

**TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KULLANILAN
RAMÖZ MAKİNELERİNDE ISI GERİ KAZANIMI
İLE ENERJİ TASARRUFU**

Buket ÇINAR GELİR

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Havva CEYLAN

2017

T.C.

NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KULLANILAN RAMÖZ MAKİNELERİNDE
ISI GERİ KAZANIMI İLE ENERJİ TASARRUFU**

Buket ÇINAR GELİR

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. HAVVA CEYLAN

TEKİRDAĞ-2017

Her hakkı saklıdır

Bu tezde yer alan katlı ramöz makinesinde uygulanacak ısı geri kazanım sistemi eşanjör tasarımı bölümü TÜBİTAK TEYDEB tarafından 3150652 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Havva CEYLAN danışmanlığında, Buket ÇINAR GELİR tarafından hazırlanan “Tekstil Sektöründe Kullanılan Ramöz Makinelerinde Isı Geri Kazanımı İle Enerji Tasarrufu” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Yrd. Doç. Dr. Berrin KARAÇAVUŞ

İmza:

Üye: Yrd. Doç. Dr. Soner ÇELEN

İmza:

Üye: Yrd. Doç. Dr. Havva CEYLAN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KULLANILAN RAMÖZ MAKİNELERİNDE ISI GERİ KAZANIMI İLE ENERJİ TASARRUFU

Buket ÇINAR GELİR

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Havva CEYLAN

Bu çalışmada enerji tüketiminin yoğun olduğu tekstil sanayinde, enerjinin en çok kullanıldığı bölümlerden biri olan terbiye dairesinde yer alan ramöz makinesinde ısı geri kazanım sisteminin yakıt tüketimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kurutma ve fikse amaçlı kullanılan ve konveksiyon kurutma metoduyla çalışan ramöz makinesi için ısı geri kazanım öncesi ve sonrası termodinamik analiz uygulanarak yakıt tüketimi ve havanın kurutma sonrası özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen değerler neticesinde gövde borulu ısı eşanjörünün kullanıldığı ısı geri kazanım sistemi ile ramöz makinesinin doğalgaz tüketiminde tasarruf elde edildiği gösterilmiştir. 12,84 ay gibi kısa bir sürede geri dönüşüm sağlanan ısı geri kazanım uygulaması sonucunda yakıt tüketimi $52,07 \text{ m}^3/\text{h}$ değerinden $40,81 \text{ m}^3/\text{h}$ değerine değerine inerek %21,6'lık bir tasarruf elde edildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ramöz, Kurutma, Isı geri kazanım, Termodinamik analiz

2017, 83 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

**ENERGY RECYCLE WITH HEAT RECOVERY SYSTEM FROM STENTER USED IN
TEXTILE COMPANIES**

Buket ÇINAR GELİR

Namık Kemal Universty

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Havva CEYLAN

In this study, the effect of the heat recovery system on the stenter which is one of the most used parts of energy industry in textile industry was investigated. The fuel consumption and post-drying properties of the air were examined with thermodynamic analysis was carried out before and after the heat recovery for the stenter used for drying and fixing purposes and operated by the convection drying method. As a result of the study, It has been shown that the fuel consumption savings with shell and tube heat exchanger on the stenter. As a result of the heat recovery application which is recycled in 12.84 months, the fuel consumption has decreased from $52.07 \text{ m}^3/h$ to $40.81 \text{ m}^3/h$ and %21,6 savings were achieved.

Keywords: Stenter, Drying, Heat recovery, Thermodynamic analysis

2017, 83 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ÖNSÖZ	xi
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI	3
3. SANAYİDE ENERJİ KULLANIMI	9
3.1 Dünya ve Türkiye’de Enerjinin Genel Görünümü	9
3.2 Enerji Yoğunluğu	13
3.3 Yünsa İşletmesi Enerji Yoğunluğu.....	14
4.TEKSTİL İŞLETMELERİNDE ENERJİ KULLANIMI	16
4.1 Dünya’da ve Türkiye’de Tekstil Sektörüne Genel Bakış.....	16
4.2 Tekstil Sektöründe Enerji Kullanımı.....	17
4.3 Yünsa İşletmesinde Enerji Kullanımı.....	19
5. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KURUTMA	24
5.1 Kurutma.....	24
5.2 Uygulanan Kurutma Yöntemleri	25
5.2.1 Ön Kurutma	25
5.2.2. Esas kurutma	27
5.3 Ramöz Makinesinde Kurutma	27
5.4 Ramöz Makinesinde Sıcak Havanın Eldesi.....	33
5.5 Isı Geri Kazanım Sistemi.....	35
6. MATERYAL VE YÖNTEM	38
6.1 Yünsa İşletmesi Ramöz Makinesi	38
6.2 Yanma Analizi.....	40
6.2.1. Adyabatik alev sıcaklığının bulunması.....	41
6.2.2. Kimyasal denge sabiti ile reaksiyon denkleminin elde edilmesi.....	42
6.3 Adyabatik Karışım Odası Analizi.....	44
6.3.1 Adyabatik karışım odası toplam kütle dengesi.....	45

6.3.2 Adyabatik karışım odası enerji dengesi.....	45
6.4 Kurutma Analizi	47
6.4.1 Kumaş Sıcaklık ve Nem Değerleri	47
6.4.2 Kurutma İşlemi Kütle- Enerji Dengesi.....	49
6.5 Yakıt Miktarının Hesaplanması.....	51
6.6 Ramöz Makinesinin Hava Debisi	51
6.7. Isı Geri Kazanımlı Ramöz Makinesinin Yakıt Tüketimi	60
6.7.1. Isı geri kazanım eşanjör dizaynı	60
7.BULGULAR ve TARTIŞMA	75
8.SONUÇ ve ÖNERİLER	79
9.KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Bölge ve ülkelerin enerji yoğunluğu değerleri.....	13
Çizelge 3.2 : Yünsa İşletmesi 2010-2015 yılları arası TEP dağılımı	14
Çizelge 4.1 : Tekstil sektöründeki genel giderler	17
Çizelge 4.2 : Tekstil sektöründe bölümlere göre özgül enerji tüketimi.....	18
Çizelge 4.3 :Yünsa işletmesinde tüketilen enerjinin sayısal değerleri	19
Çizelge 4.4 : Apre dairesindeki üretim ve tüketim değerleri.....	21
Çizelge 4.5 : 2015 Yünsa işletmesi enerji raporu.....	23
Çizelge 6.1 : \bar{h}_f^o ve \bar{h} değerleri.....	42
Çizelge 6.2 : Ürünler tarafındaki tersinir reaksiyonun değişim tablosu	43
Çizelge 6.3 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 m_h=0,46 m^3/s$)	52
Çizelge 6.4 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 m_h=0,46 m^3/s$)	52
Çizelge 6.5 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 m_h=0,46 m^3/s$)	53
Çizelge 6.6 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8 m_h=0,46 m^3/s$)	53
Çizelge 6.7 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 m_h=0,578 m^3/s$)	54
Çizelge 6.8 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 m_h=0,578 m^3/s$)	54
Çizelge 6.9 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 m_h=0,578 m^3/s$)	55
Çizelge 6.10 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8 m_h=0,578 m^3/s$)	55
Çizelge 6.11 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 m_h=0,77 m^3/s$)	56
Çizelge 6.12 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 m_h=0,77 m^3/s$)	56
Çizelge 6.13 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 m_h=0,77 m^3/s$)	57
Çizelge 6.14 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8 m_h=0,77 m^3/s$)	57
Çizelge 6.15 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 m_h=1,157 m^3/s$)	58
Çizelge 6.16 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 m_h=1,157 m^3/s$)	58
Çizelge 6.17 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 m_h=1,157 m^3/s$)	59
Çizelge 6.18 : Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8 m_h=1,157 m^3/s$).....	59
Çizelge 6.19 : Isı geri kazanım eşanjörü dizayn değerleri.....	61
Çizelge 6.20 : Enerji ve basınç kaybı analizi sonuçları.....	64
Çizelge 6.21 : Yakıt tasarrufu ve fan gücü.....	65
Çizelge 6.22 : Ekonomik analiz için sabit değerler.....	65
Çizelge 6.23 : Geri dönüş süresi.....	66
Çizelge 6.24 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 m_h=0,46 m^3/s$).....	67
Çizelge 6.25 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 m_h=0,46 m^3/s$).....	67
Çizelge 6.26 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 m_h=0,46 m^3/s$).....	68
Çizelge 6.27 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8 m_h=0,46 m^3/s$).....	68
Çizelge 6.28 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 m_h=0,578 m^3/s$).....	69
Çizelge 6.29 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 m_h=0,578 m^3/s$).....	69
Çizelge 6.30 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 m_h=0,578 m^3/s$).....	70
Çizelge 6.31 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8 m_h=0,578 m^3/s$).....	70

Çizelge 6.32 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 m_h=0,77 m^3/s$).....	71
Çizelge 6.33 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 m_h=0,77 m^3/s$)	71
Çizelge 6.34 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 m_h=0,77 m^3/s$)	72
Çizelge 6.35 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8 m_h=0,77 m^3/s$)	72
Çizelge 6.36 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 m_h=1,157 m^3/s$)	73
Çizelge 6.37 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 m_h=1,157 m^3/s$)	73
Çizelge 6.38 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 m_h=1,157 m^3/s$)	74
Çizelge 6.39 : IGK sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı $P=0,8 m_h=1,157 m^3/s$).....	74

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tekstil sektöründe üretim bölümlerine düşen birim proses ısı ihtiyacı örneği.....	2
Şekil 3.1 : Milyon ton petrol eşdeğerinin 2030 yılına kadar değişimi	10
Şekil 3.2 : Türkiye'nin enerji arz ve talebinin yıllara göre değişimi	11
Şekil 3.3 : Sanayide enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı.....	12
Şekil 3.4 : Sanayide Tüketilen Nihai Enerjinin Sektörel Dağılımı.....	12
Şekil 3.5 : Yünsa işletmesi enerji yoğunluğu(TEP/1000\$ Ciro)	14
Şekil 3.6 : Yünsa işletmesi enerji yoğunluğu(TEP/100000 metre).....	15
Şekil 4.1 : Buhar enerjisinin genel dağılımı-kayıp noktaları ve miktarları	18
Şekil 4.2 : Yünsa İşletmesinde Tüketilen Enerjinin Dağılımı	19
Şekil 4.3 : Yünsa işletmesinin departman bazlı enerji sarfiyatları	20
Şekil 4.4 : Yünsa işletmesi spesifik elektrik tüketimi (kWh/metre).....	20
Şekil 4.5 : Yünsa işletmesi spesifik doğalgaz tüketimi (kWh/metre)	21
Şekil 4.6 : Apre dairesinde elektrik tüketim/üretim değerlerinin aylara göre değişimi	22
Şekil 4.7 : Apre dairesinde doğalgaz tüketim/üretim değerlerinin aylara göre değişimi	22
Şekil 5.1 : Tekstil ürünüde kurutma grafiği.....	25
Şekil 5.2 : Ramöz makinelerinin genel görünümü	28
Şekil 5.3 : Kumaş yüzeyinden kurutma gazına su buharı transferi	30
Şekil 5.4 : Yünsa işletmesindeki katlı ramöz makinesinin görünümü	31
Şekil 5.5 : Yünsa işletmesindeki katlı ramöz makinesinin kesit görünümü	32
Şekil 5.6 : Yünsa işletmesindeki katlı ramöz makinesinin iç kısmı	32
Şekil 5.7 : Ramöz makinesinde karışım odası.....	33
Şekil 5.8 : Sisteme verilen enerji ile kütle miktarı arasındaki denklik	36
Şekil 5.9 : Isıl işlem sonucunda atmosfere atılan atık ısı.....	36
Şekil 5.10 : Atık ısıdan geri kazanım	37
Şekil 6.1 : Ramöz makinesi genel görünümü	38
Şekil 6.2 : Düzelerin görünümü.....	39
Şekil 6.3 : Brülör ve fanın düze üzerine yerleşimi	39
Şekil 6.4 : Yakıt analizi ve hava yakıt oranı	40
Şekil 6.5 : Kurutma kabinleri akış özellikleri.....	44
Şekil 6.6 : Fikse kabinleri akış özellikleri	45
Şekil 6.7 : Kumaş geçiş bölümleri.....	48
Şekil 6.8 : Kumaş nem ve hız oranları	48
Şekil 6.9 : Kumaş sıcaklıkları.....	49
Şekil 6.10 : Kurutma işlemi akış özellikleri	49
Şekil 6.11 : Eşanjör boyutları	60
Şekil 7.1 : Isı geri kazanım öncesi çıkış nemi ve hava debisi arasındaki ilişki	75
Şekil 7.2 : Isı geri kazanım öncesi yakıt tüketimi ve hava debisi arasındaki ilişki	76
Şekil 7.3 : Isı geri kazanım sonrası çıkış nemi ve hava debisi arasındaki ilişki	77
Şekil 7.4 : Isı geri kazanım sonrası yakıt tüketimi ve hava debisi arasındaki ilişki	77
Şekil 7.5 : Dört farklı hava debisinde yakıt tüketiminin karşılaştırılması.....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
DGHS	: Direkt Doğalgaz Isıtmalı
DTÖ	: Dünya Ticaret Örgütü
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
IGK	: Isı Geri Kazanım
MMO	: Makine Mühendisleri Odası
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NAFTA	: Kuzey Amerika Serbest Ticaret Anlaşması
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
PETFORM	: Petrol Platform Derneği
SEC	: Özel Enerji Tüketimi
SPECO	: Özgül Enerji Maliyeti
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
YTD	: Enerji Tüketimindeki Bir Senelik Değişim
C	: Karbon
CH_4	: Metan
C_2H_6	: Etan
C_3H_8	: Propan
C_4H_{10}	: Bütan
CO	: Karbon monoksit
CO_2	: Karbondioksit
c_p	: Sabit basınçta özgül ısı ($Jg^{-1}K^{-1}$)
H_2	: Hidrojen
H_2O	: Su
\bar{h}^0_f	: Molar oluşum entalpisi (kJ/kmol)
\bar{h}	: T sıcaklığındaki ideal gazın molar entalpisi (kJ/kmol)

\bar{h}^0	: 298 K'deki ideal gazın molar entalpisi (kJ/kmol)
h	: Entalpi (kJ/kg)
h_f	: Doymuş sıvı suyun entalpisi (kJ/kg)
h_s	: Doymuş suyun entalpisi (kJ/kg)
h_g	: Doymuş su buharının entalpisi (kJ/kg)
H	: Toplam entalpi (kJ)
K_p	: Kimyasal denge sabiti
m	: Kütle (kg)
\dot{m}	: Kütleli debi (kg/s)
M	: Molekül kütlesi (kg/kmol)
N_2	: Azot
n	: Mol sayısı
O_2	: Oksijen
P_g	: Doyma basıncı (kPa)
P_v	: Su buharının kısmi basınç (kPa)
P	: Toplam basınç (kPa)
\bar{R}	: İdeal Gaz Sabiti (kJ/kgK)
SO_2	: Kükürtdioksit
S	: Kükürt
T	: Sıcaklık (°C)
$T_{\bar{c}}$: Kabin ortalama çıkış sıcaklığı (°C)
\dot{V}	: Hacimsel debi (m^3/h)
y	: Mol yüzdesi
\dot{Q}	: Birim zamanda ısı geçişi (kJ/s)
φ	: Bağıl nem (%)
\dot{W}	: Güç (kW)
w	: Mutlak nem (kg_{H_2O}/kg_h)
x	: Kumaş nemi ($kg_{H_2O}/kg_{kumaş}$)

Alt indisler

B	: Bir kumaş geçişi için buharlaşma
BT	: Bir kabin için toplam buharlaşma
DG	: Duman gazı
G	: Kurutmaya giriş havası
g	: Doymuş hal su buharı hali
k	: Kumaş
k	: Kumaş ıkış
KDG	: Kuru duman gazı
kg	: Kumaş giriş
sir	: Sirkülasyon
T	: Toplam
th	: Temiz hava
v	: Su buharı
y	: Yakıt

ÖNSÖZ

Yaptığım çalışmada, değerli yorum ve önerileri ile katkıda bulunan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Havva CEYLAN'a, destekleri ile çalışmama katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER'e, teşekkür ederim.

Tez çalışmasında incelediğim makinede gerekli bilgileri elde etmemi sağlayan YÜNSA Yünlü Sanayi ve Tic. AŞ.'ye ve YÜNSA bünyesinde yer alan AR-GE Merkezi'ne katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Maddi ve manevi her konuda beni destekleyen sevgili aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2017

Buket ÇINAR GELİR
(Makine Mühendisi)

1.GİRİŞ

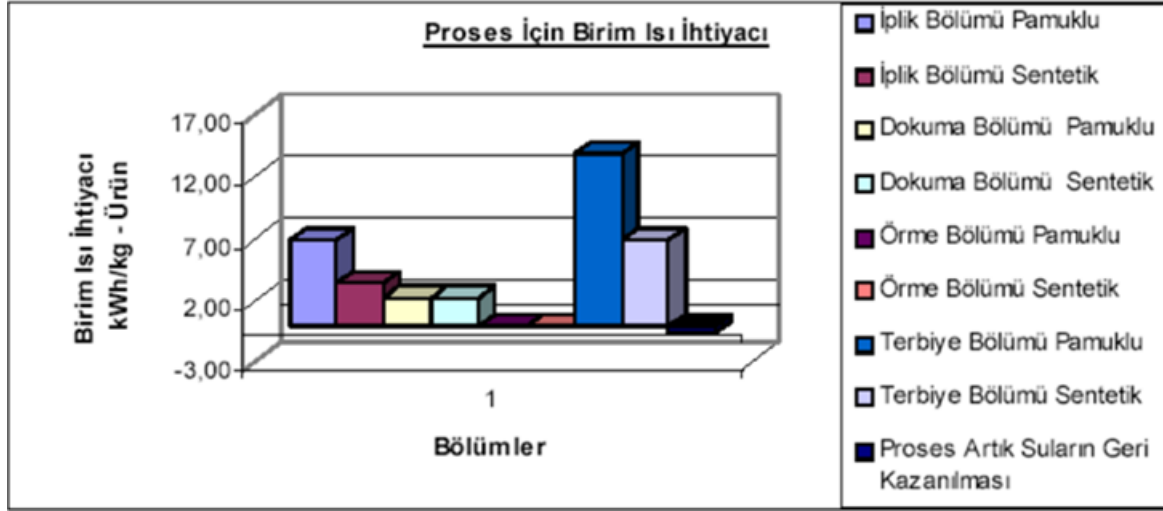
Dünyada ve ülkemizde enerji kaynaklarının sınırlı olması ve enerji fiyatlarındaki artış, her geçen gün enerji tasarrufunun önemini arttırmaktadır. İşletmelerin düşük maliyette daha az enerji tüketerek üretim yapmaları, günümüz ekonomik koşullarında önemli bir yere sahiptir.

Enerji konusunda üretimin tüketimi karşılama oranı 1970 yılında %76 iken, bu oranı 1998 yılında %39'a düşmüştür. Gelecek yıllarda ise bu oranın daha da azalacağı ve 2020 yılında %25 civarına düşeceği öngörülmektedir. Ancak üretimin tüketimi karşılama oranının gerilemesi kalkınma için bir kısıt olarak kabul edilmemelidir. Örneğin Japonya %80 ithal enerji ile ekonomi ve sanayisini geliştirmeyi başarmıştır. Enerji tüketiminde en önemli nokta enerji tüketiminin planlanmasıdır. (E.İ.E,2002).

Ülkemizde ve dünya ülkelerinde kalkınmanın ve nüfus artışının en temel girdisi olan enerjiye ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Buna rağmen ülkemizde enerji kaynaklarının rezervleri oldukça yetersizdir. En fazla ihtiyaç duyduğumuz petrol ve doğalgaz rezervleri son derece kısıtlı, kömür rezervleri ise miktar olarak fazla olmakla birlikte coğrafi olarak dağınık, düşük kaliteli, yüksek üretim maliyetli ve çevre sorunludur. Hidrolik kaynaklarımız ise uzun vadede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenlerle Türkiye enerji konusunda dışa bağımlı bir ülke durumundadır. Dışa bağımlı bir ülke olması ile tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji kaynakları daha fazla önem kazanmış ve enerji tasarrufu zorunlu hale gelmiştir. Enerji tasarrufu, enerjinin gereksiz kullanım sahalarını belirlemek ve bu israfı minimum düzeye indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için alınan önlemleri içerir. Bu şekilde, üretici aynı miktardaki mal ve hizmeti daha az enerji veya aynı miktar enerji ile daha çok mal ve hizmet üretebilir. Bu nedenle öncelikle ne tüketildiğinin bilinmesi gerekir.

Türkiye'de Tekstil Sanayi, tüm sanayi dalları arasında hem üretim hem de ihracat bakımından en ön sırada yer almakta ve ekonomi içinde en ağırlıklı payı oluşturmaktadır. Sektördeki enerjinin toplam maliyet içerisinde payı %6-14 arasında, sanayi toplam tüketimi içerisindeki payı ise %7,2'dir. Tekstil sektörü, diğer sektörler ile karşılaştırıldığında büyük miktarlarda su ve enerji kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde enerji kaynakları azalırken kullanılan enerji maliyetleri sürekli artmaktadır. Bu sebeple enerji tüketimini mümkün oldukça azaltmak önemlidir. Tekstil prosesleri iplik, dokuma, örme, boyama, kurutma ve terbiye gibi birçok üretim sürecinden meydana gelmektedir. Şekil 1.1'de

görüldüğü gibi tekstil prosesleri içinde enerjinin en fazla kullanıldığı proses kurutma işlemidir. Kurutma ve fikse prosesi tekstil terbiye işlemlerinde kullanılan enerjinin yaklaşık yarısını tüketmektedir. Kurutma süresince tüketilen bu enerji kumaştaki suyun buharlaştırılması ve kurutma havasının ısıtılması için kullanılmaktadır.



Şekil 1.1 Bir tekstil sektörüne ait üretim bölümlerine düşen birim proses ısı ihtiyacı örneği (www.mmm.org.tr)

Ramözler, tekstil terbiye işletmelerindeki ana ısı tüketicileridirler. Ramöz, tekstil terbiye işletmelerinde, gerek konveksiyon kurutma gerekse diğer kurutma yöntemlerine göre çalışan makineler arasında en önemli ve en çok kullanılan kurutma makinasıdır. Ramöz içerisine verilen toplam ısının bir kısmı kumaş tarafından taşınan ve etrafa verilen ısıdır. Bu ısı yaklaşık % 15 civarındadır. Isının geri kalan kısmı ise, kumaştaki suyu buharlaştırmak için harcanan ısı ve kurutma havasını ısıtmak için harcanan ısıdır. Bu ısıların toplamı % 85 civarındadır. Ramöz bacasından atmosfere salınan bu ısı enerjisi geri kazanım amaçlı kullanılabilir.

Bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada mevcut katlı ramöz makinesinin termodinamik analizi yapılarak farklı hava debileri ve farklı dönüş oranlarında yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. İkinci aşamada baca gazı atık ısısından faydalanılarak ısı geri kazanım eşanjörü tasarımı oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada ısı geri kazanım eşanjörü kullanılması durumunda farklı hava debileri ve farklı dönüş oranlarında yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile ısı geri kazanım sisteminin ramöz makineleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

2.LİTERATÜR TARAMASI

Lollar (1993) , enerjinin sınırlı olması, rasyonel enerji kullanma konusuna büyük bir dikkatle eğilmemizi zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada toplam birincil enerji harcaması içinde mahal ısıtması, sıcak su üretimi, havalandırma ve klimatizasyona düşen payının, ısı geri kazanım ve atık ısı ile azaltılmasının mümkün olacağı üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Freiberg, (1998), yaptığı çalışmada atık baca gazını temizleme sistemlerini ekonomik açıdan ele alarak incelemelerde bulunmuştur. Özellikle soğutma ve filtreleme sistemlerinde ısı geri kazanım sistemini tekstil terbiye işlemlerinde açığa çıkan atık hava üzerinde düşük enerji maliyetleri açısından değerlendirerek kirli havayı temizleme sistemi üzerine araştırmalar yapmıştır.

Oğulata, Doba Kadem, Koç (1999), bu çalışmada, ülkemiz sanayisinde önemli bir yere sahip olması nedeniyle tekstil endüstrisinde, esas kurutma işleminin nasıl gerçekleştiği ve genel olarak kullanılan kurutma yöntem ve makinaları üzerinde durulması uygun görülmüştür. Özellikle tekstilde yaygın kullanılan kurutma makinalarından gergili kurutma makinaları, taşıma bantlı kurutucular ve yüksek frekanslı kurutucuların tanıtılmasının, konuya ilgili duyanlar açısından faydalı olacağı düşünülmüştür.

Bansal, Braun ve Groll (2001), bu çalışmada, güç girişi kullanan ev tipi kurutucuların dört farklı tasarımının kuruma prosesleri anlatılmıştır. Enerji analizi ile kurutucuların avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir. Enerji üzerinde farklı değişkenlerin etkilerini değerlendirmek için parametrik bir çalışma yapılmıştır. Isı geri kazanım eşanjörleri kullanılarak verimlilik ve spesifik nem çekme oran özelliklerinin önemli ölçüde iyileştirilebileceği gösterilmiştir.

Hussain ve Dinçer (2003), tarafından yapılmış olan bir çalışmada, sonlu farklar yaklaşımı ile silindirik bir cismin kurutulması sırasındaki ısı transferine ve nem oranındaki azalmaya ait iki boyutlu sayısal bir analiz yapılmıştır. Farklı zaman periyotları için nemli cisim içerisinde sıcaklık ve nem dağılımları elde edilmiştir.

Dinçer ve Şahin (2003), Bu çalışmada, kurutma işleminin ekserji açısından termodinamik analizi için yeni bir model sunulmuştur. Ekserji verimlilikleri, ısı ve kütle transfer parametrelerinin fonksiyonları olarak türetilmiştir. Modelin doğruluğu; farklı kurutma hava sıcaklıklarında kurutma işlemlerine, kurutma havasının spesifik egzoz özelliklerine, ürünlerin giriş ve çıkış ekserji farklılıklarına, ürün ağırlığına, kurutma havası nem oranlarına bakılarak gösterilmiştir. Bu çalışma sadece ekserji analizinin kurutma prosesi üzerindeki

faydası göstermemiş, aynı zamanda kurutma prosesi performansı ve verimliliği konusuna değinmiştir. Geliştirilen model ile kurutma sistemlerini optimize etmek isteyen çalışmalara uygun konfigürasyonlar tanımlanmıştır.

Karaaslan (2006), tekstil terbiyesinde kullanılan ramözlerin (gergefli kurutucular) bacalarından atılan atık havada işe dönüştürülemeyen fazla miktarda atık hava bulunmaktadır. Bu atık enerjinin bir ısı geri kazanım sistemi kullanılmadan atılması işletmeler için büyük bir kayıptır. Bu çalışma tarafından tasarlanan ve hava –su teması esasına göre çalışan laboratuvar tipi bir yıkama kulesi monte edilerek ramöz atık havasıyla işletme suyunun ne kadar ısıtılacağı araştırılmıştır. Yıkama kulesinin özelliklerinin, kullanılan su debisinin, su sıcaklığının ve atık havadaki nem miktarının geri kazanılan enerji miktarına etkisi incelenmiştir.

Tarakçıoğlu ve ark. (2007), bu çalışmada tekstil sektöründe kurutma amacıyla yaygın bir şekilde kullanılan ramöz makinelerinin atılan atık havadan ısı geri kazanımı için deneysel araştırmalar yapılmıştır. Laboratuvar ölçekli ters akış sistemi ile ısı geri kazanım sisteminin verimliliğini etkileyen başlıca faktörler ekserji analizi yapılarak değerlendirilmiştir.

Çınar (2008), artan enerji maliyetleri nedeniyle tekstil sektörü de dahil olmak üzere bütün sanayi kollarında enerji tasarrufu konusu en çok üzerinde durulan konulardan biri olmuştur. Bu çalışmada tekstil sektöründe faaliyet gösteren ve yoğun enerji tüketimi olan altı adet tekstil fabrikası seçilmiştir. Bu fabrikalardan enerji tüketimi ve üretimi ile ilgili veriler toplanarak enerji etütleri yapılmıştır. Spesifik enerji tüketimleri hesaplanarak tesislerin gelecek enerji ihtiyaçları ortaya konulmuştur. Fabrikalarda bulunan kazanlarda ve yakıt kullanılan diğer makinalarda baca gazı analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde araştırma yapılan tekstil fabrikalarında enerjinin verimli kullanılması, enerji tasarrufu için yapılması gerekli olan çalışmaların neler olduğu ve enerji yönetim programı uygulanmasının gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Karagüzel (2009), yapmış olduğu çalışmada, akışkan yataklı deney seti kullanmış, akışkan yatak giriş ve çıkış koşullarını bilgisayar kontrollü veri toplama sistemiyle elde etmiştir. Çalışma kapsamında fasulye ve nohut gibi tarım ürünlerinin akışkan yatakta kurutulmasının ekserji ve enerji analizi üzerine çalışılmıştır. Kurutma prosesi her iki ürün içinde üç farklı hava sıcaklıklarında ve iki farklı hava hızlarında gerçekleştirilmiştir. Termodinamiğin ikinci kanunu uygulanarak kurutma prosesi boyunca ekserji kayıplarının

büyükliğünün ve tipinin belirlenmesi ekserji analizi ile sağlanmıştır. Elde edilen verilerden ekserji veriminin hangi parametrelerden etkilendiği tespit edilmiştir.

Çay (2009), bu çalışmada performans değerlendirmesi, kıyaslama ve iyileştirme amaçları bakımından, sistemin bütünü ile sistem alt bileşenlerinin değerlendirilmesi için tekstil terbiye işletmelerinde en çok enerji tüketen işlemler olan çektirme yöntemine göre aplikasyon ve kurutma işlemlerinin geniş kapsamlı enerji, ekserji ve eksergo ekonomik analizlerini yapmıştır. Çektirme yöntemine göre aplikasyon işlemlerinin analizinde işlem parametrelerinin özgül ekserji tüketimi ve tahribine olan etkileri incelemiştir.

Palamutçu (2010), bu çalışmada elektrik enerjisi, pamuklu tekstil işleminde tüketilen birincil enerji kaynaklarından biridir. Toplam enerjiye maliyet oranı, Türkiye'de üretilen sıradan bir tekstil ürününün toplam üretim maliyetinde yaklaşık% 8,10'dur. Bu enerji maliyetinin önemli bir kısmı elektrik enerjisidir. Bu çalışmada pamuklu tekstil işletme aşamalarının birimlere ait elektrik enerjisi tüketimini araştırılmıştır. Gerçek zamanlı ölçüm yöntemleri kullanılarak elektrik enerjisi için gerçek ve tahmini Özel Enerji Tüketimi (SEC) değerleri iplik eğirme, çözü, dokuma, terbiye aşamaları için hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda birim tekstil ürünü başına düşen gerçek elektrik enerjisi tüketim miktarının, ilgili tekstil işlem aşamalarının birim tekstil ürünleri başına düşen tahmini elektrik enerjisi tüketim miktarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Uçak (2010), bu çalışmanın amacı ramöz makinelerinde enerjiyi minimize etmektir. Kurutma, apre ve fikse işlemlerinde konveksiyon kurutma metoduyla çalışan ramöz makinasında bu işlemleri yapmak için kullanılan hava debisini, minimum seviyeye düşürerek farklı kumaşlarla deneyler yapılmıştır.

Hasanbeigi ve Price (2011), Bu çalışmada, tekstil sektörü için enerji verimliliği teknolojileri ve uygulamaları hakkında araştırma yapılmıştır. Dünya genelindeki tekstil fabrikalarının risk analizleri ve mevcut olduğunda enerji tasarrufu ve maliyet bilgileri üzerine çalışılmıştır. Çalışmada, tekstil sektörü için geçerli olan toplam 184 adet enerji verimliliği tedbiri tanıtılmıştır. Aynı zamanda dünya tekstil sektörüne bir bakış sunmaktadır. Farklı tekstil işletmelerinde kullanılan enerji kaynakları ve tüketimleri incelenerek bazı tekstil alt sektörleri için enerji verimliliği iyileştirme fırsatları sunulmuştur. Çalışma ile birlikte tekstil sektöründe enerji verimliliği konusunda önlem alınmasının düşük maliyetler ve geri ödeme süreleri ile mümkün olduğunu göstermiştir.

Kandilli ve Koçlu (2011), Türkiye’de tekstil sektörü ekonomik açıdan önemli bir rol oynamaktadır. Sıcak atık sıvı ve gazların büyük bir kısmı doğrudan dışarı atılmaktadır. Tekstil sektöründe kullanılan bu atıklar için ısı geri kazanımı kullanılarak enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Bu çalışmada ısı geri kazanım sistemi Uşak Organize Sanayi Bölgesinde bulunan bir battaniye firması tarafından kurulmuştur. Optimum çalışma koşulları için akış plakalı eşanjör ile termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu değerlendirilerek işlemler değerlendirilmiştir. Enerji maliyetini azaltmak, çevresel etkileri iyileştirmek ve süreç süresini kısaltmak tekstil endüstrisinde ekonomik faydalar sağladığı görülmüştür.

Çay, Tarakçıoğlu, Hepbaşı (2011), bu çalışmada speco yönteminin kullanılması ile tekstil kurutucularının eksergoekonomik analizi üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Ramözlerin eksergoekonomik analizi, Özgül Ekserji Maliyeti (SPECO) yönteminin kullanılmasıyla açıklanmaktadır. Direkt doğal gaz ısıtmalı(DGHS) ve kızgın yağ ısıtmalı(HOHS) ramözler için maliyet denklikleri ve yardımcı termoeekonomik bağıntılar geliştirilmiştir. Suyun buharlaştırılması için gerekli ekserji maliyeti temel parametre olarak seçilmiştir. Ekserji maliyetleri kurutma periyotlarına bağlı olarak 0.19 USD/GJ ile 0.59 USD/GJ arasında değişmektedir. Kurutmanın azalan hız periyodunun en yüksek ekserji maliyetine neden olduğu gösterilmiştir. Atık hava nemi ve kumaş çıkış neminin artırılması ile ekserji maliyetleri doğrusal olarak azalmaktadır.

İskender (2012), doğal gazlı sürekli yüklemeli, tel bant konveyörlü, azot-metanol atmosfer kontrollü, ısıl işlem fırınlarında kullanılmak üzere brülör tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Tasarımı yapılan brülörde ki doğal gaz yanması, teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Değişken girdi olarak alınan brülör giriş doğal gaz ve hava basıncı değerlerine göre, hava fazlalık katsayısı, yanma (baca) gazı sıcaklığı, baca gazı emisyonları (oksijen, karbondioksit, karbonmonoksit, azotoksit, azotdioksit) ve doğal gaz tüketimi ölçülmüştür. Brülör girişi doğal gaz ve hava basıncı değerlerine göre hava fazlalık katsayıları tespit edilmiştir. Farklı hava fazlalık katsayıları için teorik olarak hesaplanan karbondioksit, oksijen ve azot emisyonları deneysel olarak ölçülmüştür.

Şekkeli, Keçecioğlu (2012), bu çalışmada, bir tekstil fabrikasında çalışan Ramöz makinesinin enerji tüketimini optimize etmeye yönelik atık ısı geri kazanım sistemi uygulaması yapılmıştır. Atık ısı geri kazanım sistemi SCADA kullanarak kontrol edilmiş ve çalıştırılmıştır. Uygulama yapılan ramöz makinesinde kurutma işlemini gerçekleştirmek için gerekli ısı, bir kızgın yağ kazanı ile elde edilmektedir. Isı geri kazanımı, ramöz makinesinden

atmosfere atılan atık havanın bir ısı dönüştürücü yardımıyla yeniden kullanımı ile gerçekleştirilir. Bu çalışmanın sonucu olarak önemli ölçüde ısı enerjisi kazanımı sağlanmıştır. Elde edilen ısı Ramöz makinesinde tekrar kullanılarak, kazan için gerekli kömür miktarı azaltılmıştır. Ayrıca ısı geri kazanım sisteminde ön temizleme filtresi kullanılarak ramöz makinesinin sebep olduğu hava kirliliği de azaltılmıştır. Bu çalışma tamamlanmış olup, Türkiye'nin en büyük tekstil fabrikalarından birinde uygulanmaktadır.

Akal, Susantez, Kahveci ve Akyol (2013), çalışmada, yünlü kumaşların kuruma davranışlarını araştırılmıştır. Kumaşta kütle transferi Comsol Multiphysics modellemesi ile sayısal olarak çalışılmıştır, 70° C, 80° C ve 90° C olan kurutma hava sıcaklıkları simülasyon yazılımı ile incelenmiştir. Kumaştaki nem dağılımları iki boyutlu kütle transferi modeli kullanılarak elde edilmiştir. Difüzyon denklemi kumaşta etkili kütle aktarım mekanizması olduğu için tercih edilmiştir.

M. Hamdaoui, Baffoun, Chaaben, F. Hamdaoui (2013), bu çalışmada, tekstilde örme kumaşın kuruma olayını izlemek için deneysel çalışma ve matematiksel model sunulmuştur. Nemli ürünlerin ön işlem sonrasında termal kurutulması üzerine deneysel bir çalışma sunulmuştur. Üç farklı sıcaklıkta (100°C, 110°C ve 120°C.) gravimetrik metodu kullanılarak çalışılan numunelerin kuruma süresinin bir fonksiyonu olan kütle varyasyonu belirlenmiştir. Nemli tekstil kumaşının kuruma olgusunu takip etmek için polinom model geliştirilmiştir.

Nasifa ve Al-Waked (2014), bu çalışmada enerji geri kazanımı ile bir klimanın CO₂ gazının emisyon analizi yapılmıştır. Klima sistemi içinde entalpi ısı değiştirici ve hava karıştırma etkileri değiştirilerek belirlenen yazılımlarla modellenmiştir.

Johann, Silva, Lima, Pereira (2014), bu çalışmada tekstil malzemelerinin kurutma sürecinin doğru bir şekilde yansıtan bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Matematiksel modelleme enerji ve kütle denklıklarından geliştirilmiş ve matematiksel modelin çözümü için Kartezyen koordinatlarda sonlu farklar metodu kullanılmıştır. Kısmi türevli denklem sisteminde bilinmeyen değerler yerine tekstil ürünün sıcaklık ve nem oranları kullanılarak denklem sistemine dönüştürülmüştür. Simülasyon sonuçları literatürden elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizde, matematiksel modeli doğrulamak için Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. Sonuçlarda p değeri %5 in üzerindeydi bu da normal değer aralığında olduğunu göstermiştir.

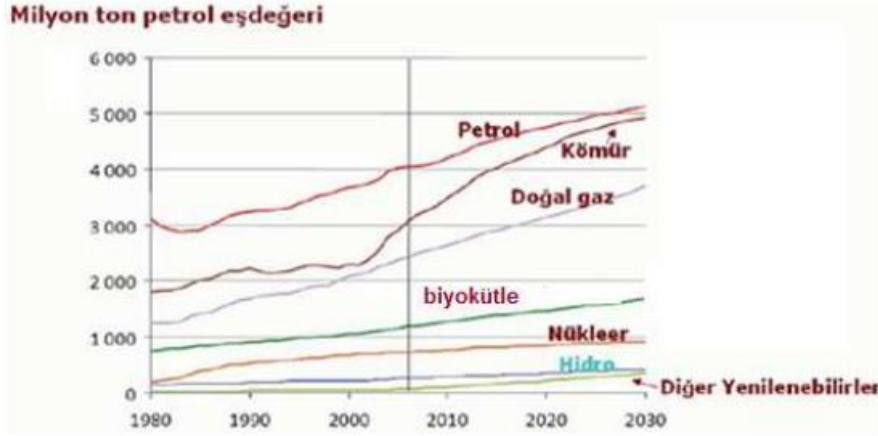
Santos, Llanos, Quadri ve Rocha (2015), bu çalışmada sonlu elemanlar metodu kullanılarak ramöz makinesinde pamuklu kumaşların kurutulması için bir model geliştirilmiştir. Ortam koşullarının ramöz makinesi üzerindeki performansı etkisi araştırılmıştır. Geliştirilen modelde, geri kazanılan egzoz gazından, doğalgaz tüketiminde ne kadar tasarruf edileceğini ortaya koymuştur. Yapılan simülasyon çalışmasıyla gerçekleştirilen modelin ile gerçek uygulama arasında bir uyum olduğu tespit edilmiştir. Simülasyon sonuçları, simülasyonun soğuk havada çalışmayı temsil ettiğinde doğal gaz tüketiminde % 19-64 tasarruf sağladığını göstermiştir.

3. SANAYİDE ENERJİ KULLANIMI

3.1 Dünya ve Türkiye’de Enerjinin Genel Görünümü

Enerji, modern sanayi toplumlarında kalkınmanın bir anlamda motorudur. Enerjinin verimli kullanılması, sürdürülebilir kalkınmayı sağlayan öncelikli faktörler arasında üst sıralarda yer almaktadır. Bu nedenle de, ülkeler “birim hasıla başına tüketilen enerji” şeklinde ifade edilen enerji yoğunluğunun azaltılması ve sera gazlarının olumsuz etkisinin hafifletilmesi için, enerji politikalarında enerjinin verimli kullanılmasına öncelik vermektedir.

Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve küreselleşme sonucunda doğal kaynaklara ve enerjiye talep artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan çalışmalar; küresel enerji talebinin 2030 yılına kadar yıllık % 1,7 artışla yaklaşık % 60 oranında artacağını, fosil yakıt rezervlerinin ise bu süre içinde talebe yanıt verebilecek durumda olduğunu ortaya koymaktadır. Gelecekte de fosil yakıtlar en büyük enerji kaynağımız olmaya devam edecektir. Bu dönem içinde petrol en fazla tüketilen enerji kaynağı olma özelliğini koruyacaktır. Yapılan tahminlere göre küresel olarak petrol tüketimi % 60 oranında artacak ve 2030 yılında üretim günde 120 milyon varile ulaşacaktır. Fosil kaynaklar içerisinde en büyük talep artışının ise doğalgaz kullanımında olması beklenmektedir. 2000 yılında 2080 MTEP(Milyon Ton Eşdeğer Petrol) olan üretim miktarının özellikle Batı Avrupa’nın yüksek talebinin karşılanması amacı ile 2030 yılında ikiye katlanacağı hesaplanmaktadır. 1 trilyon ton olarak tahmin edilen büyük bir küresel rezerve sahip kömürün, yılda ortalama % 1,4 artış hızıyla, üretiminin 2030 yılında 3600 MTEP değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi 2030 yılında dünya birincil enerji arzının 16.500 milyar TEP’e ulaşacağı bu arz içinde petrolün % 35, doğalgazın % 25, kömürün % 21,8, yenilenebilir enerji kaynaklarının % 11,3, nükleerin % 4,5 hidrolik kaynakların ise % 2,2 oranında pay alacağı tahmin edilmektedir.

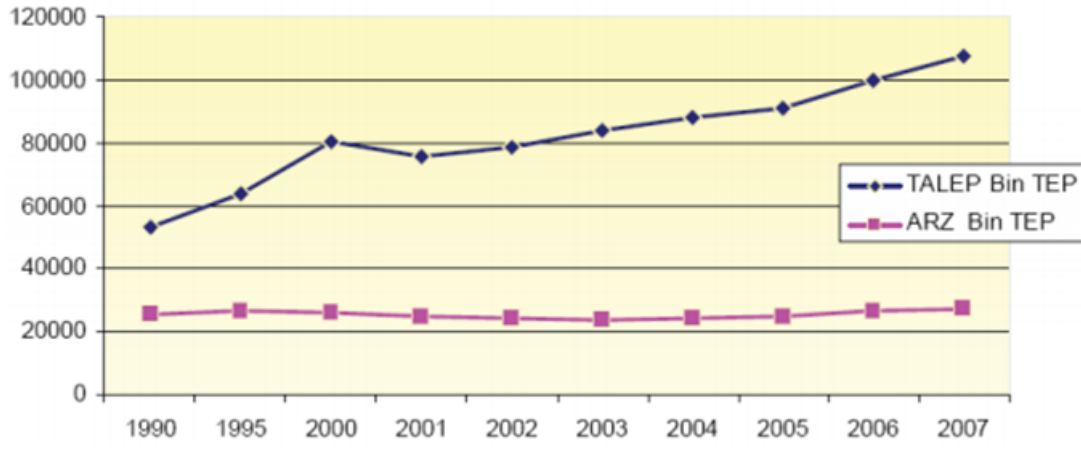


Şekil 3.1 Milyon ton petrol eşdeğerinin 2030 yılına kadar tahmini değişimi(www.mmo.org.tr)

Dünyada enerji kullanımı ile ilgili pek çok başarılı çalışmalar yapılmış ve bu amaçla yönetmelikler hazırlayarak uygulamaya konulmuştur. Sanayinin enerji kullanımını azaltma gereksinimi 1970'li yılların başında başlamıştır. Enerji verimliliği politikalarını tetikleyen en önemli faktör, 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizi ve buna bağlı gelişen petrol artışları olmuştur. Yeni teknolojik gelişmeler eski teknolojiyle üretim yapan ekipmanların yerine daha az enerji tüketen makinelerin kullanılmasına öncülük etmiştir. Dünyada, enerji verimliliği ile ilgili olarak en sıkı önlemlerin alındığı 1973-1985 yılları arasında çalışmaların yürütüldüğü ülkelerde GSYİH %32 civarında büyürken aynı dönemdeki enerji tüketimi artışı sadece %5 olmuştur. Bunun sonucunda birim GSYİH başına enerji tüketimi %25 civarında düşmüştür. Bunda ekonomideki yapısal değişikliklerin yanı sıra enerji verimliliğindeki iyileştirmelerin etkisi de büyük olmuştur.

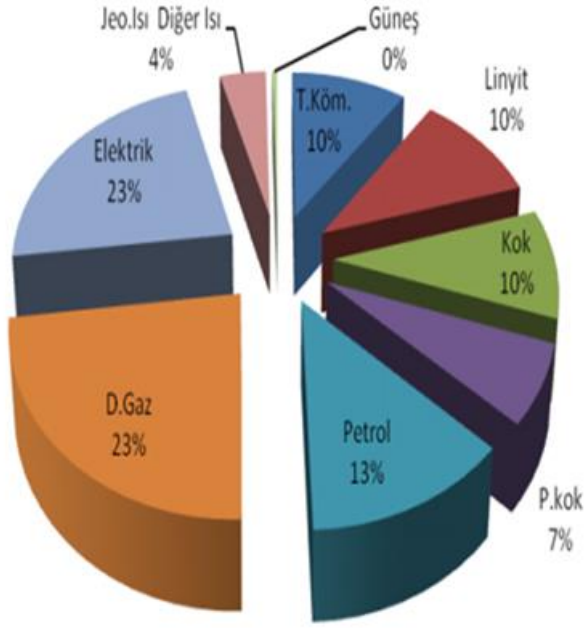
Türkiye'de ise 1973 'deki petrol krizinden sonra artan enerji fiyatlarının kontrol altına alınması, sürdürülebilir enerjinin sağlanması ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması çalışmalarının sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları ve enerjinin verimli kullanımı önem kazanmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimliliğinin önemini artıran bir başka gelişme de 1990 'lı yıllarda ortaya çıkan çevre bilincidir. Bu bilinç, geleneksel enerji üretim ve tüketiminin çevre ve doğal kaynaklar üzerinde yerel, bölgesel ve küresel seviyede doğrudan olumsuz etkilere neden olduğunun anlaşılmasına ve enerjinin verimli kullanımının destek görmesine yol açmıştır. Böylece başlangıçta sadece sanayileşmiş ülkelerin gündeminde yer alan enerjinin verimli kullanımı kavramı, tüm dünya ülkelerinin enerji politikalarındaki ortak prensiplerden biri haline gelmiştir.

Gittikçe artan enerji ihtiyacı doğal olarak ülkemizde de bir artış göstermiştir. Bu artışın hızı ülkemizin ne kadar gelişeceğine bağlıdır. Geçmişe baktığımızda Türkiye enerjide dışa bağımlılığından hiçbir zaman kurtulamamıştır. Şuan da ise bu bağımlılık çok ciddi bir seviyede olup, eğer önlemler alınmazsa gelecekte Türkiye'yi büyük sıkıntılara sokabilecek düzeydedir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi 2008 yılında 106 milyon TEP'i geçen yıllık enerji arzının, 2011 yılında 116 milyon TEP, 2020 yılında ise 222 milyon TEP düzeyine ulaşacağı beklenmektedir. Bu değerler enerji arzının yılda yaklaşık % 6 oranında artış göstereceğine işaret etmektedir.

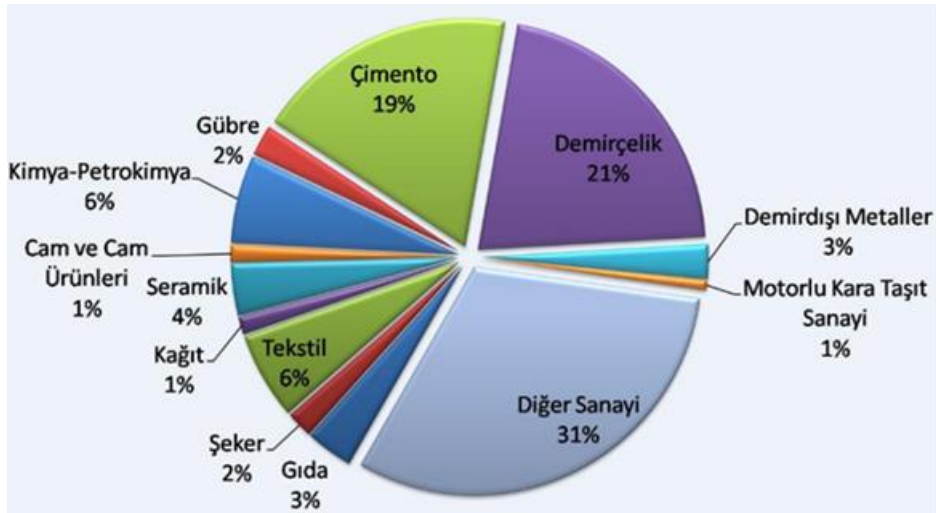


Şekil 3.2 Türkiye'nin enerji arz ve talebinin yıllara göre değişimi(www.mmo.org.tr)

Ülkemizde enerji kaynaklarının rezervleri ise oldukça yetersizdir. En fazla ihtiyaç duyduğumuz petrol ve doğalgaz rezervleri son derece kısıtlı, kömür rezervleri ise miktar olarak fazla olmakla birlikte coğrafi olarak dağınık, düşük kaliteli, yüksek üretim maliyetli ve çevre sorunludur. Türkiye'de enerji kaynak rezervlerinin tüketim ve sektörel bazda dağılım grafikleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Sanayide enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2010)



Şekil 3.4 Sanayide Tüketilen Nihai Enerjinin Sektörel Dağılımı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012)

Bütün veriler göz önünde bulundurulduğunda, tükenen fosil yakıtların yerine alternatif enerji kaynakları aranırken diğer yandan da mevcut kaynakların etkin ve verimli biçimde değerlendirilmesi gündeme gelmektedir. Sanayi sektörü, gerek yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahip olması, gerek sanayide tüketilen enerjinin çoğunlukla ticari enerji olması

hasebiyle enerji tasarrufu çalışmalarında öncelikle ele alınması gereken bir sektördür. Bu çalışmada incelenecek olan tekstil sektörü ise enerjinin kullanıldığı tüm sektörler arasında %4 paya sahiptir. Bunun yanı sıra tekstil sektöründe enerji verimli kullanılması konusunda incelenecek ve tasarruf elde edilecek birçok çalışma yer almaktadır.

3.2 Enerji Yoğunluğu

Enerji yoğunluğu, en ucuz enerji kaynağı olarak değerlendirilen enerji verimliliğinin temel göstergesidir. En genel tanımıyla enerji yoğunluğu, herhangi bir ülkenin birim gayri safi yurt içi hasıla değeri başına tükettiği birincil ya da nihai enerji miktarıdır. Ancak, ülkelerin sanayi dallarının enerji kullanım oranları farklı olduğu gibi, enerji tüketen sektörleri gayri safi yurt içi hasıladaki payları da farklı olabileceği göz önüne alındığında, tam ve kesin bir karşılaştırma yapabilmek için benzer sektörlerin enerji yoğunluğu değerlerinin belirlenmesi önemlidir. Bir ülkede veya bir sektörde hesaplanan enerji yoğunluğu değeri ne kadar düşükse, enerji verimliliği o oranda yüksektir. Genel olarak enerji yoğunluğu, ekonominin ilk kalkınma aşamalarında artmakta iken gelişmiş ekonomilerde bu oran azalma eğilimi göstermektedir. Bir ülkenin gelişmişlik düzeyi, kişi başına enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu göstergeleri ile izlenmektedir. Çizelge 3.1’de, enerji yoğunluğu ve kişi başı enerji tüketim değerleri baz alınarak seçilen bölgeler ve ülkeler ile Türkiye’nin mevcut durumu karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 3.1 Bölge ve ülkelerin enerji yoğunluğu değerleri(Anonim 2007)

Bölgeler	Nüfus(milyon)	Tüketilen enerji (MTEP)	GSYİH(2000 yılı milyar dolar)	Kişi başına enerji tüketimi (MTEP/nüfus)	Enerji yoğunluğu TEP/bin dolar
Dünya	6609	12029	39493	1,82	0,3
OECD	1185	5497	30110	4,64	0,18
Ortadoğu	193	552	891	2,86	0,62
Sovyetler	284	1019	620	3,59	1,64
OECD-Dışı Avrupa	53	106	174	1,99	0,61
Çin	1327	1817	2623	1,48	0,75
Asya	2148	1377	2308	0,64	0,6
Latin Amerika	461	550	1938	1,19	0,28
Afrika	958	629	830	0,66	0,76
Japonya	127,76	513,02	5205,02	4,02	0,1
Türkiye	73,9	371,84	371,84	1,35	0,27

Çizelge 3.1'den de görüleceği gibi Türkiye'nin enerji yoğunluğu değeri, dünya ortalamasının altında olmakla birlikte gelişmiş ülkelerin değerlerinin üzerindedir. Enerjinin verimli kullanımının sağlanmasında en temel göstergelerden biri de enerji yoğunluğunun düşürülmesidir. Ülkemizde kişi başına enerji tüketimi OECD ülkeleri ortalamasının yaklaşık beşte biri civarındayken, enerji yoğunluğu OECD ortalamasından iki kat daha fazladır. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre gelişmiş ülkelerde enerji yoğunluğu 0,09–0,19 arasında iken, ülkemizde 0,38 olması ve azalma eğilimi göstermemesi bu konunun ciddi olarak ele alınması gereğini ortaya koymaktadır.

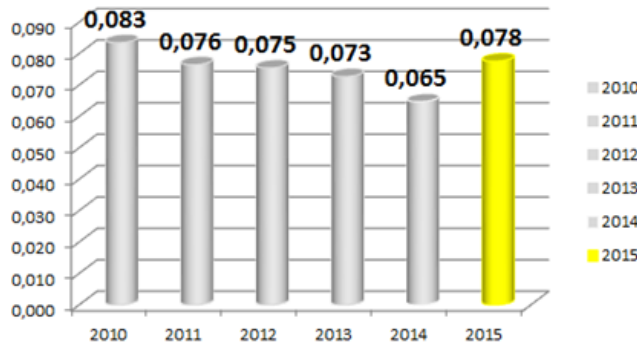
3.3 Yünsa İşletmesi Enerji Yoğunluğu

Yünsa İşletmesinde 2010 ve 2015 yılları arasında TEP ve üretim değerlerinin karşılaştırıldığı durum Çizelge 3.2'de verilmiştir. TEP/1000\$ Ciro değeri 2010-2014 yılları arasında düşüş gösterirken, 2015 yılında ise 2014 yılı değerine göre artış göstermiştir.

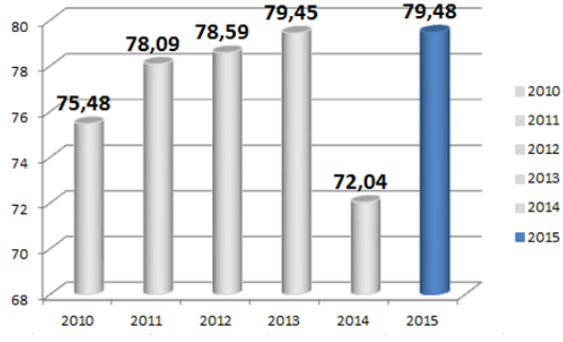
Çizelge 3.2 Yünsa İşletmesi 2010-2015 yılları arası TEP dağılımı

Yıllar	TEP	Üretim(m)	TEP/100000m	TEP/1000 \$ Ciro
2010	8200	10864177	75,48	0,083
2011	9376	12006610	78,09	0,076
2012	10179	12952841	78,59	0,075
2013	9910	12473399	79,45	0,073
2014	9667	13419449,48	72,04	0,065
2015	7102	8935266	79,48	0,078

Yünsa işletmesinde 2010-2015 yılları arasındaki enerji yoğunluğunun, ciro ve metre üretim başına olan değerleri Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5 Yünsa işletmesi enerji yoğunluğu(TEP/1000\$ Ciro)



Şekil 3.6 Yünsa işletmesi enerji yoğunluğu(TEP/100000 metre)

4.TEKSTİL İŞLETMELERİNDE ENERJİ KULLANIMI

4.1 Dünya’da ve Türkiye’de Tekstil Sektörüne Genel Bakış

Tekstil ve hazır giyim/konfeksiyon sanayi sağladığı istihdam imkanı, üretim sürecinde yarattığı katma değer ve uluslararası ticaretteki ağırlığı nedeniyle ekonomik kalkınma sürecinde ülkemiz için önemli rol oynayan bir sanayi dalıdır. Dünya tekstil üretimi 1980–1999 döneminde yaklaşık %15 artarken, ticareti %150’nin üzerinde artış göstermiştir. 2005 ve sonrasında DTÖ düzenlemelerinin hayata geçmesiyle, dünya tekstil ticareti de artmıştır. Bloklar içi (AB, NAFTA, Uzakdoğu) tercihli ticaret giderek daha fazla ağırlık kazanmakta, bu da bloklar arası ticaret ve özellikle bloklar dışında kalan ekonomiler için yeni ve büyük boyutlu bir rekabet engeli yaratmaktadır. 1980–2000 yılları arasında tekstil üretimi Asya kıtasında yaklaşık %100, Amerika kıtasında % 75 kadar artmış, Avrupa’da ise % 33 kadar gerilemiştir. 1980’de tekstil üretiminin yaklaşık yarısını gerçekleştiren Avrupa’nın payı bugün % 30 dolaylarına düşmüş, aynı dönemde Asya ülkelerinin payı ise % 25’ten %35–40 seviyelerine yükselmiştir. Amerika kıtası, dünya tekstil üretimindeki payını son çeyrek yüzyılda % 20’lerden % 25–30 dolaylarına yükseltmeyi başarmıştır.

Türkiye’de tekstil sektörü teknoloji düzeyi, ekonomik etkinliği ve sosyal etkileşimi itibariyle ülkenin önde gelen sosyo-ekonomik faaliyet alanlarından biridir. Tekstil sektörünün ürün kalitesi ve üretim teknolojisi çağdaş dünya standartlarındadır. Üretim yaklaşık on yaşından daha genç makine ve teçhizatla gerçekleştirilmektedir. Üretim kapasitesi açısından Türkiye, kurulu kapasite iş sayısı itibariyle dünyada altıncı, rotor sayısında ise dördüncü sıradadır ve iş sayısında dünya kapasitesinin %3,4’üne, rotor sayısında ise % 5,5’ine sahiptir. Avrupa Birliğin de kurulu pamuk tipi kısa elyaf kapasitesinin yaklaşık yarısı Türkiye’dedir. Kumaş işleme (terbiye) kapasitesi, kurulu ham bez üretim kapasitesini (dokuma ve örgü) rahatlıkla işleyecek seviyededir. Terbiye (boya, baskı, apre) sanayimiz gerek boyutu ve teknoloji düzeyi, gerekse ürün kalitesi açısından AB kurulu kapasitesine eşit düzeydedir.

Uzun yıllardır tekstil ve konfeksiyon sektörü Türkiye’nin ekonomisinde, istihdamında ve ihracatında önemli bir paya sahip olmuştur. Bu sektördeki ihracat Türkiye’nin genel ihracatı ile paralellik göstermiştir. Türkiye’de tekstil ve konfeksiyon sektörü 1980’li yılların başlarında yapılan yatırımlar sonucu gelişmeye başlamış ve 1990’lı yılların başında büyük bir patlama yaşanmıştır. 1980- 1990 yılları arasında ihracat yılda ortalama %33 artarak 2,9 milyar \$ dan, 12,9 milyar \$’a ulaşmıştır. 2000 yılında ihracat 31 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir.

Tekstil sektörü sürekli gelişerek Türkiye ihracatında % 38'lik paya sahip olmuştur. Tekstil sektöründeki genel girdiler Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Bu genel girdilerin içinde enerjinin oranı yaklaşık %14 oranındadır. Bu oran üretim maliyetleri dikkate alındığında çok önemli bir yer teşkil etmektedir. (İkiz ve Öztürk 2003).

Çizelge 4.1 Tekstil sektöründeki genel giderler(İkiz ve Öztürk 2003)

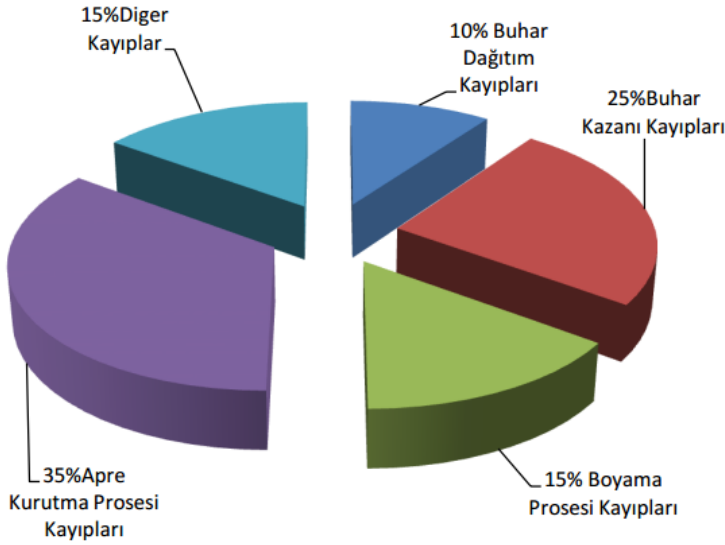
Girdi	Maliyet (%)
Ücretler	30
Boya ve Kimyasal Maddeler	22
Enerji(Isı ve Elektrik)	14
Su+Atık Su	4
Diğer	30

Tekstil sektörünün bugünkü konumunu daha da güçlendirerek sürdürebilmesi ise, teknolojisini çağın önünde tutabilecek düzeyde geliştirmesine, bilgi yoğunluğu ve katma değeri yüksek ürünlere yönelmesine bağlıdır. Bunun için, tekstil sektörünün faaliyet gösterdiği iplik, örme, dokuma, tekstil terbiyesi ve konfeksiyon alanlarında teknoloji geliştirme ve arge çalışmalarına önem vermesi ve kaynak ayırması gerekmektedir.

4.2 Tekstil Sektöründe Enerji Kullanımı

Tekstil sektöründe, farklı sanayi faaliyetleri ve ürünleri ile, proses teknolojileri açısından önemli farklılıklar vardır. Bu da enerji tüketiminin yapısında ve enerjinin maliyetler içindeki payında değişiklikler görülmesine neden olmaktadır. Birçok tekstil işletmesinde son işlem bölümlerinde düşük veya orta sıcaklıkta ısı enerjisi tüketimi önemli bir masraf kaynağı olmaktadır. iplik-dokuma fabrikalarında enerji tüketimi genelde % 50 elektrik ve % 50 ısı şeklinde gerçekleşmektedir. Terbiye bölümlerinde ise enerjinin % 75'den fazlası ısı olarak kullanılmaktadır. Dokuma işletmesinde; dokuma işlemine geçilmeden önce uygulanan haşıl, terbiye işlemleri ve konfeksiyon işletmesindeki ütüleme aşaması ısı enerjisi gerektiren işlemlerdir. Dokumada ve terbiyede kullanılan ısı enerjisi; yaygın olarak kömür, mazot, fuel-oil ve buhardan sağlanırken; konfeksiyonda ütüleme için kullanılan enerji doğrudan buhardan ya da elektrik enerjisi kullanılarak elde edilmektedir. Doğalgazdan elde edilen enerji ağırlıklı olarak apre bölümünde tüketilmektedir. Burada oluşan kayıplar %35 oranlarına kadar varmaktadır. Baca gazından atılan sıcak gazlar kayıp enerjiyi oluşturmaktadır. Bu enerjinin geri kazanılması için çeşitli atık ısı eşanjör uygulaması geliştirilmiştir. Kömürden elde edilen buhar enerjisini incelediğimizde ise, iletim kayıpları ve proses kayıpları

oluşmaktadır. Buhar enerjisinin genel dağılımı ve kayıp oranları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Buhar enerjisinin genel dağılımı-kayıp noktaları ve miktarları (Hasanbeigi, 2010)

Tekstil işletmelerinde; üretilen mamulün birim miktarı için gerekli olan enerji (özellik enerji tüketimi) miktarı; mamul yapısına ve üretimde kullanılan basamaklara ve makinelere göre değişmektedir. Tekstil işletmelerinin üretim basamaklarında üretilen birim mamul miktarı için tüketilen enerji miktarları Çizelge 4.2’ de verilmektedir. Çizelgede; tüketilen enerji elektrik ve ısı enerjisi olarak ayrı ayrı incelenmiş ve üretimin yapıldığı koşulları ayarlamak amacıyla kullanılan klimalardaki enerji tüketimleri ele alınmıştır.

Çizelge 4.2 Tekstil sektöründe bölümlere göre özgül enerji tüketimi(Tarakçıoğlu,1984)

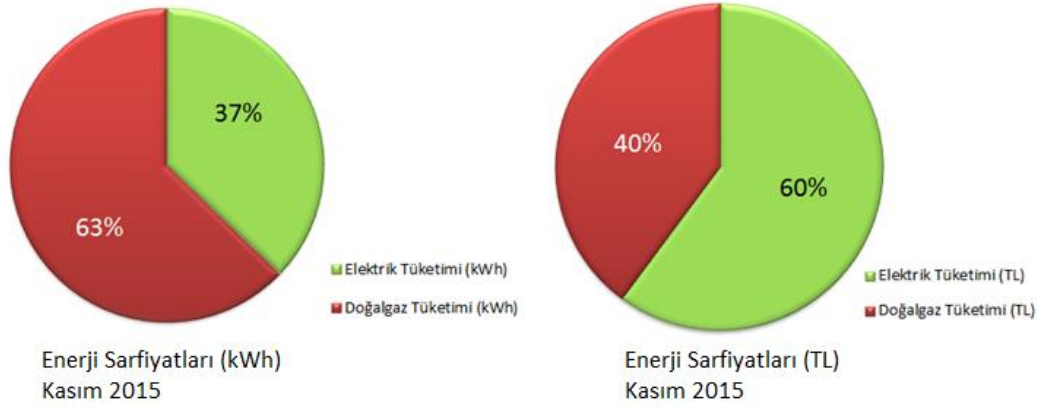
Mamul Türleri	Elektrik Enerjisi Tüketimi		Isı Enerjisi Tüketimi	
	Mamul üretimi içinde toplam elektrik enerjisi (kWh/kg)	Üretimde kullanılan klimalar için (%)	Mamul üretimi için toplam ısı enerjisi(MJ/kg)	Üretimde kullanılan klimalar için (%)
İplik	2,7-4	15-20	1,1-4,7	100
Dokuma	2,1-5,6	20-25	8,3-17	35-55
Örme kumaş	1-1,5	25-30	1,8-5,8	100
Terbiye görmüş kumaş	3	-	20-80	-
Toplam	7,3-14,1	-	31,2-107,5	-

Çizelge 4.2 incelendiğinde; birim üretim başına en fazla elektrik enerjisi kullanımının iplik ve dokuma bölümlerinde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; iplik işletmesinde üretim için kullanılan motor, makine vb. cihazların fazla olması ve dokuma makinelerinin

yüksek miktarlarda enerji tüketim potansiyelleridir. En fazla ısı tüketiminin ise; dokuma ve terbiye bölümlerinde olduğu dikkat çekmektedir.

4.3 Yünsa İşletmesinde Enerji Kullanımı

Yünsa işletmesinde elektrik ve doğalgaz enerjisi kullanılmaktadır. Doğalgaz tüketimi elektrik tüketiminin yaklaşık iki katı fazladır. İşletme genelinde elektrik ve doğalgaz tüketiminin karşılaştırılması şekil 4.2’de verilmiştir.



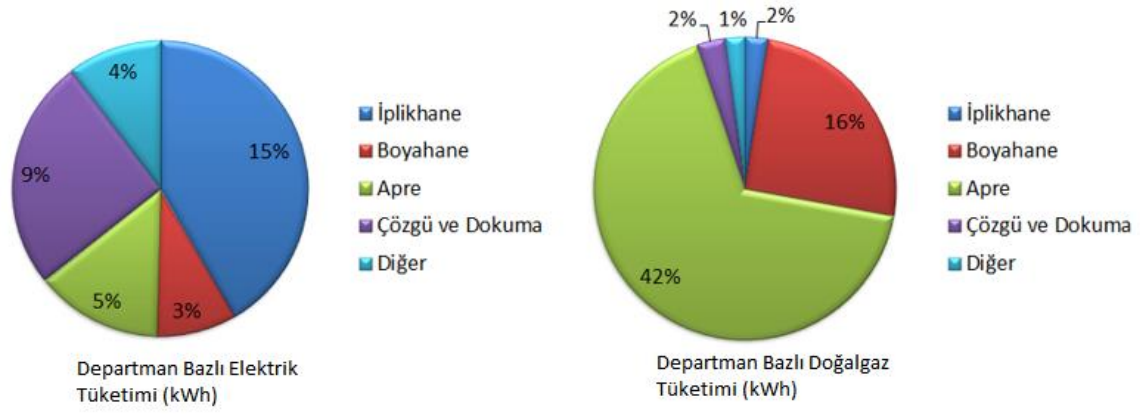
Şekil 4.2 Yünsa İşletmesinde Tüketilen Enerjinin Dağılımı

Yünsa işletmesinde üretim prosesleri başta olmak üzere fabrikada kullanılan elektrik ve doğalgaz enerjisinin sayısal değerleri ölçülmüştür. Ölçülen değerler Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Yünsa işletmesinde tüketilen enerjinin sayısal değerleri

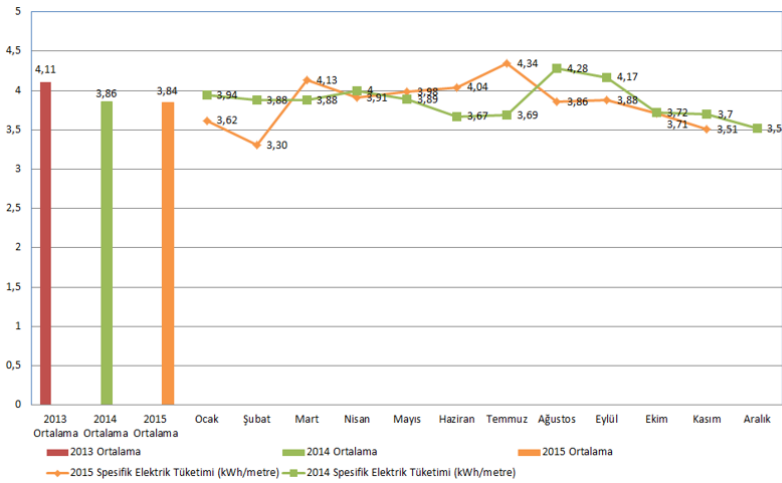
Elektrik Tüketimi(kWh)	3.219.136	Enerji Tüketimi (kWh)
Doğalgaz Tüketimi (kWh)	5.440.176	8.659.312
Elektrik Tüketimi (TL)	650.785,95	Enerji Tüketimi (TL)
Doğalgaz Tüketimi (TL)	431.450,50	1.082.236,45

Yünsa işletmesi iplikhane, çözü, dokuma, boyahane ve apre bölümlerinden oluşan bir üretim hattına sahiptir. Üretim bölümlerinde ise proseslerde elektrik ve doğalgaz kullanılmaktadır. Departmanlara ait enerji tüketimleri yüzdesi ve sayısal değerleri Şekil 4.3’de verilmiştir.

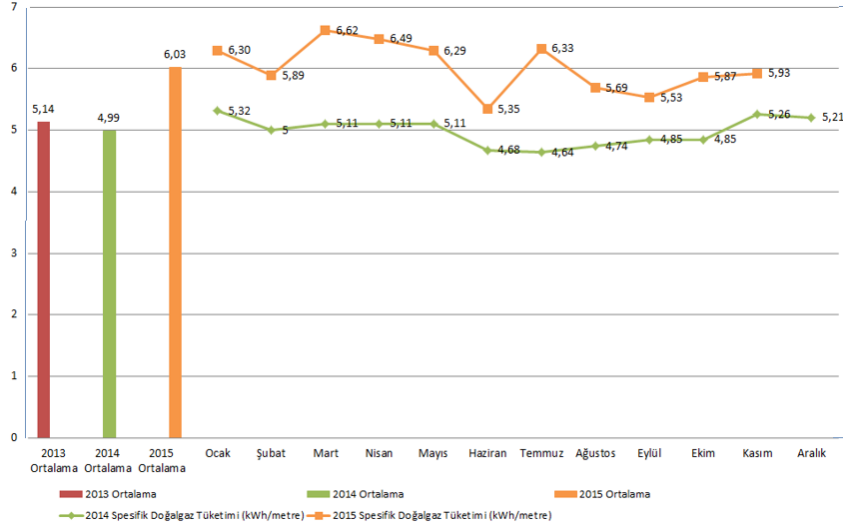


Şekil 4.3 Yünsa işletmesinin departman bazlı enerji sarfiyatları

Üretim miktarı genellikle aydan aya değişkenlik gösterdiğinden bir ay içinde kullanılan toplam enerji miktarını bilmek enerji verimliliği çalışmaları açısından önemlidir. Tüketimle birlikte üretimdeki değişmelerin de dikkate alınması gerekir ve bunun için her aya ait spesifik enerji tüketimi hesaplanmalıdır. Spesifik enerji tüketimi, bir birim ürün elde etmek için kullanılan enerji miktarıdır. Yünsa işletmesi için 2015 yılı boyunca her ay ölçümler alınarak spesifik enerji tüketimleri belirlenmiştir. Belirlenen spesifik elektrik ve doğalgaz tüketimleri Şekil 4.4 ve 4.5 'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Yünsa işletmesi spesifik elektrik tüketimi (kWh/metre)



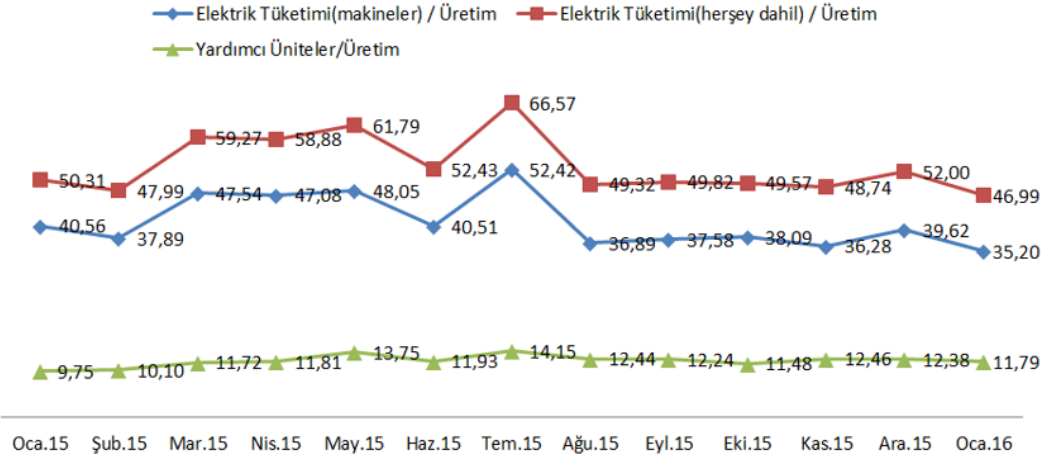
Şekil 4.5 Yünsa işletmesi spesifik doğalgaz tüketimi (kWh/metre)

Bu çalışmada incelenen katlı ramöz makinesi apre bölümünde yer almaktadır. Apre bölümünde kimyasal uygulama , yıkama, kurutma, fikse, buharlama gibi işlemler yapılmaktadır. Apre bölümü Yünsa işletmesinde enerji tüketiminin en yoğun tüketildiği bölümdür. Apre bölümünde özellikle kurutma işlemini gerçekleştiren ramöz makinelerinde tüketilen enerji oldukça fazladır ve apre bölümünde tüketilen toplam enerjinin yarısını kullanmaktadır. Apre departmanında 2015 yılı süresince tüketilen enerji miktarları çizelge 4.4' de verilmiştir.

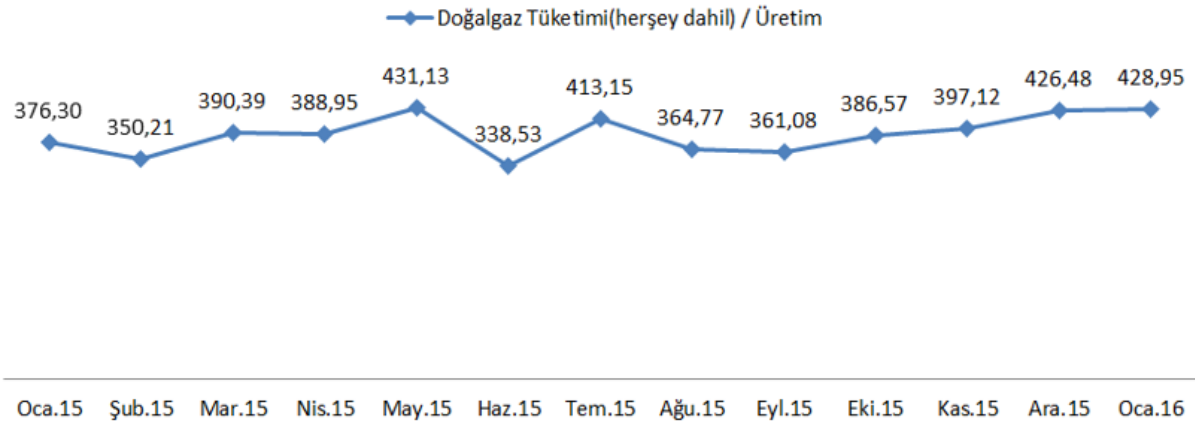
Çizelge 4.4 Apre dairesindeki üretim ve tüketim değerleri

Apre Dairesi	Üretimler (m)	Elektrik Tüketimler (Makineler) (kWh)	Elektrik Tüketimler (Herşey Dahil) (kwh)	Doğalgaz Tüketimleri (kWh)	Yardımcı Üniteler Tüketim (kWh)	Yardımcı Üniteler/ Üretim	Elektrik Tüketimi (makinelere) / Üretim	Elektrik Tüketimi (herşey dahil) / Üretim	Doğalgaz Tüketimi (herşey dahil) / Üretim
Oca.15	941.251,10	381.760,00	473.498,62	3.541.888,93	91.738,62	9,75	40,56	50,31	376,3
Şub.15	942.464,10	357.112,00	452.302,98	3.300.593,73	95.190,98	10,1	37,89	47,99	350,21
Mar.15	800.836,40	380.751,00	474.646,81	3.126.382,79	93.895,81	11,72	47,54	59,27	390,39
Nis.15	778.559,50	366.518,00	458.428,70	3.028.220,77	91.910,70	11,81	47,08	58,88	388,95
May.15	698.542,20	335.626,00	431.646,10	3.011.614,21	96.020,10	13,75	48,05	61,79	431,13
Haz.15	760.870,90	308.197,00	398.955,10	2.575.745,95	90.758,10	11,93	40,51	52,43	338,53
Tem.15	642.339,10	336.725,00	427.636,90	2.653.798,10	90.911,90	14,15	52,42	66,57	413,15
Ağu.15	822.329,20	303.335,00	405.611,70	2.999.587,71	102.276,70	12,44	36,89	49,32	364,77
Eyl.15	728.238,10	273.636,00	362.782,50	2.629.547,75	89.146,50	12,24	37,58	49,82	361,08
Eki.15	901.787,00	343.495,00	446.991,80	3.486.026,66	103.496,80	11,48	38,09	49,57	386,57
Kas.15	918.048,50	333.099,00	447.467,65	3.645.795,20	114.368,65	12,46	36,28	48,74	397,12
Ara.15	891.878,30	353.333,00	463.740,35	3.803.684,47	110.407,35	12,38	39,62	52	426,48

Yünsa işletmesinde apre bölümündeki üretime bağlı olarak 2015 yılı boyunca yapılan çalışmalarda elektrik ve doğalgaz tüketiminin aylara göre değişim grafikleri oluşturulmuştur. Enerji tüketim grafikleri şekil 4.6 ve 4.7 'de verilmiştir.



Şekil 4.6 Apre dairesinde elektrik tüketim/üretim değerlerinin aylara göre değişimi



Şekil 4.7 Apre dairesinde doğalgaz tüketim/üretim değerlerinin aylara göre değişimi

Yünsa işletmesinde yapılan enerji verimliliği çalışmalarında, bir yıl boyunca üretim ve tüketim verileri toplandıktan sonra, üretim ve tüketim parametrelerine bağlı kalarak Yünsa işletmesinin 2015 enerji raporu ortaya çıkmıştır. Enerji raporu Çizelge 4.5 'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 2015 Yünsa işletmesi enerji raporu

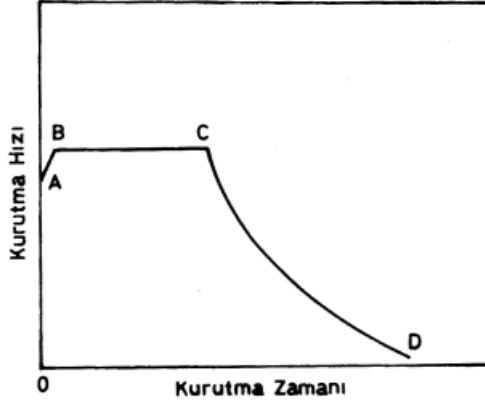
Yünsa İşletmesi Enerji Raporu-2015				YTD
Enerji Parametre	2014	2015	Fark	%Değişim
Üretim(metre)	12.203.932	8.935.266	-3.268.666	-26,8
Enerji Tüketimi(kWh)	108.651.614	87.870.917	-20.780.697	-19,1
Enerji Tüketimi(kWh/m)	8,9	9,83	0,93	10,5
Enerji Tüketimi(TL/m)	1,06	1,26	0,21	19,4
Maliyet Artışı (TL)	1.834.793 TL			
Enerji Bedeli(TL)	12.884.990	11.268.704	-1.616.285	-12,5

5. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE KURUTMA

5.1 Kurutma

Tekstil ürünleri üretim sürecinde çeşitli terbiye işlemlerine tabi tutulmakta ve bu işlemler sırasında bünyelerine aldıkları nem, kurutma yoluyla uzaklaştırılmaktadır. Tekstil ürünlerinin kurutulması ürün üzerindeki nemin alınma şekline göre; mekanik yöntemlerle yapılan ön kurutma ve mamül üzerinde bulunan doğal nemin kaybedilmeden, ısı transferi ile gerçekleşen esas kurutma şeklinde iki gruba ayrılmaktadır. Ancak ürünün ısı enerjisi ile kurutulması(esas kurutma) hem ürünün kurutma işlemi sırasında yapısına zarar verebilmekte hem de ekonomik değerinin azalmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, tekstil ürünlerinin kurutulmasında esas kurutma zorunlu olup, ürüne zarar vermeden kurutma aşamaları etkin bir şekilde uygulanmak durumundadır. Bu çalışmada, ülkemiz sanayisinde önemli bir yere sahip olması nedeniyle tekstil endüstrisinde, esas kurutma işleminin nasıl gerçekleştiği ve genel olarak kullanılan kurutma yöntem ve makinaları üzerinde durulması uygun görülmüştür. Özellikle tekstilde yaygın kullanılan kurutma makinalarından gergili kurutma makinaları, taşıma bandlı kurutucular ve yüksek frekanslı kurutucuların tanıtılmasının, konuya ilgili duyanlar açısından faydalı olacağı düşünülmüştür.

Nemli tekstil ürünün ısı enerjisiyle kurutulmalarında kurutma işlemi süresince ısı transferi ile beraber, üründen ortam havasına kütle transferi gerçekleşmektedir. Ancak işlem gören materyalin yapısına ve nem oranına bağlı olarak kütle transferi, ısı transferinden bağımsız olarak değişim göstermektedir. Şekil 5.1’de herhangi bir tekstil malzemesinin kurutma işlemi süresince kurutma hızı-kurutma zamanı değişimi şematik olarak gösterilmiştir. Burada AB bölgesi ısınmaya hazırlık kısmı olmakta ve ürün üzerindeki fazla sıvı nedeniyle kurutma hızı artış göstermektedir. Bu aşamada kurutma havası sıcaklığı, nemi ve hızı kurutma hızını etkileyen parametreler olmaktadır. BC bölgesi ise sabit hızda kurutma devresi olup, kurutmanın dengede olduğu, kurutma hızının ise kurutma havasının özelliklerinin değişimine bağlı olduğu kısımdır. BC bölgesinde kütle transfer olayı ısı transferi ile dengelenmiş bulunmaktadır. Ancak malzemedeki nem miktarı azalmaya başladıkça, kılcal boşluklardaki sürtünme direncinin artması, iç dokunun yüzeye sıvı transferini güçleştirmekte ve böylece yüzeyin sürekli nemli kalması zorlaşmaktadır.



Şekil 5.1 Tekstil ürününde kurutma grafiği (Oğulata, Kadem, Koç, 1999)

Sabit hızda kurutma devresinin sona erdiği C noktası, kritik nokta olarak ifade edilmekte ve bu noktadan sonra kütle transferinde sürekli bir azalma gözlenmektedir. CD bölgesi azalan kurutma devresi olmakta ve burada tekstil ürününün içerisinde bulunan şişme suyu ve doğal nemin, ürün yüzeyine transferi gerçekleşmektedir. Oldukça yavaş bir kurutma hızının elde edildiği azalan kurutma devresinde, ürün yüzeyinde kurulukların oluşması ve yüzey sıcaklığının yüksek değerlere çıkması ile kritik nem değerinin aşılması sonucu doğal nem kaybı, üründe yapı ve kalite bozuklukları görülebilmektedir. Özellikle doğal nem kaybının geri kazanımının güç olduğu tekstil ürünlerinde, kritik nem değerinin aşılmadığı BC bölgesinde (sabit hızda kurutma devresi) kurutma işleminin yapılması gerekli olmaktadır.

5.2 Uygulanan Kurutma Yöntemleri

Tekstilde herhangi bir yaş işlem sonucu nem içeren bir ürünün kurutulması, üründen nemin alınış şekline göre ön kurutma ve esas kurutma biçiminde yapılabilmektedir. Genel olarak mekanik yöntemlerle ön kurutması yapılmış tekstil ürünleri, doğal nemi korunarak istenilen nem değerine kadar esas kurutma ile kurutulmaktadırlar. Esas kurutma, ısı transferi oluş biçimine göre taşınım (konveksiyon), iletimle (kondüksiyon), ışınlama (radyasyon) ve yüksek frekansla kurutma olmak üzere başlıca dört farklı biçimde gerçekleştirilmektedir.

5.2.1 Ön kurutma

Yaş bir işleme tabi tutulmuş veya yıkanmış bir kumaş, banyodan hiç sıkmadan çıkarıldığında üzerinde yapısına bağlı olarak %150-700 kadar su bulunmaktadır. Bu suyun hepsi aynı durumda bulunmayıp, kumaş içerisinde bulunduğu yere ve tekstil ürünüyle arasındaki bağ durumuna göre ayrılır. Suyun üzerinde damlayan su, yüzey suyu, kapılar su, şişme suyu ve higroskopik nem şeklinde bulunabilir.

Kurutma sırasında suyun ısı enerjisi yardımıyla uzaklaştırılması, mekaniksel kuvvetlerle uzaklaştırmaya nazaran çok daha pahalıdır. Bu nedenle suyun mümkün olan kısmı (damlayan su ve yüzey suyunun tamamı, kapiler su) mekaniksel kuvvetlerle yani ön kurutma işlemi ile uzaklaştırılmalıdır. Bir diğer önemli nokta ise liflerin doğal nemi (higroskopik nem) hiçbir şekilde uzaklaştırılmamalıdır.

Ön kurutma yöntemi olarak sıkma, santrifüjleme, emme-püskürtme ve kılcal emme metodları kullanılır. Sıkma işlemi, suyu uzaklaştırılacak ürünü belirli bir basınç altında bulunan merdanelerden geçirmek esasına dayanır. Kesintisiz çalışabilen kolay ve ucuz bir çalışma şeklidir. Kırık olma ve düzgünsüz sıkma riski vardır. Merdanelerin yüzey sertliği arttıkça, merdane çapı küçüldükçe ve sıkma basıncı arttıkça ön kurutma etkisi artar. Santrifüjleme işlemi, santrifüjlerde suyun uzaklaştırılması merkezkaç kuvvet etkisiyle sağlanmakta olup delikli santrifüj sepetinin çevresel hızının karesiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Terbiye dairelerinde kullanılan santrifüjlerin devir sayısı genellikle 500-1500 dev/dk'dır. Santrifüjlerin iyi bir ön kurutma yapma avantajına karşılık, kırık tehlikesi ve kesintili çalışma dezavantajları vardır. Santrifüjle çalışırken en çok dikkat edilmesi gereken husus malın santrifüj sepetine düzgün yerleştirmesidir. Yuvarlak örgü kumaşların ön kurutmasında balon sıkmanın yaygınlaşmasıyla önemi azalan santrifüjleme, elyaf, çile iplik ve diğer parçaların ön kurutmasında tek etkili yöntemdir. Bobinlerin ön kurutması için geliştirilmiş santrifüj konstrüksiyonları da mevcuttur. Emme işlemi, emme makineleri özellikle, kırık meydana gelme tehlikesi fazla ve bastırmaya hassas olan kumaşların ön kurutmalarında kullanılmaktadır. Bunlarda enine açık durumdaki kumaş, bir veya birkaç tane emme yarığının üzerinden geçirilmektedir. Vakum pompaları yardımıyla bu yarıklardan 5000-6000 l/dk'ya kadar çıkabilen miktarlarda hava emilmektedir. Kumaş içerisinden emilen bu hava, beraberinde kumaştaki suyun bir kısmını da alıp götürmektedir. Emme için güçlü vakum pompaları gerekli olduğundan, diğer ön kurutma yöntemlerine nazaran maliyeti daha yüksektir, fakat yine de ısı enerjisiyle yapılan bir kurutmanın 1/10'u kadardır. Bu nedenle son yıllarda sıklıkla yapılan etkili bir ön kurutmadan sonra, kurutucuya girmeden önce kumaşı bir emme donatımından de geçirerek, kumaştaki ısı enerjisiyle uzaklaştırılacak suyu %15-20 kadar daha azaltma şeklindeki çalışmayı uygulayanların sayısı artmaktadır. Kılcal emme işlemi, sıkmalarda normal lastik kaplı veya çelik merdaneler yerine, üzeri binderlerle yapıştırılmış hidrofilye elyafla kaplı özel merdaneler kullanıldığında, hidrofilye emiciliği nedeniyle kumaşta kalan su miktarı %10-25 kadar daha düşük olmaktadır. Ancak kılcal emme prensibine göre çalışan bütün yöntemlerde hidrofob sentetik kumaşların ön kurutulmasında

çok iyi sonuçlar alınırken, hidrofik doğal liflerden imal edilmiş kumaşlarda aynı etki sağlanamamaktadır.

5.2.2. Esas kurutma

Esas kurutma işlemi kontakt, radyasyon, mikrodalga, yakma ve konveksiyon kurutma ile yapılır. Kontakt kurutma işlemi, sıcak bir yüzey ile kurutulacak ürünün birbirine değmesi sonucu, ısının sıcak maddeden daha soğuk olan maddeye transferi ile gerçekleşir. Işınlama(radyasyon) ile kurutma: Isının, elektromanyetik dalgalar halinde, daha sıcak olan maddeden daha soğuk olan maddeye transferi ile gerçekleşir. Yüksek frekansla/mikro dalgalarla kurutma işlemi, yüksek frekanslı alternatif akım alanında kalan su moleküllerinin, sürekli olarak yerleşim şekillerinin değişmesi sırasındaki sürtünmeyle, kurutulacak ürünün içerisinde ısı açığa çıkması (elektrik enerjisinin kinetik enerjiye, kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi) ile oluşur. Yakarak kurutma işlemi, uzaklaştırılacak sıvının bir kısmının yanıcı olması halinde, bunun buharlarının yakılmasıyla, doğrudan kurutulacak ürünün çevresinde ısı açığa çıkmasıdır. Konveksiyon kurutma işlemi, genellikle gaz halindeki bir maddedeki ısının, bu gazın kurutulacak olan ürüne değerek geçmesi sırasında ürüne, üründeki su buharının da kurutma gazına transferidir. Konveksiyon kurutma sırasında, sıcak kurutma gazının nemli tekstil ürününe teması sonucu iki taraflı bir ısı ve kitle transferi meydana gelmektedir. Sıcak kurutma gazından nemli tekstil ürününe doğru ısı transferi, nemli tekstil ürününden kurutma gazına doğru da su buharı yani kitle transferi gerçekleşmektedir. Ancak kurutulacak tekstil ürünlerinde bulunan suyun hepsi yüzeyde ve ürüne zayıf fiziksel güçlerle tutunmuş durumda bulunmadığından kurutma sırasında ısı ve kitle transferi baştan sona kadar aynı hız ve miktarda meydana gelmemektedir.

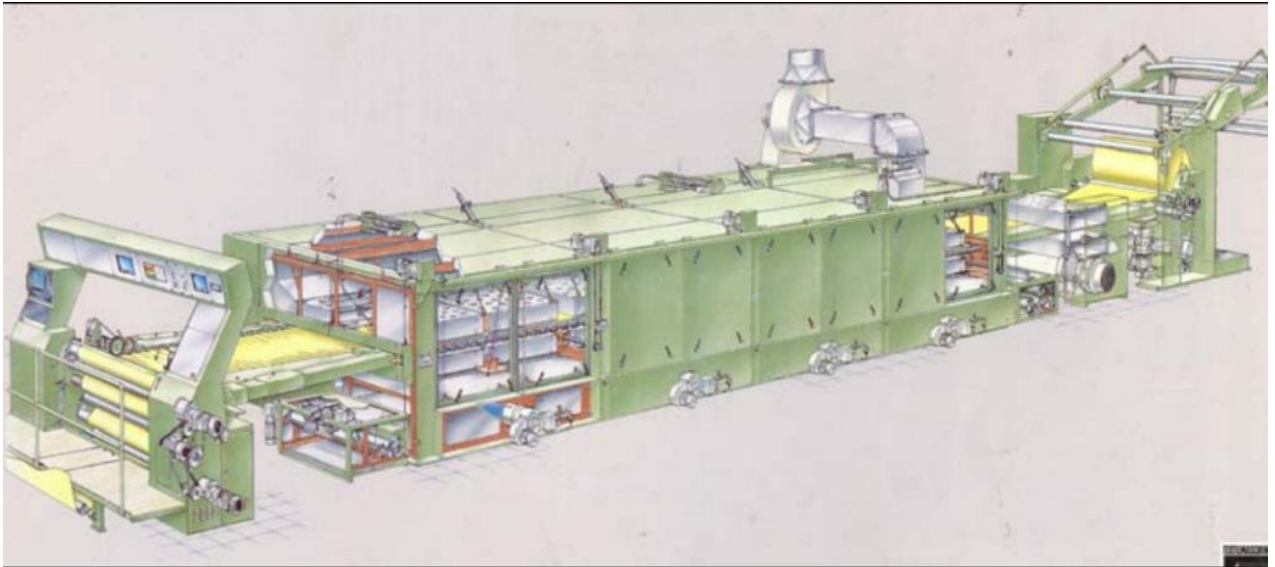
5.3 Ramöz Makinesinde Kurutma

Tekstilde herhangi bir işlem sonucu nem kazanmış ürünler, üretim aşamalarında kurutma işlemlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Ancak ürün tipine göre üründe bulunması gereken nihai nemin farklılık göstermesi ve genel olarak sıcaklıkla meydana gelebilen yapısal bozuklukların oluşmaması için kurutmanın kontrollü bir şekilde sürdürülmesi ve istenen değerler sağlandığında durdurulması gerekmektedir. Uygulamada bu amaçla esas kurutma başlığı altında incelenen, ısı transfer oluş biçimlerine göre sınıflandırılan yöntemlere göre çalışan kurutma makinaları kullanılmaktadır. Tekstilde kullanılan kurutma makineleri, gerçefli kurutucular(ramözler), taşıma bandlı ve hava yastıklı kurutucular, hot-fluelar, askılı

kurutucular ve delikli tamburlu kurutuculardır. Bu çalışmada incelenen kurutma makinesi ise katlı ramözlerdir.

Ramözler, kumaşların makine içerisinde enine bir şekilde iğne ya da paletler tarafından kenarlarından tutturulduğu, bir çift yürüyen zincirle kumaşın hareketinin sağlandığı ve bu esnada kumaşa sıcak havanın gönderildiği kurutma makinalarıdır. Ramözlerin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, tekstil ürünlerinin boyutsal formunun kontrol edilebilmesi ve kurutma, kondenzasyon ve termofiksaj işlemlerinde de kullanılabilmesi nedeniyle en çok tercih edilen kurutma makinalarıdır.

Terbiye işlemlerinde en fazla enerji tüketilen işlemlerden biri ısı enerjisiyle yapılan termofiksaj, kondenzasyon ve termosolleme işlemleridir. Ramöz makineleri tekstil terbiye işlemlerinde en çok kullanılan makinelerdir. Yalnız kurutma için değil, her türlü bitim işlemi sonrasındaki kurutma ve kondenzasyon veya kumaşların termofiksajı amacıyla da kullanılmaktadır. Birçok tekstil terbiye makinesinde olduğu gibi, ramözlerin de standart bir tipi ve büyüklüğü yoktur. Her işletme kendi işletme şartlarına uygun makineyi kendisi belirlemektedir. Ramöz makineleri seçilirken, üretim miktarı, çalışılacak maksimum ve minimum kumaş genişlikleri, çalışılacak ürün cinsi, kurutma ve termofiksaj işleminin beraber kullanılması, ısıtmada kullanılacak enerji türü, bitim işleminde boya olup olmayacağı gibi unsurlar dikkate alınmaktadır.



Şekil 5.2 Ramöz makinelerinin genel görünümü(Uçak,2010)

Ramöz, kumaşta en boy ayarının yapılabilmesi, bitim işlemleri sırasında kumaş üzerinde kimyasal madde bulunduğundan kumaşın hiçbir yere temas etmeden iki kenarından tutturularak kurutucu çıkışına kadar taşınması, etkili bir kurutma sağlanması, kurutma sırasında kumaşa çarpıtılan sıcak havanın etkisiyle kumaş tutumu ve çekmezlik değerlerinin olumlu yönde etkilenmesi gibi pek çok avantaja sahiptir.

Ramözlerde kumaşın makine içerisine taşınması ramözün iki tarafındaki büyük baklardan oluşan sonsuz zincirler yardımıyla yapılmaktadır. Zincirin baklaları üzerinde iğneler veya mandallar bulunmaktadır. Kumaş iki yanından bu iğnelere takılarak veya mandallar tarafından tutularak zincirle birlikte hareket etmektedir. Zincirler arasındaki aralığı makinenin girişinden ilk kurutma bölgesine kadar olan kısımda fazlalaştırarak kumaşın enini arttırmak mümkün olduğu gibi, bu aralığı gittikçe azaltarak kumaşın serbest şekilde enine çekmesini sağlamak mümkündür. İğneli taşıyıcı ramözlerde kumaşın boyunu da ayarlayabilmek mümkündür. Eğer kumaş makineye, zincir hareket hızından daha yüksek bir hızla sevk edilirse, zincirlere bol bir şekilde takılmakta ve kurutucudan geçerken çözgü yönünde çekerek boyu kısaltmaktadır.

Ramözlerde kumaşa istenilen en ve boy ayarı verilebilmekte, kumaştaki kırışıklıklar giderilebilmekte ve kumaş kenarındaki tutucular dışında hiçbir yere değmeden kumaş geçişi sağlanabilmektedir.

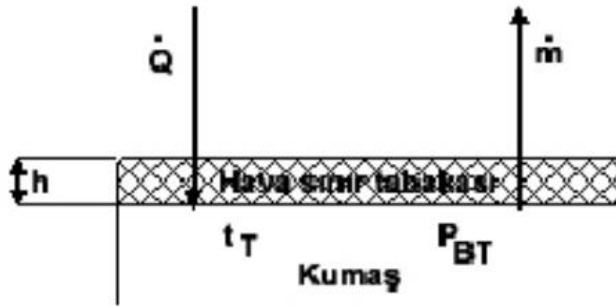
Kumaşın alt ve üst yüzeylerine düzeler vasıtasıyla püskürtülen basınçlı sıcak hava ile nemli kumaşta bulunan su, buhar haline geçmekte ve su buharı içeren hava, özel bir emme tertibatı ile kumaştan uzaklaştırılmakta ve böylece kumaş kurutulmuş olarak makineyi terk etmektedir. Ramözün çıkışında kurutulmuş tekstil mamulünün kurutma sonrası aşırı kurummasını önlemek için soğumasını sağlayan soğutma düzeneği ve sarma donanımları da bulunmaktadır. Ramözlerde 1,5-3 metre boyunda, mamul türüne bağlı olarak sayıları belirlenebilen bölmeler bulunmaktadır. İlk bölümde kumaş çok hızlı ısıtılmakta, orta bölümde sıcaklık sabit tutulmakta ve son bölümde ise daha düşük sıcaklıkta çalışılmaktadır. Bölmeler içerisinde kumaş, sadece kenarlarından tutularak hiçbir yere değmeden hava yastığı ile taşınmakta ve düzelerden kumaş yüzeyine basınçlı sıcak hava püskürtülmektedir. Kurutma sırasında basınçlı hava etkisiyle kumaştan ayrılan elyaf uçuntuları ve tozlar, özel elekli emici tertibatla ortamdan uzaklaştırılmaktadır.

Ramöz konveksiyon kurutma esasına göre çalışan bir kurutma makinasıdır. Bu kurutma yönteminde; tekstil mamulü, yalnızca ısıtılmış hava veya kurutma gazı ile temas

eder, kurutucu yüzeye temas yoktur. Bu yöntemle kurutmada, genelde ısıtılmış hava kullanılır. Tekstil mamulü bu ısıtılmış hava ile temas halindedir. Temas sırasında gazdan(ısıtılmış havadan) tekstil mamulüne ısı transferi tekstil mamulünden de gaza su buharı transferi gerçekleşir. Mamul sıcaklığı daha düşük olduğu için, havadan mamule doğru orantılı olarak bir ısı transferi oluşur. Havadan mamule geçen ısının etkisiyle, mamul üzerindeki su buharlaşır. Su buharı havaya geçer. Isı transferinin gerçekleşebilmesi için gazın daha sıcak olması gereklidir.

Tekstil mamulünde bulunan suyun tamamı yüzeyde bulunmayıp kumaşa zayıf fiziksel kuvvetlerle bağlı olduğundan, kurutma esnasındaki ısı ve kütle transferi işlem süresince aynı hız ve oranda gerçekleşmemektedir. Yüzeyde bulunan suyun kolayca uzaklaştırılması mümkün iken, liflerin içerisinde bulunan suyun kolayca uzaklaştırılması oldukça zordur.

Kumaşın yüzeyinden kurutma gazına su buharı transferi, Şekil 5.3'de gösterildiği gibi kütle transferi kanunlarına uymaktadır.



Şekil 5.3 Kumaş yüzeyinden kurutma gazına su buharı transferi (Çay, 2004)

Kurutmanın bu adımında kurutma hızı kurutucunun çalışma şartlarına (kurutma gazının sıcaklığı, hızı, su buharı basıncı, vs. gibi) bağlı olup kurutulacak mamulün özellikleri ile değişmemektedir. Isı ve kütle transferi için sadece yüzeydeki bir hava sınır tabakasının aşılması gerektiğinden, kurutma (suyun uzaklaşması) bu adımda en hızlıdır.

Kurutma ilerledikçe mamuldeki geniş ve kılcal borulardaki su emilerek yüzeye gelmekte ve yüzeyde buharlaşmaktadır. Zamanla kılcal borulardaki direnç arttığından, suyun yüzeye taşınması zorlaşmakta ve buharlaşma mamul içerisinde gerçekleşmeye başlamakta, su buharı difüzyon yolu ile yüzeye taşınmaktadır. Bu durumda suyun buharlaşarak sıcak havaya geçmesi için gerekli mesafe de büyüdüğünden kurutma yavaşlamaktadır. Bu adımda gerek ısı, gerekse kütle transferi için, sıcak havanın hem hava sınır tabakasını, hem de mamulün

kurumuş olan kısmını yani yüzey ile mamul içerisinde buharlaşmanın meydana geldiği nokta arasındaki mesafeyi de geçmesi gerekmektedir. Dolayısıyla ısı iletimi ve difüzyon için aşılması gereken yol, buharlaşmanın meydana geldiği nokta mamulün içerisine doğru ilerledikçe artmaktadır. Kütle ve ısı transferi eşitliklerinde, kütle ve ısı transferi katsayılarının yerini, ısı geçirgenliği ve buhar geçirgenliği katsayıları almaktadır.

Kullanılan ısı miktarı üzerinde kurutma işleminin hangi hızda gerçekleştiği önemli bir yer tutmaktadır. Kurutma hızının verimli olarak gerçekleşebilmesi için kumaşın özellikleri, kumaşı kurutacak olan havanın hızı ve sıcaklığı, işlem sırasındaki su buharı basıncı etkili parametrelerdir.

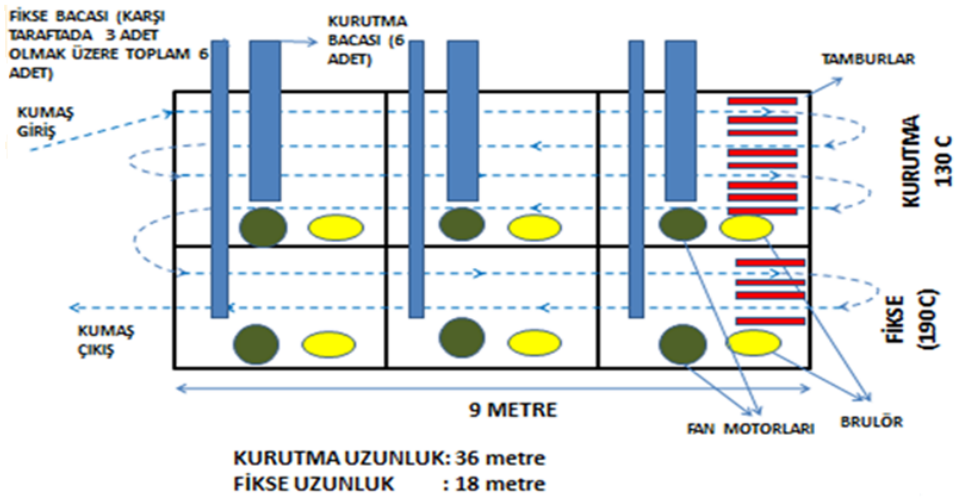
Yün ve yünlü mamüllerin kurutulmasında liflerin zarara uğramaması için düşük sıcaklıklarda yavaş hava akımı ile kurutma yapılması gerektiğinden, kurutucu içerisinde konstrüksiyonuna göre kumaşın bir veya birkaç kez yön değiştirdiği ve giriş kısmından çıktığı katlı ramözler geliştirilmiştir. Bu nedenle özellikle ağır yünlü kumaşların kurutulması için katlı ramözler de imal edilmektedir. Katlı ramözlerde genellikle kumaşın girişi ve çıkışı aynı yönde olduğundan, bunları bir işçi rahatlıkla çalıştırabilmektedir. Halbuki düz ramözlerin çalıştırılması için normal olarak iki işçi gerekmektedir.

Şekil 5.4'de yer alan fotoğrafta YÜNSA işletmesinde incelenen katlı ramöz makinesinin görünümü yer almaktadır.



Şekil 5.4 Yünsa işletmesindeki katlı ramöz makinesinin görünümü

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi incelenen katlı ramöz makinesinde kurutma işlemi 130° C'de, fikse işlemi ise 190° C'de gerçekleşmektedir. Ramöz makinesinin uzunluğu 9 metredir. Kumaş kurutma kısmında 4 tur ve fikse kısmında 2 tur geçmektedir ve bir seferde makine içine 54 metre kumaş almaktadır. Düz ramöz makinelerinden farklı olarak kumaş giriş ve çıkışları aynı taraftan olmaktadır. Kurutma ve fikse bölümlerinin bacaları ayrı ayrı çatıya doğru uzanmakta, çatı kısmında yatay bir boru ile birleşerek atık hava bu ortak borudan atmosfere atılmaktadır.



Şekil 5.5 Yünsa işletmesindeki katlı ramöz makinesinin kesit görünümü

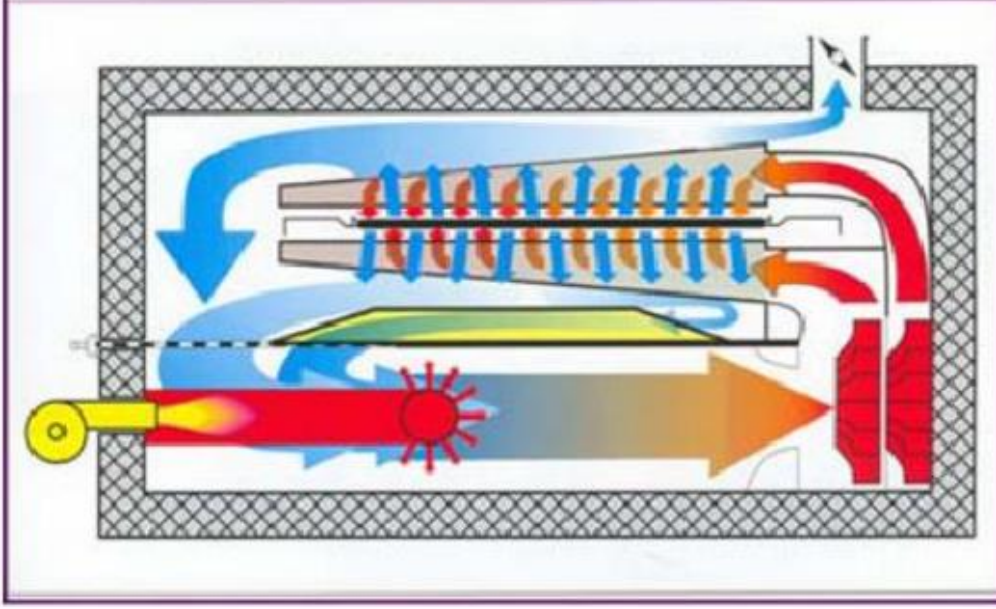
Katlı ramöz makinelerinde her bir kabinde yer alan düzelerin yerleşimi Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 Yünsa işletmesindeki katlı ramöz makinesinin iç kısmı

5.4 Ramöz Makinesinde Sıcak Havanın Eldesi

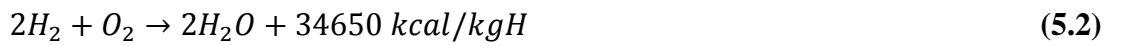
Ramöz makinesinde sıcak hava kabinlerdeki karışım odasında elde edilir. Şekil 5.7’de görüldüğü gibi brülörden çıkan yanma gazları kabin dönüş havası ve temiz hava ile karışarak fan yardımıyla kumaş üzerine gönderilir.



Şekil 5.7 Ramöz makinesinde karışım odası(Uçak,2010)

Yanma, bir yakıtın hava ile oksitlenmesi sonucu ısının açığa çıktığı kimyasal bir işlemdir. Yakıtın bileşiminde esas olarak karbon (C) ve hidrojen (H_2) bulunur. Karbonun yanması, iki kademedede tamamlanır. İlk kademedede karbon monoksit (CO), ikinci kademedede ise CO_2 oluşur.

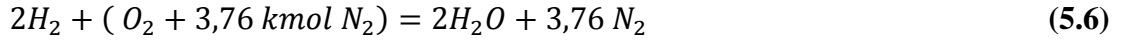
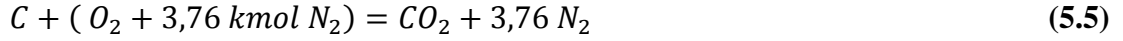
Tam yanma, yakıt tamamen yandığında, içerisindeki karbon (C), karbondioksit CO_2 , hidrojen (H_2) su buharına (H_2O), kükürt(S) kükürtdioksit (SO_2) dönüşmektedir.



Eksik yanma, yanma işleminde karbonun(C) yanması için yeterli oksijen ve şartlar sağlanamazsa yakıt içindeki karbon (C), karbonmonoksit (CO) dönüşmektedir.



Yanma işlemlerinde serbest ve kolay elde edilme gibi nedenlerle, en sık kullanılan oksitleyici havadır. Hava hacimsel olarak %21 oksijen, %79 azottan oluştuğu için gerekli olan 1 kmol oksijen için 3,76 kmol azotta yanma işlemine katılır.



Yanma kontrolünde CO – O₂ – CO₂ ilişkisi:

Yanma gazlarında bulunan oksijen (O₂) miktarı, yanma işleminde kullanılan fazla havanın bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Yanma gazları zirkonyum oksit proplu bir analizöre gönderilerek oksijen, bundan yararlanılarak da fazla hava miktarı hesaplanır. Yakın zamanda yanma gazlarındaki oksijen yerine karbon monoksit (CO) miktarı üzerinde durulmaya başlandı. Böylece çıkış gazlarındaki SO₂, CO₂, azot oksitleri, vs. gibi tüm gazların saptanması mümkün olabildi.

Yanma denklemlerinden görüleceği üzere, yetersiz oksijen sonucu karbonun karbondioksite dönüşmeden, karbon monoksit halinde kalmasıyla kaybedilen enerji miktarı %70 mertebesinde olmaktadır. Bu kaygıyla, mükemmel yanmanın sağlanması için, genel bir kural olarak yakıtı verilen hava belirli oranda artırılmaktadır. Buna hava fazlalık katsayısı denilmektedir. Yakıt cinsine bağlı olarak değişen bu katsayının gereğinden az olması halinde karbon monoksit oluşmakta, üretilen enerji azalmakta, islilik başlamakta, yanma verimi düşmekte, söz konusu hava fazlalık katsayısının gereğinden fazla olması halinde ise karbon monoksit azalırken, yanmaya iştirak etmeyen hava ocakta ısıtılarak bacadan atılmakta, yanma bozulmakta, yanma verimi düşmektedir. Bu nedenle, işletme sırasında yanmanın optimizasyonu için baca gazı analizörleri yardımıyla, baca gazı bileşenleri kolayca elde edilip değerlendirilebilmekte, brülör ve kazanlara anında müdahale edilebilmektedir.

Tüm kazanlarda baca gazı kompozisyonu düzenli şekilde incelenmeli özellikle yanma kontrolü için O₂, CO₂ ve baca gazı sıcaklığı ölçülmelidir. Tam yanmanın sağlanması şartıyla fazla havanın minimum seviyede tutulması için gerekli kontrolün ve ayarlamaların sürekli yapılması gereklidir. Fazla hava miktarı gereğinden çok olursa, baca gazı miktarını arttırır ve artan bu miktardaki hava baca gazı sıcaklığına kadar ısınıp enerji alacağından daha fazla ısının bacadan dışarı atılmasına neden olur. Ayrıca baca gazı miktarının artması gaz debisinin

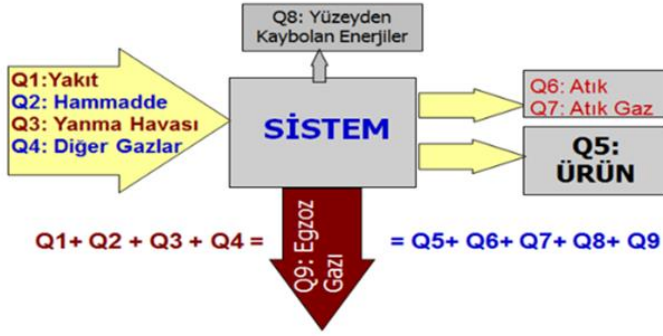
dolayısıyla hızının artmasına ve ısı transferinin düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı fazla hava miktarının mümkün olan en düşük seviyede tutulması gerekmektedir. Bunu sağlama için hava ayarı yapılarak oksijen miktarı en düşük seviyeye getirilmelidir. Bu durumda bacada duman oluşmaya başlarsa yakma elemanlarında gerekli bakım yapılmalıdır.

Oksijen, yakıt cinsine ve hava fazlalık katsayısına bağlı olarak, karbon monoksit oluşumuna neden olmayacak şekilde, baca gazları içerisinde oksijen oranının mümkün olduğunca düşük olması istenmektedir. Doğalgazda %2-3, sıvı yakıtta %3-4, katı yakıtta %5-6 oksijen oranı baca gazı analizleri için ideal değerler olarak kabul edilmektedir.

Karbondioksit, yakıt cinsine bağlı olarak karbondioksitin baca gazları içerisinde yüksek oranda bulunması tercih nedeni olmaktadır. Doğalgazda %11, sıvı yakıtta %14, katı yakıtta %14 karbondioksit değerleri, baca gazı analizleri için uygun mertebeler olarak söylenebilmektedir. Konumuzla direkt ilgili olmamakla birlikte, iyi bir yanmanın doğal sonucu olarak baca gazlarında yüksek oranda arzu edilen karbondioksit atmosferde neden olduğu sera etkisiyle son yıllarda emisyon kabul edilmektedir. Burada çözüm, düşük karbon oranlı, yüksek hidrojen ihtiva eden yakıtların yaygınlaşması ve fosil yakıt kullanımının zaman içerisinde sınırlandırılmasıyla mümkün görülmektedir.

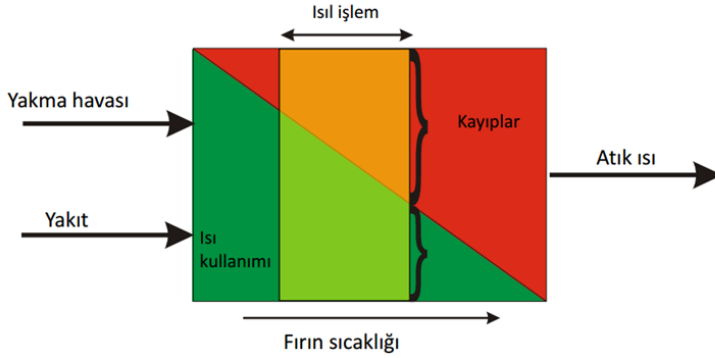
5.5 Isı Geri Kazanım Sistemi

Endüstride yüksek ısı üreten ve tüketen birçok proseste mutlaka dışarı atılması gereken ve herhangi bir yöntemle önüne geçilemeyen bir enerji oluşmaktadır. Bu şekilde endüstriyel tüketimin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde dış ortama salınmaktadır. Dış ortama atılan atık gazlar önemli miktarda enerji potansiyeli taşımakta olup, ciddi enerji kayıpları oluşturmaktadır. Ayrıca proses sonrası dış ortama salınan bu ısı verildiği çevreye lokal düzeyde zararlar vermektedir. Günümüzde farklı ısı geri kazanım uygulamaları ile bu kayıp enerjinin bir kısmı geri kazanılmaktadır. Isı geri kazanım sistemleri ile birlikte geri dönüşüm prosesi öncelikle yakıt tasarrufu ve verimlilikte oldukça etkili olup maliyet düşürücüdür. Açığa çıkan atık ısı enerjisi geri dönüşümlü olduğu için hava kirliliğini ve termal kirliliği önemli ölçüde azaltmaktadır. Atık ısı geri kazanımında verim elde edilebilmesi için sistem tasarım ve uygulamasında geri kazanılacak enerji potansiyelin tespit edilmesi gereklidir. (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi). Bu amaçla ısı geri kazanım sistemleri kurulmadan önce sisteme verilen enerji ve kütlenin miktarı ile sistemden çıkan enerji ve kütlenin miktarı arasında bir denklik kurulmalıdır. Isı geri kazanım sistemlerinde kurulan denklik bağıntısı Şekil 5.8'de verilmiştir.



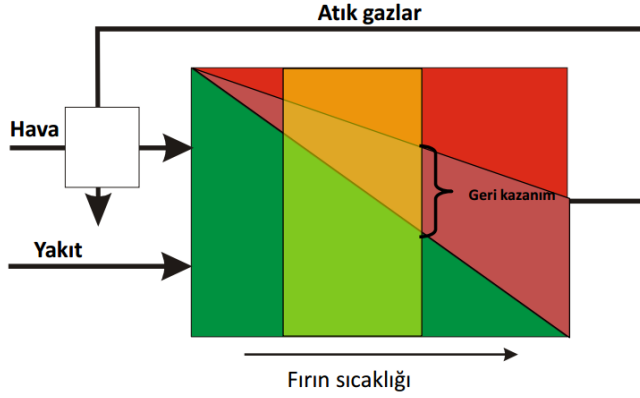
Şekil 5.8 Sisteme verilen enerji ile kütle miktarı arasındaki denklik

Isı geri kazanım sistemlerinde tekrar kullanılan kayıp enerjiler Şekil 5.9' dan görüleceği gibi yakma havası ve yakıt olarak sisteme başlayan ısıl işlem sonucunda son olarak atmosfere atılan kısım atık ısıdır. Herhangi bir işleme tabi olmadığından açığa çıkan tüm ısı atık olarak değerlendirilmekte ve büyük kayıplara neden olmaktadır.



Şekil 5.9 Isıl işlem sonucunda atmosfere atılan atık ısı (Enerji verimliliği kongresi-2011)

Şekil 5.10' da ise geri kazanım sistemi uygulaması ile atık ısının yaklaşık yarısının atık olmaktan çıkarılıp sisteme geri kazandırılabilceğini göstermektedir.



Şekil 5.10 Atık ısıdan geri kazanım (Enerji verimliliği kongresi-2011)

Isı geri kazanım uygulamalarının en çok uygulanan yöntemlerinden birisi, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimidir. Bu değişimin yapıldığı cihazlar genelde ısı değiştiricileri olarak adlandırılmaktadır. Isıtma, soğutma, alternatif enerji kaynaklarının kullanımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Isı değiştiricileri olarak genelde boru ve plaka tip ısı değiştiricileri kullanılmaktadır. Isı değiştiricileri ile atık sıcak akışkan ısısı sızdırmaz bir yüzeyle soğuk akışkana aktarılması sağlanır. Isı değiştiricileri içinde yoğuşma ve buharlaşma gibi faz değişimi yoksa duyulur ısı değiştiricileri olarak adlandırılır. Faz değişimi olanlara ise gizli ısı değiştiricileri adı verilir. Çoğunlukla ısı değiştiricilerinde akışkanlar, birbiriyle karıştırılmadan ısı geçişinin doğrudan yapıldığı genelde metal malzeme olan katı yüzey ile birbirinden ayrılmaktadır. Bu tip ısı değiştiricilerine yüzeyli ısı değiştiricileri denir. Dolgu maddeli ısı değiştiricilerinde ise ısı geçişi doğrudan olmayıp, ısı önce sıcak akışkan tarafından döner ve sabit dolgu maddesine verilerek depo edilir ve ısı soğuk akışkana verilir.

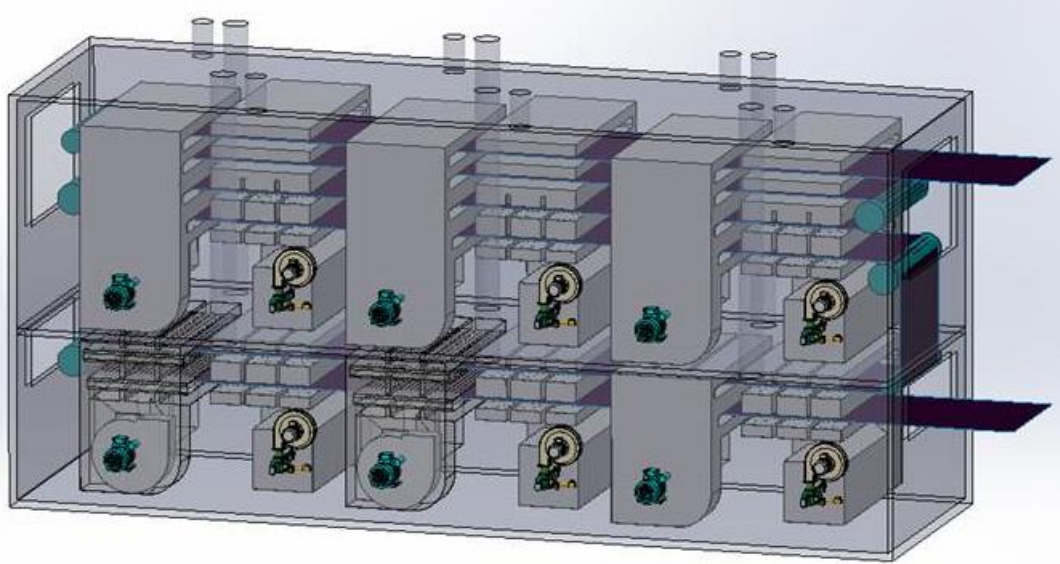
Tekstil terbiye işletmelerinde ısı değiştiricileri, sıcak atık flottelerin ısı geri kazanımı için ve sıcak atık kurutma havasından ısı geri kazanım için kullanılabilir. İşletme şartları için uygun ısı geri kazanım yönteminin belirlenmesinden önce, kullanılacak ısı değiştiricisinin işlem gereksinimleri dikkate alınmalıdır. Bu gereksinimler, uygulanacak maksimum basınç, operasyon sıcaklık aralığı, akışkan sınırlamaları, boyut aralıkları gibi başlıklardır.

Bu çalışmada, ramöz makinesinin bacasından dışarıya atılan sıcak ve nemli havanın içerdiği ısı enerjisinden faydalanarak ramöz makinesine giren temiz havanın ısıtılması için gövde borulu ısı geri kazanım eşanjörü tasarımı yapılmıştır. Isı geri kazanımının yakıt tüketimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

6. MATERYAL VE YÖNTEM

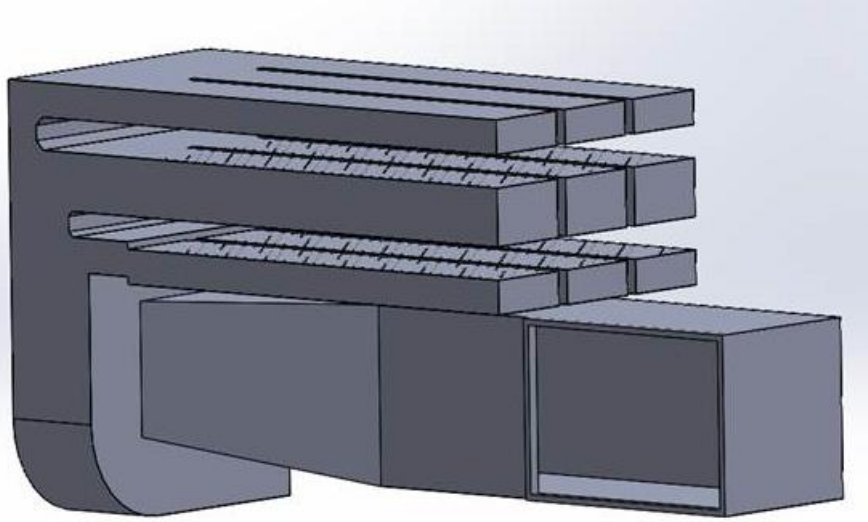
6.1 Yünsa İşletmesi Ramöz Makinesi

Tez çalışması kapsamında incelenen Brückner marka katlı ramöz makinesi 9 metre uzunluğunda ve 6 kabinden oluşmaktadır. Üst kabinlerde kurutma işlemi, alt kabinlerde ise fikse işlemi yapılmaktadır. İşlem uygulanacak kumaşın giriş ve çıkış noktası aynı taraftadır. Kurutma ve fikse işlemi için kumaş makine içinde 6 tur dönmektedir. Bu sayede bir seferde makine içine 54 metre kumaş alınabilmektedir. Ramöz makinesinde kumaş geçişleri ve kabinlerin iç yapısı Şekil 6.1.'de verilmiştir.



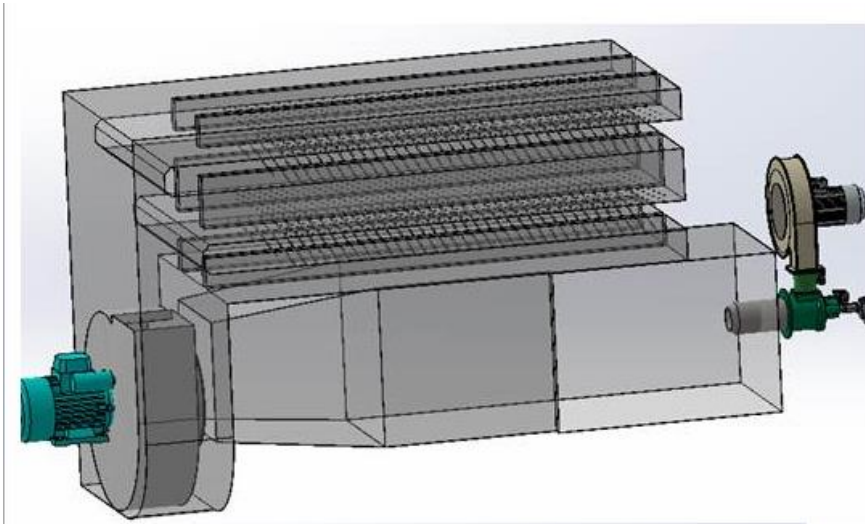
Şekil 6.1. Ramöz makinesi genel görünümü

Ramöz makinesi içinde kurutma havasının homojen bir biçimde dağılmasını sağlayan üzerinde delik ya da yarıklar olan yapıya düze ismi verilmektedir. Çalışmada kullanılan ramöz makinesinin düze yapısı şekil 6.2' de verilmiştir.



Şekil 6.2 Düzelerin görünümü

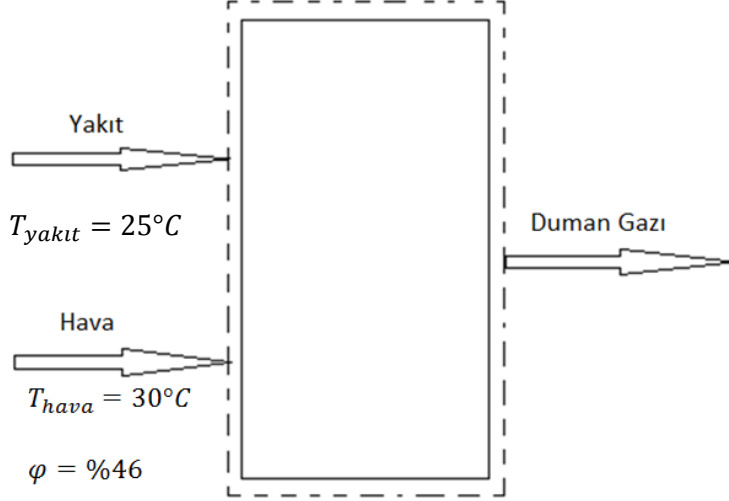
Her bir kabinde bir adet brülör ve bir adet fan bulunmaktadır. Brülörden çıkan yanma gazları, kabin dönüş havası ve temiz hava ile karışarak, fan yardımıyla düzelerin üzerinde yer alan deliklerden kumaşın üzerine üflenir. Kabinler için brülör ve fanın yerleşimi şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3 Brülör ve fanın düze üzerine yerleşimi

6.2 Yanma Analizi

Brülörde kullanılan yakıt doğalgaz olup, doğalgaz bileşen oranları işletmede baca gazından yapılan ölçüm sonuçlarından; $CH_4 = \%86$, $C_2H_6 = \%5$, $C_3H_8 = \%2$, $C_4H_{10} = \%1,5$, $N_2 = \%3$, $CO_2 = \%2,5$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.4 Yakıt analizi ve hava yakıt oranı

Yanma havası fabrika ortamından alınmış olup ortalama $30^{\circ}C$ ve $\%46$ bağıl nem değerine sahiptir. $4,76$ kmol yakma havası ile reaksiyona giren H_2O miktarı aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

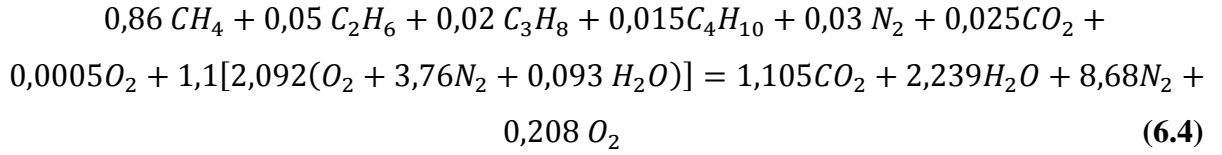
$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v}{P_g} = \frac{y_{H_2O} \cdot P}{P_g} \quad (6.1)$$

$$y_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_h} \quad (6.2)$$

$$\phi = \left(\frac{n_{H_2O}}{n_h} \right) \cdot \left(\frac{P}{P_g} \right) \quad (6.3)$$

$P = 100$ kPa , $P_{g,30^{\circ}C} = 4,25$ kPa , $n_h = 4,76$ kmol değerleri kullanılarak yakma havası içindeki su buharı mol sayısı, $n_{H_2O} = 0,093$ kmol olarak bulunmuştur.

Bileşimi verilen doğalgazın $\%10$ fazla hava ile yanması durumundaki yanma denklemi denklem (6.4)'deki gibi elde edilmiştir.



6.2.1. Adyabatik alev sıcaklığının bulunması

Hiçbir iş etkileşimi olmadığında kinetik ve potansiyel enerjide herhangi bir değişme olmadığında, yanma işleminde ortaya çıkan kimyasal enerji ya çevreye ısı olarak verilir ya da yanma ürünlerinin sıcaklıklarını yükseltme için kullanılır. Çevreye hiç ısı kaybının olmadığı sınır halinde, ($Q=0$), ürünlerin sıcaklıkları tepkimenin adyabatik alev sıcaklığı veya adyabatik yanma sıcaklığı denilen maksimum değerine ulaşır. (Çengel, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik Kitabı, 2012).

Bu durumda adyabatik alev sıcaklığı,

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma H_{\dot{c}} - \Sigma H_{\dot{g}} \quad (6.5)$$

eşitliğinde $\dot{Q} = 0$ ve $\dot{W} = 0$ konularak bulunabilir. Buradan;

$$\Sigma \dot{H}_{\dot{c}} = \Sigma \dot{H}_{\dot{g}} \quad (6.6)$$

veya

$$\Sigma n_{\dot{c}}(\bar{h}_f^{\circ} + \bar{h} - \bar{h}^{\circ})_{\dot{c}} = \Sigma n_{\dot{g}}(\bar{h}_f^{\circ} + \bar{h} - \bar{h}^{\circ})_{\dot{g}} \quad (6.7)$$

elde edilir.

Çizelge 6.1’de gösterilen entalpi değerleri kullanılarak,

$1,105 h_{CO_2} + 2,239 h_{H_2O} + 8,68 h_{N_2} + 0,208 h_{O_2} = 953266 \text{ kJ}$ elde edilir. Eşitliğin sağlandığı adyabatik alev sıcaklığı deneme yanılma yoluyla 2160 K olarak bulunmuştur.

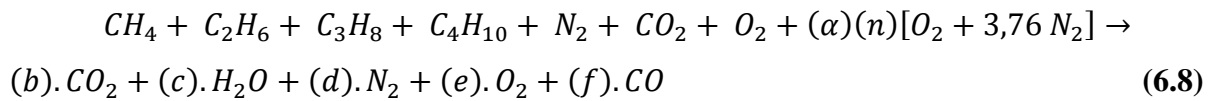
Çizelge 6.1 \bar{h}_f° ve \bar{h} değerleri (Çengel, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik Kitabı, 2012)

	\bar{h}_f°	\bar{h}_{298K}	\bar{h}_{303K}
Madde	<i>kJ/kmol</i>	<i>kJ/kmol</i>	<i>kJ/kmol</i>
CH_4	-74873	-	-
O_2	0	8682	8824
N_2	0	8669	8810
H_2O	-241827	9904	10066
CO_2	-393522	9364	-
C_2H_6	-84667	-	-
C_3H_8	-103847	-	-
C_4H_{10}	-126148	-	-

6.2.2. Kimyasal denge sabiti ile reaksiyon denkleminin elde edilmesi

Metanın yanma reaksiyonu tersinmez(geri dönüşümsüz) reaksiyon olduğundan, reaksiyonun ürünler yönüne geri dönüşümü mümkün değildir. Ancak oluşan ürünler kısmında CO_2 'nin CO ve O_2 'ye dönüşümü söz konusudur.

Bu durumda yanma denklemi denklem (6.8) ve denklem (6.9)'daki gibi yazılır.



CO_2, CO ve O_2 'den oluşan ideal gaz karışımındaki kimyasal denge için denge sabiti denklem (6.10) ile tanımlanır.

$$K_p = \frac{y_{CO} \cdot y_{O_2}^{1/2}}{y_{CO_2}} \quad (6.10)$$

2160 K'deki $CO_2 \leftrightarrow CO + O_2$ reaksiyonu için $\ln K_p = -5,42$ (Çengel, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik Kitabı, 2012, Termodinamik A-28 tablosu) değeri okunarak $K_p = 4,42 \cdot 10^{-3}$ olarak hesaplanır.

Çizelge 6.2 Ürünler tarafındaki tersinir reaksiyonun değişim tablosu

	CO ₂	CO	O ₂
İlk durum	1,105	0	0,208
Değişim	-x	x	$\frac{x}{2}$
Son durum	1,105-x	x	$\frac{x}{2} + 0,208$

Denklem (6.8)'deki bileşenlerin denge kurulduktan sonraki mol yüzdeleri Çizelge 6.2'deki değişimler dikkate alınarak hesaplanmıştır.

$$y_{CO_2} = \frac{1,105-x}{n_T} \quad (6.11)$$

$$y_{CO} = \frac{x}{n_T} \quad (6.12)$$

$$y_{O_2} = \frac{x+0,416}{2n_T} \quad (6.13)$$

$$n_T = 1,105 - x + x + \frac{x}{2} + 0,208 + 8,68 + 2,239 = 12,23 + \frac{x}{2} \quad (6.14)$$

Denklem (6.10)'da değerlerin yerine konulmasıyla $x = 0,032$, $b = 0,968$, $f = 0,032$, $e = 0,216$ bulunur.

Bu durumda gerçek yanma denklemi denklem (6.15)'deki gibi elde edilir.

$$0,86 CH_4 + 0,05 C_2H_6 + 0,02 C_3H_8 + 0,015 C_4H_{10} + 0,03 N_2 + 0,025 CO_2 + 0,0005 O_2 + 1,1 [2,092 (O_2 + 3,76 N_2 + 0,093 H_2O)] = 0,968 CO_2 + 2,239 H_2O + 8,68 N_2 + 0,216 O_2 + 0,032 CO \quad (6.15)$$

1 kmol yakıtın yanması ile oluşan kuru duman gazının toplam kütlesi duman gazını oluşturan bileşenlerin mol sayısı ve molekül kütlesinin çarpımı ile bulunur.

$$m_{KDG} = \sum n_i \cdot M_i \quad (6.16)$$

$$m_{KDG} = n_{CO_2} \cdot M_{CO_2} + n_{N_2} \cdot M_{N_2} + n_{O_2} \cdot M_{O_2} + n_{CO} \cdot M_{CO} \quad (6.17)$$

$$m_{KDG} = 293,44 \text{ kg}_{DG}/\text{kmol}_{\text{yakıt}} \quad (6.18)$$

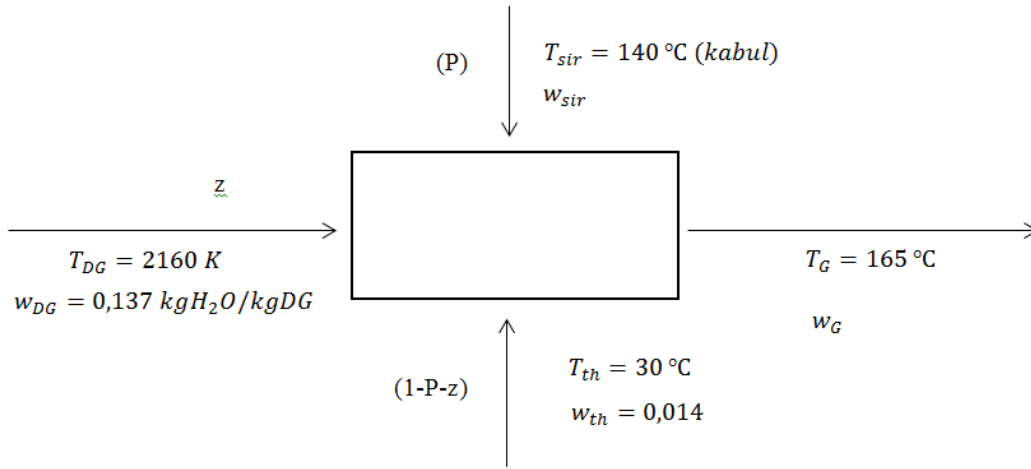
Duman gazı içindeki su buharı oranı denklem (6.19)'da verilmiştir.

$$w_{DG} = \frac{m_{H_2O}}{m_{KDG}} \quad (6.19)$$

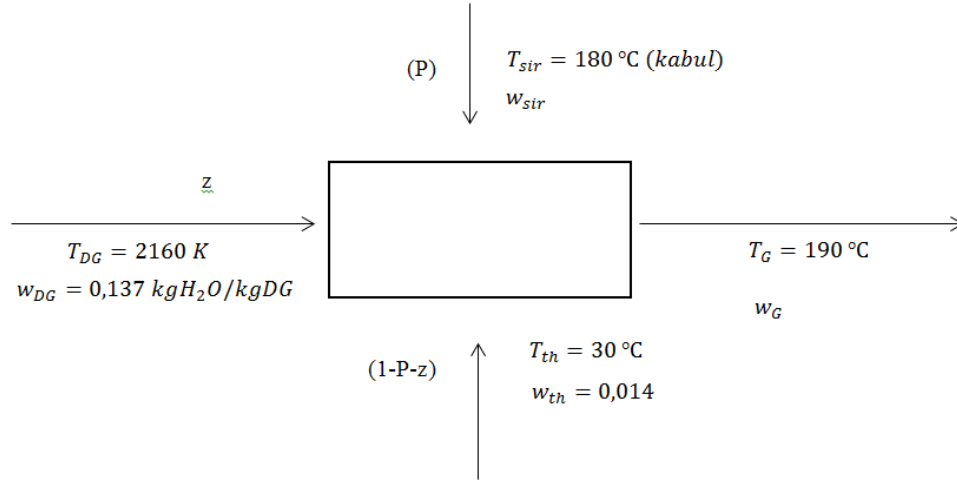
$$w_{DG} = \frac{2,239.18}{293,44} = 0,137 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{DG} \quad (6.20)$$

6.3 Adyabatik Karışım Odası Analizi

Ramöz kabinlerinde yanma işlemi sonucundaki duman gazı, sirkülasyon havası ve dışarıdan sızan temiz hava ile adyabatik karışım odasında karıştırılarak kumaş üzerine gönderilir. Sirkülasyon havası kurutma kabininden çıkan sıcak ve nemli havanın karışım odasına dönen kısmını göstermektedir. Sirkülasyon hava oranının artması temiz havaya göre sıcaklığının fazla olması nedeniyle yakıt tüketimini azaltırken, içindeki nem miktarı nedeniyle yakıt tüketimi üzerinde ters etki yaratmaktadır. Bu yüzden bu oranın optimum değerinin kullanılması gerekir. Karışım odası akış özellikleri kurutma ve fikse kabinleri için Şekil 6.5 ve Şekil 6.6 de verilmiştir.



Şekil 6.5 Kurutma kabinleri akış özellikleri



Şekil 6.6 Fikse kabinleri akış özellikleri

6.3.1 Adyabatik karışım odası toplam kütle dengesi

Adyabatik karışım odası için toplam kütle dengesi denklem (6.21)'de gösterilmiştir.

$$\dot{m}_G = \dot{m}_{KDG} + \dot{m}_{sir} + \dot{m}_{th} \quad (6.21)$$

Burada \dot{m}_G kurutma kabinine giren kuru havanın kütle debisi olup kuru temiz hava, kuru sirkülasyon havası ve duman gazı kütlelerinin \dot{m}_G 'ye oranı denklem (6.22, 6.23, ve 6.24)'de tanımlanmıştır.

$$z = \frac{\dot{m}_{KDG}}{\dot{m}_G} \quad (6.22)$$

$$P = \frac{\dot{m}_{sir}}{\dot{m}_G} \quad (6.23)$$

$$1 - P - z = \frac{\dot{m}_{th}}{\dot{m}_G} \quad (6.24)$$

Karışım odası su buharı dengesi denklem (6.25) ile gösterilmiştir.

$$z \cdot w_{DG} + (1 - P - z) \cdot w_{th} + P \cdot w_{sir} = w_G \quad (6.25)$$

6.3.2 Adyabatik karışım odası enerji dengesi

Adyabatik karışım odası enerji dengesi için Termodinamiğin 1.Kanunu kinetik enerji ve potansiyel enerji ihmal edilerek yazılmıştır.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Delta \dot{H} \quad (6.26)$$

$$\Delta H = 0 \quad (\dot{Q} = 0, \dot{W} = 0) \quad (6.27)$$

$$\Sigma \dot{H}_g = \Sigma \dot{H}_\zeta \quad (6.28)$$

$$\dot{m}_{sir} \cdot h_{sir} + \dot{m}_{DG} \cdot h_{DG} + \dot{m}_{th} \cdot h_{th} = \dot{m}_G \cdot h_G \quad (6.29)$$

$$h_G = P \cdot h_{sir} + z \cdot h_{DG} + (1 - P - z) \cdot h_{th} \quad (6.30)$$

Nemli havanın entalpi değeri, kuru havanın entalpisi ile su buharının entalpisinin toplamıyla bulunur.

$$h = c_p \cdot T + w \cdot h_g \quad (6.31)$$

Denklem (6.31) , h_{sir} ve h_{th} için yazılıp denklem (6.30)'da yerine konularak,

$$P \cdot (c_{p,sir} \cdot T_{sir} + w_{sir} \cdot h_{g,sir}) + z \cdot h_{DG} + (1 - P - z) \cdot (c_{p,th} \cdot T_{th} + w_{th} \cdot h_{g,th}) = (c_{p,G} \cdot T_G + w_g \cdot h_{g,G}) \quad (6.32)$$

elde edilir.

Duman gazının entalpi değeri duman gazı adyabatik alev sıcaklığı olan 2160 K'de ideal gaz karışımı olarak kabul edilerek bulunur.

Denklem (6.31) ile gösterilen nemli havanın entalpi bağıntısında 0°C referans değeri kullanılmaktadır. İdeal gaz tablolarında (Çengel, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik Kitabı, 2012) ideal gazlara ait özellikler 0 K referans değerine göre verilmiştir. Entalpi hesaplamalarının tamamında 0°C referans değerinin kullanılması için ideal gaz tablolarından okuduğumuz değerler 0°C referans değerine göre düzeltilmiştir.

Bu durumda baca gazı içindeki i bileşenine ait entalpi değeri

$$\bar{h}_i = \bar{h}_{2160} - \bar{h}_{273} \text{ kJ/kmol ve} \quad (6.33)$$

Toplam entalpi değeri:

$$H = n_i \cdot \bar{h}_i \quad (6.34)$$

şeklinde bulunur.

Su buharının entalpisi için 0°C doymuş sıvı hali referans olarak alınmış olup denklem (6.35) ile hesaplanmıştır.

$$\bar{h}_{H_2O} = \bar{h}_{2160} - \bar{h}_{273} + (hfg_{0^\circ C}) \cdot (M_{H_2O}) \quad (6.35)$$

Duman gazının toplam entalpisi bileşenlerin entalpi toplamına eşittir.

$$H_{DG} = H_{CO_2} + H_{H_2O} + H_{N_2} + H_{O_2} + H_{CO} \quad (6.36)$$

$$H_{DG} = n_{CO_2} \cdot \bar{h}_{CO_2} + n_{H_2O} \cdot \bar{h}_{H_2O} + n_{N_2} \cdot \bar{h}_{N_2} + n_{O_2} \cdot \bar{h}_{O_2} + n_{CO} \cdot \bar{h}_{CO} = 942830$$

$$kj/kmol_{yakıt} \quad (6.37)$$

Duman gazının birim kütle için entalpi değeri Denklem (6.18)'de elde edilen duman gazı kütlesine bölünerek bulunur.

$$h_{DG} = \frac{H_{DG}}{m_{DG}} = \frac{942830}{293,44} = 3213 \text{ kj/kg}_{DG} \quad (6.38)$$

Sirkülasyon havasının mutlak nem değeri her bir kabinde buharlaşan su miktarı kullanılarak denklem (6.39) ile bulunur.

$$w_{sir} = \frac{\dot{m}_{BT}}{\dot{m}_H} + w_G \quad (6.39)$$

6.4 Kurutma Analizi

6.4.1 Kumaş sıcaklık ve nem değerleri

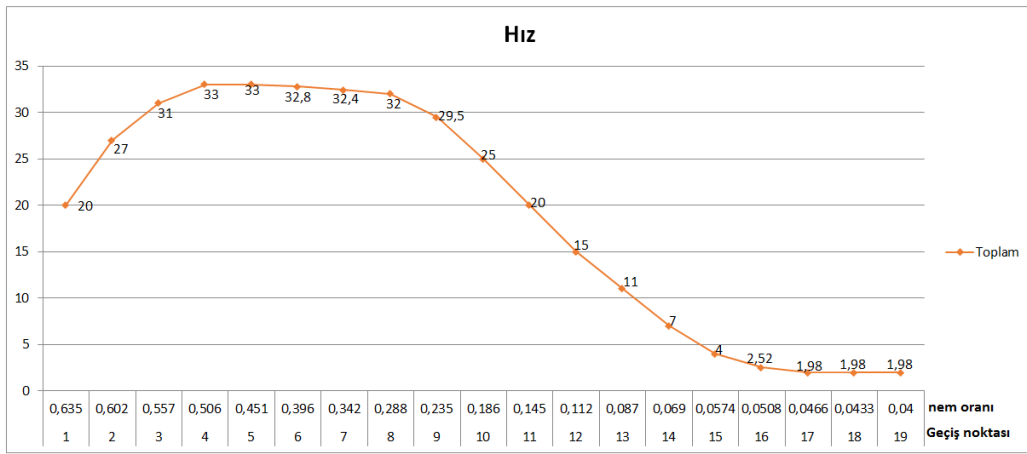
Ramöz makinesi içinde kumaş, kurutma bölümünde 4 tur, fikse kabininde 2 tur olmak üzere 6 tur yapar. Kumaş 6 tur işlem gördükten sonra makine çıkış noktasından dışarı çıkar.

Kumaşın kabinlerden geçişi esnasında buharlaşmayı hesaplamak için makine 18 kısma ayrılmıştır. İki numara arası bir kumaş geçiş bölümü olarak adlandırılmıştır. Kumaşın geçtiği her bir noktanın numaralandırılması Şekil 6.7'de verilmiştir.

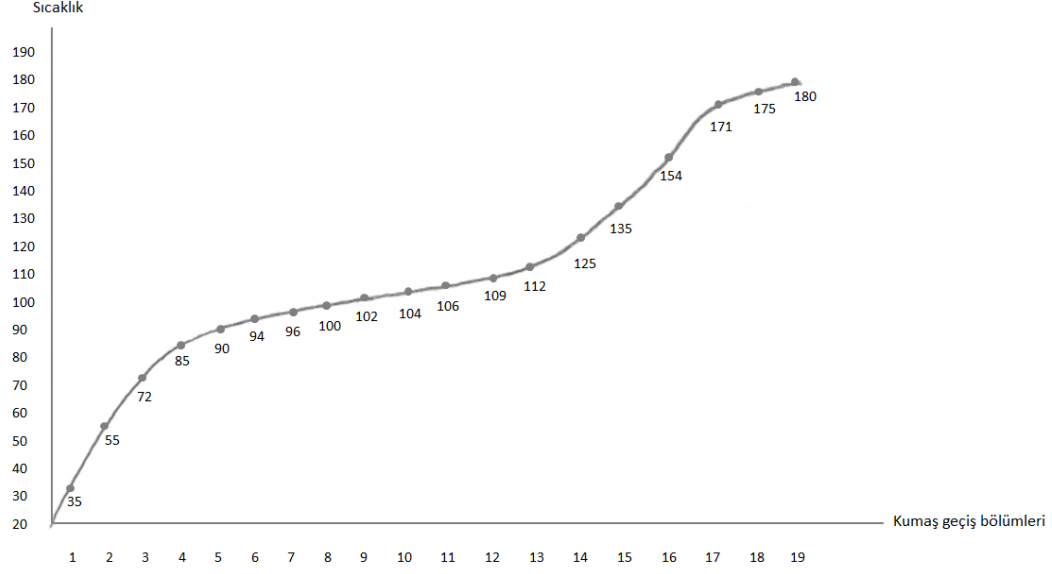


Şekil 6.7 Kumaş geçiş bölümleri

Makine içindeki her bir noktada kumaş üzerindeki nem ve sıcaklık değerleri ölçülememektedir. Yalnızca kumaşın ramöz makinesine girdiği ve çıktığı anlardaki nem ve sıcaklık değerleri ölçülebilmektedir. Makine giriş ve çıkışında kumaş üzerinde sıcaklık ve nem değerleri $T_{kg} = 35^{\circ}C$, $T_{kç} = 180^{\circ}C$, $x_{kg} = 0,635$, $x_{kç} = 0,04$ olarak ölçülmüştür. Yünlü kumaşın Şekil 6.7’de gösterilen geçiş noktalarındaki sıcaklık ve nem değerlerinin belirlenmesi için literatürden faydalanılmıştır. Sıcaklık grafiği için (Xue, Georgia İnstitute of Technology,2004), nem grafiği için (Çay, Tarakçıoğlu, Hepbaşı, Drying Technology,2010) kullanılarak Şekil 6.8 ve Şekil 6.9 oluşturulmuştur.



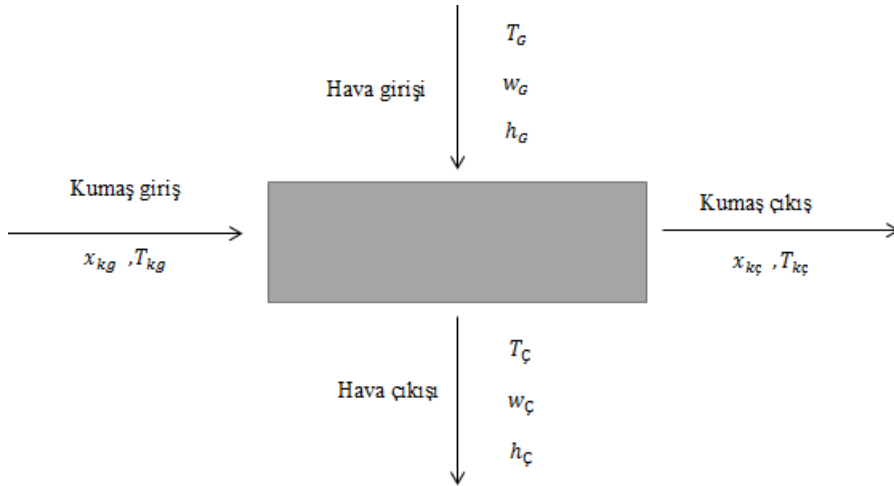
Şekil 6.8 Kumaş nem ve hız oranları



Şekil 6.9 Kumaş sıcaklıkları

6.4.2 Kurutma işlemi kütle- enerji dengesi

Kurutma işleminde x_{kg} nem değerindeki kumaş, sıcak ve kuru hava ile temas ederek sıcaklığı artmış, nemi azalmış olarak çıkar. Kurutma işlemindeki akış özellikleri kumaş geçiş bölümlerinin her biri için Şekil 6.10’da gösterilmiştir.



Şekil 6.10 Kurutma işlemi akış özellikleri

Kumaş geçiş b3l3mlerinin her birinde kumaş 3zerinde buharlaşan su miktarı kumaşın kaybettiği nem ve havanın kazandığı nem kullanılarak denklem (6.40) ve denklem (6.41) ile bulunur.

$$\dot{m}_B = \dot{m}_k(x_{kg} - x_{kç}) \quad (6.40)$$

$$\dot{m}_B = \dot{m}_h(w_ç - w_G) \quad (6.41)$$

Kumaş geçiş b3l3mleri için Termodinamiğin 1.Kanunu kinetik, potansiyel enerji ve çevreye olan ıs geçişleri ihmal edilerek yazılır.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{\Delta H} \quad (6.42)$$

$$\Delta H = 0 (\dot{Q} = 0, \dot{W} = 0) \quad (6.43)$$

$$\Sigma \dot{H}_g = \Sigma \dot{H}_ç \quad (6.44)$$

$$\dot{m}_h \cdot h_G + m_k \cdot h_{kg} = \dot{m}_h \cdot h_ç + m_k \cdot h_{kç} \quad (6.45)$$

Kumaşın entalpisi kuru kumaş ve içindeki nemin entalpileri toplamına eşittir.

$$h_k = c_{pk} \cdot T_k + x_k \cdot h_f \quad (6.46)$$

Denklem (6.31) ve denklem (6.46) kullanılarak denklem (6.47) elde edilir.

$$\dot{m}_k \cdot [c_{pk} (T_{kç} - T_{kg}) + x_{kç} (h_{skç} - h_{skg})] + \dot{m}_B (h_{gç} - h_{gkg}) = \dot{m}_h [c_{ph} (T_G - T_ç) + w_G (h_{gG} - h_{gç})] \quad (6.47)$$

Burada kumaşın 3zg3l ısısı $c_{pk} = 1,36$ olarak alınmıştır. (MARMARALI, Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, 2006). Hava için 3zg3l ısısı değerleri ve su için h_f değerleri EES programı kullanılarak bulunmuştur. Su buharının entalpisi (h_g) için denklem (6.48) (engel, M3hendislik Yaklaşımıyla Termodinamik Kitabı, 2012) kullanılmıştır.

$$h_g = 2500,9 + 1,82 T \quad (6.48)$$

Makine hızı 30 m/dk , kuru kumaş yoğunluğu 230 g/m^2 , kumaş eni $1,5 \text{ m}$ ve kumaş kalınlığı 1 mm değerleriyle kumaş debisi $\dot{m}_k = 0,17 \text{ kg/s}$ olarak hesaplanmıştır.

T_{sir} değeri kurutma kabinleri için 140 °C, fikse kabinleri için 180°C başlangıç olarak kabul edilmiştir. Gerçek değeri ise her bir kumaş bölümünden çıkan nemli kurutma havasının sıcaklığı (T_C) kullanılarak deneme yanılma yoluyla elde edilmiştir. Bunun için denklem (6.47)'den bulunan T_C sıcaklıklarının ortalaması kurutma ve fikse kabinleri için ayrı ayrı bulunarak T_{sir} sıcaklığı olarak kullanılmış, ortalama değerler T_{sir} değeri ile eşit olana kadar işleme devam edilmiştir.

6.5 Yakıt Miktarının Hesaplanması

$$\dot{m}_{KDG} = z \cdot \dot{m}_G \text{ (kg}_{KDG}/h) \quad (6.49)$$

Kullanılan yakıtın mol sayısı denklem (6.50) ile bulunmuştur.

$$n_y = \frac{\dot{m}_{KDG}}{m_{KDG}} \quad (6.50)$$

Burada m_{KDG} denklem (6.18)'de 293,44 kg_{KDG}/kmolyakıt olarak bulunmuştur. \dot{m}_{KDG} ise denklem (6.22) kullanılarak elde edilmiştir.

100 kPa basınç ve 25°C sıcaklıkta yanma odasına gönderilen doğalgaz hacmi ideal gaz denklemini kullanılarak bulunur. $\bar{R} = 8.315 \text{ kJ/kgK}$

$$\dot{V}_y = n_y \cdot \bar{R} \cdot T/P \text{ (m}^3/h) \quad (6.51)$$

6.6 Ramöz Makinesinin Hava Debisi

İşlemlerde kullanılacak hava debisi değerinin tespit edilmesi için makine bacasından ölçülen 15.000 m^3/h değeri kullanılmıştır. Farklı hava dönüş oranları için (P=0,5; P=0,6; P=0,7; P=0,8) hava debisi bulunmuştur. Kullanılan hava dönüş oranlarına karşılık gelen 0,46 m^3/s ; 0,578 m^3/s ; 0,77 m^3/s ve 1,157 m^3/s değerindeki hava debileri kullanılarak kurutma değerleri (z, w_G, w_C, T_C ve T_{sir}) Bölüm 6.3 ve 6.4'de gösterildiği gibi; yakıt tüketimi ise Bölüm 6.5'deki gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

0,46 m^3/s , 0,578 m^3/s , 0,77 m^3/s ve 1,157 m^3/s hava debileri için ve farklı dönüş oranlarında bulunan w_G, w_C, T_{sir} ve V_y değerleri Çizelge 6.3-6.18 aralığında verilmiştir.

Çizelge 6.3 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 \dot{m}_h = 0,46 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_ζ (°C)	T_{sir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,03622	0,04216	0,0629	90,25	108,2	14,97985
	6-7				104,5		
	7-8				102,6		
	12-13				135,4		
2.kabin	2-3	0,03695	0,04484	0,06808	85,32	104,9	15,28176
	5-6				100,4		
	8-9				106,7		
	11-12				127		
3.kabin	3-4	0,03711	0,04613	0,07062	88,31	104,3	15,34793
	4-5				98,16		
	9-10				111,1		
	10-11				119,4		
4.kabin	15-16	0,03398	0,02388	0,02691	165,3	167,7	6,251249
	16-17				170,1		
5.kabin	14-15	0,03272	0,02473	0,02891	166,5	174,3	6,019448
	17-18				182		
6.kabin	13-14	0,03386	0,02681	0,0328	155,6	168,4	6,229172
	18-19				181,1		

$$W_\zeta(\text{ort}) = 0,0556 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplam}) = 64,11 (\text{m}^3/\text{h})$$

Çizelge 6.4 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 \dot{m}_h = 0,46 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_ζ (°C)	T_{sir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,0335	0,05394	0,07468	91,2	108,9	13,85491
	6-7				105,2		
	7-8				103,4		
	12-13				135,6		
2.kabin	2-3	0,03441	0,05797	0,08121	86,46	105,6	14,23127
	5-6				101,2		
	8-9				107,4		
	11-12				127,3		
3.kabin	3-4	0,03459	0,0599	0,08439	89,44	105,1	14,30571
	4-5				99,09		
	9-10				111,8		
	10-11				119,9		
4.kabin	15-16	0,0289	0,02593	0,02895	165,3	167,7	5,316689
	16-17				170,1		
5.kabin	14-15	0,02741	0,0272	0,03138	166,4	174,2	5,042576
	17-18				181,9		
6.kabin	13-14	0,02879	0,03033	0,03632	155,6	168,3	5,296452
	18-19				181		

$$W_\zeta(\text{ort}) = 0,0653 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplam}) = 58,04 (\text{m}^3/\text{h})$$

Çizelge 6.5 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 \dot{m}_h = 0,46 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_{\text{Ç}}(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_{\text{Ç}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{sir}}(^{\circ}\text{C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,03086	0,07361	0,09435	92,71	109,8	12,76306
	6-7				106,3		
	7-8				104,5		
	12-13				135,8		
2.kabin	2-3	0,0319	0,07987	0,1031	88,26	106,8	13,19319
	5-6				102,6		
	8-9				108,5		
	11-12				127,8		
3.kabin	3-4	0,03213	0,08288	0,1074	91,22	106,3	13,28831
	4-5				100,6		
	9-10				112,8		
	10-11				120,7		
4.kabin	15-16	0,02385	0,02986	0,03238	165,2	167,6	4,387648
	16-17				170		
5.kabin	14-15	0,02212	0,03133	0,03551	166,4	174,1	4,069383
	17-18				181,7		
6.kabin	13-14	0,02374	0,03621	0,04219	155,6	168,2	4,367412
	18-19				180,8		

$$W_{\text{Ç}}(\text{ort}) = 0,081 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 52,07 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.6 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8 \dot{m}_h = 0,46 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_{\text{Ç}}(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_{\text{Ç}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{sir}}(^{\circ}\text{C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02829	0,113	0,1337	95,5	111,7	11,70016
	6-7				108,3		
	7-8				106,6		
	12-13				136,3		
2.kabin	2-3	0,02951	0,1237	0,147	91,57	109	12,20473
	5-6				105		
	8-9				110,6		
	11-12				128,8		
3.kabin	3-4	0,02979	0,1289	0,1534	94,47	108,6	12,32053
	4-5				103,2		
	9-10				114,7		
	10-11				122,2		
4.kabin	15-16	0,01884	0,03623	0,03925	165,1	167,5	3,465966
	16-17				169,9		
5.kabin	14-15	0,01691	0,03965	0,04383	166,2	173,8	3,110907
	17-18				181,4		
6.kabin	13-14	0,01877	0,04801	0,05399	155,6	168	3,453088
	18-19				180,4		

$$W_{\text{Ç}}(\text{ort}) = 0,11 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 46,25 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.7 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 \dot{m}_h = 0,578 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_C (°C)	T_{sir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,03394	0,03736	0,05387	104,7	119,2	17,63765
	6-7				116,1		
	7-8				114,6		
	12-13				141,2		
2.kabin	2-3	0,03454	0,0395	0,05799	100,6	116,4	17,94946
	5-6				112,7		
	8-9				117,8		
	11-12				134,3		
3.kabin	3-4	0,03466	0,04052	0,06001	102,9	115,9	18,01182
	4-5				110,9		
	9-10				121,4		
	10-11				128,2		
4.kabin	15-16	0,03315	0,02306	0,02547	170,1	172	7,662967
	16-17				174		
5.kabin	14-15	0,03216	0,02374	0,02706	171	177,2	7,434118
	17-18				183,4		
6.kabin	13-14	0,03307	0,02539	0,03016	162,3	172,5	7,644474
	18-19				182,8		

$$W_{\dot{C}}(\text{ort}) = 0,048 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplamlam}) = 76,34 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.8 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 \dot{m}_h = 0,578 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_C (°C)	T_{sir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,03079	0,04675	0,06325	105,3	119,5	16,0069
	6-7				116,5		
	7-8				115		
	12-13				141,2		
2.kabin	2-3	0,0315	0,04995	0,06845	101,3	116,8	16,36966
	5-6				113,2		
	8-9				118,2		
	11-12				134,4		
3.kabin	3-4	0,03166	0,05149	0,07098	103,6	116,3	16,4528
	4-5				111,4		
	9-10				121,7		
	10-11				128,4		
4.kabin	15-16	0,0279	0,02469	0,0271	170,1	172	6,449375
	16-17				173,9		
5.kabin	14-15	0,02671	0,02571	0,02903	171	177,2	6,174294
	17-18				183,3		
6.kabin	13-14	0,02783	0,0282	0,03296	162,2	172,4	6,433193
	18-19				182,6		

$$W_{\dot{C}}(\text{ort}) = 0,056 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplamlam}) = 67,88 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.9 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 \dot{m}_h = 0,578 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_\zeta (\text{°C})$	$T_{\text{sir}}(\text{°C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02766	0,0624	0,07891	106,2	120,1	14,37412
	6-7				117,1		
	7-8				115,7		
	12-13				141,3		
2.kabin	2-3	0,0285	0,06739	0,08589	102,4	117,5	14,81064
	5-6				114		
	8-9				118,9		
	11-12				134,7		
3.kabin	3-4	0,02867	0,06987	0,08927	104,7	117,1	14,89898
	4-5				112,3		
	9-10				122,3		
	10-11				128,9		
4.kabin	15-16	0,02266	0,02742	0,02983	170	172	5,238094
	16-17				173,9		
5.kabin	14-15	0,0213	0,029	0,03233	170,9	177,1	4,923716
	17-18				183,2		
6.kabin	13-14	0,02261	0,03289	0,03765	162,2	172,3	5,226536
	18-19				182,4		

$$W_\zeta(\text{ort}) = 0,068 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 59,47 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.10 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8\dot{m}_h = 0,578 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_\zeta (\text{°C})$	$T_{\text{sir}}(\text{°C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02461	0,09376	0,1103	107,9	121,2	12,78912
	6-7				118,3		
	7-8				116,9		
	12-13				141,4		
2.kabin	2-3	0,0256	0,1023	0,1208	104,4	118,8	13,30359
	5-6				115,5		
	8-9				120,1		
	11-12				135,2		
3.kabin	3-4	0,02579	0,1064	0,1259	106,7	118,5	13,40233
	4-5				113,9		
	9-10				123,5		
	10-11				129,6		
4.kabin	15-16	0,01749	0,03292	0,03533	169,9	171,8	4,042995
	16-17				173,7		
5.kabin	14-15	0,01593	0,03563	0,03896	170,8	176,9	3,682385
	17-18				182,9		
6.kabin	13-14	0,01745	0,04231	0,04707	162,1	172,1	4,033749
	18-19				182,1		

$$W_\zeta(\text{ort}) = 0,094 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 51,25 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.11 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 \dot{m}_h = 0,77 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(kg_{H_2O}/kg_h)$	$w_Ç(kg_{H_2O}/kg_h)$	$T_Ç (^{\circ}C)$	$T_{sir}(^{\circ}C)$	$\dot{V}_y(m^3/h)$
1.kabin	1-2	0,03175	0,0327	0,04509	119,2	130,05	21,9804
	6-7				127,6		
	7-8				126,5		
	12-13				146,9		
2.kabin	2-3	0,03219	0,0343	0,04818	115,9	127,9	22,28501
	5-6				125		
	8-9				128,9		
	11-12				141,6		
3.kabin	3-4	0,03228	0,03507	0,0497	117,6	127,5	22,34732
	4-5				123,6		
	9-10				131,7		
	10-11				136,9		
4.kabin	15-16	0,03233	0,02226	0,02406	174,8	176,3	9,955934
	16-17				177,7		
5.kabin	14-15	0,03158	0,02276	0,02526	175,5	180,2	9,724973
	17-18				184,8		
6.kabin	13-14	0,03228	0,02401	0,02758	168,9	176,6	9,940536
	18-19				184,3		

$$W_Ç(ort) = 0,0408 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(toplam) = 96,23 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.12 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 \dot{m}_h = 0,77 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(kg_{H_2O}/kg_h)$	$w_Ç(kg_{H_2O}/kg_h)$	$T_Ç (^{\circ}C)$	$T_{sir}(^{\circ}C)$	$\dot{V}_y(m^3/h)$
1.kabin	1-2	0,02814	0,03975	0,05214	119,4	130,2	19,48121
	6-7				127,8		
	7-8				126,7		
	12-13				146,8		
2.kabin	2-3	0,02867	0,04215	0,05604	116,2	128,1	19,84813
	5-6				125,3		
	8-9				129,1		
	11-12				141,6		
3.kabin	3-4	0,02878	0,04331	0,05794	117,9	127,7	19,92428
	4-5				123,9		
	9-10				131,8		
	10-11				137		
4.kabin	15-16	0,02691	0,02349	0,02529	174,8	176,3	8,28686
	16-17				177,7		
5.kabin	14-15	0,02602	0,02424	0,02674	175,5	180,2	8,012787
	17-18				184,8		
6.kabin	13-14	0,02688	0,02613	0,0297	168,8	176,5	8,277621
	18-19				184,2		

$$W_Ç(ort) = 0,046 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(toplam) = 83,83 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.13 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 \dot{m}_h = 0,77 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_C (°C)	T_{sir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02455	0,0515	0,06389	119,9	130,5	16,99587
	6-7				128,1		
	7-8				127		
	12-13				146,8		
2.kabin	2-3	0,02519	0,05525	0,06914	116,8	128,4	17,43894
	5-6				125,7		
	8-9				129,4		
	11-12				141,7		
3.kabin	3-4	0,02533	0,05705	0,07168	118,5	128	17,53586
	4-5				124,3		
	9-10				132,1		
	10-11				137,1		
4.kabin	15-16	0,02153	0,02555	0,02736	174,7	176,2	6,630104
	16-17				177,6		
5.kabin	14-15	0,02051	0,02674	0,02924	175,4	180	6,315998
	17-18				184,6		
6.kabin	13-14	0,02149	0,02966	0,03323	168,7	176,4	6,617786
	18-19				184,1		

$$W_{\zeta(\text{ort})} = 0,056 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 71,53 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.14 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8 \dot{m}_h = 0,77 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_C (°C)	T_{sir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02104	0,07507	0,08746	120,8	131	14,56591
	6-7				128,7		
	7-8				127,6		
	12-13				146,7		
2.kabin	2-3	0,0218	0,08151	0,0954	117,9	129	15,09205
	5-6				126,4		
	8-9				130		
	11-12				141,8		
3.kabin	3-4	0,02195	0,08459	0,09922	119,5	128,7	15,1959
	4-5				125,1		
	9-10				132,6		
	10-11				137,4		
4.kabin	15-16	0,01617	0,02969	0,0315	174,6	176,05	4,979507
	16-17				177,5		
5.kabin	14-15	0,01503	0,03174	0,03424	175,2	179,8	4,628447
	17-18				184,4		
6.kabin	13-14	0,01615	0,03675	0,04033	168,6	176,2	4,973348
	18-19				183,8		

$$W_{\zeta(\text{ort})} = 0,076 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 65,42 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.15 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,5 \dot{m}_h = 1,157 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_\zeta (\text{°C})$	$T_{\text{sir}}(\text{°C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,0295	0,02799	0,03624	134,1	141,4	30,68715
	6-7				139,7		
	7-8				138,9		
	12-13				152,7		
2.kabin	2-3	0,0298	0,02906	0,0383	131,8	139,9	30,99222
	5-6				137,9		
	8-9				140,5		
	11-12				149,2		
3.kabin	3-4	0,02986	0,02957	0,03931	132,9	139,6	31,06163
	4-5				136,9		
	9-10				142,4		
	10-11				146		
4.kabin	15-16	0,0315	0,02145	0,02265	179,6	180,6	14,5757
	16-17				181,5		
5.kabin	14-15	0,03101	0,02178	0,02345	180	183,2	14,34897
	17-18				186,3		
6.kabin	13-14	0,03148	0,02262	0,02499	175,6	180,75	14,56645
	18-19				185,9		

$$W_{\zeta(\text{ort})} = 0,034 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 136,23 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.16 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,6 \dot{m}_h = 1,157 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_\zeta (\text{°C})$	$T_{\text{sir}}(\text{°C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02544	0,03269	0,04094	134,1	141,4	26,46376
	6-7				139,7		
	7-8				139		
	12-13				152,7		
2.kabin	2-3	0,02578	0,03429	0,04353	131,9	140	26,81745
	5-6				138		
	8-9				140,6		
	11-12				149,1		
3.kabin	3-4	0,02588	0,03506	0,0448	133	139,6	26,92147
	4-5				137		
	9-10				142,4		
	10-11				145,9		
4.kabin	15-16	0,02593	0,02228	0,02348	179,6	180,55	11,99835
	16-17				181,5		
5.kabin	14-15	0,02535	0,02278	0,02445	180	183,1	11,72997
	17-18				186,2		
6.kabin	13-14	0,0259	0,02403	0,02641	175,5	180,7	11,98447
	18-19				185,9		

$$W_{\zeta(\text{ort})} = 0,037 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 115,92 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.17 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,7 \dot{m}_h = 1,157 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(kg_{H_2O}/kg_h)$	$w_C(kg_{H_2O}/kg_h)$	$T_C (^{\circ}C)$	$T_{sir}(^{\circ}C)$	$\dot{V}_y(m^3/h)$
1.kabin	1-2	0,02139	0,04052	0,04877	134,3	141,5	22,25078
	6-7				139,8		
	7-8				139		
	12-13				152,6		
2.kabin	2-3	0,02182	0,04302	0,05226	132	140	22,69809
	5-6				138,1		
	8-9				140,6		
	11-12				149,1		
3.kabin	3-4	0,02193	0,04422	0,05396	133,1	139,65	22,81251
	4-5				137,1		
	9-10				142,5		
	10-11				145,9		
4.kabin	15-16	0,02037	0,02366	0,02486	179,5	180,5	9,425621
	16-17				181,4		
5.kabin	14-15	0,0197	0,02445	0,02612	179,9	183	9,115598
	17-18				186,1		
6.kabin	13-14	0,02036	0,0264	0,02878	175,4	180,55	9,420993
	18-19				185,7		

$$W_C(ort) = 0,044 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(toplam) = 95,73 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.18 Kurutma değerleri ve yakıt miktarı ($P=0,8 \dot{m}_h = 1,157 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(kg_{H_2O}/kg_h)$	$w_C(kg_{H_2O}/kg_h)$	$T_C (^{\circ}C)$	$T_{sir}(^{\circ}C)$	$\dot{V}_y(m^3/h)$
1.kabin	1-2	0,01744	0,05624	0,06449	134,5	141,5	18,14183
	6-7				139,9		
	7-8				139,2		
	12-13				152,3		
2.kabin	2-3	0,01794	0,06053	0,06977	132,4	140,05	18,66195
	5-6				138,2		
	8-9				140,7		
	11-12				148,9		
3.kabin	3-4	0,01804	0,06258	0,07232	133,5	139,8	18,76597
	4-5				137,3		
	9-10				142,5		
	10-11				145,9		
4.kabin	15-16	0,01484	0,02645	0,02765	179,4	180,35	6,866775
	16-17				181,3		
5.kabin	14-15	0,01408	0,02781	0,02948	179,8	182,85	6,515107
	17-18				185,9		
6.kabin	13-14	0,01484	0,03115	0,03353	175,3	180,4	6,866775
	18-19				185,5		

$$W_C(ort) = 0,057 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_h$$

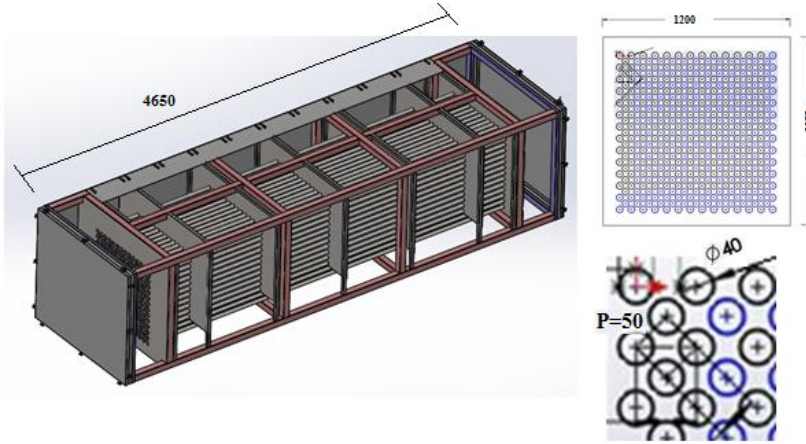
$$\dot{V}_y(toplam) = 75,81 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

6.7. Isı Geri Kazanımlı Ramöz Makinesinin Yakıt Tüketimi

6.7.1. Isı geri kazanım eşanjör dizaynı

Yünsa işletmesindeki 6 kabinden oluşan katlı ramöz makinesinin bacasından atılan sıcak gazın, makineye verilen soğuk havayı ısıtmak amacıyla kullanıldığı gövde borulu bir eşanjör tasarlanmıştır. Farklı şaşırtma levhası aralıkları için ısı geri kazanım eşanjöründen akışkan çıkış sıcaklıkları ve basınç kayıpları hesaplanmış ve ekonomik analiz sonucu en küçük geri dönüş süresini veren şaşırtma levhası aralığı tespit edilmiştir.

Ramöz makinasının üst kısmına yerleştirilecek olan gövde borulu ısı geri kazanım eşanjörünün boyutları yerleşim yeri düşünülerek belirlenmiştir. Şekil 6.11’de şematik olarak gösterilen tek boru geçişli ısı değiştirgecinde temizleme kolaylığı nedeniyle borular saptırmalı kare düzenleme şeklinde yerleştirilmiştir.



Şekil 6.11 Eşanjör boyutları

Dizayn değerleri Çizelge 6.19’da özetlenen eşanjörün boru tarafından fabrika ortamından alınan soğuk hava, gövde tarafından ise kurutma makinasından çıkan sıcak nemli hava geçmektedir.

Çizelge 6.19 Isı geri kazanım eşanjörü dizayn değerleri.

Boru iç çapı (m)	0.036
Boru dış çapı (m)	0.04
Boru ısı iletim katsayısı (W/mK) (Paslanmaz çelik)	16.2
Boru sayısı (adet)	365
Boru uzunluğu (m)	4.65
Kesme oranı (%)	30
Eşanjör temiz hava giriş sıcaklığı (°C)	30
Baca gazı sıcaklığı (°C)	150
Eşanjör temiz hava kütleli debi (m ³ /h)	15000
Eşanjör kirli hava kütleli debi (m ³ /h)	15000

Atık ısı geri kazanım eşanjörü için enerji analizi ve basınç kaybı hesabı Genceli (1999)'da ayrıntıları verilen Bell-Deleware yöntemine göre yapılmıştır. Başlangıçta kabul edilen boru tarafı ve gövde tarafı akışkanlarının çıkış sıcaklıklarının enerji analizi sonunda bulunan değerlerle eşit olması için iterasyon bir işlem yapılmıştır.

Eşanjörün her iki tarafı için çalışma akışkanı olan havanın özellikleri akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalamasında değerlendirilerek EES (Engineering Equation Solver) programı ile bulunmuştur. 1 alt indisi boru tarafı, 2 alt indisi gövde tarafı akışkan özelliklerini ifade etmektedir. Gövde tarafı Reynolds sayısı, gövde tarafı akış hızı w_G ve boru dış çapına göre tanımlanmıştır.

$$Re_2 = \frac{\rho_2 w_G d_o}{\mu_2} \quad (6.52)$$

Gövde tarafı akış hızı (w_G) denklem (6.53) ile bulunmuştur.

$$w_G = \frac{\dot{m}}{\rho_2 A_s} = \frac{\dot{m}}{\rho_2} \frac{1}{(\sqrt{2P} - d_o) B \frac{H}{\sqrt{2P}}} \quad (6.53)$$

Burada A_s gövde tarafı akış alanını, P boru merkezleri arası mesafeyi ($P=1.25d_o$), H eşanjör enini, B şaşırtma levhası aralığını göstermektedir. Bell-Deleware yönteminde boyutsuz ısı çarpan $J_{h,B}$ gövde tarafı Reynolds sayısına göre denklem (6.54) ile belirlenmiştir.

$$J_{h,B} = a_1 \left(\frac{1.33}{P/d_o} \right)^y (\text{Re}_2^{a_2}) \quad (6.54)$$

Şaşırtmalı kare düzenleme için y, a_1, a_2, a_3, a_4 katsayılarının değerleri (Kakaç ve Liu,2002)den alınmıştır.

$$y = \frac{a_3}{(1 + 0.14(\text{Re}_2^{a_4}))},$$

$$a_1=0.370, a_2=-0.396, a_3=1.930, a_4=0.5$$

F_n, F_w, F_b, F_L gövde tarafı ısı transfer katsayısı için eşanjör konstrüksiyonuna bağlı düzeltme katsayıları olup çarpımları iyi dizayn edilmiş bir eşanjörde 0.5 değerinden küçük olmamalıdır (Int Kyn.2). Bu çalışmada 0.6 değeri kullanılmıştır.

Boru tarafı basınç kaybı, boru içindeki tam gelişmiş laminar veya türbülanslı akışta basınç düşümü denklem (6.55) kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta P_b = \left[\lambda_s \frac{L}{d_i} \left(\frac{\mu_1}{\mu_c} \right)^{-0.14} + \zeta_y \right] \frac{\rho_1 w_1^2}{2} \quad (6.55)$$

Boru içi akıştaki tüm yerel kayıp katsayıları toplamı $\zeta_y=2.5$ olarak alınmıştır (Genceli,1999). λ_s türbülanslı akış halinde türbülansın gelişme bölgesinde ve pürüzsüz kabul edilen borular için sürtünme katsayısı olup denklem (6.56) ile bulunur.

$$\lambda_s = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}} \quad 3.10^3 < \text{Re} < 2.10^4 \quad (6.56)$$

Gövde tarafındaki toplam basınç kaybı üç kısımda değerlendirilmektedir. Bunlar borulara dik akıştaki basınç kaybı ΔP_d , pencere bölgesindeki akıştaki basınç kaybı ΔP_w , gövdenin ön ve arka uçlarındaki akıştaki basınç kayıpları ΔP_e dir ve denklem (6.57-6.62) ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta P_{id,d} = 8J_f n_d \frac{\rho w_G^2}{2} \left(\frac{\mu_2}{\mu_c} \right)^{-0.14} \quad (6.57)$$

$$\Delta P_e = \Delta P_{id,dik} \left(\frac{n_w + n_d}{n_d} \right) R_b \quad (6.58)$$

$$\Delta P_d = R_L R_b \Delta P_{id,d} \quad (6.59)$$

$$\Delta P_w = R_L (2 + 0.6n_w) \frac{\rho w_z^2}{2} \quad (6.60)$$

$$w_w = \frac{m}{\rho A_w} \quad (6.61)$$

$$w_z = \sqrt{w_w w_G}$$

$$\Delta P_G = (N_b - 1) \Delta P_d + N_b \Delta P_w + 2 \Delta P_e \quad (6.62)$$

Burada n_w pencere bölgesinde, n_d şaşırtma levhalarında akışa dik boru sırası sayısını göstermektedir. Bell-Deleware yönteminde boyutsuz basınç çarpanı J_f gövde tarafı Reynolds sayısına göre denklem (6.63) ile belirlenmiştir.

$$J_f = b_1 \left(\frac{1.33}{P/d_o} \right)^y (Re_2^{b_2}) \quad (6.63)$$

Şaşırtmalı kare düzenleme için y, b_1, b_2, b_3, b_4 katsayılarının değerleri (Kakaç ve Liu,2002)den alınmıştır.

$$y = \frac{b_3}{(1 + 0.14(Re_2^{b_1}))} \quad (6.64)$$

Yukarıdaki denklemler kullanılarak $b_1=0.303$, $b_2=-0.126$, $b_3=6.59$, $b_4=0.52$ elde edilir.

R_b , boru demeti ile gövde iç çapı arasındaki aralık nedeniyle oluşan kısa devre akımlarının etkisini göz önüne alan katsayı; R_L , kaçak akımı düzeltme katsayısıdır. R_b için uygulamada pratik değerler 0.4-0.7 aralığında, R_L için 0.4-0.6 aralığındadır (Int Kyn.2). Bu çalışmada R_b için 0.6 ve R_L için 0.5 değerleri kullanılmıştır. Enerji analizi ve basınç kaybı hesabı şaşırtma levhası sayısı (N_b)'nın 9, 7, 5 ve 3 olması durumlarında yapılmış ve şaşırtma levhası aralıklarına göre sonuçlar Çizelge 6.20'de özetlenmiştir.

Çizelge 6.20 Enerji ve basınç kaybı analizi sonuçları.

Şaşırtma levhası aralığı (m)	0.465	0.58	0.775	1.16
Boru çıkış Sıcaklığı (°C)	94.78	93.41	91.43	88.28
Gövde çıkış sıcaklığı (°C)	85.44	86.81	88.79	91.94
Toplam ısı transfer katsayısı (W/m ² K)	31.27	29.93	28.1	25.42
Boru tarafı basınç kaybı (Pa)	386.4	387.1	388.1	389
Gövde tarafı basınç Kaybı (Pa)	9424	5562	2812	1084

Çizelge 6.20'den görüldüğü gibi şaşırtma levhası aralığının artması ile boru çıkış sıcaklığı düşmekte gövde çıkış sıcaklığı yükselmekte dolayısıyla ısı transfer verimi düşmektedir. Boru tarafı basınç kaybı sıcaklık değişimine bağlı olarak yükselirken gövde tarafı basınç kaybı şaşırtma levhası aralığının artmasıyla büyük oranda azalmaktadır.

Isı geri kazanım eşanjörü ile geri kazanılan ısı miktarı (Q) ve bu ısı miktarına karşılık tasarruf edilen yakıt miktarı (V_y) denklem (6.65) ve (6.66) ile hesaplanır.

$$\dot{Q} = \dot{m} c_{p1} (T_{bc} - T_{bg}) \quad (6.65)$$

$$\dot{V}_y = \frac{\dot{Q}}{H_u \eta_y} \quad (6.66)$$

Burada H_u doğal gazın alt ısıl değeri, η_y yanma verimi olup H_u= 34485kJ/m³ ve η_y =0.90 değerindedir.

Makinenin mevcut durumda kullanmakta olduğu baca fanının ısı geri kazanımı eşanjörünün gövde tarafındaki basınç kayıplarını karşılayacak bir fanla değiştirilmesi ve ayrıca temiz havanın makineye verilebilmesi için eşanjörün boru tarafındaki basınç kayıplarını karşılayacak bir fanın ilavesi gerekmektedir. Gövde ve boru tarafı fan güçleri basınç kayıpları ve hava debisine bağlı olarak denklem (6.67 ve 6.68) ile bulunmuştur. Fan verimleri %85 olarak alınmıştır.

$$\dot{W}_b = \frac{\dot{V}_h \Delta P_b}{\eta_{fb}} \quad (6.67)$$

$$\dot{W}_G = \frac{\dot{V}_h \Delta P_G}{\eta_{fG}} \quad (6.68)$$

Tasarruf edilen enerji, yakıt tasarrufu ve fan güçleri şaşırtma levhası aralıklarına göre Çizelge 6.21’de özetlenmiştir.

Isı geri kazanımı sonucu elde edilen aylık parasal tasarruf (G_y), tasarruf edilen yakıt miktarı ile yakıtın birim fiyatının çarpımı ile bulunur.

$$G_y = \dot{V}_y F_y t \quad (6.69)$$

Çizelge 6.21 Yakıt tasarrufu ve fan gücü.

Şaşırtma levhası aralığı (m)	0.465	0.58	0.775	1.16
Tasarruf edilen enerji (kW)	282.3	276.9	269	256.4
Yakıt Tasarrufu (m ³ /h)	32.74	32.12	31.2	29.74
Boru tarafı fan gücü (kW)	1.894	1.898	2102	1.907
Gövde tarafı fan gücü (kW)	46.2	27.26	12.84	9.725

Fanların aylık enerji maliyeti (G_e) denklem (6.70) ile bulunur.

$$G_e = (\dot{W}_b + \dot{W}_G) F_e t \quad (6.70)$$

Burada t ramöz makinasının aylık çalışma süresi (saat) olup, makine günde 22 saat ayda 29 gün çalışmaktadır. Doğal gazın birim fiyatı F_y ve elektrik birim fiyatı F_e fabrikanın alış fiyatı olup değerleri Çizelge 6.22’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.22 Ekonomik analiz için sabit değerler.

Elektrik birim fiyatı (TL/kWh)	0.21
Doğal gaz birim fiyatı (TL/m ³)	0.74
Isı geri kazanım eşanjör maliyeti (TL)	153 000
Aylık faiz oranı (%)	%0.85
Çalışma saati (h/ay)	638

Isı geri kazanım eşanjörü ilavesinin geri dönüş süresi paranın zaman değeri düşünülerek kazançların giderleri karşıladığı yıl olarak tanımlanabilir. Isı geri kazanımı ile

yakıttan elde edilen tasarruf kazançları oluştururken, ısı geri kazanım eşanjörünün maliyeti (satın alma, işçilik v.b.) ve fan enerji maliyeti gider toplamını oluşturmaktadır.

$$\begin{aligned} \left(\sum \mathcal{S}D\right)_{gider} &= \left(\sum \mathcal{S}D\right)_{gelir} \\ (\mathcal{S}D)_{GE} + (\mathcal{S}D)_{Ge} &= (\mathcal{S}D)_{Gy} \end{aligned} \quad (6.71)$$

Burada $(\mathcal{S}D)_{GE}$ 2016 yılı için ısı geri kazanım eşanjörünün yatırım maliyetini göstermektedir. Çizelge 6.21 ve 6.22’de verilen maliyet değerleri, faiz oranı gibi giriş değerleri kullanılarak, şimdiki zaman değerlendirme yöntemine göre yatırımın geri dönüş süresi (n) denklem (6.72) ile bulunur.

$$(\mathcal{S}D)_{GE} = (G_y - G_e) \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n i} \right] \quad (6.72)$$

Geri dönüş süresi farklı şaşırtma levhası aralıkları için Tablo 5’de görülmektedir. Şaşırtma levhası aralığı arttıkça, fan enerji maliyetindeki azalma yakıt tasarrufundaki azalmadan daha fazla olduğu için geri dönüş süresi azalmış fakat bu durum 0.775 m den daha büyük aralıklarda tersine dönerek geri dönüş süresi artmıştır. Çizelge 6.23’deki sonuçlara göre B=0.775m’nin en ekonomik aralık olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.23 Geri dönüş süresi

Şaşırtma levhası aralığı (m)	0.465	0.58	0.775	1.16
Yakıt parasal tasarrufu (TL/ay)	15459	15164	14731	14041
Toplam fan enerji maliyeti (TL/ay)	6443	3907	2102	1559
Geri dönüş süresi (ay)	18.4	14.5	12.84	13

Şaşırtma levhası aralığının 0,775 m olduğu ısı geri kazanım eşanjöründen 91,43 °C’de çıkan sıcak hava ramöz makinesi girişinde oluşturulan bir kabin vasıtasıyla kurutma kabinlerine gönderilecektir. Bu bölümde 91,43 °C’lik temiz hava giriş sıcaklığında w_G, w_C, T_{sir} ve \dot{V}_y değerleri farklı dönüş oranları için hesaplanmıştır.

0,46 m^3/s , 0,578 m^3/s , 0,77 m^3/s ve 1,157 m^3/s hava debilerinde ısı geri kazanım sonrası için farklı dönüş oranlarında bulunan w_G, w_C, T_{sir} ve \dot{V}_y değerleri Çizelge 6.24-6.39 aralığında verilmiştir.

Çizelge 6.24 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,5

$$\dot{m}_h = 0,46 \text{ m}^3/\text{s})$$

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_C (^{\circ}\text{C})$	$T_{sir} (^{\circ}\text{C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02551	0,03949	0,06023	90,01	108,05	10,55041
	6-7				104,3		
	7-8				102,5		
	12-13				135,4		
2.kabin	2-3	0,02626	0,04218	0,06542	85,06	104,7	10,8606
	5-6				100,2		
	8-9				106,5		
	11-12				126,9		
3.kabin	3-4	0,02643	0,04347	0,06796	88,07	104,06	10,93091
	4-5				97,96		
	9-10				110,9		
	10-11				119,3		
4.kabin	15-16	0,02319	0,0212	0,02422	165,3	167,75	4,266229
	16-17				170,2		
5.kabin	14-15	0,02192	0,02204	0,02622	166,5	174,3	4,032589
	17-18				182,1		
6.kabin	13-14	0,02308	0,02413	0,03011	155,6	168,4	4,245992
	18-19				181,2		

$$W_C(\text{ort}) = 0,053 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 44,88 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.25 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,6

$$\dot{m}_h = 0,46 \text{ m}^3/\text{s})$$

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_C (^{\circ}\text{C})$	$T_{sir} (^{\circ}\text{C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02505	0,05131	0,07205	90,97	108,7	10,36017
	6-7				105		
	7-8				103,2		
	12-13				135,5		
2.kabin	2-3	0,02595	0,05534	0,07858	86,21	105,5	10,73239
	5-6				101,1		
	8-9				107,2		
	11-12				127,2		
3.kabin	3-4	0,02615	0,05728	0,08177	89,21	104,9	10,8151
	4-5				98,9		
	9-10				111,6		
	10-11				119,8		
4.kabin	15-16	0,02031	0,02326	0,02628	165,3	167,7	3,7364
	16-17				170,1		
5.kabin	14-15	0,01878	0,02451	0,02869	166,5	174,25	3,454928
	17-18				182		
6.kabin	13-14	0,02019	0,02765	0,03364	155,6	168,35	3,714323
	18-19				181,1		

$$W_C(\text{ort}) = 0,0627 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 42,81 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.26 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,7
 $\dot{m}_h = 0,46 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_ζ (°C)	T_{stir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02463	0,07102	0,09176	92,5	109,7	10,18646
	6-7				106,1		
	7-8				104,3		
	12-13				135,8		
2.kabin	2-3	0,02569	0,07729	0,1005	88,03	106,7	10,62486
	5-6				102,4		
	8-9				108,4		
	11-12				127,8		
3.kabin	3-4	0,02593	0,08031	0,1048	91,01	106,2	10,72412
	4-5				100,4		
	9-10				112,7		
	10-11				120,6		
4.kabin	15-16	0,01743	0,02669	0,02971	165,3	167,7	3,20657
	16-17				170,1		
5.kabin	14-15	0,01568	0,02866	0,03284	166,4	174,1	2,884626
	17-18				181,8		
6.kabin	13-14	0,01733	0,03355	0,03953	155,6	168,25	3,188174
	18-19				180,9		

$$W_\zeta(\text{ort}) = 0,079 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplam}) = 40,81 (\text{m}^3/\text{h})$$

Çizelge 6.27 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,8
 $\dot{m}_h = 0,46 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_ζ (°C)	T_{stir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02431	0,1105	0,1312	95,31	111,6	10,05412
	6-7				108,2		
	7-8				106,5		
	12-13				136,2		
2.kabin	2-3	0,02556	0,1213	0,1445	91,37	108,9	10,57109
	5-6				104,9		
	8-9				110,5		
	11-12				128,7		
3.kabin	3-4	0,02584	0,1265	0,1509	94,28	108,5	10,68689
	4-5				103,1		
	9-10				114,6		
	10-11				122,1		
4.kabin	15-16	0,01464	0,03361	0,03663	165,2	167,5	2,693298
	16-17				169,9		
5.kabin	14-15	0,01264	0,03699	0,04117	166,3	173,9	2,325361
	17-18				181,5		
6.kabin	13-14	0,01455	0,04538	0,05137	155,6	168,05	2,676741
	18-19				180,5		

$$W_\zeta(\text{ort}) = 0,11 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplam}) = 39 (\text{m}^3/\text{h})$$

Çizelge 6.28 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,5
 $\dot{m}_h = 0,578 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_C (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{sir}}(^{\circ}\text{C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02319	0,03468	0,05119	104,6	119	12,05118
	6-7				115,9		
	7-8				114,4		
	12-13				141,1		
2.kabin	2-3	0,02378	0,03682	0,05531	100,4	116,3	12,35779
	5-6				112,6		
	8-9				117,7		
	11-12				134,2		
3.kabin	3-4	0,02393	0,03785	0,05734	102,7	115,7	12,43574
	4-5				110,7		
	9-10				121,3		
	10-11				128,1		
4.kabin	15-16	0,01696	0,01876	0,0209	148	149,7	3,92048
	16-17				151,4		
5.kabin	14-15	0,01605	0,01935	0,02231	148,9	154,4	3,710124
	17-18				159,9		
6.kabin	13-14	0,01687	0,02083	0,02507	141,1	150,2	3,899676
	18-19				159,3		

$$W_C(\text{ort}) = 0,045 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 48,67 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.29 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,6
 $\dot{m}_h = 0,578 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_C (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{sir}}(^{\circ}\text{C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02227	0,04409	0,0606	105,1	119,35	11,57309
	6-7				116,3		
	7-8				114,8		
	12-13				141,2		
2.kabin	2-3	0,02299	0,0473	0,06579	101,1	116,7	11,94725
	5-6				113,1		
	8-9				118,1		
	11-12				134,4		
3.kabin	3-4	0,02314	0,04884	0,06833	103,4	116,2	12,0252
	4-5				111,3		
	9-10				121,6		
	10-11				128,4		
4.kabin	15-16	0,01929	0,02201	0,02442	170,1	172	4,459084
	16-17				174		
5.kabin	14-15	0,01806	0,02301	0,02634	171,1	177,3	4,174757
	17-18				183,5		
6.kabin	13-14	0,01919	0,02551	0,03027	162,3	172,55	4,435968
	18-19				182,8		

$$W_C(\text{ort}) = 0,053 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 48,61 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.30 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,7
 $\dot{m}_h = 0,578 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_ζ (°C)	T_{stir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02143	0,06445	0,08295	106,1	120,1	11,13656
	6-7				117,2		
	7-8				115,7		
	12-13				141,3		
2.kabin	2-3	0,02222	0,06478	0,08328	102,2	117,4	11,5471
	5-6				113,9		
	8-9				118,7		
	11-12				134,7		
3.kabin	3-4	0,02248	0,06721	0,0867	104,5	116,7	11,68222
	4-5				112,2		
	9-10				122,3		
	10-11				128,8		
4.kabin	15-16	0,01624	0,02475	0,02716	170,1	172	3,754045
	16-17				173,9		
5.kabin	14-15	0,01484	0,02632	0,02965	171	177,15	3,43042
	17-18				183,3		
6.kabin	13-14	0,01616	0,03021	0,03497	162,2	172,4	3,735552
	18-19				182,6		

$$W_\zeta(\text{ort}) = 0,068 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 45,28 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.31 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,8
 $\dot{m}_h = 0,578 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_ζ (°C)	T_{stir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02058	0,09124	0,1078	107,8	121,05	10,69484
	6-7				118,2		
	7-8				116,8		
	12-13				141,4		
2.kabin	2-3	0,02157	0,09982	0,1183	104,3	118,7	11,20932
	5-6				115,4		
	8-9				120		
	11-12				135,1		
3.kabin	3-4	0,02178	0,1039	0,1234	106,6	118,35	11,31845
	4-5				113,8		
	9-10				123,4		
	10-11				129,6		
4.kabin	15-16	0,01323	0,03026	0,03267	170	171,9	3,058252
	16-17				173,8		
5.kabin	14-15	0,01167	0,03297	0,0363	170,8	176,9	2,697642
	17-18				183		
6.kabin	13-14	0,01321	0,03966	0,04442	162,1	172,15	3,053629
	18-19				182,2		

$$W_\zeta(\text{ort}) = 0,092 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 42,03 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.32 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,5
 $\dot{m}_h = 0,77 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_ζ (°C)	T_{sir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,02093	0,03	0,04239	119	130	14,48976
	6-7				127,6		
	7-8				126,4		
	12-13				146,9		
2.kabin	2-3	0,02139	0,03161	0,04549	115,8	127,8	14,80821
	5-6				125		
	8-9				128,9		
	11-12				141,6		
3.kabin	3-4	0,02148	0,03238	0,04701	117,5	127,4	14,87052
	4-5				123,5		
	9-10				131,6		
	10-11				136,9		
4.kabin	15-16	0,0215	0,01956	0,02137	174,9	176,35	6,620865
	16-17				177,8		
5.kabin	14-15	0,02074	0,02006	0,02256	175,6	180,3	6,386825
	17-18				185		
6.kabin	13-14	0,02144	0,02131	0,02488	168,9	176,7	6,602388
	18-19				184,5		

$$W_{\zeta(\text{ort})} = 0,038 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 63,77 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.33 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,6
 $\dot{m}_h = 0,77 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_ζ (°C)	T_{sir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,01955	0,03707	0,04946	119,3	130,12	13,53439
	6-7				127,8		
	7-8				126,6		
	12-13				146,8		
2.kabin	2-3	0,0201	0,03948	0,05336	116,1	128	13,91515
	5-6				125,2		
	8-9				129		
	11-12				141,6		
3.kabin	3-4	0,02021	0,04064	0,05527	117,8	127,6	13,9913
	4-5				123,8		
	9-10				131,8		
	10-11				137		
4.kabin	15-16	0,01827	0,02079	0,0226	174,9	176,35	5,626196
	16-17				177,8		
5.kabin	14-15	0,01737	0,02155	0,02405	175,5	180,2	5,349043
	17-18				184,9		
6.kabin	13-14	0,01821	0,02343	0,027	168,9	176,65	5,607719
	18-19				184,4		

$$W_{\zeta(\text{ort})} = 0,044 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 59 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.34 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,7
 $\dot{m}_h = 0,77 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_C (°C)	T_{sir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,01819	0,04886	0,06125	119,8	130,4	12,59287
	6-7				128,1		
	7-8				126,9		
	12-13				146,8		
2.kabin	2-3	0,01883	0,05261	0,0665	116,7	128,35	13,03594
	5-6				125,6		
	8-9				129,4		
	11-12				141,7		
3.kabin	3-4	0,01896	0,05441	0,06904	118,4	128	13,12593
	4-5				124,2		
	9-10				132,1		
	10-11				137,1		
4.kabin	15-16	0,01507	0,02287	0,02467	174,8	176,25	4,640765
	16-17				177,7		
5.kabin	14-15	0,01401	0,02404	0,02654	175,5	180,15	4,314311
	17-18				184,8		
6.kabin	13-14	0,01502	0,02697	0,03054	168,8	176,5	4,625367
	18-19				184,2		

$$W_{\dot{C}}(\text{ort}) = 0,054 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 52,33 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.35 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,8
 $\dot{m}_h = 0,77 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	T_C (°C)	T_{sir} (°C)	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,01692	0,0725	0,08489	120,7	130,9	11,71365
	6-7				128,6		
	7-8				127,6		
	12-13				146,7		
2.kabin	2-3	0,01765	0,07893	0,09281	117,8	129	12,21903
	5-6				126,3		
	8-9				129,9		
	11-12				141,8		
3.kabin	3-4	0,01784	0,08203	0,09666	119,4	128,6	12,35056
	4-5				125,1		
	9-10				132,5		
	10-11				137,4		
4.kabin	15-16	0,01188	0,02702	0,02883	174,7	176,15	3,658413
	16-17				177,6		
5.kabin	14-15	0,01068	0,02904	0,03154	175,3	180	3,288876
	17-18				184,5		
6.kabin	13-14	0,01187	0,03408	0,03765	168,7	176,3	3,655334
	18-19				183,9		

$$W_{\dot{C}}(\text{ort}) = 0,073 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 46,88 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.36 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,5
 $\dot{m}_h = 1,157 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_C (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{stir}}(^{\circ}\text{C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,01863	0,02528	0,03353	134	141,35	19,37971
	6-7				139,7		
	7-8				138,9		
	12-13				152,8		
2.kabin	2-3	0,01895	0,02636	0,0356	131,7	139,8	19,71259
	5-6				137,9		
	8-9				140,5		
	11-12				149,2		
3.kabin	3-4	0,01901	0,02687	0,03661	132,8	139,5	19,77501
	4-5				136,9		
	9-10				142,4		
	10-11				146		
4.kabin	15-16	0,02067	0,01875	0,01995	179,7	180,65	9,564437
	16-17				181,6		
5.kabin	14-15	0,02016	0,01908	0,02074	180,1	183,25	9,328449
	17-18				186,4		
6.kabin	13-14	0,02062	0,01991	0,02229	175,7	180,9	9,541301
	18-19				186,1		

$$W_C(\text{ort}) = 0,031 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 96,6 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.37 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,6
 $\dot{m}_h = 1,157 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_C(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_C (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{stir}}(^{\circ}\text{C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,01679	0,02999	0,03824	134,1	141,35	17,46567
	6-7				139,7		
	7-8				138,9		
	12-13				152,7		
2.kabin	2-3	0,01716	0,0316	0,04084	131,8	139,85	17,85056
	5-6				137,9		
	8-9				140,6		
	11-12				149,1		
3.kabin	3-4	0,01723	0,03237	0,0421	132,9	139,6	17,92337
	4-5				137		
	9-10				142,4		
	10-11				146		
4.kabin	15-16	0,01726	0,01957	0,02078	179,7	180,65	7,986559
	16-17				181,6		
5.kabin	14-15	0,01666	0,02007	0,02174	180,1	183,25	7,708927
	17-18				186,4		
6.kabin	13-14	0,01723	0,02133	0,02371	175,6	180,8	7,972678
	18-19				186		

$$W_C(\text{ort}) = 0,035 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 76,9 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.38 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,7
 $\dot{m}_h = 1,157 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_\zeta (\text{°C})$	$T_{\text{sir}}(\text{°C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,01497	0,03785	0,0461	134,2	141,4	15,578243
	6-7				139,8		
	7-8				139		
	12-13				152,6		
2.kabin	2-3	0,01538	0,04034	0,04958	132	140	15,99893
	5-6				138		
	8-9				140,6		
	11-12				149,1		
3.kabin	3-4	0,01551	0,04155	0,05129	133,1	139,6	16,13416
	4-5				137,1		
	9-10				142,4		
	10-11				145,9		
4.kabin	15-16	0,01387	0,02096	0,02216	179,6	180,6	6,417936
	16-17				181,6		
05.kabin	14-15	0,01318	0,02175	0,02341	180	183,15	6,098659
	17-18				186,3		
6.kabin	13-14	0,01385	0,0237	0,02608	175,5	180,7	6,408682
	18-19				185,9		

$$W_\zeta(\text{ort}) = 0,041 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 66,63 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Çizelge 6.39 Isı geri kazanım sonrası kurutma değerleri ve yakıt miktarı (P=0,8
 $\dot{m}_h = 1,157 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kabin ve geçişler		z	$w_G(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$w_\zeta(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h)$	$T_\zeta (\text{°C})$	$T_{\text{sir}}(\text{°C})$	$\dot{V}_y(\text{m}^3/\text{h})$
1.kabin	1-2	0,0132	0,0536	0,06185	134,5	141,5	13,7312
	6-7				139,9		
	7-8				139,1		
	12-13				152,4		
2.kabin	2-3	0,01373	0,05791	0,06715	132,3	140	14,28253
	5-6				138,2		
	8-9				140,7		
	11-12				148,9		
3.kabin	3-4	0,01385	0,05997	0,06971	133,4	139,7	14,40736
	4-5				137,3		
	9-10				142,5		
	10-11				145,9		
4.kabin	15-16	0,01053	0,02376	0,02496	179,5	180,45	4,872449
	16-17				181,4		
5.kabin	14-15	0,009731	0,0251	0,02677	179,9	183	4,502735
	17-18				186,1		
6.kabin	13-14	0,01052	0,02846	0,03084	175,4	180,5	4,867822
	18-19				185,6		

$$W_\zeta(\text{ort}) = 0,054 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_h$$

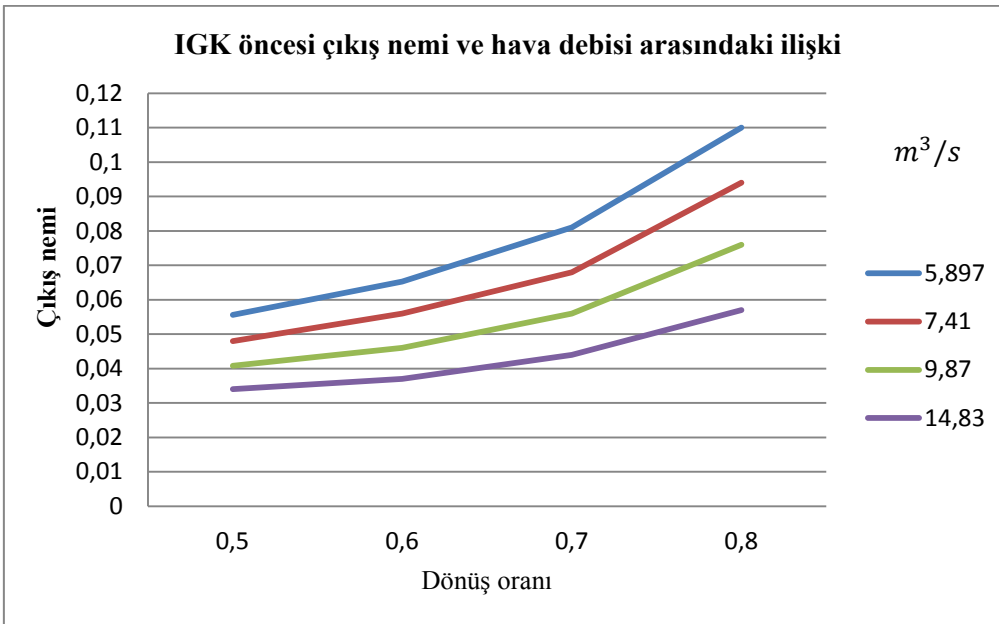
$$\dot{V}_y(\text{toplama}) = 56,66 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

7.BULGULAR ve TARTIŞMA

Ramöz makinesine giren sıcak hava tekstil mamulü ile temas edip bir miktar ısı enerjisini mamule verip mamulden de bir miktar su buharı aldıktan sonra dışarıya atılmaktadır. Bu yüzden ramöz atık havası belirli miktarda nem içermektedir. Atık havadaki nem miktarının az olması havanın nem tutma kapasitesinden yeteri kadar faydalanılmadığını göstermektedir. Nem miktarının fazla olması durumunda ise kütle transferi yavaşlamakta aynı zamanda yoğunlaşma ihtimali bulunmaktadır.

Bacadan atılan sıcak hava yerine fabrika ortamından alınan soğuk hava ısıtılarak makineye verilmektedir. Bu şekildeki enerji kaybını önlemek için kurutucudan çıkan ve ısı enerjisi içeren nemli havanın bir kısmı temiz hava ile karıştırılıp ısıtıldıktan sonra tekrar kullanılmaktadır. Bu miktarın toplam kurutma havasına oranı dönüş hava oranı olarak isimlendirilir. Kurutucudan geçen havanın ne kadarının dışarıya atılıp, ne kadarının yeniden kullanılacağı atık hava çıkışlarındaki klapeleri açıp kapayarak ayarlanabilmektedir.

Farklı hava debileri için dönüş hava oranı ile çıkış hava nemi ile arasındaki ilişki ısı geri kazanım öncesi için Şekil 7.1’de gösterilmiştir.

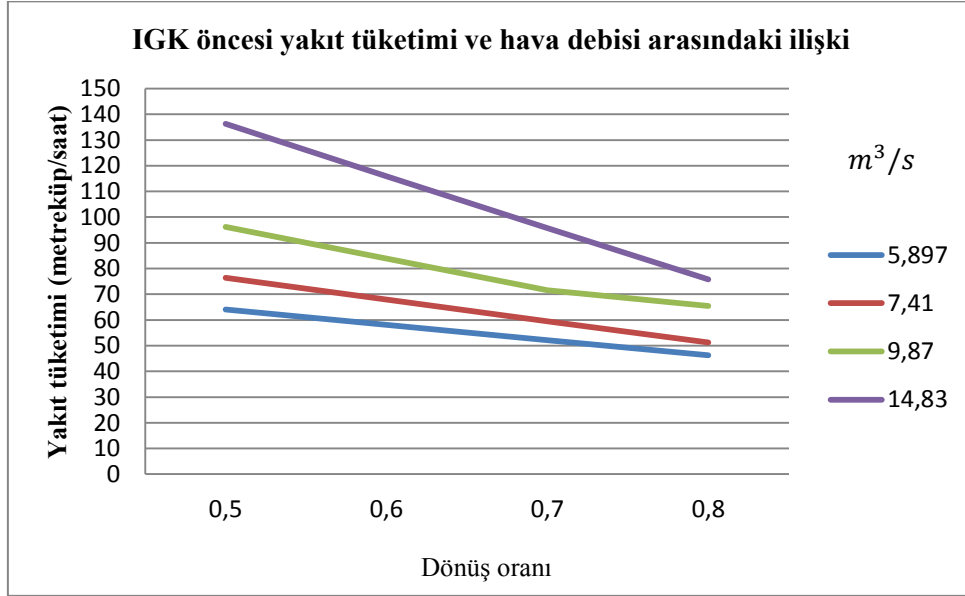


Şekil 7.1 Isı geri kazanım öncesi çıkış nemi ve hava debisi arasındaki ilişki

Şekil 7.1’den görüldüğü gibi ısı geri kazanım öncesinde ramöz makinesinde kurutma için kullanılan hava debisinin artması ile çıkış havası içindeki nem miktarı azalırken dönüş oranının artması ile çıkış havası nemi artmaktadır. Yüksek hava debilerinde çıkış havası nemi

oldukça düşük olup enerji tasarrufu açısından uygun değildir. Düşük hava debilerinde nem değeri daha yüksek olup dönüş hava oranının artması nem değerini artırmaktadır.

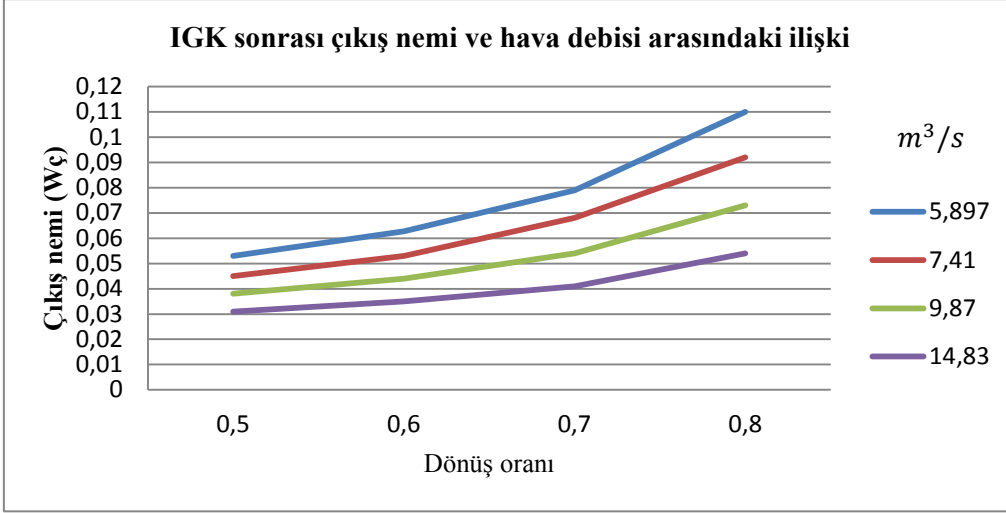
Isı geri kazanım öncesinde dönüş hava oranının yakıt tüketimine etkisi farklı hava debileri için Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2 Isı geri kazanım öncesi yakıt tüketimi ve hava debisi arasındaki ilişki

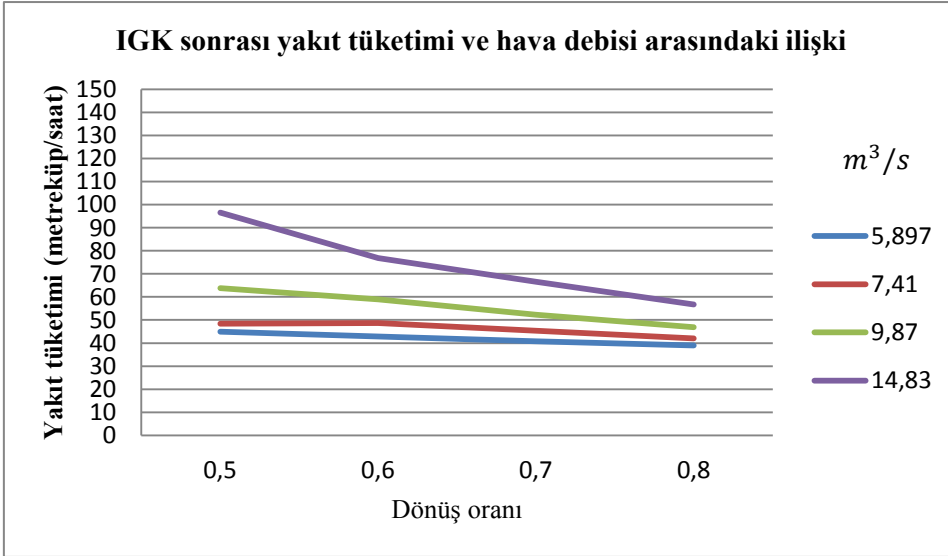
Şekil 7.2’den görüldüğü gibi ısı geri kazanım öncesinde ramöz makinesinde kurutma için kullanılan hava debisinin artması yakıt tüketimini artırırken, dönüş oranındaki artış yakıt tüketimini azaltmaktadır. Bu düşüşün nedeni dönüş havasının yüksek sıcaklığa sahip olmasıdır. 14.83 m^3/s ve 9.87 m^3/s debilerinde yakıt tüketimi, 5.897 m^3/s ve 7.41 m^3/s debilerine göre oldukça fazladır. Fakat uygun hava debisine karar verebilmek için baca çıkışındaki nem değeri de belirleyici olmaktadır. Uygun çıkış nem değerinin 0.08 kg_{H_2O}/kg_h kabul edildiği durumda 14.83 m^3/s ve 9.87 m^3/s debilerinde çalışılması uygun değildir. 0.08 kg_{H_2O}/kg_h nem değerini 5.897 m^3/s debi için 0.7 dönüş oranında 7.41 m^3/s debisi için 0.75 dönüş oranında sağlamaktayız. Bu durumda en düşük debideki kurutma havası yakıt tüketimi ve çıkış nemi açısından tercih edilmelidir.

150°C sıcaklıktaki baca gazı hava-hava ısı eşanjörü kullanılarak fabrika ortamından alınan 30°C sıcaklıktaki havayı ısıtmak için kullanılmıştır. Isıtılan havanın çıkış sıcaklığı bölüm 6.11’de 91.43 °C olarak bulunmuştur. Bu ısıtılmış havanın kullanılması durumundaki değişimler Şekil 7.3 ve Şekil 7.4’de gösterilmiştir.



Şekil 7.3 Isı geri kazanım sonrası çıkış nemi ve hava debisi arasındaki ilişki

Isı geri kazanım sonrası çıkış nemindeki değişiklik fabrika ortamından alınan havanın içindeki su buharı miktarı ve kumaştan buharlaşan su buharı miktarı değişmediğinden ısı geri kazanım öncesine göre çok az olmuştur. Değişiklik sadece yakıt tüketimindeki azalma nedeniyle baca gazı içindeki su buharının azalmasından kaynaklanmıştır.

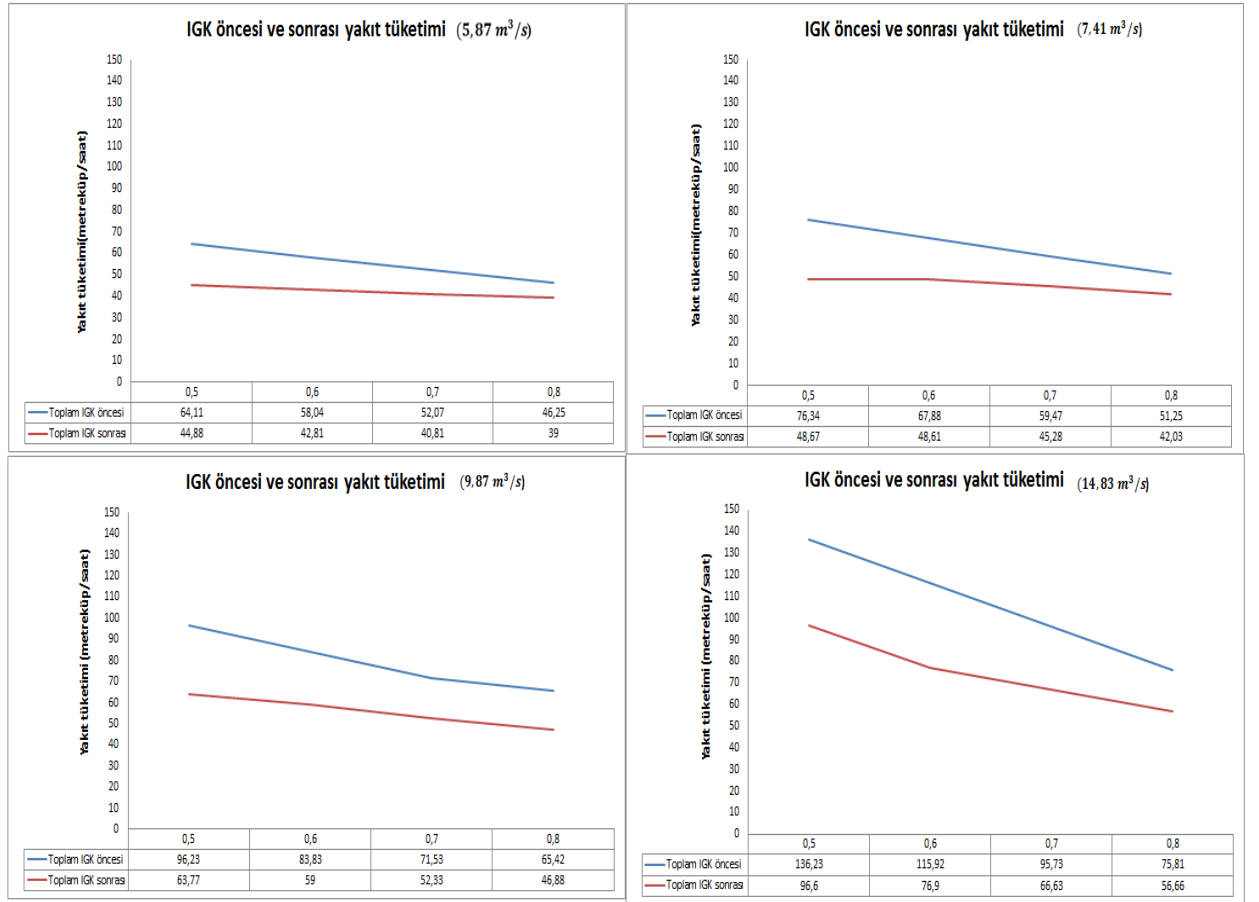


Şekil 7.4. Isı geri kazanım sonrası yakıt tüketimi ve hava debisi arasındaki ilişki

Şekil 7.4 ısı geri kazanım sonrası yakıt tüketiminin hava debisi ile değişimini göstermektedir. Ramöz makinesinde kurutma için kullanılan hava debisinin artması Şekil 7.2' de görüldüğü gibi yakıt tüketimini artırırken dönüş oranındaki artış yakıt tüketimini azaltmaktadır.

Şekil 7.5 ısı geri kazanım öncesi ve sonrası yakıt tüketimleri farklı hava debilerinde ve farklı dönüş hava oranlarında karşılaştırma amaçlı gösterilmiştir. Şekil 7.5'den ısı geri

kazanımı ile yakıttan yapılan tasarrufun en fazla yüksek hava debisinde ve düşük hava oranlarında gerçekleştiği görülmektedir. Çünkü kurutma makinelerinin çalıştırılması için tüketilen enerjinin önemli bir kısmını kurutmada kullanılan atık havanın yerine makineye alınan temiz havanın ısıtılması oluşturmaktadır. Fakat yakıt tüketimi düşük hava miktarlarında daha az olmaktadır. Isı geri kazanım eşanjörünün kullanılması durumunda, $5.87 \text{ m}^3/\text{s}$ debide ve %70 dönüş oranında yakıt tüketiminin $52.07 \text{ m}^3/\text{h}$ değerinden $40.81 \text{ m}^3/\text{h}$ değerine indiği görülmüştür.



Şekil 7.5 Dört farklı hava debisinde yakıt tüketiminin karşılaştırılması

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde enerjinin sürekli kullanımı ve buna bağlı olarak enerji kaynaklarının azalması ve enerji kaynaklarının maliyetlerinin her geçen gün artması ile birlikte enerji tasarrufu üzerinde yapılan çalışmalar daha fazla önem kazanmıştır. Tekstil sektöründe özellikle boya ve apre dairelerinde çok büyük miktarlarda doğalgaz tüketimi gerçekleşmektedir. Apre dairesinde kurutma ve fikse amaçlı kullanılan ramöz makineleri doğalgaz tüketiminde ilk sıralarda yer almaktadır. Tez çalışmasında incelenen katlı ramöz makinesi de Yünsa işletmesinde apre dairesinde yer alan tüm makineler arasından en fazla enerji tüketen makinedir. Ciddi doğalgaz tüketimi olmasına karşılık ramöz makinelerinde herhangi bir geri kazanım işlemine dahil olmadan dışarı atılan atık gazlar bu enerji tüketiminin büyük bir payını oluşturmaktadır.

Tez çalışmasında Yünsa işletmesinde yer alan katlı ramöz makinesinin termodinamik analizi yapılmıştır. Birden fazla hava debisi ve farklı dönüş oranları için yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Mevcut makine verilerinin incelenmesinin ardından ramöz makinesinin bacasından atmosfere atılan sıcak ve nemli havanın içerdiği ısı enerjisinden faydalanılarak ramöz makinesine giren temiz havanın ısıtılması için gövde borulu ısı geri kazanım eşanjörü tasarımı yapılmıştır. Isı geri kazanım uygulaması olması durumunda farklı hava debileri ve farklı hava dönüş oranlarında yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Isı geri kazanım öncesi ve sonrası için hesaplanan yakıt tüketim değerleri karşılaştırılmıştır.

IGK öncesi ve sonrası için yapılan termodinamik analiz sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Hava debisi ile baca çıkış havasının içerdiği nem miktarı ters orantılı olarak değişmektedir. Baca gazı içindeki nem miktarının fazla olması havanın kurutma kapasitesinin tam kullanılmadığının göstergesidir.
2. Hava debisi ile yakıt tüketimi doğru orantılı değişmektedir. Baca gazı çıkış nemi dikkate alınarak mümkün olduğunca az hava kullanılmalıdır.
3. Dönüş oranı ile baca gazı çıkış nemi doğru orantılı, yakıt tüketimi ters orantılı olarak değişmektedir. Baca gazı çıkış neminin istenilen değerde ve yakıt tüketiminin en düşük olduğu dönüş hava oranı kullanılmalıdır.
4. Yakıt tüketimi dönüş havası oranının artmasıyla azalmaktadır.

5. Isı geri kazanım eşanjörünün geri dönüş süresi 12,84 ay olarak bulunmuştur.

Mevcut katlı ramöz makinesi için en uygun çalışma parametrelerinin $5.87 \text{ m}^3/\text{s}$ debi ve %70 dönüş oranı olduğu bulunmuştur. Bu şartlarda ve ısı geri kazanım eşanjörü kullanılması durumunda, yakıt tüketiminin $52.07 \text{ m}^3/\text{h}$ değerinden $40.81 \text{ m}^3/\text{h}$ değerine inerek %21.6'lık bir tasarruf elde edildiği görülmüştür. Günde 22 saat, ayda 29 gün çalışılan ortamda yıllık 86.206 m^3 'lük bir yakıt tasarrufu anlamına gelmektedir.

Yukarıda belirtilen sonuçlar ısı geri kazanım sistemlerinin enerji tüketiminin yoğun olduğu sektörlerde uygulanmasının önemini öne çıkarmaktadır. Çünkü ısı üretimi ve tüketimi yapılan bir tesiste, dışarı atılması tamamen önlenemeyen bir enerji her zaman vardır. Bu enerji, sıvı ve gazlarla dışarı atılır. Tam olarak önlenemese de çeşitli atık ısı geri kazanım sistemleri ile kaybolan bu enerji azaltılabilir. Atık ısının değerlendirilmesi enerji tüketiminde tasarrufun yanı sıra çevre kirliliğinin önlenmesi gibi başka diğer faydaları da bulunmaktadır. Üretim yapan tesislerin atık ısılarını değerlendirmek için ısı geri kazanım yapılan çalışmaların sürekliliğinin sağlanması ve konuyla ilgili yasa ve yönetmeliklerin uygulanması için gerekli adımların atılması gerekmektedir.

9.KAYNAKLAR

- Bansal P.K, Braun J.E, Groll E.A (2001). Improving the Energy Efficiency of Conventional Tumbler Clothes Drying Systems. *International Journal of Energy Research*, 25: 1315-1332.
- Çay A, Tarakçioğlu I, Hepbaşlı A (2010). Exergetic Analysis of Textile Convective Drying with Stenters by Subsystem Models: Part 1—Exergetic Modeling and Evaluation. *Drying Technology*, 28: 1359-1367.
- Çay A, Tarakçioğlu I, Hepbaşlı A (2011). A Comparative Study on the Exergoeconomic Analysis of Textile Dryers Using Speco Method. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 2: 125-131.
- Çengel Y.A, Boles M. A (2012). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Güven Yayın Evi, 946, İzmir.
- Dinçer I, Şahin A.Z (2004). A New Model for Thermodynamic Analysis of a Drying Process. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47: 645-652.
- Hamdaoui M, Baffoun A, Chaaben K.B, Hamdaoui F (2013). Experimental Study and Mathematical Model to Follow the Drying Phenomenon of Knitted Textile Fabric. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 8: 70-76.
- Hasanbeigi A, Price L (2012). A Review of Energy Use and Energy Efficiency Technologies for the Textile Industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 3648-3665.
- Johann G, Silva E.A, Motta Lima O.C, Pereira N.C (2014). Mathematical Modeling of a Convective Textile Drying Process. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31: 959-965.
- Marmaralı A, Özdil N, Dönmez Kretzschmar S, Gülsevin Oğlakçioğlu N (2006). Giysilerde Isıl Konforu Etkileyen Parametreler. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 4: 241-246.
- Oğulata R.T, Kadem F, Koç E (1999). *Tekstilde Kurutma Yöntem Ve Makinaları*. 1V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 803-810, İzmir.
- Palamutçu S (2010). Electric Energy Consumption in the Cotton Textile Processing Stages. *Science Direct Energy* 35: 2945-2952.

- Santos R.M, Llanos J.W.P, Quadri M.B, Rocha I.C.C (2015). Study of Drying and Consumption of Natural Gas in a Textile Stenter of Direct Heating. *Drying Technology*, 33: 37-54.
- Şekkeli M, Keçecioglu Ö.F (2012). Scada Based an Energy Saving Approach to Operation Of Stenter Machine in a Textile Plant Using Waste Heat Recovery System. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 3: 248-257.
- Uçak F (2010). *Tekstil Terbiye İşletmelerinde Ramöz Makinasında Enerji Tasarrufu*. Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Xue L (2004). *Process Optimization Of Dryers/Tenters In The Textile Industry*. MSci Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, United States of America.

ÖZGEÇMİŞ

16.08.1990 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2009 yılında başladığı Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2013 yılında mezun oldu. Aynı yıl Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2013-2014 yılları arasında HASSAN GROUP firmasında üretim şefliği yapmıştır. 2014 yılında başlamış olduğu YÜNSA Arge Merkezinde'ki arge mühendisliği görevine devam etmektedir.