



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BASKILI BİRİNCİ KALİTE HAMUR KÂĞIT**  
**ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ**

**Murat ÇELEBİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Kasım-2019**  
**KONYA**  
**Her hakkı saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Murat ÇELEBİ tarafından hazırlanan “**Baskılı birinci kalite hamur kağıt atıkların geri dönüşümü**” adlı tez çalışması 22/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç.Dr. Kubilay Kurtuluş BAŞTAŞ

#### Danışman

Prof.Dr. Esra YEL

#### Üye

Dr.Öğr.Üy. Selim DOĞAN

İmza

.....  
.....  
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Murat ÇELEBİ  
22/11/2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

## BASKILI BİRİNCİ KALİTE HAMUR KÂĞIT ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ

**Murat ÇELEBİ**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof.Dr. Esra YEL**

**2019, 64 Sayfa**

**Jüri**

**Prof.Dr. Esra YEL**

**Doç.Dr. Kubilay Kurtuluş BAŞTAŞ**

**Dr.Öğr.Üy. Selim DOĞAN**

Gelişen teknoloji ve artan nüfusla birlikte artan kâğıt/karton ihtiyacının karşılanması ve ormanların sürdürülebilirliği için atık kâğıtların geri dönüştürülmesi önem taşımaktadır. 1.kalite kâğıt atıklarının yeni kâğıt üretiminde kaliteli bir hammadde olarak kullanılabilmesi için en önemli aşama mürekkep gidermedir. Bu çalışmada; baskılı 1.kalite kâğıt atıklarının geri dönüşümünde kimyasal, enzim, ultrasonik işlemden yararlanılarak mürekkep giderme çalışmaları yapılmıştır. Baskılı 1.Kalite kâğıt atıkları hamurlaştırılmış ve değişen dozlarda kimyasal (NaOH ve CaO) ve enzim (Amilaz ve Selülaz) kullanılarak yüzdürme (flotasyon) yöntemi ile mürekkep giderimi uygulanmıştır. Daha sonra bu hamurlardan kâğıt üretilmiştir. Çalışılan herbir dozun geri dönüştürülmüş kâğıt örneği üzerindeki etkisini belirleyebilmek için dörder tane numune üretilmiştir. Numunelerin mukavemet (yırılma mukavemeti, patlama mukavemeti, kopma boyu mukavemeti) ve optik (CIE Whiteness, ISO Whiteness, ISO Brightness, Opasite) testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, hiçbir kimyasal/enzim dozlanmadan aynı işlemlerin uygulanmasıyla elde edilen kontrol numunesi değerleri ve 1.kalite kâğıt değerleriyle karşılaştırılmıştır. NaOH ve CaO kullanılarak mürekkep giderme yapılan kâğıtların beyazlık değerleri 1.kalite kâğıt değerinin altında kalmış ancak daha yüksek mukavemet görülmüştür. Amilaz enziminin beyazlatma işleminde ve geri dönüşüm kâğıt kalitesinde daha üstün başarı sağladığı ortaya konmuştur. 870 mg/L amilaz dozunda CIE Whiteness 147,78, ISO Whiteness 102,56, ISO Brightness 92,40 ve Opasite 91,53 düzeyinde elde edilmiş olup bu değerler 1.Hamur 1.kalite kâğıt beyazlık değerlerini (sırasıyla 145, 100, min.87 ve min.86) sağlamıştır. Enzimin kimyasal ile veya ultrasonik işlem ile birlikte uygulamasının başarıyı artırmadığı gözlenmiştir. Flotasyon işlemi sonucu açığa çıkan atık suların arıtım gerektirecek nitelikte olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan yapılan maliyet değerlendirmesi sonucunda 1.kalite hamur kâğıt atıklarından enzim kullanılarak yapılan mürekkep giderimi sonrasında elde edilen hamurun 1.kalite kâğıt üretiminde yeni selüloz ile karıştırılarak kullanılabilceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mürekkep giderme, Flotasyon, Enzim, CIE Beyazlığı, ISO Beyazlığı, ISO Parlaklığı, Kâğıt, Kopma boyu mukavemeti, Patlama mukavemeti, Yırılma mukavemeti

## **ABSTRACT**

**M.Sc THESIS**

### **RECYCLING OF WASTE PRINTED FIRST QUALITY PAPERS**

**Murat ÇELEBİ**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Environmental Engineering**

**Advisor: Prof.Dr. Esra YEL**

**2019, 64 Pages**

**Jury**

**Advisor: Prof.Dr. Esra YEL  
Assoc.Prof.Dr. Kubilay Kurtuluş BAŞTAŞ  
Asst.Prof.Dr. Selim DOĞAN**

With the developing technology and increasing population, it is important to meet the increasing paper / cardboard needs and to recycle waste paper for the sustainability of forests. The most important step for using 1st quality paper wastes as a raw material in recycled paper production is ink removal. In this study; in the recycling of printed 1st quality paper wastes, chemical, enzymatic and ultrasonic processes were used. Printed 1st quality paper wastes were pulped and ink was removed by flotation method using chemicals (NaOH and CaO) and enzymes (Amylase and Cellulase) at varying doses. Paper was then produced from these pulps. Four samples were produced to determine the effect of each dose on the recycled paper sample. The strength (tear strength, burst strength, tensile strength) and optical (CIE Whiteness, ISO Whiteness, ISO Brightness, Opacity) tests were performed. The results obtained were compared with the 1st quality paper values and the control sample values obtained by applying the same processes without any chemical/enzyme dosing. The whiteness values of the papers which were de-inked using NaOH and CaO remained below the 1st quality paper value but higher strength was observed. It has been shown that amylase enzyme provides superior success in deinking process and recycling paper quality. At a dose of 870 mg/L amylase, CIE Whiteness 147.78, ISO Whiteness 102.56, ISO Brightness 92.40, and Opacity 91.53 were obtained, and these values were found to be satisfying the 1st pulp - 1st quality paper whiteness values (145, 100, min.87 and min.86, respectively). It has been observed that the application of the enzyme together with chemical or ultrasonic treatment does not increase the success. It has been determined that the wastewater released as a result of the flotation process is of a nature requiring treatment. On the other hand, as a result of the property evaluation, it was determined that the pulp obtained after the removal of ink from the first quality paper waste by using the enzyme can be mixed with new cellulose in the production of first quality paper.

**Keywords:** Deinking, Flotation, Enzyme, CIE whiteness, ISO whiteness, ISO brightness, Paper, Breaking strength, Bursting strength, Tear strength,

## ÖNSÖZ

Baskılı 1.Kalite hamur kâğıt atıkların geri dönüşümü çalışmam boyunca her konuda ilgi ve desteğini esirgemeyen ve tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübeleri ile yanımda olan danışmanım Prof.Dr. Esra YEL'e teşekkür ederim.

Tezimin deneysel çalışmalarında maddi ve manevi katkıları esirgemeyen Kombassan Kâğıt, Matbaa, Gıda ve Tekstil San. Tic. A.Ş. Genel Müdürü Sayın Cemalettin Tunç EFE, Kalite Güvence Şefi Sayın Birkan ERÇELİK, tüm idari ve teknik personeline sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca manevi ve teknik her konuda desteklerinden dolayı Harita Yüksek Mühendisi Erol UYSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında maddi ve manevi her konuda destek veren sevgili anneme, babama ve kardeşime teşekkürü bir borç bilirim.

Murat ÇELEBİ  
KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ.....</b>	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı.....	2
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
2.1. Kâğıt ve Karton Üretimi .....	4
2.1.1. Kâğıt/karton üretim ve tüketim miktarları .....	6
2.1.2. Türkiye için kâğıt ve karton sektörünün GZFT (SWOT) tespitleri .....	8
2.1.3. Türkiye’de kâğıt/karton sektörünün sorunları .....	9
2.2. Baskı ve Mürekkep .....	11
2.2.1. Baskı çeşitleri.....	11
2.2.2. Mürekkep .....	14
2.3. Mürekkep Giderme .....	15
2.3.1. Mürekkep gidermede kimyasalların rolü .....	15
2.3.2. Mürekkep gidermede enzimlerin rolü.....	17
2.3.3. Mürekkep gidermede Ultrasonik işlemin rolü .....	21
2.4. Farklı Mürekkep Giderme İşlemlerinin Geri Dönüşüm Kâğıt Kalitesine Etkileri .....	22
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>24</b>
3.1. Materyal .....	24
3.2. Yöntem.....	25
3.2.1. Kâğıdın fiziksel testleri.....	30
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....</b>	<b>33</b>
4.1. Kimyasalların Kâğıt Geri Dönüşümüne Etkisi .....	34
4.2. Enzimlerin Kâğıt Geri Dönüşümüne Etkisi .....	41
4.3. Ultrasonik Enerjinin Kâğıt Geri Dönüşümüne Etkisi .....	49
4.3. Enzim kimyasal ikilisinin kâğıt geri dönüşümüne etkisi .....	50
4.4. NaOH ve amilaz- $\alpha$ ile mürekkep giderme yapılan geri dönüşüm işlemi atıksuları .....	52
4.5. Yapılan tez çalışmasının literatür çalışmaları ile kıyaslanması .....	54
4.6. Kâğıt geri dönüşümünün maliyet analizi .....	56
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>58</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>60</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>64</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Kombassan Kağıt A.Ş. Kâğıt ve Karton Üretiminde Kullanılan Bitkiler .....	1
Şekil 2.1. Kombassan Kâğıt A.Ş. Kâğıt Üretim Akım Şeması.....	5
Şekil 2.2. Karton Üretim Şeması .....	5
Şekil 2.4. Ofset baskı tekniği .....	12
Şekil 2.5. Tifdruk (Tiefdruck) – Çukur baskı tekniği .....	12
Şekil 2.6. Flekso baskı tekniği .....	13
Şekil 2.7. Serigrafi baskı tekniği .....	14
Şekil 2.8. Matbaacılıkta mürekkebi oluşturan 4 ana renk .....	14
Şekil 2.9. Mürekkep giderme teknikleri .....	15
Şekil 2.10. Örnek bir De-inking Prosesi .....	15
Şekil 2.11. (a) NaOH bileşik formülü, (b)CaO bileşik formülü .....	17
Şekil 2.12. Enzimlerin çalışma sistemi .....	17
Şekil 2.13 Amilazın çalışma mekanizması .....	19
Şekil 2.14. Selülazın çalışma mekanizması .....	20
Şekil 3.1. Çalışmada uygulanan laboratuvar iş akış şeması .....	25
Şekil 3.2. (a) 1-2 cm'lik parçalanmış atık kağıtlar, (b) parçalanmış atık kağıtların disintegratör açılması.....	26
Şekil 3.4. Ultrasonik işlem cihazı .....	27
Şekil 3.5. (a) Numunenin filtre edilmesi, (b) filtre kağıdının hızlı kurutucuda kurutulması .....	28
Şekil 3.6. (a) Mezüre alınmış kağıt hamuru numunesi, (b) Şoper ölçüm cihazı .....	28
Şekil 3.7. (a) Kağıt örneğinin yapıldığı rapid cihazı, (b) Rapid cihazında numunenin preslenmesi .....	29
Şekil 3.8. (a) Rapid cihazında kapak kağıdının kurutulması, (b) Üretilen örnek kağıt ..	30
Şekil 3.9. (a) Hassas terazi , (b) Kalınlık ölçüm cihazı, (c) Kül fırını .....	31
Şekil 3.10. (a) Kopma boyu mukavemet ölçüm cihazı, (b) Yırtılma mukavemet ölçüm cihazı.....	31
Şekil 3.11. (a) Patlama mukavemeti ölçüm cihazı, (b) Beyazlık - parlaklık, Opasite, CIE Whiteness, Yellowness değerleri ölçüm cihazı .....	32
Şekil 4.1. (a)Kimyasalsız ve flotasyon işlemi uygulamadan elde edilen kâğıdın, (b)1.hamur 1.kalite kâğıdın mikroskop görüntüsü.....	33
Şekil 4.2.NaOH ve CaO kimyasallarının geri dönüşüm kağıdın (a)Yırtılma mukavemeti, (b)Patlama mukavemeti, (c) Kopma boyu mukavemet değerleri üzerine etkiler .....	35
Şekil 4.3. NaOH ve CaO kimyasallarının geri dönüşüm kağıdın (a)ISO Brightness, (b)ISO Whiteness, (c) CIE Whiteness değerleri üzerine etkileri.....	38
Şekil 4.4. NaOH ve CaO kimyasallarının geri dönüşüm kağıdın Opasite değeri üzerine etkileri .....	39
Şekil 4.5. (a) CaO işlemi uyguladıktan sonra elde edilen kâğıdın, (b) NaOH işlemi uygulandıktan sonra kâğıdın mikroskop görüntüsü.....	41
Şekil 4.7. Selülaz ve amilaz- $\alpha$ enzimlerinin geri dönüşüm kağıdın (a) Yırtılma mukavemeti, (b)Patlama mukavemeti, (c) Kopma boyu mukavemeti değerleri üzerine etkileri .....	43
Şekil 4.8. Selülaz ve amilaz- $\alpha$ enzimlerinin geri dönüşüm kağıdın (a)ISO Brightness, (b)ISO Whiteness, (c)CIE Whiteness değerleri üzerine etkileri.....	46
Şekil 4.9. Selülaz ve amilaz- $\alpha$ enzimlerinin geri dönüşüm kağıdın opasite değeri üzerine etkileri .....	47
Şekil 4.10. (a)Amilaz- $\alpha$ işlemi uyguladıktan sonra elde edilen kâğıdın, (b)Selülaz işlemi uygulandıktan sonra kâğıdın mikroskop görüntüsü.....	49
Şekil 4.11. Nişasta hidroliz reaksiyonu .....	53



## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Dünyadaki Kâğıt/Karton Üretim ve Tüketimleri .....	6
Çizelge 2.2. Türkiye’de 2015 Yılı Kâğıt ve Karton Üretim ve Tüketimleri .....	6
Çizelge 2.3. Türkiye'deki Kâğıt-Karton Üretim ve Tüketimi .....	7
Çizelge 2.4. Türkiye'deki Selüloz Üretimi .....	7
Çizelge 2.5. Çözücü bileşene göre mürekkep tipleri ve baskı materyalleri.....	14
Çizelge 2.6. Mürekkep giderme işlemlerinde kullanılan kimyasallar .....	16
Çizelge 2.8. Mürekkep giderme teknikleri ve başarı değerleri.....	23
Çizelge 3.1. Selülaz ve amilaz- $\alpha$ enzimin msds bilgileri.....	24
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan yöntemler ve dozlar .....	27
Çizelge 3.3 Kombassan kâğıt 80 g/m <sup>2</sup> fotokopi kâğıdı fiziksel test parametreleri ve kontrol numunesi değerleri .....	30
Çizelge 4.1. NaOH dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri....	36
Çizelge 4.2. CaO dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri.....	37
Çizelge 4.3. NaOH dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri.....	40
Çizelge 4.4. CaO dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri.....	40
Çizelge 4.5. Selülaz dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri ..	44
Çizelge 4.6. Amilaz- $\alpha$ dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri	44
Çizelge 4.7. Selülaz dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri .....	47
Çizelge 4.8. Amilaz- $\alpha$ dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri ....	48
Çizelge 4.9. Amilaz- $\alpha$ – Ultrasonik işlem dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri .....	50
Çizelge 4.10. Amilaz- $\alpha$ – Ultrasonik işlem dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri .....	50
Çizelge 4.11. Selülaz – NaOH işlem dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri .....	51
Çizelge 4.12. Amilaz - NaOH dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri.....	51
Çizelge 4.13. Selülaz – NaOH işlem dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri .....	52
Çizelge 4.14. Amilaz- $\alpha$ - NaOH dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri.....	52
Çizelge 4.15. NaOH ve Amilaz- $\alpha$ kullanılan geri dönüşüm işlemi atıksuyunun KOİ, Bulanıklık değerleri .....	54
Çizelge 4.16. NaOH ve Amilaz- $\alpha$ ikilisinin istatistiksel verileri .....	56
Çizelge 4.17. Selüloz ve atık kâğıt kullanılan kâğıt üretimlerinin hammadde maliyet hesabı .....	57

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\mu$	Mikron
$\mu\text{s}$	Mikrosiemens
$\pi$	Pi sayısı
CaO	Kalsiyum oksit
Hg	Cıva
NaOH	Sodyum hidroksit

### Kısaltmalar

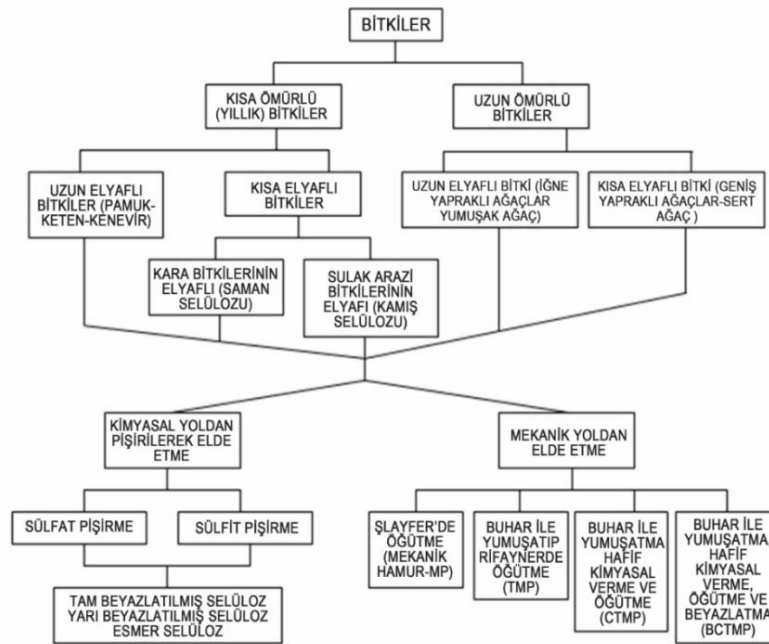
$^{\circ}\text{F}$	Fahrenheit
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat
% KM	Yüzde kuru madde
AKD	Alkil keten dimer
BCTMP	Buhar ile yumuşatma hafif kimyasal verme öğütme ve beyazlatma
CEPI	Avrupa Kâğıt Endüstrisi Konfederasyonu
cm	Santimetre
$\text{cm}^2$	Santimetrekaire
$\text{cm}^3$	Santimetrekyüp
CTMP	Buhar ile yumuşatma hafif kimyasal verme ve öğütme
g	Yerçekimi ivmesi
gr	Gram
Hz	Hertz frekans birimi
ISO	International Organization for Standardization
kg	Kilogram
km	Kilometre
kPA	Kilo pascal
L	Litre
M	Metre
$\text{m}^2$	Metrekare
mg	Miligram
mm	Milimetre
$\text{mm}^2$	Milimetrekaire
MP	Mekanik hamur
N	Newton
r	Yarıçap
SR <sup>0</sup>	Schopper Riegler
TMP	Buhar ile yumuşatıp rifaynerde öğütme
TOBB	Türkiye odalar ve borsalar birliği
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde üretilen kâğıt ve karton ürünlerin %90'dan fazlası odun hammaddesinden (selüloz) karşılanmaktadır (Şahin, 2016). Geriye kalan %10'luk kısım ise yıllık bitkilerden karşılanmaktadır (Saxena ve Singh Chauhan, 2017). Türkiye'de, baskı yazı ve temizlik kâğıtlarının ve bazı tür kartonların ana hammaddesi olan beyazlatılmış selülozun üretimi yapılmamaktadır. Ticari amaçla kurulmuş kimyasal selüloz fabrikası da mevcut değildir. Sektörde odun bazlı selüloz üretimi, kraft çimento kâğıdı üreten tek bir fabrika bulunmakta olup yalnızca kendi ihtiyacını karşılayabilmektedir.

Sektörde hammadde olarak; selüloz ile entegre kraft kağıdı tesisinde tomruk, diğer üretim tesislerinde ise üretim türüne bağlı selüloz ve yurt içinden toplanan veya ithal edilen atık kâğıtlar kullanılmaktadır (Zaimoğlu, 2012).

Kombassan Kağıt A.Ş'deki selüloz türleri ve üretimi için kullanılan bitki ve çeşitleri Şekil 1.1.'de gösterilmektedir. Selüloz kimyasal yoldan pişirilerek veya mekanik yoldan elde edilmektedir.



Şekil 1.1. Kombassan Kağıt A.Ş. Kâğıt ve Karton Üretiminde Kullanılan Bitkiler

Kâğıt sektörü; baskı yazı, ambalaj kâğıtları, karton, mukavva, oluklu mukavva ve kâğıt torba üretimlerini kapsamaktadır (Zaimoğlu, 2012). Kâğıt ve kâğıt ürünlerinin büyük bir kısmı ev, iş yerleri, sanayiler, okullar ve günlük yaşamın her alanında kullanılmaktadır (Saxena ve Singh Chauhan, 2017).

Kâğıt endüstrisi ürünlerine olan talebin artması ve son yıllarda bir çok sektörün içine girmesiyle, büyük bir artış göstermektedir (Virk ve ark., 2013).

Kâğıt sektöründeki talep artışını etkileyen kâğıt/karton türleri; gazete kâğıdı, yazı tabı kâğıtları, oluklu mukavva kâğıtları, kartonlar, sargılık kâğıtlar, temizlik kâğıtları, sigara ve ince özel kâğıtlardır (Zaimoğlu, 2012). Bu durumun oluşmasında özellikle son yıllarda ormanların kâğıt ve orman ürünleri endüstrisi için aşırı tüketilmesi sonucu ekolojik dengede kaydedilen olumsuz etkiler önemli yer tutmaktadır (Şahin, 2013).

Kâğıt arzının artması atık kâğıt miktarını da arttıracaktır. Atık kâğıdın geri dönüşümü orman tahribatını azaltabileceği ve selüloz kullanılarak kâğıt üretimine göre daha az su tüketimi ve hava kirliliğinin azaltılmasını sağlayacağı gibi çevre kirliliğinin azaltılmasında öncü olacaktır (Nimmanterdwong ve ark., 2016).

Çevre konusundaki duyarlılıkların artması ve atıklara yönelik düzenlemelerin, yönetmelik ve yasaların bu konuda önemli kısıtlamalar getirmesi pek çok sektörde olduğu gibi kâğıt sektörün de atık kâğıtların geri dönüşüm süreci içerisinde tekrar değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Yılğör, 2010).

Avrupa geneli ile karşılaştırıldığında Türkiye Kâğıt Sektörünün en önemli eksikliği atık kâğıdın geri kazanımının sağlanamamasıdır (Yetim, 2014).

## 1.1 Çalışmanın Amacı

Kâğıt/karton sektöründe üretim miktarına göre en çok tüketilen kâğıt türü 1.hamur 1.kalite olan yazı-tabı kâğıtlardır. Ülkemizdeki nüfus artışı, atık kâğıtların toplanması gerekliliğini ve geri kazanım ihtiyacını arttırmaktadır. Hammaddenin ithal, pahalı olması ve en önemlisi ormanların sürdürülebilirliği açısından 1.hamur 1.kalite kâğıt atıklarının geri dönüşümü/kazanımı önem arz etmektedir.

Kâğıt geri dönüşümünde yaygın olarak yüzdürme ve yıkama prosesleri kullanılarak mürekkep giderme işlemleri uygulanmaktadır. Yıkama ile mürekkep giderme işlemlerinde su tüketiminin fazla olması çalışmada yüzdürme ile mürekkep giderme tekniğini ön plana çıkarmaktadır.

Kâğıt geri dönüşümünde genel olarak ağartma ve temizleme kimyasalları kullanılmaktadır. Bu kimyasallar yapısı itibari ile çevreye zararlı maddelerdir. Kimyasal maddelerin çevreye zararlı olması geri dönüşümde enzim kullanımına tercih edilebilir bir nitelik kazandırmıştır.

Bu çalışmada Konya’da bir kâğıt üretim tesisinde geri dönüşüm kutularından 1.hamur 1.kalite olarak üretilmiş ve üzerinde mürekkep bulunan atık kâğıtlar temin edilmiştir. Atık kâğıttan mürekkebin uzaklaştırılması için farklı dozlarda kimyasal, enzim ve ultrasonik enerjiden faydalanarak mürekkep giderme metotları çalışılmıştır. Mürekkebi giderilmiş kâğıt hamurundan 1.hamur 1.kalite standartlarına yakın kalitede kâğıt üretmek amaçlanmıştır.

Ayrıca kâğıdın kalitesi hakkında sadece mukavemet değerlerini ya da beyazlık değerlerini yorumlayarak bir sonuca varılamamaktadır. Hem mukavemet hem de beyazlık değerlerinin birlikte yorumlanması ile başarılı sonuca ulaşılabilir. Literatürde yapılan çalışmalarda parametrelerin ayrı ayrı çalışıldığı gözlemlenmiştir. Kâğıdın kalitesi ile ilgili verimli sonuçlar elde etmek ve doğru yorumlama yapabilmek adına hem beyazlık hem de mukavemet değerleri çalışılarak literatüre katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Atık kâğıt, çeşitli amaçlar için tüketici tarafından kullanılmış ömrünü tamamlamış geri dönüşüm işlemlerine gitmeye hazır olan kâğıttır. Bunun yanı sıra henüz tüketici ile buluşmamış ve kullanılmadan atık duruma gelmiş olan atık kâğıtlar da mevcuttur. Bunlar genellikle fabrika ve matbaaların atık ve firelerinden oluşmaktadırlar. Bu tür atıkların büyük kısmında, henüz baskı işlemi gerçekleştirilmediğinden mürekkep, yapışkan gibi geri dönüşüm sürecinde sorun yaratabilecek lif dışı materyaller bulunmamaktadır. Son tüketici atıkları üzerinde baskı yapılmış olması nedeniyle mürekkep ve çeşitli lif dışı materyal barındırmaktadır. Bu tür atık kâğıtlardan geri dönüşüm ile yeniden beyaz kâğıt elde edilebilmesi için başta baskı mürekkepleri olmak üzere tüm lif dışı materyallerden arındırılması gerekmektedir (Yılıgör, 2010).

### 2.1. Kâğıt ve Karton Üretimi

Kâğıt üretimi için selüloz dışında yardımcı hammadde ve kimyasallar gerekmektedir (Şekil 2.1). Kâğıt üretim sistemlerine göre kullanılan hammadde ve kimyasallar değişiklik göstermektedir. Bunlar üretimde işlenme sırasıyla;

**Kalsit:** Dolgu malzemesi

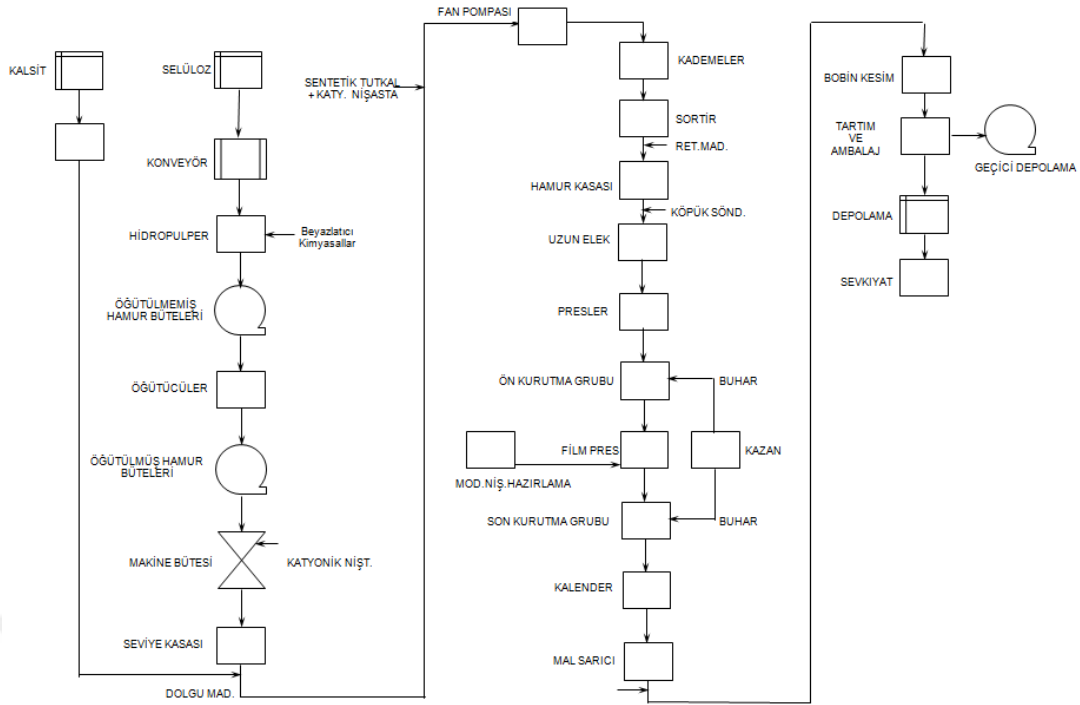
**Katyonik nişasta:** Yüzey mukavemetini artırmak elyaf bağlarını güçlendirmek

**Optik ve Çivit:** Beyazlatıcı kimyasallar

**AKD:** Kâğıdın su emiciliğini arttırmak

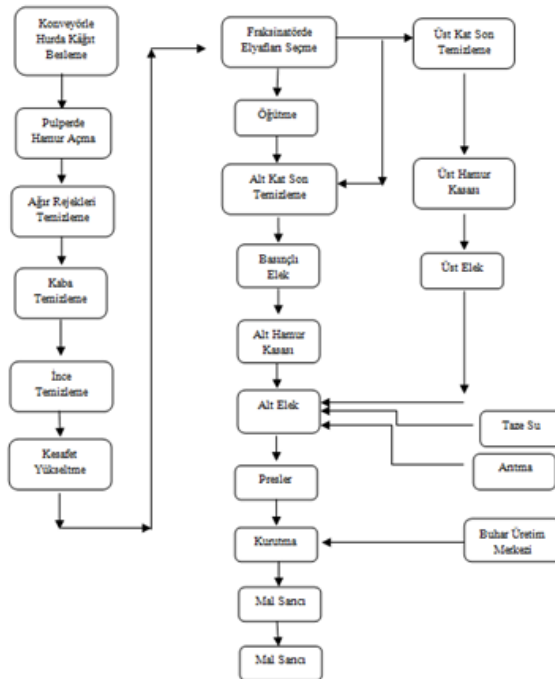
**Retansiyon Maddesi:** Elyaf lar ile kalsitin bağlanmasını sağlamak

**Modifiye Nişasta:** Yüzey mukavemetini arttırmak ve tozlanmayı önlemek



Şekil 2.1. Kombassan Kâğıt A.Ş. Kâğıt Üretim Akım Şeması

Kâğıt üretiminde sadece selüloz hammadde olarak kullanılırken, karton üretiminde hem selüloz hem atık kâğıt kullanılmaktadır (Şekil 2.2). Ayrıca karton üretiminde ilave olarak yıkama/temizleme prosesleri bulunmaktadır (Karıncaoğlu, 2009).



Şekil 2.2. Karton Üretim Şeması (Karıncaoğlu, 2009)

### 2.1.1. Kâğıt/karton üretim ve tüketim miktarları

Dünyadaki ve Türkiye'deki kâğıt/karton üretim ve tüketimi, Türkiye'deki selüloz üretimi Çizelge 2.1-2.4'de sunulmuştur. Asya, Avrupa, Kuzey Amerika en yüksek üretim ve tüketim miktarlarına sahip kıtalar olarak gözlenmiştir. Avrupa ve Kuzey Amerika da tüketim miktarının üretim miktarından düşük olması ülkelerin kâğıt ihraç ettiğine işaret etmektedir. Asya, Güney Amerika, Orta doğu, Afrika, Okyanusya kıtalarının üretim miktarları tüketim miktarından düşük olduğundan bu ülkelerin kâğıt/karton ihtiyaçlarını ithal ederek sağladığı, yani kâğıt üretiminde dışa bağımlı olduğu yorumu yapılabilir (Çizelge 2.1).

**Çizelge 2.1. Dünyadaki Kâğıt/Karton Üretim ve Tüketimleri (RISI, 2015)**

ALT GRUPLAR	2015 YILI ÜRETİMİ (milyon ton)	2015 YILI TÜKETİMİ(milyon ton)
Asya	184.690	186.047
Avrupa	106.526	98.202
Kuzey Amerika	82.992	76.632
Güney Amerika	21.577	28.447
Orta Doğu	3.415	8.076
Afrika	4.634	9.005
Okyanusya	3.762	4.289
<b>Toplam</b>	<b>407.595</b>	<b>410.698</b>

Türkiye'de üretim miktarından %57 kadar fazla tüketim olup, 2015 yılında 2.120.000 ton ithalat yapılması Türkiye'nin kâğıt sektöründe dışa bağımlı olduğunu göstermektedir (Çizelge 2.2). Türkiye'deki selüloz üretimi Avrupa'ya kıyasla oldukça düşüktür (Şekil 2.3).

**Çizelge 2.2. Türkiye'de 2015 Yılı Kâğıt ve Karton Üretim ve Tüketimleri (Selüloz ve Kâğıt Sanayi Vakfı, 2015)**

	2015 ÜRETİMİ (milyon ton)	2015 TÜKETİMİ (milyon ton)
<b>Türkiye</b>	3.745	5.865

2015 yılında:

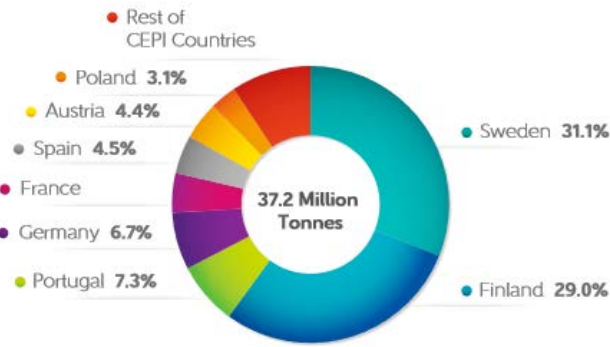
- 2011 yılına göre %1.31 oranında kâğıt üretimi artmıştır.
- Dünyadaki toplam kâğıt/ karton üretimi 407.545 milyon ton/yıl'dır.
- Türkiye bu toplam kâğıt üretiminin %0,91'ni oluşturmaktadır (Çizelge 2.1 - 2.3), (Selüloz ve Kâğıt Sanayi Vakfı).
- 2011 yılına göre kâğıt tüketimi %0,88 oranında artmıştır.



- Dünyadaki toplam kâğıt/karton tüketimi 410.698 milyon ton/yıl'dır.
- Türkiye bu toplam kağıt tüketiminin % 1.42'sini oluşturmaktadır (Çizelge 2.1 - 2.3; RISI, 2015).

Çizelge 2.3. Türkiye'deki Kâğıt-Karton Üretim ve Tüketimi (Zaimoğlu, 2012)

ALT GRUPLAR	2011 ÜRETİMİ (milyon ton)	2011 TÜKETİMİ (milyon ton)	Fazla Tüketim Yüzdeleri
Gazete Kâğıdı	-	0.487	-
Yazı-Tabı Kâğıdı	0.321	1.101	%242
Sargılık Kâğıtlar	0.031	0.197	%537
Oluklu Mukavva Kâğıtları	1.394	1.968	%41
Kraft Torba Kâğıtları	0.070	0.118	%68
Kartonlar	0.564	0.936	%66
Temizlik Kâğıtları	0.462	0.371	-
Sigara ve İnce, Özel Kâğıtlar	0.005	0.016	%227
<b>Toplam</b>	<b>2.847</b>	<b>5.194</b>	



Şekil 2.3. CEPI Anahtar İstatistikleri, Avrupa kağıt hamuru – Kağıt endüstrisi, (CEPI, 2016)

Çizelge 2.4. Türkiye'deki Selüloz Üretimi (Zaimoğlu, 2012)

ALT GRUPLAR	2011 ÜRETİMİ (milyon ton)
Mekaniksel Odun Hamuru	-
CTMP	-
Sülfat Selülozu(beyaz)	-
Sülfat Selülozu(esmer)	0.056
Kendir Selülozu	-
Saman + Kamış Selülozu	0.006
<b>Toplam</b>	<b>0.062</b>

Dünya çapında hammaddesi selüloz olan kağıtları üretmek için kullanılan su ve enerji miktarları atık kağıt kullanılarak edilen geri dönüşüm kağıdın üretiminde kullanılan su ve enerji miktarlarından yüksektir. En önemli husus olan ormanların sürdürülebilirliği açısından kağıt geri dönüşümü günümüzde önemli bir rol oynamaktadır. CEPI yıllık istatistiklerine göre, Avrupa'da kağıt geri dönüşüm oranı

1991 yılında %40.8 iken, 2015 yılında bu oran %71.5'e yükselmiştir (Tsatsis ve ark., 2017) Hindistan'da geri dönüştürülecek kâğıtların miktarının 4-5 milyon ton civarında olacağı söylenmiştir. ABD'de kâğıt geri dönüşümü 1.2 milyon ton artarak 2011 yılında %66.8 oranında artış göstermiştir. Dünya genelinde geri dönüştürülmüş kâğıt tüketimi 2006 yılında yaklaşık 200 milyon ton olup 2012 yılında 250 milyon ton olarak belirlenmiştir. Bu artıştaki en büyük rolü Çin üstlenmektedir (Saxena ve Singh Chauhan, 2017).

### **2.1.2. Türkiye için kâğıt ve karton sektörünün GZFT (SWOT) tespitleri**

Buraya kadar sunulan verilerde ve istatistiklerde Türkiye'de selüloz ve kâğıt talebine karşılık arzın yetersiz olduğu ve dışa bağımlılığın da giderek arttığı görülmektedir. Bu tespitler sonucu çözüm önerileri üretebilmek için öncelikle sektörün GZFT çıkarımının yapılmasının yararlı olacağı düşünülmüştür. Bu GZFT Türkiye Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri Sektörü Raporundan, (2012) ve Orta Anadolu İhracatçılar Birlikleri Kâğıt/ Karton Sektör Raporundan, (2014) esinlenerek hazırlanmıştır.

#### **Güçlü Yönleri;**

- Entegre kâğıt fabrikalarının bulunması ve kâğıt, karton eş zamanlı üretilebilmesi,
- Ülkenin coğrafi konumu (Avrupa, Kuzey Afrika ve Ortadoğu ülkelerine yakınlık ve birçok ülke arasında bağlantı yolu üzerinde olması),
- Atık kâğıt geri dönüşümünün teknolojik olarak başarılabilir olması,

#### **Zayıf Yönleri;**

- Türkiye de kâğıt tüketim kültür seviyesinin düşük olması,
- Türkiye'de atık kâğıt ayrı toplama, temiz ve kuru koşullarda toplama ve fabrikaya iletme kültürünün bulunmaması,
- Hammaddenin (selüloz) bir kısmı hariç dışarıdan temin ediliyor olması,
- Mevcut kâğıt üretim tesislerinin kapasitelerinin orta ölçekli olması,
- Selüloz üreten fabrikaların olmaması,
- Atık kâğıt toplama sisteminin bulunmaması, küçük ve yerel ölçekte, sistematik olmayan, dağınık toplama uygulamalarının yapılması

#### **Fırsatlar;**

- Tarım ürünlerinin ihracatında kâğıt türevi ambalajların kullanılması,

- Entegre fabrikaların bulunmasından dolayı kâğıt, karton eş zamanlı üretilmesi,
- Türkiye'nin su, kalsit gibi yeraltı kaynaklarınca zengin olması
- Yurt dışındaki kâğıt fabrikalarının kapatılması,

Avrupa ve Ortadoğu pazarlarına yakınlıktan dolayı kâğıt satışlarının bu bölgelere yönelme imkânının olması.

### **Tehditler;**

- Atık kâğıdın yurt dışına ihraç edilmesi,
- Selülozu kendi üreten, kâğıdını kendi üreten ülkelerden Türkiye'ye kâğıt ithal edilmesi,
- İthal gelen kâğıdın üretilirken düşük maliyetli olması,
- Ülke içi üretimde kâğıtta aranan kalite standartlarının ithal kâğıtlarda aranmaması ve bu yüzden iç üreticinin rekabet edememesi
- Enerji maliyetinin yurt dışındaki firmalara kıyasla yüksek olmasından dolayı iç üretim maliyetinin artması dolayısı ile rekabetin azalması,
- Türkiye de elektronik, malzeme, sistem ve mekanik anlamda üretim sektörlerinin sınırlı sayıda olması
- Su tüketen bir üretim sektörü olmasından dolayı kaynakların aşırı kullanımı,

### **2.1.3. Türkiye'de kâğıt/karton sektörünün sorunları**

**Hammadde/Yardımcı Madde ve Maliyet Sorunu:** Kâğıt üretimi için en önemli hammaddenin selüloz olması, selüloz ve kâğıt/karton üretimi için gerekli olan yardımcı kimyasalların yüksek maliyetle ithal edilmesi en önemli sorunlardan biridir. Karton üretimi için en önemli hammadde atık kâğıttır. Ülkemizdeki en büyük sorunlardan biri toplama problemi, diğeri ise enerjinin diğerk ülkelere nazaran pahalı olmasıdır.

**Teknoloji Sorunu:** Ülkemizdeki kâğıt/karton fabrikaları diğerk ülkelere nazaran orta kapasiteli olması, daha büyük, daha hızlı ve yüksek kapasitedeki kâğıt/karton makinelerinin yani ileri teknoloji makinelerin üretim sahamızda mevcut olmaması.

**Atık Kâğıt:** Özellikle karton üretimi için önemli bir hammadde olan atık kâğıt günümüzde düzenli olarak toplanamamakta ve ayrıştırılamamaktadır.

**Çevre Kirliliği:** Kâğıt/karton üretiminde kullanılan yardımcı kimyasallar ve atıksu kirliliğe sebep olmaktadır. Kâğıt üretimi esnasında kullanılan enerjinin kömür, fuel-oil, doğal gaz veya yakma tesisleri kullanılarak üretilmesi ve dolayısıyla havaya salınan emisyonlar problem teşkil etmektedir (TOBB Kâğıt ve Kâğıt Ürünleri Sektör Meclisi Teknik Komite Çalışma Raporu 2011; (Zaimoğlu, 2012).

Ülkemizdeki nüfus artışı, atık kâğıtların toplanarak geri kazanılması ihtiyacının yüksek olması, özellikle hammaddenin ithal ve pahalı olması, atık kâğıtların yeniden kullanılması açısından kağıt geri dönüşümü daha uygundur. Baskılı 1.kalite hamur kâğıt atıkların mürekkep ve kirliliklerinden arındırıp geri dönüştürülmesi bu çalışmanın ana konusudur.

Bu tür kâğıtların seçilmesindeki ana neden genel kullanım olarak fotokopi çıktıları, ofis/büro kâğıtları ve gündelik kullanılan kâğıtların daha rahat toplanabilmesi ve kullanım alanlarının geniş olmasıdır. Bunun yanı sıra ülkemizde nüfus artışı ve sektörlerde kullanımlarına göre kâğıt ihtiyacında artış gözlemlenmiştir. Türkiye'de kişi başına kâğıt 2010 yılı için 68,6 kg/yıl'dır. 2010 yılındaki nüfus 74 milyon 724 bin kişi iken 2017 yılında bu nüfus yüzde %1.067 artıp 79 milyon 766 bin kişi olmuştur (TÜİK, 2017). Bu nüfus artışıyla kişi başı kâğıt ihtiyacı 75 kg/yıl olmuştur. Türkiye'deki toplam tüketim 5.8 milyon ton olup kâğıt geri dönüşümü toplam tüketime göre %43 'tür. Kâğıt, dışa bağlı bir sektör olduğundan sıfır atık ile çalışılması gerekirken, sadece %43'lük bir geri dönüşüm döngüsü mevcuttur (Zaimoğlu, 2012; Yetiş, 2014).

Sektörde faaliyet gösteren firmaların üretim miktarı, kapasitesi, çalışan sayısı, dış ticaret hacmi gibi başlıca verilerin bir araya getirilerek sektörün hacminin belirlenmesi, kapasite artışları, genel ihtiyaçların belirlenmesinde daha sağlıklı gelişmesine önemli katkıda bulunacaktır (URL1).

Tutuş ve arkadaşları (2005)'nin çalışmasında atık kâğıtlardan üretilen kâğıtların yüzeyinin düzgün, formasyonunun daha iyi ve opaklıklarının yüksek olduğu görülmüştür. Atık kâğıt geri dönüşümünün bazı kâğıtların (gri karton) kalitesine olumlu etki yaptığı, odun hammaddesi gibi tedarik sorunun olmadığı, piyasadaki hammadde fiyat dalgalanmalarından etkilenmeyeceğini öne sürmüşlerdir.

Karşılaştırıldığında atık kâğıt hamurları ile kâğıt üretiminin, ham selüloz kullanılarak üretilen kâğıda göre %60 oranında maliyeti azalttığı öne sürmüşlerdir.

1.hamur 1.kalite kâğıt üretiminde kullanılan enerji, su ve kimyasal miktarları geri dönüşümde kullanılan enerji, su ve kimyasal miktarlarına göre yüksek olduğu için atık kâğıdın geri dönüşümü daha çevre dostu bir yaklaşım olacaktır.

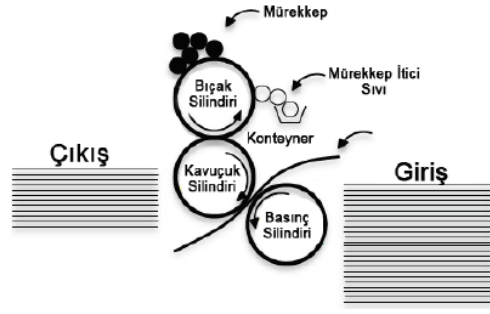
## 2.2. Baskı ve Mürekkep

Kâğıt ve kâğıttan yapılan ürün üzerine farklı amaçlar için değişik renklerde baskılar yapılmaktadır. Bu renklendirici malzemeler, akıcılığı (viskozite) farklı sıvı mürekkepler olduğu gibi, farklı tane çapı ve özelliklerde olan kuru toz parçacıklardan da (toner) oluşabilir. Örneğin püskürtmeli bir yazıcıda (inkjet) sıvı mürekkep, lazer yazıcıda ise kuru toner kâğıda transfer edilir ve bağlanır. Bu açıdan baskıyı sıvı ve kuru diye ayırmak mümkündür. Kullanılan renklendiricinin yapısına ve baskı yapılacak malzemenin tipine uygun olarak farklı tekniklerle baskılar yapılmaktadır (Karademir ve ark., 2013). Geri dönüşüm süreçlerinde baskı tekniği ve mürekkep türü büyük önem taşımaktadır. Her mürekkep türü farklı işlemler ile giderilmektedir (Yılıgör, 2010).

### 2.2.1. Baskı çeşitleri

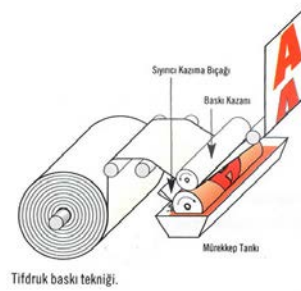
- Ofset baskı
- Tipo baskı
- Tifdurk baskı
- Flekso baskı
- Serigrafi baskı
- Dijital baskı

**Ofset Baskı Tekniği:** Ofset baskı, düz baskı sistemi olarak adlandırılmaktadır. Ofset baskı tekniği su ve mürekkebin birbiri ile karışmaması prensibinden meydana gelen bir prosestir. Diğer bir ifadeyle, basılması gereken alanlar mürekkebi yüzeyinde tutarken diğer alanlar ıslak olarak kalır. Fıskiye solüsyonu olarak adlandırılan sulu solüsyon mürekkebin tutunmasını engeller ve baskının başarılı olmasını sağlar. Plakayla temas halinde olan mürekkep ince bir film tabakası kalıncaya kadar vals mürekkep haznesine yayılır (Şekil 2.4). Fıskiye solüsyonunun yardımı ile baskı yapılacak yerler ayrılır ve plaka üzerine sabitlenen mürekkep ara merdaneye sonra kâğıda transfer edilir (Moreira ve ark., 2018).



Şekil 2.4. Ofset baskı tekniği (Moreira ve ark., 2018)

**Tifdruk(Tiefdruck) baskı tekniği:** Tifdruk kelimesi tief (çukur) ve druck (baskı) kelimelerinin birleşimi sonucu oluşmuş olup çukur baskı anlamına gelmektedir. Metal silindir kalıp lazer ile oyularak hazırlanır (Şekil 2.5). Sıvı mürekkep kalıbın oyuk kısımlarına dolar ve fazla mürekkep sıyraç ile sıyrılır. Baskı malzemesi görüntüyü direkt gravür silindirinden alır. Silindir yüzeyinden daha derinde kalan görüntülü (oyuk olan) alanlardaki mürekkebin basınçla baskı malzemesi üzerine aktarılması esasına dayanır. Baskıdan hemen önce gravür silindirinin tamamı mürekkeplendirilir. Hemen sonra sıyrıcı bir bıçak tarafından fazlalıklar alınır. Çukurda kalan mürekkep baskı malzemesine aktarılır. Görüntü baskı kalıbı üzerine lazer tekniği ile oyulur. Baskı yapılacak malzeme üzerine aktarılan mürekkep oyulmuş olan yerlerde birikmesiyle baskı işlemi gerçekleşir (Kocaman, 2014).

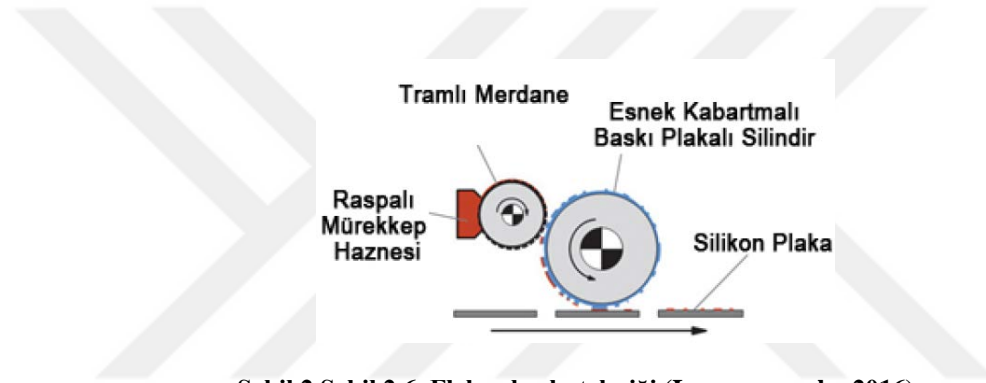


Tifdruk baskı tekniği.



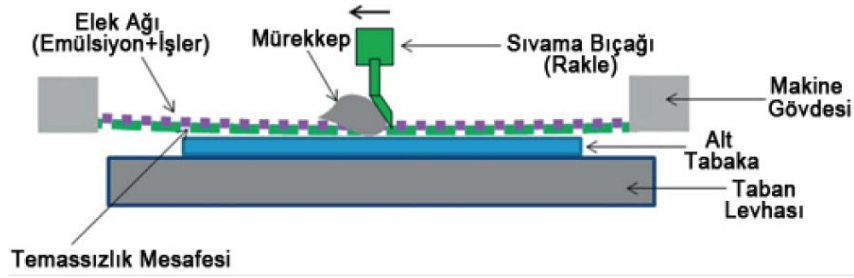
Şekil 2.5. Tifdruk (Tiefdruck) – Çukur baskı tekniği (Kocaman, 2014)

**Flekso Baskı Tekniği:** Fleksografi veya flexo olarak da adlandırılan bu teknik, paket/ambalaj sektöründe kâğıt, karton veya folyo gibi rulo malzemeler üzerine uygulanan döner baskı yöntemidir. Esnek kabartmalı baskı plakası imajın taşınmasını sağlar ve bu plakanın altındaki sıkıştırılabilir köpük bant mürekkebin homojen şekilde aktarılmasını yardımcı olur (Şekil 2.6). Spesifik miktarda viskozitesi düşük mürekkep, mürekkep haznesinden krom veya seramik kaplı çelik silindir olarak bilinen anilox valse (merdane) aktarılır. Aktarılan mürekkebin fazlası raspa bıçağı aracılığıyla uzaklaştırılır. Baskı plakasındaki yükseltilmiş alanlar, anilox vals vasıtası ile üniform katman kalınlığında ıslatılarak doğrudan alt katmana basılır. Ayrıca esnek baskı plakası, pürüzlü silikon plakası gibi bir hayli kaba olan yüzeylerde dahi homojen ve hassas baskı olanağı sağlamaktadır (Lorenz ve ark., 2016).



Şekil 2 Şekil 2.6. Flekso baskı tekniği (Lorenz ve ark., 2016)

**Serigrafik baskı tekniği:** Serigrafik baskı tekniğinde mürekkep plastik sıyırıcıdan elek gözü üzerinden çıkar. Polimer yapıdaki bir emülsiyon elek üzerindeki şekilsiz alanları engeller. Bu sayede alt tabaka kısmına gerekli olan mürekkep geçer ve baskı işlemi gerçekleşir (Şekil 2.7). Serigrafik baskı tekniğinin düşük maliyet, basit uygulama, az atık gibi avantajları olmasına rağmen çözünürlüğü (tram sıklığı) diğer baskı teknikleri (fleksografik baskı tekniğinde 30  $\mu\text{m}$ , tıfdruk baskı tekniğinde 40  $\mu\text{m}$ ) ile karşılaştırıldığında 100  $\mu\text{m}$  ile sınırlıdır. Baskı sırasında elek gözeneklerinin tıkanmasını önlemek amacıyla zararlı ağır solventler kullanılmaktadır. Buna ek olarak, döner baskı tekniklerinde hız 100mm/dk iken serigrafik baskıda 30mm/dk ile sınırlıdır (Faddoul ve ark., 2012; Shin ve ark., 2018).



Şekil 2.7. Serigrafi baskı tekniği (Faddoul ve ark., 2012)

**Dijital Baskı Tekniği:** Dijital baskı tekniğinde, diğer baskı yöntemlerindeki gibi renk ayrımı veya baskı işlemini gerçekleştirmek için özel bir kalıba ihtiyaç yoktur. Dijital baskısı yapılacak iş baskı makinesinin hafızasına mevcut yazılım yoluyla gönderilir ve baskı işlemi gerçekleştirilir. Baskı işlemlerini dijital bir alt yapı ile gerçekleştirilmesine dijital baskı adı verilmektedir (Özmen, 2015).

### 2.2.2. Mürekkep

Mürekkep genel olarak kâğıtlar üzerinde bir desen ve şekil oluşturmak için kullanılan renkli materyal (sıvı veya toz) olarak ifade edilmiştir. Baskı işleminde, matbaacılıkta 4 ana renk vardır. Bunlar Cyan (Mavi), Yellow (Sarı), Magenta (Kırmızı), Black (Siyah) olarak ayrılır (Şekil 2.8). Mürekkep türleri; Su bazlı, Solvent bazlı ve Yağ bazlı olarak 3 kategoriye ayrılmaktadır (Çizelge 2.5).



Şekil 2.8. Matbaacılıkta mürekkebi oluşturan 4 ana renk (Yetiş, 2014)

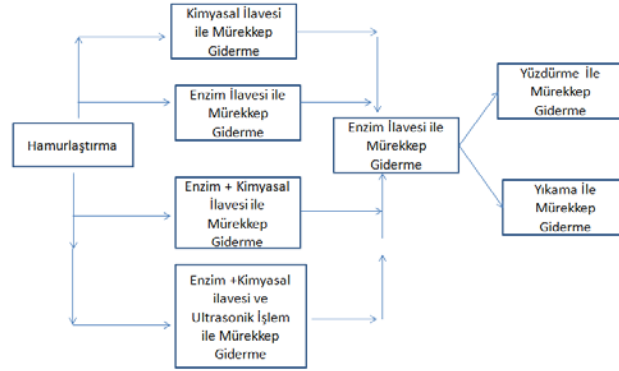
Çizelge 2.5. Çözücü bileşene göre mürekkep tipleri ve baskı materyalleri

Mürekkep Türü	Baskı Yapılabilen Materyal
Su bazlı	Oluklu mukavva, Kuşe ve test liner (kâğıt geri dönüşümünden elde edilen iki katlı kahverengi kâğıt)
Solvent bazlı	PVC, Metalize PVC, OPP, PP, PE, Kâğıt, PVC kaplı kâğıt, Polyester, Selofan, LDPE, HDPE
Yağ bazlı	Tüm kâğıt çeşitleri, Kartonlar



### 2.3. Mürekkep Giderme

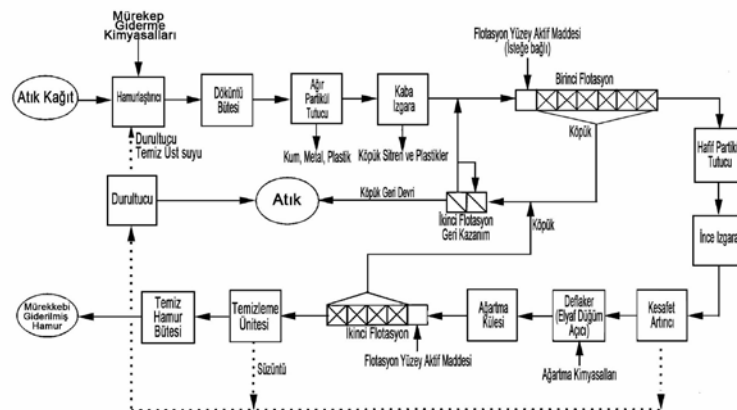
Mürekkep giderme işlemleri; kimyasal, enzimatik, ultrasonik işlem ve bunların kombinasyonları kullanılarak yapılmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Mürekkep giderme teknikleri

#### 2.3.1. Mürekkep gidermede kimyasalların rolü

Mürekkep giderme (de-inking), kâğıt geri dönüşüm sürecinde önemli bir adımdır. Mürekkep parçacıklarının elyaf yüzeyinden ayrıştırılması ve ardından müstakil mürekkep parçacıklarının yıkama, yüzdürme vb. yöntemlerle uzaklaştırılması işlemidir (Virk ve ark., 2013); (Şekil 2.10). Mürekkep giderme işlemleri 1930'lu yıllara dayanmaktadır. 1952 yılında ilk ticari flotasyonun ABD'de bir kâğıt fabrikasında kurulduğu bilinmektedir (Jiang ve Ma, 2000). Bu işlemlerde, çevre açısından tehlikeli olan sodyum hidroksit, sodyum silikat, hidrojen peroksit, klor bazlı kimyasallar ve kenetleme kimyasalları kullanılmaktadır (Virk ve ark., 2013); (Çizelge 2.6).



Şekil 2.10. Örnek bir De-inking Prosesi (Jiang ve Ma, 2000)

Çizelge 2.6. Mürekkep giderme işlemlerinde kullanılan kimyasallar (Jiang ve Ma, 2000)

Kimyasal Adı	Bileşik Formülü	Fonksiyon	Kullanım Türü	Dozaj (% lif)	Ekleme Noktası
Sodyum Hidroksit	NaOH	Liflerin şişmesi – Mürekkep sökme –Mürekkep dağıtma	Tüm aşamalarda	0–5	Pulper
Sodyum Silikat	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Nemlendirme – Mürekkep dağıtma – Oksijen stabilizasyonu –Alkalinite ve tamponlama	Odun hamuru sınıflarında / Hafif mürekkepli kütük	0.5–5	Pulper
Sodyum Karbonat	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Alkalinite – Tamponlama – Su yumuşatma	Odun hamuru sınıflarında / Hafif mürekkepli kütük	0.25–5	Pulper
Hidrojen Peroksit	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Liflerin sararmasını önleme	Odun hamuru sınıflarında/ Renkli kütükler	0.5–2.5	Pulper
Sodyum Hidrosülfid	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Ağartma – Renk soyma	Odun hamuru sınıflarında/ Renkli kütükler	0.5–1.5	Pulper / Pulper depolama
Sodyum ve Potasyum fosfat türevleri	NaPO <sub>3</sub> / Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	Metal iyon kenetleme – Renk dağıtma – Alkalinite ve tamponlama - Yıkama	Tüm aşamalarda	0.2–1	Pulper
Şelatlama ajanı	EDTA DTPA	Yıkama – Metal iyon şelasyon – Peroksit dengeleme	Tüm aşamalarda	0–0.5	Pulper
Kalsiyum iyonları	CaCl <sub>2</sub>	Yağ asidi/ sabun toplayıcı	Odun hamuru sınıflarında	90–300 ppm	Flotasyon Pulper
Hidrofilik Polimer	C <sub>5</sub> H <sub>7</sub> NaO <sub>3</sub> / C <sub>6</sub> H <sub>15</sub> NaO <sub>8</sub>	Mürekkebin tekrar çökmesini önleme	Tüm aşamalarda	0.1–0.5	Pulper
Yağ asitleri ve sabun	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> / C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	Renk toplama/ Flotasyon köpüğü	Tüm aşamalarda	0.5 - 3	Pulper Flotasyon
Solventler	C <sub>1</sub> – C <sub>14</sub> alifatik doymuş hidrokarbon	Mürekkep yumuşatma/çözünmüş mum	Odunsuz sınıflar	0.5 - 2	Pulper

Çalışmada NaOH ve CaO kullanılmıştır. Bu kimyasalların bileşik formülleri şekil 2.11'de verilmiştir. Yüksek pH koşullarında yapılan mürekkep giderme işlemleri kâğıt hamurunda ve üretilen kâğıtlarda, sararmaya ve düşük parlaklıklara neden olabilmektedir (Lee ve ark., 2013). Bunun sebebi sodyum hidroksit sulu ortamın pH'ını değiştiren ve alkali hale getiren bir kimyasaldır. Alkali hale gelen kâğıt elyafları yumuşar ve şişer; pH'ın 10.2 seviyesine kadar parlaklık optimum seviyededir. pH seviyesinin artması ile parlaklık değerlerinde azalma gerçekleşir. Bu duruma alkali kararma adı verilir (Saxena ve Chauhan, 2017). Bu soruna çözüm olarak, mürekkep giderme çalışmalarında enzim kullanımı ile bu dezavantajların ortadan kalkabileceği ve mürekkep giderme işlemi en zor olan atık ofis kâğıtlarından daha parlak ve daha beyaz kâğıt elde edilebileceği söylenmektedir (Lee ve ark., 2013).



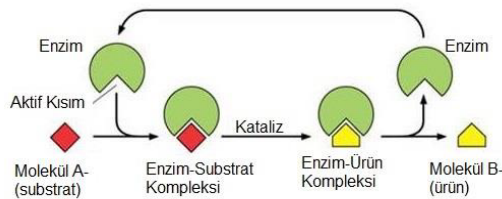
Şekil 2.11. (a) NaOH bileşik formülü, (b)CaO bileşik formülü

### 2.3.2. Mürekkep gidermede enzimlerin rolü

Enzimler, yaşayan mikroorganizmalar (bakteriler, virüsler, mantarlar) tarafından salgılanan protein ve molekül olarak sınıflandırılan kimyasal yapılardır. Biyolojik sistemlerin reaksiyon katalizörleri olarak bilinen enzimler, kimyasal enerjinin depolanması, besleyici moleküllerin yıkımı gibi birçok tepkime basamaklarını katalize ederler. Enzimler ile katalize olarak tepkimeye dâhil olan kimyasal moleküllere substrat denir (Pektaş, 2009; Haliskaranfil ve Arıkan, 2012). Şekil 2.12'de enzim çalışma mekanizması gösterilmiştir.

Enzimler kâğıt sektöründe çeşitli amaçlarla uzun süredir kullanılıyor olmalarına rağmen, mürekkep giderme işlemlerinde yeni bir uygulamadır. Mürekkep giderme işlemlerinde hangi çeşit enzimin kullanılacağı, atık kâğıdın ve üzerinde bulunan baskı mürekkebinin türüne bağlı olarak değişebilmektedir (Yılıgör, 2010).

Enzimler lignin, selüloz ve hemiselülozu parçalanması bakımından özellikle; pişirme, ağartma ve öğütme işleminde kullanılmaktadır. Hemiselülozlar selülozlardan daha karmaşık bir yapıya sahip olduğundan, tam veya kısmi bozulma ve modifikasyonları için daha karmaşık enzim sistemleri gerektirir. Hemiselülazlar lignin-karbonhidrat kompleksleri üzerinde hareket eder ve mürekkep parçacıklarını lif yüzeylerinden ayrılmasını sağlar (Saxena ve Chauhan, 2017). Kâğıt fabrikalarında da mürekkep giderme işlemlerinde kullanılmaktadır (Karademir ve ark., 2002).



Şekil 2.12. Enzimlerin çalışma sistemi (Fidancı, 2009)

Enzimler, kimyasalların tüketimini azaltarak, çevre dostu ve proses maliyetini düşüren bir mürekkep giderme aracıdır (Ibarra ve ark., 2012). Enzimler doğrudan lif veya mürekkep üzerinde etki edebilirler. Mürekkep giderme için kullanılan çeşitli enzimler arasında selülozlar, ksilanazlar, amilazlar, b- gluktonaz ve hemiselülaz bulunmaktadır (Çizelge 2.7).

**Çizelge 2.7. Mürekkep giderme işlemlerinde kullanılan enzimler (Yılgör, 2010; İmamoğlu ve Peşman, 2012; Karahan, 2017b)**

Enzim adı	Etkileyen Faktörler	Fonksiyon	Ekleme Noktası
Ksilanaz	pH	Lif yüzeyindeki selüloz fibrillerini uzaklaştırarak baskı mürekkeplerine ait partiküllerin liflerden ayrılmasını sağlarlar. Ayrılmış olan mürekkep partikülleri, hidrofobik bir yapıya kavuşarak lif süspansiyonundan daha kolay ayrılabilir hale gelmelerini sağlarlar. Yüzdürme ve yıkama yöntemleri için mürekkep partiküllerinin, boyutlarını uygun hale getirirler.	Hidropulper De-inking İşlemleri Liflendirme öncesi ve sonrası
Selülaz	Sıcaklık		
Hemiselülaz	Enzim dozajı		
Amilaz	Enzim işlem süresi		
Lakkaz	Mekanik işlem		
B-gluktonaz			

**pH:** Sexena ve Chauhan'a göre selülaz ve hemiselülaz enziminin 5-5,5 pH verimli çalıştığını öne sürmüşlerdir (Saxena ve Chauhan, 2017). Enzimlerle ilgili yapılan diğer bir çalışmada amilaz enziminin pH'ının 9-10, selülaz enziminin pH'ını 8,5-9,5 değerlerinde optimum koşulları sağladığını belirtmişlerdir (Aygan ve Arıkan, 2008). Lasheva ve ark. ksilanaz enziminin 3,5-7, amilaz enziminin ise 7 pH'da verimli olduğunu öne sürmektedir (Lasheva ve ark., 2013). Topuz ve ark. selülaz enziminin pH 5-11 aralığında çalışılabileceğini savunmaktadır (Topuz ve ark., 2007). Başka bir araştırmada ise selülaz ve amilaz enziminin optimum pH'nın 8 olduğunu belirtmişlerdir (Haliskaranfil ve Arıkan, 2012).

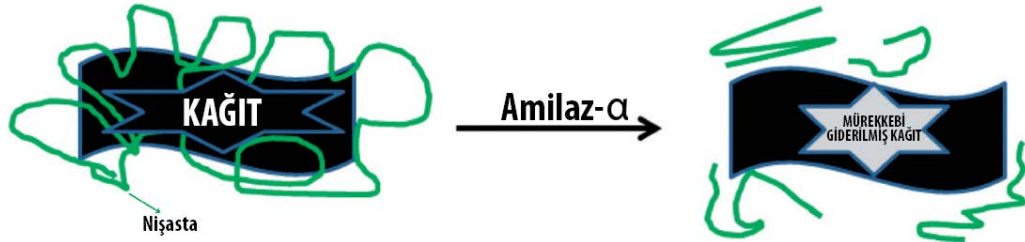
**Sıcaklık:** Lasheva ve ark. ksilanaz enziminin optimum sıcaklığının 35 - 60°C arasında, amilaz enziminin ise 50°C başarılı olduğunu bildirmiştir (Lasheva ve ark., 2013). Aygan ve Arıkan, selülaz ve amilaz enzimlerinin optimum sıcaklıkları sıra ile 25 -37°C ve 37°C olduğu bildirmişlerdir (Aygan ve Arıkan, 2008). Sexena ve Chauhan selülaz enziminin optimum sıcaklığının 30°C olduğunu belirtirken Lee ve ark. selülaz enziminin maksimum aktiviteyi optimum sıcaklık değeri olan 55 - 65°C'de gösterdiğini belirtmiştir (Lee ve ark., 2013; Saxena ve Chauhan, 2017). Başka bir çalışmada ise selülaz enziminin 30-40°C, amilaz enziminin ise 30-50°C'de aktivitelerinin yüksek olduğunu bildirmiştir (Haliskaranfil ve Arıkan, 2012).

### ***Amilaz;***

Amilazlar, nişasta ve benzer polimer moleküllerini parçalayan “glikozid hidrolaz” olarak da bilinen glikoz birimlerinden oluşan enzimlerdir. Amilaz, amilopektin ve glikojeni oluşturan glikoz birimleri arasındaki glikozidik bağları parçalayabilme yeteneğine sahiptir (Şekil 2.13). Doğada bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalarda bulunur (Aygan ve Arıkan, 2008).

Dünya enzim piyasası pazarının %25-33'lük kısmını amilaz enzimi oluşturmaktadır. Nişasta hidrolizinde, kimyasalların yerini enzimatik hidroliz uygulamaları almıştır (Rezaei ve ark., 2010).

Alfa-Amilazlar kâğıdın kaplanması esnasında nişastanın modifikasyonu ile kâğıt ve kâğıt hamuru endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu nişasta modifikasyonu kâğıdı mekanik hasarlara karşı korumaktadır. Ayrıca son ürün olan kâğıdın sertliğini, direncini ve kalitesini de artırmaktadır (Aygan ve Arıkan, 2008).



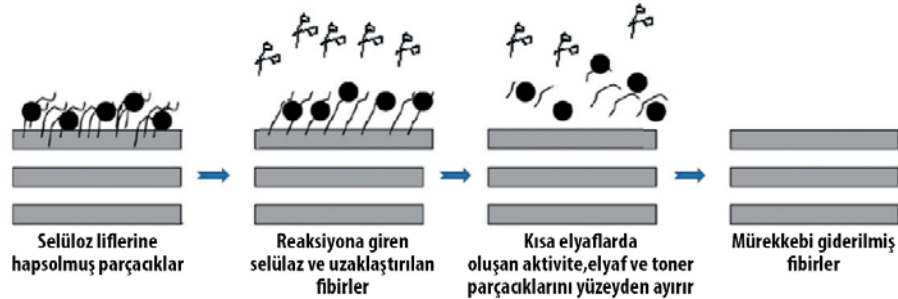
Şekil 2.13 Amilazın çalışma mekanizması (Saxena ve Chauhan, 2017)

### ***Selülaz;***

Selülazlar, selülozu hidrolize ederek glikoza parçalayabilen enzim türüdür. Daha çok bakteriler ve funguslar tarafından üretilirler ve genellikle bir selülaz sistemi olarak birden fazla farklı enzimden oluşarak biyoteknolojik uygulamalarda kullanılabilirler (Topuz ve ark., 2007).

Biyolojik parçalanmalara dayanıklı olan ve çözünmez yapıda bulunan selüloz, glikoz birimlerinin  $\beta$ -1,4 glikozik bağların lineer bağlanması ile oluşmaktadır. Selüloz içerisindeki  $\beta$ -1,4 bağları selülaz enzimi yardımı ile hidrolize edilebilmektedir (Haliskaranfil ve Arıkan, 2012). Selüloz liflerine hapsolmuş parçacıklar, reaksiyona giren selülaz enzimi ile uzaklaştırılır (Şekil 2.14). Selülazlar, kimya, tekstil, hayvan yemi üretimi, biyo-yakıt, gıda, kâğıt ve kâğıt hamuru endüstrisi, tıbbi ve farmasötik endüstrisi, genetik mühendisliği, kirlilik giderimi ve atıkların giderimi gibi alanlarda kullanılmaktadır (Bhat ve Bhat, 1997).

Aynı zamanda evsel ve endüstriyel kaynaklı biyolojik atıkların çoğunluğunu kâğıt atıkları oluşturmaktadır. Atık kâğıtların geri dönüşümünde çoğunlukla farklı selüloz modelleri kullanılmaktadır. (Topuz ve ark., 2007; Aygan ve Arıkan, 2008).



Şekil 2.14. Selülazın çalışma mekanizması (Saxena ve Chauhan, 2017)

Selüloz ve hemiselüloz enzimleri kullanılarak yapılan mürekkep giderme çalışmalarında en yüksek verim lazer baskılı kâğıtlarda gözlemlenmiştir. Bununla birlikte en düşük verim gazete kâğıdında elde edilmiştir. Enzimatik süreçte, mürekkebi giderilen kâğıdın parlaklık değeri artış göstermekle birlikte yırtılma mukavemeti, patlama mukavemeti ve kopma boyu mukavemeti değerinde azalma tespit edilmiştir. Farklı baskı teknikleri kullanılan kâğıtlarda mürekkep giderme çalışmalarının yapılması ve farklı tür enzim çalışmaları ile kâğıdın kalitesi üzerindeki etkilerinin araştırılması gerektiği belirtilmiştir (Lee ve ark., 2013).

Ofis atık kâğıtlarından selüloz enzimi kullanılarak yapılan mürekkep giderme çalışmalarında parlaklık değerinde artış tespit edilmiştir. Farklı baskı teknikleri kullanılan atık ofis kâğıtlarına optimum koşullar altında farklı enzimler ile mürekkep giderme işlemleri uygulanarak mukavemet değerleri üzerinde çalışılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Tsatsis ve ark., 2017).

Karahan tarafından yapılan çalışmada sodyum hidroksit, hidrojen peroksit, sodyum silikat, oleik asit ve kalsiyum klorür kimyasalları ile ksilanaz,  $\beta$ -gluktonaz, selüloz ve amilaz enzimleri kullanılarak kâğıdın optik özellikleri üzerindeki başarısı çalışılmıştır. En başarılı sonuçlar selüloz enziminde elde edilmiştir. Selüloz enzimi, toner lif bağını kopararak tonerin uzaklaştırılmasında daha yüksek başarı sağladığı ve bundan dolayı selüloz enziminin beyazlık ve parlaklık değerlerine etkisinin daha fazla olduğu ifade edilmiştir. Aynı zamanda kimyasal ve enzim çalışmalarının da başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Karahan, 2017a).

Amilaz enzimi kullanılarak mürekkep giderme çalışmasında dozun artması ile ISO Whiteness ve ISO Brightness değerlerinde artış gözlemiştir. Başlangıçta, yırtılma mukavemet değerlerinde önce bir artış görüldüğü, sonrasında da bir azalma olduğu görülmüştür. Fakat kopma boyu mukavemetinde ise dozun artması ile ilk önce bir azalma daha sonrasında bir artış görüldüğü sonucuna varılmıştır (Lasheva ve ark., 2013).

Selülaz, hemiselülaz ve lipaz enzimlerinin farklı kombinasyonları kullanılarak lazer baskılı kâğıtlardan mürekkep giderme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Selülaz ve hemiselülaz enzimlerinin kimyasal mürekkep giderme işlemleri ile giderilmesi zor olan lazer baskılı kâğıtlar için kullanılmasının daha başarılı olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte lipaz enzimi, selülaz ve hemiselülaz enzimlerinin mürekkep giderme verimini düşürmesinden dolayı lazer baskılı atık kâğıtlarda kullanılmasının uygun olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada elde edilen parlaklık değerlerinin yeteri kadar yüksek olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak enzimatik hidroliz işlemi ve flotasyon işlemi gibi mürekkep giderme işlemlerinin verimliliğinin artırılması gerektiği ifade edilmiştir. Bu bağlamda, çevre dostu olmayan kimyasal uygulamalarının yerini alternatif bir uygulama olan enzim kullanımının alması gerektiği belirtilmiştir (Keong ve ark., 2013).

### **2.3.3. Mürekkep gidermede Ultrasonik işlemin rolü**

Ultrases, insan kulağının işitemeyeceği kadar yüksek frekanslı ses dalgalarına verilen isimdir. Ses, cisimlerin titreşimi sonucu oluşan akustik dalga özelliğinde bir enerji türüdür. Ses dalgaları üç temel sınıfa ayrılır;

1. Infrases; Frekansı 20 Hz veya altındaki ses,
2. İşitilebilir ses; Frekansı 20 ile 20.000 Hz arasında olan işitilebilir ses,
3. Ultrases; 20.000 frekansın üzerinde olan işitilemeyen sestir.

Ultrasonik enerjinin sıvı ortamda bulunan materyale uygulanması ile meydana gelen etkiler üç sınıfa ayrılmıştır (Suslick, 1989). Bunlar;

1. Şok ses dalgası ile malzeme yüzeyinde belli bir yıkım ve bozunma oluşur,
2. Sıvı içerisindeki parçacıkların hızla çarpışması görülür,
3. Ses enerjisine dayanamayan parçacıklarda parçalanma ve küçülme görülür.

Kağıt sektöründe pişirme ve ağartma işlemleri, kağıt formasyonlarının kalitesi gibi üretim ve proses geliştirme alanında ultrasonik enerji çalışmaları yapılmaktadır. Fakat kâğıt endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir mürekkep giderme uygulaması değildir. Ultrasonik enerji, liflerin yüzeyinde aşınmalara (kavitasyon) yol açarak, liflerin su emiciliğini arttırdığı, bu sebeple daha çabuk ıslanabilir ve kimyasal emiciliğinin arttığı belirtilmiştir. Ultrasonik enerji ile elde edilen geri dönüşüm kâğıdının parlaklık ve bazı mukavemet değerlerinde iyileştirmeler olduğu öne sürülmüştür. Mürekkep parçacıklarının liflerden daha kolay ayrılmasına katkıda bulunduğu ve ayrılan parçacıklarında ufalanmasını sağladığı bildirilmiştir (Karademir ve ark., 2013).

Toner mürekkebi içerisinde polietilen ve propilen gibi kimyasal işlemlere duyarlı maddelerin ultrasonik enerji ile giderilebileceği, elyaf yüzeylerindeki mürekkeplerin gideriminin sağlandığı öne sürülmüştür. Ultrasonik işlem uygulaması kimyasal kullanımı azalttığı için çevre dostu bir uygulama olacağı söylenmektedir (Saxena ve Chauhan, 2017).

#### **2.4. Farklı Mürekkep Giderme İşlemlerinin Geri Dönüşüm Kâğıt Kalitesine Etkileri**

Literatürde yapılan çalışmalarda atık kâğıtlara hamurlaştırma işlemi yapıldıktan sonra kimyasal ilavesi, enzim ilavesi, enzim + kimyasal ilavesi ve enzim+ kimyasal + ultrasonik işlem uygulamaları yapılarak mürekkep giderme çalışmalarının üretilen kâğıda, kâğıt hamuruna ve flotasyon çamuruna etkileri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamaların sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla Çizelge 2.8 oluşturulmuştur.

Kimyasal işlem ile mürekkep giderilmesindeki başarılar sırası ile ISO parlaklığı %83,77 (Karahana, 2017a), patlama indisi 1,53 kPa.m<sup>2</sup>/g, gramaj 69,33 g/m<sup>2</sup>, kopma indisi 28,05 N.m/g, yırtılma indisi 6,53 mN.m<sup>2</sup>/g olarak elde edilebilmiştir (İmamoğlu ve Peşman, 2012). Enzim işlemi ile ISO parlaklığı %81, ISO beyazlığı %78,5 (Karahana ve ark., 2015). Enzim + Kimyasal işlem ile ISO parlaklığı %83,1, ISO beyazlığı %83,7 değerleri elde edilebilmiştir (Karahana, 2017a). Enzim+ Kimyasal + Ultrasonik işlem ile yapılan çalışmalarda, ISO parlaklığı %83, ISO beyazlığı %81 elde edilebilmiştir (Karahana, 2017a). Enzim kullanılarak yapılan çalışmalarda patlama mukavemeti 1,4 kgf/cm<sup>2</sup>, kopma boyu mukavemeti 3110m olarak elde edilmiştir (Saxena ve Chauhan, 2017). Yapılan başka bir enzim+kimyasal çalışmasında yırtılma mukavemeti 49



%elmandorf, kopma mukavemeti 3500m, ISO parlaklığı 87,5 olarak elde edilmiştir (Lasheva ve ark., 2013) (Çizelge 2.8). Yapılan çalışmalarda elde edilen değerlerin 1.kalite kağıt değerlerinin altında olduğu gözlenmiştir (Çizelge 3.3). Yapılacak tez çalışmasında kopma boyu mukavemeti, yırtılma mukavemeti, patlama mukavemeti ve özellikle CIE whiteness, ISO whiteness, ISO brightness ve opasite parametrelerinin 1.hamur 1.kalite sınır değerlerinin arasında kalıp kalmayacağı kimyasal ve enzim yöntemleri kullanılarak kıyaslanacaktır.

Çizelge 2.8. Mürekkep giderme teknikleri ve başarı değerleri

Uygulanan Metot/Bakılan Parametre	K		E		E + K		E + K + Uİ	
	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek	En Düşük
Hamur verimi, %	79,79 <sup>[5]</sup>	72,97 <sup>[5]</sup>	87,3 <sup>[1]</sup>	78,4 <sup>[1]</sup>	83,7 <sup>[1]</sup>	73,7 <sup>[1]</sup>	71,9 <sup>[1]</sup>	69,4 <sup>[1]</sup>
Flotasyon Çamur miktarı, g	20 <sup>[5]</sup>	14,3 <sup>[5]</sup>	8,2 <sup>[1]</sup>	3 <sup>[1]</sup>	14,9 <sup>[1]</sup>	7,8 <sup>[1]</sup>	15,7 <sup>[1]</sup>	14,6 <sup>[1]</sup>
Hamurda inorganik madde, %	-	-	13,3 <sup>[2]</sup>	11,3 <sup>[2]</sup>	-	-	-	-
Hamurda anorganik madde, %	-	-	-	-	11 <sup>[2]</sup>	6,8 <sup>[2]</sup>	8,2 <sup>[2]</sup>	6,8 <sup>[2]</sup>
Flotasyon Çamurunda Anorganik Madde, %	-	-	64,6 <sup>[2]</sup>	63 <sup>[2]</sup>	58,9 <sup>[2]</sup>	51,2 <sup>[2]</sup>	51,8 <sup>[2]</sup>	51,2 <sup>[2]</sup>
>0,02 mm <sup>2</sup> kirlilikler, adet	134249 <sup>[4]</sup>	112325 <sup>[4]</sup>	13110 <sup>[4]</sup>	10822 <sup>[4]</sup>	11000 <sup>[3]</sup>	29000 <sup>[3]</sup>	6000 <sup>[3]</sup>	11000 <sup>[3]</sup>
>0,004mm <sup>2</sup> kirlilikler, adet	478854 <sup>[4]</sup>	425734 <sup>[4]</sup>	126239 <sup>[4]</sup>	105304 <sup>[4]</sup>	450000 <sup>[3]</sup>	230000 <sup>[3]</sup>	230000 <sup>[3]</sup>	230000 <sup>[3]</sup>
Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	0,487 <sup>[4]</sup>	0,480 <sup>[4]</sup>	-	-	-	-	-	-
Uzama, %	1,65 <sup>[4]</sup>	1,56 <sup>[4]</sup>	-	-	-	-	-	-
Öğütüm Derecesi, SR <sup>o</sup>	28 <sup>[10]</sup>	18 <sup>[4]</sup>	-	-	-	-	-	-
Gramaj, g/m <sup>2</sup>	69,33 <sup>[4]</sup>	66,21 <sup>[4]</sup>	-	-	-	-	-	-
Kalınlık, µm	143,34 <sup>[4]</sup>	135,90 <sup>[4]</sup>	-	-	-	-	-	-
Yırtılma Mukavemeti %elmandorf	64 <sup>[4]</sup>	54,8 <sup>[4]</sup>	62 <sup>[9]</sup>	54,2 <sup>[9]</sup>	49 <sup>[10]</sup>	45,51 <sup>[10]</sup>	-	-
Patlama Mukavemeti kgf/cm <sup>2</sup>	1,5 <sup>[4]</sup>	1,02 <sup>[4]</sup>	1,4 <sup>[11]</sup>	1,06 <sup>[11]</sup>	-	-	-	-
Kopma Mukavemeti (m)	2860 <sup>[4]</sup>	2495 <sup>[4]</sup>	3110 <sup>[11]</sup>	2446 <sup>[9]</sup>	3500 <sup>[10]</sup>	2600 <sup>[10]</sup>	-	-
CIE Beyazlığı	135,97 <sup>[4]</sup>	120 <sup>[8]</sup>	-	-	-	-	-	-
ISO Beyazlığı (Whiteness)	-	-	90 <sup>[12]</sup>	79 <sup>[12]</sup>	81,37 <sup>[3]</sup>	81 <sup>[3]</sup>	81,3 <sup>[3]</sup>	80,5 <sup>[3]</sup>
ISO Parlaklığı (Brightness)	97,63 <sup>[4-7]</sup>	63,8 <sup>[3]</sup>	83,6 <sup>[6]</sup>	74 <sup>[3]</sup>	87,5 <sup>[10]</sup>	83,4 <sup>[3]</sup>	83,06 <sup>[3]</sup>	82,55 <sup>[3]</sup>
Opasite %	93,82 <sup>[5]</sup>	91,72 <sup>[5]</sup>	-	-	-	-	-	-

K: Kimyasal kullanımı, E: Enzim kullanımı, Uİ: Ultrasonik işlem

[1]:(Karahan, 2017b), [2]:(Karahan ve ark., 2015),[3](Karahan, 2017a),[4]:(İmamoğlu ve Peşman, 2012),[5]:(Yetiş, 2014), [6]:(Lee ve ark., 2011), [7]:(İmamoğlu ve ark., 2013), [8]:(İmamoğlu ve ark., 2013), [9]:(Lee ve ark., 2013),[10]:(Lasheva ve ark., 2013), [11]:(Saxena ve Chauhan, 2017), [12]:(Park ve Park, 1999).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Çalışma materyali olarak, Kombassan Kâğıt A.Ş.'de ofislerden temin edilen, lazer ve toner baskılı atık kâğıtlar, sodyum hidroksit (NaOH) ve kalsiyum oksit (CaO) kimyasalları ve Çizelge 3.1'de özellikleri verilen Maximize 2530 selüloz ve Buzyme 2506 amilaz- $\alpha$  enzimleri kullanılmıştır

Çizelge 3.1. Selüloz ve amilaz- $\alpha$  enzimin msds bilgileri

Üretici	Ticari adı	Ürün adı	Tanımlayıcılar	pH	Yoğunluk Değeri
Buckman	Maximize 2530	Selüloz 1,2-benzotiyazol-3 (2H)-on	CAS: 9012-54-8 Türkiye envanteri 232-734-4 GHS Kimlik Numarası 647-002-00-3  CAS: 2634-33-5 Türkiye envanteri 220-120-9 GHS Kimlik Numarası 613-088-00-6	5-7	1,03 -1,05 g/cm <sup>3</sup>
Buckman	Buzyme 2506	Amilaz- $\alpha$	CAS: 9000-90-2 Türkiye envanteri 232-565-6 GHS Kimlik Numarası 647-015-00-4	7-8,5	1,13 - 1,17 g/cm <sup>3</sup>

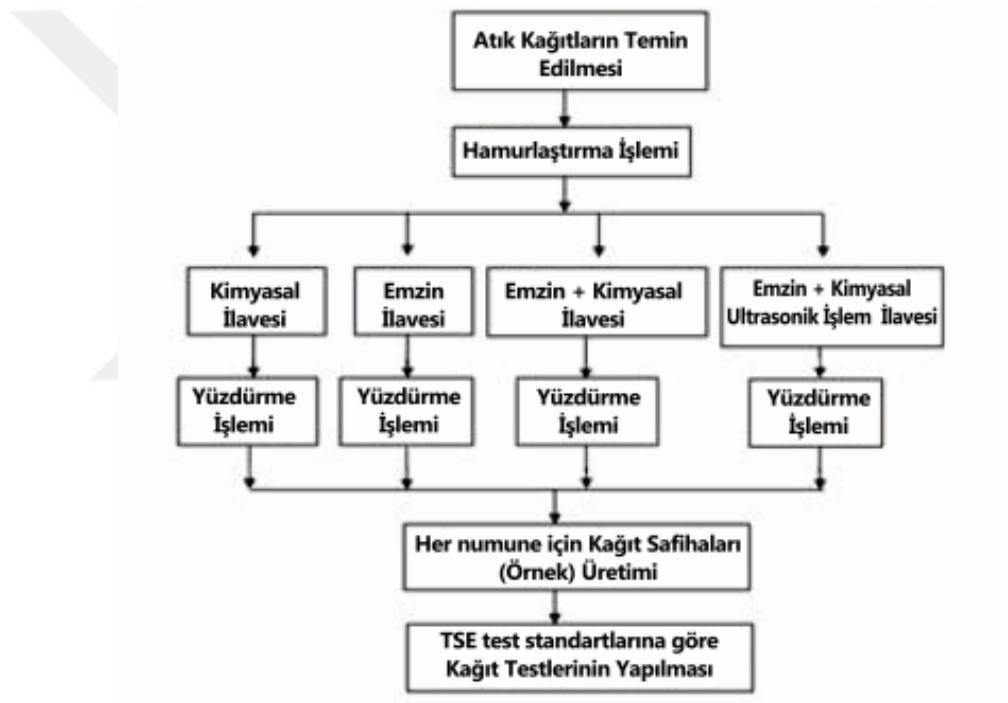
NaOH ve CaO seçilmesinin nedeni, NaOH liflerin şişmesi, mürekkep giderme ve mürekkebi dağıtma özelliklerine sahip olması ve mürekkep giderme işlemlerinde her aşamada kullanılabilir olmasından dolayıdır. CaO'in içerisindeki Ca<sup>+2</sup>'nin bağlayıcı özellik göstererek mukavemet değerlerinde bir artış göstereceği düşünüldüğü için seçilmiştir (Jiang ve Ma, 2000).

Selüloz ve amilaz- $\alpha$  enzimlerinin, diğer enzimler arasında literatürdeki çalışmalarda başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bu başarının yanı sıra 1.hamur 1.kalite kâğıt atıklarındaki başarının kapsamlı bir çalışma yapılarak incelenmediği, kâğıt kalite parametrelerinin ayrı ayrı çalışıldığı gözlemlendiğinden selüloz ve amilaz- $\alpha$  enzimlerinin her ikisi için de tüm parametrelerin birden çalışılıp literatüre kazandırılması hedeflenmiştir (Karahan, 2017; Barbaric mikocevic ve ark., 2012; Karahan ve ark., 2015; Virk ve ark., 2013; Tsatsis ve ark., 2017). Ayrıca bu enzimler ile

kimyasalların ve ultrases ön işleminin birlikte denenerek aynı parametrelerin bu koşullardaki değişimi de literatürde yer almadığından bu çalışmada bunlara yer verilmiştir (Şekil 3.1).

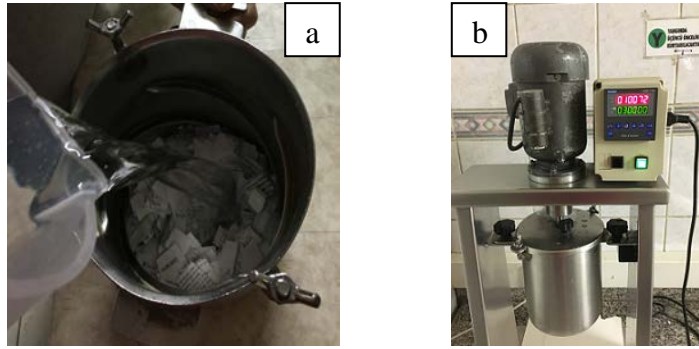
### 3.2. Yöntem

Mürekkep giderme çalışmalarında, üzerine siyah toner ve lazer baskılar yapılmış olan atık ofis kâğıtları hamurlaştırıldıktan sonra kimyasal, enzim, enzim - kimyasal, enzim - kimyasal - US işlemleri uygulanarak flotasyon (yüzdürme) ile mürekkep giderme işlemleri yapılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışmada uygulanan laboratuvar iş akış şeması

Çalışma laboratuvar koşullarında (Sıcaklık  $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ , Nem %50 rH (bağıl nem)), işletme suyu kullanılarak (İletkenlik  $2800\ \mu\text{s}$ , sertlik  $5-12^{\circ}\text{F}$ , pH 7.33) yapılmıştır. Hamurlaştırma için önce 30 gram renkli baskılı, 30 gram siyah baskılı kâğıt el ile 1-2 cm'lik parçalara ayrılıp disintegratör haznesine konulmuş, 2 litre su eklenip, dakikada 30000 devirde 10 dakika boyunca hamurlaştırma işlemi yapılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. (a) 1-2 cm'lik parçalanmış atık kağıtlar, (b) parçalanmış atık kağıtların disintegratör açılması (ET Enriko, 20144 Milano)

Yapılan deneysel çalışmalarda, mevcut flotasyon sistemlerinden esinlenerek deney düzeneği oluşturulmuştur. (Şekil 3.2). 20 litrelik flotasyon (yüzdürme) tankı emme-basma işlemi için pompa, hava miktarını ayarlamak için manometre, su ve hamur geçişlerini sağlamak için hortumlar kullanılmıştır. Hava basıncı 0,12 bar olarak ayarlanmıştır.

Disintegratörde açılan kâğıt hamuru yüzdürme işlemine tabi tutulmak için havalı flotasyon cihazına alınmıştır. Pompa vasıtası ile emilen sulu hamur havayla birlikte flotasyon sisteme basılmıştır. Bu sayede kâğıt hamurunun hem katılaşması hem de disintegratörde hamur haline gelirken geçen sürede kâğıttan ayrılan siyah toner parçacıklarının hava kabarcıkları sayesinde yüzeyde biriktiği gözlenmiştir. Mürekkep giderme işlemlerinde çeşitli kimyasallar, enzimler ve ultrasonik seston yararlanılmıştır.

Çalışmada ilk olarak atık kâğıtlardan elde edilen kâğıt hamuruna herhangi bir kimyasal/enzim dozlanmadan, sadece flotasyon uygulanarak kontrol numunesi üretilmiştir. %10'luk NaOH, 25 mg/L ile 250 mg/L dozları arasında; %10'luk CaO ise 100 mg/L ile 250 mg/L dozları arasında çalışılmıştır (Çizelge 3.2). Selülaz enzimi 290 - 1160 mg/L arasında; Amilaz- $\alpha$  enzimi 290 - 1450 mg/L dozları arasında çalışılmıştır. Ayrıca ultrasonik ses ön işleminde hamura 150 kW, 25.000 Hz'de 20 dakika boyunca kesikli ve sürekli ultrasonik işlem uygulanıp enzim ilavesi ile başarısı çalışılmıştır (Şekil 3.2 - 3.4). NaOH, CaO, Selülaz ve amilaz- $\alpha$  enzimlerinin her bir dozları için ayrı ayrı 4 adet örnek kağıt üretilmiştir .

Çalışmadaki başarıyı belirleyebilmek için Kombassan Kâğıt A.Ş'de üretilen 80 gr/m<sup>2</sup> kâğıdın fiziksel test sonuçları ve ofislerden toplanmış atık kâğıtlardan kimyasal veya enzim kullanılmaksızın üretilen,  $80 \pm 3$  gr/m<sup>2</sup> geri dönüştürülmüş kağıt kontrol numunesi fiziksel test sonuçları ile kıyaslanmıştır (Çizelge 3.3). Dozlar belirlenirken

başarı elde edilen dozlar, başlangıç dozları olarak belirlenmiştir. Belirlenen ilk dozların altındaki dozlarda başarı elde edilememiştir.

**Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan yöntemler ve dozlar**

Kimyasal İşlem		Enzimatik İşlem		Ultrasonik + Enzimatik İşlem	
NaOH(mg/L)	CaO(mg/L)	Selüloz(mg/L)	Amilaz- $\alpha$ (mg/L)	Sürekli (dk)	Kesikli(dk)
25	100	290	290	20 + 580 mg/L Amilaz- $\alpha$	20 + 580 mg/L Amilaz- $\alpha$
100	150	580	580		
200	200	870	870		
250	250	1160	1450		



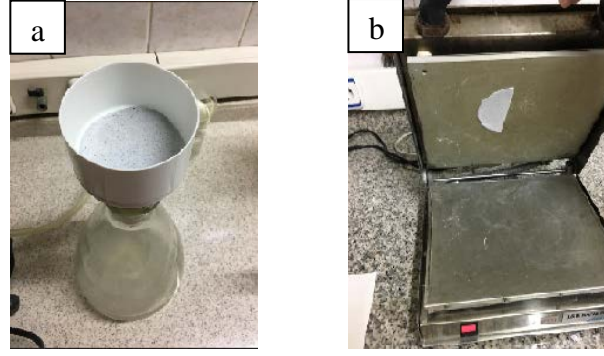
**Şekil 3.3. Havalı Flotasyon (Yüzdürme)**



**Şekil 3.4. Ultrasonik işlem cihazı (Bandeln Sonoplus )**

Mürekkep giderilinceye kadar havalı flotasyon işlemine devam edilmiştir. Numunenin % kuru madde ve şoper derecesine (SR<sup>0</sup> - Schopper Reigler, Öğütüm Derecesi) bakmak için 100 mL numune alınıp filtrasyon cihazında önceden kuru ağırlığı bilinen filtre kâğıdından süzdürülerek, hızlı kurutucuda 2 dakika boyunca kurutulduktan sonra % kuru madde hesabı yapılmıştır (Eşitlik 3.1; Şekil 3.5).

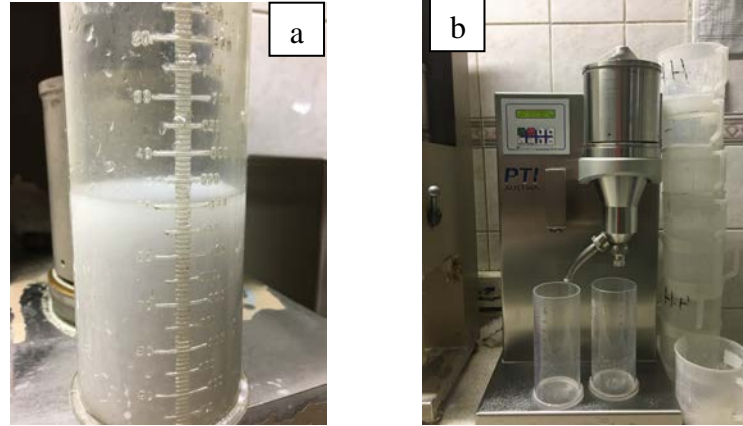
$$\text{Kuru Madde (\% KM)} = \text{Süzülen kurutulmuş numunenin tartımı} - \text{Kâğıdın boş ağırlığı} \quad (3.1)$$



Şekil 3.5. (a) Numunenin filtre edilmesi, (b) filtre kağıdının hızlı kurutucuda kurutulması (PTI, S40150 001)

$SR^0$  (Şoper - Öğütüm derecesi) standardı içeriğindeki katı 2 gram kuru maddeye karşılık gelecek numune miktarının alınmasına dayanmaktadır. Buna göre; Şoper için alınması gereken hamur miktarı %KM değerine göre formül (3.2) yardımı ile hesaplanmıştır. Havalı flotasyondan formül (3.2) ile bulunan miktarda numune mezüre alınarak su ile 1 litreye tamamlanıp Şoper cihazında  $SR^0$  hesaplanmıştır (TSENISO5267-1, 2001), (Şekil 3.6).

$$\bullet \frac{100}{X} \frac{\%KM}{2 \text{ gramda}} \quad X = SR^0 \text{ için alınan numune miktarı} \quad (3.2)$$



Şekil 3.6. (a) Mezüre alınmış kağıt hamuru numunesi, (b) Şoper ölçüm cihazı (PTI, Austria 115119)

Çalışmada  $80 \text{ g/m}^2$  standart kâğıt referans alınmıştır. Rapid cihazında hazırlanacak ve kalite analizlerinde kullanılacak geri dönüşüm kağıt numune 20 cm çapında, yani  $314 \text{ cm}^2$  alanındadır (Şekil 3.7). Buna göre hamurdan alınacak numunenin içinde ne kadar kağıt bulunması gerektiği formül (3.3)'de görüldüğü gibi 2,5 g hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} & 80 \text{ g} \quad 10.000 \text{ cm}^2 \\ & \underline{X \quad 314 \text{ cm}^2} \\ & X = 2,5 \text{ g} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Bulunan 2.5 gram değeri %100 kuru atık kağıt hesaba katılarak yapılacaktır. %KM değeri hesaba katılarak, yapılacak olan örnek kağıt için alınacak olan numune miktarı hesaplanmıştır (TSENISO638, 2010), (Formül 3.4).

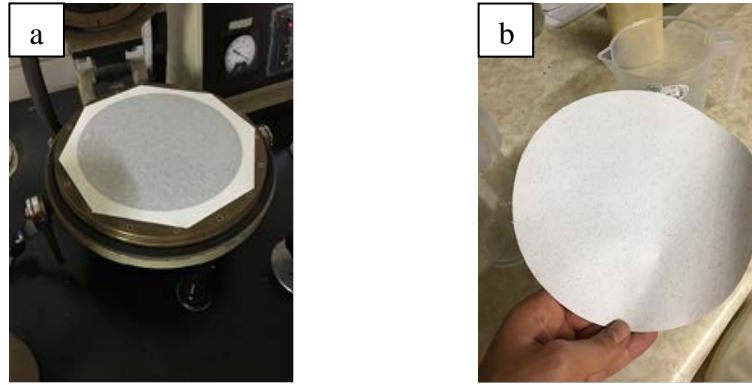
$$\begin{aligned} & 100 \text{ ml} \quad 2.5 \text{ gr} \\ & \underline{X \quad \%KM} \\ & X = \text{Örnek kağıt için alınacak numune miktarı} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Hamur numunesi homojen bir şekilde dağılımının sağlanması için hava ve su ile birlikte rapid cihazının örnek kâğıt çıkarma haznesine alındıktan sonra içerisinde bulunan su süzdürülerek örnek kâğıdın elek üzerinde kalması sağlanmıştır (Şekil 3.6).



**Şekil 3.7. (a) Kağıt örneğinin yapıldığı rapid cihazı (ET Enriko Toniolo), (b) Rapid cihazında numunenin preslenmesi (ET Enriko Toniolo)**

Vakum yardımı ile suyu alınan hamurun üzerine kapak kâğıt konularak oluşan örnek kâğıdın (safihâ) kapak kâğıdının üzerinde kalmasını sağlamak için metal silindir kullanılmıştır. Kapak kâğıdının üzerinde kalan safihanın 10 dakikalık kurutma işlemi sırasında deformasyona uğramaması için üzerine 1 adet daha kapak kâğıdı konulup örnek kağıt üretilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. (a) Rapid cihazında kapak kağıdının kurutulması (ET Enrico Toniolo), (b) Üretilen örnek kağıt

### 3.2.1. Kâğıdın fiziksel testleri

Kontrol numunesi, NaOH ve CaO, selüloz ve amilaz- $\alpha$  enzimleri kullanılarak mürekkebi giderilmiş hamurdan her biri için 2 yedek, 2 testlerde kullanılmak üzere toplamda 4 adet örnek kâğıt numunesi üretilmiştir. Kontrol numunesi üretiminde flotasyon sistemi, kimyasal ve enzim kullanılmamıştır. Üretilen kâğıtlar Çizelge 3.3'deki fiziksel testlere tabi tutulmuştur. %KM, SR<sup>0</sup>, gramaj, kalınlık değerlerinin çalışmalarda birbirine yakın olduğu belirgin bir farkın olmadığı gözlenmiştir. Bu yüzden mukavemet değerleri, beyazlık değerleri ve opasite değerlerinin çalışılmasının önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.3 Kombassan kağıt 80 g/m<sup>2</sup> fotokopi kağıdı fiziksel test parametreleri ve kontrol numunesi değerleri (KombassanKağıtA.Ş, 2017)

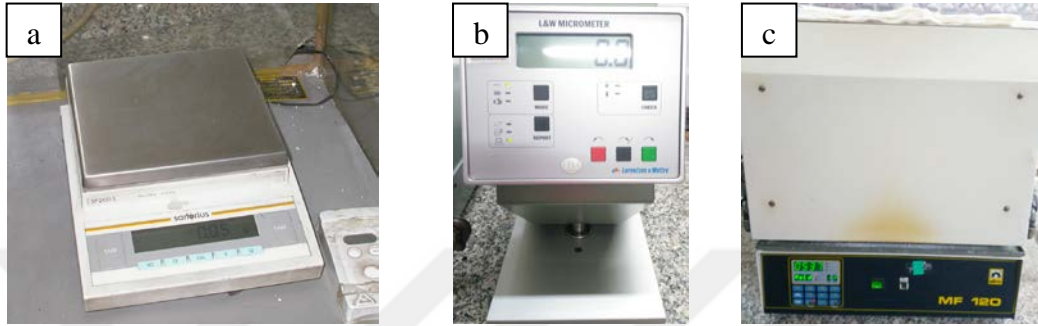
Parametre	Test Standartları	Kombassan Kâğıt A.Ş Kalite Planı Test Değerleri	Kontrol Numunesi
% KM	TS EN ISO 638	0,2-0,3	0.26
SR <sup>0</sup>	TS EN ISO 5267-1	25-35	26
Gramaj (g/m <sup>2</sup> )	TS EN ISO 536	80±3	83
Kalınlık ( $\mu$ )	TS EN ISO 534	min. 95	144
Yırtılma Mukavemeti (% elmendorff)	TS EN ISO 1974	min.55	72
Kopma Boyu Mukavemeti (m)	TS EN ISO 1924-2	min 2000/ max. 4000	3659
Patlama Mukavemeti (kgf/cm <sup>2</sup> )	TS EN ISO 2758	min. 1,3	1.6
CIE Whiteness	TS ISO 11475	min. 145	115.97
ISO Whiteness	TS ISO 2470-2	min. 100	77.55
ISO Brightness	TS ISO 2470-1	min 87	7.55
Opasite	TS ISO 2471	min. 86	98.7
Kül%	TS ISO 1762	max. 32	13.5



**Gramaj:** Kâğıdın 1 metrekaresinin (100 cm x 100 cm) gram cinsinden tayin edilen ağırlığıdır. Hassas terazi ile belirlenir (TS EN ISO536, 2013), (Şekil 3.9).

**Kalınlık:** Kâğıdın tek tabakasının mikrometre (kalınlık ölçer) (Şekil 3.9) ile ölçülerek, bulunan değerler ortalamasıdır (TS EN ISO534, 2012).

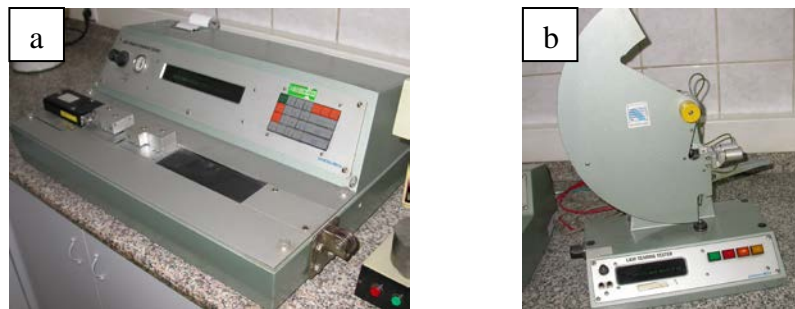
**Kül:** Kâğıdın 525 °C de kül fırınında (Şekil 3.9) yakıldıktan sonra kalan kısmıdır. % olarak ifade edilir (TS ISO1762, 2016).



Şekil 3.9. (a) Hassas terazi (Sartorius BP 2100 S, 60803427), (b) Kalınlık ölçüm cihazı (Lorentzen & Wettre, 98451), (c) Kül fırını (Nüve, MF 120)

**Kopma boyu mukavemeti:** Kâğıdın 15 mm genişliğindeki şeridinin kendi ağırlığını taşıyıp kopacağı noktayı gösteren uzunluğudur (TS EN ISO1924-2, 2013), (Şekil 3.10).

**Yırtılma mukavemeti:** Kâğıdın Elmendorf yırtılma mukavemeti ölçme cihazında 100 gr/m<sup>2</sup> gramaja göre 43 mm'lik bir kısmının yırtılırken uygulanan gram cinsinden kuvvet ölçüsüdür (TS EN ISO1974, 2012), (Şekil 3.10).



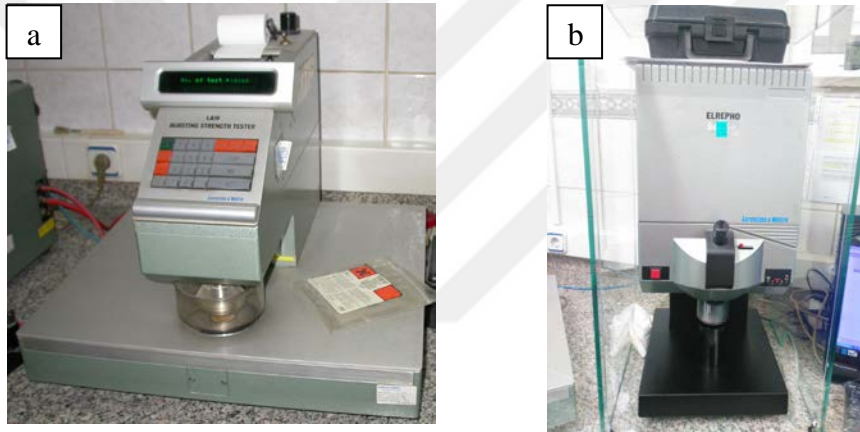
Şekil 3.10. (a) Kopma boyu mukavemet ölçüm cihazı (Lorentzen & Wettre, 951517), (b) Yırtılma mukavemet ölçüm cihazı (Lorentzen & Wettre, 5587)

**Patlama mukavemeti:** Kâğıdın 1 cm<sup>2</sup> alanının patlatılması için uygulanması gereken kilogram olarak hava basıncıdır (TS EN ISO2758, 2015), (Şekil 3.11).

**Beyazlık – parlaklık (ISO Whiteness – ISO Brightness):** Bu değer kâğıdın yansıtma faktörünün ölçülmesi prensibine dayanır. ISO Whiteness, liflerin beyazlığının matematiksel ifadesidir (İmamoğlu ve ark., 2013; TS ISO2470-1, 2015; TS ISO2470-2, 2015). Şekil 3.11'de ölçüm cihazının görseli verilmiştir.

**Opaklık (Opasite):** Toplam kâğıda yansıtılan ışığın kâğıdın diğer yüzüne yansıyan ışık miktarının ölçülmesi prensibine dayanır (TS ISO2471, 2015), (Şekil 3.11).

**CIE Whiteness (Avrupa Beyazlığı)** Uluslar arası kurumlar tarafından geliştirilen L (lightness): ışık şiddeti, a: (+) kırmızı (-) yeşil, b: (+) mavi (-) sarı Lab renklerini tarif eden 3 boyutlu bir renk modelidir (Balaban ve Atik, 1999). UV filtresi kullanılarak ölçüm yapılmaktadır (İmamoğlu ve ark., 2013; TS ISO11475, 2014). Şekil 3.11 ölçüm cihazının görseli verilmiştir.



Şekil 3.11. (a) Patlama mukavemeti ölçüm cihazı (Lorentzen & Wettre, 950511), (b) Beyazlık - parlaklık, Opasite, CIE Whiteness, Yellowness değerleri ölçüm cihazı (Lorentzen & Wettre, 1406)

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

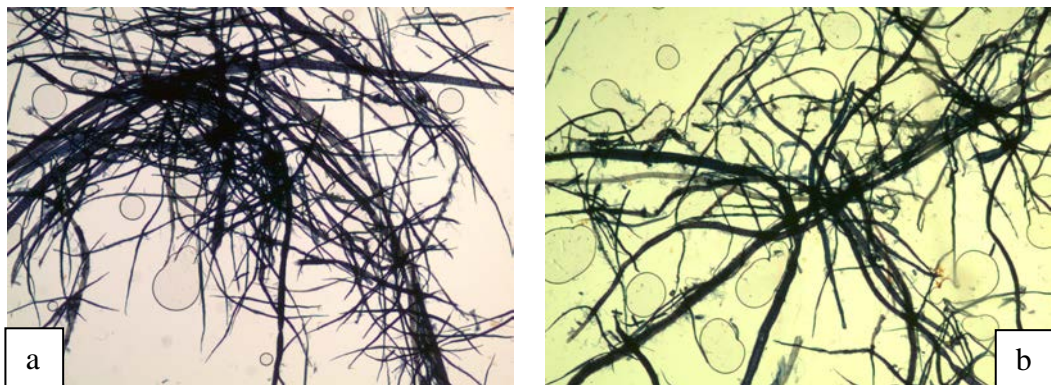
Üretici firmaların ürünleri ile ilgili yaptıkları kalite planları, ürüne ihtiyaç duyan firmaların belirledikleri değerler ve üretilen ürünle ilgili dünyada kullanılan ulusal ve uluslararası standartları dışında kalan değerler standart dışı olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada Çizelge 3.1’de verilen Kombassan kağıt 80 g/m<sup>2</sup> fotokopi kağıdı fiziksel test değerleri dikkate alınmıştır.

Proseslerin uygulanması sırasında yapılan ölçüm değerlerinden başlanarak en son işlem olan standart test kâğıtlarının ölçümlerine kadar olan fiziksel testlere ait sonuçlar üç başlık altında incelenmiştir;

1. Kimyasalların kâğıt geri dönüşümüne etkisi.
2. Enzimlerin kâğıt geri dönüşümüne etkisi.
3. Ultrasonik işlemin kâğıt geri dönüşümüne etkisi.

3.2 başlığı altında bahsedilen kontrol numunesi yani 1.kalite kağıt atıklarından üretilmiş örnek kağıtlardan numune alınarak deney tüplerinde su ile açılıp, lamel üzerinde herzberg (iyotlu çinko klorür) ile boyanıp mikroskop görüntüleri incelenmiştir (Şekil 4.1).

Öğütüm gören liflerde (liflerin uçlarında ve duvarlarında) fibrilleşmeler görülmektedir. Bu fibrilleşmeler selülozun saçaklanmasını sağlayarak kağıdın fiziksel özelliklerinden mukavemet değerlerini arttırmak için uygulanmaktadır (Şekil 4.1 b). Geri dönüşüm kâğıdında ikincil bir öğütüm uygulandığı için fibrilleşmelerin daha çok olduğu gözlenmiştir. Bu durum mukavemet değerlerini yükseltmektedir (Şekil 4.1 a).



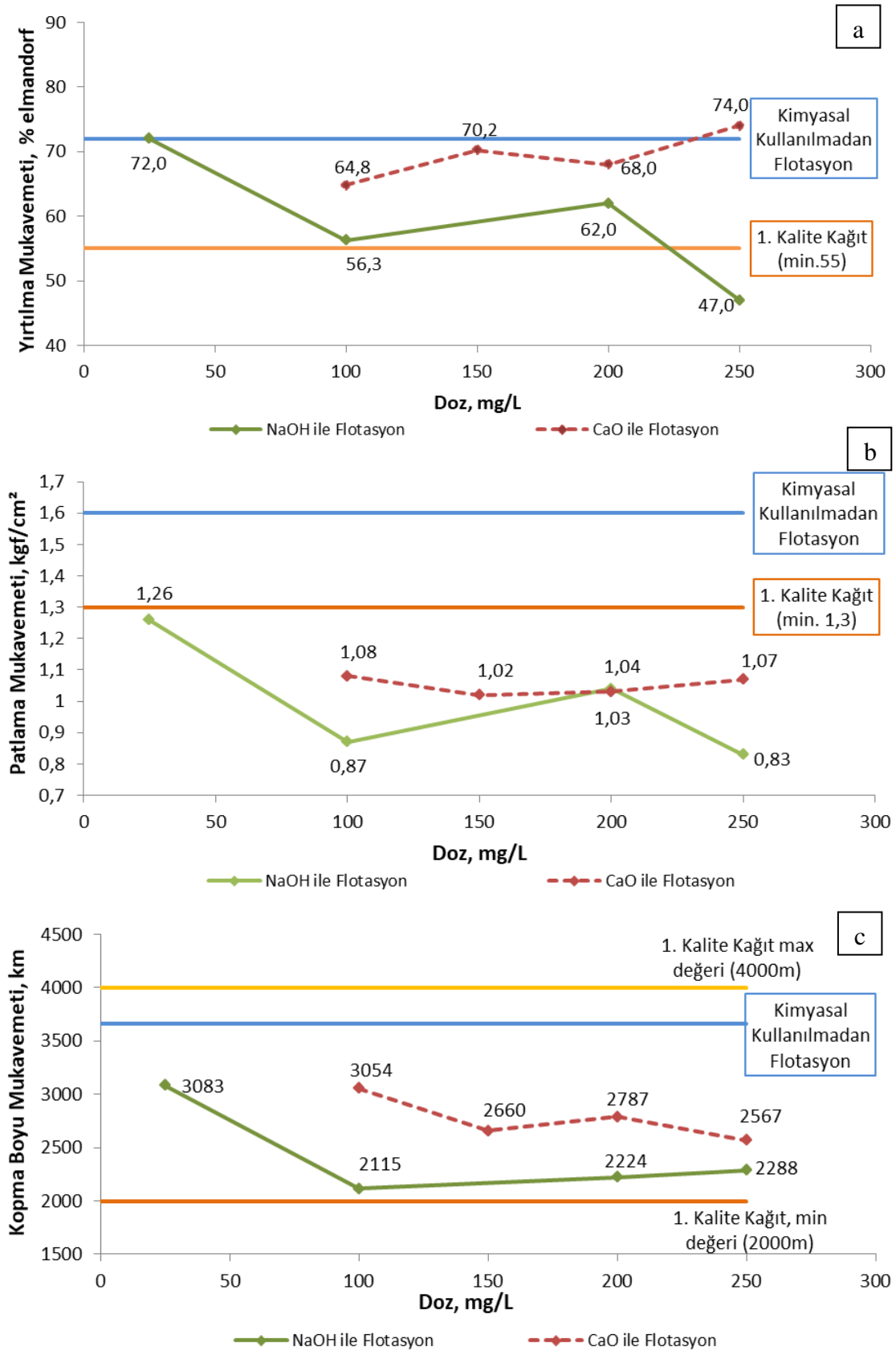
Şekil 4.1. (a)Kimyasalsız ve flotasyon işlemi uygulamadan elde edilen kâğıdın, (b) 1.hamur 1.kalite kâğıdın mikroskop görüntüsü

#### 4.1. Kimyasalların Kâğıt Geri Dönüşümüne Etkisi

Kontrol numunesinin ve NaOH'ın başlangıç dozundaki yırtılma mukavemet değeri 72 %elmandorf'dur. NaOH dozunun artması ile yırtılma mukavemet değerlerinde düşüş gözlenirken, CaO dozunun artması ile bu değerde artış görülmektedir. Çalışmalarda 250 mg/L ve üzeri NaOH dozları hariç 1.kalite yırtılma mukavemet eşik değerini sağlamıştır. CaO kullanılan çalışmalarda, doz artışı ile yırtılma mukavemet değerlerinin 1.kalite kâğıt yırtılma mukavemet değerine (min. 55 %elmandorf) göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Geri dönüştürülmüş kâğıt yırtılma mukavemeti değerleri incelendiğinde en iyi sonuç 250 mg/L CaO (74 %elmandorf) dozunda elde edilmiştir. Kâğıt üretiminde dolgu maddesi olarak kalsit bulunmaktadır. Çalışmada eklenen CaO'deki  $Ca^{+2}$  iyonlarının yırtılma mukavemet değerini olumlu etkilediği sonucuna varılmıştır (Sütçü ve Akkurt, 2014); (Şekil 4.2 a).

Kontrol numunesi (1,6 kgf/cm) ve 1.kalite kâğıt (1,3 kgf/cm) patlama mukavemeti değerleri kıyaslandığında NaOH dozunun artması ile patlama mukavemeti değerinde düşüş gözlemlenmiştir. CaO kullanılan çalışmalarda dozun artması ile patlama mukavemeti değerleri arasında belirgin bir fark görülmemektedir. CaO çalışmalarında, kontrol numunesi ve 1.kalite kâğıt patlama mukavemet değerlerine göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. NaOH ve CaO'nun alkali yapısı patlama mukavemet değerlerini düşürmektedir (Eken, 2014; Saxena ve Chauhan, 2017). NaOH 'in kâğıt hamuru direnç özelliklerini etkileyerek bağlanma potansiyelini arttırdığı belirtilmiştir (Yılgör, 2010). Bu bilgiye zıt olarak kimyasal kullanılarak elde edilen geri dönüştürülmüş kâğıtlarda yalnızca 25 mg/L NaOH (1,26 kgf/cm) kullanımı ile 1.kalite kâğıt en yakın sonuç elde edilmiştir. NaOH dozunun artması ile 1. kalite kâğıt patlama mukavemet değerinin altında kaldığı gözlenmiştir (Şekil 4.2 b).

NaOH ve CaO dozunun artması ile kopma boyu mukavemet değerinde düşüş gözlenmiştir. 1.kalite kâğıt kopma değeri, 25 mg/L NaOH (3083 m) ve 100 mg/L CaO (3054 m) kullanılarak elde edilen geri dönüştürülmüş kâğıtlarda sağlanmıştır (Şekil 4.2 c).



Şekil 4.2. NaOH ve CaO kimyasallarının geri dönüşüm kağıdın (a)Yırtılma mukavemeti, (b)Patlama mukavemeti, (c) Kopma boyu mukavemet değerleri üzerine etkiler

NaOH ve CaO çalışmalarında aynı numunenin birkaç tekrarında elde edilen bulguların istatistiğini çıkarmak ve çalışmaların doğruluğunu ispatlamak için SPSS 2.0 programında değerlerin Ortalama standart hataları hesaplanmıştır. NaOH ve CaO çalışmalarında dozun artması ile standart hata değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen NaO ve CaO ortalama standart hataları sırasıyla yırtılma mukavemeti değerinde 2,36-1,89, kopma boyu mukavemeti değerinde 320,90-140,86, patlama mukavemeti değerinde 0,07-0,02 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1-4.2). Bulunan ortalama standart hataların kontrol numunesi ortalama standart hata değerlerinden (yırtılma mukavemeti 2,67, kopma boyu mukavemeti 469,23, patlama mukavemeti 0,15) düşük olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçların ortalama standart hataların düşük olması çalışmalarda elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğunu göstermekte, aynı zamanda tekrarlanan deneylerin doğruluğunu desteklemektedir. Bu sonuçlar NaOH ve CaO çalışmalarında kullanılan dozların uygulanabilirliğini göstermektedir.

**Çizelge 4.1. NaOH dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri**

NaOH Dozu / Parametre		Yırtılma Mukavemeti (% elmandorf)	Kopma Boyu Mukavemeti (m)	Patlama Mukavemeti (kgf/cm)
<b>Kontrol Numunesi (0 mg/L)</b>	Ortalama	70,38	3012,33	1,30
	Minimum	65,16	2100,00	1,07
	Maksimum	74,00	3659,00	1,60
	Ortalamanın Standart Hatası	2,67	469,23	0,15
<b>25 mg/L</b>	Ortalama	67,29	2741,33	1,13
	Minimum	64,71	2100,00	1,06
	Maksimum	72,00	3083,00	1,26
	Ortalamanın Standart Hatası	2,36	320,90	0,07
<b>100 mg/L</b>	Ortalama	48,10	2204,33	0,91
	Minimum	41,00	2023,00	0,87
	Maksimum	56,30	2475,00	0,97
	Ortalamanın Standart Hatası	4,45	137,91	0,03
<b>200 mg/L</b>	Ortalama	58,87	2387,00	0,99
	Minimum	55,10	2224,00	0,95
	Maksimum	62,00	2574,00	1,04
	Ortalamanın Standart Hatası	2,02	101,75	0,03
<b>250 mg/L</b>	Ortalama	46,43	2100,00	0,92
	Minimum	45,70	1998,00	0,83
	Maksimum	47,00	2289,00	0,98
	Ortalamanın Standart Hatası	0,38	94,60	0,05

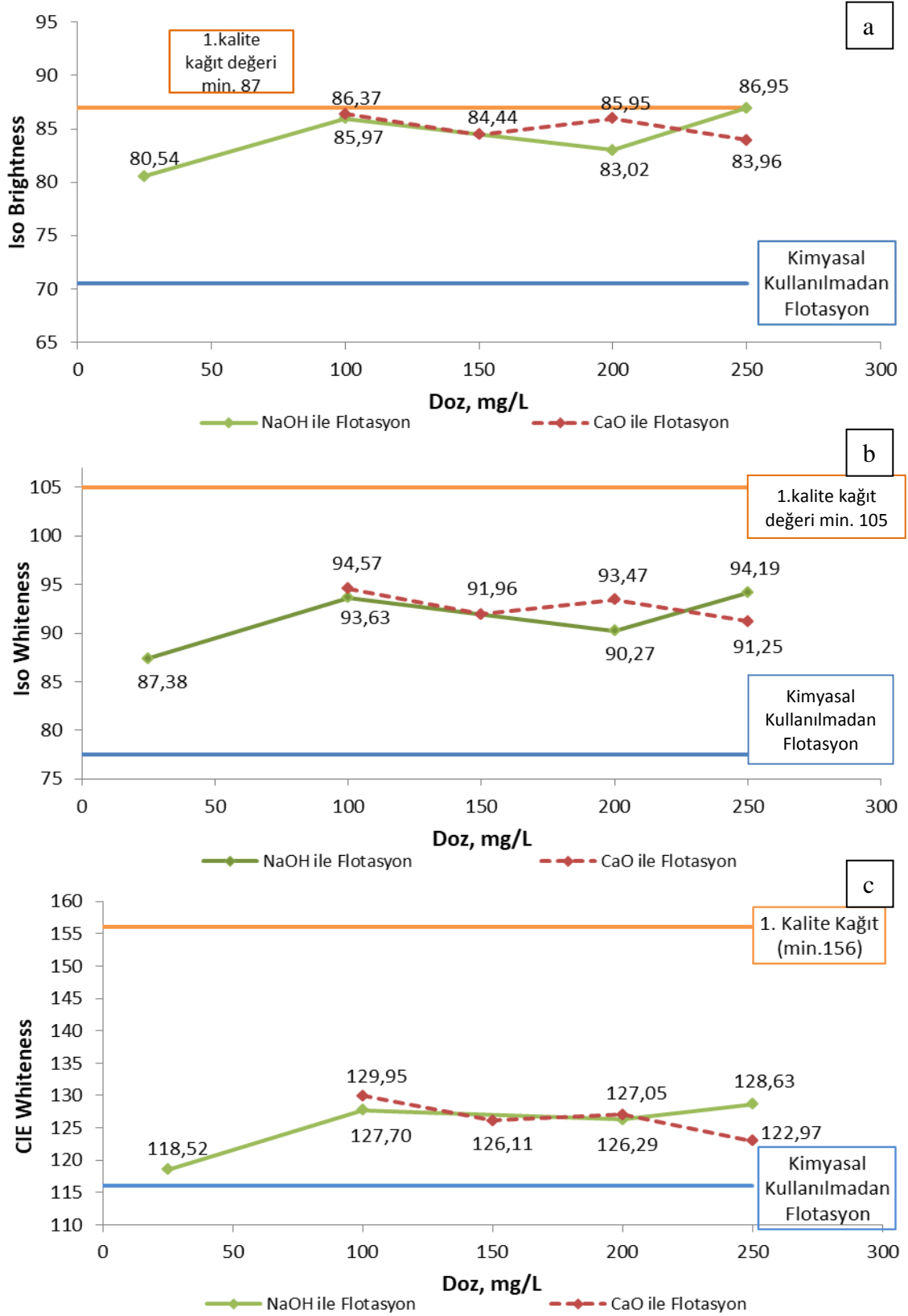
Çizelge 4.2. CaO dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri

CaO Dozu / Parametre		Yırtılma Mukavemeti (% elmandorf)	Kopma Boyu Mukavemeti (m)	Patlama Mukavemeti (kgf/cm)
<b>Kontrol Numunesi (0 mg/L)</b>	Ortalama	70,38	3012,33	1,30
	Minimum	65,16	2100,00	1,07
	Maksimum	74,00	3659,00	1,60
	Ortalamanın Standart Hatası	2,67	469,23	0,15
<b>100 mg/L</b>	Ortalama	61,03	2801,67	1,04
	Minimum	58,80	2567,00	1,00
	Maksimum	64,80	3054,00	1,08
	Ortalamanın Standart Hatası	1,89	140,86	0,02
<b>150 mg/L</b>	Ortalama	61,57	2432,33	1,00
	Minimum	56,50	1969,00	0,98
	Maksimum	70,20	2668,00	1,02
	Ortalamanın Standart Hatası	4,34	231,68	0,01
<b>200 mg/L</b>	Ortalama	61,65	2578,00	1,03
	Minimum	55,30	2369,00	1,02
	Maksimum	68,00	2787,00	1,03
	Ortalamanın Standart Hatası	6,35	209,00	0,01
<b>250 mg/L</b>	Ortalama	65,37	2383,67	0,98
	Minimum	57,00	2131,00	0,96
	Maksimum	80,00	2567,00	1,01
	Ortalamanın Standart Hatası	7,34	130,55	0,01

Üretilen kâğıtların kalitesini belirleyen en önemli parametrelerinden biri beyazlık değerleridir. Kontrol numunesinin ISO Brightness 70,55, ISO Whiteness 77,55, CIE Whiteness 115,97 değerleri, NaOH ilavesi ile üretilen geri dönüştürülmüş kağıdın ISO Brightness 86,95, ISO Whiteness 94,19, CIE Whiteness 128,63 değerine yükselmiştir (Şekil 4.3a - 4.3c). Bu başarımın sebebi havalı flotasyon cihazına eklenen NaOH'ın köpük oluşturmasıyla mürekkebi yüzeyde tutarak giderimini sağlaması ve NaOH'ın beyazlatma (ağartma) özelliğinin olmasıdır (Nimmanterdwong ve ark., 2016; Tsatsis ve ark., 2019). 250 mg/L üzeri NaOH dozlarında alkali miktarının artması hamurun sararmasına yol açtığı için NaOH'ın yüksek dozlarda başarısız olduğu tespit edilmiştir (Peşman ve ark., 2010; Lee ve ark., 2013).

Kalisine olan mermer tozu CaO formuna dönüşmektedir. Su ile karıştırıldığında ortama OH<sup>-</sup> iyonları vermektedir. Kalsit üretiminde yapılan çalışmalardan NaOH çöktürmesi yapılmakta ve bu çöktürme sonrası ancak pH 12 değerine ulaştığı belirtilmiştir (Eken, 2014). Çalışmalarda NaOH kullanılan çalışmalarda pH 11.5 değerini verdiği gözlemlenmiştir. Bu bulgular sonucunda NaOH'ın CaO'e göre daha alkali olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 4.3). Dozların başarısı, 1.kalite kâğıt beyazlık değerlerini sağlayıp sağlamadığı ve en yakın değer elde edilmesine göre belirlenebilir ve yorumlanabilir. NaOH ve CaO çalışmalarında ISO Whiteness ve CIE Whiteness

değerlerinde sayısal olarak birbirine yakın sonuçlar elde edilirken, başarılı olan 250 mg/L NaOH dozu 1.kalite kâğıdın ISO Brightness değerini sağlamıştır (Şekil 4.3a).

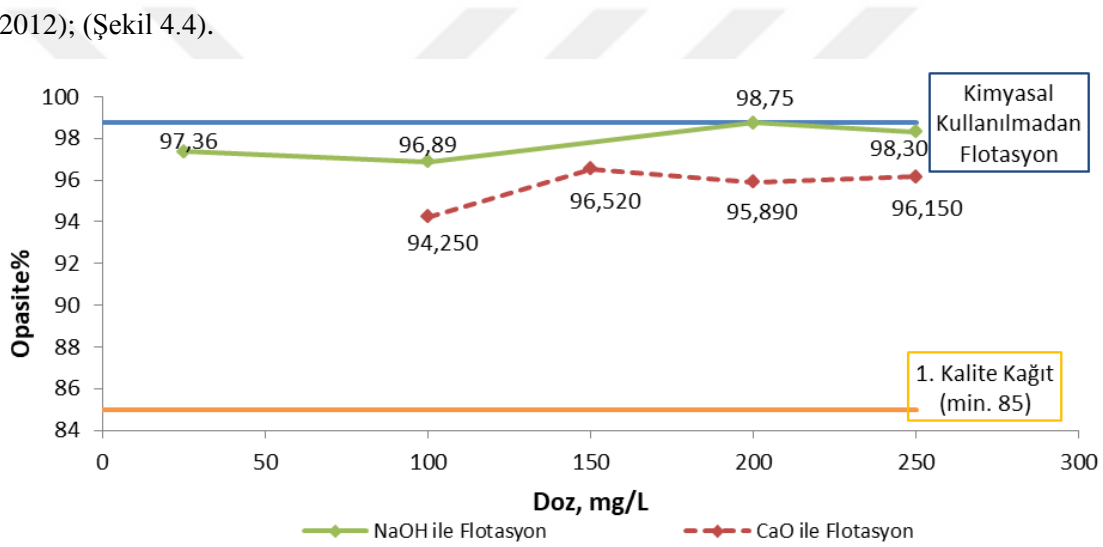


Şekil 4.3. NaOH ve CaO kimyasallarının geri dönüşüm kağıdın (a)ISO Brightness, (b)ISO Whiteness, (c) CIE Whiteness değerleri üzerine etkileri



NaOH ve CaO kullanılarak elde edilen geri dönüşüm kağıtlarının opasite değerlerinde, kontrol numunesi opasite değerine göre belirgin bir artış gözlemlenmemiştir. 1.kalite kağıt opasite değerine göre başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.4).

Bu başarının sebebi üretilen geri dönüşüm kâğıdında mürekkep parçacıklarının daha örtücü olmasındandır. Giderilemeyen mürekkep paçacıkları opaklık değerini yükseltirken beyazlık değerlerini düşürmektedir (İmamoğlu ve Peşman, 2012). Geri dönüştürülmüş kâğıdın opasite değerleri açısından en iyi sonuç 200 mg/L NaOH dozunda elde edilmiştir. Çalışmalardaki başarılar opasite değerinin kağıt geri dönüşümünde belirleyici bir parametre olmadığını göstermektedir (İmamoğlu ve Peşman, 2012); (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. NaOH ve CaO kimyasallarının geri dönüşüm kağıdın Opasite değeri üzerine etkileri

NaOH ve CaO kullanılarak elde edilen geri dönüşüm kağıdın beyazlık değerleri istatistik verileri ile kıyaslandığında kontrol numunesi beyazlık değerlerine göre yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Ortalama standart hataların düşük olması çalışmalarda elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğunu ve deneylerin doğruluğunu desteklemektedir. NaOH ve CaO geri dönüşüm kağıdının ikisinin de beyazlık değerlerinde başarılı sonuçlar elde edilse de NaOH kimyasalında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kontrol numunesinin ISO Whiteness 80,51, ISO Brightness 80,51, ISO CIE Whiteness 117 beyazlık değerlerini NaOH ile ISO Whiteness 95, ISO Brightness 88, CIE Whiteness 135 beyazlık değerlerine yükselmiştir (Çizelge 4.3 - 4.4).

Çizelge 4.3. NaOH dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri

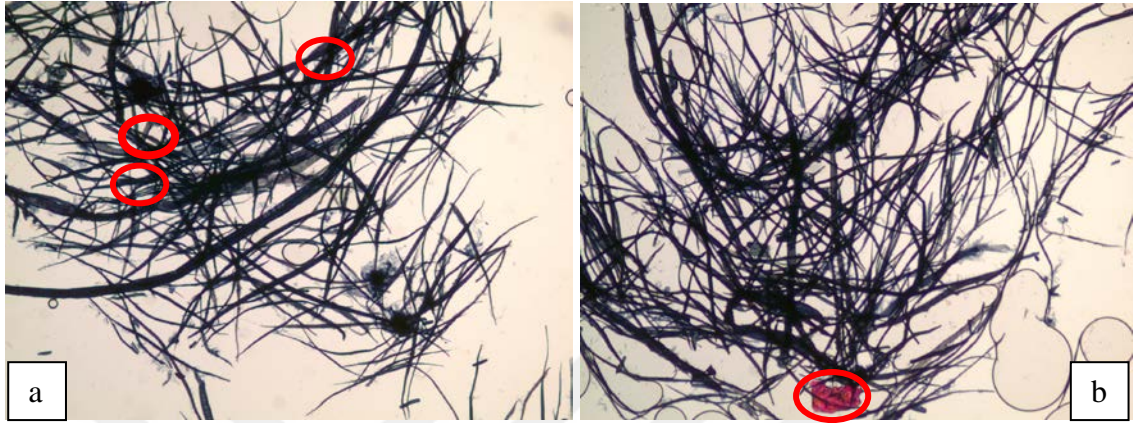
NaOH Dozu / Parametre		CIE Whiteness	ISO Whiteness	ISO Brightness	Opasite
<b>Kontrol Numunesi (0 mg/L)</b>	Ortalama	115,70	78,46	71,51	98,73
	Minimum	114,06	77,31	70,55	98,68
	Maksimum	117,08	80,51	73,38	98,77
	Ortalamanın Standart Hatası	0,88	1,03	0,93	0,03
<b>25 mg/L</b>	Ortalama	127,75	89,41	81,62	97,80
	Minimum	123,83	86,19	78,47	97,27
	Maksimum	134,53	92,82	84,75	98,85
	Ortalamanın Standart Hatası	3,40	1,92	1,81	0,52
<b>100 mg/L</b>	Ortalama	132,30	95,30	87,36	96,95
	Minimum	127,70	93,63	85,97	96,89
	Maksimum	135,15	96,43	88,29	97,03
	Ortalamanın Standart Hatası	2,32	0,85	0,71	0,04
<b>200 mg/L</b>	Ortalama	128,15	91,08	83,65	98,76
	Minimum	126,29	90,27	83,02	98,75
	Maksimum	129,68	91,52	84,10	98,78
	Ortalamanın Standart Hatası	0,99	0,41	0,32	0,01
<b>250 mg/L</b>	Ortalama	128,64	94,35	87,20	98,34
	Minimum	127,21	94,19	86,95	97,96
	Maksimum	130,07	94,66	87,34	98,75
	Ortalamanın Standart Hatası	0,83	0,15	0,13	0,23

Çizelge 4.4. CaO dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri

CaO Dozu / Parametre		CIE Whiteness	ISO Whiteness	ISO Brightness	Opasite
<b>Kontrol Numunesi (0 mg/L)</b>	Ortalama	115,70	78,46	71,51	98,73
	Minimum	114,06	77,31	70,55	98,68
	Maksimum	117,08	80,51	73,38	98,77
	Ortalamanın Standart Hatası	0,88	1,03	0,93	0,03
<b>100 mg/L</b>	Ortalama	130,72	94,48	86,11	94,71
	Minimum	129,95	94,41	85,90	94,25
	Maksimum	131,18	94,57	86,37	95,08
	Ortalamanın Standart Hatası	0,39	0,05	0,14	0,24
<b>150 mg/L</b>	Ortalama	126,65	91,79	84,33	97,15
	Minimum	126,11	91,70	84,26	96,52
	Maksimum	127,00	91,96	84,44	98,03
	Ortalamanın Standart Hatası	0,27	0,09	0,06	0,45
<b>200 mg/L</b>	Ortalama	128,66	94,09	86,47	95,90
	Minimum	127,05	93,47	85,95	95,89
	Maksimum	130,27	94,70	86,98	95,91
	Ortalamanın Standart Hatası	1,61	0,62	0,52	0,01
<b>250 mg/L</b>	Ortalama	125,38	91,88	84,50	96,50
	Minimum	122,97	91,25	83,96	96,15
	Maksimum	127,04	92,37	84,93	96,70
	Ortalamanın Standart Hatası	1,23	0,33	0,29	0,18

Yapılan yüzdürme işlemi ile mürekkep giderme işlemi, hidrofobik özellikteki mürekkep parçacıklarına NaOH ve CaO ile hidrofilik özellik kazandırıp, bu parçacıkların hava kabarcıklarına tutunarak yüzeyde oluşan köpük içine hapsedip uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. NaOH ve CaO mürekkebin hidrofobik yapısını yeteri kadar hidrofilik yapıya dönüştüremediği için kalan mürekkep parçacıkları beyazlık değerini düşürmektedir (Şekil 4.5a - 4.5b); (İmamoğlu ve Peşman, 2012;

Lasheva ve ark., 2013; Şahin, 2016). NaOH ve CaO alkali olması ve doz artışı ile pH'ın artırması, lifleri tahribata uğratarak mukavemet değerlerini düşüreceği belirtilmiştir (Tsatsis ve ark., 2019). Şekil 4.5'de NaOH ve CaO kullanılarak üretilen geri dönüşüm kağıtların mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.5. (a) CaO işlemi uygulandıktan sonra elde edilen kâğıdın, (b) NaOH işlemi uygulandıktan sonra kâğıdın mikroskop görüntüsü

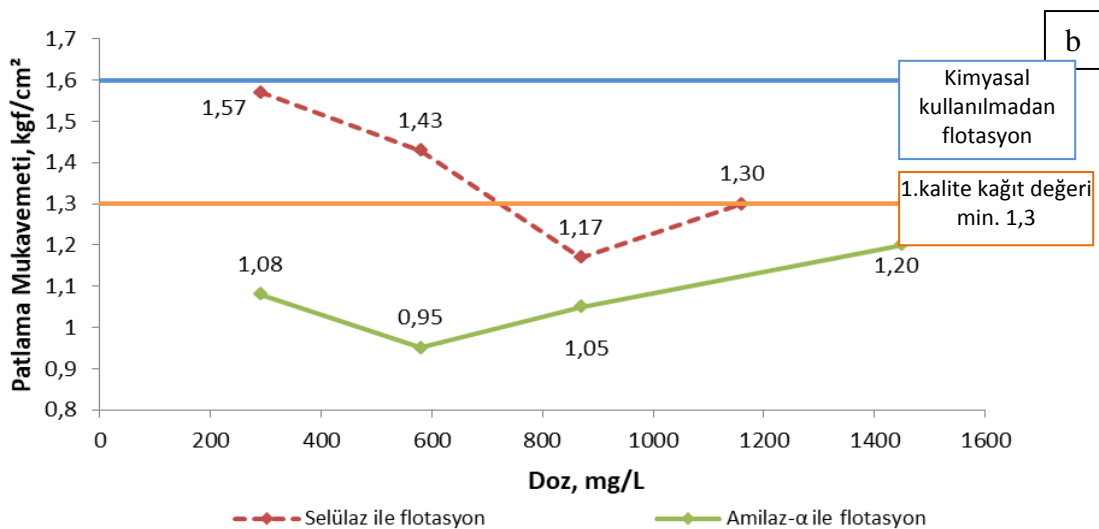
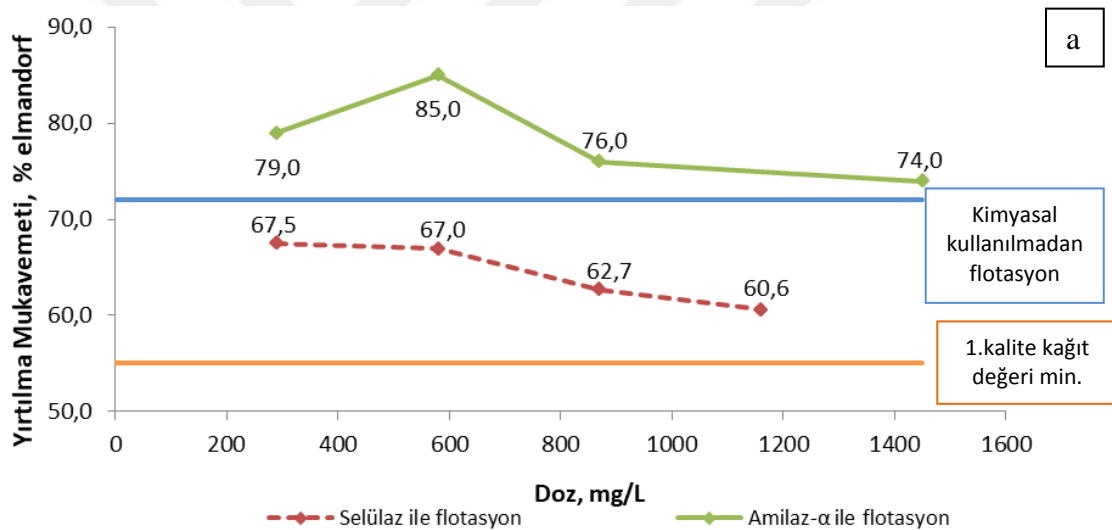
#### 4.2. Enzimlerin Kâğıt Geri Dönüşümüne Etkisi

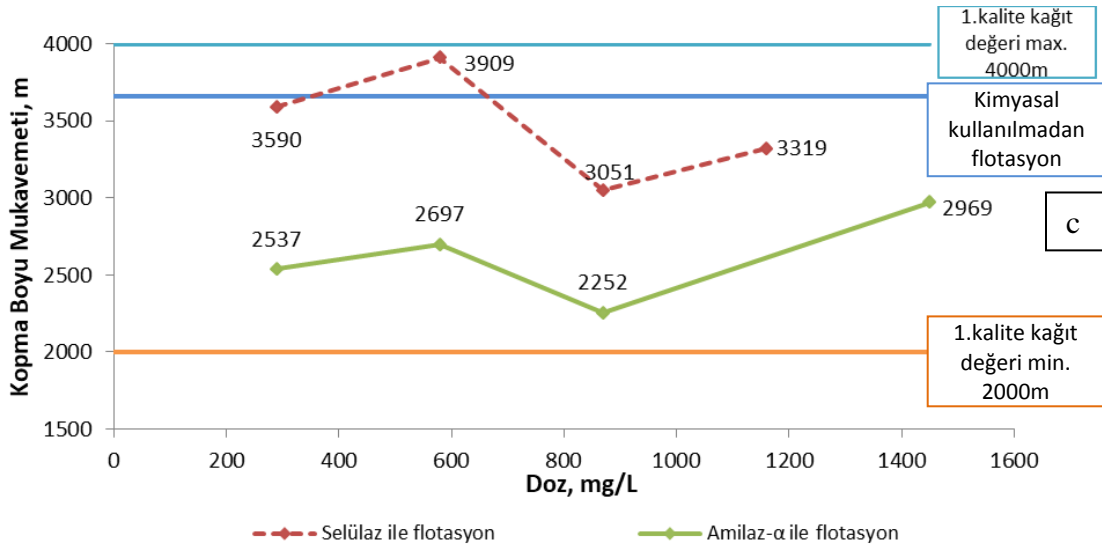
Selülaz ve amilaz- $\alpha$  enzimleri kullanılarak yapılan çalışmalarda elde edilen geri dönüşüm kâğıtların mukavemet değerleri kontrol numunesi mukavemet değerlerinden düşük çıkmasının sebebinin kâğıttan giderilemeyen mürekkep parçacıklarının örtücü bir yapı oluşturup mukavemet değerlerini arttırdığı olarak yorumlanmaktadır (İmamoğlu ve Peşman, 2012). Enzim uygulamalarının kimyasal çalışmalara göre mukavemet değerlerini iyileştirebileceği bilgisinden yola çıkarak NaOH çalışmalarına göre amilaz- $\alpha$  kullanılan çalışmaların ürünlerinde yırtılma mukavemeti ve kopma mukavemeti değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Lasheva ve ark., 2013). 1.kalite kâğıt yırtılma mukavemet değeri (55 % elmandorf), selülaz ve amilaz- $\alpha$  kullanılarak elde edilen geri dönüşüm kâğıtlarının yırtılma mukavemet değerleri karşılaştırıldığında tüm çalışmalar başarılı olmuştur. En iyi sonuç (85 % elmandorf) 580 mg/L amilaz- $\alpha$  dozunda elde edilmiştir (Şekil 4.7 a).

Patlama mukavemeti değerleri incelendiğinde kontrol numunesi (1,6 kgf/cm) ve 1.kalite kâğıt (1,3 kgf/cm) değerlerine göre amilaz- $\alpha$  dozunun artması ile patlama mukavemeti değerinde düşüş gözlemlenmiştir. Selülaz kullanımının mukavemet değerlerini iyileştirdiği (Ibarra ve ark., 2012) bilgisinin aksine çalışmalarda dozun

artması ile patlama mukavemeti değerleri arasında belirgin bir fark gözlemlenmemiş ve 1.kalite kâğıt ve kontrol numunesi değerlerinin altında sonuçlar (1,02-1,08) elde edilmiştir. Mürekkep giderme işlemlerinde kullanılan selülaz ve amilaz- $\alpha$  enzimleri, lif-mürekkep arası bağları koparıırken lif kayıplarına yol açmaktadır (Tsatsis ve ark., 2017). Bu sebeple patlama mukavemet değerinde dozun artması ile bir azalma gözlemlenmiştir (Şekil 4.7 b).

Kontrol numunesi kopma boyu mukavemet değeri ile karşılaştırıldığında, selülaz ve amilaz- $\alpha$  dozunun artması ile kopma boyu mukavemet değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Kontrol numunesi, selülaz ve amilaz- $\alpha$  çalışmalarında elde edilen değerler 2000-4000 m aralığında olan 1.kalite kâğıt kopma boyu mukavemet değerini sağlamaktadır. 1.kalite kopma boyu mukavemet değerine göre en yüksek sonuç (3909 m) 580 mg/L selülaz dozunda elde edilmiştir (Şekil 4.7 c).





**Şekil 4.7. Selülaz ve amilaz- $\alpha$  enzimlerinin geri dönüşüm kağıdın (a) Yırtılma mukavemeti, (b)Patlama mukavemeti, (c) Kopma boyu mukavemeti değerleri üzerine etkileri**

Selülaz ve amilaz- $\alpha$  kullanılarak elde edilen geri dönüşüm kağıt yırtılma mukavemet ve kopma boyu mukavemet değerleri 1.kalite kağıt mukavemet değerlerini sağlamaktadır. Bununla birlikte her iki enzim çalınmasında dozun artması ile patlama mukavemet değerinde bir düşüşe olduğu gözlemlenmiştir. Selülaz ve amilaz- $\alpha$  dozlarının artması ile ortalama standart hata değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir (Çizelge 4.5-4.6). Kâğıt geri dönüşümünün, mukavemet değerlerini düşüreceği literatürde söylene de selülaz enziminde doz artışının patlama mukavemeti değerini iyileştirdiği tespit edilmiştir (Tutus ve ark., 2005). Kâğıt üretiminde nişasta ilavesinin mukavemet değerlerini arttırdığı belirtilmiştir. Amilaz- $\alpha$ 'nın nişastayı hidrolize etmesi sonucu mukavemet değerlerinin düştüğü fakat yırtılma mukavemeti ve kopma boyu mukavemeti değerlerinde 1.kalite kâğıt mukavemeti değerlerini sağladığı tespit edilmiştir (Saxena ve Chauhan, 2017).

Çizelge 4.5. Selülaaz dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri

Selülaaz Dozu / Parametre		Yırtılma Mukavemeti % elmandorf	Kopma Boyu Mukavemeti (m)	Patlama Mukavemeti (kgf/cm)
<b>Kontrol Numunesi (0 mg/L)</b>	Ortalama	70,38	3012,33	1,30
	Minimum	65,16	2100,00	1,07
	Maksimum	74,00	3659,00	1,60
	Ortalamanın Standart Hatası	2,67	469,23	0,15
<b>290 mg/L</b>	Ortalama	62,10	3437,67	1,33
	Minimum	58,60	3314,00	1,19
	Maksimum	67,50	3590,00	1,57
	Ortalamanın Standart Hatası	2,74	80,95	0,12
<b>580 mg/L</b>	Ortalama	67,82	3443,00	1,28
	Minimum	65,90	3122,00	1,20
	Maksimum	70,60	3909,00	1,43
	Ortalamanın Standart Hatası	1,42	238,48	0,08
<b>870 mg/L</b>	Ortalama	63,85	3035,00	1,16
	Minimum	62,10	2849,00	1,03
	Maksimum	66,80	3205,00	1,29
	Ortalamanın Standart Hatası	1,48	103,08	0,08
<b>1160 mg/L</b>	Ortalama	58,37	3004,00	1,15
	Minimum	55,90	2835,00	1,06
	Maksimum	60,60	3319,00	1,30
	Ortalamanın Standart Hatası	1,36	157,64	0,08

Çizelge 4.6. Amilaz- $\alpha$  dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri

Amilaz- $\alpha$ Dozu / Parametre		Yırtılma Mukavemeti (% elmandorf)	Kopma Boyu Mukavemeti (m)	Patlama Mukavemeti (kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>Kontrol Numunesi (0 mg/L)</b>	Ortalama	70,38	3012,33	1,30
	Minimum	65,16	2100,00	1,07
	Maksimum	74,00	3659,00	1,60
	Ortalamanın Standart Hatası	2,67	469,23	0,15
<b>290 mg/L</b>	Ortalama	74,90	2878,00	1,06
	Minimum	68,50	2537,00	1,04
	Maksimum	79,00	3083,00	1,08
	Ortalamanın Standart Hatası	3,24	171,66	0,01
<b>580 mg/L</b>	Ortalama	72,88	2637,33	1,03
	Minimum	62,25	2489,00	0,95
	Maksimum	85,00	2726,00	1,09
	Ortalamanın Standart Hatası	6,61	74,64	0,04
<b>870 mg/L</b>	Ortalama	68,87	2358,00	1,02
	Minimum	60,50	2282,00	0,99
	Maksimum	76,00	2425,00	1,05
	Ortalamanın Standart Hatası	4,52	41,53	0,02
<b>1450 mg/L</b>	Ortalama	77,90	3005,00	0,98
	Minimum	74,00	2910,00	0,93
	Maksimum	84,40	3136,00	1,02
	Ortalamanın Standart Hatası	3,27	67,68	0,03

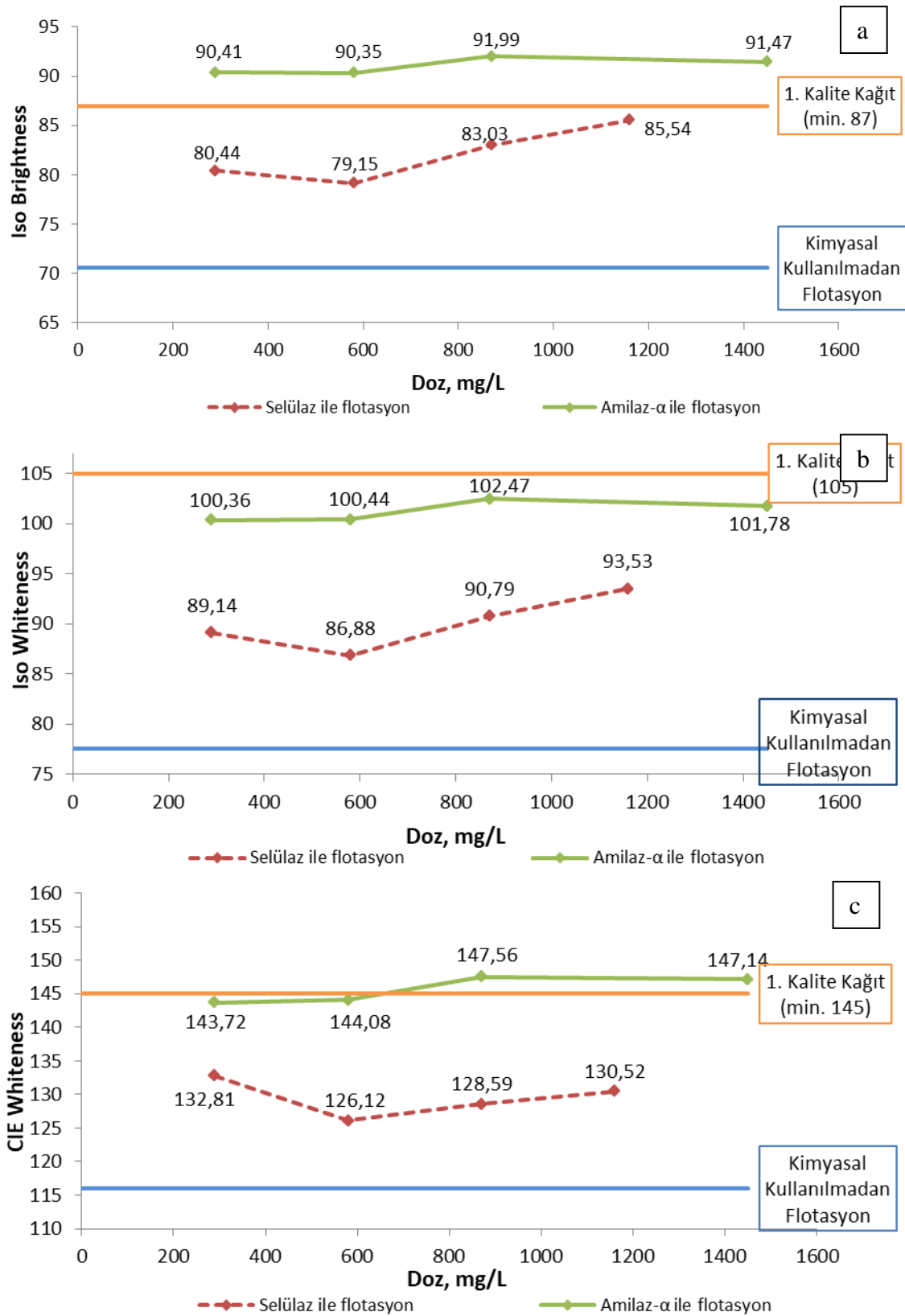
Geri dönüşüm kâğıt beyazlık değerleri incelendiğinde selülaaz ve amilaz- $\alpha$  enzimleri kullanıldığında beyazlık değerlerinin doz artışı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlenmiştir. En başarılı geri dönüşüm kâğıt beyazlık değerleri amilaz- $\alpha$

kullanılan çalışmalarda elde edilmiştir. Bitki ve ağaçlarda bulunan polisakkaritler selüloz ve nişastadır. Nişastalar  $\alpha$ -1,4 ve 1,6 glikozidik bağların bağlanması ile oluşmaktadır. Amilaz- $\alpha$  enziminin nişasta ve lifleri hidrolize ediyor olması, hem kâğıt hem de kâğıt hamuruna katkı sağlamaktadır (Haliskaranfil ve Arıkan, 2012; Saxena ve Chauhan, 2017). Enzimler, kâğıt hamuru içerisindeki hidrofobik mürekkep parçacıklarına hidrofilik özellik kazandırmaktadır. Ayrıca kâğıt hamurundan ayrılan mürekkep parçacıklarının suda tekrar çözünmesini ve kâğıt hamur içerisine dağılmasına engel olmaktadır. Amilaz- $\alpha$  enziminin başarısı mürekkep parçacıklarının bu enzim sayesinde oluşan köpüğün içine hapsolarak, güçlü hava kabarcıkları aracılığıyla yüzeye taşınan köpüğün sistemden uzaklaştırılmasına dayanmaktadır (Saxena ve Chauhan, 2017).

Amilaz- $\alpha$  enzimi kullanılarak elde edilen bulgular ISO Brightness (91,99) açısından karşılaştırıldığında tüm dozlarda yakın sonuçlar elde edildiği, doz artışının bir öneminin olmadığı tespit edilmiştir. 1.kalite kâğıt ISO Brightness (87) değerinden daha başarılı sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir (Şekil 4.8 a). Enzim çalışmalarında elde edilen parlaklık değerleri kimyasal çalışmalara göre daha başarılı olduğu bilgisi amilaz- $\alpha$  ile yapılan çalışmayı desteklemektedir (Saxena ve Chauhan, 2017).

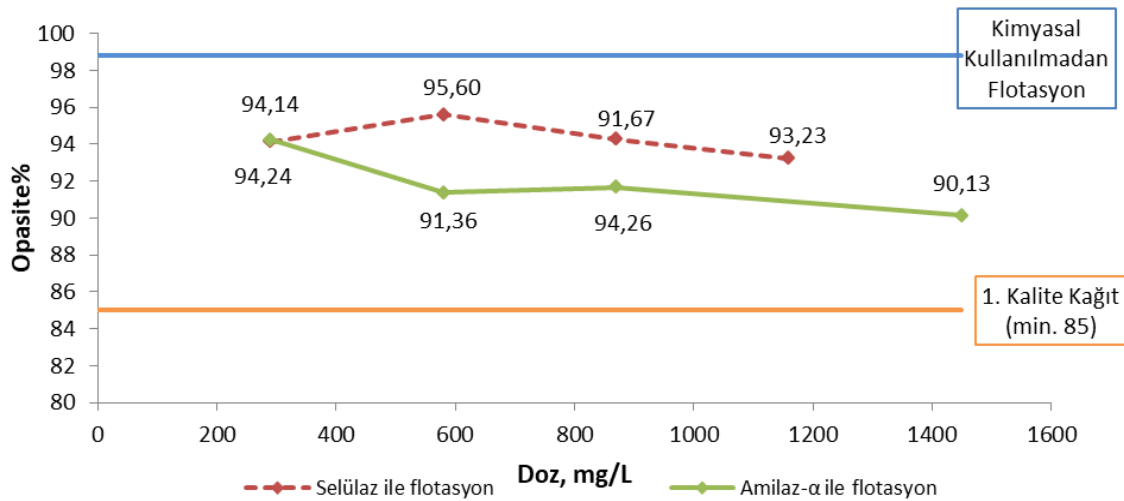
Amilaz- $\alpha$  dozunun artması ile CIE Whiteness ve ISO Whiteness değerinde bir artış gözlenmiş ve son iki dozda elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. CIE Whiteness (147,56) ve ISO Whiteness (102,47) değerleri açısından 870 mg/L üzerindeki dozların bir önemi olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.8 b- 4.8 c). Beyazlık değerlerinin bir bütün halinde yorumlanması gerekmektedir. Herhangi bir beyazlık değerinin standardı sağlamaması o kâğıdın 1.kalite kâğıt olarak adlandırılmasına engeldir. 1.kalite kâğıt beyazlık değerleri sadece 870 mg/L amilaz- $\alpha$  dozunda sağlanmıştır.

Selüloz ve amilaz- $\alpha$  dozunun artması ile opasite değerlerinde bir düşüş gözlemlenmekle birlikte 1.kalite kâğıt opasite değerinden yüksek sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.9). Enzim çalışmalarında opasite değerlerinin kimyasal çalışmalara göre düşük olmasının nedeni mürekkep giderme veriminin düşük olması ve giderilemeyen mürekkeplerin daha örtücü olmasından dolayıdır (İmamoğlu ve Peşman, 2012). Çalışma sonuçları mürekkep giderme veriminin artması ile opasite değerinin düşeceğini göstermektedir.



Şekil 4.8. Selülaz ve amilaz- $\alpha$  enzimlerinin geri dönüşüm kağıdın (a)ISO Brightness, (b)ISO Whiteness, (c)CIE Whiteness değerleri üzerine etkileri





Şekil 4.9. Selülaz ve amilaz- $\alpha$  enzimlerinin geri dönüşüm kağıdın opasite değeri üzerine etkileri

Selülaz ve amilaz- $\alpha$  çalışmalarında elde edilen yüksek beyazlık değerlerinin ortalama standart hatalarının düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Kontrol numunesi CIE Whiteness 117, ISO Whiteness 80,51, ISO Brightness 80,51 beyazlık değerleri amilaz- $\alpha$  enzimi ile CIE Whiteness 147,78, ISO Whiteness 102,37, ISO Brightness 92,40 değerlerine yükseltilmiştir. Literatürde yapılan enzim çalışmalarında beyazlık değerlerinde bir iyileştirme görülmüştür. Ancak sonuçların TSE test standartlarındaki beyazlık değerlerini sağlamadığı gözlemlenmiştir. Amilaz- $\alpha$  enzimi kullanılarak üretilen geri dönüşüm kağıdının beyazlık değerlerinin bu değerleri sağladığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.7 - 4.8).

Çizelge 4.7. Selülaz dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri

Selülaz Dozu / Parametre		CIE Whiteness	ISO Whiteness	ISO Brightness	Opasite
<b>Kontrol Numunesi (0 mg/L)</b>	Ortalama	115,70	78,46	71,51	98,73
	Minimum	114,06	77,31	70,55	98,68
	Maksimum	117,08	80,51	73,38	98,77
	Ortalamanın Standart Hatası	0,88	1,03	0,93	0,03
<b>290 mg/L</b>	Ortalama	131,43	88,48	80,07	95,23
	Minimum	130,55	87,95	79,67	94,14
	Maksimum	132,81	89,14	80,44	95,80
	Ortalamanın Standart Hatası	0,70	0,35	0,22	0,55
<b>580 mg/L</b>	Ortalama	125,60	86,77	79,28	95,66
	Minimum	124,06	85,97	78,73	95,60
	Maksimum	126,61	87,46	79,96	95,74
	Ortalamanın Standart Hatası	0,78	0,43	0,36	0,04
<b>870 mg/L</b>	Ortalama	128,60	90,89	83,24	94,59
	Minimum	128,48	90,79	83,03	94,26
	Maksimum	128,74	90,96	83,39	95,11
	Ortalamanın Standart Hatası	0,08	0,05	0,11	0,26
<b>1160 mg/L</b>	Ortalama	129,95	93,44	85,70	93,44
	Minimum	128,90	93,29	85,54	93,23
	Maksimum	130,52	93,53	85,82	93,69
	Ortalamanın Standart Hatası	0,53	0,08	0,08	0,13

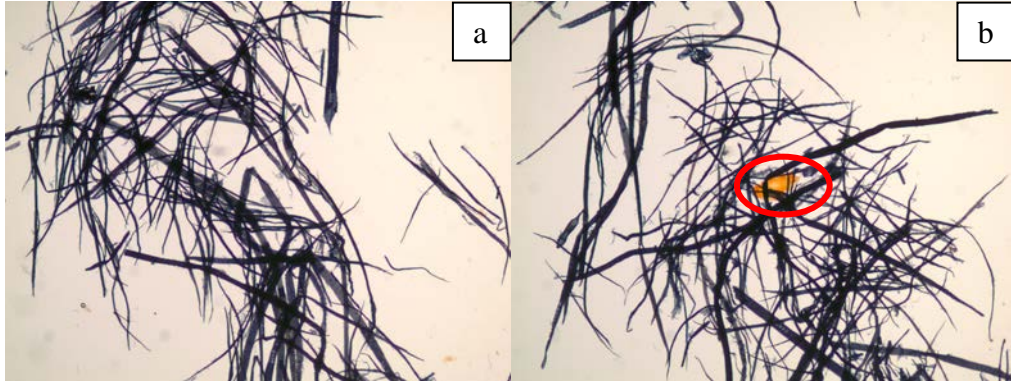
Çizelge 4.8. Amilaz- $\alpha$  dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri

Amilaz- $\alpha$ Dozu / Parametre		CIE Whiteness	ISO Whiteness	ISO Brightness	Opasite
<b>Kontrol Numunesi (0 mg/L)</b>	Ortalama	115,70	78,46	71,51	98,73
	Minimum	114,06	77,31	70,55	98,68
	Maksimum	117,08	80,51	73,38	98,77
	Ortalamanın Standart Hatası	0,88	1,03	0,93	0,03
<b>290 mg/L</b>	Ortalama	143,31	100,12	90,27	93,45
	Minimum	142,70	99,99	90,03	92,57
	Maksimum	143,72	100,36	90,41	94,25
	Ortalamanın Standart Hatası	0,31	0,12	0,12	0,49
<b>580 mg/L</b>	Ortalama	142,84	99,97	90,21	91,66
	Minimum	141,85	99,52	89,99	91,36
	Maksimum	144,08	100,44	90,35	91,94
	Ortalamanın Standart Hatası	0,66	0,27	0,11	0,17
<b>870 mg/L</b>	Ortalama	147,24	102,37	92,15	91,53
	Minimum	146,39	102,09	91,99	91,27
	Maksimum	147,78	102,56	92,40	91,67
	Ortalamanın Standart Hatası	0,43	0,14	0,13	0,13
<b>1450 mg/L</b>	Ortalama	146,91	101,85	91,76	90,16
	Minimum	145,67	101,47	91,47	89,91
	Maksimum	147,92	102,29	92,18	90,45
	Ortalamanın Standart Hatası	0,66	0,24	0,22	0,16

Mürekkep giderme işleminde amilaz- $\alpha$  enzimi kullanılan çalışmada mürekkep parçacıkları gözlenmezken (Şekil 4.10a) selülaz enzimi kullanılan çalışmada mürekkep parçacıkları gözlenmiştir (Şekil 4.10b). Lif yüzeyini oluşturan çeper ve lifleri birbirine bağlayan orta tabaka hemiselüloz ve lignin içermektedir. Enzimler lif yüzeylerindeki bu tabakaya zarar vererek kağıt-mürekkep, lif-mürekkep arasındaki bağları zayıflatarak mürekkep giderme işlemlerinde kullanılmaktadır (Yetiş, 2014).

Selülazlar, selülozu glikoza parçalayabilme kapasitesindeki hidrolitik enzimlerdir (Şekil 2.14). Selülaz enzimleri kağıt hamurlarındaki lif-mürekkep bağını hidrolize uğratarak mürekkebin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Aygan ve Arıkan, 2008).

Kâğıtların ıslak ve kur direnç özelliklerini arttırmak için nişasta kullanılmaktadır (Şahin, 2014). Amilazlar, glikoz hücrelerinden oluşan nişasta ve polimer moleküllerini parçalayan "glikozid hidrolaz" olarak bilinen enzimlerdir. Amilaz, amilopektin ve glikojeni oluşturan glikoz hücreleri arasındaki glikozidik bağları parçalayabilme özelliğine sahiptir (Şekil 2.13). Amilaz enzimlerinin mürekkep parçacıklarını hidrofobik yapıya eriştirmesinden dolayı amilaz- $\alpha$  uygulanarak elde edilen kağıt mikroskop görüntüsünde herhangi bir mürekkep parçacığına rastlanmamıştır (Aygan ve Arıkan, 2008) (Şekil 4.10a).



Şekil 4.10. (a)Amilaz- $\alpha$  işlemi uygulandıktan sonra elde edilen kâğıdın, (b)Selülaz işlemi uygulandıktan sonra kâğıdın mikroskop görüntüsü

### 4.3. Ultrasonik Enerjinin Kâğıt Geri Dönüşümüne Etkisi

Tez çalışması sırasında en başarılı sonuç enzim kullanılan çalışmalardan elde edildiği için enzim ve ultrasonik işlemin etkisi birlikte araştırılmıştır. Kâğıt geri dönüşümünde enzimin mürekkep giderme verimini arttırmak için ultrasonik işlem kullanılarak kâğıt test parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Mürekkeplerin içerisinde kimyasal işlemlere duyarlı polietilen ve polipropilen gibi grupların bulunmasının mürekkep giderme işlemini zorlaştırdığı belirtilmiştir. Mürekkeplerin yapışma özellikleri ve düz şekilleri nedeniyle boyut olarak parçalanmalarının güç olması mürekkep giderime işlemlerinde zorluk çıkarmaktadır. Bu duruma çözüm olarak ultrasonik işlemin başarılı olacağı savunulmuştur (Saxena ve Chauhan, 2017). Yapılan çalışmada amilaz- $\alpha$  + ultrasonik işlem sonucu elde edilen geri dönüşüm kâğıdın mukavemet ve beyazlık değerleri incelendiğinde bireysel olarak amilaz- $\alpha$  enzim kullanılan çalışmalara göre düşük sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.9).

Amilaz- $\alpha$  - ultrasonik işlem çalışmalarında kopma boyu mukavemet değeri ve patlama mukavemet değerinde bir artış gerçekleşmesine rağmen yırtılma mukavemeti değeri açısından amilaz- $\alpha$  bireysel çalışmasındaki değer altında olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 4.9). Amilaz- $\alpha$  çalışmalarında elde edilen CIE Whiteness 147,57, ISO Whiteness 102,47, Brightness 91,99 olan beyazlık değerleri amilaz- $\alpha$  - ultrasonik işlem uygulaması ile CIE Whiteness 124, ISO Whiteness 85, ISO Brightness 77 değerlerine düştüğü gözlemlenmiştir (Çizelge 4.10). Bu durum ultrasonik işlem uygulamasının gerekmediğini göstermektedir. Yapılan bir diğer çalışmada ultrasonik işlemin beyazlık ve parlaklık üzerinde fazla etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Karahan, 2017a). Bu duruma neden olarak alınan kâğıt hamurunun çok yoğun olması uygulanan

işlemin verimini düşürdüğü söylenebilir. Ultrasonik işlemin maliyet getireceği ve enzimin giderim verimini düşürdüğünden dolayı seçilen dozlar dışında çalışmanın bir başarı getirmeyeceği sonucuna varılmıştır.

**Çizelge 4.9. Amilaz- $\alpha$  – Ultrasonik işlem dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri**

Doz / Parametre		Yırtılma Mukavemeti (% elmandorf)	Kopma Boyu Mukavemeti (m)	Patlama Mukavemeti (kgf/cm)
<b>Kontrol Numunesi</b> <b>0 mg/L</b>	Ortalama	70,38	3012,33	1,3
	Minimum	65,16	2100	1,07
	Maksimum	74	3659	1,6
	Ortalamanın Standart Hatası	2,67	469,23	0,15
<b>Sürekli Ultrasonik işlem</b> <b>+ 580 mg/L Amilaz-<math>\alpha</math></b>	Ortalama	56,32	3782,33	1,32
	Minimum	53,38	3691,00	1,23
	Maksimum	61,19	3949,00	1,41
	Ortalamanın Standart Hatası	2,45	83,46	0,05
<b>Kesikli Ultrasonik işlem</b> <b>+ 580 mg/L Amilaz-<math>\alpha</math></b>	Ortalama	63,50	4099,67	1,47
	Minimum	57,25	3960,00	1,43
	Maksimum	68,20	4180,00	1,53
	Ortalamanın Standart Hatası	3,26	70,10	0,03

**Çizelge 4.10. Amilaz- $\alpha$  – Ultrasonik işlem dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri**

Ultras / Parametre		CIE Whiteness	ISO Whiteness	ISO Brightness	Opasite
<b>Kontrol Numunesi</b> <b>(0 mg/L)</b>	Ortalama	115,70	78,46	71,51	98,73
	Minimum	114,06	77,31	70,55	98,68
	Maksimum	117,08	80,51	73,38	98,77
	Ortalamanın Standart Hatası	0,88	1,03	0,93	0,03
<b>Sürekli Ultrasonik işlem</b> <b>+ 580 mg/L Amilaz-<math>\alpha</math></b>	Ortalama	124,12	85,06	77,74	95,53
	Minimum	123,41	84,84	77,53	95,31
	Maksimum	124,56	85,42	78,14	95,89
	Ortalamanın Standart Hatası	0,36	0,18	0,20	0,18
<b>Kesikli Ultrasonik işlem</b> <b>+ 580 mg/L Amilaz-<math>\alpha</math></b>	Ortalama	123,47	84,44	77,17	95,56
	Minimum	123,05	84,29	77,01	95,48
	Maksimum	123,93	84,67	77,38	95,67
	Ortalamanın Standart Hatası	0,25	0,12	0,11	0,06

### 4.3. Enzim kimyasal ikilisinin kâğıt geri dönüşümüne etkisi

Kâğıt geri dönüşümünde enzimin mürekkep giderim verimine ortamdaki kimyasalın etkisini ortaya koymak için kimyasal çalışmalarda en iyi sonuçları veren NaOH ile enzim kullanılarak üretilen geri dönüşüm kâğıtlarının mukavemet değerleri ve beyazlık değerleri incelenmiştir. Enzim-kimyasal ikili çalışmalarında ve bireysel olarak enzim kullanılan çalışmalarda elde edilen geri dönüşüm kâğıt mukavemet değerleri

arasında belirgin bir fark olmadığı ve 1.kalite kağıt patlama mukavemet değerlerini sağladığı gözlenmiştir (Çizelge 4.11 - 4.12).

**Çizelge 4.11. Selülaz – NaOH işlem dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri**

NaOH Dozu / Parametre		Yırtılma Mukavemeti (% elmandorf)	Kopma Boyu Mukavemeti (m)	Patlama Mukavemeti (kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>Kontrol Numunesi (0 mg/L)</b>	Ortalama	70,38	3012,33	1,3
	Minimum	65,16	2100	1,07
	Maksimum	74	3659	1,6
	Ortalamanın Standart Hatası	2,67	469,23	0,15
<b>290 mg/L Selülaz + 25 mg/L NaOH</b>	Ortalama	68,99	3832	1,58
	Minimum	54,27	3572	1,25
	Maksimum	87	4150	1,77
	Ortalamanın Standart Hatası	9,59	0,17	0,17
<b>580 mg/L Selülaz + 25 mg/L NaOH</b>	Ortalama	65,11	3,508	1,37
	Minimum	60,49	3,066	1,16
	Maksimum	73,61	3,911	1,52
	Ortalamanın Standart Hatası	4,26	0,24	0,11
<b>580 mg/L Selülaz + 50 mg/L NaOH</b>	Ortalama	59,57	3,877	1,22
	Minimum	54,10	3,703	1,02
	Maksimum	62,75	4,170	1,42
	Ortalamanın Standart Hatası	2,75	0,15	0,12

**Çizelge 4.12. Amilaz - NaOH dozlarının mukavemet değerlerine etkisinin istatistiksel verileri**

NaOH Dozu / Parametre		Yırtılma Mukavemeti (% elmandorf)	Kopma Boyu Mukavemeti (m)	Patlama Mukavemeti (kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>Kontrol Numunesi (0 mg/L)</b>	Ortalama	70,38	3012,33	1,30
	Minimum	65,16	2100	1,07
	Maksimum	74,00	3659	1,60
	Ortalamanın Standart Hatası	2,67	469,23	0,15
<b>580 mg/L Amilaz-<math>\alpha</math> + 25 mg/L NaOH</b>	Ortalama	79,82	3,371	1,32
	Minimum	75,00	2,998	1,31
	Maksimum	84,46	3,923	1,33
	Ortalamanın Standart Hatası	2,73	0,281	0,01
<b>580 mg/L Amilaz-<math>\alpha</math> + 50 mg/L NaOH</b>	Ortalama	60,45	3,035	1,12
	Minimum	53,77	2,686	0,98
	Maksimum	72,62	3,734	1,27
	Ortalamanın Standart Hatası	2,78	0,159	0,05

Selülaz - NaOH ikili çalışmasında üretilen geri dönüşüm kağıdın beyazlık değerlerinin selülaz enzimi kullanılarak elde edilen geri dönüşüm kağıt beyazlık değerlerine yakın olduğu fakat selülaz kullanılarak elde edilen geri dönüşüm kağıt değerlerinden düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum ultrasonik işlemin selülaz enzimin mürekkep giderme verime bir katkıda bulunmadığını göstermektedir (Çizelge 4.13).

Amilaz- $\alpha$  - NaOH ikili çalışmasında üretilen geri dönüşüm kâğıdın beyazlık değerlerinin başlangıç dozunda amilaz- $\alpha$  enzimi kullanılarak elde edilen geri dönüşüm kâğıt beyazlık değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Amilaz- $\alpha$  dozunun artması ile bu değer düşüğü gözlemlenmektedir. Bunun nedeni NaOH'ın, amilaz- $\alpha$ 'nın mürekkep

giderme verimini düşürmesinden dolayıdır. NaOH'ın yüksek dozlarda kâğıt hamurunu sararttığı bildirilmiştir (Peşman ve ark., 2010; Lee ve ark., 2013). Çalışmada amilaz- $\alpha$ 'nın NaOH'a göre daha çok köpük oluşturduğu ve liflerden ayrılan mürekkebi daha çok yüzeyde topladığı gözlemlenmiştir (Çizelge 4.13).

**Çizelge 4.13. Selülaz – NaOH işlem dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri**

Dozu / Parametre		CIE Whiteness	ISO Whiteness	ISO Brightness	Opasite
<b>Kontrol Numunesi</b> (0 mg/L)	Ortalama	115,70	78,46	71,51	98,73
	Minimum	114,06	77,31	70,55	98,68
	Maksimum	117,08	80,51	73,38	98,77
	Ortalamanın Standart Hatası	0,88	1,03	0,93	0,03
<b>290 mg/L Selülaz</b> + <b>25 mg/L NaOH</b>	Ortalama	123,57	86,35	78,87	95,68
	Minimum	123,08	86,19	78,64	94,98
	Maksimum	123,86	86,54	79,02	96,35
	Ortalamanın Standart Hatası	0,25	0,10	0,12	0,40
<b>580 mg/L Selülaz</b> + <b>25 mg/L NaOH</b>	Ortalama	122,58	86,92	79,72	95,83
	Minimum	122,11	86,69	79,18	95,31
	Maksimum	122,94	87,06	80,08	96,45
	Ortalamanın Standart Hatası	0,25	0,11	0,28	0,33
<b>580 mg/L Selülaz</b> + <b>50 mg/L NaOH</b>	Ortalama	129,98	92,25	84,63	94,00
	Minimum	129,32	92,19	84,43	93,15
	Maksimum	130,93	92,35	84,74	94,57
	Ortalamanın Standart Hatası	0,49	0,05	0,10	0,43

**Çizelge 4.14. Amilaz- $\alpha$  - NaOH dozlarının beyazlık değerlerine etkisinin istatistiksel verileri**

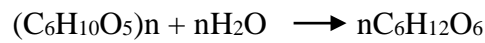
Dozu / Parametre		CIE Whiteness	ISO Whiteness	ISO Brightness	Opasite
<b>Kontrol Numunesi</b> (0 mg/L)	Ortalama	115,70	78,46	71,51	98,73
	Maksimum	117,08	80,51	73,38	98,77
	Minimum	114,06	77,31	70,55	98,68
	Ortalamanın Standart Hatası	0,88	1,03	0,93	0,03
<b>290 mg/L Amilaz-<math>\alpha</math></b> + <b>25 mg/L NaOH</b>	Ortalama	142,55	100,68	91,42	93,68
	Minimum	140,97	100,09	90,88	93,42
	Maksimum	143,92	101,16	91,77	93,99
	Ortalamanın Standart Hatası	0,86	0,31	0,28	0,17
<b>580 mg/L Amilaz-<math>\alpha</math></b> + <b>25 mg/L NaOH</b>	Ortalama	122,20	87,04	79,95	96,33
	Minimum	120,41	86,60	79,52	95,67
	Maksimum	123,96	87,44	80,29	96,68
	Ortalamanın Standart Hatası	0,49	0,13	0,11	0,17

#### 4.4. NaOH ve amilaz- $\alpha$ ile mürekkep giderme yapılan geri dönüşüm işlemi atıksuları

Kâğıt yapımında oluşan atıksulara "beyazsu" adı verilmektedir. Kâğıt yapımında çeşitli dolgu ve katkı maddeleri kullanılmasından dolayı atıksulara karışmaktadır (Deliktaş, 2011). Ayrıca yapılan mürekkep giderme çalışmasında liflerden ayrılan mürekkebin atıksuya karıştığı gözlenmiştir.

Yapılan yüzdürme ile mürekkep giderme çalışmasında kimyasal olarak NaOH, enzim olarak amilaz- $\alpha$  kullanılan çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. 1. kalite kâğıt standart değerleri sadece 870 mg/L amilaz- $\alpha$  dozunda elde edilmiştir. Yapılan atıksu deyinde KOİ değerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. KOİ değerinin yüksek çıkmasının nedeni suda bulunan organik maddelerin oksijen miktarını düşürmesinden kaynaklanmaktadır.

Reaksiyon hızını arttıran amilaz- $\alpha$  enzimi hidroliz reaksiyonu ile önce atıksuda bulunan nişastayı glikoza, glikoz birimleri arasındaki glikozidik bağları da hidroliz ederek etil alkolü ve karbondioksiti açığa çıkarmaktadır (Aygan ve Arıkan, 2008);(Şekil 4.11).



**Şekil 4.11. Nişasta hidroliz reaksiyonu (Adıgüzel, 2013)**

KOİ değerinin yüksek çıkması, nişastanın hidrolizi sonucu oluşan organik maddelerin (glikoz) suda bulunan çözünmüş oksijen miktarını azaltması olarak yorumlanabilir (Adıgüzel, 2013). Bu durumun aksine artan doz ile bulanıklık değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Amilaz- $\alpha$  enziminin özellikle gıda sanayinde bulanıklık giderici olarak kullanıldığı bilinmektedir. Artan amilaz- $\alpha$  ile bulanıklıkta gözlenen düşüş, amilaz- $\alpha$  enziminin bu özelliği ile ilişkilendirilmiştir. Bulanıklığa sebep olan unsurlardan biri renk olup, atıksuda oluşan mürekkep kaynaklı rengin amilaz- $\alpha$  enzimiyle arıtmaya tabi tutulup kanalizasyona deşarj edilmesi gerekmektedir (Selen, 2006; Güven, 2011) (Çizelge 4.15). Renk giderimi için kâğıt endüstrisi ve bazı endüstrilerde ekonomik yöntemlerin geliştirilmediği bilgisinden yola çıkarak, bulanıklığa sebep olan renk parametresinin amilaz- $\alpha$  enzimi ile gideriminin uygun olacağı sonucuna varılmıştır (Çalışır, 2010).

**Çizelge 4.15. NaOH ve Amilaz- $\alpha$  kullanılan geri dönüşüm işlemi atıksuyunun KOİ, Bulanıklık değerleri**

Doz/Parametre	KOİ (mg/L)	Bulanıklık (NTU)
25 mg/L NaOH	1920	276,47
100 mg/L NaOH	1920	279,41
200 mg/L NaOH	2560	278,23
250 mg/L NaOH	2560	282,35
290 mg/L Amilaz- $\alpha$	4480	265,7
580 mg/L Amilaz- $\alpha$	6080	250
870 mg/L Amilaz- $\alpha$	7680	191,2

#### 4.5. Yapılan tez çalışmasının literatür çalışmaları ile kıyaslanması

Atık ofis kâğıtlarının geri dönüşümünde hamurdan baskı mürekkebinin giderimi için kimyasal, enzim, enzim + kimyasal ve enzim + ultrasonik işlem çalışmaları yapılmıştır. Çizelge 4.16'da hem literatürdeki hem de tez çalışmalarında elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Ayrıca test edilmeyen parametreler çalışılarak literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır. SR<sup>0</sup>, gramaj, kalınlık değerlerinin standartları sağladığı görülmüş, bu yüzden mukavemet ve beyazlık değerlerinin üzerinde durulmasına karar verilmiştir. Çizelge 4.16'da, kimyasal çalışmalarda CIE beyazlığı (129,95) ve ISO parlaklığı (86,95) değerleri dışındaki tüm parametrelerde, literatürdeki çalışmalara göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir (İmamoğlu ve Peşman, 2012; İmamoğlu ve ark., 2013). Bu çalışmaların dışında enzim + ultrasonik işlem uygulanarak denemeler yapılmıştır. 1.kalite kâğıt test değerlerine göre mukavemet değerlerinde başarılı sonuçlar elde edilirken beyazlık değerlerinde başarılı sonuçlar elde edilememiştir Diğer çalışmalarda olduğu gibi 60 gram atık kâğıt numunesi 2 lt suda açıldıktan sonra ultrasonik işleme tabi tutulmuştur. Kâğıt hamurunun derişiminin yüksek olmasından dolayı lifler arası hareketin yeteri kadar sağlanamadığı gözlenmiştir Sadece hamur karışımına yüzeye etki ettiği geri kalan alanlara etki etmediği gözlenmiştir. Derişimi daha düşük bir kâğıt hamurunda çalışılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bunun sonucunda, (Çizelge 3.2; 4.16).

NaOH ve CaO kullanılarak elde edilen geri dönüşüm kâğıdının CIE Whiteness ve ISO Brightness değerlerinin literatürde elde edilen değerlere göre düşük olduğu fakat opasite değerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni NaOH kimyasalının yüksek dozlarda sararmaya yol açması ve enzim kullanılan çalışmalara göre flotasyon sisteminde daha az köpük oluşturması olarak yorumlanmaktadır (Lee ve ark., 2013). Opasite değerinin yüksek olması, mürekkep parçacıklarının örtücü etki yaratmasından



dolayı giderilemeyen mürekkep parçacıklarının beyazlık değerini düşürmesi olarak yorumlanabilmektedir (İmamoğlu ve Peşman, 2012). Enzim çalışmaları incelendiğinde patlama mukavemeti değeri dışında bütün değerlerde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Enzimler yapıları itibari ile benzer özelliktedirler. Bu benzerliklerine rağmen laboratuvar ortamında üretilen enzimler ile ticari enzimler arasında pH ve sıcaklık gibi parametrelerinin farklı olduğu gözlemlenmiştir (Topuz ve ark., 2007; Aygan ve Arıkan, 2008; Haliskaranfil ve Arıkan, 2012; Lasheva ve ark., 2013; Saxena ve Chauhan, 2017). Amilaz enzimi glikoz birimlerinden oluşan nişasta moleküllerini parçalayan "glikozid hidrolaz" olarak bilinen glikoz birimleri arasındaki glikozidik bağları parçalama yeteneğine sahip enzimlerdir. Selüloz enzimleri, biyolojik parçalanmalara dayanıklı olan çözünmez yapıda olan selüloz birimlerinin  $\beta$ -1,4 bağlarını hidrolize etme özelliğine sahiptirler. Yani selüloz, selüloz'u hidrolize ederken, amilaz enzimi selülozdan üretilen kâğıtların içerisindeki nişasta moleküllerini parçalama özelliğine sahiptir. Bu durum amilaz- $\alpha$  özelliğinin mürekkep giderme veriminin selüloz'a göre daha yüksek olmasına sebep olarak açıklanabilir (Bhat ve Bhat, 1997; Topuz ve ark., 2007; Aygan ve Arıkan, 2008; Rezaei ve ark., 2010). Enzim çalışmalarında elde edilen geri dönüşüm kâğıdın patlama mukavemet değerinin düşük çıkmasının nedeni, yapılan yüzdürme işlemi ile mürekkep giderme işlemi, hidrofobik özellikteki mürekkep parçacıklarının hidrofilik özellik kazarak, hava kabarcıklarına tutunup, yüzeyde oluşan köpük içine hapsolarak bir miktar lif ile uzaklaştığındandır (İmamoğlu ve ark., 2013; Lasheva ve ark., 2013; Şahin, 2016). Enzim kimyasal ikili çalışmaları, yalnızca enzim kullanılan çalışmalara göre başarısız olmuştur. Enzimlerin yüksek pH koşullarında aktivitelerini kaybettiği bilinmekle birlikte amilaz- $\alpha$  enzim pH ve NaOH kullanılan çalışmalar yalnızca NaOH kullanılan çalışmalara göre başarılı sonuçlar vermiştir. Bu durum amilaz- $\alpha$  enziminin pH aktivitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak NaOH, CaO, selüloz ve amilaz- $\alpha$  çalışmaları arasında 1.kalite kâğıt standart değerleri amilaz- $\alpha$  çalışmalarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.16. NaOH ve Amilaz- $\alpha$  ikilisinin istatistiksel verileri

Uygulanan Metot/Bakılan Parametre	K		E		E + K		E + UI		1.K.K.D
	L	T	L	T	L	T	L	T	TSE
Öğütüm Derecesi, SR $^{\circ}$	28 <sup>[1]</sup>	25	-	24	-	29	-	27	25-30
Gramaj, g/m <sup>2</sup>	69,33 <sup>[2]</sup>	83	-	77	-	81	-	79	80 $\pm$ 3
Kalınlık, $\mu$ m	143,34 <sup>[2]</sup>	146	-	140	-	147	-	130	min. 95
Yırtılma Mukavemeti %elmandorf	64 <sup>[2]</sup>	72	62 <sup>[3]</sup>	85	49 <sup>[1]</sup>	84,46	-	61,19	min. 55
Kopma Mukavemeti (m)	2860 <sup>[2]</sup>	3083	3110 <sup>[4]</sup>	3909	3500 <sup>[1]</sup>	3923	-	3707	min.2000 max.4000
Patlama Mukavemeti kgf/cm <sup>2</sup>	1,5 <sup>[2]</sup>	1,26	1,4 <sup>[4]</sup>	1,26	-	1,33	-	1,53	min.1.3
CIE Beyazlığı	135,97 <sup>[2]</sup>	129,95	-	147,78	-	143,92	-	123,41	min.145
ISO Beyazlığı (Whiteness)	-	94,57	90 <sup>[9]</sup>	102,56	81,4 <sup>[5]</sup>	101,16	81,3 <sup>[5]</sup>	85,42	min.100
ISO Parlaklığı (Brightness)	97,63 <sup>[2-6]</sup>	86,95	86,6 <sup>[7]</sup>	92,18	87,5 <sup>[1]</sup>	91,77	83,06 <sup>[5]</sup>	78,14	min.87
Opasite	93,82 <sup>[8]</sup>	98,75	-	95,60	-	93,99	-	95,48	min.86

K: Kimyasal kullanımı, E: Enzim kullanımı, UI: Ultrasonik işlem, L: Literatür çalışmaları, T: Tez çalışmaları, 1.K.K.D: 1.kalite kâğıt değerleri  
 [1]:(Lashveva ve ark., 2013), [2]:(İmamoğlu ve Peşman, 2012), [3]:(Lee ve ark., 2013), [4]:(Saxena ve Chauhan, 2017), [5]:(Karahana, 2017a), [6]:(İmamoğlu ve ark., 2013), [7]:(Lee ve ark., 2011), [8]:(Yetiş, 2014), [9]:(Park ve Park, 1999) .

#### 4.6. Kâğıt geri dönüşümünün maliyet analizi

Elde edilen veriler doğrultusunda, 1.kalite kâğıt üretimi için selüloz ile birlikte %100 olmamakla birlikte atık kâğıt kullanımı mümkündür. 2018 yılı verilerine göre 1 ton selülozun maliyeti 810 USD/ton' dur. Satın alınan selüloz %5rutubetlidir. Öte yandan satılan kâğıt da %5 rutubete sahiptir. Bu sebeple selülozdaki kayıp ihmal edilir. Selülozdan kâğıt üretiminde beyazlatıcı kimyasal olarak optik ve çivit kullanılmaktadır. Ton başına kimyasal maliyeti 8 USD' dir. Hammadde olarak selüloz kullanıldığında 1 ton kâğıt üretim maliyet 818 USD' dir (Çizelge 4.17).

1 ton 1.kalite atık kâğıt maliyeti 185 USD' dir. Atık kâğıtta hammadde kaybı %30'dur (Şahin, 2016). Bunun nedeni, gelen atık kâğıt içerisinde bulunan zımba, tel, bant ve kâğıtlar üzerindeki baskı mürekkeplerini içermesinden dolayıdır. Bu kayıplar da hesaba katıldığında hammadde maliyeti 240 USD olmaktadır. Amilaz- $\alpha$  enziminin güncel fiyatı 170 USD/ton' dur. Kullanılan enzim fiyatı da dâhil edildiğinde toplam 1 ton kâğıt üretim maliyet 410 USD olmaktadır (Çizelge 4.17).

1. kalite kâğıt üretiminde 1 ton selüloz ile 1,3 ton kâğıt üretilmektedir. Türkiye’de 1.kalite kâğıt üreten fabrikaları ortalama 90.000 ton üretim kapasitesine sahiptir. 90.000 ton kâğıt üretimi yapılabilmesi için ortalama 70.000 ton selüloza ihtiyaç vardır. Bunun maliyeti 57,3 milyon USD’ dir. 90.000 ton kâğıt üretiminde hammaddenin dörtte biri oranında atık kâğıt kullanılmış olsaydı; 10,4 milyon USD atık kâğıt maliyeti, 38,7 milyon USD selüloz maliyeti olacaktı. 1. Hamur kâğıt üretiminde hammadde olarak selülozla birlikte 1.Kalite atık kâğıt kullanıldığında toplam maliyet yıllık olarak 8,2 milyon USD azalmaktadır.

Elde edilen maddi kazancın dışında 20-25 ton daha az selüloz kullanılmış olacaktır. Bu da ağaçların kesilmesini engelleyerek ormanların sürdürülebilirliğini destekleyecek niteliktedir.

**Çizelge 4.17. Selüloz ve atık kâğıt kullanılan kâğıt üretimlerinin hammadde maliyet hesabı**

2018 Yılı	Fiyat (USD/ton)	Üretim Kayıpları (%)	Üretim Kayıp maliyeti (USD/ton)	Enzim/Beyazlatma Kimyasal Maliyeti (USD/ton)	Toplam Maliyet (USD/ton)
Selüloz	810	-	-	8	818
Atık Kâğıt	185	30	240	170	410

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada baskılı 1.kalite kâğıt atıklarının geri dönüşümü sürecinde yüzdürme (flotasyon) yönteminde NaOH, CaO kimyasalları, selülaz ve amilaz- $\alpha$  enzimi kullanılarak mürekkep giderme verimleri çalışılmıştır. Çalışmalar sonucunda önerilen mürekkep giderme maddesi amilaz- $\alpha$  enzimidir. Sonuç olarak;

- Mürekkeplerin kimyasal ve enzim yöntemleri ile flotasyon esaslı sistemde rahatlıkla uzaklaştırılabileceği görülmektedir.
- Enzimatik yöntemle, kimyasal yöntemle göre daha başarılı sonuçlar alınmıştır.
- Kimyasal çalışmalarda; Elde edilen sonuçlarda NaOH, CaO kimyasalına göre daha başarılı sonuçlar vermiş olup, 100 mg/L NaOH dozunda elde edilen geri dönüşüm kâğıt beyazlık değerlerinin 1.kalite kâğıt değerlerine en yakın sonuçları verdiği gözlenmiştir.
- Enzim çalışmalarında; Amilaz- $\alpha$  enziminin, selülaz enzimine göre daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. 870 mg/L Amilaz- $\alpha$  dozunda elde edilen geri dönüşüm kâğıdının beyazlık değerleri 1.kalite kâğıt değerlerini sağladığı gözlenmiştir.
- Her iki yöntem sonucunda mürekkep parçacıklarının selüloz fibrillerinden ayrıldığı ancak bütün partiküllerin süspansiyon içerisinde uzaklaştırılmadığı görülmektedir. Amilaz- $\alpha$  enzimi, hemiselüloz katmanını hedef aldığı için toner uzaklaştırmada NaOH ve CaO kimyasalları ile selülaz enzimi içerisinde en iyi sonuçları vermiştir.
- Enzimatik uygulamalarda köpük oluşumunun daha hızlı ve daha yüksek olduğu bu durumun flotasyon verimini arttırdığı gözlenmiştir.
- Mürekkep giderme çalışmaları için farklı türdeki enzim ve kimyasallar denenebilir.
- Elde edilen sonuçlar ile enzimatik uygulamalar, endüstriyel boyutta kullanılabilir.

Bu çalışmanın devamı niteliğindeki çalışmalar için şunlar önerilebilir;

- Elde edilen sonuçlar ile enzimatik uygulamalar, endüstriyel boyutta kullanılabilir.
- Farklı baskı türleri kullanılmış atık kâğıtlar kullanılarak kimyasal ve/veya ultrasonik mürekkep giderme işlemleri denenmelidir.

- Ultrasonik işlem ve/veya enzim + kimyasal kullanılarak yapılacak geri dönüşüm kâğıdın kalitesini arttırmak için farklı kombinasyonlar denenmelidir.
- 60gr/2lt derişimde olan hamur karışımının yoğunluğundan dolayı lifler arası hareket yeteri kadar sağlanamamıştır. Daha seyreltik hamur karışımında ultrasonik işlem çalışmaları denenmelidir.
- Enzim uygulandıktan sonra suya geçen mürekkebi tekrar kâğıt liflerinin aralarına karıştırmayacak şekilde flotasyondan farklı bir ayırma sistemi geliştirilmelidir.

Kâğıt sektöründe sıfır atık uygulaması ile döngüsel ekonomiye katkı sağlamak için; atık kâğıtların düzenli toplatılması, sınıflandırılması, üretime kazandırılarak döngüsel ekonomiye katkıda bulundurulması gerekmektedir. Bu konuda halkın bilinçlendirilmesi gerekmektedir. İlave gümrük vergileri yeniden düzenlenmeli veya kaldırılmalıdır. Kâğıt hammadde fiyatlarının dünya ile rekabet edilebilecek fiyatlara getirilmesi gerekmektedir. Türkiye'deki enerji fiyatlarının rakip ülkelere göre elektrik fiyatlarının %60-70 oranında yüksek olması ve kâğıt üretiminin enerji giderleri toplam maliyetleri %28-30 oranında yükseltmektedir. Sadece ekonomik olarak değil aynı zamanda, kâğıt üretimi sırasında ortaya çıkan klorlanmış organik maddeler, fenoller, furanlar ve dioksinler çevreye zarar verebilmektedir. Selüloz üretimi ve kullanımı yerine atık kâğıdın değerlendirilmesi ortaya çıkan bu kirlilikleri ortadan kaldıracak ve çevreye duyarlı bir uygulama olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Adıgüzel, A. O., 2013, Lignoselülozik materyallerden biyoetanol üretimi için kullanılan ön-muamele ve hidroliz yöntemleri, *Sakarya University Journal of Science*, 17 (3), 381-397.
- Aygan, A. ve Arıkan, B., 2008, Amilaz selüloz ve ksilanaz üretebilen orta düzeyde halofil bacillus sp izolasyonu ve optimum üreme ve enzim sentezlerinin belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü*, 2008., 18 (2).
- Balaban, M. ve Atik, C., 1999, Ağartma sırasında kraft selülozunda görülen bazı kimyasal ve optik değişiklikler, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 49 (2), 133-144.
- Bhat, M. ve Bhat, S., 1997, Cellulose degrading enzymes and their potential industrial applications, *Biotechnology advances*, 15 (3-4), 583-620.
- CEPI, 2016, European pulp & paper industry key statistics, 2016.
- Çalışır, M., 2010, Ardışık kesikli aktif çamur sisteminde arıtılmış sentetik tekstil terbiyesi atık sularında renk giderimi ve ekonomik analizi, *Namık Kemal Üniversitesi*.
- Deliktaş, E., 2011, Kağıt endüstrisi atıksularının elektro-fenton prosesi ile arıtılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Eken, H. A., 2014, Mermer işleme tesislerindeki atıkların Ç. KK (Çöktürülmüş Kalsiyum Karbonat) üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Faddoul, R., Reverdy-Bruas, N. ve Blayo, A., 2012, Formulation and screen printing of water based conductive flake silver pastes onto green ceramic tapes for electronic applications, *Materials Science and Engineering: B*, 177 (13), 1053-1066.
- Fidancı, U. R., 2009, "Enzimler", Ankara Üniversitesi. Veterinerlik Fakültesi. Ders Notları.
- Güven, R. G., 2011, Termofilik bakteriler ve biyoteknolojik açıdan önemli bazı enzimleri, *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi TR*, 9 (1), 1-10.
- Haliskaranfil, S. ve Arıkan, B., 2012, Termoalkalik amilaz ve selüloz enzim (multienzim) üreticisi bacillus sp. izolasyonu, enzimlerin karakterizasyonu ve biyoteknolojik uygulanabilirliği, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28-3, 37-46.
- Ibarra, D., Monte, M., Blanco, A., Martínez, A. ve Martínez, M., 2012, Enzymatic deinking of secondary fibers: cellulases/hemicellulases versus laccase-mediator system, *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 39 (1), 1-9.
- İmamoğlu, S. ve Peşman, E., 2012, Flotasyon süresinin mürekkep giderme işlemi ve hamur kalitesine etkisi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (2), 250-269.
- İmamoğlu, S., Karademir, A., Peşman, E., Aydemir, C. ve Atik, C., 2013, Effects of flotation deinking on the removal of main colors of oil-based inks from uncoated and coated office papers, *BioResources*, 8 (1), 45-58.
- Jiang, C. ve Ma, J., 2000, De-inking of waste paper: flotation, enzymatic deinking technologies, norcross, GA, USA, 2000, 2537-2544.
- Karademir, A., İmamoğlu, S., Ertaş, M., Aygan, A., Aydemir, C. ve Peşman, E., 2013, Ultrasonik enerji uygulaması ile karışık eski ofis kağıtlarda flotasyon esaslı enzimatik mürekkep giderme, Tübitak Proje No: 11102396; Bursa.

- Karahan, S., Karademir, A. ve Güvendi, E., 2015, Mürekkep giderme İşleminin lazer baskılı ofis kâğıtlarındaki organik ve anorganik madde miktarları üzerine etkileri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (1), 241-250.
- Karahan, S., 2017a, Kâğıdın optik özellikler üzerine mürekkep giderme İşlemi ile farklı uygulamaların etkileri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (1), 146-160.
- Karahan, S., 2017b, Atık ofis kâğıtları üzerinde yapılan mürekkep giderme İşleminin hamur verimi ve atık çamur üzerine etkileri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (1), 67-75.
- Karıncaoğlu, M., 2009, Dönüşümlü kağıt İşletmeciliği temel bilgiler, 2009, p. 43.
- Keong, L. C., Ibrahim, D. ve Omar, I. C., 2013, Characterization of cellulase, hemicellulase and lipase and its use in deinking of laser printed paper, *Malaysian Journal of Microbiology*, 9 (1), 84-92.
- Kocaman, Ş., 2014, Türkiye’de ambalaj tasarımında baskı teknikleri ve yeni oluşumlar, *İstanbul Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- KombassanKağıtA.Ş, 2017, Kombassan Kâğıt, Matbaa, Gıda ve Tekstil San. Tic. A.Ş. dokümanları, 2017.
- Lasheva, V., Ilieva, B., Kotlarova, S. ve Kamburov, M., 2013, Deinking of recycled paper with offset printing through flotation and use of enzymes, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 48 (5), 530-534.
- Lee, C., Ibrahim, D., Ibrahim, C. O. ve Daud, W. R. W., 2011, Enzymatic and chemical deinking of mixed office wastepaper and old newspaper: paper quality and effluent characteristics, *BioResources*, 6 (4), 3859-3875.
- Lee, C. K., Ibrahim, D. ve Omar, I. C., 2013, Enzymatic deinking of various types of waste paper: Efficiency and characteristics, *Process biochemistry*, 48 (2), 299-305.
- Lorenz, A., Gredy, C., Senne, A., Beyer, S., Yao, Y., Papet, P., Ufheil, J., Reinecke, H. ve Clement, F., 2016, Flexo-printed busbarless solar cells for multi-wire interconnection, *Energy Procedia*, 98, 46-60.
- Moreira, A., Silva, F., Correia, A., Pereira, T., Ferreira, L. ve de Almeida, F., 2018, Cost reduction and quality improvements in the printing industry, *Procedia Manufacturing*, 17, 623-630.
- Nimmanterdwong, P., Boonprasop, S., Thummakul, T., Phongboonchoo, Y., Piumsomboon, P., Feng, Y., Pochinda, K. ve Chalermssinsuwan, B., 2016, Statistical experimental design of a novel deinking reactor based on centrifugal force under electric field concept, *International Journal of Mineral Processing*, 157, 120-127.
- Özmen, A. F., 2015, Dijital baskı teknolojilerinin resim sanatındaki yeri, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Park, J. W. ve Park, K. N., 1999, Biological de-inking of waste paper using modified cellulase with polyoxyethylene, *Biotechnology techniques*, 13 (1), 49-53.
- Pektaş, İ., 2009, Bitki gelişim düzenleyicilerinin antioksidan enzimler üzerindeki etkisinin araştırılması, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Peşman, E., Kırıcı, H. ve İmamoğlu, S., 2010, Atık gazete ve magazin kâğıtlarının mürekkebinin giderilerek yeniden değerlendirilmesinde kullanılan sodyum hidroksit miktarının hamurun kalıntı mürekkep miktarı, renk ve verim değerleri üzerine etkisi, V, 1925-1933.
- Rezaei, P. S., Darzi, G. N. ve Shafaghat, H., 2010, Optimization of the fermentation conditions and partial characterization for acido-thermophilic  $\alpha$ -amylase from

- Aspergillus niger* NCIM 548, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 27 (3), 919-924.
- Saxena, A. ve Chauhan, P., 2017, Role of various enzymes for deinking paper: a review, *Critical reviews in biotechnology*, 37 (5), 598-612.
- Saxena, A. ve Singh Chauhan, P., 2017, Role of various enzymes for deinking paper: a review, *Critical reviews in biotechnology*, 37 (5), 598-612.
- Selen, V., 2006, Bacillus amyloliquefaciens ile  $\alpha$ -amilaz üretiminin katı substrat fermantasyonu ile incelenmesi/Investigation of  $\alpha$ -amylase production by bacillus amyloliquefaciens using solid-substrate fermentation (ssf), *Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Shin, Y., Kim, I., Oh, D. ve Lee, T.-M., 2018, Fabrication of replica cliché with fine pattern using reverse offset printing process, *Thin Solid Films*, 647, 57-63.
- Sütçü, M. ve Akkurt, S., 2014, Alternatif Hammadde Olarak Kâğıt Sanayi Üretim Atığı Kullanılarak Hafif Refrakter İzolasyon Tuğlası Geliştirilmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14 (3), 505-512.
- Şahin, H., 2013, Kağıt geri dönüşüm işlemlerinin selülozun yapısında meydana getirdiği değişimler üzerine bir inceleme, *Turkish Journal of Forestry*, 14 (1), 74-80.
- Şahin, H., 2014, Geri kazanılmış sekonder liflerin yeniden kullanılması üzerine bir inceleme, *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 15 (2), 183-188.
- Şahin, T., 2016, Atık kağıt geri dönüşüm İşlemlerinde genel esaslar ve mürekkep uzaklaştırma İşlemi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (7).
- Topuz, U., Kıran, Ö. E. ve Çömlekçioğlu, U., 2007, Selülaz üreticisi Bacillus suşlarının enzimatik özelliklerinin araştırılması.
- Tsatsis, D., Papachristos, D., Valta, K., Vlyssides, A. ve Economides, D., 2017, Enzymatic deinking for recycling of office waste paper, *Journal of environmental chemical engineering*, 5 (2), 1744-1753.
- Tsatsis, D., Valta, K., Vlyssides, A. ve Economides, D., 2019, Assessment of the impact of toner composition, printing processes and pulping conditions on the deinking of office waste paper, *Journal of environmental chemical engineering*, 7 (4), 103258.
- TS EN ISO534, 2012, Kâğıt ve Karton Kalınlık, yoğunluk ve özgül hacim tayini, 2012.
- TS EN ISO536, 2013, Kâğıt ve Karton-Gramaj tayini, 2013.
- TS EN ISO638, 2010, Kağıt, karton ve kağıt hamurları-Kuru madde tayini-Ettüvde kurutma yöntemi, 2010.
- TS EN ISO1924-2, 2013, Kâğıt ve Karton-Çekme (Kopma) özelliklerinin tayini-Bölüm 2: Sabit hızda Uzama yöntemi (20mm/ min), 2013.
- TS EN ISO1974, 2012, Kâğıt-Yırtılma Dayanımı Tayini-Elmendorf Yöntemi, 2012.,
- TS EN ISO2758, 2015, Kâğıt-Patlama tayini, 2015.
- TS EN ISO5267-1, 2001, Kağıt hamurları-Süzülebilirlik tayini-Bölüm 1: Schopper-Riegler metodu, 2001.
- TS ISO 1762, 2016, Kâğıt, Karton ve Kâğıt hamurlarında 525 °C'da yakma kalıntısı (kül tayini), 2016.
- TS ISO 2470-1, 2015, Kâğıt, karton ve hamurları-Dağınık mavi yansıtma faktörü ölçümü-Bölüm 1: Açık gün ışığı koşulları (ISO parlaklık), 2015.
- TS ISO 2470-2, 2015, Kâğıt, karton ve hamurları-Dağınık mavi yansıtma faktörü ölçümü-Bölüm 2: Açık gün ışığı koşulları ( D65 parlaklık ), 2015.
- TS ISO 2471, 2015, TSE ISO 2471, Kâğıt ve karton-Opaklık tayini (kâğıdın arka vermesi)-Yayılan yansıtma metodu, 2015.
- TS ISO 11475, 2014, Kâğıt ve karton-CIE Beyazlığı, D65/ 10° (bina dışı gün ışığı) tayini, 2014.



- Tutus, A., Alma, M. H., Çetin, N. S. ve Akgül, M., 2005, Atık kağıtların geri kazanılması ve fiziksel direnç özelliklerinin artırılması, Bilimsel araştırma projesi, Kahraman Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Proje No: 2001/5-2, 2005.
- URL1, Kağıt-Karton sektör raporu, Orta Anadolu İhracatçılar Birliği, 2014.,
- Virk, A. P., Puri, M., Gupta, V., Capalash, N. ve Sharma, P., 2013, Combined enzymatic and physical deinking methodology for efficient eco-friendly recycling of old newsprint, *PLoS One*, 8 (8), e72346.
- Yetim, A., 2014, Geri dönüşüm sektörünün dünyadaki genel görünümü ve Türkiye'deki durumu, *Ar & Ge Bülten*, Haziran.
- Yetiş, F., 2014, Enzim kullanımının bazı baskılı kâğıtlarda mürekkep giderme üzerine etkisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- Yıldırım, N., 2010, Mürekkep Giderme Sürecinde Enzimlerin Kullanılması, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 60 (1), 50-58.
- Zaimoğlu, S., 2012, Türkiye kağıt ve kağıt ürünleri sektör raporu, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, 2012.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Murat ÇELEBİ  
**Uyruğu** : TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : ADANA – 29/04/1992  
**Telefon** : 0506 662 80 92  
**Faks** :  
**E-Posta** : mrtclbi123@hotmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Özel Ender Akademi Koleji (Osmaniye)	2010
Üniversite	Selçuk Üniversitesi (Konya)	2016
Yüksek Lisans	Konya Teknik Üniversitesi (Konya)	2019

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016-	Kombassan Kağıt, Matbaa, Gıda, ve Tekstil San. Tic. A.Ş	Çevre Mühendisi

### UZMANLIK ALANI

- Tehlikeli ve Tehlikesiz Atık Yönetimi,
- Sera gazı hesaplama,
- ISO 14001:2015 Yönetim Sistemi,
- ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi
- ISO 50001:2012 Enerji Yönetim Sistemi

### YAYINLAR

Celebi, M. Yel E., 2018. Deinking of Waste Office Paper by Chemical Flotation in Recycling - ID 182, Abstract Book of the 4th International Conference on Recycling and Reuse, October 24-26, 2018 - Istanbul/Türkiye, 270 (**Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır**)