

154726

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAĞIT ATIKLARI GERİ KAZANMA SİSTEMLERİNİN
İNCELENMESİ VE EKSERJİ ANALİZİNİN BİR SİSTEME
UYGULANMASI

Mak. Müh. Barış Oben ŞENOL

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Olcay KINCA Y

Prof. Dr. Olcay Kincay O. Kincay
Doc. Dr. Galip Temir G. Temir
Prof. Dr. Eser Bolat E. Bolat

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
TEŞEKKÜR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	1
2. KAĞIT VE KAĞITÇILIK	5
2.1 Kağıdın Tanımı	5
2.2 Kağıdın Tarihçesi	5
2.3 Türkiye'de Kağıtçılığın Gelişimi	6
3. ATIK KAĞIT ve GERİ DÖNÜŞÜM	8
3.1 Atık Kağıt Kaynakları	8
3.2 Atık Kağıt Türleri	9
3.3 Atık Kağıt Toplama Sistemleri	11
3.4 Dünyada ve Ülkemizde Atık Kağıt	12
3.5 Kağıdın Geri Dönüşüm Limitleri	13
4. MÜREKKEP GİDERME SİSTEMLERİ	15
4.1 Mürekkep Giderme	15
4.2 Mürekkep Giderme Yöntemleri	16
4.2.1 Yıkama Prosesi	16
4.2.2 Flotasyon (Yüzdürme) Prosesi	18
4.2.3 Yıkama ve Yüzdürme Proseslerinin karşılaştırılması	20
4.2.4 Basınç Altında Mürekkep Giderme (Pressure Deinking Module)	20
4.3 Mürekkep Giderme İşleminde Kullanılan Kimyasal Maddeler	22
4.3.1 Sodyumhidroksit (NaOH)	22
4.3.2 Sabun	22
4.3.3 Kalsiyum Tuzları	23
4.3.4 Yüzey Aktif Maddeler	23
4.3.5 Hidrojenperoksit (H ₂ O ₂)	23
4.3.6 Kompleks Oluşturucular	24
4.3.7 Fosfat, Karbonat, Borat	24
5. HAMUR HAZIRLAMA	24
5.1 Pulper	25
5.2 Sortir Eleklere	27
5.2.1 Sortir Teorisi	27

5.2.2	Sortir Kapasitesi	28
5.2.3	Döner Elekler.....	28
5.2.4	Kapalı Basıncılı Sortirler (Selektifier).....	29
5.3	Kum Tutucular (Siklonlar)	32
5.3.1	Kum Tutucuların Kademeli Olarak Kullanılması	34
5.3.2	Giriş Basıncı ve Kesafetin Siklon Verimine Etkisi	36
5.4	Hamurdan Havanın Giderilmesi.....	38
5.5	Rifayner (Öğütücü).....	39
5.5.1	Konik Rifayner	39
5.5.2	Diskli Rifayner	40
6.	MAKİNA DAİRESİ.....	41
6.1	Hamur Kasası	41
6.2	Sonsuz Elek Kağıt Makinesi (Yaş Kısım).....	44
6.3	Pres Ünitesi.....	49
6.3.1	Emici Silindirden Pres Kışımına Transfer.....	49
6.3.2	Presleme İşlemi	50
6.3.3	Pres Keçeleri.....	52
6.4	Kurutma Ünitesi	53
6.5	Kalender	56
6.6	Mal Sarıcı	57
7.	İZMİT SEKA SELÜLOZ VE KAĞIT FABRİKASI'NIN EKSERJİ ANALİZİ ..	57
7.1	Termodinamiğin Birinci Kanunu	57
7.2	Termodinamiğin İkinci Kanunu	58
7.3	Ekserji Kavramı.....	61
7.3.1	Değişik Enerji Türlerinin Ekserjileri	62
7.3.2	Akışlı Sistemler	63
7.4	İzmit SEKA Selüloz ve Kağıt Fabrikası 3.Kağıt Tesisi	65
7.5	Pulper.....	66
7.6	Sortir Eleği.....	69
7.7	Kum Tutucu.....	71
7.8	Rifayner	74
7.9	Hamur Kasası	76
7.10	Sonsuz Elek	78
7.11	Pres Ünitesi.....	80
7.12	Kurutma Ünitesi	82
8.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	85
	KAYNAKLAR.....	87
	ÖZGEÇMİŞ.....	89

SİMGE LİSTESİ

a	Elekteki açık alanların tüm alana oranı
c	Özgül ısı (kJ/kg .K)
E	Enerji (kJ)
ΔE	Toplam enerji değişimi (kJ)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
h	Birim kütle için entalpi (kJ/kg)
H	Toplam entalpi (kJ)
I	Tersinmezlik (kJ)
ke	Birim kütle için kinetik enerjisi (kJ/kg)
KE	Toplam kinetik enerji (kJ)
ΔKE	Toplam kinetik enerji değişimi (kJ)
m	Kütle (kg)
P	İhtimal (%)
pe	Birim kütle için potansiyel enerjisi (kJ/kg)
PE	Toplam potansiyel enerji (kJ)
ΔPE	Toplam potansiyel enerji değişimi (kJ)
Q	Sistem sınırından olan net ısı geçişi (kJ)
r_p	Partikül yarıçapı (m)
r_s	Elek deliklerinin yarıçapı (m)
s	Birim kütle için entropisi (kJ/kg .K)
S	Toplam entropi (kJ/K)
S_{ur}	Toplam entropi üretimi (kJ/K)
T	Sıcaklık (K)
T_0	Çevre sıcaklığı (K)
u	Birim kütle için iç enerjisi (kJ/kg)
U	Toplam iç enerji (kJ)
ΔU	Toplam iç enerji değişimi (kJ)
v	Hız (m/s)
W	Sistem sınırından olan net iş (kJ)
W_{tr}	Tersinir iş (kJ)
W_y	Yararlı iş (kJ)
z	Yükseklik (m)
η_I	Birinci kanun verimi
η_{II}	İkinci kanun verimi
θ	Birim kütle için toplam enerjisi (kJ/kg)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Kullanım oranının elyafın yaşam döngü sürecine olan etkisi	14
Şekil 4.1 Yıkama yöntemiyle mürekkep giderme akım şeması	16
Şekil 4.2 Ters akışlı yıkama sistemi	17
Şekil 4.3 Flotasyon prosesi.....	18
Şekil 4.4 Escher-Wyss FZ -1 Flotasyon Hücresi.....	19
Şekil 4.5 Basınç altında mürekkep giderme	21
Şekil 5.1 Hamur hazırlama akım şeması	24
Şekil 5.2 Pulper	26
Şekil 5.3 Selectifier kesiti.....	30
Şekil 5.4 Temassız kazıyıcıların ayarlanması	31
Şekil 5.5 Centrisorter kesiti	31
Şekil 5.6 Kum tutucu.....	32
Şekil 5.7 Siklon verim eğrisi	33
Şekil 5.8 Siklonların kademeli olarak kullanılması.....	34
Şekil 5.9 Baurvac sistemi	35
Şekil 5.10 Stockpower cihazı	36
Şekil 5.11 Giriş basıncının siklon verimine etkisi.....	37
Şekil 5.12 Hamur giriş kesafetinin siklon verimine etkisi	37
Şekil 5.13 Dekülatör sistemi	38
Şekil 5.14 Morden rifayneri	39
Şekil 5.15 Claflin rifayneri.....	40
Şekil 5.16 Diskli rifayner	41
Şekil 6.1 Akım şeması.....	41
Şekil 6.2 Hamur kasası.....	42
Şekil 6.3 Yaş kısım.....	44
Şekil 6.4 Deflektörler	46
Şekil 6.5 Drenaj levhaları.....	47
Şekil 6.6 Elek örgüleri.....	48
Şekil 6.7 Açık kaldırma.....	50
Şekil 6.8 Presleme işlemi	51
Şekil 6.9 Üst ve alt kurutma kısımları.....	54
Şekil 6.10 Kurutma silindirlerinde yoğuşma oluşum şekilleri	55
Şekil 6.11 Kalender	56
Şekil 6.12 Mal sarıcı.....	57
Şekil 7.1 Kapalı sistem.....	60
Şekil 7.2 Açık sistem.....	60
Şekil 7.3 Kararlı, tersinir, kapalı sistem	62
Şekil 7.4 Kararlı, tersinir, açık sistem	63

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Kağıt-karton kapasitesinin ülkemiz bölgelerine göre dağılım	7
Çizelge 2.2 Kağıt-karton alt gruplarının sektördeki üretim payları	7
Çizelge 3.1 Bazı ülkelerdeki atık kağıt geri kazanma ve kullanım oranları.....	13
Çizelge 8.1 Sistemin enerji ve ekserji analiz sonuçları	85



TEŐEKKÖR

Çalıőmamn gerçekleőmesinde bana yardımcı olan Sayın Hocam Prof. Dr. Olcay Kıncay'a teőekkÖrlerimi sunarım. Ayrıca İzmit SEKA SelÜloz ve Kağıt Fabrikası'nda yaptığım araştırmalarda her tÖrlÖ kolaylığı gösteren Kimya MÖh. GÖray GÖrően'e , Kimya MÖh. Yasin Uzman'a, değerli arkadaőım Çevre MÖh. Selahattin Tabakođlu'na ve eğitimim boyunca bana destek olan sevgili aileme teőekkÖrÖ bir borç bilirim.



ÖZET

Kağıt ve karton gibi değerlendirilebilir atıklar çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra hammaddeye veya ürüne dönüştürülür. Atıklar, ikinci bir hammadde olarak üretim sürecine sokulduğunda “geri dönüşüm” gerçekleşir. Atık kağıt kullanımı, ormanların korunmasındaki rolü dışında hava ve su kirliliğinin önlenmesine de katkı sağlamaktadır. Selüloz tesisi, yatırım ve işletme maliyetinin yüksek olması ve çevre bilincinin güçlenmesi kağıt endüstrisini atık kağıtların hammadde olarak tekrar kullanılmaya yöneltmiştir.

Bu çalışmada; atık kağıt geri kazanım sistemleri incelenmekte ve İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'nın ekserji analizi yapılmaktadır. Araştırma içerisinde; atık kağıtların sınıflandırılması yapılarak, atık kağıtta istenmeyen maddeler incelenmektedir. Mürekkep giderme yöntemleri araştırılarak, proseste kullanılan kimyasal maddeler gösterilmektedir. Geri dönüşümlü kağıt üretiminde ilk olarak hamur hazırlama işlemi ele alınmaktadır. Burada atık kağıtlar harmanlandıktan sonra pulperde liflerinin açılması, açılan liflerin eleklerden geçirilerek temizlenmesi, rifaynerde öğütülmesi incelenmektedir. Kağıt hamuru hazırlandıktan sonra kağıt üretiminde kullanılan sonsuz elek kağıt makinesi, presleme ve kurutma silindirleri araştırılmaktadır. Ayrıca İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'nda yapılan analizlerde enerji ve ekserji kayıpları incelenmektedir.. Prosesin termodinamiğin ikinci kanunu analizi yapılarak ikinci kanun verimleri hesaplanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Geri dönüşüm, atık kağıt, enerji, ekserji, mürekkep giderme.

ABSTRACT

Recycling waste like paper and carton, changes into raw material or product by physical and chemical process. When waste is used as second raw material, recycling occurs. Using waste paper decreases air and water pollution in addition to taking part of forest protection. Paper industry turns towards using waste paper as raw material, because of the high level of investment and enterprice cost of cellulase establishment and being strengtened of environment consciousness.

In this work, paper recycling systems have been examined and İzmit SEKA Paper and Cellulase Factory's exergy analysis has been made. In the research, classification of waste paper has been made and harmful materials in the content of waste paper have been examined. Deinking methods have been observed and chemical materials that are used in deinking process are shown. Firstly, preparation of pulp has been observed in production of paper recycling. In this part, after waste paper has been blended, fiber fractionation in pulper, fiber cleaning in sieve, grinding in rifayner have been examined. After pulp preparation unit, eternal sieve, pres unit and drying roller unit have been observed. Besides, loss of energy and exergy has been examined in the analysis that has been made in İzmit SEKA Paper and Cellulase Factory. The analysis of the second law of thermodynamics has been made in process and output of the second law has been examined.

Keywords: Recycling, waste paper, energy, exergy, deinking.

1. GİRİŞ

Dünya hızlı bir şekilde yıpratıcı bir gelişim sürdürmektedir. Doğal kaynaklar hızla tükenmekte ve ekolojik denge bozulmaktadır. Bu durum sebebiyle geri kazanma yöntemleri zorunlu ve istenilen bir durum haline gelmiştir.

Kağıt ve karton gibi değerlendirilebilir atıklar yeni bir hammadde veya ürün haline getirilebilir. Bu atıkların birtakım işlemlerden geçirildikten sonra ikinci bir hammadde olarak üretim sürecine sokulmasına “geri dönüşüm” denir.

Kağıt yapımında kullanılan selülozun hammaddesi odun veya yıllık bitkileridir. Dünyada kağıt tüketimine olan gereksinimin artması buna karşın odun, saman, pamuk v.b. doğal kaynakların azalması, kağıt üreticilerinin atık kağıt kaynağına yönelmesini zorunlu kılmıştır

Bu çalışmada geri dönüşümlü kağıtların tanımı, gerekliliği, kullanım alanları ve atık kağıt geri kazanım sistemleri araştırılmış ve İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'nın ekserji analizi yapılmıştır.

1.1 Literatür Araştırması

Atık kağıtların geri kazanımı konusunda dünyada pek çok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Axelsson, H. (2000); kağıt ve plastik geri kazanımının karşılaştırılması konusunda çalışma yapmıştır. Araştırmalarında kağıt geri dönüşümünün, plastik geri dönüşümüne göre daha büyük oranlarda olduğunu saptamıştır. Bunun sebebi plastik geri kazanımının maliyetinin yüksek oluşudur. Kağıt ise en çok geri kazanılan maddedir. Kağıdın geri kazanılması atık kağıt elde edilmesi ve işletme maliyeti açısından daha ekonomiktir. 2000 yılında A.B.D.'de %41,7 kağıt geri kazanımına karşın, plastik geri kazanımı %5,2' dir.

Berglund, C. ve Söderholm, P. (2003); gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde atık kağıtların elde edilmesi ve atık kağıtlardan maksimum düzeyde yararlanılması konusunda çalışmışlardır. Yapılan analizlerde atık kağıt kullanılabilirlik değerleri elde edilmiştir. Araştırmalarda çoğu ülkelerde atık kağıtlardan yararlanma olanakları ile geri dönüşüm değerlerinin birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılık ülkelerin dışardan atık kağıt ithal etmeleri sebebiyle oluşmaktadır. Yapılan incelemelerde gelişmekte olan ülkelerin atık kağıtları daha çok yurt dışına ihraç ettikleri ve buna bağlı olarak da geri dönüşüm oranının düşük olduğu görülmüştür. Diğer taraftan gelişmiş ülkelerde ise atık kağıtlar ithal edilmektedir ve bu yüzden yurtiçindeki atık kağıtların kullanım oranı düşüş göstermektedir. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerdeki odun ve atık kağıt hamuru kullanımları araştırılmıştır. İstatistiksel

çalışmalarda son 10 yıl içinde odun selülozu kullanımının sabit bir değerde kaldığı, buna karşın atık kağıt kullanımının arttığı görülmüştür. Kağıt talebindeki artışın kağıt geri kazanımıyla karşılandığı saptanmıştır.

Bormett, D.W.; Sutherland, N.R.; Fatah, A. ve Kunar, R. (1998); hologramlardan posta pulu üretilmesi üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında A.B.D. posta servisi için geliştirilen geri dönüşüm prosesini kullanmışlardır. Hologramların atık kısmını alüminyum parçaları oluşturmaktadır. Bu kısımlar temizleyicilerde ve flotasyon prosesıyla uzaklaştırılmıştır. Alüminyumun yüksek konsantrasyonda olması durumu herhangi bir problem yaratmamıştır. Geri dönüşüm prosesinde en önemli işlemin flotasyon olduğu belirtilmiş ve üretilen posta pullarında hiçbir olumsuz etki görülmemiştir. Araştırmalar sonucunda hologramların kağıt üretiminde kullanılabileceği saptanmıştır.

Ekwall, T. (1999); kağıt geri kazanımının yaşam döngüsüne olan etkilerini araştırmıştır. Yapılan çalışmalarda kağıt geri kazanımının ağaçlandırmanın artırılması ve enerji tasarrufu gibi önemli etkileri gösterilmiştir. Atık kağıt ve odun hamurundan kağıt üretimi karşılaştırılmış ve araştırmalar sonucunda geri dönüşümün elektrik ve yakıt tasarrufu ile atık madde bakımından avantaj sağladığı gösterilmiştir. Atık kağıt kullanımı hem hammadde maliyeti olarak, hem de enerji tasarrufu açısından daha ekonomiktir.

Huhtala, A. ve Samakovlis, E. (1999); atık kağıt geri kazanımının Avrupa ülkelerindeki durumunu incelemişlerdir. Ayrıca yapılan çalışmalarda odun selülozu ile atık kağıttan üretilen kağıtların lif yapıları araştırılmıştır. Atık kağıttan üretilen kağıtların odun selülozundan üretilen kağıtlara kalite yönünden yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Avrupa ülkelerindeki atık kağıt kullanım oranları saptanmış ve grafiksel halde gösterilmiştir. Yapılan analizler kağıt geri dönüşüm oranlarının hızla arttığını görülmüştür. Bu konuda Almanya ilk sırada yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda ayrıca ekonomik yönden analiz yapılmış ve atık kağıt geri kazanımının ülke ekonomilerine getirdiği faydalar ortaya konmuştur.

Kibat, K.D. (2000); atık kağıtların kullanılabilirliği üzerine araştırma yapmıştır. Yaptığı çalışmalarda atık kağıtların lif yapılarını incelemiş ve mürekkep giderme işleminin kağıt üzerindeki etkilerini göstermiştir. Yaptığı deneylerde kağıdın mürekkebinin gidermek için alkali bir ortam oluşturmuş ve alkali-asidik flotasyon prosesinin kağıtların beyazlatılmasında iyi sonuç verdiğini saptamıştır.

Krauthauf, E. (2000); geri dönüştürülen kağıtların kalitesini ve kağıtların geri dönüştürülebilirliğinin artırılabilmesi için çalışmalar yapmıştır. Araştırmalarını INGEDE ve International Deinking Research Assosiation şirketlerinde gerçekleştirmiştir. Atık kağıtlar

üzerinde yapılan çalışmalarda mürekkep ve yapışkan maddelerin kağıtların geri dönüşümüne etkileri gösterilmiştir. Yapılan deneyler ile kağıdın iyi bir pulping sistemi ile geri dönüşürlüğünün artırılacağı ve mürekkep ile yapışkan maddelerin etkilerinin minimuma indirileceği gösterilmiştir. Pulping işleminde değişik sıcaklıklarda deneyler yapılmış yüksek sıcaklıklarda kağıdın lif yapısının bozulduğu, düşük sıcaklıklarda ise lif açma işleminin zorlaştığı belirtilmiştir.

Lönnstedt, L. ve Byström, S. (1997); kağıt geri dönüşümünün çevresel ve ekonomik etkileri konusunda çalışma yapmışlardır. Araştırmalarında kağıt üretimdeki yağ, katı yakıt kullanımı, CO, CO₂, NO₂ ve S emisyon değerleri ölçülmüştür. Atık kağıt kullanımıyla sağlanan enerji tasarrufu gösterilmiştir. Atık kağıt kullanımı ısıdan büyük oranlarda tasarruf sağlamaktadır. Çünkü odun kullanılarak yapılan üretimlerde yüksek ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Buna karşın atık kağıtların yüksek ısı enerjisi kullanımını gerektirmediği gösterilmiştir.

Lundmark, R. (2001); hammadde olarak atık kağıt kullanımının Avrupa kağıt endüstrisindeki durumu konusunda çalışma yapmıştır. Yapılan araştırmalarda Avrupa ülkelerindeki kağıt tesislerinde hammadde olarak atık kağıt kullanımının giderek arttığı belirtilmiştir. Bunun sebebi olarak da atık kağıt kullanımının ekonomik bir işlem olduğu ve çok daha düşük maliyetlerde kağıt üretilebildiği gösterilmiştir. Ayrıca atık kağıttan üretilen hamurdaki liflerin özelliklerini arttırmak için çalışmalar yapılmıştır. Çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak daha kararlı lif yapıları elde edilmiştir.

Park, J. ve Park, K. (2000); geri dönüştürülen kağıtların fiziksel özelliklerinin artırılması konusunda çalışma yapmışlardır. Yapılan deneylerde sodyum hidroksit ve polietilen oksit kullanılmıştır. Deney sonuçlarında hamurun parlaklığı, beyazlığı, lif uzunlukları ve yüzey gerilimleri ölçülmüştür. Bu iki maddenin pulperde kullanılmasıyla çok iyi sonuçlar elde edilmiştir. Lif yapıları mikroskobik ortamda incelenmiş ve liflerin oluşturdukları bağ yapıları gösterilmiştir.

Pelach, M.A.; Pastor, F.J.; Puig, J.; Vilaseca, F. ve Mutje, P. (2002); eski gazete kağıtlarının mürekkep giderme işleminde, enzim olarak selülozun kullanılması konusunda çalışma yapmışlardır. Araştırmalarında selülozun mürekkep giderme işleminde diğer kimyasal maddelere göre daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. Ayrıca selüloz kullanılmasıyla liflerin kararlılığı artmakta ve böylece daha az enerji harcayarak lifler pulperde açılabilir.

Scott, G.M.; Abubakr, S. ve Klungness, J.H. (1999); atık kağıtlardan yararlanma olanaklarının artırılması ile geri dönüşüm işleminin olumsuz etkilerinin azaltılması konusunda çalışma yapmışlar ve atık kağıtlardan üretilen kağıtların tekrar hammadde olarak kullanılmasında

karşılaşılabilecek sorunları incelemiştir. Yapılan analizlerde, her geri dönüşümde kağıdın kararlılığının azaldığı ve lif boylarının kısaldığı saptanmıştır. Kağıdın en fazla dört defa geri dönüştürülebileceği ve dördüncü geri dönüşümden sonra lif boylarının çok fazla kısaldığı ve kararlılıklarını kaybettiği gösterilmiştir.

Tucker, P.; Grayson, J. ve Speirs, D. (2000); atık kağıtların toplanması konusunda çalışma yapmışlardır. Araştırmalarında iki haftalık ve dört haftalık olmak üzere iki model üzerinde inceleme yapılmıştır. Dört haftalık model iki haftalık modele göre atık kağıtların toplanması konusunda % 63' lük bir artış sağlamıştır. Bu sistemle kağıt kayıplarının önlenmesi saptanmıştır.. Yapılan çalışmalar grafiksel veriler halinde gösterilmiştir.

Wright, S. (2000); geri kazanılan kağıtların kalitesi ve performansını konusunda çalışma yapmıştır. Araştırmalarında kağıt geri kazanımının zaman içindeki gelişimini göstermiş, geri dönüştürülen kağıtların kalitesinin zaman içinde arttığını ve şu anda geri kazanılan kağıtların, orijinallerinden ayırt edilemeyecek duruma geldiğini saptamıştır. Bugün gelinen noktada üretilen kağıtların Avrupa standartlarına uygunluğunu açıklamıştır.

Zauscher, S.; Scott, C.T.; Willett, J.L. ve Klingenberg, D.J. (1998); atık kağıtların geri kazanılmasıyla üretilen kağıtların lif yapılarını etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Değişik tipteki kağıtların lif yapıları incelenmiş ve lif uzunlukları saptanmıştır. Geri dönüşüm işlemi sırasında lif yapısının bozulmasını önlemek için optimum öğütücü basıncı ve öğütücü gücü hesaplanmıştır. Lif yapısı kağıdın kalitesini belirleyen bir özelliktir. Lif yapısı bozulduğu takdirde kağıdın sertliği kaybolmakta ve mukavemeti azalmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda çok kararlı hamur eldesinin homojen bir karışıma ve öğütücüye bağlı olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca hamurun homojen bir yapıda üretilebilmesi için uygun bir besleme, sıcaklık ve basınç değerleri saptanmış ve deneysel sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir.

Bu çalışmada; atık kağıt geri kazanım sistemleri araştırıldı ve İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'nın ekserji analizi yapıldı. Araştırma içerisinde; mürekkep giderme yöntemleri, atık kağıt hamurunun hazırlanması, yabancı maddelerin hamurdan uzaklaştırılması, öğütme, pres ve kurutma işlemleri incelendi. Ayrıca İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'nda yapılan analizlerde enerji ve ekserji kayıpları hesaplandı. Bulunan değerler doğrultusunda tesiste bu kayıpların kaynaklandığı noktalar saptandı ve bu kayıpların azaltılması için alınması gereken önlemler belirlendi.

2. KAĞIT VE KAĞITÇILIK

2.1 Kağıdın Tanımı (Avcı, 1994)

Kağıt; bitkisel liflerin özel alet ve cihazlarla dövülerek liflerin saçaklanması, su emerek şişmesi ve mekanik etkiler sonucu kesilmesinden sonra, süzgeç üzerinde keçeleşerek oluşturulan, sayfanın kurutulmasıyla hidrojen bağlarının oluşumuyla belirli bir sağlamlık elde edilen düzgün yüzeyli tabakadır. Diğer bir tanım ile kağıt; hamur durumuna getirilmiş türlü bitkisel maddelerden yapılan kuru ince yapraklıdır.

Kağıt yaşantımızda büyük önem taşır. Günlük olayları bize nakleden gazeteler, okuduğumuz kitaplar, yazdığımız mektupların hepsi kağıttandır. Kağıt sadece kültürel amaçlar için kullanılan bir araç değildir. Kağıdın endüstride de çok geniş kullanıma alanı vardır.

Kağıt ulusların uygarlık ve kültürel seviyelerinin yükselmesinde en önemli etkenlerden biridir. Bu nedenle fert başına kağıt tüketimi, bugün ulusların uygarlık düzeyini gösteren, diğer bir ifade ile ulusların kültürel ve endüstriyel gelişme durumunu belirten bir ölçü olarak kabul edilmektedir. Kağıt bilimin yayılmasında da en önemli araçlardan biridir.

Kullanılma maksatlarına göre çeşitli tiplerde kağıt üretilmektedir. Günlük yaşantımızda kağıdın yanında karton ve mukavvada kullanılmaktadır. Genel olarak kağıt, karton ve mukavvaların tanımında kullanılan en belirli özellik, 1 m²'lik sayfanın gram olarak ağırlığıdır. Bu özelliğe göre;

Kağıt	: 10-150	gr/m ²
Karton	: 150-400	gr/m ²
Mukavva	: 400-1200	gr/m ²

olarak tanımlanmaktadır.

2.2 Kağıdın Tarihi (Avcı, 1994)

Prehistorik çağda, mağaralarda yaşayan insanların günlük yaşantılarındaki olayların resimlerini mağara duvarlarına işlemelerindeki zorluk; resim yapabilecek düzgün yüzeylerin aranmasına sebep olmuştur. Bu ihtiyaç önceleri yassı kemik veya taşlarla giderilmeye çalışılmıştır.

Neolitik çağda, yerleşik hayata geçerek sulu tarımla yaşantısını sürdürmeyi başaran insanoğlu çeşitli şekildeki yazıların icadından sonra duygu ve düşüncelerini aktarmak için daha pratik ve kalıcı yüzeyleri aramaya başlamıştır. Bunlar; tahta, kurşun, tunç, fildişi satırları ve balmumu ile alçı sürülmüş levhalar olmuştur.

M.Ö. 4000 yıllarında Mısır'da Nil Nehri kenarlarında ve Mezopotamya'da gelişmeye başlayan insan gruplarında da o yöreye özgün olan yazı yazma materyalleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu materyaller; Mezopotamya'da çok bulunan, üzerine sivri bir çubuk ile basılmak suretiyle yazılar oluşturulan kil ve Nil Nehri kenarlarında yetişen papirüs bitkisidir.

Lifsel yapıdaki ilk kağıt örneği Çin'de geliştirilmiştir. Çin İmparatoru nazırlarından Tsai Lun M.S. 105 yılında askeri imalathanelerden yararlanarak kağıdı bulmuştur. Tsai Lun kağıt yapımı için ağaç kabuklarını, kendir liflerini ve bambu gövdelerini kullanmıştır. Kağıt yapım sanatı uzun süre Çinliler tarafından sır olarak tutulmuştur. Batıya 5.yy.'da ipek yolu kervanlarınca tanıtılmıştır. 751'de Semerkant'da, 794 yılında Bağdat'ta ve hemen akabinde Şam'da Kağıthaneler kurulmuştur. Kağıt imalatı 900 yılında Kahire'de, 1100 yılında Fas'ta, 1144 yılında ise Endülüs'de başlamıştır. Kağıt 1276'da ise İtalya'da üretilmeye başlanmıştır.

2.3 Türkiye'de Kağıtçılığın Gelişimi (Avcı, 1994)

İstanbul'un fethinde, şimdiki Kağıthane Köyü civarında bir kağıt imalathanesi bulunmaktaydı. III. Ahmet zamanında İbrahim Müteferrika tarafından kurulan ilk matbaa kurulunca kağıt ihtiyacı artmış ve bu matbaaya kağıt yetiştirmek amacıyla Yalova'da bir kağıthane kurulmuştur. Amasya'da bir kağıt imalathanesinin bulunduğu bilinmektedir. 1846 yılında İzmir Halkapınar ve 1890 yılında Beykoz Hamidiye Kağıt fabrikaları kurulmuştur. Ancak bu imalathaneler 1.Dünya Savaşı sırasında kapanmış, kağıt ihtiyacı yurtdışından temin edilmeye başlanmıştır. Bu durum 1933 yılına kadar devam etmiştir. Bu tarihte selüloz ve kağıt fabrikasının kurulması planlanmış ve 1934 yılında Sümerbank'a bağlı "Kağıt ve Karton Fabrikası" adı altında bir tesis kurulması kararlaştırılmıştır.

18 Nisan 1936'da İzmit Kağıt Fabrikası'nda ilk kağıt üretilmeye başlanmıştır. İzmit Kağıt Fabrikası 1955 yılına kadar Sümerbank'a bağlı "Selüloz Sanayi Müessesesi" adı altında faaliyetine devam etmiştir. Bu tarihten sonra Türkiye Selüloz ve Kağıt Fabrikaları İşletmesi Genel Müdürlüğü – SEKA adıyla müstakil bir iktisadi devlet teşekkülü haline getirilmiştir. 1970 yılında SEKA'nın Aksu (Giresun), 1971 yılında Dalaman (Muğla), 1979'da Çay (Afyon), 1981'de Balıkesir, 1983 de Silifke, 1984'de Taşköprü (Kastamonu) tesisleri faaliyete geçmiştir. 1983 yılında Sümerbank'a bağlı Bolu Lamine ve Lif Levha Müessesesi SEKA'ya devredilmiştir.

Türkiye'de özel sektör 1958 yılına kadar kağıt sanayinde önemli bir yer işgal etmemekteydi. Bu tarihten sonra ve özellikle 1970 yılından itibaren özel sektörde hızlı bir gelişme gözlenmiştir. Özel sektörde üretim ilk yıllarda eski kağıda dayalı ve ekseriya gri karton

üretimi yapılırken 1970 yılından itibaren üretim cinslerinde değişme olmuştur. Bugün özel sektörde kaliteli karton, yazı tabi kağıtları ve sıhhi kağıt üretimi yapılmaya başlanmıştır.

Çizelge 2.1 Kağıt-karton kapasitesinin ülkemiz bölgelerine göre dağılımı (2002)

Bölge	Fabrika Sayısı	Makine Sayısı	Toplam Kapasite ton/yıl	Dağılım %
Trakya-İstanbul	7	10	295.000	16,2
Marmara	6	16	522.886	28,7
B.Karadeniz	2	2	85.200	4,7
D.Karadeniz	1	1	82.500	4,5
Ege	9	10	317.000	17,4
İç Anadolu	6	7	130.500	7,2
Akdeniz	4	5	265.000	14,5
G.Doğu Anadolu	3	4	124.000	6,8
TOPLAM	38	55	1.822.086	100

Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi kapasitenin %45'i Trakya-Marmara Bölgesi'nde yoğunlaşmış durumdadır.

Kağıt-karton gruplarının uluslararası literatürde sınıflandırılması ve ülkemiz üretimindeki yüzdeleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.2 Kağıt-Karton alt gruplarının sektördeki üretim payları (2002)

Kağıt Türü	Üretim
Yazı Tabi Kağıdı	18,4
Gazete Kağıdı	7,2
Sargılık Kağıtlar	2,1
Temizlik Kağıtları	6,1
Kraft Torba Kağıdı	4,0
Oluklu Mukavva Kağıdı	43,2
Kartonlar	18,4
Sigara ve İnce Öz.Kağıtlar	0,6
TOPLAM	100

3. ATIK KAĞIT ve GERİ DÖNÜŞÜM

3.1 Atık Kağıt Kaynakları (SEKA Teknik Bülten, 2002)

Ülkemiz ormanlarının 2002'de toplam üretimi 20.013.000 m³ dür. Bunun 10.621.000 m³ ü yakacak, 9.392.000 m³ ü ise başta kağıt üretimi olmak üzere endüstride kullanılmaktadır. Kalkınma planı için yapılan etüdlere Orman Genel Müdürlüğü'nün odun arz projeksiyonlarından, diğer sektörlerde olduğu gibi kağıt sektörü için odun taleplerinin bir süre sonra karşılanamayacağı anlaşılmıştır. Kağıt ve karton için hammadde sıkıntısının ortaya koyduğu bu problemin çözüm yolları arasında şunlar mevcuttur:

1. Türkiye'nin orman alanının yaklaşık 2/3'ü bozuk nitelikte olup bu bölgeler gerçek orman haline getirilmelidir.
2. Çok kısa sürede yetişen okaliptüs türü ağaç plantasyonları oluşturulmalıdır.
3. Kağıt üretecek özel sektör Orman Kanunu'nun 57. maddesi uyarınca kendi ormanlarını yetiştirmelidir.
4. Yurt dışından gereken hallerde yonga ithal edilmelidir.
5. Kağıt üretiminde harman içindeki kısa elyaf yüzdesini artırıcı çalışmalar desteklenmelidir. Böylece atık kağıdın kullanım oranı artabileceği gibi pamuk ve haşhaş sapı ve diğer tarım artıklarından üretimde faydalanmak mümkün olacaktır.
6. Atık kağıt kullanımının yüzdesi artırılmalıdır. Bazı ülkelerde kağıt üretiminde %50 yi aşan oranlarda atık kağıt kullanılmaktadır.

Atık kağıtların kaynakları genel olarak 5 gruba ayrılabilir.

a) Gazete Basımevleri :

Satılmayan, iade edilen gazetelerin miktarı zaman zaman yüksek olmaktadır. Gazete iadeleri ambalaj işlerinde kullanıldığı gibi atık kağıt olarak karton imalatçılarına satılmaktadır.

b) Matbaa ve Kırtasiye İmalathaneleri :

Matbaalar ile defter, bloknote, dosya v.b. kırtasiye malzemesi üretim tesislerinden çıkan atık kağıt ve kartonlar yararlanılan kaynaklar arasındadır. Bu kaynaklardan çıkan atık kağıtlar genellikle, ev ve bürolardan çıkanlara göre daha temiz ve sınıflandırılmış olmaktadır.

c) Mağaza ve Marketler :

Bu tip işyerlerinde muhtelif tipte kağıt ve karton yanında özellikle oluklu mukavvadan yapılmış kutular biriktirmektedir. İşyerlerinin çoğunda bu kutuları depolama yeri yeterli

değildir. Fakat her işyerine bir balya cihazı konması da ekonomik olmamaktadır.

d) Evler ve Bürolar :

Evlerden gazete, dergi, kitap, kutu, ve diğer türde kağıt ve kartonlar çıkmaktadır. Bu malzemelerden evin çöp kutusuna atılırsa sıvı ve nemli gıda atıkları ile ıslanmakta, kirlenmekte ve kalitesi bozulmaktadır. Buna engel olmak üzere gönüllü kuruluşların çabası ve katkısı ile evlerde oluşan atık kağıtların çöp kutusuna atılmadan ayrıca toplanması gerekmektedir. Bürolarda oluşan atık kağıt ve kartonların kaynağında sınıflandırılması, personelin eğitim kolaylığı sebebiyle daha kolaydır. Buralarda oluşan atık kağıtların üretim miktarının fazlalığı halinde balya presi kullanılabilir.

e) Kamu Kurum ve Kuruluşları :

1950'li yıllarda yayınlanmış bir Bakanlar Kurulu kararnamesi gereğince kamu kurum ve kuruluşları saklanmasına gerek olmayan atık kağıtlarını SEKA'ya vermek zorundadırlar. SEKA İstanbul, Ankara, ve İzmir'deki Alım-Satım Müdürlükleri ve yurt geneline dağılmış bulunan sekiz müessesesi aracılığı ile kamu kurum ve kuruluşlarının birikmiş, fakat ekonomik miktara ulaşmış atık kağıtlarını yükleme ve taşımayı da üstlenerek almakta ve kullanmaktadır.

3.2 Atık Kağıt Türleri (SEKA Teknik Bülten, 2002)

Atık kağıtlar fabrikalar tarafından ilgili şartnameye göre alınır. Türkiye Selüloz ve Kağıt Fabrikaları'nın (SEKA) belirlediği bu şartname ile atık kağıtların içerikleri belirlenmiştir. Bu şartnamenin belirlediği atık kağıt türleri ile ilgili özellikler aşağıda belirtilmiştir.

1) Karışık eski kağıt :

Her cins kağıt ve kartonlarla, kağıt ve kartonlardan imal edilmiş mihver boru, masura ve kırpıntılardan oluşur.

2) Döküntü karton :

Matbaalardan, fabrikalardan baskı hatası kenar ıskarta olarak ayrılan baskılı-baskısız kroma karton, gri karton, dublex karton, dosyalık, kaplıktan oluşan eski kağıtlardır.

3) Oluklu Mukavva Döküntüsü :

%70 oranda kullanılmış baskılı-baskısız oluklu mukavva kutular, kenar ıskartalar her cins kraft ve kraft torba kağıtları (çimento torbası hariç) ihtiva eden kağıtlardır. %30 diğer cins kırpıntı içerir.

4) Kitap, Dergi, Gazete Kağıdı :

Okunduktan sonra biriktirilen 1.hamur, 2.hamur, 3.hamur kağıtlara renkli veya renksiz olarak basılmış gazete, dergi ve kitaplardır. Kitap, dergi, kitap basma maksadıyla hazırlanmış, ciltleme, zımbalama, kapak koyma işlemi görmemiş olan yayınlar ile gazete matbaalarında baskı hatası nedeniyle ayrılan, okunduktan sonra toplanarak düzgün şekilde paketlenen gazete kağıtlarıdır.

5) Normal Matbaa Artığı :

Matbaalarda, fabrikalarda; baskı işlemi ıskartası, bıçak kenar ıskartası olarak ayrılan, bürolarda kullanılıp biriktirilen baskılı, baskısız 1.hamur, pelür, bristol, kroma karton, dubleks karton, gri karton, 2.hamur, 3.hamur, dosyalık, kaplık kağıtlardan oluşan eski kağıtlardır. Yukarıda belirtilen kağıt ve karton gruplarından bir veya birkaçının birlikte bulunduğu kırıntılar normal matbaa artığı kapsamına girer.

6) Süper Matbaa Artığı :

Matbaalardan basım işlemi ıskartası, bıçak kenar ıskartası olarak ayrılan baskılı, baskısız 1.hamur, pelür, sülfite, bristol, 2.hamur, 3.hamur kağıtlardan oluşan eski kağıtlardır. Bu kağıt cinslerinin bir yada birkaçının birlikte bulunduğu kırıntılar süper matbaa artığı kapsamına girer.

7) Süper Oluklu Mukavva Döküntüsü :

Oluklu mukavva fabrikasından baskı ve kesim hatası nedeniyle ayrılan, kutu ve sayfalar, üretim esnasında çıkan kenar ıskartalar ve kullanılmış oluklu mukavvalardan oluşan kağıtlardır.

8) Süper İade Gazete Kağıdı :

Gazete matbaalarında baskı hatası nedeniyle ayrılan, bayilerde satılmamış satış iadesi olarak geriye gelen, kuşe bazlı dergi ihtiva etmeyen baskılı veya baskısız gazete kağıtlarıdır.

Atık kağıt türleri için :

a) Rutubet : %10'a kadar rutubet ihtiva edebilir. Bu orandan fazla olduğu durumlarda %10-15 arası her %1 sapma için %1, %15'den fazla olan sapsmalarda her %1 sapma için %2 kesinti uygulanır. %20 rutubet oranını geçtiğinde ret sebebi sayılır.

b) Yabancı madde : Genelde toz, çöp, zift, yağ, karbon kağıdı, yıldız, polietilen, folya, tahvil, banknot kağıtları, manyetik şeritli kağıt-karton, parafinli kağıt ve kartonlar ihtiva etmemelidir. Etmesi halinde uygun görüldüğü takdirde yabancı madde oranı %3'e kadar olabilecek ve her

%1'e karşı %2 kesinti yapılarak alınır.

3) Kesintiler : Bütün kesintiler %90 kuru madde esasına göre hesaplanır.

4) Ambalaj : Stoklamaya ve istiflemeye elverişli bir şekilde balyalanmış olmalıdır.

3.3 Atık Kağıt Toplama Sistemleri (SEKA Teknik Bülten, 2002)

Atık kağıtların ev çöpleriyle karıştırılmadan ayrıca paketlenmiş veya kenevir çuvallar içinde toplanması tercih edilmektedir. Ev çöpleri ile karışmaları halinde kağıtlar ıslanmakta, kirlenmektedir. Bunun sonucunda kağıt elyafında fermantasyonla birlikte bozulma başlamaktadır. Diğer yandan kağıtların ıslanması ve ağırlaşmaları ekonomik şekilde taşınmalarını, dolayısıyla atık kağıdın uygun ve ekonomik bir hammadde kaynağı olmasını engellemektedir. Ayrıca kağıt içindeki yabancı maddelerin çokluğu kağıdın sınıfını düşürmektedir.

Atık kağıtların toplanması aşağıdaki sistemler ile gerçekleştirilir :

1) Kaynakça ayrılmış, evlerden paket halinde verilen kağıtlar; belediye araçları ile araçların şasesine yapılmış bir sandık içine konarak ve haftanın belli günlerinde sadece kağıt toplayan araçlar ile toplanmaktadır. Ayrıca çevre konusunda çalışan dernekler, gönüllü kuruluşlar, yardımlaşma derneklerinin yardımı ile haftanın belirli günleri kağıtların belirli binaları getirilmesi, belirli günlerde bu kuruluşlara ait araçlarla toplama, belirli yerlere konan büyük kutulara halkın kağıtları getirmesiyle toplama yapmaktadırlar.

2) İş yerlerinden, matbaa, kütasiye imalatçısı ve diğer yerlerde oluşan atık kağıtlar; küçük miktarlarda ise seyyar toplayıcılarla toplanmakta, büyük miktarlarda ise hurdacılara ait kamyonlarla taşınmaktadır.

3) Ev çöpleri ile karışan atık kağıtlar bina önlerinde sabahları ön ayırma suretiyle ve çöplüklerde yapılan ayıklama suretiyle toplanmaktadır.

4) Kamu kurum ve kuruluşlarında oluşanlar; bir kamyonun masrafını ve iki yükleyici ücretini karşılayabilecek miktarda ise SEKA tarafından alınmaktadır. Miktar az ise seyyar toplayıcılara verilmektedir.

Toplama sistemlerinin başarısı için bütün vatandaşların atık kağıdın geri kazanılması konusunda eğitilmesi, bilinçlendirilmesi gereklidir. Bu amaçla ilkokuldan başlayarak bu konuda gerekli bilgilerin verilmesi, okul-aile birlikleriyle işbirliği yapılması faydalı olacaktır. Diğer taraftan radyo ve televizyonda kağıt geri kazanmaya ilişkin kısa programların hazırlanması da toplumun bu konuda bilinçlenmesi açısından faydalı olacaktır.

3.4 Dünyada ve Ülkemizde Atık Kağıt (SEKA Teknik Bülten, 2002)

Kağıdın üç tür hammaddesi; odun, yıllık bitkiler ve atık kağıttır. Bunlar arasında atık kağıttan kağıt üretimi, çeşitli avantajları sebebiyle, endüstrinin en hızlı gelişen branşlarından biri olup, Dünya'daki uygulaması giderek yaygınlaşmaktadır.

Atık kağıttan kağıt üretiminin avantajları iki grupta toplanabilir. Bunlardan birisi çevrenin korunması, diğeri üretim işleminin daha ekonomik ve kolay oluşudur. Çevre koruması açısından en önemli avantajlarından biri ağacın hammaddesi olan odunun sağlandığı ormanların korunmasıdır. 1 ton kağıt üretimi için yaklaşık 4 m³ odun sarfedilmektedir. Atık kağıdın değerlendirilmesi ile odun kullanımı sınırlandırılabilir. Diğer taraftan atık kağıdın geri kazanılması katı atıkların uzaklaştırılması ve depolanmasını kolaylaştırmaktadır. Bu uygulama genellikle gönüllü kuruluşlarca yapılmakta, hatta bu kuruluşlara gelir kazandırmaktadır. Ancak geri kazanım için ileride açıklanacağı gibi iyi bir sistematik ve bu sistematik çerçevesinde iyi bir organizasyon kurulması gerekir. Atık kağıt elde edilmesi üretim açısından da kolaylık sağlamaktadır. Üretimde en önemli avantaj kağıt hamuru hazırlanması işleminin, selüloz üretimine göre çok daha kolay ve ekonomik bir işlem olmasıdır.

Atık kağıttan kağıt üretiminde dezavantaj olarak nitelendirilebilecek en önemli nokta; atık kağıttan elde edilen hamurun kısa elyafı olması sebebiyle mukavemetinin az olması ve belirli tip kağıtların üretiminde kullanılabilmesidir. Atık kağıttan elde edilen başlıca kağıt ürünleri arasında ambalaj kağıtları, temizlik kağıtları, karton, gazete kağıdı ve viyol v.b. kalıplaşmış kağıt ürünleridir. Atık kağıdın değerlendirilmesinde dezavantaj olarak ele alınabilecek bir başka husus taşıma maliyetinin selülozdan fazla olmasıdır.

Atık kağıttan kağıt üretimi Dünya'da giderek yaygınlık kazanmaktadır. Bu üretimi değerlendirmek için iki ölçü kabul edilebilir. Bunlardan biri atık kağıdın geri kazanılma yüzdesi, diğeri bunun toplam üretime oranıdır. Çizelge 3.1'de bazı ülkelerdeki atık kağıt geri kazanma ve kullanım yüzdeleri verilmiştir.

Atık kağıt kullanımında en önemli unsur temizlik ve tasnif edilmiş olması durumudur. Bugün sektörde %100 atık kağıt kullanılarak elde edilen pek çok ürün vardır. Hemen hemen tüm kağıt-karton üretiminde değişik oranlarda atık kağıt, hammadde olarak değerlendirilebilmektedir.

Ambalaj kağıdı ve karton üretiminde atık kağıt kullanımı %100'e kadar çıkmıştır. ABD ve Avrupa ülkelerinde %100 atık kağıttan gazete kağıdı imal edilmektedir.

Çizelge 3.1 Bazı ülkelerdeki atık kağıt geri kazanma ve kullanım oranları (2002)

Ülke	Geri Kazanma Oranı (%)	Kullanım Oranı (%)
Almanya	70.7	60.8
Hollanda	64.7	60.6
Avusturya	62.0	40.8
İsveç	58.2	17.8
Danimarka	49.1	15.4
Fransa	43.7	54.4
Belçika	43.6	34.0
İspanya	43.4	80.9
İtalya	33.3	49.9
Yunanistan	31.9	99.4
Türkiye	34.5	52.0

2002 yılında dünyada toplam kağıt-karton üretimi yaklaşık 300 milyon ton/yıl, buna karşılık kağıt hamuru üretimi ise 175 milyon ton/yıl civarında olmuştur. 125 ton/yıl civarındaki %40'lık kaynak açığı atık kağıt ile karşılanmıştır. Ülkemizde 2002 yılı verilerine göre 1.356.000 ton/yıl kağıt-karton üretilmiş ve 2.025.000 ton/yıl kağıt-karton tüketilmiştir. Bu üretimin sağlanmasında yaklaşık 501.900 ton/yıl kimyasal selüloz, 68.100 ton/yıl saman selülozu, 80.400 ton/yıl mekaniksel odun hamuru, 13.900 ton/yıl dolgu maddesinin yanında 691.800 ton/yıl atık kağıt kullanılmıştır.

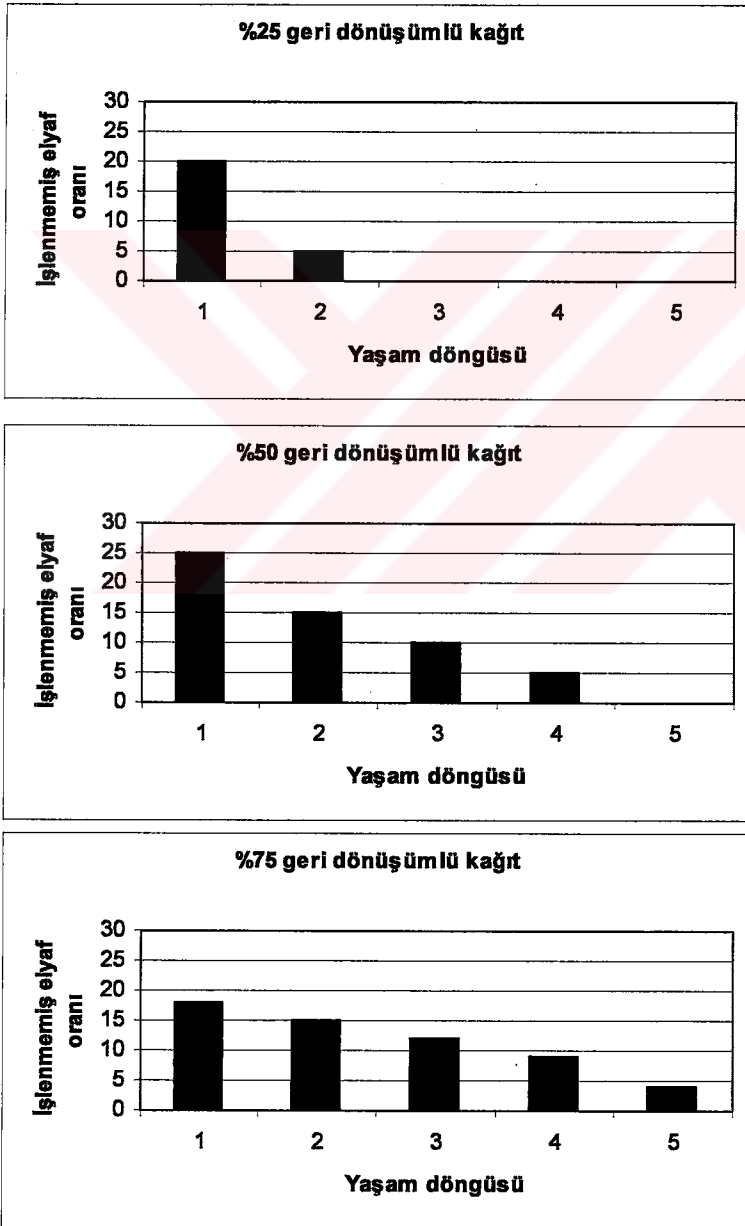
3.5 Kağıdın Geri Dönüşüm Limitleri (SEKA Teknik Bülten, 2002)

Cam, metal, plastik ve kağıt-karton gibi değerlendirilebilir atıklar çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir hammaddeye veya ürüne dönüştürülebilir. Bu atıkların bir takım işlemlerden geçirildikten sonra ikinci bir hammadde olarak üretim sürecine sokulmasına "geri dönüşüm" denir.

Kağıt endüstrisinde, kağıdın geri dönüşüm sayısı maksimum beş defa olmak üzere, toplam yaşam döngüsü dördür. Beş defa üretimden geçtikten sonra kağıt içerisindeki elyaflar çok fazla küçüldüğünden kağıt yapımında kullanılmaz hale gelirler. Bir kağıdın geri dönüşümünü etkileyen faktörler şunlardır:

a) Atık kağıdın içerisindeki işlenmemiş elyaf oranı

- b) Üretimde kullanılan atık kağıt cinsi
- c) Yabancı maddelerden arındırma teknolojileri
- d) Yaş hamur kimyası
- e) Ebat ve bobin pres uygulamaları
- f) Dönüştürme ve baskı işlemleri
- g) Dönüştürme işleminde kullanılan kimyasal maddeler
- h) Baskı mürekkepleri
- ı) Toplama ve sınıflandırma sistemleri
- i) Piyasanın kalite beklentileri
- j) Üretilcek kağıt cinsi



Şekil 3.1 Kullanım oranının elyafın yaşam döngü sürecine olan etkisi

Atık kağıt kullanılarak üretilen kağıdın kalitesini etkileyen diğer bir faktör de kaynak atık kağıdın kaç defa geri dönmüş olduğudur. Örneğin, genel olarak hamurunda % 50 oranında atık kağıt kullanılmış bir kağıdın 5 çevrim sonunda % 99, içerisinde % 75 oranında atık kağıt kullanılan bir kağıdın ise 5 çevrim sonrasında % 96 oranında elyafı kullanılamaz hale gelmektedir.

Burada atık kağıt kullanımının yaratacağı bir problem olarak, verimsiz atık kağıt hamurlarının ne yapılabileceği sorusu akla gelmektedir. Bugün bu tür kağıtlar yakılarak ortadan kaldırılmaktadır. Bir kısmı da çöpe gitmektedir. Bu konuda araştırma yapan Alman Darmstad Üniversitesi Kağıt Endüstrisi, artıkları küçük parçacıklar haline getirip yakıt olarak kullanılmasını düşünmüş, bu konudaki araştırmalarda özellikle kül oranı düşük atık kağıtların ihtiva ettiği enerjinin odun ile aynı, kömürden elde edilen enerjinin ise yarısına eşit olacağı belirlenmiştir. Ayrıca kağıt fabrikalarının bu atıkları kendi jeneratörlerinde yakıt olarak kullanmalarını önermişlerdir. Ülkemizde ise verimsiz atık kağıt hamuru çöpe gitmektedir.

4. MÜREKKEP GİDERME SİSTEMLERİ

4.1 Mürekkep Giderme (Young, 1991)

Temiz baskılı odun hamuru veya hamursuz atık kağıtların, yazı ve baskı kağıtları ile iyi kaliteli kartonların üst kat hamurlarının üretiminde değerlendirilmesi için mürekkebin giderilmesi gerekir. Bu işleme “mürekkep giderme” denir.

Atık kağıtlardan yazı ve basım kağıdı yapmaya uygun beyaz selüloz hamuru elde edebilmek için mürekkebin giderilmesi gerekir. Mürekkebi giderilmiş atık kağıt hamurunun kalitesi her şeyden önce kullanılan atık kağıdın cinsine bağlıdır. Aynı kalitede olmak üzere sınıflandırılmış atık kağıtlarda mürekkep giderme işlemi çok olumlu olmaktadır. İnce ıskartalar, kırpıntılar, defterler ve eski dergilerden elde edilen selüloz hamurları iyi sonuç vermektedir. Mumlu kağıtlar ve ıslak dayanımlı kağıtlar, mürekkep giderme işlemi için uygun olmayan yapıdadır. Bu kağıtların liflerine ayrılabilmesi için daha yüksek sıcaklık ve daha yüksek pH gereklidir.

Mürekkep gidermenin ana amacı, istenen beyazlıkta ve çıplak gözle görülebilen mürekkep lekeleri içermeyen kağıt üretilmesidir ki bu da 40 µm'dan büyük mürekkep partiküllerinin hamurdan uzaklaştırılması gereğini doğurmaktadır. Beyazlığın yükseltilmesi için daha küçük partiküllerinde ortamdan uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Ancak bu işlem yapılırken prosesin ekonomik balansı kurulmalı, kullanılan kimyasallar ve tüketilen enerji göz önüne alınarak, elde edilecek hamurun maliyeti diğer hammaddelerle mukayese edilmelidir.

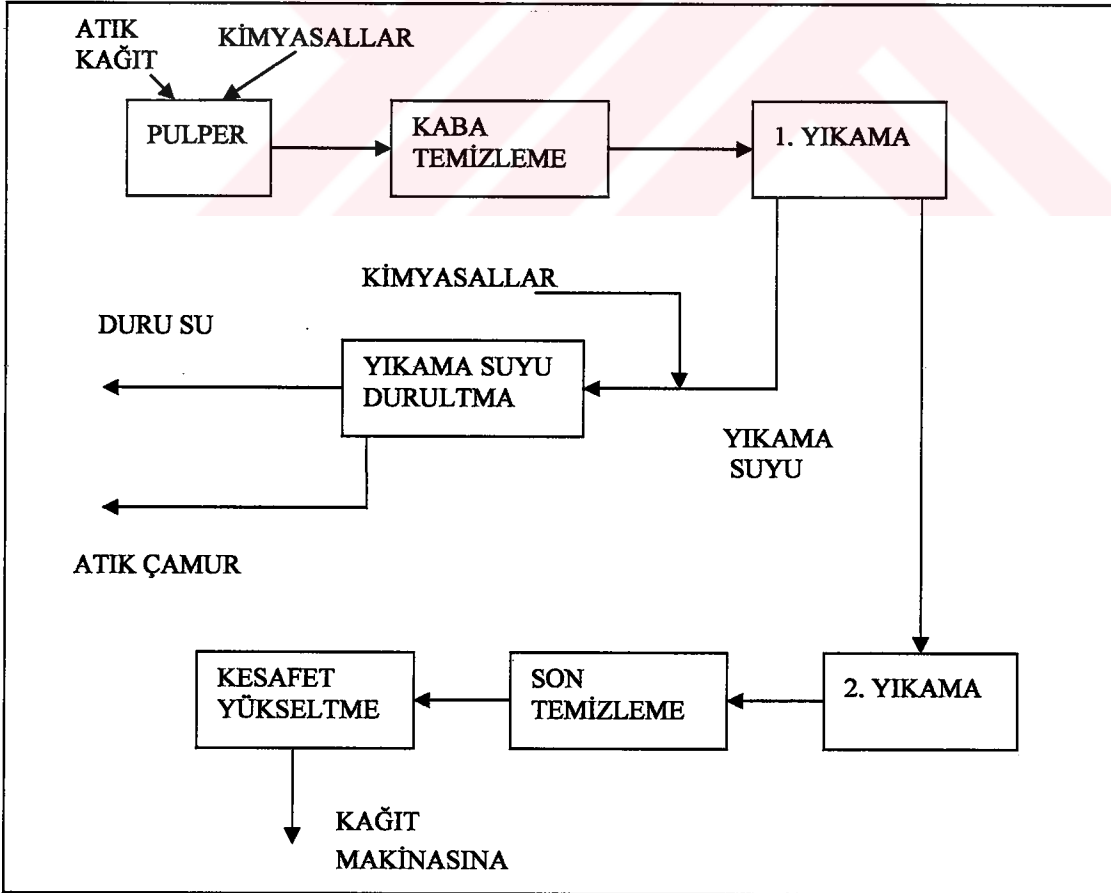
Mürekkep giderme yönteminde iki basamak vardır :

- 1) Atık kağıt hamurunun hazırlanması aynı zamanda kimyasal maddelerle mürekkebin lifler üzerinden çözülmesi ve dağıtılması
- 2) Mürekkebin hamurdan uzaklaştırılması atık kağıt hamurunun hazırlanması ve aynı zamanda mürekkebin lifler üzerinden ayrılması

4.2 Mürekkep Giderme Yöntemleri

4.2.1 Yıkama Prosesi (Young, 1991)

Yıkama prosesi; mürekkep, dolgu ve diğer kirliliklerin hamurun su ile yıkanması sonucu uzaklaştırıldığı bir sistemdir. Yıkama sisteminin etkinliği doğrudan doğruya partikül boyutuna bağlıdır ve disperse olabilen mürekkepler dolgu maddelerinin uzaklaştırılması için uygundur. Bu yöntemle 10-15 μm 'den küçük partikülleri uzaklaştırmak mümkündür. Ancak etkin olduğu partikül boyutu 0,5-5 μm arasındadır. Bu partiküller su aşamasında asılı kalır ve liflerle ilgileri kalmaz. Burada kullanılan kimyasallar baskının sökülmesine yardım eder. Bunu da baskı taşıyıcı ağınyı zayıflatarak, tutulan pigment partiküllerini suyun içine bırakarak yaparlar.

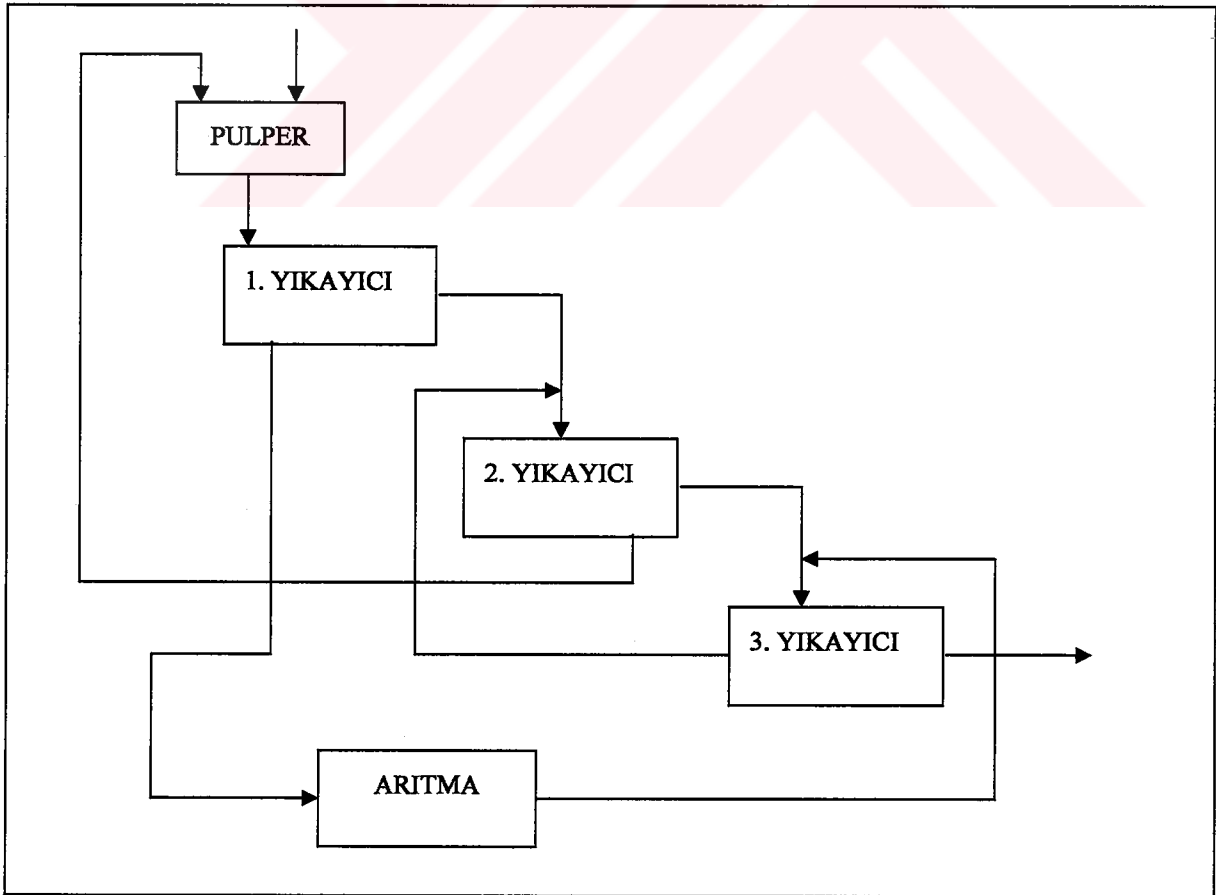


Şekil 4.1 Yıkama yöntemiyle mürekkep giderme akım şeması

ABD’de hamurun yıkanması için Sidehill tipi yıkama tesisatı geliştirilmiştir. Bu yıkayıcı bir veya iki kademeli olabilir, yıkama eleği 38 derece meyillidir. Seyreltilmiş hamur üstteki giriş kasasına verilir. Ayrıca burada seyreltilip serbest olarak elek üzerinden aktarılır. Hamur aşağıya doğru kayar ve alttaki depodan toplanır. Yıkanan hamurun kesafeti % 4-6 arasındadır. Mürekkep gidermede yıkayıcı olarak ayrıca yarıklı ve bükey elekler de kullanılır. Yarık genişliği 75-100 μm ’dur. Bükey eleklerde % 5 hamur kesafetine erişebilir.

2. Hamur kesafeti % 3-6 arasında olması halinde kullanılan yıkayıcılar diğer bir deyimle hamurun yıkanması için özel su ekstraktörleri geliştirilmiştir. Meyilli olarak helozon vardır. Helozon silindirik ve delikli bir elek gövdesi içinde bulunmaktadır. Hamur, meyilli elek gövdesi içinden yukarıya helozon vasıtasıyla hareket ederken sular elek deliklerinden geçerek aşağıdan çıkar, eleğin iç tarafının temizlenmesi için fırçalı bir temizleyici vardır. Üsten suyu alınmış hamurun kesafeti % 8-6 arasında değişir.

Kısaca; yıkanma ekipmanları çıkış hamuru kesafetine göre sınıflandırılırlar. Buna göre düşük kesafetli yıkayıcılarda kesafet en çok % 8’e kadar çıkar. (Sidehill elekleri, teksifler v.b.) Orta kesafetli yıkayıcılarda kesafet % 8-15 arasında değişir. (Eğik, vidalı ekstraktörler, vakumlu filtreler v.b.) Yüksek kesafetli yıkayıcılarda ise kesafet % 15’ in üzerindedir.



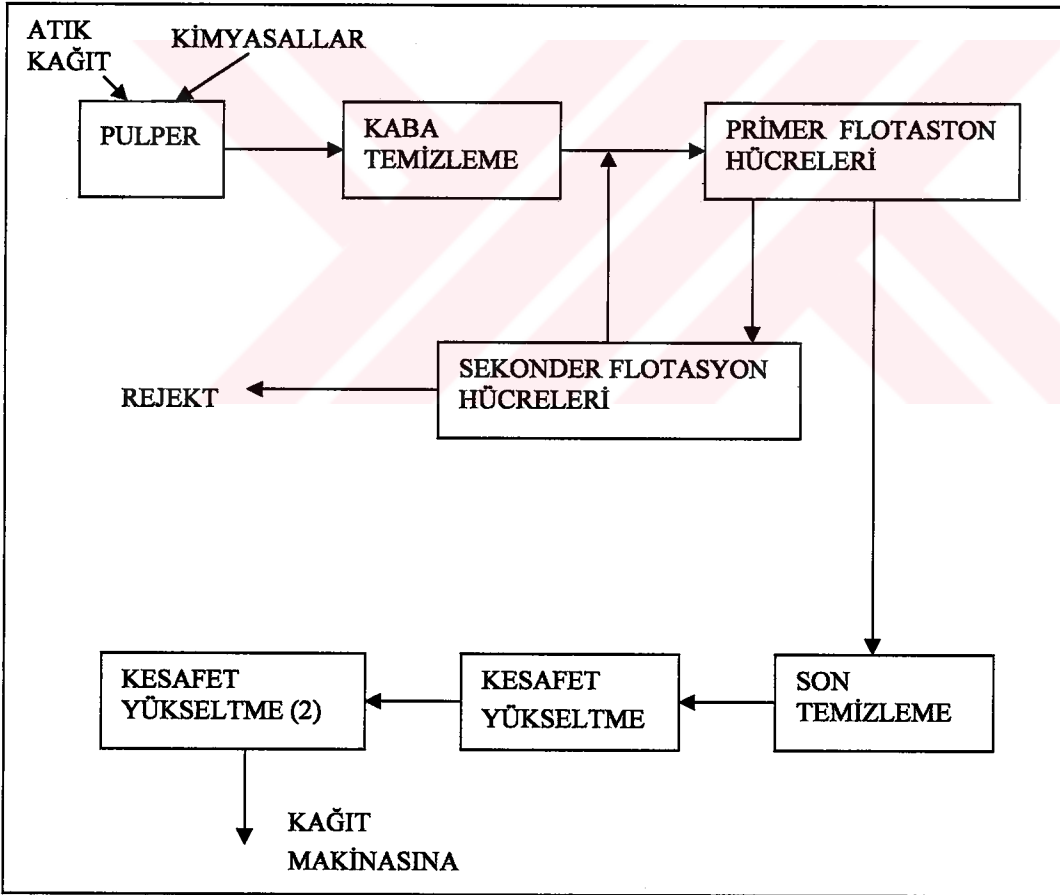
Şekil 4.2 Ters akışlı yıkama sistemi

Bu sistemlerde taze ve arıtılmış su son yıkama kademesinden önceki sulandırmaya verilir. İkinci kademedan çıkan su pulperde kullanılırken birinci kademe çıkışı ya atılır veya arıtılarak sisteme geri gönderilir.

Yıkama tesisinin verimi yıkama ekipmanları ve atık kağıdın yapısına bağlı olarak % 75-90 arasında değişir.

4.2.2 Flotasyon (Yüzdürme) Prosesi (Young, 1991)

Flotasyon prosesi mürekkep partiküllerinin seyreltik atık kağıt hamurundan yüzdürülerek uzaklaştırıldığı bir kimyasal mekanik sistemdir. Yüzdürme sisteminde mürekkeplerin yüzey aktif heteropolar kimyasallar (Yağ asitlerinin alkali tuzları, sabun v.b.) ile su itici özelliği giderilir. Bu kimyasallar mürekkep partiküllerini hidrofilik uçları dışa doğru yönelecek şekilde sararlar. Böylece hidrofilik özellik gösteren mürekkepler elyaftan kolaylıkla ayrılarak suya dağılırlar.



Şekil 4.3 Flotasyon prosesi

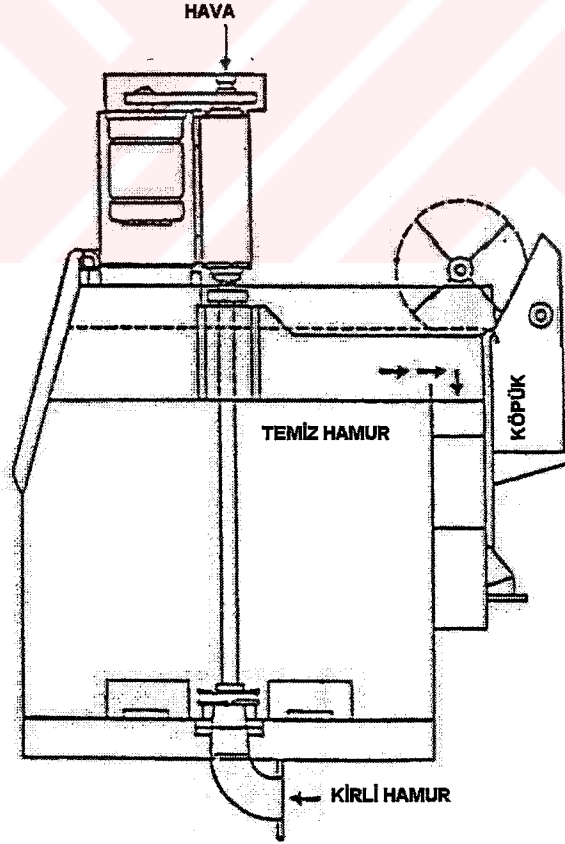
Disperse mürekkep partikülleri, sudaki kalsiyum iyonları ile etkileşerek kollektör görevi yapan sabun molekülleri yardımı ile hava kabarcıklarının üzerinde birikirler. Mürekkepleri taşıyan hava kabarcıkları yüzeye doğru yükselerek köpük tabakasını oluştururlar. Köpük bir savak ya

da vakum yardımıyla ortamdan uzaklaştırılır.

Çalışma prensipleri aynı olmasına rağmen imalatçılara göre farklılık gösteren yüzdürme hücrelerine örnek olarak Escher-Wyss tip FZ -1 Şekil 4.4' de verilmiştir. Mürekkep kollektörü olarak klasik yağ asidi sabunlarının yanı sıra sentetik, noniyonik yüzey aktif maddelerde kullanılmaktadır. Özel aglomerasyon veya dispersiyon istendiği bazı durumlarda söz konusu maddeler organik yüzey aktif maddelerle de kon-bine edilebilirler.

Mürekkep giderme işleminin etkinliği, yıkama sistemlerinde olduğu gibi partikül boyutuna bağlıdır. Verimin en yüksek olduğu boyut aralığı 5-10 μm 'dir. Sistemin etkinliği partiküllerin büyümesi ile azalır. Ancak iri mürekkep partiküllerini uzaklaştırılmasında, yüzdürme yıkamadan daha etkindir.

Yüzdürme prosesinin verimi, mürekkeplerin boyutu ve yoğunluğu, hava kabarcıklarının büyüklüğü, hamur kesafeti, sıcaklığı ve pH' ı kullanılan kimyasallar gibi fiziksel ve kimyasal birçok değişkene bağlıdır. Yıkama prosesine göre daha yüksek olan verim % 85-95 arasındadır.



Şekil 4.4 Escher-Wyss FZ -1 Flotasyon Hücresi

4.2.3 Yıkama ve Yüzdürme Prosesinin Karşılaştırılması (Young, 1991)

YIKAMA PROSESİ

- Daha az yatırım
- Daha büyük kapasitelerde yapmak mümkündür.
- Daha kirli, eski kağıtlar kullanılabilir.
- Daha ucuz kimyasal madde kullanılabilir.
- Verim düşüktür (% 75-90).
- Daha yüksek ince elyaf ve dolgu maddesi kaybı vardır.
- Su tüketimi çok yüksektir.
- Beyazlatılmanın yapılması gerekir.

FLOTASYON PROSESİ

- Daha yüksek verim (% 85-95).
- Daha az ince elyaf ve dolgu maddesi kaybı
- Su tüketimi azdır.
- Su kirliliği azdır.
- Genellikle beyazlatmaya ihtiyaç yoktur.
- Yatırım yüksektir.
- Daha düşük kapasiteler için uygulanabilir.
- Kullanılan kimyasal maddeler daha pahalıdır.
- Temiz, eski kağıtlar kullanılabilir.

4.2.4 Basınç Altında Mürekkep Giderme (Pressure Deinking Module) (Young, 1991)

Dönüşümlü kağıt pazarının büyümesi, temelde mürekkep giderme teknolojisindeki gelişmelere de bağlıdır. Mevcut teknoloji ile bu gün çok iyi kalitede mürekkebi giderilmiş hamur üretilmektedir. PDM de bu alanda gösterebileceğimiz temel gelişmelerden birisidir.

Bütün diğer flotasyon hücreleri atmosferik şartlar altında çalışırken, sadece PDM sızdırmaz yapıda üretilmiştir ve üretim esnasında hücre içinde teşekkül eden iç basınç, aşağıdaki avantajları da beraberinde getirir.

- Basınç kullanımı nedeni ile elyaf kaybı minimum, mürekkep uzaklaştırması da maksimum olur ve dolayısıyla verim yükselir.
- Seviye kontrolü basınç altında daha kolay yapılır ve rejekt uzaklaştırma işlemi de basitleşir. Bu da işletme kolaylığı sağlar.
- Karşı basınç teşekkül ettiğinden, hava dozajı için venturi donanımı kullanılmış bu da bakım işlerini minimuma indirmiştir.
- Sızdırmaz dizayn nedeni ile de potansiyel bir hava kirliliği problemi önlenir.

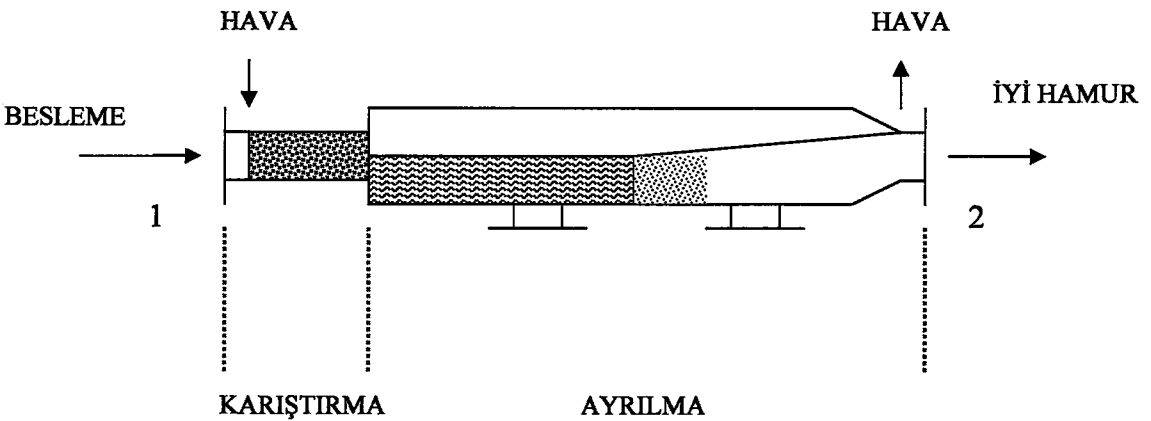
PDM' de sistem şu şekilde çalışır:

Hamur girişi sistemin 1 yönünde olur ve hamur girişinin başında hava verme kuşağı bulunur. İyi hamur, modülün 2 yönünde merkezden, boyalı köpük rejektleri de yine aynı yönde ama farklı bir çıkıştan alınırlar.

Hava verme kuşağında, hava doğrudan flotasyon hücresinin içine verilir. Konvansiyonel flotasyon hücrelerinde ünite içine hava venturi donanımı kullanılarak enjekte edilir. Venturi donanımı kullanılarak hücre içine verilen hava sabit bir hamur akışıyla sınıflandırılmıştır. PDM'de hava hamur akışından bağımsız denk edilebilecek çeşitli hammaddelerin ihtiyacına uygun ayarlanabilir.

PDM ünitesinin en önemli fonksiyonu karışım kuşağıdır. Bu kuşak yüksek türbülans akışına uygun dizayn edilmiştir. Bu nedenle mürekkep partikülleri ile hava kabarcıklarının çarpışma sayısı yükselir, dolayısıyla da hava kabarcıklarına bağlanan partikül sayısı artar.

PDM'de basınç kullanılmasının nedeni ile bir miktar ilave hava hamur içinde çözünür. Ayrılma kuşağında akış hızı düşer ve hava kabarcıklarının yüzey çıkışları hızlanır.



Şekil 4.5 Basınç altında mürekkep giderme

Tüm flotasyon hücrelerindeki partiküllerin yüzdürülmesi için hava kullanılır ve bu hava işlem sonunda atmosfere bırakılır. PDM dizaynında da hava kullanılmaktadır. Ancak işlem sonunda bu hava atmosfere bırakılmaz, boya köpüğü rejektin hücreden dışarı pompalanması için kullanılır. Daha sonra bu karışım bir hava siklonundan geçirilerek hava, rejektten ayrılır.

Bir diğer husus da ayrılma kuşağında basınç kullanımı nedeni ile çok iyi bir seviye kontrolü yapabilmesidir. Bu da düşük elyaf rejekt oranı ve yüksek verim yönünden çok önemlidir. PDM seviye kontrolü, kağıt makinalarında kullanılan basınçlı hamur kasaları seviye kontrolünün bir benzeridir. PDM içinde hamur seviyesi, bunun özerinde teşekkül ettirilen bir hava yastığının basıncının kontrolü ile çok rahat bir şekilde sabit tutulur.

4.3 Mürekkep Giderme İşleminde Kullanılan Kimyasal Maddeler (Young, 1991)

Mürekkep giderme işleminde kullanılan kimyasal maddeler hammaddeye, kullanılan ekipmana, uygulama şartlarına ve elde edilecek liflerin kullanma yerlerine göre çeşitlilik göstermektedir. Liflendirilmesinin dışında, hammadde kullanılan mürekkebin uzaklaştırılması amacıyla, mürekkebin içindeki verniklerin sabunlaştırması, pigmentin dağılmasının sağlanması ve tekrar liflere bağlanmasının önlenmesi gerekmektedir.

Mürekkep gidermede kullanılan kimyasal maddeler şunlardır :

4.3.1 Sodyumhidroksit (NaOH)

Sodyumhidroksit, kostik soda olarak da bilinir. Alkalik bölgedeki pH' ı ayarlamak için kullanılır. Mürekkep reçinelerini sabunlaştırır veya hidrolize eder. Her iki görevi de görebilir. Alkalik ortamda kağıt liflerini şişirir. Sodyumhidroksitin eklenmeli %' sinin ne kadar olacağı diğer kimyasal maddelerin oranlarına bağlıdır.

Sodyumhidroksit, odun içeren materyal içine katılan kağıt hamurun sarı veya koyu renk olmasına neden olur. Bu olaya alkali koyulaşma adı verilir.

Flotasyon mürekkep giderme sisteminde özellikle gazete ve dergi atıklarında NaOH kullanılması parlaklığı artırır.

4.3.2 Sabun

Sabun, mürekkep yıkamada yüzyılın başlarında kullanılıyordu. Zamanla sentetik yüzey aktif ajanların daha iyi sonuç vermesi, sabun kullanılmasını azalttı. Son zamanlarda ise özellikle flotasyon mürekkep giderme işleminde kullanılıyor. Kullanımda olan sabunların içinde

bilinenlerden biri kalsiyum tuzlarıdır. Kalsiyum tuzları, köpük azaltıcı olarak bilinir. Dergi atıkları, hamur hazırlamada fazla hacimli köpük üretirler. Bu durumdan dolayı flotasyon eleklerinden geçerken mürekkep gidermeyi bozarlar. Flotasyon eleklerine sabun eklenmesi, köpüğü hamurdan ayırması için yeterli ve kontrollü akışı veya vakumlu emmeyi sağlar. Bunun yanında hamura daha parlak görüntü verir. Hamur makinasında içinde bulunan akışkan yağ asitleri sabunları oluşturur.

4.3.3 Kalsiyum Tuzları

Kalsiyum tuzları, flotasyon mürekkep giderme sistemine eklenir. Özellikle düşük kalsiyum iyon düzeyi olduğunda, yağ asit sabunlarının fonksiyonları mürekkep giderici olarak kullanılır. En çok eklenen tuzlar, kalsiyumklorit ve kalsiyumhidroksittir. Özellikle birinci flotasyon hücresinde eklenir. Klorit iyonları, mürekkep giderme yerlerinde korozyon problemlerini oluşturabilir. Kalsiyumhidroksitin katılması sülfirik asit derecesinin de artması demektir. Bunun içinde pH değerinin kağıt hamurunun son aşamasında düşürülmesi gerekir.

4.3.4 Yüzey Aktif Maddeler

Pigment serbest hale geldikten sonra çok emici olan lif yüzeyi üzerinde yeniden tutunmasını önlemek için, dağıtıcı ve absorbe edici maddelerin kullanılması gereklidir. Yüzey aktif maddeler, mürekkep giderme sistemlerinde suyun yüzey gerilimini düşürerek kağıt materyalinin daha iyi ıslanmasını sağlamaktadırlar. Bu işlemi gerçekleştirmek için kağıt materyali üzerine absorplanarak kağıt ortamında bulunan mürekkebin giderilmesi, dağılması, çözündürülmesi ve emülsiyon haline gelmesini sağlamaktadırlar.

Mürekkep giderme sisteminde dağıtıcı olarak klasik yağ asitlerinin yanı sıra sentetik iyonik olmayan yüzey aktif maddelerde kullanılmaktadır. En çok kullanılan yüzey aktif maddeler stearik asit, oleik asit ve alkil fenollerdir.

4.3.5 Hidrojenperoksit ($H_2 O_2$)

Mürekkep gidermede en çok kullanılan maddedir. Özellikle flotasyonlu mürekkep gidermede kullanılır ve pulpere eklenir. Bazen pulperlerle hücreler arasında bulunan renk açma kulelerinde de kullanılır. Hidrojenperoksitin eklenmesinin ilk nedeni renk açıcı olarak davranması ve hamur stoğunun parlaklığını arttırmasıdır. Sodyumhidroksitin neden olduğu koyulaşmayı da durdurması etkilerinden biri olarak bilinir.

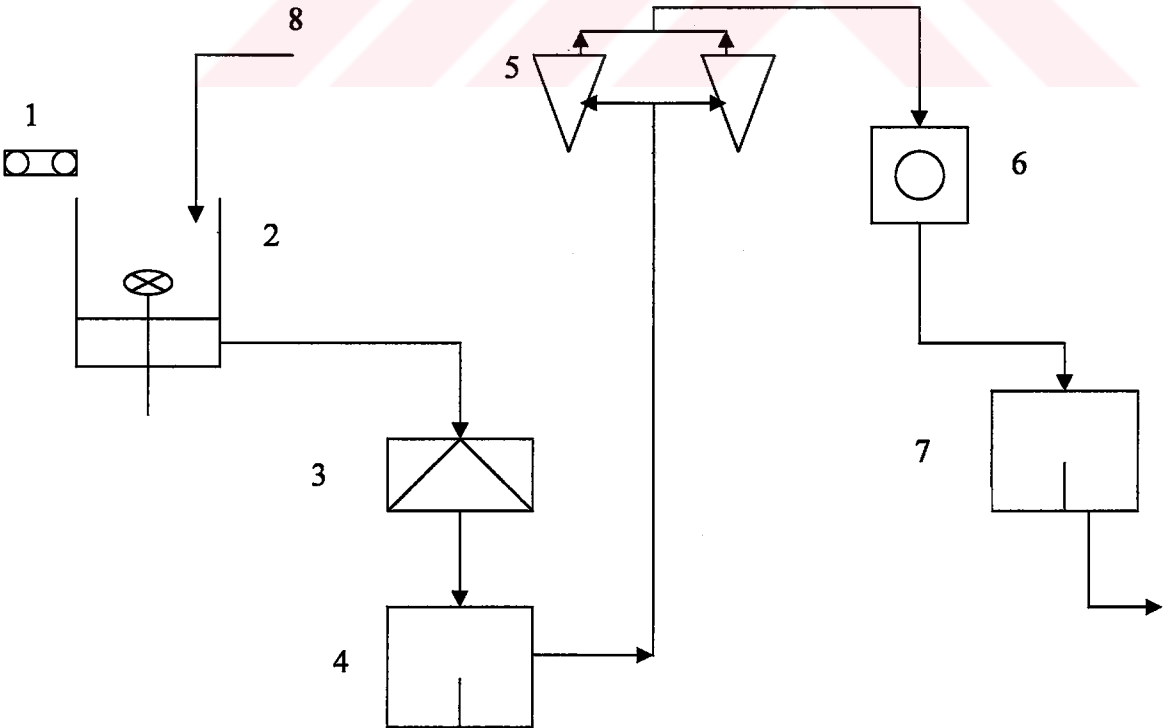
4.3.6 Kompleks Oluşturucular

Baskı boyalarının kağıt yüzeyine sabitlendikten sonra sertleşmesini hızlandırmak için boya bileşimine ağır metal iyonları katılmaktadır. Bu ağır metal iyonları Mn^{+2} , Cu^{+2} , Fe^{+3} , Cr^{+3} ve benzerleridir. Metal iyonlarının katalizör amacına ulaşması için boya bileşimine baskı işleminden hemen önce katılır. Ancak ağır metal iyonları varlığında peroksitler bozulma eğilimi gösterirler. Ağır metal iyonlarının reaksiyonu bozmamaları için ortama kompleks oluşturucu maddeler ilave edilmelidir. En çok kullanılan kompleks oluşturucular; Dietilen Triamin Pentaasetik Asit'in penta sodyum tuzu (Na_5 DTPA) ve Etilen Diamin Tetraasetik Asit'in tetra Sodyum tuzu (Na_4 EDTA) dur.

4.3.7 Fosfat, Karbonat, Borat

Kalsiyum tuzlarını çöktürerek suyun sertliğini düşürürler. Sodyum karbonat belli bir yere kadar, sodyum hidroksit ve sodyum silikat yerine kullanılırdı. Sodyum fosfat birçok değişik şekilde bulunur: metafosfat, ortofosfat, polifosfat. Bunlar bazen patent alınmış olarak bulunur. Genellikle yüzey aktif maddeleri ve solventlerle bağlanır. Kalsiyum iyonlarını söktüğü için mürekkep yıkamayı geliştirir.

5. HAMUR HAZIRLAMA (Young, 1992)



Şekil 5.1 Hamur hazırlama akım şeması

1) Konveyör bant, 2) Pulper, 3) Sortir elekleri, 4) 1 nolu depo, 5) Kum tutucular, 6) Rifayner, 7) 2 nolu depo, 8) Su girişi

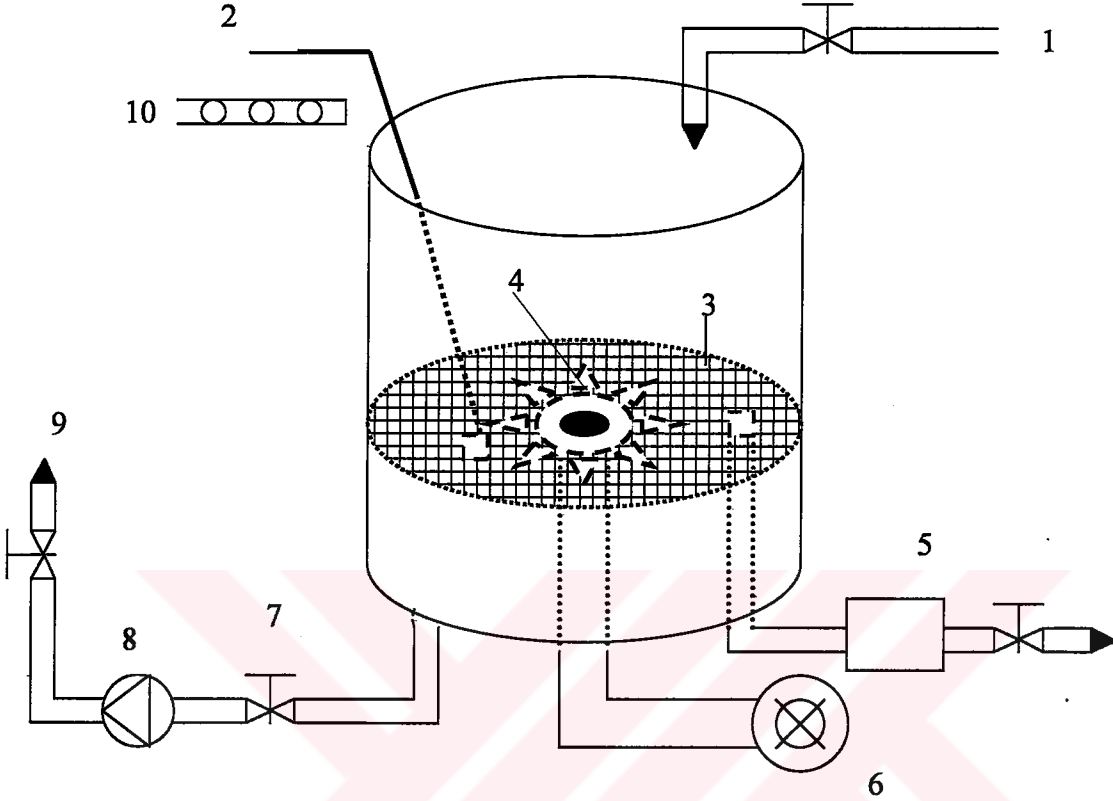
Eski kağıt deposunda stoklanan kağıtlar bir konveyör bant sistemi ile pulpere gönderilirler. Pulper eski kağıtların açılmasını sağlar. Kaba elyaflar ve açılmayan kağıtlar pulperden sonra gelen sortir elekleri tarafından tutulur. Bu eleklerden geçen temiz hamur stok deposuna gitmekte buradan da kum tutuculara gelmektedir. Burada hamur içindeki ağır parçacıklar, kum, toprak, toplu iğne v.b. tutulmaktadır. Kum tutuculardan sonra temiz hamur öğütme işleminin yapıldığı rifaynere gelmektedir. Rifayner bir elek sepeti ve bunun içinde dönen bıçaklı bir rotordan oluşmaktadır. Temiz hamur stok deposuna gönderilir. Hamur kullanıma hazırdır.

5.1 Pulper (Young, 1992)

Pulper, atık kağıtların elyaflarına ayrıştırma ve açma işleminin yapıldığı kısımdır. Atık kağıtlar konveyör bant sistemi ile pulpere çıkarılırlar. Sisteme su verilerek elyafların şişmesi sağlanmaktadır. Pulperler, üzerinde bıçaklar ve öğütücü dişler bulunan ya taban kısmında yada yan duvarda yatay bir eksen üzerine yerleştirilmiş bir rotora sahiptir. Çalışma konsantrasyonu duruma göre % 5-7 arasında değişir. Lif süspansiyonu rotor tarafından şiddetli bir karıştırmaya uğratılır. Liflendirme etkisi şiddetli türbülans, liflerin mekanik sürtünmesi ve rotor bıçaklarına temas sonucu oluşur. Pulperin içinde öğütücü bıçak ve bu bıçağın etrafında elek bulunmaktadır. Atık kağıt hamurunun hazırlanmasında en büyük sorun tel, iplik, naylon gibi maddelerin hamurdan temizlenmesidir. Bu işlem pulpere sarkıtılan bir halat ile gerçekleştirilir. Pulper çalışırken eski kağıt içindeki uzun parçacıklar bu halata dolanmakta ve halat çekildikçe kendiliğinden bir örgü teşkil ederek hamurdan uzaklaştırılmaktadır. Ağır kirlilikler pulperin yanındaki çöp tankına santrifüj kuvvet vasıtasıyla atılır. Burada biriken çöpler periyodik olarak temizlenmektedir. Elyaf açma işlemi gerçekleştirilen hamur pulperin altındaki kanaldan geçerek bir pompa vasıtasıyla sortir eleklerine gönderilir. Elyaf açma işlemini etkileyen faktörlerin başında hamur sıcaklığı ve kesafet gelir. Genellikle yüksek sıcaklık elyaf açmayı kolaylaştırır. İstenilen sıcaklık sisteme gönderilen suyla sağlanmaktadır. Kesafet hamurdaki elyafın % olarak ifadesidir. Kesafet iyi bir sirkülasyona izin veren bir değerde olmalıdır. Bu değer % 5-8 arasındadır.

Öğütücü bıçaklar takriben 1,5 m çapında olup 10 ton ağırlığındadır. Çevresel hızı 600-700 m/dak' dır. Bıçaklar krom çeliği, karbon çeliği, mangan çeliği, paslanmaz çelik, mangan bronzu, fosfat bronzu gibi malzemelerden imal edilmektedir. Sert çeliğin

kullanılmasında kesin kenarlar keskinliklerini muhafaza etmekte, bıçakların yan yüzlerinde aşınma olmaktadır. Yumuşak malzemenen yapılan bıçaklarda kısa zaman sonra malzemenin aşınması nedeniyle kenarlar zamanla yuvarlaklaşmakta ve çapaklar oluşmaktadır.



Şekil 5.2 Pulper

- 1) Su besleme, 2) Hafif kirliliklerin tutulduğu halat, 3) Elek, 4) Öğütücü bıçak, 5) Çöp tankı, 6) Motor, 7) Valf, 8) Pompa, 9) Hamur çıkışı, 10) Konveyör bant

Tank gövdesi dökme demir, yumuşak çelik, paslanmaz çelik, tuğla veya seramikten olabilir. Sarsıntı olmaması için gövde ağır olmalıdır.

Pulperler kuru kağıt hamurunun sulu ortamda liflendirilmesi görevini yaparlar. Böylece elde edilen lif süspansiyonu kolayca pompalanabilir, rifaynerlerde dövülebilir, eleklerde ve siklonlarda temizlenebilir.

Pulperin taban kısmında veya yan duvarlarda bulunan rotor iki görevi yerine getirir:

-Tank içinde lifleri ve suyu etkili bir şekilde karıştırır.

-Lifleri didikleyip etkili bir şekilde birbirlerinden ayırır.

Eğer rotor dipte ise liflendirme daha iyi ve istendiği kadar hamurla çalışabilir. Buna karşılık güç tüketimi oldukça fazladır. Rotor yanda ise daha yüksek konsantrasyonlarda çalışabilir.

Buna karşılık, alet daima dolu tutulmalıdır. Rotor genellikle paslanmaz çelikten yapılır.

Pulperler dolgu ve katkı maddelerinin hamura katılmasında, topak veya safiha halindeki hamurların liflendirilmesinde, kağıt makinesinin ıslak ve kuru kopma artıklarının açılmasında, eski kağıtların liflendirilmesinde kullanılırlar.

5.2 Sortir Eleklere

Hamur hazırlama ünitesinin en önemli görevlerinden biri, kağıdın görünümünü bozan, koptalara sebep olan, kalender ve eleklerin aşınmasını artıran düğümlenmiş elyaf örgüsünü temizlemektir. Sortir eleklere, kağıt hamurunun içinde bulunan düğümlenmiş, liflerine ayrıştırılmamış parçacıkları hamurdan uzaklaştırırlar.

5.2.1 Sortir Teorisi (Young, 1992)

Sortir işlemi bir ebat belirleme işlemidir. Basit şekli ile katı küresel partiküllerin yuvarlak delikli bir elek üzerine düştüklerini farzedelim. İdeal durumda çapı elek deliği çapından küçük olan katı partiküllerin elekten geçmesi ve geri kalanının rejekt edilmesi gerekir.

Pratikte bu işlem modifiye edilmiştir. Öncelikle elek üzerine düşen küçük partiküllerin doğrudan doğruya elekten geçme şansı elektteki açık kısımların yüzdesine eşittir. Daha büyük partiküllerin elekten serbestçe geçebilmeleri için daha büyük hacimli boşluk bulunması gerekir. Bu geçiş partikül ağırlık merkezinin bir elek deliği üzerinde olması ve aynı zamanda delik çeperinden kendi yarıçapından daha fazla uzaklıkta olması halinde gerçekleşir.

Dairesel bir partikülün doğrudan doğruya bir elekten geçme ihtimali aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$P = \frac{a (r_s - r_p)^2}{r_s^2} \quad (5.1)$$

P = İhtimal (%)

r_s = Elek deliklerinin yarıçapı (m)

r_p = Partiküllerin yarıçapı (m)

a = Elektteki açık alanların tüm alana oranı

Bir partikülün ebadı küçüldükçe elekten geçme şansı da artar. Partiküller arası mesafe azaldıkça partiküllerin takip ettikleri yolun değişmesi ihtimali fazla olur. Elektten

geçemeyecek kadar büyük olan partiküllerin bazı delikleri tıkanması ile serbest geçiş anı değişeceğinden elek performansı düşebilir. Tıkanmanın derecesi, partiküllerin büyüklük dağılımına ve rejekt olarak elekten atılıncaya kadar elek üzerinde kaldıkları süreye bağlıdır.

Bu maddelere bağlı olarak sortir elekler için bazı temel kavramlar ortaya çıkmaktadır. Bunlar:

- Eleğin veya partikülleri taşıyan ortamın vibrasyonu ile akışkanın karıştırılması gerekir. Karıştırma yapılmazsa elek delikleri tıkanır ve elekten geçmesi gereken partiküller rejekte verilir.

- Akış miktarı ve partikül ebat dağılımı, eleme süresini etkiler. Bu süre çok uzun olursa eleğin hemen yanındaki bölge büyük partiküllerle dolar ve elekten geçiş durur. Bir partikülün elekten geçmesi elek üzerinde kalma süresine bağlı olduğundan, partiküllerin akış miktarı ve büyük parçacıkların sayısı arttıkça elekten geçmesi zorlaşır. Bu nedenle elek üzerinde partiküllerin kalma süresini eleğin devamlı bir şekilde çalışabilir seviyesine düşürmek gerekir.

5.2.2 Sortir Kapasitesi (Young, 1992)

Elek çalışmasını kontrol eden temel faktör elek deliklerinin büyüklüğüdür. İdeal olan durum, kabul edilebilir büyüklükteki partiküllerin çok küçüklerinin geçmesine izin vermeyen bir elek delik ebadı seçmektir. Bu durum elek kapasitesini düşüreceğinden, pratikte uygulanmamaktadır. Açık saha alanı sabit tutulsa dahi delik çaplarının küçültülmesi deliklerin tıkanma ihtimalini arttıracığından elek kapasitesini azaltma etkisi olacaktır. Bunun yanında elyaf topakları elek deliklerine yaklaştıklarında sularını bırakma eğilimi olacak ve deliklerin küçük olması halinde deliklerin tıkanma riski artacaktır. Vibrasyon bu problemleri azaltır, fakat eleğin ve hamurun tipine bağlı olarak daima bir kapasite sınırlaması mevcuttur.

Rejektlerin atılması şekli de elek kapasitesi yönünden önemlidir. Rejekt akışı kontrolsüz ise elek deliklerinin küçültülmesi rejekt akışının miktarını artırır. Rejekt akışı kontrollü ise, deliklerin küçültülmesi vibrasyon ihtiyacını artırır ve elek boyunca basınç düşmesi de artar.

5.2.3 Döner Elekler (Young, 1992)

Basıncılı eleklerden önce birçok kağıt fabrikasında kullanılmış ve halen de hamur kasasından önce kullanılmaktadırlar. Üzerinde delik ve yarıklar bulunan silindirik eleklerden oluşurlar. Eleğin iç veya dış kısmında süpürücü veya yalayıcı levha yada hidrofoiller bulunur. Eleğin tamamı kapalı bir sistem oluşturup, temizleme suyu gerektirmez ve hamura havanın girmesini engeller.

Döner elekler genel olarak iki tipe ayrılırlar:

- 1) Eğer süpürücü levhalar silindirik eleğin içinde ise buna santrifüj tipi elek denir. Hamur akımı merkezden dış tarafa doğrudur.
- 2) Eğer süpürücü levhalar silindirik eleğin dışında ise santriped tipidir ve hamur akımı çevreden merkeze doğrudur.

Her iki tipin süspansiyonu elek arasından geçirmek için kendine has karıştırma sistemi vardır, lifleri süspansiyonda tutarlar ve pislikler dibe çökerler.

Santrifüj tipinde süpürücü levhalar çıkış deliği önünde geçerken aşırı basınç yaratırlar, bu yüzden sarsıntı ve hidrolik düzensizlikler oluşur.

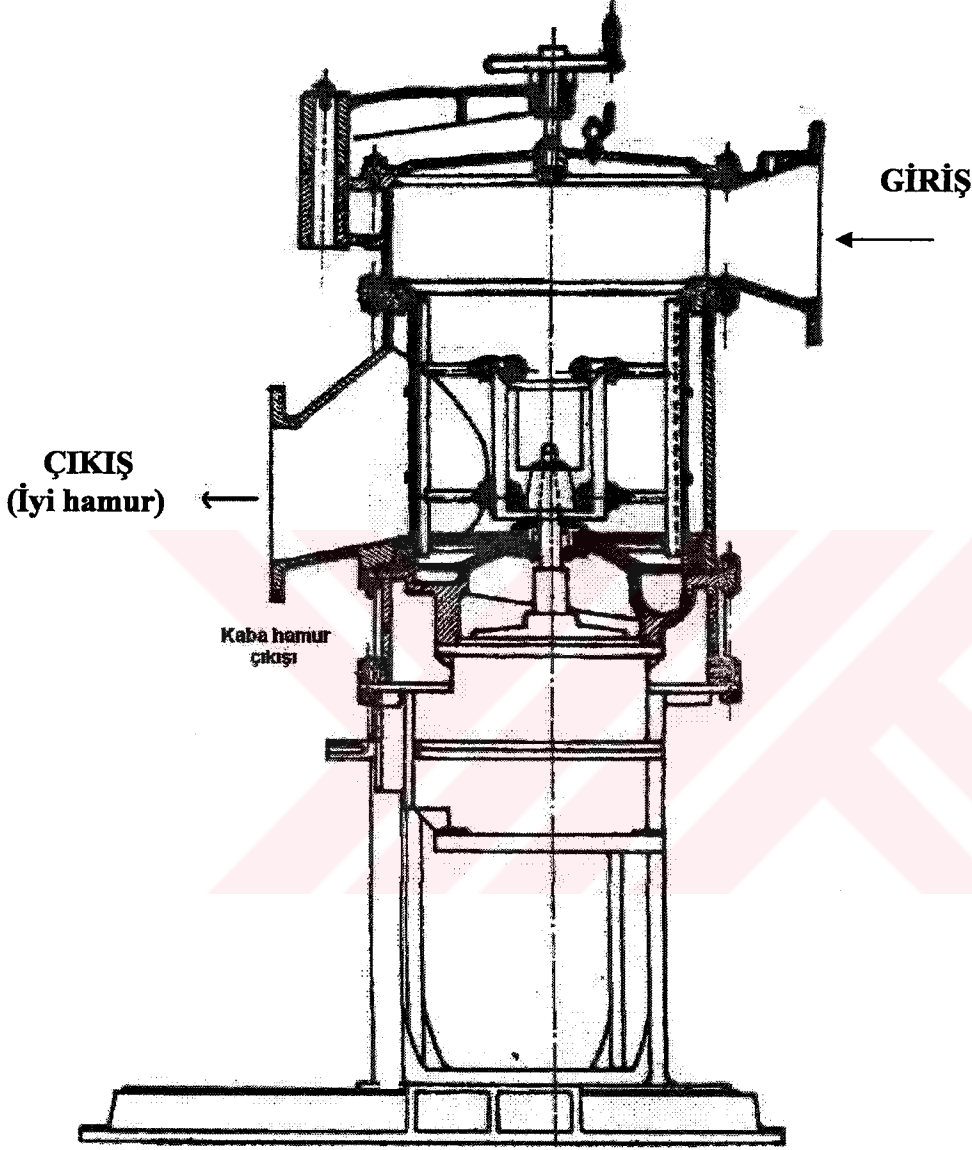
Santriped tipi eleklerde bu sakınca görülmez ve daha az tıkanma olur, kirler santrifüj etkisi ile dışa doğru atılırlar. Pratikte santriped tipi elekler daha çok kullanılmakta olup, hemen her tip kağıt ve karton yapımında kağıt makinesinden hemen önce kullanılırlar, dışa doğru akımlı santrifüj tipi elekler ise düşük gramajlı kağıtların, yazı kağıtlarının ve fazlaca paçavra selülozu kullanılan kağıtlar ile sigara kağıdı yapımında kullanılırlar.

5.2.4 Kapalı Basıncılı Sortirler (Selectifier) (Young, 1992)

Basınç altında çalışan ve ince temizlemede kullanılan eleklerdir. Daha az yabancı madde birikimi olur ve daha az alan kaplarlar. Bu cihaz, kapalı bir kovan içinde, giren hamurla iyi hamuru birbirinden ayıran silindirik bir elek levhasından meydana gelir. Hamur, duvara teğet olarak üst hücreye girer. Sonra aşağıya silindirik elek levhasının merkezine doğru akar. İyi hamur elek deliklerinden elek levhasını çevreleyen hücreye geçer ve sonra elek çıkışına akar. Eleğin tıkanmadan çalışmasına devam edebilmesi için gerekli olan sarsıntı, merkezi bir şaftta monte edilmiş bulunan iki palet (kazıyıcı) tarafından sağlanır. Paletler hamur içinden dönerken bunların ön ucunda bir basınç alanı ve ardından paletlerin arka ucunda bir emiş alanı meydana gelir. Paletlerle elek arasındaki mesafe üst kısımda 1,5 mm, alt kısımda 3mm'dir. Paletlerin elek levhasına çok yakın olmaları nedeniyle basınç ve emiş alanları bütün iç yüzeyi kapsar ve eleği süpürerek ani basınç dalgalanmaları yaratırlar. Bu dalgalanma elyafın elek deliklerinden geçmesine ve kaba hamurun de elek üzerinden ayrılmasına yardım eder.

Paletler düşeyle belli bir açı yapacak şekilde monte edilmişlerdir. Bu durum, kaba elyafın (rejekt) aşağıya doğru süpürülmesine yardım eder. İç bölmenin dış kısmında çıkış borusuna doğru uzanan spiral bir hazne bulunmaktadır. Elektan geçmeyen maddeler hazneye girere ve oradan akıntıyla birlikte taşınırlar. Çıkış borusunun üzerinde "T" şeklinde monte bir tutucuya

uzanan düşey bir boru bulunmaktadır. Ağır parçacıklar bu tutucuya düşerler ve kapama vanaları sayesinde elek çalışmakta iken bu tutucu boşaltılabilir.

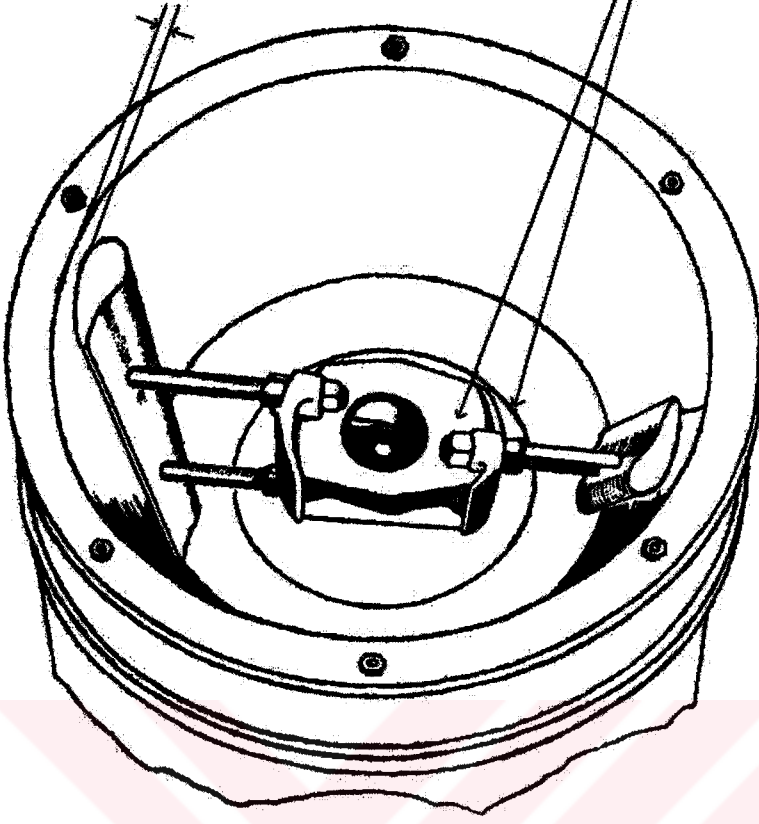


Şekil 5.3 Selectifier kesiti

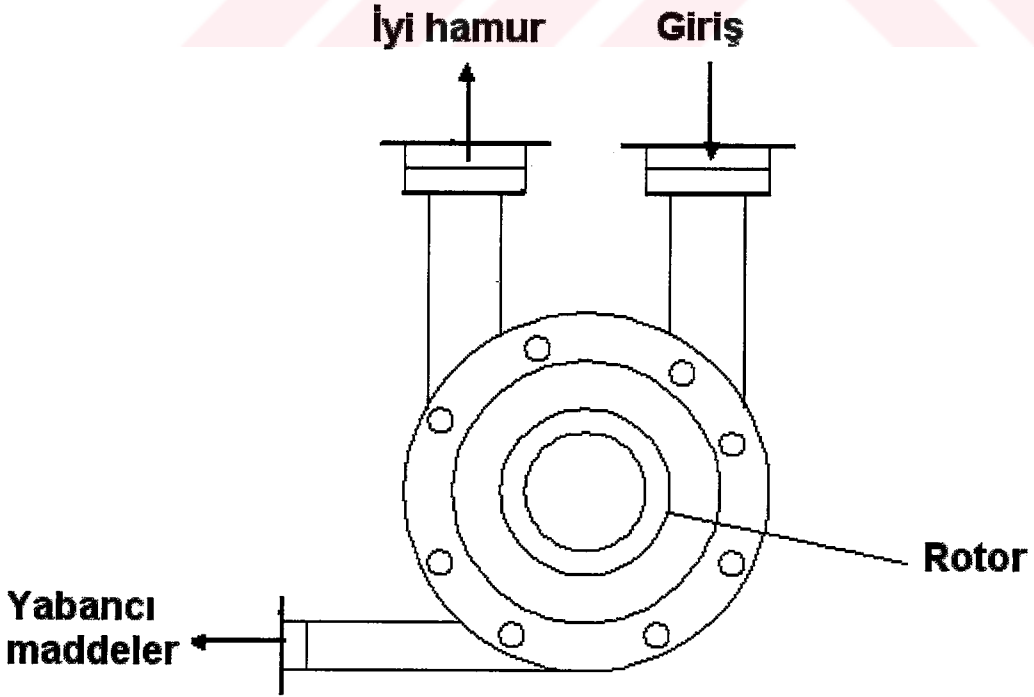
Bazı modellerde akış eleğin merkezine yönlendirilmiştir. “Centrisorter” olarak adlandırılan dizaynda aynı merkezli iki adet elek levhası bulunmaktadır. Hamur elekler arasında girerken iyi hamur da hem merkeze doğru hem de bunun tersi yönde akar. Bu ünite de rotor, ikisi iç eleğe yakın olmak üzere dört adet palet taşımaktadır. Silindirik rotorun üzerinde yarım küre şeklinde birçok çıkıntı mevcuttur. Rotorun hareketi ile meydana gelen pulsasyon (nabız atışı şeklindeki etki), iyi hamurun elek plakasından geçmesini sağlar

Kazıyıcı elek iç yüzeyinden
açıklığı (1,58 mm)

Kazıyıcı açıklığının değiştirilmesi için
altılı somun ayarlanır



Şekil 5.4 Temassız kazıyıcıların ayarlanması



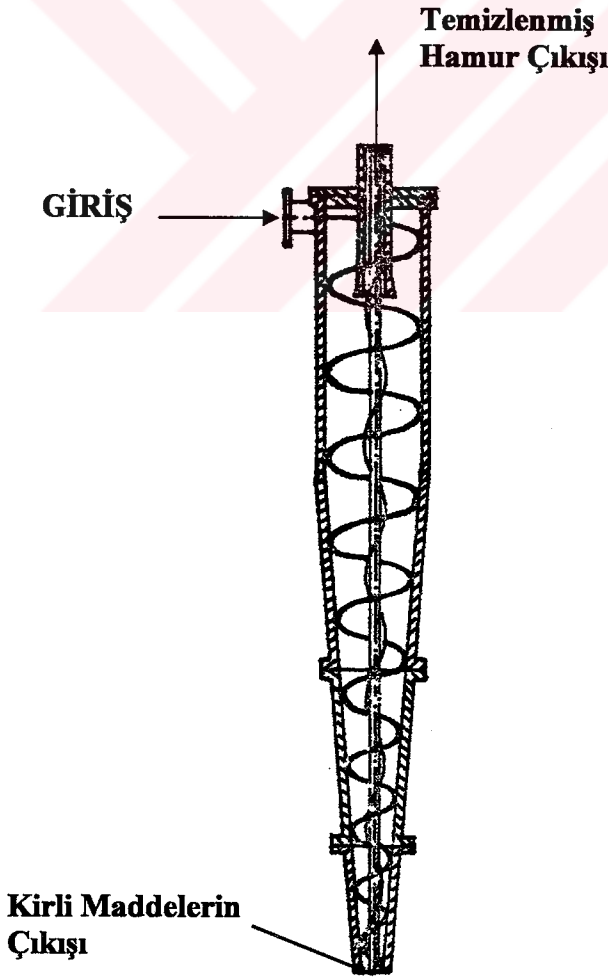
Şekil 5.5 Centrisorter kesiti

5.3 Kum Tutucular (Siklonlar) (Young, 1992)

Siklonlar, değişik kesafetli parçacıkların santrifüj kuvvet etkisiyle ayrılmasını sağlarlar. Bir sıvı içindeki parçacıkların kesafet farkı ile ayırımı iki faktöre bağlı bulunmaktadır. Birincisi, parçacıklara ve sıvıya değişik etkileri olan dış güçlerin uygulanması ve böylece parçacıklar ve sıvı arasında izafi bir hareket sağlanmasıdır. Bu da, sıvının dairesel bir hareketle döndürülmesi ve böylece santrifüj kuvvetler yaratılması ile sağlanır. İkinci faktör ise parçacıkların sıvı içinden geçerken harekete karşı gösterdikleri dirençtir.

Siklon temizleyicilerde sıvı dış cidarın yanından dairesel kabın içine teğet olarak akıtılmaktadır. Dairesel hareket sağlanmakta ve sıvı, kap cidarını aşağıya doğru takip etmektedir. Dibe erişen hamur, siklonun dikey aksı boyunca ters bir akışla yükselerek iyi hamur olarak temizleyicinin ortasından çıkar.

Hamurun içinde bulunan parçacıklar dış tarafa, kabın cidarlarına doğru itilecektir. Bu itme hareketi, akış aşağıya yönelince hız arttığı ve yarıçap azaldığı için siklonun içinde artmaktadır.

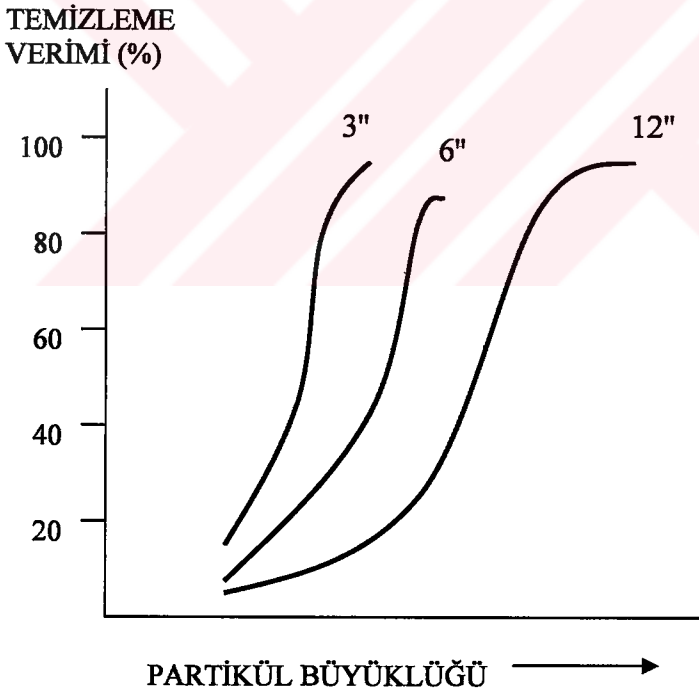


Şekil 5.6 Kum tutucu

Siklonlarda dairesel hareketin yanında yan hareketler de oluşmaktadır. Yan hareketler siklonun şeklinin fonksiyonudur. Siklon temizleyicilerde önemli olan husus, elyaflarla istenmeyen maddelerin ters yönde hareketini sağlamaktır. Bunun için kabın üst kısmına borulu bir ağız yerleştirilir ve dip bölüme de artık hamurun çıkması için mil ile konsantrik veya cidara teğet olarak ikinci bir ağız yerleştirilir. Ana hamur akışı atık maddelerin siklonun cidarına yönelmesini kolaylaştırır. Fakat cidar pürüzlü ise artık hamurun düzgün akışı bozulmakta ve hamurun içine yönelmektedir.

Siklon temizleyicilerin çalışması ile ilgili bir diğer problem ise vorteksin oluşması sonucunda siklon içinde merkezi bir hava akımının meydana gelmesidir. Sıvının yüksek hızından dolayı içerdeki basınç atmosferik basınçtan daha düşüktür. Bu nedenle artık hamur ağız atmosfere açık olduğu takdirde hava içeriye çekilmekte ve bu hava girişi hamurun sonraki işlemlerinde sorun yaratmaktadır. Hamurun havasını almak için vakum uygulanır.

Siklon temizleyicilerden en çok kullanılanların çapları 3", 6" ve 12" dir. Bu temizleyicilerin küresel parçacıkların boyutuna bağlı olarak artık ayırma verimi Şekil 5.7 de verilmiştir.



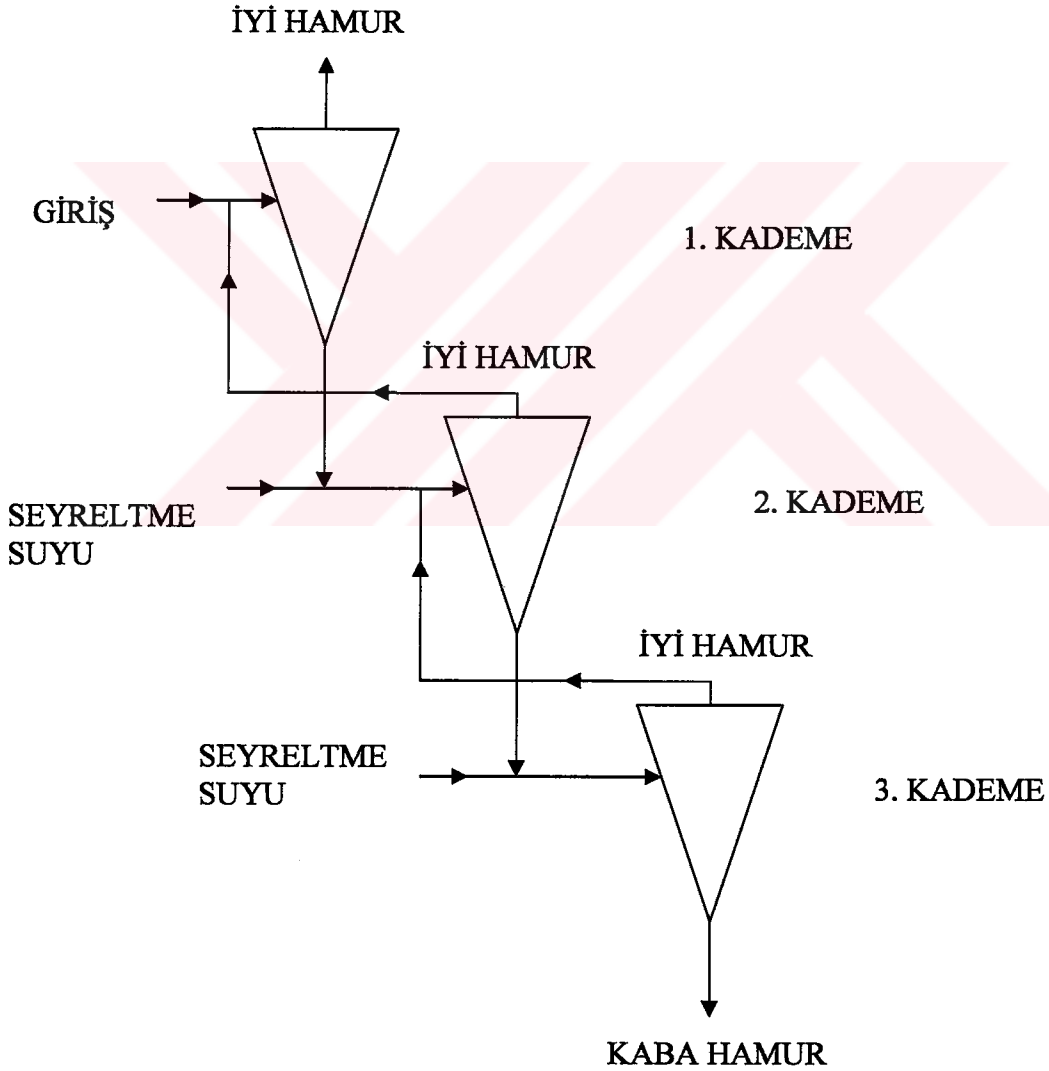
Şekil 5.7 Siklon verim eğrisi

Siklon çapını büyütme, kesafet ve giriş basıncı sabit kalmak üzere bütün parçacık ebatları için temizleme verimini azaltmaktadır. Bunun sebebi parçacıkların dönüş yarıçaplarının artmasıdır. Aynı giriş basınçlarıyla, dış cidarlardaki hamur hızları aynı olacaktır. Ancak dönüş yarıçapı büyüdükçe hız azalacaktır.

5.3.1 Kum Tutucuların Kademeli Olarak Kullanılması (Young, 1992)

Siklon temizleyicilere giren hamurun miktarı fazla olduğu takdirde ikinci kademe ve gerekli görüldüğü takdirde üçüncü kademe temizleme uygulanır. Her siklonda sabit bir giriş basıncı bulunur. Temizlenecek hamurun tüm miktarına göz önünde bulundurularak gerekli sayıda üniteden faydalanmak gerekir.

Siklonların çalıştırılmasında önemli noktalardan biri, giriş hamurundan çok daha yüksek kesafette artık hamurun temin edilerek kesafet artırılmalıdır. Bu nedenle, temizleyicilerin ilk kademesinden gelen artık hamur gereken giriş kesafetine sulandırılmalı ve ondan sonra ikinci kademe girişine pompalanmalıdır. İkinci kademedeki gelen artık hamurda aynı şekilde sulandırılarak üçüncü kademeye gönderilir.

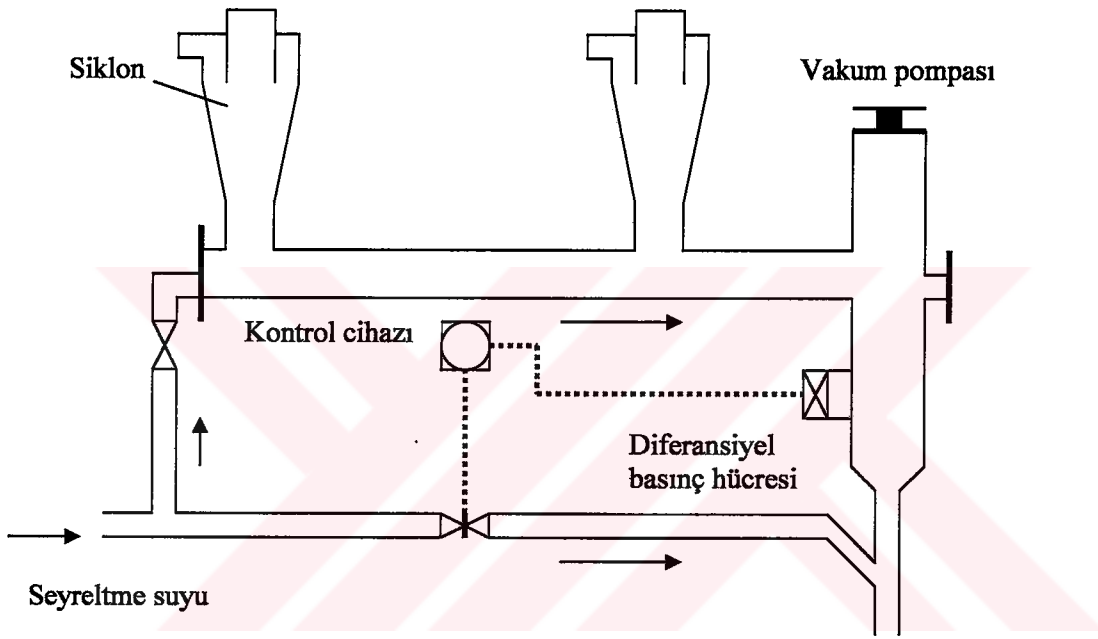


Şekil 5.8 Siklonların kademeli olarak kullanılması

Birinci kademe kaba hamurlar toplanır ve seyreltme suyu ilave edilerek ikinci kademeye gönderilir. İkinci kademedeki çıkan iyi hamur birinci kademe girişine pompalanır. İkinci

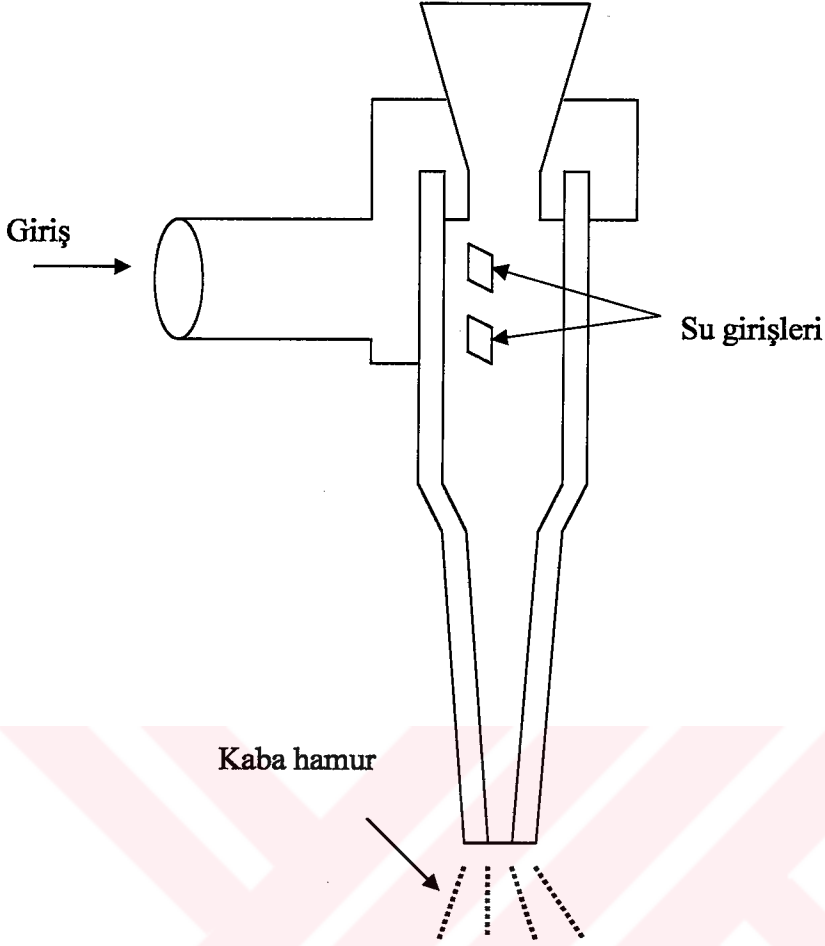
kademe kaba hamuru seyreltir ve üçüncü kademeye pompalar. Artık maddeler üçüncü kademedan dışarı atılır. Temizlenmiş hamur birinci kademedan sisteme gönderilir.

Siklon sistemlerinin geliştirilmiş çeşitli dizaynları bulunmaktadır. Bunlardan biri olan "Baurvac" sisteminde boşaltma kabının üst kısmında 25" civa vakumu sağlayan bir vakum pompası bulunmaktadır. Boşaltma kabının seviyesine bağlı olarak bu kabın dibine verilen seyreltme suyunun miktarı kontrol edilir. Sistem hamurun içindeki havanın büyük kısmını ayırdığı gibi hamurun içine daha fazla havanın karışmasını da önler.



Şekil 5.9 Baurvac sistemi

Siklon temizleyicilerinde önemli noktalardan biri de elyaf kaybının azaltılmasıdır. Siklonlarda elyaf kaybını azaltmak için geliştirilmiş cihazlardan biri "Stockpower" cihazıdır. Bu cihazda rejekt dairesel bir hücrenin içine hareket eder. Siklonun iç çeperindeki bir veya birkaç delikten içeri su enjekte edilir. Bu işlemin amacı, kirli maddelerin hamurdan ayrılmasını kolaylaştırmak ve rejekt akışını seyreltmektir. Seyreltme suyunun dönüş hızı, rejekt akışının dönüş hızıyla uyumlu olmalıdır. Bu durum seyreltme suyu basıncının uygun değere ayarlanmasıyla sağlanır. Bu cihazla siklon verimini sabit tutarak, elyaf kaybını % 40 oranında azaltmak mümkündür.

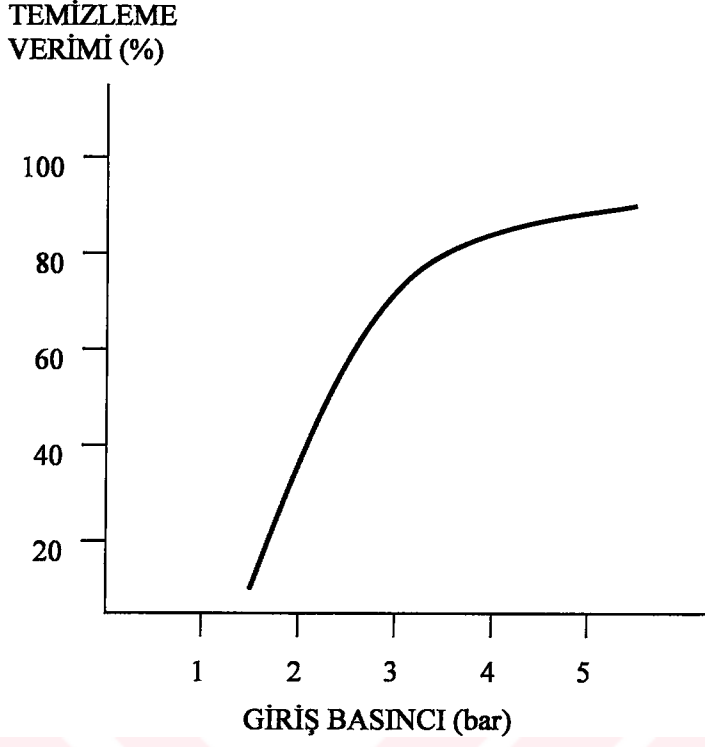


Şekil 5.10 Stockpower cihazı

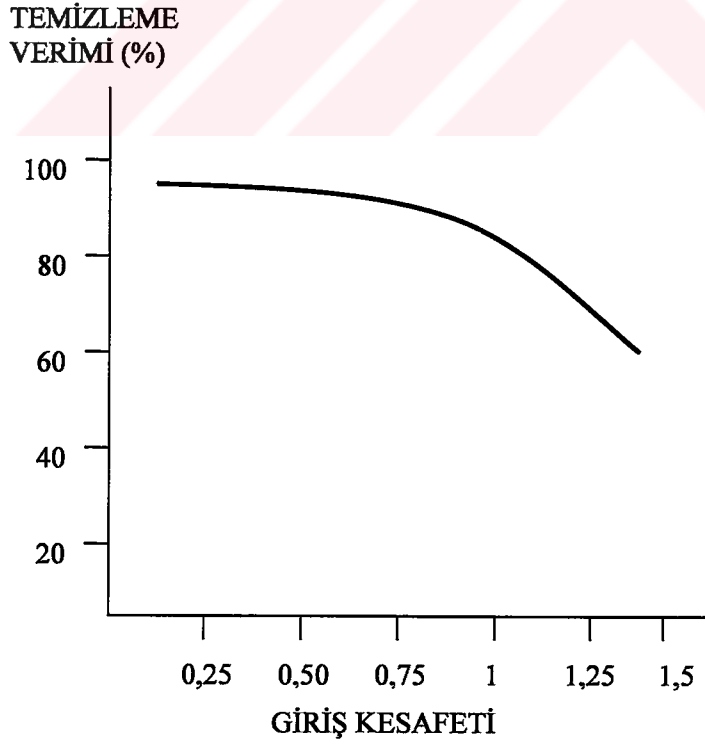
5.3.2 Giriş Basıncı ve Kesafetin Siklon Verimine Etkisi (Young, 1992)

Giriş basıncı ve hamur kesafeti temizleme verimini ve çalıştırma maliyelerini etkilerler. Şekil 5.11 giriş basıncı ile verim arasında olan ilişkiyi göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi giriş basıncının artırılması ile verim önce artış gösterir, fakat 4-5 bar civarında artış durur. Ayrıca giriş basıncının artması ile rejektteki akış yüzdesi azalır.

Kesafet, hamurun % olarak konsantrasyonunu ifade eder. Hamur kesafeti arttırılınca temizleme veriminin aniden üstüğü bir nokta ile karşılaşılır. Bu nokta rejekt çıkış ağzının büyüklüğüne bağlıdır ve düşük kesafetlerde daha küçük çaplı rejekt ağzı kullanılmalıdır. Kesafetin arttırılmasıyla elyaf kaybı bir noktaya kadar azalır sonra artış gösterir. Elyaf kaynının minimum seviyede olması gerekir. Kesafetin düşük olması daha büyük bir hacim kullanılmasını gerektirir. Dolayısıyla yatırım maliyeti artmış olur. Elyaf kaybı ve verim göz önünde bulundurularak optimum şartların seçilmesi gerekir.



Şekil 5.11 Giriş basıncının siklon verimine etkisi



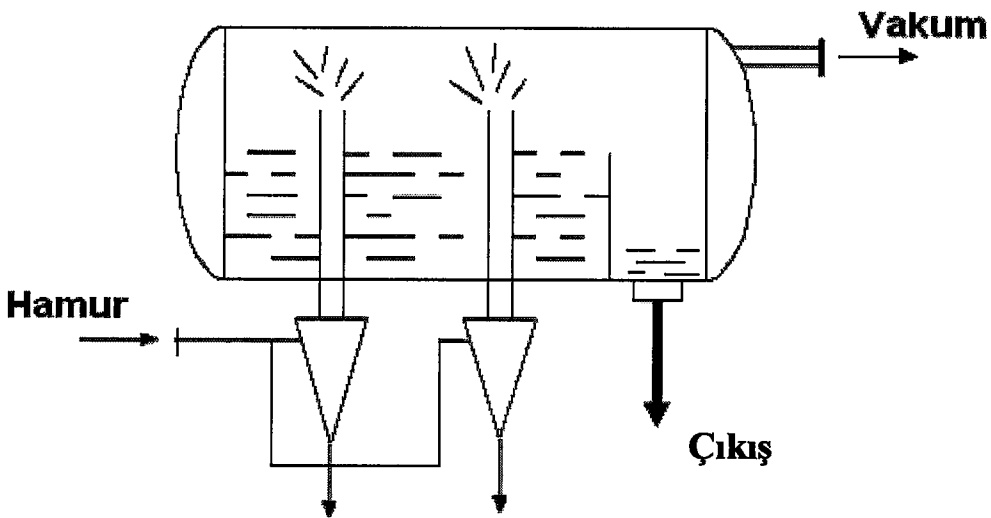
Şekil 5.12 Hamur giriş kesafetinin siklon verimine etkisi

5.4 Hamurdan Havanın Giderilmesi (Young, 1992)

Lif süspansiyonu hemen her zaman hava içerir, bu havanın miktarı az veya çok olabilir. Hamur içindeki hava hamurun kendisinden, beyaz sudan kaynaklandığı gibi bazen de kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan gazlardan ileri gelebilir. Hamurda bulunan hava çeşitli şekillerde bulunabilir:

1. Serbest Hava: Serbest kabarcıklar halinde bulunabilir. Yüzeyle köpük oluşmasına neden olur ve bu köpükler zift, pigment ve ince partiküllerin hamur deposu ile hamur kasasında yüzeyle çıkmasına neden olurlar. Bu birikintiler ve hava kağıdın kopmasına ve kağıtta oyuk ve lekelere neden olur.
2. Bağlı Hava: Küçük kabarcıklar halinde liflere bağlı olan havadır. Kağıt makinasının hamur kasasında liflerin kümelenmesine neden olur ve oluşan kümelerin dağıtılması güçtür. Havanın liflere bağlanmasına hava- su- lif arasındaki yüzeylelerarası gerilim neden olmaktadır. Bağlı hava lif tabakası içindeki gözenekleri tıkayarak kağıdın oluşumu sırasında drenajı geciktirir. Kağıt daha geçirgen ve daha az yoğun olur.
3. Çözünmüş Hava ve Gazlar: Eğer suda çözünmüş halde kalırlarsa sorun yaratmazlar. Vakum uygulanması halinde ve sıcaklık artarsa yüzeyle çıkabilirler.

Hamurun havasını gidermek için vakum uygulanır. Bu sistemler genel olarak kum tutucularla birlikte kullanılır. Yaygın bir şekilde kullanılanlardan biri “dekülatör” sistemidir.



Şekil 5.13 Dekülatör sistemi

Bu sistemde hamur siklon temizleyicilere verilmektedir. Siklonlarda temizlenen hamur vakumlu bir kaba gönderilir. Hamur çıkış ağzları kabın üst kısmına açılan fıskiye borularına bağlanmıştır. Fıskiyelerin kullanılması, hamurun vakumla olan temas süresinin arttırılmasını sağlar. Hamur taşma savağı arkasında toplanır.

Havanın hamurdan alınmasının faydaları şunlardır:

- Sonsuz elek üzerinde drenajı ve dolayısıyla kağıt formasyonu iyileşir.
- Köpük oluşumu engellenir.
- Kağıdın temiz olmasını ve küçük toplu iğne başı şeklinde çukurların oluşmasını engeller.

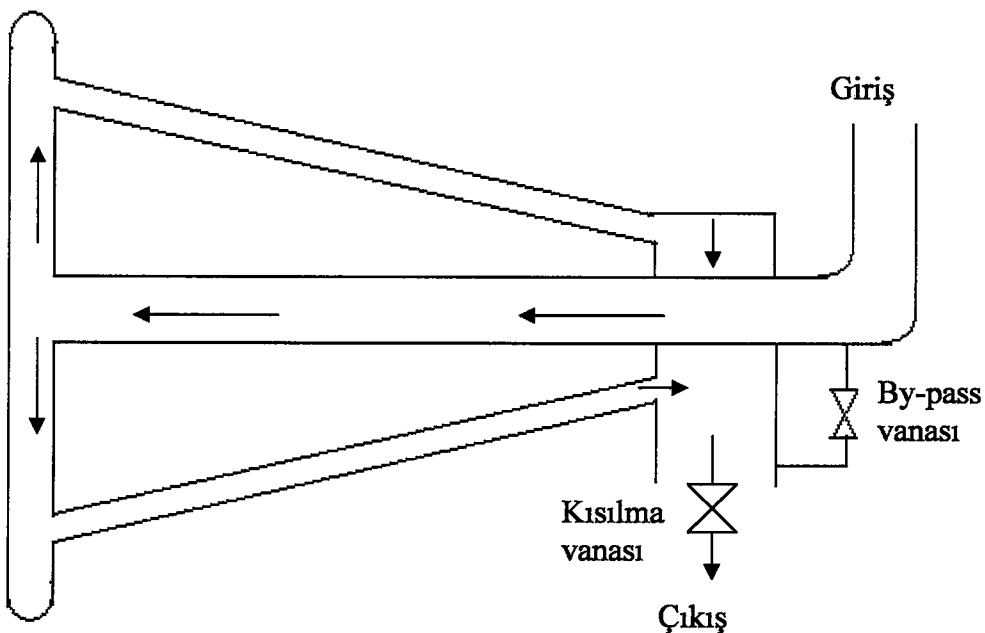
5.5 Rifayner (Öğütücü)

Lifleri bireysel olarak ayırıp, uç kısımlarını püsküllendirip, birbiriyle kenetlenmelerini sağlamak için öğütmek gerekir. Lifler kısa ve uzun olmak üzere iki çeşittir. Kısa lifler ayrı ayrı öğütülür. Öğütüm rifayner denilen araçla gerçekleşir. İki çeşit rifayner dizaynı bulunmaktadır.

5.5.1 Konik Rifayner (Young, 1992)

Konik rifayner, bir shaft üzerinde taşınan bir rotor ile rotorun içerisinde döndüğü konik bir gövde (statör) kısmından meydana gelir. Statör ve rotor üzerinde aksel yerleştirilmiş bıçaklar bulunmaktadır. Bıçaklar, daha çok aksel itme kuvveti elde etmek yani öğütücü basıncını değiştirmek için rotor içinde ileri veya geri hareket ettirililer.

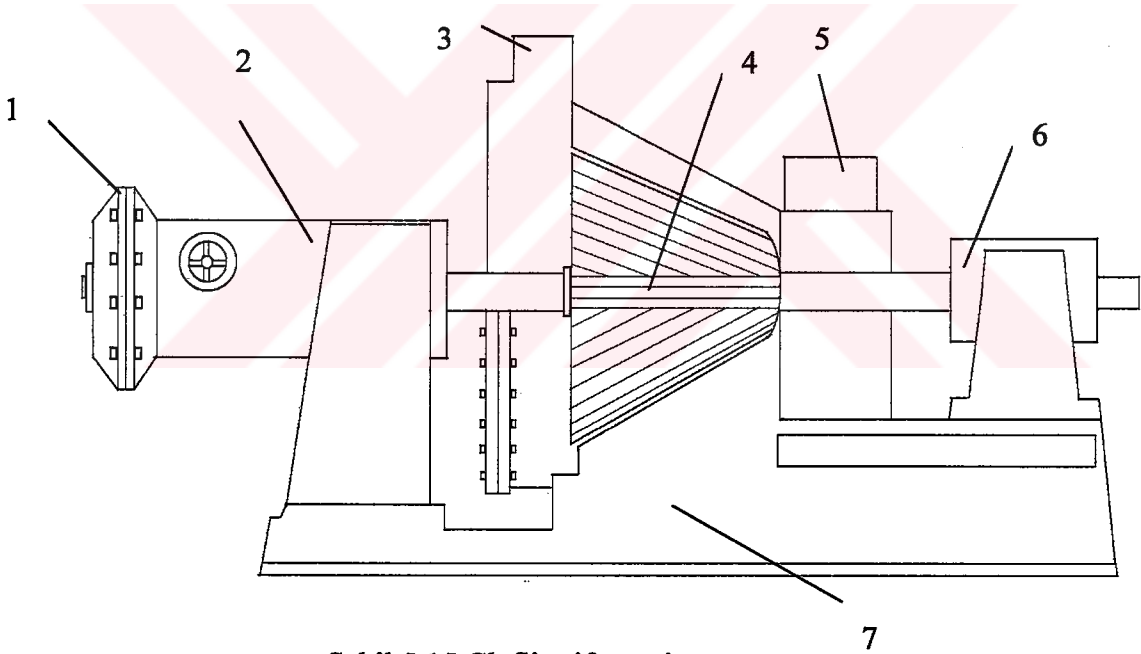
Konik rifaynerlerin yaygın bir şekilde kullanılan tiplerinden biri Morden rifayneridir.



Şekil 5.14 Morden rifayneri

Hamur dar kısımdan sisteme girmekte ve oradan da rifaynerin geniş ucuna rotorun içine geçmektedir. Hamur daha sonra, öğütme kısmından rifaynerin dar çaplı ucundaki toplama bölmesine gönderilir. Hamur rifaynerin içinde meydana gelen basma hareketinin tersine pompalanmalıdır. Böylece hamurun öğütme kısmının içinde kalma süresi arttırılabilmektedir. Hamurun rifaynerin içinde kalma zamanı, çıkış kısmında bulunan kısılma vanası ile kontrol edilir. Sistemde ayrıca, rifaynerden geçmiş olan hamurun giriş kısmına döndürülmesini sağlayan by-pass vanası bulunur. Bu vana sayesinde hamurun rifaynerden ikinci defa devri sağlanmakta, böylece rifaynerin kapasite sahası genişletilmiş olmaktadır.

Konik rifaynere verilebilecek örneklerden biri de Claflin rifayneridir. Bu rifaynerin en belirgin özelliği geniş ucuyla dar uç kısmı arasındaki açının büyük olmasıdır. Bu sayede daha büyük çevresel hızlar sağlanır ve hamurun rifaynerin içinden geçerken hidrolik makas alanında geçirmiş olduğu zaman artar. Claflin rifayneri ile elyafa daha az zarar verip büyük bir bağlama mukavemeti sağlanmış olur.



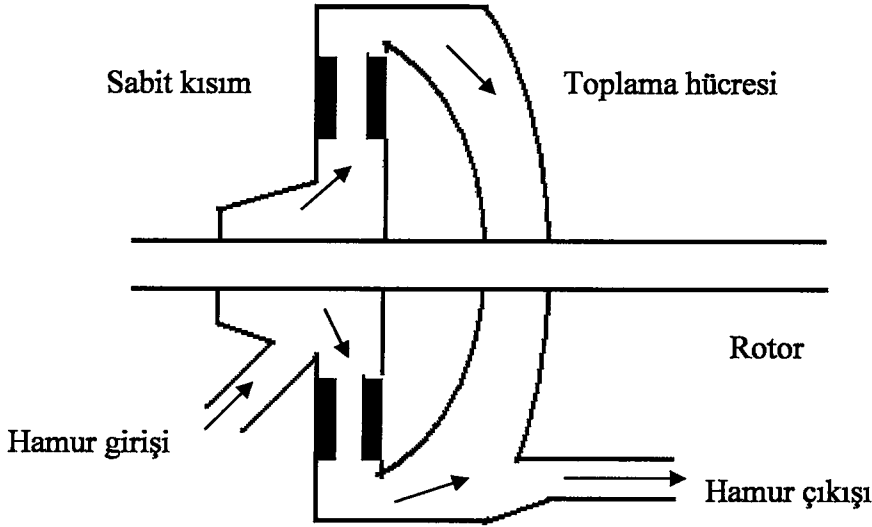
Şekil 5.15 Claflin rifayneri

- 1) Rotor tespit mekanizması, 2) Basınç yatağı, 3) Hamur çıkışı, 4) Rotor, 5) Hamur girişi, 6) Sürgülü kaplin, 7) Ana gövde

5.5.2 Diskli Rifayner (Young, 1992)

Diskli rifaynerlerin önemli avantajları verimlerinin yüksek olması, birim enerji maliyetlerini düşürmeleri ve dolgu maddelerinin düşük maliyetli oluşudur. Diskli rifaynerlerde, öğütücü elemanları sabit dairesel bir taban plakası üzerine yerleştirilmiştir. Hamur sabit plakanın orta kısmından verilmektedir ve dairesel toplama bölümüne radyal bir şekilde geçmektedir.

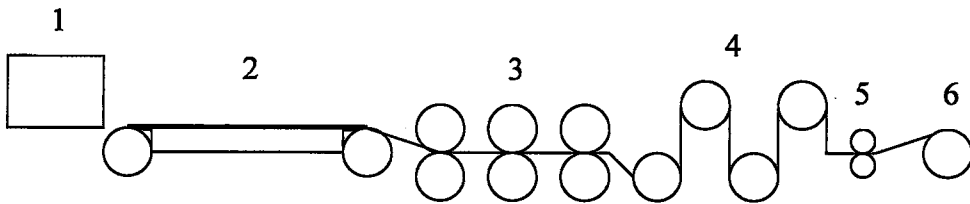
Rifayner içinde karşılıklı çalışan iki tane disk ve bunların üzerine sıralanmış bıçaklar bulunur. Hamur basınç altında bıçaklar arasından geçirilir ve öğütme gerçekleşir.



Şekil 5.16 Diskli rifayner

Disk malzemesi olarak sinterlenmiş metaller kullanılmaktadır. Bu malzeme toz halindeki metali basınç altında ısıtmak suretiyle oluşturulur. Bu malzemeler elyafın deforme olmasını engellemekte ve elyafın elastisite kabiliyeti artmaktadır.

6. MAKİNA DAİRESİ (De Ceuster, 1992)



Şekil 6.1 Akım şeması

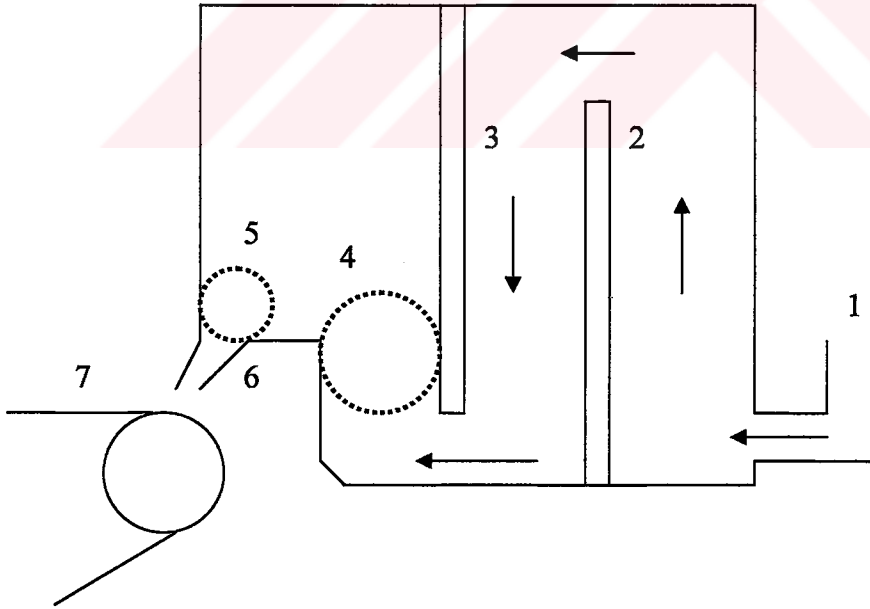
1) Hamur kasası, 2) Sonsuz elek kağıt makinesi, 3) Presler, 4) Kurutma ünitesi, 5) Kalender, 6) Mal sarıcı

6.1 Hamur Kasası (De Ceuster, 1992)

Hamur kasası ve akım dağıtıcıların görevi santrifüjlü pompalardan borular vasıtasıyla gelen, belirli hızda ve kesitteki süspansiyon akımını, mümkün olduğu kadar düzenli bir biçimde,

makine eni boyunca, en az oranda karşı akım ve anaförler oluşturarak, kalınlığı 1-1.5 cm olan ince dikdörtgen prizması şeklinde bir akıma dönüştürerek sonsuz eleğe vermektir. Kağıdın formasyonu ve düzenliliği büyük ölçüde liflerin dağılımına bağlıdır. Bu nedenle hamur kasası ve akım dağıtıcıların dizaynı liflerin çökmesini, kümelenmesini önleyecek şekilde yapılmalıdır. Onun için bükülmeler, kıvrımlar, dirsekler ve aşırı türbülanslardan kaçınmalıdır. Hamur kasası akımın hızını yavaşlatır, şerit halindeki akımları yok ederek homojen bir akım haline getirir.

Hamur kasası kağıt formasyonunda çok önemli bir rol oynar. Kağıt öncelikle hamur kasası ve elek üzerinde şekillenir. Herhangi bir hatanın üzerinde düzeltme şansı pek yoktur. Bu bölümde lifler yönlendirilir, kümelenir. Dolgu maddelerin enine, boyuna ve kalınlığına dağılımı burada belirlenir. Hamur kasasından çıkan akımın homojenliği önemli bir etkidir, yani akım içindeki lif kümeleri küçük ve gevşek olmalıdır. Homojenliği sağlayan en önemli etken ise düşük konsantrasyondur. Akım ve elek hızı kolayca ayarlanabilmelidir, aksi halde küçük hız farkları bazı sorunlara neden olabilir. Akım, makine eni boyunca homojen olmalıdır. Hamur kasası pompalardan ve eleklerden gelen dalgalanmaları giderir.



Şekil 6.2 Hamur kasası

- 1) Hamur girişi, 2) Birinci perde , 3) İkinci perde, 4) Dengeleme silindiri, 5) Yayma silindiri, 6) Cetvel ağzı, 7) Elek

Dengeleme ve yayma silindirleri paslanmaz çelikten imal edilirler. Dengeleme silindirlerinin üzerlerinde delikler bulunur. Deliklerin çok düzgün olması ve spiral şeklinde olması gerekir. Dengeleme silindirleri hamurun homojen bir şekilde dağılımını sağlarlar. Hamur kasasının çıkış kısmında bulunan yayma silindiri hamurun istenen ölçülerde cetvel ağzına verilmesini sağlar. Hamur kasasında konsantrasyon arttırılırsa formasyon bozulmaya başlar, dolayısıyla kağıt özellikleri de bozulur. İyi bir formasyon ve kağıt özellikleri için düşük konsantrasyon gereklidir.

Cetvel ağzı hamur kasasının ön alt kısmında bulunan iki tane dudaktan oluşan açıklığı 1–1,5 cm dolayında olan dikdörtgen şeklinde bir deliktir. Dudaklar paslanmaz çelik, bronz, ve dökme demirden yapılır. Dudaklar son derece rijit olmalı ve eğilmemelidir. Alt ve üst dudakların pozisyonları birbirine göre ayarlanarak hamur kasasından aldığı süspansiyonu düzgün bir akım haline dönüştürerek formasyon alanına verir. Cetvel ağzının üst parçasına üst dudak, alt parçasına alt dudak denir. Cetvel ağzı açıklığı üst dudağı önden eğerek ayarlanır. Alt dudak eleğe 6 mm den yakın olmamalıdır.

İdeal olarak akımın kesiti dikdörtgen, hız makine eni boyunca aynı ve süspansiyonun lifleri tümüyle dağılmış olmalıdır. Dudaklar rijit ve kenarları sivri olmalıdır, aksi takdirde stabil akım elde edilemez. Cetvel ağzı daima temiz tutulmalı, liflerle pisliklerin takılmasını ve birikmesini önlemek için dudakların iç yüzeyleri pürüzsüz olmalıdır.

Cetvel ağzının dizaynı ve çalışması son derece önemlidir. Çünkü, kağıt bu noktada şekillenmeye başlar. Cetvel ağzından önceki cihazlar düzenli bir süspansiyon elde etmek için kullanılmaktadır. Cetvel ağzının dizaynı aşağıdaki işlevleri yerine getirebilecek seviyede olmalıdır.

- 1) Süspansiyonu makine eni boyunca üniform bir şekilde dağıtmalı, ufak değişiklikleri ayarlayabilecek düzeye sahip olmalıdır.
- 2) Ağız açıklığı, dolayısıyla akım hızı elek hızıyla belirli oranlar içinde ayarlanabilmelidir. Ağız açıklığı kağıt kalitesini etkileyen en önemli faktördür.
- 3) Elek üzerine çarpma çizgisi kontrol edilmelidir.

Alt dudağın eğimi ve pozisyonu bir defa ayarlandıktan sonra sabit kalır. Alt dudak rijit olmalı ve titrememelidir. Ayarlar vidalar ve göstergeler yardımıyla yapılır. Dudaklar çok hassas mekanik araçlar olup çok küçük yüzdede deformasyonlar kağıdın formasyonunu önemli ölçüde etkiler.

6.2 Sonsuz Elek Kağıt Makinesi (Yaş Kısım) (De Ceuster, 1992)

Kağıt makinesi aşağıdaki görevleri yerine getirir :

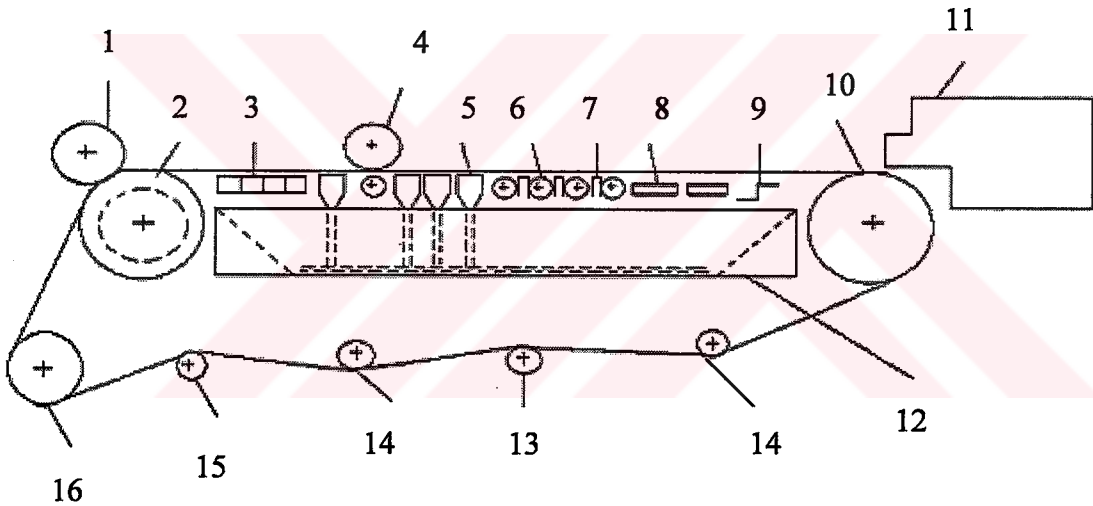
- Sonsuz eleğe makinenin eni boyunca lif süspansiyonu homojen, düzenli ve uygun olarak verilmesi.

- Liflerin düzenli ve homojen bir biçimde dağıtılması. Bu görevi kağıt makinesinin formasyon birimi yerine getirir. Bu birim bir veya çift elekten ve su çıkarılmasını kolaylaştıran değişik aygıtlardan oluşur. Bu aygıtlar basınç farkı yaratarak, vakum oluşturarak suyun süzülmesini sağlarlar. Bu aygıtları aşağıdaki şekilde gruplandırabiliriz.

1) Yerçekimi ile çalışanlar : Tabla silindirleri(valsler), drenaj levhaları

2) Vakum ile çalışanlar : Emici kasalar ve emici silindirler

3) Basınç ile çalışanlar : Pres silindirleri ve kaldırıncılar



Şekil 6.3 Yaş kısım

- 1) Pres silindiri, 2) Emici silindir (Gauc silindiri), 3) Kuru emici kasalar, 4) Süzme silindiri,
- 5) Islak emici kasalar, 6) Tabla silindiri, 7) Deflektör, 8) Drenaj levhaları, 9) Oluşum tablası,
- 10) Göğüs silindiri, 11) Hamur kasası, 12) Su teknesi, 13) Germe silindiri, 14) Elek silindiri,
- 15) Kılavuz silindir, 16) Döndürme silindiri

Yaş kısmın görevleri aşağıdaki gibi özetlenebilir :

1) Hamuru sulandırmak

Süspansiyon konsantrasyonu azaldıkça lifler daha bağımsız olarak hareket ederler. Dolayısıyla kümelenme azalır ve formasyon düzelir. Bu nedenle konsantrasyon liflerin serbestçe hareket edebileceği oranda düşük olmalıdır. Seyreltme taze su ile veya elek altına

süzülen suyun yeniden kullanılmasıyla sağlanır. Konsantrasyonun düzenliliği doğrudan gramajın düzenliliğini etkiler.

2) Liflerin dağıtılması

Seyreltik süspansiyon oluşum kısmı denen sonsuz elek üzerine homojen bir lif dağılımı elde edecek şekilde yayılır. Bunu sağlayan parçalar delikli silindirler, cetvel ağzı, oluşum tablası ve süzme silindiridir.

3) Kompaklaşma

Liflerin suyu vakum, yerçekimi ve basınç etkisiyle alınarak liflerin temas yüzeyi arttırılır, yüzeylerarası gerilim yükseltilecek mukavemet arttırılır.

4) Suyun alınması

Hamurda oluşan boşluklar arasındaki su, emme ve yerçekimi etkisiyle mümkün olduğu kadar ayrıldıktan sonra emici silindirlerin pres kısmına kolaylıkla aktarılacak sağlamlıkta olmalıdır. Su miktarı azaldıkça yüzeylerarası gerilim artacağından kağıt hamurunun sağlamlığı da artar.

Kağıt hamuru elekten ayrıldıktan sonra emici pres silindirleri arasından geçerek suyun önemli bir kısmını bırakır ve böylece kurutma kısmına girecek hale gelir. Kağıt makinesine girişte süspansiyonun konsantrasyonu 2-15 g/l arasındadır. Sonsuz elekten çıkışta kağıdın kuruluğu % 17-22 arasında olup, pres ünitesinde presleme sonucunda kuruluğu % 32-45 arasına yükselir. Kurutma ünitesinden çıkan kağıdın kuruluğu % 90-92' ye yükselir. Kullandığımız kağıt bu kuruluktadır.

Göğüs silindiri, hareket halindeki hamurun karşılaştığı ilk önemli silindiridir. Gergin elek veya keçenin çekmesine karşı çalıştığından bu silindirin eğilmelere dayanıklı konstrüksiyonda olması gerekir. Göğüs silindiri suya karşı sızdırmazlığı olan rulmanlı yataklar üzerindedir. Göğüs silindirinin yeri, cetvel ağzı alt dudacağının tam altıdır ve silindirin merkezi dudacağın kenarına gelecek şekilde ayarlanır.

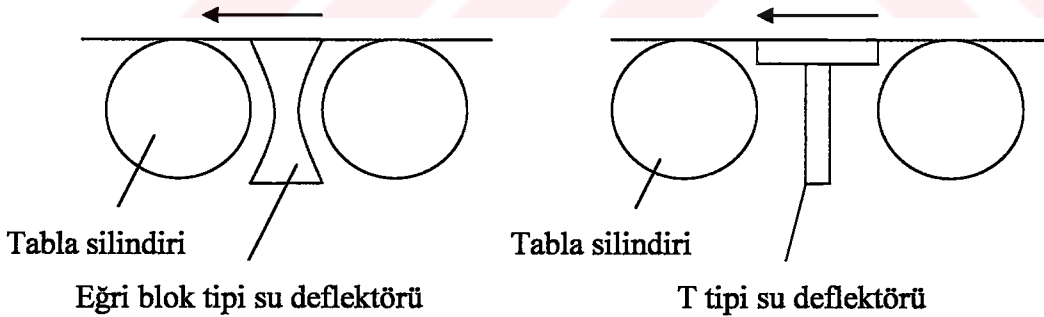
Hamur kasasından çıkan hamur çok miktarda su içermekte ve bu suyun büyük bir miktarı sonsuz elek üzerinde süzülmeindedir. Bu süzülme elek altında bulunan tabla silindirleri, drenaj levhaları ve deflektörler tarafından sağlanır. Sonsuz elek bu parçalar üzerinden geçerken emici kuvvetler meydana getirir ve bu kuvvetler hamur suyunun süzülme hızını arttırır. Tabla silindirlerinin düz ve sarsıntısız olması gerekir. Aksi takdirde özellikle yüksek hızlı çalışma durumunda şiddetli titreşimler meydana gelip elek üzerindeki elyaf dokusunu bozabilir ve dolayısıyla üretilen kağıdın kalitesi bozulur. Silindirler sonsuz elek tarafından döndürüldüğünden fazla güç sarfiyatını önlemek için bunların mümkün olduğu kadar hafif

malzemenin yapılmaları gerekir. Tabla silindirleri çelik, bronz, alüminyum boru şeklinde imal edilir.

Tabla silindirleri sonsuz elek tarafından döndürüldüğünde elekten ayrılan yüzeyleri boyunca bir basınç düşmesinden dolayı meydana gelen vakum, suyun hamurdan süzülmesine sebep olur. Birinci ve ikinci silindirlerde süzülme karşı olan sadece elek direncidir. Bu noktadan sonra lifler de bir direnç göstermeye başlar. Elyaf direnci emici kasalara yaklaştıkça artar. Bunun sebebi elyafın, hamurun gittikçe su kaybetmesinden dolayı daha sıkı ve dirençli bir örgü oluşturmasından dolayıdır. Bu nedenle süzülme karşı olan direnç sonsuz elek boyunca, emici kasalara yaklaştıkça artar ve vakum alanının genişliği azalır. Ayrıca vakum alanındaki emiş silindirden uzaklaştıkça azalır.

Sonsuz elek üzerindeki süspansiyondaki su yerçekimi, hidrolik emme kuvvetleri ve vakum yardımıyla alınır. Suyun % 75' i tabla silindirleri ve drenaj levhaları tarafından oluşturulan vakum ile alınır. Geri kalan su ise basınç kuvvetleri tarafından süzülür.

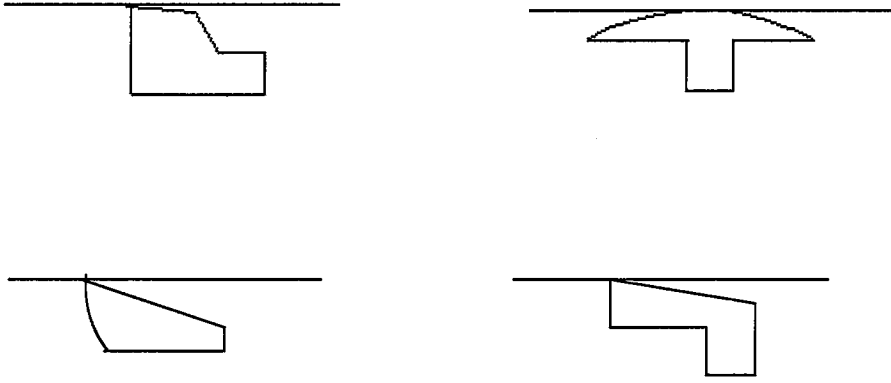
Deflektörler, tabla silindirleri tarafından fırlatılan suların eleğe ve diğer silindirlere çarpmasını önlemek ve elek altındaki su tabakasını sıyırıp su süzülmesine yardım etmek için kullanılırlar. Ayrıca sonsuz eleğin tabla silindirleri ile yaptıkları temas alanı gerekli görüldüğü hallerde deflektörler tarafından eleğin fazla desteklenmesi suretiyle azaltılabilir. Şekil 6.4 de çeşitli deflektör tipleri gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Deflektörler

Drenaj levhaları, sonsuz elek altında su süzülmesinde ve eleğin desteklenmesinde kullanılan sabit, bıçak şeklinde cisimlerdir. Deflektörlerden farkları tabla silindirleri ile beraber kullanılmamaları ve sabit, hareketsiz olmalarıdır. Drenaj levhaları deflektörler gibi sonsuz eleğe temas ederler. Temas ettikleri kısım sabit olduğundan tabla silindirlerine oranla su süzme hızları azdır. Fakat boyutlarının küçük olması nedeniyle bir tabla silindirinin kapladığı alana beş adet drenaj levhası konabilmektedir.

Drenaj levhaları tarafından çıkarılan su miktarı levhaların elek ile yaptığı açıya, temas yüzeyinin uzunluğuna ve elek üzerindeki hamurun kesafetine bağlıdır. Drenaj levhaları genellikle 5 – 20 cm uzunluğundadır. Küçük boyutlu olanları suyun az süzülmesinin istendiği yerlerde kullanılır.



Şekil 6.5 Drenaj levhaları

Süzme silindiri kağıt hamurunun formasyonunu iyileştirmek için kullanılır. Bu silindirler elyaf örgüsünün üst tabakasındaki hamur topaklanmalarının oluşumunu engelleyip, kağıdın yüzey kalitesine olumlu etki yapmaktadır. Süzme silindiri, elyaf örgüsünün kesafetine bağlı olarak doğru şekilde yerleştirilmesi çok önemlidir. Yüzeyde bir su filminin bulunmasını sağlamak amacıyla genellikle örgü üzerinde kuru çizginin önüne yerleştirilir. Elyaf çok fazla yaş olduğu zaman silindir örgü üzerinde çok fazla baskı yapar, bu baskı kağıt üzerinde lekeler meydana getirir. Diğer taraftan, elyaf çok kuru olduğu takdirde süzme silindirinin etkisi gittikçe azalır.

Hamur emici kasa üzerinden geçerken elyaf örgüsünün bütün kısımları belirli bir süre için vakum altında kalır ve katı madde oranı artar. Emici kasalarda hamurun iki yüzüne etki eden basınç farkıyla sıkışma meydana gelir ve su hamurdan dışarı atılır. Bir miktar su eleğin içinden emici kasaya geçer, fakat suyun büyük bir kısmı kasadaki yarık ve deliklerin arka kısmından eleğin altından sıyrılarak ayrılır. Emici kasa yüzeyi için en iyi malzeme yüksek yağlı silikon karbür ve polietilendir.

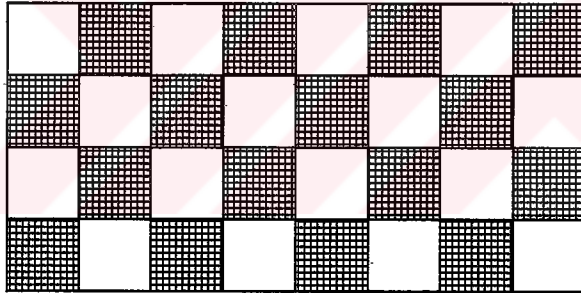
Emici silindir, sonsuz elek üzerindeki hamurun, üzerine yerleştirilen bir keçe vasıtasıyla elekten kaldırılmasını sağlar. Hamur keçeye yapışır ve elekten ayrılır. Hamurun elekten alınması işlemi düşeyle belirli bir açı yapan iki vals tarafından gerçekleştirilir. Üst vals, üzerine sıkıca geçirilmiş bir yük manşonu ile kaplıdır. Alt vals ise kauçuk kaplıdır. Üst vals üzerinde bulunan bir tahta raspa, valse yapışan elyafları alır. 30° açıda konmuş olan bu raspa

ve su fiskiyesi vasıtasıyla vals üzerindeki elyaflar alınır.

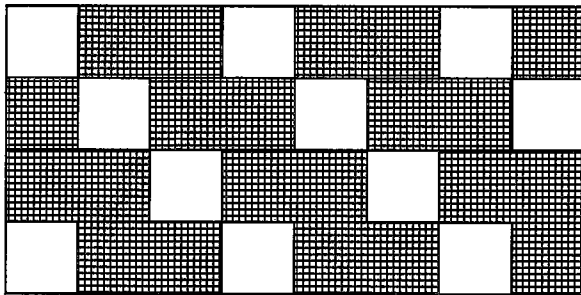
Sonsuz elekler fosfor bronz, paslanmaz çelik veya plastik dokumadan imal edilirler. Sık sık değiştirilmesi gereken en pahalı makine malzemesidir. Sonsuz eleklerin montajı esnasında çok dikkatli olunmalı ve elek üzerinde meydana gelebilecek darbeler karşı dikkat edilmelidir. Meydana gelebilecek aşınmalar kağıtta deliklere ve kırışıklıklara neden olmaktadır. İyi bir elekten beklenen özellikler aşağıda verilmiştir.

- Dayanıklılık
- İyi lehimleme özelliği
- Kopma mukavemeti
- Stabilite
- Korozyon ve aşınma mukavemeti

Elek örgüleri düz örgü ve twill (kabarık) örgü olmak üzere iki çeşittir. Düz örgü, filtrelerde, tromelli yıkayıcılarda, yuvarlak eleklerde kullanılan basit bir örgüdür. Her iki tarafta da aynı yüze sahiptir.



DÜZ ÖRGÜ



TWILL ÖRGÜ

Şekil 6.6 Elek örgüleri

Twill örgü; uzun ve kıvrımlı bir örgü türüdür. Bu örgünün faydaları emici kasalardaki aşınmaya karşı daha dayanıklı olması ve daha düzgün kalitede kağıt üretimine imkan vermesidir.

Sonsuz eleklerde karşılaşılan problemler şunlardır.

Sabit kısımlar üzerinde aşınma : Elek tablası, deflektörler ve emici kasaların ve hamurda bulunan kum, dolgu maddesi gibi korozif maddeler elekte aşınmalara neden olur. Elek kullanıldıkça toplam sürüklenme artar. İç yüzeylerdeki dikine aşınma, birleşme noktalarının düz ve parlak olmasına yol açar. Elek çalışırken ıslık sesi şeklinde kendini gösterir. Emici silindirdeki vakumun fazla olması halinde daha fazla aşınma meydana gelir. Elek emici silindir vakum kasasını her iki taraftan en az on derece aşacak şekilde olmalıdır. Kaymayı ve hamur sıçramasını önlemek için yüksek hızlarda daha fazla gergi gerekli olup otomatik gergi cihazları kullanılmaktadır

Askıda kalma : Elek yeni iken vakum kasalarının yüzlerini kesip meydana getirdiği yivlere çözgü tellerinin girmesi ile meydana gelen durumdur. Elek çalışırken ıslık sesi şeklinde kendini gösterir.

Eleğin dönüş kısmındaki su fiskiyeleri eleğin temizlenmesini sağlarlar. Elyafı elekten gevşetmek ve hızlı bir şekilde kayma sağlamak için fiskiyelerdeki su gerekli debi ve basınçta olmalıdır.

6.3 Pres Ünitesi

6.3.1 Emici Silindirden Pres Kısımına Transfer (De Ceuster, 1992)

Kağıt hamuru sonsuz eleğin sonunda emici silindirin üzerinden pres kısmına geçirilmelidir. Kaldırma işlemi emici silindirin vakum kısmına geçmeden hemen önce yapılır. Aksi takdirde hamur yeniden su alabilir. Bu noktada hamur iki kısım arasındaki boşluktan kaldırıcı bir keçe yardımıyla transfer edilir.

Transfer sırasında elekten ayrılıp pres kısmına geçen hamur üzerindeki zorlam en az düzeyde tutulmalı ve mümkün olduğu kadar düzenli dağıtılmalıdır. Vakum transferi uygulanması halinde hamura uygulanan gerilim miktarı elek, kaldırma keçesi ve ilk pres keçesinin hızları yardımıyla kontrol edildiğinden sorun yaratmaz. Bu durumda birinci presle ikinci pres ve kurutucular arasında kontrollü transfer yapılmadığından sayfa kopmaları en çok buralarda olur. Hamura açık kaldırma uygulanması halinde vakum uygulanmadığından, kopmalar daha çok kuruluk oranının düşük olduğu emici silindir ile birinci pres arasında meydana gelir.

Açık kaldırmada kopmaya neden olan etkenler şunlardır.

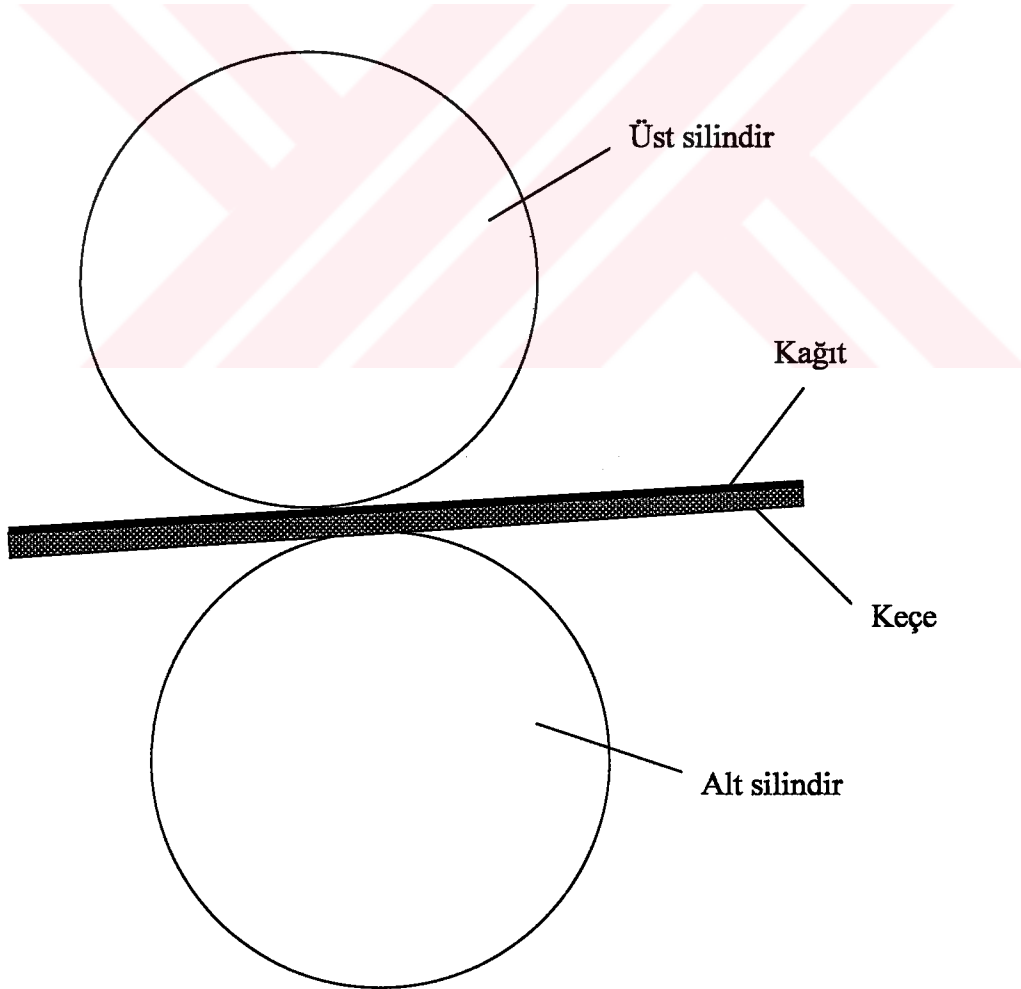
- 1) Hamur içinde liflerin dağılım durumu
- 2) Liflerin kalitesi

değişir. Bu kuruluk oranı dövme miktarına, gramaja, lif özelliklerine ve drenaj elemanlarının kapasitesine bağlı olarak değişir. Su çıkartmada asıl amaç kağıdın kalitesini bozmadan su miktarını azaltmaktır.

Presleme sonsuz elekte başlayan su giderme işleminin bir devamıdır. Preslemeden sonra gelen kurutma kademesinde ise sayfadan su alınması buharlaşma yoluyla yapılan ve çok fazla enerji gerektiren bir işlemdir. Bu nedenle, presleme ile sayfadan mümkün olduğu kadar çok su çıkartmak gerekir.

Presleme işleminin amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilir :

- Preslemenin birinci amacı kurutma silindirlerine gelmeden önce sayfadan mümkün olduğu kadar fazla su çıkartmaktır. Presleme ile sayfanın kuruluğu % 35 - 48'e çıkarılır.
- Sayfayı sıkıştırarak lif - lif temas yüzeyini arttırmaktır. Sıkıştırma sonucu sayfanın kalınlığı azalır, yüzey düzgünleşir, lifler arası su filminin inceliğinden dolayı yüzeyler arası gerilim artar.



Şekil 6.8 Presleme işlemi

Yüzey gerilimiyle tutulan suları uzaklaştırmak amacıyla sayfa, pres etkinliğine ve istenen hacimlilik derecesine bağlı olarak bir veya daha çok pres arasından geçirilir. Geriye kalan liflerde ve selüloz kristalitleri içinde kapiler kuvvetlerce tutulan su ancak ısı enerjisiyle uzaklaştırılabilir. Bir pres iki silindirden oluşur ve aralarından keçe ile kağıt birlikte geçirilir. Keçe ile temasta olan silindir kauçuk kaplıdır. Sayfa ile temasta olan üst silindir ise granit veya dökme demirden yapılır.

Pres ağzı değme noktasına kadar olan giriş kısmında meydana gelen sıkıştırma, hem sayfanın hemde keçenin doymasını ve suyun kağıttan keçeye keçeden de dışarıya atılmasını sağlar. Üst silindirin yarattığı sıkıştırma kuvvetine karşı koyan kuvvetler şunlardır: Kağıt ve keçeyi sıkıştırmak için gerekli kuvvetler, akışa karşı hidrolik direnç ve suyu keçeden çıkarmak için yenilmesi gereken kuvvetlerdir. Bu fazda su kağıttan keçeye transfer edilir. Presin giriş kısmında kağıt, doyma noktasına keçeden daha yakındır. Geometrik sıkıştırma nedeniyle kağıt doyma noktasına keçeden çok daha çabuk erişir. Doyma noktasına erişildiğinde hidrolik kuvvetler meydana gelir ve kağıtla keçe arasında bir eğim oluşur ve suyun transferi sağlanır.

6.3.3 Pres Keçeleri (De Ceuster, 1992)

Pres keçeleri kağıdı taşımak ve suyun emilmesini sağlamak için kullanılırlar. Keçenin en önemli özellikleri açıklık, düzenlilik, ağırlık ve dokuma şeklidir. Keçe yeteri kadar gözenekli olmalıdır ki ezilme yapmadan suyu emebilsin. Ancak bu gözenekler keçenin sağlamlığını etkileyecek kadar fazla olmamalıdır. Keçe suyu düşey olarak en kısa yoldan emmelidir. Sert ve sıkı dokunmuş keçe, kağıt üzerine gözenekli keçeden daha fazla basınç yapar. Yüksek kaliteli kağıtların yapımında kullanılan keçeler sık dokunmuş olup kaba kağıt için kullanılanlardan daha yumuşaktır. Bütün keçeler yapısal olarak üniform olmalıdır. Keçeler esas itibarıyla sıkıştırmadan sonra eski halini alması nedeniyle yünden yapılır. Son yıllarda karışım olarak sentetik maddeler de kullanılmaktadır. Bunlar genellikle naylon, polyester, akrilik gibi maddeler olup son derece dayanıklıdır.

Keçelerin kullanılmasında önemli iki nokta keçenin uzun ömürlü olması ve çalışma rahatlığıdır. Keçeler mekanik, kimyasal ve bakteriyolojik aşınmalara uğrarlar. Çalışma sırasında gözenekler dolarak tıkanır. Tıkanma sonucu sayfadan su çıkarma miktarı farklılık göstereceğinden kağıdın eni boyunca nem oranı da değişecektir ve bu durum kurutmada sorunlar yaratacaktır. Keçeleri temiz tutmak için tıkanmaya neden olan maddenin özelliğine göre asitler, silt tuzları, deterjan ve inhibitör gibi maddelerle yıkanmalıdır.

Kağıt makinesinin pres kısmında kullanılan keçeler aşağıdaki görevleri yerine getirirler :

- Presin tepe kısmında presten çıkarılan suyu absorbe etmek
- Tepe kısmında kağıt sayfasını ezilmeye karşı korumak
- Tepe kısmınca sayfa üzerinde düzenli bir basınç dağılımı sağlamak
- Kağıda belirli bir yüzey düzgünlüğü sağlamak
- Sayfayı presler arasında transfer etmek
- Pres kısmında bir kayış gibi hareket ederek silindiri döndürmek

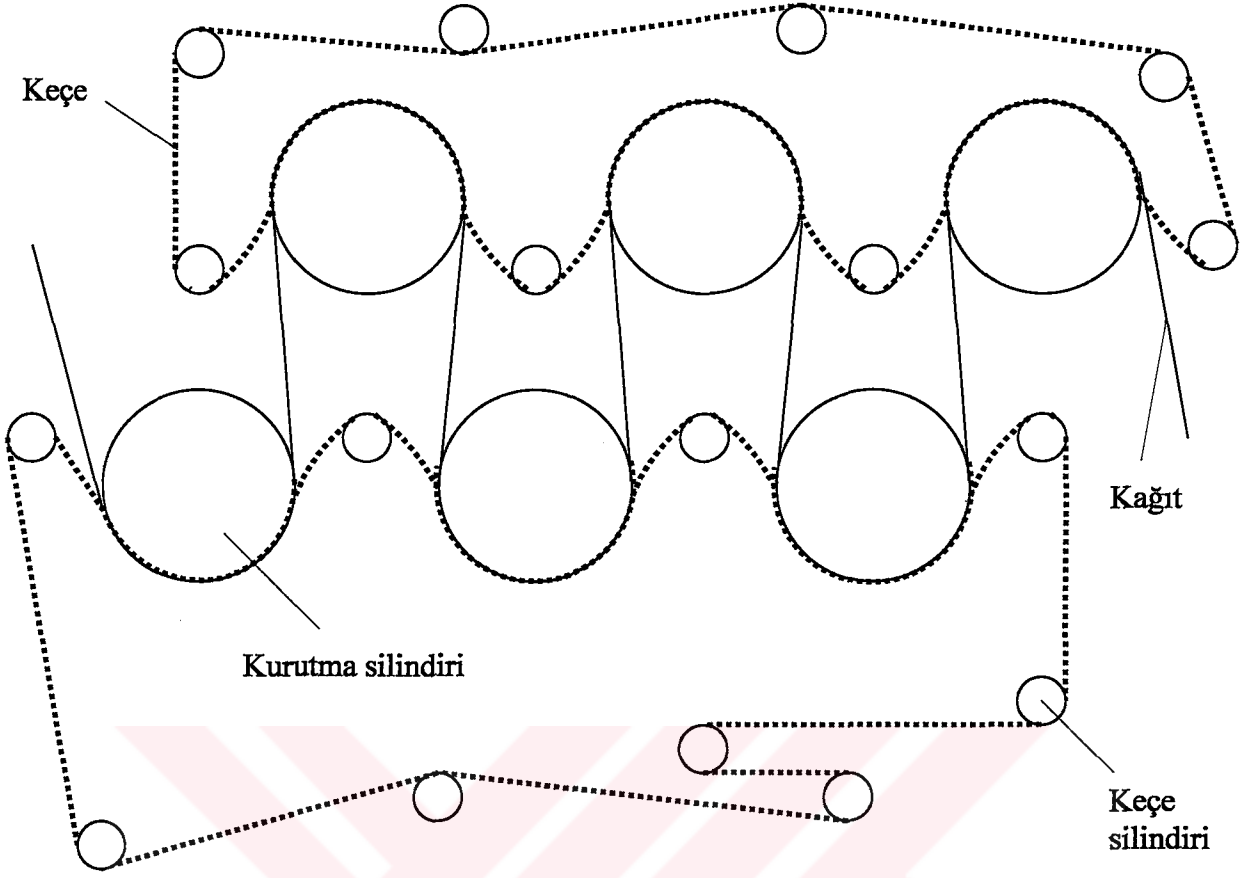
6.4 Kurutma Ünitesi (De Ceuster, 1992)

Kağıdı kurutmanın standart metodu, onu buharla ısıtılmış silindirlerin etrafından geçirerek kurutma keçeleri aracılığı ile sıcak silindir yüzeylerine temasını sağlamaktır. Bir kağıt makinesinde 40 ile 70 arasında kurutma silindiri bulunur. Kurutma silindirleri genel olarak 1,5 – 2 m çapındadır. Dökme demirden yapılırlar ve ısıttıkları kağıtla iyi bir temas sağlamak için parlak yüzeyleri vardır.

Kurutma kısmının ana gövdesi kurutma silindirlerini, keçe valslerini ve boruları taşımaktadır. Ayrıca gövde havalandırma için uygun şekilde dizayn edilmelidir. Alt ve üst kurutma silindirlerinin her birinin tahriki iskeletin arka tarafındaki dişli mekanizması ile yapılır.

Kurutma silindirlerin amacı, ısıyı buharla dolu iç kısımdan parlak dış kısma iletmektir. Silindirlerin içi düzgün ısı transferi ve dengeli dönme verecek şekilde kaba olarak oyulmuştur. Et kalınlığı kullanılacak basınca göre 22 – 35 mm arasında değişir. Pürüzlü iç taraf ısının temas yüzeyini arttırarak ısının daha iyi iletilmesini sağlar. Dış taraf kağıda ısı transferini sağlamak için taşlanır ve parlatılır. Silindirlerin arka tarafındaki şaft oyuktur. Ve buharın giriş ve çıkışı için buhar başlığı bulunur. Silindirlerin buharla ısıtılması sıcaklığın kontrolü ve üniform dağılımını sağlamaktadır.

Buhar silindirlere doymuş halde girmelidir. Kızgın buhar daha fazla ısı vermesine rağmen silindirin her tarafını eşit miktarda ısıtmaz. Buhar mümkün olduğu kadar az hava içermelidir. Çünkü silindir içinde oluşan radyal akış havanın silindir duvarlarında birikmesine sebep olur. Bu hava kütlesi, ısının silindir gövdesine transferini azaltıcı yönde etki yapan izolasyon tabakası meydana getirir.

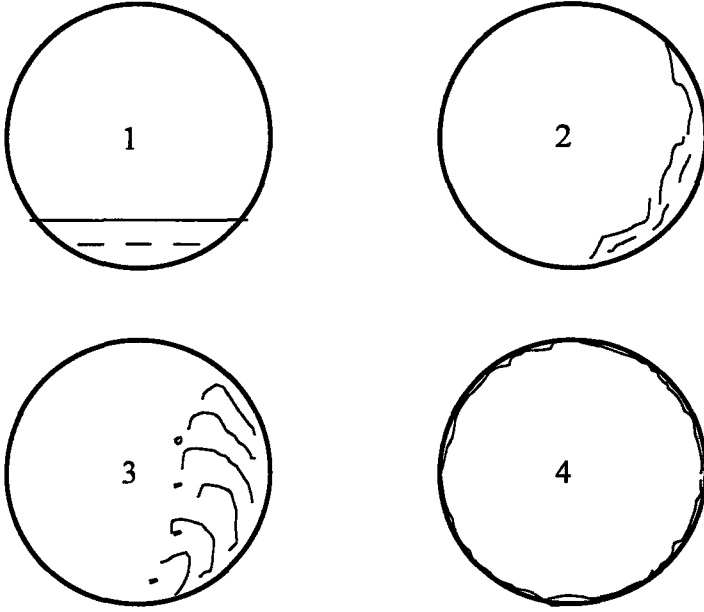


Şekil 6.9 Üst ve alt kurutma kısımları

Zamanla değişmeyen yüksek ısı transferi sağlamak için yoğuşan buharın sistemden doğru bir şekilde uzaklaştırılması gerekir. Kurutma silindirlerinde hıza bağlı olarak yoğuşma 4 şekilde olabilir.

- 1) Silindir veya yavaş hareketli olduğu zaman silindirlerin dibinde kalır.
- 2) Düşey film tabakası şeklinde oluşur
- 3) Düzensiz ısı transferine neden olan ve tahrik motorlarına aşırı yük bindiren şiddetli bir kaskat halindedir.
- 4) Düşük tahrik gücü ile iyi ısı transferi sağlayan karalı çevresel bir tabaka halindedir.

Yoğuşmanın en ideal durumu çevresel ince bir film oluşturmasıdır. Yoğuşan buhar silindirlerden blöf buhar olarak atılır.



Şekil 6.10 Kurutma silindirlerinde yoğuşma oluşum şekilleri

Kurutma işlemi üç kısımdan oluşur.

- Silindirlerin içine verilen buhar ile silindir dış yüzeyinin ısıtılması
- Silindirin dış yüzeyinden alınan ısı ile kağıdın kurutulması
- Kurutma kısımlarının havalandırılması ile kağıdın havayla kurutulması

Kağıt buharla ısıtılan silindirlere temas ettirilerek kurutma sağlanır. Kağıdın sırasıyla her iki yüzü de silindire temas eder. Kağıdın silindirlere olan teması kurutma keçeleri ile sağlanır. Kurutma keçelerinden beklenen özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- 1) Yüksek gerginliğe dayanıklı olmalıdır.
- 2) Düz bir yüzeye sahip olmalıdır.
- 3) Keçe valslerine sarılabilmesi için yeterli derecede esnek olmalıdır.
- 4) Buhara karşı geçirgen olmalıdır.
- 5) Yüksek makine hızlarında sorunsuz çalışabilmelidir.
- 6) Kolayca kuruyabilmelidir.

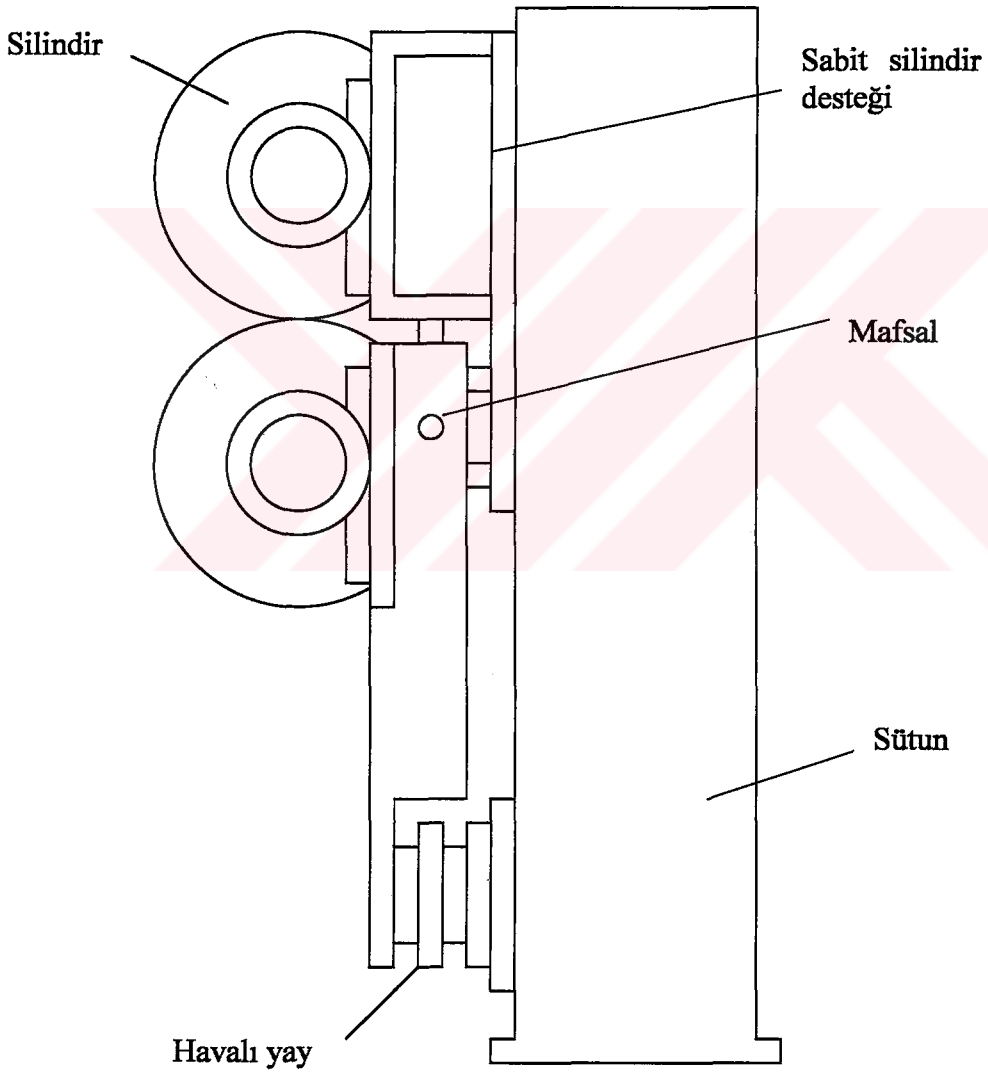
Yünlü keçeler çok yumuşak ve ağırdır. Bu keçeler kağıt sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Isıya karşı dayanıklıdırlar.

Pamuklu keçeler ucuz, boyut olarak kararlı ve sağlam yapıdadırlar. Gazete ve kraft kağıtlarının imalinde çok kullanılırlar.

6.5 Kalender (De Ceuster, 1992)

Kalenderlerin görevi kağıda istenilen yüzey düzgünlüğünü ve kalınlığını vermektir. Sayfa demir silindirlerin arasından geçirilir. Kalenderleme işlemi kağıdın yüzeyindeki keçe izlerini gidermek iyi bir yüzey elde etmek için kullanılırlar.

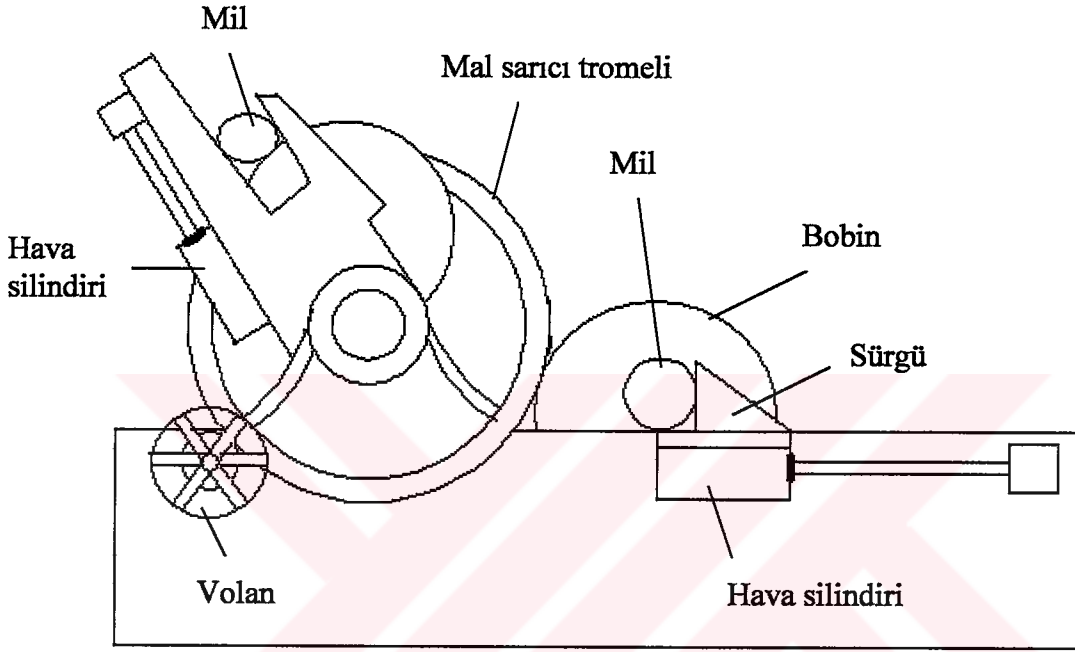
Kalender silindirleri granüllü dökme demirden imal edilir. Yüzey tabakası silindirin taşlanmasına uygun olması için 10 – 20 mm derinliğe kadar sert dökümlü yapılıır. Kalenderler silindirler arası temas basıncı ile çalışırlar. Bu basınç sabittir.



Şekil 6.11 Kalender

6.6 Mal Sarıcı (De Ceuster, 1992)

Cetvel ağzından kalenderlere kadar, kağıt imalatı kesiksiz bir prosestir. Daha sonra gelen ikmal kademeleri hep kesikli prosesler olup makine hızından bağımsızdırlar. Mal sarıcı kağıt makinesinin son kısmıdır. Mal sarıcı görevi kağıdı sonraki kademeler için uygun bobine sokmaktır.



Şekil 6.12 Mal sarıcı

Bobin, sabit hızda bir tromelle dıştan yaptığı bir temas sonucu hareket ettirilir. Bu nedenle gerginlik, sürtünme katsayısı ve kağıtla tromel arasındaki temas basıncı tarafından sağlanmaktadır. Temas basıncı hidrolik mengene tarafından kontrol edilir.

7. İZMİT SEKA SELÜLOZ VE KAĞIT FABRİKASININ EKSERJİ ANALİZİ

Bu bölümde termodinamiğin temel kavramları gösterilmiş ve İzmit SEKA Selüloz ve Kağıt Fabrikası 3. Kağıt Tesisi'nin ekserji analizi yapılmıştır.

7.1 Termodinamiğin Birinci Kanunu (Çengel ve Boles, 1994)

Enerji var ya da yok edilemez. Sistemle çevresinin etkileşimi sırasında, sistem tarafından kazanılan enerji, çevresi tarafından kaybedilen enerjiye eşittir. Bu ilke deneysel gözlemlere

dayanır ve termodinamiğin birinci kanunu veya enerjinin korunumu ilkesi diye adlandırılır. Kapalı bir sistemin belirli iki hali arasında gerçekleşebilecek tüm adyabatik hal değişimleri sırasında yapılan net iş, sisteme ve hal değişimlerine bağlı olmaksızın aynıdır.

Kapalı sistem olarak tanımlanan, belirli sınırlar içinde bulunan sabit bir kütle için termodinamiğin birinci kanunu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Q - W = \Delta E \quad (\text{kJ}) \quad (7.1)$$

Q, sistem sınırlarından olan net ısı geçişini; W, değişik biçimleri kapsayan net işi; ΔE , sistemdeki toplam enerji değişimini ifade etmektedir.

Sistemin toplam enerjisi E, üç kısımdan oluşmaktadır. İç enerji U, kinetik enerji KE ve potansiyel enerji PE. Bu nedenle bir hal değişimi sırasında sistemin toplam enerjisinin değişimi, iç enerji, kinetik enerji ve potansiyel enerjisindeki değişimlerin toplamı olarak ifade edilebilir :

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (\text{kJ}) \quad (7.2)$$

Bu bağıntı 7.1 numaralı denklemde yerine konursa :

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (\text{kJ}) \quad (7.3)$$

Burada,

$$\Delta U = m(u_2 - u_1) \quad (\text{kJ}) \quad (7.4)$$

$$\Delta KE = (m/2)(v_2^2 - v_1^2) \quad (\text{kJ}) \quad (7.5)$$

$$\Delta PE = mg(z_2 - z_1) \quad (\text{kJ}) \quad (7.6)$$

olmaktadır.

7.2 Termodinamiğin İkinci Kanunu (Çengel ve Boles, 1994; Kıncay, 2003)

Enerji, bir sistemin çevresinde değişiklik yapabilme özelliğidir ve enerjinin korunumu ilkesine göre bu özelliğin büyüklüğü sabittir. Termodinamik sistemlerin tasarımları ikinci kanun analizi gündeme gelinceye kadar, bu büyüklük ölçüt alınarak yapıldığında tamamlanmış sayılıyordu. Enerji kaynaklarının, enerjinin korunumu ilkesine rağmen sonsuza dek insanlığa yetmesine olanak tanımaması ve bu yöntemin yetersizliği termodinamik, mühendislik ve mühendislik ekonomisi alanlarını yeni arayışlarda birleştirmiştir ve termodinamiğin ikinci kanunu ortaya çıkmıştır.

Yukarıda sözü edilen çelişkinin nedeni, enerjinin yalnızca nicel bir büyüklük olarak ele alınmasıydı. Enerjini niceliği için geçerli korunum, niteliği için de uygulanmaktaydı. Oysaki,

enerji her dönüşümünde nitel olarak bozulur. Mühendislikte kayıp adı verilen bu bozulmanın termodinamikteki karşılığı entropi üretimidir.

Birinci ve ikinci kanundan bağımsız olarak, enerji dönüşümüm olayı nitel yanı da göz önüne alınarak şu ifade ile incelenmeye başlanabilir: “Herhangi bir doğal süreç sırasında, yalıtılmış bir sistemin enerjisi değişmeden kalmaz. Çünkü bu enerjinin niceliği sabit kalsa da, niteliği süreç boyunca bozulmaya uğrar.” Enerjinin bozulan bölümü bir dahaki dönüşümde kullanılmayacağı için enerji tasarrufu kavramı enerjinin kullanılabilen bölümünün tasarrufu ile özdeştir. Enerjinin kullanılabilirliği literatürde ekserji olarak isimlendirilir.

Ekserji, enerjinin tanımında olduğu gibi sistem sınırından geçen bir büyüklük değil, sistemin sahip olduğu, korunmayan, gittikçe azalan bir potansiyeldir. O halde termodinamik bir çevrim söz konusu olduğunda, tasarımın dayanacağı verim tanımı, çevrimden alınan enerjinin kullanılabilirliğinin, çevrime verilen enerjinin kullanılabilirliğine oranı şeklinde olmalıdır. Böylece çevrim sırasında oluşan enerji dönüşümünün, kaynağın kullanılabilirlik potansiyelinden maksimum düzeyde yararlanma, diğer bir deyişle kaynağın enerjisinin niteliksel bozulmasını minimuma indirmeye olanağı elde edilir. Dolayısıyla enerji kaynağından daha uzun süreli yararlanılarak enerji tasarrufu gerçekleştirilebilir.

Termodinamiğin ikinci kanunu hal değişimlerinin belirli bir yönde gerçekleşebileceği gerçeğini ifade eder. Termodinamiğin ikinci kanuna ait birbirine denk iki ifade aşağıda verilmiştir.

Kelvin-Planck İfadesi : Bir çevrim boyunca çalışan ve tek bir ısı kaynağından ısı çekerek bunun tamamını işe dönüştüren bir ısı makinesi gerçekleştirmek mümkün değildir.

Clasius İfadesi : Isı, evrende başka hiçbir değişiklik olmadan bir sıcaklıktan daha yüksek bir sıcaklığa akamaz.

Diğer bir yaklaşım ise, entropi adı verilen ve dengede olan sistemlerinde en büyük değerini alan bir büyüklüğün varlığını başlangıçta kabul etmektir. Bu iki yaklaşım da aynı noktaya varır.

a) Kapalı bir sistemin, tersinir proseslerinde :

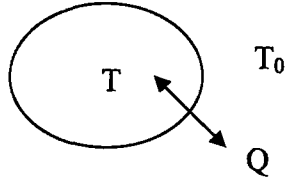
$$dQ_{\text{ter}} = T.dS \quad (7.7)$$

yazılabilir.

b) Doğal proseslerde evrenin entropisi her zaman artar.

$$\Delta S_{\text{evren}} > 0 \quad (7.8)$$

Denge durumunda olan kapalı bir sistemde ;



Şekil 7.1 Kapalı sistem

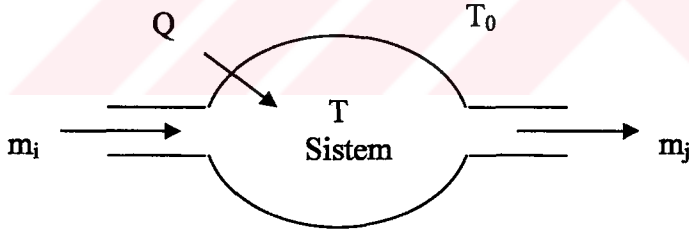
$$\Delta S_{\text{sistem}} = \frac{-Q_{\text{ter}}}{T} \quad (7.9)$$

$$\Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q_{\text{ter}}}{T_0} \quad (7.10)$$

$$\Delta S_{\text{evren}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} = 0 \quad (7.11)$$

sonucu elde edilir. Burada T sıcaklığı, sistemin ısı akışının gerçekleştiği sınırdaki yüzey sıcaklığıdır. Denge durumunda olan sistemlerde bu sıcaklık aynı zaman da tüm sistemin sıcaklığıdır.

Herhangi bir açık sistemin genel denge denklemleri :



Şekil 7.2 Açık sistem

$$\Delta S_{\text{sistem}} > \frac{Q}{T} + \sum m_i S_i - \sum m_j S_j \quad (7.12)$$

$$\Delta S_{\text{çevre}} = -\frac{Q}{T} - \sum m_i S_i + \sum m_j S_j \quad (7.13)$$

$$\Delta S_{\text{evren}} \geq Q \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (7.14)$$

Çevre çok büyük olduğundan , çevre sıcaklığının (T_0) sabit kaldığı kabul edilir. $T > T_0$ olduğuna göre parantez içindeki ifade eksi değerlidir. Ancak sistem için ısı da eksi (sistem çevreye ısı vermekte) değerli olduğundan evrenin entropisindeki değişiklik pozitif işaretlidir, yani evrenin entropisi artar.

(7.12) ifadesini eşitlik haline getirebilmemiz için sistem içindeki entropi üretimini ifade eden, pozitif değerli bir terim eklememiz gerekir.

$$\Delta S_{\text{sistem}} = \frac{Q}{T} + \sum m_i s_i - \sum m_j s_j + S_{\text{ür}} \quad (7.15)$$

Bu denklem, sistem çevresiyle birden fazla noktada ısı alışverişi yapıyorsa:

$$\Delta S_{\text{sistem}} = \sum \frac{Q}{T} + \sum m_i s_i - \sum m_j s_j + S_{\text{ür}} \quad (7.16)$$

halini alır.

Kararlı sistemlerde $\Delta S_{\text{sistem}} = 0$, tersinir proseslerde ise $S_{\text{ür}} = 0$ olur.,

7.3 Ekserji Kavramı (Kıncay, 2003)

Çeşitli enerji türleri üç ana grupta toplanabilir.

- 1) Diğer enerji türlerine sınırsız olarak dönüştürülebilen enerji (mekanik enerji, elektrik enerjisi)
- 2) Diğer enerji türlerine sınırlı olarak dönüştürebilen enerji (iç enerji ve ısı)
- 3) Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi olanak dışı olan enerji (çevrenin iç enerjisi)

Verilmiş bir ortamda bütün enerji türlerine dönüştürülebilen enerjiye kullanılabilir enerji veya ekserji adı verilir. Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi olanak dışı olan enerjiye ise kullanılamaz enerji veya anerji denir. Dolayısıyla bütün enerji türleri için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji}$$

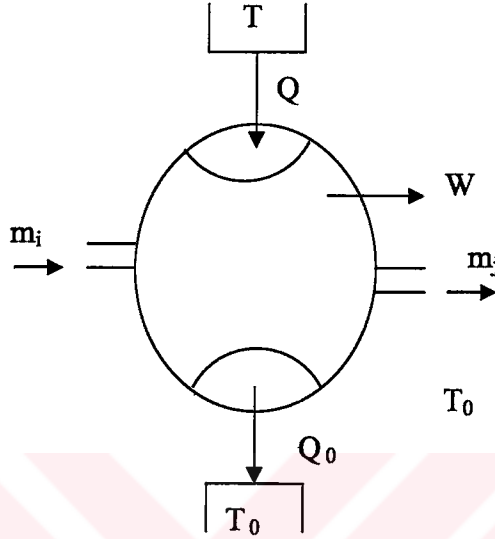
Termodinamiğin birinci kanununa göre bütün proseslerde ekserji ve anerjinin toplamı sabit kalır. Termodinamiğin ikinci kanununa göre ise sadece tersinir proseslerde ekserjinin miktarı sabit kalır. Bütün tersinmez proseslerde ekserji kaybı olur. Anerjiyi ekserjiye dönüştürmek imkansızdır.

7.3.1 Değişik Enerji Türlerinin Ekserjileri (Kıncay, 2003)

Termodinamiğin 1. ve 2. kanunundan yararlanılarak iş, ısı ve entalpi gibi değişik türlerin ekserjileri hesaplanabilir.

İş : $E_w = W$ yazılabilir. (7.17)

Isı : Şekildeki gibi bir sistemi kararlı halde inceleyelim.



Şekil 7.3 Kararlı, tersinir, kapalı sistem

Termodinamiğin 1. kanunu :

$$\sum m_i h_i - \sum m_j h_j + Q - Q_0 = W \quad (7.18)$$

Termodinamiğin 2. kanunu :

$$\frac{Q}{T} + \frac{Q_0}{T_0} + \sum m_i s_i - \sum m_j s_j + S_{tr} = 0 \quad (7.19)$$

S_{tr} , sistemin entropi üretimini; s_i sisteme giren maddelerin entropisini; s_j , sistemden çıkan maddelerin entropisini göstermektedir.

Her iki ifade birleştirilirse :

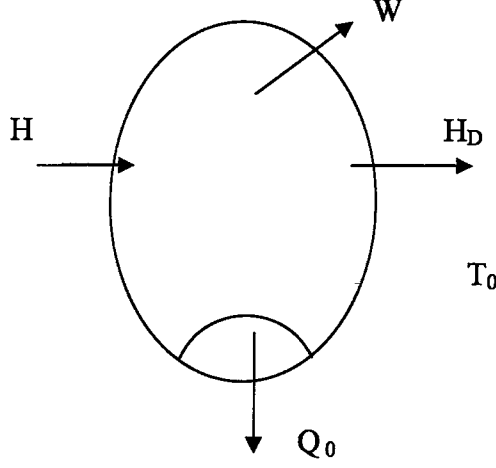
$$W = Q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (7.20)$$

elde edilir. Herhangi bir T sıcaklığında Q ısısının ekserjisi :

$$E_Q = Q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \text{ dir.} \quad (7.21)$$

T_0 çevre sıcaklığıdır.

Entalpi : Şekildeki gibi bir sistemi kararlı ve tersinir bir halde inceleyelim.



Şekil 7.4 Kararlı, tersinir, açık sistem

1. ve 2. kanunlar birleştirilirse :

$$W = H - H_0 + T_0 (S - S_0) \quad (7.21)$$

Elde edilir. Burada H_0 ve S_0 , H ve S 'nin çevre ile dengeye geldikten sonraki halleridir. T_0 sıcaklığındaki ısının ekserjisi de sıfır olduğuna göre, bu ifade aynı zamanda entalpinin ekserjisine eşit olur.

$$E_H = (H - H_0) - T_0 (S - S_0) \quad (7.22)$$

Kinetik, potansiyel ve elektrik enerjileri tümüyle işe çevrilebileceklerinden ekserji değerleri enerji değerlerine eşittir.

$$E_{KE} = KE, E_{PE} = PE, E_{EE} = EE \quad (7.23)$$

7.3.2 Akışlı Sistemler (Kıncay, 2003)

1 şartlarında bulunan kararlı bir sistemin 0 çevre şartlarına getirilmesiyle elde edilecek tersinir faydalı iş, kinetik ve potansiyel enerjilerin ihmal edilmesiyle şöyle yazılır :

$$W_{\text{ter, 1-0 faydalı}} = T_0 \Delta S_{1-0} - \Delta U_{1-0} = E_1 \quad (7.24)$$

$$\Delta E_{1-2} = E_2 - E_1 = \Delta H_{1-2} - T_0 \Delta S_{1-2} \quad (7.25)$$

dir. Genel olarak :

$$\Delta E = \Delta H - T_0 \Delta S \quad (7.26)$$

şeklinde ifade edilir. Kararlı halde açık bir sistem için ekserji analizi yaparsak :

$$\text{Sisteme giren} - \text{Sistemden çıkan} + \text{Sistemde üretilen} = 0$$

$$\text{Sisteme giren} = \sum m_i e_{h_i} + \sum E_{Q_K} \quad (7.27)$$

$$\text{Sistemden çıkan} = \sum m_j e_{h_j} + E_W \quad (7.28)$$

$$\text{Sistemde üretilen} = - E_{kayıp} \quad (7.29)$$

Doğal prosesler tersinir olmadığından hiçbir zaman maksimum iş elde edilemez, her zaman bir kayıp vardır. Bu kayıp, eksi değerli bir üretim olarak yorumlanır.

Kararlı bir sistemde $\sum m_i = \sum m_j$ olduğundan :

$$E_{kayıp} = \sum m_i (h_i - T_0 s_i) - \sum m_j (h_j - T_0 s_j) + \sum Q_K \left(1 - \frac{T_0}{T_K}\right) - W \quad (7.30)$$

ve maksimum iş kayıp olmadığı zaman elde edileceğinden :

$$W_{\max} = \sum m_i (h_i - T_0 s_i) - \sum m_j (h_j - T_0 s_j) + \sum Q_K \left(1 - \frac{T_0}{T_K}\right) \quad (7.31)$$

ifadesi elde edilir.

$$W_{kayıp} = W_{\max} - W = E_{kayıp} \quad (7.32)$$

Ekserji kaybı ile sistem içindeki entropi üretimi arasında çok yakın ilişki vardır :

$$\sum m_i h_i - \sum m_j h_j + \sum Q_K - W = 0 \quad \text{1. kanun}$$

$$\sum m_i s_i - \sum m_j s_j + \sum \frac{Q_K}{T_K} + S_{ür} = 0 \quad \text{2. kanun}$$

Ekserji kaybı için bulunmuş ifade düzenlenirse :

$$E_{kayıp} = \sum m_i h_i - \sum m_j h_j + \sum Q_K - W + T_0 \left(\sum m_j s_j - \sum m_i s_i - \sum \frac{Q_K}{T_K} \right) \quad (7.33)$$

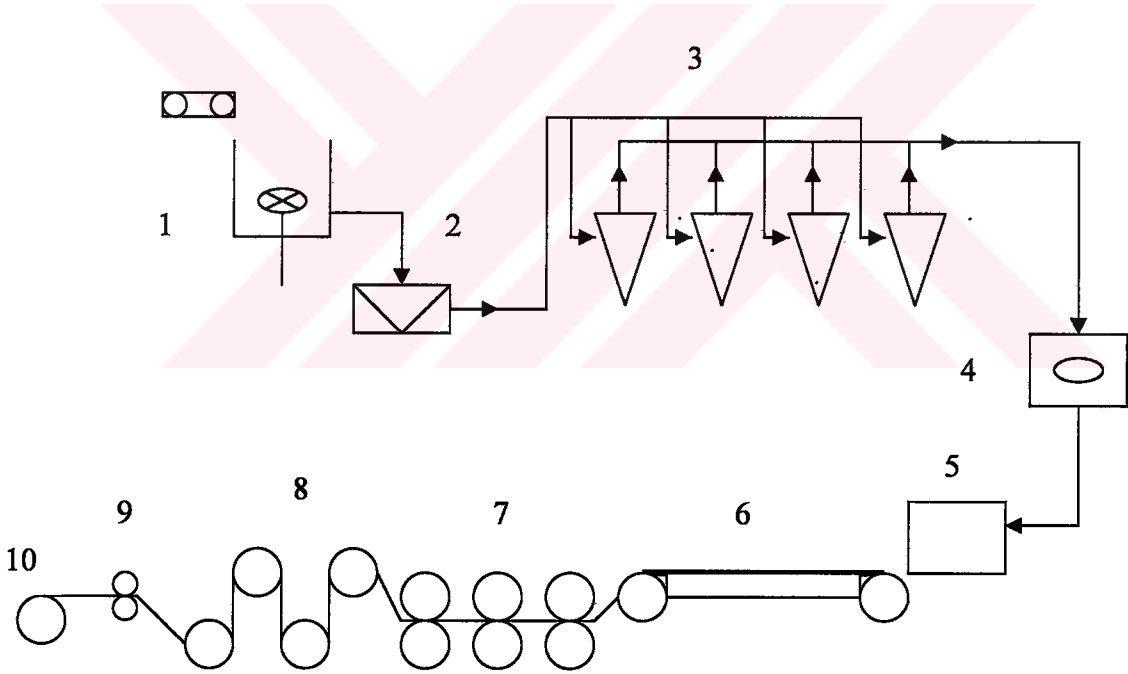
$$E_{kayıp} = T_0 S_{ür} \quad (7.34)$$

olduğu görülür. Sistem içindeki entropi üretimi ile ekserji kaybı arasındaki bu ilişki Gouy-Stodola teoremi olarak da bilinir.

7.4 İzmit SEKA Selüloz ve Kağıt Fabrikası 3. Kağıt Tesisi

İzmit SEKA Selüloz ve Kağıt Fabrikası 3 tesisten oluşmaktadır. 1. Kağıt Tesisi, selüloz hamurundan 1. hamur beyaz kağıt imal etmektedir. 2. Kağıt Tesisi, selüloz ve atık kağıt hamurundan gazete kağıdı üretmektedir. 3. Kağıt Tesisi'nde atık kağıttan karton üretimi yapılmaktadır. Bu tesis tek hattan oluşmaktadır. Bu bölümde 3. Kağıt Tesisi'nin akış diyagramı gösterilerek ve ekserji analizi yapılmaktadır.

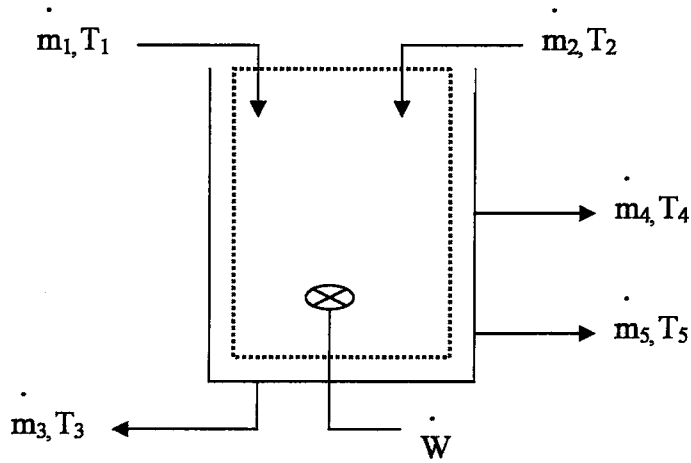
Kuruluş Tarihi	: 1954	Pulper sayısı	: 1
İmalat Cinsi	: Gri ve pembe karton	Sortir elek sayısı	: 1
Çalışma şekli	: Sürekli rejim	Kum tutucu sayısı	: 4
Harman	: %100 atık kağıt	Rifayner sayısı	: 1
İmalat kapasitesi	: 90 ton/gün	Hamur kasası sayısı	: 1
Sonsuz elek sayısı	: 1	Pres sayısı	: 3
Kurutma silindiri sayısı	: 40		



Şekil 7.5 Akım Şeması

- 1) Pulper, 2) Sortir eleği, 3) Kum tutucular, 4) Rifayner, 5) Hamur kasası, 6) Sonsuz elek, 7) Pres ünitesi, 8) Kurutma silindirleri, 9) Kalender, 10) Mal sarıcı

7.5 Pulper



Kütlenin korunumu :

Aşağıdaki veriler İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası analiz raporlarından alınmıştır.

$\dot{m}_1 = 80 \text{ ton/gün} = \text{Pulpere giren atık kağıt miktarı}$

$\dot{m}_2 = 540 \text{ ton/gün} = \text{Pulpere giren su miktarı}$

$\dot{m}_3 = 550 \text{ ton/gün} = \text{Pulperde açılan hamur miktarı}$

$\dot{m}_4 = 85 \text{ ton/gün} = \text{Çöp tankına giden atık madde miktarı}$

$\dot{m}_5 = 5 \text{ ton/gün} = \text{Halat tarafından tutulan atık madde miktarı}$

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5$$

(7.35)

$$(80 + 540) \text{ ton/gün} = (550 + 85 + 5) \text{ ton/gün}$$

$$620 \text{ ton/gün} = 620 \text{ ton/gün}$$

1. Kanun analizi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_ç \theta_ç - \sum \dot{m}_g \theta_g \quad (7.36)$$

$$\theta = h + ke + pe \quad (\text{kJ/kg}) \quad (7.37)$$

$ke = 0$, $pe = 0$ (Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir.)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_ç h_ç - \sum \dot{m}_g h_g \quad (7.38)$$

Aşağıda pulpere giren ve çıkan maddelerin özgül ısıları ile sıcaklık değerleri verilmiştir. Bu veriler İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası analiz raporlarından alınmıştır.

$$c_1 = 1,62 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_2 = 3,18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_3 = 1,82 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_3 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_4 = 1,82 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_4 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_5 = 1,62 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_5 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{W} = 2800 \text{ kW} \quad (\text{Pulper motorunun gücü})$$

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_1 c_1 T_1 = (3333 \text{ kg/h})(1,62 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(293 \text{ K}) / 3600 = 439,45 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_2 c_2 T_2 = (22500 \text{ kg/h})(3,18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(333 \text{ K}) / 3600 = 6618,37 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_3 c_3 T_3 = (22916 \text{ kg/h})(1,82 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(318 \text{ K}) / 3600 = 3684,12 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_4 c_4 T_4 = (3541 \text{ kg/h})(1,82 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(318 \text{ K}) / 3600 = 569,27 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_5 c_5 T_5 = (208 \text{ kg/h})(1,62 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(318 \text{ K}) / 3600 = 29,76 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_4 h_4) - (\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2)$$

$$\dot{Q} - (-2800 \text{ kW}) = (3684,12 + 569,27 + 29,76) \text{ kW} - (6618,37 + 439,45) \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = -5574,67 \text{ kW} \quad (\text{Çevreye transfer olan ısı miktarı})$$

Birinci kanun verimi ;

$$\eta_I = \frac{\text{Absorbe edilen enerji}}{\text{Alınan enerji}} \quad (7.39)$$

$$\eta_I = \frac{\sum \dot{m}_\varphi h_\varphi - \sum \dot{m}_g h_g}{\dot{Q} + (\sum \dot{m}_\varphi h_\varphi - \sum \dot{m}_g h_g)} = \frac{2774,67 \text{ kW}}{(5574,67 + 2274,67) \text{ kW}} = 0,35$$

2. Kanun analizi :

$$\dot{W}_T = \sum \dot{m}_g \left[h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right] - \sum \dot{m}_\varphi \left[h_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} + gz_\varphi - T_0 s_\varphi \right] \quad (7.40)$$

KE = 0 , PE = 0 , T₀ = 20 °C (Çevre sıcaklığı)

$$\dot{W}_T = \sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) - \sum \dot{m}_\varphi (h_\varphi - T_0 s_\varphi) \quad (7.41)$$

$$\sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) = \left[\dot{m}_1 \left(c_1 T_1 - T_0 c_1 \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \right] + \left[\dot{m}_2 \left(c_2 T_2 - T_0 c_2 \ln \frac{T_2}{T_0} \right) \right]$$

$$\dot{m}_1 (c_1 T_1 - T_0 c_1 \ln \frac{T_1}{T_0}) = [3333 \text{ kg/h} [(1,62 \text{ kJ/kg.K} \cdot 293 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,62 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1)]]$$

$$= 439,45 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 (c_2 T_2 - T_0 c_2 \ln \frac{T_2}{T_0}) = [22500 \text{ kg/h} [(3,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot 333 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 3,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,13)]]$$

$$= 5906,65 \text{ kW}$$

$$\sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) = (439,45 + 5906,65) \text{ kW} = 6346,1 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_3 (c_3 T_3 - T_0 c_3 \ln \frac{T_3}{T_0}) = [22916 \text{ kg/h} [(1,82 \text{ kJ/kg.K} \cdot 318 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,82 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,08)]]$$

$$= 3403,78 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_4 (c_4 T_4 - T_0 c_4 \ln \frac{T_4}{T_0}) = [3541 \text{ kg/h} [(1,82 \text{ kJ/kg.K} \cdot 318 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,82 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,08)]]$$

$$= 528,9 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_5 (c_5 T_5 - T_0 c_5 \ln \frac{T_5}{T_0}) = [208 \text{ kg/h} [(1,62 \text{ kJ/kg.K} \cdot 318 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,62 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,08)]]$$

$$= 27,65 \text{ kW}$$

$$\sum \dot{m}_c (h_c - T_0 s_c) = (3403,78 + 528,9 + 27,65) \text{ kW} = 3960,33 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_r = (6346,1 - 3960,33) \text{ kW} = 2385,77 \text{ kW} \text{ (Tersinir iş)}$$

$$\dot{I} = \dot{W}_r - \dot{W}_y \text{ (Tersinmezlik)} \quad (7.42)$$

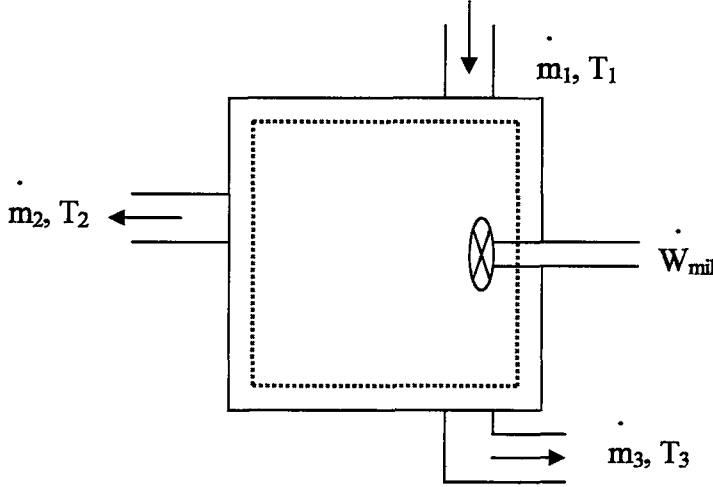
$$\dot{I} = [2385,77 - (-2800)] \text{ kW} = 5185,77 \text{ kW}$$

İkinci kanun verimi ;

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{ter}}{\dot{W}_y} \quad (7.43)$$

$$\eta_{II} = \frac{2385,77 \text{ kW}}{2800 \text{ kW}} = 0,852$$

7.6 Sortir Eleği



Kütlenin korunumu :

Aşağıdaki veriler İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası analiz raporlarından alınmıştır.

$\dot{m}_1 = 550 \text{ ton/gün} = \text{Eleğe giren hamur miktarı}$

$\dot{m}_2 = 380 \text{ ton/gün} = \text{Elekten çıkan hamur miktarı}$

$\dot{m}_3 = 170 \text{ ton/gün} = \text{Elek tarafından tutulan atık madde miktarı}$

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

$$550 \text{ ton/gün} = (380 + 170) \text{ ton/gün}$$

$$550 \text{ ton/gün} = 550 \text{ ton/gün}$$

1. Kanun analizi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_ç \theta_ç - \sum \dot{m}_g \theta_g$$

$ke = 0$, $pe = 0$ (Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir.)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_ç h_ç - \sum \dot{m}_g h_g$$

İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'ndan alınan verilere göre ;

$$c_1 = 1,82 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_1 = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_2 = 1,94 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_2 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_3 = 1,68 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_3 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{W}_{mil} = 65 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_1 c_1 T_1 = (22916 \text{ kg/h})(1,82 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(318 \text{ K}) / 3600 = 3684,12 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_2 c_2 T_2 = (15833 \text{ kg/h})(1,94 \text{ kJ/kg.K})(308 \text{ K}) / 3600 = 2627,92 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_3 c_3 T_3 = (7083 \text{ kg/h})(1,68 \text{ kJ/kg.K})(308 \text{ K}) / 3600 = 1018,06 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3) - (\dot{m}_1 h_1)$$

$$\dot{Q} - (-65 \text{ kW}) = (2627,92 + 1018,06) \text{ kW} - 3684,12 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = -103,14 \text{ kW} \text{ (Çevreye transfer olan ısı miktarı)}$$

Birinci kanun verimi ;

$$\eta_I = \frac{\sum \dot{m}_\varphi h_\varphi - \sum \dot{m}_g h_g}{\dot{Q} + (\sum \dot{m}_\varphi h_\varphi - \sum \dot{m}_g h_g)} = \frac{38,14 \text{ kW}}{(103,14 + 38,14) \text{ kW}} = 0,26$$

2. Kanun analizi :

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left[h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right] - \sum \dot{m}_\varphi \left[h_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} + gz_\varphi - T_0 s_\varphi \right]$$

KE = 0 , PE = 0 , T₀ = 20 °C (Çevre sıcaklığı)

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) - \sum \dot{m}_\varphi (h_\varphi - T_0 s_\varphi)$$

$$\sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) = \left[\dot{m}_1 \left(c_1 T_1 - T_0 c_1 \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \right]$$

$$= [22916 \text{ kg/h} [(1,82 \text{ kJ/kg.K} \cdot 318 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,82 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,08)]]$$

$$= 3422,88 \text{ kW}$$

$$\left[\dot{m}_2 \left(c_2 T_2 - T_0 c_2 \ln \frac{T_2}{T_0} \right) \right] = [15833 \text{ kg/h} [(1,94 \text{ kJ/kg.K} \cdot 308 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,94 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,05)]]$$

$$= 2505,95 \text{ kW}$$

$$\left[\dot{m}_3 \left(c_3 T_3 - T_0 c_3 \ln \frac{T_3}{T_0} \right) \right] = [7083 \text{ kg/h} [(1,68 \text{ kJ/kg.K} \cdot 308 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,68 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,05)]]$$

$$= 970,81 \text{ kW}$$

$$\sum \dot{m}_\varphi (h_\varphi - T_0 s_\varphi) = (2505,95 + 970,81) \text{ kW} = 3477,76 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{tr} = (3422,88 - 3477,76) \text{ kW} = -54,88 \text{ kW}$$

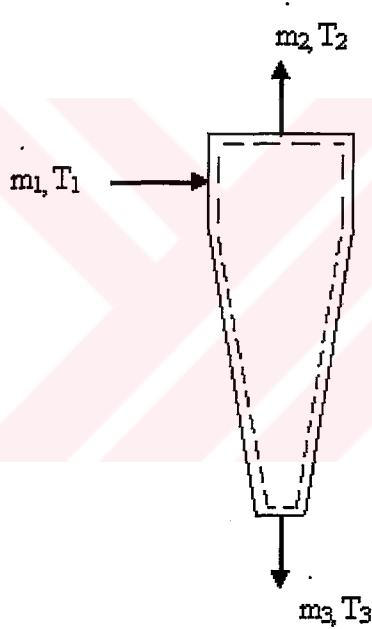
$$\dot{I} = \dot{W}_r - \dot{W}_y$$

$$\dot{I} = [-54,88 - (-65)] \text{ kW} = 10,12 \text{ kW}$$

$$\eta_{II} = \frac{W_r}{W_y} = \frac{54,88 \text{ kW}}{65 \text{ kW}} = 0,844$$

7.7 Kum Tutucu

İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası 3. Kağıt Tesisi'nde 4 adet eşdeğer kum tutucu kullanılmaktadır. Kum tutucular paralel olarak monte edilmiştir. Hamur, kum tutuculara eşit oranlarda dağıtılmaktadır.



Kütlenin korunumu :

Aşağıdaki veriler İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası analiz raporlarından alınmıştır.

$$\dot{m}_1 = 95 \text{ ton/gün} = \text{Kum tutucuya giren hamur miktarı}$$

$$\dot{m}_2 = 90 \text{ ton/gün} = \text{Kum tutucudan çıkan hamur miktarı}$$

$$\dot{m}_3 = 5 \text{ ton/gün} = \text{Kum tutucu tarafından tutulan atık madde miktarı}$$

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\phi$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

$$95 \text{ ton/gün} = (90 + 5) \text{ ton/gün}$$

95 ton/gün = 95 ton/gün

1. Kanun analizi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi \theta_\phi - \sum \dot{m}_g \theta_g$$

$p_e = 0$ (Potansiyel enerji değişimi ihmal edilebilir.)

İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'ndan alınan verilere göre ;

$$c_1 = 1,94 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_1 = 35 \text{ }^\circ\text{C} \quad , \quad v_1 = 45 \text{ m/dak}$$

$$c_2 = 1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_2 = 32 \text{ }^\circ\text{C} \quad , \quad v_2 = 30 \text{ m/dak}$$

$$c_3 = 1,68 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_3 = 32 \text{ }^\circ\text{C} \quad , \quad v_3 = 40 \text{ m/dak}$$

$$\sum \dot{Q} - \sum \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi \left[c_\phi T_\phi + \frac{v_\phi^2}{2} \right] - \sum \dot{m}_g \left[c_g T_g + \frac{v_g^2}{2} \right]$$

$$\dot{m}_1 \left[c_1 T_1 + \frac{v_1^2}{2} \right] = 3958 \text{ kg/h} \left[1,94 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 303 \text{ K} + \frac{0,75^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 1000} \right] / 3600 = 646,27 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 \left[c_2 T_2 + \frac{v_2^2}{2} \right] = 3750 \text{ kg/h} \left[1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 299 \text{ K} + \frac{0,5^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 1000} \right] / 3600 = 610,45 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_3 \left[c_3 T_3 + \frac{v_3^2}{2} \right] = 208 \text{ kg/h} \left[1,68 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 299 \text{ K} + \frac{0,66^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 1000} \right] / 3600 = 29,02 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} - 0 = (610,45 + 29,02) \text{ kW} - 646,27 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = -6,8 \text{ kW} \text{ (Bir kum tutucudan çevreye transfer olan ısı miktarı)}$$

Toplam 4 adet kum tutucu bulunduğuna göre çevreye transfer olan toplam ısı ;

$$\dot{Q}_{\text{top}} = 4 * (-6,8 \text{ kW}) = -27,2 \text{ kW}$$

Birinci kanun verimi ;

$$\eta_I = 1 - \frac{Q}{h_2 - h_1} = 1 - \frac{6,8 \text{ kW}}{(646,27 - 610,45) \text{ kW}} = 0,18$$

2. Kanun analizi :

$$\dot{W}_t = \sum \dot{m}_g \left[h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right] - \sum \dot{m}_\varphi \left[h_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} + gz_\varphi - T_0 s_\varphi \right]$$

PE = 0 , T₀ = 20 °C (Çevre sıcaklığı)

$$\dot{W}_t = \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_\varphi \left(h_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} - T_0 s_\varphi \right)$$

$$\left[\dot{m}_1 \left(c_1 T_1 + \frac{v_1^2}{2} - T_0 c_1 \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \right] = \left[3958 \text{ kg/h} \left(1,94 \text{ kJ/kg.K} * 303\text{K} + \frac{0,75^2 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 1000} - 293\text{K} * 1,94 \text{ kJ/kg.K} * \ln 1,03 \right) \right]$$

$$= 627,8 \text{ kW}$$

$$\left[\dot{m}_2 \left(c_2 T_2 + \frac{v_2^2}{2} - T_0 c_2 \ln \frac{T_2}{T_0} \right) \right] = \left[3750 \text{ kg/h} \left(1,96 \text{ kJ/kg.K} * 299\text{K} + \frac{0,5^2 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 1000} - 293\text{K} * 1,96 \text{ kJ/kg.K} * \ln 1,02 \right) \right]$$

$$= 573,81 \text{ kW}$$

$$\left[\dot{m}_3 \left(c_3 T_3 + \frac{v_3^2}{2} - T_0 c_3 \ln \frac{T_3}{T_0} \right) \right] = \left[208 \text{ kg/h} \left(1,68 \text{ kJ/kg.K} * 299\text{K} + \frac{0,66^2 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 1000} - 293\text{K} * 1,68 \text{ kJ/kg.K} * \ln 1,02 \right) \right]$$

$$= 28,46 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_t = 627,8 \text{ kW} - (573,81 + 28,46) \text{ kW} = 25,53 \text{ kW}$$

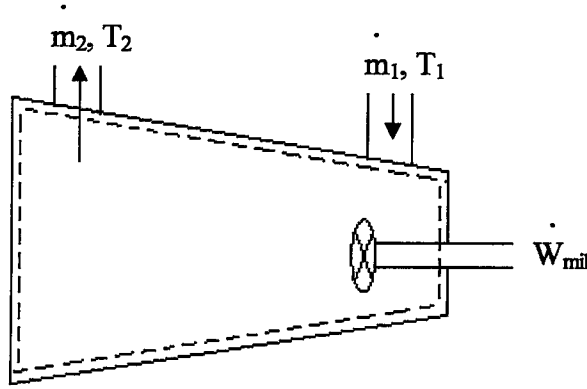
$$\dot{I} = \dot{W}_t = 25,53 \text{ kW}$$

Toplam 4 adet kum tutucu bulunduğuna toplam tersinmezlik ;

$$\dot{I}_{top} = 4 * 25,53 \text{ kW} = 102,12 \text{ kW}$$

$$\eta_{II} = 1 - \frac{T_0 S_{tr}}{h_2 - h_1} = 1 - \frac{25,53 \text{ kW}}{(646,27 - 610,45) \text{ kW}} = 0,28$$

7.8 Rifayner



Kütlenin korunumu :

Aşağıdaki veriler İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası analiz raporlarından alınmıştır.

$\dot{m}_1 = 360 \text{ ton/gün} = \text{Rifaynere giren hamur miktarı}$

$\dot{m}_2 = 360 \text{ ton/gün} = \text{Rifaynerden çıkan hamur miktarı}$

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\phi$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$360 \text{ ton/gün} = 360 \text{ ton/gün}$$

1. Kanun analizi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi \theta_\phi - \sum \dot{m}_g \theta_g$$

$ke = 0$, $pe = 0$ (Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir.)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi h_\phi - \sum \dot{m}_g h_g$$

İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'ndan alınan verilere göre ;

$$c_1 = 1,96 \text{ kJ/kg.K} \quad , \quad T_1 = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_2 = 1,96 \text{ kJ/kg.K} \quad , \quad T_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{W}_{mil} = 50 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_1 c_1 T_1 = (15000 \text{ kg/h})(1,96 \text{ kJ/kg.K})(305 \text{ K}) / 3600 = 2490,83 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_2 c_2 T_2 = (15000 \text{ kg/h})(1,96 \text{ kJ/kg.K})(303 \text{ K}) / 3600 = 2474,5 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{m}_2 h_2) - (\dot{m}_1 h_1)$$

$$\dot{Q} - (-50 \text{ kW}) = (2474,5 - 2490,83) \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = -66,33 \text{ kW} \text{ (Rifaynerden çevreye transfer olan ısı miktarı)}$$

Birinci kanun verimi ;

$$\eta_I = \frac{\sum \dot{m}_\phi h_\phi - \sum \dot{m}_g h_g}{Q + (\sum \dot{m}_\phi h_\phi - \sum \dot{m}_g h_g)} = \frac{16,33 \text{ kW}}{(66,33 + 16,33) \text{ kW}} = 0,19$$

2. Kanun analizi :

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left[h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right] - \sum \dot{m}_\phi \left[h_\phi + \frac{v_\phi^2}{2} + gz_\phi - T_0 s_\phi \right]$$

KE = 0 , PE = 0 , T₀ = 20 °C (Çevre sıcaklığı)

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) - \sum \dot{m}_\phi (h_\phi - T_0 s_\phi)$$

$$\sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) = \left[\dot{m}_1 \left(c_1 T_1 - T_0 c_1 \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \right]$$

$$= [15000 \text{ kg/h} [(1,96 \text{ kJ/kg.K} * 305 \text{ K}) - (293 \text{ K} * 1,96 \text{ kJ/kg.K} * \ln 1,04)]]$$

$$= 2396,98 \text{ kW}$$

$$\sum \dot{m}_\phi (h_\phi - T_0 s_\phi) = \left[\dot{m}_2 \left(c_2 T_2 - T_0 c_2 \ln \frac{T_2}{T_0} \right) \right]$$

$$= [15000 \text{ kg/h} [(1,96 \text{ kJ/kg.K} * 303 \text{ K}) - (293 \text{ K} * 1,96 \text{ kJ/kg.K} * \ln 1,03)]]$$

$$= 2403,77 \text{ kW}$$

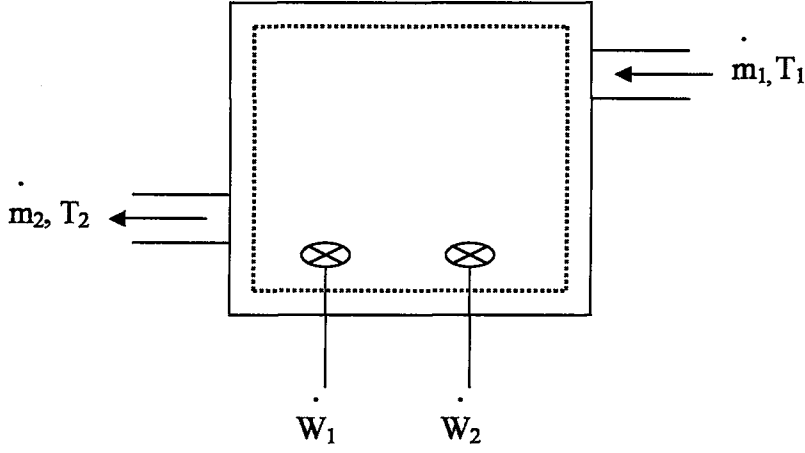
$$\dot{W}_{tr} = (2396,98 - 2403,77) \text{ kW} = -6,79 \text{ kW}$$

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y$$

$$\dot{I} = [(-6,79) - (-50)] \text{ kW} = 43,21 \text{ kW}$$

$$\eta_{II} = \frac{W_{tr}}{W_y} = \frac{6,79 \text{ kW}}{50 \text{ kW}} = 0,135$$

7.9 Hamur Kasası



Kütlenin korunumu :

Aşağıdaki veriler İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası analiz raporlarından alınmıştır.

$\dot{m}_1 = 360 \text{ ton/gün} = \text{Hamur kasasına giren hamur miktarı}$

$\dot{m}_2 = 360 \text{ ton/gün} = \text{Hamur kasasından çıkan hamur miktarı}$

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\varphi$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$360 \text{ ton/gün} = 360 \text{ ton/gün}$$

1. Kanun analizi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\varphi \theta_\varphi - \sum \dot{m}_g \theta_g$$

$p_e = 0$ (Potansiyel enerji değişimi ihmal edilebilir.)

$$\sum \dot{Q} - \sum \dot{W} = \sum \dot{m}_g \left[h_g + \frac{v_g^2}{2} \right] - \sum \dot{m}_\varphi \left[h_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} \right]$$

İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'ndan alınan verilere göre ;

$$c_1 = 1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C} \quad , \quad v_1 = 40 \text{ m/dak}$$

$$c_2 = 1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_2 = 26 \text{ }^\circ\text{C} \quad , \quad v_2 = 25 \text{ m/dak}$$

$$\dot{W}_1 = 35 \text{ kW} \quad (\text{Dengeleme silindiri motorunun gücü})$$

$$\dot{W}_2 = 25 \text{ kW} \quad (\text{Yayma silindiri motorunun gücü})$$

$$\dot{\Sigma}Q - \dot{\Sigma}W = \dot{m}_2 \left[c_2 T_2 + \frac{v_2^2}{2} \right] - \dot{m}_1 \left[c_1 T_1 + \frac{v_1^2}{2} \right]$$

$$\dot{m}_1 \left[c_1 T_1 + \frac{v_1^2}{2} \right] = 15000 \text{ kg/h} \left[1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 303 \text{ K} + \frac{0,66^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 1000} \right] / 3600 = 2474,5 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 \left[c_2 T_2 + \frac{v_2^2}{2} \right] = 15000 \text{ kg/h} \left[1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 299 \text{ K} + \frac{0,41^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 1000} \right] / 3600 = 2441,83 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} - [- (35 + 25)] \text{ kW} = (2441,83 - 2474,5) \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = -92,67 \text{ kW} \text{ (Hamur kasasından çevreye transfer olan ısı miktarı)}$$

Birinci kanun verimi ;

$$\eta_I = \frac{\dot{\Sigma}m_\varphi h_\varphi - \dot{\Sigma}m_g h_g}{\dot{Q} + (\dot{\Sigma}m_\varphi h_\varphi - \dot{\Sigma}m_g h_g)} = \frac{32,67 \text{ kW}}{(92,67 + 32,67) \text{ kW}} = 0,26$$

2. Kanun analizi :

$$\dot{W}_{tr} = \dot{\Sigma}m_g \left[h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right] - \dot{\Sigma}m_\varphi \left[h_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} + gz_\varphi - T_0 s_\varphi \right]$$

PE = 0 , T₀ = 20 °C (Çevre sıcaklığı)

$$\dot{W}_{tr} = \dot{\Sigma}m_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} - T_0 s_g \right) - \dot{\Sigma}m_\varphi \left(h_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} - T_0 s_\varphi \right)$$

$$\dot{\Sigma}m_g (h_g - T_0 s_g) = \left[\dot{m}_1 \left(c_1 T_1 + \frac{v_1^2}{2} - T_0 c_1 \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \right]$$

$$= [15000 \text{ kg/h} (1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 303 \text{ K} + \frac{0,66^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 1000} - 293 \text{ K} \cdot 1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot \ln 1,03)]$$

$$= 2403,79 \text{ kW}$$

$$\dot{\Sigma}m_\varphi (h_\varphi - T_0 s_\varphi) = \left[\dot{m}_2 \left(c_2 T_2 + \frac{v_2^2}{2} - T_0 c_2 \ln \frac{T_2}{T_0} \right) \right]$$

$$= [15000 \text{ kg/h} (1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 299 \text{ K} + \frac{0,41^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 1000} - 293 \text{ K} \cdot 1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot \ln 1,02)]$$

$$= 2394,45 \text{ kW}$$

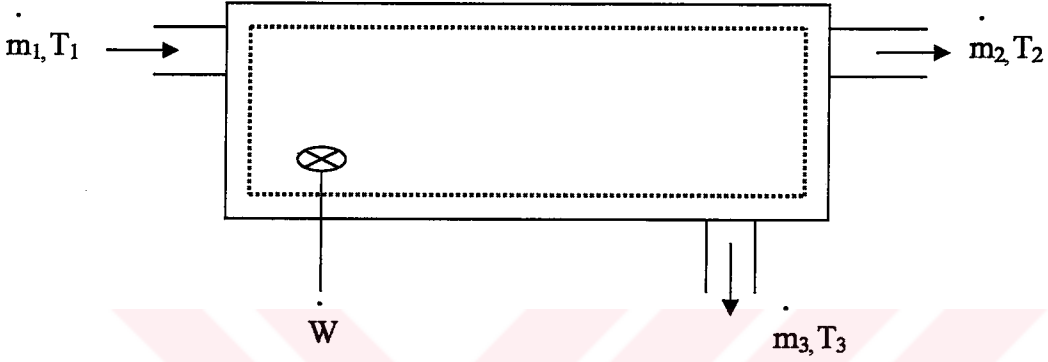
$$\dot{W}_{tr} = (2403,79 - 2394,45) \text{ kW} = 9,34 \text{ kW}$$

$$\dot{I} = \dot{W}_r - \dot{W}_y$$

$$\dot{I} = [9,34 - (-60)] \text{ kW} = 69,34 \text{ kW}$$

$$\eta_{II} = \frac{W_r}{W_y} = \frac{9,34 \text{ kW}}{60 \text{ kW}} = 0,15$$

7.10 Sonsuz Elek



Kütlenin korunumu :

Aşağıdaki veriler İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası analiz raporlarından alınmıştır.

$\dot{m}_1 = 360 \text{ ton/gün} =$ Sonsuz eleğe giren hamur miktarı

$\dot{m}_2 = 140 \text{ ton/gün} =$ Sonsuz elekten çıkan hamur miktarı

$\dot{m}_3 = 220 \text{ ton/gün} =$ Sonsuz elekte süzülen su miktarı

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\phi$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

$$360 \text{ ton/gün} = (220 + 140) \text{ ton/gün}$$

$$360 \text{ ton/gün} = 360 \text{ ton/gün}$$

1. Kanun analizi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi \theta_\phi - \sum \dot{m}_g \theta_g$$

$p_e = 0$ (Potansiyel enerji değişimi ihmal edilebilir.)

İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'ndan alınan verilere göre ;

$$c_1 = 1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_1 = 26 \text{ }^\circ\text{C} \quad , \quad v_1 = 25 \text{ m/dak}$$

$$c_2 = 1,78 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_2 = 24^\circ\text{C} \quad , \quad v_2 = 60 \text{ m/dak}$$

$$c_3 = 2,06 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_3 = 24^\circ\text{C} \quad , \quad v_3 = 15 \text{ m/dak}$$

$$\dot{W} = 80 \text{ kW} \quad (\text{Döndürme silindiri motorunun gücü})$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\varphi \left[c_\varphi T_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} \right] - \sum \dot{m}_g \left[c_g T_g + \frac{v_g^2}{2} \right]$$

$$\dot{m}_1 \left[c_1 T_1 + \frac{v_1^2}{2} \right] = 15000 \text{ kg/h} \left[1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 299 \text{ K} + \frac{0,41^2 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 1000} \right] / 3600 = 2441,83 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 \left[c_2 T_2 + \frac{v_2^2}{2} \right] = 5834 \text{ kg/h} \left[1,78 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 297 \text{ K} + \frac{1^2 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 1000} \right] / 3600 = 856,72 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_3 \left[c_3 T_3 + \frac{v_3^2}{2} \right] = 9166 \text{ kg/h} \left[2,06 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 297 \text{ K} + \frac{0,25^2 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 1000} \right] / 3600 = 1557,76 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} - (-80 \text{ kW}) = (856,72 + 1557,76) \text{ kW} - 2441,83 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = -107,35 \text{ kW} \quad (\text{Sonsuz elekten çevreye transfer olan ısı miktarı})$$

Birinci kanun verimi ;

$$\eta_I = \frac{\sum \dot{m}_\varphi h_\varphi - \sum \dot{m}_g h_g}{\dot{Q} + (\sum \dot{m}_\varphi h_\varphi - \sum \dot{m}_g h_g)} = \frac{27,35 \text{ kW}}{(107,35 + 27,35) \text{ kW}} = 0,20$$

2. Kanun analizi :

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left[h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right] - \sum \dot{m}_\varphi \left[h_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} + gz_\varphi - T_0 s_\varphi \right]$$

$$PE = 0, \quad T_0 = 20^\circ\text{C} \quad (\text{Çevre sıcaklığı})$$

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_\varphi \left(h_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} - T_0 s_\varphi \right)$$

$$\left[\dot{m}_1 \left(c_1 T_1 + \frac{v_1^2}{2} - T_0 c_1 \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \right] = \left[15000 \text{ kg/h} \left(1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot 299 \text{ K} + \frac{0,41^2 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 1000} - 293 \text{ K} \cdot 1,96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot \ln 1,02 \right) \right]$$

$$= 2394,45 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_2 \left(c_2 T_2 + \frac{v_2^2}{2} - T_0 c_2 \ln \frac{T_2}{T_0} \right) &= \left[5834 \text{ kg/h} \left(1,78 \text{ kJ/kg.K} \cdot 297 \text{ K} + \frac{1^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 1000} - 293 \text{ K} \cdot \right. \right. \\ &\quad \left. \left. 1,78 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,01 \right) \right] \\ &= 848,32 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_3 \left(c_3 T_3 + \frac{v_3^2}{2} - T_0 c_3 \ln \frac{T_3}{T_0} \right) &= \left[9166 \text{ kg/h} \left(2,06 \text{ kJ/kg.K} \cdot 297 \text{ K} + \frac{0,25^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 1000} - 293 \text{ K} \cdot \right. \right. \\ &\quad \left. \left. 2,06 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,01 \right) \right] \\ &= 1541,21 \text{ kW} \end{aligned}$$

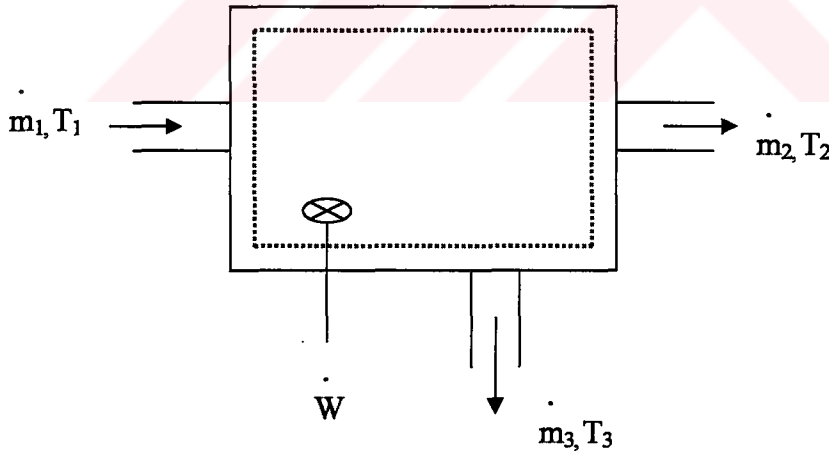
$$\dot{W}_r = 2394,45 \text{ kW} - (848,32 + 1541,21) \text{ kW} = 4,92 \text{ kW}$$

$$\dot{I} = \dot{W}_r - \dot{W}_y$$

$$\dot{I} = [4,92 - (-80)] \text{ kW} = 84,92 \text{ kW}$$

$$\eta_{II} = \frac{W_r}{W_y} = \frac{4,92 \text{ kW}}{80 \text{ kW}} = 0,061$$

7.11 Pres Ünitesi



Kütlenin korunumu :

Aşağıdaki veriler İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası analiz raporlarından alınmıştır.

$\dot{m}_1 = 140 \text{ ton/gün} = \text{Prese giren hamur miktarı}$

$\dot{m}_2 = 105 \text{ ton/gün} = \text{Presten çıkan hamur miktarı}$

$\dot{m}_3 = 35 \text{ ton/gün} = \text{Preste hamurdan ayrılan su miktarı}$

$$\dot{\sum m_g} = \dot{\sum m_{\phi}}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

$$140 \text{ ton/gün} = (105 + 35) \text{ ton/gün}$$

$$140 \text{ ton/gün} = 140 \text{ ton/gün}$$

1. Kanun analizi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{\sum m_{\phi} \theta_{\phi}} - \dot{\sum m_g \theta_g}$$

ke = 0 , pe = 0 (Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir.)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{\sum m_{\phi} h_{\phi}} - \dot{\sum m_g h_g}$$

İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'ndan alınan verilere göre ;

$$c_1 = 1,78 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_1 = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_2 = 1,72 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_2 = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_3 = 2,06 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad , \quad T_3 = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{W} = 80 \text{ kW} \text{ (Pres silindirlerinin toplam motor gücü)}$$

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_1 c_1 T_1 = (5833 \text{ kg/h})(1,78 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(297 \text{ K}) / 3600 = 856,57 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_2 c_2 T_2 = (4375 \text{ kg/h})(1,72 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(295 \text{ K}) / 3600 = 616,63 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_3 c_3 T_3 = (1458 \text{ kg/h})(2,06 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(295 \text{ K}) / 3600 = 246,11 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3) - (\dot{m}_1 h_1)$$

$$\dot{Q} - (-80 \text{ kW}) = (616,63 + 246,11) \text{ kW} - 856,57 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = -73,83 \text{ kW} \text{ (Çevreye transfer olan ısı miktarı)}$$

Birinci kanun verimi ;

$$\eta_I = \frac{\dot{\sum m_{\phi} h_{\phi}} - \dot{\sum m_g h_g}}{\dot{Q} + (\dot{\sum m_{\phi} h_{\phi}} - \dot{\sum m_g h_g})} = \frac{6,17 \text{ kW}}{(73,83 + 6,17) \text{ kW}} = 0,07$$

2. Kanun analizi :

$$\dot{W}_{tr} = \dot{\sum m_g} \left[h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right] - \dot{\sum m_{\phi}} \left[h_{\phi} + \frac{v_{\phi}^2}{2} + gz_{\phi} - T_0 s_{\phi} \right]$$

$$KE = 0 , PE = 0 , T_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Çevre sıcaklığı)}$$

$$\begin{aligned}\dot{W}_t &= \sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) - \sum \dot{m}_c (h_c - T_0 s_c) \\ \sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) &= \left[\dot{m}_1 \left(c_1 T_1 - T_0 c_1 \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \right] \\ &= [5833 \text{ kg/h} [(1,78 \text{ kJ/kg.K} \cdot 297 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,78 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,01)]] \\ &= 848,16 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\left[\dot{m}_2 \left(c_2 T_2 - T_0 c_2 \ln \frac{T_2}{T_0} \right) \right] &= [4375 \text{ kg/h} [(1,72 \text{ kJ/kg.K} \cdot 295 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,72 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,01)]] \\ &= 610,53 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\left[\dot{m}_3 \left(c_3 T_3 - T_0 c_3 \ln \frac{T_3}{T_0} \right) \right] &= [1458 \text{ kg/h} [(2,06 \text{ kJ/kg.K} \cdot 295 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 2,06 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,01)]] \\ &= 243,68 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\sum \dot{m}_c (h_c - T_0 s_c) = (610,53 + 243,68) \text{ kW} = 854,21 \text{ kW}$$

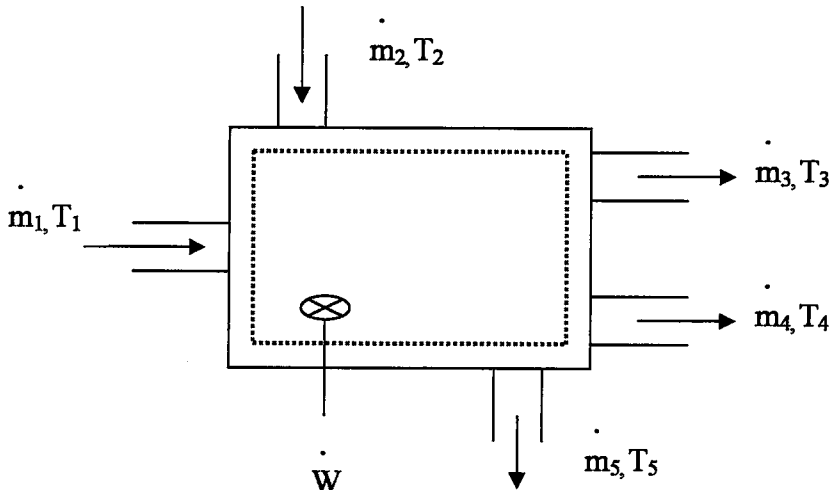
$$\dot{W}_t = (848,16 - 854,21) \text{ kW} = -6,05 \text{ kW}$$

$$\dot{I} = \dot{W}_t - \dot{W}_y$$

$$\dot{I} = [-6,05 - (-80)] \text{ kW} = 73,95 \text{ kW}$$

$$\eta_{II} = \frac{W_t}{W_y} = \frac{6,05 \text{ kW}}{80 \text{ kW}} = 0,075$$

7.12 Kurutma Ünitesi



Kütlenin korunumu :

Aşağıdaki veriler İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası analiz raporlarından alınmıştır.

$$\dot{m}_1 = 105 \text{ ton/gün} = \text{Kurutma ünitesine giren hamur miktarı}$$

$$\dot{m}_2 = 180 \text{ ton/gün} = \text{Kurutma ünitesine giren buhar miktarı}$$

$$\dot{m}_3 = 90 \text{ ton/gün} = \text{Kurutma ünitesinden çıkan hamur miktarı}$$

$$\dot{m}_4 = 15 \text{ ton/gün} = \text{Kurutma ünitesinde hamurdan ayrılan su miktarı}$$

$$\dot{m}_5 = 180 \text{ ton/gün} = \text{Kurutma ünitesinden çıkan buhar miktarı}$$

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\phi$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5$$

$$(105 + 180) \text{ ton/gün} = (90 + 15 + 180) \text{ ton/gün}$$

$$285 \text{ ton/gün} = 285 \text{ ton/gün}$$

1. Kanun analizi :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi \theta_\phi - \sum \dot{m}_g \theta_g$$

$ke = 0$, $pe = 0$ (Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir.)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi h_\phi - \sum \dot{m}_g h_g$$

İzmit SEKA Kağıt ve Selüloz Fabrikası'ndan alınan verilere göre ;

$$c_1 = 1,72 \text{ kJ/kg.K} \quad , \quad T_1 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{g2} = 2752,4 \text{ kJ/kg} \quad , \quad s_{g2} = 6,7935 \text{ kJ/kg.K} \quad , \quad T_2 = 155^\circ\text{C} \text{ (Doymuş buhar)}$$

$$c_3 = 1,62 \text{ kJ/kg.K} \quad , \quad T_3 = 34 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{g4} = 2564,2 \text{ kJ/kg} \quad , \quad s_{g4} = 8,3725 \text{ kJ/kg.K} \quad , \quad T_4 = 34 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (Doymuş buhar)}$$

$$h_{g5} = 2713,5 \text{ kJ/kg} \quad , \quad s_{g5} = 7,0775 \text{ kJ/kg.K} \quad , \quad T_5 = 125 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (Doymuş buhar)}$$

$$\dot{W} = 550 \text{ kW} \text{ (Kurutma silindirlerinin toplam motor gücü)}$$

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_1 c_1 T_1 = (4375 \text{ kg/h})(1,72 \text{ kJ/kg.K})(295 \text{ K}) / 3600 = 616,63 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 h_{g2} = (7500 \text{ kg/h})(2752,4 \text{ kJ/kg}) / 3600 = 5734,16 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_3 c_3 T_3 = (3750 \text{ kg/h})(1,62 \text{ kJ/kg.K})(307 \text{ K}) / 3600 = 518,06 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_4 h_{g4} = (625 \text{ kg/h})(2564,2 \text{ kJ/kg}) / 3600 = 445,17 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_5 h_{g5} = (7500 \text{ kg/h})(2713,5 \text{ kJ/kg}) / 3600 = 5653,08 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_4 h_{g4} + \dot{m}_5 h_{g5}) - (\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_{g2})$$

$$\dot{Q} - (-550 \text{ kW}) = (518,06 + 445,17 + 5653,08) \text{ kW} - (616,63 + 5734,16) \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = -284,48 \text{ kW} \text{ (Çevreye transfer olan ısı miktarı)}$$

$$\eta_{II} = \frac{\sum \dot{m}_c h_c - \sum \dot{m}_g h_g}{\dot{Q} + (\sum \dot{m}_c h_c - \sum \dot{m}_g h_g)} = \frac{301,52 \text{ kW}}{(248,48 + 301,52) \text{ kW}} = 0,54$$

2. Kanun analizi :

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left[h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right] - \sum \dot{m}_c \left[h_c + \frac{v_c^2}{2} + gz_c - T_0 s_c \right]$$

$$KE = 0, PE = 0, T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (Çevre sıcaklığı)}$$

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) - \sum \dot{m}_c (h_c - T_0 s_c)$$

$$\left[\dot{m}_1 \left(c_1 T_1 - T_0 c_1 \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \right] = [4375 \text{ kg/h} [(1,72 \text{ kJ/kg.K} \cdot 295 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,72 \text{ kJ/kg.K} \ln 1,01)]]$$

$$= 610,53 \text{ kW}$$

$$\left[\dot{m}_2 (h_{g2} - T_0 s_{g2}) \right] = [7500 \text{ kg/h} (2752,4 \text{ kJ/kg} - 293 \text{ K} \cdot 6,7935 \text{ kJ/kg.K})]$$

$$= 1587,3 \text{ kW}$$

$$\sum \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) = (610,53 + 1587,3) \text{ kW} = 2197,83 \text{ kW}$$

$$\left[\dot{m}_3 \left(c_3 T_3 - T_0 c_3 \ln \frac{T_3}{T_0} \right) \right] = [3750 \text{ kg/h} [(1,62 \text{ kJ/kg.K} \cdot 307 \text{ K}) - (293 \text{ K} \cdot 1,62 \text{ kJ/kg.K} \cdot \ln 1,04)]]$$

$$= 498,67 \text{ kW}$$

$$\left[\dot{m}_4 (h_{g4} - T_0 s_{g4}) \right] = [625 \text{ kg/h} (2564,2 \text{ kJ/kg} - 293 \text{ K} \cdot 8,3725 \text{ kJ/kg.K})]$$

$$= 19,28 \text{ kW}$$

$$\left[\dot{m}_5 (h_{g5} - T_0 s_{g5}) \right] = [7500 \text{ kg/h} (2713,5 \text{ kJ/kg} - 293 \text{ K} \cdot 7,0775 \text{ kJ/kg.K})]$$

$$= 1332,9 \text{ kW}$$

$$\sum \dot{m}_c (h_c - T_0 s_c) = (498,67 + 19,28 + 1332,9) \text{ kW} = 1850,85 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_r = (2197,83 - 1850,85) \text{ kW} = 346,98 \text{ kW}$$

$$\dot{I} = \dot{W}_r - \dot{W}_y$$

$$\dot{I} = [346,98 - (-550)] \text{ kW} = 896,98 \text{ kW}$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_r}{\dot{W}_y} = \frac{346,98 \text{ kW}}{550 \text{ kW}} = 0,63$$

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Endüstriyel tesislerde, enerjinin en ekonomik bir şekilde kullanılması güncel bir konu olup, termodinamiğin 2. kanun analizi, günümüzde tesislerin termodinamik analizinin önemli bir adımını oluşturmaktadır. İkinci kanun analizi işlem esnasında enerjinin kalitesindeki veya iş yapabilme potansiyelindeki değişmeyi içerir. Bu yüzden ikinci kanun verimi termodinamik mükemmelliğin derecesini gösterir. Termik makinanın “tersinir” işleme ne kadar yakın olduğu (gerçek işlemdeki işin maksimum işe göre mukayesesi) ortaya çıkar.

Çizelge 8.1 Sistemin enerji ve ekserji analiz sonuçları

Bölüm	Enerji Kaybı (kW)	1. Kanun Verimi (%)	Ekserji Kaybı (kW)	2. Kanun Verimi (%)
Pulper	5574,67	35	5185,77	85,2
Sortir eleği	103,14	26	10,12	84,4
Kumtutucu	27,2	18	102,12	28
Rifayner	66,33	19	43,21	13,5
Hamur Kasası	92,67	26	69,34	15
Sonsuz Elek	107,35	20	84,92	6,1
Pres	78,83	7	73,95	7,5
Kurutma ünitesi	284,48	54	896,98	63

Tersinmezlikle, entropi artışı arasındaki bağıntı bize tersinmezliğe sebep olan faktörlerden dolayı entropi artışının, elde edilebilecek işteki azalma ile orantılı olduğunu göstermektedir. Kayıp enerjiyi azaltarak sistemin daha ekonomik çalışmasını sağlamak için tersinmezliği azaltmak gerekir. Ekserji analizi bize tersinmezliğin sistemin hangi kısmında ve ne miktarda değiştiğini gösterir. Böylece tersinmezliğin meydana geldiği yer doğru şekilde tespit edilip

geliştirilecek yeni tasarımlarla sistemin daha ekonomik çalışması sağlanabilir.

Analiz sonuçlarına göre sistemdeki temel enerji kaybının pres ünitesinde olduğu anlaşılmıştır. Pres ünitesi atmosfere açık olduğundan çevreye yoğun miktarda ısı transferi gerçekleşmektedir. Ekserji kaybı sonsuz elek ve pres ünitesinde yüksek değerlerdedir. Bunun sebebi bu kısımların atmosfere açık olması sebebiyle oluşan ısı geçişlerinin etkisiyle dış tersinmezliklerinin yüksek oluşudur.

Sistemdeki enerji kaybını azaltmak için pres ünitesi, hamur giriş ve çıkış bölümleri açık bırakılarak izole edilebilir. Böylece çevreye olan ısı geçişi azaltılmış olur. Bu işlem, yüksek oranda enerji tasarrufu sağladığından yatırım masrafı yönünden ekonomiktir.

Sistemdeki ekserji kayıplarını azaltmak için sonsuz elek ve pres ünitesindeki temas yüzeyleri artırılabilir. Sonsuz elektteki elek boyu ve preslerdeki silindir gruplarının sayısı artırılarak kağıt hamurunun temas yüzeyi artırılmış olur. Böylece ekserji kayıpları azaltılır. Sonsuz elek boyunun uzatılması yatırım masrafı yönünden ekonomik bir işlemdir fakat pres silindirlerinin artırılması yüksek yatırım masrafı isteyen bir işlemdir.

KAYNAKLAR

- Avcı, N., (1994), "Kağıt ve Karton Yapım Teknolojisi", SEKA Yayınları, İzmit.
- Axelsson, H., (2000), "Paper Versus Plastic. Recycling for Only Economic Reasons", SCA Costumer Mag. No.2, pp 4-6 (C, P, S), Sweden.
- Berglund, C. ve Söderholm, P., (2003), "Complementing Empirical Evidence on Global Recycling and Trade of Waste Paper", Lulea University of Technology, Lulea, Sweden.
- Bormett, D.W., Sutherland, N.R., Fatah, A. ve Kunar, R., (1998), "Recycling of Three Hologramic Stamp Stocks", Proceedings of the TAPPI Pulping Conference, Atlanta, U.S.A.
- Çengel, Y.A. ve Boles, M.A., (1994), "Thermodynamics: An Engineering Approach", McGraw-Hill, Inc.
- De Ceuster, J., (1992), "Paper Technology and Industry".
- Ekwall, T., (1999), "Key Methodological Issues for Life Cycle Inventory Analysis of Paper Recycling", Technical Environmental Planning, Calmers Univercity of Technology, SE-412 96, Goteborg, Sweden.
- Huhtala, A. ve Samakovlis, E., (1999), "Does International Harmonization of Environmental Policy Instruments Make Economic Sense?", National Institute of Economic Research, 16 October 1999, Stockholm, Sweden.
- Kenney, W.F., (1989), " Current Practical Applications of the Second Law of Thermodynamics, Chem. Eng. Progress, 85, 57-70.
- Kıncay, O., (2003) "Ekserji Ders Notları"
- Kibat, K.D., (2000), "Challenges and Changes of Recycled Fibre Use in the Next Decade", 9th PTS-CTP Deinking Symposium, 9-11 May 2000, Munich, Germany
- Krauthauf, E., (2000), "Recovered Paper Qualities and How to Improve Their Recyclability", 9th PTS-CTP Deinking Symposium, 9-11 May 2000, Munich, Germany
- Lönnstedt, L. ve Byström, S., (1997), "Paper Recycling: Environmental and Economic Impact", the Department of Forest-Industry-Market Studies, the Swedish University of Agriculture Sciences, 28 May 1997, Unsea, Sweden.
- Lundmark, R., (2001), "Choice of Location for Investments in the European Paper Industry: the Impact of Waste Paper", Lulea University of Technology, Division of Economics SE-971 87, 19 January 2001, Lulea, Sweden.
- Park, J. ve Park, K., (2000), "Improvement of the Physical Properties of Reprocessed Paper by Using Biological Treatment with Modified Cellulase", Department of Chemical Engineering, Yonsei University, 4 December 2000, Seoul, South Korea.
- Pelach, M.A., Pastor, F.J., Puig, J., Vilaseca, F. ve Mutje, P., (2002), "Enzymic Deinking of Old Newspapers with Cellulase", Laboratory D'Enginyeria Paperera i Materials Polimers, Departament de Microbiologia, Universitat de Barcelona, 2 August 2002, Barcelona, Spain.
- Scott, G.M., Abubakr, S. ve Klungness, J.H., (1999), "Fiber Fractionation as a Method of Improving Handsheet Properties After Repeated Recycling", Forest Products Laboratory, University of Wisconsin, U.S.A.
- SEKA Teknik Bülten, Sayı: 52, 2002.
- Tucker, P., Grayson, J. ve Speirs, D., (2000), "Integrated Effects of a Reduction in Collection Frequency for a Kerbside Newspaper Recycling Scheme", Environmental Initiatives Research Group, University of Paisley, 4 February 2000, Paisley, Scotland.

Wright, S., (2000), "Quality and Performance", Print Pap. Eur. Vol. 12, No.3, pp26, 28 (K, P, S) (ISSN 0955-7806)

Young, S.J., (1991), "Mürekkep Giderme Yöntemleri", SEKA Yayınları, İzmit.

Young, S.J., (1992), "Selüloz ve Kağıt Endüstrisi", SEKA Yayınları, İzmit.

Zauscher, S., Scott, C.T., Willett, J.L. ve Klingenberg, D.J., (1998), "Pulp Extrusion for Recycling Waste Papers and Paper Mill Sludges", the Wisconsin Recycling Market Development Board, the USDA Forest Products Laboratory, University of Wisconsin, 8 July 1998, U.S.A.

INTERNET KAYNAKLARI

[1] www.sciencedirect.com



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 29.06.1979

Doğum yeri Bartın

Lise 1993-1997 Kabataş Erkek Lisesi, İstanbul

Lisans 1997-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002-Devam ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı kurumlar

2002-2003 Hona İnşaat A.Ş.

