait test kağıtlarının beyazlık değerlerinden BBH, BSH, BYH proseslerine ait test kağıtlarının beyazlık değerlerinin çıkarılması ile elde edilmiştir.

Flotasyon süresinin değişken olduğu Grup (1-2-3-4) proseslerinin INGEDE ve ISO test kağıtlarına ait beyazlık kazanımları incelendiğinde; 1, 2 ve 3 numaralı gruplarda süre ilerledikçe delta beyazlık değerleri bütün proseslerde artma eğilimi görülürken 4 numaralı grupta düşme eğilimi görülmektedir. Bu durum parlaklık kazanımında olduğu gibi flotasyon süresinin artması ile mürekkeple birlikte lif ve optik beyazlatıcı maddelerin de uzaklaştırılması ile açıklanabilir. Diğer yandan ISO test kağıdı ile INGEDE test kağıdının beyazlık değerleri karşılaştırıldığında ISO test kağıdının BH prosesinin INGEDE test kağıdının BH prosesinden yüksek olduğu ancak SH ve YH proseslerinin ise çok daha düşük olduğu görülmektedir. Örneğin; Grup 1 proseslerine bakıldığında, ISO test kağıdının BH prosesi ortalama 126.90 birim, SH -23.54 ve YH -13.95 birim olurken INGEDE test kağıdı ise sırasıyla 118.43, 7.17, 9.84 birim olmuştur(Çizelge 4.6). Bu durum otokopi kağıdının ikinci ve üçüncü nüshaları olan SH ve YH proseslerinin birinci nüsha olan BH' den daha fazla katkı maddesi (dolgu maddesi, renk pigmenti kırıntı veya kısa lif vb.) içerdiği söylenebilir. Çünkü bu katkı maddeleri ISO test kağıdı formasyonu sırasında elekten kolayca geçip atık suya karışırken, INGEDE test kağıdı formasyonunda kullanılan filtre kağıdından atık suya karışması daha zor olmaktadır.

Ağartma kimyasallarının ve sabun miktarının değişken olduğu ve sadece yıkama yöntemiyle mürekkepleri uzaklaştırılan Grup 5 proseslerinin beyazlık kazanımları incelendiğinde ISO test kağıdında ortalama BH (beyaz hamur) % 11.2, SH (sarı hamur) % 80.23 ve YH (yeşil hamur) % 94.06 CIE beyazlık kaydederken; INGEDE test kağıdında ise bu değerler BH % 12.72, SH %54.20 ve YH % 72.46 olmuştur (Şekil 4.9). Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere Grup 5 proseslerinde kazanılan beyazlık, flotasyonla mürekkebi giderilen Grup (1, 2, 3, 4) proseslerinde kazanılan beyazlık değerlerinden çok daha yüksektir. Bu durum, hamurlaştırmada Grup 5 proseslerine katılan ağartma kimyasalları ile açıklanabilir. BH prosesinde beyazlık kazanımının düşük olması ise, bu baz kağıdın kullanılmadan önce maksimum beyazlık değerine yakın olması ile ilgili olabilir.

4.4.3. Test Kağıtlarının Renk Değerleri

Kağıdın parlaklık ve beyazlık değerlerinin yanında, renk değerleri de oldukça önemlidir. Bilindiği üzere kağıt üzerine ışık geldiğinde, bu ışığın bir kısmı absorbe edilir, bir kısmı kağıdı geçerek gider ve geriye kalan kısmı da dağınık olarak yansıtır. Kağıt tarafından absorbe edilen ışığın miktarı ve dalga boyu kağıdın rengini belirler. Örneğin, tamamen siyah bir kağıt gelen tüm ışığı absorbe ederken, tamamen beyaz bir kağıt ise gelen ışığı absorbe etmez ve tamamını yansıtır [17].

Kağıt renginin ölçülmesinde geliştirilen temel renk modellerinden biri olan CIE L*, a*, b* sistemi veya CIELAB modeli CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) tarafından 1976 yılında geliştirilen ve kağıt renk ölçümü için resmi olarak önerilen en iyi sistemlerden biridir. CIELAB uç boyutlu renk modeli, renklerin algılanan şekline en uygun olarak geliştirilen matematiksel bir modeldir.

Şekil 4.10' da [78] CIELAB renk modeline ait üç boyutlu renk koordinatları verilmiştir. Hesaplama işlemi Formül (4.3) e göre yapılmaktadır.

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (4.3)$$

$$a^* = 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

L* : Algılanan ışık şiddeti, (0= siyah, 100= beyaz),

a* : Kırmızı- yeşil eksenindeki renk yoğunluğu, (pozitif=kırmızı, negatif= yeşil),

b* : Sarı- mavi eksenindeki renk yoğunluğu,(pozitif=sarı, negatif = mavi),

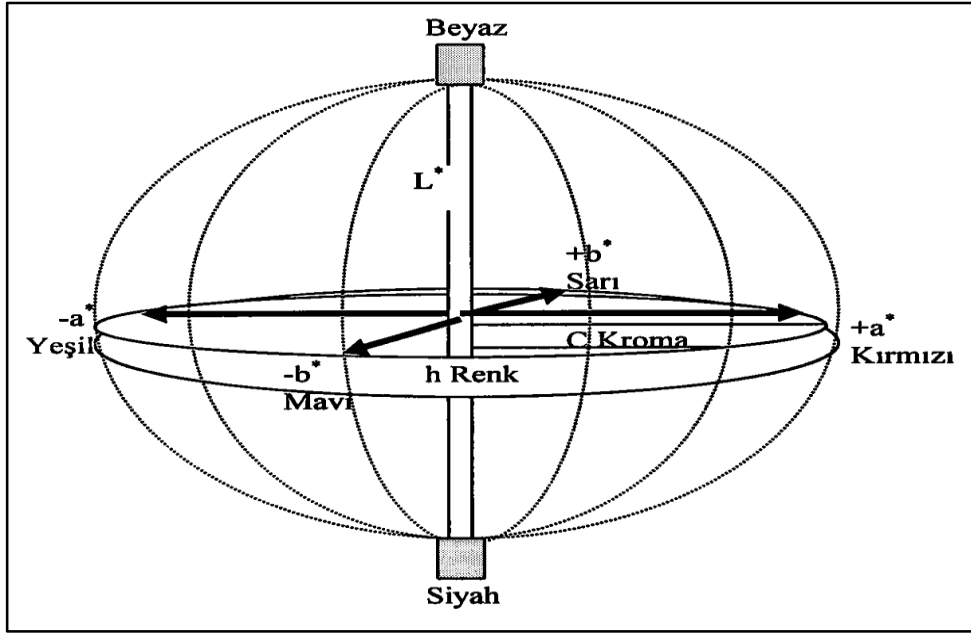
X, Y, Z : Kağıdın ölçülen üç boyutlu renk değerleri,

X_n, Y_n, Z_n : Standardın ölçülen üç boyutlu renk değerleri,

Çizelge 4.7'de INGEDE test kağıtları proseslerine ait L*, a*, b* değerleri ve Çizelge 4.8'de ise daha önce bu konu ile benzer yapılan çalışmada olduğu gibi [17] bu proseslere ait (ISO ve INGEDE test Kağıdı) test kağıtları ile başlangıç hamuruna ait test kağıtları arasındaki renk farkını tespit etmek amacıyla ISO 5631 standardında önerilen $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ ve Tappi 524 standardında verilen kağıdın beyaz veya beyaza yakın olup olmadığına karar vermede belirleyici olan

$(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ formülüne ait değerler verilmiştir. Kağıdın beyaz veya beyaza yakın olması için, $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ değeri kesinlikle 10'u aşmamalı ve L^* 84'ten daha yukarıda olmalıdır [80].

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 ise ΔL^* , ΔE^* , b^* ve $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ değerleri grafik ortamında verilmiştir. Bu bölümde ISO test kağıdına ait değerler verilirken, INGEDE test kağıdına ait CIELAB değerleri ile her iki tür test kağıdına ait sarılık (ASTM 1925) değerleri Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2'de verilmiştir. Ayrıca INGEDE test kağıdına ait ΔL^* , ΔE^* , b^* ve $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ değerleri de Şekil 7.1'de grafik ortamında sunulmuştur.



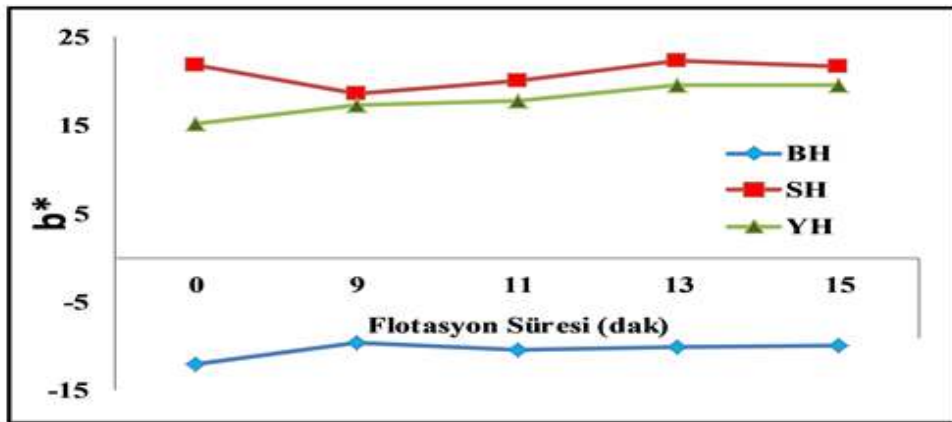
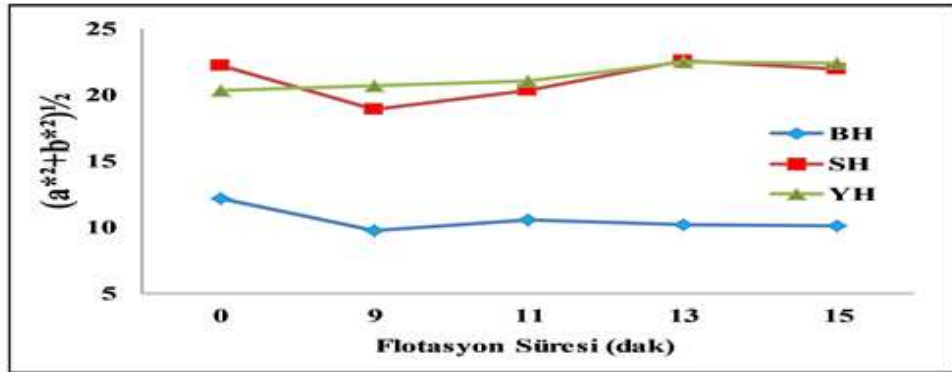
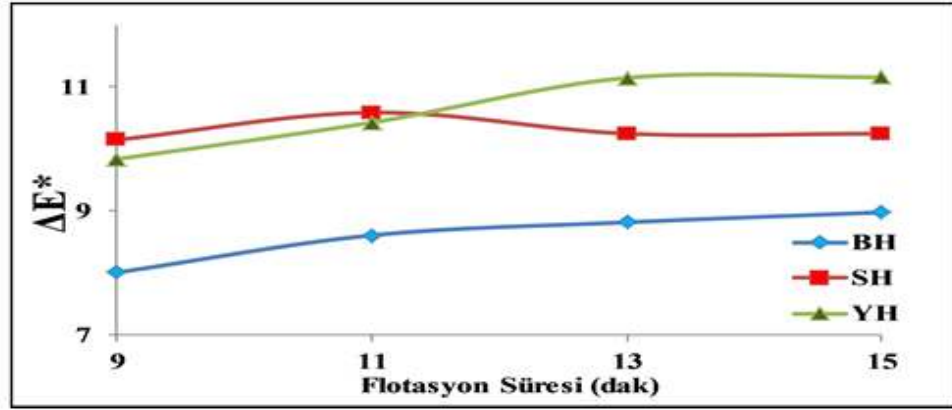
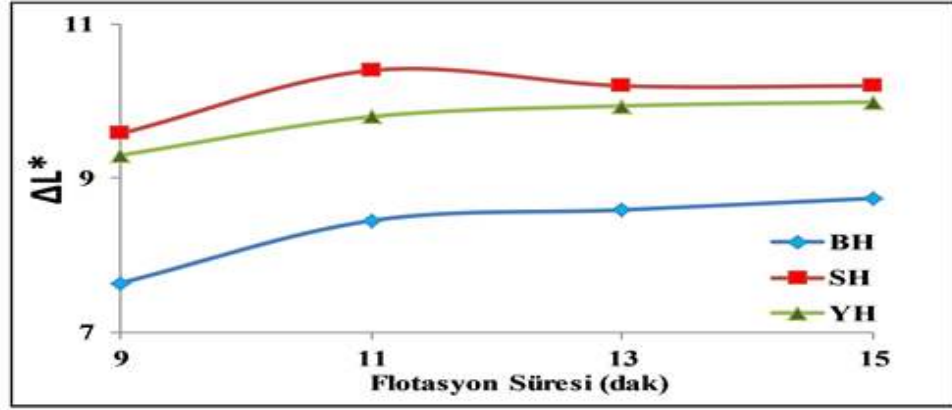
Şekil 4.10 CIELAB renk modeline ait üç boyutlu renk koordinatları [78]

Çizelge 4.7 Çalışma proseslerine ait CIE L* a* b* değerleri

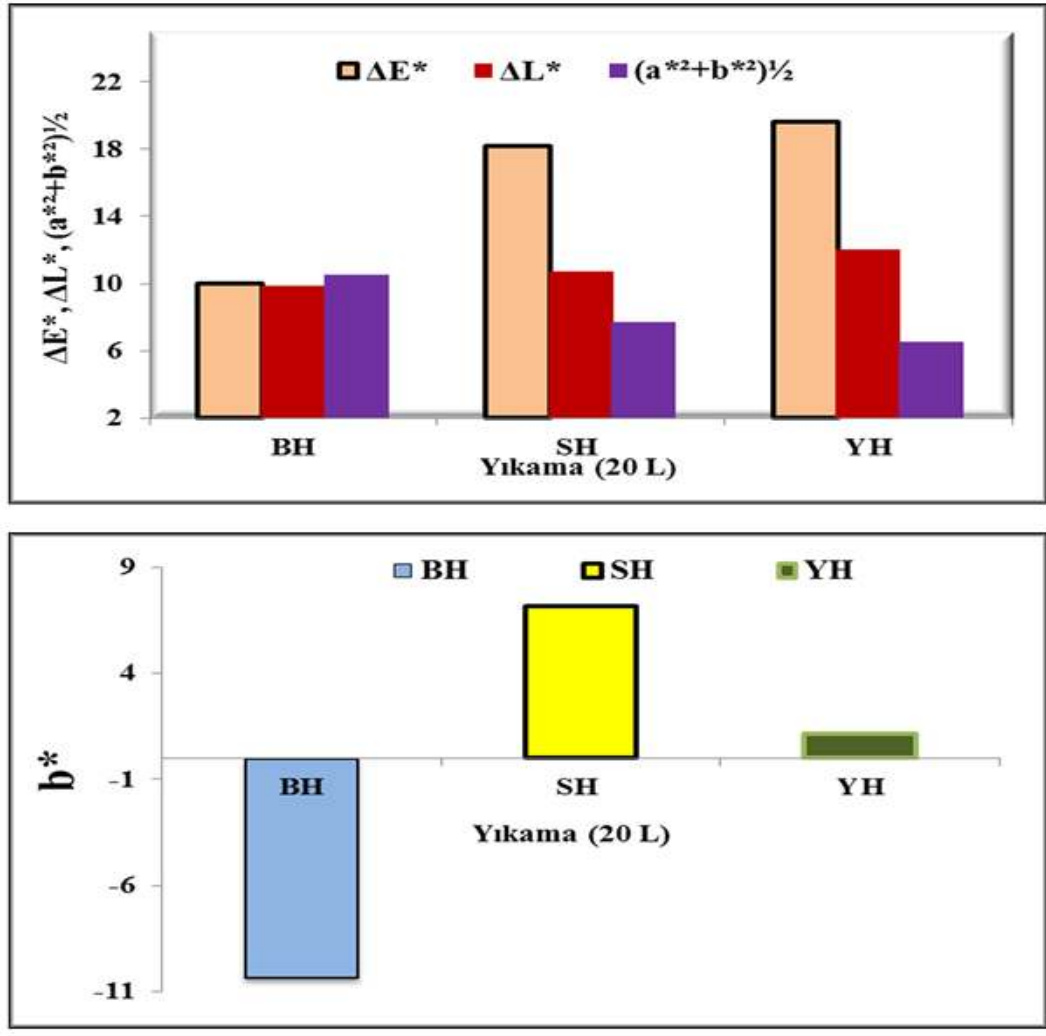
Grup No	Proses No	Standart ISO Kağıdı 70 g/m ²								
		L*			a*			b*		
		Üst	Alt	Ort.	Üst	Alt	Ort.	Üst	Alt	Ort.
Grup kontrol	ABH	93.10	92.85	92.98	2.43	2.11	2.27	-9.23	-8.15	-8.69
	ASH	88.10	87.47	87.78	-3.79	-3.42	-3.60	23.21	20.01	21.61
	AYH	88.69	88.54	88.62	-14.59	-14.69	-15.14	17.69	17.16	17.42
Grup kontrol	BBH	85.15	84.87	85.01	1.37	1.67	1.52	-11.74	-12.34	-12.04
	BSH	81.12	80.66	80.89	-4.70	-4.33	-4.52	23.36	20.19	21.78
	BYH	80.79	80.81	80.80	-13.86	-13.20	-13.53	16.38	14.04	15.21
Grup 1	BH1	92.81	92.48	92.65	1.75	1.35	1.55	-10.18	-9.07	-9.63
	SH1	90.54	90.40	90.47	-3.78	-3.52	-3.65	19.39	17.69	18.54
	YH1	90.10	90.10	90.10	-11.49	-10.83	-11.16	18.52	16.23	17.37
Grup 2	BH2	93.63	93.30	93.46	1.76	1.48	1.62	-10.84	-9.94	-10.39
	SH2	91.33	91.24	91.29	-3.73	-3.46	-3.60	20.69	19.37	20.03
	YH2	90.56	90.64	90.60	-11.47	-10.83	-11.15	18.93	16.79	17.86
Grup 3	BH3	93.68	93.52	93.60	1.82	1.56	1.69	-10.45	-9.65	-10.05
	SH3	91.15	91.03	91.09	-3.76	-3.50	-3.63	23.12	21.46	22.29
	YH3	90.72	90.77	90.74	-11.36	-10.76	-11.06	20.61	18.61	19.61
Grup 4	BH4	93.88	93.61	93.75	1.76	1.45	1.61	-10.43	-9.49	-9.96
	SH4	91.15	91.03	91.09	-3.65	-3.42	-3.53	22.42	20.82	21.62
	YH4	90.74	90.85	90.79	-11.36	-10.63	-11.00	21.21	17.79	19.50
Grup 5	BH5	94.98	94.72	94.85	1.94	1.62	1.78	-10.84	-9.87	-10.36
	SH5	91.81	91.45	91.63	-2.76	-2.77	-2.77	7.44	6.94	7.19
	YH5	92.82	92.89	92.85	-6.45	-6.21	-6.33	1.20	1.14	1.17

Çizelge 4.8 Standart INGEDE ve ISO test kağıtlarına ait renk değerleri

Grup No	Proses No	Standart INGEDE Kağıdı 240 g/m ²		Standart ISO Kağıdı 70 g/m ²	
		$(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ Ort.	Delta E Ort.	$(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ Ort.	Delta E Ort.
Grup kontrol	ABH	7.51	9.98	8.98	8.68
	ASH	13.69	7.10	21.91	6.95
	AYH	19.28	9.23	23.08	8.28
Grup kontrol	BBH	11.4	0	12.14	0
	BSH	11.74	0	22.24	0
	BYH	15.64	0	20.36	0
Grup 1	BH1	9.25	9.86	9.75	8.01
	SH1	14.33	11.38	18.90	10.15
	YH1	17.49	9.83	20.65	9.84
Grup 2	BH2	8.21	10.33	10.52	8.61
	SH2	15.26	12.60	20.35	10.59
	YH2	17.49	10.39	21.05	10.43
Grup 3	BH3	8.70	10.66	10.19	8.82
	SH3	16.40	13.59	22.58	10.25
	YH3	17.56	10.81	22.51	11.15
Grup 4	BH4	8.59	10.84	10.09	8.98
	SH4	16.24	12.92	21.91	10.25
	YH4	16.60	10.84	22.39	11.16
Grup 5	BH5	8.51	12.38	10.51	9.99
	SH5	5.29	16.37	7.71	18.20
	YH5	6.16	18.07	6.50	19.64



Şekil 4.11 Flotasyon süresine bağlı olarak değişen ΔE^* , ΔL^* , $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ ve b^* değerleri



Şekil 4.12 Yıkama yöntemine bağlı olarak değişen ΔE^* , ΔL^* , $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ ve b^* değerleri

Çalışma proseslerine ait renk değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıdının renk değerlerine bakıldığında; BBK’nin CIE L* a* b* değerleri sırasıyla 94.05, 2.29, -9.99, BSK’nin; 89.26, -3.07, 29.38 ve BYK’nin; 86.4, -17.78, 16.05 olduğu hatırlanacaktır. Bu değerler Çizelge 4.7’de verilen kontrol grubu olan BBH, BSH, BYH değerleri ile karşılaştırıldığında baz kağıda ait değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum hamurlaştırma sırasında mürekkeple birlikte kopyalama özelliği sağlayan renk pigmentlerinin hamura karışması dolayısıyla hamur renginin değişmesi ile açıklanabilir. Çünkü kopyalama özelliği sağlayan kapsüller hamurlaştırma sırasında patlamaktadır. Ayrıca BBK, BSK ve BYK’nin $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ değerlerinin de sıra ile; 10.25, 29.54, 23.95 olduğu ve bu durumda çalışmada kullanılan baz kağıtların kırmızı ve yüksek miktarda mavi renkte olduğu söylenebilir. Mavi renk değerinin yüksek değerde bulunması, kağıdın

parlaklığını artırmak için kağıda katılan mavi renkli boyadan kaynaklanmaktadır [17].

Çizelge 4.8'deki ΔE^* değerleri BBH, BSH BYH hamurlarının CIELAB değerleri baz alınarak hesaplanmıştır. Buna göre standart ISO ve INGEDE test kağıtlarının baskısız (ABH, ASH, AYH) ve baskılı (BBH, BSH BYH) kontrol prosesleri arasındaki renk farkı ile $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ değerleri hesaplanmıştır. $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ değerleri karşılaştırıldığında; ABH prosesi, BBH'ye göre daha düşük olurken diğer proseslerde ise bu durumun tam tersi olduğu gözlenmiştir. ABH prosesine ait düşüş test kağıdı oluşturma sırasında uzaklaştırılan mavi renk boyalarla açıklanırken, ASH ve AYH değerlerindeki yükselme ise BSH ile BYH proseslerindeki yoğun renkli mürekkeple birlikte karbon pigmentlerinin karışmasıyla açıklanabilir. Proseslere ait a^* değerlerinde ise ciddi farkların olmadığı görülmektedir.

Flotasyon süresinin değişken olduğu Grup (1, 2, 3, 4) proseslerinde ΔE^* ve ΔL^* değerleri flotasyon süresine bağlı olarak artarken $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ değeri ilk flotasyon süresinde (9.dakika) negatif bölgeye doğru ilerlemiş ve bu dakikadan sonra da BH ve YH yaklaşık aynı oranla devam ederken SH pozitif yöne doğru devam etmiştir. b^* değerinde ise BH ve YH pozitif yöne doğru hareketlenirken SH negatif bölgeye ilerlemiştir (Şekil 4.11). b^* ve $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ 'deki bu durum flotasyon süresinin artması ile daha fazla mürekkebin uzaklaşması ve kağıt hamurunda ağartmanın da etkisi ile hamurun mavi renk lehine gelişmesine bağlanabilir.

Mürekkep giderme yönteminin değişken olduğu Grup 5'e ait prosesler incelendiğinde ΔE^* ve ΔL^* değerleri yıkama ile birlikte yükseldiği görülürken b^* ve $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ değerlerinin sıfıra doğru ilerlediği görülmektedir (Şekil 4.12). Bunun anlamı ağartma kimyasallarının kullanılması ile kağıt hamurları beyazlaşmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli konu ise, beyaz hamur (BH) prosesi aynı işlemlere tabi tutulmasına rağmen SH ve YH prosesleri kadar bir fark oluşturmamış olmasıdır. Bu durum BH'nin beyaz renk pigmentlerini içermesi ile açıklanabilir.

Son olarak Flotasyon Grubu (1, 2, 3, 4) prosesleri ile Yıkama Grubu (Grup 5) proseslerine ait renk değerleri istatistiksel olarak karşılaştırılmış ve aralarında ciddi farklılıkların olduğu görülmüştür. Örneğin; flotasyonla mürekkebi giderilen SH proseslerine ait ΔE^* , ortalama 10.31 iken yıkama yöntemi proseslerinde 18.20

olduğu görülmektedir. Bu durum Grup 5 proseslerinde kullanılan ağartma kimyasallarına bağlanabilir. Çünkü hamurlaştırmada gerçekleşen ilk ağartma işleminin yanı sıra çözünen boya pigmentleri de yıkama ile daha kolay bir şekilde elektrolyt suya karışabilmektedir. Standart ISO test kağıtları ile INGEDE test kağıtları arasındaki bazı küçük farklar ise gramaj ve kağıt formasyon şekli ile açıklanabilir.

4.4.4. INGEDE ve ISO Test Kağıtlarından Mürekkep Uzaklaştırma Etkinliği IE₇₀₀ Değeri

Mürekkep uzaklaştırma işlemi sonrası, hamur içerisinde ne kadar mürekkebin uzaklaştırıldığını belirlemek amacıyla dolaylı birçok yöntem bulunmaktadır. Hamur parlaklığı ve renk değerleri de bu yöntemlerin en fazla kullanılanlarındandır. Bunun nedeni, kağıt hamuru içerisinde koyu renkli olan mürekkep pigmentlerinin uzaklaştırıldıkça kağıt hamurunun parlaklığının artmasıdır. Bununla birlikte ağartıcıların kullanıldığı bazı durumlarda hamur parlaklığının ölçülmesi her zaman mürekkep uzaklaştırma etkinliğinin belirlenmesinde yeterli olamayabilmektedir. Bu amaçla karbon siyahı gibi pigmentlerin ışık absorblama özelliklerinden yararlanılarak geliştiren diğer optik ölçüm teknikleri kullanılmaktadır [14]. Bu yöntemlerden birisi INGEDE test metoduna göre 700 veya 950nm dalga boyunda INGEDE veya ISO test kağıdı üzerinden ölçülen reflektans değerleri ile hesaplanan mürekkep uzaklaştırma etkinliğidir. Diğer bir ölçüm tekniği ise Tappi T-567 standardına göre hamur içerisinde kalan efektif mürekkep konsantrasyonunun ölçülmesidir. Bu yöntem, 950nm dalga boyunda ölçülen reflektans ve ışık dağıtım katsayılarının yardımı ile tespit edilen ışık absorblama katsayısı ile hesaplanan “ERIC” değeridir. ERIC değeri yalnızca test kağıtları üzerinden ölçülmektedir [14]. Tez çalışması kapsamında IE₇₀₀ değerleri hem TAPPI standardına göre hazırlanan test kağıtları, hem de INGEDE test metoduna göre hazırlanan INGEDE test kağıtları üzerinden ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Elde edilen bulgulara uygulanan regresyon analiz sonuçlarına göre test kağıtları üzerinden ölçülen IE₇₀₀ değerleri ile ölçülen IE₉₅₀ değerleri arasında hata payının dikkate değmeyecek kadar düşük olduğu kaydedilmiştir. Yani 950nm de ölçülen mürekkep uzaklaştırma etkinliği ile 700nm de ölçülen değerlerin birbirinden farkının olmadığıdır. Benzer durum INGEDE test kağıdı üzerinden yapılan ölçümler sonucunda da elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan, mürekkep giderme etkinliğinin belirlenmesinde IE₇₀₀ değerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Bununla birlikte test kağıdı üzerinden yapılan ölçümler ile INGEDE test kağıdı üzerinden yapılan ölçümler arasında Çizelge 4.9'dan da görüldüğü gibi önemli farklar bulunmaktadır. Bunun nedeni daha önce de söylendiği gibi INGEDE test kağıdının süzgeç kağıdı üzerinde hazırlanması dolayısı ile daha fazla oranda mürekkep ve dolgu maddesini bünyesinde hapsedmesidir. Test kağıtlarının hazırlanması sırasında ise, kağıt safihası elek üzerinde oluşturulmaktadır. Süzgeç kağıdına göre daha geçirgen olan elekten, mürekkep pigmenti ve dolgu maddeleri kağıt içerisinden yıkanarak uzaklaşmaktadır.

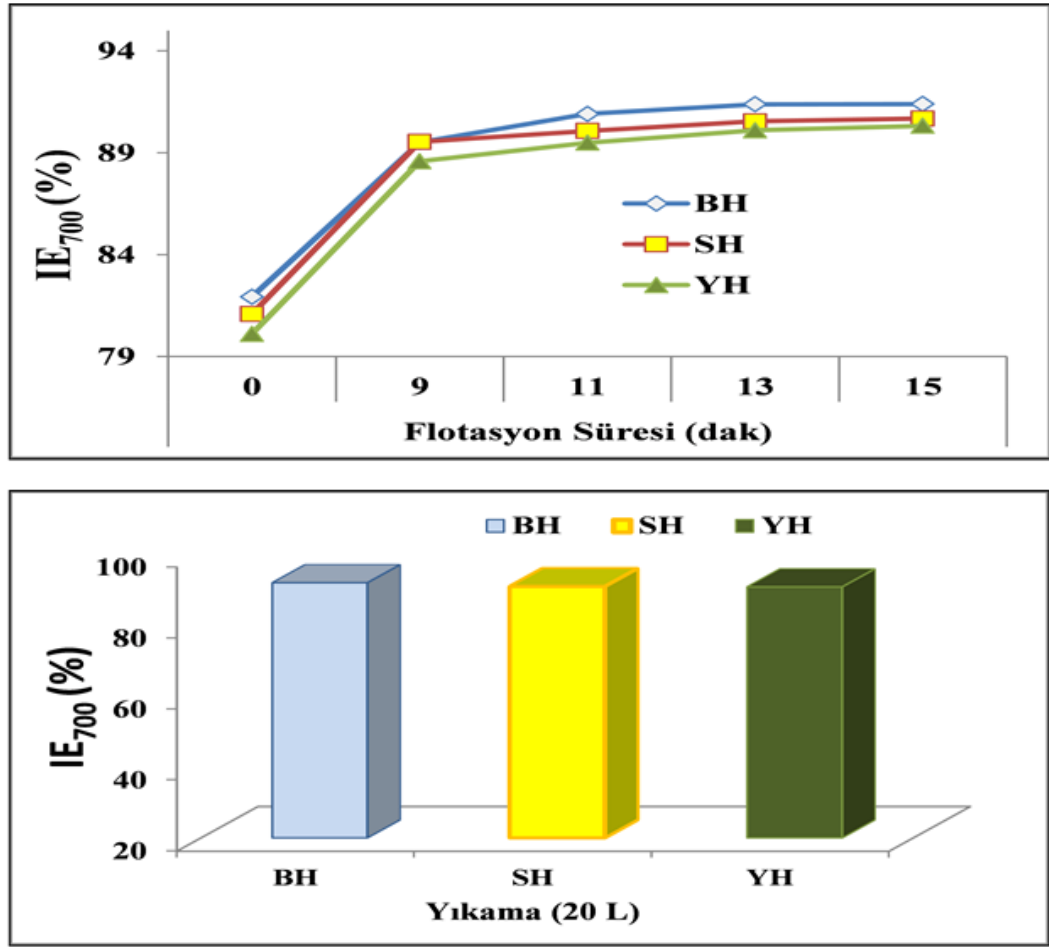
Çizelge 4.9'da 700nm dalga boyunda ölçülen baskı yapılmamış hamur, mürekkepli hamur ve mürekkep giderme işlemine uğratılmış hamurun reflektans değerleri ile hesaplanan mürekkep uzaklaştırma etkinliği (Ink Elimination) “IE₇₀₀” değerleri görülmektedir. Sadece hamurlaştırma işleminin uygulandığı baskısız ve baskılı ABH, ASH, AYH ve BBH, BSH, BYH çalışma prosesleri arasında hamur reflektans (IE₇₀₀) değerlerindeki yüksek farklılık, baskı işlemi sırasında kullanılan mürekkeple birlikte kopyalama görevi sağlayan kapsüllerin patlaması ile açıklanabilir.

Flotasyon süresinin değişken olduğu Grup (1, 2, 3, 4) proseslerinde flotasyon süresinin artmasıyla birlikte mürekkep uzaklaştırma etkinliğinin ortalama % 82.92'li değerlere kadar arttığı Şekil 4.13'ten de görülmektedir. Ayrıca her bir prosesin ortalama mürekkep giderme etkinliği ise; BH'de % 84.73, SH'de % 75.11 ve YH'de % 74.09 olarak hesaplanmıştır. BH prosesinin yüksek olması, daha az kırıntılı lif ve boya pigmenti içermesi ile açıklanabilir.

Yıkama yöntemi ile mürekkebi uzaklaştırılan Grup 5 prosesleri incelendiğinde; pulpere ilave edilen ağartma kimyasallarının, mürekkep uzaklaştırma işlemini bütün proseslerde olumlu yönde etkilediği görülmektedir. FAS, sodyum hipoklorit asit ve yağ asidi sabunun varlığında mürekkep uzaklaştırma etkinliği, ortalama % 85.56'lı değerlere kadar yükseltilmiştir (Şekil 4.13).

Çizelge 4.9 Test kağıtlarından mürekkep uzaklaştırma etkinliği (IE₇₀₀) değeri

Grup No	Proses No	Standart ISO Kağıdı 70 g/m ²		Standart INGEDE Kağıdı 240 g/m ²	
		Hamur Reflektansı	IE700	Hamur Reflektansı	IE700
		Ort.	%	Ort.	%
Grup kontrol	ABH	92.40	–	91.31	–
	ASH	93.23	–	92.37	–
	AYH	92.97	–	91.15	–
Grup kontrol	BBH	81.93	–	77.34	–
	BSH	81.09	–	78.82	–
	BYH	80.11	–	76.98	–
Grup 1	BH1	89.52	72.49	87.21	70.65
	SH1	89.54	69.60	88.43	70.92
	YH1	88.58	66.33	86.78	69.17
Grup 2	BH2	90.91	85.79	87.47	72.52
	SH2	90.07	73.98	88.79	73.59
	YH2	89.49	72.95	87.23	72.35
Grup 3	BH3	91.38	90.27	88.12	77.18
	SH3	90.54	77.85	89.08	75.73
	YH3	90.10	77.69	87.49	74.18
Grup 4	BH4	91.39	90.35	88.34	78.75
	SH4	90.68	79.00	89.27	77.13
	YH4	90.32	79.40	87.62	75.10
Grup 5	BH5	91.84	94.66	89.39	86.26
	SH5	90.79	79.91	89.73	80.53
	YH5	90.67	82.12	88.41	80.67



Şekil 4.13 Flotasyon süresinin ve Yıkama yönteminin mürekkep giderme etkinliği (IE700) değeri üzerine etkisi

4.5. Standart Laboratuvar Test Kağıtlarının Temel ve Fiziksel Direnç Özellikleri

Çalışma proseslerine ait kağıt hamurlarının temel ve fiziksel direnç özelliklerini belirlemek için ISO standardına uygun olarak test kağıtları yapılmıştır. Daha önce yapılan çalışmada olduğu gibi [17] hiçbir dövme işlemi uygulanmadan yapılan test kağıtlarının kopma, yırtılma gibi fiziksel dirençleri indis olarak hesaplanmış ayrıca bu kağıtların temel özelliklerinden olan schopper Riegler derecesi, kalınlık, gramaj, yoğunluk ve hacimlilik gibi değerleri tespit edilmiştir. Hava geçirgenliği, iç yapıştırma ve yüzey düzgünlüğü testleri ise ölçülen değerlerin birbirine çok yakın olması nedeniyle uygulanmamıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 7.3'te toplu olarak verilmiş, ayrıca kopma ve yırtılma indislerine ait değerler Şekil 4.16' da grafik ortamında verilmiştir. Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te ise bazı çalışma proseslerine ait kopma testi sonucunda meydana gelen uzama miktarı grafik ortamında verilmiştir.

4.5.1. Test Kağıtlarının Temel Özellikleri

Kağıt hamurlarının dövülme derecesi (SR°) veya tersi olarak serbestlik derecesi elde edilecek kağıdın formasyonuna ve fiziksel niteliklerine doğrudan etki etmektedir [17]. Bu çalışmada proseslere ait kağıt hamurları hiçbir dövme işlemine tabi tutulmadan kağıt formasyonu oluşturulmuştur. Dolayısıyla kağıt testlerine ait fiziksel direnç değerleri doğrudan proses şartlarına bağlı olarak değişmektedir.

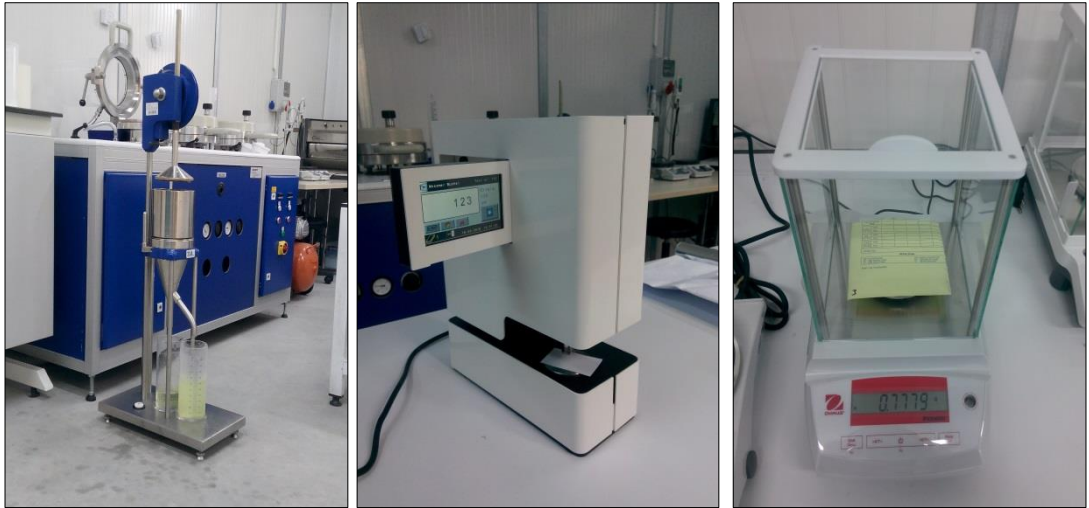
Çizelge 4.10'da SR° değerleri incelendiğinde proseslere ait kağıt hamurları arasında ciddi farkların olmadığı görülmektedir. Kimyasal maddelerinin kullanılmadığı, flotasyon veya yıkama işlemlerinin uygulanmadığı sadece su ile hamurlaştırma işleminin gerçekleştirildiği ABH, ASH, AYH ve BBH, BSH, BYH proseslerinde bu değer, ortalama 67.42 civarında bulunurken, flotasyon işleminin uygulandığı kağıt hamurlarında ortalama 65.69 ve yıkama proseslerinde ortalama 57.33 olarak bulunmuştur. Kontrol proseslerindeki değerlerin bir miktar yüksek çıkması flotasyon ve yıkama işlemlerine tabi tutulmamasıdır. Flotasyon ve yıkama işleminde SR° değerindeki değişim ise sürenin ve sabunun artışı ile daha fazla kırıntı lifin ve dolgu maddesinin hamur içerisinden uzaklaştırılması ile açıklanabilir.

Kalınlık ölçümleri μm cinsinden çizelgede verilmiştir. Çalışma proseslerine ait standart test kağıtlarının ortalama kalınlıkları 119.49 μm bulunurken, baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıdının kalınlığı ortalama 70.42 μm olarak tespit edilmiştir. Bu farkın sebebi, otokopi kağıtlarına uygulanan pres basıncı, kalenderleme, iç tutkallama gibi işlemlerinin çalışma proseslerine uygulanmamasıdır. Ayrıca bazı proseslere ait kalınlığın biraz düşük seviyede olması gramaj farkından ileri gelmektedir.

Test kağıtlarının temel özelliklerinden biri olan gramaj ise ISO standardındaki tam kuru kağıt ağırlığı baz alınarak 1 m^2 lik alandaki kağıt ağırlığı olarak ölçülmüştür. 70 g/m^2 olarak test kağıdı formasyonu amaçlanmış ve buna göre alınacak seyreltik kağıt hamurunun hacmi hesaplanmıştır. Proseslere ait kağıt hamurlarından oluşturulan test kağıtlarının ortalama gramajları 70.63 g/m^2 bulunurken flotasyon veya yıkama aşamaları uygulanmayan ABH, ASH, AYH ve BBH, BSH, BYH proseslerine ait test kağıtlarında ortalama gramajlar sırasıyla 64.55 g/m^2 64.73 g/m^2 olarak hesaplanmıştır. Kontrol grupları olan bu proseslere ait test kağıtlarının gramajlarının diğerlerine kıyasla ve amaçlanan gramajdan daha düşük olması, yüksek anorganik

maddelere sahip olmaları ve bu anorganik maddelerinin de formasyon sırasında beyaz suya karışmasıyla açıklanabilir. Bu durumun aynısı flotasyon süresinin değişken olarak uygulandığı Grup (1, 2, 3, 4) proseslerinde de görülmektedir. Flotasyon süresinin ilk aşamalarında gramaj düşükken ileriki aşamalarında artış gözlenmiştir. Yıkama grubu (Grup 5) proseslerinde ise sabun miktarının yüksek olması düşük gramaja neden olmuştur. Bu durumda yıkama proseslerinde yüksek miktarda sabunun kullanılması anorganik maddelerle birlikte organik maddelerin uzaklaştırılmasına yol açtığı söylenebilir.

Test kağıtlarının yoğunluk ve hacimlilik değerleri, kalınlık ve gramaj değerlerinden yola çıkılarak hesaplanmıştır. Çalışmada baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıdının ortalama gramajının 58.20 g/m^2 , kalınlığının ortalama $67.33 \text{ }\mu\text{m}$ ve yoğunluğunun ise ortalama 0.829 g/cm^3 olduğu hatırlanırsa ciddi anlamda en büyük farklılığın otokopi kağıtları ile standart test kağıtları arasında olduğu rahatlıkla görülecektir. Otokopi kağıtlarının yoğunluğu test kağıtlarına kıyasla daha yüksek iken doğal olarak da hacimliliği daha düşüktür. Bu durum kağıt formasyonu ve üretim teçhizatı ile açıklanabilir.



Şekil 4.14 Standart laboratuvar test kağıtlarının bazı fiziksel direnç özelliklerinden olan SR° , kalınlık ve gramaj hesaplanması

Çizelge 4.10 Standart test kağıtlarına ait bazı fiziksel özellikler

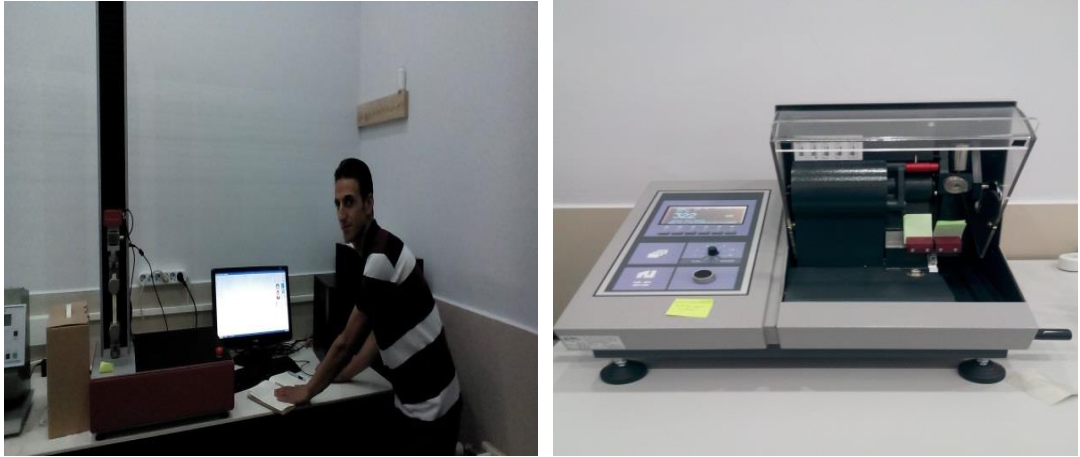
Grup No	Proses No	Standart ISO Test Kağıdı 70 g/m ²				
		Schopper Riegler	Gramaj	Kalınlık	Yoğunluk	Hacimlilik
		SR°	g/m ²	µm	g/cm ³	cm ³ /g
Grup kontrol	ABH	62.0	65.86	122.5	0.538	1.860
	ASH	65.0	64.32	113.0	0.569	1.757
	AYH	70.5	63.47	111.8	0.568	1.761
Grup kontrol	BBH	67.0	62.56	109.3	0.572	1.747
	BSH	68.0	66.07	112.8	0.586	1.707
	BYH	72.0	65.57	114.0	0.575	1.739
Grup 1	BH1	67.0	68.20	122.0	0.559	1.789
	SH1	71.0	69.24	112.5	0.615	1.625
	YH1	69.0	69.44	121.3	0.572	1.747
Grup 2	BH2	64.5	71.11	121.5	0.585	1.709
	SH2	69.0	70.42	123.8	0.569	1.758
	YH2	65.3	70.38	119.5	0.589	1.698
Grup 3	BH3	62.5	71.19	124.8	0.570	1.753
	SH3	67.5	70.43	118.3	0.595	1.680
	YH3	64.0	70.53	122.5	0.576	1.737
Grup 4	BH4	59.0	71.49	126.8	0.564	1.774
	SH4	67.0	71.68	124.3	0.577	1.734
	YH4	62.5	71.21	120.8	0.589	1.696
Grup 5	BH5	53.0	70.65	124.8	0.566	1.766
	SH5	58.5	71.48	122.5	0.584	1.714
	YH5	60.5	71.21	120.5	0.591	1.692

4.5.2. Test Kağıtlarının Fiziksel Direnç Özellikleri

Tez çalışmasında kağıt direnç niteliğinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan kopma ve yırtılma direnci test sonuçları kopma ve yırtılma indisi şeklinde çizelge ve grafik ortamında verilmiştir. Baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıtlarına makine ve enine doğrultuda, standart test kağıtlarına ise lif doğrultu farkı olmadığından herhangi bir yönde işlem uygulanmıştır. Daha önce bu konuda yapılan çalışmalarda [17] baz kağıtlarına ait doğrultular arasındaki kopma indisi farkı tamamen lif yönlenmesiyle ilgili olduğu ve liflerin bireysel mukavemetleri ve lifler arasındaki bağlanmaların kopma ve yırtılma indislerini doğrudan etkilediği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11’de hiçbir kimyasal ilavesi olmaksızın hamurlaştırılan atık kağıt hamuru (kontrol) ve optimum koşullar altında hamurlaştırılıp yüzdürme ve yıkama işlemlerine uğratılmış hamurun fiziksel sağlamlık özelliklerine ait veriler görülmektedir. Şekil 4.16 incelendiğinde flotasyon ve yıkama işlemleri ile birlikte BH prosesine ait tüm sağlamlık özelliklerinin arttığı fakat SH ve YH’nin belli bir noktadan sonra sağlamlık özelliklerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum SH ve YH proseslerinin daha kısa veya kırıntı lifler içerdiğine bağlanabilir.

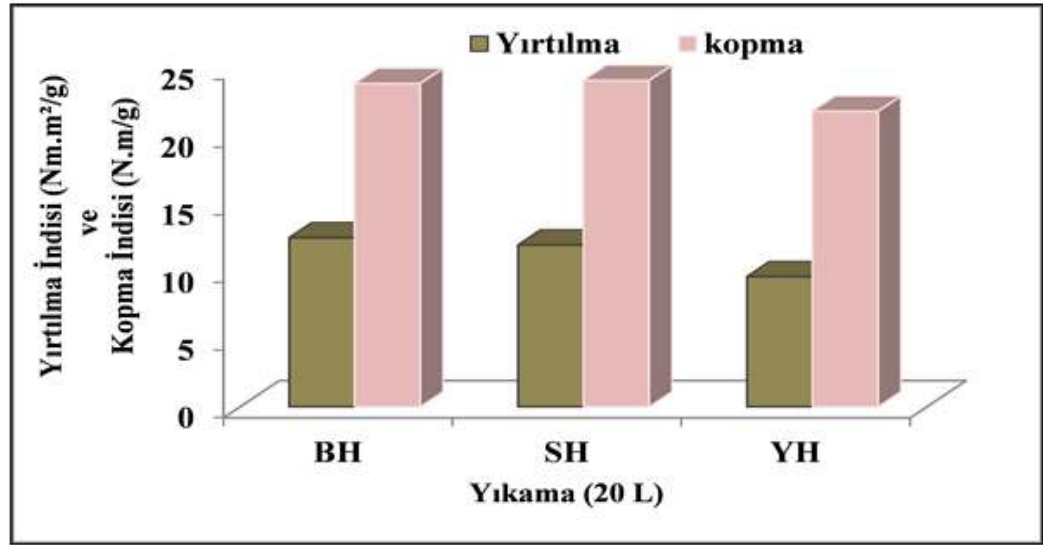
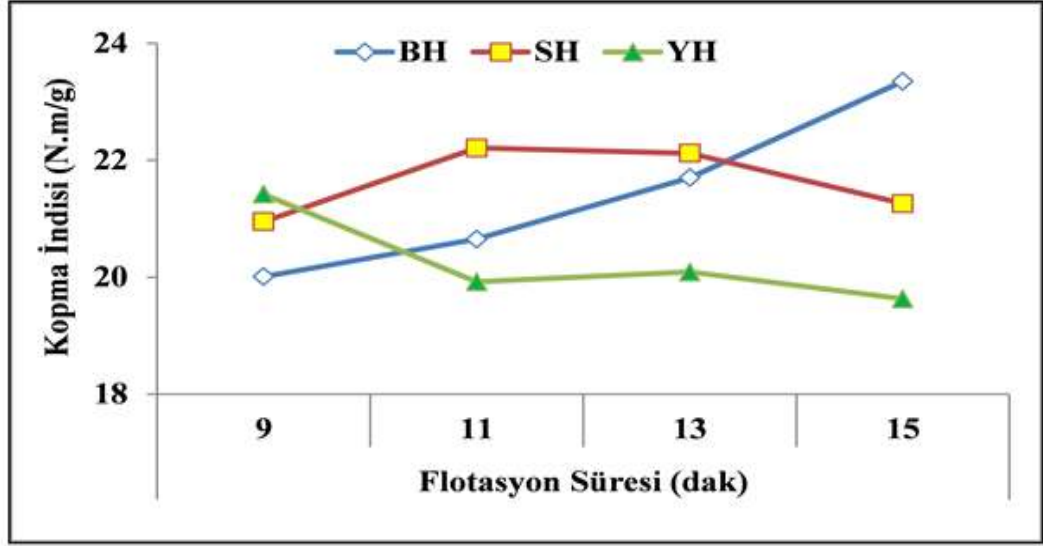
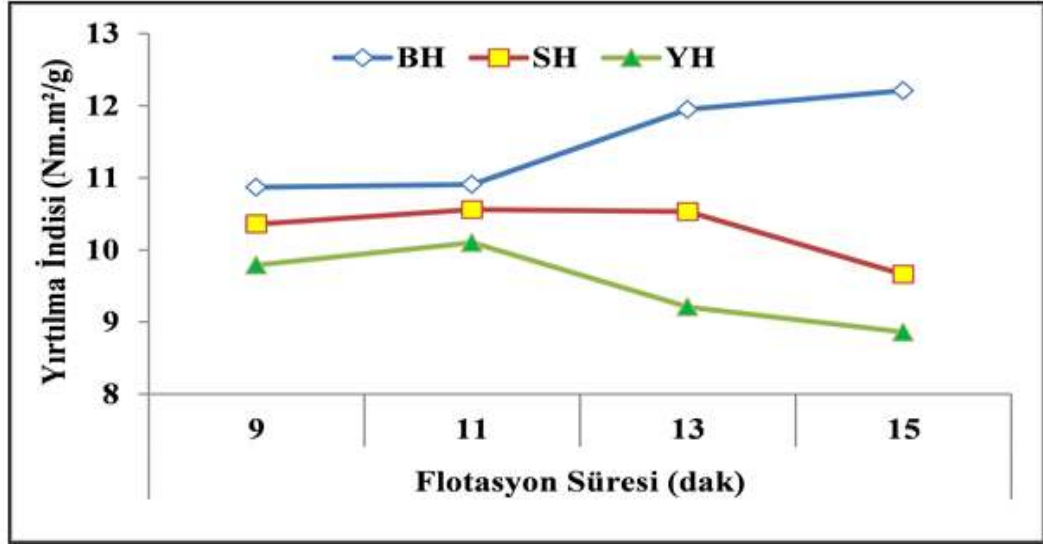
Çizelgede Flotasyon ve yıkama grubu proseslerine ait kopma ve yırtılma indisleri arasında ciddi farklılıklar olmasa da yıkama grubu proseslerine ait değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin; Flotasyon Grubu (1-2-3-4) proseslerine ait yırtılma indisi ortalama 10.42 birim iken Yıkama Grubu (Grup 5) proseslerinde bu değer ortalama 11.36 birim olarak tespit edilmiştir. Bu durumda yıkama yönteminde daha az lifin ve daha fazla dolgu maddesinin beyaz suya geçtiği söylenebilir.



Şekil 4.15 Test kağıtlarının kopma ve yırtılma dirençlerinin hesaplanması

Çizelge 4.11 Standart test kağıtlarının fiziksel direnç özellikleri

Grup No	Proses No	Yırtılma İndisi (Nm.m ² /g)			Kopma İndisi (N.m/g)			
		Test 1	Test 2	Art. Ort.	Test 1	Test 2	Art. Ort.	Ort.Uzama (%)
Baskısız Otokopi Kağıdı	ABK (ED-MD)	12.80	13.08	12.94	24.93	42.01	33.47	2.58
	ASK (ED-MD)	10.81	11.15	10.98	19.72	39.82	29.77	2.02
	AYK (ED-MD)	9.66	9.84	9.75	21.67	42.77	32.22	2.02
Baskılı Otokopi Kağıdı	BBK (ED-MD)	11.48	12.17	11.83	24.03	43.46	33.75	2.38
	BSK (ED-MD)	12.91	14.70	13.81	23.03	40.39	31.71	2.22
	BYK (ED-MD)	12.48	13.18	12.83	21.38	43.59	32.49	1.96
Grup kontrol	ABH	11.07	12.34	11.71	25.86	25.11	25.49	1.50
	ASH	11.35	11.63	11.49	25.85	24.31	25.08	1.50
	AYH	8.85	8.47	8.66	24.35	24.43	24.39	1.30
Grup kontrol	BBH	12.28	12.10	12.19	27.01	26.73	26.87	1.47
	BSH	10.52	13.06	11.79	25.53	26.04	25.79	1.57
	BYH	9.25	10.10	9.68	25.58	24.86	25.22	1.46
Grup 1	BH1	10.24	11.49	10.87	20.44	19.58	20.01	1.26
	SH1	11.41	9.30	10.36	20.56	21.34	20.95	1.20
	YH1	9.75	9.82	9.79	21.19	21.64	21.42	1.14
Grup 2	BH2	11.3	10.52	10.09	20.63	20.66	20.65	1.25
	SH2	10.01	11.11	10.56	22.38	22.04	22.21	1.18
	YH2	10.24	9.95	10.10	19.47	20.36	19.92	1.08
Grup 3	BH3	9.66	12.59	11.95	21.52	21.87	21.70	1.29
	SH3	10.26	10.79	10.53	22.83	21.40	22.12	1.21
	YH3	9.63	8.78	9.21	20.40	19.59	20.09	1.14
Grup 4	BH4	12.21	12.24	12.21	23.34	23.35	23.35	1.29
	SH4	10.63	8.68	9.66	20.73	21.78	21.26	1.16
	YH4	9.43	8.28	8.86	19.10	20.16	19.63	1.09
Grup 5	BH5	12.37	12.62	12.50	24.01	23.76	23.89	1.36
	SH5	11.29	12.62	11.96	24.04	24.20	24.12	1.26
	YH5	8.88	10.36	9.62	21.11	22.56	21.84	1.21



Şekil 4.16 Flotasyon süresine ve Yıkama yöntemine bağlı olarak değişen test kağıtlarının kopma ve yırtılma indisleri

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1.Sonuçlar

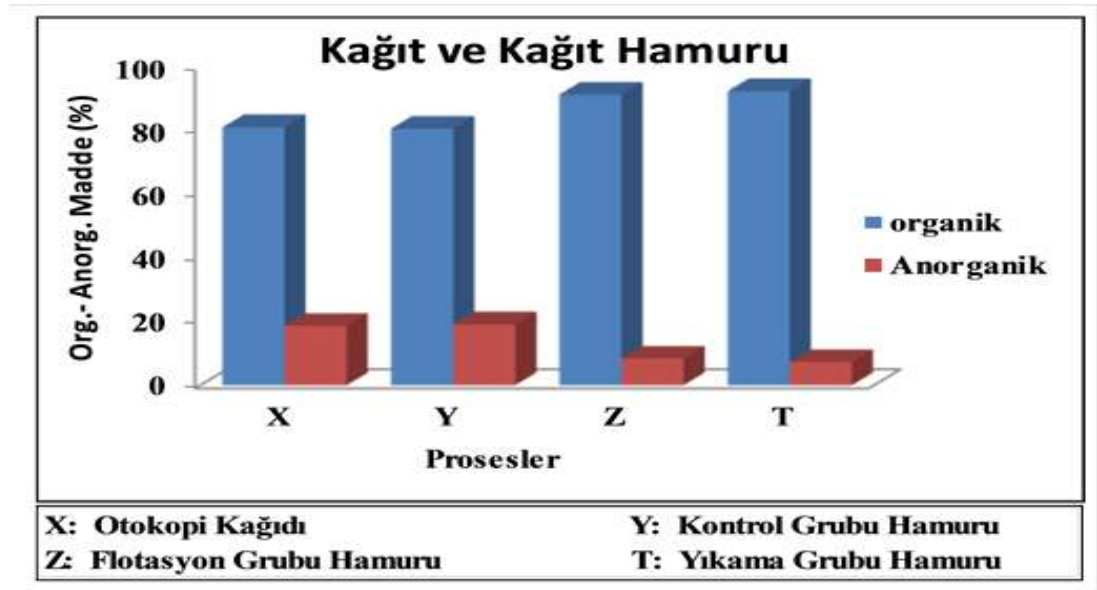
Bu çalışmada, çeşitli baskı işlemleri uygulanarak kullanılan ve kullanımından sonra genellikle resmi belge niteliği taşıdığı için doğrudan atılmayarak depolarda bekleterek, kıymık hale getirerek, yakarak vb. yollarda yok edilen kendinden kopyalı Üç Yaprak Sistemi otokopi kağıtlarının yüksek nitelikli kağıt üretiminde tekrar hammadde olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, atık kağıtların yeniden değerlendirilmesinde önemli parametrelerden olan mürekkep uzaklaştırma kademesinde kullanılan flotasyon yöntemi ve yıkama yöntemi ile birlikte bazı ağartma kimyasallarının etkileri araştırılmıştır. Bununla ilgili olarak hamurlaştırma, flotasyon ve yıkamada ilave edilen kimyasal madde miktarı, sıcaklık, süre, kesafet gibi çalışma işlemini doğrudan etkileyen faktörler yapılan ön deneme çalışmaları ile tespit edilmiştir (Çizelge 3.2). Diğer yandan flotasyon süresinin elde edilen kağıt hamurunun niteliklerine ve ortaya çıkan atık su özelliklerine etkileri incelenerek optimum flotasyon süresi tespit edilmiştir. Ayrıca mürekkep uzaklaştırmada kullanılan yöntemlerle ağartma kimyasallarının optik nitelikleri ne derecede etkilendiği saptanmıştır. Grafik ortamında verilen bazı sonuçlarda, bu çalışma için baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıtlarının (baskısız ve baskılı) kimyasal madde kullanılmadan hamurlaştırılması ile elde edilen ABH, ASH, AYH ve BBH, BSH, BYH hamurlarına ait ortalama değerlerle kıyaslanmıştır. Çalışmanın tümünü kapsayacak şekilde varılan sonuçlar üç başlık altında aşağıda incelenmiştir.

5.1.1. Madde Dengesi ve Kağıt Hamuru Verimi

Çalışma proseslerine ait madde bilançosu Çizelge 4.2’de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Buna göre madde girdisi tam kuru ağırlıktaki atık kağıtlar, madde çıktısı ise flotasyon sırasında uzaklaştırılan çamur, yıkama ve/veya kesafet artırma işlemi sırasında uzaklaştırılan atık su içerisindeki askıda (AKM) ve çözünmüş (ÇKM) katı maddelerdir. Yapılan hesaplamalarda giren maddenin % 1.4’ten daha küçük bir kısmı laboratuvar şartlarındaki fiziki yetersizlikler ve ölçüm hatalarından dolayı geri kazanılamamıştır.

Elde edilen kağıt hamuru verimi ortalama, flotasyon proseslerinde (Grup1-2-3-4) % 83.78, yıkama grubu proseslerinde (Grup 5) % 83.19 olarak bulunurken ABH, ASH, AYH ve BBH, BSH, BYH proseslerinde ortalama hamur verimi % 97.32 olarak

tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle flotasyon proseslerinde %16.22 civarında bir madde kaybı söz konusu iken yıkama grubu proseslerinde % 16.81 oranında bir madde kaybı olmuştur. Sonuç olarak hamur verimi açısından yıkama ve flotasyon yöntemi arasında % 0.59 civarında düşük bir fark bulunmaktadır. Diğer yandan flotasyon sırasında uzaklaştırılan çamur atık kağıt girdisinin ortalama olarak; BH'nin % 13.15'ine, SH'nin % 13.56'sına, YH'nin % 8.91'ine denk geldiği ve flotasyon süresinin uzaklaştırılan çamur miktarında en önemli faktör olduğu görülmüştür. Flotasyon ve yıkama proseslerinin madde çıktısı arasındaki en büyük farkı ise ÇKM oluşturmıştır. Proseslere ait organik-anorganik madde oranları Şekil 5.1'de verilmiştir. Sonuç olarak, elde edilecek kağıt hamuru verimini birinci derecede atık kağıt içerisinde bulunan anorganik yük ve flotasyon süresi etkilemektedir. Ayrıca belli bir flotasyon süresinden sonra (9-13 dak.) uzaklaştırılan anorganik madde miktarı azalırken buna karşılık kırıntı lif miktarında artış görülmüştür.



Şekil 5.1 Temel proses aşamaları arasındaki anorganik-organik madde dengesi

Diğer madde kayıpları ise flotasyon ve yıkama işlemlerinden sonra kesafet artırma sırasında atık suya karışan maddelerden oluşmaktadır. Şekil 4.4'te proseslere ait toplam çözünmüş (ÇKM) ve askıda (AKM) katı madde miktarları verilmiştir. Buna göre, AKM ve ÇKM miktarlarında flotasyon ve yıkama grubu prosesleri arasında sırasıyla ortalama % 76.71 ve % 39.69. fark oluşurken aynı grup proseslerinde fazla bir farklılık meydana gelmemiştir. Bu durum yıkama grubu proseslerindeki mürekkebin ve katılan kimyasal maddenin büyük bir kısmının flotasyonda olduğu gibi çamur olarak uzaklaştırılmayıp elek altı suya geçmesi ile açıklanabilir.

Tüm proseslere ait kağıt hamuru, flotasyon çamuru, atık su içerisindeki askıda katı maddeye ait anorganik-organik oranlarının verildiği Çizelge 4.4 incelendiğinde aşağıdaki sonuçları çıkarmak mümkündür.

- Flotasyon proseslerine ait kağıt hamurları ve flotasyon çamurları içerisinde anorganik-organik madde dengesini flotasyon süresi doğrudan etkilemektedir.
- Yıkama yöntemi ve ağartma kimyasalları proseslere ait kağıt hamurları ve askıda katı madde (AKM) miktarına ait anorganik-organik madde dengesini flotasyon süresinden daha çok etkilemektedir. Örneğin, AKM’de anorganik madde oranı flotasyon proseslerinde ortalama % 68.34 iken yıkama proseslerinde bu oran ortalama % 77.04’tür.
- Diğer yandan tüm proseslere ait flotasyon çamuru anorganik madde oranlarına dikkat edildiğinde, BH % 55.94, SH % 48.26, YH % 53.49 anorganik madde içerdiği ve dolayısıyla aynı çalışma şartlarında BH prosesinin daha fazla anorganik madde içerdiği görülmüştür. Bu durumda BH prosesinin daha az kırıntı lif içerdiği söylenebilir.
- Flotasyon süresi, flotasyon çamurundaki anorganik madde miktarını ve dolayısıyla kağıt hamurundaki anorganik-organik madde dengesini önemli oranda etkilemiştir. Çamur içerisindeki anorganik madde miktarı flotasyon süresinin ilk 13 dakikasına kadar artarken daha sonraki sürelerde bu durum tersine dönmüştür. Yani flotasyon işleminin belli süresinden sonra artık lif ve lif kırıntıları uzaklaştırıldığı görülmektedir. Bu da arzu edilmeyen bir durumdur. Sonuç olarak, belli kritik süreden sonra flotasyon işlemine devam etmek, elde edilecek kağıt hamur niteliğini artırmadığı gibi lif kayıplarına da neden olmaktadır.
- Bu çalışmada baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıdı içerisindeki anorganik maddenin ortalama % 18.68 olduğu ve bu kağıttan elde edilen kontrol örneği hamuruna ait test kağıdı içerisindeki anorganik madde miktarının % 19.12 olduğu gerçeğinden hareketle yaklaşık % 0.44 civarında bir anorganik madde artışının çalışmada kullanılan sudan kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.1.2.Optik Testlere Ait Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, en büyük amaç baskılı atık kağıtlar üzerindeki mürekkeple birlikte boya pigmentlerinin çeşitli yöntemlerle uzaklaştırılması olduğundan optik analizlere ayrıntılı bir şekilde yer verilmiştir. Bunun için, hem ISO'nun fiziksel testler için önerdiği test kağıtları hem de INGEDE tarafından özellikle atık kağıtların optik niteliklerinin belirlenmesinde önerilen test kağıtları üzerinde optik analizler yapılmıştır. Kağıt niteliklerini belirlemede en önemli optik analizlerden olan parlaklık, beyazlık, renk koordinatları, sarılık, mürekkep giderme etkinliğine (IE_{700}) ait değerlerler “Bulgular ve Tartışma” bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

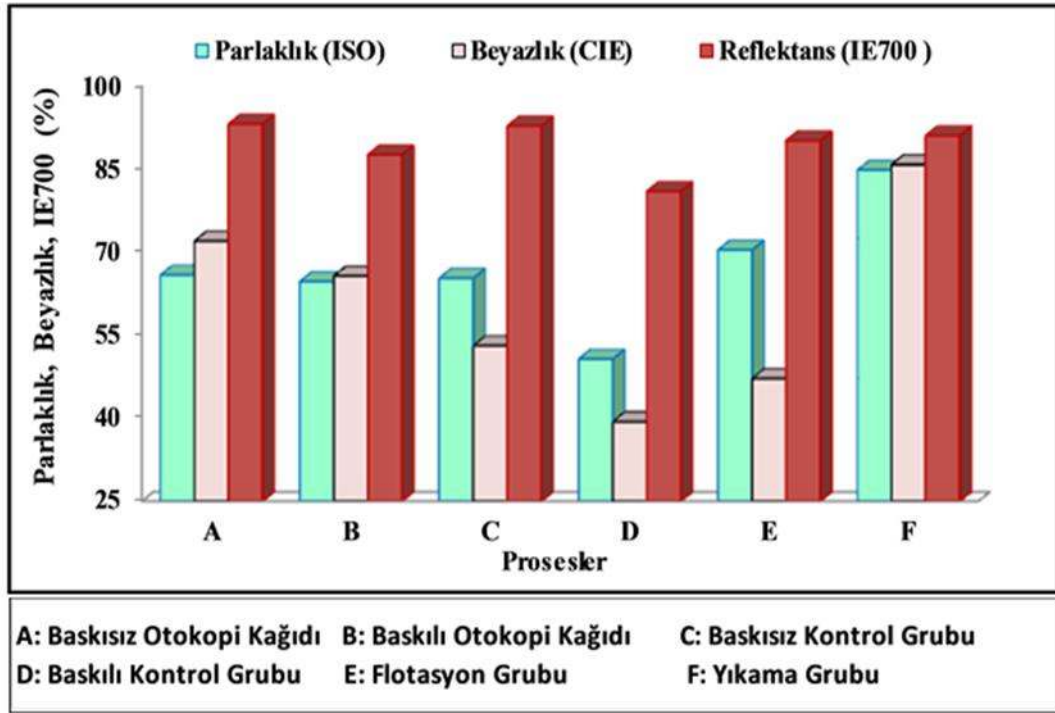
Bu çalışma için kullanılan baz otokopi kağıdına ait parlaklık değerleri ABK, ASK, AYK'de ortalama % 65.88 ISO parlaklık ve BBK, BSK, BYK' de ortalama % 64.72 ISO parlaklık olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu iki kağıt grubuna ait hamur parlaklık değerleri ise sırasıyla ortalama % 65.31 ISO parlaklık ve % 50.71 ISO parlaklık olduğu göz önünde bulundurulursa baskılı ve baskısız baz kağıdın parlaklık değerleri arasında % 1.16 ISO parlaklık gibi düşük bir fark olmasına rağmen kağıt hamurları arasında % 14.6 ISO parlaklık gibi yüksek bir farkının olduğu görülecektir. Benzer durum diğer optik testlerde de tespit edilmiştir. Sonuç olarak hamurlaştırma ile birlikte mürekkep ve boya pigmentlerinin çözüldüğü ve bu yüzden parlaklık, beyazlık vb. optik değerlerinin düştüğü kanısına varılmıştır.

Diğer yandan INGEDE standardına göre hazırlanmış 240 g/m² gramajlı kağıda kıyasla ISO standardına göre hazırlanmış 70 g/m² gramajlı kağıtların daha yüksek parlaklık ve beyazlığa sahip olduğu tespit edilmiştir. Örneğin; BBH hamuru INGEDE test kağıdında % 124.78 CIE beyazlık olurken, standart ISO test kağıdında % 133 CIE beyazlık olarak kaydedilmiştir. Bu iki standart arasında en önemli fark, “Bulgular ve Tartışma” bölümünde belirtildiği üzere gramaj farkı ve formasyon sırasında kullanılan su miktarıdır.

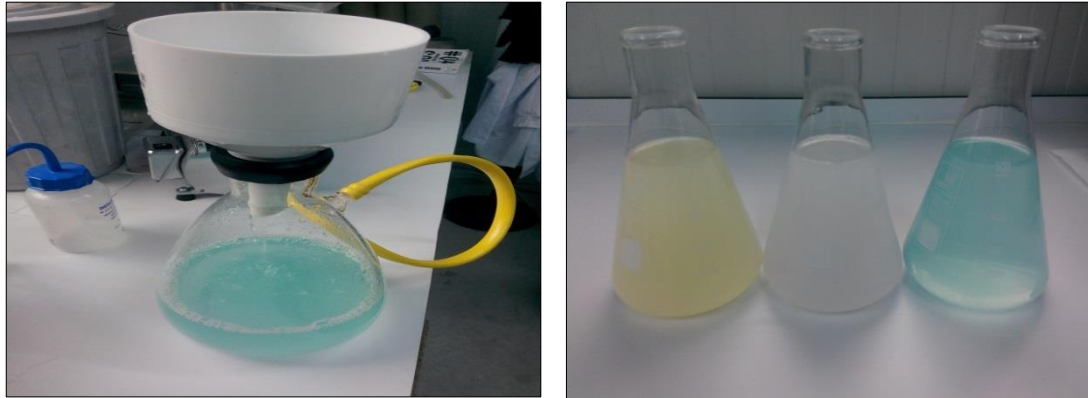
Optik testlerle ilgili diğer önemli bir konu ise test kağıtlarının üst ve alt yüzeyleri arasındaki farklılıktır. Mürekkep kalıntısının fazla olduğu test kağıtlarında üst - alt yüzeyler arasında yüksek parlaklık farkı oluşurken, yüksek optik nitelikli test kağıtlarında bu fark oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Örneğin otokopi kağıdında bu fark ortalama % 1.94, baskısız kağıt hamurlarında (ABH, ASH, AYH) % 2.15 ve baskılı kağıt hamurlarında (BBH, BSH, BYH) % 4.22 olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, baz kağıt olarak kullanılan otokopi kağıdı yüksek optik özeliğe sahip olduğu için aslında uygulanan flotasyon ve yıkama işlemleriyle birlikte bazı ağartma kimyasallarının kullanılmasının amacı, mürekkep ve kopyalama işlemini sağlayan karbon pigmentlerini hamurdan uzaklaştırmaktır. Yapılan işlemlerin sonucu, nihai optik hedef alınan baskı işlemi uygulanmadan hamurlaştırılan otokopi kağıtlarına ait kağıt hamuru yani ABH, ASH, AYH ile kıyaslanmıştır. Şekil 5.2’de temel proses aşamalarında elde edilen kağıt hamurlarının ortalama parlaklık, beyazlık ve mürekkep giderilme etkinliği (IE_{700}) verilmiştir. Flotasyon ve yıkama işlemlerinin uygulandığı hamurlara ait optik değerler, baskısız kontrol grubu hamurlarına (ABH, ASH, AYH) ait optik değerlere yaklaştıkça uygulanan işlemlerin mükemmeliyetinden bahsedilebilir. Örneğin; ABH, ASH, AYH’ye ait test kağıtlarının parlaklık değerleri ortalama % 65.31 iken flotasyon grubu proseslerinde ortalama en yüksek parlaklık değerinin yakalandığı Grup 3 proseslerinde bu değer ortalama % 71.20 ve yıkama grubu proseslerinde (Grup 5) ise ortalama % 84.86’dır. Hedef alınan kontrol grubu proseslerine ait parlaklık değerinin düşük olması içerisindeki kopyalama işlemini sağlayan karbon siyahı kapsülleri ile açıklanabilir. Çünkü bu kapsüller yıkama veya flotasyon işlemleri sırasında elek altı suya karışmaktadır. Sonuç olarak flotasyon prosesleri ile kontrol grubu prosesleri arasında % 5.89 parlaklık farkı oluşurken yıkama grubu proseslerinde bu fark % 19.55 olmuştur. Diğer bir açıdan flotasyon ve yıkama prosesleri arasındaki % 13.66 ISO parlaklık gibi ciddi bir farkının olması ağartma kimyasallarının da önemini göstermektedir. Ayrıca BH prosesinde diğer proseslerden daha yüksek optik değerlere ulaşılmıştır.

İşlemler sonunda ortaya çıkan atık suyun ne derece kirlendiğini gözlemlemek amacıyla kesafet artırma işleminden sonra süzüntü su filtre kağıdından süzölmüş ve ağartma işlemi arttıkça yani test kağıtları yüksek optik değerlere sahip oldukça bunlara ait süzüntünün de temiz hale geldiği tespit edilmiştir (Şekil5.3).

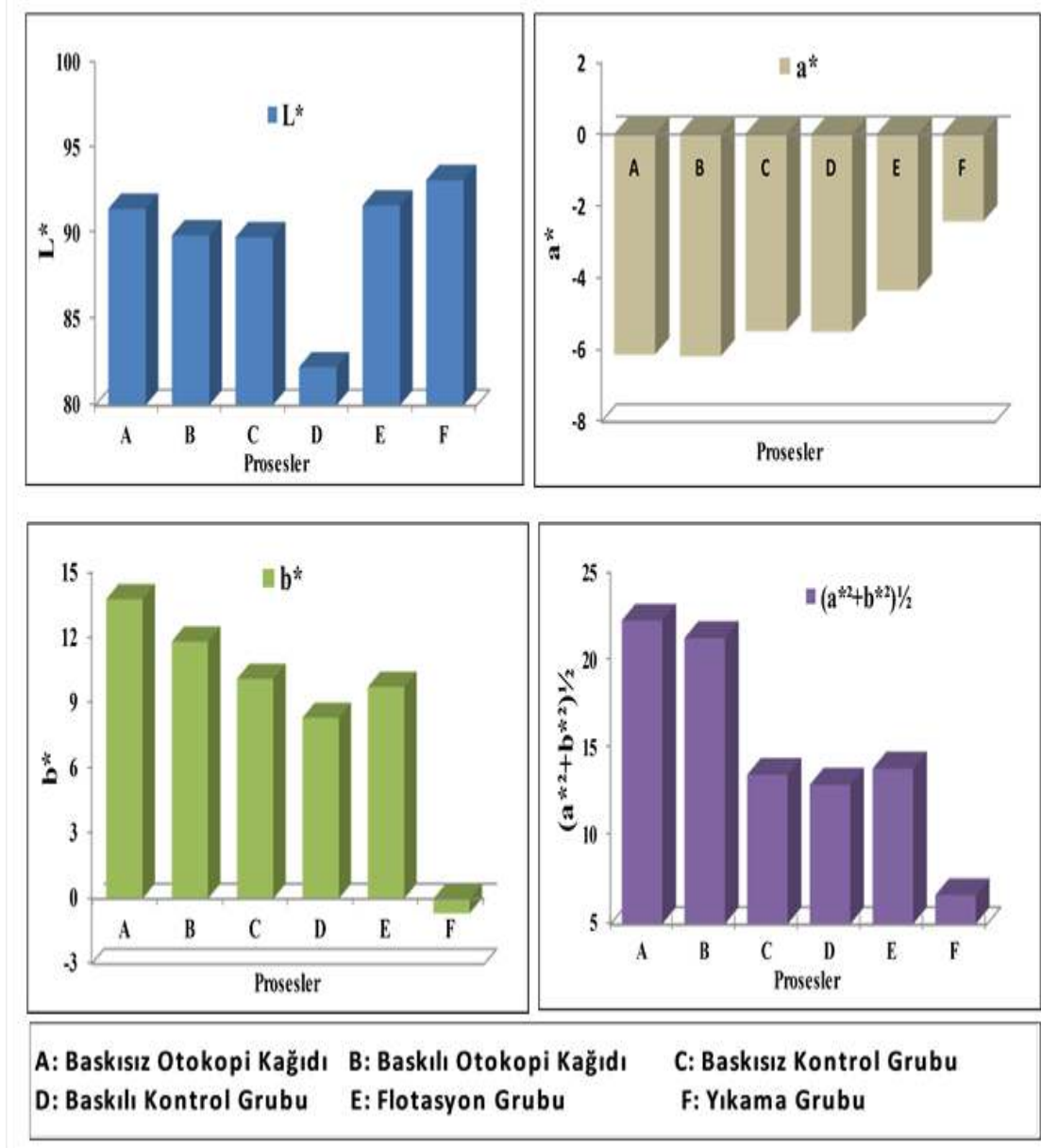


Şekil 5.2 Temel proses aşamaları arasındaki ISO parlaklık, CIE beyazlık ve IE₇₀₀ değerleri



Şekil 5.3 Atık suyun kirlilik derecesini belirleme

Çalışma proseslerinde yıkama grubuna ilave edilen değişken kimyasal madde miktarı ve flotasyon süresinin artırılması ile daha fazla ağartma sağlanmış bunun sonucunda da parlaklık, beyazlık, mürekkep giderilme etkinliği (IE₇₀₀) ve L* değeri artarken a* değeri düşük bir değer aralığında kırmızı bölgeye doğru ilerlemiştir. b* değeri ise yıkama ve flotasyon proseslerinin tümünde mavi bölgeye yaklaştığı özellikle bu oranın Grup 5 proseslerinden SH ile YH 'de daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.4'te temel proses aşamalarında elde edilen kağıt hamurlarının renk koordinatlarına ait değerler verilmiştir.

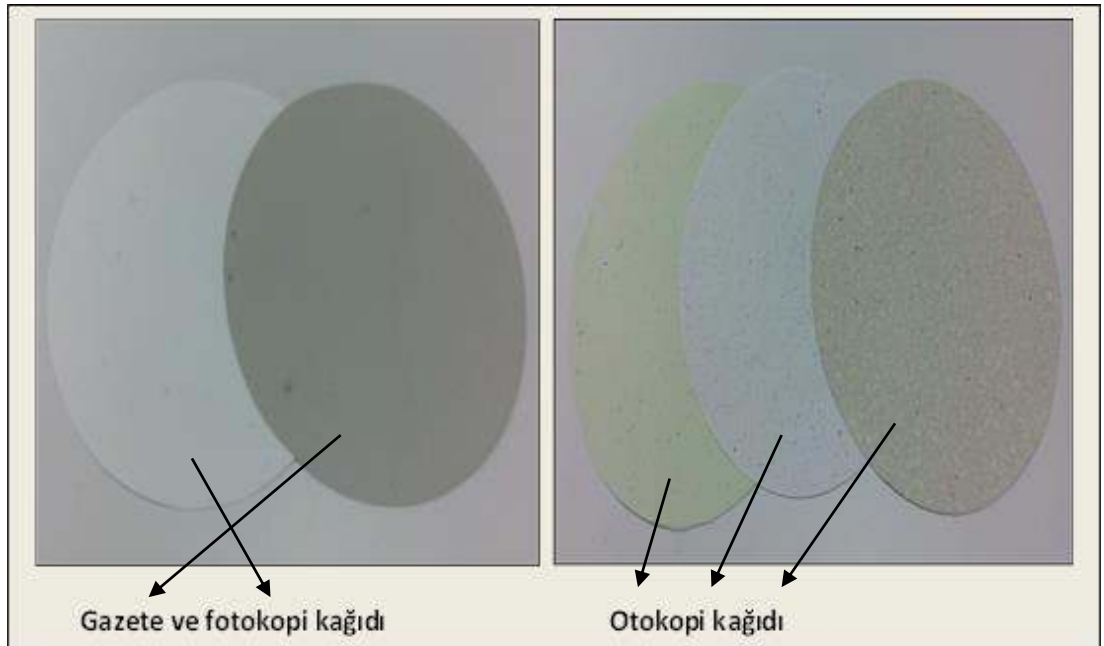


Şekil 5.4 Temel proses aşamaları arasındaki renk koordinatları

İki örnek arasındaki renk farklılığını belirten Delta E değerini hesaplamak için BBH, BSH, BYH hamurlarına ait test kağıtlarının renk değerleri başlangıç değerleri olarak belirlenmiş ve diğer test kağıtları bunlara göre kıyaslanmıştır. Örneğin ABH, ASH, AYH ve BBH, BSH, BYH arasındaki fark ortalama 7.97 birim iken, en yüksek optik niteliğin sağlandığı Grup 5 proseslerine ait test kağıtları ile baskılı kontrol grubu olan BBH, BSH, BYH arasındaki fark ortalama 15.94 birim olarak tespit edilmiş ve en fazla ağartmanın da diğer bazı optik testlerde olduğu gibi SH ve YH proseslerinde gerçekleşmiştir. Burada eğer hedef ABH, ASH, AYH test kağıtları seçilirse iyi derecede bir ağartmanın gerçekleştiği söylenebilir.

Optik değerler genel olarak incelendiğinde, hamurlaştırma sırasında pulpere ilave edilen ağartma kimyasallarının yanı sıra yapılan flotasyon ve yıkama işlemleriyle kağıt içerisindeki mürekkep ve boya pigmentleri büyük ölçüde uzaklaştırılmış bunun sonucunda da parlaklık, beyazlık ve mürekkep giderilme etkinliği (IE₇₀₀) gibi değerler yükselirken ışığın absorbe değeri düşmüştür.

Son olarak uygulanan flotasyon işleminde 9 dakikadan 15 dakikaya kadar sreler uygulanmış ilk 13 dakikalık süreye kadar yüksek derecede mürekkep ve dolgu maddesi uzaklaştırılırken devam eden sreler, elde edilen hamurun optik niteliklerini ciddi anlamda olumlu etkilemediği gibi lif ve lif kırıntılarının da kaybına sebep olmuştur. Bu yüzden 13 dakikalık flotasyon süresi kabul edilebilir bir değer olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca hamurlaştırmada uygulanan kesafet, süre, sıcaklık, örnek ıslatma gibi parametreler yapılan ön deneme çalışmaları ile optimum değerleri tespit edilmiş olup (izelge 3.2) alışmaya bu değerlerle başlanmıştır. Örneğin; % 10 kesafet, 40 C sıcaklık, 5 dakika örnek ıslatma, 12 dakika hamurlaştırma süresinin uygulandığı n denemede gazete ve fotokopi kağıtlarının gayet güzel bir şekilde liflerine ayrıldığı otokopi kağıtlarında ise liflenmeyen kağıt parçacıklarının olduğu kağıt makinesinde elde edilen test kağıdı formasyonları ile tespit edilmiştir. şekil 5.5'te bu durumu örnekleyen değişik türde kağıt formasyonları verilmiştir. Sonuç olarak otokopi kağıtlarının hamurlaştırma parametrelerinin farklı olduğu tespit edilmiştir.

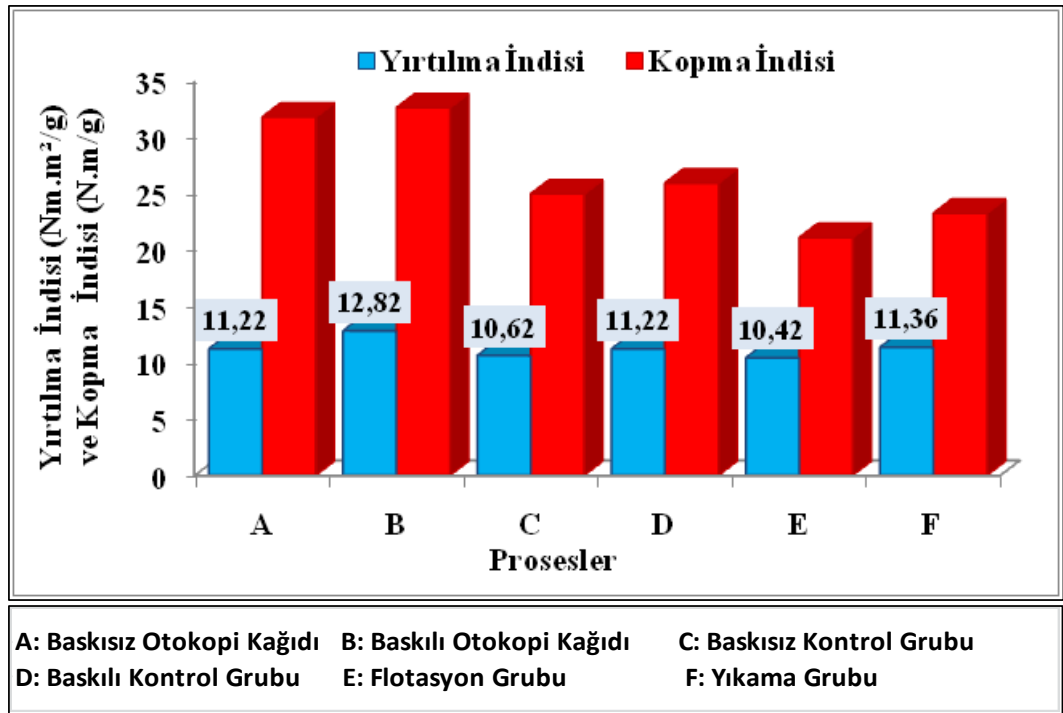


şekil 5.5 n deneme çalışmalarında elde edilen kağıt rnekleri

5.1.3. Fiziksel Testlere Ait Sonuçlar

Çalışma proseslerine ait kağıt hamurlarından elde edilen test kağıtlarının fiziksel özellikleri Çizelge 10, Çizelge 11 ve Çizelge 7.3'te görüldüğü üzere temel ve fiziksel direnç özellikler diye iki bölümde incelenmiştir. Flotasyon ve yıkama proseslerine ait test kağıtları arasında kalınlık, gramaj, yoğunluk, hacimlilik değerleri açısından ciddi farklılıklar olmamasına rağmen baskılı ve baskısız kontrol proseslerine ait test kağıdı hamurlarının daha yüksek oranda içerdiği anorganik maddenin kağıt formasyonu sırasında beyaz suya geçmesi sonucu kalınlık ve gramaj başta olmak üzere bu değerlerin düşük olmasına neden olmuştur. Dövme derecesi olarak bilinen SR° , flotasyon süresinin artmasına ve ağartma kimyasallarına bağlı olarak düşme eğilimi göstermiştir. Uygulanan değişik yöntemler sayesinde kağıt hamurunda daha fazla kırıntı lif, dolgu maddesinin uzaklaştırılmasıyla drenaj artmıştır. Yani kağıt hamuru içerisinde suyun uzaklaştırılmasını geciktiren engel kalkmıştır.

Kağıt malzeme için en önemli fiziksel direnç özelliklerinden olan kopma ve yırtılma test sonuçları kağıtlara ait gramajlar hesaba katılmak suretiyle indis şeklinde ve kopma testine ait uygulanan kuvvet, çekme mukavemeti, gerilme indeksi, T.E.A., gerilme uzunluğu vb. değerler de verilmiştir. Temel mürekkep giderme yöntemlerinden olan flotasyon ve yıkama proseslerine ait test kağıtları arasında ciddi bir indis farklılığının olmadığı görülmüştür. Ancak ABH, ASH, AYH ve BBH, BSH, BYH proseslerine ait test kağıtlarının daha yüksek indislere sahip olduğu görülmüş, bu durumun da mukavemet artırıcı yükünden ileri geldiği sonucu çıkarılmıştır. Çünkü mukavemet artırıcı yükler, flotasyon ve yıkama esnasında atık suya geçerken kontrol örneklerinde kesafet artırmadan sonra büyük bir bölümü hamurda kalmaktadır. Şekil 5.6'da kullanılan baskılı ve baskısız baz kağıtlar ile flotasyon ve yıkama proseslerine ait kağıt hamurlarının yırtılma ve kopma indisi değerleri görülmektedir. Flotasyon süresinin uzamasına ve kimyasal maddelere bağlı olarak kağıt hamuru içerisinde oransal olarak daha düşük anorganik madde bulunması bunlardan elde edilen test kağıtlarının fiziksel özelliklerinde artış kaydetmiştir.



Şekil 5.6 Temel proses aşamalarındaki fiziksel testlere ait değişimler

5.2. Öneriler

Kontrat sözleşmelerinde oldukça yaygın olarak kullanılan kendinden kopyalı üç yaprak sistemi otokopi kağıtlarının tekrar değerlendirilmesi amacıyla, mürekkep gidermede kullanılan flotasyon ve yıkama yöntemleri kullanılarak elde edilen kağıt hamurlarındaki deneysel bulgu ve sonuçlardan aşağıdaki önerilerin yapılması uygundur.

- ❖ Flotasyon ve yıkama işleminden önce yapılan hamurlaştırmanın sağlıklı olabilmesi için; örnek ıslatma 10 dakika, sıcaklık 45 °C, kesafet % 15 ve hamurlaştırma süresi 15 dakika olarak uygulanmalıdır.
- ❖ Kullanılan kimyasallar, elde edilecek kağıt hamurunun verimini, optik değerlerini ve liflerin fiziksel direnç özelliklerini ciddi oranda etkilemektedir.
- ❖ 13 dakikanın üzerinde uygulanan flotasyon süresi kağıt hamurunun optik niteliklerine dikkate değer bir katkı sağlamadığı gibi aynı zamanda madde ve enerji kaybı söz konusu olmaktadır.
- ❖ Flotasyon ve yıkama yöntemleri ile mürekkebin % 80-85'i kağıt hamurlarından uzaklaştırılmış olup ileride yapılacak çalışmalarda kademeli ağartma ile arzu edilen nitelikte bir kağıt hamuru elde edilebilir.
- ❖ 45 °C sıcaklığın altında gerçekleştirilen hamurlaştırmada ilave edilen sabun tamamen çözünemediği için hamur içerisinde kalıntılar oluşabilmekte ve bu durum kağıt formasyonunda net bir şekilde ortaya çıkmaktadır.
- ❖ Laboratuvar ölçeğinde yapılan çalışmalarda elde edilen hamurların organik-anorganik madde miktarının net bir şekilde belirlenmesi ve ortama ilave edilen kimyasalların etkisinin daha hassas olması açısından deneylerde hiçbir iyon içermeyen deiyonize su tercih edilmelidir.
- ❖ Bu çeşit çalışmalarda, net sonuçların alınabilmesi için kesinlikle yeni basılmış ve aynı sayfalardan oluşan atık kağıtlara 3-12 aylık doğal yaşlanmaya denk gelen hızlandırılmış ısıtma işlemi (HIY) uygulanmalıdır.
- ❖ İleride yapılacak çalışmalarda, flotasyon ve yıkama sonunda elde edilen hamurlarda kalıntı mürekkeple birlikte kirlilik sayıları ve boyutları belirlenmelidir.

- ❖ Endüstriyel ölçekte uygulanacak yüzdürme işlemi sırasında süzüntü sudan alınan örneklerin yük oranları ve zeta potansiyellerinin belirlenmesi optimum şartların oluşturulmasında oldukça etkili olabilir.
- ❖ Ayrıca mürekkep uzaklaştırma işlemi açısından geleneksel yöntemlerin yanında ultrasonik yöntemler ile mürekkep giderme işleminin etkinliği oldukça yukarılara çıkarılabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] AR_BERT, M. 1954. La Fabrication du Papier et des Pates a Papier, EFP, Grenoble, 34 pp.
- [2] KÂĞITÇI, M.A. 1977. Kâğıdın gelişimi, Eczacıbaşı Dergisi, Sayı:4, Ekim, s.6–1.
- [3] Karademir, A., İmamoğlu, S. Tutuş, A. 2002. Situation of paper based waste in Turkey. In: Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries: vol 1, edited by G. Kocasoy, ISWA International Congress, İstanbul, 419-426.
- [4] İmamoğlu, S. ve Kayacan, B. 2002. Kâğıt Endüstrisinde Lifsel Hammadde Kullanımı ve Orman Kaynakları Yönetimi: II. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 15-16 Mayıs, Artvin.
- [5] McKinney, R.W.J., 1995. Wastepaper Preperation and Contaminant Removal in Technology of Paper Recycling edit by McKinney, R.W.J., Blackie Academic & Professional Publ.
- [6] Putz, H.J., 2006. Recovered Paper and Recyled Fibres in Handbook of Pulp edit by Sixta, H., Willey-VCH.
- [7] Sixta, H., 2006. Handbook of Pulp Willey-VCH.
- [8] Kırcı, H. 2006. Kâğıt Hamuru Endüstrisi Ders Notları: KTÜ Yayın, No 86, Trabzon.
- [9] Diesen, M., 1998. Economics of the Pulp and Paper Industry in Papermaking Science and Technology Series Book 1, Finnish Paper Engineers Association and Tappi, Helsinki.
- [10] Usta, M., Kırcı, H., Deniz, İ. ve Gümüşkaya, E. 2006, Türkiye Kağıt Sanayiinin Mevcut Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri. 1. Çevre Ve Ormancılık Şurası, Antalya.
- [11] Karademir, A. İmamoğlu, S. 2001. Kâğıtların Doğal Yaşlanmasına Bağlı Önemli Degredasyon Reaksiyonları: Fen ve Mühendislik Dergisi, 4 (2): 98–108.
- [12] Kırcı, H. 2000. Atık Kâğıt Geri Kazanma Teknolojisi, KTÜ Basımevi, Trabzon.

- [13] Aydemir, C. Özakkun, Ş.C. 2008. Matbaa Malzeme Bilgisi: ISBN: 978-975-400-314-7. Marmara Üniversitesi Yayını, İstanbul-Türkiye.
- [14] Peşman, E. 2010. Atık Gazete ve Magazin Kâğıtlarının Mürekkep Uzaklaştırma ve Ağartma Özelliklerinin Belirlenmesi Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [15] Selüloz ve Kağıt Sanayi Vakfı Yıllık Raporları 2000-2009 Kağıt Karton Üretim ve Tüketim değerleri.
- [16] Özden, Ö. ve İmamoğlu, S., 2001. The Impact of Secondary Fibre on Corrugated Board and Wastepaper Classification System, 2nd International Packaging Courses and Exhibition Proceedings, İzmir, 277-288
- [17] İmamoğlu, S., 2002. Atık Kâğıt Hamurlarının Formamidin Sülfirik Asit (FAS) ile Ağartılması. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi. İstanbul.
- [18] Estes, T.K. ve Spankgenberg, R.J. 1993. Flowsheet Considerations in Secondary Fibre Recycling, edit by Spankgenberg, R.J. Tappi Press, Atlanta.
- [19] Holik, H., 2000. Unit operation and Equipment in Recycled Fibre Processing in Recycled Fibre and Deinking Edit by Göttshing, L., Fapet Oy Publishing, Helsinki, 91-205.
- [20] Crow, D.R. ve Secor, R.F., 2000. The Ten Steps of Deinking in Recycling Paper from Fibre to Finished Product, 273-280.
- [21] Heinbockel, W., 1979. The Twin-pulp System, Esher-Wyss Seminar, Constance
- [22] Scheldorf, J.M. ve B.C., 1996. Strand, Simulation of Ink Removal at a Newsprint Deinking Facility. Tappi Journal, 79,12.
- [23] Morel, P.L., 1989. Secondary Fibre for Newsprint. Proceedings of Tappi Pulping Conference, Tappi Press, Atlanta, 367-372.
- [24] Fallows, J.D., 1995. Pulper and Pulper Screens. In Deinking Short Course, Atlanta, Tappi Press, pp 39-72.
- [25] Cleveland, F.C. 1993. Pulping of Secondary Fibre. In: Secondary Fibre Recycling, Edited by Spangenberg. Tappi Press, Atlanta, 91-100.

- [26] Borchardt, J.K., 1999. An Introduction to Deinking Chemistry, In: Paper Recycling Challenge-Deinking and Bleaching, 18-30.
- [27] Ferguson, L.D., 1992b. Deinking Chemistry: Part 2. Tappi Journal, 75,8,49-57
- [28] McCool, M.A., 1993. Flotation Deinking in Secondary Fibre Recycling edited by Spankgenberg, R.J. Tappi Press, Atlanta
- [29] ZAIMOĞLU S., 1993: Atık Kağıt ve Mürekkep Giderme. SEKA Dergisi Sayı 46.
- [30] Ferguson, L. D., 1991. The role of pulper chemistry in deinking, Tappi Pulping Conference Proceedings, Tappi Press ,Atlanta, 793.
- [31] Ferguson, L.D., 1992a. Deinking Chemistry: Part 1. Tappi Journal, 75,7,75-81
- [32] Shrinath, A., Szewczak, J.T., ve Bowen, I. J., 1991. A Review of ink-removal Techniques in Current Deinking Technology, Tappi Journal. 74,7,85
- [33] Read, B. R., 1986. Deinking Chemical and Their Effects Symp. Pap. Inst. Chem. Eng. North West Branch. 7.1-7.16
- [34] Gurnagul, N., 1995. Sodium Hydroxide Addition During Recycling: Effects on Fiber Swelling and Sheet Strength, Tappi Journal, 78,12
- [35] Ali T, McLellan F, Adiwinata J. ve May, M., 1991. Functional and Performance Characteristics of Soluble Silicates in Deinking: Part 1 Alkaline Deinking Of Newsprint/Magazine CPPA Recycling Forum Montreal
- [36] Marchildon, L., Lapointe, M., Bonnelly, B., 1991. The effect of double bonds present on the deinking efficiency of xerographic, 77th Annual meeting of CPPA, A89
- [37] Lassus, A., 2000. Deinking Chemistry, In Recycled Fiber and Deinking. ed. Götsching, L. ve Pakarinen, H., Book. 7, Fapet Oy: Helsinki, Finland.
- [38] Haynes, R.D., 1997. Evaluation of Deinking Chemicals Based on Ink Removal and Water Quality Using Lock Cycle Testing. Eka Chemicals, Inc., Recycled Fiber Chemicals Division: Marietta, GA

- [39] Larsson, A., Stenius, P. ve Odberg, L., 1984a. Surface Chemistry in Flotation De-inking Part I: The Flotability of Model Ink Particles, *Svensk Papperstidning* 18, 158-64
- [40] Turvey, R.W., 1995. Chemical Use in Recycling. In: *Technology of Paper Recycling* edit by McKinney, R.W.J., Blackie Academic & Professional Publ.
- [41] Renders, A., 1995. Recycled Fibre Bleaching. In: *Technology of Paper Recycling*, edit by McKinney, R.W.J., Blackie Academic & Professional Publ.
- [42] Varennes, S., Daneault, C. ve Parenteau, M., 1996. Bleaching of thermomechanical pulp with sodium perborate, *Tappi Journal*, 79,3
- [43] Peşman E., Kırıcı H, Kalyoncu E. E., 2006. Bleaching of Stone Ground Wood with Sodium Perborate III. *International Boron Symposium*, November, 75-79
- [44] Leduc, C., Garceau, M., Daneault, C. ve Robert, S., 2002. Bleaching of a mechanical pulp with sodium percarbonate and amineborane - bleaching response and brightness stability, *Journal of Pulp and Paper Science*, 28,5
- [45] Ali, T., McArthur, D., Stott, D., Fairbank, M. ve Whitling, P., 1986. The Role of Silicate in Peroxide Bleaching of Mechanical Pulp. 1. The Effects of Alkalinity, pH, Pre-Treatment with Chelating Agent and Consistency', *J. Pulp and Paper Science* 12,6,166
- [46] Lindholm C.A., 1999. *Bleaching in Mechanical Pulping* Edit Sundholm J. Fapet Oy Helsinki, Finland
- [47] Süß, H. ve Krüger, H., 1983: German Patent, DE 3.309.956 C1 Mart 19
- [48] Pettit P., 1992. Post Bleaching of Deinked Pulp for Newsprint Production, *Appita Journal*, 45, 6, 385.
- [49] Patt, R., 1993. Bleaching and Upgrading of Secondary Fibers by Chlorine Free Chemicals 25. *EUCEPA Pulp and Paper Conference Proceedings*, Vienna, pp.305-312
- [50] Vincent, A.H.D, Khong C. Ve Rizzon E., 1997. FAS (Thiourea dioxide) Bleaching of Recycled Pulp, *Appita Journal* , 50,5,393

- [51] Bilici, M.S.U., 2004. Sodyum Borhidrür Üretim Yöntemleri II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eylül, Eskişehir, Bildiriler Kitabı 1:119-127
- [52] Tutuş, A. 2004. Buğday Saplarından Soda-Oksijen-Antrakinin(SOAQ) Yöntemiyle Elde Edilen Hamurların Hidrojen Peroksit ve Sodyum Borhidrür ile Ağartılması. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eylül, Eskişehir, 345-350.
- [53] Leary G., Wong, D. ve Giampaolo, D., 1997. The Bleaching of Mechanical Pulp with Oxygen and a Borohydride *Holzforschung* , 51, 445-451
- [54] Colodette, J. L., Rothenberg, S. ve Dence, C. W., 1989. Factors Affecting Hydrogen Peroxide Stability in the Brightening of Mechanical and Chemi-Mechanical Pulps. Part III: Hydrogen Peroxide Stability in the Presence of Magnesium and Combinations of Stabilizers, *The Journal of Pulp and Paper Science*: 15, 2
- [55] Süs H.U., 2006. Pulp Bleaching, In:Handbook of Pulp edit by Sixta, H., Willey-VCH
- [56] Andrews, D.H. and Singh, R.P., 1979. The Bleaching of Pulp, Tappi pres Atlanta, 211
- [57] Larson, N., 1999. Newspaper Flexo:Gaining Ground and Winning Converts. *FLEXO Magazine*, December
- [58] Carleton, J.R., 2004, The Effect of Electrohydraulic Discharge on Flotation Deinking Efficiency, Thesis, School of Chemical and Biomolecular Engineering Georgia Institute of Technology
- [59] Anon 1999. Safety data sheet for DegaFAS AS-Formamidin sulfonic acid 93/112/EC
- [60] Eriksson, K. 1998. Past Successes and Future Possibilities for Biotechnology in The Pulp and Paper Industry: 7th International Conference on Biotechnology in The Pulp and Paper Industry, vol A - Oral Presentations: A7-A10.

- [61] Teander, K., Pugh, R. 2004. Surface Chemicals Concepts of Flotation De-Inking: Colloids and Surfaces, 240: 111-130.
- [62] Karahan, S, 2012 . Ultrasonik Enerji ve Enzim Kullanımının Lazer Baskılı Ofis Kâğıtlarından Yüzdürme Esaslı Mürekkep Giderme İşlemi Üzerine Etkileri Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- [63] Fricker, A., Manning, A., Thompson, R. 2006. Deinking of Indigo Prints Using Hight- Intensity Ultrasound: Surface Coatings International Part B-Coatings Transactions, 89 (2): 145-155.
- [64] İmamoğlu, S, 2001. Atık Ofis Kağıtlarında Flotasyon esaslı Mürekkep Giderilebilme Etkinliğinin İncelenmesi ,Orman Fakültesi Dergisi ,Seri.A,Cilt, 51, Sayı 2, ,s.81-93
- [65] Pala, H., Mota, M., Gama, F.M. 2006. Factors Influencing MOW Deinking, Laboratory Scale Studies: Enzyme and Microbial Technology, 38 (1-2): 81-87.
- [66] Fricker, A., Thompson, R., Manning, A. 2007. Novel Solution to New Problems in Paper Deinking: Pigment & Resin Technology, 36 (3): 141-152.
- [67] Hubbe, M.A., Venditti, R.A., Rojas, O.J. 2007. What Happens to Cellulosic Fibers During Paper Making and Recycling, A Review: BioResources, 2 (4): 739-788.
- [68] Pala, H., Mota, M., Gama, F.M. 2007. Laboratory Paper Pulp Deinking: an Evaluation Based on Image Analysis, ISO Brightness and ERIC: APPITA Journal, 60 (2): 129-135.
- [69] İmamoğlu, S., Kırıcı, H., Atik, C., Karademir, A., Aydemir, C., Peşman, E. 2009. Ofis Kâğıtları Üzerine Ofset Baskı Makinesinde Basılan CMYK Renk Sistemine Ait Zemin Baskı Mürekkeplerinin Flotasyon Esaslı Sistemle Giderilmesi: Tübitak Kariyer, Proje No:106M292.
- [70] Yılıgör, N. 2010. Mürekkep Giderme Sürecinde Enzimlerin Kullanılması: Orman Fakültesi Dergisi, İstanbul Üniversitesi, 60 (1): 73-75.

- [71] HAYNES R.D., 2000 Evaluation of Deinking Chemicals Based on Ink Removal and Water Quality Using Lock Cycle Testing. Eka Chemicals, Inc., Recycled Fiber Chemicals Division: Marietta, GA.
- [72] MOORE, P.W. 1994: Yield measurement in mills using secondary fibre. In 1994 Recycling Symposium Proceedings, Tabbi Press, Atlanta, pp.155-159.
- [73] BADAR, A.T. 1994: Environment impact of recycling in the paper industry, in: Recycled Paper Technology, Edited by Mahendré Doshi, Tappi Press, pp 235-245.
- [74] JOHNSTON, J.H. MILESTONE, B.C, WISEMAN, N. 2000: The alkaline digestion of reject fibre as a precursor to filler recovery by wet air oxidation. Appt Journal, vol. 53, No.1, pp.54,58.
- [75] SCHAFER, L. A., 1992: Wet air oxidation as a cost effective sludge disposal option, In: Contaminant Problems and Strategies in Wastepaper Recycling Seminar. Tappi Press, pp. 203-208.
- [76] İMAMOĞLU S., KARADEMİR, A., 2002: The characterisation and disposal methods of the flotation deinking sludge in the recycled fibre mill. In: Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries, Edited by G.Koacasoy ISWA 2002- Istanbul. 1493-1500 Vol.3.
- [77] BRANDON, C.E. ,1981: Properties of paper. In : Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, Edited by J.P. Casey, Third Edition, Vol. 3, A Wiley Interscience Publication, New York, 1715-1955.
- [78] VAARASALO, J., 1999: Optical properties of paper. In: Pulp and Paper Testing. Edited by James Abbott, Papermaking Science and Technology, Book 17, Finnish Paper Engineers Association and Tappi Publ., pp. 163-181.
- [79] MCKINNEY, R. W. J., 1990: Deinking and deinked pulp evaluations-A review of test methods. In: Recycling Paper, From Fibre to Finished Product, Tappi Press. Atlanta , pp.176-179
- [80] MAHAGAONKAR, M.S., STACK, K.R., BANHAM, P.W., 1998: The effects of coated magazines on deinking of newsprint after pulping and flotation. Tappi Journal, Vol. 81, No. 12, 101-110.

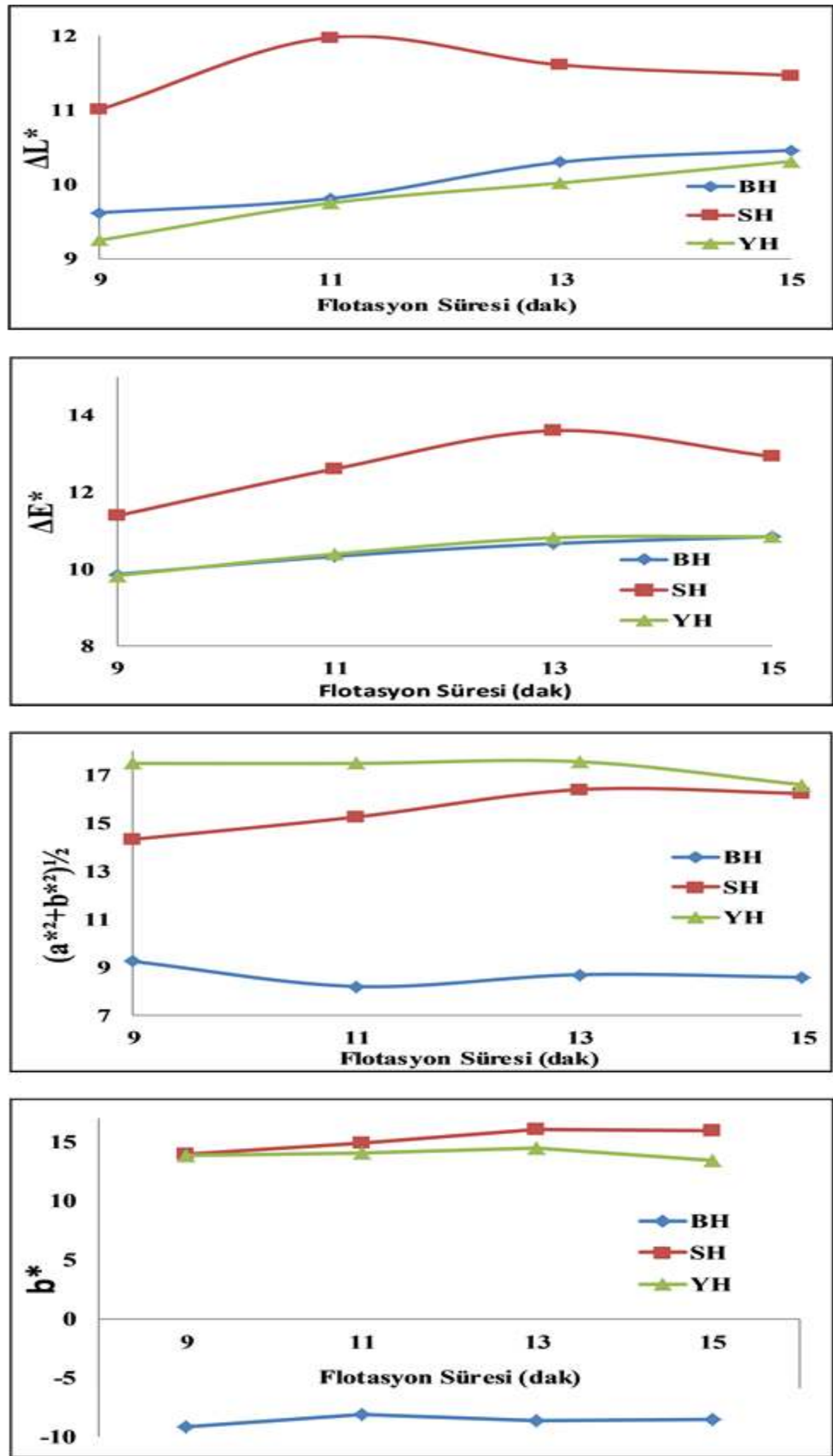
7. EKLER

Çizelge 7.1 Çalışma proseslerinden INGEDE test kağıtlarına ait CIE L* a* b* değerleri

Grup No	Proses No	Standart INGEDE Kağıdı 240 g/m ²								
		L*			a*			b*		
		Üst	Alt	Ort.	Üst	Alt	Ort.	Üst	Alt	Ort.
Grup kontrol	ABH	91.18	91.13	91.16	1.87	1.85	1.86	-7.34	-7.21	-7.28
	ASH	85.64	85.26	85.45	-3.42	-3.35	-3.39	13.62	12.91	13.26
	AYH	89.15	89.03	89.09	-13.49	-13.65	-13.57	13.87	13.52	13.70
Grup kontrol	BBH	82.31	81.88	82.10	1.01	0.93	0.97	-11.42	-11.30	-11.36
	BSH	78.82	78.63	78.72	-3.93	-3.87	-3.90	11.24	10.89	11.07
	BYH	80.80	80.47	80.63	-11.11	-11.74	-11.43	10.03	11.32	10.68
Grup 1	BH1	91.83	91.62	91.72	1.06	0.98	1.02	-9.33	-9.06	-9.19
	SH1	89.81	89.65	89.73	-3.47	-3.31	-3.39	14.23	13.60	13.92
	YH1	89.94	89.78	89.88	-10.53	-10.68	-10.61	14.02	13.77	13.90
Grup 2	BH2	92.06	91.75	91.91	1.14	1.02	1.08	-8.21	-8.07	-8.14
	SH2	90.73	90.66	90.70	-3.30	-3.23	-3.27	15.23	14.59	14.91
	YH2	90.43	90.33	90.38	-10.18	-10.49	-10.34	14.21	14.00	14.11
Grup 3	BH3	92.45	92.35	92.4	1.23	1.21	1.22	-8.67	-8.55	-8.61
	SH3	90.41	90.25	90.33	-3.21	-3.15	-3.18	16.28	15.90	16.09
	YH3	90.69	90.61	90.65	-9.87	-10.09	-9.98	14.55	14.37	14.46
Grup 4	BH4	92.63	92.49	92.56	1.2	1.15	1.18	-8.57	-8.45	-8.51
	SH4	90.25	90.12	90.19	-3.07	-2.95	-3.01	16.22	15.69	15.96
	YH4	91.05	90.95	91.00	-9.73	-9.89	-9.81	13.42	13.35	13.39
Grup 5	BH5	94.29	93.92	94.11	1.53	1.38	1.46	-8.72	-8.03	-8.38
	SH5	93.02	93.48	93.75	-2.31	-2.22	-2.27	5.02	4.54	4.78
	YH5	92.92	92.87	94.90	-6.02	-6.13	-6.08	0.99	0.97	0.98

Çizelge 7.2 INGEDE ve ISO test kağıtlarına ait sarılık (ASTM D1925) değerleri

Grup No	Proses No	Standart INGEDE Kağıdı 240 g/m ²			Standart ISO Kağıdı 70 g/m ²		
		Üst	Alt	Ort.	Üst	Alt	Ort.
Grup kontrol	ABH	-13.43	-13.24	-13.34	-16.72	-14.72	-15.72
	ASH	23.08	22.57	22.83	41.90	38.29	40.10
	AYH	13.76	13.51	13.64	19.94	18.29	19.11
Grup kontrol	BBH	-24.71	-24.56	-24.63	-26.23	-24.77	-25.5
	BSH	19.20	18.60	18.90	38.25	33.83	36.04
	BYH	9.17	8.50	8.83	18.55	14.68	16.61
Grup 1	BH1	-18.69	-18.45	-18.57	-21.44	-19.54	-20.49
	SH1	24.10	23.64	23.87	31.68	29.24	30.46
	YH1	16.79	16.48	16.64	23.35	20.04	21.69
Grup 2	BH2	-17.01	-16.78	-16.70	-20.63	-18.62	-19.63
	SH2	25.49	24.55	25.02	33.47	31.34	32.41
	YH2	17.54	17.01	17.28	23.84	20.87	22.87
Grup 3	BH3	-16.53	-16.34	-16.44	-19.89	-17.90	-18.90
	SH3	30.20	29.49	29.84	37.46	34.92	36.19
	YH3	17.49	17.09	17.29	26.67	24.23	25.45
Grup 4	BH4	-16.87	-16.55	-16.71	-20.45	-18.52	-19.49
	SH4	26.54	25.96	26.25	36.07	33.47	34.77
	YH4	16.32	15.79	16.05	25.99	23.00	24.50
Grup 5	BH5	-16.43	-15.95	-16.19	-21.01	-18.92	-19.96
	SH5	8.10	7.54	7.82	11.97	11.08	11.53
	YH5	-3.88	-3.68	-3.78	-2.74	-2.91	-2.83



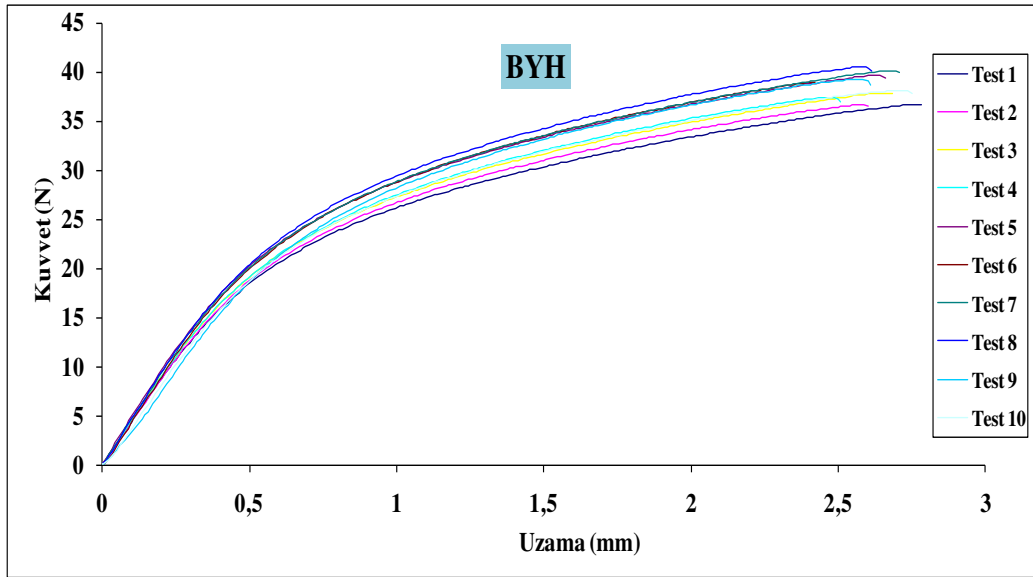
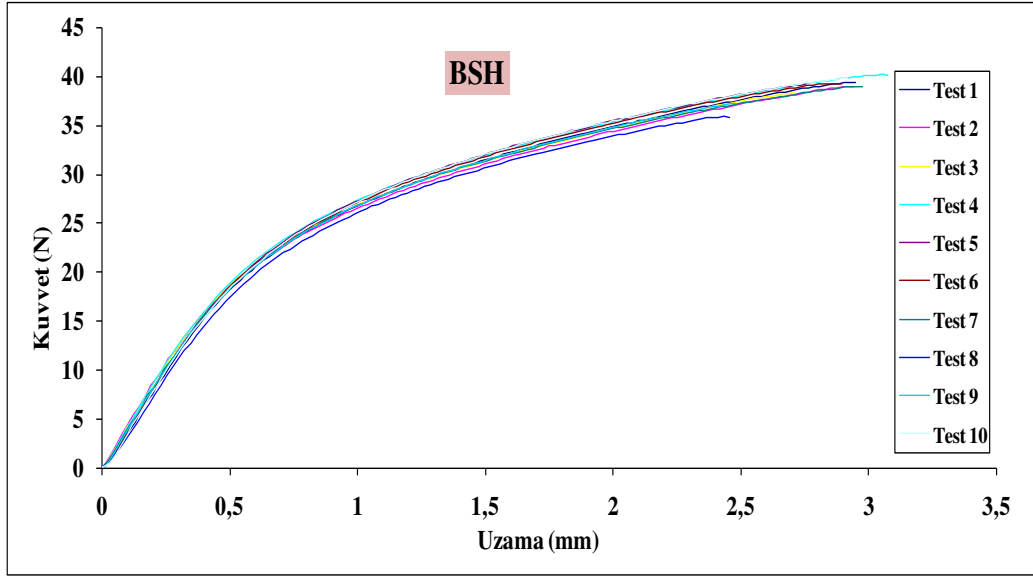
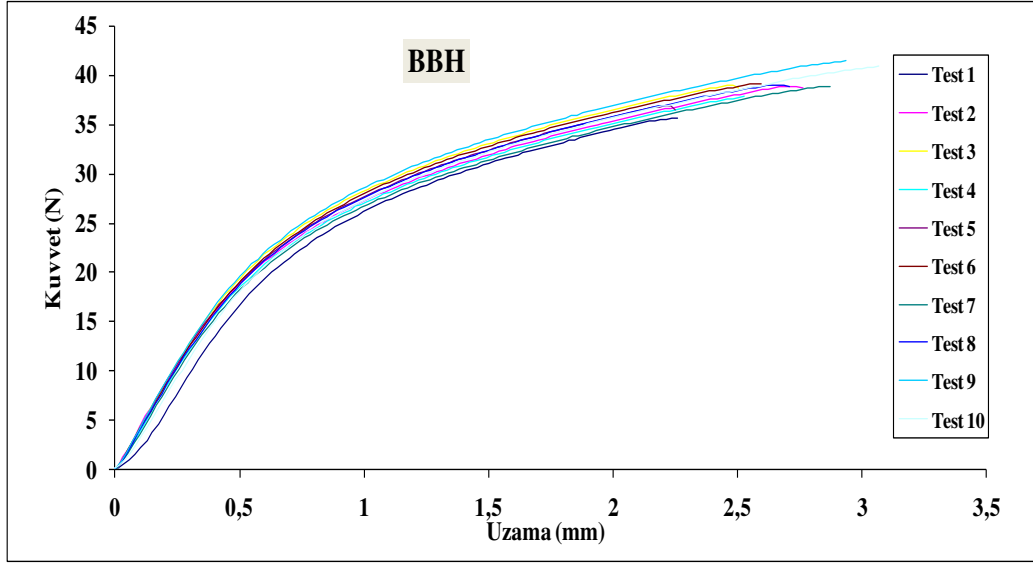
Şekil 7.1 INGEDE test kağıdına ait ΔE^* , ΔL^* , $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ ve b^* değerleri

Çizelge 7.3 Standart test kağıtlarına ait kopma direnç özellikleri

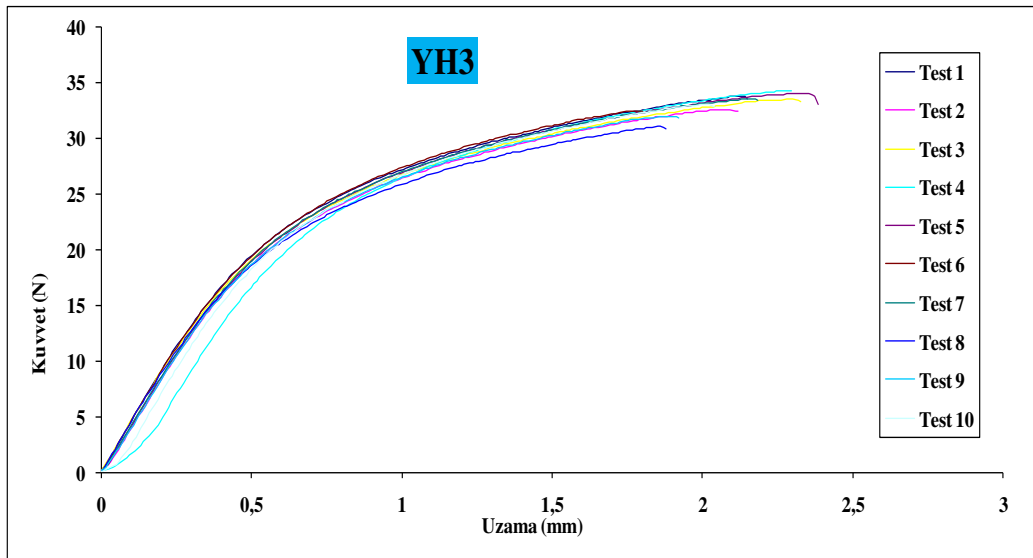
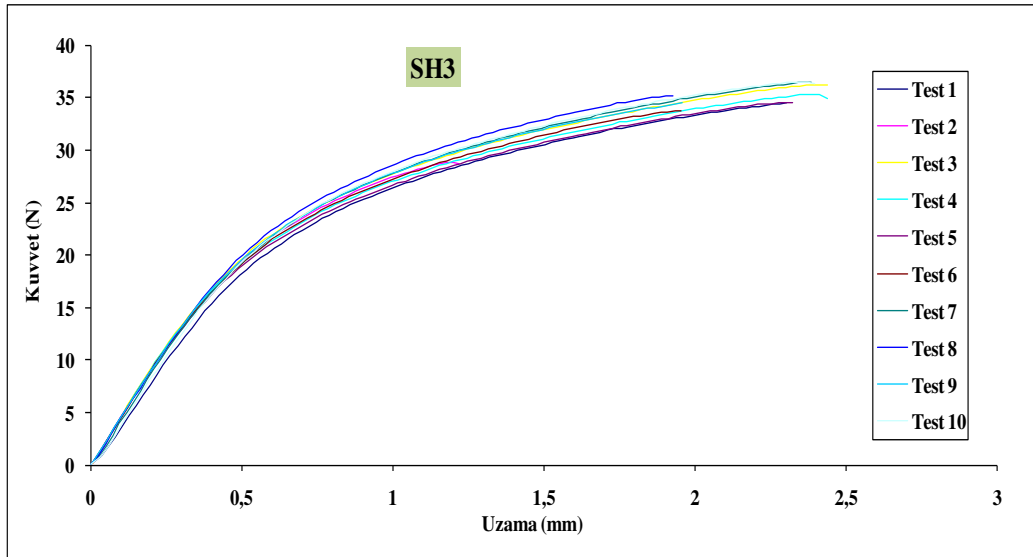
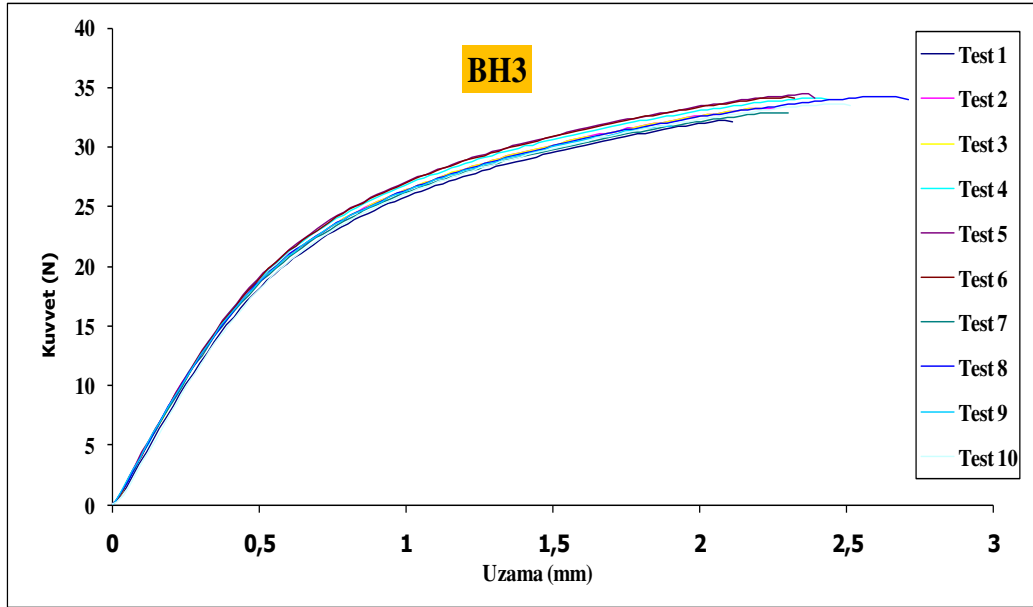
Grup No	Proses No	Kuvvet @ Pik	Çekme Mukavemeti	Gerilme İndeksi	Son Gerilme	T.E.A.	TEA İndeksi	Gerilme Uzunluğu	Energy - Kırılma
		(N)	(N/mm)	(J/g)	(%)	(J/m ²)	(J/g)	(mm)	(N.m)
Baskısız Otokopi Kağıdı	ABK (ED)	34.340	2.289	28.617	4.048	63.852	0.798	2918087.909	0.172
	ABK(MD)	57.863	3.858	48.219	1.111	28.213	0.353	4916993.172	0.076
	ASK (ED)	27.165	1.811	22.638	2.753	37.868	0.473	2308382.583	0.102
	ASK (MD)	68.627	4.575	57.189	1.277	38.986	0.487	5831695.233	0.105
	AYK (ED)	27.452	1.830	22.877	2.918	40.449	0.506	2332789.680	0.109
	AYK (MD)	54.178	3.612	45.148	1.125	26.900	0.336	4603848.706	0.073
Baskılı Otokopi Kağıdı	BBK (ED)	32.658	2.177	27.215	3.672	59.818	0.748	2775157.678	0.162
	BBK (MD)	59.070	3.938	49.225	1.097	28.492	0.356	5019553.065	0.077
	BSK (ED)	31.456	2.097	26.213	3.515	53.668	0.671	2673016.111	0.145
	BSK (MD)	55.165	3.678	45.971	0.924	22.335	0.279	4687720.350	0.06
	BYK (ED)	27.086	1.806	22.572	2.803	38.132	0.477	2301669.451	0.103
	BYK (MD)	55.242	3.683	46.035	1.111	27.224	0.34	4694263.571	0.074
Grup kontrol	ABH	39.130	2.609	32.608	1.493	27.799	0.347	3325124.579	0.075
	ASH	38.179	2.545	31.816	1.503	27.467	0.343	3244312.116	0.074
	AYH	33.649	2.243	28.041	1.301	20.960	0.262	2859347.979	0.057
Grup kontrol	BBH	38.773	2.585	32.311	1.471	27.114	0.339	3294788.024	0.073
	BSH	38.728	2.582	32.273	1.565	28.966	0.362	3290964.147	0.078
	BYH	38.506	2.567	32.088	1.464	27.142	0.339	3272099.354	0.073

Çizelge 7.3'ün devamı

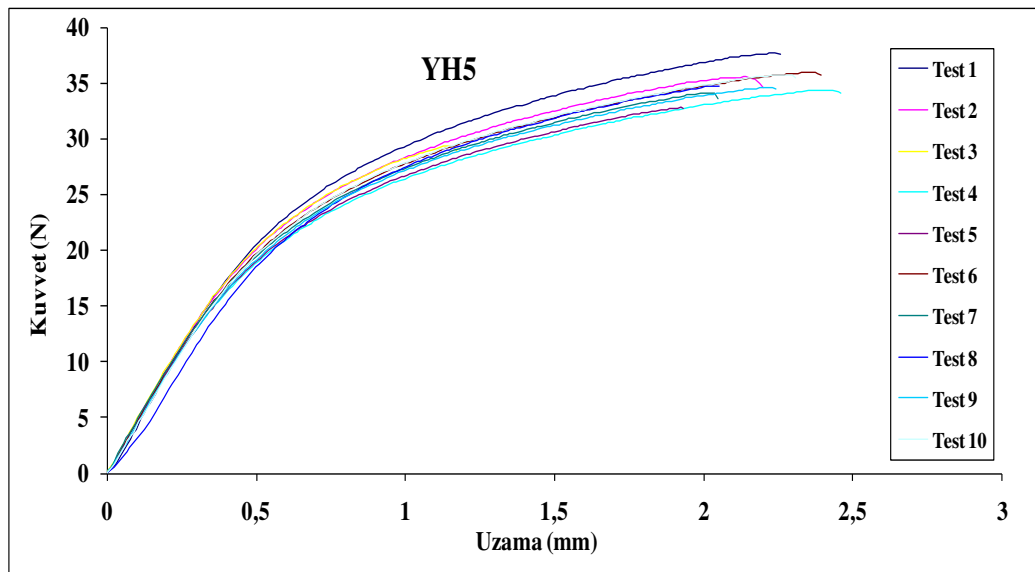
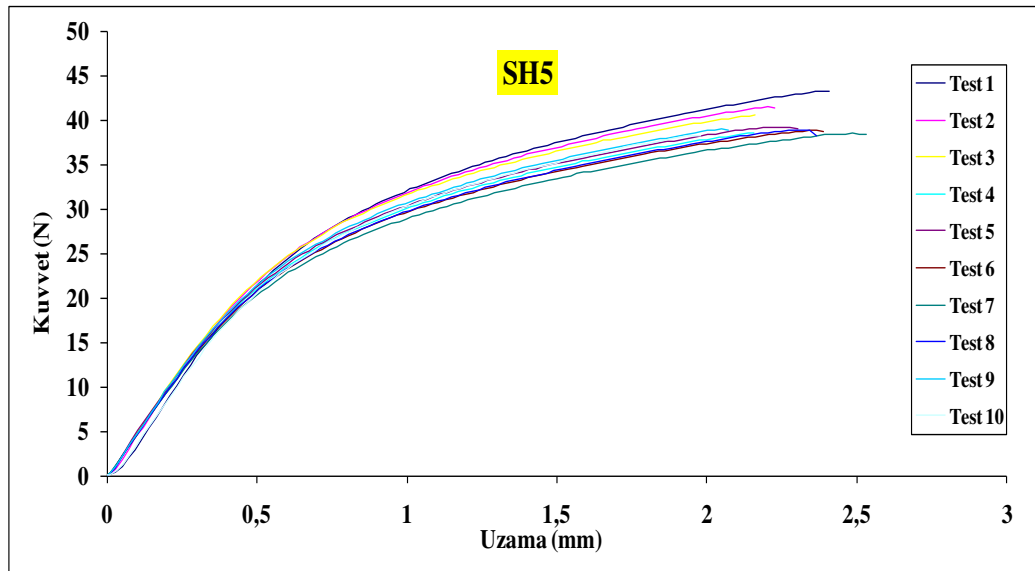
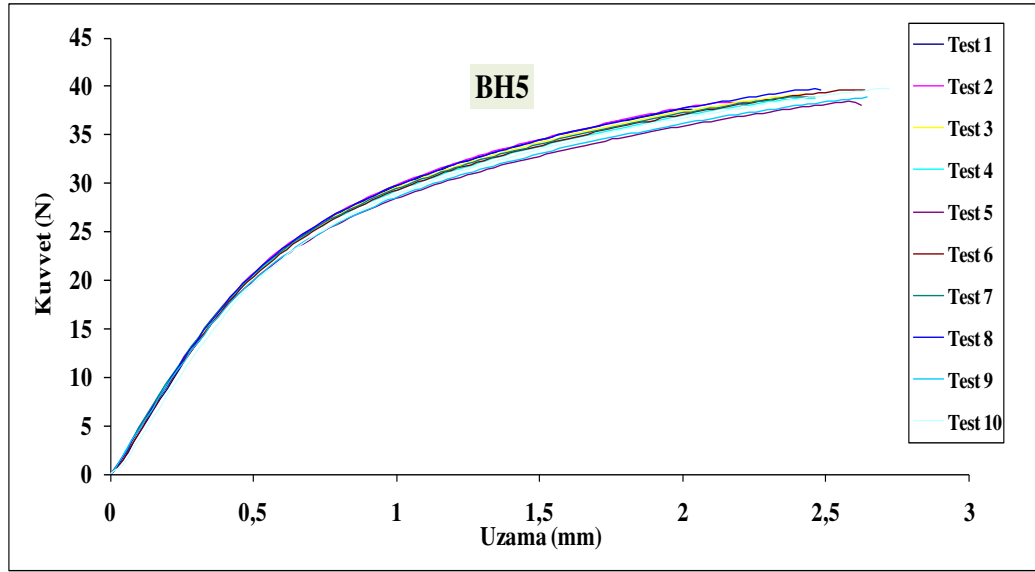
Grup No	Proses No	Kuvvet @ Pik	Çekme Mukavemeti	Gerilme İndeksi	Son Gerilme	T.E.A.	TEA İndeksi	Gerilme Uzunluğu	Energy - Kırılma
		(N)	(N/mm)	(J/g)	(%)	(J/m ²)	(J/g)	(mm)	(N.m)
Grup 1	BH1	32.293	2.153	26.911	1.286	19.938	0.249	2744141,292	0.054
		32.349	2.157	26.957	1.230	18.973	0.237	2748899,931	0.051
	SH1	26.320	1.755	21.933	1.073	13.181	0.165	2236577,551	0.036
		40.290	2.686	33.575	1.330	25.579	0.32	3423697,198	0.069
	YH1	33.785	2.252	28.154	1.156	18.689	0.234	2870926,057	0.05
		34.500	2.300	28.750	1.126	18.564	0.232	2931684,112	0.05
Grup 2	BH2	35.132	2.342	29.277	1.280	21.617	0.27	2985389,196	0.058
		35.695	2.380	29.746	1.224	20.869	0.261	3033230,891	0.056
	SH2	36.183	2.412	30.153	1.185	20.508	0.256	3074699,327	0.055
		35.641	2.376	29.701	1.162	19.847	0.248	3028642,128	0.054
	YH2	31.451	2.097	26.209	1.100	16.511	0.206	2672591,187	0.045
		32.901	2.193	27.418	1.064	16.745	0.209	2795806,961	0.045
Grup 3	BH3	33.403	2.227	27.836	1.286	21.160	0.265	2838465,061	0.057
		31.990	2.133	26.658	1.298	20.327	0.254	2718393,500	0.055
	SH3	36.920	2.461	30.767	1.239	22.018	0.275	3137326,856	0.059
		34.606	2.307	28.838	1.187	19.867	0.248	2940691,666	0.054
	YH3	33.033	2.202	27.528	1.173	18.769	0.235	2807023,837	0.051
		31.731	2.115	26.442	1.104	16.809	0.21	2696384,592	0.045
Grup 4	BH4	38.303	2.554	31.919	1.265	23.042	0.288	3254849,165	0.062
		38.318	2.555	31.932	1.310	24.298	0.304	3256123,791	0.066
	SH4	34.111	2.274	28.426	1.141	18.510	0.231	2898628,317	0.05
		35.855	2.390	29.879	1.169	19.919	0.249	3046827,094	0.054
	YH4	31.226	2.082	26.022	1.010	14.934	0.187	2653471,541	0.04
		32.961	2.197	27.468	1.168	18.572	0.232	2800905,513	0.05
Grup 5	BH5	38.935	2.596	32.446	1.373	25.859	0.323	3308554,216	0.07
		38.531	2.569	32.109	1.351	25.173	0.315	3274223,828	0.068
	SH5	39.456	2.630	32.880	1.262	24.025	0.3	3352826,952	0.065
		39.716	2.648	33.097	1.255	23.805	0.298	3374920,758	0.064
	YH5	34.508	2.301	28.757	1.171	19.622	0.245	2932363,939	0.053
		36.879	2.459	30.733	1.249	22.419	0.28	3133842,859	0.061



Şekil 7.2 Baskılı kontrol grubu proseslerine ait kopma testi değerleri



Şekil 7.3 Grup 3 proseslerine ait kopma testi değerleri



Şekil 7.4 Grup 5 (Yıkama) proseslerine ait kopma testi değerleri

8. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yalçın KOCABEY
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.07.1990/ Sarıkamış
Yabancı Dili : İngilizce
e-posta : y.kocabey36@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Üniversite adı : Artvin Çoruh Üniversitesi
Lisans : Orman Endüstri Mühendisliği
Mezuniyet Yılı : 2013

BİLİMSEL ÇALIŞMALARI

▪Projede görev alma

1. Bursiyer, Tekstil Kimyasalı Modifikasyonunun Kavaktan Üretilen Paralel Şerit Kerestelerin Bazı Fiziksel, Mekanik ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi/ TÜBİTAK 113O257 kodlu Proje
2. Bursiyer, Değişik Ekstraksiyon Yöntemlerinin Kabuk Taneni Verimi Ve Kimyasal Bileşimi Üzerine Etkisi / TÜBİTAK 115R068 kodlu proje