

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİR KAĞIT FABRİKASININ TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ

CENGİZ ALTUNBAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. İSMAİL TEKE**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR KAĞIT FABRİKASININ TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ

Cengiz ALTUNBAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 22.03.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı 'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İsmail TEKE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İsmail TEKE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Özden AĞRA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yakup Erhan BÖKE
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı seçmemde ve tamamlanmasında bana büyük destek veren, öğrenim hayatım, devamında çalışma hayatım boyunca örnek aldığım değerli hocam Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi Sayın Prof.Dr. İsmail Teke'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana desteğini esirgemeyen eşime, kızım Ece 'ye ve oğlum Taylan 'a teşekkür ederim.

Mart, 2018

Cengiz ALTUNBAŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Selülöz ve Kağıt Elyafı.....	6
2.2 Elyaf Hücre Duvarı Katmanları	10
2.3 Elyafın Kimyasal Yapısı	12
2.3.1 Karbonhidratlar	13
2.3.2 Ekstraktifler.....	14
BÖLÜM 3	
KAĞIT HAMURU ÜRETİMİ	16
3.1 Taş Silindir Prosesi	18
3.2 TMP Prosesi	19

3.3	CMP Prosesi	20
3.4	Kraft (Sülfat) Hamur Üretim Prosesi	22
3.4.1	Sülfite Kağıt Hamuru Üretim Prosesi.....	34
3.4.2	Nötr Sülfite Yarı Kimyasal (NSSC) Kağıt Elyafı Üretim Prosesi.....	37
3.5	Kuru Ağaç Yongasının Yoğunluğu.....	38
3.6	Kraft Prosesinde Kütle Transferi	39
BÖLÜM 4		
STANDARTLAR.....		41
BÖLÜM 5		
KAĞIT TÜRLERİ VE ÜRETİM TESİSLERİ		45
5.1	TMP Yöntemi ile Üretilen Kağıt Hamuru	45
5.2	Kimyasal Yöntemle Üretilmiş Kağıt Elyafı	45
5.3	Geri Dönüşüm Hamuru	46
5.4	Karton Türleri	46
5.4.1	SUB veya SUS Karton	46
5.4.2	WLC Karton	47
5.4.3	FBB Karton	48
5.4.4	LPB Karton	48
5.4.5	SBS Karton	49
5.4.6	Testliner ve Fluting	49
5.5	Özel Kağıtlar	50
5.5.1	Yazı Tabı Kağıtları.....	50
5.5.2	LWC Magazin Kağıtları.....	50
5.5.3	MWC Magazin Kağıtları	51
5.5.4	Gazete Kağıdı	51
5.5.5	SC (süper kalenderlenmiş).....	51
5.6	Kağıt Üretim Tesisleri	51
5.7	Gazete Kağıdı Üretim Tesisi	54
5.8	SC ve LWC kağıt Üretim Tesisi.....	56
5.9	Yazı tabı ve Fotokopi Kağıdı Üretim Tesisi	57
5.10	Testliner ve Fluting Kağıdı Üretim Tesisi.....	60
5.11	Gri Karton ve Krome Karton Kağıdı Üretimi.....	62
5.12	Temizlik Kağıdı (Tissue) Üretimi.....	64
BÖLÜM 6		
GERİ DÖNÜŞÜM AMBALAJ KAĞIDI ÜRETİM TESİSİ TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ		67
6.1	Pulper Kısmı	71
6.2	Kaba Eleme	73
6.3	Santrijüj Eleme	75
6.4	Elyaf Ayırma Kısmı.....	77

6.5	Uzun Elyaf Temizleme.....	78
6.6	Elyaf Öğütücü.....	79
6.7	Elek Kısmı	82
6.7.1	Elek Vakum Bölümü Analizi	84
6.7.2	Vakum Sisteminin Spesifik Enerji Tüketiminin Karşılaştırılması	85
6.8	İncelenen Tesis Genel Elek Performansı	86
6.9	Sifon Valsi Vakum İncelemesi	87
6.10	Pres Kısmı Vakum İncelemesi	87
6.10.1	Pres Kısmı Boru Hatları Uygunsuzlukların İncelemesi.....	90
6.10.2	Sistem Ölçümleri ve Hesaplamalar	95
6.11	Pres Kısmı.....	100
6.12	Kurutma Bölümü.....	101
6.13	Kurutma Kısmı 1.....	104
6.14	Film Pres Kısmı	106
6.15	Kurutma Kısmı 2.....	107
6.16	Malsarıcı.....	108
6.17	Arıtma	108
6.17.1	Flatasyon Bölümü.....	112
6.17.2	Biyolojik Arıtma Bölümü	113
BÖLÜM 7		
SONUÇ VE ÖNERİLER		115
KAYNAKLAR.....		121
ÖZGEÇMİŞ.....		125

SİMGE LİSTESİ

ρ_{dc}	Ağacın yoğunluğu, (kg/m ³)
t	Zaman, (s)
S_1	Ağaç elyafı hücresi birincil katmanı
S_2	Ağaç elyafı hücresi ikincil katmanı
S_3	Ağaç elyafı hücresi üçüncül katmanı
W	Ağaç elyafı hücresi siğilli tabaka
ML	Ağaç elyafı hücresi orta lamel
m	Kütle, (kg)
T	Sıcaklık, (K)
$\dot{W}$	Güç, (kW)
$\dot{Q}$	Isı, (kW)
h	Entalpi, (kJ/kg)
c_p	Özgül ısı, (kJ/(kg.K))

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	American Society For Testing And Materials
CMP	Chemi Mechanical Pulping
CTMP	Chemi Thermo Mechanical Pulping
GW	Grounwood Pulping
FAO	Food And Agriculture Organization
İSO	Organization For Standardization
KAM 1	Paper Machine 1
KAM 2	Paper Machine 2
LWC	Light Weight Coated
MDF	Medium density fiberboard
PGW	Pressurized Groundwood Pulping
PGWS	Pressurized groundwood pulping with steam
PM1	İncelenen kağıt üretim tesisi
PRMP	Pressurized Refiner Mechanical Pulping
RMP	Refiner Mechanical Pulping
SC	Super Calendered
SBB	Solid Bleaced Chipbord,
SUS	Solid Unbleaced Sülfite
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
TGW	Thermo Groundwood Pulping
TKG	Toplam Kurulu Güç
TKM	Tüketim
TMP	Thermo Mechanical Pulping
WLC	White Lined Chipboard

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Dünyada ormandan elde edilen kaynakların kullanıma göre dağılımı [1].....	5
Şekil 2. 2 Bir ağaç gövdesinin kesit resmi [1],[45].....	7
Şekil 2. 3 Yumuşak ağaç ana hücre tipi.	8
Şekil 2. 4 Yumuşak ağacın üç düzlemde gösterimi [1]	8
Şekil 2. 5 Sert ağaç ana hücre tipleri [1]	9
Şekil 2. 6 Sert ağaç elementinin ve damar yerleşimlerinin görünümü [45]	9
Şekil 2. 7 Oluk [5]	10
Şekil 2. 8 Elyaf hücresi katmanlarının şematik gösterimi [5]	10
Şekil 2. 9 Elyaf yüzeyinin elektron mikroskopunda büyültülmüş hali [46]	11
Şekil 2. 10 S1 katmanının yüzeyindeki mikro elyafların dizilim görüntüsü [46], [45].....	11
Şekil 2. 11 İskoç çamı ve gümüş huş ortalama kimyasal bileşim oranları [46], [2].....	12
Şekil 2. 12 Selüloz yapısı [5]	14
Şekil 3. 1 Mekanik kağıt hamuru üretim yöntemlerinin hücreye etkisi [1]	17
Şekil 3. 2 PGW taş silindir hamur üretme ekipmanı [1].....	18
Şekil 3. 3 TMP ön ısıtıcısı ve elyaf öğütücüsü [1]	19
Şekil 3. 4 Tipik TMP preses şeması [1]	20
Şekil 3. 5 CTMP prosesinde kimyasal uygulamanın yapıldığı impregnatör [1], [4].....	21
Şekil 3. 6 Modern CTMP hamuru üretim prosesi [1]	21
Şekil 3. 7 Değişik tipte pişirme kazanları [1]	23
Şekil 3. 8 Sürekli elyaf üretim pişirme kazanı [1]	23
Şekil 3. 9 Modern elyaf pişirme kazanı [1].....	24
Şekil 3. 10 Pişirme prosesi [1]	25
Şekil 3. 11 Elyaf üretim tesisi geri geri kazanılan ürünler [1].....	25
Şekil 3. 12 Ağaçtan selülöz üretimi sonucu yan ürünlerin geri kazanımı [1], [47].....	26
Şekil 3. 13 Kraft prosesinin gösterimi [3]	28
Şekil 3. 14 Kraft prosesi şematik gösterimi [46]	30
Şekil 3. 15 Alkanite ve pH değişim grafiği [1].....	31
Şekil 3. 16 Kraft prosesi şematik gösterimi.....	33
Şekil 3. 17 Odun yongası	34
Şekil 3. 18 Sülfite elyafı üretim şeması [1].....	35
Şekil 3. 19 Sülfite elyafı üretiminde sülfonasyon [1]	36
Şekil 5. 1 Oluklu mukavva üretiminde kullanılan kağıt ve karton türleri [2]	46
Şekil 5. 2 Sub ve sus kartonu katmanları [stora enso]	47

Şekil 5. 3 WLC kartonu katmanları [stora enso]	47
Şekil 5. 4 FBB kartonu katmanları [stora enso]	48
Şekil 5.5 LPB kartonu katmanları [stora enso]	48
Şekil 5. 6 SBS kartonu katmanları [stora enso]	49
Şekil 5. 7 Oluklu mukavva	49
Şekil 5. 8 Beyaz kraftliner	50
Şekil 5. 9 Kağıt üretimi genel blok gösterimi [2]	52
Şekil 5. 10 Kağıt üretim tesisi madde ve enerji dengesi [1]	53
Şekil 5. 11 Kağıt üretim tesisi genel şeması [2]	54
Şekil 5. 12 Gazete kağıdı makinesi [2]	55
Şekil 5. 13 Kaplama yapılmayan yazı tabı kağıdı makinesi [2]	59
Şekil 5. 14 Testliner ve Fluting kağıt üretim makinası	61
Şekil 5. 15 Karton üretim makinası	63
Şekil 5. 16 Temizlik kağıdı üretim makinası	65
Şekil 6. 1 Kağıt üretim prosesi	67
Şekil 6. 2 Geri dönüşüm kağıt üretim tesisi madde madde balansı	70
Şekil 6. 3 Pulper	71
Şekil 6. 4 Pulper sistem sınırları	72
Şekil 6. 5 Basınçlı elek	73
Şekil 6. 6 Kaba eleme sistem sınırları	74
Şekil 6. 7 Santrifüj elekler	75
Şekil 6. 8 Santrifüj eleme sistem sınırları	76
Şekil 6. 9 Elyaf ayırma sistem sınırları	77
Şekil 6. 10 Uzun elyaf temizleme sistem sınırları	78
Şekil 6. 11 Öğütüm mekanizması [50]	79
Şekil 6. 12 Elyaf öğütme enerji girişi mukavemet ilişkisi [49]	80
Şekil 6. 13 Elyaf öğütme derecesi öğütüm ilişkisi [50]	80
Şekil 6. 14 Tüketilen öğütme enerjisielyaf boyu [49]	81
Şekil 6. 15 Elyaf öğütücü	81
Şekil 6. 16 Elyaf öğütücü sistem sınırları	82
Şekil 6. 17 Elek kısmı sistem sınırları	83
Şekil 6. 18 Baskı ve keçe vakum yöntemiile susuzlaştırma	84
Şekil 6. 19 Referans enerji tüketimi verileri	85
Şekil 6. 20 İncelenen kağıt makinesi elek kısmı vakum ve kuru madde değerleri	86
Şekil 6. 21 Sifon valsi uygunsuzluklar	87
Şekil 6. 22 İncelenen makine pres kısmı	87
Şekil 6. 23 İncelenen makine ikinci pres bölgesi	88
Şekil 6. 24 İncelenen makine üçüncü pres uygunsuzluklar	89
Şekil 6. 25 İncelenen makine üçüncü pres bölgesi uygunsuzluklar	89
Şekil 6. 26 Keçe tahliye pompası dizayn hatası	90
Şekil 6. 27 Vakum borulama uygunsuzlukları	91
Şekil 6. 28 Sifon ve birinci pres vakum boru hatları uygunsuzlukları	91
Şekil 6. 29 Vakum borulama dizayn hatası	92
Şekil 6. 30 Vakum borulama dizayn hatası	92
Şekil 6. 31 Vakum seperatörü dizayn hatası	93

Şekil 6. 32 Seperatör ve akış ölçüm ekipmanı	93
Şekil 6. 33 Akış ölçüm ve seperatörlerin konması gereken yerler	94
Şekil 6. 34 İncelenen makine proses şeması	95
Şekil 6. 35 İncelenen makine sıcaklık ölçümleri	97
Şekil 6. 36 Yeni proses şeması	98
Şekil 6. 37 Turbo blower	100
Şekil 6. 38 Pres kısmı sistem sınırları	100
Şekil 6. 40 Kurutma silindirlerindeki kondensin hız arttıkça aldığı durumlar [47]	103
Şekil 6. 41 Sabit ve döner sifon (Kadant)	103
Şekil 6. 42 Kurutma 1 bölümü sistem sınırları	104
Şekil 6. 43 Film pres bölümü sistem sınırları	106
Şekil 6. 44 Kurutma 2 bölümü sistem sınırları	107
Şekil 6. 45 Malsarıcı sistem sınırı	108
Şekil 6. 46 Biyolojik arıtmada jet aeratörle suyun hava verilerek karıştırılması	110
Şekil 6. 47 Jet aeratör üstten görünüm.(AİRE-O2)	111
Şekil 6. 48 Flatasyon sistem sınırı	113
Şekil 6. 49 Biyolojik arıtma sistem sınırı	114
Şekil 7. 1 Vakum bölgesi elektrik enerjisi tüketimi	117
Şekil 7. 2 Kurutma bölümü izolasyonu	119

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Ağaçsı ve ağaçsı olmayan bitkilerdeki kimyasal bileşen oranları [1]	12
Çizelge 2. 2 Yumuşak ağaç elyafındaki göreceli bileşenlerin dağılımı [1]	13
Çizelge 2. 3 Doğal lignindeki fonksiyonel guruplar (her 100 C ₆ C ₃ birimi) [1]	14
Çizelge 2. 4 Ağaçtaki organik ekstraktların sınıflandırılması [1]	15
Çizelge 2. 5 Ağaçsı olmayan elyafların kimyasal ve fiziksel özellikleri [1]	15
Çizelge 3. 1 Mekanik hamur üretim türlerinin isimlendirilmesi [1], [47]	17
Çizelge 3. 2 Norveç Ladin hamurunun özellikleri ve spesifik enerji tüketimi [5], [47] ...	18
Çizelge 3. 3 Bazı ülkelerde yumuşak ağaç üretim tesisleri buhar tüketimi(GJ/ADt) [1] .	26
Çizelge 3. 4 KAM1 ve KAM 2 referans fabrikalarındaki türbin dahil buhar dengesi [1] .	27
Çizelge 3. 5 Referans KAM 1 üretim tesisi gün tüketimi [1]	27
Çizelge 3. 6 Sülfite pişirme çözeltisi su ile olan reaksiyonunda meydana gelen ürünler .	36
Çizelge 3. 7 Ağaç yongalarının kütle, yoğunluk ve hacim değerleri [1]	38
Çizelge 3. 8 Selüloz cinsine göre pişirme süreleri [2]	40
Çizelge 4. 1 Kağıt üretimi hamuru testleri [5]	41
Çizelge 4. 2 Son elyaf Test metotları [5]	42
Çizelge 4. 3 Kimyasal yolla üretilmiş hamur test metotları [5]	42
Çizelge 4. 4 Kağıt fiziksel özellikler test metotları [5]	43
Çizelge 4. 5 Kağıt fiziksel özellikler test metotları [5]	44
Çizelge 5. 1 Karton kullanım yerleri [Stora Enso]	51
Çizelge 5. 2 Bir gazete kağıdı tesisinin tüketim değerleri (1), [2]	56
Çizelge 5. 3 LWC kağıt üretim tesisi enerji tüketim bilgileri [1]	57
Çizelge 5. 4 Yazı tabı kağıt üretim tesisi enerji tüketimi [2]	58
Çizelge 5. 5 Testliner ve Flutink kağıt üretimi enerji tüketimi [1]	60
Çizelge 5. 6 Karton üretimi enerji tüketimi [1]	62
Çizelge 5. 7 Temizlik kağıdı enerji tüketimi [1]	64
Çizelge 6. 1 Kağıt makinası teknik bilgileri	69
Çizelge 6. 2 Vakum bölgesi verileri	96
Çizelge 6. 3 Boru hatları hava ölçümleri	97
Çizelge 6. 4 Yeni ekipmanlarla kurulum sonrası veriler	99
Çizelge 6. 5 Oksijenin sıcaklığa göre çözünübilirlik tablosu.	111
Çizelge 6. 6 Eşanjör maliyet analizi	114
Çizelge 7. 1 Tesisin referans değerlere göre karşılaştırma tablosu	115
Çizelge 7. 2 Dünya Kağıt Fabrikaları Enerji Tüketimleri Ortalamaları [41]	120

BİR KAĞIT FABRİKASININ TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ

Cengiz ALTUNBAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail TEKE

Enerji verimliliği, günümüz ve gelecekteki enerji yetersizliği nedeni ile tüm üretim sektörlerinde çok önemli yere sahiptir. Bir ürünü en az enerji ile üretme fikri, bitmeyen ve devamlılık arzeden bir olgudur. Kaynakların doğru kullanımı ülkelerin gelecekteki stratejilerini belirlemede temel etmenlerin başında gelir.

Enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sektör olan kağıt üretim tesislerinin enerji analizleri ve enerji verimliliği çalışmaları verimlilik artışından kaynaklanan kazancın büyük olması dolayısı ile çok önemlidir. Bu tezde geri dönüşüm kağıttan oluklu mukavva yapımında kullanılan Fluting ve Testliner cinsinde kağıt üreten üretim tesisinin pulper, kaba ve ince temizleme, elyaf öğütme, serme ve kurutma alt proseslerinin enerji analizi yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde enerji, ekserji kağıt endüstrisinde enerji kullanımı ve tüketimi, kağıt kimyası ve elyaf özellikleri konusunda kapsamlı literatür taraması yapılmıştır. İkinci bölümde ağacın kompozit yapısı, bu yapıyı oluşturan bileşenler ve özellikle, kağıt üretiminde kullanılan elyafın oluşumunda temel madde olan selülozün yapısı incelenmiştir. Üçüncü bölümde ağaçtan kağıt elyafı üretim yöntemleri ve bu yöntemlerin arasındaki farklar, dördüncü bölümde kağıt, kağıt elyafı ve kağıt hamurunun test metotları ve bunlarla ilgili standartlar, beşinci bölümde kağıt tipleri ve değişik türdeki kağıtların üretim yöntemleri, altıncı bölümde kahverengi hurda kağıttan oluklu mukavva yapımında kullanılan, fluting ve testliner tipinde kağıtların üretildiği bir kağıt üretim tesisinin teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır. Çalışmanın son bölümünde

elde edilen bulgular, dünyada aynı üretimi yapan tesislerin enerji kullanımları referans alınarak irdelenmiştir.

Analizi yapılan kağıt üretim tesisinde iyileştirmeye açık kısımlar ortaya çıkarılmış ve çözüm önerileri getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Fluting, Testliner, Oluklu Mukavva, Hurda Kağıt

TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF A PAPER MILL

Cengiz Altunbaş

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. İsmail TEKE

Energy efficiency have an important position, because of possible insufficient in today and the future. The idea of producing a product with minimal energy is an endless and persistent phenomenon. The proper use of resources is the main determinant of countries' future strategies.

Energy analysis and energy efficiency studies of paper production plants, which are the sectors where energy is used extensively, are very important because of the fact that the profit from the productivity increase is great.

In this thesis, energy analysis of the pulping, coarse and fine cleaning, fiber grinding, laying and drying sub-processes of the production facility producing Fluting and Testliner paper used in recycled paper corrugated cardboard are done.

In the first part of the work, a comprehensive literature survey on energy and consumption, paper chemistry and fiber properties was conducted in the energy, exergy paper industry.

In the second part of the work, the composite structure of the tree, the constituents of this structure and the structure of cellulose, which is the basic substance in the formation of the fibers used in paper production, are examined. In the third part, the methods of producing paper-based paper fibers and their differences, in the fourth part paper, paper and paper pulp test methods and standards, in the fifth part paper types and the production methods of different types of paper, in the sixth part used in

making corrugated cardboard paper, technical and economic analysis of a paper manufacturing plant where fluting and testliner type papers are produced. Findings obtained in the last part of the study were examined with reference to the energy use of the plants that produce the same in the world. In the paper production plant analyzed, open areas for improvement were identified and solution proposals were introduced.

Keywords: Energy, Fluting, Testliner, Container Board, Recycled Paper

1.1 Literatür Özeti

Çalışmanın ilk bölümlerinde kağıt üretiminin ve kağıt üretiminin temel hammaddesi olan elyafın tüketim miktarları dünyadaki genel durumlar incelenmiştir. Fardim vd. [1], selülöz elyafının dünyadaki genel tüketimlerini ve endüstri gelişimlerini anlatan çalışma yapmışlardır. Tikka vd. [2], mekanik yollarla üretilen kağıt elyaflarını, kimyasal yollar ile üretilen kağıt elyaflarının üretim proseslerini ve bu elyafların kullanıldığı kağıt türleri konusunda, Plomion vd [3], ağaç kimyasal ve fiziksel yapısı ile ilgili, Higham [66], kağıdın temelini oluşturan elyaf morfolojisi ve elyaf tipleri ve bu aeyafların fiziksel özellikleri ile ilgili ve buna ek olarak elyafların mukavemet değerlerini arttırma yöntemlerini inceleyen çalışma yayınlamıştır. Sonraki bölümde kağıt üretim tesis tiplerinin tanımlanması yapılmıştır. Paulapuro [4], kağıt türleri ve ilgili tesisler ile alakalı, Kağıt ve hamur testleri ile ilgili Södrjhjelm [5], değişik standartlardaki ilişkileri bağlamında araştırma yapmışlardır. Son bölümlerde ise kağıt üretim tesisinin ekserji ve enerji analizi yapılmıştır. Kotas [6], yoğun olarak ısı enerjisi kullanan tesislerin ekserji analizi yöntemleri konusunda, Son ve Datta [7], yanma proseslerinde termodinamik terssinirlikleri ve ekserji balansını konu alan, Dinçer [8], değişik sektörlerdeki ekserji çözüm yöntemleri ile ilgili makalelerden oluşan bir kitap, Ahmadi ve Dinçer [9], gaz türbini güç santrallerinde termodinamik ve ekserjetik konularında yayınlar yapmışlardır. Moran vd. [10], yayınlarında ekserjinin temel dayanak noktalarını anlatmışlardır. Hua [11], elyaf ve kağıt üretim sektöründe enerji akış ve tüketimleri konusunda, Szargut [12], yoğun olarak ısı enerjisi tüketen prosesler ile ilgili ekserji

analizini içeren makale, Costa [13], ekserji balansı hesaplamaları ve ekserji yıkımının tanımlanmasını içeren, Gong [14], sürdürülebilir ekserji yönetimi, Utlu vd. [15], çimento tesisinde enerji ve ekserji çözümlemelerini, Kamate ve Ganvati [16], şeker üretim tesisi kojenerasyon bölümünde ekserji analizini içeren, Kausnik vd. [17], termal güç santrallerinde ekserji ve enerji çözümlemelerinin yapıldığı, Saidur vd. [18], endüstriyel kazanlarda enerji ve ekserji analizinin ekonomik çözümlemelerinin olduğu, Szabo vd. [19] enerji ihtiyacı ve tüketimleri içeren, Gong ve Wall [20], enerji tedarikinde ekserji analizi imkanlarını araştırdıkları, DaSilva vd [21], kağıt ve elyaf üretim endüstrisinde ana yakıt olarak siyah çözeltili kullanan geri kazanım kazanında ekserji analizi çözümlemelerinin olduğu, Wall [22], endüstri süreçlerinde ekserji akışı ile ilgili, Romarro ve O'Connor [23], kağıt üretim tesislerinde atık su ve elyaf geri kazanımı ile alakalı, Utlu ve Kincay [24], geri dönüşüm hurda kağıttan gri karton üreten Türkiye'de üretim yapan bir kağıt üretim tesisin ekserji analizinin yapıldığı çalışma, Sorgulu ve Dinçer [25], güneş enerjisi temelli hidrojen üretiminde ekserji uygulamasını yaptıkları, Şenol [26], kağıt atıklarının geri kazanma sistemleri ile ilgili ekserji analizinde içeren bir tez, Hong vd. [27], kağıt endüstrisinde enerji akışı ile ilgili ayrıntılı çözümlemelerini içeren, Gemci ve Öztürk [28], sülfite yöntemle elyaf üreten bir tesiste ekserji analizini uyguladığı, Khattak vd. [29], enerji verimliliğinde sürdürülebilir bir ekserji analizini içeren bir bildiri, makale yayınlamışlardır. Francis vd. [30], kağıt endüstrisinde enerji maliyetini düşüren çalışma, Assari vd. [31], şeker kamışı elyafı üreterek Kağıt üretimi yapan proseste ekserji modellemesi, Suomalainen ve Hyytiä [32], buhar ve kondens tasarrufu ile ilgili enerji verimliliği çalışmasını içeren, Laurissen [33], doktora tezinde kağıt endüstrisinde enerji kullanımı ile ilgili, AF-Engineering AG [34], kağıt endüstrisinde enerji tüketiminin ayrıntılı olarak modellendiği bildiri, makale ve rapor yayınlamışlardır. Wu [35], çalışmada enerji çözümlemelerinin teorik alt yapısını anlatmıştır. Wadyalkar [36], kağıt endüstrisinde enerji yönetimi ile ilgili çalışma, Amerikan kağıt ve selüloz vakfı TIP 0404-07 [37] , TIP 0404-17 [38], TIP 0404-24 [39], TIP 0404-25 [40], TIP 0404-63 [41] yayınlarında kağıt kurutmasında buhar verimliliği ve enerji çözümlerini içeren, Koper vd. [42], testliner üretimi yapan kağıt fabrikalarında entropi üretimi konusunda makale ve bildiri yayınlamışlardır. Mateos-

Espiel [43], doktora tezinde Kraft elyafı üretim prosesinde enerji verimliliği analizi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Ghodbanon vd. [44], fluting tipinde kağıt üreten bir kağıt üretim tesisinin kurutma bölümündeki enerji tüketiminin optimize edilmesi ile ilgili makale, Saville [45], geri dönüşüm kağıdı enerji tüketimi ve pulperleme, Higham [46], Kağıt üretiminin temelleri, Wedel ve Timm [47], Kağıt makinasında tahrik ve kondesin davranışları, Tran ve Vakkilainen [48], Kraft prosesi prensipleri, Lumiainen [49], Geri dönüşüm hurda elyaf öğütme ve Lumiainen [50], elyah öğütmenin temelleri ile ilgili çalışma yayınlamışlardır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada başlıca amaç geri dönüşümden kağıt üreten bir kağıt üretim tesisinin teknik ve ekonomik analizinin yapılmasıdır. Analizin yapılmasında yöntem olarak temelde tesisi oluşturan tüm bölümlerdeki kısım kısım güncel üretim şartlarında ölçümler yaparak mevcut durumu ortaya çıkarmak ve bu çıkan mevcut durumu dünyada aynı tipte üretim yapan diğer kağıt üretim tesislerinin değerleri ile kıyaslamak, mevcut durumdaki olumsuz sonuçları giderme önerileri ile birlikte birim ürün enerji maliyetlerinin dünyadaki diğer kağıt üretim tesislerinin seviyesine çekebilmektir. Odundan elyaf üreterek kağıt üretimi yapılan proseslerde enerji ve ekserji çalışmaları çok olmasına karşın kağıt üretiminde hurda kağıttan kağıt üreten kağıt üretim proseslerinde ekserji yöntemi ile verimliliğin belirlenmesi çalışmalarını çok fazla rastlanmamaktadır.

1.3 Hipotez

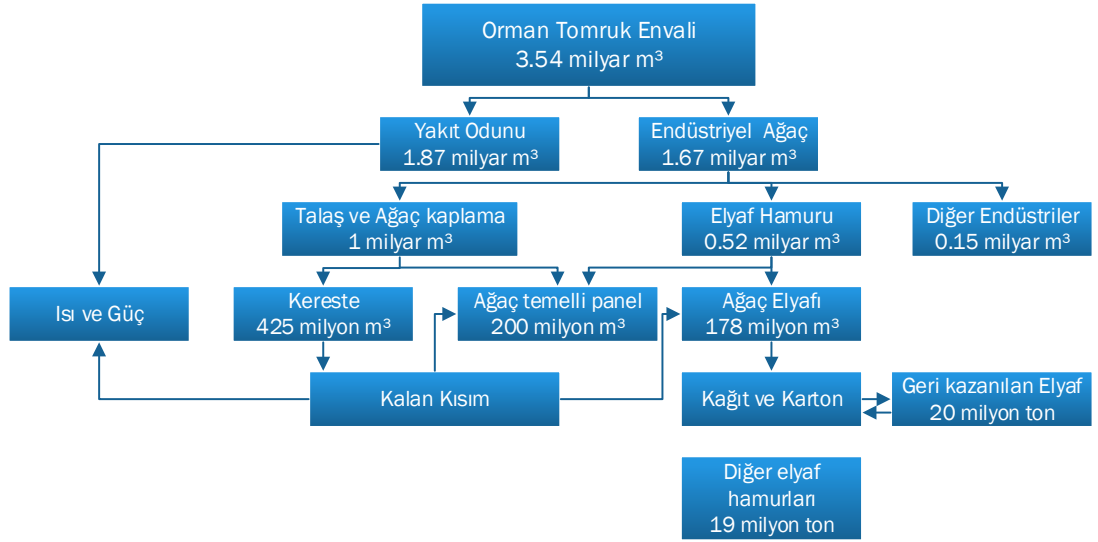
Günümüz ekonomik şartlarında teknoloji satın alan bir ülke olarak çalışan bir kağıt fabrikasının birim enerji maliyetleri düşürmek, doğru bir analiz yöntemi ve bu analiz sonuçlarını doğru irdeleme ile çok fazla yatırım yapmadan belli bir bütçe ile dünya ortalamasına çekmek veya bu ortalamanın altına düşmek mümkündür. Ortalamının altına düşmek sürdürülebilir bir yaklaşımla ancak başarıya ulaşır. Geri dönüşümden kağıt üreten bir tesisin ekserji analizi ile iş cinsinden enerji kayıpları hakkında fikir sahibi olunabilir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Kağıt üretim aşamaları ve bununla ilgili çalışmalara başlamadan önce kağıt üretiminin temeli olan selüloz ve kağıt elyafı üretiminin, kağıt cinsleri proses çeşitliliğinin kavranması ilerde yapılacak incelemelerin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

Elyaf, selüloz olmayan hemiselülöz, pektin gibi polisakkaritler ve lignin içine gömülü selüloz fibrillerinden oluşur. Asetobakterisi, rizobium gibi mikrobiyal selülözler ise bakteriler tarafında salgılanır. Ticari üretimlerde genelde pamuk ve ağaç selülözü kullanılır. Dünyada üretilen tüm selülözün % 7 kadarı ağaç olmayan saman, % 14 şeker kamışı küspesi ve % 6 bambo gibi kaynaklardan üretilir. Çin Ağaç olmayan bitkilerden elyaf üretiminde birinci sırada iken Avrupa, Amerika ve Kanada ağaç kullanarak elyaf üretiminde ilk sıraları paylaşır. Dünyadaki tomruk ormanlarının yarısı endüstriyel amaç ile kullanılırken diğer yarısı yakıt amaçlı kullanılmaktadır. Türkiye’de ağaçtan birincil elyaf üretimi yapılarak kağıt üreten tek kağıt üretim tesisi Çaycuma Oyka tesisidir. Türkiye’nin sınırlı orman varlığı birincil elyaftan kağıt üretimi yapabilecek kapasitede değildir. Orman varlığı çok büyük olan ülkelerde bile bu varlığa ek olarak hızlı büyüyen ağaç türleri kullanarak büyük miktarlarda ağaç ekimi yapılmaktadır. Türkiye’de ormanların en fazla olduğu bölgeler Karadeniz kıyıları ve akdeniz kıyılarında bulunmaktadır. Ağaç cinsi olarak elyaf üretiminde kullanılacak cinsten ağaç türlerinin oranı çok fazla değildir. Mevcut olan ormanlardaki elyaf üretimine uygun olmayan ağaçlar ülkemizdeki panel levha endüstrisinde kullanılmaktadır.



Şekil 2. 1 Dünyada ormandan elde edilen kaynakların kullanıma göre dağılımı [1].

2006 verilerine göre (Şekil 2. 1), dünyadaki orman miktarı ve kullanımı gösterilmiştir. 2006 yılında kağıt elyafı üretim endüstrisi 0,520 milyar m³ tomruk kullanmıştır. Diğer 750 milyon m³ geri dönüşümden sağlanmıştır. Kimyasal yöntem ile kağıt elyafı üreten endüstriler ağaç türü ve elyaf üretim yöntemine göre, her ürettikleri ton kağıt elyafı için 3.7 - 5.6 m³ tomruk kullanmıştır [1].

Yeni kağıt kağıt elyafı üretim tesisi yatırımı için en önemli parameter istenen şartlarda ve hızlı büyüyen ağaç türlerinin orman alanlarının 75 - 80 milyon hektara ulaştığı yerlerde yakın olmalarıdır [1].

Dünya orman kaynakları gün geçtikçe azalmaktadır. FAO' ya göre [1], 2000 - 2005 yılları arasında yıllık 7,3 milyon hektar ormanlık arazi yok olmuştur. Bir önceki beş yıl içinde ormanlık alan kaybı yavaşlamış fakat 2007 yılında tekrar artmaya başlamıştır. Bunun temel nedeni Afrika ve Latin Amerikada ki yakıt için orman kesimi ve sığırçılık için otlatmanın artmasıdır. Gariptir ki orman ürünleri endüstrisinin güçlü olduğu Avrupa da orman alanları artmıştır. Latin Amerika daki Elyaf üretim tesislerine yakın kısımlarda da orman ile örtülü alanlar artmıştır [67]. Elyaf üretiminin yoğun olduğu bölgeler;

- Kuzey Amerika, Kağıt hamuru üretimi, geri dönüşümden kazanılmış elyaf tedariği
- Latin Amerika, Hızlı büyüyen Sert ağaç plantasyonlarının gelişimi, ve pazara sunulması

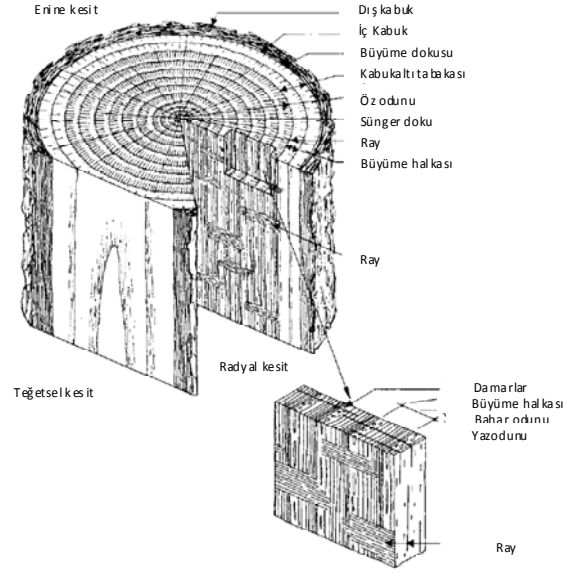
- Çin, ağaçsı olmayan bitkilerden elyaf üretimi, geri dönüşüm elyaf ithali, elyaf üretimi ve ithalinde
- Rusya, Yumuşak ağaç elyafı üretimi
- Güneydoğu Asya, Sert ağaç sektörü ile ön plana çıkmaktadır [1].

2.1 Selülöz ve Kağıt Elyafı

Ağaçlar uzun ömürlü bitkilerdir. Genellikle yumuşak ağaç ve sert ağaç şeklinde iki kategoride sınıflandırılır. Bu şekilde sınıflandırılmasının temelinde aslında bilinen anlamı ile sertlik veya yoğunluk farkı değildir. Dolayısı ile yumuşak ağaç olarak adlandırılan çam, sedir veya köknar açık tohumlular botanik gurubunda değerlendirilir. Bu ağaçlar çiçek yapmazlar ve rüzgâr ile yayılan polenler yardımı ile tohum üretirler. Yumurta hücresi üreten ağaç başka bir yerde erkek hücre üreten ağaç başka bir yerde olabilir. Sertağaç olarak adlandırılan huş, meşe, kestane, kayın gibi ağaçlar kapalı tohumlular botanik gurubunda değerlendirilir. Bu ağaçlar çiçek yaparlar. Yumurta ve polen üretimi çiçeğin içindedir. Polenleşme rüzgâr veya böcekler vasıtası ile olur. Oluşan meyvenin içinde tohumlar oluşur ve kabukludur [1], [5]. Bu üreme farklılığından dolayı dünyada 1000 civarında yumuşak ağaç türü varken, 35000 adet civarı sert ağaç türü vardır.

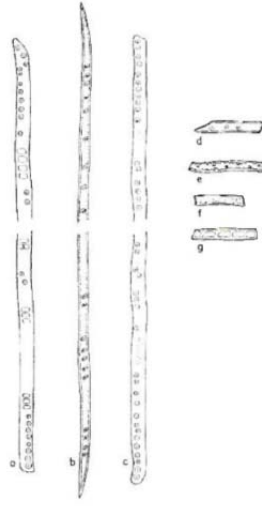
Yumuşak ağaçlarda hücreler genelde elyaf formundadır. Göreceli olarak, yumuşak ağaçların elyafı daha uzun ve ince, sert ağaçların elyafı kısa ve daha oval şekildedir. Yumuşak ağaçlarda lignin oranı daha fazladır ve bu nedenle verimlilikleri sertağaça göre daha düşüktür. Ağaçtan maksimum verimlilikte elyaf üretebilmek için ağacın belli özelliklerde ve büyüme evresinde olması gerekir.

Elyaf üretimini ağaçların kesiminin yapıldığı tarihte çok önemlidir. Ağaçların büyüme evrelerinde özellikle kış aylarında büyüme davranışı farklıdır. Ağacın yukarıda verilen kesit resminde ağacın bu büyüme evreleri ayrıntılı olarak verilmiştir (Şekil 2. 2).



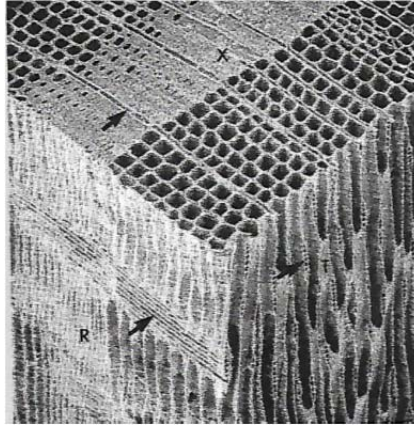
Şekil 2. 2 Bir ağaç gövdesinin kesit resmi [1],[45]

Ağaç gövdesi kesiti verilerek ağacın sınıflandırması yapılmıştır (Şekil 2 .2). Ağaç kabuğu iki katmandan oluşur. İç kabuk ve dış kabuk Dış kabuk ölü hücrelerden oluşur ve ağacı mekanik zorlamalardan biyolojik saldırılardan korur. Kabukaltı tabakası yapısal destek, besi deposu ve köklerden suyun dallara iletilmesinden sorumludur. Bu kısımdan sonra ağacın biraz daha koyu renkli fiziksel olarak aktif olmayan öz odun kısmı belirgin bir kokuya ve düşük rutubete ve kabuk altı tabakasından daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Ölü hücrelerden oluşur ve su veya besin taşımaz. Sert ağaçlarda örneğin meşe de bu kısım suyun geçirgenliğini azaltır. Bu nedenle meşe şarap fıçısı olarak kullanımı yaygındır. Büyütken doku içinde yaşayan hücre bulunduran ince bir dokudur. Bu ağaçta yıllık olarak yeni bir katman oluşturur. Büyüme sezonunun ilk kısmında oluşan Büyüme halkalarının açık renkli kısımları ilkbahar ağacı büyüme sezonunun son kısmında oluşan koyu renkli büyüme halkaları yaz ağacı olarak adlandırılır. Göz ile hücreleri görmek pek mümkün olmaz ancak büyüme sezonunda su iletimi nedeni ile genişleyen hücreler fark edilebilir. Yumuşakağaç hücreleri % 90 - % 95 boylamsal elyaftan oluşur. Sert ağaç ve yumuşak ağaç türlerinden üretilen elyaflar birbirinden fiziksel olarak farklıdır. Sert ağaç elyafları kısa ve geniş iken Yumuşak ağaç elyafları uzun ve dar yapıdadır. Bu fiziksel farklılıktan dolayı heriki türden yapılan kağıtların fiziksel özellikleri birbirinden farklıdır. Yumuşakağaç kullanılarak üretilen kağıtların mukavemeti, sert ağaçtan yapılan kağıtların yazma özellikleri yüksektir.



Şekil 2. 3 Yumuşak ağaç ana hücre tipi.

Sarıçam elyafı (a), sarıçam elyafı (b), alaçam elyafı (c), alaçam ray elyafı (d), sarıçam ray elyafı (e), alaçam paprensima hücresi (f), sarıçam parensima hücresi (g) (Şekil 2.3).



Şekil 2. 4 Yumuşak ağacın üç düzlemde gösterimi [1]

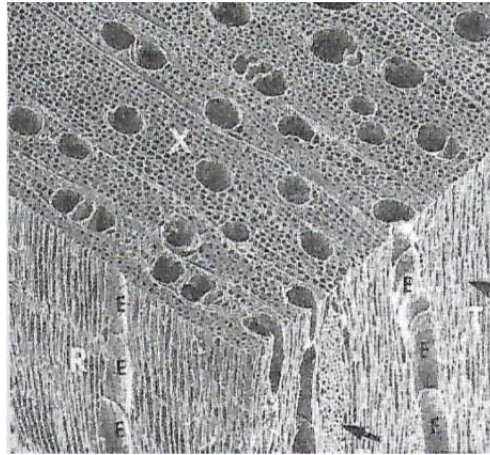
Sertağacın makroskobik karakteristiği elyaf ve damar element hücreleri, boylamsal paransima hücreleri, ray parasima hücreleri barındırır (Şekik 2.3). Boyut olarak hücreler yumuşak ağaç hücrelerinden küçüktür [45], [1].

Sert ağaçtaki paransima hücreleri yumuşakağacınkinden sayıca fazladır. Sert ağaç elyaflarının bu farklılığından ötürü, sert ağaç elyafları yazı tabı kağıdı üretiminde kullanılır. Bunun nedeni yüzeylerinin geniş olmasıdır.



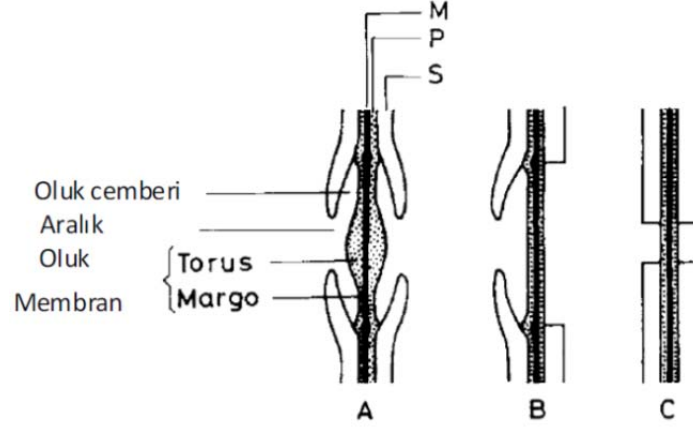
Şekil 2. 5 Sert ağaç ana hücre tipleri [1]

Huş ağacı damar elementi (A), Kavak damar elementi (C), Meşe baharağacı kısmı damar elementi (D), Meşe Yaz ağacı kısmı damar elementi (E), Huş ağacı damar elementi (B), Meşe boylamsal paransima hücresi (F), Huş paransima hücresi (G), Meşe elyafı (H), Huş elyafı (I), Huş Elyafı (J) (Şekil 2. 5).



Şekil 2. 6 Sert ağaç elementinin ve damar yerleşimlerinin görünümü [45]

Oluklar devam eden hücreler arasındaki su ve besin taşıma işinden sorumludur. Büyüme periodunda oluşurlar. Yumuşak ağaç türleri ya da sert ağaç türlerinin pişirilme sürecinden sonra açığa çıkan kimyasal maddelerin bileşenlerinin tam kimyasal yapıları günümüzde dahi açıklanamamaktadır. Tanımlama olarak İngilizce bir kelimeden türetilen ekstraktif kelimesi kullanılmaktadır. Pişirme sonrası ortaya çıkan bu maddenin içeriğinden çok değişik kimyasal bileşen bulunmaktadır. Bu bileşenlerin çok olan miktarları belirlenmiştir. İlerleyen bölümlerde bu konuya değinilecektir.

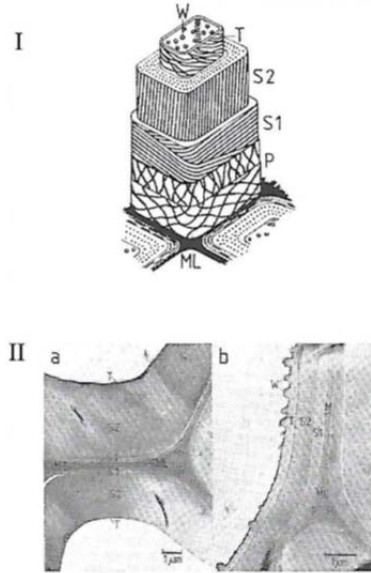


Şekil 2. 7 Oluk [5]

Sınırlanmış (A), Yarı sınırlanmış (B), Basit (C), M=Orta lamella, P=Birincil duvar, S=İkincil Duvar (Şekil 2.7).

2.2 Elyaf Hücre Duvarı Katmanları

Sert ağaç ve yumuşak ağaç hücre tiplerini tanımladıktan sonra hücreyi oluşturan katmanları ve bileşimlerini açıklamak eğaç elyafını anlamamızda bize çok yardımcı olacaktır.

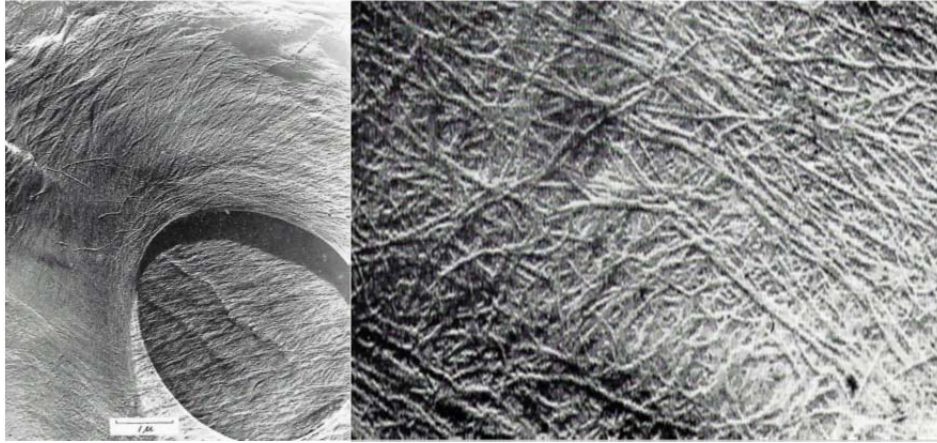


Şekil 2. 8 Elyaf hücresi katmanlarının şematik gösterimi [5]

Hücrenin Elektro Mikroskobu Görünüşü (II). Norveç alaçamı katmanlarının elektron mikroskobu resmi (a), Kayın elyaf hücre katmanı görüntüsü (b). ML=Orta lamella,

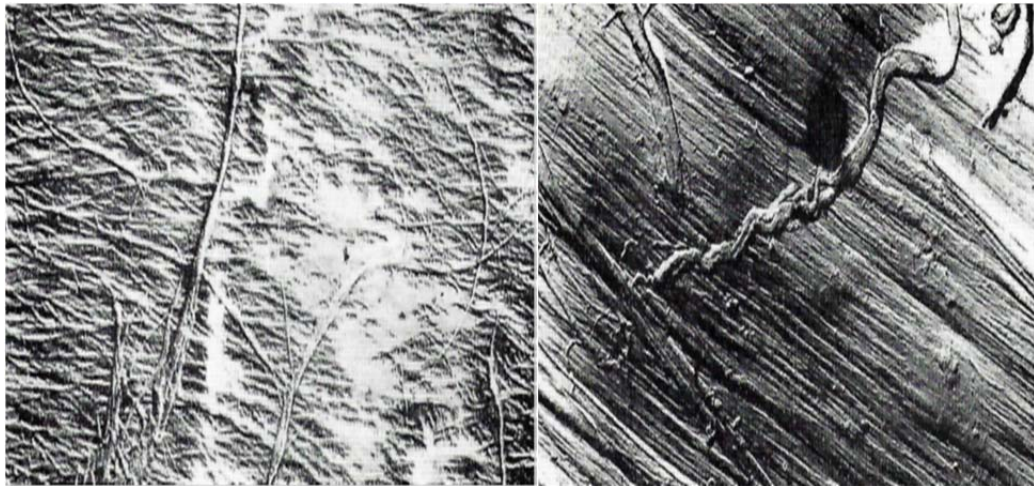
S1=Birincil duvar, S2=ikincil duvarın orta katmanı, S3=T=ikincil duvarın iç katmanı, W=siğilli katman (Şekil 2.8).

Elyaf hücre duvarı kalınlaşma miktarı yıla ve hücrenin fonksiyonuna bağlıdır. İkincil duvar oluşuyorken hücre gelişiminin son fazında lignifikasyon başlar [1]. Birincil duvar (P),elyafın yüzey büyümesi esasında vardır ve yoğunlukla lignin selülozik olmayan maddeler içerir (Şekil 2.8).



Şekil 2. 9 Elyaf yüzeyinin elektron mikroskobunda büyütülmüş hali [46]

Hücrelerin birbirine bağlamasını sağlayan selülozik olmayan maddeler, selülozik olmayan polisakkaridler, hemiselülozlar maddeler içerir. Karışık fibril ağ yapısına sahiptir [1], [5].

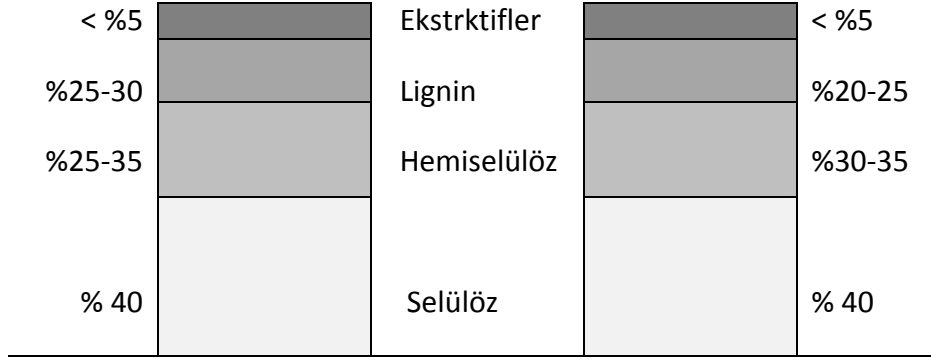


Şekil 2. 10 S1 katmanının yüzeyindeki mikro elyafların dizilim görüntüsü [46], [45]

2.3 Elyafın Kimyasal Yapısı

Ağaç türlerinin temel kimyasal bileşenleri, selüloz, hemiselüloz ve lignin olarak adlandırılır. Diğer polimerik bileşenler pektin, nişasta ve proteinlerdir. Bu bileşenlere ek olarak genelde düşük molekül ağırlığında ekstraktlar, suda çözünebilir ekstraktlar ve inorganiklerdir [1], [5], [46].

Ağacın rutubet içeriği mevsimlere değişkenlik gösterebilmesine rağmen toplam ağaç kütlesinin % 40 ila % 50 si kadardır. Sert ağaç ve yumuşak ağaçlarda selüloz oranı değişiklik gösterebilmesine rağmen % 40 ila % 55 arasındadır. Çoğu durumda yumuşak ağaçlar daha az hemi selüloz bulundururken lignin oranı fazladır. Yumuşak ve sert ağaçta lignin oranı % 25 ila % 35 arasında değişir. Diğer bileşenler örneğin ekstraktifler %5 civarındadır ve bu miktar tropik türlerde artış gösterir.



Şekil 2. 11 İskoç çamı ve gümüş huş ortalama kimyasal bileşim oranları [46], [2]

Hammadde olarak ağaçsı bitkilerin kağıt üretimindeki öneminin belirgin olmasına rağmen ağaçsı olmayan bitkilerden üretilen kağıt elyafları, selülozlarda içerdikleri özelliklerden dolayı değişik tip kağıt üretiminde kullanılırlar. Örneğin pamuk selülozu elyafının uzun ve dayanıklı olmasından dolayı para kağıdı yapımında kullanılır.

Çizelge 2. 1 Ağaçsı ve ağaçsı olmayan bitkilerdeki kimyasal bileşen oranları [1]

Bileşenler	Ağaçsı hammadde	Bitki türü hammadde
Karbonhidratlar		
-Selüloz	40-45	30-45
-Hemiselüloz	25-35	20-35
Lignin	20-30	10-25
Ekstraktif	2-5	5-15
Proteinler	< 0.5	5-10
İnorganikler	0.1-1	0.5-10
SiO ₂	<0.1	0.5-7

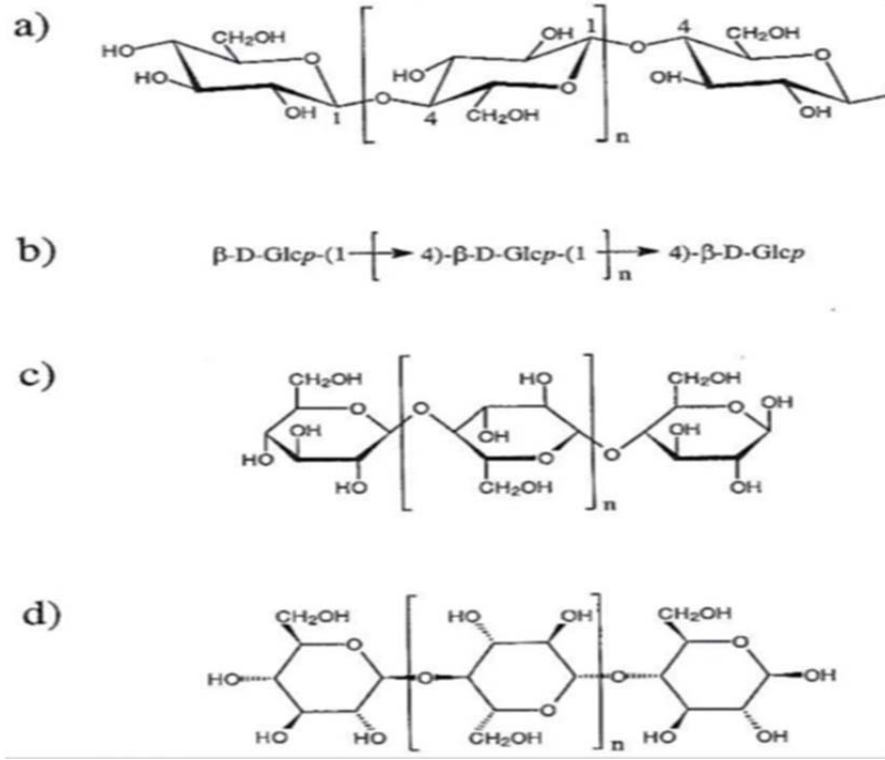
Ağacın üç düzlemli bir örneğin de selüloz, hemiselüloz ve ekstraktifler eşit olarak dağılım göstermezler. Örneğin (ML+P) bölgesinde lignin ihtiva eden bileşenlerin oranı yüksektir (Çizelge 2.2). Ancak katman incedir ve toplam ligninin az bir kısmını ihtiva eder. Yumuşak ağaçta ML katmanındaki lignin miktarı Toplam maddenin % 70 i kadardır. Sert ağaçta ML bölgesindeki lignin miktarı yumuşak ağaçtakine göre daha azdır. Ek olarak ray paransima hücreleri ve damarlar yüksek lignin miktarına sahiptir. İkincil duvar bileşenleri (S1+S2+S3) yüksek polisakkarit içeriğine sahiptir. Ağaç doğal olarak oluşmuş kompozit bir malzemedir (Çizelge 2.2). Özellik bakımında kendini oluşturan bileşenler elyaf üretim verimliliğini çok fazla etkiler. Ancak üretim esnasında atık olarak çıkan bu madeler değişik tipte belli bir değeri olan yan ürünlerin yapımında veya enerji üretiminde kullanılır.

Çizelge 2. 2 Yumuşak ağaç elyafındaki göreceli bileşenlerin dağılımı [1]

Bileşen	Morfolojik kısım	
	(ML + P)	(S ₁ + S ₂ + S ₃)
Lignin	65	25
Polisakkaritler		
- Selüloz	12	45
-Glukomanan	3	20
-Ksilan	5	10
-Diğerleri	15	<1

2.3.1 Karbonhidratlar

Selüloz dünyada çok bulunan ve bir okadarda önemli bir bi-polimer'dir. Her yıl dünyada çok büyük miktarda bu molekül sentezlenir yada üretilir. Selüloz dağınık lineer homopolisakkarid ve buna bağlı bileşenlerden oluşur.



Şekil 2. 12 Selüloz yapısı [5]

Lignin, Sterokimyasal (a), kısaltılmış (b), Hawort' a göre (c), formülü (d), düzensiz polimer yapısı ile ağacın yapısındaki diğer kimyasal bileşenlerinden farklılık gösterir (Şekil 2.12). Liginin üç temel sınıflandırma içinde değerlendirilir [67], [68], [66]. Yumuşak ağaç lignini, sert ağaç lignini ve saman ligninidir. Lignin içeriği ağaçtan kimyasal işlemle hamur üretimi yapılırken dışarı çıkarılır.

Çizelge 2. 3 Doğal lignindeki fonksiyonel guruplar (her 100 C₆ C₃ birimi) [1]

Fonksiyonel gurup	Yumuşakağaç lignini	Sertağaç lignini
Fenolik hidroksil	20-30	10-20
Alifatik hidroksil	115-120	110-115
Metoksil	90-95	140-160
Karbonil	20	15

2.3.2 Ekstraktifler

Ekstraktifler çok çeşitli ve yoğun miktarda genelde düşük molekül ağırlığında bileşen ihtiva eder. Bu maddeler dietil eter, metil terbütıl eterler, petrol eteri, diclorometan, aseton, etanol, metanol, hegzan, tolüen ve tetrahidrofuran ya da sudur. Bu maddeler hidrofobik ya da hidrofilik olabilir.

Çizelge 2. 4 Ağaçtaki organik ekstraktların sınıflandırılması [1]

Alifatik ve alisilik bileşenler	Fenolik bileşenler	Diğer bileşenler
Terpenler ve terpenoidler (Reçine asitleri ve streoidler dahil)	Basit fenoller Stilbenler Lignanlar	Şekerler Silitoller Tropolonlar
Doymuş asitlerin esterleri (Yağlar ve parafinler	İsoflavonlar Kondens halinde taninler	Aminoasitler Alkaloidler
Doymuş asitler ve alkoller	Flavonoidler	Kumarinler
Alkanlar	Hidrolize olabilen taninler	Kuionlar

Çizelge 2. 5 Ağaçsı olmayan elyafların kimyasal ve fiziksel özellikleri [1]

	Elyaf ölçüleri		Kimyasal karbonhidrat bileşenleri			Lignin
	Uzunluk (mm)	Genişlik (µm)	Selülöz (%)	Pektin (%)	Hemiselülöz (%)	
Pamuk	20-60	12-25	90	-	6	1
Bambu	1.7-4	15	26-43		15-26	21-32
Buğday samanı	1-1.5	13-15	29-35		26-32	16-21
Kenaf	1.5-11	14-33	55	4	13	12
Keten	13-60	12-30	72	2	18	<1
Yulaf			31-37		27-38	16-19
Kengerotu	0.8		30		18	17

KAĞIT HAMURU ÜRETİMİ

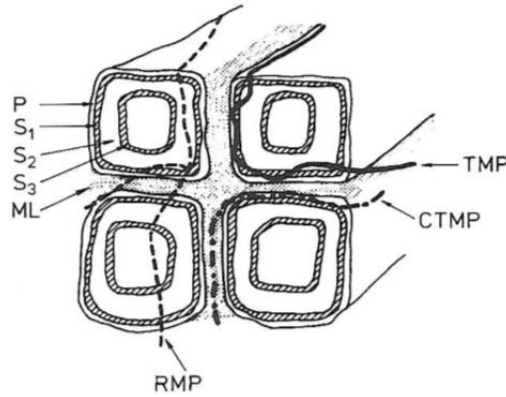
Ağaç herhangi bir insan yapımı kompozit malzemedenden daha fazla kompleks ve kompozit malzemedir. Ağaç elyaf ile birlikte ligninin varlığı nedeni ile karbon fiber ve sentetik reçine varlığı nedeni ile karbon fiber kompozit malzeme olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda fibriller ve mikro fibrillerde kompozit madde olarak düşünülebilir. [1], [46], [47].

Tüm kağıt hamuru üretme proseslerinin amacı elyafı ağaçtan ayırmak ve kağıt yapımı için uygun hale getirmektir. Fiziksel yada kimyasal olabilen bu yöntemlerden birim ağaç başına verimlilik açısından daha fazla elyaf üretimine sahip olan yöntem fiziksel yöntemdir. Ancak üretilen kağıt elyafının mukavemet özellikleri düşük olabilmektedir. Mukavemet düşüklüğüne rağmen üretilen kağıt cinsine görede tercih edilirler. Diğer bir yöntem olan kimyasal yolla elyaf üretimi ise gerek enerji ihtiyacı gerekse verimlilik açısından birim ağaç başına elyaf üretimidüşüktür. Fiziksel yöntemin aksine bu elyafların mukavemet değerleri yüksektir. Ambalaj üretiminde kullanılan kağıtların üretiminde yaygın olarak kullanılır. Bu nedenle temel olarak iki tür hamur kağıt hamuru üretme prosesi geliştirilmiştir. Bunlardan biri mekanik kağıt hamuru üretimi ve ikincisi kimyasal kağıt hamuru üretimi. Bu yöntemlerde kendi aralarında kısımlara ayrılır. mekanik kağıt hamuru üretiminde, ağaçta var olan ligninin ancak bir kısmı alınabilirken kimyasal kağıt hamuru üretim proseslerinde tamamına yakını alınabilir. Ve bu prosesler mekanik kağıt hamuru üretimine göre daha komplekstir [1].

Çizelge 3. 1 Mekanik hamur üretim türlerinin isimlendirilmesi [1], [47]

GW	(Silindirik taş yöntemi)	Atmosferik basınçta , silindirik taş öğütücü ile 70-75 °C yıkama sıcaklığı olan suda üretilen ağaç elyafı.Elyaf verimliliği % 98.5
PGW	(Basınçlı silindirik taş yöntemi)	Elyaf haznesinin basıncı 2.5 bar , yıkama suyu sıcaklığı 100 °C, elyaf üretim verimliliği % 98.5 değerlerinde ağaç elyafı üretim prosesi
PGW-S	(Yüksek basınçlı silindirik taş yöntemi)	Elyaf haznesi basıncı 4.5 bar , Yıkama suyu sıcaklığı 100 °C dereceden fazla, elyaf üretim verimliliği %98 de elyaf üretimi prosesi
TGW	(Termo silindirik taş yöntemi)	Atmosferik basınçta zincir tip öğütücü , yıkama suyu sıcaklığı 80 °C ve verimlilik % 98.5 olan elyaf üretim prosesi
RMP	(Mekanik öğütme yöntemi)	Atmosferik basınçta, ön buharlamaya tabi tutulmuş yongaların disk refiner(öğütücü)lerde işleme tabi tutulması ile elyaf üretim prosesi. Verimlilik %97.5
PRMP	(Basınçlı mekanik öğütme yöntemi)	Orta basınç e sıcaklıkta, ön buharlamaya tabi tutulmuş yongaların disk refiner(öğütücü)lerde işleme tabi tutulması ile elyaf üretim prosesi.Verimlilik % 97.5
TMP	(Yüksek sıcaklık ve basınç yöntemi)	Yongalar basınçlı buhar ile ön buharlamaya tabi tutulur, basınç yaklaşık olarak 3-5 bar ve sıcaklık 140-155 °C dir.Bu şekilde refiner leme gerçekleştirilir.Verimlilik % 97.5 dir.
CMP	(Yarı kimyasal mekanik yöntem)	1.Tüm yarı kimyasal mekanik hamur üretiminin genel adıdır.Kimyasal olarak şartlandırılmış yongalar refiner lerden ve taş öğütücülerde öğütülür.Verimlilik % 80-95 arasındadır. 2.Aynı şekilde buharla ısıtılmış ve biraz fazla kimyasala maruz biralıkmiş yongalar atmosferik basınçta ve yüksek basınçta öğütücülerden geçirilerek ağaç elyafı üretme prosesidir.
CTMP	(Yarı kimyasal yüksek basınç ve sıcaklık yöntemi)	Kimyasal olarak şartlandırılmış yongalar mekanik olarak refinerlerden eçrilir.tipik verim %90 civarındadır.

Mekanik yöntemler ile üretilen elyaflar daha esnek ve aynı zamanda üretilen kısa elyaf ve tozlar daha fazladır.



Şekil 3. 1 Mekanik kağıt hamuru üretim yöntemlerinin hücreye etkisi [1]

Kağıt ve karton üretiminde elyaf ayırma temel amaç elyaf tozları ile birlikte iyi bağlanma özellikleri sağlayan elyafların üretimidir.

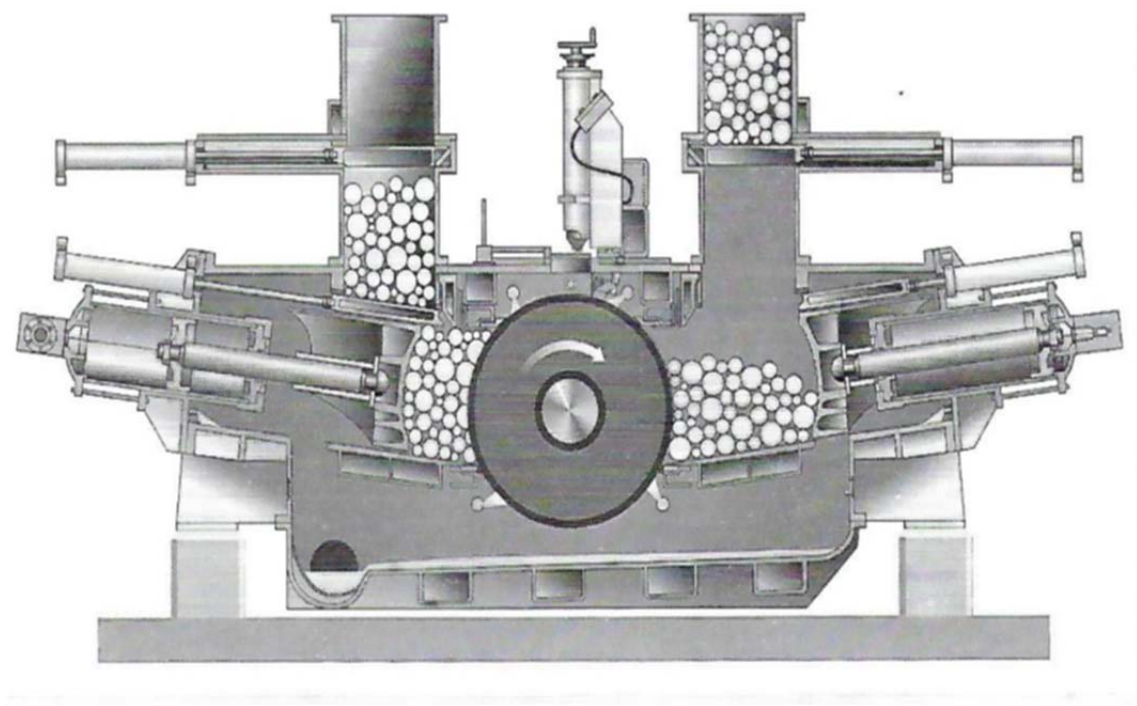
3.1 Taş Silindir Prosesi

Bu proses kağıt kamuru üretiminde en eski yöntemlerden biridir. İsimlendirmede daha önce bahsedildiği gibi aynı temel altında değişik geliştirilmiş proses tipleri mevcuttur.

Çizelge 3. 2 Norveç Ladin hamurunun özellikleri ve spesifik enerji tüketimi [5], [47]

Proses		GW	PGW70	PGW	PGW-S
Spesifik enerji tüketimi	MWh/t	1.4	1.4	1.4	1.4
Bauer McNett +28	%	18	26	30	32
Bauer Mcnet -200	%	34	28	28	28
Yoğunluk	Kg/m ³	360	370	360	360
Çekme direnci indeksi	Nm/g	25	36	36	40
Yırtılma direnci indeksi	mNm ² /g	4.1	5.8	6.1	7.1
Yayılma katsayısı	m ² /kg	63	62	61	57
Parlaklık (ISO)	%	64	64	63	61

Temelde çapı bir ila iki metre arasındaki silindirik beton blok ve bu bloğun üstündeki seramik aşındırıcı tabaka ağaçtan elyaf üretimini gerçekleştirir. Ağaç tipine göre bu prosesin değişik yöntemleri kullanılır [1], [4], [47].



Şekil 3. 2 PGW taş silindir hamur üretme ekipmanı [1]

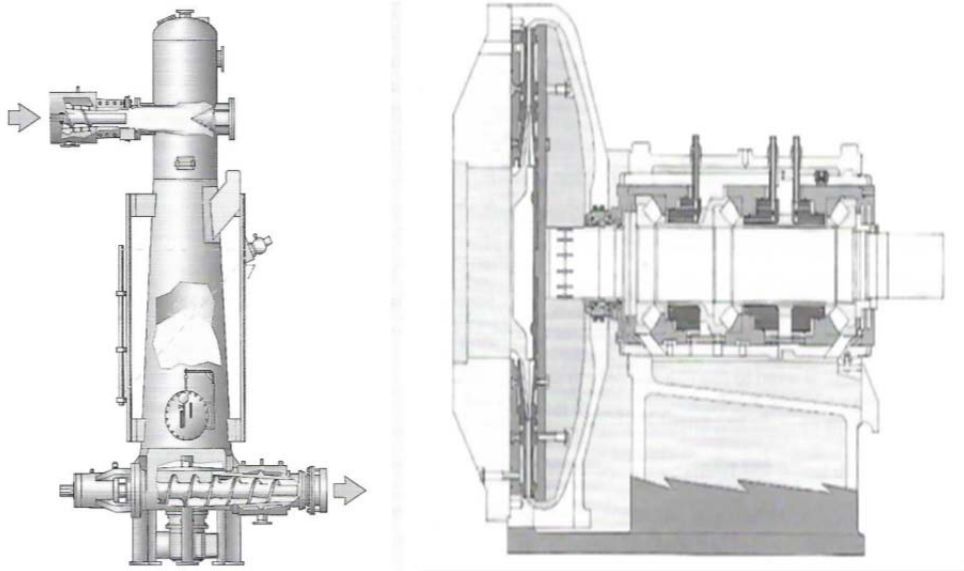
GW sisteminden türetilen bu sistemlerin temel farkı kullanılan yıkama suyu ve fiskiyelerin basınçları ve odun tomruklarının basınla taş silindire itilmesidir. Bu yöntem ile üretilen kağıt hamuru genelde gazete kağıdı üretiminde kullanılmıştır [2].

3.2 TMP Prosesi

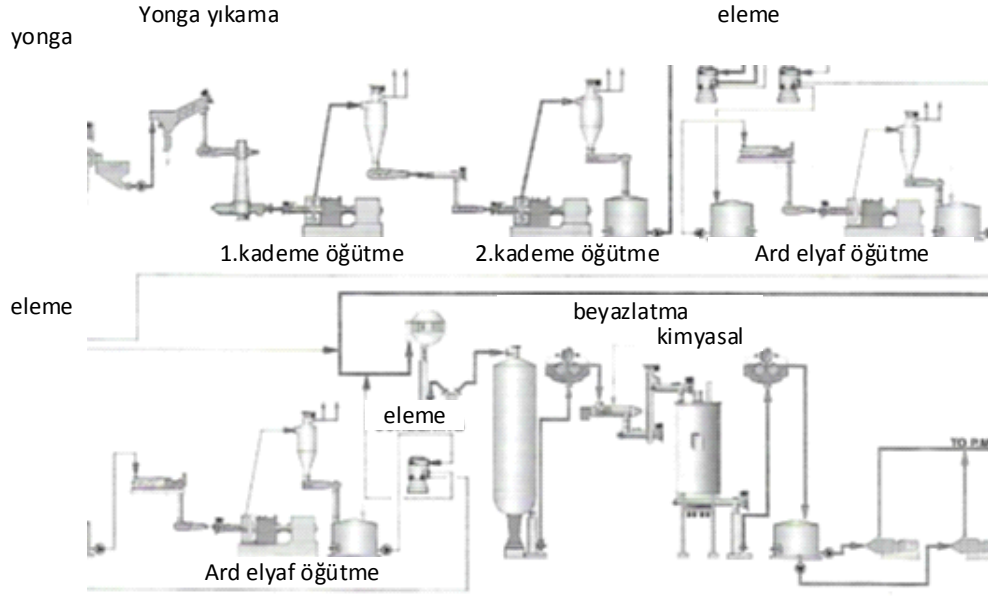
Bu proses öğütücü temelli mekanik hamur üretme yöntemidir. Günümüzdeki kullanım alanına baktığımızda kağıt hamuru üretimine ek olarak MDF levda üreten fabrikaların elyaf üretiminde kullandıkları bir yöntemdir [1].

Ana refiner tipler tek dişli veya iki diskli refinerlerdir. Refinerler bir rotora bağlı üstünde istenen elyaf özelliklere göre dizayn edilmiş belli desende kanal ve çıkıntıların olduğu pleytlerin olduğu ekipmana gönderilen ağaç yongalarının elyaflarına ayrılmasını sağlayan ekipmanlardır.

Bu basit gibi görünen proses geliştirilerek ağaç yongaları 100 °C lik buhar ile ön ısıtmaya maruz bırakılıp konik eşkildeki vida ile sıkıştırılıp suyunu bırakması sağlandıktan sonra 5 ila 8 bar arasındaki doymuş buhar ile şartlandırılır. Sonrasında yine bu yongalar içinde aynı basınçta buhar olan refiner ekipmanına girer. Ağaç yongaları elyaf haline dönüşür. Ağaç yongalarına ısı verilmesinin nedeni ağacı yumuşatmak ve elyaflarına daha kolay ayrılmasını sağlamaktır [5], [1].



Şekil 3. 3 TMP ön ısıtıcısı ve elyaf öğütücüsü [1]



Şekil 3. 4 Tipik TMP preses şeması [1]

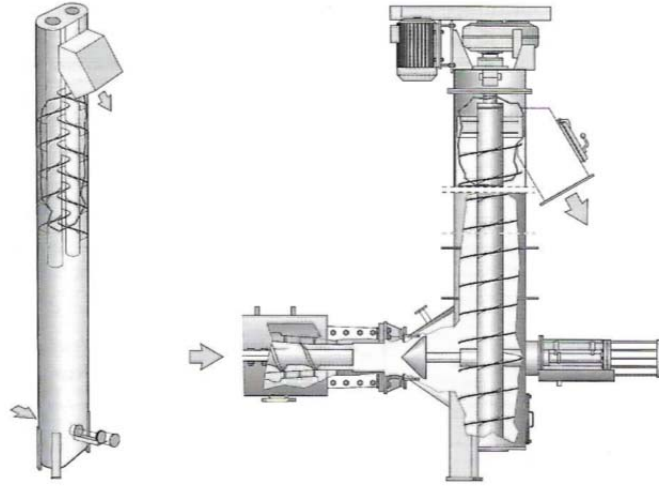
3.3 CMP Prosesi

Yarı kimyasal mekanik hamur üretme prosesinde ağaç yongasına çok az bir kimyasal şartlandırma yapacak bir kademe dahil edilmiştir. Bu kimyasal işlem verimi arttırmanın yanında daha kolay elyaf üretimi ve istenilen mukavemet değerlerine elyaf üretmek içindir. Genelde iki kısma ayrılır.

CTMP hamuru basınçlı refinerleme ile üretilir ve göreceli olarak düşük kimyasal dozajlama yapılır [1], [47]. CMP kimyasal mekanik hamuru ise refinerleme atmosferik basınç altında yapılır ve kimyasal uygulama CTMP prosesine göre çok fazladır. Yonga 30 m³ lük önbuharlama tankında , 160 °C ve 3,5 kg/cm² basınçlı buharla direkt ısıtılıp , 100 °C 'lik sıcaklık ortamında ve atmosferik basınçta 20 dk ön buharlaşmaya tabi tutularak yumuşatılır ve rutubeti % 60 ile % 70 oranına çıkarılır.

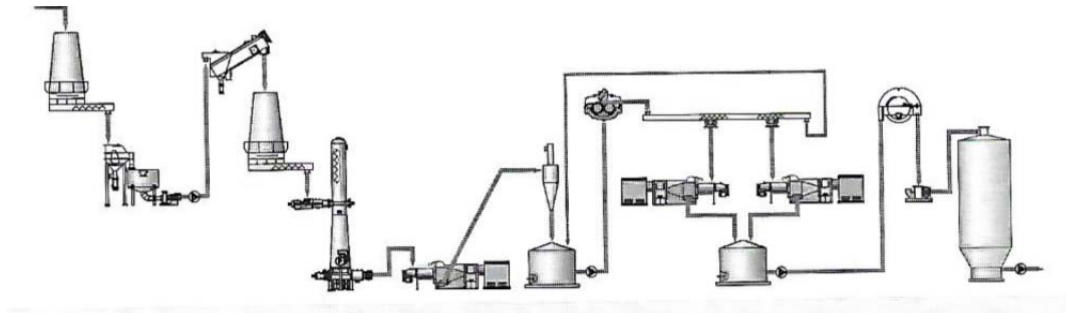
Bu yonga Karşı basınç uygulanan konik vida preste, sıkıştırılıp bünyesindeki kirli koyu renkli su ve bir miktar reçine uzaklaştırılır ve rutubeti de % 35 – 40 'a düşürülür. Yonga emdirilecek su ve kimyasal miktarı ayarlanabilen dikey kimyasal emdirme kulesine aktarılır. Sıkışma basıncından kurtulan yonga genişirken bünyesine kulede bulunan 240 g/lit ve 9,5 - 10,5 pH daki sodyum sülfite çözeltisi emdirilir.

Burada kullanılan sodyum sülfite, sodyum metabisülfite, sodyum hidroksit karıştırılarak elde edilir. Ayrıca devrelerde birikecek metal (demir, bakır, kurşun, krom vs) metal iyonlarının etkisi ile beyazlık düşmesini ve beyazlatılmadan sonra parçalanmış maddelerin yeniden oluşmasıyla beyazlık azalmasını önlemek amacı ile bu iyonları komplekse olmak için kule alt girişinden %100 kuru yongaya göre % 0,2 – 0,5 oranında Etilen Diamin Tatra Sodyum Asetat verilir [67], [69].



Şekil 3. 5 CTMP prosesinde kimyasal uygulamanın yapıldığı impregnatör [1], [4]

Pratikte kimyasal uygulama olarak yumuşak ağaç hamur prosesinde sodyum sülfite temel kimyasaldır. Sert ağaç hamuru üretiminde ise sodyum hidroksit ve sodyum sülfite kullanılır [1].



Şekil 3. 6 Modern CTMP hamuru üretim prosesi [1]

3.4 Kraft (Sülfat) Hamur Üretim Prosesi

Kraft prosesi ile ilk ağaç elyafı üretme denemesi Almanya da F.G. Keller tarafından sodyum hidroksit çözeltisi kullanılarak açık kazanlarda üretildi. Sonrasın da 1854 yıllarında Amerika da elyaf üretimi için kapalı ve basınçlı pişirme kazanları geliştirildi.

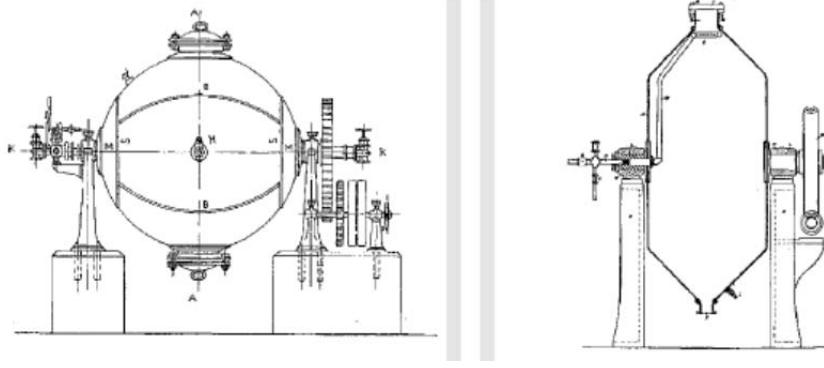
Bu soda pişirme prosesindeki en büyük sorun eklenmesi gereken sodyum karbonat kimyasalının pahalı olması idi. 1865 ve ilerleyen yıllarda kullanılan kimyasalı geri kazanmak için külleştirme sistemleri geliştirildi. Bu yöntemler sistemde kullanılan alkali kimyasalların % 85 geri kazanıldı. İlk fabrikalar Amerika da 1860 ve Finlandiya da 1875 yılında kuruldu [1].

1814 Almanya da soda pişirme prosesinde kullanılan sodyum karbonat yerine daha ucuz olan kristalin dakahidrat sodyum sülfat kullandı. Kimyasal geri kazanma prosesinden Sodyum hidroksit ve sodyum sülfat içeren Siyah likör denilen Pişirme çözeltisi üretildi. Bu yolla sülfat prosesi geliştirildi. Günümüzde sodyum sülfat aktif pişirme kimyasalı olmadığı için bu proses bu adla tanımlanmaz. Pişirme çözeltisi sülfat içerdiği için pişirme verimi artmıştır. Ek olarak pişirme hızlı ve üretilen elyafın mukavemet değerleri yükselmiştir. Bu üretilen elyafların mukavemetli olmasından dolayı Alman ve İsveç dilinde güçlü anlamına gelen Kraft adı verilmiştir [1].

Sülfat prosesi ile elde edilen elyaf sülfat prosesine oranla daha koyudur. Bu nedenle diğer prosese göre beyazlatılması daha zordur. Ancak , ilerleyen teknolojik gelişmeler sonucunda bu olumsuzluk giderilmiş ve Kraft prosesi yoğun olarak kullanılmaya başlamıştır.

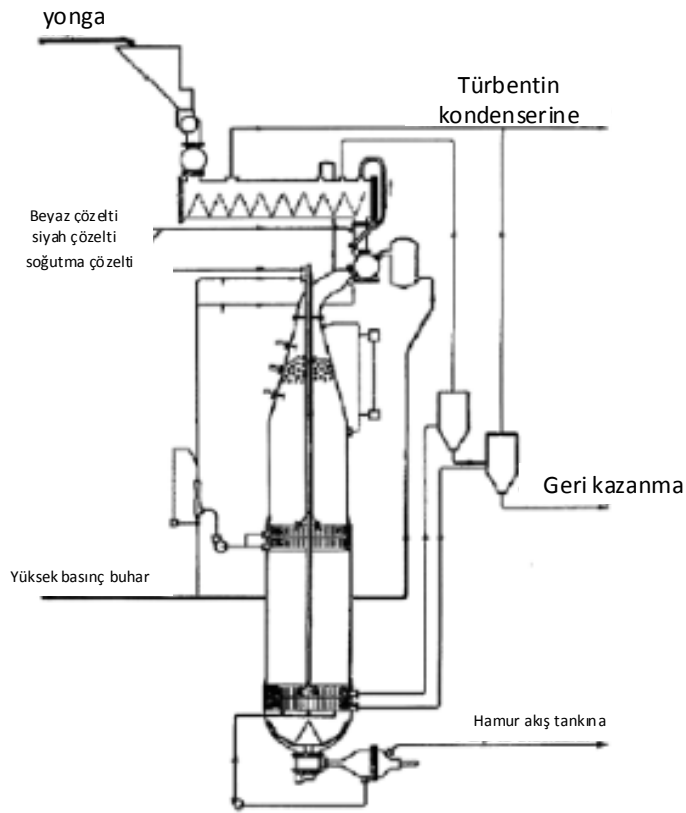
Kraft yada diğer pişirme proseslerinde en önemli ekipman pişirme kazanlarıdır.

İlk üretilen pişirme kazanları küresel ve doldur boşalt prensibi ile çalışan 35 - 40 m³ hacminde ve her boşaltmada, 1 ila 2 ton arasında ağaç elyafı üretebiliyordu. Sonrasında Bu tip pişirme kazanlarının yerini silindirik konik tabanlı her doldurma ve boşaltmada 3 ton üretebilen silindirik pişirme kazanları aldı.



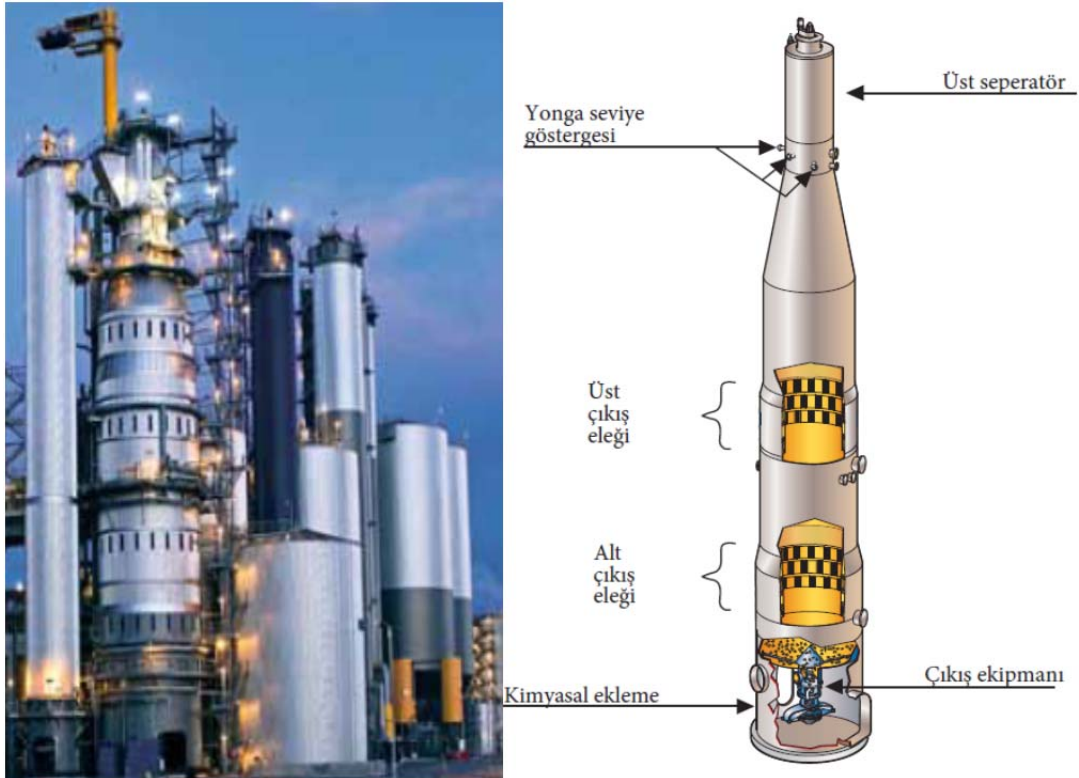
Şekil 3. 7 Değişik tipte pişirme kazanları [1]

Küresel tip pişirme kazanları ve silindirik tip pişirme kazanları görülmektedir (Şekil 3.7). Silindirik tip pişirme kazanları günümüzde küçük üretimler için kullanılmaya devam etmektedir. Doldur boşalt yöntemi ile çalışan pişirme kazanları direk buhar ile yada pişirme çözeltisinin ısı dönüştürücülerden geçirilerek ısıtılması ile yapılır. Günümüzde hacmi 40 m³ e ulaşan ve daha iyi iç pişirme sirkülasyonun yapıldığı silindirik dik pişiriciler kullanılmaktadır [1]. Sürekli pişirme sistemi genellikle Kamyr sistemine bağlıdır.



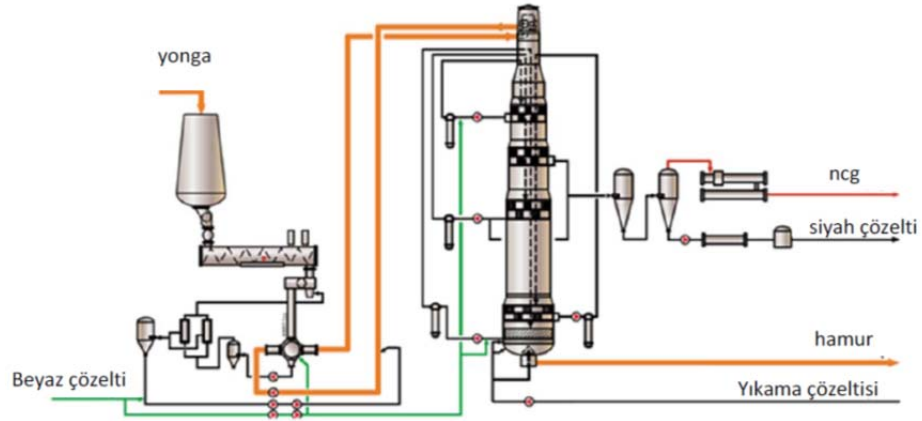
Şekil 3. 8 Sürekli elyaf üretim pişirme kazanı [1]

Sürekli üretim yapabilen kamyr sisteminin şematik gösterimi verilmiştir (Şekil 3.8). Günümüzde Uruguay da Fray Bentoz elyaf üretim tesisinde on metre çapa ve 6 metre yüksekliğinde günde 3200 ton elyaf üretebilen prosesler devreye alınmıştır. Türkiye'de kamir tipinde pişirme kazanları SEKA kurumunun silifkedeki kağıt üretim tesisinde ve yine Seka Çaycuma kağıt üretim tesislerinde bulunmaktadır. Günümüzde bu tesislerden sadece Seka kağıt üretim tesisi ismini değiştirerek Oyka adı altında üretimine devam etmektedir. Elyaf üretiminde en büyük sorunlardan biri verimli bir şekilde elyaf üretilebilecek orman envalinin ülkemizde mevcut olmaması ve dışarı olan bağımlılık

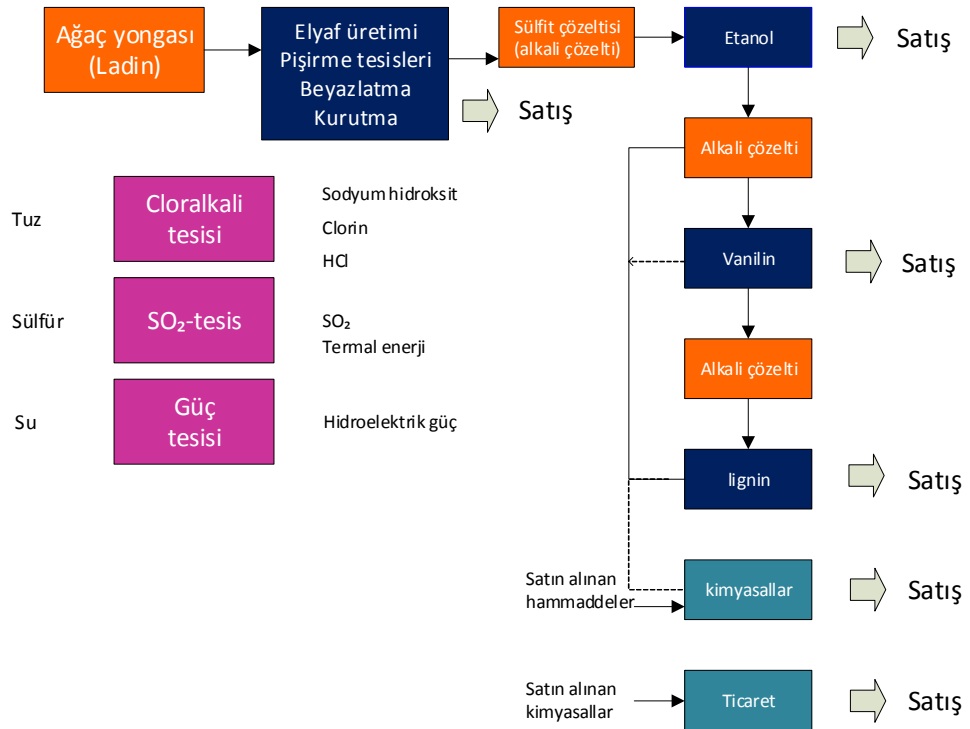


Şekil 3. 9 Modern elyaf pişirme kazanı [1]

diğeri ise bu sistemlerde gereken su ihtiyacının çok fazla olması bu suyun tekrar arıtılması ve kullanıma sunulması için arıtma tesisinin uygun teknoloji ile donatılması gerekmektedir. Bu kağıt elyafı üretim tesisleri entegre tesis olarak kurulmalı ve ard ürünlerin hepsi tekrar kullanılacak şekilde proses dizaynının yapılması gerekmektedir.

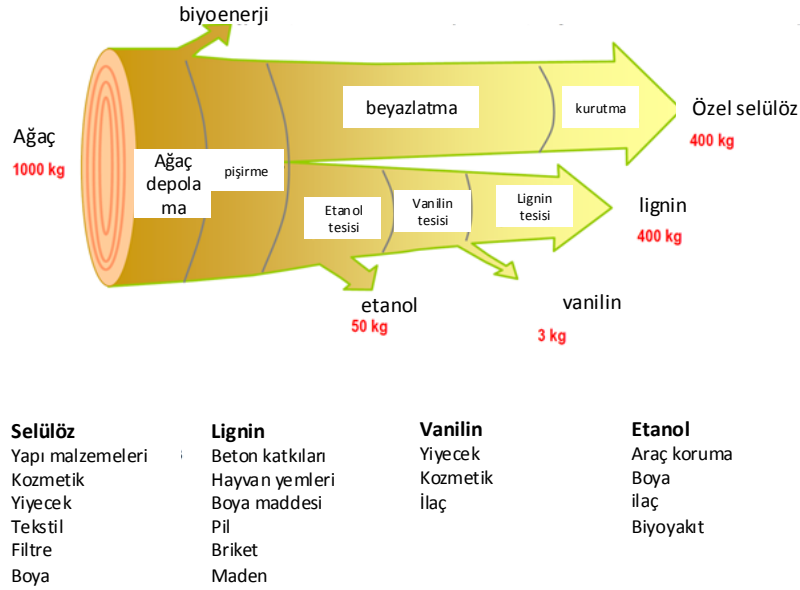


Şekil 3. 10 Pişirme prosesi [1]



Şekil 3. 11 Elyaf üretim tesisi geri geri kazanılan ürünler [1]

Entegre bir kağıt elyağı üretim tesisinin entegre bir tesis olarak prosesin dize edilmiş hali (Şekil 3. 15). Proses şemasına dikkatlibakıldığında elde edilen çözeltilerden hangi malzemelerin üretildiği ve bunların ticari olarak değerlendirilebileceği gösterilmiştir. Bu tip tesislerin Kuzey Amerika, Brezilya ve Kuzey Avrupa ülkelerinde örnekleri mevcuttur.



Şekil 3. 12 Ağaçtan selülöz üretimi sonucu yan ürünlerin geri kazanımı [1], [47]

Çizelge 3. 3 Bazı ülkelerde yumuşak ağaç üretim tesisleri buhar tüketimi(GJ/ADt) [1]

	İsveç (1980)	Kuzey Amerika (1990)	Avrupa (1990)	İsveç (1995)
Yonga hazırlama	0.25	0	0.20	0.15
Piştirme, yıkama, eleme	3.1	3.33	3.20	2.05
O ₂ -delignifikasyon	0.5	0.18	0.20	0.4
Beyazlatma	0.6	0.28	0.40	0.50
Kimyasal hazırlama	0.1	0.37	0.30	0.07
Toplam	4.55	4.46	4.30	3.17
Buharlaştırma	5.30	5.4	4.2	4.1
Elyaf kurutma	3.5	4.49	3.10	2.85
Buhar ve kimyasal geri kazanma	0.61	2.61	1.60	0.61
Geri kazanma ve kurutma toplam	9.41	12.50	8.90	7.56
Diğer kayıplar	3.34	n.a	n.a	2.17
Toplam	17.30	16.96	13.2	12.9

Doğru düşünülmüş entegre bir kağıt elyafı üretim tesisinde elyaf üretimi için sisteme alınan ağaç hammaddesi elyaf üretimi için işlemlerden geçerken son ürün olan elyafın yanında enerji olarak ve ticari olarak ek ürünler elde edilir. Elyaf veya kağıt üretim tesisinin veya her ikisinin birlikte olduğu sistemlerde verimliliğin üst seviyelerde olması için entegre tesislerin kurulması şarttır. Kuzey Avrupa ülkelerinde kurulan tesislerin tümü bu prensibe göre kurulmuştur.

Çizelge 3. 4 KAM1 ve KAM 2 referans fabrikalarındaki türbin dahil buhar dengesi [1]

	KAM 2		KAM 1	
	GJ/ADt	Üretilen Güç kWh/ADt	GJ/ADt	Üretilen Güç kWh/ADt
Üretim				
Siyah çözelti ve NCG	17.9		18	
İkincil ısı	0.6		0.7	
Sıyırma	0		1.1	
Toplam	18.5		19.8	
Tüketim				
Proses	10.8		10.4	
Geri basınç gücü	2.9	790	2.9	790
Kondens gücü	1.7	465	2.3	620
Kondenser	3.1		4.2	
Toplam	18.5		19.8	

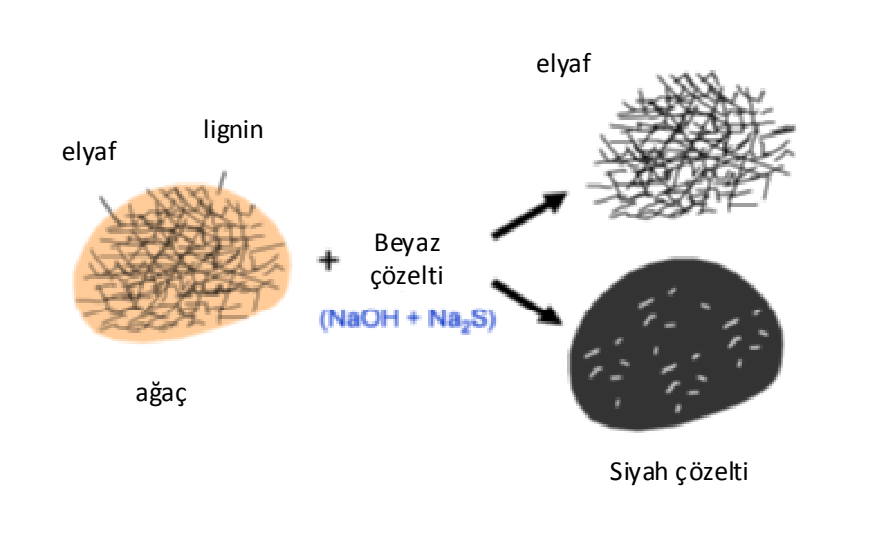
2015 yılında Çin de çapı 12,5 mt ve yüksekliği 72 mt olan günlük elyaf üretim kapasitesi 5160 ton olan ağaç elyafı üretim tesisi devreye alınmıştır. Kimyasal elyaf üretim prosesi alakalinilikten asidiğe basınç ve sıcaklık altında inorganik kimyasalların kullanıldığı bir sistemdir. Kraft prosesinde üretilen elyafların mukavemeti ve sistemin verimliliği özellikle yumuşakağaçlar da hakeza sertağaçlarda da sorunsuz bir şekilde kullanılıyor olması bu endüstrde bu prosesin seçilmesinin başlıca sebebi olmuştur.

Çizelge 3. 5 Referans KAM 1 üretim tesisi gün tüketimi [1]

	kWh/t
Odun sahası	45
Piştirme kazanı	44
Kahcerengi elyaf yıkama ve eleme	60
Oksijen delignifikasyonu	60
Beyazlatma	80
Son eleme	45
Kurutma	120
Buharlaştırma	30
Geri kazanma kazanı	6
Kostikleştirme ve kireç fırını	57
Soğutma kulesi	20
Ham su	20
Arıtma	30
Kimyasal şartlandırma ile beyazlatma	10
Kayıplar	30
Toplam	712

Asidik sülfite prosesi ise çevresel faktörler kalite problemleri kullanılabilecek hammadde deki kısıtlar nedeni ile geçtiğimiz yıllarda yerini Kraft prosesine bırakmaya başlamıştır.

Sülfite yönteminin değişik bir tipi olan CTMP prosesinde emdirme yöntemi ile üretim devam etmektedir. Pişirme prosesi kompozit şekilde birbirine bağlı maddeleri çözerek içindeki selülozden oluşan elyafların ortaya çıkarılmasını sağlar.



Şekil 3. 13 Kraft prosesinin gösterimi [3]

Kraft prosesinde ağaç yongaları sodyum hidroksit ve sodyum sülfite solüsyonu ile pişirilir. Hidroksit iyonları lignin makro molekülleri ile birleşerek küçük parçalara ayırır. Bu küçük parçaların sodyum tuzları pişirme çözeltisi içinde çözünebilir ve pişirme çözeltisinden bu nedenle pişirme çözeltisinden uzaklaştırılması kolay olur. Sülfite prosesine nazaran pişirme çözeltisindeki sülfite ligninlerin çözünmesini ve elyafların daha mukavemetli olmasını sağlar. Ancak soda prosesi ve sülfite prosesine göre elyaflar daha koyu, beyazlatma ve öğütme işlemi daha zordur. Bu yöntemde kullanılabilecek hammadde çeşidi fazla ve proses geri kazanma çıktısı olan türbentin ve talol satılabilir malzemelerdir [1], [3]. Kimyasal yöntemle ağaç elyafı üretim prosesi olan sülfite prosesinde pişirme çözeltisinde bisülfite (HSO_3^-) ve uygun katyonlar (Ca , Mg , Na , K ya da NH_4) kullanılır. Kullanılan katyona göre Çözeltinin pH değeri asidik nötr veya alkali olabilir. Bisülfite su ve katyonlar arasında çok çeşitli eşitlikler vardır. Birbirlerine olan avantaj ve dezavantajları ise;

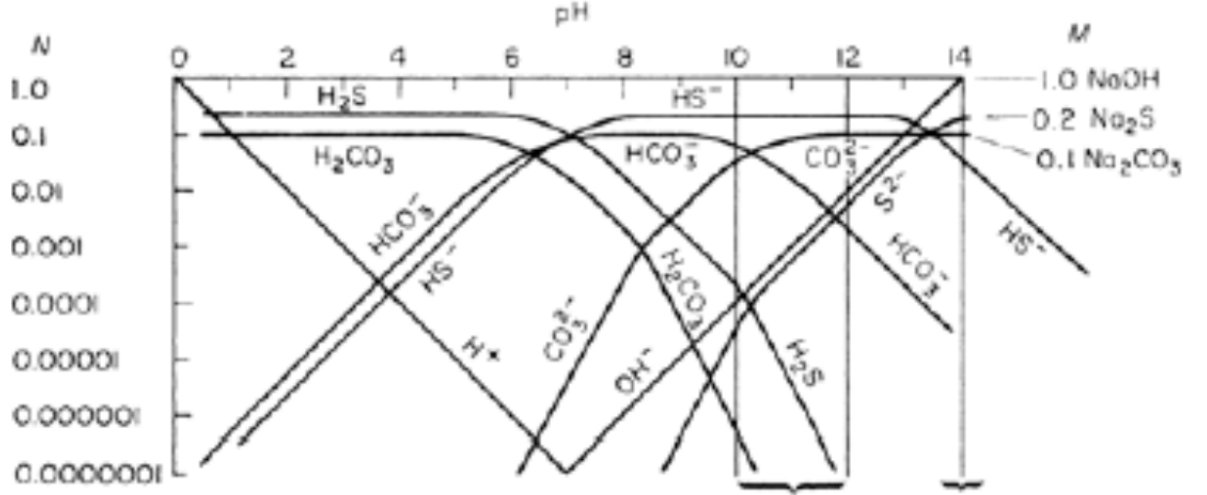
- Yeni beyazlatma teknoloji ve kimyasalların gelişmesi ile özellikle (clorin dioksit) Kraft prosesinde çok koyu çıkan elyafların beyazlatılması daha kolay olmuştur. Beyazlatılan Kraft elyafı beyazlatılmış sülfite elyafına göre daha fazla mukavemet özellikleri gösterir.

- Sülfite prosesi Kraft prosesine göre çevreyi daha fazla kirletir. Çıkış suyunun BOD değeri ve çıkış suyundan atmosfere yayılan sülfür dioksit (SO₂) fazladır.
- Sülfite prosesinde kullanılabilecek ağaç türü Kraft prosesine nazaran azdır

Ağaç tomrukları belli ebatta yongalandıktan sonra eleme işlemine girer. İstenilen büyüklükteki bu yongalar basınçlandırılmış pişirme kazanına yada emdirme (impregnator, CTMP prosesi) tüpüne alınır [1]. Ağaç yongaları basınçlı pişirme kazanlarına alınmadan önce içindeki havadan arındırılması için 80 ila 100°C arasında direkt buhara maruz bırakılır. Bu yongalar pişirme kazanlarının içinde beyaz çözelti ve bir önceki pişirmeden kalan siyah çözelti karışımının yüzeyinde yüzer halde kalır. Kraft pişirme prosesindeki pişirme çözeltisinde temel bileşenler OH⁻ ve HS⁻ iyonlarıdır. Pişirme kazanı içindeki muhteviyat ya direk buhar ile yada dolaysız olarak pişirme kazanından dışarı alınan geri kazanma tesisine giden pişirme çözeltisinin kullanıldığı buhar çözelti ısı dönüştürücüleri ile 150 ila 170°C arasında tutulur. Pişirme çözeltisi sirkülasyonu pişirmenin daha homojen olmasına ve pişirme kazanındaki ısının dağılımının eşit olmasına neden olur. Pişirme esnasında oluşan uçucu gazlar sürekli olarak türbentin üretimine gitmesi için kondenser sistemine gider. Üretilip ayrı bir tanka alınan elyaf hamuru yıkanır ve elenir. Harcanan pişirme çözeltisi karşı yıkamaya gider ve içine biraz su alınarak saflığı arttırılır. Bu pişirme çözeltisinin içindeki atıkların giderilmesi ve geri kazanımı için çözünme işlemleri sırasında adına yeşil çözelti denen çözelti oluşur. Bu yeşil çözelti kalsiyum karbonat (CaCO₃) yakma tesisinde hazırlanan kalsiyum oksit (CaO) ile muamele edilir. Kalsiyum karbonat filtreler ile geri kazanılır ve Tekrar tekrar kostikleştirmede kullanılmak üzere yakma tesisine gönderilir.



Yukarıdaki görülen eşitlikler beyaz çözeltinin içinde oluştuğu düşünülen ve günümüzde de geçerli olan kimyasal hidrolizasyonlardır.



Şekil 3. 15 Alkanite ve pH değişim grafiği [1]

Bu iyonların pH a göre uluşum şartları yukardaki şekilde gösterilmiştir. Kraft pişirme prosesindeki element ve bileşikler,

Aktif alkaliler,



Efektif alkaliler,



Sülfidite,

$$[\text{Na}_2\text{S} / (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S})] \times 100 \quad (3.9)$$

Kostiklik,

$$[\text{NaOH} / (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3)] \times 100 \quad (3.10)$$

İndirgenme,

$$[\text{Na}_2\text{S} / (\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_4)] \times 100 \quad (3.11)$$

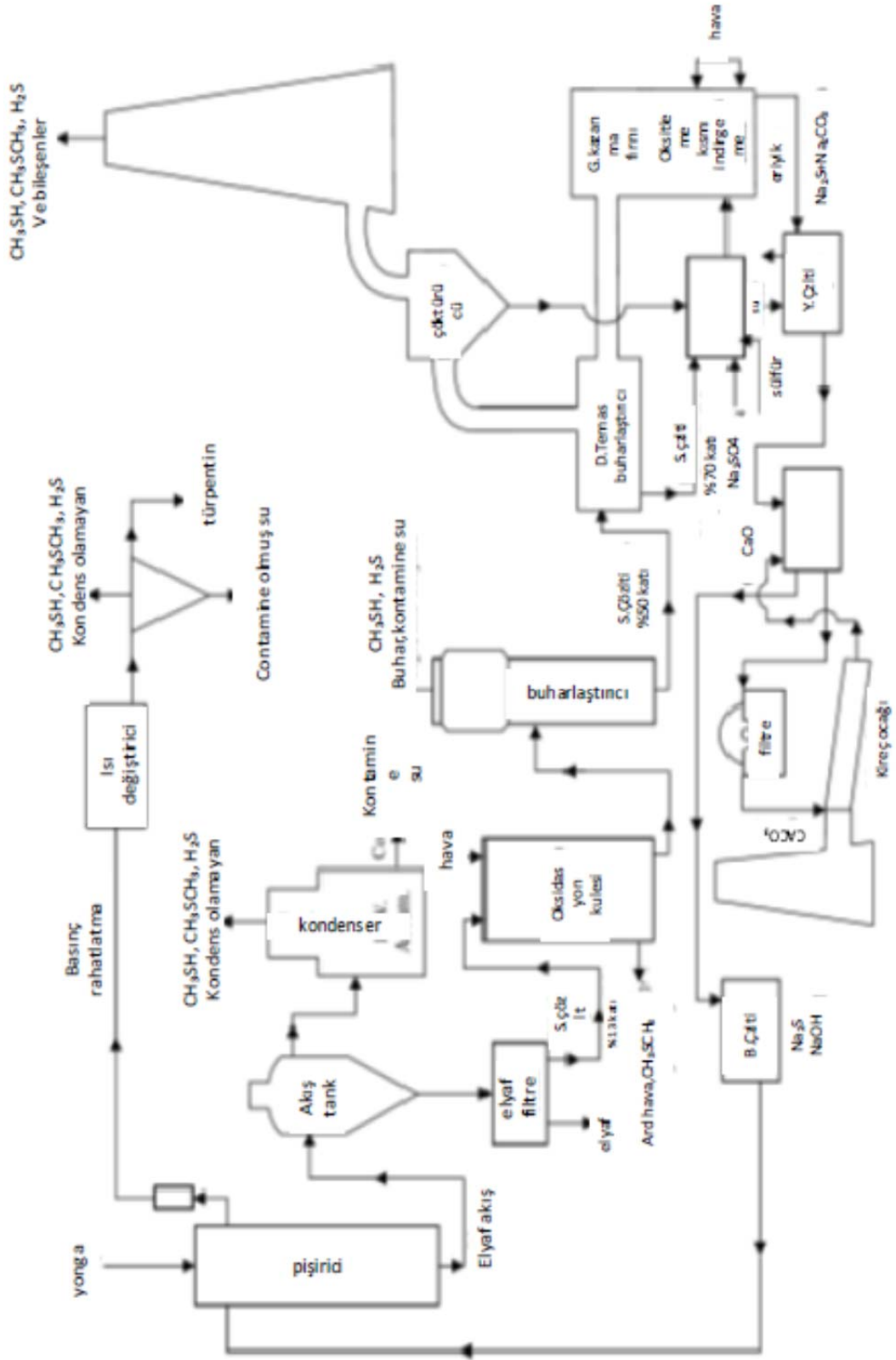
Bu prosesler de çözelti hacmi önemlidir. Çok az çözelti kullanılması halinde yongalar kavrulur. Çok fazla çözelti kullanılması halinde gaz bırakma fazında fazla çözelti kaçmasına neden olur. Hava ve diğer gazların giderilmesi için kazandan uygun şekilde gaz boşaltılması gerekir. Kazanın her tarafında ısı aynı olmalıdır. Kötü dolaşım olması nedeniyle kazanın değişik yerlerinde permanganat sayısı 8 birimden fazla değişebilir.

Alkali proseslerde kükürt bileşiklerinin, selülozun verimini, beyazlatılabilmeyi ve dayanımı arttırdıkları gözlenmiştir.



Bu denklemde belirtilen oranda yüksek tiosülfatın meydana geldiğine inanılmaktadır. Pişirme çözeltisindeki Na_2S hidrolin olarak NaSH meydana getirir.





Şekil 3. 16 Kraft prosesi şematik gösterimi

Böylece Na_2S , NaOH 'ı artırır ve pişirme sırasında önemli parametreler üstlenen NaSH Hidrosülfürü meydana getirir.

Sodadan bağımsız olarak kükürt, ısıya dayanıksızlığından dolayı sülfat prosesinin bütün basamaklarında kaybolur (SO_2 ve H_2S).



Şekil 3. 17 Odun yongası

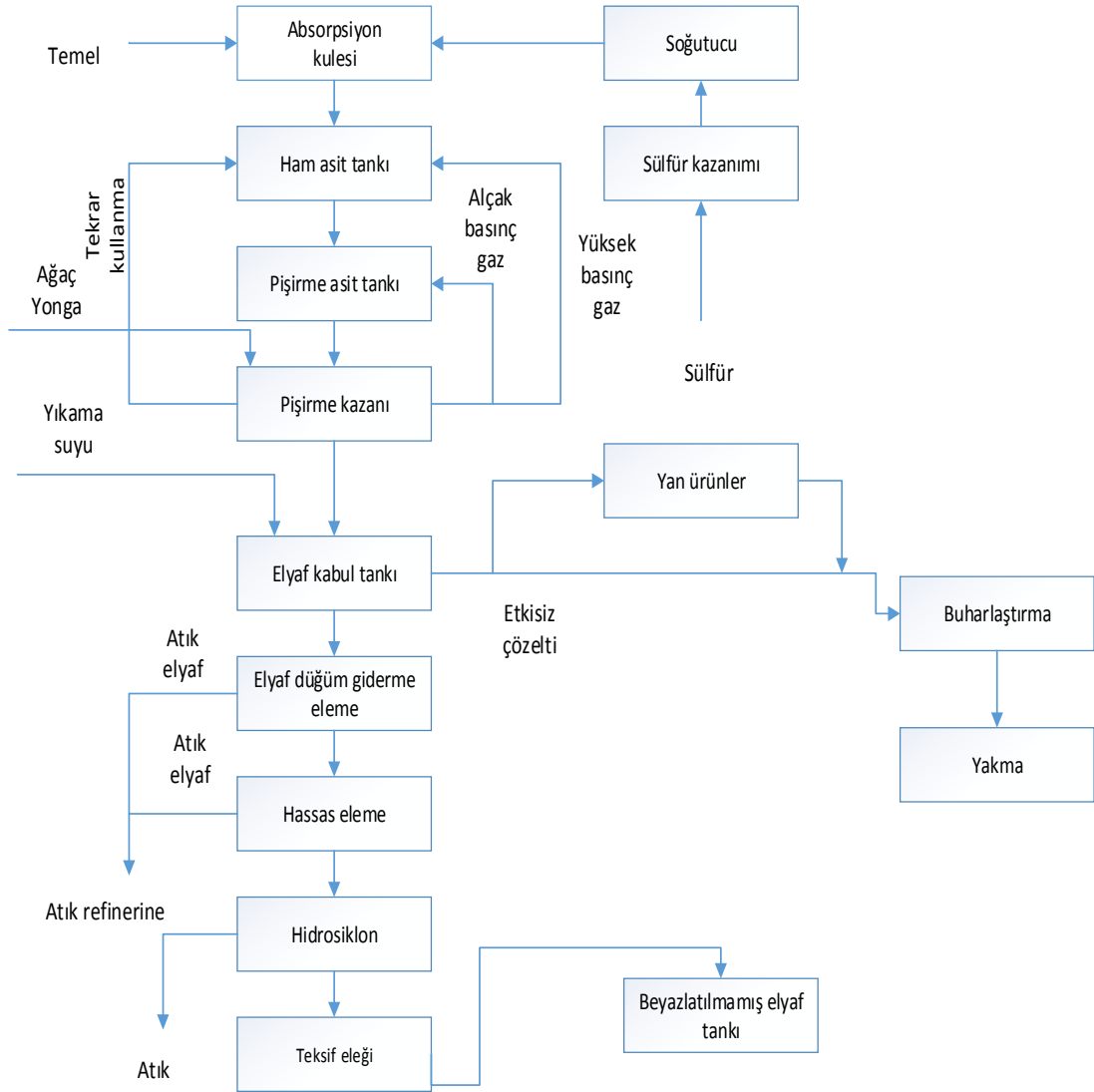
Yukarıdaki şekilde ağaç yongasının belli ebat ve geometride kesilmiş hali gösterilmektedir. Pişirmede çok önemli bir rolü vardır.

3.4.1 Sülfite Kağıt Hamuru Üretme Prosesi

İngiliz Peter Clausen 1851 yılında Amerikan patenti ile sülfürik asit ve sülfür dioksit ile muamele edilmiş çözelti ile samandan elyaf üretimini denedi. Ancak yıllık bitkilerde bi kimyasalların kullanımı uygun olmadığı için ilerleyen yıllarda çok fazla gelişme kaydedilemedi. Amerikan kimyacı B.C. Tilman sülfürik asit kullanarak ağaç elyafı kullanan ilk kişi oldu. Daha sonraları bu model geliştirilerek sülfürik asit (H_2SO_4) ile birlikte kalsiyum bi sülfite çözeltisi kullanıldı. Bu sistem İsveç te geliştirilerek 1874 yılında İsveç te aylık kapasitesi 100 ton olan elyaf üretme tesisi kuruldu.

Sülfite prosesi adını bisülfite solüsyonundan alır. Katyon olarak genelde kalsiyum, sodyum, magnezyum, ya da amonyum dur. Kalsiyumun çözeltide kalabilmesi için pH ın yaklaşık 2 mertebelerinde olması gerekir. Magnezyum ise pH yaklaşık dört mertebelerinde iken bile çalışabilir. Klasik kalsiyum asit sülfite prosesinde pişirme asiti kalsiyum karbonat ile doldurulmuş asit kulesinde sülfürdioksit gazının ve suyun geçirilmesi ile oluşur. SO_2 gazının temasından sonra kalsiyum bisülfite oluşur ve kuleden aşağıya doğru akar. Bu yeni oluşturulan çözelti bir önceki pişirmeden artan SO_2 gazı ile

güçlendirilir. Kraft prosesindeki gibi pişirme kazanında bu pişirme çözeltisi ağaç yongasına nüfuz ettirilir. Fazla asit pişirme kazanından 100°C çıkar. 125 ila 140°C ta pişirme gerçekleştirilir. Pişirme kazanındaki SO₂ nin dışarı alınması için pişirme yarıda kesilir. Bu işlemlerden sonra ağaç hamuru dışarı alınıp yıkanır ve elemeye tabi tutulur. Bu temel işlemlerin haricinde elyaf kalitesini arttırmak için değişik pH da ikili veya üçlü kademeler geliştirilmiştir.



Şekil 3. 18 Sülfite elyafı üretim şeması [1]

Sistemde kullanılan pişirme çözeltisinde aktif olarak sülfürdioksit (SO₂), hidrojen sülfite (HSO₃⁻) iyonları ve SO₃⁻ iyonlarıdır. Bu iyonların miktarı ve varlığı değişik pH değerine göre farklılık arz eder.

Pişirme çözeltisi kimyasal bileşenleri;



Birleşmiş SO_2 ,



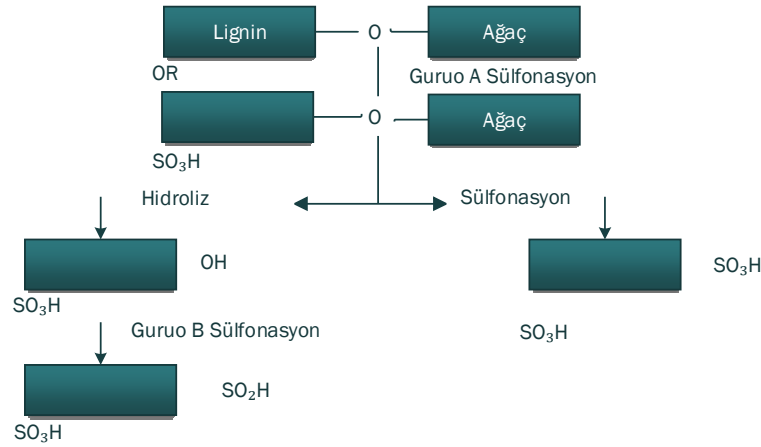
Burada M temel olarak kullanılan katyondur.

Çizelge 3. 6 Sülfite pişirme çözeltisi su ile olan reaksiyonunda meydana gelen ürünler

Proses	pH aralığı	Ana katyon	Aktif reaktif	Elyaf tipi
Asit sülfite	1-2	Na^+, Mg^+, Ca^+	HSO_3^-, H^+	Çözünabilir elyaf
		NH_4^+		Kimyasal elyaf
Bisülfite	2-6	Na^+, Mg^+, NH_4^+	HSO_3^-, H^+	Kimyasal elyaf
				Yüksek verimli elyaf
Nötr sülfite (NSSC)	6-9	Na^+, NH_4^+	HSO_3^-, SO_3^{2-}	Yüksek verimli elyaf
Alkaline sülfite	9-13	Na^+	SO_3^{2-}, HO^-	Kimyasal elyaf



Yukarıda belirtilen eşitlikler solüsyonun pH değerine etki eder. Sülfonasyon ve hidroliz ligninin çözülmesinde çok önemli rol oynar. Sülfonasyon lignini daha fazla hidrofilik yapar. Hidrolizasyon lignin bağlarını çözer ve küçük parçalara ayırır. Böylelikle daha küçük çözünabilir lignin parçacıkları oluşur.



Şekil 3. 19 Sülfite elyafı üretiminde sülfonasyon [1]

Piştirme çözeltisi olarak değişik çözeltilerde kullanılabilir. Ancak bu konu farklı araştırma konularına girdiği için burada bahsedilmeyecektir.

3.4.2 Nötür Sülfite Yarı Kimyasal (NSSC) Kağıt Elyafı Üretim Prosesi

Bu proses genelde sülfite kimyasını pH ın nötre yakın olduğu değerlerde kullanır. Bu elyaf üretim süreci yaygın olarak kullanılmaktadır. pH gereksinimi için sodyum ve amonyum kullanılan yegane katyonlardır. Kimyasal dozajlama çok düşüktür ve kimyasalın iyi nüfuz etmesini gerektirir. Proses de genelde sert ağaç ve talaş atıkları kullanılır. Fluting olarak özel ambalaj kağıdı yapımında kullanılır. Mukamet ve elyaf uzunluğunun yanında elyaf bükülmezliği sağlayan kağıt elyafı üretilmesini sağlar. Ağaç yongası hazırlama diğer kimyasal yöntemler gibidir. Ancak bu süreçte iyi bir nüfuz etme sağlanması için ağaç yongalarının büyüklüğünün diğer proseslere göre küçük olması gerekir. Sülfonasyonu hızlandırmak için 160 ila 190 °C sıcaklıklara ulaşılır. Üretilen elyafdaki arta kalan lignin miktarı %15 ila %20 arasındadır. Bu süreçte ligninden çok hemi selülozler çözünür.

Düşük pH a yakın piştirme yöntemi karbonhidrat kaybını minimize eder.ve piştirme çözeltisi pH düşüşünü dengelemek için yüksek bikarbonat ve karbonat kapasitesine sahiptir. Selüloz bu süreçte değişmeden kalır. Yumuşamış ağaç yongaları yüksek basınç ve sıcaklıkta refiner sisteminden geçirilir. Bu proses konveyör tipi yada devamlı akışlı pişiricilerde yapılır.

Ağaç yongaları diğer kimyasal süreçler de olduğu gibi ilk önce direkt buhara tabi tutulur. Sonrasında sıcaklığı 100°C de olan ağaç yongaları kimyasal emdirme tüpüne gönderilir. Ağaç yongalarına sodyum sülfite ve karbonat yada bi karbonat çözeltisi emdirilir.Nüfuz ettirme süresi 5 ila 15 dk sıcaklık 100 °C dır. Yaklaşık olarak 1-1,5 m³/t piştirme çözeltisi ağaç yongalarına nüfuz eder. Sonrasında bu ağaç yongaları buharlaşan çözelti ile birlikte piştirme bölgesine gelir. Piştirme bölgesinde 5 ila 60 dk süresince pişirilir. Konveyör tipi piştirme kazanlarında ağaç yongasına verilen buhar sıcaklığı 200°C a kadar çıkar ve bu sıcaklık piştirme süresini kısaltır.

Çizelge 3. 7 Ağaç yongalarının kütle, yoğunluk ve hacim değerleri [1]

	Aktif katyon Na Huş	Aktif katyon NH ₄ Huş	Aktif katyon Na Yumuşak ağaç talaş
Buharlama			
-zaman	2-3	3-5	5-10
-sıcaklık °C	75-95	100	100
Emdirme zamanı	4-5	10-20	2-5
Piştirme sıcaklığı °C	180-185	165	185
Piştirme süresi	12-16	18	45
Elyaf üretim verimi %	78-82	80-82	75-77
Ağaç ihtiyacı, m ³ /t elyaf	2.6-2.8	2.6-2.8	3.4
Piştirme çözeltisi m ³ /t elyaf	0.8-1	1	2.4
Piştirme çözeltisi konsantrasyonu g/l			
-Ana katyon Na ₂ O yada NH ₄	72-78	25-28	27
-SO ₂	60-65	45-48	48
Kimyasal yükleme %			
-Ana katyon Na ₂ O yada NH ₄	6.5-7	2.5-2.7	6.5
-SO ₂	5.5-6	4.8	11.5
Piştirme pH ı			
-ilk	9-10	9-10	9
-son	5-6	5-6	6
Buhar ihtiyacı GJ/tp	2.2-2.4	1.6	7
Çözelti ağaç oranı	2.2/1	2/1	3/1

Ağaç gözenekli bir yapıya sahiptir. Katı maddeler, gaz ve boşluklarda duran sudan oluşur. Literatürde yoğunluk değerleri 1,5 t/m³ ile 1,55 t/m³ olarak verilir. Ağaç türleri arasında yoğunluk farklılığı kuru kütle ağırlığının kuru kütle hacmine oranı olarak hesaplanır. Bu değer 0,3 t/m³ ile 0,6 t/m³ arasında değişkenlik gösterir. Bu tanımlamaya göre örneğin Meşe, Çam ağacına göre daha yoğundur.

3.5 Kuru Ağaç Yongasının Yoğunluğu

Tipik aralık 0.3 ila 0.6 t/m³ dir. Ağaç yongası içindeki katı maddenin yoğunluğu her pratik amaç için sabittir ve ağaç türünden bağımsızdır.

Yığın yoğunluk türe ağaç yongası ebatlarına ve dağılımına bağlıdır. Ağaç yongalarındaki boşluklar genelde su içerir. Çok az miktarda bu boşlukların bir kısmında hava bulunur..

Gaz yada hava çözelti emiliminin olduğu işlemin başında ağaç yongasında tutulur. Bu durumun iki önemli sonuç çıkar. Birincisi budurum çözelti içinde yüzen yongaların yoğunluğunu düşürür ve piştirme homojenliğini azaltır. Piştirme esnasında yongaya hapsolan çok az miktarda gaz dışarı çıkar. Buradan,

- Yongalar kendi hacimlerini devam ettirir
- Sıkışmış gaz ideal gaz kanununa göre hareket eder
- Azalan gaz hacmini sıvı tamamlar.

3.6 Kraft Prosesinde Kütle Transferi

Buharlama esnasında Yonga içindeki orijinal ağaç rutubeti aynen yonga içinde kalır. İdeal şartlarda yonganın içine giren kimyasalların başlangıç konsantrasyonları pişirme çözeltisinden az olacaktır. Difüzyon transferi bu nedenle kimyasal elyaf üretim tesislerinde önemli parametredir.

Yonga içindeki havanın uzaklaştırılması penetrasyon için temel unsurdur. Bu nedenle pişirmeden önce yongalar ön buharlamaya tabi tutulur. Buharlama yonganın içindeki ve dışındaki kütle ve ısı transfer prosesinin aynı anda yapılmasıdır. Isıya tabi tutular yonga genişler sonrasında yonga içinden hava akışı başlar.

Yongadaki havanın yer değişimi yavaş işleyen bir süreçtir ve yaklaşık 30 dk sürer. Buharlamayı yöneten başlıca etmenler,

- Ağaç katı maddeleri
- Yonga içindeki serbest su
- Yongadaki katı maddeler ile olan su bağları
- Hava ve buharın gaz karışımı

Doğru lignin giderimi için kimyasal çözeltinin yongalara homojen bir şekilde penetre olması çok önemlidir. Kılcal kuvvetler ve basınç mekanizma penetrasyonu yönetir.

Çizelge 3. 8 Selülöz cinsine göre pişirme süreleri [2]

Ağaç	Sarı Çam (Pinus Silvestris)	
Elyaf üretim verimi	47	%
Ağaç rutubet içeriği	45	%
Yonga sıcaklığı	10	°C
Efektif alkali yükleme NaOH	18.5	%
Beyaz çözelti		
-efektif alkali	115	g/l
-aktif alkali	135	g/l
-sülfidite	29.6	%
-kostiklik	80.5	%
-indirgenme	86	%
-yoğunluk	1.15	kg/m ³
-sıcaklık	85	°C
Siyah çözelti		
-sıcaklık	70	°C
-Katı madde içeriği	15	%
-yoğunluk	1.05	kg/m ³
Doldur boşalt ta ağaç çözelti oranı	4.5/1	
Buharlama sıcaklığı		
-Doldur boşalt pişirme	100	°C
-sürekli pişirme	120	°C
Piştirme kazanı gaz gidermedeki buhar kaybı	180	kg/tbdp
Doldur boşalt kazanı		
-Ağırlık	6	kg/tbdp
-pişirmeden önceki sıcaklık	100	°C
-akıştan sonraki sıcaklık	120	°C
Sıcaklık		
-Pişirme	170	°C
-akıştaki sıcaklık	165	°C
-yıkama ve seyreltme çözeltisi	74	°C
-yıkama bölgesi	130	°C
Seyreltme faktörü	3	t/tpdp
Akış kesafeti	10	%
Ağaçtaki reaksiyon ısı	0.218	MJ/kg
Piştirme esnasında ısı kaybı	4	%
Spesifik ısı kapasitesi		
-su	4.19	kJ/°Ckg
-ağaç	1.53	kJ/°Ckg
-çözünmüş kuru katı madde	1.47	kJ/°Ckg
-Piştirme kazanı çelik kısımları	0.46	kJ/°Ckg
Buhar entalpileri		kJ/°Ckg
-Orta basınç buhar	2785	kJ/°Ckg
-düşük basınç buhar	2748	kJ/°Ckg
-flaş buhar(4 bar, 150 °C)	2733	kJ/°Ckg
-flaş buhar(1.2 bar, 120°C)	2706	kJ/°Ckg
-flaş buhar(0 bar, 102°C)	2676	kJ/°Ckg

BÖLÜM 4

STANDARTLAR

Standart ürün özelliklerini ve performansını belirlemenin bir yoludur. Standart Terminoloji, semboller, güvenlik, ölçüler, test prosedürleri ve üretim yöntemleri gibi konuları düzenler. Kağıt endüstrisinde kağıt üretiminin çok eskilere dayandığı ülkeler bu konu ile ilgili standartlara öncülük etmişlerdir. Standart ta üç büyük standardizasyon kuruluşu vardır. ISO (Dünya çapında), EN (Batı avrpa), ASTM (Amerika Birleşik Devletleri). Ancak bu standart kurumlar TAPPI (Amerika), SCAN-test (Kuzey ülkeleri kağıt endüstrisi) kadar kadar kağıt endüstrisine standart üretememişlerdir.

Günümüzde kağıt endüstrisinde TAPPI standartları yaygın olarak kullanılmaktadır [5].

Çizelge 4. 1 Kağıt üretimi hamuru testleri [5]

	İSO	SCAN	TAPPI	CEN
Test için numune	7213	C	T	EN27213
Kuru madde içeriği	638	C3	T412	EN20638
Hamur konsantrasyonu	4119	C17	T240	EN4119
Standart su için fiziksel testler	14487	CM 58	T	EN
Laboratovarda ıslak çözülme	5263	C18	T205	EN5263
Mekanik hamurun sıcak çözülmesi		M10	T262	EN
Elyaf uzunluğu sınıflandırma		M6	T233	EN
Optik analizör ile elyaf uzunluğu sınıflandırma	Hazırlıkta	C	T271	EN
Elyaf yapısı analizi	9184	G3	T401	EN
PFI	5264-2	C24	T248	EN25264-2
Öğütücü	5264-1	C25	T20	EN
Jokro öğütücü	5264-3	C	T	EN
Canada standart serbestlik (CSF)	5267-2	C21	T227	EN
Soper-Riegler	5267-1	C	T	EN
Safiha formasyonu		C	T	EN
Konvansiyonel metot	5269-1	C26	T205	EN

Çizelge 4. 2 Son elyaf Test metotları [5]

	İSO	SCAN	TAPPI	CEN
Test ve şartlandırma için standart atmosfer	187	P2	T402	EN20187
Kuru madde içeriği	638	C3	T412	EN20638
Temel ağırlık	536	P6	T410	EN536
Patlama mukavemeti	2758	P25	T807	EN
Aseton-çözünür madde	14453	CM49	T204	EN
Ektraktlar pH ölçümü	6588	P14	T252	EN
ISO parlaklık ölçümü için laboratuvar safihası hazırlama	3688	CM11	T218	EN
Difüze olmuş mavi reaktas ölçümü	2470	P3	T452,525	EN
Laboratuvar ıslak çözünme	5263	C18	T239	EN5263
CSF	5267-2	C21	T227	EN
Elyaf yığın ölçümü	9184-6	C	T234	EN
Elyaf uzunluğu ve elyaf yığın(coarseness) ölçümü	haz	C	T	EN
Elyaf uzunluğu sınıflandırma (McNett)		M6	T233	EN
Son Elyaf (fluff) spesifik hacim ve absorpsiyon özellikleri		C33	T	EN
Son elyaf düğüm içeriği		C37	T	EN

Çizelge 4. 3 Kimyasal yolla üretilmiş hamur test metotları [5]

	İSO	SCAN	TAPPI	CEN
Yıpranma özellikleri		C	T260	EN
Alkali direnci	699	C34	T	EN
Alkali çözünürlüğü	692	C2	T212,235	EN
Alfa,beta ve gamma selülozu		C	T	EN
AOX, COD, TOC uzaklaştırılabilirliği		CM44	T	EN
Küll	1762,2144	C6	T211,413	EN
Kalsiyum içeriği	777	CM38	T247,266	EN
Karbonhidrat		C	T249	EN
Karboksil içeriği		C	T237	EN
Klorin tüketimi	3260	C29	T	EN
Sıvı ekstraktların iletkenliği	6587	C	T252	EN
Bakır içeriği	778	CM38	T243,266	EN
Bakır numarası		C22	T430	EN
Kirlilik	5350	C	T213,253	EN5350
Kurumadde içeriği	638	C3	T412	EN20638
ektraktlar (solvent)	14453	CM49	T204,235	EN
Demir içeriği	779	C38	T242,266	EN
Kappa numarası	302	C1	T236	EN
Lignin içeriği		C	T222	EN
Magnezyum içeriği	9668	CM38	T	EN
Mangan içeriği	1830	CM38	T241,266	EN
Organik klorin	11480	CM52	T	EN

Çizelge 4. 4 Kağıt fiziksel özellikler test metotları [5]

	İSO	SCAN	TAPPI	CEN
Numune alma	186	P	T400	EN186
Şartlandırma ve test için standart atmosfer	187	P2	T402	EN20187
Rutubet	287	P4	T412	EN20287
Kül	2144	P5	T211	EN
Sıvı ekstraktların pH ı	6588	P14	T435	EN
Sıvı ekstrakt ların iletkenliği	6587	P15	T252	EN
Ağırlık	536	P6	T410	EN536
Kağıt yığın yoğunluğu ve kağıt yoğunluğu kalınlık	534	P7	T411	EN20534
Yoğunluk	534	P7	T411	EN20534
Suyun temas açısı		P18	T458	EN
Absorpsiyon özellikleri		P	T	EN
Cobb metodu su	535	P12	T441	EN20535
Klemm metodu su	8787	P13	T	EN
Cobb-Unger metodu yağ		P37	T	EN
K&N metodu mürekkep		P70	T	EN
Su buharı geçişi	2528	P22	T464	EN
Hidroekspansite	8226	P28	T	EN
Yağ direnci	5634	P	T454	EN
Haza geçirgenliği temel metot	5636-1	P	T	EN
Schoopper metodu	5636-2	P	T	EN
Bentsen metodu	5636-3	P60	T	EN
Sheffield metodu	5636-4	P	T538	EN
Gurley metodu	5636-5	P19	T460	EN
Pürüzlülük,pürüzsüzlük genel metot	8791-1	P	T	EN
Bentsen metodu	8791-2	P21	T	EN
Sheffield metodu	8791-3	P	T538	EN
Yazma metodu	8791-4	P76	T555	EN
Bekk metodu	5627	P	T479	EN
Parlama		P	T	EN
75°		P	T480	EN
20°		P	T653	EN
Optik özellikler genel	2469	G1	T	EN
Parlaklık	2470	P3	T452	EN
Donukluk	2471	P8	T425	EN
Beyazlık		P66	T560	EN
Renk		P71	T527	EN1924-2
Çekme özellikleri	1924-1,1934-2	P16	T404	EN
Parça tokluğu		P77	T	EN
Suya daldırma sonrası çekme	3781	P20	T456	EN
Patlama mukavemeti		P	T	EN
Kağıt	2758	P24	T403	EN
Karton	2759	P25	T807	EN
Katı yada ondüle haline getirilmiş		P	T810	EN
Suya daldırma sonrası patlama	3689	P	T	EN
Yırtılma mukavemeti,Elmndorf metodu	1974	P11	T414	EN21974
Katlama mukavemeti		P	T	EN
Schopper/Lhomarg/MIT/Köhler-Molin	5636	P	T	EN

Çizelge 4. 5 Kağıt fiziksel özellikler test metotları [5]

	İSO	SCAN	TAPPI	CEN
Scott tipi		P	T833	EN
z-yönü çekme		P80	T541	EN
Yüzey mukavemeti		P	T	EN
Dennisson		P	T459	EN
IGT	3783	P63	UM591	EN
Bükülme katışığı		P	T514	EN
Genel prensipler	5628	P	T	EN
Rezonans metodu	5629	P64	T535	EN
Kiriş metodu		P29	T556	EN
Dört nokta metodu		P65	T836	EN
Taber		P	T489	EN
Gurley		P	T543	EN
Clark		P	T451	EN
Ezme mukavemeti		P	T	EN
CCT		P42	T824	EN
CMT	7263	P27	T809	EN7263
ECT	337	P33	T811	EN3037
FCT	3035	P32	T808	EN23035
RCT		P34	T818	EN
Sıkıştırma Mukavemeti (SCT)	9895	P46	T826	EN
Delme dayanımı	3036	P23	T803	EN

KAĞIT TÜRLERİ VE ÜRETİM TESİSLERİ

Kağıt türlerine girmeden önce bahsettiğimiz kağıt elyaf elyafı tiplerini ve özelliklerini kısaca değinmemiz gerekir.

Özellikle karton üretiminde, sert ağaç (Huş, Kayın, Meşe vs.) gibi ağaçlardan üretilen kısa elyaf ve Yumuşakağaç (Çam, Ladin, vs) gibi ağaçlardan üretilen uzun elyafların farklı özelliklerine göre karışımlarının ve karton katmanlarındaki kullanım bölgeleri farklılık gösterir.

5.1 TMP Yöntemi İle Üretilen Kağıt Hamuru

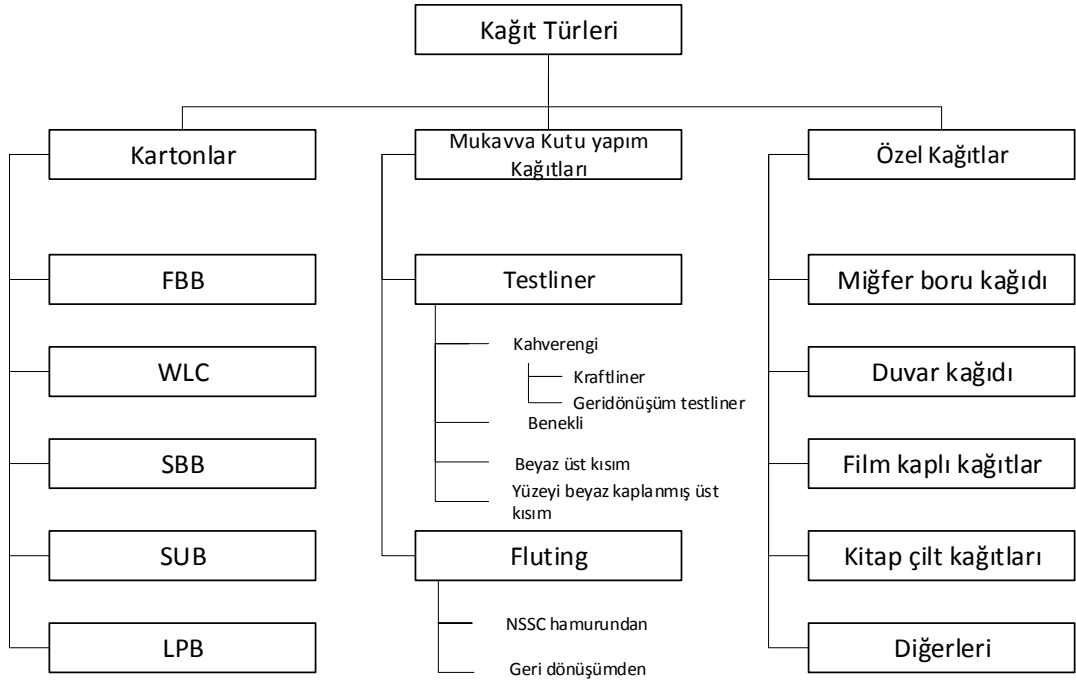
Bu tip kağıt elyaf üretiminin verimliliğinin yüksek olmasının yanında içinde bulunan lignin miktarı dolayısı ile bu elyaflar sert ve rijittir. Bu özellikler üretilen kartona daha yüksek sertlik, düşük yoğunluk, düşük esneklik ve sınırlı bir mukavemet sağlar [68]. Bu tip elyaf kullanılarak üretilmiş karton elyaf içinde lignin varlığından ötürü sıcaklığa ve rutubete karşı olumsuz tepki gösterir. Düzlük ve boyutsal kararlılığı azaltır.

5.2 Kimyasal Yöntemle Üretilmiş Kağıt Elyafı

Bu yöntemde elyafların uzun boyları vardır. Selüloz çok yoğun bir sıkılaştırma sağlar. Bu özellikler çok güçlü kağıt özellikleri sağlar [68]. Elyaflar yumuşak e esnektir. Bu özellikler kartona buruşmazlık, gofrajlama özelliği, kalıp kesme kolaylığı ve az toz üretme özellikleri verir. Bayazlatılmış bu elyaflar iyi bir beyazlık parlaklık ve ışık haslığı sağlar. Bu elyaflardan üretilen kartonlar yüksek saflığa ve yiyecek ambalajlamasına uygundur.

5.3 Geri Dönüşüm Hamuru

Geri dönüşümden gelen elyaflar sürekli döngü halinde olduğu için elyaf mukavemet özellikleri düşüktür. Bununla birlikte beyazlatma istendiğinde mürekkep giderme prosesinden geçer. Karton üretiminde orta katmanlarda kullanılır. Kartonlar çok katmandan oluşabilen dış yüzeyleri beyazlatılmış elyaf, kaolin veya kalsiyum karbonatla, alt yüzeyleri yine aynı malzemeler ile, rengi ise kullanılan elyaf a göre gri beyaz kahverengi ve krem rengi olabilir. Kartonlar mekanik olarak güçlü sert ve ambalajlanan ürünleri korumak için üretilen kağıt türü malzemelerdir. Yüzeyleri plastik veya alüminyum folyo ile kaplı olabilir. Gramajları 160 - 600 gr/m² arasında kalınlıkları 350-800 mikrometre arasında değişir.



Şekil 5. 1 Oluklu mukavva üretiminde kullanılan kağıt ve karton türleri [2]

5.4 Karton Türleri

5.4.1 SUB veya SUS Karton

Bu tip kartonlar beyazlatılmamış kimyasal yöntemler ile üretilmiş ağaç elyafı kullanılır. Orta katmanda kullanılan temel elyaf kahverengidir. Beyaz yüzey sağlamak için beyazlatılmış elyaf ile birlikte mineral pigment karıştırılarak kaplanır. Bazen CTMP yada

geri kazanılmış elyaf ortada kullanılan Kraft elyafı yerine kullanılır. Bu kartonun kullanım yerleri yüksek mukavemet istenen kargo zarfları ve sıvı paketlemede kullanılır.



Şekil 5. 2 Sub ve sus kartonu katmanları [stora enso]

5.4.2 WLC Karton

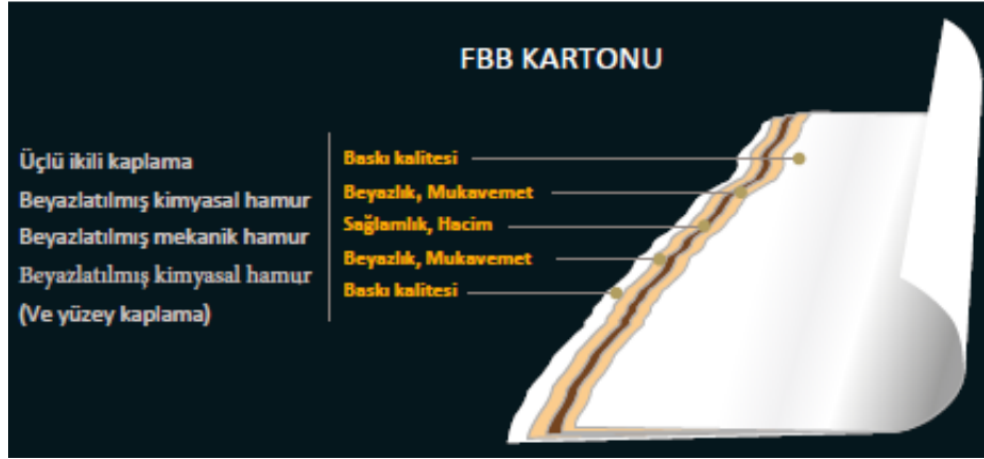
Gramajları 200 ila 450 gr/m² arasındadır. Bu karton orta katmanında geri kazanılmış elyaf içerir. Üst katman beyazlatılmış elyaf ve mineral pigment karışımı ile kaplanır. Ara katmanlar kimyasal, mekanik ya da mürekkep gidermeden kazanılan geri kazanılmış elyaf içerir. Alt yüzey kazanılmış beyazlatılmış elyaf ya da Kimyasal yöntemle üretilmiş elyaf olabilir. Bu karton genel ambalajlamada kullanılır.



Şekil 5. 3 WLC kartonu katmanları [stora enso]

5.4.3 FBB Kartonu

Gramajları 160 ila 450 gr/m² dir. Katmanlar kimyasal elyaf katmanları arasındaki mekanik elyaftan oluşur. Mekanik hamur PWG, TMP veya CTMP olabilir. Üst katman beyazlatılmış yada beyazlatılmamış kimyasal elyaf ile birlikte mineral pigmentler ile kaplanır. Alt katman ise beyaz ya da beyazlatılmamış elyaflardan oluşabilir. Tamamen kaplanmış kartonlar yüksek baskı kalitesine ve görsel özelliklere sahiptir. Yüksek saflığa sahip olduğundan gıdaların paketlenmesinde kullanılır.



Şekil 5. 4 FBB kartonu katmanları [stora enso]

5.4.4 LPB Kartonu

Bu tip kartonlar içecek ya da içecek olmayan sıvıların paketlenmesinde kullanılır. Çoğunlukla süt, meyve suyu vs. Bu kartonlar plastik alüminyum orta kaplama ile yapılır.



Şekil 5.5 LPB kartonu katmanları [stora enso]

5.4.5 SBS Karton

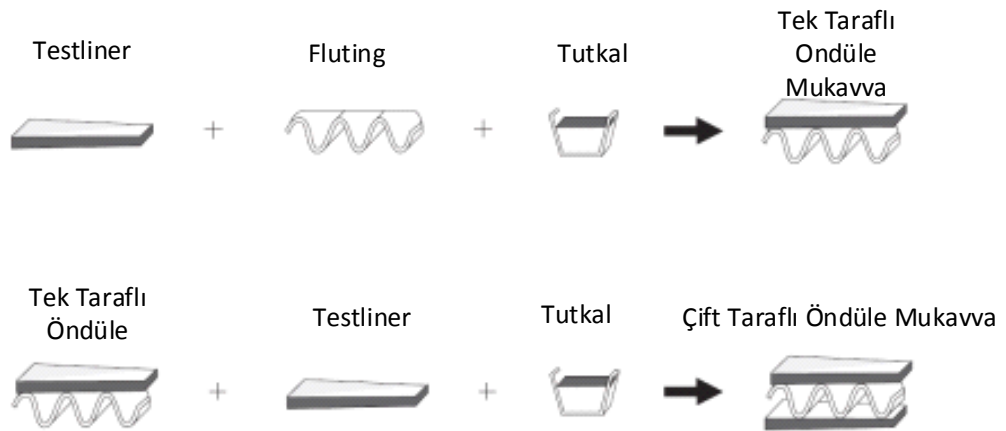
Tamamen beyazlatılmış kimyasal ağaç elyafından üretilmiştir. Bu ürün ilaç kutularında kozmetikte çikolatada dondurulmuş ürünlerde parfüm kutularında kullanılır.



Şekil 5. 6 SBS kartonu katmanları [stora enso]

5.4.6 Testliner ve Fluting

Testliner oluklu mukavva kullanılarak üretilen kartonların sadece yüzeylerine gelecek şekilde kullanılır. Patlama mukavemetinin yüksek olması istenir. Kutuların dış yüzeyinde kalacağı için, yüzey görünümü düzgün ve baskıya elverişli olmalıdır. Su emme oranının düşük olması gerekir. Su emme oranını düşürmek için kağıt makinesi film pres kısmında boya ve su almayı azaltıcı kimyasal verilir. Fluting kağıdı ise ondüle kısmında kullanılacağı için ezme mukavemeti yüksek tutulur.



Şekil 5. 7 Oluklu mukavva

Fluting kağıdının gramajı 75 ila 200 gr/m² arasında değişir. Soğuk hava tesislerinde bekledilecek ve mukavemet değerlerinin çok fazla istendiği durumlarda daha ise NSCC kağıdı kullanılır. Fluting kağıdı tamamen geri dönüştürülmüş elyaftan üretilir. Bu kağıtta önemli olan görünüş değil mukavemet değerleridir. Yüzeyde kullanılan testliner kağıdı 80 ila 200 gr/m² arasında gramaja sahiptir. Bu kağıt tamamen Kraft kağıtların imitasyonudur. Deniz aşırı nakliyelerde ve daha fazla dayanım istendiğinde birincil elyaftan üretilen Kraft kağıtlar kullanılır. Bu kağıtların üst yüzeyleri beyazlatılmış elyaf ve mineral pigment kaplı olabilir. Fluting ve Testliner kağıtları aynı makinada üretilir.



Şekil 5. 8 Beyaz kraftliner

5.5 Özel Kağıtlar

5.5.1 Yazı Tabı Kağıtları

Mekanik yolla üretilmiş ağaç elyafının yoğun kullanıldığı kağıt cinsleri;

İçeriğinde % 50 ye kadar mekanik yolla üretilmiş ağaç elyafı vardır.

5.5.2 LWC Magazin Kağıtları

Gramajı 35 ila 42 gr/m² arasında değişen tek yüzeydeki kaplama ağırlığı 5 ila 12 gr/m² olan magazin, katalog yapımında kullanılan kağıtlardır ve çok değişik tipleri mevcuttur.

5.5.3 MWC Magazin Kağıtları

Gramaj aralığı 70 ila 130 gr/m², kaplama ağırlığı her yüzey için 12 ila 25 gr/m² arasında değişen yüksek kalitede magazin yapımında yüksek kalitede reklam kağıtlarında kullanılır.

5.5.4 Gazete Kağıdı

Gramajı 40 ila 48 gr/m² arasında değişen gazete üretiminde kullanılan kağıtlardır. Günümüzde bu proses için CTMP elyafı ve geri dönüşüm elyafı kullanılmaktadır.

5.5.5 SC (süper kalenderlenmiş)

Bu tip kağıtlarda magazin yapımında kullanılır. Gramajı 30 ila 40 gr/m² arasında değişir.

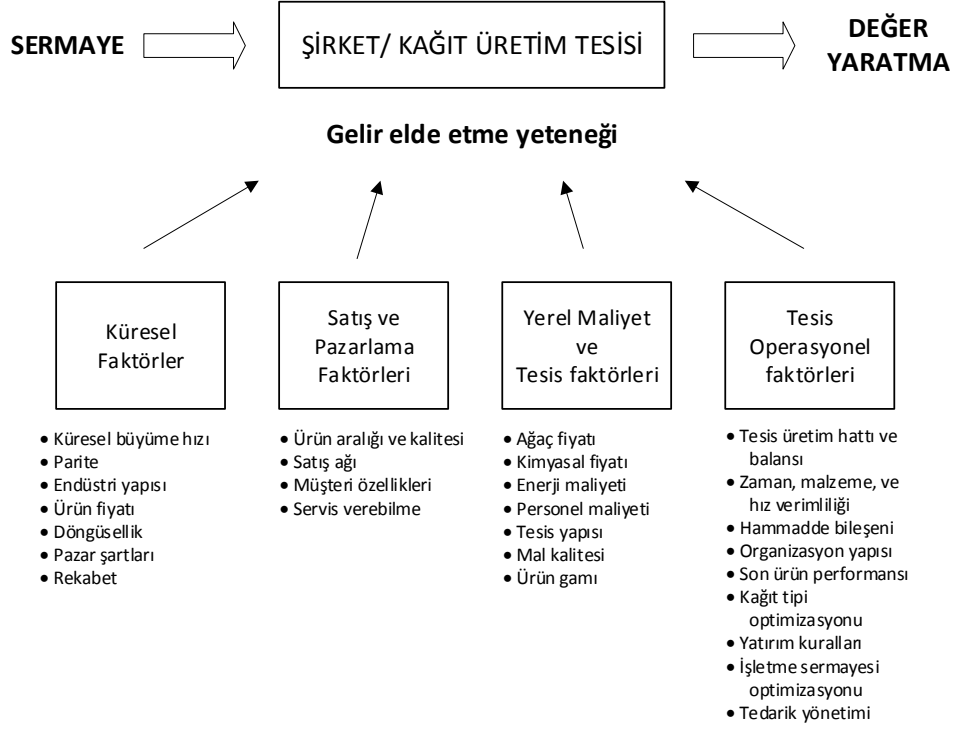
Çizelge 5. 1 Karton kullanım yerleri [Stora Enso]

Ürün	Ürüne göre kullanılacak kartondan istenen özellikler	Tipik karton tipleri
Açık ürün	Saflık, temizlik, çalışabilirlik	FBB
Donmuş ürün	Mukavemet, saflık, temizlik	SBS, SUS
Ön ambalaj yapılmış ürün	Çalışabilirlik	WLC
Şekerleme	İyi görüntü, saflık, temizlik, koku	FBB, SBS
Şişe taşıma	Mukavemet	SUS
Kozmetik	Güzel görünüş	FBB, SBS
Sigara, tütün	Çalışabilirlik, koku, görünüş	SBS, FBB
İlaç	Çalışabilirlik, tanııtma	FBB, WLC
Deterjan	Mukavemet çalışabilirlik	WLC, SUS
Ev eşyaları	Mukavemet	WLC
Tekstil, giysi, ayakkabı	Görünüş	WLC, FBB
Oyuncak	Mukavemet, saflık	WLC, SUS
Kağıt ürünleri	Görünüş, çalışabilirlik	WLC
Süt, meyve suları	Çalışabilirlik, temizlik, saflık, mukavemet	LPB

5.6 Kağıt Üretim Tesisleri

Kağıt makineleri yoğun sermaye gerektiren tesislerdir. Kağıt üretim tesisi karlılığında anahtar faktör ürün fiyatı, ekonomik büyüme, üretim ve hammadde maliyetidir.

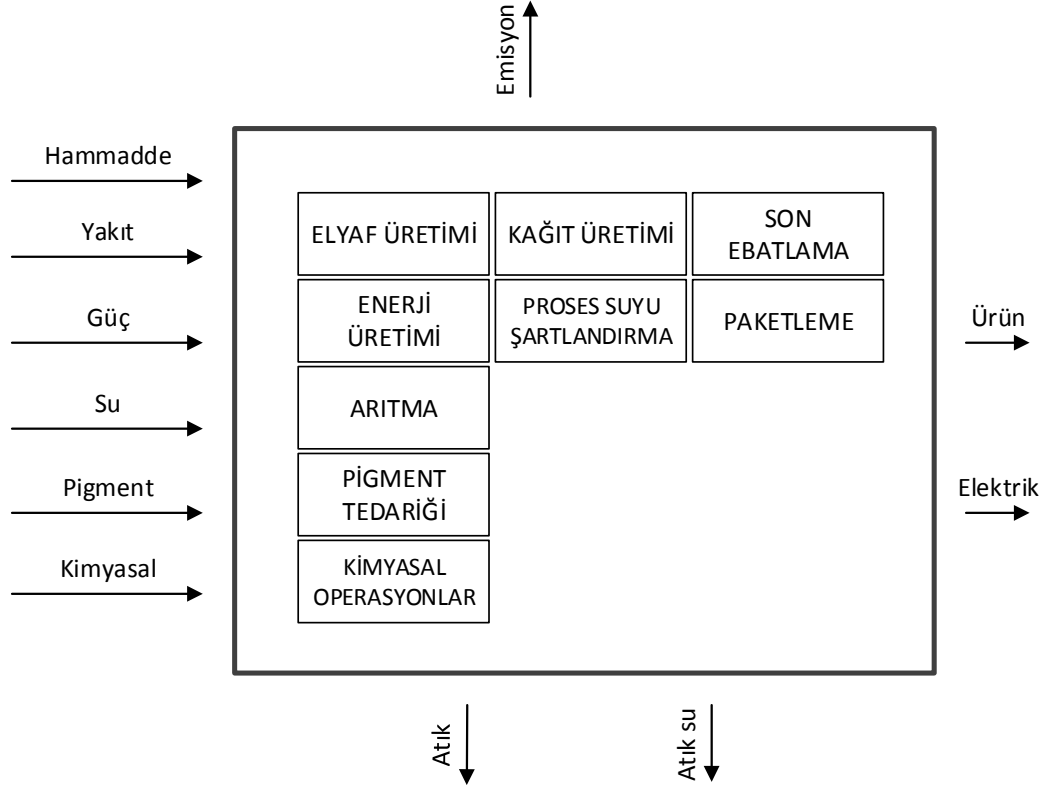
Buna ek olarak kağıt üretim tesisinin optimizasyonu kalitenin üst seviyelere çıkarılması üretilen mamülün zamanında müşteriye ulaştırılması etkenlerinin de göz önünde tutmak gerekir.



Şekil 5. 9 Kağıt üretimi genel blok gösterimi [2]

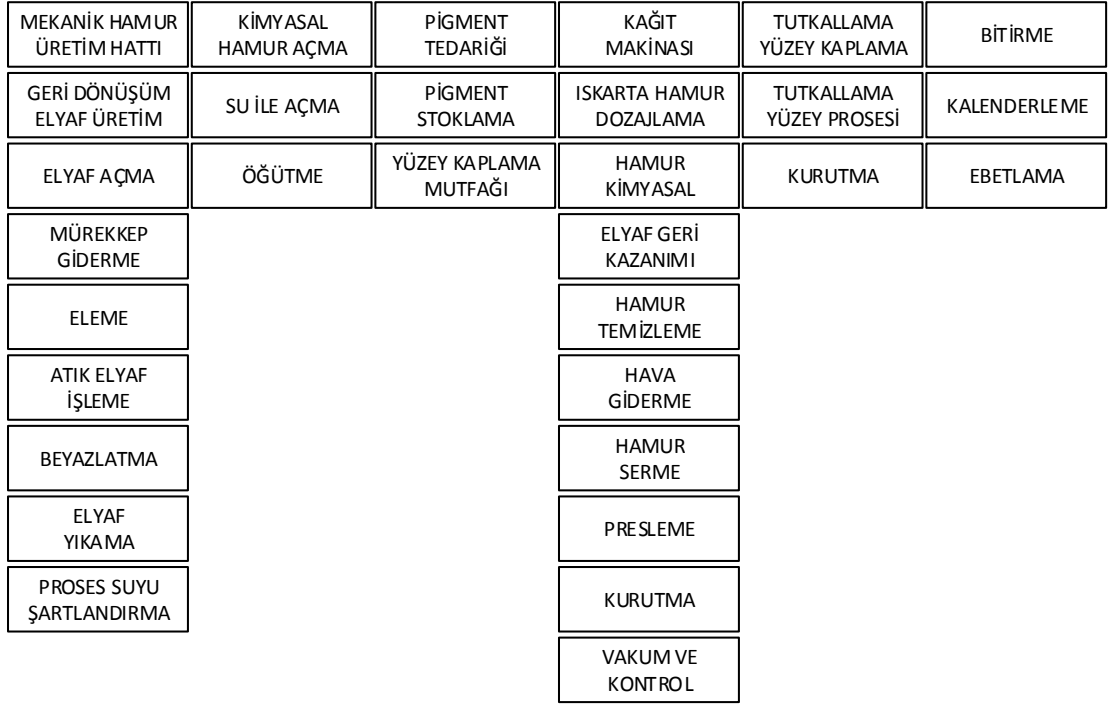
Tesis verimliliği şekilde görüldüğü gibi bir çok etmene bağlıdır. Tesis verimliliğinde ana unsur teknolojidir. Devam eden proste teknik çözümler kazanılan deneyimlerin teknolojik gelişmeler ile harmanlanıp uygulamaya sokulması bir kağıt üretim tesisi için çok önemli bir unsurdur. Kağıt endüstrisi içinde bilinen bir gerçek geliştirilen yeni teknoloji ile birlikte üretilen mamülün kalitesinin de olumlu yönde etkileniyor olmasıdır [67]. Kağıt endüstrisi tüketici ihtiyaçlarına ve yeni gelişmeleri göz önüne alarak çok değişik türde kağıt üretmektedir. Bu kağıtlar dört ana başlıkta toplanabilir.

Kağıt üretim tesisleri kullandığı elyafı yine büntesinde üretiyorsa entegre tesis olarak isimlendirilir. Ancak günümüzde geri dönüşümden üretilen kağıt üretim tesislerinin fazlalaşması nedeni ile kağıt hamuru tesisleri üretim tesislerinden ayrılmaya başlamıştır. [67], [68]. Üretim türüne göre kağıt üretim tesisleri kağıt hamurunu bu tesislerde belli rutubet oranında tedarik etmektedir.



Şekil 5. 10 Kağıt üretim tesisi madde ve enerji dengesi [1]

Kağıt üretim tesisi kağıt hamuru üretimi, kağıt, enerji, pigment ve kimyasal bölümlerinden oluşur. Genel anlamda kağıt üretim prosesi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5. 11 Kağıt üretim tesisi genel şeması [2]

Tam entegre tesis de olan kısımlar gösterilmiştir (Şekil 5.11). Kağıt üretim tesislerinde üretilen kağıdın türüne göre bu bölümlerden bazıları olur bazı kısımlar olmayabilir.

5.7 Gazete Kağıdı Üretim Tesisi

Bu üretim yönteminde gazete kağıdı, SC kağıtları ve yüzyi kaplanmış kağıt tipleri girer. Bu tip kağıtlar genelde gazete kağıdında, dergilerde, magazinlerde, kataloglarda ve kitaplarda kullanılır. Sadece gazete kağıdı üretiminde ürünler bobin şeklinde gazete basım tesislerine gönderilir [67]. Üretilen kağıdın gramaj aralığı 40 ila 48,8 gr/m² dir. Kullanılan kağıt hamuru günümüzde mürekkep giderme tesislerinden sonra belli bir renk değerine gelen hamurdur. Eğer kağıt üretim tesisi entegre bir tesis ise TMP kağıt hamuru tesisinden gelen hamurların içine çok az miktarda kimyasal yolla elde edilmiş kağıt hamuru katılarak kağıt üretimi yapılır. Eğer tesis entegre bir tesis ise çoğu zaman elektrik üretim tesisinde içinde barındırır.

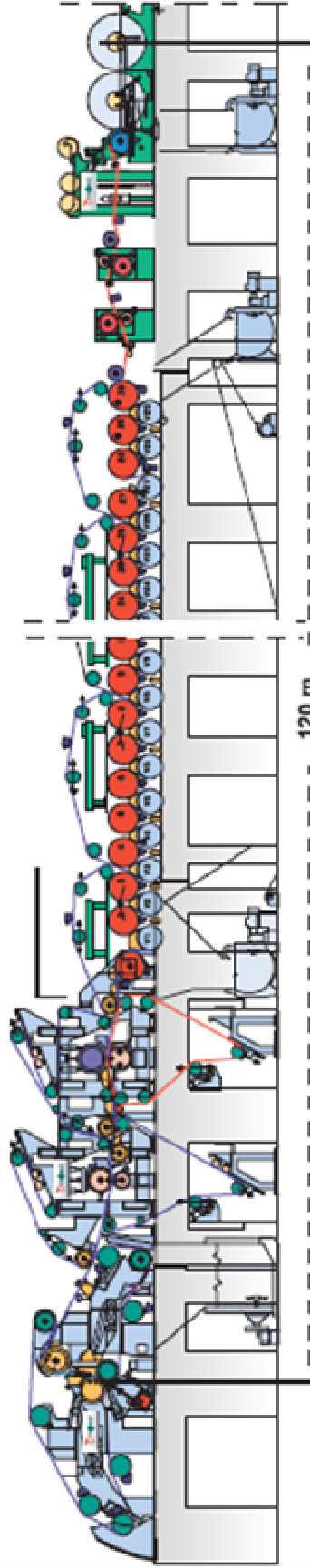
Hamur kasası
ve Hamur
Formasyon
Kısmı

Pres Bölümü

Kurutma
Bölümü

Kalenderleme

Malsarıcı



Şekil 5. 12 Gazete kağıdı makinesi [2]

Performansı çok iyi olan bir gazete kağıdı makinasının verimliliği %92 civarındadır. Verimliliği iyi olan bir gazete kağıdı üretim tesisinin enerji tüketim değerleri gösterilmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5. 2 Bir gazete kağıdı tesisinin tüketim değerleri (1), [2]

TMP hattı spesifik enerji tüketimi	kWh/ton hamur	2200
Mürekkep giderme hattı spesifik enerji tüketimi	kWh/ton hamur	360
Gazete kağıdı hattı spesifik enerji tüketimi	kWh/ton kağıt	800
Gazete kağıdı hattı spesifik su tüketimi	m ³ /t kağıt	9
Gazete kağıdı hattı ısı tüketimi	GJ/t kağıt	3.5

Günümüzde geri dönüşüm kağıttan üretilmeye başlayan gazete kağıdı üretimi, üretim tesislerine mürekkep giderme prosesinin eklenmesi ile daha karmaşık hale gelmiştir. Geri dönüşümden elde edilen kağıt hamurundaki kirlilik nedeni ile , hamur içeriğindeki elyafların davranışı çok farklılaşmaya başlamıştır. Bu problemleri çözmek adına gazete kağıdı üretim tesislerine basınçlı temizleme elekleri, flatasyon üniteleri, hamur içindeki üretime olumsuz etkisi olan yapışkaları (sticky) gidermek için dispersion üniteleri ve daha farklı su arıtma tesisleri eklenmiştir [1], [2].

Gazete kağıdı üretim makinalarının hızı 2000 m/dk mertebelerine ulaşmıştır. Üretilen kağıdın gramaj aralığının çok düşük olması sebebi ile teknolojik ilerlemeye paralel olarak sisteme hamur kasası gramaj kontrolleri ve gelişmiş kalender sistemleri eklenmiştir [68].

5.8 SC ve LWC kağıt Üretim Tesisi

SC ve LWC kağıtları genelde haftalık dergilerde kataloglarda kullanılmaktadır. Bu yayımlardaki rekli resim baskısı nedeni ile bu kağıtların yüzey özelliklerinin bu basıma uygun olması istenir [67],[68]. SC ve LWC tipteki kağıtların üretimi birbirine benzer özellikler taşır.SC kağıtlardaki kağıt gramajı aralığı 52-60 gr/m² iken LWC kağıtlardaki gramaj aralığı 35-80 gr/m² arasında değişir.Bu kağıtların yüzeyine kaplama malzemesi uygulanır.Kullanılan kağıt hamuru PWG prosesi hamurları ve nadirde olsa TMP prosesi hamurlarıdır.Bu üretim tesisleride Kağıt hamuru üretim tesisi içerebilir.Örnek oluşturması açısından LWC kağıt üretim tesisi ayrıntılı olarak incelenektir [1], [2].

LWC kağıdı aynı zamanda offset basım yapabilmek için bu basım tekniğinde istenen kağıda göre üretim yapılabilir. Bu tip kağıtların yüzeyine film tabakası uygulanır ve kalenderleme ekipmanından geçirilerek yüksek kalitede yüzey özellikleri sağlanır.

LWC kağıt üretim tesislerinin verimi %88 civarındadır. Gazete kağıdı üretim verimliliğinden düşük olmasının sebebi değişik ebatlama ekipmanlarındaki kayıplar, kağıt kopmaları ve kağıt bağlamada geçen süredir.

Çizelge 5. 3 LWC kağıt üretim tesisi enerji tüketim bilgileri [1]

Hamur üretimi spesifik güç tüketimi		
TMP hattı	kWh/t hamur	3100
PGW	kWh/t hamur	2100
Yüzey kaplama dahil LWC hattı spesifik güç tüketimi	kWh/t kağıt	800
LWC hattı su tüketimi	m ³ /t kağıt	11
Yüzey kaplama dahil kağıt makinası ısı tüketimi	GJ/t kağıt	3.5

Bu kağıtlardaki en önemli parametre yüzey kalitesi olduğundan günümüzde yeni teknoloji ile yüksek hızda çalışabilen süper kalenderler devreye alınmıştır.

5.9 Yazı tabı ve Fotokopi Kağıdı Üretim Tesisleri

Yazı tabı kağıtları kimyasal yöntem ile üretilen kağıt hamurundan yada mürekkep giderme(deinking) prosesi kullanılan geri dönüşüm hamurundan elde imal edilir. Geri dönüşüm kağıt hamuru kullanılan sistemler dahi belli oranda hiç kullanılmamış kağıt hamurunu sisteme eklemek zorundadır [1]. Buna ek olarak dolgu maddeleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Dolgu maddeleri bu kaidin kütleli olarak %30-45 lik kısmını oluşturur. Talk yada kalsiyum karbonat sık kullanılan dolgu maddeleridir. Bu tip kağıtların yüzeyi kaplanmış yada kaplanmamış olabilir.

Kaplama yapılmayan kağıtların gramajı 40-300 g/m² gramajında olup offset te kitaplarda ve magazinlerde kullanılır. Gramajı 25-40 g/m² arasında değişen yazı tabı kağıtları ise sözlük basımında kullanılır. Kaplanmış kağıtlar gramaj aralığı 55-250 g/m² aralığındadır. Bu tip kağıtlar reklam kağıtlarında kitaplarda sanatsal içeriklerin basılmasında kullanılır. Sanatsal içeriklerin basılmasında kullanılacak kağıtların kaplamaları üç katman şeklinde yapılabilir. Fotokopi kağıdı dijital yazı tabı kağıtları

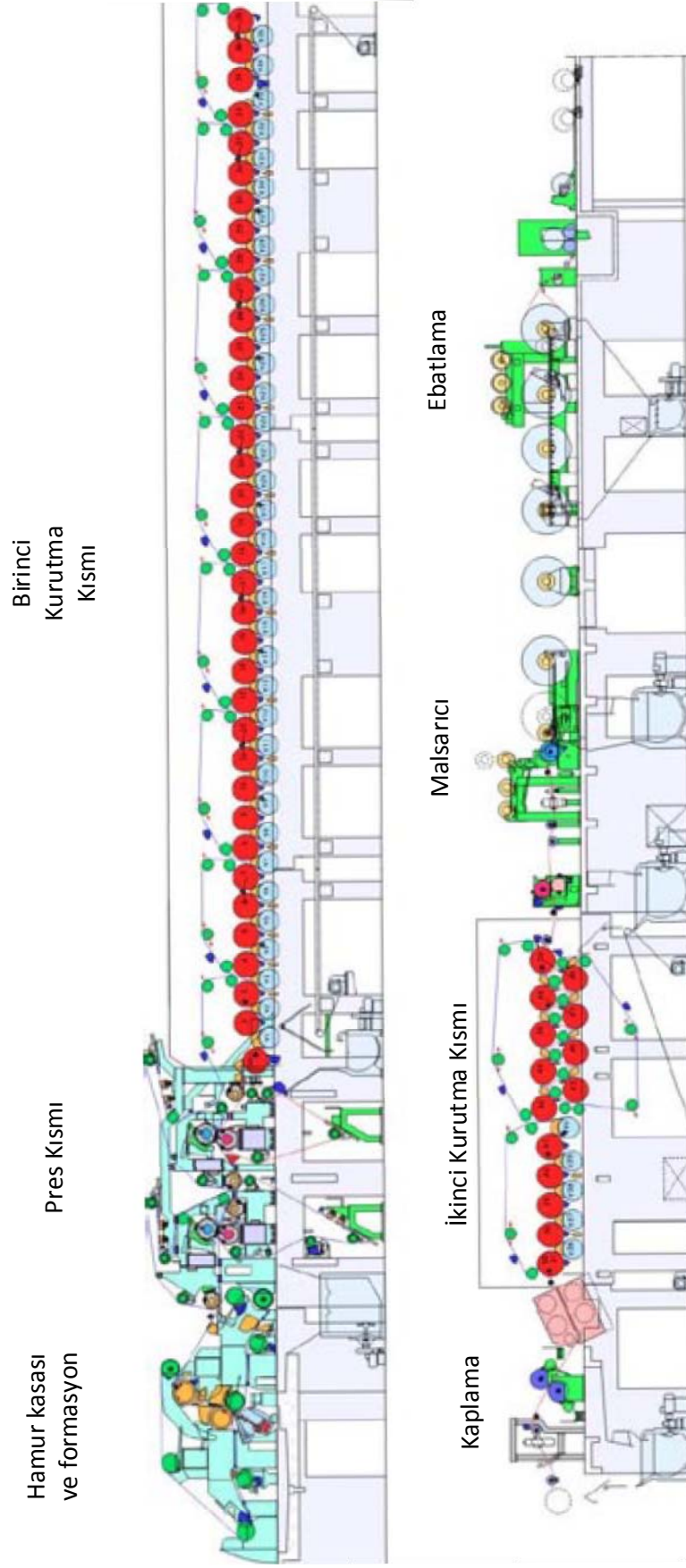
gramaj aralığı 70 - 90 gr/m² aralığındadır. Dijital baskı kağıtları kaplanmış yada kaplanmamış olabilir [1], [2].

Günümüzde yazı tabı kağıdını üreten makinalar çok hızlı ve geniş makinalardır.

Çizelge 5. 4 Yazı tabı kağıt üretim tesisi enerji tüketimi [2]

Sertağaç öğütme spesifik enerji tüketimi	kWh/t hamur	140
Yumuşakağaç öğütme spesifik enerji tüketimi	kWh/t hamur	200
Kağıt makinası ve proses spesifik enerji tüketimi	kWh/t kağıt	690
Kağıt makinası ve proses su tüketimi	m ³ /t kağıt	6
Kağıt makinası ısı tüketimi	GJ/t kağıt	5.1

Günümüzde ilerleyen teknoloji sayesinde bu makinalar 1700 m/dk hıza ulaşmıştır. Kağıtta ki gramaj dağılımını ayarlayan sistemlerin ve Gap former sisteminin gelmesi ile birlikte bu makinaların çalışabilirliği ve verimliliği çok artmıştır [1].



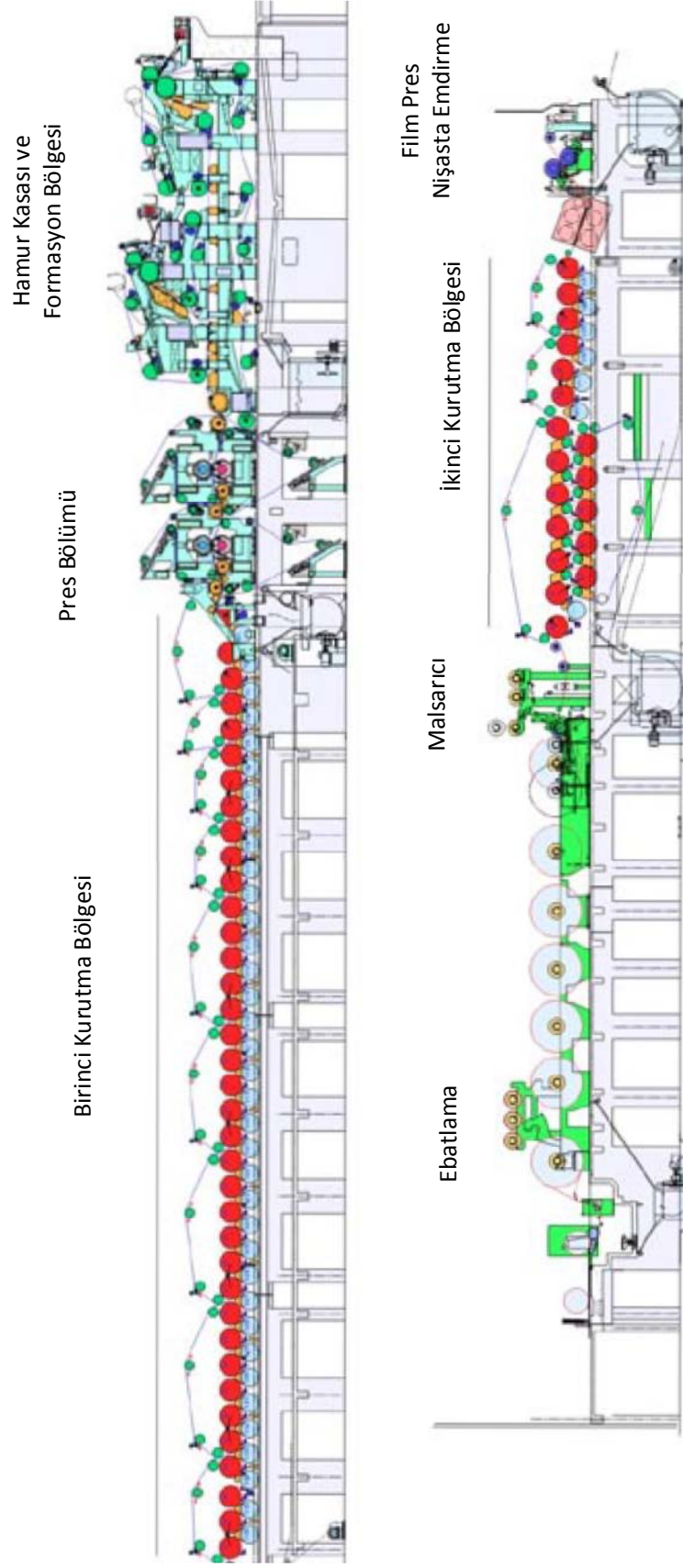
Şekil 5. 13 Kaplama yapılmayan yazı tabı kağıdı makinesi [2]

5.10 Testliner ve Fluting Kağıdı Üretim Tesisi

Bu tip kağıtlar ambalaj kağıdı sınıfına girer ve kutu yapımında kullanılır. Testliner kağıdı kutuların resim yada yazılarının olduğu kutunun yüzey kısmında kullanılır. Üretim aşamasında kağıt hamuru aynı temizleme kademelerinden geçer ve kağıt hamuru iki katman şeklinde kağıt makinasında birleştirilir [1]. Üst yüzeyde kalacak olan hamur Kraft kağıda benzetilmesi için boyanır. Mukavemet olarak istenen özellik yüksek patlama değerine sahip ve su geçirgenliğinin az olması istenir. Fluting kağıt cinsi ise kutunun mukavemet değerlerine etki eder. Ve kutunun içinde kullanılır. Bu tip kağıt üretimlerinde geri dönüşümden gelen kağıtlar kullanılır. Testliner kağıdının gramaj aralığı 90 - 240 gr/m², Fluting kağıdının gramaj aralığı 75-200 gr/m² dir. Bu kağıt üretiminde birincil elyafda kullanılabilir. Özellikle karftliner cinsi kağıtların üsy yüzeyinde kullanılan hamurlar birincil elyaf alt yüzeyinde kullanılan hamurlar geri dönüşüm kağıttan üretilir. Kraft kağıdı üretim tesisinde kağıt üretim makinası bu tip kağıtları üreten kağıt makinaları ile çok benzer özelliklere sahiptir. Geri dönüşümden elde üretilen testliner ve Fluting kağıtları OCC (Old Corrugated Cases) olarak adlandırılır. Geri dönüşümden üretildiği için hamur temizleme kademeleri yoğun olarak kullanılır. Hamur içindeki yapışkanların sistemde ve sonrasındaki kutu yapımında problem yaratmasını önlemek için dispersiyon sistemi kullanılır. Bununla birlikte geri dönüşümdeki hamur elyaflarını tekrar fibrilleştirmek için refiner kademeleri mevcuttur. Bu fibrilleştirme aşaması kağıt mukavemetine ve elyaflar arasındaki bağlara olumlu yönde etki eder. Fluting ve Testliner tipi kağıtlar defalarca geri dönüşüme uğramış elyaflardan üretildiği için üretilen kağıtların mukavemetini arttırmak için yüzeylerine nişasta solüsyonu emdirilme ve tekrar kurutma uygulaması yapılır. Kullanılan refinerler TMP ünitelerinde kullanılan refinerlere benzerlik gösterir. Ancak içine buhar verilmez [1], [2].

Çizelge 5. 5 Testliner ve Flutink kağıt üretimi enerji tüketimi [1]

Elyaf kazanma tesisi spesifik güç tüketimi	kWh/t hamur	105
Kağıt makinesi spesifik güç tüketimi	kWh/t kağıt	430
Kağıt makinası güç tüketimi	m ³ /t kağıt	4.1
Kağıt makinası ısı tüketimi	GJ/t kağıt	4.7



Şekil 5. 14 Testliner ve Fluting kağıt üretim makinası [1]

5.11 Gri Karton ve Krome Karton Kağıdı Üretimi

Değişik kullanım için geliştirilmiş birçok karton türü vardır. Birincil elyaf ve geri dönüşümden gelen hurda kağıtlardan üretilen kağıt hamuru ile üretim yapılabilir. Gramaj aralığı genelde 160-450 gr/m² dir. Sertlik ve mukavemet kartondan istenen temel özelliklerdir. İyi baskı için çoğu karton türüne yüzey kaplama uygulaması yapılır [1].

Karton üç dört katmandan oluşabilir. Bunun nedeni iç katmanların mukavemet sağlaması haricinde baskıya etki etmemeleridir. Üst katmanda genellikle kimyasal proses ile üretilen yumuşak yada sert ağaç kağıt hamurunun beyazlatılması sonucu meydana gelen hamurlar kullanılır. Türkiyede grikarton üretimi Kartonsan, Köknar Kağıt, Muratlı Karton ve Kombasan Şirketleri tarafından geri dönüşüm kağıt kullanılarak yapılmaktadır. Bununla birlikte Kullanılacak kağıttan beklenen özelliklere göre yeni elyaf da kullanılmaktadır. Özellikle ilaç ambalajlamasında kullanılan kartonların hijyenik olması istenir. Bu sebeple geri dönüşümden üretilen kartonlardan ilaç kutularının yapılması istenmez. İlerki bölümlerde bahsedilen karton türlerinin çoğu türkiyede üretilmemektedir.

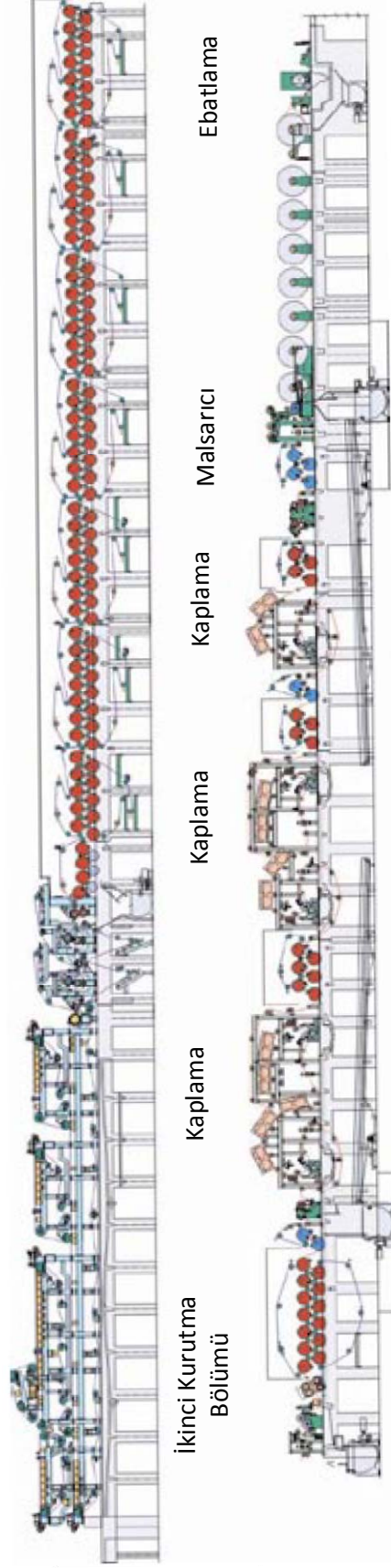
Çizelge 5. 6 Karton üretimi enerji tüketimi [1]

Kağıt hattı spesifik güç tüketimi	kWh/t kağıt	850
Kağıt hattı su tüketimi	m ³ /t kağıt	10
Kağıt makinası hattı ısı tüketimi	GJ/t kağıt	6

Birinci
Kurutma
Bölümü

Pres
Bölümü

Hamur kasası ve Formasyon Bölgesi



Şekil 5.15 Karton üretim makinası [1]

5.12 Temizlik Kağıdı (Tissue) Üretimi

Kağıt mendiller, tuvalet kağıtları ve diğer temizlik kağıtları bu guruba girer. Genel gramaj aralığı 12 - 50 gr/m² dir. Kağıt hamuru olarak Kraft prosesinden üretilen beyazlatılmış yada beyazlatılmamış Sert ağaç yada yumuşak ağaç hamuru kullanılır. Prosese az da olsa CTMP prosesi ile üretilen kağıt hamuru katılır.

Çizelge 5. 7 Temizlik kağıdı enerji tüketimi [1]

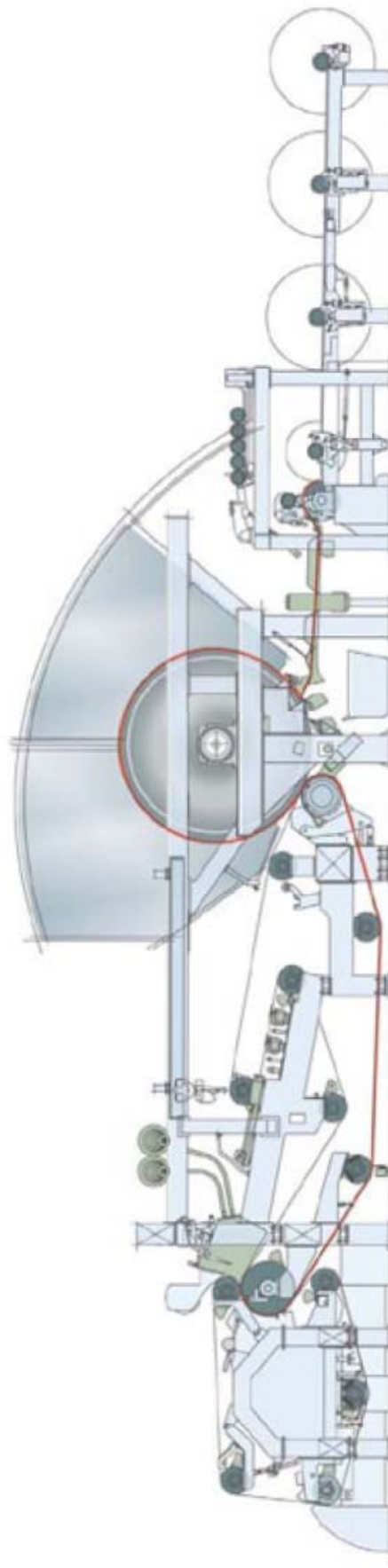
Kağıt makinesi ve proses hattı spesifik güç tüketimi	kWh/t kağıt	900
Birincil elyaf kullanan kağıt makinası ve proses su tüketimi	m ³ /t kağıt	5
Geri dönüşüm elyaf kullanan kağıt makinası ve proses su tüketimi	m ³ /t kağıt	10
Kağıt makinası ve proses ısı tüketimi	GJ/t kağıt	3

Bu kağıt üretim tesisine genelde kağıdın son kullanıcıya ulaşabilir durumda kesme katlama ve ambalajlama tesisleri (converting) de eklenir. Diğer kağıt makinalarına göre hızı çok fazladır. Makina hızları 2200 m/dk ya çıkabilir [67]. Diğer kağıt makinalarına göre kurutma kısmında dahil çok kompakt makinalardır. Aynı zamanda geri dönüşümden kazanılan beyaz kağıtlarda kağıt üretiminde çok sık kullanılmaya başlamıştır. Kurutma kısımlarında temel kurutma elemanı ve kağıdın özelliğini ayarlayan yankee silindiri olarak adlandırılan çapı beş metreye ulaşan tek silindir mevcuttur. Bu silindirin üst kısmında sıcak havasistemi kurutmada çok önemlidir ve çok yüksek sıcaklıklara ulaşabilmektedir.

Ebatlama

Yanki Silindiri ve Kurutma Kısımı

Hamur kasası ve Formasyon Kısımı

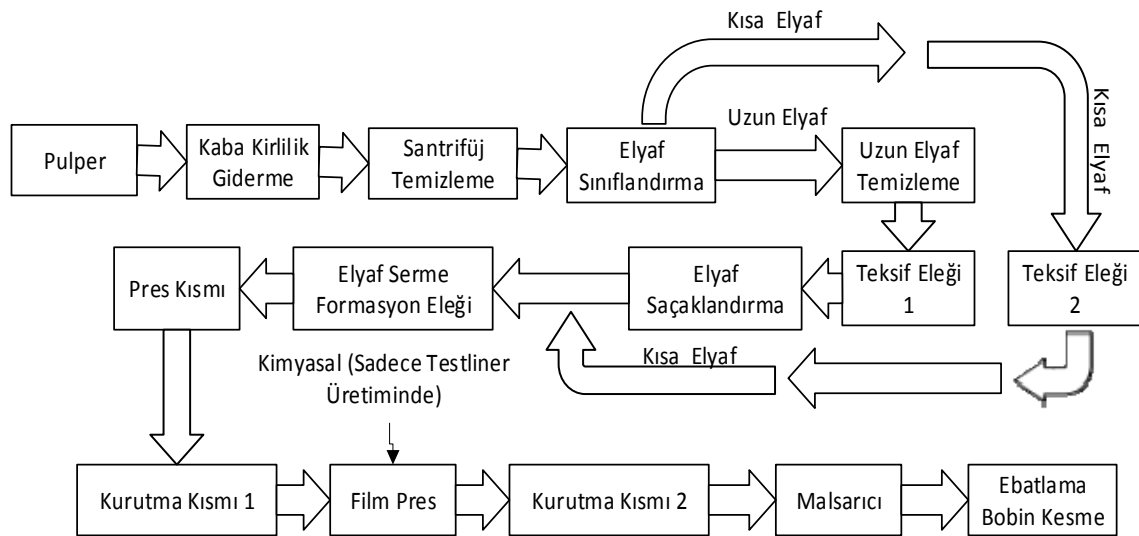


Şekil 5. 16 Temizlik kağıdı üretim makinası [1]

Yapılan ölçümlerden de görülebilebileceği gibi kağıt makinasında her bölümde tüketilen elektrik enerjisinin ve toplam birim ürün tüketilen elektrik enerjisinin, aynı tipte kağıdı üreten, dünyada hali hazırda çalışan kağıt makinalarının birim enerji tüketiminden yüksek çıkmaktadır. Bunun başlıca sebeplerinde en önemlisi geçmiş yıllarda aynı işi yapmak için üretilen kağıt gramajının teknolojinin ilerlemesi ile birlikte daha düşük gramajlı kağıt ile yapılabilir hale gelmesidir. Kağıt makinaları düşük hızda yüksek gramajlı kağıt üretilip yüksek tonajlarda üretim yaparak, makinalarının verimini çok yüksek mertebelerde kullanırken, yeni piyasa koşullarının getirdiği şartlara ayak uydurma gereklilikleri nedeni ile düşük gramajlı kağıt üretmeye başlamışlardır. Doğal olarak bunun en önemli olumsuz sonucu düşük hızlarda dizayn edilmiş olan mevcut kağıt makinaları yüksek hızda çalışmaya başlamıştır. Daha yüksek hızda çalışmaya başlayan makineler hız olarak belirli bir sınırdan kalmaktadır. Beraberce düşük gramajlı kağıt üretimindeki makineler daha farklı dizayn gerektirir. Düşük gramajlı kağıdın fiziksel özellikleri nedeni ile yüksek gramajlı kağıt üretirken verimi yüksek olan makinenin düşük gramajda verimi düşer. Kağıt kopmaları fazlalaşır. Makinanın toplam çalışma verimliliği % 70 'lere düşer. Ülkemizdeki çoğu kağıt üreticilerinin bu piyasa şartlarına ilk tepkileri mevcut kağıt makinalarını belirli bir bütçe ile revize etmektir. Çoğu teknolojiye olduğu gibi kağıt teknolojisinde de dışa bağımlı olan ülkemiz eski teknolojiyi yenilemek yerine tümünden değişikliğin getireceği mali yükümlülükten kaçınıp kısa vadeli planlar ile durumu kotarmaya çalışmaktadırlar. Bu durumu önceden fark edip planlarını günümüz verileri ile geleceğe göre yapan firmalar büyüklük ve güç açısından diğerlerinden ayrılmaktadır.

GERİ DÖNÜŞÜM AMBALAJ KAĞIDI ÜRETİM TESİSİ TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ

Kağıt üretim prosesi kağıt cinsine göre değişiklik gösterir. Bu teze konu olan kağıt üretim prosesi olarak geri dönüşüm hurda kağıttan, ondüle mukavva yapımında kullanılan kağıtları üreten sistem göz önüne alınacaktır (Şekil 5. 7).



Şekil 6. 1 Kağıt üretim prosesi

Verilen proseste kağıt üretiminde istenmeyen kirlilikler ve kahverengi ambalaj kağıdı pulper ekipmanına balya şeklinde konveyör yardımı ile aktarılır (Şekil 6.1). Bu aktarma ile birlikte prosesten alınan su ile belli bir kesafette açılır. Sonrasında bu açılan kağıt ve su karışımı kağıt hamuru olarak adlandırılır.

Kağıt hamuru ve içindeki kirliliklerden arındırılması için ebatları büyük olan kirliliklerin arındırıldığı kaba eleme prosesine girer. Burada bu kirliliklerin büyük bir kısmından arındırılan kağıt hamuru tekrar içindeki kum ve dolgu malzemelerinden arındırılmak için santrifüz temizleme prosesine girer. Biraz daha temizlenen kağıt kamuru, kağıt hamuru içindeki elyafların sınıflandırılması için bir prosese daha girer. Burada uzun ve kısa olarak ayrılan kağıt hamurlarından uzun elyaf içeren kağıt hamuru içindeki uzun elyaf gibi davranan çok daha küçük kirliliklerin giderilmesi için uzun elyaf temizleme prosesine girer.

Kısa elyaf hamuru ise geçirdiği işlemde içinde kirlilik oranı çok düşük olarak çıkar. Bu nedenle temizleme işlemine girmez. Bu kağıt hamurunu temizlenebilmek için içindeki elyaf oranının düşürülmesi gerekmektedir ve ara bölgelerden sistemde kapalı olarak dönen proses suyu ile sulandırılır. Bu sulandırmadan dolayı düşen hamur kesafetini, istenen kesafet aralığına çıkarabilmek için teksif eleği olarak adlandırılan prostesten geçer ve kesafeti yüzde dört civarına çıkarılır. Uzun elyaftan ibaret olan kağıt hamuru kağıt elyaflarının bağlanma özelliklerinin ve son ürün mukavemet değerlerinin artırılması amacı ile refiner denen saçaklandırma prosesine girer. Sonrasında uzun ve kısa kağıt hamurları karıştırılır ve tekrar içindeki elyaf oranının azaltılması amacıyla büyük miktarda su ile sulandırılarak ve elyaf bağlarını güçlendirmek, elyafların elek üzerinde tutunumlarını sağlamak için hamur kasasına gönderilir. Hamur kasasının temel amacı kağıt hamurunu formasyon eleğinin üstüne her santimetre karesinde gramaj değişmeyecek şekilde hamuru sermektir. Pres kısmında bu sudan biraz daha arındırılmış kağıt safihası preslenerek suyu biraz daha arttırılır. Preslenerek kağıt safihasından su alma limiti maksimum %52 mertebelerindedir. Bu nedenle pres kısmından % 52 kuru maddede çıkan kağıt safihasının içindeki suyun alınması için ısı enerjisine ihtiyaç vardır. Ve bu safiha içine buhar verilen döner kurutma silindirlerine girer.% 8 mertebelerine kadar kurutulan kağıt mukavemetinin daha da arttırılması amacı ile üstüne nişasta semdirilme ve presleme yapan film pres ünitesine girer. İçin de nişasta olan solüsyon nedeni ile tekrardan belli mertebelerde ıslanan kağıt kurutulmak için tekrar döner silindirlerden oluşan kurutma kısmına girer. Kurutma kısmında tekrar % 7 ıslaklık kalana kadar kağıt kurutulur ve sarım bölümüne girer. Burada belli bir çapa

kadar sarılan kağıt daha küçük çaplara ve genişliklere ebatlanmak için bobin kesme ünitesine girer. Sonrasında depolama yada kağıdın satılması ile proses tamamlanır.

Çizelge 6. 1 Kağıt makinası teknik bilgileri

Kağıt Makinası üretim Bilgileri		
Üretim hızı	(m/dk)	945
Üretimgenişliği	(m)	2.65
Üretilen kağıt gramajı	(g/m ²)	80
Tüketilen buhar miktarı	(kg/h)	15984
Buhar basıncı	(bar)	8
Saatlik üretim	(Ton/saat)	12.02

Sistem kararlı sürekli akış varsayımı ile enerji denklemi yazılarak incelenecektir. Analiz edilen alt proseslerin sistem sınırlarına giren mekanik işler ölçülerek bulunmuştur. Enerji denkleminde ölçülen güç ve ölçülen diğer değerler kullanılacak ve ısı transfer değerleri bulunacaktır. Elektrik Motorlarının verimi % 93 alınmıştır. Elektrik motorlarının veriminden kaynaklanan ısı kayıpları enerji denklemine dahil edilecektir.

6.1 Pulper Kısımı

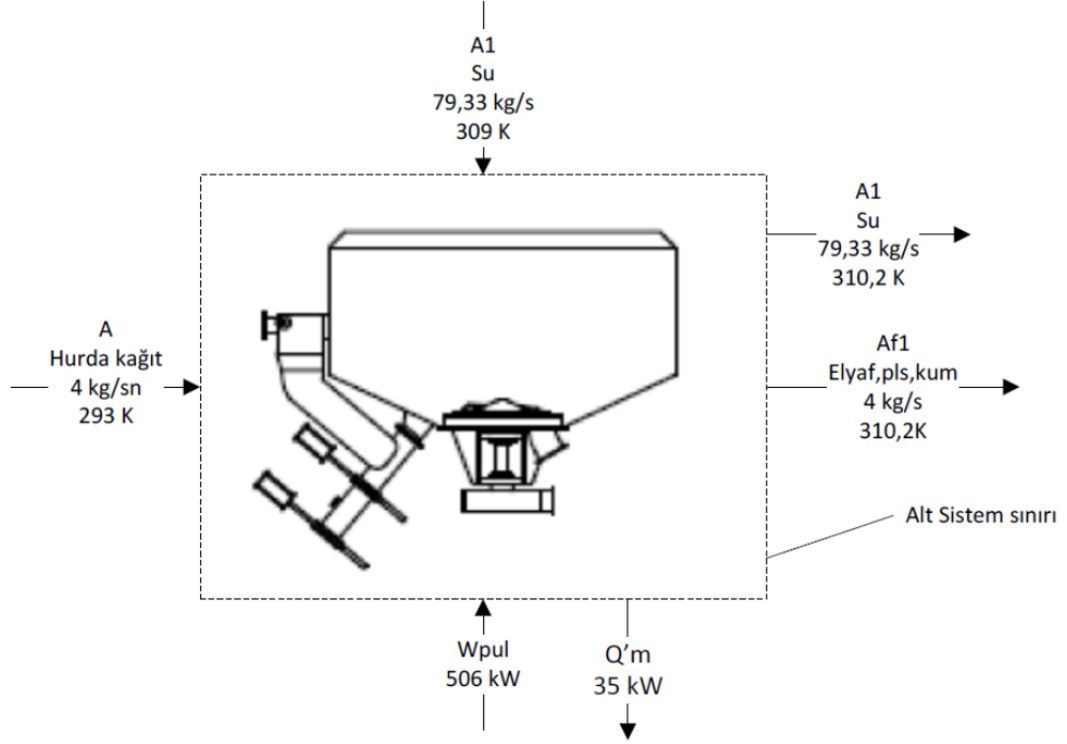
Pulper bölgesinde elyafların açılması için sıcaklık ve suyun pH ve kalitesi çok önemlidir. Su sıcaklığının yükselmesi enerji ihtiyacını ve kağıt açılma süresini düşürür. Sıcaklığını 20 °C den 40 °C çıkması açılma süresinde % 50 ye varan düşmeye sebep olur.



Şekil 6. 3 Pulper

Ancak sıcaklığın 40 °C den 60 °C ye çıkması ise açılma süresini etkilemez. Pulper bölgesine alınan hurda kağıt balyalarının içinde değişken oranlarda naylonlar taşlar çeşitli demirler kum ve hertürlü kirlilik olabilir. Pulper kağıdı hamur haline çevirirken bu kirlilikleride daha sonrasında temizlemede kolaylık sağlanması için hamurun içinde ayrı halde tutar. Geri dönüşüm kağıttan kağıt hamuru üreten pulperler düşük kesafet pulperleridir ve kesafet %3,5 ila %4,5 aralığında olmalıdır. Pulpere verilen enerjinin elyafları açmak için sürtünme ve mekanik kuvvetlere dönüşüp açma işlemini sağlamaları için önemlidir. Geri dönüşüm kağıt endüstrisinde su aslında bir solventtir. Elyaflar hidrofilik yapıya sahiptir. Elyafların arasındaki hidrojen bağları su ile yer değiştirir. Ve elyafların açılmasını sağlar. Eklenen mekanik enerji ile açılma daha da hızlanır.

Düşük pH ve yüksek pozitif iyonların varlığı suyun elyaflara penetre olmasına engel olur. Bu nedenle bazen sistemin pH ını arttırmak için sisteme kostik eklenir ve bununla birlikte sıcaklık da artar.



Şekil 6. 4 Pulper sistem sınırları

Sisteme herhangi bir ısı girişi yoktur. Q ve W net ısı ve net güçtür.

$$Q + \sum m_i h_i = W + \sum m_e h_e \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} 4 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 293 \text{ K} + 79,33 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 309 \text{ K} + 506 \text{ kW} \\ = 4 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310,2 \text{ K} + 79,33 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310,2 \text{ K} \\ + 35 \text{ kW} + Q_{\text{kayp}} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{kayp}} = 13 \text{ kW} \quad (6.2)$$

Pulper ekipmanı 4.5 metre çapında ve yüksekliği 4 metre olan tamamen atmosfere açık bir konumda bulunmaktadır. Ekipmanın bulunduğu bölge günün 18 saati rüzgara maruz kalmaktadır. Bu ekipmanın gövdesinde zorlanmış konveksiyon yolu ile ısı transferi olmaktadır. Enerji denkleminde çıkan 13 kW lık fark çevreye ısı transferi nedeni ile oluşmaktadır.

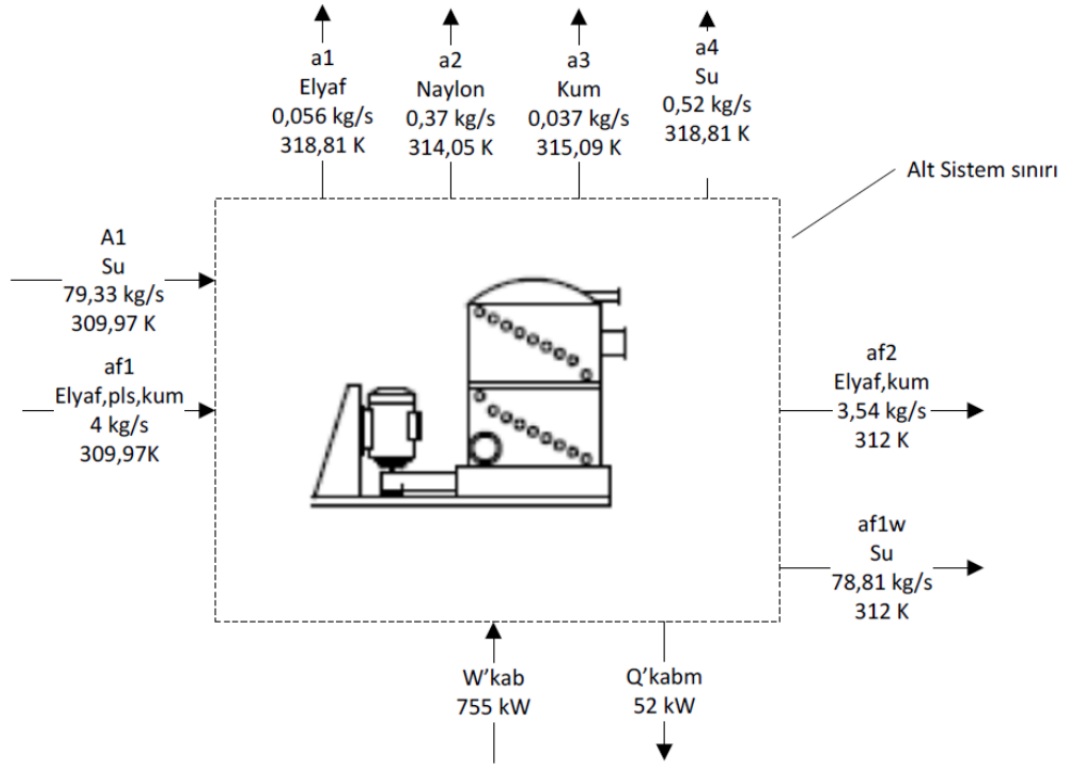
6.2 Kaba Eleme

Bu proste hamur temizliği ve elyaf boyut ayarlamak için yoğun bir şekilde basınçlı elekler kullanılmaktadır. Sistemde akışkan kesafeti % 0.2 ila % 4 arasında su ve elyaf karışımı olduğundan yoğun olarak santrifüj pompalar kullanılmaktadır. Hamur hazırlama sistemi daha öncede bahsedildiği üzere çeşitli kademelerden oluşmaktadır. Bu kısımda ençok elektrik enerjisi harcayan kısımlar elyaf öğütme ve elyaf açma ilk temizleme gölgesidir. Aşağıdaki şekilde bu bölgelerin çektiği güçler gösterilmektedir.



Şekil 6. 5 Basınçlı elek

Balya şeklinde gelen hurda kağıdın pulper denilen esasında bir kazan ve içinde dönen bir rotor olan ekipmanda su ile birlikte tekrar elyaflarına ayrılarak % 3 ila % 4.4 kesafette elyaf hamurunun oluşturulması ile başlar. Sonrasında kullanılan ekipmanlar geri dönüşümden gelen hurda kağıdın içinde var olan kirlilikleri gidermek için kullanılır.



Şekil 6. 6 Kaba eleme sistem sınırları

Sisteme herhangi bir ısı girişi yoktur. $\dot{Q}$ ve $\dot{W}$ net ısı ve net güçtür.

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_g h_g = \dot{W} + \sum \dot{m}_ç h_ç \quad (6.3)$$

$$\begin{aligned} & 4 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 309,97 \text{ K} + 79,33 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 309,97 \text{ K} + 755 \text{ kW} \\ & = 0,056 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 318,81 \text{ K} \\ & + 0,37 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 0,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 314,05 \text{ K} \\ & + 0,037 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 0,98 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 315,09 \text{ K} \\ & + 0,52 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 318,81 \text{ K} + 3,54 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 312 \text{ K} \\ & + 78,81 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 312 \text{ K} + 52 \text{ kW} + \dot{Q}_{kabk} \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{kabk} = 18 \text{ kW} \quad (6.4)$$

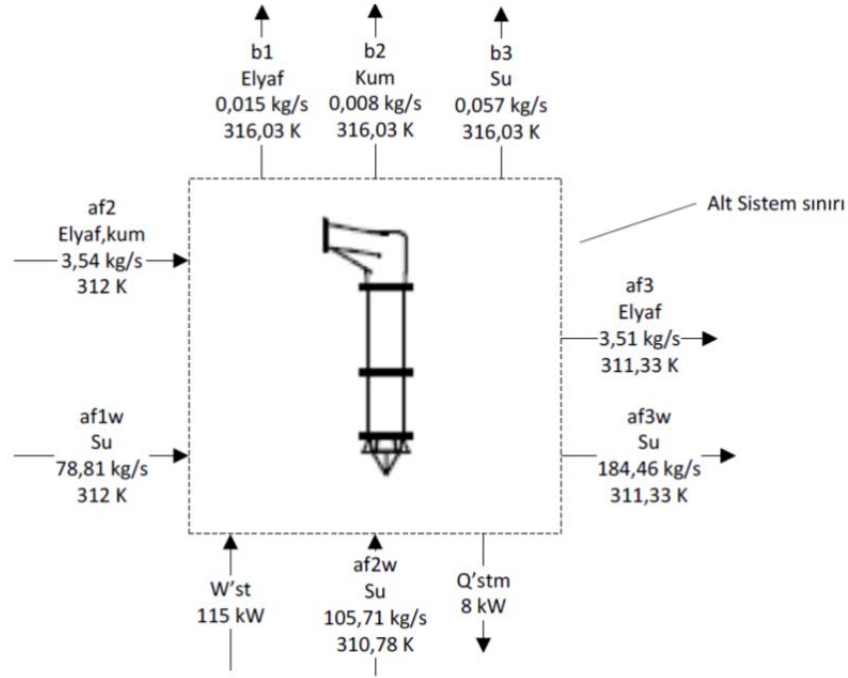
Kaba eleme sistem sınırlarının içerisinde yedi adet ortalama çapı 1 metre boyu ise 2 metre olan ekipmanlar bulunmaktadır bu ekipmanların tahriği kayış kasnak mekanizması ile yapılmaktadır. Enerji dengesinde oluşan 18 kW lık fark çevreye olan ısı transferi ve bu kayış kasnak mekanizmalarındaki ısı kaybı nedeni ile olmaktadır.

6.3 Santrijüj Eleme

Hamur temizleyicinin tepesinden tanjantsal olarak giriş yapar. Bu hamurun temizleyici gövdesinde hamurun dönüşüne neden olur. Temizleyicinin geometrisinden ötürü temizleyicide iç ve dış vorteks oluşur.



Şekil 6. 7 Santrifüj elekler



Şekil 6. 8 Santrifüj eleme sistem sınırları

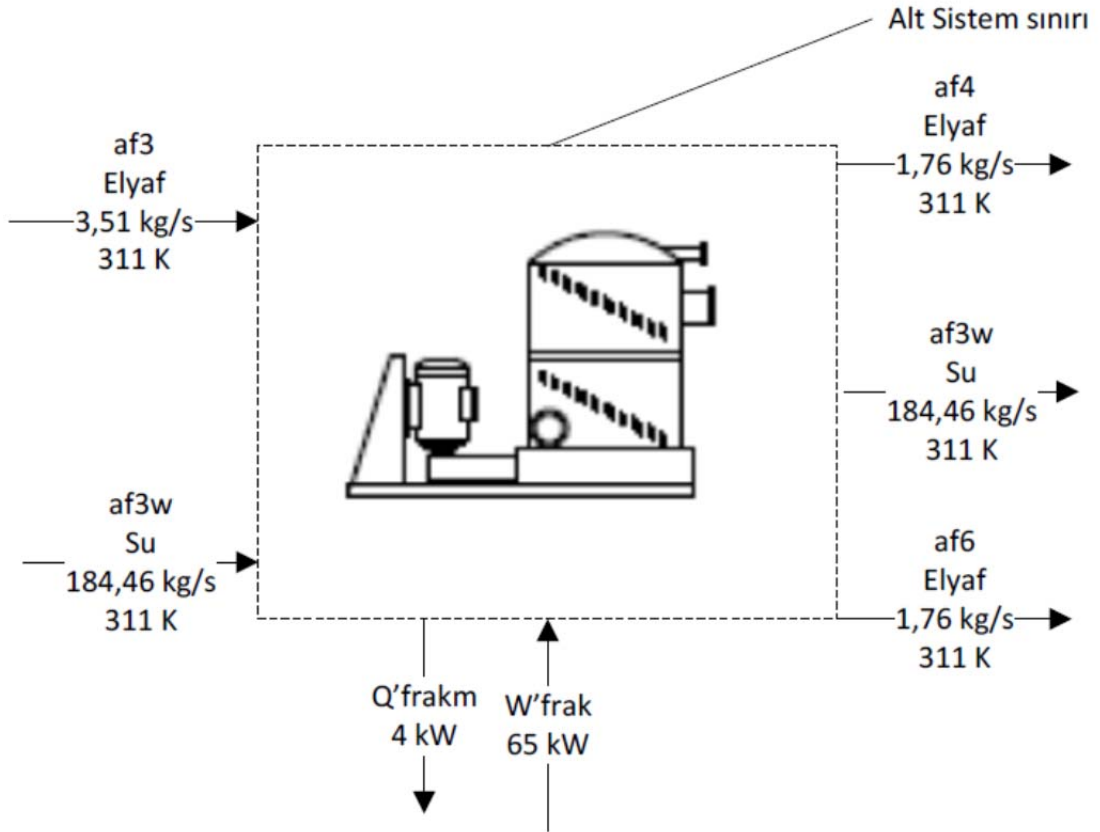
Sisteme herhangi bir ısı girişi yoktur. Q' ve W' net ısı ve net güçtür.

$$Q' + \sum m_g h_g = W' + \sum m_c h_c \quad (6.5)$$

$$\begin{aligned}
 & 3,54 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 312 \text{ K} \\
 & + 78,81 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 312 \text{ K} \\
 & + 105,71 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310,78 \text{ K} \\
 & + 115 \text{ kW} \\
 & = 3,51 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 311,33 \text{ K} \\
 & + 184,46 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 311,33 \text{ K} + 0,057 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 316,03 \text{ K} \\
 & + 0,008 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 0,98 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 316,03 \text{ K} + 0,015 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 316,03 \text{ K} \\
 & + 8 \text{ kW} + Q_{stkay}
 \end{aligned}$$

$$Q_{stkay} = 3 \text{ kW} \quad (6.6)$$

6.4 Elyaf Ayırma Kısımı



Şekil 6. 9 Elyaf ayırma sistem sınırları

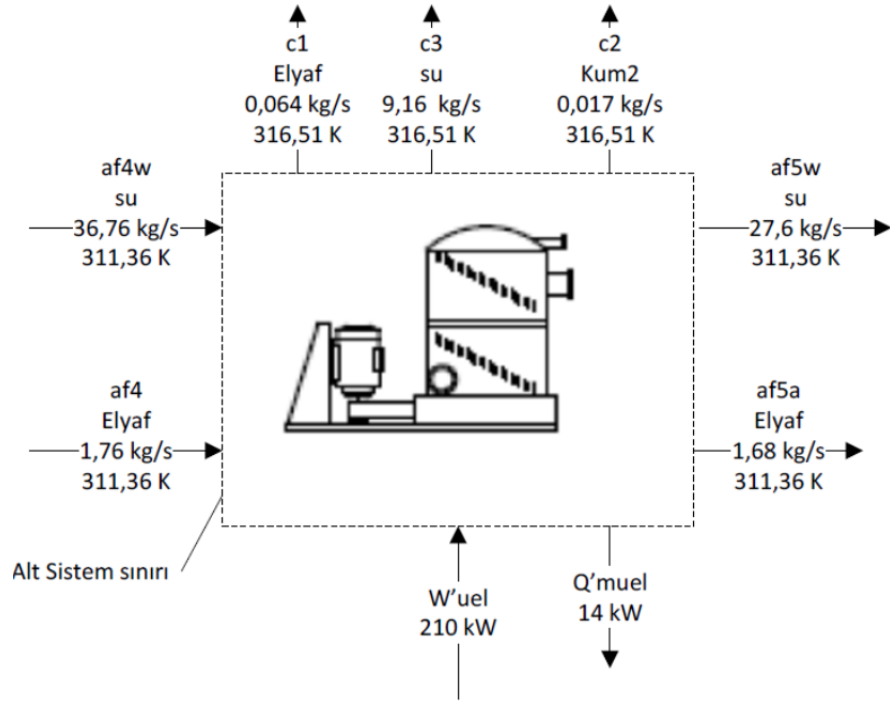
Sisteme herhangi bir ısı girişi yoktur. $\dot{Q}$ ve $\dot{W}$ net ısı ve net güçtür.

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_g h_g = \dot{W} + \sum \dot{m}_c h_c \quad (6.7)$$

$$\dot{Q}_{frakkay} = 1 \text{ kW} \quad (6.8)$$

Elyaf ayırma kapalı sisteminden görüleceği gibi sisteme verilen mekanik enerji elyaf ayırma işleminde tamamen faydalı enerjiye dönüşmüştür. Pratikte belli kayıpların varlığı kaçınılmazdır. Rulmanlarda sıcaklık artışı nedeni ile çevreye ısı transferi nedeniyle kayıplar miktarı çok az olmasına rağmen çevre ile ekipman arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan çevreye ısı transferi buna örnek verilebilir. Motor verimliliği de düşünülürse kayıp 1 kW olarak düşünülebilir.

6.5 Uzun Elyaf Temizleme



Şekil 6. 10 Uzun elyaf temizleme sistem sınırları

Sisteme herhangi bir ısı girişi yoktur. Q' ve W' net ısı ve net güçtür.

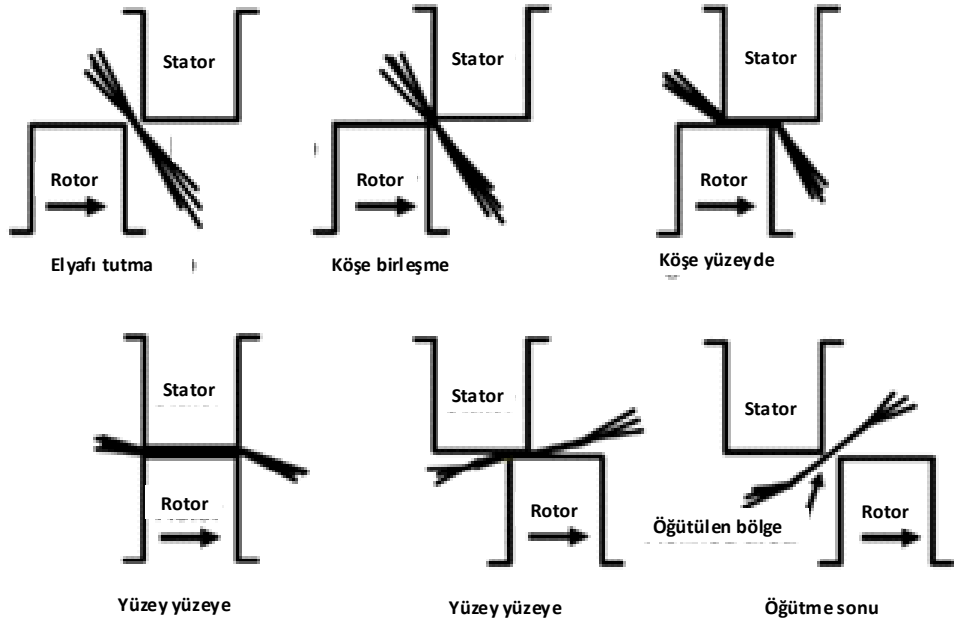
$$Q' + \sum m_g h_g = W' + \sum m_c h_c \quad (6.9)$$

$$\begin{aligned} & 1,76 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 311,36 \text{ K} + 36,76 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 311,36 \text{ K} \\ & + 210 \text{ kW} \\ & = 1,68 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 311,36 \text{ K} \\ & + 9,16 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 316,51 \text{ K} \\ & + 27,6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 311,36 \text{ K} \\ & + 0,017 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 0,98 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 316,51 \text{ K} \\ & + 0,064 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 316,51 \text{ K} + 14 \text{ kW} + Q_{uelk} \end{aligned}$$

$$Q_{uelk} = 0 \text{ kW} \quad (6.10)$$

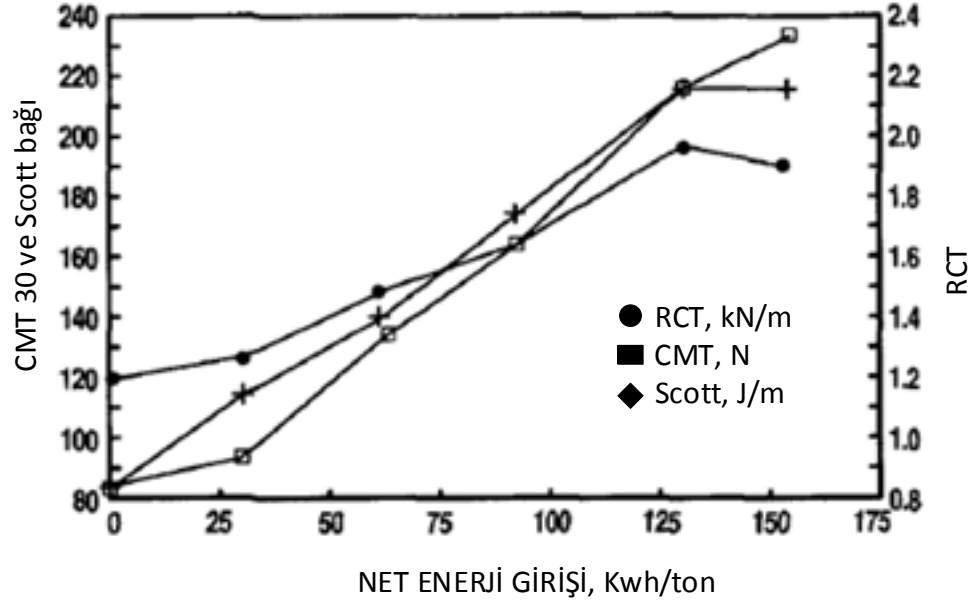
6.6 Elyaf Öğütücü

Daha sonra temizlenen bu hamur fiziksel olarak uzun ve kısa elyaf olarak ayrıldıktan sonra, uzun elyaf kağıdın su bırakma derecesini ayarlayan aynı zamanda üretilen kağıdın mukavemet değerlerini arttıran öğütüm sistemine alınır (Şekil 6.11).



Şekil 6. 11 Öğütüm mekanizması [50]

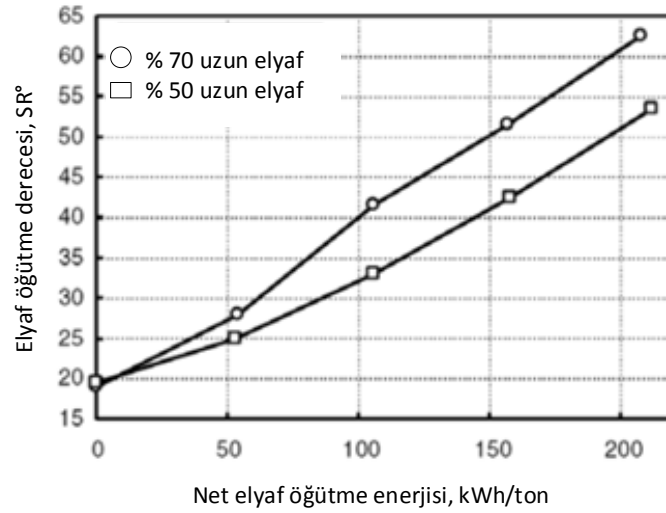
Mukavemet değeinin arttırılması öğütme sisteminde elyafların birbirine sürtülmesi ile elyafların üzerinde daha küçük elyafçıklar (fibrilleşme) oluşmaktadır. Bu elyaflar diğerleri ile güçlü bağlar yaparak kağıdın mukavemetini arttırır.



Şekil 6. 12 Elyaf öğütme enerji girişi mukavemet ilişkisi [49]

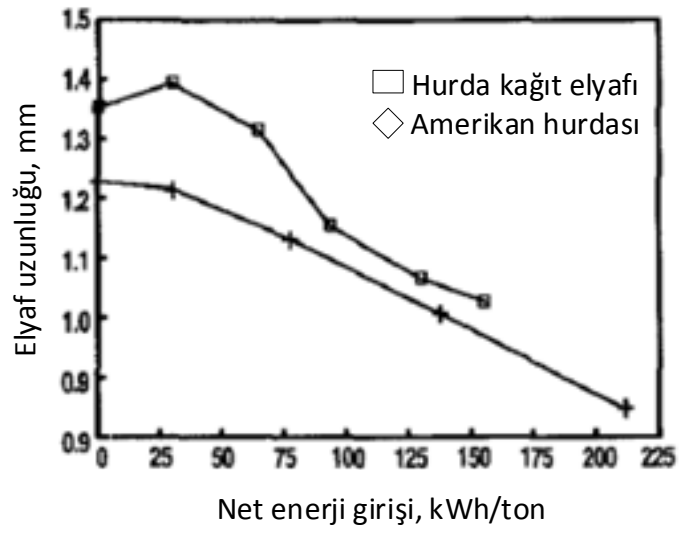
Kağıdın mukavemet değerlerinden CMT 30 ve scott bağı değerleri verilmiştir (Şekil 6.13).

Elyafa verilmesi gereken enerji miktarı shopper-riegler denilen test metodu ile bulunur.



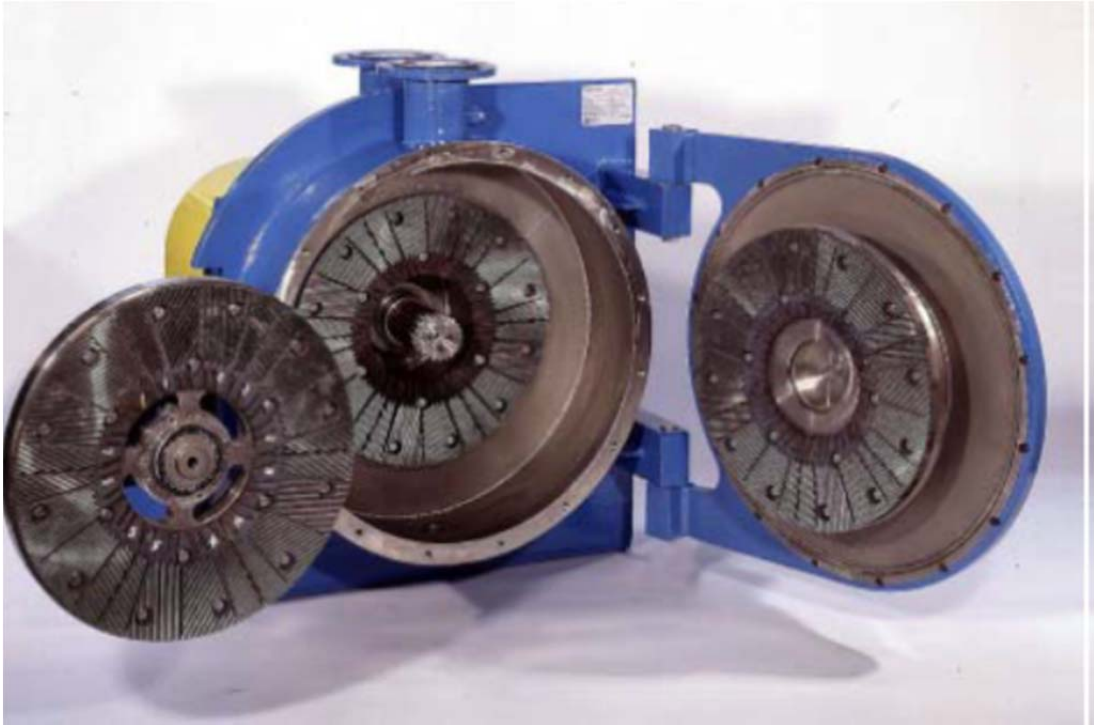
Şekil 6. 13 Elyaf öğütme derecesi öğütüm ilişkisi [50]

Çok fazla verilen enerji elyafların kılmasına ve % 6 kadar elyaf tozlarının artmasına neden olur.

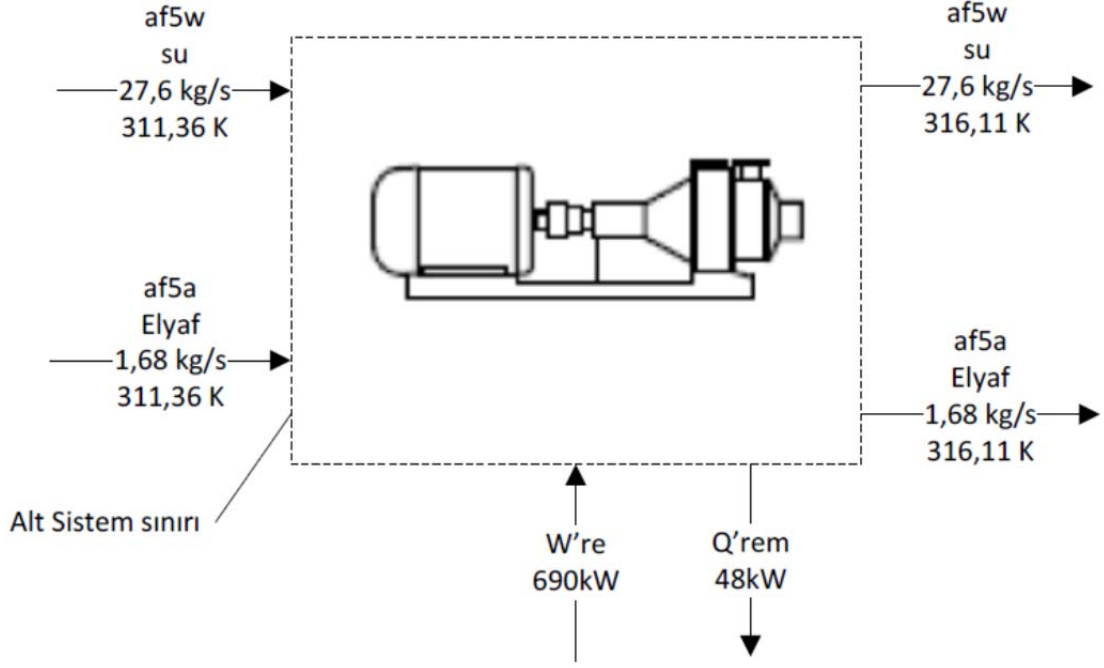


Şekil 6. 14 Tüketilen öğütme enerjisielyaf boyu [49]

İncelenen bu proseste düşük kesafet öğütüm sistemi kullanılmaktadır. Bunun nedeni hurda kağıttan kağıt üretiminde elyaflar, sürekli döngü halinde olduklarından mukavemet özelliklerini yitirirler. Çok fazla miktarda enerji verilmesi elyafları kırabilir.



Şekil 6. 15 Elyaf öğütücü



Şekil 6. 16 Elyaf öğütücü sistem sınırları

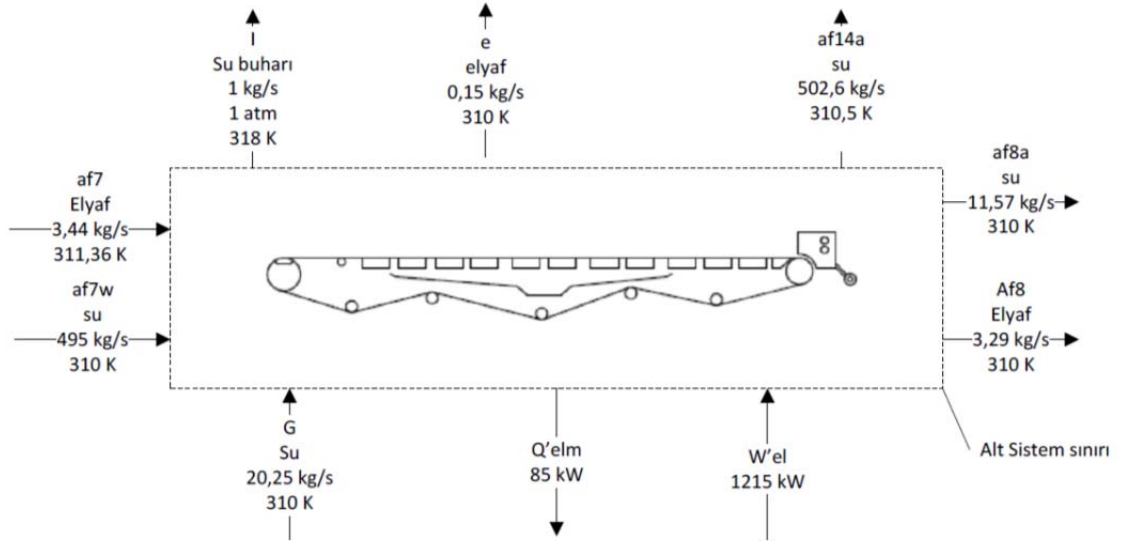
$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_g h_g = \dot{W} + \sum \dot{m}_c h_c \quad (6.11)$$

$$\begin{aligned} 690 \text{ kW} + 27,6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 311,36 \text{ K} + 1,68 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 311,36 \text{ K} \\ = 27,6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 316,11 \text{ K} \\ + 1,68 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 316,11 \text{ K} + 48 \text{ kW} + \dot{Q}_{rekay} \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{rekay} = 83 \text{ kW} \quad (6.12)$$

6.7 Elek Kısımı

Bu proseste temel amaç hamuru sermek ve bu kısımda kullanılan enerjinin % 90 ını kullanarak hamurdaki suyu gidermektir. Makine hamur bütesinde depolanan hamurun Bu nedenle hamur, hamur kasası denilen ekipmana gönderilir. Bu ekipman hamuru belli hız ve basınçta altında seramik vakum kasaları olan ve üstünde plastic iplerden örülmüş belli bir geçirgenliği olan dönen elek üstüne verilir.



Şekil 6. 17 Elek kısmı sistem sınırları

Elek üstüne serilen hamurdan su vakum kasaları yardımı ile alınır. Sonrasında % 20 ila % 23 civarında kuru maddeye ulaşan hamurdan mekanik olarak dahada su uzaklaştırmak için kademeli şekilde pres bölümüne girer.

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_g h_g = \dot{W} + \sum \dot{m}_\varphi h_\varphi \quad (6.13)$$

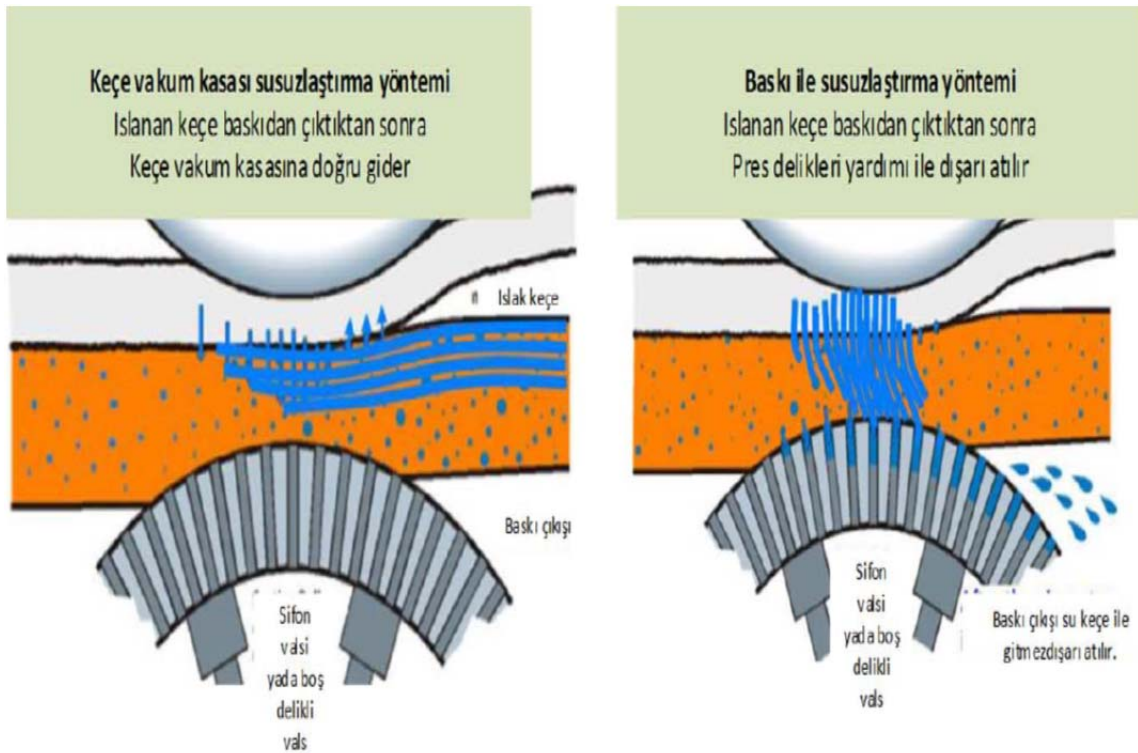
$$\begin{aligned} 1215 \text{ kW} + 20,25 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310 \text{ K} + 495 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310 \text{ K} \\ + 3,44 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 311,36 \text{ K} \\ = 0,15 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310 \text{ K} + 502,6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310,5 \text{ K} \\ + 11,57 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310 \text{ K} + 3,29 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310 \text{ K} \\ + 1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 318 \text{ K} + 85 \text{ kW} + \dot{Q}_{elkay} \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{elkay} = 157 \text{ kW} \quad (6.14)$$

% 20 ila % 23 civarında kuru maddeye ulaşan hamurdan mekanik olarak dahada su uzaklaştırmak için kademeli şekilde pres bölümüne girer. Bu bölümde hareketli kısımlardan dolayı ısı kaybı fazla olmaktadır.

6.7.1 Elek Vakum Bölümü Analizi

Elek kısmından sonraki kuru madde değeri % 19-20 arasında bulunmuştur. Bu değer dünya ortalamasına göre düşük bir değerdir. Üçüncü pres çıkışındaki kuru madde % 50 olarak bulunmuştur. Bu tip kağıt üretiminde bu değer % 52 ila % 56 arasında değişmektedir. Sifon valsi hava akışı çok fazla bulunmasına rağmen susuzlaştırma ve vakum seviyesi düşük bulunmuştur. Birinci pres uygun susuzlaştırma şartlarında çalışmaktadır. İkinci pres te sadece keçe vakum kasası ile susuzlaştırma yapılmaktadır ve pres geometrisi nedeni ile başka yöntemle susuzlaştırma mümkün değildir. Üçüncü pres baskı susuzlaştırma yöntemi ile çalışmaktadır. Üçüncü presteki keçe vakum kasalarının bir tanesi gereksiz ve kapatılmalıdır. Üçüncü pres raspası hava tip raspaya çevirilebilir. Üçüncü pres üstünde çok fazla su birikmesi mevcuttur ve fiskiyelerin optimize edilmesi düşünülebilir.



Şekil 6.18 Baskı ve keçe vakum yöntemleriyle susuzlaştırma

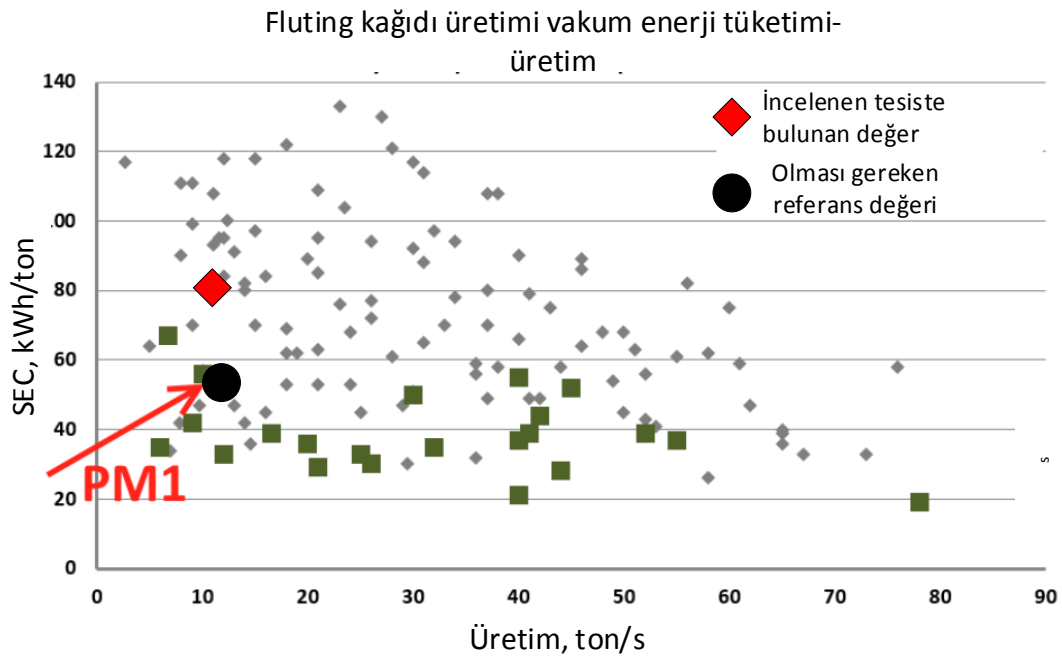
Baskı susuzlaştırma yöntemi en iyi susuzlaştırma yöntemidir. Baskı susuzlaştırma prestinden çıkan kağıdın tekrar ıslanmasını çok azaltır. Artan makine hızlarında baskı

susuzlaştırmanın verimliliği daha fazladır. Keçe vakum kasası susuzlaştırmada ise presleme ile kağıttan uzaklaştırılan su vakum kasasında tekrar alınır.

Kağıt makinalarının örnek çalışmalarında susuzlaştırma sadece keçe vakum kasalarında olduğu zaman buhar tüketimi yüksek çıkmaktadır. Pres baskı susuzlaştırma ise pres sonrasında kuru madeyi arttırdığı için üretimi artırabilmektedir. Yukarıdaki veriler üç aylık çalışmaların sonucunda bulunan verilerdir.

Pres kısmından sonraki yüksek kuru madde kurutma prosesi sonucunda istenen nem oranına ulaşmak için gerekli olan buhar ihtiyacını azaltacağından bu kazanç makine hızını arttırmaya ve dolayısı ile üretim artışını sağlamaktadır. Yüksek vakum kapasitesi yüksek üretim anlamına gelmez. Yukarıdaki şekilde bu açık olarak görülmektedir.

6.7.2 Vakum Sisteminin Spesifik Enerji Tüketiminin Karşılaştırılması



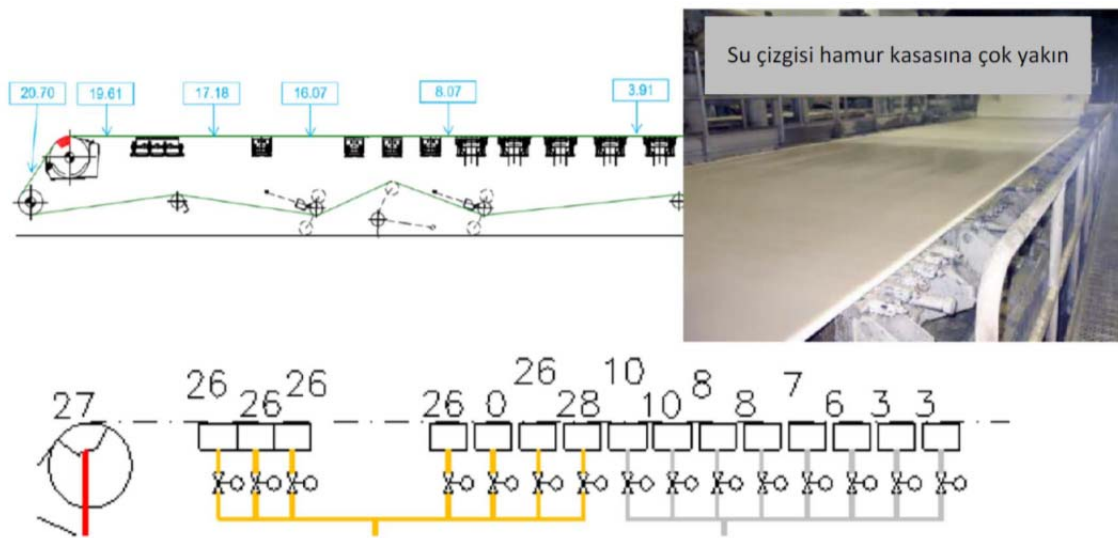
Şekil 6. 19 Referans enerji tüketimi verileri

Fluting ve Testliner türü kağıt üreten dünyadaki kağıt makinelerinde üretim ve vakum spesifik enerji değerleri gösterilmiştir (Şekil 6. 15). İncelenen kağıt makinasında vakum enerji tüketiminin olması gerekendeğeri işaretlenmiştir. Bu veriler ışığında incelenen kağıt makinasında % 50 ye ulaşabilecek kazanç sağlanabilir (Çizelge 6.2).

6.8 İncelenen Tesis Genel Elek Performansı

Elek üzerindeki su çizgisi hamur kasasına çok yakın görülmektedir. Bu kağıt safihasının sızdırmazlığı için bir risk teşkil etmektedir. Çalışan çok fazla vakum kasası olmasına rağmen vakum seviyesi kademeli olarak artmamaktadır.

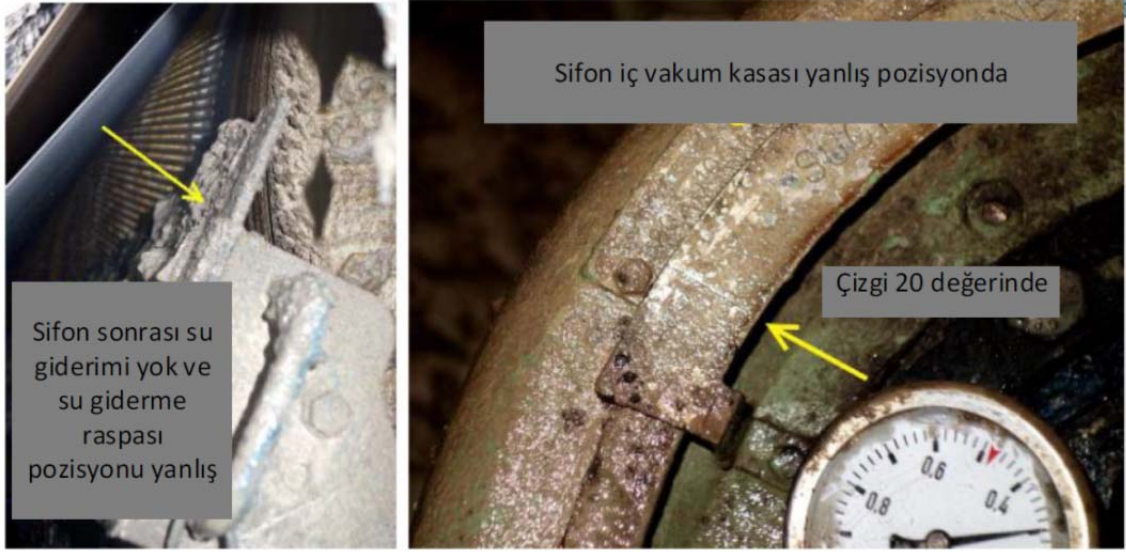
Sifon valsi çok az miktarda susuzlaştırma yapmaktadır. Sifon valsi içindeki vakum kasasının pozisyonunun yanlış olduğu görülmektedir. Son vakum kasalarında ve sifon valsi vakumlarının seviyesi yükseltilmelidir. Elek sifon valsi çıkış kuru maddesi % 19- 20 ölçülmüştür. Pratikte bu değerin % 23 mertebelerinde olması gerekir. Elek çıkışındaki kuru madde seviye kontrollü seperatörler ile optimize edilebilir.



Şekil 6. 20 İncelenen kağıt makinesi elek kısmı vakum ve kuru madde değerleri

Elek su çizgisi eleğin üstünde görülen yağlığın bittiği nokta olarak tanımlanır. Bu çizgi elektteki elyafların formasyonu ve sonrasındaki yüksek vakum bölgesindeki kağıt safihasının dışardan hava alması açısından önemlidir. Yukarıdaki resimde ölçümler sonucunda kademeli olarak bulunan kuru madde değerleri görülmektedir. Mevcut durumda su çizgisinin hamur kasasına bu kadar yakın olması elek üzerindeki safihasının optimizasyonu ve vakum ayarı açısından uygun değildir.

6.9 Sifon Valsi Vakum incelemesi



Şekil 6. 21 Sifon valsi uygunsuzluklar

Sifon valsinden çıkması gerek su dışarı atılmamaktadır. 200 m/dk hızların üstünde sifon valsi vakum ile su giderimi yapamaz. Vakumdan kurtulan suyun dışarı atılması gerekir. Sifon valsi içindeki kasanın pozisyonu yanlış görülmektedir.

6.10 Pres Kısmı Vakum İncelemesi



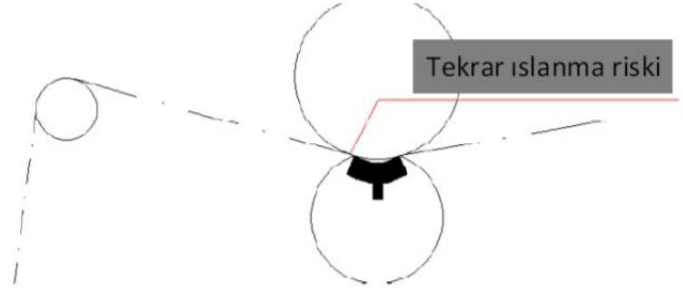
Şekil 6. 22 İncelenen makine pres kısmı

Üçüncü pres çıkışı kuru madde % 50 bulunmuştur. Bu değer bu tip kağıt üreten makinlar için düşük değerdir. Genelde bu değer % 52- 56 aralığında olmalıdır. Bu çözmek için raspalar ve üçüncü pres keçesinin su alma sisteminin yeni seperatörler ile değiştirilmesi bu kuru maddeye ulaşmada fayda sağlayacaktır. Bu pres sistemi konfigürasyonunda sifon valsinden sonra birinci pres vardır. Bu pres aynı zamanda içinde vakum kasası barındırır. Literatürde pick up pres olarak adlandırılır. Sonrasında ikinci pres literatürde combi pres olarak adlandırılır. İkinci prestensonra gelen üçüncü pres ise shoe pres olarak adlandırılmaktadır. İncelemede üçüncü pres sonrası kuru madde % 50 civasında bulunmuştur. Bu oran bu tip üretimde % 56 mertebelerine çıkabilir.



Şekil 6. 23 İncelenen makine ikinci pres bölgesi

İkinci pres bölgesinde kağıt safihasında susuzlaştırma yapılamamaktadır. Genel çalışma koşullarında preslerin su alan kısımlarında bulunan valsler kör delikli yapılarak uzaklaştırılan suyun deliklere girmesi ve sonrasında santrifüj kuvvet ve raspayardımları ile uzaklaştırılma yöntemi uygulanır. Mevcut durumda raspa sistemi yoktur. Su uzaklaştırma keçeye iletilen suyun keçe vakum kasası yardımı ile yapılmaktadır. Pres geometrisi nedeni ile raspakonması olası görülmemektedir.



Şekil 6. 24 İncelenen makine üçüncü pres uygunsuzluklar

Üçüncü pres kısmından sonra kuru maddenin % 50 olduğu belirtilmişti. Bu değer bu tip pres için düşük bir değerdir. Raspa sistemi ve keçe su giderme sistemi geliştirilerek kuru madde arttırılmaya çalışılacaktır. Görülen diğer bir nokta yukarıdaki resimde görüldüğü üzere prestan çıkan keçe aşağıya doğru eğim yapmaktadır. Bu durum kağıttan alınan suyun keçeyi tekrar ıslatması ve dolayısı ile kağıdın tekrar ıslatılması ile kuru madde oranının düşmesine sebep olabilir. Bunu önlemek için sevk valsi pozisyonunu değiştirerek bu olumsuz durum değiştirilebilir.



Şekil 6. 25 İncelenen makine üçüncü pres bölgesi uygunsuzluklar

İnceleme sonucunda üçüncü pres raspasının üzerinde birikinti oluşturacak miktarda oluşan su birikmesi raspa sonrasında safihanın tekrar ıslatılmasına sebep olabilir. Temizleme fiskiye sistemi ve su giderme vakum başlıkları güncellenmelidir.

6.10.1 Pres Kısmı Boru Hatları Uygunsuzlukların İncelemesi



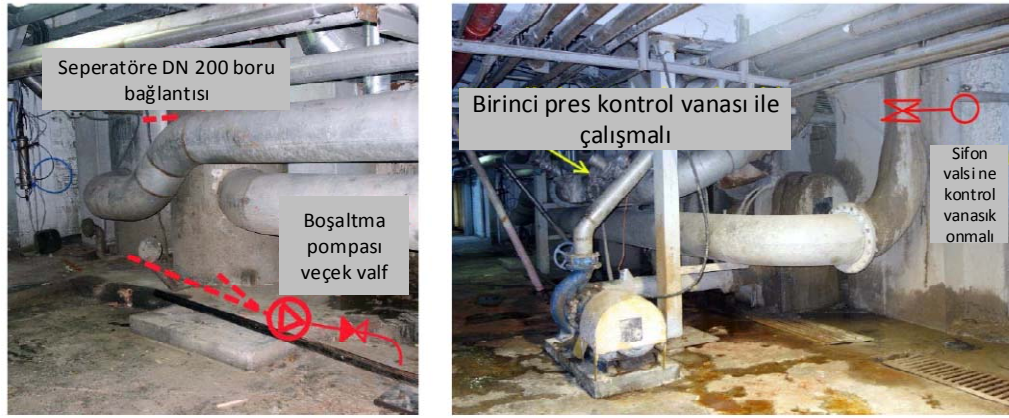
Şekil 6. 26 Keçe tahliye pompası dizayn hatası

Bazı vakum pompaları makine seviyesinde olmasına rağmen bazı borular makine alt katında su tahliyesi için ekstra bir sistem mevcut değildir (Şekil 6.22). Bu tip borulama cep oluşturarak bu ceplerin su ile dolması sonucunda çekilen havanın bu su dolu cepler nedeni ile engellenmesi basınç düşüşüne ve bununla birlikte vakum değerinin stabil olmamasına neden olmaktadır. Diğer problem ise tahliye pompalarının basma kısımlarında çek valf bulunmamaktadır. Aynı zamanda aktarma pompası tipi ve emiş borusu dizaynı bu sistem için uygun değildir. Aynı problemler tüm keçe vakum seperatörlerindedir.



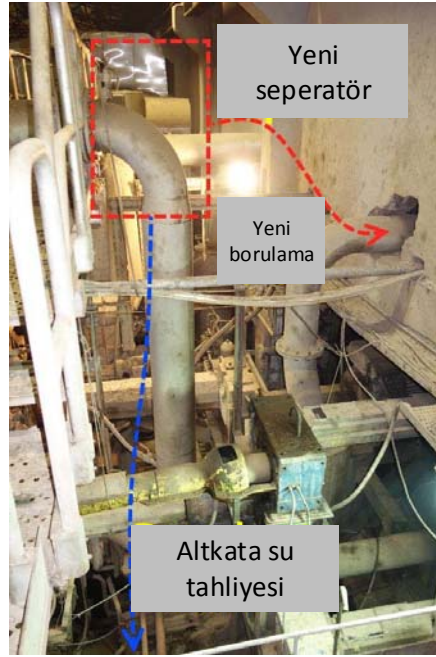
Şekil 6. 27 Vakum borulama uygunsuzlukları

Sifon valsi ve sifon valsine benzer şekilde çalışan birinci pres valsinin borulamasıda doğru yöntemden uzak görülmektedir. Bu durum suyun hava tahliyesini engelleyerek basınç kaybına neden olmaktadır. Bu borulardada yukarıdaki şekilde kesikli çizgiler ile gösterilen eksenlerde düzeltmeler yapılması gerekmektedir (Şekil 6.23).



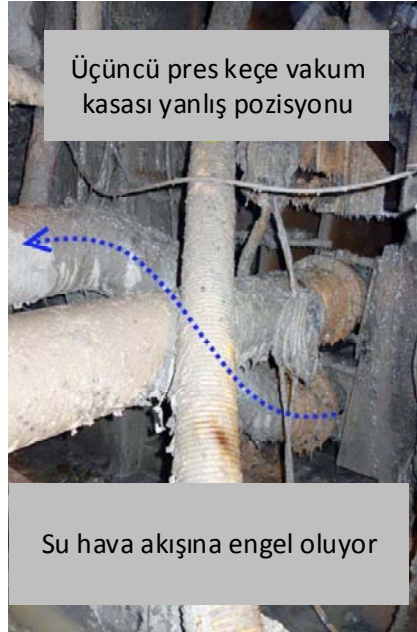
Şekil 6. 28 Sifon ve birinci pres vakum boru hatları uygunsuzlukları

Sifon ve birinci pres valsleri borulaması şekilde gösterildiği gibi birinci pres ana borusundan seperatöre DN 200 lük boru ile ek bir giriş yapılmalı. Sonasındaher iki seperatörde uygun olan yeni vakum şartlarında emiş yapabilmeye göre dizayn edilmiş tahliye pompası konulmalıdır. Her iki silindirin vakum borularına istenen vakum değerini ayarlayabilmek için kontrol vanaları monte edilmelidir (Şekil 6.24).



Şekil 6. 29 Vakum borulama dizayn hatası

kum hattı çıkış borusu iniş borusundan yaklaşık olarak üç metre yüksektedir. Bu durum kaçınılmaz olarak basınç düşüşüne ve köpürme nedeni ile vakum değerinin dalgalanmasına neden olmaktadır. Bu durumu önlemek için resimde gösterilen bölgeye seviye kontrollü seperatör ve hava çıkış boru geometrisinin değişimi uygun olacaktır (Şekil 6.25).



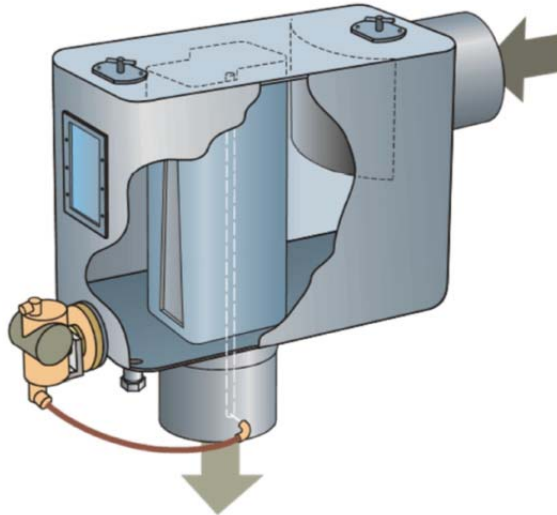
Şekil 6. 30 Vakum borulama dizayn hatası

Üçüncü pres kısmındaki keçe vakum su giderme 2 adet kasanın bir tanesinin boru bağlantısı tahliye edilen suyun hava akışına neden olacak şekildeki dizaynı düzeltilmelidir (Şekil 6.26). Bununla birlikte yapılan ölçümlerde iki adet vakumkasasının bu pozisyon için fazla olduğu görülmektedir. Bir adet kasa iptal edilebilir.



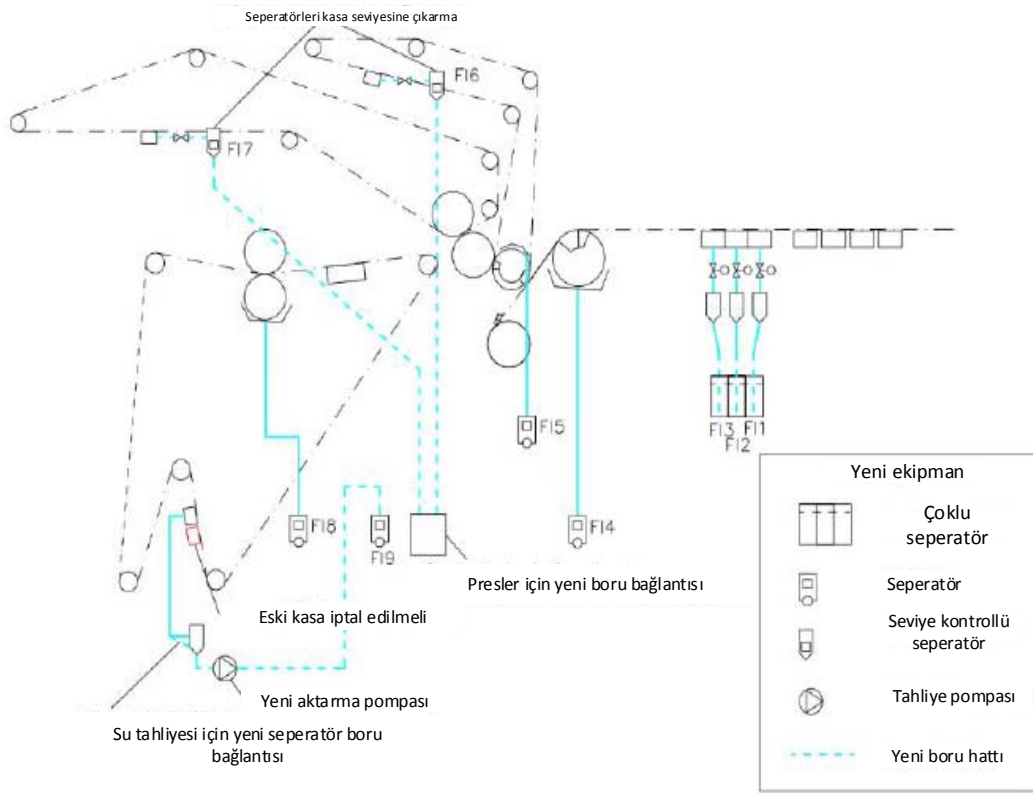
Şekil 6. 31 Vakum seperatörü dizayn hatası

Üçüncü pres seperatör pompası mevcut durumda çalışmamakta ve pozisyon itibari ile devreye alınsa bile verimli çalışması beklenemez. Seperatöre giren ana vakum borusundan DN 150 çapında bir boru ile seperatöre ek giriş yapılarak hatta su tıkkama probleminin önüne geçilmelidir (Şekil 6.27).



Şekil 6. 32 Seperatör ve akış ölçüm ekipmanı

Sistemde kullanılması düşünülen seviye kontrollü seperatörler üsteki şekilde gösterildiği gibidir (Şekil 6.29).

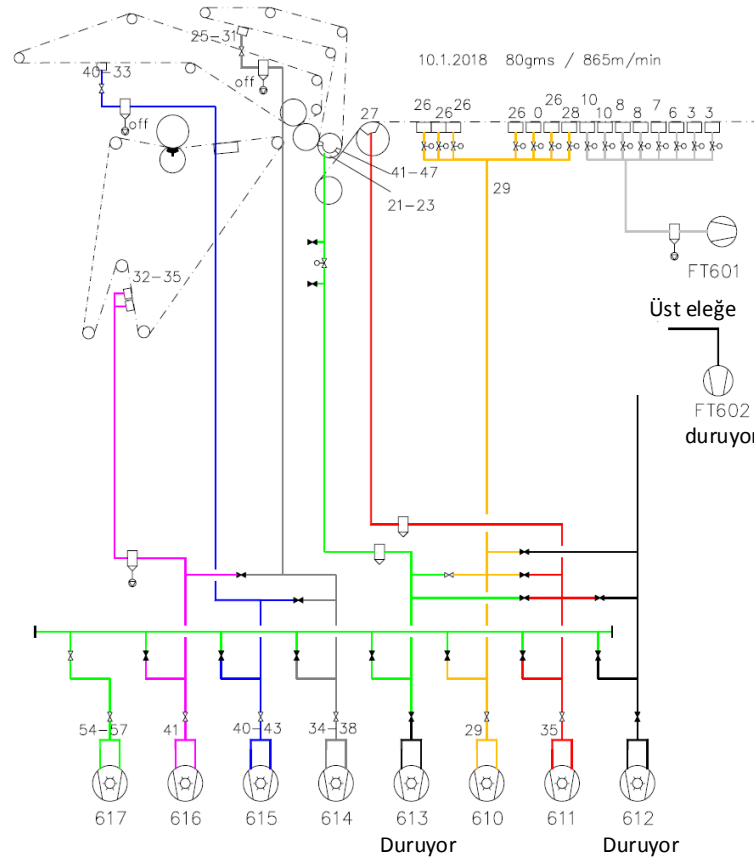


Şekil 6. 33 Akış ölçüm ve seperatörlerin konması gereken yerler

Kağıt üretim tesislerinde yaşımsın vakum optimizasyonunun sürekliliği için en önemli konulardan biri ölçümdür. Uygun ölçme sistemi ile anlık olarak sistemden uzaklaştırılan suların miktarı ve istenen kuruluğa ulaşmak çok önemli bir yere sahiptir. Yukarıdaki şemada inceleme yapılan kağıt makinasında ölçüm yapılması gereken noktalar verilmiştir.

işletmesel problemlerin ve önerilen geliştirmelerin yanında mevcut sistemde vakum yaratmak için kullanılan sıvı halkalı vakum pompaları içinde halka yaratmak için kullanılması gereken su ihtiyacı ve bu suyun düşük vakum nedeni ile buharlaşarak enerji kaybına neden olması sebebi ile sıvı halkalı vakum sistemleri yerini günümüzde resmi yukarıda gösterilen turbo blower lara bırakmıştır. Sıvı halkalı vakumpompaları yüksek spesifik enerji tüketimine sahiptir. Teknoloji eski ve verimlilikleri düşüktür. Ek sistemler ile bu teknolojinin faydaları, kontrol sistemleri ile kapasitenin korunması,

sürekli susuzlaştırma ölçümleri ile vakum seviyesinin istenen seviyede tutulması, turbo blower ile birlikte pompalamaverimliliğinin artması, kısma valflerinin kaldırılması ile kayıpların azaltılması düşünülebilir.



Şekil 6. 34 İncelenen makine proses şeması

Mevcut sistemin yerleşim ve akış şeması görülmektedir (Şekil 6.30). Tüm ölçümler kağıt makinası yukarıda belirtilen hızda ve üretimde yapılmıştır. Bu gramajda kağıt makinasının maksimum üretim hızıdır. Yapılan ölçümler sonucunda çoğu basınç düşüşleri ve vakum basıncının durağan olmaması tahliye pompalarının çalışmaması ve boru hatlarındaki yanlış uygulamaların sonucunda oluşan su cepleri nedeni ile oluşmaktadır.

6.10.2 Sistem Ölçümleri ve Hesaplamalar

İnceleme yapılan kağıt makinasının vakum bölgesinden alınan veriler ve bu verilerin karşılığı olarak tüketilen elektrik enerjisinin EU cinsinden yıllık maliyeti bulunmuştur

(Çizelge 6.2). Bu veriler ışığında Dünya kağıt üretim tesislerinin ortalama çalışma koşullarına göre kazanç % 30 mertebelerinde görülmektedir.

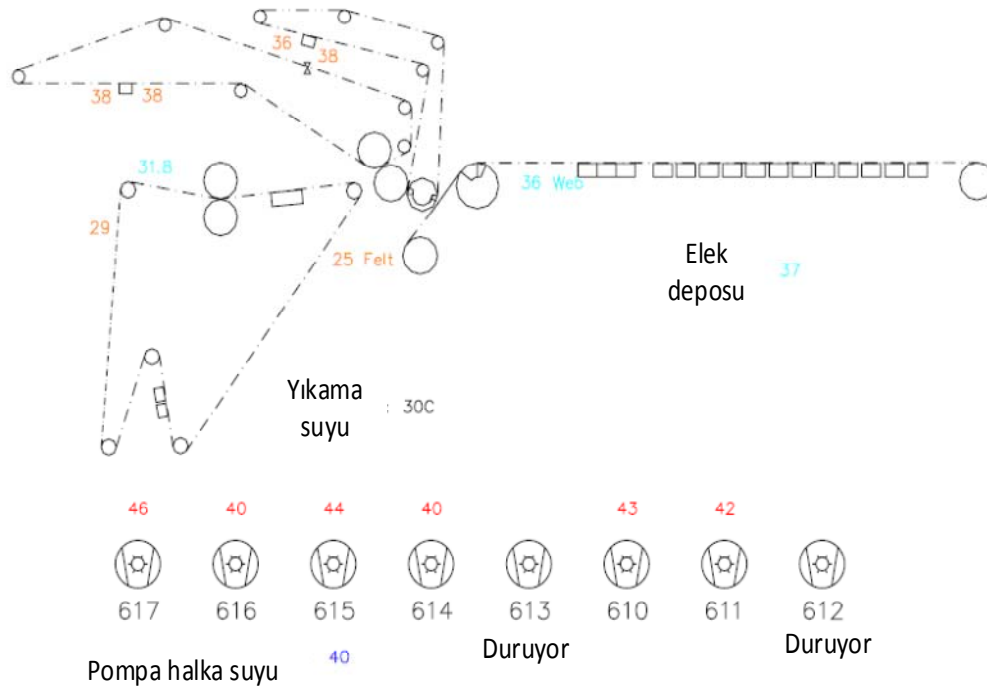
Çizelge 6. 2 Vakum bölgesi verileri

Pozisyon	İsim	Vakum değeri kPa	Vakum pompa akışı m ³ /s	Pompa gücü kW	Makinadaki vakum kPa	Kaçak hava Kg/s	Makinadaki akış m ³ /s
VP610	Alt elek yüksek vakum	29	1,5	136	26		1,4
VP611	Sifon valsi	35	2,5	214	27		2,2
VP612	Üst elek	0	0	0	0		0
VP613	Yedek	0	0	0	0		0
VP614	Birinci pres	35	1,3	78	28		1,1
VP615	İkinci pres keçesi	41	0,9	91	36		0,9
VP616	Üçüncü pres keçesi	41	0,7	63	33		0,6
VP617	Birinci pres	55	1,4	238	43		1,1
F601	Alçak vakum fanı	0	0	12	0		0
			8,3				7,4
İnceleme boyunca tüketilen enerji		831	kW		Makine hızı	906	m/dk
İnceleme boyunca üretilen tonaj		11,7	ton/sa		Kağıt genişliği	2691	mm
Spesifik üretim		3,7	t/sa/m		Üretilen gramaj	80	g/m ²
Spesifik enerji tüketimi		83	kW/ton				
Halka suyu pompası		30	kW				
Sistem toplam enerji tüketimi		861	kW				
Kilovat fiyatı		0,05	EUR/kWsa				
Toplam yıllık enerji sarfiyatı		361.444	EUR/a				

Çizelge 6. 3 Boru hatları hava ölçümleri

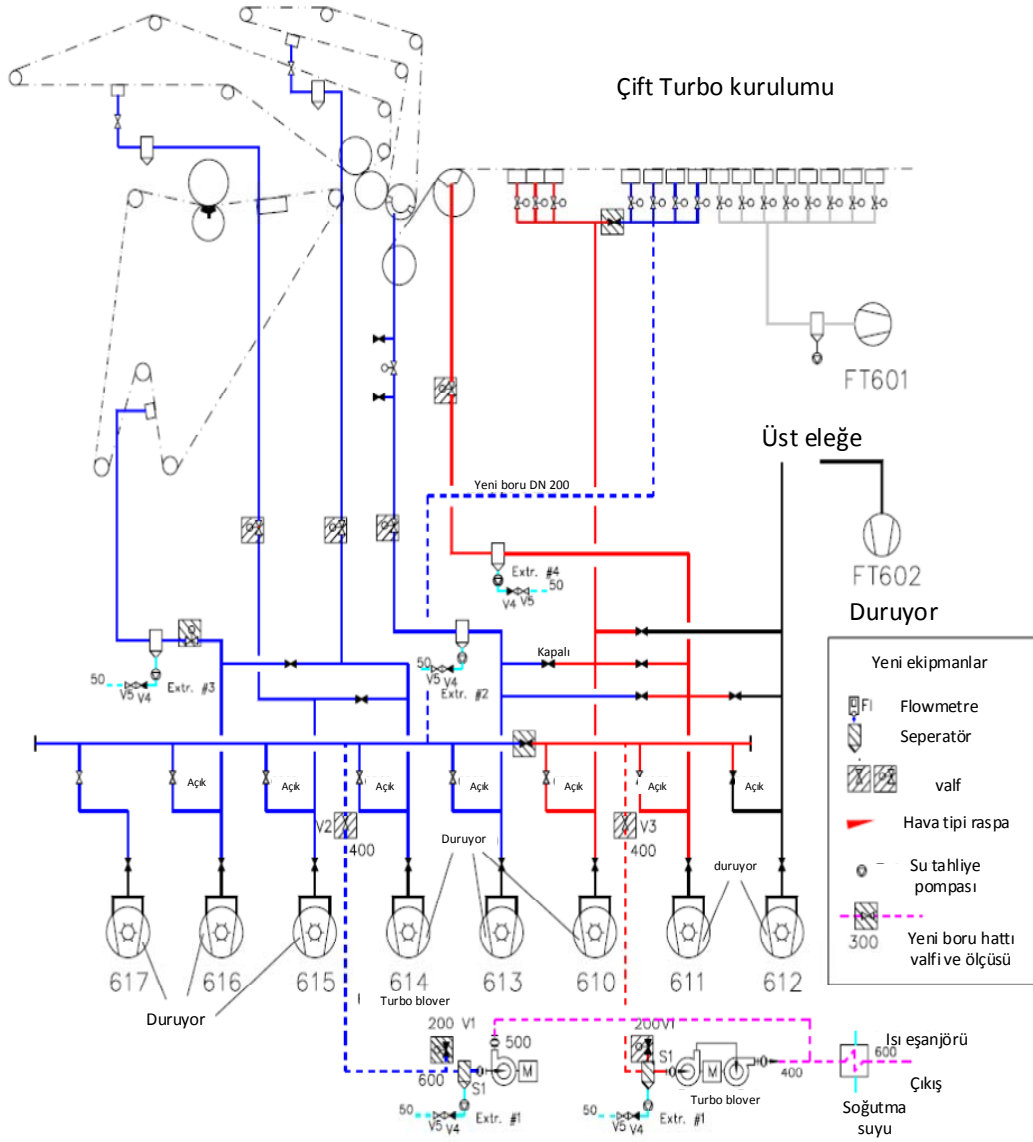
Pozisyon	Boru çapı	vakum	Sıcaklık	Hız	Akış	Akış
	mm	kPa	C	m/s	m ³ /dk	m ³ /s
Sifon valsi	450	32	29	16	150	2,5
Birinci pres	400	49	25	11	84	1,4
Vp 617 by-pass	400	56	26	18	134	2,2
VP 610	300	29	37	21	89	1,5
VP 617 pick up pres arası	100	30	40	17	8	0,1

Vakum bölgesindeki borulardan alınan ölçümler pitot tüpü ile gerçek zamanlı olarak alınmıştır (Çizelge 6.3).



Şekil 6. 35 İncelenen makine sıcaklık ölçümleri

Sistemden alınan sıcaklık ölçümleri sıcaklıkların göreceli olarak düşük olduğunu göstermektedir. Sıcaklıkların düşük olması eleğin üzerindeki kağıt safihasından su giderimini zorlaştırmasından dolayı sıcaklıkların su giderme açısından olumlu sonuçları olacaktır (Şekil 6.31).



Şekil 6. 36 Yeni proses şeması

Sistemdeki borulama ve daha önce belirtilen aksaklıklar giderildikten sonra kağıt makinesi vakum bölgesi proses şeması yukarıdaki şekilde değiştirilerek iki adet turbo blower, sistemden tahliye edilen suyun miktarını belirleyen akışmetreler, sistemin stabil ve istenen şartlarda sürekli çalışmasını sağlayacak olan enstrümanlar ve turbo blowerlardan çıkan sıcak havanın proses suyunu ısıtmada kullanılacak olan ısı eşanjörü ile vakum prosesi yeniden dizayn edildiği zaman daha önceki deneyimler ve verilerin ışığında enerji tüketiminin % 30 mertebelerinde azalacağı öngörülmektedir (Şekil 6.32).

Çizelge 6. 4 Yeni ekipmanlarla kurulum sonrası veriler

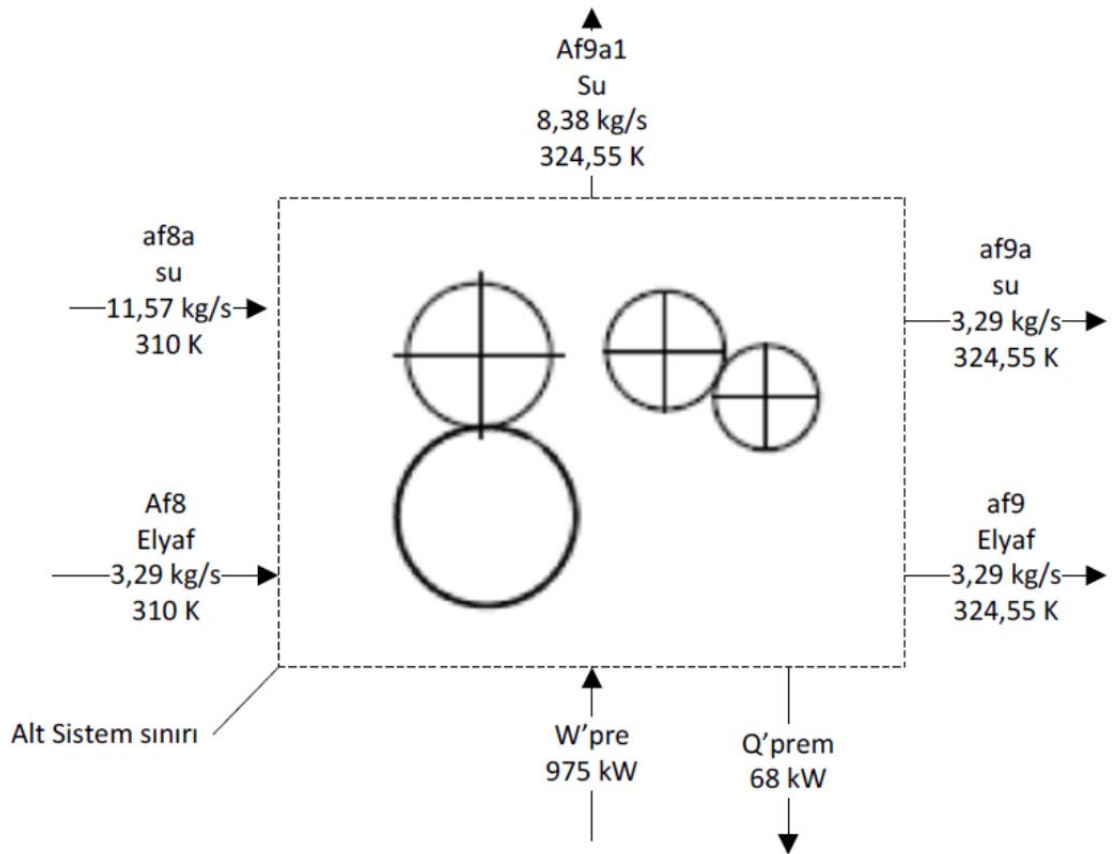
Pozisyon	İsim	Vakum değeri kPa	Vakum pompa akışı m ³ /s	Pompa gücü kW	Makinadaki vakum kPa	Kaçak hava Kg/s	Makinadaki akış m ³ /s
Turbo 1	Yüksek vakum kasaları ve sifon	45	4	250	44		3,9
Turbo 2	Pick up valsi ve keçeler	40	5	250	40		5
Yeni vakum sistemi toplam kW		500	kW		Makine hızı	906	m/dk
Spesifik enerji tüketimi		42,7	kW/ton				
Halka suyu pompası		30	kW				
Sistem toplam enerji tüketimi		500	kW				
Kilovat fiyatı		0,05	EUR/kWsa				
Toplam yıllık enerji sarfiyatı		210.000	EUR/yıl				
Toplam yıllık enerji kazanımı		151.444	EUR/yıl				

Yeni ekipmanların kurulumu ile sistemden elde edilecek değerler verilmiştir (Çizelge 6.4). Bakım maliyetleri hariç toplam yıllık enerji kazancı 151.444 EU olduğu görülmektedir. Bu sistemin toplam bütçesi 1.000.000 EU dur. Ve bu maliyetin geri dönüş süresi yaklaşık 5 yıl dır. Türkiyede bulunan bir yazı tabı kağıdı üretim tesisinde yaz ve kış aylarındaki üretilen ton kağıt başına buhar tüketimini gösteren 2016- 2017 yılları arasında yapılmış veriler şekil de gösterilmiştir.



Şekil 6. 37 Turbo blower

6.11 Pres Kısımı



Şekil 6. 38 Pres kısmı sistem sınırları

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_g h_g = \dot{W} + \sum \dot{m}_\zeta h_\zeta \quad (6.15)$$

$$\begin{aligned}
& 975 + 11,57 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310 \text{ K} + 3,29 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 310 \text{ K} \\
& = 8,38 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 324,55 \text{ K} \\
& + 3,29 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 324,55 \text{ K} \\
& + 3,29 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 324,55 \text{ K} + 68 \text{ kW} + Q_{\text{prek}}
\end{aligned}$$

$$Q_{\text{prek}} = 1 \text{ kW} \quad (6.16)$$

Pres bölümünden % 47 ila % 56 kuru madde oranında çıkar.

6.12 Kurutma Bölümü



Şekil 6. 39 Türkiye'deki kağıt üretim tesisi yıllık buhar tüketimleri

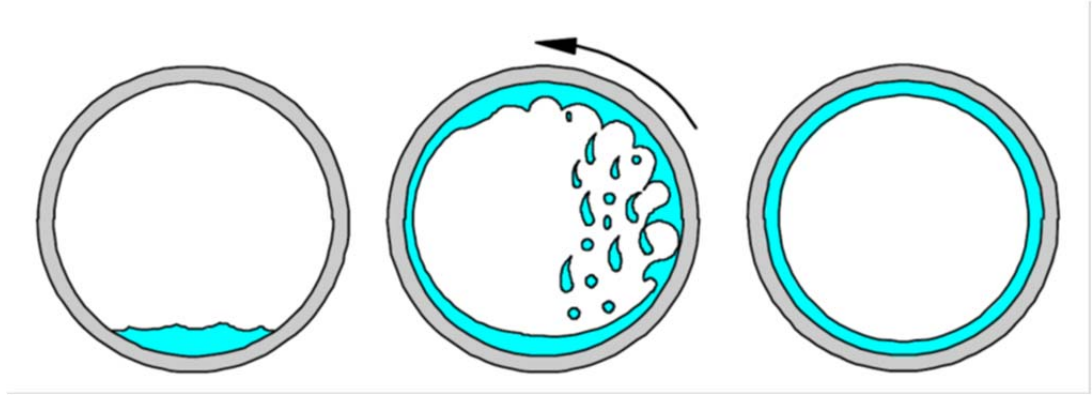
10 °C'lik sıcaklık farkı buhar tüketimine yansımaları çok fazladır (Şekil 6.35). Bu nedenle turbo blowerların çıkışına ısı eşanjörü kullanılarak bu atık ısı ile proses suyunu ısıtmak ve buhar tüketimini %8 düşürmek mümkündür.

Kağıt makinası kurutma bölümünde ilk olarak enerji tüketimi kağıdı kurutmaya yarayan kurutma silindirlerini döndürmek için yapılır. Kurutma silindirlerini döndürmek için gerekli gücün hesabında belirlenen güç tüketimi ve seçilen motor büyüklüğü, kurutma silindiri işletme şartlarında herhangi bir sorun nedeni ile biriken kondensin meydana getirdiği ek yükü karşılaması için hesaplana güçten daha büyük seçilebilir. Bu seçimin yapılıp yapılmayacağı tahrik gurubunu dizayn eden mühendis ve talebe bağlıdır.

Üretilen buharın % 98 lik kısmı kağıt kurutma prosesinde tüketilirken % 2 lik kısmı kağıdın mukavemetini arttırmaya yönelik kullanılan ekipman olan film preste nişastayı pişirmek ve aynı zamanda sistemi temizlemek için gerekli sıcak suyun hazırlanmasında kullanılır. Pres bölümünden Kurutmaya giren kağıt içinde buhar dolaşan döner silindirlerden oluşan ilk kurutma bölümüne girerek içindeki su % 7-13 rutubete kadar kurutulur. Bu rutubetteki kağıt, kağıdın mukavemetini arttırmak amacı ile kağıdın yüzeyine nişasta emdirmeye yarayan film pres ekipmanına ulaşır. Yüzeyine nişasta emdirilen ve tekrar nemi % 21-35' e ulaşan kağıt tekrar döner silindirlerden oluşan ikinci kurutma gurubuna girer ve son rutubet oranı olan % 7 ye ulaşılır.

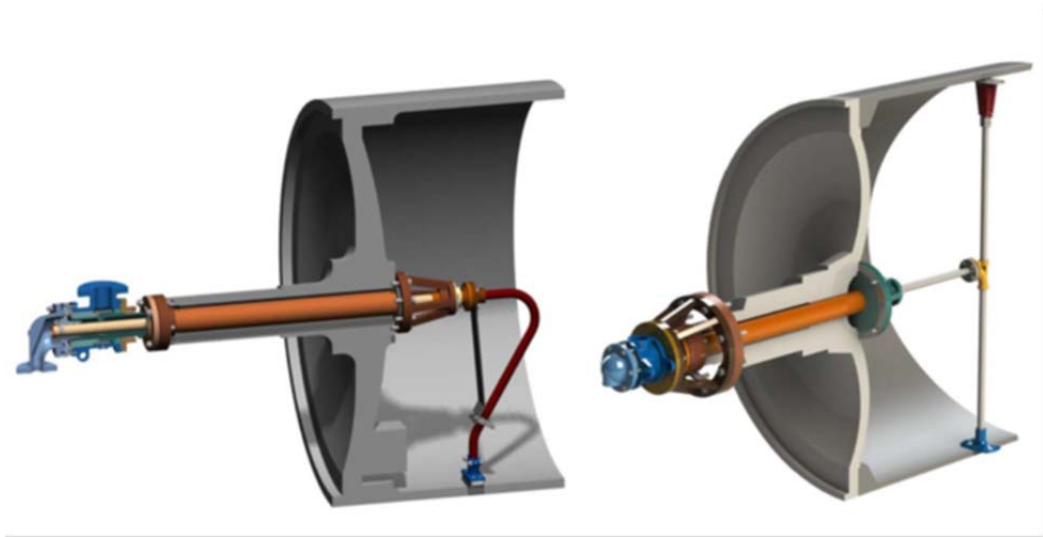
Kağıt üretim prosesinde harcanan enerjinin çok büyük bir kısmı tekrar kağıt üretmek için hamur haline getirilen kağıttan, suyu uzaklaştırmak için kullanılır.

Kurutma sisteminde kullanılan doymuş buhar için proseste akışkan yataklı buhar kazanı ku sistem kullanılmaktadır. Akışkan yataklı buhar kazanı aynı güçteki doğalgaz kazanlarına göre daha fazla elektrik enerjisi kullanır. Bunun nedeni akışkanlaştırmayı sağlayan ve ikincil yanma bölgesindeki oksijen ihtiyacını sağlayan fanlardır. Bu fanların çektiği güçler bölümlerin çektiği güçlere dahil edilmiştir.



Şekil 6. 40 Kurutma silindirlerindeki kondensin hız arttıkça aldığı durumlar [47]

Silindirler düşük hızdan yüksek hıza ilerlediğinde kondensin aldığı hal görülmektedir (Şekil 7. 28). Kurutma sistemlerinde buhar kondens sisteminin doğru çalışmaması nedeni ile kurutma silindirlerinde biriken kondens, silindirleri tahrik eden motorlara gereksiz yük yüklemekte ve sonrasında elektrik enerjisini gereksiz yere kullanmasına neden olmaktadır. Silindirlerde oluşan bu kondensi doğru bir şekilde uzaklaştırmak gerekir. Bu uzaklaştırma ilk olarak silindirlerin içindeki sifonların doğru seçimi ile başlar.

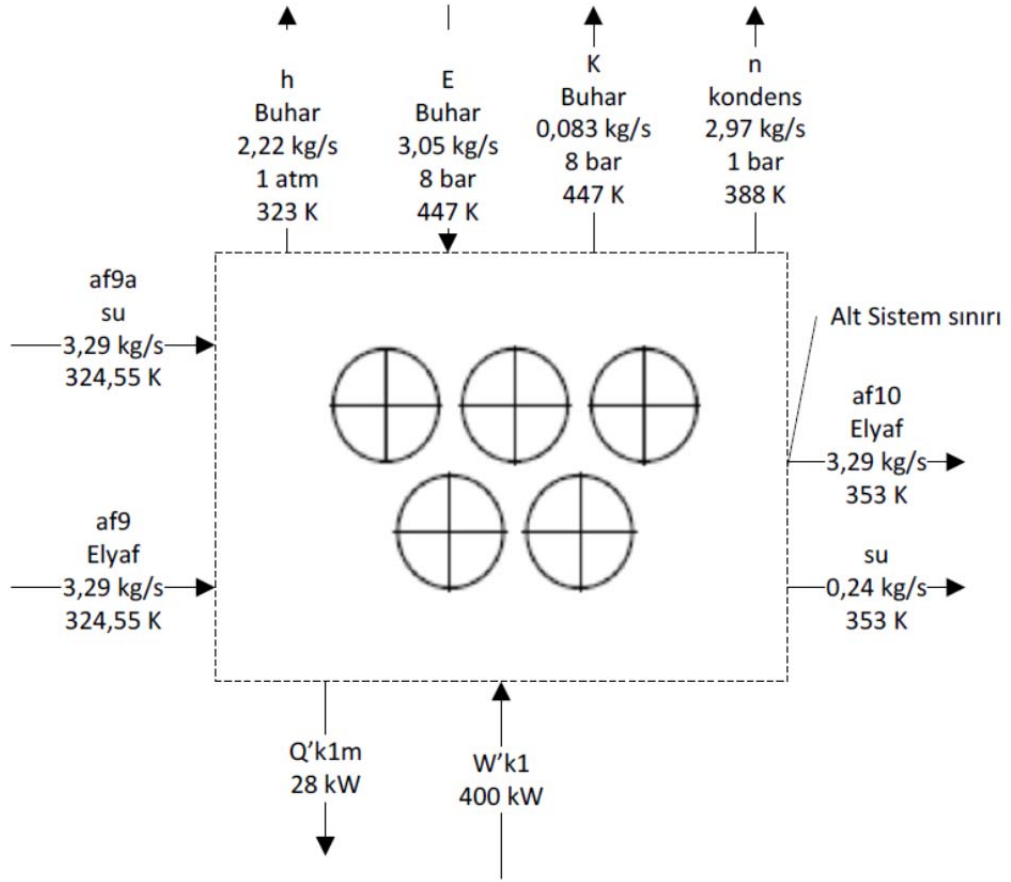


Şekil 6. 41 Sabit ve döner sifon (Kadant)

Bu kağıt üretim tesisinin genel proses dizaynı kaskad sistemine göre çalışmaktadır. Son silindirlerden giren buhar seperatörler vasıtası ile enerjisini kaybederek son silindire kadar ulaşır. Uygulama kolaylığının yanında kaskad sisteminin dez avantajı belirli bir basınç düşüşünün oluşması üzerinedir. Bu basınç düşüşüne ulaşamadığında prosesin belli yerlerinde ya dışarıya buhar atılır ya da sistemin sonunda buhar kondenserden

geçirilerek küçük bir su halkalı vakum pompası ile yardımı ile basınç düşürülebilir. Bununla birlikte kurutmakışmında dışarıya enerjisini kaybetmemiş buhar ve kağıt safihasından buharlaştırılan su buharı atılmaktadır. Bu durum proses için kaçınılmazdır ancak buradaki enerjisini kaybetmemişbuhar ve su buharı pulperde kağıt açmak için kullanılan suyun sıcaklığını arttırmak için ısı eşanjöründen geçirilebilir. Böylelikle pulper bölgesinde elyaf açma verimliliği çok arttırılabilir.

6.13 Kurutma Kısım 1



Şekil 6. 42 Kurutma 1 bölümü sistem sınırları

$$Q_g + W + \sum m_g h_g = Q_{\dot{c}} + \sum m_{\dot{c}} h_{\dot{c}} \quad (6.17)$$

$$\begin{aligned}
& 3,29 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \times 51,55 ^\circ\text{C} \\
& + 3,29 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \times 51,55 ^\circ\text{C} \\
& + 3,05 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 2774 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
& + 400 \text{ kW} \\
& = 3,29 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \times 80 ^\circ\text{C} \\
& + 2,22 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 504 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\
& + 0,083 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 2774 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + 2,97 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 2675 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\
& + 0,24 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 2665 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + 28 \text{ kW} + Q_{i1}
\end{aligned}$$

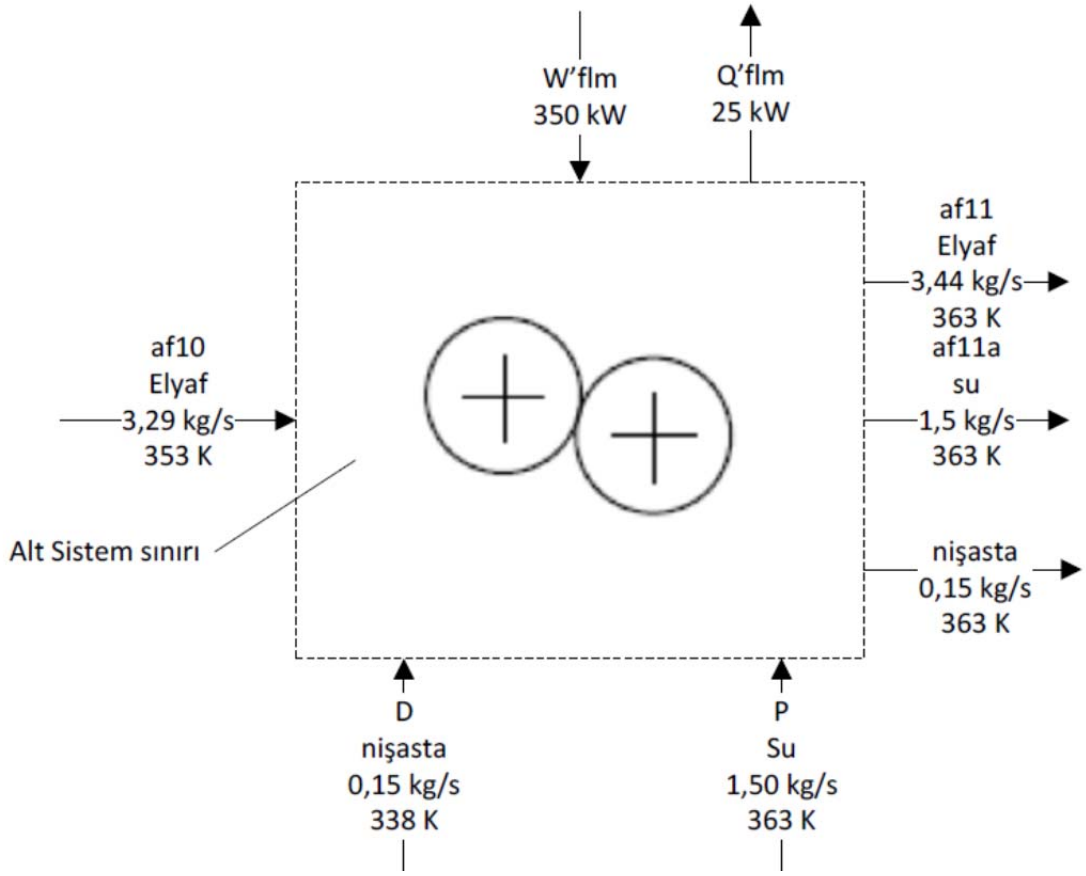
$$Q_{i1} = 520 \text{ kW} \quad (6.18)$$

Kurutma bölümümünde sisteme verilen mekanik enerji kağıdı transfer etmek için harcanan enerjidir. Buhar enerjisi ise hareket halindeki kağıda ısı enerjisi vererek kağıt safihasının içindeki suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması içindir. Temel olarak kullanılabilir enerjinin yani enerji verimliliğinin düşük olduğu bölge kurutma bölgesidir. Aynı zamanda kurutma bölümünde su buharlaştırıldıktan sonra belli miktarda enerji muhteviyatı ile birlikte atmosfere atılır.

Kurutma kısmı 1 bölümünde kurutma silindirlerinin bulunduğu bölge izole edilir (Şekil 7.1). Kurutma kısmında çevre havası 39°C , izolasyon yüzey sıcaklığı 53°C bulunmuştur. İzolasyon yüzeyi toplam 900 m² dir. Bu kısımdan ortama çok miktarda ısı atılmaktadır. Ölçüm süresince işletmesel nedenlerden dolayı kurutma kısmının arka kısmında bazı kapılar açık tutulmaktadır. Buradanda ısı kaybı olmaktadır.

Kurutma sisteminde dışarıdan hava alınarak sistemin enerjisinin bir kısmı bu havayı şartlandırmak için kullanılmaktadır. Bu hava sistemden içindeki buhar enerjisi ile dışarı atılmaktadır. Hesaplamalar yapılırken sistemden hava ile çıkan enerji dikkate alınmıştır. Bu hava fanlarının kanallarından da bir miktar çevreye ısı kaybı olmaktadır.

6.14 Film Pres Kısımı



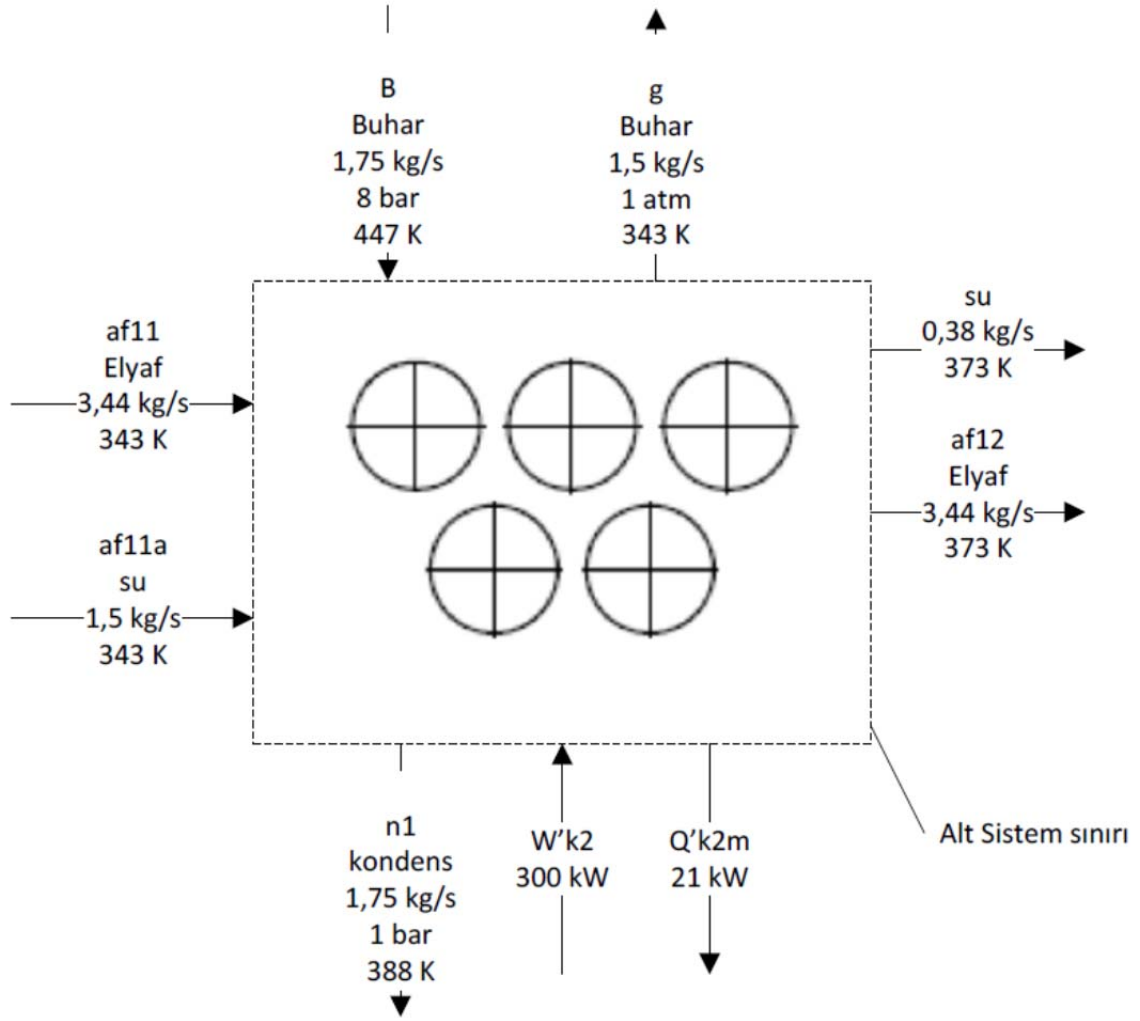
Şekil 6. 43 Film pres bölümü sistem sınırları

$$Q + \sum m_g h_g = W + \sum m_c h_c \quad (6.19)$$

$$\begin{aligned}
 & 350 \text{ kW} + 0,15 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,28 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 338 \text{ K} + 1,50 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 338 \text{ K} \\
 & + 3,29 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 353 \text{ K} \\
 & = 3,44 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 363 \text{ K} + 0,15 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,28 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 363 \text{ K} \\
 & + 1,5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 363 \text{ K} + 25 \text{ kW} + Q_{flmkay}
 \end{aligned}$$

$$Q_{flmkay} = 5 \text{ kW} \quad (6.20)$$

6.15 Kurutma Kısımı 2



Şekil 6. 44 Kurutma 2 bölümü sistem sınırları

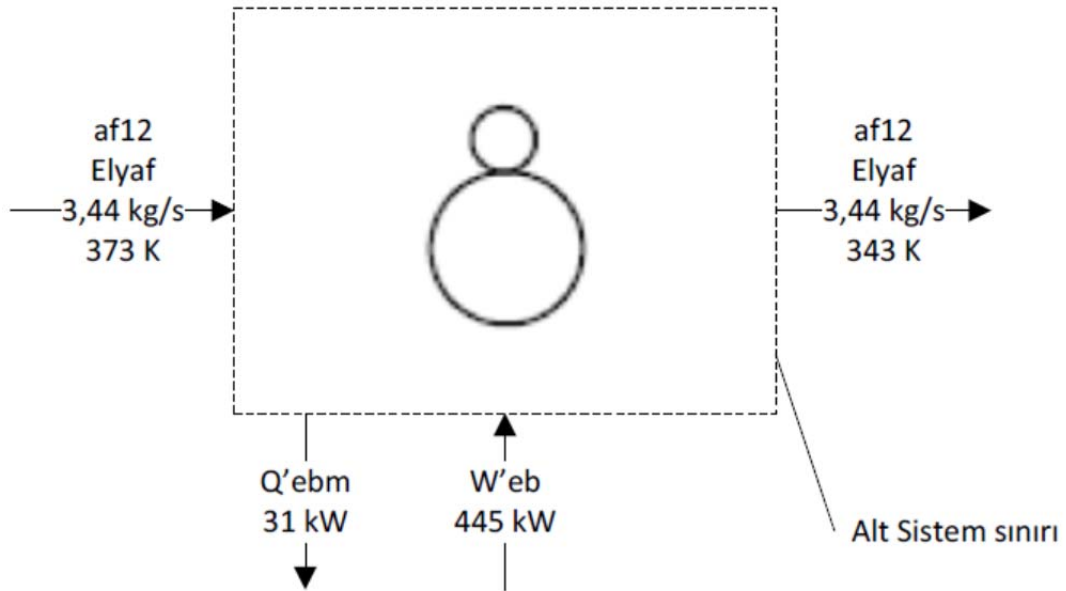
$$\dot{Q}_g + \dot{W} + \sum \dot{m}_g h_g = \dot{Q}_ç + \sum \dot{m}_ç h_ç \quad (6.21)$$

$$\begin{aligned} 300 + 1,75 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 2774 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 3,44 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \times 70^\circ\text{C} \\ + 0,15 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,28 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \times 70^\circ\text{C} + 1,5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 70^\circ\text{C} \\ = 3,44 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \times 100^\circ\text{C} + 0,15 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,28 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 100^\circ\text{C} \\ + 1,75 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 504 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + 1,5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 2665 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ + 0,38 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 2665 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + 30 \text{ kW} + \dot{Q}_{k2} \end{aligned}$$

$$Q_{k2} = 475 \text{ kW} \quad (6.22)$$

Kurutma 2 kısmındaki koşullar kurutma 1 kısmında olduğu gibidir. Ancak bu kısımda izolasyon yüzeyi 320 m² dir. Bu kısımda buhar giriş basınçları daha fazladır.

6.16 Malsarıcı



Şekil 6. 45 Malsarıcı sistem sınırı

$$Q + \sum m_g h_g = W + \sum m_c h_c \quad (6.23)$$

$$455 \text{ kW} + 3,44 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 373 \text{ K} \\ = 3,44 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 343 \text{ K} + 31 + Q_{mkay}$$

$$Q_{mkay} = 384 \text{ kW} \quad (6.24)$$

Kağıtta bulunan ısı, ebatlamada ve depoda durduğu süre boyunca çevreye iletilen ısı enerjisidir. Malsarıcı sistem sınırlarının içine bobin kesme ve depolama alanı dahildir.

6.17 Arıtma

Arıtma Geri dönüşüm hurda kağıttan kağıt üretimi kapan fabrikalarda genellikle aerobik arıtma yapılır. Aerobik arıtma ile birlikte anaerobik arıtma sistemide

kullanılabilir. Aerobik arıtma sisteminde enerji tüketiminin büyük bir bölümü biyolojik aktiviteyi sağlamak için biyolojik havuzlara oksijen tedarihinde olur. Biyolojik arıtma için gerekli oksijen miktarı en az 2 mg/l'te 3.5 mg/l'te kadardır. Bu oran suda çözünmüş oksijen miktarıdır. Sisteme oksijen vermek için kullanılan ekipmanlar jet aeratörler, dikey aeratörler ve difüzör sistemidir. Genelde en çok kullanılan sistem verimlilik açısından şatlara göre değişmek üzere difüzör sistemidir. İncelenen kağıt fabrikasında oksijen verme ekipmanları jet aeratörler ile yapılmaktadır. Verimlilikleri düşük, enerji tüketimi yüksektir.

Arıtma tesisi biyolojik arıtma bölgesinde biyolojik yaşamın devam edebilmesi için suya verilen oksijenin çözünürlüğü yaz ve kış aylarında belirgin farklılık göstermektedir.

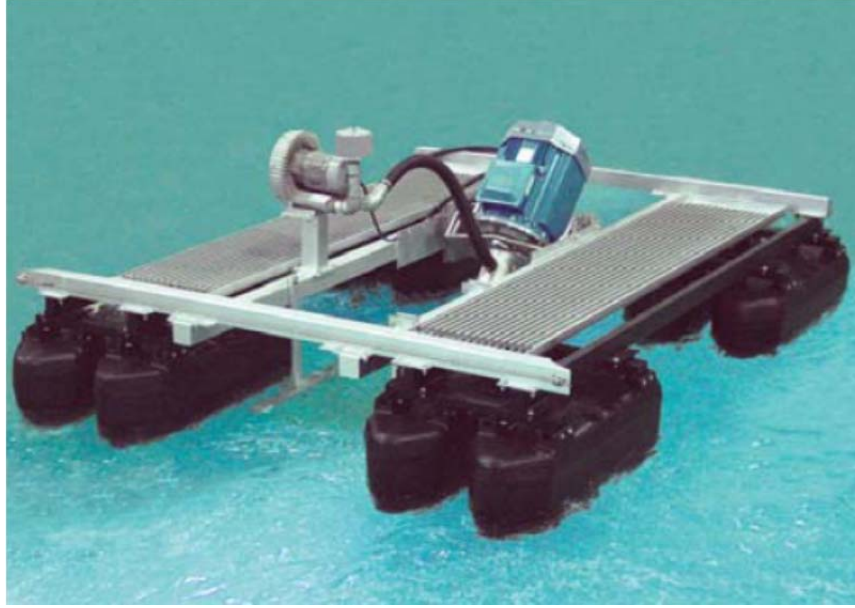
Bunun nedeni soğuk suda oksijenin daha fazla çözünme esastından ileri gelir. Kağıt üretim tesislerinde Sistem için temiz su gereklidir. Günümüzde tamamen kapalı sistemler geliştirilmeye çalışılsada ve sistem kapalı olsada buharlaşma nedeni ile sistemden eksilen suyun tamamlanması gerekmektedir.

Sistemin içine dahil edilen bu suyun kaynağı ya kuyulardan yada barajlardan temin edilir. Kuyudan çekilen suyun sıcaklığı yaz ve kış aylarında değişebilir olmasının yanında çok fazla sıcaklık farkı oluşmaz. Kağıt üretim tesislerinin arıtma tesislerine gönderdiği suyun sıcaklığı yaklaşık olarak 30 derece civarındadır. Ancak dahada artabilir. Tesiste üretimde kullanılan suyun sıcaklığının 45 °C civarında olması istenir. Bunun nedeni eleğe serilen kağıt hamurundan suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak ve kurutma tesisinin verimliliğini arttırmak içindir. Bazı tesislerde pulper bölgesinde kağıdın daha iyi açılmasını sağlamak için pulperde kullanılan açma suyu buhar ile ısıtılarak açma veriminin artırılması sağlanmaktadır. Ancak bu uygulama hamurun içine su emmeyi önleyecek kimyasallar katılarak üretilen kraft türü kağıtları pulperde açarken yapılıır. Bunun yanında Kraft kağıtlar birincil elyaftan üretildikleri için elyaflar arası bağlar çok güçlüdür.



Şekil 6. 46 Biyolojik arıtmada jet aeratörle suyun hava verilerek karıştırılması

Yukarıdaki resimde temiz suda bir jet aeratörünün suya hava kabarcıklarını vererek nasıl karışım yapıldığı görülmektedir. Bu ekipman biyolojik arıtma sistemlerinde suya oksijen vermek için kullanılan yöntemlerden biridir. Diğer yoğun olarak kullanılan yöntemlerden başlıcası blowerlar vasıtası ile hava verilmesi ve bu havanın suya difüzörler vasıtası ile çok ince kabarcıklar halinde verilmesidir. Bu Sistem göreceli olarak jet aeratör sistemine göre daha verimlidir. Ancak her iki sistemdede suyun oksijen alabilirliği verimliliği arttıran en önemli etkidir. Su sıcaklığının yanında suyun içerisindeki askıda katı madde varlığında çözünmüş oksijenin suya geçmesini önleyen etkenlerden biridir. Ancak arıtma suları her zaman belli kirlilik oranına sahiptir ve o durumda oksijenin verimli olarak verilmesi gerekir.



Şekil 6. 47 Jet aeratör üstten görünüm.(AİRE-O2)

Kirliliğin belli bir seviyede olduğunu düşünürsek ve arıtma sisteminin temel amacının bu kirliliği gidermek olduğu varsayımı ile suyun sıcaklığını düşürebilirse arıtma suyunun daha az enerji ile oksijen alması sağlanabilir.

Bunun için soğutucu kompresör kullanmak kazanılan tasarruftan daha fazlasının kullanılacağı anlamına gelir. Sisteme alınan temiz suyu kullanıp bir eşanjör vasıtası ile arıtılacak suyun sıcaklığının düşürülebilirliğini hesaplamak 3 derece veya 5 derece sıcaklığı düşürülen suyun oksijen alabilirliğinin ne kadar etkilendiğini belirlemek fayda sağlar. Bu işlem aynı zamanda belli sıcaklıkta sistemde atılan ısının tekrar kazanılmasını sisteme giren suyun istenen çalışma sıcaklığına yakın sisteme girmesini sağlar.

Çizelge 6. 5 Oksijenin sıcaklığa göre çözünübilirlik tablosu.

Sıcaklı (°C)	Çözünebilen Oksijen mg/L	Sıcaklık (°C)	Çözünebilen Oksijen mg/L	Sıcaklık (°C)	Çözünebilen Oksijen mg/L
0	14.6	12	10.8	24	8.5
1	14.2	13	10.6	25	8.4
2	13.8	14	10.4	26	8.2
3	13.1	15	10.2	27	8.1
4	13.1	16	10	28	7.9
5	12.8	17	9.7	29	7.8
6	12.5	18	9.5	30	7.6
7	12.2	19	9.4	35	7.1
8	11.9	20	9.2	40	6.6
9	11.6	21	9.0	45	6.1
10	11.3	22	8.8	50	5.6
11	11.1	23	8.7		

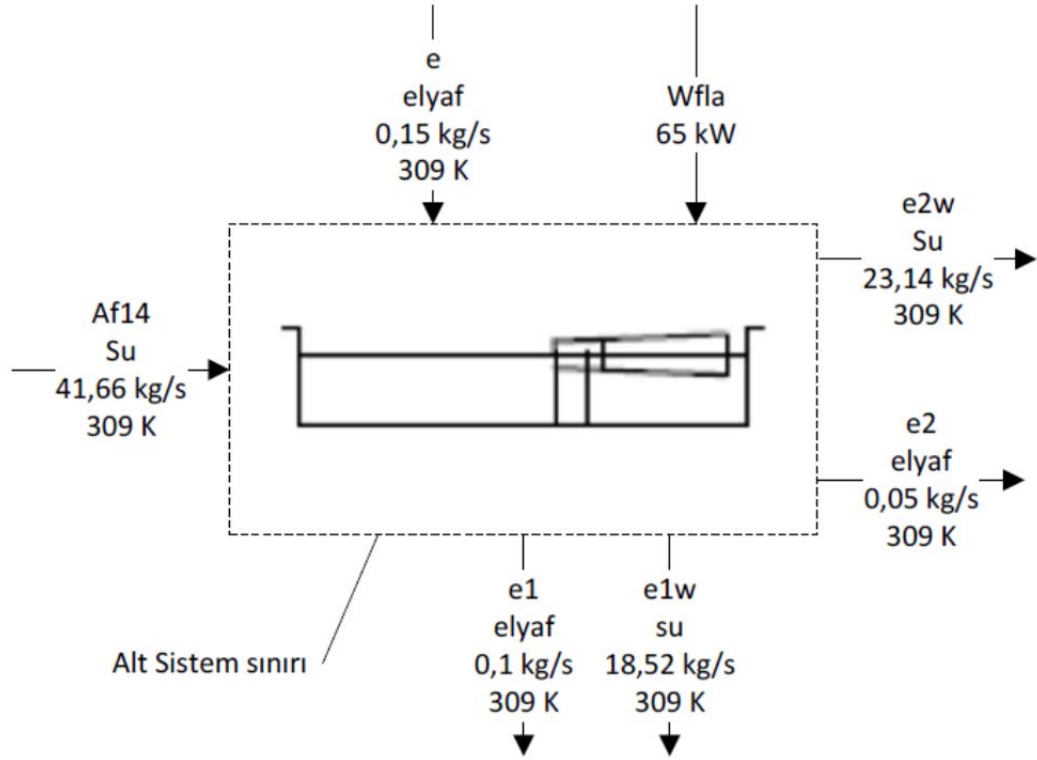
Kağıt arıtma tesisinde arıtılan suyun sıcaklığının 30 °C olduğunu düşündüğümüzde beş derecelik sıcaklık düşüşünün oksijenin çözünürlüğünü % 10 mertebelerinde arttırdığı görülmektedir [36]. Ancak kış aylarında Kağıt üretim tesisinin ortalama dış hava sıcaklığının yaklaşık 8 °C olduğu varsayılırsa kış sezonunda oksijenin çözünürlüğü % 25 mertebelerine çıkabilir.

Böyle bir yatırımın geri dönüş süresinin belirlenmesi ve sürenin 3 ya da dört yıl mertebelerinde çıkması yatırımın yapılabilirliğini ıspat edebilir. Bunun yanında yapılan bu yatırım arıtma tesisinin çalışma verimliliğini artırır ve bu nedenle yapılan üretim duruşlarının yatırım hesabına katılması daha doğru bir sonuç verir.

Arıtmada oksijensiz kalan bakterilerin yaşama süresi en fazla bir ya da iki gündür. Ölen bakterilerin canlandırılması için zaman gerekir yada bakteri beslemesi yapılır. Bakteriler belli bir maliyet ile tedarik edilir. En önemli ve göz önünde durulması gereken konu arıtılmış suyun kalitesi düşer ve deşarj yapılamaz duruma gelinir. Merkezi organize sanayi bölgelerinin bulunduğu bölgelerde kurulu üretim tesisleri belli AKM ve KOİ değerlerine göre arıttıkları sularını ana organize arıtma tesisine göndermek zorundadır. Bu istene değerlerin üstünde arıtılmış sular nedeni ile uygulanan cezai parasal yükler yatırımın geri dönüş süresini bir aya kadar indirebilir [58].

6.17.1 Flatasyon Bölümü

Kağıt fabrikasında proses akışkanı olarak su kullanıldığı için, hurda kağıt ve sistemde kullanılan kinyasallar nedeni ile belirli bir zaman sonra kullanılan suyun özellikleri kötüleşir ve tekrar kullanıldığında üretimde sorunlara neden olur.



Şekil 6. 48 Flatasyon sistem sınırı

$$Q + \sum m_g h_g = W + \sum m_c h_c \quad (6.25)$$

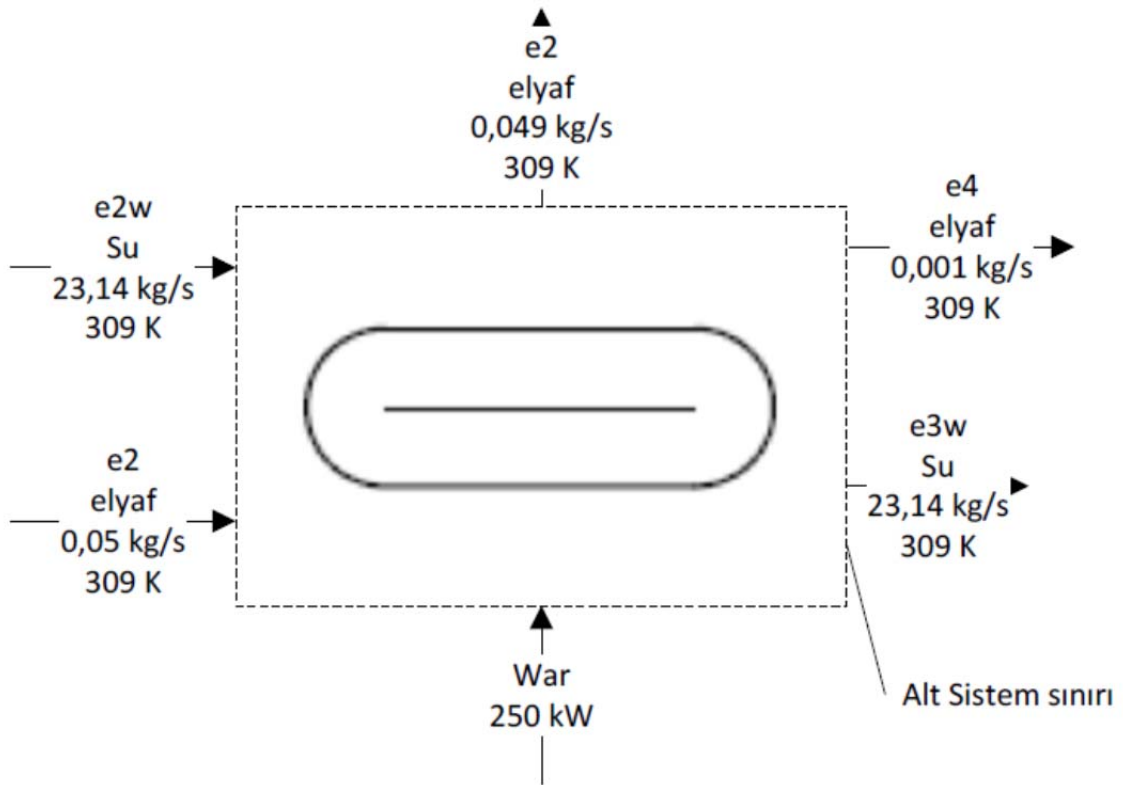
$$\begin{aligned}
 65 \text{ kW} + 0,15 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 309 \text{ K} + 41,66 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 309 \text{ K} \\
 = 0,05 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 309 \text{ K} + 0,1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 1,38 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 309 \text{ K} \\
 + 23,14 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 309 \text{ K} \\
 + 18,52 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 309 \text{ K} + 5 \text{ kW} + Q_{mfla}
 \end{aligned}$$

$$Q_{mfla} = 64 \text{ kW} \quad (6.26)$$

6.17.2 Biyolojik Arıtma Bölümü

Bunun ile birlikte üretim için sisteme bir miktar taze su alınması belirli koşullarda elzemdir. Bu nedenle bu suyu arıttıp deşarj etmek için biyolojik arıtma sistemi kullanılır. Bakterilerin yaşam döngüsünü belli bir seviyede tutmak için sisteme hava

dolayısıyla oksijen verilir. Arıtma bölgesindeki ençok enerji tüketimi bu esnada gerçekleşir. Ve arıtma belli bir miktar güç tüketir.



Şekil 6. 49 Biyolojik arıtma sistem sınırı

Biyolojik arıtmadan dışarı atılan ısı miktarı, kuyu suyu sıcaklığı ortalama 15 °C ve debisi 26,6 kg/s, arıtmaya giden suyun sıcaklığı ise 36 °C dir. Arasındaki fark 21 °C bulunur.

$$23,14 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \times 21 \text{ } ^\circ\text{C} = 2031 \text{ kW}$$

Sisteme alınan su kullanılarak biyolojik arıtmaya giren bu suyun soğutulması için planlanacak eşanjörün yaklaşık 2031 kW soğutma gücüne sahip olması gerekir. Uygulamada tamamen bu kapasiteye ulaşmak mümkün değildir. Ancak yinede uygulamada enerji tasarrufu sağlanabilir.

Çizelge 6. 6 Eşanjör maliyet analizi

Teorik soğutma kapasitesi	kW	2031
Eşanjör maliyeti	EUR	457.000
Yıllık ısı tasarrufu	EUR	215.400

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Geri kazanılmış kahverengi üretim yapan Fluting ve Testliner türünde kağıt üreten kağıt üretim tesislerinde prosesler kurutma kısmı hariç tamamen mekanik ve fizikseldir.

Çizelge 7. 1 Tesisin referans değerlere göre karşılaştırma tablosu

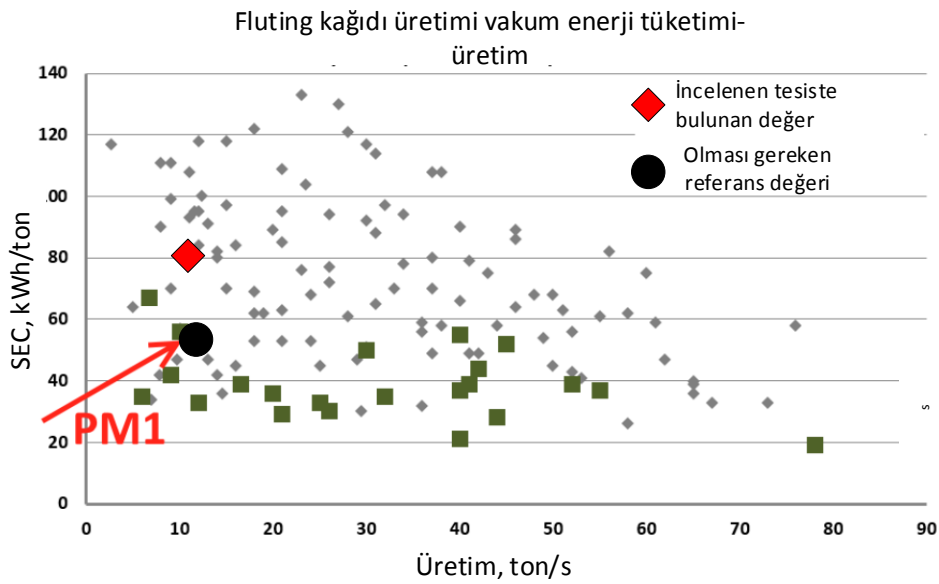
Yer	Alt proseslerde ısı kaybı kW	Proseslerde Elektrik tüketimi kW	İnceleme Elektrik kW/ton kağıt	Referans [1] Elektrik kW/ton kağıt
Pulper	13	506	42	25
Kaba Eleme	20	755	62	15
Santrifüj Temizleme	3	115	9,58	20
Elyaf Sınıflandırma	1	65	5,41	8
UzunElyaf Temizleme	0	210	17,5	20
Refiner	83	690	57,5	23-48
Elek Formasyon	157	1215	101	-yok
Presler	1	975	81	-yok
Kurutma 1	520	400	33	-yok
Film pres	5	350	29	-yok
Kurutma 2	475	300	25	-yok
Malsarıcı	384	445	37	-yok
Flatasyon	64	65	5,4	-yok
Biyolojik arıtma	2031	250	30	-yok

- Pulper rotorunun elyaflar arasındaki kimyasal bağları fiziksel olarak koparmak için harcanmaktadır. Bununla birlikte bu işlem yapılırken bir miktar elyaf kesilir ve parçalanır. Pulper bölgesinde verilmesi gereken mekanik enerji ile ölçülen mekanik enerji arasındaki farkın bir kısmı bu nedenle oluşur (Çizelge 7.1). Kayıp enerjinin diğer kısmı ise pulper ekipmanından çevreye atılan ısıdır. Pulper referans değerlere göre ton başına tüketilen enerjinin yüksek çıkmasının en önemli nedeni, pulper hacminin küçük olması sebebi ile pulperleme zamanının düşük olmasıdır. Hurda kağıt pulpere alındığında belli bir süre su ile temas etmeli ve suya karşı zayıf olan kimyasal bağları zayıflamalıdır. Bu süreçten sonra verilen mekanik enerji kağıdı elyaflara ayırmada çok daha verimli olmaktadır. Pulpere elyaf oluşturma için verilen mekanik enerjinin bir bölümünün hurda kağıdın içinde % 20 mertebelerinde bulunan kirliliklere harcanıp ısıya dönüşmesidir. Konvansiyonel düşük kesafet pulperleme bölümlerinde ton kağıda 22 - 25 kWh/ton enerji harcanır. Spesifik olarak enerji balansı yapılan bu pulperde bu miktar fazladır..

Güncel piyasa şartları ve Çin'in artan Hurda kağıt talepleri, Türkiye'deki toplama oranlarının % 50 mertebelerinde olması Avrupadan hurda kağıt ithaline ve bu ithal edilen kağıtların dahi kirlilik seviyelerinin artmasına neden olmuştur. Bertarafı belli bir ücret karşılığı yapılmaktadır. % 70 - 80 arasında nem oranına sahip bu atıklar kurutma işleminden ve bazı mekanik işlemlerden sonra satılabilir veya prosesi için gerekli olan enerjinin bir kısmı üretilebilir. Kurutma işleminde daha önce bahsettiğimiz kurutma bölümünden atılan ısı enerjisi kullanılabilir Bu uygulama 2016 yılında devreye giren tesisle bazı sorunlara rağmen Türkiye'de Modern Enerji tarafından yapılmaktadır.

- Bu alt proste temel amaç hamur içerisindeki büyük ve çok küçük kirliliklerin (Plastikler, kum, yapışkanlar vs) uzaklaştırılmasıdır. Bu proste tamamen mekanik enerji kullanılmaktadır. Ölçülen mekanik enerji ile bulunan mekanik enerji değeri arasındaki fark sistem sınırları içerisindeki ekipmanların yüzeylerinden çevreye olan ısı iletimi nedeni ile olmaktadır. Ton başına harcanan elektrik enerjisinin çok yüksek çıkmasının nedeni sistem sınırlarının içine farklı ekipmanlar dahil edildiği için olmuştur.

- Santrifüf temizlemede ölçülen ve bulunan mekanik enerji değerleri yaklaşık aynı bulunmuştur. Aralarındaki küçük fark ekipman gövdelerinden çevreye olan ısı transferi nedeni ile olmuştur.
- Elyaf ayırma sistemi referans değerler ile nispeten aynı seviyededir. İleride geliştirilebilecek yeni teknolojiler haricinde herhangi bir iyileştirmeye gidilmesine gerek yoktur.
- Elyaf öğütme sisteminde enerjinin bir kısmı çevreye ısı olarak, bir kısmı ise pulper bölgesinde olduğu gibi elyafların çok fazla parçalanması ve deforme olması nedeni ile oluşmuştur (Şekil 6.14). Elyaf öğütme prosesi kağıt hamuruna pulpere oranla daha fazla mekanik enerji iletir. Öğütme sistemine verilmesi gereken enerji öğütme sisteminin çıkışından alınan hamur numunesinin öğütüm derecesine göre belirlenir. Bu değer 48-36 SR° arasında olmalıdır (Çizelge 4.1). Bu değere ulaştıktan sonra verilen her fazla miktar enerji elyafları kırmaya neden olmakta ve paralel olarak elyaflara zarar vermektedir. Bunun optimizasyonu için öğütme sisteminin çıkışındaki öğütme derecelerini anlık ölçen ve motora verilmesi gereken enerjiyi anlık olarak belirleyen sistemler mevcuttur. Öğütme sistemine verilen bu mekanik enerjinin ısıya dönüşmesi sürtünmelerden dolayı kaçınılmazdır.
- Elek bölümündeki mekanik enerji kaybı bu tür kağıt üreten bir tesis için kabul edilebilir sınırların üstünde bulunmuştur.



Şekil 7. 1 Vakum bölgesi elektrik enerjisi tüketimi

Elekte suyu gidermek için kullanılan sıvı halkalı vakum pompalarının su halkalarını oluşturan su sisteminin belli bir sıcaklıkta olması gerekmektedir. Bu sıcaklık aralığı vakum pompaarının en düşük vakum aralığına göre belirlenir. Çünkü düşük vakumda suyun buharlaşma sıcaklığı düşer ve su halkasını oluşturmak için sağlana su eğer doğru sıcaklıkta değilse buharlaşır. Bu buharlaşma hem ısı kaybına neden olur hemde oluşan bu buhar vakum pompasının daha fazla enerji tüketmesine neden olur. Bu olumsuz durumu önlemek ve sistemi optimum noktada çalıştırmak için sıvı halkalı vakum pompaları yerine kademeli tek bir turbo blower sistemine geçilebilir. Bu kısmın ayrıntılı incelemesi yapılmıştır (Bölüm 6.7.1). Elde edilen bulgular yaklaşık 200 kW lık bir enerji tasarrufunun olabileceği yönündedir. Bu miktar enerji analizindeki farka eşittir.

- Pres kısmında bulunan değerler ve referans değerler uyumludur. Pres çıkışındaki kuru maddeyi arttırmak için incelemelerde pres çıkış geometrisinin değiştirilmesi uygun görülmüştür.
- Kurutma bölümünde enerji dengesinde çıkan fark negatif ve çok büyük çıkmıştır. Bu negatifliğin nedeni kurutma kısmındaki makine izolasyonundan ve kullanılan sıcak hava fanlarının kanallarından çevreye olan ısı kaybıdır (Şekil 7.1). Bunu önlemek için mevcut izolasyon ve çalışma şartları gözden geçirilip, yapılan izolasyondan daha verimli bir izolasyon sistemi düşünülmektedir. Kurutma sistem sınırlarından çevreye bir miktar buhar atılmaktadır. Bu işletmesel durumdan kaynaklanmaktadır. Bu ısı pulper ve kaba temizleme sisteminden dışarı atılan elyaf naylon gibi kirliliklerin daha fazla kurutulmasında kullanılabilir. Böylelikle yakmaya elverişli satılabilir bir atık oluşturulmasına sağlanır. Bu kayıp kazanca çevrilebilir.



Şekil 7. 2 Kurutma bölümü izolasyonu

- Film pres kısmında bulunan değerler referans değerleri ile aynıdır.
- Malsarıcı kısmında enerji verimliliğinin düşük olması kurutma sisteminden çıkan kağıdın ihtiva ettiği ısıya ortama verip soğuması nedeni ile oluşmaktadır. Proses türü nedeni ile bu kaçınılmaz olarak gerçekleşir.
- Arıtmaya giren su eşanjör yardımı ile soğutulabilir. Suyun soğuk olması oksijenin suda çözünmesini kolaylaştırır. Atılan su ve içeri alınan taze su ısı değiştiriciden geçirilerek, atılan bu suyun soğutulması sisteme oksijen sağlamak için harcanan enerjinin % 15 kadar az harcanmasına neden olur. Buradaki sorun bu özellikteki atık suyun ısı dönüştürücüyü tıkama ihtimalidir.

Çizelge 7. 2 Dünya Kağıt Fabrikaları Enerji Tüketimleri Ortalamaları [41]

İndeks		Bu çalışmada	Karton	Testliner	Fluting	Grikarton	Gazete kağıdı	Magazin kağıdı	Kraft kağıdı
Çalışma zamanı	%	93	93	94	94	93	93	93	94
Birinci kalite ürün	%	92	90	97	97	93	93	93	94
Makine verimi	%	89	84	91	91	87	92	79	91
Toplam buhar tüketimi	Kg/t	1,39	2	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	2.5
Elektrik	kWh/t	533	385	330	330	350	350	440	440
Toplam enerji tüketimi	GJ/t	4,16	5.8	5.8	5.8	7	5.8	6.4	7
Su tüketimi	m ³ /t	6,6	7.6	5.7	5.7	3.8	7.6	7.6	5.7
Sifon katı madde miktarı	%	20	25	27	27	NA	21	18	20
Pres katı madde	%	51	42	50	50	48	45	46	44
Film pres	%	-	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA
mamül rutubeti	%	7	5	7.5	8	7.5	7.5	5	7.5
Kurutma miktarı	Kgb/kgsu	1.23	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Kondens dönüş miktarı	%	115	80	80	80	80	80	80	80
Cep havalandırma	°C	78	78	78	78	78	78	78	78

Çalışmaya konu olan tesisin birim tüketimleri dünya ortalamalarına göre seyretmektedir. Ancak birim elektrik enerjisi tüketimi yüksek görülmektedir. Bunun nedeni referans değerinin hamur hazırlama bölgesi tüketimlerini hesaba katmamaları nedeniyle olduğu düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Fardim, P., (2011). Chemical Pulping Part 1, Fibre Chemistry And Technology, Paperi ja Puu Oy, Finland.
- [2] Tikka, P., (2008). Chemical Pulping Part 2, Recovery Chemicals And Energy, Paperi ja Puu Oy, Finland
- [3] Plomion, C., Leprovost, G. ve Stokes, A., (2001). "Wood Formation in Trees", Plant Physiol, 127:25..
- [4] Paulapuro, H., (2000). Paper And Board Grades, Fapet Oy, Finland
- [5] Söderhjelm, L., (1999). Pulp And PAper Testing, Fapet Oy, Finland.
- [6] Kotas, T.J., (1995). The Exergy Method Of Thermal Plant Analysis, Krieger Publishing Company, Florida.
- [7] Som, S.K. ve Datta, A., (2008). "Thermodynamic Irreversibilities And Exergy Balance in Combustion Process", Combustion Science, 351-356.
- [8] Dincer, İ. ve Rosen, M.A., (2003). Exergy, Second Edition, Elsevier, Ontario.
- [9] Ahmadi, P. ve Dinçer, İ., (2011). "Thermodynamic And Exergoenvironmental Analysis And Multi-Objective Optimization Of A Gas Turbine Power Plant" , Applied Thermal Engineering, 1-12.
- [10] Moran, M.J., Shapiro, H.N., Boettner, D.D., ve Bailey, M.B., (2015). Mühendislik Termodinamiğinin İlkeleri, Palme Yayıncılık, Ankara.
- [11] Hua, WC., (2013). "The Case Study Of Energy Flow Analysis And Strategy in Pulp And Paper Industry", Siencedirect.
- [12] Szargut, J., Morris, DR. ve Steward FR., (1988). Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes, Hemisphere Publishing Corp, New York.
- [13] Costa, V.A.F., (2016). "On The Exergy Balance Equation And The Exergy Destruction", Energy, 116: 824-835.

- [14] Gong, M., (2005). "Exergy Analysis Of A Pulp And Paper Mill", International Journal Of Energy Research, 29: 79-93.
- [15] Utlu, Z., Söğüt, Z., Hepbaşlı, A. ve Olcay, Z., (2006). "Energy And Exergy Analysis Of A Raw Mill In A Cement Production", Applied Thermal Engineering, Gages 2479-2489.
- [16] Kamate, S.C. ve Ganvati, P.B., (2009). "Exergy analysis Of Cogeneration Power Plants In Sugar Industries", Applied Thermal Engineering, 1187-1194.
- [17] Kaushik, S.C., Siva Reedy, V. ve Tyagi, S.K., (2011). "Energy And Exergy Analysis Of Thermal Power Plants: A Review", Renewable And Sustainable Energy Reviews, 1837-1872.
- [18] Saidur, K., Ahamed, J.U. ve Masyuki, H.H., (2010). "Energy, Exergy And Economic Analysis Of Industrial Boilers", Energy Policy, 38:2188-2197.
- [19] Szabo, L., Soia, A., Forstrom, J., Keranen, J.T. ve Hytonen, E., (2009). "A World Model Of Pulp And Paper Industry: Demand, Energy Consumption And Emission Scenarios To 2030", Environmental Science And Policy, 257-269.
- [20] Gong, M. ve Wall, G., (2016). "Exergy Analysis Of Supply Of Energy And Material Resources In The Swedish Society", Energies
- [21] Da Silva, R.J., Dasilva, J. ve Santos, A.R., (2007). "Flows Of Exergy In A Recovery boiler Of pulp And Paper Industry Using The Black Liquor As Main Fuel", 19 th International Congress Of Mechanical Engineering, Brasil.
- [22] Wall, G., (1986). "Exergy Flows In Industrial Process", Pergamon Journal.
- [23] Romaro, B. ve O'Connor, K., (2006). "Energy Efficient Paper Mill Process Water And Wasted Process Water Filtration For High Clarity Water for Reuse And Fiber Recovery", Final Report, Ontario.
- [24] Utlu, Z., ve Kincay, O., (2013). "An Assessment of A Pulp And Paper Mill Through Energy And Exergy Analyses", Energy, 57:565-573.
- [25] Sorgulu, F. ve Dincer, I., (2017). "Thermodynamic Analyses Of A Solar-Based Combined Cycle Integrated With Electrolyzer For Hydrogen Production", International Journal Of Hydrogen Energy, 1-13.
- [26] Şenol, B.O., (2004). Kağıt Atıkları Geri Kazanma Sistemlerinin İncelenmesi Ve Ekserji Analizinin Bir Sisteme Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [27] Hong, G.B., Ma, C.M., Chu, H.W., Chuang, K.J., Chang, T. ve Su, T.L., (2011). "Energy Flow analysis In Pulp And Paper Industry", Energy, 3063-3068.
- [28] Gemci, T., ve Öztürk, A., (1998). "Exergy Analysis Of A Sulfide-Pulp Preparation Process In The Pulp And Paper Industry", Energy, 39:16-18.
- [29] Khattak, H., Brown, N. ve Greenough, R., (2012). Suitability of Exergy Analysis For Industrial Energy Efficiency, Manufacturing And Energy Management, ECEE Conference Summer Study On Energy Efficiency In Industry, Finland.

- [30] Francis, B.W., Towers, M.T. ve Browne, T.L., (2002). Energy Cost Reduction in the Pulp And Paper Industry, Pulp And Paper Technical Association, Canada
- [31] Assari, M.R., Tabrizi, H.B., Najafpour, E., Ahmadi, A. ve Jafari, İ.,(2014). "Exergy Modelling And Performance Evaluation Of Pulp And Paper Production Process Of Bagasse, A case Study", Thermal Science, 18:1399-1412.
- [32] Suomalainen, L. ve Hyytiä, H., (2012). Energy Efficiency in Steam And Condensate Savings, ECEE Conference Summer Study On Energy Efficiency in Industry, Finland.
- [33] Laurissen, J., (2013).Energy Use in The Paper Industry, Doktora Tezi, Utrecht University, Nederland.
- [34] AF-Engineering AG., (2011). Energy consumption in The Pulp And Paper Industry-Model Mills Integrated Fine Paper Mill, Technical Report, Sweden.
- [35] Wu, Z., (2011)."Theretical Foundation For Energy Structure Adjustment", Modern Applied Science, 5:211-220.
- [36] Wadyalkar, S., (2010). Energy Management in Pulp And Paper Industry, Technical Report, India.
- [37] TIP 0404-07, (2000). Paper Machine Drying Rate, Tappi, Baskı, New York.
- [38] TIP 0404-17, (2001). Recommended Minimum Dryer Pocket Air Requirements, Tappi, Baskı, New York.
- [39] TIP 0404-24, (1994). Recommended Operation of Dryer Section Hood Air System, Tappi, Baskı, Chicago.
- [40] TIP 0404-25, (2000). Through Drying, Tappi, Baskı, New York.
- [41] TIP 0404-63, (2006). "Paper Machine Energy Conservation", Tappi Papermakers Conference", January 5, 2011, Tappi, Oregon.
- [42] Koper, G.J.M., Kjelstrup, S., Van De Ven, T., Sadeghi, M. ve Douglas, W.J.m., (2007). "Entropy Production For Cylinder Drying Of Linerboard And Nesprint", Heat And Mass Transfer, 1344-1355.
- [43] Mateos-Espiel, E., (2009). Development Of A strategy For Energy Efficiency Improvement in Kraft Process Based On Systems Interaction analysis, Doktora Tezi, Ecole Polytechnic, Montreal.
- [44] Ghodbanon, G., Alizadeh, R. ve Shafiei, S.,(2017). "Optimization For Energy Consumption in Dryer Section Of Fluting Paper Machine", Thermal Science, 21:1419-1429.
- [45] Saville, F., (2009). Energy and Paper Recycling: An Investigation of Repulping, Doktora Tezi, BSc Mechanical Engineering, University of British Columbia.
- [46] Higham, R.R.A., (1968). A Handbook Of Paper Making, Business Books, London.
- [47] Wedel, GL. ve Timm GL., (2002). Drive Power And Torque in Paper Machine Dryers, Tappi Paper Summit, Atlanta

- [48] Tran, H. ve Vakkilainen, E.K., (2003). The Kraft Chemical Recovery Process, Pulp and Paper Universitat, Toronto.
- [49] Lumianien, J., (1992). "Refining recycled fibers: Advantages and Disadvantages", Tappi Papermakers Conference, Atalanta.
- [50] Lumianien, J., (2004). "Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End", 4:1-14, Finlandiya.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Cengiz ALTUNBAŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 07.12.1975 Almanya
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : cengiza@pehlivanoglukagit.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makina Mühendisliği	Y.T.Ü.	2000
Lise	Matematik	Hopa Lisesi	1992

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2018	Pehlivanoğlu Kağıt A.Ş.	Fabrika Müdürü
2006	Teverpan MDF	Makina Bakım Şefi
2002	Biomar Medikal(Roche)	Teknik Servis Sorumlusu