

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**TEKSTİL TERBİYE İŞLETMELERİNİN ENERJİ, EKSERJİ VE
EKSERGOEKONOMİK ANALİZ YÖNTEMLERİNİN
UYGULANMASIYLA PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

AHMET ÇAY

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 621.01.04

Sunuş Tarihi: 11.02.2009

Tez Danışmanları: Prof. Dr. Işık Tarakçıoğlu

Prof. Dr. Arif Hepbaşlı

Bornova-İZMİR

ÖZET**TEKSTİL TERBİYE İŞLETMELERİNİN ENERJİ, EKSERJİ VE
EKSERGOEKONOMİK ANALİZ YÖNTEMLERİNİN
UYGULANMASIYLA PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

ÇAY, Ahmet

Doktora Tezi, Tekstil Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticileri: Prof. Dr. Işık TARAKÇIOĞLU, Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

Şubat, 2009, 182 sayfa

Ekserji analizi, ısı sistemlerinin analizi, tasarımı ve optimizasyonu için termodinamiğin ikinci yasasıyla birlikte kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini kullanan etkin bir yöntemdir. Analiz edilen süreçlerin ve sistemlerin termodinamik bakımdan eksikliklerinin nedenlerini nicel olarak ortaya çıkarıp, değerlendirmek için kullanılmaktadır. Mühendislik uygulamalarında sistemlerin ve süreçlerin ekserji analizleriyle saptanan termodinamik iyileştirme potansiyellerinin yanı sıra ekonomik kıstasların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle termodinamik ve ekonomi prensiplerini birlikte değerlendiren eksergoekonomik analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Özgül Ekserji Maliyeti (SPECO) ve Ekserji-Maliyet-Enerji-Kütle (EXCEM) yöntemleri, en yaygın olarak kullanılan eksergoekonomik analiz yöntemlerindendir.

Tekstil terbiye işletmelerinin enerji analizleri üzerine literatürde bir çok çalışma bulunmasına rağmen, ekserji ve eksergoekonomik analiz ve performans değerlendirmesine ilişkin herhangi bir çalışmaya açık literatürde rastlanmamıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, performans değerlendirmesi, kıyaslama ve iyileştirme amaçları bakımından, tüm sistem 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 eksergoekonomik analizinin yapılmasıdır.

Çektirme yöntemine göre aplikasyon işlemlerinin analizinde işlem parametrelerinin özgül ekserji tüketimi ve tahribine olan etkileri incelenmiştir. Ek olarak, pamuklu ve poliester kumaşların terbiye işlemlerine ait bir vaka analizi de gerçekleştirilmiştir. İşlem sıcaklığı, süresi, su giriş sıcaklığı ve flotte oranı özgül ekserji tahribini etkileyen temel parametrelerdir. Kumaşın beraberinde taşıdığı su (carry-over) oranının özgül ekserji tahribine etkisi de ayrıca incelenmiştir. Pamuklu kumaşların terbiyesinde ortaya çıkan toplam özgül ekserji tahribinin % 23 ve % 50'sini, sırasıyla ağartma ve yıkama işlemleri oluştururken, poliester kumaşların terbiyesinde % 32'lik payla boyama adımı en yüksek özgül ekserji tahribini ortaya çıkarmaktadır. Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinin ekserji verimlerinin proses parametrelerine bağlı olarak % 4,6 ile % 34,8 arasında değiştiği saptanmıştır.

Kurutma işlemlerinin analizinde, direkt doğal gaz ısıtmalı (DGIR) ve kızgın yağ ısıtmalı (KYIR) ramözler için geliştirilmiş kontrol hacimleri oluşturularak ekserjetik ve eksergoekonomik modelleri sunulmuştur. Ramözün ilk kamaralarında, kurutma sabit hız periyodunda olduğundan özgül ekserji tahribi daha düşüktür. Son kamaralara doğru gidildikçe, sırasıyla birinci ve ikinci azalan-hız periyotları gerçekleşmeye başladığından özgül ekserji tahribi giderek artmakta, son kamarada en yüksek değerine ulaşmaktadır.

DGIR’de tersinmezlikler bileşen bazında incelendiğinde, en yüksek ekserji tahribi akımının brülörde ortaya çıktığı, bunu karışma kısmının takip ettiği ortaya konmuştur. KYIR’de ise en yüksek ekserji tahribi akımının kızgın yağ kazanında ortaya çıktığı görülmüştür. Isı değiştirici kısmı da toplam ekserji tahribi akımının önemli bir kısmını oluşturan diğer bir bileşendir. DGIR’ün toplam sistem enerji ve ekserji verimi, atık hava nemine bağlı olarak sırasıyla % 27,9 ile % 57,1 ve % 8,5 ile % 17,5 arasında değişmektedir. KYIR’ün toplam sistem enerji ve ekserji verimleri ise, atık hava nemine bağlı olarak, sırasıyla, % 21,6 ile % 43,9 ve % 6,8 ile % 14,0’dır ve DGIR’den daha düşüktür.

Kurutma işlemlerinin eksergoekonomik analizi hem SPECO hem de EXCEM yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti DGIR ve KYIR için, sırasıyla, 0,23 US\$/GJ ile 0,26 US\$/GJ ve 0,25 US\$/GJ ile 0,29 US\$/GJ arasında değişmektedir. KYIR’de ekserji maliyetleri daha yüksektir.

Bu tez çalışması ile, tekstil terbiye süreçlerindeki ekserji kayıpları ve iyileştirme potansiyelleri ile ekserji verimleri ilk kez saptanmış, ekserjetik ve eksergoekonomik modelleme gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Tekstil terbiye işletmeleri, enerji, ekserji analizi, ekserji verimi, eksergoekonomik analiz, çektirme yöntemi, kurutma, ramöz

IX

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF TEXTILE FINISHING MILLS USING ENERGY, EXERGY AND EXERGoeCONOMIC ANALYSIS METHODS

ÇAY, Ahmet

Ph.D. in Textile Engineering

Supervisors: Prof. Dr. Işık TARAKÇIOĞLU, Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

February, 2009, 182 pages

Exergy analysis is an effective method that uses the second law of thermodynamics as well as the mass and energy conservation for the analysis, design and optimization of thermal systems. It is employed to detect and to evaluate quantitatively the causes of the thermodynamic imperfection of the processes and systems. On the other hand, economic criteria should be also taken into account as well as the thermodynamic improvement potentials determined by exergy analysis for systems and processes in engineering applications. For this purpose various exergoeconomic analysis methods have been developed. Among these Specific Exergy Costing (SPECO) and Exergy-Cost-Energy-Mass (EXCEM) are the most common used methods.

Although many studies have been undertaken on the energy analysis of textile finishing mills, no studies have appeared in the open literature to conduct exergy and exergoeconomic analysis and performance evaluation. The main purpose of this thesis are twofold, namely (i) to conduct a comprehensive energy, exergy and exergoeconomic analysis of exhaustion finishing and drying processes of

textile finishing mills, in which the highest energy consumption occurs, and (ii) to assess the whole system along with its sub-components for performance evaluation, comparison and elucidating potentials for improvement.

In the analysis of exhaustion finishing, the effects of the process parameters on the exergy consumption and destruction rates were addressed. Additionally, a case study for cotton and polyester finishing processes was performed. The process temperature and time, water inlet temperature and liquor ratio were found to be the main parameters affecting exergy destruction rates. The effects of carry-over on exergy destruction rates were also investigated. It was shown that, 23 % and 50 % of total exergy destruction rate occurred due to the bleaching and washing steps for cotton finishing, respectively, while 32 % of total was accounted for the dyeing step of polyester finishing. The exergy efficiency of the finishing processes ranged from 4.6 % to 34.8 % depending on the process variables.

While analyzing the drying processes, generalized control volumes of direct gas heated and hot oil heated stenters were created and exergy and exergoeconomic models were presented. In the initial chambers of the stenter, specific exergy destruction rates were lower due to the constant-rate period of drying. At the further chambers, specific exergy destruction rates increased gradually since falling-rate period of the drying realize, and reached the highest values at the last chamber.

It was revealed that the highest exergy destruction rate was observed in the combustion chamber of the direct gas heated stenter and the mixing unit was

arised to be the second significant sub-component. However, in the hot oil heated stenter, the hot oil boiler is the sub-component with the highest exergy destruction rate. Heat exchanger sub-unit is also of a great importance for the total destruction. The total system energy and exergy efficiency values of the direct gas heated stenter were calculated to vary between 27.9 % to 57.1 % and 8.5 % to 17.5 %, respectively, depending on the exhaust air humidity. Those of the hot oil heated stenters were found to be 21.6 % to 43.9 % and 6.8 to 14.0 %, respectively.

Exergoeconomic analyses of drying process were conducted using both SPECO and EXCEM methods. The exergy costs of evaporation was obtained to be 0.23 US\$/GJ to 0.26 US\$/GJ for the direct gas heated stenter and 0.25 US\$/GJ to 0.29 US\$/GJ for the hot oil heated stenter. Hot oil heated stenter types caused higher exergy costs as well as higher irreversibilities.

Key Words: Textile finishing mills, energy, exergy analysis, exergy efficiency, exergoeconomic analysis, exhaustion finishing, drying, stenter

XIII

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bana yol gösteren, destek olan değerli hocalarım Prof. Dr. Işık Tarakçıoğlu'na ve Prof. Dr. Arif Hepbaşlı'ya, Yurt İçi Doktora Burs Programı ile tez çalışmasını destekleyen TÜBİTAK BİDEB'e, işletme ortamında analiz ve uygulamaların yapılması ve veri temininin sağlanmasında büyük katkıları olan Doğuş Tekstil yetkilileri ve Sn. Azim Kaya'ya, Ekoten A.Ş. ve May Örne çalışanlarına, ASOS Otomasyon Genel Müdürü Önder Filiz'e, tez izleme ve sınav komitesinin değerli üyelerine, çalışmam süresince her konuda yardımcı ve destek olan Dr. Arzu Özerdem, Arş. Gör, Eylen Sema Namlıgöz, Arş. Gör. Rıza Atav'a ve dostluklarını esirgemeyen tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma, sadece tez çalışması süresince değil, daima yardımlarını ve manevi desteğini esirgemeyen eşim Duygu Çay'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

XV
İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	V
ABSTRACT	IX
TEŞEKKÜR	XIII
İÇİNDEKİLER	XV
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XXV
SİMGELER VE KISALTMALAR	XXVI
1. GİRİŞ	1
2. TÜRKİYE VE DÜNYA’DA ENERJİ TÜKETİMİNE GENEL BAKIŞ	4
2.1 Tekstil sektöründe enerji tüketimi	8
3. DAHA ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
3.1. Aplikasyon ve yıkama işlemlerine yönelik yapılmış çalışmalar	17
3.2. Kurutma işlemlerine yönelik yapılmış çalışmalar	20
4. ENERJİ ANALİZİ VE ENERJİ DENKLİĞİ	26
5. EKSERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ	29
5.1. Ekserji tahribi ve ekserji kaybı	32
5.2. Ekserji verimi	34
6. EKSERGOEKONOMİK ANALİZ	36
6.1. SPECO yöntemi	36
6.2. EXCEM yöntemi	39
7. TEKSTİL TERBİYESİ TEMEL İŞLEMLERİ	41
7.1. Aplikasyon işlemleri	41
7.2. Kurutma işlemleri	45

XVI
İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
8. METOT VE ANALİZ	60
8.1 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinin analizi	60
8.1.1 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinin enerji ve ekserji analizi	60
8.1.2 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinde eksergoekonomik analiz	62
8.2 Kurutma işlemlerinin analizi	63
8.2.1 Kurutma işlemlerinde enerji ve ekserji analizi	63
8.2.2 Kurutma işlemlerinde eksergoekonomik analiz	74
9. BULGULAR VE TARTIŞMA	76
9.1 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinin analizi	76
9.1.1 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinde ekserji analizi ...	76
9.1.1.1 İşlem sıcaklığı ve süresinin etkisi	76
9.1.1.2 Carry-over oranının ve sıcaklığının etkisi	80
9.1.1.3 Flotte oranının etkisi	85
9.1.1.4 Su giriş sıcaklığının etkisi	87
9.1.1.5 Pamuk ve poliester kumaşların terbiye işlemlerinde ekserji analizi	89
9.1.2 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinde eksergoekonomik analiz	97
9.2 Kurutma işlemlerinin analizi	100
9.2.1 Kurutma işlemlerinin enerji ve ekserji analizi	100

XVII
İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
9.2.1.1 Yağ ısıtmalı konveksiyon kurutucuların ekserji analizi ve karşılaştırılması	100
9.2.1.1.1 Atık hava neminin etkisi	101
9.2.1.1.2 Referans hal sıcaklığının etkisi	106
9.2.1.2 Direkt ısıtmalı ramözlerde ekserji analizi	107
9.2.1.2.1 Direkt doğal gaz ısıtmalı ramözün işletme koşullarında �alıştırılmasına ait ekserji analiz sonuçları	108
9.2.1.2.2 Atık hava neminin etkisi	117
9.2.1.2.3 Kumaş �ıkış neminin etkisi	128
9.2.1.2.4 Kurutma havası sıcaklığının etkisi	136
9.2.1.3 Yağ ısıtmalı ramöz ile direkt doğal gaz ısıtmalı ramözün kıyaslanması	139
9.2.1.4 Econ-Air sisteminin incelenmesi	150
9.2.2 Kurutma işlemlerinde eksergoekonomik analiz	153
9.2.2.1 SPECO yöntemine göre eksergoekonomik analiz	153
9.2.2.2 EXCEM yöntemine göre eksergoekonomik analiz	159
10. SONUÇLAR	162
KAYNAKLAR D�Z�N�	170
�ZGE�M�ş	182

XVIII
ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 1970-2030 yılları arasındaki enerji talebi	6
2.2 Tekstil sanayiinde enerji tüketimi ve satıştan elde edilen gelirler	10
2.3 Seçilmiş tekstil firmaları maliyet analizi	11
2.4 Tekstil terbiye sektörü maliyet analizi	11
2.5 Çeşitli tekstil işletmelerinde elektrik ve yakıt enerjisi tüketiminin dağılımı	13
2.6 Bir tekstil işletmesinde yer alan bölümlere ait birim elektrik tüketimi	14
2.7 Bir tekstil işletmesinde bölümlerin klima için birim elektrik tüketimi	14
2.8 Bir tekstil işletmesine ait üretim bölümlerine düşen birim ısı enerjisi tüketimi	15
5.1 Çeşitli ısı sistemleri için yakıt ve ürün birimleri için örnekler	35
6.1 Bir sistem bileşeninde maliyet denkliği	37
7.1 Jet boyama makinesi	43
7.2 Kurutma zamanına bağlı olarak kumaşın nem içeriği	47
7.3 Kurutma hızı-nem içeriği eğrisi	47
7.4 Kumaş yüzey sıcaklığının zamana bağlı olarak değişimi	48
7.5 Konveksiyon kurutmada sabit hız periyodu	49
7.6 Konveksiyon kurutmada azalan hız periyodu	51
7.7 Tek ve çift geçişli taşıma bantlı kurutucular	54
7.8 Taşıma bantlı kurutucuda kumaş hareketi	54
7.9 Direkt doğal gaz ısıtmalı bir ramözün enine kesit ve hava sirkülasyonu görünümü	55

XIX
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.10 Atık hava ölçüm cihazı	57
7.11 Ramözlerde ısıtma sistemleri	58
8.1 Jet boyama makinesine ait kontrol hacmi	60
8.2 Pamuklu kumaşa ait boyama grafiği	61
8.3 Poliester kumaşa ait boyama grafiği	62
8.4 Yağ ısıtmalu kurutucunun genelleştirilmiş kontrol hacmi (Model 1) ..	64
8.5 Direkt doğal gaz ısıtmalu ramözler için kontrol hacimleri (Model IIa)	68
8.6 Kızgın yağ ısıtmalu ramözler için kontrol hacimleri (Model IIb)	72
9.1 İşlem sıcaklığı ve süresinin özgöl ekserji tahribine etkisi	77
9.2 İşlem sıcaklığı ve süresinin özgöl buhar ekserjisi girdisine etkisi	78
9.3 İşlem sıcaklığı ve süresinin toplam (buhar + elektrik) özgöl ekserji tüketimine etkisi	79
9.4 İşlem süresi ve sıcaklığının ekserji verimine etkisi	80
9.5 Kumaş giriş sıcaklığının özgöl ekserji tahribine etkisi	81
9.6 Carry-over oranının özgöl ekserji tahribine etkisi	82
9.7 Carry-over oranına bağlı olarak yıkama işleminde harcanan ve tahrip edilen özgöl ekserji	84
9.8 Flotte oranının birim kumaş kütlesi için kullanılan buhar özgöl ekserjisine etkisi	85
9.9 Flotte oranının özgöl ekserji tahribine etkisi	86
9.10 Su giriş sıcaklığının özgöl ekserji tahribine etkisi	87
9.11 Su giriş sıcaklığının özgöl ekserji tüketimine etkisi	88

XX

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.12 Pamuklu ve poliester kumaşların terbiye işlemlerinin her bir adımına ait özgül ekserji kayıpları	90
9.13 Pamuklu ve poliester kumaşların terbiye işlemlerinin her bir adımına ait özgül enerji ve ekserji tüketimleri.....	91
9.14 Pamuklu ve poliester kumaşların terbiye işlemlerinin her bir adımına ait ekserji verimleri	92
9.15 Pamuklu kumaşın terbiye işlemine ait ekserji akış (Grassmann) diyagramı	93
9.16 Pamuklu ve poliester kumaşların terbiye işlemlerinin her bir adımına ait özgül ekserji kayıpları	94
9.17 Atık suların karıştırılması sonucu depodaki atık su sıcaklığı	96
9.18 Atık suların karıştırılmasının özgül ekserji akımına ve tahribine etkisi	97
9.19 İşlem sıcaklığının R_{en} ve R_{ex} değerlerine etkisi	98
9.20 Flotte oranının R_{en} ve R_{ex} değerlerine etkisi	99
9.21 Pamuklu ve poliester kumaş terbiyesinde her bir adım için R_{en} ve R_{ex} değerleri	99
9.22 Atık hava nemi ile ekserji verimi arasındaki ilişki	102
9.23 Atık hava nemi ile ekserji tahribi akımı arasındaki ilişki	102
9.24 Atık hava neminin ekserji kaybı akımına etkisi	104
9.25 Ramözün iki bacasına ait kaybolan ekserji akımı değerleri	105

XXI

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.26 Taşıma bantlı kurutucuda, referans hal sıcaklığının ekserji verimi ve ekserji tahribi akımına etkisi	106
9.27 Ramözde, referans hal sıcaklığının ekserji verimi ve ekserji tahribi akımına etkisi	107
9.28 DGIR’de kamara bazında enerji tüketimi	109
9.29 DGIR’de her bir kamaradaki buharlaştırılan birim su miktarı başına özgül enerji tüketimi	110
9.30 DGIR’de her bir bileşene ait özgül ekserji tahribinin kamara bazında incelenmesi	111
9.31 DGIR’de her bileşeni için kamara bazında ekserji verimleri	112
9.32 DGIR’de toplam sistem enerji ve ekserji verimlerinin kamara bazında incelenmesi.....	115
9.33 DGIR’de her bir kamarada atık hava ile ortaya çıkan ekserji kaybı akımları	117
9.34 DGIR’de her bir kamaradaki ekserji tahribi akımının atık hava nemine göre değişimi	118
9.35 Atık hava neminin DGIR bileşenlerindeki ekserji tahribi akımına etkisi	119
9.36 Atık hava neminin DGIR’de toplam ekserji tahribi akımına etkisi ...	121
9.37 Atık hava neminin her bir kamaradaki kurutma kısmının ekserji verimine etkisi	122
9.38 DGIR’de her bir kamarada atık hava neminin yakıt bazında enerji verimine etkisi	123

XXII

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.39 DGIR’de her bir kamarada atık hava neminin yakıt bazında ekserji verimine etkisi	123
9.40 Atık hava neminin DGIR bileşenlerinin ekserji verimine etkisi	124
9.41 Atık hava neminin DGIR toplam sistem enerji ve ekserji verimine etkisi	125
9.42 DGIR’de her bir kamarada atık hava ile ortaya çıkan ekserji kaybı akımının atık hava nemine göre değişimi	126
9.43 Atık hava ile ortaya çıkan toplam ekserji kaybı akımının atık hava nemi ile değişimi	127
9.44 Kumaş çıkış nemine bağlı olarak ramözün her bir kamarasında birim zamanda buharlaştırılan su miktarı	129
9.45 Kumaş çıkış neminin birim zamanda geçen kumaş miktarı için tüketilen özgül enerjiye etkisi	130
9.46 Kumaş çıkış neminin buharlaştırılan birim su miktarı için tüketilen enerjiye etkisi	131
9.47 Kumaş çıkış neminin farklı atık hava nemlerinde birim zamanda geçen kumaş miktarı için tüketilen enerjiye etkisi	132
9.48 Kumaş çıkış neminin kamara bazında birim zamanda buharlaştırılan su miktarı için tahrip edilen özgül ekserjiye etkisi	133
9.49 Farklı atık hava nemlerinde kumaş çıkış neminin özgül ekserji tahribine etkisi	133
9.50 Kumaş çıkış neminin farklı atık hava nemlerinde enerji verimine etkisi	134

XXIII

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.51 Kumaş çıkış neminin farklı atık hava nemlerinde ekserji verimine etkisi	135
9.52 Kumaş çıkış neminin farklı atık hava nemlerinde özgül ekserji kaybına etkisi	135
9.53 Atık hava ile ekserji kaybının kumaş çıkış nemine göre değişimi	136
9.54 Kurutma havası sıcaklığının özgül ekserji tahribine etkisi	138
9.55 Kurutma havası sıcaklığının ekserji verimine etkisi	138
9.56 KYIR ve DGIR için toplam ekserji tahribi akımının kıyaslanması ...	140
9.57 $0,1 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava neminde KYIR ve DGIR için her bir bileşende ortaya çıkan ekserji tahribi akımı	141
9.58 KYIR’de her bir bileşende ortaya çıkan ekserji tahribi akımının atık hava nemine göre değişimi	142
9.59 KYIR ve DGIR’de toplam ekserji kaybı akımları	143
9.60 KYIR’de her bir bileşen için ekserji verimleri	144
9.61 KYIR için toplam sistem enerji verimleri	147
9.62 KYIR için toplam sistem enerji verimleri	147
9.63 KYIR ile DGIR’ün toplam sistem ekserji verimlerinin karşılaştırılması	148
9.64 Direkt doğal gaz ısıtmal ramöz için ekserji akış (Grassman) diyagramı	149
9.65 Kızgın yağ ısıtmal ramöz için ekserji kayıp ve akış (Grassman) diyagramı	150

XXIV

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.66 Klasik ve Econ-Air sistem kurutucularda kurutma havası ve kumaş sıcaklık eğrileri	151
9.67 Klasik ve Econ-Air sistem kurutucularda sirkülasyon havasının nemi	152
9.68 Econ-Air ve klasik ramözlerde ekserji tahribi akımı	153
9.69 DGIR’de her bir kamarada buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti	154
9.70 DGIR’de her bir kamarada birim zamanda buharlaştırılan su miktarı için tüketilen yakıtın ekserji ile ilişkilendirilmiş maliyeti	155
9.71 DGIR ve KYIR’de buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti	156
9.72 DGIR ve KYIR’de ekserji ile ilişkilendirilmiş özgül yakıt maliyeti ..	157
9.73 Kumaş çıkış neminin buharlaştırılan suyun ekserji maliyetine etkisi .	158
9.74 Kumaş çıkış neminin ekserji ile ilişkilendirilmiş yakıt maliyetine etkisi	158
9.75 DGIR ve KYIR için R_{en} değerinin atık hava nemi ile değişimi	160
9.76 DGIR ve KYIR için R_{ex} değerinin atık hava nemi ile değişimi	160
9.77 Termodinamik kayıpların sermayeye oranının (R_{en} ve R_{ex}) kumaş çıkış nemi ile değişimi	161

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Seçilmiş bazı ülkelere ait enerji göstergeleri	5
2.2 Sektörlere göre toplam enerji tüketimi	8
2.3 Sektörlere göre enerjinin maliyeti	9
2.4 1995-2001 yılları arasında Türkiye ortalama sanayi enerji yoğunluğu ile tekstil sanayiinin enerji yoğunluğundaki gelişmeler	10
2.5 Tekstil işletmelerindeki özgül enerji tüketiminin dairelere göre dağılımı	12
2.6 Tekstil terbiye işletmelerinde sürece bağlı olarak özgül enerji tüketimleri	16
3.1 Terbiye işlemlerinde enerji tüketimi ve enerji verimli teknolojiler ile sağlanacak tasarruflar	20
8.1 Direkt doğal gaz ısıtmalı ramöze ait maliyet denklikleri	74
8.2 Kızgın yağ ısıtmalı ramöze ait maliyet denklikleri	75
8.3 EXCEM yöntemi için ekserji kayıp değerleri	75
9.1 Ramöz ve taşıma bantlı kurutucu için ekserji verimliliği, geliştirme potansiyeli derecesi ve bağlı tersinmezlik verileri	100
9.2 DGİR’de her kamaradaki nem ve sıcaklık değerleri	108
9.3 Farklı kumaş çıkış nemlerinde kurutma analizi için kullanılan veriler ..	128
9.4 Ramözlere ait yatırım maliyeti akımları	154

XXVI

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
A	makina yüzey alanı (m ²)
c	ekserji maliyeti (US\$/GJ)
C	özgül ısı (kJ/kg K)
$\dot{C}$	ekserji ile ilişkilendirilmiş yakıt maliyeti akımı (US\$/s)
E	özgül enerji akımı (kJ/kg kumaş)
$\dot{E}$	enerji akımı (kJ/s)
ex	özgül ekserji (kJ/kg)
Ex	özgül ekserji (kJ/kg kumaş)
$\dot{Ex}$	ekserji akımı (kJ/s)
En	kumaş eni (m)
g	yerçekimi ivmesi (m ² /s)
G	kumaş gramajı (kg/m ²)
h	özgül entalpi (kJ/kg)
$\bar{h}$	yanma entalpisi (kJ/kmol)
$\bar{h}^o$	referans hal yanma entalpisi (kJ/kmol)
$\bar{h}_f^o$	oluşum entalpisi (kJ/kmol)
Hu	yakıt ısı değeri (kJ/kg)
$\dot{I}$	tersinmezlik akımı (kW)
K	yatırım maliyeti (US\$)
$\dot{L}$	termodinamik kayıp akımı (kW)

XXVII

SİMGELER VE KISALTMALAR (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
LHV	alt ısı değer (kJ/kg)
$\dot{m}$	kütlesel debi (kg/s)
p	basınç (kPa)
Q	ısı miktarı (kJ/kg)
$\dot{Q}$	ısı akımı (birim zamandaki ısı miktarı) (kJ/s veya kW)
R	termodinamik kayıpların maliyete oranı (kW/US\$)
s	özellik entropi (kJ/kg K)
$\dot{S}_{gen}$	entropi üretimi (W/K)
T	sıcaklık (K veya °C)
V	hız (m/s)
$\dot{W}$	güç veya iş akımı (kW)
z	yükseklik (m)
$\dot{Z}$	ekserji ile ilişkilendirilmeyen işletme kaynaklı maliyet akımı (US\$/s)
<i>Yunan harfleri</i>	
ε	ekserji verimi (-)
ϕ	endüstriyel yakıtlar için bir sabit (-)
η	enerji verimi (-)
ω	özellik nem (kg _{su} /kg _{hava})

XXVIII

SİMGELER VE KISALTMALAR (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
<i>Alt indis</i>	
0	referans çevre
<i>ch</i>	kimyasal
<i>ç</i>	çıkış
<i>d</i>	tahrip
<i>en</i>	enerji ile ilişkili
<i>ex</i>	ekserji ile ilişkili
<i>ev</i>	buharlaştırılan
<i>f</i>	yakıt
<i>g</i>	giriş
<i>h</i>	hava
<i>k</i>	kumaş, kinetik
<i>L</i>	kayıp
<i>ky</i>	kızgın yağ
<i>p</i>	ürün, potansiyel
<i>ph</i>	fiziksel
<i>q</i>	ısı transferi ile ilişkili
<i>s</i>	su
<i>w</i>	iş ile ilişkili,
<i>y</i>	yakıt

XXIX

SİMGELER VE KISALTMALAR (devam)

Simgeler

Açıklamalar

Kısaltmalar

DGİR	Doğal gaz ısıtmalı ramöz
EXCEM	Ekserji-maliyet-enerji-kütle
KYİR	Kızgın yağ ısıtmalı ramöz
SPECO	Özgöl ekserji maliyeti
TEP	Ton eşdeğer petrol

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünya ülkelerinde sosyal ve ekonomik kalkınmanın en sağlıklı temel girdisi olan enerjiye gün geçtikçe daha fazla gereksinim duyulması, enerji kullanım verimliliklerinin analizinin ve iyileştirme çalışmalarının önemini artırmaktadır. Enerji kaynaklarının önem kazanması ve enerjinin, işletme maliyetlerinde daha çok yer tutması enerji yönetimini zorunlu hale getirmektedir.

Tekstil işletmelerinde en fazla enerji tüketen ünite terbiye daireleridir. İplik, dokuma, ve/veya örme ile terbiye dairelerinden oluşan bir işletmenin toplam enerji tüketiminin % 40 ile % 65 kadarını terbiye dairesi kullanmaktadır. Bu nedenle, tekstil terbiye işletmelerinde kapsamlı bir enerji analizinin yapılması, kayıpların tespiti ve iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır..

Termodinamiğin birinci yasası olarak adlandırılan, doğanın en temel yasalarından birisi enerjinin korunumu ilkesidir. Bu yasa, bir etkileşim sırasında enerjinin bir biçimden başka bir biçime dönüşebileceğini, fakat toplam miktarının sabit kalacağını belirtmektedir. Ancak birinci yasa kullanılarak yapılan analizlerde, yalnızca enerjinin niteliğini belirttiğinden, kullanılabilirliği hakkında fikir verilmemektedir. Enerji eşitlikleri genellikle iç kayıplar hakkında bilgi vermemekte ve bir çok durumda yetersiz kalmaktadır.

Termodinamiğin ikinci yasası, enerjinin niceliğinin (miktarının) yanında niteliğinin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymakta ve doğadaki

değişimlerin enerjinin niteliğini düşürerek gerçekleştğini belirtmektedir. Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden tersinir bir hal değişimiyle çevrenin bulunduğu hale (ölü hale) getirildiği takdirde elde edilmektedir. Bu değer sistemin verilen başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma yeteneğini göstermektedir ve ekserji diye adlandırılmaktadır. Ekserji analizleri, özellikle ısı sistemlerinin analizleri, tasarımları ve performanslarının değerlendirilmesinde (böylelikle olası enerji verimliliği iyileştirme potansiyelinin belirlenmesinde) son yıllarda yaygın olarak kullanılan en önemli araçlardan birisidir.

Ekserji analizleri, sistem veya alt bölümlerindeki kayıpları ortaya koymaktadır. Böylece nerede ve ne kadar iyileştirme potansiyeli olduğu ve bunların önem sıraları belirlenmiş olmaktadır. Hatta, kayıpları en aza indirecek optimum tasarım ve işletmeler de belirlenebilmektedir. Ancak, mühendislik uygulamaları, teknik ve ekonomik kısıtları da göz önüne almak zorundadır. Bu nedenle termodinamik ve ekonomi prensiplerini birlikte değerlendiren ve termoekonomik ya da eksergoekonomik analiz olarak adlandırılan analiz yöntemleri geliştirilmiştir.

Tekstil sektörü, hem ihracat hem de istihdam açısından Türkiye'nin lokomotif sektörü olmaya devam etmektedir. Artan rekabet ortamında sektörün ilerleyebilmesi için düşük maliyette, kaliteli ve zamanında üretim yapmak şart olmuştur. Düşük maliyetli üretim yapmanın en uygun yolu ise enerji tasarrufu ve enerji verimliliği uygulamaları ile sağlanabilmektedir. Günümüzde enerji maliyetlerinin hızla yükselmesi ve işletme maliyetlerinde enerjinin payının artması, verimlilik çalışmalarının önemini artırmaktadır. Tekstil sektöründe en

çok enerji tüketen birim tekstil terbiye işletmeleri olduğundan, bu işletmelerde enerji verimliliği etüdü ve ekserji ile eksergoekonomik analiz yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir.

2. TÜRKİYE VE DÜNYA'DA ENERJİ TÜKETİMİNE GENEL BAKIŞ

Enerji kaynakları açısından kısıtlı kaynaklara sahip ve dışa bağımlı konumda olan ülkemizde, enerji ihtiyacının yeterli, güvenilir ve ekonomik olarak sağlanması temel hedeftir. Enerjinin verimli kullanımı bu hedefin gerçekleştirilmesinde kullanılacak en önemli araçlardan birisidir (Korucu, 2005).

Bir yandan enerjiyle ilgili olarak sera gazı emisyonları nedeniyle ortaya çıkan küresel ısınmanın insan yaşamını tehdit eder boyutlara ulaşması (Tarakçıoğlu, 2008), diğer yandan dünyadaki doğal enerji kaynaklarının (özellikle fosil yakıtların) hızla tükenmesi gibi riskler hem birer müstakil varlık olarak devletleri, hem de insanlık adına düşünme sorumluluğunda olan bilim adamlarını ve aydınları enerji konusuna daha çok yoğunlaşmaya ve bu alan üzerinde daha çok araştırma yapmaya sevk etmektedir (Kavak, 2005).

Enerji tasarrufu, enerjinin akıllıca kullanımı ile kayıpların en aza indirilmesi, aynı enerji ile daha çok iş yapılması veya aynı iş için daha az enerji kullanılması anlamını taşımaktadır. Enerji verimliliği ise, enerji tasarrufunu da kapsayan daha geniş bir kavramdır. Basitçe ifade edilecek olursa enerji verimliliği, enerji kaynaklarının üretimden tüketime kadar tüm safhalarda en yüksek etkinlikte değerlendirilmesini ifade eden bir kavramdır. Enerji tasarrufu ise, enerji ve enerji kaynaklarının verimli olarak değerlendirilmesi amacıyla kullanıcılar tarafından alınan tedbirler sonucunda belirli miktardaki üretimi ve hizmeti gerçekleştirmek için her aşamada harcanan enerji miktarında sağlanan azalmayı anlatmaktadır. Bir başka deyişle enerji verimliliği; ısı, gaz, buhar, basınçlı hava, elektrik, vb.

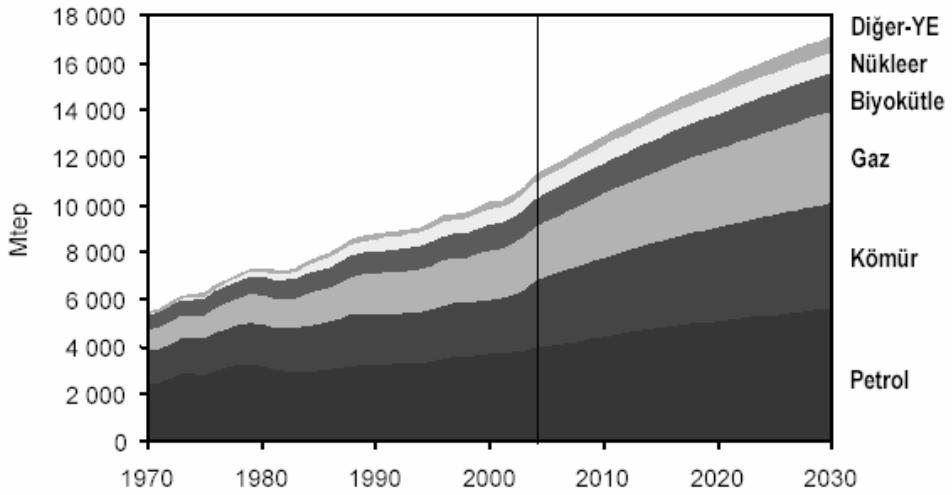
gibi çok değişik formlarda oluşabilen enerji kayıplarının azaltılması ile her çeşit atığın değerlendirilmesi veya geri kazanılması veya yeni teknoloji kullanma yoluyla üretimi düşürmeden, sosyal refahı engellemeden enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Enerji verimliliğine yönelik çalışmalar, hem tüketim alanındaki tasarrufları, hem de arz tarafına yönelik önleyici yaklaşımları kapsamaktadır (Kavak, 2005).

Çizelge 2.1 Seçilmiş bazı ülkelere ait enerji göstergeleri (Keskin, 2008)

Bölge/Ülke	Nüfus (Milyon)	GSYH (Milyar USD)	Toplam birincil enerji tüketimi (Milyon TEP)	CO ₂ emisyonu (Milyon ton)	Kişi başına enerji tüketimi (TBET/Nüfus)	Enerji yoğunluğu (GSYİH başına enerji tüketimi)
DÜNYA	6432	36281	11434	27136	1,78	0,32
Danimarka	5	171	20	47	4,42	0,11
Fransa	63	1430	276	388	4,40	0,19
İtalya	59	1133	185	454	3,16	0,16
Yunanistan	11	180	31	96	2,70	0,17
Bulgaristan	8	16	20	46	2,59	1,25
Romanya	22	49	38	91	1,77	0,78
Türkiye	72	246	85	218	1,18	0,35
İngiltere	60	1626	234	530	3,88	0,14
Amerika	297	10997	2340	5817	7,89	0,21
Çin	1304	1890	1717	5059	1,32	0,91
Almanya	82	1962	345	813	4,80	0,18
Japonya	128	49,94	531	1214	4,15	0,11

2005 yılı rakamları

Enerji verimliliğinin göstergelerinden biri de enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu, birim hâsıla başına birincil ya da nihai enerji tüketimini göstermekte olup, birincil ya da nihai enerji tüketiminin gayri safi yurt içi hâsılaya (GSYİH) bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Enerji verimliliği ile enerji yoğunluğu ters yönlüdür. Bir ülkede veya bir sektörde hesaplanan enerji yoğunluğu ne kadar düşüğe, enerji verimliliği o kadar yüksektir (Narin ve Akdemir, 2006). Çizelge 2.1’de (Keskin, 2008) seçilmiş bazı ülkelere ait enerji göstergeleri sunulmaktadır. Çizelgeye göre, gelişmiş ülkelerde enerji yoğunluğu 0,11 ile 0,19 arasında iken, Türkiye için bu değer 0,35 olup, dünya ortalamasının da üzerindedir. Türkiye enerjiyi ABD’ye göre yaklaşık 1,5, Japonya’ya göre de yaklaşık 3 kat daha az verimli kullanmaktadır.



Şekil 2.1 1970-2030 yılları arasındaki enerji talebi (Akgün, 2008)

Yetkililer tarafından dünyada gelecek 15 yıl içerisinde enerji talebinin % 50 artacağı, fosil yakıtlarına olan talebin, 2030 yılına kadar diğer yakıtlara göre

hakim durumda olmaya devam edeceği öngörülmektedir, (Şekil 2.1) (Akgün, 2008). Petrol fiyatlarının ise taleple birlikte muntazam ve sürekli olarak artacağı ifade edilmektedir. 2005-2030 arasında Dünya’da enerji talebini karşılamak için 20 trilyon doları aşan yatırıma ihtiyaç vardır. Bunun yanı sıra, enerji üretiminden kaynaklanan global karbondioksit emisyonunun 2030 yılına kadar %55 oranında artacağı öngörülmekte, ancak diğer yandan enerji üretiminden kaynaklanan bu emisyon artışının enerji verimliliği tekniklerinin geliştirilmesi ile % 80 oranında azaltılabileceği vurgulanmaktadır (Buyruk, 2008).

Türkiye’nin enerji stratejisi ülkenin ekonomik büyümesine ters etki yapmaksızın talebi karşılamak yönündedir. Bu nedenle, enerji tasarrufu ülkenin enerji politikası açısından oldukça önemlidir (Ozturk, 2005). Türkiye ekonomisi özellikle petrol ürünlerinin ithalatına bağımlıdır. Türkiye’nin ithalatının yaklaşık yarısını enerji oluşturmaktadır ve ülkenin ihracat gelirinin neredeyse % 40-50’si başta doğal gaz ve ham petrol olmak üzere yakıt ithalatına harcanmaktadır (WEC, 2001).

Türkiye, birincil enerji kaynaklarında yaklaşık % 73 oranında ve enerji teknolojileri açısından da neredeyse % 100’e yakın bir oranda dışa bağımlıdır. 2030 yılına kadar ulusal düzeyde gerekli enerji yatırımları miktarının 120 Milyar Euro olacağı (Dünyanın % 1’i) varsayımı ile endüstrinin gerek ulusal pazardan, gerekse global pazardan pay almada teknolojik rekabet gücünün yetersizliği ortadadır (Akgün, 2008). Bu nedenle enerjinin verimli kullanılmasının ciddi olarak ele alınması gerektiği açıktır.

2.1 Tekstil Sektöründe Enerji Tüketimi

Türkiye'de Tekstil Sanayii, tüm sanayii dalları arasında hem üretim hem de ihracat bakımından en ön sırada yer almakta ve ekonomi içinde en ağırlıklı payı oluşturmaktadır. Toplam imalat sanayiindeki istihdam miktarında, bu sanayimizin payı % 30'u bulmaktadır. Türkiye, hazır giyim ürünleri ihracatında % 3,5'luk payla Dünya'da altıncı sırada bulunmaktadır ve Çin'den sonra Avrupa Birliği'nin ikinci büyük tedarikçisi durumundadır (WTAD, 2000).

Çizelge 2.2 Sektörlere göre toplam enerji tüketimi (Ozturk,2005)

Endüstri	Toplam enerji (TEP)	Toplam tüketimdeki payı (%)	Toplam maliyet içerisindeki payı (%)
Demir/çelik	4863328	34,9	11,5-48
Demir harici metaller	312947	2,3	6,2-47,4
Seramik	627789	4,5	32,5
Çimento	2736165	19,7	55
Cam	234898	1,7	22-42
Kağıt ve selüloz	468823	3,4	9-30
Tekstil ve dokuma	822305	5,9	8-10
Petrokimyasal	606423	4,6	28,5
Kimyasal madde	308138	2,2	24
Kimyasal gübre	718962	5,2	40
Petrol rafinerileri	406006	2,9	4
Boya, vernik	7149	0,05	1,6
İlaç	17693	0,12	1,5
Sabun, temizlik maddeleri	41190	0,3	2,1
LPG	34082	0,24	1
Diğerleri	558000	4	-
Orman ürünleri ve mobilya	72143	0,52	6
Metal mobilya	41251	0,3	4
Un ürünleri	8132	0,06	4
Çay	72053	0,52	3,5
Şeker	415759	2,99	8,5
Yağ	137731	0,99	3,7-6
Sebze ve meyve	65762	0,47	6,44
Tütün/içki	107287	0,77	0,7-6
Toplam	13923448	100	

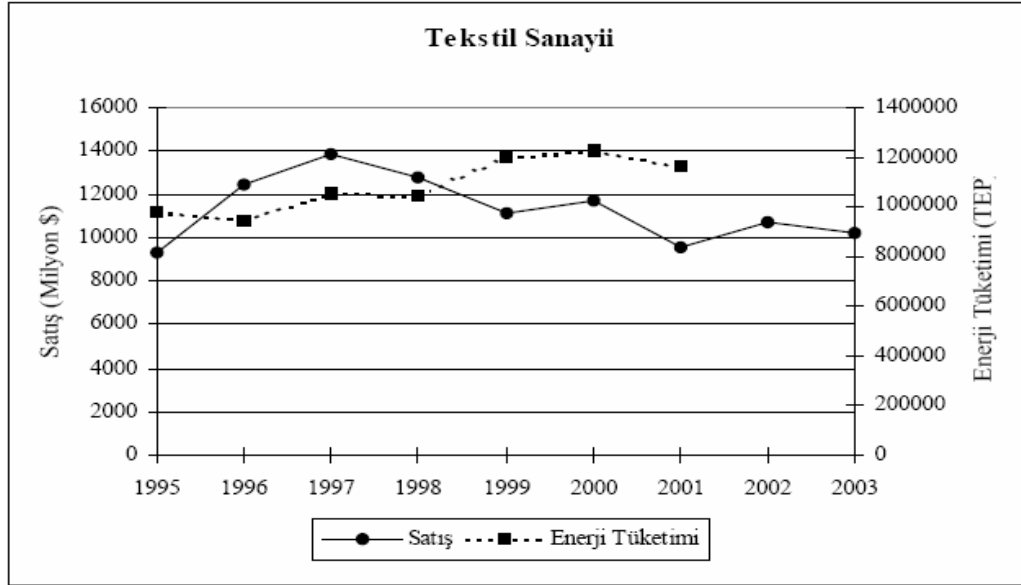
Çizelge 2.2’de imalat sanayiindeki alt sektörlerin her biri için enerji kullanımı ve payı verilmektedir (Ozturk, 2005). Görüldüğü gibi, diğer sanayi dalları ile kıyaslandığında, tekstil endüstrisi enerji tüketimi bakımından ortalarda yer almaktadır, yani ne az enerji tüketen, ne de çok enerji yoğun bir sanayi dalıdır. Çizelge 2.3’de ise imalat sanayiindeki alt sektörlerin enerji maliyetleri listelenmektedir (Kavak 2005). Görüldüğü gibi, tekstil sektörü için enerji maliyeti, diğer sektörlerle kıyaslandığında oldukça yüksektir (Metal eşya ve makine sanayinden sonra ikinci sıradadır).

Çizelge 2.3 Sektörlere Göre Enerjinin Maliyeti (Kavak, 2005)

SEKTÖRLER	1 TEP enerjinin maliyeti (\$/TEP)
31 Gıda Sanayii	273,4
32 Dokuma ve Giyim Sanayii	410,1
33 Orman Ürünleri Sanayii	367,3
34 Kâğıt Sanayi	225,2
35 Kimya Sanayi	247,6
36 Taş-Toprağa Da. Sanayii	221,0
37 Metal Ana Sanayi	229,7
38 Metal Eşya ve Mak. Sanayii	581,5
39 Diğer İmalat Sanayii	254,8
3 İmalat Sanayi	256,6

Tekstil sektöründe, farklı sanayi faaliyetleri ve ürünleri ile, çeşitli proses teknolojileri açısından önemli farklılıklar vardır. Bu da enerji tüketiminin yapısından kaynaklanmakta ve enerjinin maliyetler içinde değişiklikler göstermesine sebep olmaktadır (TUBİTAK, 1997). Sektörün enerji tüketimi incelendiğinde, enerji kullanım miktarlarının genel bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Şekil 2.2’de 1995 ile 2001 yılları arasındaki enerji tüketimleri ve 1995 ile 2003 yılları arasında satıştan elde edilen gelirler karşılaştırmalı olarak

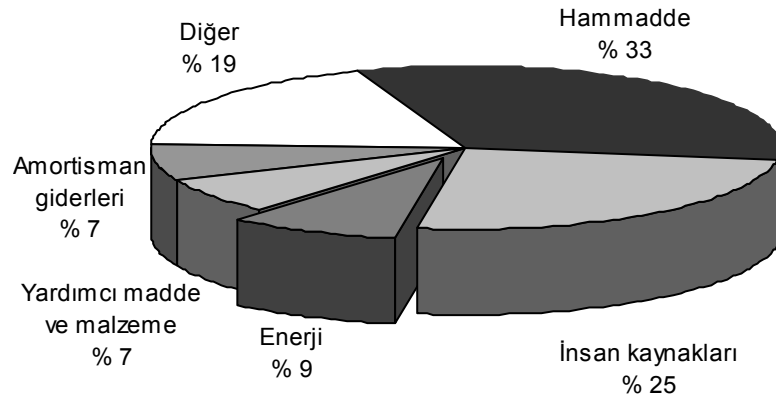
verilmektedir. Enerji tüketimi ile satış arasındaki mesafenin ters yönde açılması, enerji yoğunluğunun arttığını göstermektedir. Buna göre, tekstil sanayiinde enerji yoğunluğu sürekli biçimde artmaktadır. Çizelge 2.4’de Türkiye ortalama sanayii enerji yoğunluğu ile tekstil sanayiinin enerji yoğunluğundaki gelişmeler gösterilmektedir (Kavak 2005).



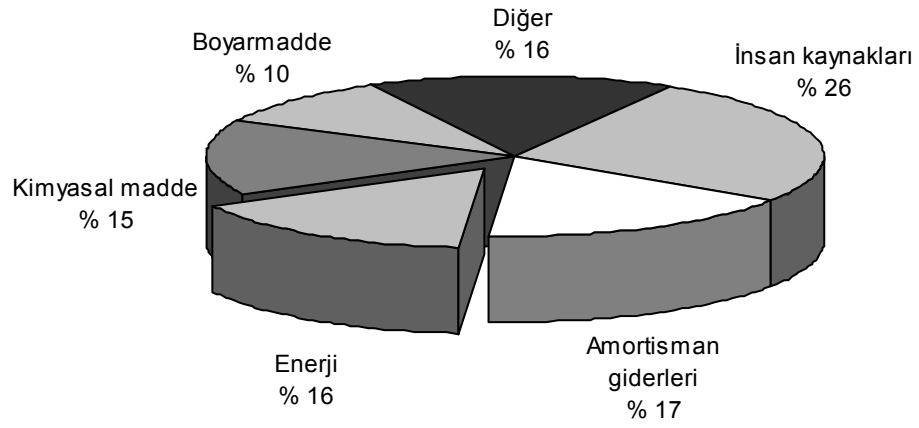
Şekil 2.2 Tekstil sanayiinde enerji tüketimi ve satıştan elde edilen gelirler (Kavak, 2005)

Çizelge 2.4 1995-2001 yılları arasında Türkiye ortalama sanayi enerji yoğunluğu ile tekstil sanayiinin enerji yoğunluğundaki gelişmeler (Kavak, 2005)

Enerji yoğunluğu (TEP/1000 USD)	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Tekstil sanayi	0,105	0,076	0,076	0,081	0,108	0,105	0,121
Sanayi genel toplam	0,197	0,219	0,197	0,206	0,215	0,212	0,212



Şekil 2.3 Seçilmiş tekstil firmaları maliyet analizi (DPT, 2007)



Şekil 2.4 Tekstil terbiye sektörü maliyet analizi (DPT, 2007)

Tekstil sektöründe, ürünler ve dolayısıyla proses teknolojileri önemli farklılıklar göstermektedir. Bu da enerji tüketiminin yapısında ve enerjinin toplam maliyet içindeki payında farklılıklara yol açmaktadır.

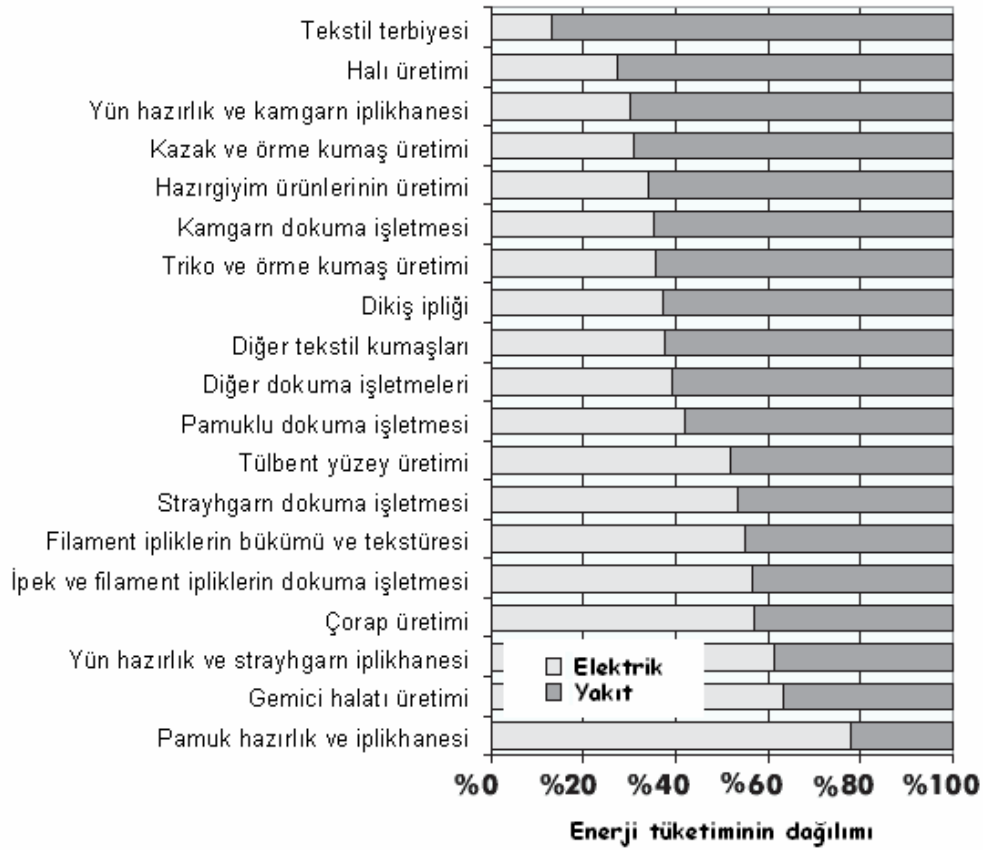
Türkiye Tekstil Terbiye Sanayicileri Derneği'nin üyeleri arasında yapmış olduğu maliyet analizi anket sonuçları Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Tekstil sektöründe maliyetler içinde enerji kalemi (% 9), hammadde (% 33) ve insan kaynaklarından (% 25) sonra 3. büyük paya sahipken; Tekstil Terbiye Sektörü'nde ise enerji maliyetleri % 16'lık bir paya sahiptir (DPT, 2007).

Çizelge 2.5 Tekstil işletmelerindeki özgül enerji tüketiminin dairelere göre dağılımı
(Tarakçıoğlu, 1984)

	Elektrik Tüketimi		Isı Tüketimi	
	kWh/kg	Klima için tüketilen (%)	MJ/kg	Klima için tüketilen (%)
İplik dairesi	2,7-4,0	15-20	1,1-4,7	100
Dokuma dairesi	2,1-5,6	20-25	8,3-17,0	45-55
Örme dairesi	1,0-1,5	25-30	1,8-5,8	100
Terbiye dairesi	1,5-3,0	5-10	40-80	-
TOPLAM	7,3-14,1	-	51,2-107,5	-

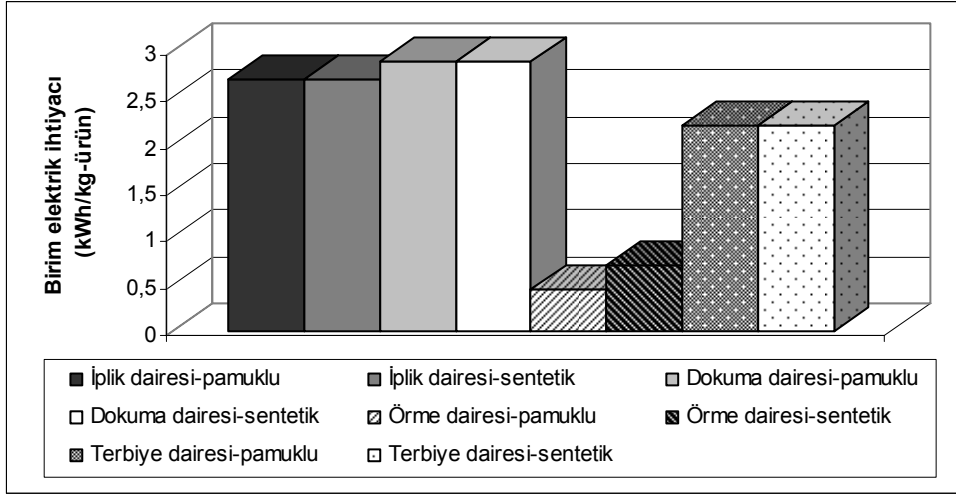
1980'li yılların başına ait Çizelge 2.5'de (Tarakçıoğlu, 1984) görüldüğü üzere iplik, dokuma ve örme işletmelerinin enerji tüketimlerinin büyük kısmını elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Entegre bir tekstil işletmesinde, tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık 3/4'ü bu dairelerde kullanılmaktadır. Terbiye dairelerinde ise ısı tüketimi yüksektir ve entegre bir tekstil işletmesinde ısı enerjisi tüketiminin yaklaşık %70-80 kadarını tek başına terbiye işletmeleri tüketmektedir.

Şekil 2.5’de ise çeşitli tekstil işletmelerinde elektrik ve yakıt enerjisinin kullanım yüzdeleri karşılaştırılmaktadır (Kruska et al, 2001).

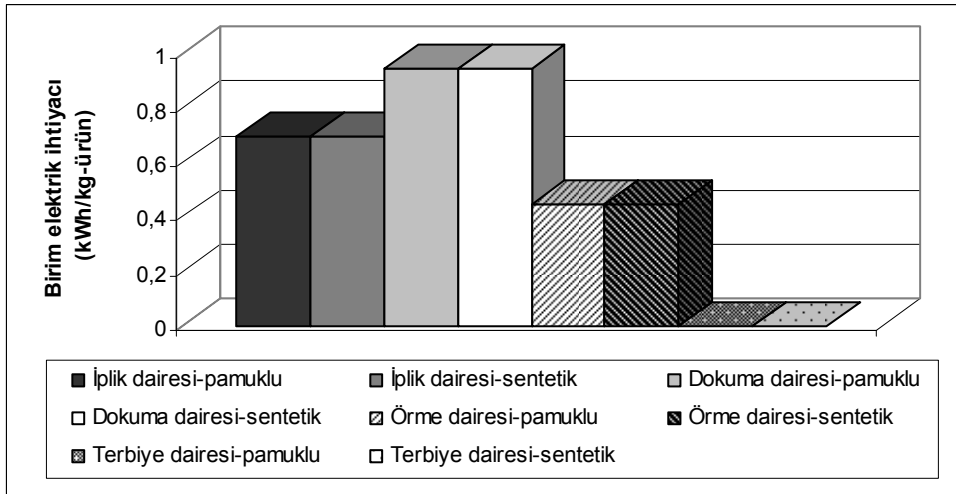


Şekil 2.5 Çeşitli tekstil işletmelerinde elektrik ve yakıt enerjisi tüketiminin dağılımı (Kruska et al., 2001)

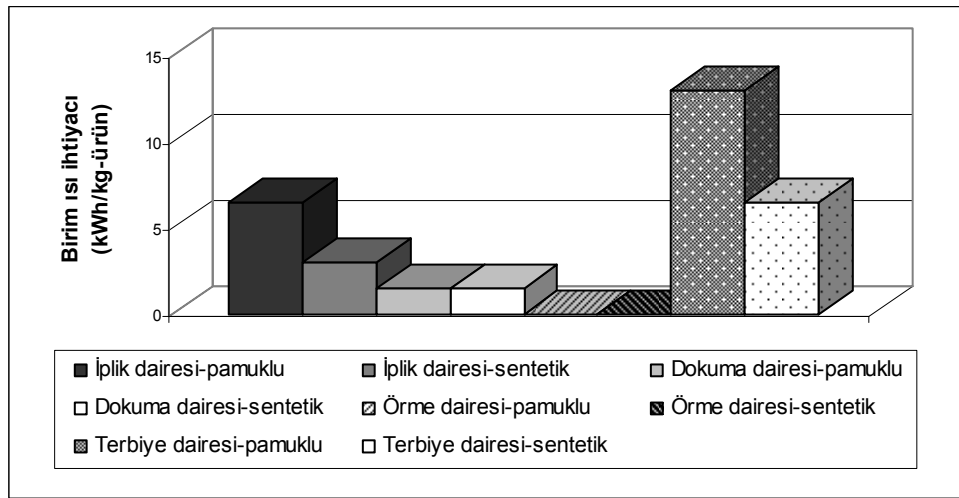
Şekil 2.6, 2.7 ve 2.8’de, 2002 yılında hazırlanmış bir doktora tez çalışması (Turna, 2002) kapsamında, bir entegre tekstil işletmesine ait birim enerji tüketimleri görülmektedir.



Şekil 2.6 Bir tekstil işletmesinde yer alan bölümlere ait birim elektrik tüketimi (Turna, 2002)



Şekil 2.7 Bir tekstil işletmesinde bölümlerin klima için birim elektrik tüketimi (Turna, 2002)



Şekil 2.8 Bir tekstil işletmesine ait üretim bölümlerine düşen birim ısı enerjisi tüketimi (Turna, 2002)

Şekil 2.5 ve 2.8’de görüldüğü gibi, tekstil terbiye işlemleri en çok ısı enerjisi tüketen işlemlerdir. Terbiye dairelerinde tüketilen enerjinin de genel olarak % 45 ile % 75’i yaş işlemler (ön terbiye, boyama, yıkama, v.b.), % 15 ile % 40’ı kurutma ve fiksaj işlemleri ve % 8 ile 18’i de diğer işlemler ve havalandırma için kullanılmaktadır (Tarakçıoğlu, 1984).

Çizelge 2.6’da tekstil terbiye işletmelerinde çeşitli üretim süreçlerine ait özgül enerji tüketimi değerleri verilmektedir (Holme, 2004). Kumaş tipi, lif içeriği, gramajı, eni ve konstrüksiyonu, kullanılan boyarmadde ve kimyasal madde tipleri ile bitim işlemleri yöntemlerine bağlı olarak, enerji tüketiminin işletmeden işletmeye büyük farklılıklar gösterdiği açıktır. En çok enerjinin tüketildiği süreçler olarak kurutma ve bitim işlemleri ile çok uzun süre ve yüksek sıcaklık gerektiren pamuk ön terbiye işlemlerinin öne çıktığı görülmektedir.

Çizelge 2.6 Tekstil terbiye işletmelerinde sürece bağlı olarak özgül enerji tüketimleri
(Holme, 2004)

Süreç	Özgül enerji tüketimi (GJ/ton)
Yakma	0,4-1,2
Haşıl sökme/Bazık işlem/Yıkama	1,8-8,8
Ağartma/Yıkama	3,4-9,5
Merserizasyon	3,5-6,5
Boyama	1,1-3,65
Kurutma	2,3-7,7
Bitim işlemleri	4,05-8,0

Tekstil terbiye işletmelerinde büyük enerji tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Tekstil endüstrisinde sıcaklıkların düzenlenmesi, kazanlardaki hava/yakıt oranlarının ayarlanması, atık flottelerden ısı geri kazanımı ... gibi önemler ile büyük ölçüde enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (UNIDO, 1992). Türk Tekstil Sanayii, Türkiye'nin en eski ve en büyük sanayi dallarından birisidir. Enerji-yoğun bir sanayi dalı olduğu göz önüne alındığında, enerji tüketiminin optimizasyonu ve enerji tasarrufu ile enerji verimliliğinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Böylece elektrik ve yakıt kullanımı azalacağından, üretim maliyetleri azalacak ve sektörün rekabet edebilirliği büyük ölçüde artacaktır.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ekserji, iş yapabilme kabiliyetini gösterdiğinden, işletmenin potansiyelinin ve kayıpların belirlenmesinde ve hangi iyileştirmelerin nerelerde yapılması gerektiğini göstermesi açısından çok önemli bir araçtır ve mutlaka tekstil sektörüne uygulanması gerekmektedir. Bununla birlikte tekstil sektöründe ekserji ve eksergoekonomik analiz üzerine yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Tez çalışması bu bağlamda bir ilk olma orijinalitesine sahiptir.

Tez çalışması kapsamında bir çok tekstil terbiye işletmesinden alınan ölçümler ve toplanan veriler doğrultusunda, tekstil terbiye işletmelerinde en yüksek enerji tüketim oranlarına sahip çektirme yöntemine göre aplikasyon ve yıkamalar ile kurutma işlemlerinin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizi ayrıntılı ve karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmektedir.

3.1. Aplikasyon ve yıkama işlemlerine yönelik yapılmış çalışmalar

Çektirme yöntemine göre terbiye işlemleri ve yıkamalarda enerji tüketimi üzerine çeşitli araştırmalar mevcuttur.

Kontüni halı boyama hattının enerji analizinin yapıldığı bir çalışmada, hatta beslenen enerjinin % 98'inin dikey buharlayıcı (% 57,4), boyama (% 27,4) ve yatay buharlayıcı (% 13,2) tarafından tüketildiği tespit edilmiştir. Ayrıca hatta kullanılan enerjinin % 60'ının atık hava fanları vasıtasıyla dışarıya gönderilen kayıp enerji olduğu belirtilmektedir. Özellikle dikey buharlayıcının tüketimi üzerinde durulması gerektiği, çünkü bu makinedeki enerji kayıplarının toplam tüketimin % 46,3'ünü oluşturduğu hesaplanmıştır. Bir diferansiyel basınç

ayarlayıcısı vasıtasıyla buharlayıcı içerisindeki basınç ayarlanarak, buharlayıcının enerji tüketiminin % 45, toplam hattın tüketiminin ise % 26 azaltıldığı bildirilmektedir (Carr and Tincher, 1983).

Ohno et al. (1986), boyama işlemlerinin enerji denkliği ve enerji tüketiminin analizi için teorik bir yaklaşım geliştirmiştir. Boyama işlemleri sonrasında atılan atık suların ısısının geri kazanılmasının önemini vurgulamaktadır.

Brenner et al. (1993), örgü kumaşların ağartma işlemlerinde su ve enerji tasarrufu olanaklarını incelemiştir. Özellikle ağartma işlemleri sonrasında yapılan durulamalar üzerinde duran araştırmacılar, yıkamada flotite oranının düşürülmesinin, yıkama adımı sayısını artıracığından su ve enerji tüketiminde oldukça az bir azalma sağladığını belirtmektedirler. Yapılan çalışmada, çektirme yöntemine göre yapılan ağartma işlemlerinden sonra yapılan durulamaların atık suyunun tekrar kullanılması vurgulanmaktadır. Buna göre, örneğin ağartma işleminden sonra 2 durulama yapıyorsa, ikinci durulama suyunun makine yanına ilave edilecek bir tanka boşaltılması ve diğer bir ağartma işleminin ilk durulama suyu olarak tekrar kullanılmasıyla su ve enerji tasarrufu sağlanacağı bildirilmektedir.

Mozes et al. (1998), ev tipi çamaşır makinelerinin ekserji analizini gerçekleştirmiş ve kümülatif ekserji tüketimini vurgulamıştır. Konvansiyonel tekstil yıkama işlemlerinde, oldukça yüksek miktardaki ekserjinin yalnızca birkaç gram kiri uzaklaştırmak için harcandığı ve harcanan bu ekserjinin büyük kısmının da ısıtma işleminde tüketildiği ifade edilmektedir. Bu nedenle elektrikli ısıtma yerine merkezi ısıtma sistemlerinin kullanılmasının daha avantajlı olduğu

ve bu sayede ekserji tüketiminin % 35 ile % 57 kadar azaltılabileceği söylenmektedir.

Schramm and Jantschgi (1999), çektirme ve emdirme yöntemlerini kimyasal, su ve enerji tüketimi açısından karşılaştırmışlardır. Makinelerdeki son gelişmeler ile kaynak tüketiminin ve atık emisyonlarının azaltılması hedeflerine ne derece ulaşıldığı irdelenmiştir. Çektirme yöntemi göz önüne alındığında, modern süreçlerde kapalı devre kondens geri dönüşümünün kullanıldığı, ancak işlem ve durulama suyunun ve bunların ısısının geri kazanılmasının yaygınlaşmadığı bildirilmektedir.

Kalliala and Talvenmaa (2000), yaş terbiye işlemlerine değindikleri makalede çeşitli işletmeleri enerji ve su tüketimi ile çevresel etkileri açısından karşılaştırmışlardır. Enerji tüketiminin, su tüketimi ile orantılı olduğu ifade edilmektedir.

Shang and Chong (2002), akıllı durulama sistemlerinin uygulanması ile pamuklu kumaşların ağartma ve boyama işlemlerinin toplam süresinin azaltılabileceğini göstermektedir. Böylece buhar tüketiminde yaklaşık %35 tasarruf sağlanabilmektedir.

Kiran-Ciliz (2003), pamuklu kumaşların yaş terbiye işlemlerinde su ve enerji tasarrufuna ilişkin temiz üretim seçeneklerinin uygulanması üzerine çalışmıştır. Bu seçenekler, atık su ile ısı kayıplarının azaltılması, uzun flotte oranları nedeniyle ortaya çıkan yüksek su tüketiminin önlenmesi, arıtılan atık suların geri dönüştürülmesinin incelenmesi, metal içeren boyarmaddeler yerine çevre dostu

olan tiplerin kullanılması ve kimyasal madde kullanımının azaltılması olarak özetlenmiştir. Makalede, pamuklu kumaşların terbiye işlemlerine ait enerji tüketimlerine ve enerji verimli teknolojiler ile sağlanacak tasarruflara ait değerler Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Terbiye işlemlerinde enerji tüketimi ve enerji verimli teknolojiler ile sağlanacak tasarruflar (Kiran ve Ciliz, 2003)

Çeşitli terbiye süreçleri	Enerji tüketimi (kWh/kg kumaş)
Hidrofilleştirme/yıkama	1,4-3,6
Ağartma/yıkama/kurutma	2,2-9,2
Ağartma/boyama/yıkama/kurutma	2,8-9,8
Boyama/yıkama/kurutma	2,2-5,0
Bitim işlemi	1,7-3,4
Enerji verimli teknolojiler	Net enerji tasarrufu (kWh/kg kumaş)
Atık flottelerden ısı geri kazanımı	0,3-0,4
Atık hava ile temiz havanın ısıtılması	0,03

3.2 Kurutma işlemlerine yönelik yapılmış çalışmalar

Tekstil kurutma işlemlerinin kurutma hızı, kurutma eğrileri ve enerji tüketimi açısından incelendiği çeşitli araştırma ve yayınlar bulunmaktadır.

Prabhu and Parajia (1982), kontakt ve konveksiyon kurutucuların performansını kıyaslamışlardır. Kontakt kurutmada, kumaş yüzeyine sıcak hava püskürtmenin önemine değinilmiş ve bu sayede yaklaşık $10-20 \text{ W/m}^2\text{°C}$ olan taşınım ile ısı transfer katsayısının $100-200 \text{ W/m}^2\text{°C}$ seviyelerine çıkabileceği belirtilmiştir. Bu

çalışmada konveksiyon kurutucularda özgül buhar tüketiminin, düze verimliliği ve atık hava miktarından önemli ölçüde etkilendiği de ifade edilmiştir.

Labude and Schirmer (1992), kurutma ve termofiksaj işlemlerinde ısıtmalı plaka yöntemini kullanarak ısı transfer katsayısının ölçülmesi ve buna bağlı olarak optimal düze geometrisinin saptanmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yuvarlak delikli düze ve yarıklı düzeler karşılaştırıldığında, yuvarlak delikli düzelerin daha yüksek ısı transfer katsayıları sağladığı saptanmıştır.

Watzl and Rückert (1998), emme taburlu kurutucuların kurutma özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada kurutma havası sıcaklığındaki ve hızındaki artış ile kumaş giriş nemindeki azalmanın kurutma hızını artırdığına dair deneysel sonuçlar verilmektedir. Çalışmanın ikinci bölümünde, kurutma işlemleri enerji açısından değerlendirilmiş ve emme tamburlu kurutucular ile diğer konveksiyon kurutucular kıyaslanmıştır. Enerji kayıplarının, emme tamburlu kurutucu için % 15, ramözlerde ise % 40 seviyelerinde olduğu belirtilmektedir.

Ramaswamy and Cui (1999), kurutma havasının tümünün kumaş içerisinden geçirildiği durumdaki konveksiyon kurutma işleminin teorik analizini gerçekleştirmiş ve bu bağlamda ısı ve kütle transferi için üç model geliştirmişler, ancak bu modellerin gerçek işletme verileriyle karşılaştırılması gerektiğini de ifade etmişlerdir.

Sertsöz vd. (2001), ısı denkliği metodolojisini sunmakta ve tekstil sektöründe bir kurutma işlemi için örnek hesaplama vermektedirler.

Haghi (2003), kurutma ile ilgili matematiksel eşitlikleri derlemiş ve bu eşitlikleri halıların konveksiyon kurutma ve mikrodalga enerjisinin kombinasyonu ile kurutulmasına uyarlamıştır. Araştırma sonucu olarak, mikrodalga ve konveksiyon kurutma işlemlerinin kombinasyonunun kurutma süresi ve derecesi açısından en iyi sonuçları sağladığı vurgulanmıştır.

Halıların konveksiyon kurutmasına yönelik olarak gerçekleştirilen araştırmada, kuruma eğrileri saptanarak sabit-hız periyodundan azalan-hız periyoduna geçiş noktaları belirlenmiş ve her iki periyot için de sistem davranışını öngörme amaçlı bir model geliştirilmiştir. Halıların için azalan-hız periyodunda kurutma hızının, sabit-hız periyodundaki değerinin % 20 ile % 25'ine kadar düştüğü tespit edilmiştir (Xue, 2004).

Sousa et al. (2004a, 2006), kumaşların konveksiyon ve kontakt/konveksiyon kurutma işlemlerine ait kuruma eğrilerinin genelleştirilmesi için kumaş giriş nemi, yüzey sıcaklığı ve kurutma havası hızı gibi parametreleri kullanarak deneysel verilere dayalı bir model geliştirmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise (Sousa et al. 2004b, 2006), konveksiyon kurutma sırasında kumaş üzerindeki nem dağılımı incelenmiştir.

Abele et al. (2005), kurutma sırasında elektrostatik elektrotların kullanılması ile yüklü partiküller yardımıyla kumaş yüzeyindeki hava sınır tabakasının türbülansının artırılabilirdiğini ve düzeden püskürtülen havanın penetrasyonunun daha yüksek olduğunu bildirmektedirler. Aynı yöntem haşılı ipliklerin kurutulmasında kullanılan silindirik kurutuculara uygulandığında, çıkış neminin % 2 ile % 4 civarında düştüğü, dolayısıyla kurutmanın hızlandığı iddia

edilmektedir. Yöntemin kumaşların kurutulmasında uygulanmasında ise sadece bölgesel etkilerin söz konusu olduğu ve toplam prosese etkisinin belirsiz olduğu belirtilmektedir.

Park and Baik (1997), poliester kumaşların ramözlerde kurutulması sırasında sıcaklık ve nem değişimlerinin öngörülebileceği bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu model yardımıyla kurutma havasının sıcaklığı ile neminin ve kumaşın girişteki su içeriğinin etkileri öngörülebilmektedir. Böylece kurutma işlemi şartlarının optimize edilmesiyle enerji tüketiminin azaltılabileceği vurgulanmaktadır.

Bansal et al. (2001), kumaşların tumbler kurutucularda kurutulması üzerine bir araştırma yayınlamışlardır. Makalede geleneksel tamburlu kurutucuların enerji veriminin atık havanın ısısının geri kazanılması için ısı değiştiricilerin kullanılması ile geliştirilebileceği ifade edilmektedir.

Oktay and Hepbaşı (2003), yün kurutmasında ısı pompasının kullanılabilirliğini araştırarak, açma işleminin olup olmamasına bağlı olarak, kritik nem içeriğinin sırasıyla % 30, % 40 ve % 60 olduğunu saptamışlardır.

Bergel et al. (2004), tumbler kurutucularda yaptığı performans analiz çalışmasında, toplam hava akışının yaklaşık olarak % 20 ile % 40 kadarının dışarıya sızdığını ve bu sızıntıların önlenmesi ile % 9 civarında enerji tasarrufu sağlanabildiğini bildirmektedir.

Enerji kullanımı ile ilgili problemler başlıca küresel ısınma ile ilgili olup, ayrıca asit yağmurları ve ozon tabakasının delinmesi gibi çevresel konuları da içermektedir. Enerji kaynaklarının çevreye en az zarar verecek şekilde kullanılması için kurutma sistemlerinde de bu konular eşzamanlı olarak dikkate alınmalıdır. Ekserji analizi yoluyla enerji verimliliğinin yükseltilmesi, buna bağlı olarak yakıt tüketiminin azaltılması ile çevresel etkiler azalacağından bu problemlerin bir kısmı ortadan kaldırılabilir. Dincer (2002), kurutma sistemlerinde ekserji ve çevresel etkiler üzerinde bağlantı kurmaktadır. Buna göre, kurutma sistemlerinin ekserji veriminin artması ile çevresel zarara yol açan düzen tahribi ve kaos oluşumu (yani entropi üretimi), kaynakların tükenmesi ve atık ekserji emisyonları azalacaktır.

Dincer and Sahin (2004), kurutma işlemlerinin ekserji analizi için bir termodinamik model sunmuşlardır. Kurutma işlemi için kütle, enerji ve ekserji denklikleri oluşturulmuş ve ekserji verimi için bir bağıntı ortaya konmuştur.

Ekserji analizinin kurutma işlemlerine uygulanması son yıllarda önem kazanmıştır. Başta gıdaların kurutulması olmak üzere (Akpınar, 2004; Akpınar et al., 2005, 2006; Ozgener and Ozgener, 2006; Kuzgunkaya and Hepbasli, 2007), kereste (Ceylan et al., 2007) ve kağıt (Zvolinschi et al., 2006) kurutmasında, akışkan yataklı kurutma (Syahrul et al., 2002) ve ısı pompası destekli kurutma işlemlerinde (Sieniutycz, 2000) ekserji analizi uygulamaları konusunda araştırmalar mevcuttur. Ancak açık literatürde, tekstil materyallerinin kurutma işlemlerinin ekserji analizi üzerine herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında tekstil kumaşlarının kurutulmasında ekserji analizi

modelinin kurulması, ekserji verimi ve tahribinin ortaya konması amaçlanmaktadır.

4. ENERJİ ANALİZİ VE ENERJİ DENKLİĞİ

Enerji analizinin anlamı, ısıнын nerede ve hangi şekilde sisteme verildiğinin belirlenmesi ve enerjinin korunumu yasasının sistemde uygulanmasının sağlanmasıdır. Enerji denkliği, denge şartlarında sisteme verilen enerji miktarı ile sistemden çıkan enerji miktarı arasında bir denklik kurulmasıdır (Sertsöz vd., 2001). Enerji denkliğinin amacı, giren ve çıkan enerjiyi belirlemek ve sistemi verimli hale getirebilmek için, kullanılabilir ortak verileri hazırlamaktır. Bunun dışında, enerji denkliği yardımıyla, ısı sisteminin planlanmasında, sistemin ısı verimi ve tükettiği yakıt miktarı tam ve doğru şekilde belirlenebilmektedir.

Enerji denkliğinin amaçları daha genel bir şekilde şöyle ifade edilebilmektedir:

- Kullanılan veya tüketilen enerjinin gerçek miktarlarının belirlenmesi,
- Tesislerin verimlilik, etkinlik ve performansının düzenli olarak izlenmesi,
- Malzeme, tesis ve proses konularında yapılabilecek değişikliklerin, enerji tüketimine etkilerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi,
- Enerji tüketimini azaltmak amacıyla yapılacak iyileştirme çalışmalarında, öncelik verilmesi gereken yerlerin belirlenmesi,
- Yapılacak tüm iyileştirme çalışmaları için gerekli olan verilerin sağlanması,
- Sistemin temel amacı olan, mümkün olan en düşük enerji tüketimi ile maksimum üretimin gerçekleştirilmesi (EİE, 1997).

Enerji analizi yöntemi, Termodinamiğin Birinci Yasası'nın gerçek sistemlere uygulanmasıdır. Birinci yasa (enerjinin korunumu ilkesi), deneysel gözlemlere

dayanarak, enerjinin var veya yok edilemeyeceğini, ancak bir biçimden diğerine dönüşebileceğini vurgulamaktadır.

Kapalı sistem olarak tanımlanan, belirli sınırlar içerisinde bulunan sabit bir kütle için termodinamiğin birinci yasası veya enerjinin korunumu ilkesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir:

$$Q - W = \Delta E \quad (kJ) \quad (4.1)$$

Burada, Q sistem sınırlarından net ısı geçişini, W net işi ve ΔE ise sistemdeki toplam enerji değişimini ifade etmektedir.

Tekstil sektörünün de dahil olduğu endüstriyel süreçlerde, kapalı sistemlerden ziyade sürekli akışlı açık sistemler (kontrol hacimleri) söz konusudur. İçinden kütle ve enerji akışlarının olduğu, sınırlar tarafından çevrelenmiş bir sistem kontrol hacmi olarak isimlendirilmektedir. Enerji denkleğinin doğru olabilmesi için kontrol hacmi içinde bulunan bir sistemin, sabit ve denge koşullarında çalıştırılıyor olması gerekmektedir. Sürekli akışlı açık sistemde, akışkanın kontrol hacminden sürekli bir akışı vardır. Akışkanın özellikleri kontrol hacmi içerisinde bir noktadan diğerine farklılıklar gösterebilmekte, ancak verilen bir noktada zamanla değişmemektedir.

Bir enerji denkliği yapmak için gerekli olan ilk şey, sisteme (kontrol hacmine) giren ve çıkan muhtelif gazlar, katı ve sıvı maddelerin miktarları ile ilgili bilgiye sahip olmaktır. Bu nedenle, bir enerji denkleğindeki verilen ve alınan enerjilerin hesaplanmasından önce bir kütle denkliği hesabının yapılması gerekmektedir.

Yukarıda da vurgulandığı gibi, kütle denkliği hesabının da yine sabit denge koşullarında yapılması gerekli olmaktadır. Kütle denkliğindeki bazı değerler ölçüm sonucu, bazıları ise hesap sonucu bulunmaktadır. Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanla değişmemektedir, dolayısıyla kütlenin korunumu ilkesi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\varphi \quad (4.2)$$

Sabit, denge koşullarında kontrol hacmine giren enerji miktarı, çıkan enerji miktarına eşittir. Sürekli akışlı açık sistemde, termodinamiğin birinci yasası veya enerjinin korunumu ilkesi matematiksel olarak;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\varphi \quad (4.3)$$

olarak yazılmaktadır.

5. EKSERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Ekserji, tersinir bir süreç sonucunda, çevre ile sistemin denge haline gelmesi durumunda elde edilebilecek maksimum iş miktarıdır. Ekserji terimi, Yunanca ex (-den) ve ergon (iş) kelimelerinin kombinasyonundan gelmektedir (Dincer ve Cengel, 2001). Ekserji analizi, özellikle ısı sistemlerinin analizi, tasarımı ve performansının değerlendirilmesinde (böylelikle olası enerji verimliliği iyileştirme potansiyelinin belirlenmesinde) son yıllarda yaygın olarak kullanılan en önemli araçlardan birisidir. Ekserji, enerjiden farklı olarak (ideal tersinir proseslerin dışında) dönüşüm yasasına uymamaktadır. Çünkü, herhangi gerçek bir süreçte ekserji tahrip edilmektedir. Buradaki ekserji tahribi, süreçteki tersinmezlikler nedeniyle oluşan entropi üretimi ile orantılıdır.

Ekserji daima bir referans hal ile değerlendirilmektedir. Bu hal sistemin çevre ile dengede olduğu durumdur ve ölü hal olarak adlandırılmaktadır. Bu koşullar altında sistem ve çevre arasında kendiliğinden bir değişiklik olma olasılığı yoktur ve bu nedenle sistemin yapacağı iş yani ekserjisi sıfırdır. Sistem ile çevre özellikleri (sıcaklık, basınç, konsantrasyon, vs.) arasındaki fark arttıkça, sistemin ekserjisi de artmaktadır.

Ekserji analizleri, sistem veya alt bölümlerindeki kayıpları ortaya koymaktadır. Böylece nerede ve ne kadar iyileştirme potansiyeli olduğu ve bunların önem sıraları belirlenmiş olmaktadır. Hatta, kayıpları en aza indirecek optimum tasarım ve işletmeler de belirlenebilmektedir (Bejan, 2002).

Enerjide olduğu gibi, ekserji de farklı bileşenlere bölünebilmektedir. Nükleer, manyetik, elektriksel etkiler ve yüzey gerilimi yokluğunda, ekserji dört temel bileşenden oluşmaktadır (Kotas, 1995; Bejan et al, 1996):

$$\dot{E}x = \dot{E}x_{ph} + \dot{E}x_{ch} + \dot{E}x_k + \dot{E}x_p \quad (5.1)$$

Burada $\dot{E}x_{ph}$ fiziksel ekserji akımını, $\dot{E}x_{ch}$ kimyasal ekserji akımını, $\dot{E}x_k$ kinetik ekserji akımını ve $\dot{E}x_p$ potansiyel ekserji akımını ifade etmektedir. Birim kütle bazında özgül ekserji ise aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$ex = ex_{ph} + ex_{ch} + ex_k + ex_p \quad (5.2)$$

Kinetik ve potansiyel enerji tamamen işe dönüştürülebilmektedir, dolayısıyla bunlar kinetik ve potansiyel ekserjiye karşılık gelmektedir:

$$ex_k = \frac{1}{2} V^2 \quad (5.3)$$

$$ex_p = gz \quad (5.4)$$

Fiziksel ekserji, madde akımlarının çevre ile sadece ısı etkileşimlerini içeren fiziksel süreçler ile ilk durumundan P_o ve T_o ile ifade edilen çevre şartlarına (ölü hale) getirilmesi sonucu elde edilebilecek maksimum iş miktarıdır (Kotas, 1995):

$$ex_{ph} = (h - h_o) - T_o (s - s_o) \quad (5.5)$$

Burada h entalpiyi, s entropiyi ve sıfır alt indisi de çevre şartlarındaki özellikleri göstermektedir.

Mükemmel gazlarda özgül fiziksel ekserji aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Kotas, 1995):

$$ex_{ph} = c_p (T - T_o) - T_o (c_p \ln \frac{T}{T_o} - R \ln \frac{P}{P_o}) \quad (5.6)$$

Nemli havanın özgül fiziksel ekserjisi, Wepfer'in (1979) geliştirdiği aşağıdaki bağıntı ile bulunmaktadır:

$$ex_{nemli\ hava} = (C_{p,h} + \omega C_{p,s})(T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0}) + (1 + \tilde{\omega})R_h T_0 \ln \frac{P}{P_0} + R_h T_0 \left[(1 + \tilde{\omega}) \ln \frac{1 + \tilde{\omega}_0}{1 + \tilde{\omega}} + \tilde{\omega} \ln \frac{\tilde{\omega}}{\tilde{\omega}_0} \right] \quad (5.7)$$

$$\tilde{\omega} = 1.608\omega \quad (5.7a)$$

$$\tilde{\omega}_0 = 1.608\omega_0 \quad (5.7b)$$

$$\omega = \dot{m}_s / \dot{m}_h \quad (5.7c)$$

Kimyasal ekserji, bir materyalin salt proses bileşenleri ile çevresel konsantrasyonlardaki referans çevre bileşenlerinin kimyasal potansiyelleri arasındaki farktır (Hinderink et al., 1996). Fiziksel ekserjinin hesaplanmasında akışın son hali potansiyel ve kinetik enerjinin sıfır olduğu çevredir (p_o, T_o). Ancak bu son hal madde akışının kimyasal ekserjisinin tanımlanmasında başlangıç halidir. Kimyasal ekserji için son hal ise çevre ile kimyasal bileşenleri açısından dengelenmiş haldir. Dolayısıyla kimyasal ekserji, söz konusu maddenin çevre koşullarından ölü hale gelinceye kadar (atmosferik ortamdaki bileşenlere indirgenene kadar) gerçekleşen bir süreçten elde edilebilecek maksimum iş olarak tanımlanmaktadır (Kotas, 1995). Kaynaklarda çeşitli maddelerin ve yakıtların kimyasal ekserjilerinin hesaplanma yöntemleri ve tablolar halinde standart kimyasal ekserji değerleri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır (Bejan et al., 1996; Kotas, 1995; Szargut et al, 1988; Moran and Tsatsaronis, 2000).

Ekserji; iş, ısı ve kontrol hacmine giren ve çıkan kütle ile transfer edilmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi bu transfer sırasında bir kısım ekserji, sistemdeki tersinmezlikler nedeniyle tahrip edilmektedir. Tersinmezlikler enerji dönüşümü sırasında ortaya çıkan düzensizliklerden kaynaklanmaktadır. Ekserji akımları ve tahribi ekserji denklileri ile hesaplanmaktadır. Ekserji denklileri sistemin kapalı ya da kontrol hacmi olmasına ve dengede olup olmamasına bağlı olarak çeşitli formlarda yazılabilmektedir. Ancak tez çalışmasında dengeli durumdaki kontrol hacimlerinin analizi yapıldığından ve pratikte de çoğunluğu bu sistemlerin oluşturması nedeniyle, aşağıda sadece dengeli durumdaki kontrol hacimleri için ekserji denkliği verilmektedir:

$$0 = \sum_j \dot{E}x_{q,j} - \dot{W} + \sum_g \dot{m}_g ex_g - \sum_\varphi \dot{m}_\varphi ex_\varphi - \dot{E}x_d \quad (5.8)$$

$\dot{E}x_q$, T sıcaklığındaki kontrol bölgesi ile olan bir etkileşimde ısı ile transfer edilen ekserji akımını ifade etmektedir:

$$\dot{E}x_{q,j} = \left(1 - \frac{T_o}{T_j}\right) \dot{Q}_j \quad (5.9)$$

5.1 Ekserji tahribi ve ekserji kaybı

$\dot{E}x_d$, kontrol hacmindeki tersinmezlikler nedeniyle oluşan ekserji tahribini ifade etmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi, enerjiden farklı olarak, ekserji korunmamakta ve tersinmezlikler nedeniyle bir kısım ekserji tahrip edilmekte, yok olmaktadır. Bu tersinmezlikler iç ve dış tersinmezlikler olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. İç tersinmezliklerin ana kaynakları sürtünme,

genleşme, karışma ve kimyasal reaksiyonlardır. Dış tersinmezlikler ise sonlu sıcaklık farkında ısı transferi yoluyla gerçekleşmektedir (Çolpan, 2005). Ekserji tahribi akımı, ekserji denkliğinden bulunabileceği gibi, Gouy-Stodola teoremi ile de hesaplanabilmektedir:

$$\dot{Ex}_d = \dot{I} = T_o \dot{S}_{gen} \quad (5.10)$$

Burada $\dot{S}_{gen}$ süreçteki entropi üretimi akımını ifade etmektedir.

Ekserji tahribi oranı, sistem bileşenlerinin ekserji tahribi akımlarının, tüm sisteme beslenen yakıtın ekserji akımına oranıdır:

$$y_d = \frac{\dot{Ex}_d}{\dot{Ex}_f} \quad (5.11)$$

Alternatif olarak, bileşenin ekserji tahribi akımı, toplam ekserji tahribi akımı ile kıyaslanarak da ekserji tahrip oranı hesaplanabilmektedir:

$$y_d^* = \frac{\dot{Ex}_d}{\dot{Ex}_{d,toplam}} \quad (5.12)$$

Ekserji kaybı, sistemden çevreye gönderilen ekserji akımıdır. Ekserji tahribinin azaltılmasının yanı sıra, ekserji analizi ve optimizasyonunu ilgilendiren önemli bir konu da kaybolan ekserji miktarının azaltılması ve mümkün mertebe geri kazanılmasıdır. Ekserji kaybı oranı, sistem bileşenindeki ekserji kaybı akımlarının sisteme beslenen yakıtın ekserji akımına oranını ifade etmektedir:

$$y_L = \frac{\dot{Ex}_L}{\dot{Ex}_f} \quad (5.13)$$

5.2 Ekserji verimi

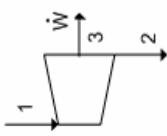
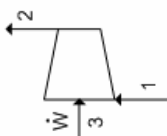
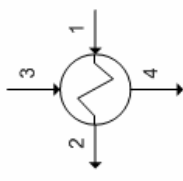
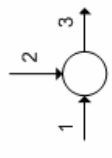
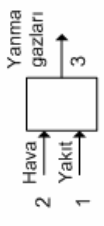
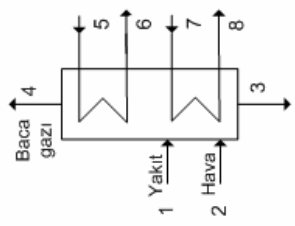
Ekserji verimi (ikinci yasa verimi), enerji kullanılan sistemlerin performansının doğru bir şekilde ölçülmesini sağlamaktadır. Ekserji verimliliği hesaplanırken her bir sistem için ürün ve yakıt birimlerinin tanımlanması gerekmektedir. “Ürün” olarak adlandırılan birim, sistem tarafından üretilmesi arzu edilen sonuçtur (faydadır). “Yakıt” olarak adlandırılan birim ise kimyasal reaksiyona giren endüstriyel yakıtlarla karıştırılmamalıdır, zira ürünü elde edebilmek için harcanan ekserji yakıt olarak adlandırılmaktadır. Örneğin; yanma kısmında ürünü yanma gazı oluştururken, yakıt birimini ise yakıt ve hava oluşturmaktadır. Karıştırma kısmı için ise yakıt olarak yanma gazları, sirkülasyon havası ve temiz hava sisteme girmekte, ve kurutma havası da ürün olmaktadır.

Ekserji denkliği $\dot{E}x_f = \dot{E}x_p + \dot{E}x_d + \dot{E}x_L$ olan bir dengeli haldeki kontrol hacmi için ekserji verimi:

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}x_p}{\dot{E}x_f} = 1 - \frac{\dot{E}x_d + \dot{E}x_L}{\dot{E}x_f} \quad (5.14)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, f , p , d ve L alt indisleri sırasıyla yakıt, ürün, ekserji tahribi akımı ve ekserji kaybı akımlarını belirtmektedir.

Şekil 5.1’de çeşitli ısı sistemleri için yakıt ve ürün birimleri için örnekler verilmektedir. Şekilde $\dot{E}_p$ ürünü, $\dot{E}_F$ yakıtı ve ε ekserji verimini ifade etmektedir.

Türbin	Kompresör veya Fan	Isı Değiştirici	Karıştırma Ünitesi	Yanma Odası	Buhar Kazanı
					
$\dot{E}_T$	$\dot{W}$	$\dot{E}_2 - \dot{E}_1$	$\dot{E}_3$	$\dot{E}_3 - \dot{E}_2$	$(\dot{E}_6 - \dot{E}_3) + (\dot{E}_8 - \dot{E}_7)$
$\dot{E}_T$	$\dot{E}_1 - \dot{E}_2$	$\dot{E}_3 - \dot{E}_4$	$\dot{E}_1 + \dot{E}_2$	$\dot{E}_1$	$(\dot{E}_1 - \dot{E}_2) + (\dot{E}_3 - \dot{E}_4)$
ε	$\frac{\dot{E}_2 - \dot{E}_1}{\dot{W}}$	$\frac{\dot{E}_2 - \dot{E}_1}{\dot{E}_3 - \dot{E}_4}$	$\frac{\dot{E}_3}{\dot{E}_1 + \dot{E}_2}$	$\frac{\dot{E}_3 - \dot{E}_2}{\dot{E}_1}$	$\frac{(\dot{E}_6 - \dot{E}_3) + (\dot{E}_8 - \dot{E}_7)}{(\dot{E}_1 - \dot{E}_2) + (\dot{E}_3 - \dot{E}_4)}$

Şekil 5.1 Çeşitli ısı sistemleri için yakıt ve ürün birimleri için örnekler (Bejan et al., 1996).

6. EKSERGOEKOONOMİK (TERMOEKOONOMİK) ANALİZ

Mühendislik uygulamaları, teknik ve ekonomik kıstasları da göz önüne almak zorundadır. Bu nedenle termodinamik ve ekonomi prensiplerini birlikte değerlendiren ve eksergoekonomik (termoekonomik) analiz olarak adlandırılan analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Ekserji analizinde sistemlerde ortaya çıkan ve sistem verimini düşüren ekserji tahripleri ve kayıpları belirlenmektedir. Bununla birlikte, sistem verimindeki bu düşüşlerin maliyetlerinin de bilinmesi gerekmektedir. Eksergoekonomik analiz, geleneksel enerji analizi ve ekonomik değerlendirmeler yolu ile ulaşılamayan ve uygun maliyetli (maliyet etkinliği olan) bir işletmenin tasarımı ve çalıştırılması için de çok önemli olan bilgileri sağlayan, ekserji ve ekonomik analiz yöntemlerinin kombine edildiği bir mühendislik bilimleri dalıdır (Bejan et al., 1996, Tsatsaronis, 1996, Tsatsaronis and Moran, 1997).

Tez çalışmasında, eksergoekonomik analiz yöntemlerinden literatürde yaygın olarak kullanılan Özgül Ekserji Maliyeti (**Specific Exergy Costing, SPECO**) ve Ekserji-Maliyet-Enerji-Kütle (**Exergy-Cost-Energy-Mass, EXCEM**) yöntemleri incelenmektedir.

6.1 SPECO yöntemi

Özgül ekserji maliyeti (Specific exergy costing, SPECO) yönteminde, ekserji ve maliyet denkliği kullanılarak ve sistem bileşenleri için yardımcı maliyet eşitliklerinin de yardımıyla birim ekserji başına maliyet hesaplanmaktadır (Bejan

et al., Lazzaretto and Tsatsaronis, 2006). Bu yöntem aşağıdaki adımları içermektedir (Lazzaretto and Tsatsaronis, 2006):

1. ekserji akımlarının belirlenmesi
2. sistem bileşenlerinin her biri için yakıt ve ürün birimlerinin belirlenmesi
3. maliyet eşitliklerinin tayin edilmesi.

Bu yöntemde, ekserji maliyetleri belirlenirken, her bir maliyet ekserji akımı ile ilişkilendirilmektedir. Böylece, giren ve çıkan madde akımları, iş ve ısı transferi ile oluşan ekserji akımları için aşağıdaki eşitlikler yazılabilmektedir:

$$\dot{C}_g = c_g \dot{E}x_g = c_g \dot{m}_g e_g \quad (6.1)$$

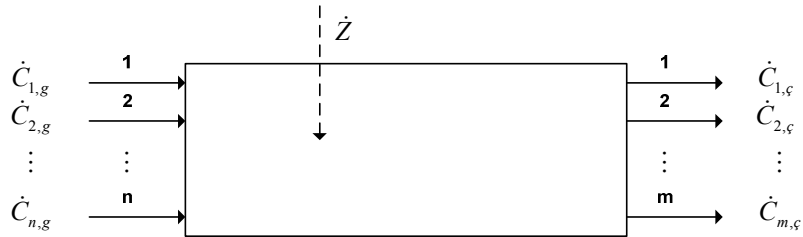
$$\dot{C}_\varphi = c_\varphi \dot{E}x_\varphi = c_\varphi \dot{m}_\varphi e_\varphi \quad (6.2)$$

$$\dot{C}_w = c_w \dot{W} \quad (6.3)$$

$$\dot{C}_q = c_q \dot{E}x_q \quad (6.4)$$

Burada, c_g , c_φ , c_w ve c_q birim ekserji başına ortalama maliyeti ifade etmektedir.

Bu durumda bir sistem bileşenine uygulanan maliyet denkliği aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:



Şekil 6.1 Bir sistem bileşeninde maliyet denkliği

$$\sum_{j=1}^n \dot{C}_{j,g} + \dot{Z} = \sum_{j=1}^m \dot{C}_{j,\varphi} \quad (6.5)$$

Burada $\dot{C}$ ekserji akımları ile ilişkilendirilmiş maliyet akımını ve $\dot{Z}$ yatırım maliyetini ifade etmektedir.

Bir sistem bileşeninin analizi yapılırken, tüm giren akımların birim ekserji başına maliyetlerinin bilindiği kabul edilmektedir. Bu maliyetler, bir önceki sistemden çıkan ve dolayısıyla bir önceki sistem için hesaplanmış maliyetler olabileceği gibi bir önceki bileşenden gelmeyen ayrı akımların birim ekserji başına maliyetleri, satın alma maliyetleri yardımıyla hesaplanabilmektedir. Sistem için oluşturulacak maliyet denkliği ile de çıkan akımların birim ekserji başına maliyetleri bulunmaktadır (Bejan, et al., 1996).

Çıkan akımların ekserji maliyetlerinin bulunması için genel maliyet denkliğinin yanı sıra, yardımcı eşitliklere de ihtiyaç duyulmaktadır. Yardımcı eşitliklerin oluşturulması için aşağıdaki prensipler kullanılmaktadır:

1. Bileşenin “ürün” birimi tek bir ekserji akımı içeriyorsa, bu akımın birim maliyeti direkt olarak maliyet denkliğinden hesaplanmaktadır.
2. Bileşenin “ürün” birimi m adet ekserji akımı içeriyorsa, $m-1$ adet yardımcı eşitlik oluşturulması gerekmektedir. Bu durumda, her ürün akımına sağlanan birim ekserji maliyetinin giriş ve çıkış durumları için eşit olduğu varsayımı yapılmaktadır.
3. Bileşenin “yakıt” birimi, aynı akım için giriş ve çıkış hallerinde farklılık gösterse de, birim ekserji başına ortalama maliyetin değişmediği varsayılmaktadır.

Yakıt ($\dot{C}_F$) ve ürün ($\dot{C}_P$) birimleri ile ilişkilendirilmiş maliyet akımları ekserji akımına benzer şekilde hesaplanmaktadır. Yakıt ve ürün birimlerine göre maliyet denkliği aşağıdaki gibidir:

$$\dot{C}_{P,k} = \dot{C}_{F,k} + \dot{Z}_k - \dot{C}_{L,k} \quad (6.6)$$

Burada $\dot{C}_{L,k}$ ile gösterilen k'inci sistem bileşeninin ekserji kaybı akımları ile ilişkilendirilmiş maliyet akımıdır (parasal kayıp).

6.2 EXCEM yöntemi

Ekserji-Maliyet-Enerji-Kütle (Energy-Cost-Energy-Mass, EXCEM) yönteminde (Rosen and Dincer, 2003a) termodinamik kayıp akımlarının ($\dot{L}$), ekipman sermaye maliyetine (K) oranı ile ekonomik yaklaşım oluşturulmaktadır (Rosen ve Dincer 2003a, Özgener, 2005;). Yöntemde enerji ve ekserji ile ilgili parametreler için;

$$R_{en} = \frac{\dot{L}_{en}}{K} \quad (6.7)$$

ve

$$R_{ex} = \frac{\dot{L}_{ex}}{K} \quad (6.8)$$

verilmektedir. Burada R değeri, termodinamik kayıp akımının sermayeye (K) oranını ifade etmektedir.

$$\dot{L}_{en} = \dot{E}_L \quad (6.9)$$

$$\dot{L}_{ex} = \dot{E}x_d + \dot{E}x_L \quad (6.10)$$

$\dot{L}_{en}$, enerji kaybı akımını ifade etmektedir ve enerji denkliği ile kolayca hesaplanabilmektedir. $\dot{L}_{ex}$ ise ekserji kaybı akımını ifade etmektedir. Ekserji kaybı akımı, sistemde oluşan ekserji tahribi akımı ile sistemden dışarıya atılan ekserji kaybı akımından oluşmaktadır.

Bu yöntemde ekipman yatırım maliyeti direkt olarak kullanılmaktadır. Bir ekipmanın toplam maliyetinin büyük bir kısmını yatırım maliyeti oluşturduğundan, sadece yatırım maliyetlerinin göz önüne alınması, toplam maliyet oluşumlarına çok yakın sonuçlar verdiği bildirilmektedir (Rosen and Dincer, 2003 b).

7. TEKSTİL TERBİYESİ TEMEL İŞLEMLERİ

Tekstil terbiye işlemleri yaş ve kuru terbiye işlemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Yaş terbiye işlemleri genel olarak üç grupta incelenmektedir:

1. Aplikasyon ve reaksiyon işlemleri
2. Yıkama işlemleri
3. Kurutma işlemleri

7.1 Aplikasyon İşlemleri

Yaş terbiye işlemleri sırasında, tekstil mamulü ile terbiye maddesinin temas haline getirilmesine aplikasyon denilmektedir. Mamule applike edilen terbiye maddesinin reaksiyonu ise, bazen aplikasyon ile birlikte, bazen de aplikasyondan sonra bir reaktördeki bekletme sırasında gerçekleşmektedir (Tarakçıoğlu, 2000a).

Terbiye maddelerinin tekstil mamüllerine aplikasyonu çok çeşitli yöntemlere göre yapılabilmekte ise de, bunlardan yalnızca çektirme ve emdirme yöntemleri geniş bir kullanım alanı bulabilmiştir. Çektirme yönteminde, uzun flotte oranında uzun süre kesintili çalışma söz konusu iken, emdirme yönteminde kesintisiz çalışma esnasında kısa flotte oranı ve kısa sürelerde aplikasyon gerçekleştirilmektedir. Tüm aplikasyon yöntemleri içerisinde çektirme yöntemi en çok enerji tüketen yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında çektirme yöntemi, enerji ve ekserji açısından irdelenmektedir.

Çektirme yönteminin en önemli sakıncaları, flotte oranının uzun olması nedeniyle su, terbiye maddesi ve hem flotteyi ısıtmak hem de hareket ettirmek için gerekli enerji tüketiminin yüksek olmasıdır. Çektirme yönteminin diğer bütün aplikasyon yöntemlerine göre avantajı ise, işlem süresinin, flotte sıcaklığının ve flotte teribinin (flotte pH'ı, elektrolit miktarı, boyarmadde ve yardımcı madde miktarı, vs.) işlem süresince istenildiği gibi ayarlanabilmesi, gerektiğinde değiştirilebilmesidir (Tarakçıoğlu, 2000a).

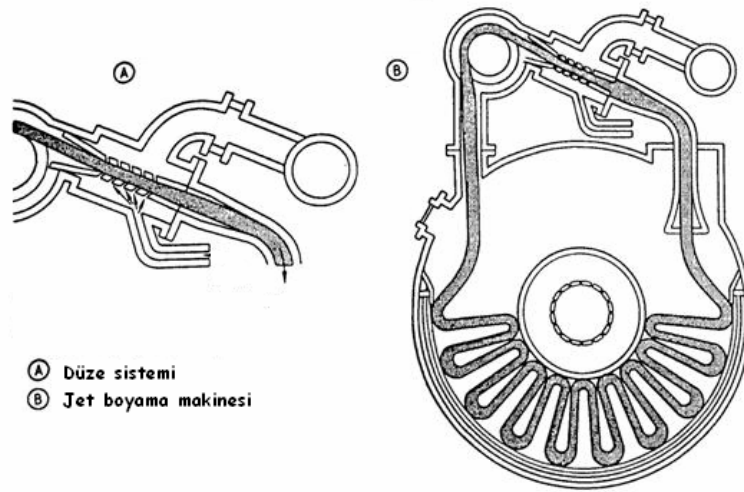
Çektirme yönteminde, belirli miktarda kumaş makineye alınmakta ve terbiye flottesı ile uzun süre işleme tabi tutulmaktadır (IPPC, 2002). Çektirme yöntemine göre aplikasyonun yeterli sonuçlar sağlayabilmesi için, kullanılan terbiye maddesinin, tekstil mamulüne substantifliğinin olması gerekmektedir. Böylece çektirme flottesı içerisindeki terbiye maddesinin tekstil yüzeyine absorpsiyonu gerçekleşmektedir.

Çektirme yöntemine göre çalışmada, tüketilen enerjinin neredeyse tamamı terbiye flottesinin ısıtılması için harcanmaktadır. Terbiye işlemlerinin büyük çoğunluğunun da eksotermik işlemler olduğu göz önünde bulundurulursa (Lewis, 1992), harcanan ısı enerjisinin daha ziyade reaksiyonu başlatmak ve hızlandırmak için kullanıldığı ve işlem sonunda flotte ile dışarıya atıldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle atık miktarının azaltılması ve mevcut atıkların ısı enerjisinin geri kazanılması büyük önem taşımaktadır.

Çektirme yöntemine göre terbiye işlemleri, aparatlarda (daha ziyade elyaf ve iplikler ile kısmen de kumaşlar için) ve haspel, jigger, jet, overflow gibi makinelerde (kumaşlar için) gerçekleştirilmektedir. Günümüzde jet ve overflow

makineleri tekstil boyahanelerinde büyük çapta kullanılmaktadır. Kumaşların 125-140 °C kadar sıcaklıklarda boyanmasında kullanılabilen HT-jet boyama makinelerinde hem flotte hem de kumaş hareketlidir. Bu makinelerde, halat halindeki tekstil materyali, makine içerisinde bir çıkırık ve düze yardımıyla sürekli olarak sirküle ettirilmekte ve her seferinde düze adı verilen kısımdan geçmektedir.

Bütün jet boyama makinelerinde çalışmayı sağlayan bir düzedir. Düze, daralan bir bölüm içeren bir parça olup, basınç altında bu daralan bölüme gelen flottenin basıncı azalıp hızı artmakta, kumaşı da beraberinde sürüklemektedir (Tarakçıoğlu, 2000a). Kumaş düze içerisinden geçerken, terbiye flottesisi ile yoğun teması sağlanmakta ve düze kumaşın hareketine destek olmaktadır. Şekil 7.1’de bir jet boyama makinesi ve düze kısmı gösterilmektedir.



Şekil 7.1 Jet boyama makinesi (aida.ineris.fr)

Jet boyama makinelerinde, terbiye flottesinin işlem sıcaklığına kadar ısıtılması, makinenin üzerinde bulunan ısı değıştiricide buhar ile indirekt ısıtma uygulanarak sağlanmaktadır.

Genel olarak, çektirme yöntemine göre terbiye işlemi görece kumaş, aynı makinede ard arda işlemlere tabi tutulmaktadır. Bu işlemler haşıl sökme, ağartma gibi ön terbiye işlemleri ile boyama, boyama sonrası yıkama, durulama ve yumuşatma işlemleridir. Yumuşatma işlemi haricinde, diğr bütün işlemlerin sonunda tekstil mamulü üzerindeki terbiye maddesinin çözünürlüğü, afinitesi ve konsantrasyonuna bağılı olarak en az bir yıkama veya durulama işlemi yapılmaktadır. Özellikle reaktif boyama işlemlerinde, çok sayıda ve yüksek sıcaklıkta yıkama işlemine gereksinim duyulmaktadır (Blackburn and Burkinshaw, 2002).

Yaş tekstil terbiye işlemleri, tekstil işletmelerindeki en enerji-yoğun işlemlerden birisidir ve bu işlemlerin termodinamik analizi, gerek makinelerin, gerekse işlemlerin kontrol, dizayn, optimizasyon ve iyileştirme çalışmaları açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak, açık literatürde tekstil terbiye işlemlerinin ekserji analizi üzerine teorik ya da deneysel herhangi bir yayına rastlanmamıştır. Literatürde ilk kez bu tez çalışmasında yaş tekstil terbiye işlemlerinin ekserji analizi sanayi ölçekli veriler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir.

7.2 Kurutma işlemleri

Tekstil terbiye işletmelerinde harcanan enerjinin büyük kısmını tek başına kurutma işlemleri tüketmektedir (Kudra, 2004; Menshutina et al, 2004). Dolayısıyla sıcaklık seviyeleri, kurutma süreleri ve buharlaştırma hızı gibi özelliklerin belirlenmesi ve etkilerinin enerji açısından değerlendirilmesi, kurutma işlemlerinin optimizasyonu için vazgeçilmez bir gerekliliktir. Kurutma işlemleri mekaniksel (ön kurutma) ve ısı enerjisi ile yapılan (asıl kurutma) kurutmalar olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Ön kurutma işlemlerinde, kumaşta bulunan suyun belirli bir kısmı sıkma, santrifujlama ya da vakumla emme gibi mekaniksel etkilerle uzaklaştırılmakta, suyun geri kalan kısmı ise, ısı enerjisi kullanarak suyun buharlaştırılması ile uzaklaştırılmaktadır. Suyun ısı enerjisi yardımıyla uzaklaştırılması, mekaniksel kuvvetler kullanarak uzaklaştırılmasına nazaran çok daha pahalıdır. Bu nedenle, suyun mümkün derece büyük bir kısmının mekanik yolla uzaklaştırılmasına dikkat edilmelidir.

Tekstil terbiye işletmelerinde asıl kurutma için en çok kullanılan yöntem konveksiyon kurutmadır. Konveksiyon kurutmanın esasını sıcak kurutma gazları (hava) kullanarak kumaştaki suyun buharlaştırılması oluşturmaktadır. Konveksiyon kurutmada, sıcak kurutma gazından nemli tekstil mamulüne doğru ısı transferi ve nemli tekstil mamulünden kurutma gazına doğru da su buharı transferi gerçekleşmektedir (Tarakçıoğlu, 1984).

Ancak kurutulacak tekstil materyalinde bulunan suyun hepsi yüzeyde veya materyale zayıf fiziksel güçlerle tutunmuş durumda bulunmadığından, ısı ve kütle transferi hızı ve miktarı kurutma boyunca farklılık göstermektedir. Tekstil

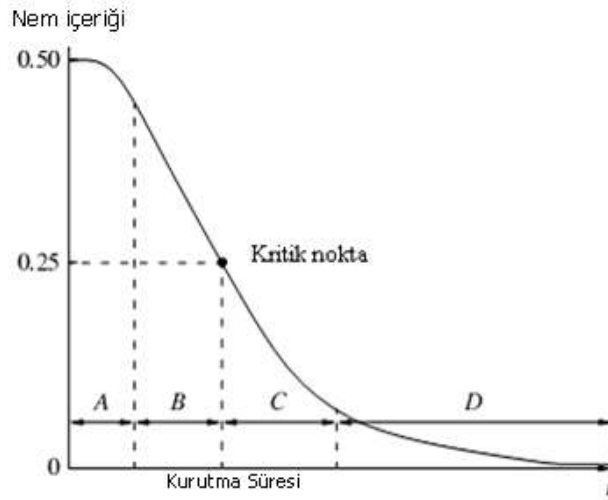
materyallerinde, farklı büyüklüklerdeki gözenekler kompleks kapılar boşluk ağları oluşturmaktadırlar. Kumaşın yüzeyindeki ve geniş gözeneklerin içerisinde bulunan su “bağlı olmayan su (unbound water)” olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte, daha ince kapılardaki ve lif içerisinde bulunan su ise kurutma teknolojisi açısından “bağlı su (bound water)” olarak nitelendirilmektedir (Haghi, 2006).

Konveksiyon kurutma sırasında tekstil materyali içerisindeki suyun transferi kurutma adımlarına bağlı olarak üç ana mekanizma ile sağlanmaktadır:

- bağlı olmayan suyun kapılar akışı
- bağlı suyun hareketi
- su buharı transferi

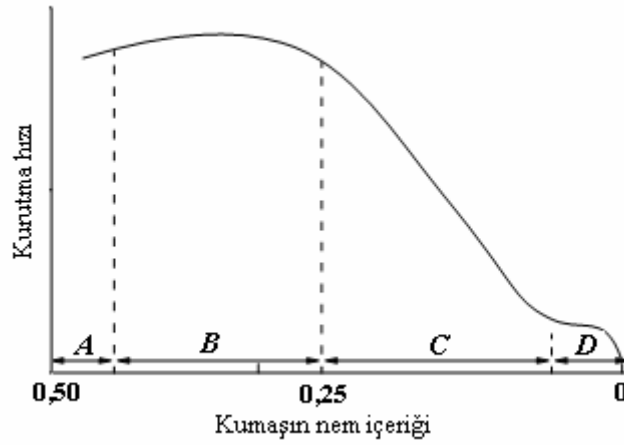
Bu nedenle kurutma işlemleri, nem içeriği-kurutma süresi (kuruma eğrisi), kurutma hızı-nem içeriği (kurutma hızı eğrisi) ve katı yüzey sıcaklığı-nem içeriği (sıcaklık eğrisi) değişimlerine bağlı olarak incelenmektedir.

Kurutma sırasında, kurutma zamanına bağlı olarak kumaşın nem içeriğini gösteren tipik bir kurutma eğrisi Şekil 7.2’de sunulmaktadır Bu eğrinin eğimi, o noktadaki kurutma hızını vermektedir (Şekil 7.3) (Haghi, 2006). Görüldüğü gibi kurutmanın başlangıcında hızlı bir kurutma gerçekleştirilmekte, ancak kurutma ilerledikçe, kumaştaki nem miktarı azaldıkça kurutma hızı giderek azalmaktadır. Şekil 7.4’de ise kurutma işleminde kumaş yüzey sıcaklığındaki değişim gösterilmektedir (Xue, 2004).



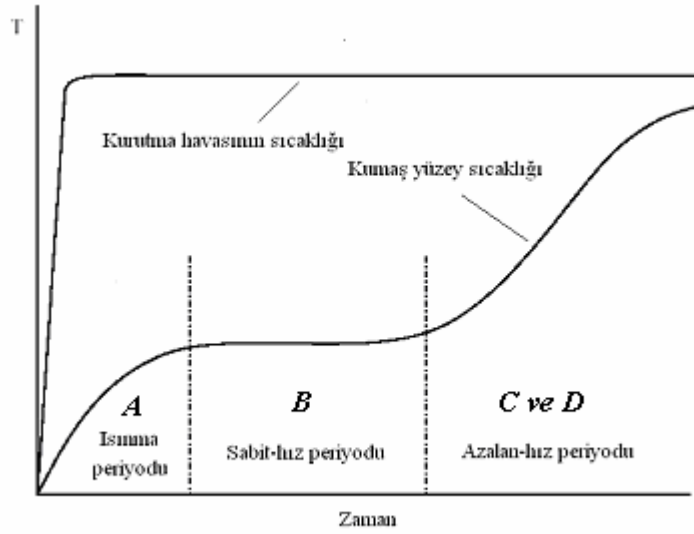
Şekil 7.2 Kurutma zamanına bağlı olarak kumaşın nem içeriği (Haghi, 2006)

(A) ısınma periyodu, (B) sabit-hız periyodu, (C) Birinci azalan hız periyodu, (D) İkinci azalan hız periyodu



Şekil 7.3 Kurutma hızı-nem içeriği eğrisi (Haghi, 2006)

(A) ısınma periyodu, (B) sabit-hız periyodu, (C) Birinci azalan hız periyodu, (D) İkinci azalan hız periyodu

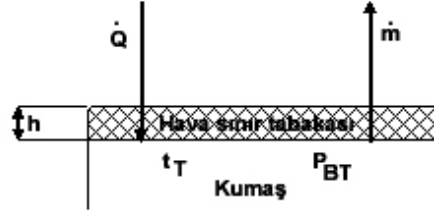


Şekil 7.4 Kumaş yüzey sıcaklığının zamana bağlı olarak değişimi (Xue, 2004)

Kurutmanın başlangıcında, kumaş sıcaklığı kurutma havasının soğuma sınır sıcaklığına kadar yükselmektedir ve bu adıma ısınma periyodu veya kararsız hal periyodu adı verilmektedir. Isınma periyodunda kurutma hızı genellikle düşüktür.

Kumaş ısınıp, kurutma havası ile dengeye ulaştığında kurutmanın sabit-hız periyoduna (kurutmanın 1. adımı olarak da nitelendirilebilmektedir) girilmektedir. Literatürde ortalama 150 °C kurutma havası sıcaklığı ile çalışılması durumunda bu periyotta kumaş sıcaklığının 60 °C ile 65 °C arasında bir değerde bulunduğu bildirilmektedir (Hartmann, 2004). Sabit-hız periyodunda kurutma hızı en yüksek seviyeye çıkmaktadır. Bu adımda suyun buharlaşması mamulün yüzeyinde meydana gelmektedir ve ısı-kütle transferi için sadece mamul yüzeyindeki ince bir hava sınır tabakasının aşılması gerekmektedir.

Sabit hız periyodunda ısı ve kütle transferi aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmektedir (Tarakçıoğlu, 1984):



Şekil 7.5 Konveksiyon kurutmada sabit hız periyodu (Tarakçıoğlu, 1984)

$$\dot{m} = A \cdot \frac{\beta}{RT} (P_{BT} - P_{BH}) \quad (7.1)$$

$$\beta = \frac{D}{h} \quad (7.2)$$

$$\dot{Q} = A \cdot \alpha (t_H - t_T) \quad (7.3)$$

$$\alpha = \frac{\lambda_L}{h} \quad (7.4)$$

Burada, $\dot{m}$ Birim zamanda buharlaşan su miktarını, A transfere katılan yüzey alanını (m^2), β kütle transferi katsayısını (m/s), D difüzyon katsayısını (m^2/sn), h sınır tabakanın kalınlığını (m), R gaz sabitini, T mutlak sıcaklığı (K), P_{BT} tekstil mamulünün yüzeyindeki su buharının kısmi basıncını (N/m^2), P_{BH} kurutma havasındaki su buharının kısmi basıncını (N/m^2), $\dot{Q}$ birim zamanda meydana gelen ısı transferini, α taşınılma ısı transferi katsayısını (W/m^2K), t_H

kurutma havasının sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), t_T tekstil mamulünün sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) ve λ_L sınır yüzeydeki ısı transfer katsayısını (W/mK) ifade etmektedir.

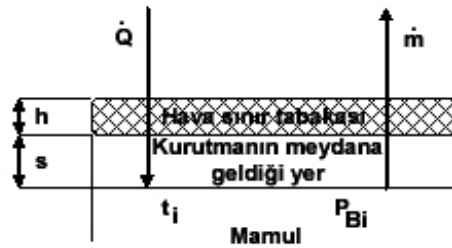
Kumaştaki nem düşmeye başladıkça, belirli bir nem içeriğinden sonra sabit-hız periyodu sona ermekte ve azalan-hız periyodu başlamaktadır. Bu geçiş noktasına kritik nokta adı verilmektedir. Kritik noktadan sonra kumaşın yüzey sıcaklığı artmaya başlamakta ve kumaş yüzeyindeki buhar basıncı doyma noktasının altına düşmekte, dolayısıyla kurutma hızı yavaşlamaktadır.

Materyale ve fiziksel yapısına bağlı olarak azalan-hız periyodu birinci ve ikinci olmak üzere iki kısımda incelenebilmektedir. Sızma teorisine göre, suyun rastgele düzenlenmiş bölgelerden geçişini sızma eşik değeri belirlemektedir ve bu değer genellikle kritik nem değeridir. Kumaştaki su kritik nem değerinden yüksek olduğunda su fazının kesintisiz olduğu belirtilmektedir (Haghi, 2006). Bu değer altında, yüzey birbirinden ayrı ıslak bölgeler içermektedir. Böylece kütle transfer katsayısı düşmekte ve birinci azalan hız periyoduna girilmektedir. Birinci azalan-hız periyodunda, yüzeyde su bulunmamaktadır çünkü yüzeye kütle transferi hızı, yüzeyden dışarıya kütle transferi hızından daha yavaştır ve toplam yüzey buharlaşma hızı düşmektedir (Xuo, 2004).

İkinci azalan hız periyodunda, buharlaşmanın tamamı materyalin iç kısmında ortaya çıkmaktadır ve dolayısıyla kurutma hızı içerideki su buharının hareketi ile düzenlenmektedir. Nem içeriği düşmeye devam ettikçe su buharının difüzyon yolu giderek uzamaktadır. Nem içeriği higroskopik nem seviyelerine düştüğünde (W_e , denge noktası) kurutma işlemi teorik olarak tamamlanmaktadır.

Sabit hızda kuruma periyodunda, ısı ve kütle transferi katı-gaz ara yüzeyindeki koşullara bağlı iken, azalan hız periyodunda katı içerisindeki direnç önemli hale gelmektedir (Strumillo and Kudra, 1986). Tekstil yapıları göz önüne alındığında, azalan hız periyodunun başlangıcında önce geniş, sonra da kılcal borulardaki su emilip yüzeye gelmekte ve buharlaşmaktadır. Zamanla kılcal borulardaki sürtünme direncinin artması ile birlikte, materyalin yüzeyine su taşınamamakta ve buharlaşma yüzeyde değil kumaşın iç tarafında meydana gelmeye başlamaktadır. Buharlaşan su, difüzyon yoluyla yüzeye ulaştırılmaktadır (Tarakçıoğlu, 1984). Kumaş yüzeyi kurudukça, aktarılan ısıнын bir kısmı katıyı ısıtmak için harcanacağından kumaş sıcaklığı da bu periyotta yükselmektedir.

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.



Şekil 7.6 Konveksiyon kurutmada azalan hız periyodu (Tarakçıoğlu, 1984)

$$\dot{m} = \frac{A \cdot \sigma_B}{R \cdot T} (P_{Bi} - P_{BH}) \quad (7.5)$$

$$\dot{Q} = A \cdot k (t_H - t_i) \quad (7.6)$$

$$\sigma_B = \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{\mu_D \cdot s}{D}} \quad (7.7)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda_s}} \quad (7.8)$$

Burada σ_B buhar geçirgenlik katsayısını, P_{Bi} kurutmanın meydana geldiği noktada su buharının kısmi basıncını, μ_D difüzyon direnci katsayısını, s kurutmanın meydana geldiği nokta ile yüzey arasındaki mesafeyi, k ısı transfer katsayısını, t_i kurutmanın meydana geldiği noktadaki mamul sıcaklığını ve λ mamul içerisindeki iletimle ısı transfer katsayısını ifade etmektedir.

Bu adımda ısı ve kütle transferi için gerekli yol uzadığından ve zorlaştığından kurutma hızı düşüktür. Kurutucunun çalışma şartları kadar, mamulün yapısı da kurutma hızı üzerinde etkilidir.

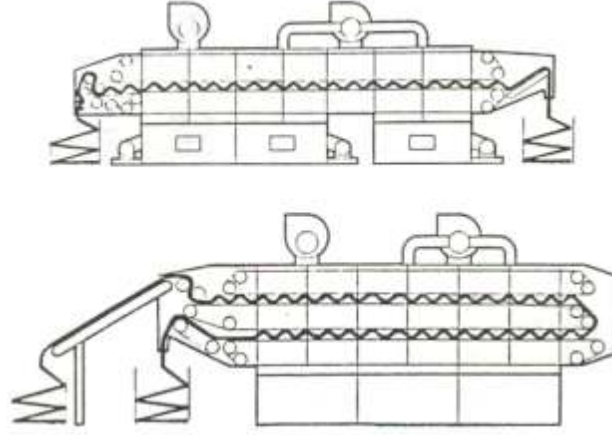
Kurutma işlemlerinde önemli olan bir husus da kurutma sonunda kumaş neminin, o kumaşta bulunan liflerin higroskopik nemlerine göre ayarlanmasıdır (Haghi, 2006). Liflerin içerisindeki şişme suyunun uzaklaştırılması kurutmanın en yavaş adımıdır. Çünkü liflerin içerisinde ve lif makromoleküllerine H-köprüsü, dipol çekim kuvveti gibi ikincil çekim kuvvetleriyle bağlı suyun

buharlaştırılarak lif yüzeyine difüzyonunun sağlanması gerekmektedir. Şişme suyu uzaklaştıkça, liflerin kesiti ve dolayısıyla gözenekleri de küçülmektedir. Bu nedenle liflerin higroskopik neminin uzaklaştırılması, şişme suyunun uzaklaştırılmasına nazaran çok daha yavaş olmaktadır. Birim zamanda uzaklaştırılan su miktarının azalması nedeniyle, aşırı kurutma sırasında kumaşın sıcaklığı kurutma havası sıcaklığına yaklaşmaktadır (Tarakçıoğlu, 1984). Üstelik uzaklaştırılan bu nem içeriği, tekstil mamulü dış ortam havasıyla dengeye geldiğinde tekrar kazanılacaktır. Dolayısıyla oldukça yüksek bir enerji, doğal olarak tekrar kazanılacak nemin uzaklaştırılması için boşu boşuna harcanmaktadır. Diğer yandan, örneğin yün lifleri aşırı kurutma sonrasında ortamla dengeye gelse de, olması gereken miktarda higroskopik nemi tekrar kazanamamaktadır, bu da kumaşın kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, hem gereksiz yere fazla enerji tüketilen hem de materyalin kalitesinin bozulmasına neden olabilen aşırı kurutmadan kesinlikle kaçınılmalı ve kumaştaki nem higroskopik nem değerine geldiğinde kurutma işlemi tamamlanmalıdır.

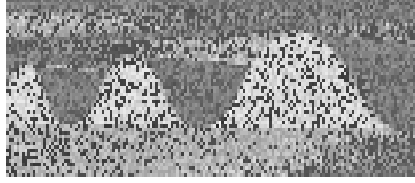
Konveksiyon kurutucu olarak en yaygın kullanılan makineler, ramözler ile özellikle örgü kumaşlar için taşıma bantlı kurutuculardır.

Taşıma bantlı kurutucularda, kumaş sonsuz delikli bir bant üzerinde serbest halde taşınmakta ve üstten ve alttan kumaşa sıcak kurutma havası püskürtülmektedir. Bu esnada kumaş kısmen üzerinde bulunduğu banttan kalkarak titreşim ve çarpma hareketleri yapmakta, bu sayede kurutma sırasında iç gerilimlerinden kurtularak boyut stabilitesi kazanmaktadır. Bu kurutucular hem açık en, hem de tüp halindeki örme kumaşlar için kullanılabilir.

Şekil 7.5’de taşıma bantlı kurutucu ve Şekil 7.6’da kurutma sırasında kumaşın hareketi gösterilmektedir.



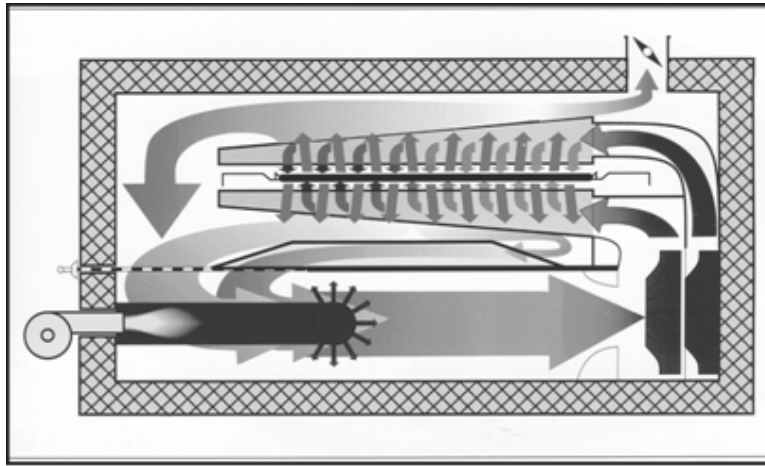
Şekil 7.7 Tek ve çift geçişli taşıma bantlı kurutucular



Şekil 7.8 Taşıma bantlı kurutucuda kumaş hareketi

Ramözlerde ise kumaş hareketi bir iğneli ya da mandallı zincir donanımı ile sağlanmaktadır. Ramözler gerek konveksiyon yolu ile kurutma, gerekse diğer yöntemlere göre çalışan kurutucular içinde en önemli ve en çok kullanılan kurutma makinesidir. Bu makineler, sadece kurutma işlemleri için değil, her türlü kimyasal bitim işleminden sonra gerçekleştirilen kondenzasyon ve

kumaşların termofiksajı için de çok amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Kumaşa en ve boy ayarının yapılabilmesi, bitim işlemlerinde kumaş üzerine kimyasal madde aplikasyonundan sonra kumaşın hiçbir yere temas etmeden kurutulabilmesi, etkili bir kurutma sağlaması gibi pek çok avantaja sahiptirler (Çoban, 1999). Şekil 7.7’de direkt doğal gaz ısıtmalı bir ramöze ait bir kamaranın enine kesiti ve hava sirkülasyonu gösterilmektedir.



Şekil 7.9 Direkt doğal gaz ısıtmalı bir ramözün enine kesiti ve hava sirkülasyonu görünümü
(www.monforts.de)

Kurutucuya giren sıcak hava, tekstil mamulüyle temas ettiğinde enerjisini mamülde bulunan bir miktar suyun buharlaştırılması ve kısmen de kumaşın ısınması için harcamakta ve bir miktar su buharını alarak soğumaktadır. Kumaşla bir kez temas ederek nemlenmiş ve biraz soğumuş bu kurutma havası direkt olarak dışarıya gönderilirse, yoğunlaşma olmadan taşıyabileceğinden daha az su buharı almış olacağından, büyük enerji kayıplarına yol açacaktır. Ayrıca dışarıya gönderilen kurutma havası yerine makineye alınacak temiz havanın da kurutma

sıcaklığına getirilmesi için gerekli olan enerji de yüksek olacaktır. Bu nedenle, kurutucudan geçen havanın bir kısmı dışarıya atılmakta, geri kalan kısmı ise tekrar sirküle edilip, temiz hava ile karıştırılarak tekrar kullanılmaktadır.

Kurutma havasının ne kadarının sirküle edilip, ne kadarının dışarıya atılacağını belirleyen parametre atık hava nemidir. Atık havadaki nem miktarı arttıkça, dışarıya atılan atık hava miktarı da azalmaktadır. Dolayısıyla dışarıya atılan hava yerine makineye alınan temiz havanın kurutma sıcaklığına kadar ısıtılması için gerekli enerji de azalmaktadır. Sıcak hava/su buharı oranı kurutma işlemlerinin ekonomik verimliliğinin belirlenmesinde yardımcı bir faktördür ve enerji maliyetleri her geçen gün arttığından mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Birim zamanda buharlaştırılan su miktarı, kumaş ağırlığı, kumaşın girişteki ve kurutma sonundaki nemi, kumaş eni ve geçiş hızına bağlıdır. Bu nedenle sabit bir baca akımından söz edilememektedir. Atık havanın nem içeriği devamlı ölçülmeli, kurutma şartlarına göre baca klapeleri ve fanlar düzenlenmeli ya da otomatik olarak ayarlanmalıdır.

Atık hava nemi bir dereceye kadar artırılrsa da, $0,2 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ değerinin üzerine çıkılması tavsiye edilmemektedir. Bu nem değerinin üzerindeki durumlarda, su buharının çığlaşma noktası $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkmaktadır. Bilindiği üzere kurutma esnasında kumaşın sıcaklığı (kurutmanın son adımı hariç) $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmemektedir. Bu nedenle, çok yüksek atık hava nemi olduğu durumlarda, kumaşla temas ettiğinde havadaki nemin yoğuşma tehlikesi bulunmaktadır.

Atık havanın optimal miktarda nem almadan dışarı atılmasının önlenmesi ve dolayısıyla atık hava miktarının azaltılması, atık havadaki nemi ölçerek sağlanabilmektedir. Bugün piyasada havanın nemini değişik prensiplere göre ölçen donanımlar bulunmaktadır (örneğin, Pleva, Mahlo, Babcock).



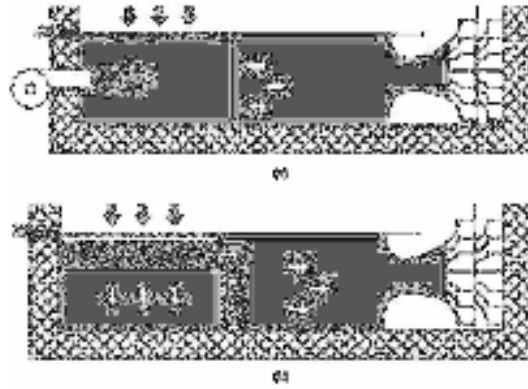
Şekil 7.10 Atık hava ölçüm cihazı (Pleva)

Atık hava neminin ölçümü, Mahlo firmasının üretmiş olduğu nem ölçüm cihazında sesin havada ve su buharındaki farklı yayılma hızına dayalı olarak ölçülmektedir. Atık hava akımına direkt olarak maruz bırakılan bir ses kaynağında (fluidic oscilator) ses üretilmektedir. Bu sesin frekansı, su buharı/hava karışım oranına bağlıdır. Sesin frekansı ısıdan bağımsız olarak ölçülebilmekte, sıcaklığın etkisi elektronik olarak kompanse edilmektedir (Routte, 1995). Pleva firması tarafından üretilen nem ölçer ise (Şekil 7.8), termostatikleştirilmiş ölçüm haznesinde LiCl-ölçüm kafası bulunmaktadır. Bu kafa, iç buharlaşma ile ölçülen havadaki su buharı kısmi basıncına göre oluşan denge sıcaklığını ölçerek, havadaki ne miktarını hesaplamaktadır (Tarakçıoğlu, 1984).

Atık hava nemi ölçüm cihazları oldukça pahalı olduklarından, bir ramözde her bölmeye bir nem ölçme ve ayarlama tertibatı konulamamaktadır. Bu nedenle,

ramözde en fazla buharlaşmanın bulunduğu kamaranın içine veya atık hava kanalına, ya da ana atık hava bacasına yerleştirilebilmektedir.

Konveksiyon kurutucularda değişik ısıtma sistemleri kullanılabilmektedir. Bu sistemlerin verim dereceleri ile kullandıkları yakıtların fiyatları büyük farklılıklar gösterdiğinden, kullanılan ısıtma sistemine bağlı olarak birincil enerji tüketimi ve maliyeti de büyük ölçüde farklılıklar gösterebilmektedir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan ısıtma sistemleri indirekt ve direkt doğal gaz ısıtması ve kızgın yağ ısıtmasıdır. Şekil 7.9'da direkt doğal gaz ısıtmalı ve kızgın yağ ısıtmalı ramözlerin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 7.11 Ramözlerde ısıtma sistemleri (www.monforts.de)

(a) direkt doğal gaz ısıtmalı (b) indirekt kızgın yağ ısıtmalı

Kızgın yağ ısıtmasında, bir kızgın yağ kazanında yaklaşık olarak 240 °C ile 250 °C sıcaklıklara kadar ısıtılan ısı transfer yağı, kurutucu içerisindeki radyatörlerden geçmekte ve bu sırada kurutma havasını ısıtmaktadır. Kurutucudan çıkan yağ, bir sirkülasyon pompası ile tekrar kazana gönderilmektedir. Bu sistemin çok yüksek kurutma havası sıcaklıklarına

ıkabilme avantajının yanı sıra, ek bir yağ kazanı gerektirmesi en büyük dezavantajıdır.

Direkt doğal gaz ısıtmalı sistemlerde, kurutma havası direkt olarak sıcak yanma gazları ile karıştırılarak ısıtılmaktadır. Burada radyatörlere ve ısı iletimine gerek kalmadığından dolayı çok yüksek bir verimle ısıtma sağlanabilmektedir. İndirekt doğal gaz ısıtmasında ise, yanma gazlarının radyatör petekleri içerisinde geçilmesiyle kurutma havasının ısıtılması sağlanmaktadır.

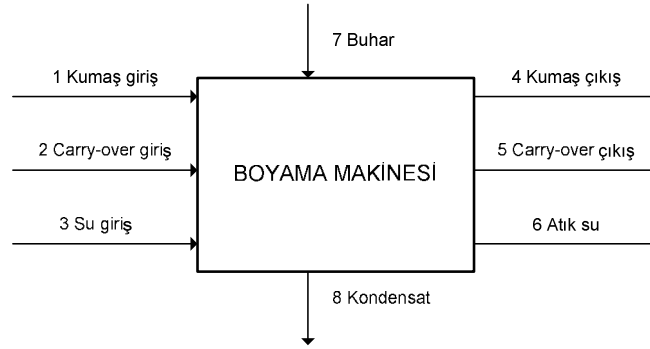
Tez çalışması kapsamında, direkt doğal gaz ısıtmalı ve kızgın yağ ısıtmalı ramözlerin ekserji ve eksergoekonomik modellemesi gerçekleştirilmiş ve kurutma işlemini etkileyen sıcaklık, nem gibi etki parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Ayrıca ramözler ile taşıma bantlı kurutucuların kıyaslanması da analize dahil edilmiştir.

8. METOT VE ANALİZ

8.1 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinin analizi

8.1.1 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinin enerji ve ekserji analizi

Terbiye işlemleri için, maksimum 150 kg kapasiteye sahip bir HT Jet boyama makinesi kullanılmıştır. Makineye su giriş basıncı 4 bar ve buhar giriş basıncı 6 bar'dır. Isıtma kapasitesi 3 °C/dk ,soğutma kapasitesi ise 2 °C/dk'dır.



Şekil 8.1 Jet boyama makinesine ait kontrol hacmi

Şekil 8.1’de jet boyama makinesi için oluşturulan kontrol hacmi görülmektedir. Her bir akımın kütle, enerji ve ekserji değerleri hesaplanarak enerji tüketimi ve kayıpları incelenmiştir. Çektirme yönteminin analizi için ilk aşamada sıcaklık, süre, flotte oranı, kumaş ve su giriş sıcaklıkları gibi temel parametrelerin etkisi sistematik olarak incelenmiştir. İşlem verilerinin büyük kısmı makine ekranından alınmış, makine yüzeyinden ısı kayıplarının hesaplanması için makine yüzey

sıcaklıkları bir IR termometre ile ölçülmüştür. Her bir işlem için buhar sarfiyatı ise kütle ve enerji denklilikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

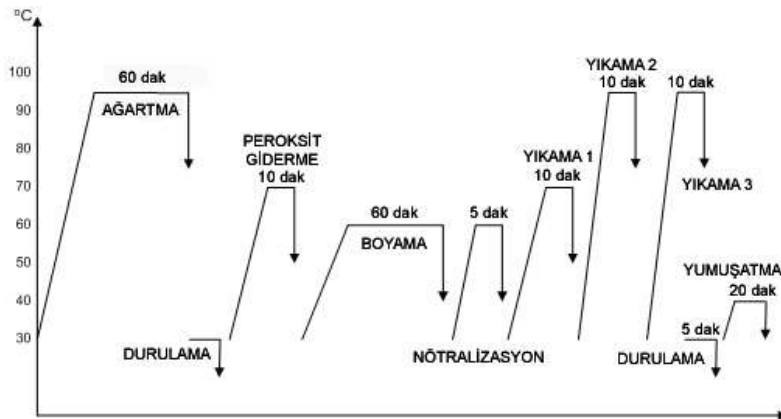
Çektirme yöntemi kesintili bir işlem olduğu için, enerji ve ekserji değerleri birim zaman yerine birim kumaş ağırlığı için özgül olarak hesaplanmıştır ve birimi $\text{kJ/kg}_{\text{kumaş}}$ 'tır.

Jet boyama makinesi için kütle, enerji ve ekserji denklilikleri aşağıdaki gibidir:

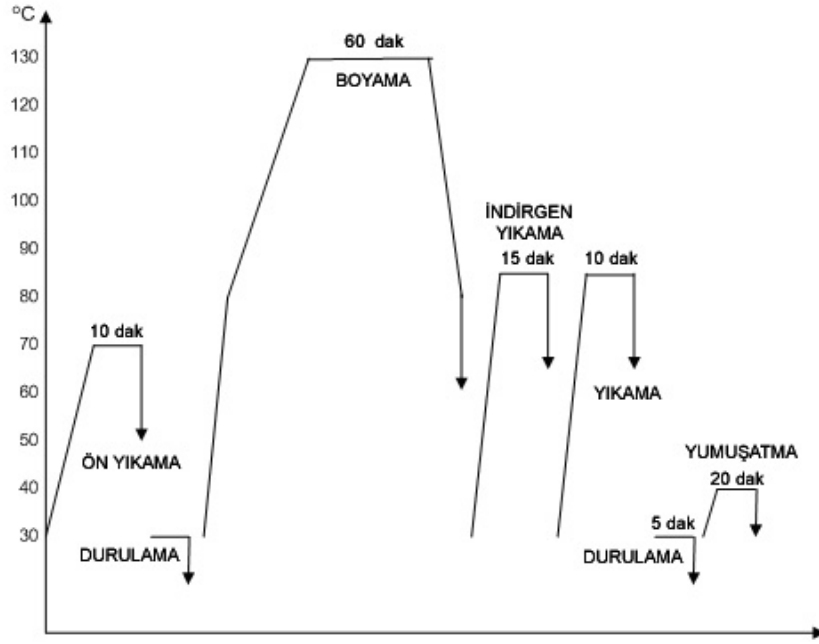
$$m_1 + m_2 + m_3 + m_7 = m_4 + m_5 + m_6 + m_8 \quad (8.1)$$

$$E_1 + E_2 + E_3 + E_7 = E_4 + E_5 + E_6 + E_8 + E_q \quad (8.2)$$

$$Ex_1 + Ex_2 + Ex_3 + Ex_7 = Ex_4 + Ex_5 + Ex_6 + Ex_8 + Ex_q + Ex_d \quad (8.3)$$



Şekil 8.2 Pamuklu kumaşa ait boyama grafiği



Şekil 8.3 Poliester kumaşa ait boyama grafiği

İkinci aşamada, jet boyama makinesinde pamuk (CO) ve poliester (PES) kumaşların terbiye işlemlerinin enerji ekserji analizleri yapılmış, ekserji tüketimi, ekserji kayıpları ve ekserji tahripleri incelenmiştir. Şekil 8.2 ve 8.3’de sırasıyla pamuklu ve poliester kumaşlar için kullanılan terbiye reçeteleri sunulmaktadır.

8.1.2 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinde eksergoekonomik analiz

Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinde enerjinin neredeyse tamamı flottenin ısıtılması için harcanmakta ve ısıtılan flotte işlem sonunda atık su olarak dışarıya atılmaktadır. Bu nedenle çektirme yöntemlerinin ekserji analizinde

‘ürün’ birimini göze almak yanıltıcı olmaktadır çünkü ürün aynı zamanda ‘atık’tır. Bu nedenle çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinin eksergoekonomik analizi için atık enerji ve ekserjinin yatırım maliyetlerine oranını veren EXCEM yönteminin uygulanmasının daha yararlı olduğu düşüncesi ile analiz için bu yöntem tercih edilmiştir.

EXCEM yöntemine göre analizde özgül enerji ve ekserji kayıp değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$L_{en} = E_6 + E_8 + E_q \quad (8.4)$$

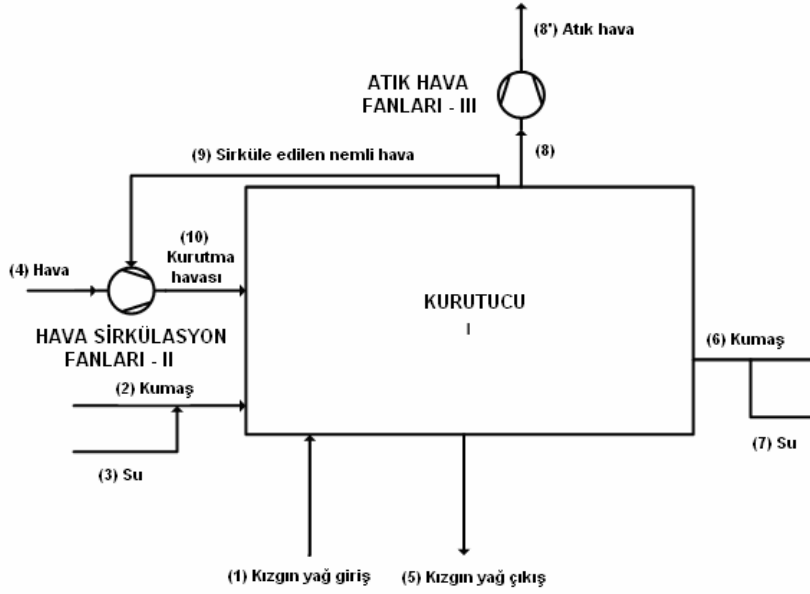
$$L_{ex} = Ex_6 + Ex_8 + Ex_q + Ex_d \quad (8.5)$$

8.2 Kurutma işlemlerinin analizi

8.2.1 Kurutma işlemlerinde enerji ve ekserji analizi

Kurutma işlemlerinin enerji ve ekserji analizinin ilk aşamasında kızgın yağ ısıtmalı konveksiyon kurutucular (ramöz ve taşıma bantlı kurutucu) için bir enerji-ekserji modeli geliştirilmiş ve kıyaslanmıştır. Analiz için Doğuş Tekstil A.Ş.’de, kurutma dairesinde bulunan 6 kamaralı bir ramöz ve 5 kamaralı bir taşıma bantlı kurutucu seçilmiştir. Her iki kurutucunun da ısıtması kızgın yağ ile sağlanmaktadır. Analiz için ilk olarak kurutucu için bir kontrol hacmi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model tez çalışması boyunca ‘Model I’ olarak adlandırılacaktır. Yağ ısıtmalı kurutma makineleri için kullanılabilecek söz konusu genelleştirilmiş kontrol hacmi Şekil 8.4’de verilmektedir. Her iki kurutucu için de, kumaş özellikleri, kumaş giriş çıkış sıcaklıkları ve nemi, atık hava sıcaklığı ve nemi, kurutma havası sıcaklıkları ölçülmüş ve bu ölçümler esas

alınarak her iki kurutucunun da ekserji verimleri ve ortaya çıkan ekserji kaybı akımları hesaplanmıştır.



Şekil 8.4 Yağ ısıtmalı bir kurutucunun genelleştirilmiş kontrol hacmi (Model I)

Analiz yapılırken aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Tüm süreçler dengeli ve sürekli akış göstermektedir
- Potansiyel enerji etkileri ihmal edilmiştir
- Sistemden ısı transferi ve sisteme olan güç transferi pozitifdir
- Hava sabit bir özgül ısıya sahip ideal bir gazdır
- Kızgın yağın özgül kimyasal ekserjisi ihmal edilmiştir, çünkü çevrim boyunca herhangi bir kimyasal etkileşim söz konusu değildir

Model 1'e göre kurutma makinesi (ramöz veya taşıma bantlı kurutucu) kurutucu, hava sirkülasyon fanları ve atık hava fanları olmak üzere üç bileşene ayrılarak incelenmiştir. Aşağıda her bir bileşen için kütle, enerji ve ekserji denklilikleri verilmektedir:

I. Kurutucu:

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_{10}(\omega_{10} + 1) = \dot{m}_5 + \dot{m}_6 + \dot{m}_7 + \dot{m}_8(\omega_8 + 1) + \dot{m}_9(\omega_9 + 1) \quad (8.6)$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_2 + \dot{E}_3 + \dot{E}_{10} = \dot{E}_5 + \dot{E}_6 + \dot{E}_7 + \dot{E}_8 + \dot{E}_9 + \dot{E}_q \quad (8.7)$$

$$\dot{E}x_1 + \dot{E}x_2 + \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{10} = \dot{E}x_5 + \dot{E}x_6 + \dot{E}x_7 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_9 + \dot{E}x_q + \dot{E}x_{d,I} \quad (8.8)$$

II. Hava sirkülasyon fanları:

$$\dot{m}_4(\omega_4 + 1) + \dot{m}_9(\omega_9 + 1) = \dot{m}_{10}(\omega_{10} + 1) \quad (8.9)$$

$$\dot{E}_4 + \dot{E}_9 + \dot{W}_{fan} = \dot{E}_{10} \quad (8.10)$$

$$\dot{E}x_4 + \dot{E}x_9 + \dot{W}_{fan} = \dot{E}x_{10} + \dot{E}x_{d,II} \quad (8.11)$$

III. Atık hava fanları

$$\dot{m}_8(\omega_8 + 1) = \dot{m}_{8'}(\omega_{8'} + 1) \quad (8.12)$$

$$\dot{E}_8 + \dot{W}_{fan} = \dot{E}_{8'} \quad (8.13)$$

$$\dot{E}x_8 + \dot{W}_{fan} = \dot{E}x_{8'} + \dot{E}x_{d,III} \quad (8.14)$$

Burada ω havanın özgül nemini ($\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$) ifade etmektedir. II ve III no'lu bileşenlerin adyabatik olduğu varsayılmıştır.

Kurutucudan çevreye olan ısı kaybı nedeniyle gerçekleşen ekserji akımı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$\dot{E}x_q = (1 - \frac{T_0}{T_{av}}) \dot{E}_q \quad (8.15)$$

Burada, T_{av} kurutucunun ortalama dış yüzey sıcaklığı ve $\dot{E}_q$ konveksiyon ve radyasyon yolu ile transfer edilen ısı akımıdır.

Kurutucunun enerji verimi kumaşa bulunan suyun buharlaştırılması için gerekli enerjinin, sisteme beslenen kızgın yağ enerjisine oranıdır:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{ev} h_{ev}}{\dot{m}_1 (h_1 - h_5)} \quad (8.16)$$

$$\dot{m}_{ev} = \dot{m}_3 - \dot{m}_7 \quad (8.16a)$$

Kurutucunun ekserji verimi, Dincer ve Sahin'in geliştirdiği model (2004) modifiye edilerek ortaya konmuştur. Burada kumaşın kurutulması için kullanılan ekserji akımının sisteme beslenen kızgın yağın ekserji akımına oranı ekserji verimini vermektedir:

$$\varepsilon_s = \frac{(\dot{m}_{ev})(ex_{s,10} - ex_3)}{\dot{m}_{ho}(ex_1 - ex_5) + \dot{W}_{fan}} \quad (8.17)$$

$$ex_{s,10} = [h(T_{10}, P_{v,10}) - h_g(T_0)] - T_0[s(T_{10}, P_{v,10}) - s_g(T_0)] + T_0 R_v \ln \left[\frac{P_g(T_0)}{x_v^0 P_0} \right] \quad (8.17a)$$

$$P_{v,10} = (x_v)_{10} P_{10} \quad (8.17b)$$

Analiz için kullanılan diğer bağıntılar aşağıda listelenmektedir:

Birim zamanda geçen kumaş miktarı:

$$\dot{m}_k = V \cdot En \cdot G \text{ (kg/s)} \quad (8.18)$$

Kumaş enerji akımı:

$$\dot{E}_k = \dot{m}_k \cdot C_k \cdot T_k \text{ (kJ/s)} \quad (8.19)$$

Atık hava debisi:

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_{ev}}{\omega} \text{ (kg/s)} \quad (8.20)$$

Taşıyım ile olan ısı transfer katsayısı:

$$U_t = B \cdot (T_a - T_o)^{0,25} \text{ (kJ/m}^2\text{°C)} \quad (8.21)$$

Işınım ile olan ısı transfer katsayısı:

$$U_r = \frac{20,4 \cdot \varepsilon}{T_a - T_o} \cdot \left[\left(\frac{T_a + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_o + 273}{100} \right)^4 \right] \text{ (kJ/m}^2\text{°C)} \quad (8.22)$$

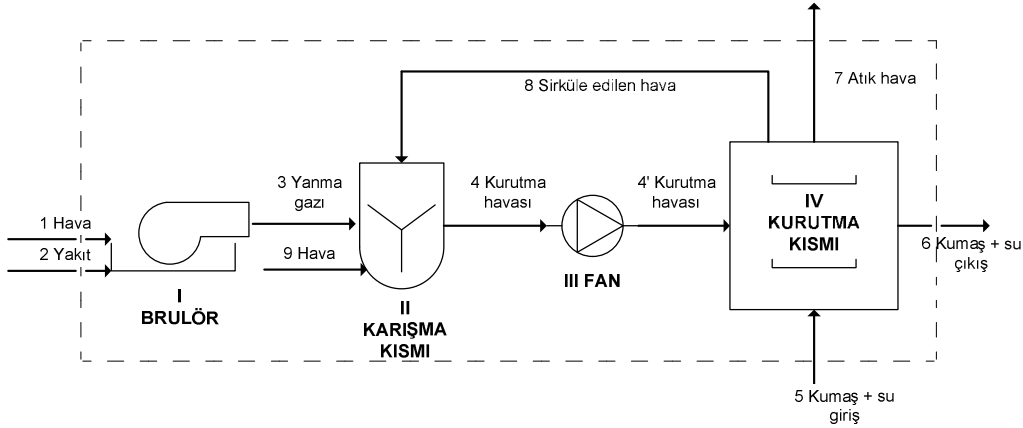
Sıcak yüzeylerden kaybolan enerji akımı:

$$\dot{E}_q = (U_t + U_r) \cdot A \cdot (T_a - T_o) \text{ (kJ/s)} \quad (8.23)$$

Model I kullanılarak yağ ısıtılmalı ramöz ve taşıma bantlı kurutucuların enerji ve ekserji analizi yapılmış ve birbiri ile kıyaslanmıştır. Kurutma işlemleri için 230 g/m² gramajlı pamuklu örme kumaş kullanılmıştır.

Kurutma işlemlerinin enerji ve ekserji analizinin ikinci aşamasında direkt doğal gaz ısıtmalı ramözler incelenmiştir. Model I’de konveksiyon kurutucuların kurutma kamaraları ve kurutma havasının ısıtıldığı radyatörler tek bir kontrol hacminde birlikte ele alınmıştır. Bu nedenle daha ayrıntılı bir analiz gerçekleştirmek üzere, Model II geliştirilmiştir. Model II bileşenleri karışma kısmı, sirkülasyon fanları, kurutma havasının ısıtıldığı kısım (yağ ısıtmalı ramözler için ısı değiştirici, direkt doğal gaz ısıtmalı ramözler için brülör) ve kurutma kısmı olmak üzere dört adettir. Aslında ramözlerde ayrı bir karışma kısmı bulunmamakta ve kurutma kamarasında kumaş ile temas edip nemlenen ve bir miktar soğuyan sirkülasyon havası fana girmeden önce dışarıdan emilen temiz hava ile karışmaktadır. Ancak bu karışma esnasında ortaya çıkan tersinmezliklerin de belirlenebilmesi için sirkülasyon fanlarından önceki karışma olayı da bir kontrol hacmi gibi ele alınarak analize dahil edilmiştir.

Direkt doğal gaz ısıtmalı ramözler (DGIR) için geliştirilen ve ‘Model IIa’ olarak isimlendirilen kontrol hacmi Şekil 8.5’de gösterilmektedir.



Şekil 8.5 Direkt doğal gaz ısıtmalı ramözler için kontrol hacimleri (Model IIa)

Aşağıda direkt doğal gaz ısıtmalı ramözün kontrol hacimlerinin kütle, enerji ve ekserji denklilikleri verilmektedir:

I Brülör

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (8.24)$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_2 = \dot{E}_3 \quad (8.25)$$

$$\dot{E}x_1 + \dot{E}x_2 = \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{d,I} \quad (8.26)$$

II Karışma kısmı

$$\dot{m}_3 + \dot{m}_8(\omega_8 + 1) + \dot{m}_9 = \dot{m}_4(\omega_4 + 1) \quad (8.27)$$

$$\dot{E}_3 + \dot{E}_8 + \dot{E}_9 = \dot{E}_4 \quad (8.28)$$

$$\dot{E}x_3 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_9 = \dot{E}x_4 + \dot{E}x_{d,II} \quad (8.29)$$

III Fan

$$\dot{m}_4(\omega_4 + 1) = \dot{m}_{4'}(\omega_{4'} + 1) \quad (8.30)$$

$$\dot{E}_4 + \dot{W}_{fan} = \dot{E}_{4'} \quad (8.31)$$

$$\dot{E}x_4 + \dot{W}_{fan} = \dot{E}x_{4'} + \dot{E}x_{d,III} \quad (8.32)$$

IV Kurutma kısmı

$$\dot{m}_{4'}(\omega_{4'} + 1) + \dot{m}_5 = \dot{m}_6 + \dot{m}_7(\omega_8 + 1) + \dot{m}_8(\omega_9 + 1) \quad (8.33)$$

$$\dot{E}_{4'} + \dot{E}_5 = \dot{E}_6 + \dot{E}_7 + \dot{E}_8 + \dot{E}_q \quad (8.34)$$

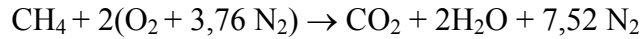
$$\dot{E}x_{4'} + \dot{E}x_5 = \dot{E}x_6 + \dot{E}x_7 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_q + \dot{E}x_{d,IV} \quad (8.35)$$

Direkt doğal gaz ısıtmalı ramözlerin enerji ve ekserji analizi için Doğuş tekstil A.Ş., Ekoten A.Ş. ve May Tekstil A.Ş.'de bulunan kurutuculardan alınan birçok ölçüm ve ASOS firmasından alınan ölçüm ve tecrübelerle dayalı veriler birleştirilerek analiz için kullanılacak değerler hesaplanmıştır. Kurutma işlemleri için 220 g/m^2 gramajlı, pamuklu örme kumaş kullanılmıştır.

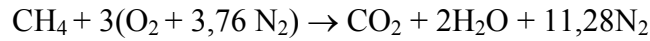
Model II'nin uygulanması hem ramözün her bir kamarası için ayrı ayrı hem de tüm ramözün tek bir kamara olarak değerlendirilmesi şeklinde olabilmektedir. Ancak kurutma işleminin kurutma süresi ve kumaşta buluna nem miktarına göre değişiklik gösterdiği göz önünde bulundurularak ramözün her bir kamarası ayrı ayrı analize dahil edilmiştir.

Direkt doğal gaz ısıtmalı ramözlerde, brülörde yakıt olarak doğal gaz kullanılmaktadır. Doğal gazın büyük bir kısmını metan gazı oluşturduğu için yanma için yapılan hesaplamalarda metan gazı esas alınmıştır. Yanma için yaklaşık % 50 fazla hava kullanılmaktadır.

Metanın tam yanma reaksiyonu aşağıdaki gibidir:



Ancak pratikte, teorik havadan daha fazla hava kullanıldığından metanın tam yanması aşağıdaki gibi olmaktadır:



Yukarıdaki tam yanma reaksiyonu kullanılarak, yanma sonucu ortaya çıkan ve kurutma havasının ısıtılmasında kullanılan yanma gazlarının adyabatik alev sıcaklığı bulunmuş, entalpi ve entropi değerleri hesaplanmıştır:

$$\sum n_{\dot{\varsigma}} (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{\dot{\varsigma}} = \sum n_g (\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_g \quad (8.36)$$

Burada, n mol miktarını (kmol), $\bar{h}_f^0$ oluşum entalpisini (kJ/kmol), $\bar{h}$ yanma entalpisini (kJ/kmol) ve $\bar{h}^0$ referans hal yanma entalpisini (kJ/kmol) ifade etmektedir. $\dot{\varsigma}$ ve g indisleri sırasıyla çıkan ve giren maddeleri ifade etmektedir. Oluşum ve referans hal yanma entalpi değerleri termodinamik tablolardan okunmuş ve yanma entalpileri hesaplanmış ve buradan hareketle adyabatik alev sıcaklığına ulaşılmıştır.

Yakıtın entalpisi ısıl değeri kullanılarak hesaplanmıştır:

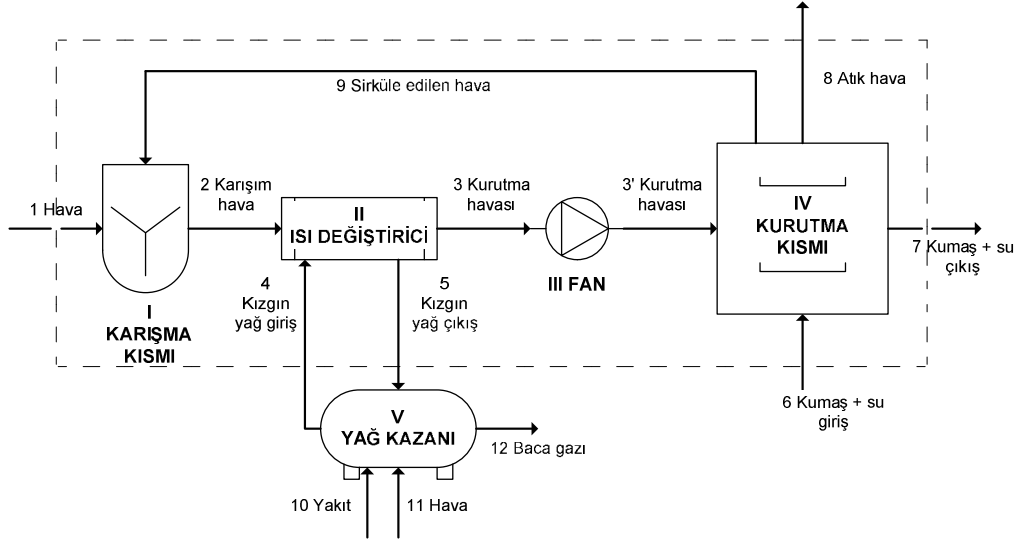
$$h_y = Hu + C_y \cdot T_y \quad (8.37)$$

Yakıtın özgül kimyasal ekserjisi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (Kotas, 1995):

$$ex_{ch} = (LHV) \cdot \varphi \quad (8.38)$$

Kurutma işlemlerinin ekserji analizinde üçüncü aşama olarak direkt ısıtmalı ramözler (DGIR) ile kızgın yağ ısıtmalı ramözler (KYIR) ekserji verimi ve ekserji tahribi açısından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada denklik sağlamak için Model II kızgın yağ ısıtmalı ramözler için düzenlenmiştir. Şekil 8.6'da kızgın

yağ ısıtmalı ramözler için Model II'ye göre oluşturulan kontrol hacmi (Model IIb) gösterilmektedir. Kızgın yağ ısıtmalı ramözler için enerji kaynağı kızgın yağ kazanı olduğundan, beşinci kontrol hacmi olarak yağ kazanı da analize eklenmiştir.



Şekil 8.6 Kızgın yağ ısıtmalı ramözler için kontrol hacimleri (Model IIb)

Aşağıda Şekil 8.6'da gösterilen her bir bileşen için kütle, enerji ve ekserji denklilikleri verilmektedir.

I Karışma kısmı:

$$\dot{m}_1(\omega_1 + 1) + \dot{m}_9(\omega_9 + 1) = \dot{m}_2(\omega_2 + 1) \quad (8.39)$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_9 = \dot{E}_2 \quad (8.40)$$

$$\dot{E}x_1 + \dot{E}x_9 = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{d,I} \quad (8.41)$$

II. Isı değiştirici

$$\dot{m}_2(\omega_2 + 1) + \dot{m}_4 = \dot{m}_3(\omega_3 + 1) + \dot{m}_5 \quad (8.42)$$

$$\dot{E}_2 + \dot{E}_4 = \dot{E}_3 + \dot{E}_5 \quad (8.43)$$

$$\dot{E}x_2 + \dot{E}x_4 = \dot{E}x_3 + \dot{E}x_5 + \dot{E}x_{d,II} \quad (8.44)$$

III Fan

$$\dot{m}_3(\omega_3 + 1) = \dot{m}_{3'}(\omega_{3'} + 1) \quad (8.45)$$

$$\dot{E}_3 + \dot{W}_{fan} = \dot{E}_{3'} \quad (8.46)$$

$$\dot{E}x_3 + \dot{W}_{fan} = \dot{E}x_{3'} + \dot{E}x_{d,III} \quad (8.47)$$

IV Kurutma kısmı

$$\dot{m}_{3'}(\omega_{3'} + 1) + \dot{m}_6 = \dot{m}_7 + \dot{m}_8(\omega_8 + 1) + \dot{m}_9(\omega_9 + 1) \quad (8.48)$$

$$\dot{E}_3 + \dot{E}_6 = \dot{E}_7 + \dot{E}_8 + \dot{E}_9 + \dot{E}_q \quad (8.49)$$

$$\dot{E}x_3 + \dot{E}x_6 = \dot{E}x_7 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_9 + \dot{E}x_q + \dot{E}x_{d,IV} \quad (8.50)$$

V Kızgın yağ kazanı

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_{10} + \dot{m}_{11} = \dot{m}_4 + \dot{m}_{12} \quad (8.51)$$

$$\dot{E}_5 + \dot{E}_{10} + \dot{E}_{11} = \dot{E}_4 + \dot{E}_{12} + \dot{E}_q \quad (8.52)$$

$$\dot{E}x_5 + \dot{E}x_{10} + \dot{E}x_{11} = \dot{E}x_4 + \dot{E}x_{12} + \dot{E}x_q + \dot{E}x_{d,V} \quad (8.53)$$

8.2.2 Kurutma işlemlerinde eksergoekonomik analiz

Kurutma işlemlerinin eksergoekonomik analizi için Model II kullanılmıştır. SPECO yönteminde, kızgın yağ ısıtmalı ve direkt doğal gaz ısıtmalı ramözlerin her bir bileşeni için maliyet denklikleri ve yardımcı eşitlikler oluşturulmuştur. Bu eşitlikler direkt doğal gaz ısıtmalı ve kızgın yağ ısıtmalı ramözler için sırasıyla Çizelge 8.1 ve 8.2’de listelenmektedir:

Çizelge 8.1 Direkt doğal gaz ısıtmalı ramöze ait maliyet denklikleri

Maliyet denkliği		Yardımcı eşitlikler
I Brülör		
$\dot{C}_1 + \dot{C}_2 + \dot{Z}_I = \dot{C}_3$	(8.54)	$c_1 = 0$
II Karışma kısmı		
$\dot{C}_3 + \dot{C}_8 + \dot{C}_9 = \dot{C}_4$	(8.55)	$c_9 = 0$
III Fan		
$\dot{C}_4 + \dot{C}_w + \dot{Z}_{III} = \dot{C}_{4'}$	(8.56)	
IV Kurutma kısmı		
$\dot{C}_{4'} + \dot{C}_5 + \dot{Z}_{IV} = \dot{C}_6 + c_8(\dot{E}x_8 + \dot{E}x_7 - \dot{E}x_{ev}) + c_{ev}\dot{E}x_{ev} + \dot{C}_q$	(8.57)	$c_5 = 0$ $c_{4'} = c_7 = c_8 = c_q$

SPECO yöntemine göre eksergoekonomik analizde hesaplanacak hedef ekserji maliyeti olarak suyun buharlaştırılması için gerekli ekserjinin maliyeti seçilmiştir. Bu nedenle, kurutma kısmının maliyet denkliğinde görüldüğü gibi, buharlaştırılan suyun ekserjisi ayrılarak ayrı bir öge olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 8.2 Kızgın yağ ısıtmal ramöze ait maliyet denklilikleri

Maliyet denkliliği		Yardımcı eşitlikler
I Karışma kısmı		
$\dot{C}_1 + \dot{C}_9 = \dot{C}_2$	(8.58)	$c_1 = 0$
II Isı değiştirici		
$\dot{C}_2 + \dot{C}_4 + \dot{Z}_{II} = \dot{C}_3 + \dot{C}_5$	(8.59)	$c_4 = c_5$
III Fan		
$\dot{C}_3 + \dot{C}_w + \dot{Z}_{III} = \dot{C}_{3'}$	(8.60)	
IV Kurutma kamarası		
$\dot{C}_{3'} + \dot{C}_6 + \dot{Z}_{IV} = \dot{C}_7 + c_9(\dot{E}x_9 + \dot{E}x_8 - \dot{E}x_{ev}) + c_{ev}\dot{E}x_{ev} + \dot{C}_q$	(8.61)	$c_6 = 0$ $c_{3'} = c_8 = c_9 = c_q$
V Kızgın yağ kazanı		
$\dot{C}_{10} + \dot{C}_{11} + \dot{C}_5 + \dot{Z}_V = \dot{C}_4 + \dot{C}_{12} + \dot{C}_q$	(8.62)	$c_{11} = 0$ $c_5 = c_4$ $c_{10} = c_{12} = c_q$

EXCEM yöntemi için kızgın yağ ısıtmal ve direkt ısıtmal ramözde enerji ve ekserji kayıp değerleri Çizelge 8.3’de gösterilmektedir.

Tablo 8.3 EXCEM yöntemi için ekserji kayıp değerleri

	Kızgın yağ ısıtmal ramöz		Direkt doğal gaz ısıtmal ramöz	
	$\dot{L}_{en}$	$\dot{L}_{ex}$	$\dot{L}_{en}$	$\dot{L}_{ex}$
I	-	$\dot{E}x_{d,I}$	-	$\dot{E}x_{d,I}$
II	-	$\dot{E}x_{d,II}$	-	$\dot{E}x_{d,II}$
III	-	$\dot{E}x_{d,III}$	-	$\dot{E}x_{d,III}$
IV	$\dot{E}_8 + \dot{E}_q$	$\dot{E}x_8 + \dot{E}x_q + \dot{E}x_{d,IV}$	$\dot{E}_7 + \dot{E}_q$	$\dot{E}x_7 + \dot{E}x_q + \dot{E}x_{d,IV}$
V	$\dot{E}_{12} + \dot{E}_q$	$\dot{E}x_{12} + \dot{E}x_q + \dot{E}x_{d,V}$	-	-

9. BULGULAR VE TARTIŞMA

9.1 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinin analizi

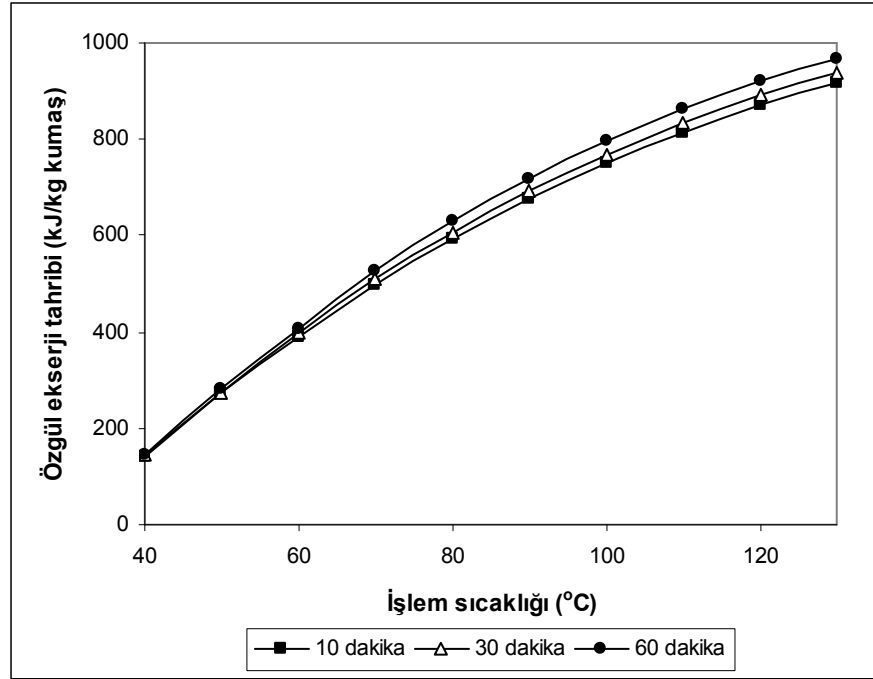
9.1.1 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinde ekserji analizi

Çektirme yöntemi, tekstil fabrikalarında en çok kullanılan ve yaş terbiye işlemleri arasında en çok enerji tüketen yöntemdir. Tez çalışmasının bu aşamasında ilk olarak bir jet boyama makinesinin temel parametrelerinin ekserji kullanımı ve tahribine etkisi incelenmiş, ardından gerçek işletme reçeteleri kullanılarak pamuklu ve poliester kumaşların çektirme yöntemine göre terbiye işlemleri analiz edilmiştir.

Boyahanede yapılan analiz için, boyahanenin ortalama iç sıcaklığı ve atmosferik basınç (30 °C ve 101,325 kPa) referans hal olarak alınmıştır.

9.1.1.1 İşlem sıcaklığı ve süresinin etkisi

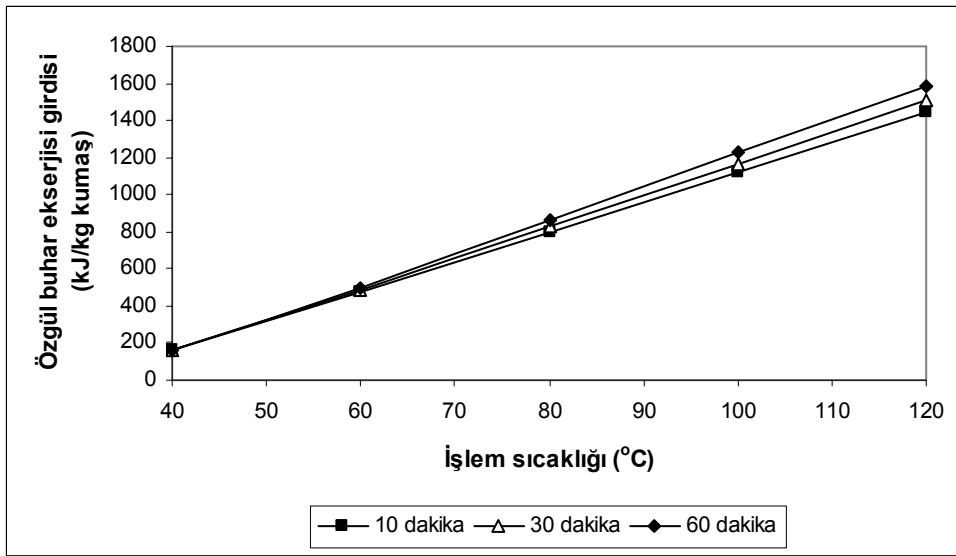
Çektirme yöntemine göre terbiye işlemleri, işlem tipi, kullanılan kimyasal ve boyarmadde ve kumaş tipine bağlı olarak 30 °C ile 130 °C gibi geniş bir sıcaklık aralığında ve 5 ile 90 dakika işlem sürelerinde gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle sıcaklık ve işlem süresinin etkisi ekserji açısından incelenmiştir. Şekil 9.1 de işlem süresi ve sıcaklığının işlem sırasında ortaya çıkan özgül ekserji tahribine etkisi verilmektedir (F.O: 1:10). Şekil 9.2 ve 9.3’de sırasıyla sisteme giren özgül buhar ekserjisi ve sisteme giren toplam özgül ekserjinin (buhar ve elektrik ekserjisi toplamı) işlem sıcaklığı ve süresi ile değişimi gösterilmektedir. Şekil 9.4’de ise ekserji verimi üzerinde durulmaktadır.



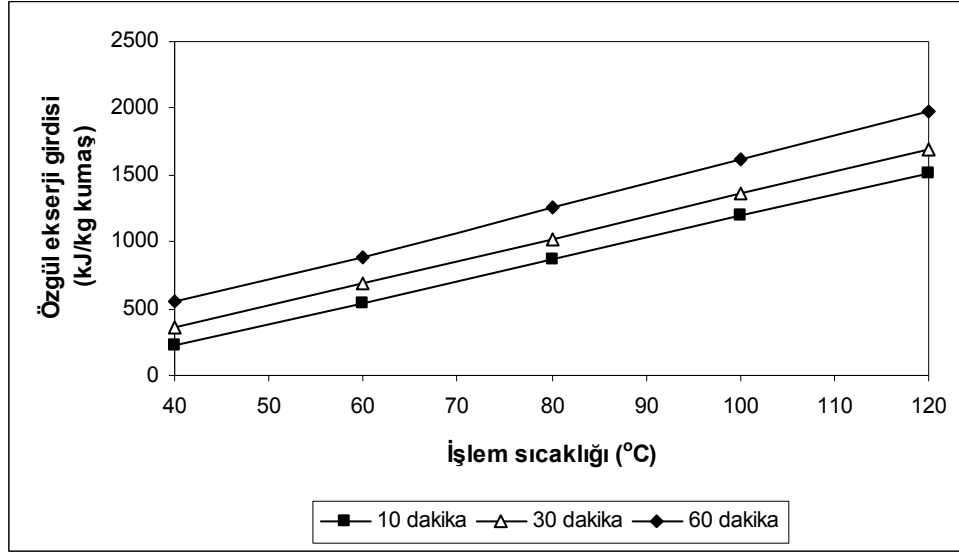
Şekil 9.1 İşlem sıcaklığı ve süresinin özgül ekserji tahribine etkisi

Şekillerde açıkça görüldüğü gibi, işlem sıcaklığı arttıkça özgül ekserji tahribi ve ekserji verimi artmaktadır. Diğer yandan, işlem süresinin etkisi, sıcaklık artışının etkisi kadar belirgin değildir. Jet boyama makinesinde kullanılan özgül buhar enerjisinin büyük kısmı, işlem flottesinin işlem sıcaklığına yükseltilmesi için tüketilmektedir. İşlem sıcaklığına erişildiğinde süreç başlamakta ve bu noktadan sonra sadece flotte sıcaklığını süreç boyunca sabit tutmak, dolayısıyla makine yüzeylerinden ısı transferi ile kaybolan enerjiyi dengeleyerek soğumasını önlemek için buhar kullanılmaktadır. Burada kullanılan buhar miktarı, ısıtma için kullanılabilecek kadar azdır. İşlemde ortaya çıkan özgül ekserji tahribinin neredeyse tamamı buhar kaynaklı olduğundan, işlem süresinin etkisi önemsizdir.

Diğer yandan sistemin özgül ekserji tüketimi göz önüne alındığında, pompaların, elektronik kontrol parçalarının ve motorların çalıştırılması için elektrik enerjisine gereksinim duyulmaktadır. Jet boyama makinesindeki sirkülasyon pompaları, kumaş hareketini sağlayan motorlar, vs., işlem süresi boyunca sürekli olarak çalıştığından süre uzadıkça harcanan özgül ekserji de artmaktadır. Bu nedenle işlem süresinin uzamasından kaçınmak elektrik ekserjisinden tasarruf sağlayacağından, süreçlerin mümkün mertebe kısa süreli ya da birbiri ile kombine edilmiş şekilde gerçekleştirilmesine önem verilmelidir.

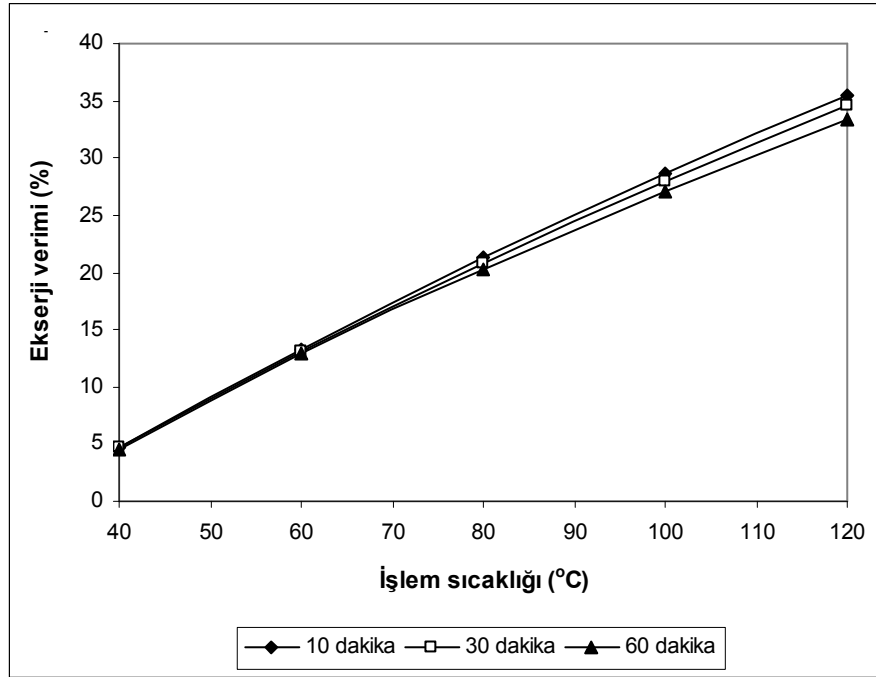


Şekil 9.2 İşlem sıcaklığı ve süresinin özgül buhar ekserjisi girdisine etkisi



Şekil 9.3 İşlem sıcaklığı ve süresinin toplam (buhar + elektrik) özgül ekserji tüketimine etkisi

Yüksek sıcaklıktaki işlemlerde, yüksek ekserji seviyesindeki buhar, yoğunlaşma gizli ısısını yine nispeten yüksek ekserji seviyesindeki flotteye vermektedir. Düşük sıcaklıktaki işlemlerde ise ekserji seviyesi büyük ölçüde düşmektedir. Bu nedenle, yüksek sıcaklıktaki işlemlerde buhar tüketimi artsa da ekserji verimi yüksek olmaktadır. Ancak, ister yüksek sıcaklıkta isterse düşük sıcaklıktaki işlem olsun, süreç sonunda flotte kanala boşaltılmakta ve buhardan kazanılan tüm özgül ekserji, atık ekserji haline gelmektedir. Dolayısıyla ekserji veriminin belirlenmesi ve yorumlanması yaş terbiye işlemleri için önemli değildir. Bu nedenle, yaş terbiye işlemlerinin ekserji analizinde özgül ekserji tahribi ve özgül ekserji tüketimi kavramları kullanılmış ve değerlendirilmiştir.



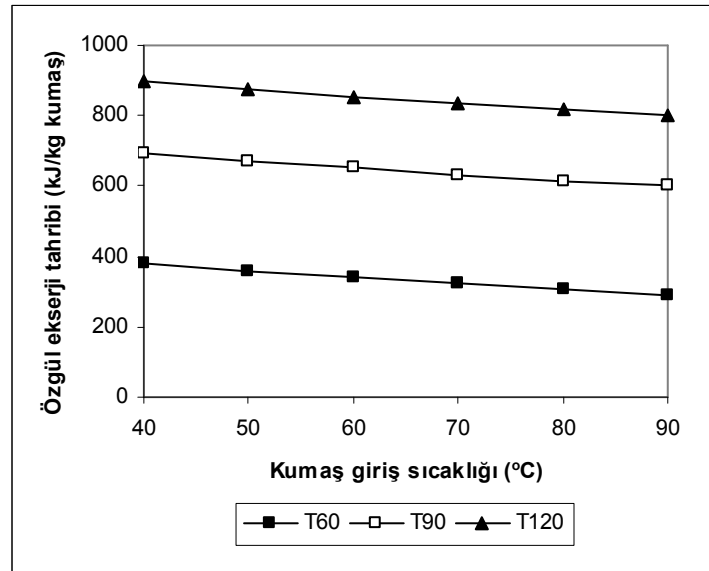
Şekil 9.4 İşlem süresi ve sıcaklığının ekserji verimine etkisi

9.1.1.2 Carry-over oranının ve sıcaklığının etkisi

Yaş terbiye işlemlerinden sonra kumaş yapısı ve lif cinsine bağlı olarak kumaş üzerinde % 150 ile % 700 kadar su kalabilmekte ve bu su bir sonraki işlem flottesine taşınmaktadır. Tekstil materyalinde kalan bu suya carry-over adı verilmektedir.

Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinin tüm basamakları aynı makine içerisinde ard arda gerçekleştirilmektedir. Örneğin, boyama işlemi bittikten sonra flotte boşaltılmakta ve makineye temiz su alınarak yıkama ve durulamalara

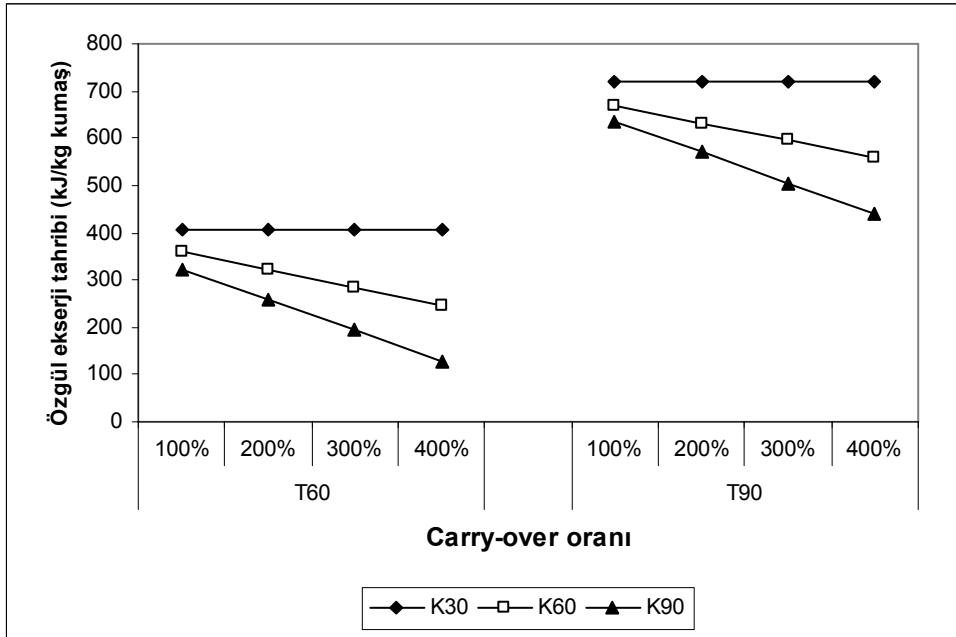
geçilmektedir. Bu nedenle bir önceki işleme ait bir miktar ısı kumaş ve kumaştaki carry-over ile birlikte mevcut işleme taşınmaktadır. Örneğin 95 °C’de ağartma işleminden çıkan kumaş ve carry-over, bir sonraki işleme de aynı sıcaklıkta girmekte ve ılıman bir ısıtma etkisi sağlamaktadır. Şekil 9.5’de kumaş giriş sıcaklığının ekserji tahribine etkisi görülmektedir (F.O: 1:10 ve carry-over oranı % 150, T ile gösterilen değerler işlem sıcaklığıdır). Kumaş giriş sıcaklığının artması ile birlikte mevcut süreçte ortaya çıkan özgül ekserji tahribi azalmaktadır, çünkü kumaş ve carry-over ile gelen ısı enerjisi sayesinde buhar tüketimi azalmaktadır.



Şekil 9.5 Kumaş giriş sıcaklığının özgül ekserji tahribine etkisi
(F.O.: 1:10, carry-over oranı: % 150)

Şekil 9.6’da carry-over oranı arttıkça özgül ekserji tahribinin azaldığı görülmektedir (K ile gösterilen değerler kumaş giriş sıcaklığı ve T işlem

sıcaklığıdır). Bir önceki işlem sıcaklığının yani carry-over sıcaklığının yüksek olması bu etkiyi daha da artırmaktadır. Bununla birlikte, bir önceki işlem referans hal sıcaklığında ise (örneğin soğuk durulama), carry-over oranındaki artışın özgül ekserji tahribine etkisi bulunmamaktadır.



Şekil 9.6 Carry-over oranının özgül ekserji tahribine etkisi

(F.O.: 1:10)

Carry-over oranı arttıkça mevcut adımdaki özgül ekserji tahriplerinde büyük düşüşler sağlansa da, kalite problemleri nedeniyle daha büyük sorunlara yol açabilmektedir. Carry-over yıkama verimliliğini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir (Tarakçıoğlu, 2000b; Shamey and Hussein, 2005) ve carry-over oranının azaltılması büyük önem taşımaktadır (IPPC, 2002). Mamul

tarafından tutularak bir sonraki yıkama suyuna taşınan kirlenmiş flotte miktarı arttıkça, yıkamanın etkisi düşmekte, dolayısıyla sonuçta aynı etkiyi sağlamak için, ya kullanılan temiz su miktarını veya durulama sayısını arttırmak gerekmektedir. Bu da toplam enerji tüketimini dolayısıyla toplam özgül ekserji tahribini artırmaktadır.

Doldurup boşaltmalı kesintili yıkamalarda (durulamalarda) sağlanan optimal yıkama etkisi, yani tekstil materyalindeki yabancı madde konsantrasyonunun düştüğü değer aşağıdaki formülle hesaplanabilmektedir (Tarakçıoğlu, 2000b):

$$C_{s1} = C_{\bar{o}} \frac{v_o}{v_o + V} \quad (9.1)$$

Burada, C_{s1} bir su yıkama sonundaki yabancı madde konsantrasyonunu (g/l), $C_{\bar{o}}$ yıkamadan önceki konsantrasyonu (g/l), v_o carry-over miktarını (l) ve V ise yıkama için tekneye konulan temiz su miktarını (l) ifade etmektedir.

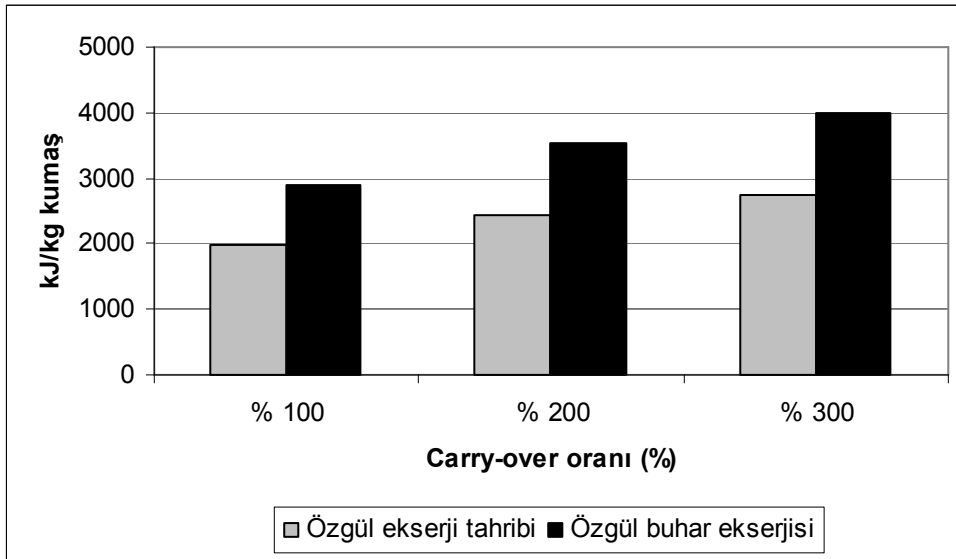
Yıkama (durulama) birkaç kez tekrarlanırsa, yukarıdaki formül;

$$C_{sn} = C_{\bar{o}} \left(\frac{v_o}{v_o + V} \right)^n \quad (9.2)$$

şeklini almaktadır. Burada n yıkama (durulama) sayısını ifade etmektedir.

Yıkama başlangıç konsantrasyonu 50 g/l ve yabancı maddenin suda çözülen ve life substantifliği olmayan bir madde olduğu kabul edilirse, C_{sn} 'nin 0,01 g/l olması için % 100, % 200 ve % 300 carry-over oranları için yukarıdaki formüller kullanılarak yıkama adımı sayısı hesaplandığında, her bir durum için sırasıyla 3,

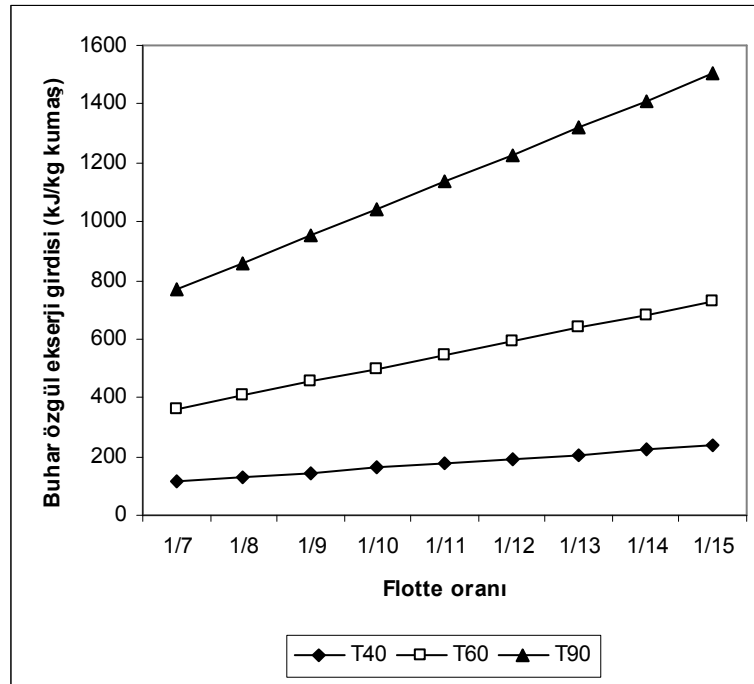
4 ve 5 adım durulama yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Hesaplanan bu değerler baz alınarak ekserji analizi uygulandığında, Şekil 9.7’de görüldüğü gibi (carry-over oranının artışı, o adımdaki özgül ekserji tahribini ve tüketimini azaltsa da) carry-over oranı arttıkça yıkama adımı sayısı arttığından, toplamda tüketilen ve tahrip edilen özgül ekserji artmaktadır. Burada göz önüne alınan madde kolaylıkla suda çözünabilmekte ve life afinitesi bulunmamaktadır. Reaktif boyarmaddeler söz konusu olduğunda, bu boyarmaddelerin hidrolizatlarının çözünürlüklerinin düşük ve life afinitelerinin yüksek olduğu göz önüne alındığında, carry-over oranı arttıkça yıkama adımı sayısı daha da fazla artacak ve toplamda özgül ekserji tüketimi ve tahribi çok daha fazla olacaktır. Çektirme yönteminde, her bir kimyasal işlemin ardından yıkama ve durulama işlemlerinin de geldiği göz önüne alındığında, carry-over oranının azaltılmasının önemi daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 9.7 Carry-over oranına bağlı olarak yıkama işleminde harcanan ve tahrip edilen özgül ekserji

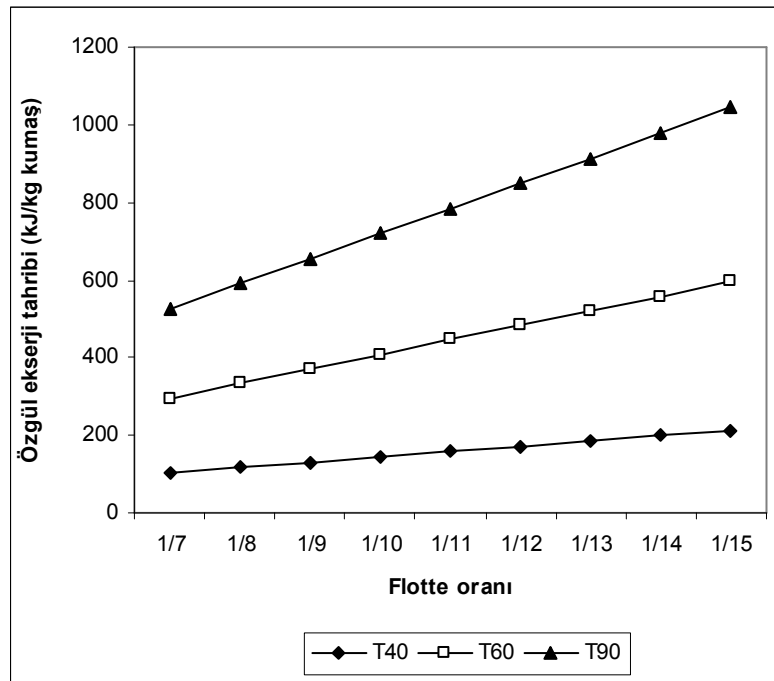
9.1.1.3 Flotte oranının etkisi

Flotte oranı, işlem gören tekstil materyalinin kütlesinin flotte kütlesine (ya da hacmine) oranıdır. Jet boyama makinelerinde genellikle 1:6 ile 1:12 arasındaki flotte oranlarında çalışılmaktadır. Flotte oranı arttıkça ısıtılması gereken flotte miktarı arttığından, buhar tüketiminin artacağı açıktır, dolayısıyla ekserji tüketimi artmaktadır. Günümüzde amaç flotte oranını düşürmek suretiyle işlem için gerekli su miktarını azaltmak ve bunun sonucunda da gerekli enerji miktarını düşürmektedir.



Şekil 9.8 Flotte oranının birim kumaş kütlesi başına kullanılan buhar özgül ekserjisine etkisi
(İşlem süresi 60 dakika)

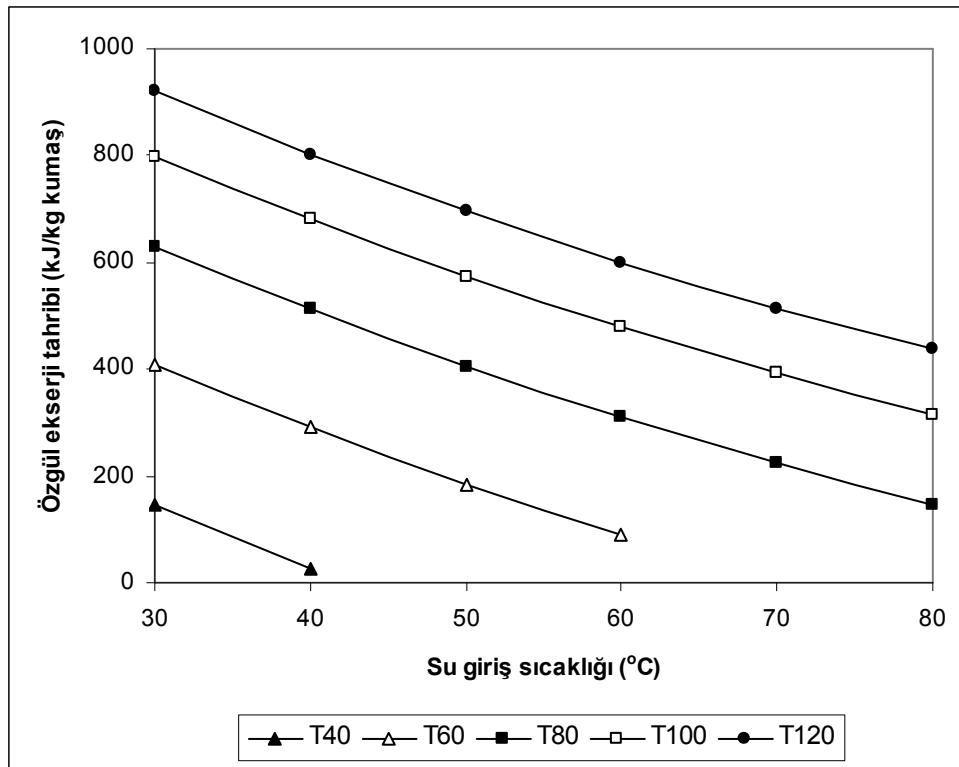
Şekil 9.8 ve 9.9’da görüldüğü gibi, flotte oranı arttıkça, süreçte ortaya çıkan özgül ekserji tahribi ve süreç için harcanan özgül ekserji tüketimi de artmaktadır (işlem süresi 60 dakika olarak sabit tutulmuştur). Düşük sıcaklıktaki işlemlere oranla, yüksek sıcaklıkta yapılan işlemlerde flotte oranı arttıkça, özgül ekserji tahribi ve tüketimi oransal olarak daha fazla artmaktadır. 40 °C’deki işlem için flotte oranı-özgül ekserji tahribi doğrusunun eğimi, 90 °C’deki işlem için verilen doğruya göre daha küçüktür, bu bağlamda, yüksek sıcaklıklarda flotte oranındaki artışın özgül ekserji tahribine etkisi daha belirgindir.



Şekil 9.9 Flotte oranının özgül ekserji tahribine etkisi
(İşlem süresi 60 dakika)

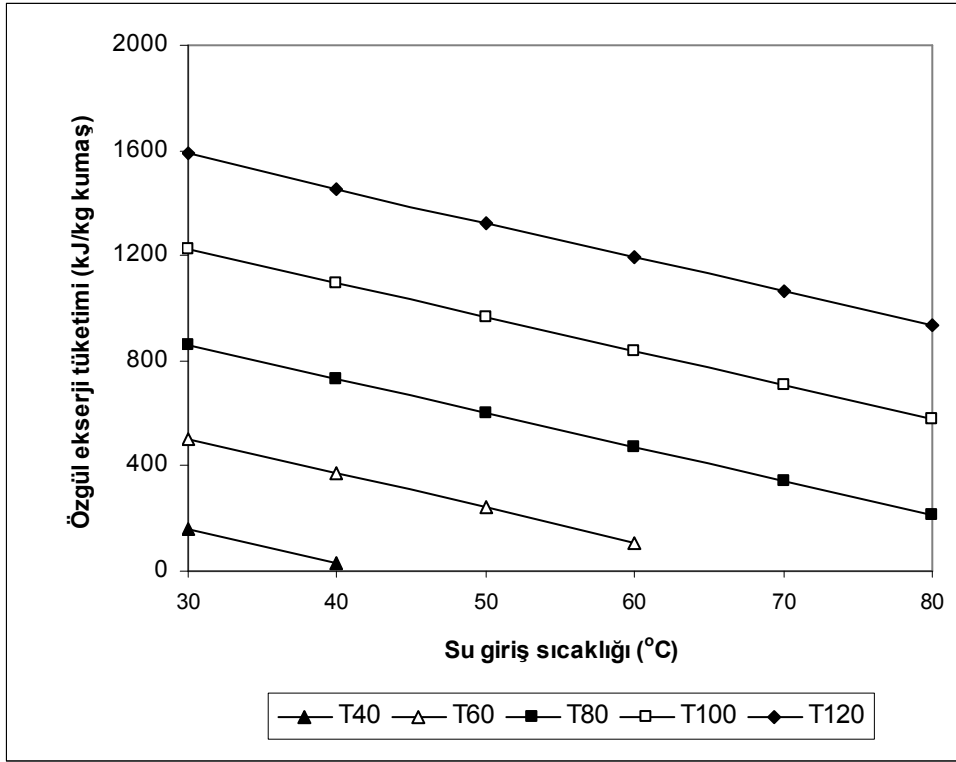
9.1.1.4 Su giriş sıcaklığının etkisi

Yaş terbiye işlemlerinin enerji tüketimi, atık flottelerden ısı geri kazanımı ile büyük ölçüde azaltılabilmektedir. Daha önce de sözü edildiği üzere, işlem sonunda flottenin tamamı ihtiva ettiği ısı enerjisi ile birlikte kanal boşaltılmakta ve büyük ekserji kaybı akımları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 9.10 Su giriş sıcaklığının özgül ekserji tahribine etkisi
(F.O: 1:10, carry-over oranı % 150 ve işlem süresi 60 dakika)

Sıcak atık flottelerin bir sıvı/sıvı ısı değiştiriciden geçirilmesi ile temiz suyun ısıtılması sağlanabilmektedir. Isıtılan bu su direkt olarak yaş terbiye işlemleri için kullanılabilmekte ve buhar tkretiminde büyük azalma sağlamaktadır. şekil 9.10 ve 9.11’de (ısı geri kazanım sisteminden gelen) su giriş sıcaklığının sırasıyla özgül ekserji tahribi ve özgül ekserji tkretimine etkisi gösterilmektedir (şekilde T ile gösterilen değerler işlem sıcaklığını ifade etmektedir). Beklenildiği gibi, su giriş sıcaklığının artması ile özgül ekserji tahribi ve tkretiminde büyük lde azalma sağlanmaktadır.



şekil 9.11 Su giriş sıcaklığının özgül ekserji tkretimine etkisi
(F.O: 1:10, carry-over oranı % 150 ve işlem süresi 60 dakika)

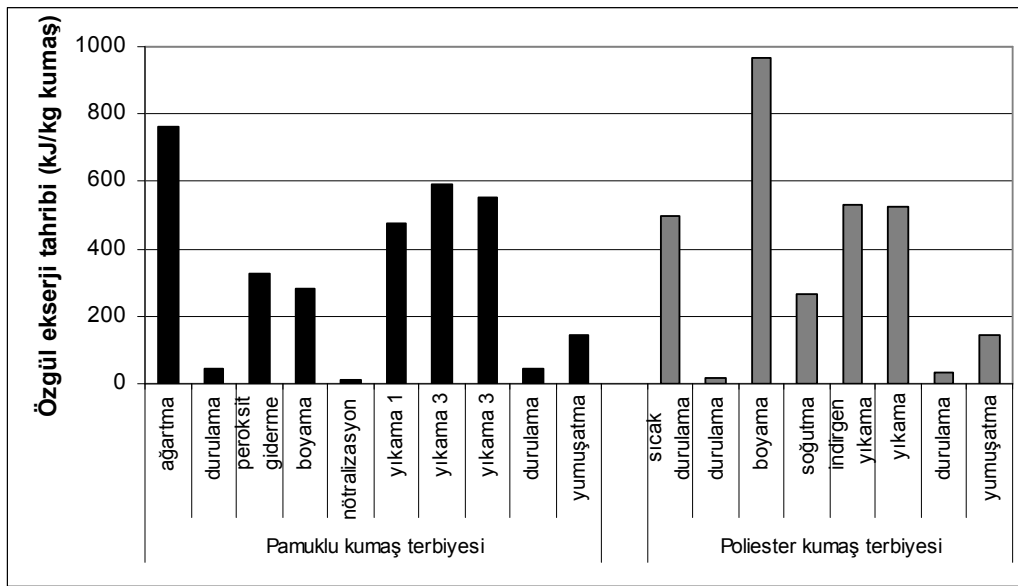
Su giriş sıcaklığının artması ile birlikte tüketilen özgül enerji miktarı azalmaktadır. Örneğin 80 °C’de yapılan bir işlemde, su 30 °C’de girdiğinde suyun sıcaklığının 50 °C daha yükseltilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, su 80 °C girdiğinde suyun ısıtılmasına gerek kalmayacaktır ve buhar enerjisi sadece yüzeyden kaybolan enerjiyi dengelemek için kullanılacaktır. Ayrıca, makineye alınan flottenin ısıtılması için gerekli olan süre de azalacağından, elektrik enerjisi tüketimi de azalacaktır. Atık suların enerjisinin geri kazanılıp bu enerjinin temiz suya aktarılması ile yaş terbiye işlemlerinin ekserji tüketiminin büyük ölçüde azaltma olanağının olduğu şekilde açıkça görülmektedir.

9.1.1.5 Pamuk ve poliester kumaşların terbiye işlemlerinde ekserji analizi

Tekstil terbiye işletmelerinde en çok pamuklu ve poliester kumaşlar ve bunların karışımları işlem görmektedir. Bu nedenle analiz için işletme verileri esas alınarak pamuk ve poliester kumaşların terbiye işlemleri seçilmiştir. Her iki terbiye işlemi için de boyama grafikleri Şekil 8.2 ve 8.3’de gösterilmektedir. Şekillerden anlaşılacağı üzere, pamuklu kumaşın terbiyesinde ağartma ve yıkama adımları; poliester terbiyesinde ise boyama adımı yüksek sıcaklıklar nedeniyle enerji açısından temel adımlar olarak nitelendirilmektedir.

Şekil 9.12’de her iki kumaşa ait terbiye işlemi adımlarının özgül ekserji tahribi sunulmaktadır. En yüksek özgül ekserji tahribi poliester boyama adımıyla gerçekleşmekte ve bunu pamuklu kumaşların ağartma işlemi takip etmektedir.

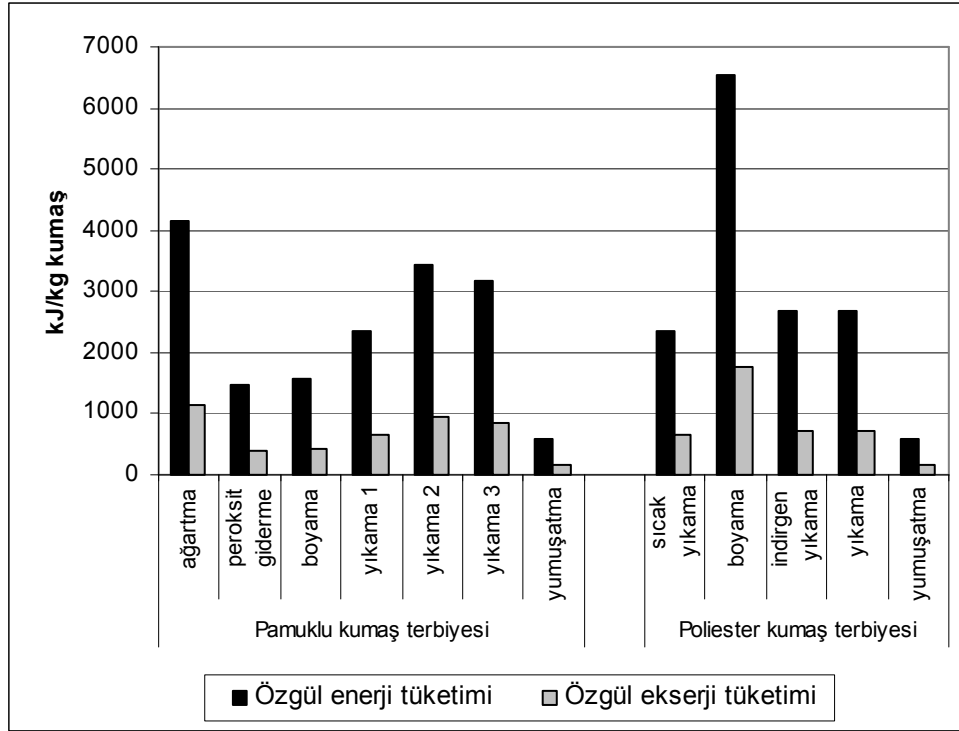
Konvansiyonel HT jet boyama makinelerinde, yüksek basınçta yapılan işlemler sonrasında flottenin boşaltılabilmesi için bir soğuma işlemi yapılmaktadır. Bununla birlikte, yeni jenerasyon makinelerde 120-130 °C'deki sıcak boyama flottesini direkt olarak boşaltılabilmektedir (IPPC, 2002). Böylece, soğutma adımı ve dolayısıyla soğutma adımıdaki ekserji tahribi ortadan kalkmakta ve bunun yanı sıra sıcak boşaltma sayesinde ısı geri kazanım sisteminin daha verimli çalıştırılması sağlanmaktadır.



Şekil 9.12 Pamuklu ve polyester kumaşların terbiye işlemlerinin her bir adımına ait özgül ekserji kayıpları

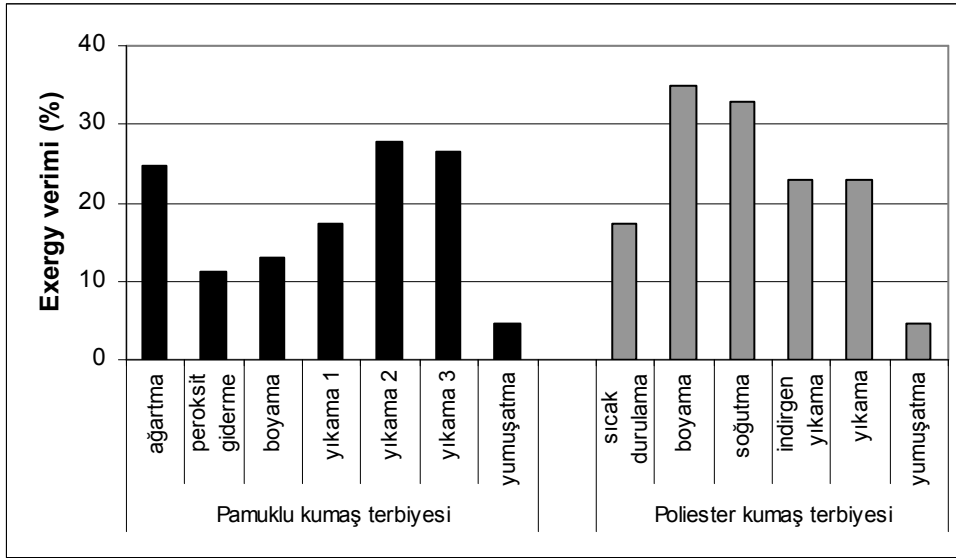
Poliester kumaşın terbiye işlemi 130 °C gibi çok yüksek bir sıcaklıktaki boyama adımı içermesine rağmen; pamuklu kumaşlar için kaçınılmaz olan kombine hidrofilleştirme-ağartma işlemi ve özellikle reaktif boyama sonrasında kumaşa fıkse olmayan boyarmaddeleri uzaklaştırmak için yapılan yıkamalar nedeniyle

toplamda pamuklu kumaşın terbiyesi için ortaya çıkan özgül ekserji tahribi daha yüksek olmaktadır. Yıkama işlemleri kumaşların haslık özellikleri açısından büyük önem taşımaktadır ve Şekil 9.13’de görüldüğü gibi genellikle özgül enerji tüketiminin yarısından fazlasını tek başına yıkama adımları oluşturmaktadır. Ayrıca, Şekil 9.12’de görüldüğü gibi pamuklu kumaş terbiyesinde ortaya çıkan tersinmezliklerin de yarısından fazlası yıkama adımları nedeniyledir. Bu nedenle yıkama işlemlerinin optimizasyonu özgül ekserji tüketiminin azaltılmasında büyük önem taşımaktadır.



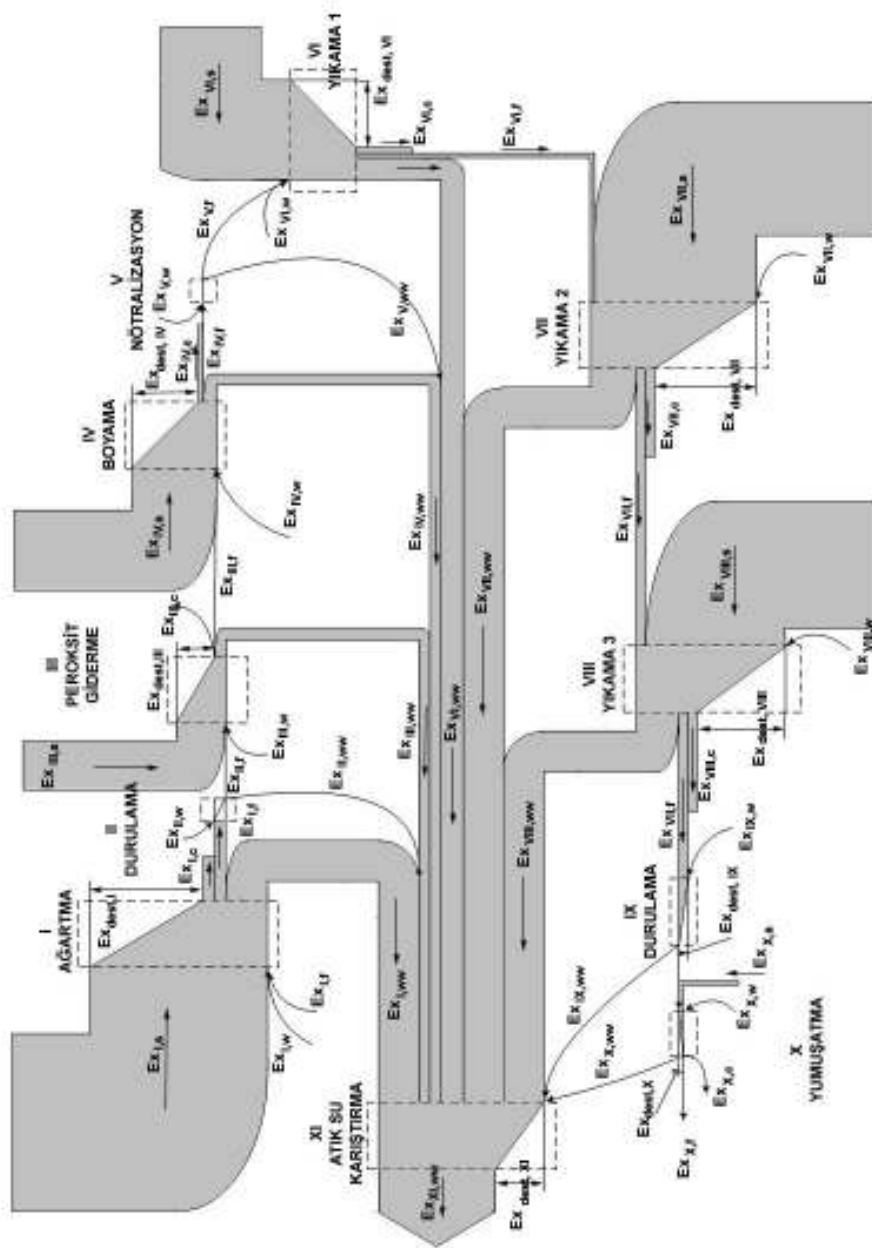
Şekil 9.13 Pamuklu ve polyester kumaşların terbiye işlemlerinin her bir adımına ait özgül enerji ve ekserji tüketimleri

Şekil 9.14’de her bir terbiye adımı için ekserji verim değerleri verilmektedir (referans hal sıcaklığındaki durulama işlemleri için ekserji verimi hesaplanmamıştır). Ekserji verim değerleri işlem sıcaklığına bağlı olarak % 4,6 ile % 34,8 arasında değişmektedir.



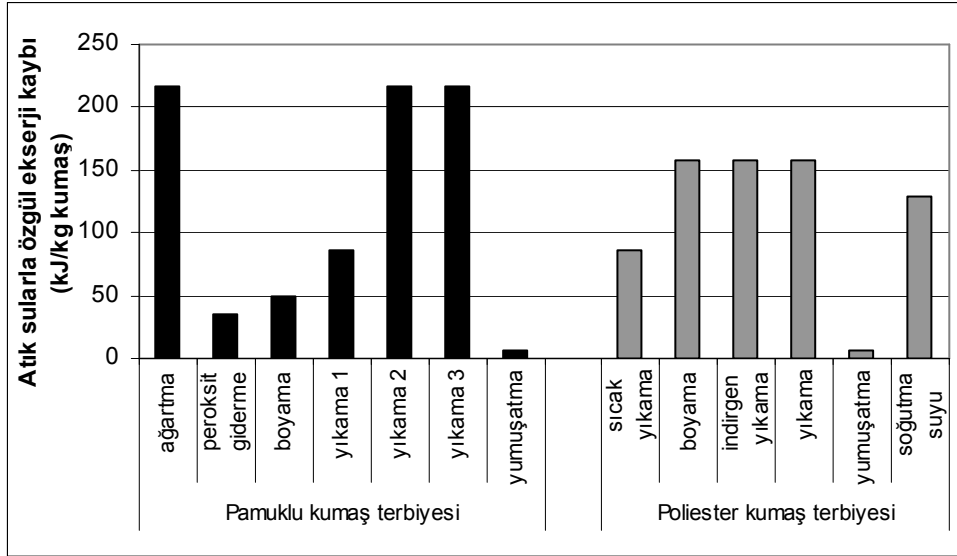
Şekil 9.14 Pamuklu ve poliester kumaşların terbiye işlemlerinin her bir adımına ait ekserji verimleri

Şekil 9.15’de, jet boyama makinesinde, 1:10 flotte oranında, pamuklu kumaşların terbiye işlemine ait ekserji akış (Grassmann) diyagramı sunulmaktadır. Diyagramda ekserji giriş kısımlarından özgül ekserji tüketimleri (özellikle buhar özgül ekserjisi) kolaylıkla kıyaslanabilmektedir. Ağartma ve yıkama işlemlerindeki özgül ekserji tüketimleri ve tahribi vurgulanmaktadır.



Şekil 8.15 Pamuklu kumaşın terbiye işlemine ait ekserji kayıp ve akış (Grassmann) diyagramı
(s: buhar, f: kumaş (carry-over dahil), c: kondensat, w: su, ww: atık su)

Yaş terbiye işlemleri sırasında her işlem sonrasında çok fazla miktarda atık su dışarı atılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda yapılan işlemler sonrası atık su ile dışarı atılan ekserji miktarı da çok fazladır. Şekil 9.16'da pamuklu ve poliester kumaşların terbiye işlemlerinde atık su ile kaybedilen özgül ekserji her adım için ayrı ayrı verilmektedir.



Şekil 9.16 Pamuklu ve poliester kumaşların terbiye işlemlerinin her bir adımına ait özgül ekserji kayıpları

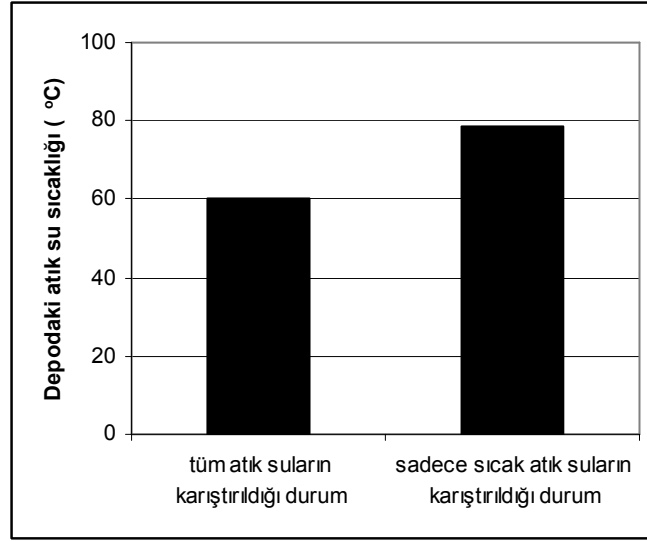
Şekil 9.16'da görüldüğü gibi pamuklu kumaşın ön terbiye ve boyama işlemleri sırasında atık su ile kaybolan özgül ekserji, yüksek sıcaklıklarda yapılan ağartma ve yıkama işlemlerinde çok fazladır. Buna karşın daha düşük sıcaklıklarda yapılan durulama ve yumuşatma işlerinde kaybolan ekserji daha azdır. Fakat kütleli olarak atılan atık su miktarı her işlem için aynıdır. Dikkat edilecek bir husus da flotte oranının artması ile atık su miktarının artacağıdır. Bu nedenle mümkün olduğunca düşük flotte oranlarında çalışmak, hem gerekli ekserji

miktarını hem de atık su miktarını azaltmaktadır. Poliester kumaşın ön terbiye ve boyama işlemleri sırasında atık su ile kaybolan özgül ekserji, yüksek işlem sıcaklıklarından dolayı fazladır.

Atık su ile kaybolan enerji çok fazla olduğu için işletmelerde bu suların enerjisinden faydalanma yoluna gidilmektedir. Bu amaçla boyahanelerde atık flottelerden ısı geri kazanım sisteminin kurulması önerilmektedir. Terbiye işlemleri sonunda dışarıya atılan kirli atık sular, bir atık su deposunda toplanmakta ve buradan ısı geri kazanım sistemine gönderilerek, temiz suyun ısıtılmasında kullanılmaktadır. Isıtılan temiz su da bir temiz su deposuna gönderilmekte ve gerektiğinde direkt olarak makineye beslenmektedir. Bunun sonucunda işletmede yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

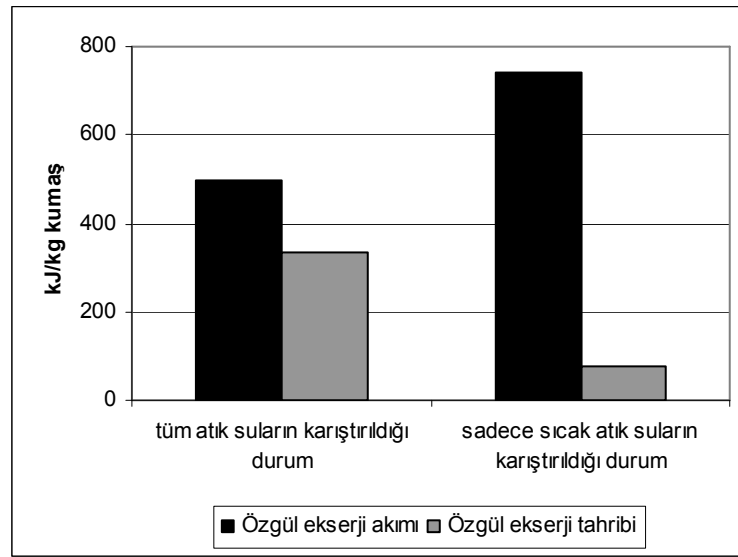
Yukarıda da bahsedildiği üzere boyahane atık suları çok farklı sıcaklıklarda olabilmektedir. Bu sular, atık su deposunda toplandığında, sıcak ve soğuk atık sular karışacağından, toplam atık su sıcaklığı düşük olacak (genellikle 50-60 °C civarında) ve ısı geri kazanım sonunda elde edilen temiz suyun da sıcaklığı düşük olacaktır. Diğer taraftan, bir termostatl vana kullanarak, sadece sıcak atık su akımlarının (ağartma, boyama ve sıcak yıkamalar) depoya gitmesi ve soğuk akımların (soğuk durulama, yumuşatma, vs) direkt olarak kanala boşaltılması yolu ile daha yüksek sıcaklıklarda, dolayısıyla iş yapabilme yeteneği daha yüksek atık su karışımı elde edilebilmektedir. Şekil 9.17’de, böyle bir yaklaşım ile elde edilen atık su sıcaklığı ile, tüm suların karıştırılması ile elde edilen atık su sıcaklığı kıyaslanmaktadır (hesaplamalarda atık su kanalının ve deponun adyabatik olduğu varsayılmıştır). Şekilden de görüldüğü gibi, sadece sıcak suların karıştırılması ile 80 °C’ye yaklaşan atık su sıcaklıkları elde

edilebilmektedir. Boyama işlemlerinin genellikle yüksek sıcaklıklarda yapıldığı ve bu işlemlerde tüketilen enerjinin oldukça yüksek olduğu da göz önünde bulundurulduğunda, atık ısı geri kazanım sisteminden elde edilecek su sıcaklığının mümkün derece yüksek olmasının büyük avantaj sağladığı görülmektedir (ayrıca bkz. Şekil 9.10 ve 11).



Şekil 9.17 Atık suların karıştırılması sonucu depodaki atık su sıcaklığı

Atık suların karıştırılması sonucu toplam atık suyun sıcaklığının düşmesi sonucunda, Grassmann diyagramından da görüldüğü gibi, büyük bir özgül ekserji tahribi ortaya çıkmaktadır. Şekil 9.18’de atık su akımlarının depoda karıştırılması sonucu ortaya çıkan özgül ekserji tahripleri ve toplam atık suyun özgül ekserji değeri, tüm atık suların karıştırıldığı ve yalnızca sıcak akımların karıştırıldığı durum için karşılaştırılmaktadır. Sadece sıcak atık suların karıştırılması ile depodaki atık suyun özgül ekserjisi artmakta ve özgül ekserji tahribi büyük oranda azalmaktadır.

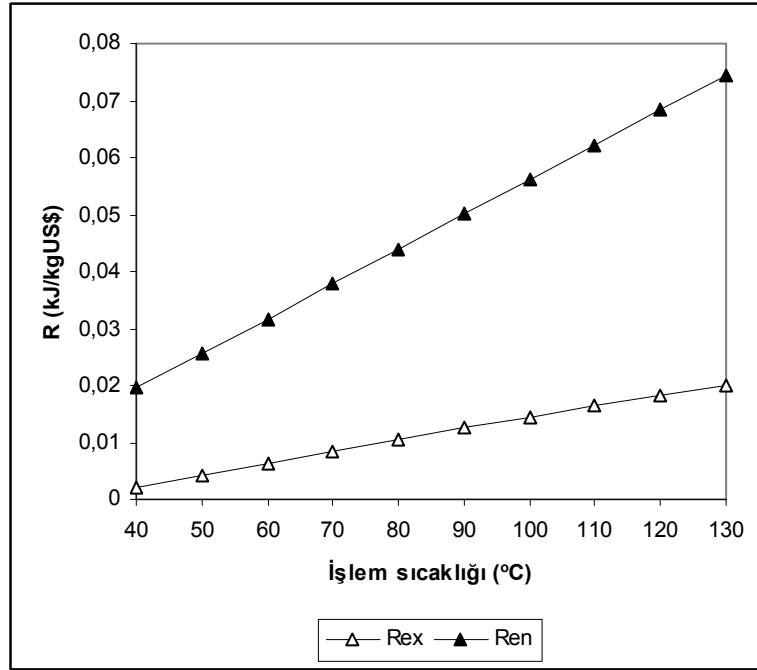


Şekil 9.18 Atık suların karıştırılmasının özgül ekserji akımı ve tahribine etkisi

9.1.2 Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinde eksergoekonomik analiz

Şekil 9.19 ve 9.20’da, jet boyama makinesinin parametrik ekserji analizi çalışması sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda hesaplanan termodinamik kayıpların maliyetlerinin sırasıyla işlem sıcaklığı ve flotte oranına bağlı olarak değişimi verilmektedir.

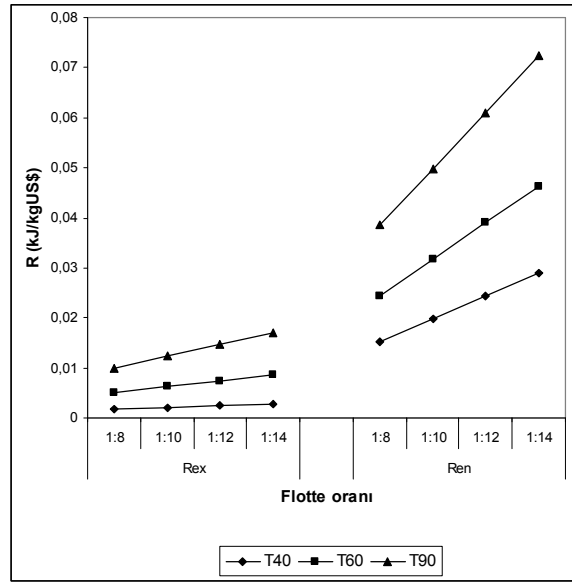
İşlem sıcaklığı ve flotte oranı arttıkça, sistemde ortaya çıkan özgül ekserji tahribi ve sistemden dışarıya atılan atık su özgül ekserjisi arttığından, ekonomik kayıplar artmaktadır. Buna göre söz konusu jet boyama makinesinde, işlem sıcaklığına bağlı olarak R_{ex} değerleri 0,0023 kJ/kgUS\$ ile 0,0184 kJ/kgUS\$ arasında değişmektedir.



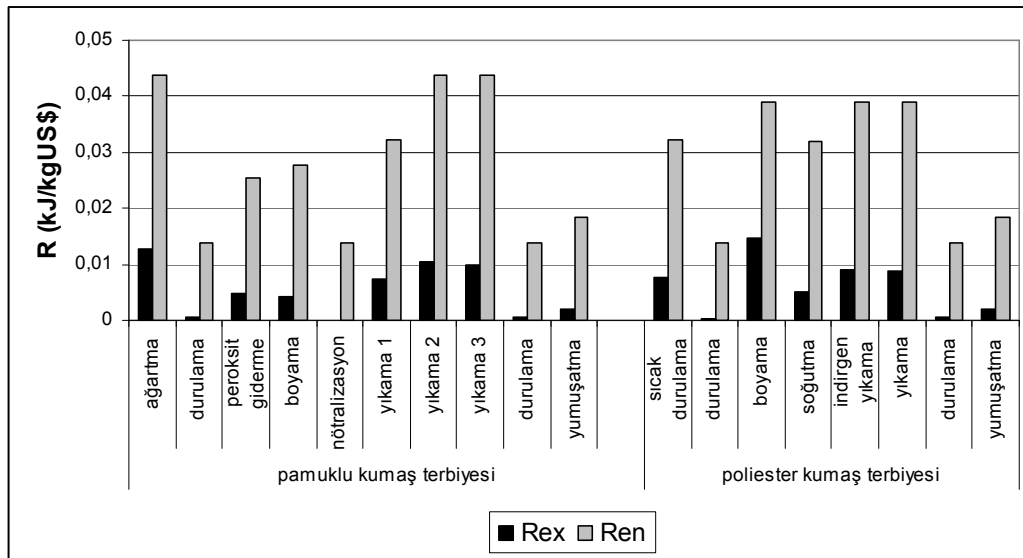
Şekil 9.19 İşlem sıcaklığının R_{en} ve R_{ex} değerlerine etkisi

Şekil 9.20’de görüldüğü gibi, flotte oranının artışının ekonomik kayıplara etkisi, yüksek işlem sıcaklıklarında daha belirgindir.

Şekil 9.21’de pamuklu ve poliester kumaşların boyama işlemlerinin her bir adımı için ortaya çıkan ekonomik kayıplar verilmektedir. Çektirme yöntemine göre terbiye işlemlerinin her bir adımında aynı makine kullanıldığından, ekonomik kayıpların işleme göre değişme eğilimi, özgül ekserji kayıpları ve özgül ekserji tahribindeki değişimlerle orantılıdır. Yani $\dot{L}_{ex}$ hangi oranda artıyor ya da azalıyorsa, işlemdeki ekonomik kayıplar da aynı oranda değişmektedir.



Şekil 9.20 Flotte oranının R_{en} ve R_{ex} değerlerine etkisi



Şekil 9.21 Pamuklu ve polyester kumaş terbiyesinde her bir adım için R_{en} ve R_{ex} değerleri

9.2 Kurutma işlemlerinin analizi

9.2.1 Kurutma işlemlerinin enerji ve ekserji analizi

9.2.1.1 Yağ ısıtılmalı konveksiyon kurutucuların ekserji analizi ve karşılaştırılması

Yağ ısıtılmalı konveksiyon kurutucuların analizinde, Model I kullanılarak ramöz ile taşıma bantlı kurutucu karşılaştırılmıştır. Çizelge 9.1’de analiz sonuçları görülmektedir.

Çizelge 9.1 Ramöz ve taşıma bantlı kurutucu için ekserji verimi, geliştirme potansiyeli derecesi ve bağıl tersinmezlik verileri (Referans sıcaklık, atmosferik basınç ve atık hava nem değerleri sırasıyla 20°C, 101,325 kPa ve 0,1 kg_{su}/kg_{hava})

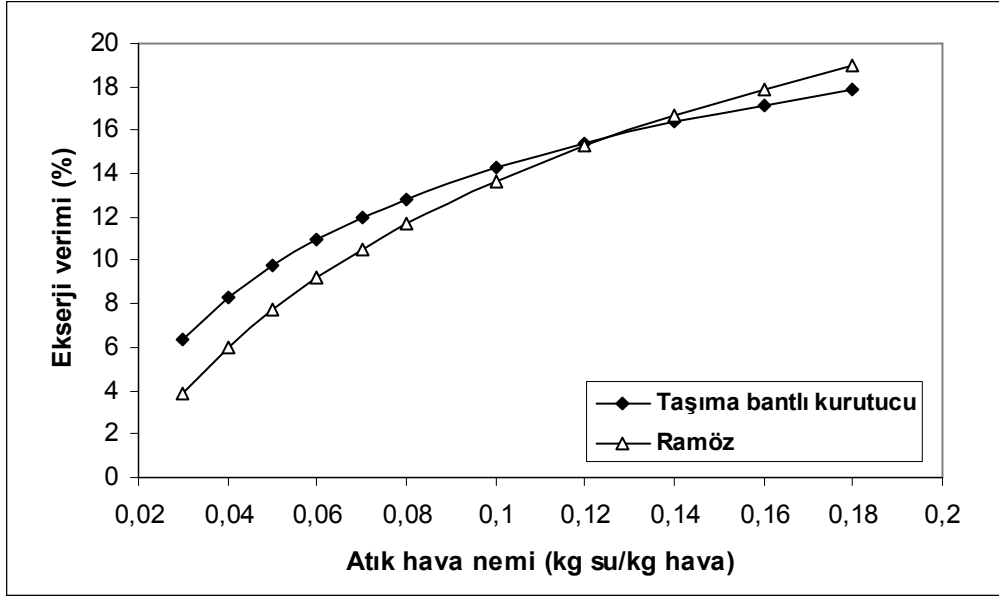
No	Birim	Ekserji tahribi akımı $\dot{E}x_d$ (kW)	Güç girdisi (kW)	Ürün $\dot{P}$ (kW)	Yakıt $\dot{F}$ (kW)	Bağıl tersinmezlik RI (%)	Ekserji verimi ϵ (%)
Ramöz							
I	Kurutucu	109.436	-	-	-	85.32	-
II	Hava sirkülasyon fanları	18.686	57.6	38.91	57.6	14.57	67.6
III	Atık hava fanı (a)	0.140	2.4	2.26	2.4	0.11	94.2
IV	Atık hava fanı (b)	0.007	2.4	2.39	2.4	0.01	99.7
	Kurutuma sistemi	128.269	-	-	-	-	13.7
Taşıma bantlı kurutucu							
I	Kurutucu	111.978	-	-	-	85.21	-
II	Hava sirkülasyon fanları	19.356	111.0	91.65	111.0	14.72	82.6
III	Atık hava fanı	0.086	6.6	6.51	6.6	0.07	98.7
	Kurutma sistemi	131.414	-	-	-	-	14.3

Her iki kurutucuda da, en yüksek ekserji tahribi akımı kurutma kamaralarında ortaya çıkmaktadır ve toplam tersinmezliğin yaklaşık % 85'i burada gerçekleşmektedir.

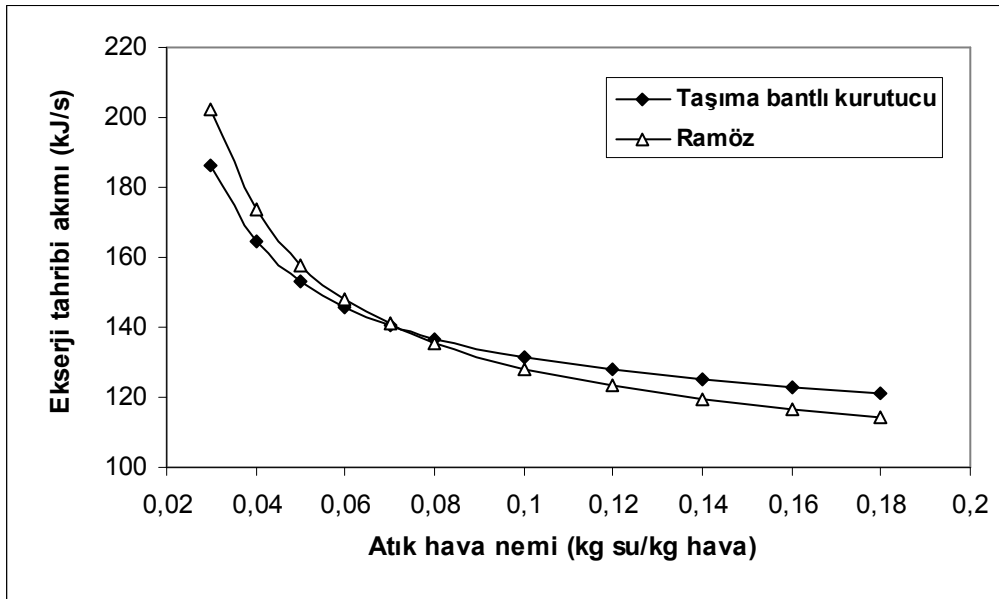
9.2.1.1.1 Atık hava neminin etkisi

Kurutucularda kullanılan temiz soğuk hava miktarını etkileyen en önemli parametrelerden birisi atık hava nemidir. Atık hava nemi arttıkça, gerekli temiz hava miktarı da azalmaktadır. Düşük atık hava nemi olduğu durumlarda, ısıtılması gerekli temiz hava debisi artacağından, ısıtma için kullanılan kızgın yağ debisi de artmaktadır. Ters durumlarda, yani atık hava nemi yüksek iken, kullanılacak temiz hava miktarı düşmekte ve kurutma havasının büyük kısmını sirküle edilen nemli sıcak hava oluşturmaktadır. Bu nedenle gerekli kızgın yağ debisi azalmaktadır.

Şekil 9.22 ve 9.23'de atık hava neminin, sırasıyla kurutucuların ekserji verimine ve kurutucuda ortaya çıkan ekserji tahribi akımına olan etkisi sunulmaktadır. Şekillerde de açıkça görüldüğü gibi, atık hava neminin azalması ile her iki kurutucuda da ekserji verimi düşmekte ve ekserji tahribi akımı yani işe dönüştürülemeyen enerji miktarı artmaktadır.



Şekil 9.22 Atık hava nemi ile ekserji verimi arasındaki ilişki



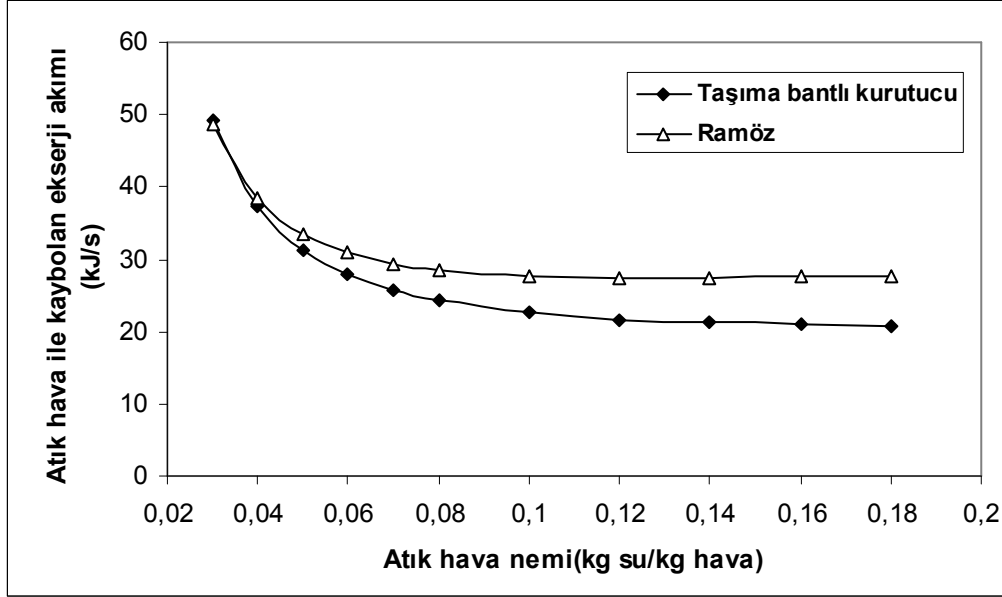
Şekil 9.23 Atık hava nemi ile ekserji tahribi akımı arasındaki ilişki

0,03 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ ile 0,18 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava nemi değerleri için, taşıma bantlı kurutucunun ekserji verimi % 6,4 ile % 17,9 arasında değişmektedir. Ramöz için ise bu değerler % 3,9 ile % 18,9 arasındadır. Şekil 9.22’de de görüldüğü üzere, taşıma bantlı kurutucunun verim değeri, 0,12 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava nemine kadar olan çalışma şartları için, ramözün verim değerinden daha yüksektir. Bunun nedeninin kurutma esnasında ramözde kullanılan kurutma havası miktarının daha yüksek olması ve dolayısıyla düşük nemlerde ortaya çıkan olumsuz etkinin bu nedenle daha belirgin olarak ortaya çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak 0,12 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava nemi değerinden sonra ramözün ekserji verimi, taşıma bantlı kurutucunun veriminden daha yüksek olmaktadır.

Kurutucularda ortaya çıkan ekserji tahribi akımları (tersinmezlikler), ramöz için 114 kJ/s ile 202 kJ/s, taşıma bantlı kurutucu için ise 121 kJ/s ile 186 kJ/s arasında değişmektedir. Şekil 9.23’de görüldüğü gibi, her iki kurutucu için 0,1 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava nemi değerine kadar ekserji tahribi akımı hızlı bir şekilde düşerken, bu değerden sonra değişim çok belirgin değildir. Ayrıca her iki kurutucu içinde ekserji tahribi akımı eğrileri çok benzerdir.

Şekil 9.24’de bacadan atılan atık hava ile kaybolan ekserji akımı ile atık hava nemi arasındaki ilişki sunulmaktadır. Atık hava ile kaybolan ekserji akımı, atık hava nemi azaldıkça artmaktadır, çünkü atık hava miktarı artış göstermektedir. Bununla birlikte yaklaşık olarak 0,08-0,1 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava nem değerlerinden sonra atık hava ile kaybolan ekserji akımında belirgin bir değişim gözlenmemektedir. Çünkü atık hava miktarı azalsa da, atık hava içerisinde bulunan su buharı miktarı artmakta ve toplam ekserji akımı neredeyse aynı kalmaktadır. Bununla birlikte, ısı geri kazanım sistemleri söz konusu olduğunda,

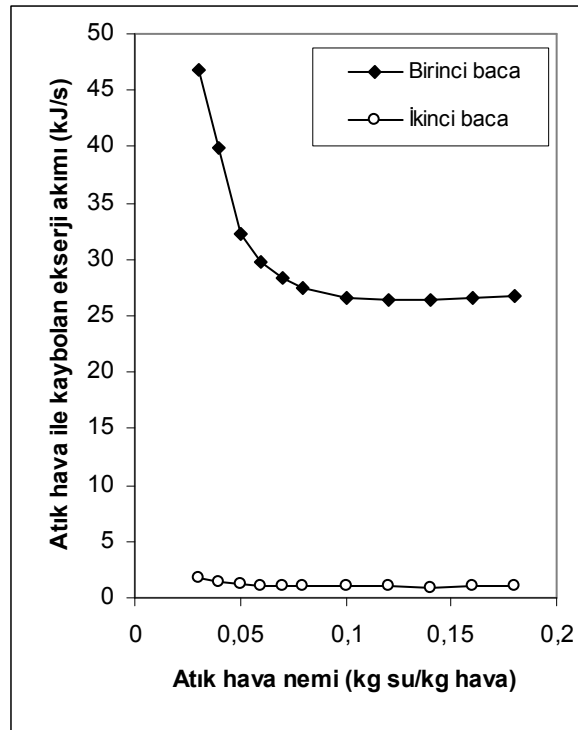
su buharının özgül ekserjisi ön plana çıktığından, yüksek atık hava nemi değerlerinin daha faydalı olacağı da unutulmamalıdır.



Şekil 9.24 Atık hava neminin ekserji kaybı akımına etkisi

Araştırma kapsamında analiz edilen ramöz iki adet atık hava bacasına sahiptir. Birinci baca, en fazla buharlaşmanın meydana geldiği ilk üç kamara ile, ikinci baca da diğer üç kamara ile bağlantılı durumdadır. İlginç olan bir nokta da bu iki bacadan atık hava ile kaybolan ekserji akımı değerleri arasındaki farktır. Pratikte, genellikle iki bacanın da atık hava miktarları eşit olarak ayarlanmaktadır. Bu nedenle, son kamaralarda çok az bir buharlaşma meydana geldiğinden, atık hava nemi düşüktür. Örneğin, gerçek çalışma şartlarına göre, ikinci bacanın atık hava nemi $0,0116 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ olarak ölçülmüştür ve $9,26 \text{ kJ/s}$ 'lik bir ekserji kaybı akımına neden olmaktadır. Bu nedenle ikinci bacanın atık hava debisi düşürülerek atık hava nemi artırılabilir ve böylece ekserji kaybı akımı da

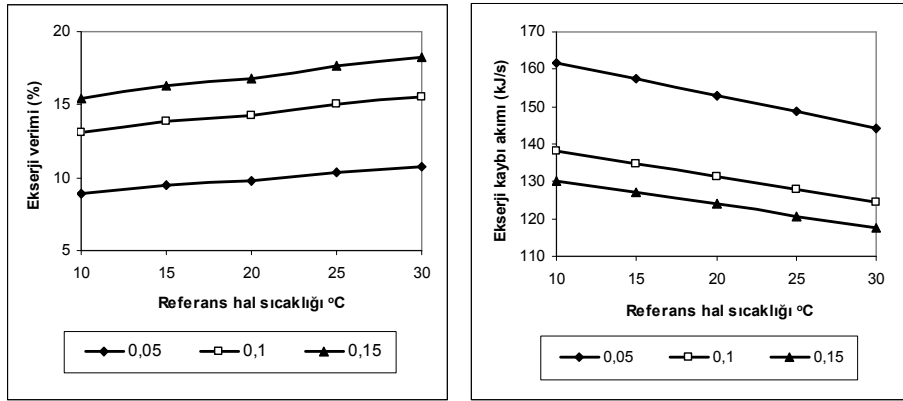
azaltılabilir. Örnek olarak, yapılan hesaplamalar sonucunda, ikinci bacanın atık hava nemi $0,1 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ olursa, atık hava ile dışarı atılan ekserji akımı değerinin $0,99 \text{ kJ/s}$ olacağı saptanmıştır. Böylece ekserji kaybı akımı yaklaşık olarak % 89 kadar azaltılabilmektedir. Bununla birlikte en önemli ekserji kaybı akımı, en fazla buharlaşmanın meydana geldiği kamaralara bağlı bacada oluşmaktadır. Bu nedenle ekserji verimi yüksek bir kurutma prosesi için birinci bacanın neminin ayarlanması çok daha önemlidir. Şekil 9.25’de her iki bacaya ait kayıp ekserji akımı değerleri verilmektedir.



Şekil 9.25 Ramözün iki bacasına ait kaybolan ekserji akımı değerleri

9.2.1.1.2 Referans Hal Sıcaklığının Etkisi

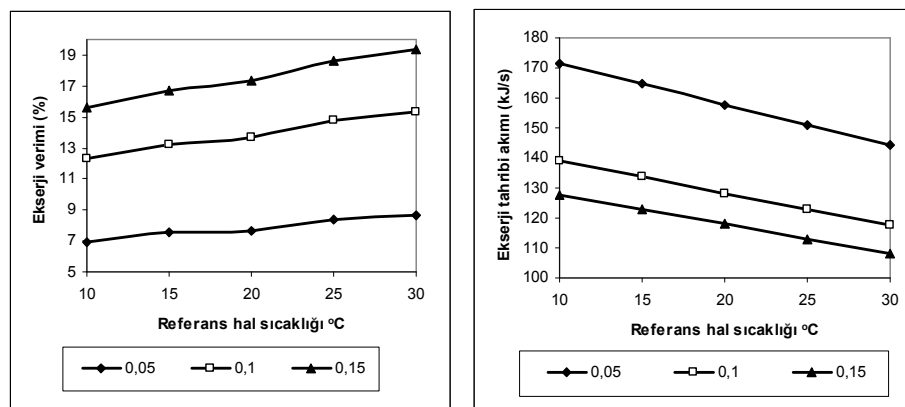
Ekserji hesaplaması bir referans çevreye göre yapılmaktadır. Referans hal, bir sistemin çevresi ile denge koşullarına eriştiği hal olarak nitelenebilir. Referans hal olarak, genellikle sistem çevresinin hali, yani ortam sıcaklığı ve basıncı seçilmektedir. Buna göre, farklı mevsimlerde işletmelerdeki sıcaklık değişeceğinden, bunun kurutucuların ekserji verimlerine ne denli yansıtacağını görmek amacıyla farklı referans hal sıcaklıkları için hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 9.26 Taşıma bantlı kurutucuda, referans hal sıcaklığının ekserji verimi ve ekserji tahribi akımına etkisi

Şekil 9.26 ve 9.27’de farklı atık hava nemi değerleri için, sırasıyla taşıma bantlı kurutucu ve ramözde, referans hal sıcaklığının ekserji verimi ve ekserji tahribi akımına olan etkisi sunulmaktadır. Referans hal sıcaklığının artması ile ekserji verimi doğrusal olarak artmaktadır ve ekserji tahribi akımında da doğrusal bir azalma görülmektedir. Farklı atık hava nem değerlerine ait doğruların eğimleri

arasında da fark bulunmamakta ve aynı eğilim görülmektedir. Kurutma sırasında, kurutucuya dışarıdan (ortamdan) alınan kuru ve soğuk hava ile kurutmaya giren kumaş da referans hal sıcaklığına sahip olmaktadır. Bu nedenle, sabit kurutma sıcaklığında, ortam sıcaklığı arttıkça, kurutma için kullanılacak havanın da sıcaklığı artacağından, bu havanın gerekli kurutma sıcaklığına yükseltilmesi için kullanılacak kızgın yağ miktarı azalmaktadır. Böylece yüksek ortam sıcaklıklarında kurutucularda daha az enerji harcanacağı açıktır.



Şekil 9.27 Ramözde, referans hal sıcaklığının ekserji verimi ve ekserji tahribi akımına etkisi

9.2.1.2 Direkt ısıtmalı ramözlerde ekserji analizi

Direkt ısıtmalı kurutucularda kurutma havasının ısıtılması, sıcak yanma gazları ile belirli oranda karıştırılarak yapılmaktadır. Bu sistemlerde, bekler kapalı yanma odacıklarına yerleştirildiğinden ısıtma verimleri yüksektir. Doğal gazın, belirli oranda temiz hava ile brülörde yakılması sonucu oluşan yanma gazları, kurutucudan geçmiş (nemlenmiş ve soğumuş) sirkülasyon havası ve sıcaklık ayarı için dışarıdan alınan taze hava ile karıştırılmakta ve istenen sıcaklıktaki

kurutma havası oluşturulmaktadır. Bu hava fan vasıtasıyla kurutma kısmına gönderilmektedir. Direkt ısıtmalı ramözün ekserji analizi için, kurutucu 4 kısımda incelenmiştir: Brülör, gazların karışması, fan ve kurutma kamarası. Şekil 8.5’de direkt doğal gaz ısıtmalı bir ramöz (DGIR) için oluşturulan model (Model IIa) görülmektedir. Analiz sonucunda her bir kısımda tersinmezlikler nedeniyle oluşan ekserji tahribi akımları ve ekserji verimleri hesaplanarak kıyaslanmıştır.

9.2.1.2.1 Direkt doğal gaz ısıtmalı ramözün işletme koşullarında çalıştırılmasına ait ekserji analizi sonuçları

Kurutma işlemi ile ilgili genel bilgiler kısmında da ayrıntılı bir şekilde anlatıldığı gibi, kurutma işlemi süresince birim zamanda kumaştaki buharlaştırılan su miktarı, kumaş sıcaklığı ve enerji tüketimi farklılık göstermektedir. Bu nedenle, Model I’de uygulanan kumaşın giriş ve çıkış koşullarının alınması yerine, ramözün her bir kamarası ayrı bir kontrol hacmi gibi düşünülerek kamara bazında analiz yapılmıştır. Analizde kullanılan veriler Çizelge 9.2’de gösterilmektedir.

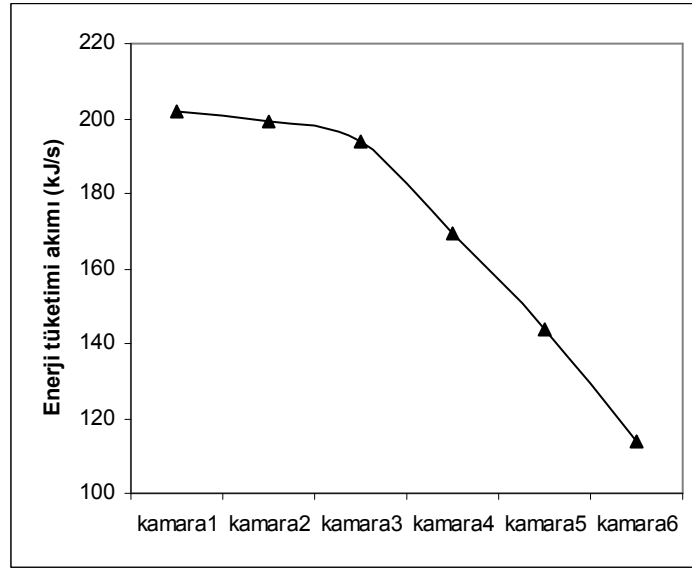
Çizelge 9.2 DGIR’de her kamaradaki nem ve sıcaklık değerleri

Kamara	1	2	3	4	5	6
Kumaş çıkış sıcaklığı (°C)	61,3	65	65	80	95	108
Kumaş çıkış nemi (%)	63	46,5	30,5	19	11,5	8
Sirkülasyon havasının nemi (kg su/kg hava)	0,083	0,106	0,106	0,079	0,059	0,035

Kumaş hızı: 35 m/dk

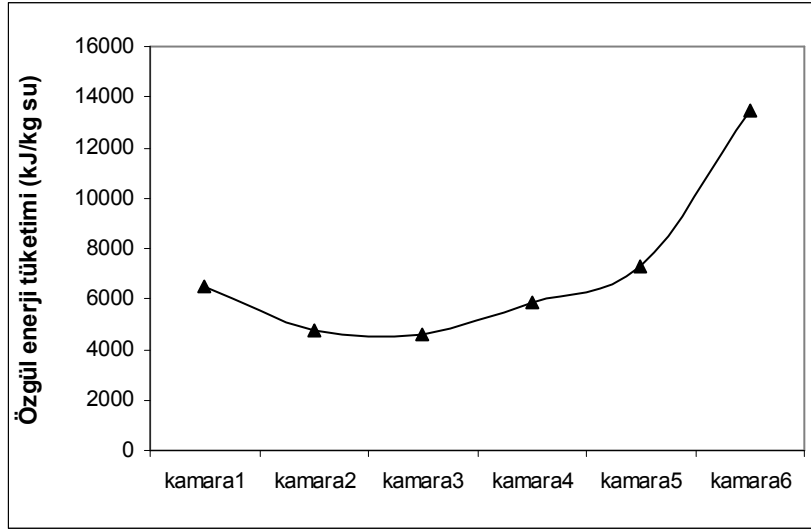
Kumaş giriş nemi: % 75

Kamara sıcaklıkları: 150 °C



Şekil 9.28 DGIR’de kamara bazında enerji tüketimi

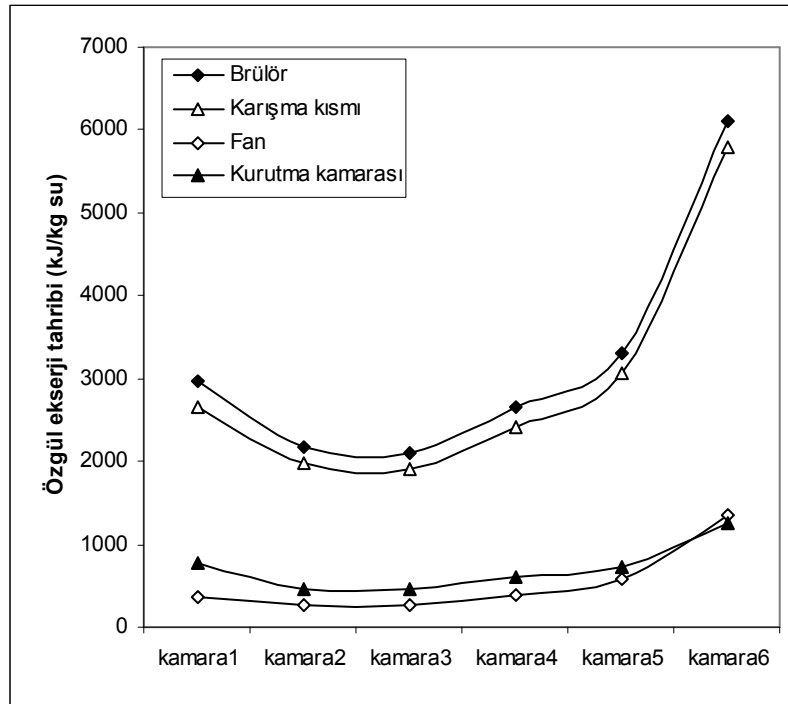
Şekil 9.28 ve 9.29’da, sırasıyla ramözün her bir kamarasına ait enerji tüketimi (kJ/s) ve buharlaştırılan birim su miktarı başına özgül enerji tüketimi (kJ/kg su) gösterilmektedir. İlk kamaralarda, yani kurutmanın başında uzaklaştırılan su miktarı fazla olduğundan birim zamanda ramöze verilen yakıt enerjisi diğer kamaralara oranla daha yüksek olmaktadır. Kurutmanın sonuna doğru gidildikçe, birim zamanda gerekli enerji de azalmaktadır. Bununla birlikte, Şekil 8.29 incelendiğinde, her ne kadar ramözün son kamaralarında birim zamanda gerekli enerji miktarı az olsa da, kurutma ilerledikçe, özellikle kurutmanın sonuna doğru suyun buharlaştırılması için gerekli özgül enerjinin arttığı, hatta kurutmanın 1. adımına kıyasla 2-3 kat daha fazla özgül enerjiye gereksinim duyulduğu açıkça görülmektedir. Çünkü kurutma ilerledikçe, ısı ve kütle transferi için aşılması gereken mesafe uzamakta ve kılcal borulardaki sürtünme direncinin artması ile ısı ve kütle transferi zorlaşmaktadır.



Şekil 9.29 DGIR’de her bir kamaradaki buharlaştırılan birim su miktarı başına özgül enerji tüketimi

Şekil 9.30’da, ramözün her bir bileşeni için özgül ekserji tahribi değerleri verilmektedir. En yüksek ekserji tahribi brülör kısmında oluşan tersinmezliklerden dolayı açığa çıkmaktadır. Yanma işlemi çok önemli bir tersinmezlik kaynağıdır. Bununla birlikte, yanma işleminde ortaya çıkan tersinmezlikleri büyük ölçüde azaltmak mümkün olamamaktadır. Ekserji tahribini azaltmak için hava-yakıt oranının azaltılması ve yanma havasının ön ısıtmasının yapılmasının faydalı olacağı bilinmektedir, ancak birçok durumda bu önlemler toplam ekserji tahribinin ancak küçük bir kısmını yok etmektedir (Moran and Tsatsaronis, 2000). Yapılması gereken yanma işlemlerini mümkün mertebe azaltmak, ya da işlem sırasında daha az yakıt kullanmaktır.

İkinci büyük ekserji tahribi, yanma gazlarının sirkülasyon havası ve temiz hava ile karışması esnasında ortaya çıkmaktadır. Akımların karıştırılması sırasında, akımlar arasındaki sıcaklık farkı arttıkça, ortaya çıkan ekserji tahribi de artmaktadır (Moran and Tsatsaronis, 2000). Direkt yakmalı ramözlerde çok yüksek sıcaklıktaki yanma gazları ile daha düşük sıcaklıktaki kurutma sirkülasyon havası karıştığından ortaya çıkan ekserji tahribi da büyük olmaktadır.



Şekil 9.30 DGIR’de her bir bileşene ait özgül ekserji tahribinin kamara bazında incelenmesi

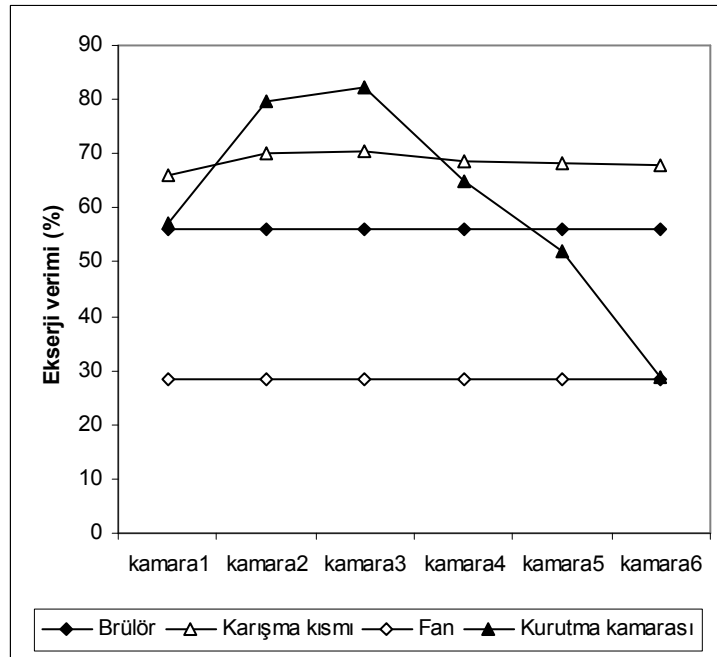
Fan ve kurutma kamarasında ortaya çıkan özgül ekserji tahriplerinin, diğer kısımlara nazaran çok daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 9.31’de ramözün her bileşeninin kamara bazında ekserji verimleri gösterilmektedir. Yanma kısmı için ekserji verimi (9.3) no’lu formüle göre % 56,24 olarak hesaplanmıştır (formüllerdeki numaralandırılar için bkz. Şekil 8.5) ve bu değer, hava/yakıt oranı sabit olduğundan, kurutma adımlarına göre farklılık göstermemektedir.

$$\varepsilon_{I,DGIR} = \frac{\dot{E}x_3 - \dot{E}x_1}{\dot{E}x_2} \quad (9.3)$$

$$\varepsilon_{II,DGIR} = \frac{\dot{E}x_4}{\dot{E}x_3 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_9} \quad (9.4)$$

$$\varepsilon_{III,DGIR} = \frac{\dot{E}x_{4'} - \dot{E}x_4}{\dot{W}_{fan}} \quad (9.5)$$



Şekil 9.31 DGIR’de her bileşeni için kamara bazında ekserji verimleri

Karıştırma kısmına ait ekserji verim değerleri, (9.4) no'lu formüle göre hesaplanmıştır ve % 66,0 ile % 70,6 arasında değişmektedir. Kurutmanın hızlı olduğu 2. ve 3. kamaralarda karıştırma kısmına ait verim değerleri daha yüksektir, çünkü bu kamaralarda atık hava nemi dolayısıyla sirkülasyon havasının nemi yüksek olduğundan, ekserjisi de daha yüksek olmakta, dolayısıyla karışan akımların ekserjileri arasındaki fark az da olsa düşmektedir. Bununla birlikte, karışma kısımlarına ait ekserji verimlerindeki farklılıkların önemsiz olduğu söylenebilmektedir.

Kurutma işlemlerinde elde edilen “ürün” birimi, her ne kadar dışarıya atılsa da kumaştan buharlaştırılan su buharıdır. Bu nedenle ekserji verimi hesabı yapılırken “ürün” kısmına suyun buharlaştırılması için gerekli olan ekserji akımı ve “yakıt” birimine de suyun buharlaşmasını sağlayan birim (kurutma havası, yakıt vs gibi) atanmaktadır. Bu nedenle, her bir kamaranın kurutma kısmı için ekserji verimi Dincer ve Sahin'in (2004) geliştirdiği model modifiye edilerek aşağıdaki eşitlikte verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \frac{(\dot{m}_{ev})(ex_{ev})}{\dot{Ex}_{kh} - \dot{Ex}_{sh}} \quad (9.6)$$

Burada $\dot{m}_{ev}$ birim zamanda buharlaştırılan su miktarını, ex_{ev} suyu buharlaştırmak için gerekli ekserji akımını, $\dot{Ex}_{kh}$ kurutma havasının ekserji akımını ve $\dot{Ex}_{sh}$ sirkülasyon havasının ekserji akımını ifade etmektedir.

Şekil 9.30’da görüldüğü gibi, ramözün her bir kamarası için kurutma kısmının ekserji verimleri sırasıyla % 57,3, % 79,5, % 82,1, % 64,8, % 52,5 ve % 28,6’dır. Diğer bir deyişle, kurutmanın sabit hız periyodunda ekserji verimi yüksek, azalan hız periyodunda ise çok daha düşüktür.

Ramözün ilk kamarasında enerjinin bir bölümü giren kumaşın ve kumaştaki suyun ısıtılması için harcanmakta ve ısınma periyodunun ardından bir miktar su da buharlaştırılmaktadır. Bu nedenle ekserji verimi, 2. ve 3. kamaralara nazaran daha düşüktür. 2. ve 3. kamaralarda kurutmanın 1. adımının (sabit hız periyodunun) gerçekleştiği söylenebilir ve bu kamaralarda çok hızlı ve etkin bir su buharlaştırma sağlanmaktadır. Bu nedenle ekserji verimi oldukça yüksektir. Kurutma ilerledikçe, azalan-hız periyoduna geçildiğinden, kumaştaki suyun buharlaştırılması için gerekli özgül enerji, dolayısıyla özgül ekserji arttığından, ekserji verimi düşmektedir.

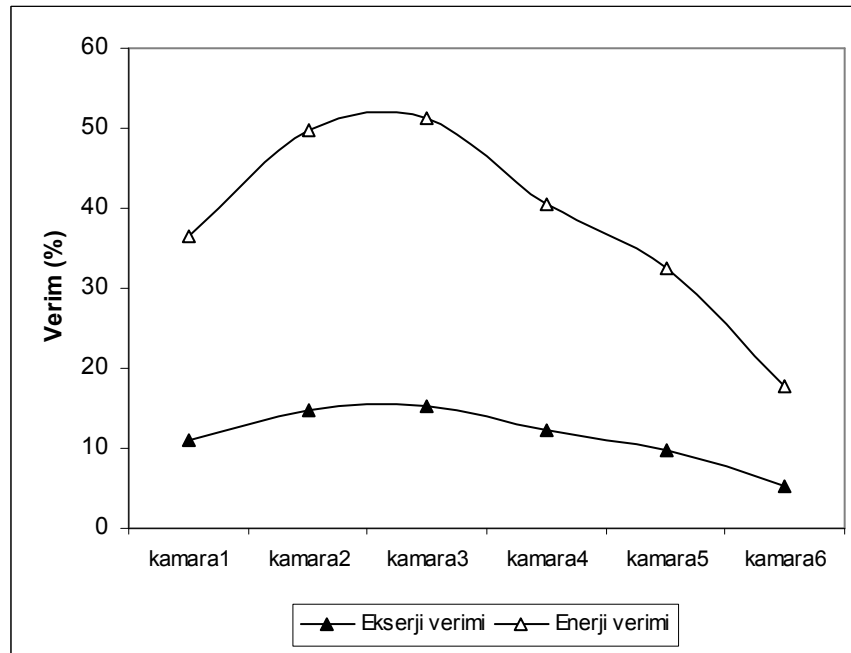
Her bir bileşen için ayrı ayrı ekserji verim değerlerinin yanı sıra, toplam sistem verimi de ısı sistemlerin analizinde önem taşımaktadır. Toplam sistem verimi, suyun buharlaştırılması için gerekli enerji/ekserji akımının, ramöze beslenen yakıt enerji/ekserji akımına oranıdır.

Ramöz için toplam sistem enerji ve ekserji verimleri aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanmıştır:

$$\eta = \frac{\dot{E}_{ev}}{\dot{E}_y} \quad (9.7)$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}x_{ev}}{\dot{E}x_y} \quad (9.8)$$

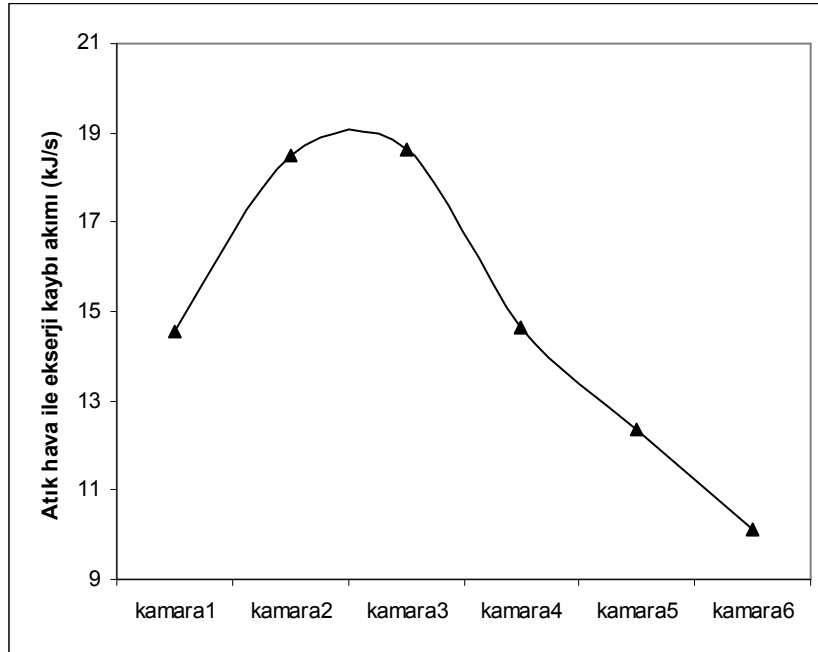
Burada η enerji verimini, ε ekserji verimini, $\dot{E}_y$ ve $\dot{E}x_y$ ise sırasıyla sisteme beslenen yakıtın enerji ve ekserji akımlarını ifade etmektedir. Şekil 9.32’de, direkt doğal gaz ısıtmalı ramözde her bir kamara için toplam sistem enerji ve ekserji verimleri gösterilmektedir. Toplam sistem verimlerinin kamara bazında değişimi, kurutma kısmındaki değişime benzerdir. Ramözün her bir kamarası için toplam sistem ekserji verimleri sırasıyla % 10,9, % 14,9, % 15,3, % 12,2, % 9,8 ve % 5,3’tür



Şekil 9.32 DGIR’de toplam sistem enerji ve ekserji verimlerinin kamara bazında incelenmesi

Tersinmezlikler nedeniyle oluşan ekserji tahribi akımları, sistemin yapısı, sıcaklık farkları, kimyasal reaksiyonlar, vs. gibi nedenler dolayısıyla ortaya çıkmaktadır ve azaltılması için sistemde kapsamlı düzenlemelerin yapılması şarttır. Tersinmezliklerin yanı sıra, akımlar vasıtasıyla sistem dışarısına çıkan ve kullanılmadan çevreye atılan ekserji kayıpları bulunmaktadır. Şekil 9.33’de kurutma sonrasında atık hava nedeniyle ortaya çıkan ekserji kaybı akımları her bir kamara için ayrı ayrı gösterilmektedir.

Analizi yapılan ramöz 6 kamaralı olduğundan, en fazla buharlaşma 2. ve 3. kamaralarda meydana gelmektedir ve Çizelge 9.2’de görüldüğü üzere, sirküle edilen havanın, dolayısıyla atık havanın nemi bu kamaralarda daha fazladır. Kurutma ilerledikçe, birim zamanda buharlaştırılan su azaldığından, atık hava nemi de düşmektedir. Atık havanın ekserji akımının büyük kısmını su buharının ekserji akımı oluşturmaktadır. Bu nedenle 2. ve 3. kamaralardaki atık havanın ekserji akımı, dolayısıyla ekserji kaybı akımı daha fazla olmaktadır. Son kamaralarda ise ekserji kaybı akımı çok daha azdır. Sistemin verimli ve düşük enerji ile çalışması için bu atık ekserji akımlarının azaltılması ve mümkün mertebe büyük kısmının geri kazanılması gerekmektedir. Ekserji kaybı akımlarının azaltılması için özellikle üzerinde durulması gereken kısmın buharlaşmanın çok yüksek olduğu kamaralar olduğu açıkça görülmektedir. Atık hava neminin etkisiyle ilgili sonuçlar izleyen bölümlerde ayrıntılı olarak verilecektir.

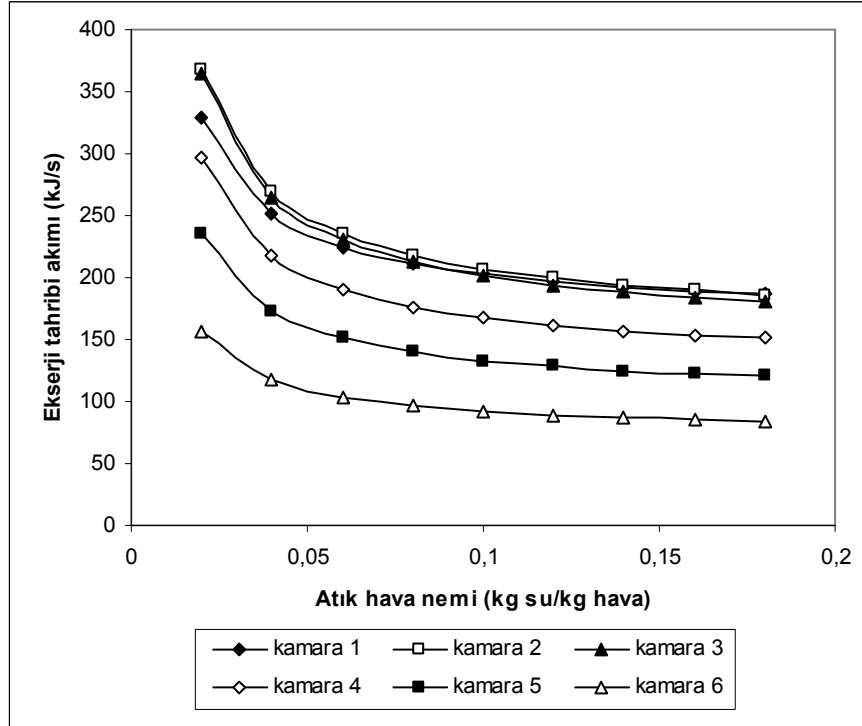


Şekil 9.33 DGIR’de her bir kamarada atık hava ile ortaya çıkan ekserji kaybı akımları

9.2.1.2.2 Atık hava neminin etkisi

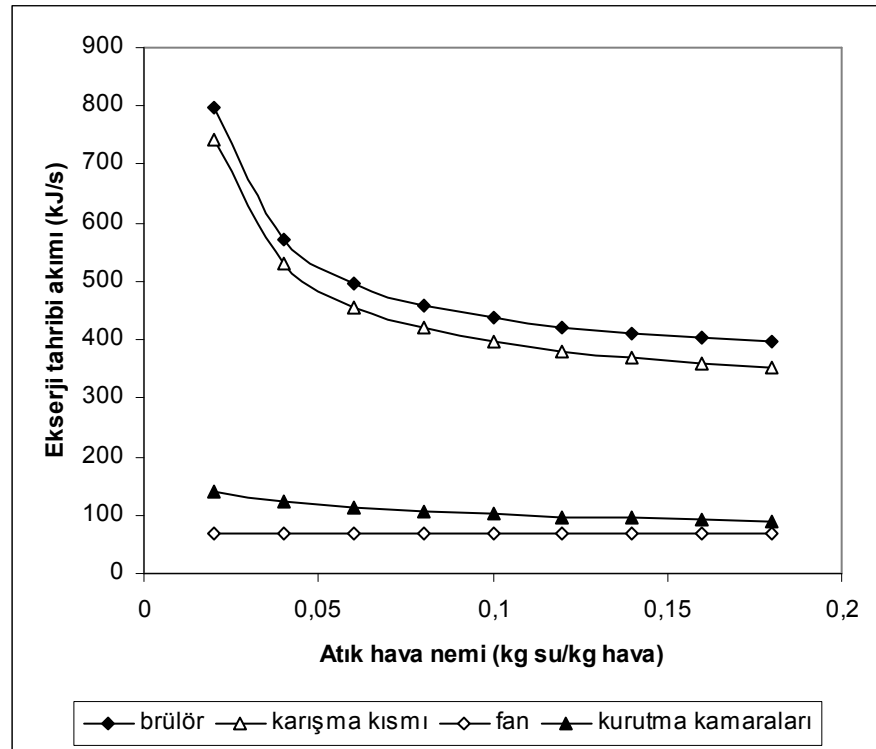
Ramözlerde atık sıcak hava miktarını belirleyen parametre atık hava nemidir. Atık sıcak hava miktarının azaltılmasının önemine daha önceki bölümlerde ayrıntılı olarak değinilmiştir. Bu bölümde, direkt doğal gaz ısıtmalı ramöz için oluşturulan model göz önüne alınarak, hem kamara bazında, hem bileşenler (brülör, karışma kısmı, fan ve kurutma kısmı) bazında, hem de tüm ramöz sistemi için atık hava nemi değişiminin ekserji tahribi akımı ve ekserji verimine etkisi üzerinde durulmaktadır.

Şekil 9.34’de DGIR’de her bir kamaradaki atık hava neminin değişiminin ekserji tahribi akımı üzerine etkisi sunulmaktadır. Atık hava neminin artması ile birlikte, tüm kamaralarda ekserji tahribi akımı azalmaktadır. Yüksek buharlaşmanın olduğu kamaralarda yoğun ısı ve kütle transferi etkileşimlerinden dolayı tersinmezlikler en yüksektir. Çünkü, buharlaşmanın en fazla olduğu kamaralarda, atık hava nemi ne kadar düşürülse de, birim zamanda buharlaşan su miktarı yüksek olduğundan, diğer kamaralara nazaran birim zamanda daha fazla atık hava dışarıya atılmaktadır. Bu kamaralara ait eğriler incelendiğinde, bu kamaralarda ortaya çıkan ekserji tahribi akımının atık hava neminin değişiminden daha fazla etkilenmekte olduğu görülmektedir.



Şekil 9.34 DGIR’de her bir kamaradaki ekserji tahribi akımının atık hava nemine göre değişimi

Şekil 9.35’de ise, ramözün her bir bileşeninde ortaya çıkan ekserji tahribi akımının atık hava nemine göre değişimi gösterilmektedir. Brülör kısmı anlatılırken, yanma işlemlerinde ortaya çıkan tersinmezlikleri büyük ölçüde azaltmanın tek yolunun daha az yakıt kullanılması olduğu ifade edilmiştir. Bu problemin çözümü, atık hava neminin artırılması ile sağlanmaktadır. Atık hava neminin artması ile birlikte, ısıtılması gereken temiz hava miktarı azalmaktadır. Bu sayede, kullanılacak yakıt miktarı da azalmaktadır. Şekillerden de görüldüğü üzere, atık hava neminin artması ile birlikte, yanma kısmındaki tersinmezlikler % 40 ile %45 kadar azaltılabilmektedir.

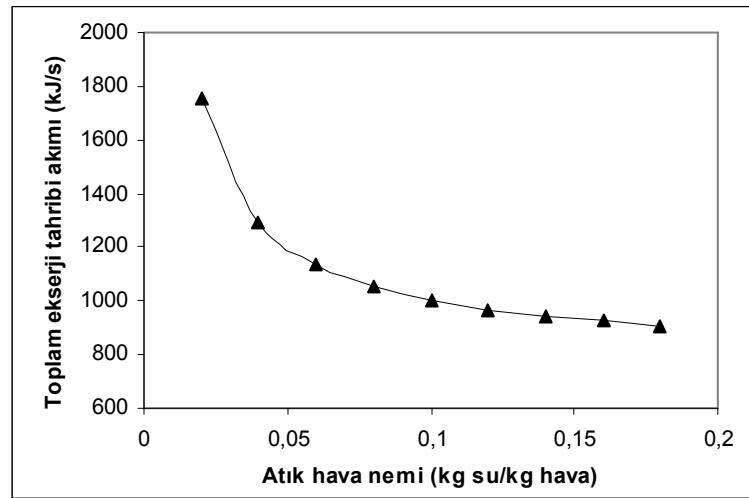


Şekil 9.35 Atık hava neminin DGIR bileşenlerindeki ekserji tahribi akımına etkisi

Atık hava neminin artması ile birlikte, karışma sonucu tersinmezlikler nedeniyle açığa çıkan ekserji tahribi akımı azalmaktadır. Atık hava neminin artması, aynı zamanda, sirküle edilen havanın miktarının ve neminin de artması anlamına gelmektedir. Böylece sirkülasyon havasının ekserjisi de yüksek olmaktadır. Ayrıca, atık hava neminin artması ile birlikte, karıştırma kısmına beslenen oda sıcaklığındaki temiz hava miktarı da azalmaktadır. Yüksek nemli ve yüksek debideki sirkülasyon havası ile düşük debili temiz hava karışımını kurutma sıcaklığına yükseltmek için gerekli yanma gazı miktarı da daha az olacağından, karışan tüm gazların toplam ekserjileri birbirine yaklaşmaktadır. Bu nedenle atık hava neminin artması ile birlikte karıştırma kısmındaki ekserji tahribi akımları oldukça azalmaktadır.

Fan kısmında ortaya çıkan ekserji tahribi akımının atık hava nemi ile değişimi önemsizdir. Kurutma kısmında ise, brülör ve karışma kısmına nazaran çok düşük olan ekserji tahribi akımı, atık hava nemi arttıkça azalmaktadır, ancak bu azalma diğer bölümler kadar belirgin değildir.

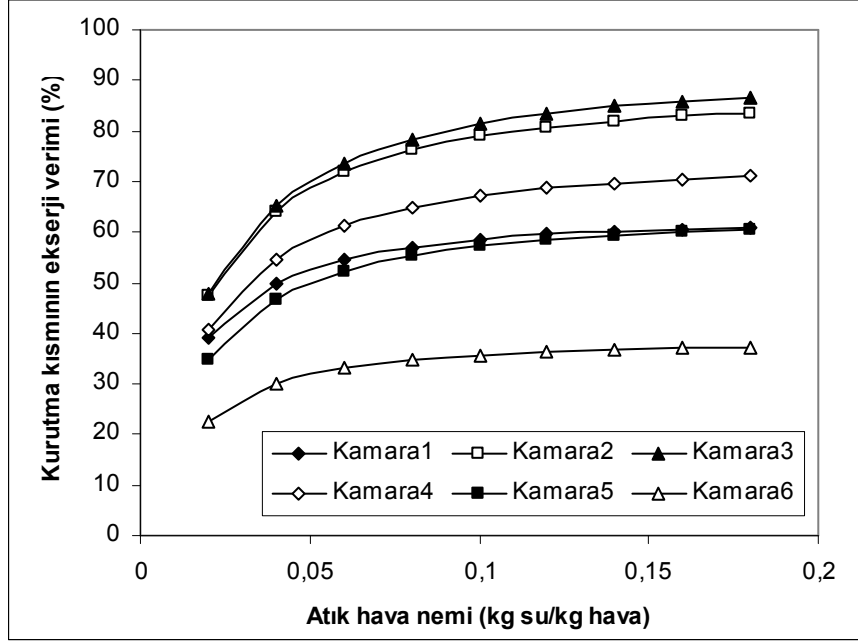
Şekil 9.36'da tüm ramöz sisteminde ortaya çıkan ekserji tahribi akımının atık hava nemi ile değişimi görülmektedir. Atık hava neminin yaklaşık $0,1 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ ile $0,12 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ değerlerine kadar artırılması, ekserji tahribi akımını büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu nem değerlerinden sonra ekserji tahribi akımındaki azalmanın daha yavaş gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 9.36 Atık hava neminin DGIR'de toplam ekserji tahribi akımına etkisi

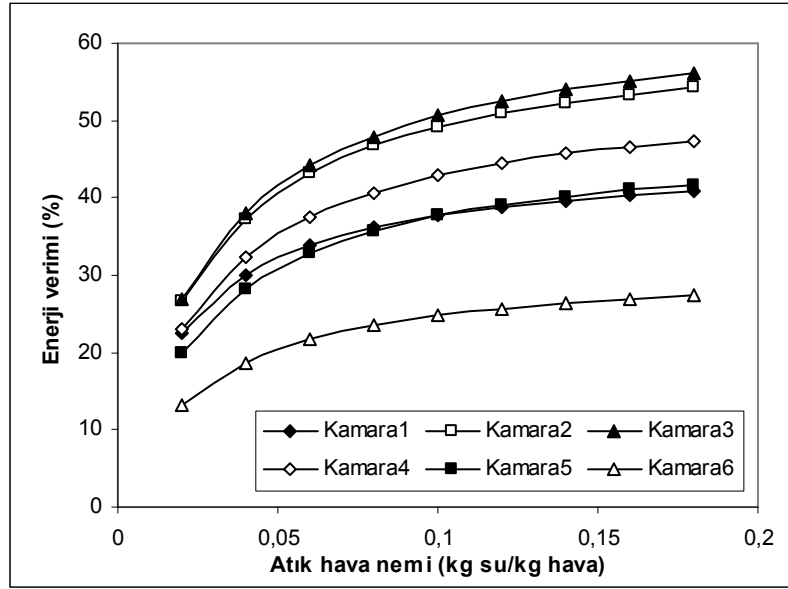
Şekil 9.37'de atık hava neminin artması ile DGIR'de her bir kamaradaki kurutma kısmının ekserji verimindeki değişim gösterilmektedir. Tüm kamaralarda, atık hava neminin artması ile birlikte ekserji verimi artmaktadır, ancak bu artış özellikle 2. ve 3. yani buharlaşmanın en yüksek olduğu kamaralarda çok daha belirgindir. Örneğin 0,02 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ değerinden 0,18 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ değerine çıkılırken, ekserji verimi 2. kamarada % 47,4'den % 83,5'e (verimde yaklaşık % 76 artış), son kamarada ise % 22,7'den % 37,2'ye (verimde yaklaşık % 64 artış) yükselmektedir. Kurutmanın sonuna doğru kumaşta kalan suyun belirli bir kısmı liflere H-köprüleri ve dipol kuvvetleri ile bağlı bulunmaktadır. Bu bağları koparmak ve suyu lif yüzeyine taşımak (sürtünme kuvvetini yenerek) için daha yüksek enerjiye gereksinin duyulmaktadır. Bu nedenle atık hava nemi ne kadar yüksek olursa olsun, son kamaraların ekserji verimi çok daha düşük olmaktadır. Diğer önemli nokta da, atık hava neminin 0,06 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ ile 0,08 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ değerinden yüksek olduğu durumlarda, son kamaralara ait ekserji verimlerindeki

değişimin oldukça önemsiz olmasıdır. Ancak, ilk kamaralarda (özellikle 2. ve 3.) ekserji verimi artmaya devam etmektedir.

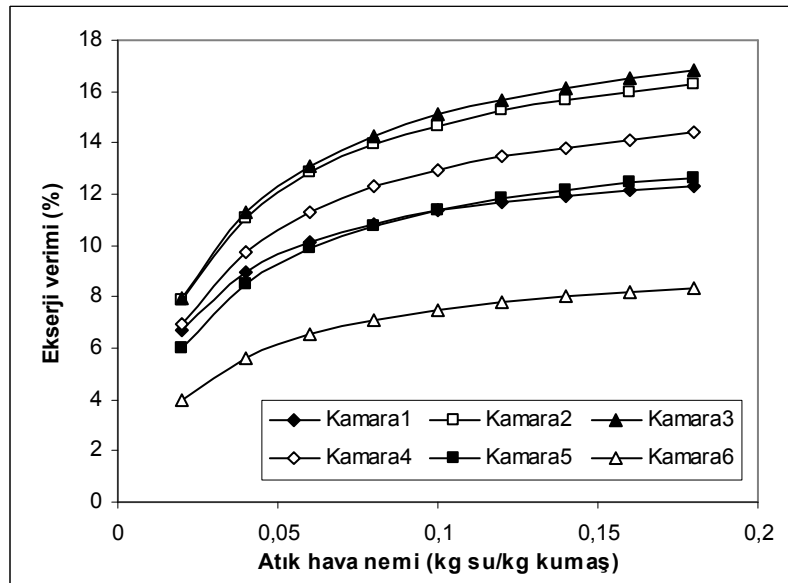


Şekil 9.37 Atık hava neminin her bir kamaradaki kurutma kısmının ekserji verimine etkisi

Şekil 9.38 ve 9.39’da, sırasıyla, her bir kamaranın yakıt bazında enerji ve ekserji verimleri gösterilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi, yakıt bazında enerji ve ekserji verimlerindeki eğilim, kurutma kısmının verimleri ile benzerdir. Atık hava nemi arttıkça, her bir kamarada ortaya çıkan ekserji tahribi azaldığından, kamaraların yakıt bazında enerji ve ekserji verimi artmaktadır.



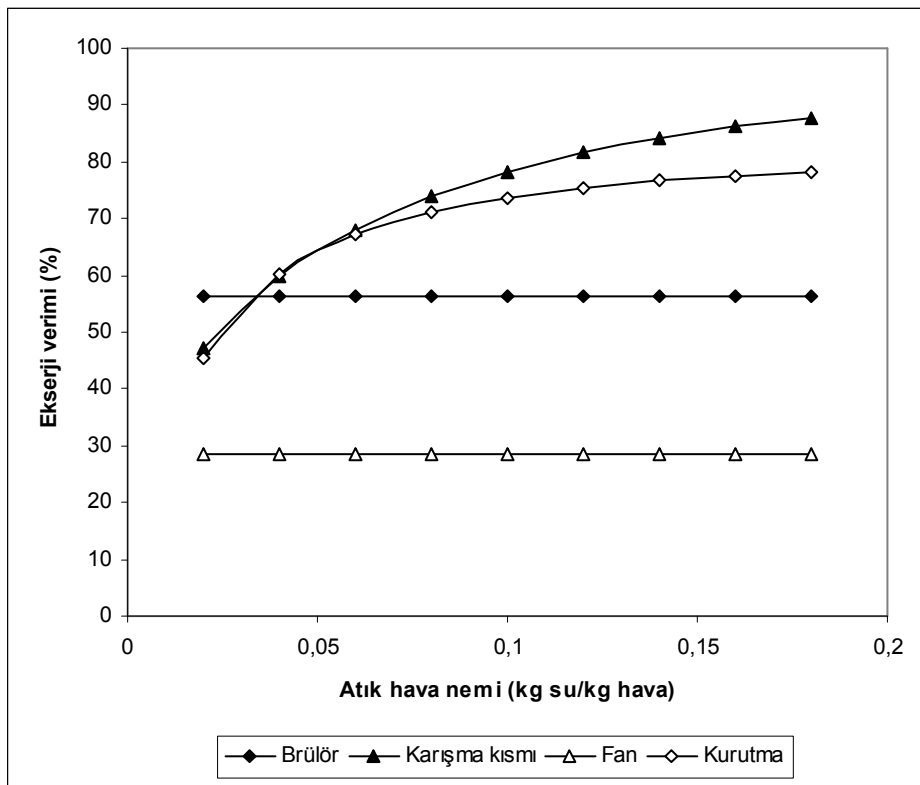
Şekil 9.38 DGIR'de her bir kamarada atık hava neminin yakıt bazında enerji verimine etkisi



Şekil 9.39 DGIR'de her bir kamarada atık hava neminin yakıt bazında ekserji verimine etkisi

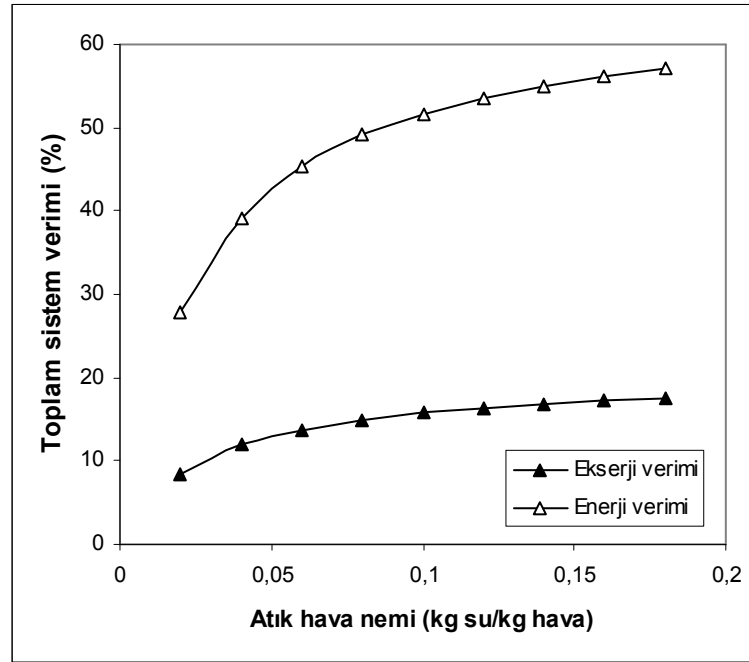
Şekil 9.40’da atık hava neminin artması ile ramözün bileşenlerinin ekserji verimindeki değişim gösterilmektedir.

Brülör kısmında hava/yakıt oranı sabit olduğundan her durum için ekserji verimi sabittir ve % 56,2 olarak hesaplanmıştır. Fan kısmında atık hava neminin artması ile ekserji verimindeki değişim önemsizdir ve ekserji verimi yaklaşık % 25,5 ile % 25,6 olarak hesaplanmıştır.



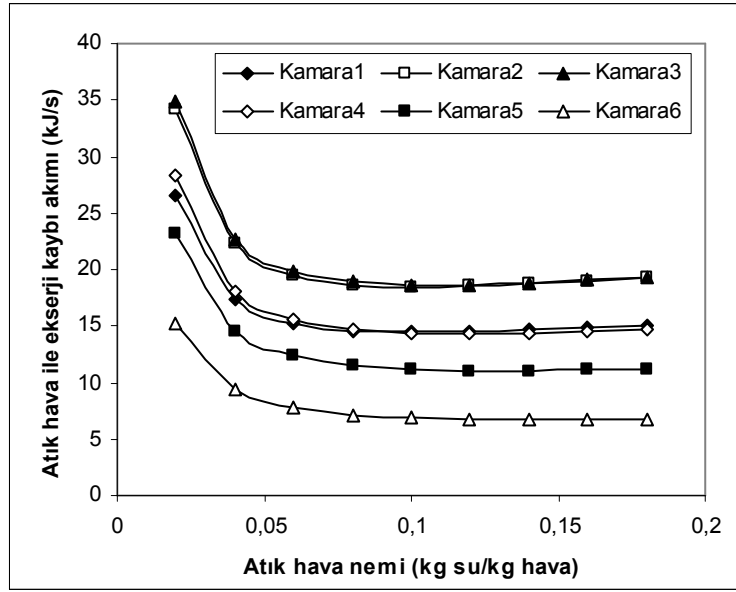
Şekil 9.40 Atık hava neminin DGIR bileşenlerinin ekserji verimine etkisi

Karışma kısmının ekserji verimi, atık hava nemine bağlı olarak % 47,0 ile % 87,7 arasında değişmektedir. Kurutma kısmında ise verim değerleri % 45,6 ile % 78,3 arasında değişmektedir.



Şekil 9.41 Atık hava neminin DGIR toplam sistem enerji ve ekserji verimine etkisi

Şekil 9.41’de atık hava nemine bağlı olarak DGIR için toplam sistem enerji ve ekserji verimleri gösterilmektedir. Buna göre, atık hava nemine bağlı olarak DGIR’de toplam sistem enerji verimi % 27,9 ile % 57,1 arasında, ekserji verimi de % 8,5 ile % 17,5 arasında değişmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, verimde 0,1 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ ile 0,12 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava nemine kadar gerçekleşen artış oldukça belirgindir, bu değerden sonra artış hızı yavaşlamaktadır.

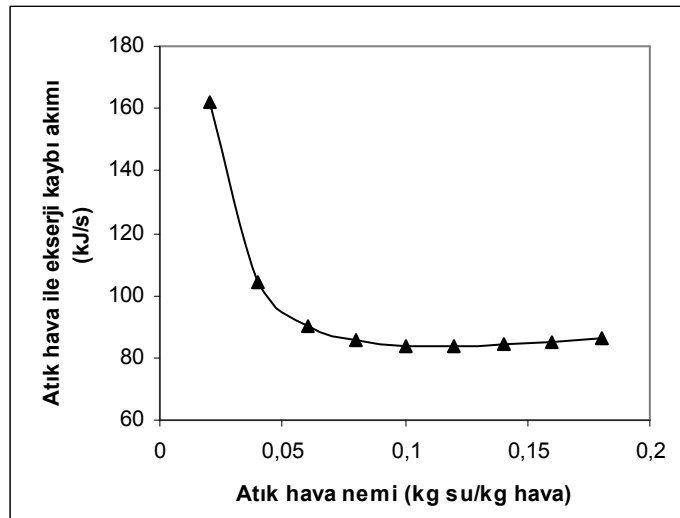


Şekil 9.42 DGIR’de her bir kamarada atık hava ile ortaya çıkan ekserji kaybı akımının atık hava nemine göre değişimi

Şekil 9.42’de atık hava ile ortaya çıkan ekserji kaybı akımlarının atık hava nemi ile değişimi her bir kamara için ayrı ayrı incelenmektedir. Tüm kameralarda yaklaşık $0,08 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ ile $0,1 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava nem değerlerinden sonra ekserji kaybı akımının fazla değişmediği hatta az da olsa arttığı görülmektedir. Atık hava nemi arttıkça, atık hava miktarı azalsa da dışarıya atılan su buharı arttığı için atık havanın ekserji akımının değeri yüksek atık hava nemlerinde belirgin şekilde değişmemektedir. Ancak, ramöz atık havasından ısı geri kazanımı sistemi kurulduğunda, geri kazanılan enerjinin büyük kısmı atık havada bulunan su buharının yoğunlaştırılması ile sağlanacağından, yüksek atık hava nemlerinde daha fazla ısı geri kazanılabilmektedir. Yapılan bir araştırmada, ramöz atık havasından su ısıtma amaçlı ısı geri kazanımı sistemlerinde, atık hava

nemi arttıkça geri kazanılan ekserji akımının da arttığı bildirilmektedir (Tarakçıoğlu et al., 2008). Bu nedenle, eğer sisteme bir hava/sıvı ısı geri kazanım sistemi kurulacak ise ramözü mümkün mertebe yüksek atık hava neminde çalıştırmak büyük önem arz etmektedir.

Buharlaşmanın yüksek olduğu kamaralarda atık hava ile kaybolan ekserji daha yüksektir. Son kamaralarda kumaşa çok az su bulunduğundan düşük atık hava nemlerinde dahi atık hava miktarı daha düşük olmaktadır. Örneğin 0,05 $\text{kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava nemi için atık hava miktarı 2. kamarada 0,28 kg/s, son kamarada ise 0,09 kg/s olmaktadır. Bu nedenle kurutmanın sonuna doğru atık hava ile kaybolan ekserji miktarı daha az olmaktadır. Bu nedenle özellikle buharlaşmanın yüksek olduğu kamaralarda atık hava nemini ayarlamak ve yüksek tutmak büyük önem taşımaktadır.



Şekil 9.43 Atık hava ile ortaya çıkan toplam ekserji kaybı akımının atık hava nemi ile değişimi

Şekil 9.43’de ise tüm sistem için atık hava ile kaybolan ekserji akımının atık hava nemi ile değişimi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, atık hava neminin ayarlanması ile ekserji kaybı akımlarını yarı yarıya azaltmak mümkün olmaktadır.

9.2.1.2.3 Kumaş çıkış neminin etkisi

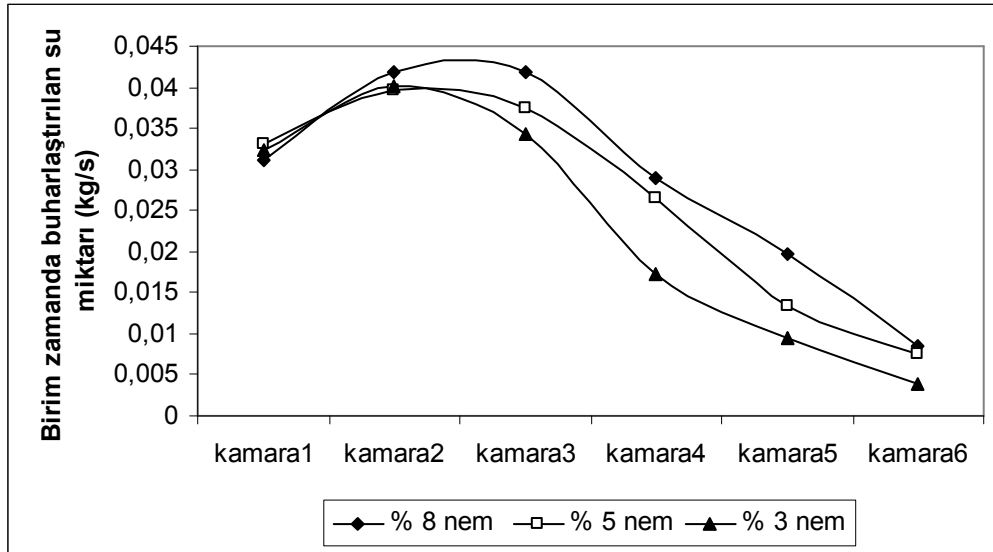
Çizelge 9.3 Farklı kumaş çıkış nemlerinde kurutma analizi için kullanılan veriler

	Kamara	1	2	3	4	5	6
% 8 nem	Kumaş çıkış sıcaklığı (°C)	61,3	65	65	80	95	108
	Kumaş çıkış nemi (%)	63	46,5	30,5	19	12	8
	Kumaş ilerleme hızı: 35 m/dk						
	Kumaş debisi: 0,26 kg/s						
% 5 nem	Kumaş çıkış sıcaklığı (°C)	63	65	90	105	115	128,5
	Kumaş çıkış nemi (%)	60	42	25	14,5	7,5	5
	Kumaş ilerleme hızı: 30 m/dk						
	Kumaş debisi: 0,22 kg/s						
% 3 nem	Kumaş çıkış sıcaklığı (°C)	65	85	100	114,3	123	140
	Kumaş çıkış nemi (%)	58	37	19	10	5	3
	Kumaş ilerleme hızı: 26 m/dk						
	Kumaş debisi: 0,19 kg/s						
Kumaş giriş nemi : % 75							
Kamara sıcaklığı : 150 °C							

Konveksiyon kurutucularda, kumaşların higroskopik nemlerine kadar kurutulmalarının gerekliliği ve aşırı kurutmanın önlenmesinin önemi önceki bölümlerde vurgulanmıştır. Bu bölümde, aşırı kurutmanın etkileri ekserjetik bakış açısından incelenmekte ve sistem verimine etkileri tartışılmaktadır. Analiz

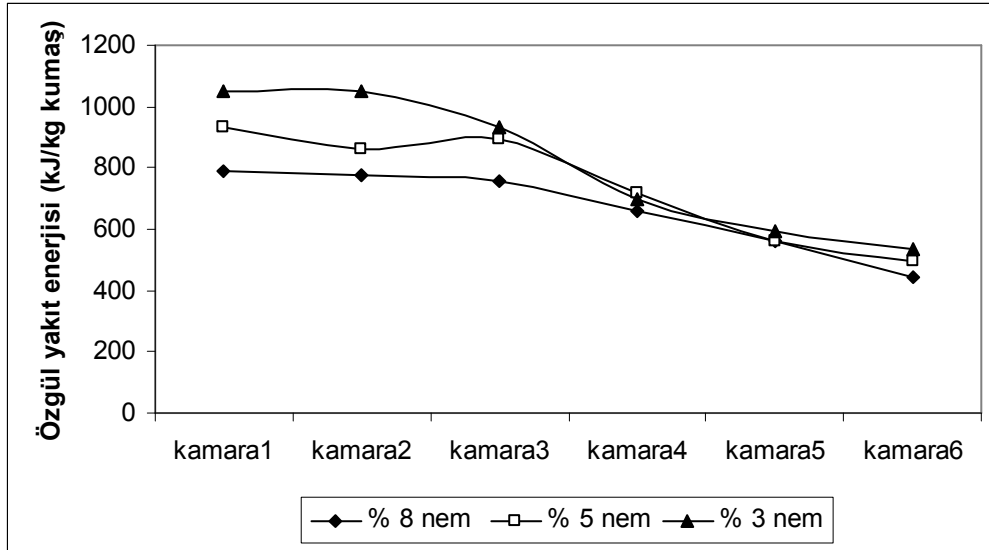
için % 8, % 5 ve % 3 olmak üzere üç farklı kumaş çıkış nemi için çeşitli fabrikalardan alınan ölçümler ve bilgiler birleştirilerek Çizelge 9.3 oluşturulmuştur. Çizelgede, analiz için kullanılan ortalama kumaş nem ve sıcaklık değerleri verilmektedir.

Şekil 9.44’de farklı kumaş çıkış nemlerine göre ramözün her kamarasında birim zamanda buharlaştırılan su miktarı görülmektedir. Kumaş çıkış nemi yükseldikçe, birim zamanda buharlaştırılan su miktarı artmaktadır, çünkü kurutulan kumaşın geçiş hızı arttığından, birim zamanda kurutulan kumaş miktarı yükselmekte, dolayısıyla beraberinde taşıdığı su miktarında artış olmaktadır. Özellikle % 3 kumaş çıkış nemine sahip kumaşta, son kamaralarda buharlaştırılan su miktarının oldukça az olması, kurutmanın oldukça yavaşladığının açık bir göstergesidir.



Şekil 9.44 Kumaş çıkış nemine bağlı olarak ramözün her bir kamarasında birim zamanda buharlaştırılan su miktarı

Şekil 9.45’de her bir kamaraya ait birim zamanda geçen kumaş miktarı başına tüketilen özgül enerjinin kumaş çıkış nemine göre değişimi görülmektedir. Düşük kumaş çıkış nemleriyle çalışıldığında, kumaş ilerleme hızı ve dolayısıyla birim zamanda geçen kumaş miktarı (kg/s) düşük olduğundan, kumaştaki suyun büyük bölümü ilk kamaralarda uzaklaştırılmakta ve geri kalan çok düşük miktardaki su için de son kamaralar kullanılmaktadır. Yani kurutma işleminin büyük kısmı ilk kamaralara yüklenmektedir. Bu nedenle ilk kamaralardaki enerji tüketimi birim zamanda geçen kumaş miktarı için daha yüksek olmaktadır.

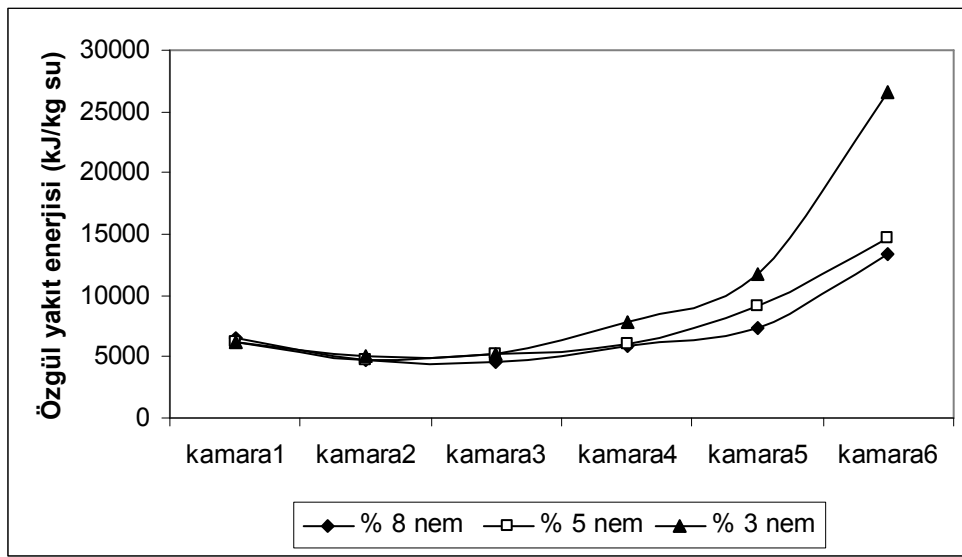


Şekil 9.45 Kumaş çıkış neminin birim zamanda geçen kumaş miktarı için tüketilen özgül enerjiye etkisi

Ayrıca Şekil 9.45 ve Çizelge 9.3 karşılaştırmalı olarak incelendiğinde % 5 çıkış nemi için 5. kamaranın sonunda, % 3 çıkış nemi için de 5. kamaranın ortalarında

bir yerde kurutmanın aslında tamamlanmış olduğu, ve 6. kamarada aynı miktar enerjinin fazladan su buharlaştırmak için kullanıldığı görülmektedir.

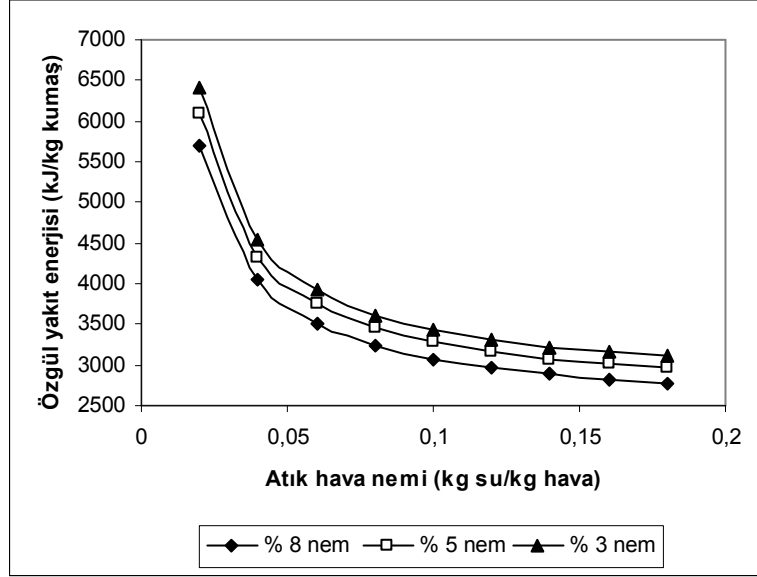
Şekil 9.46’da birim zamanda buharlaştırılan su miktarı için yakıt özgül enerjisi tüketimi görülmektedir. Son kamaralarda çok az su kaldığından, bu kamaralarda birim zamanda buharlaştırılan su miktarı için tüketilen özgül enerji oldukça yüksek olmakta ve toplamda enerji tüketimini artırmaktadır.



Şekil 9.46 Kumaş çıkış neminin buharlaştırılan birim su miktarı için tüketilen enerjiye etkisi

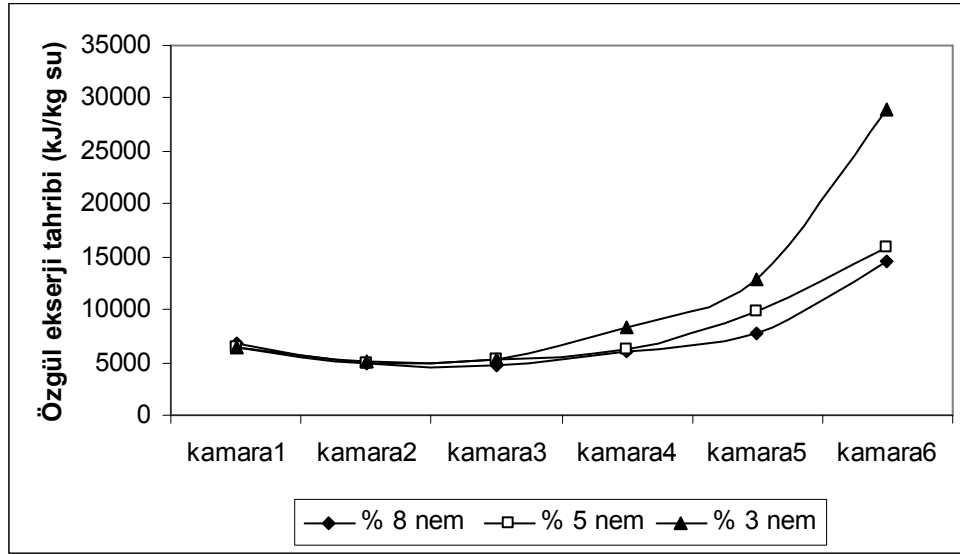
Şekil 9.47’de ise, kumaş çıkış neminin ramözde birim zamanda geçen kumaş miktarı için tüketilen özgül enerjiye etkisi, farklı atık hava nem değerleri için gösterilmektedir. Her üç kumaş çıkış nemi için de atık hava neminin etkisi aynı eğilimi göstermektedir. Yüksek atık hava nemlerinde ve aşırı kurutma yapmadan

gerçekleştirilen kurutmada enerji tüketiminin oldukça azalacağı açıkça görülmektedir.

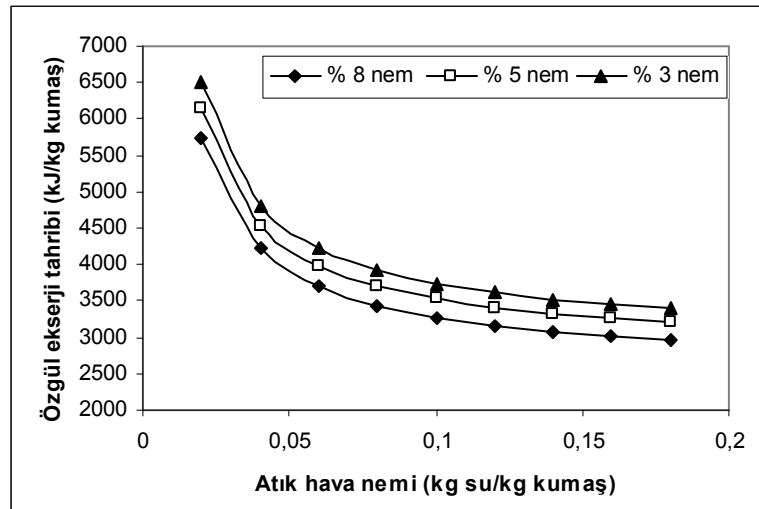


Şekil 9.47 Kumaş çıkış neminin farklı atık hava nemlerinde birim zamanda geçen kumaş miktarı için tüketilen enerjiye etkisi

Şekil 9.48’de kumaş çıkış neminin kamarlarda ortaya çıkan özgül ekserji tahribine etkisi gösterilmektedir. Kumaş çıkış nemi düştükçe, aşırı kurutma nedeniyle son kamarlarda buharlaştırılan birim su miktarı için ortaya çıkan özgül ekserji tahribi arttığından, toplam özgül ekserji tahribi yüksek olmaktadır.



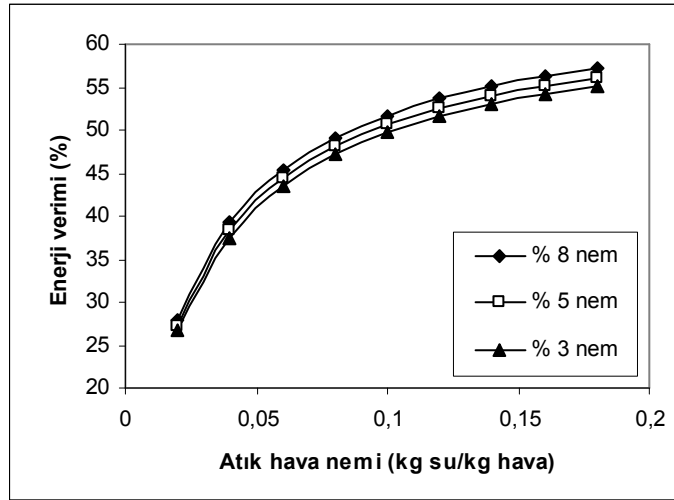
Şekil 9.48 Kumaş çıkış neminin kamara bazında birim zamanda buharlaştırılan su miktarı için tahrip edilen özgül ekserjiye etkisi



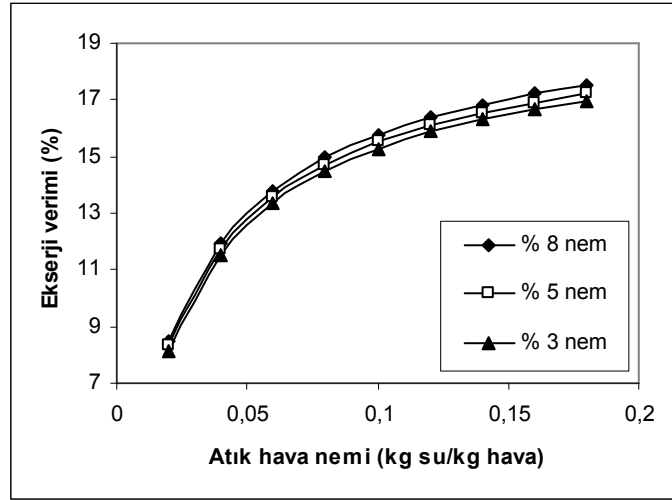
Şekil 9.49 Farklı atık hava nemlerinde kumaş çıkış neminin özgül ekserji tahribine etkisi

Şekil 9.49’da ise, ramözdeki özgül ekserji tahribinin, kumaş çıkış nemi ve atık hava nemine bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. Örneğin % 3 çıkış nemi ile çalışılırken, % 8 çıkış nemi için yaklaşık $0,08 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ ile $0,1 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava neminde ortaya çıkan özgül ekserji tahribi değerine inebilmek için atık hava neminin $0,18 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ değerine kadar yükseltilmesi gerektiği görülmektedir. Böylece, aşırı kurutmadan kaçınmanın, atık hava neminin ayarlanması kadar önemli olduğu göze çarpmaktadır.

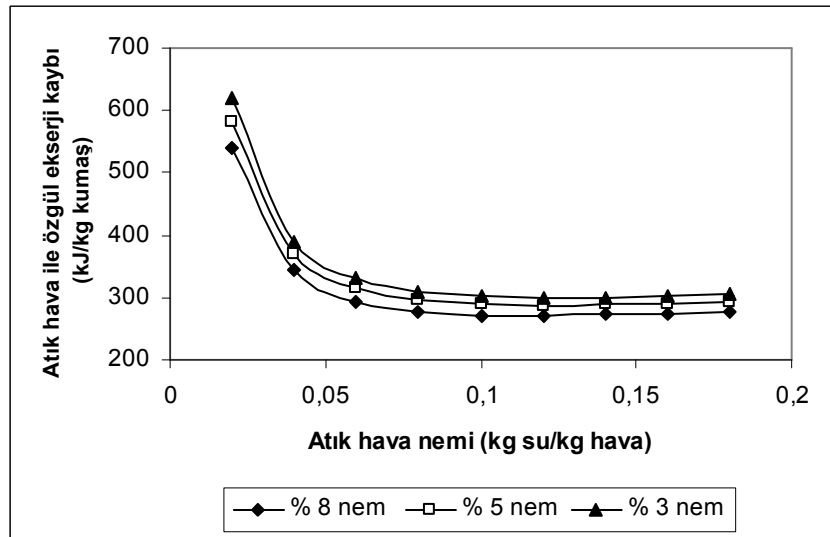
Şekil 9.50 ve 9.51’de kumaş çıkış neminin sırasıyla enerji ve ekserji verimine etkisi görülmektedir. Her iki durumda da, aşırı kurutma sonucu verim düşmektedir. Atık hava nemi arttıkça, enerji verimi için atık hava kaynaklı yakıt tüketimi, ekserji verimi için de ekserji tahribi akımı azaldığından kumaş çıkış neminin etkisi daha belirgin hale gelmektedir.



Şekil 9.50 Kumaş çıkış neminin farklı atık hava nemlerinde enerji verimine etkisi

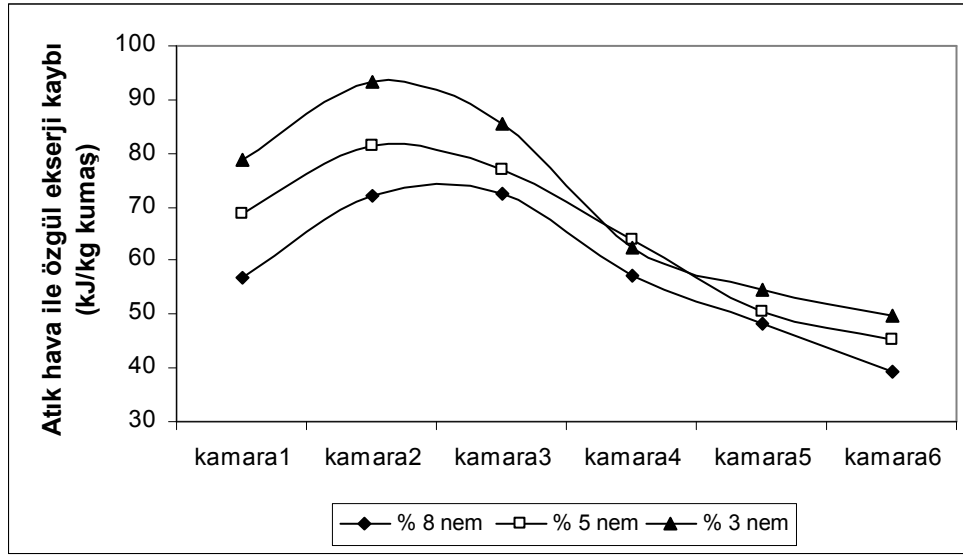


Şekil 9.51 Kumaş çıkış neminin farklı atık hava nemlerinde ekserji verimine etkisi



Şekil 9.52 Kumaş çıkış neminin farklı atık hava nemlerinde özgül ekserji kaybına etkisi

Şekil 9.52’de kumaş çıkış nemine bağlı olarak farklı atık hava nemleri için özgül ekserji kayıpları gösterilmektedir. Şekil 9.53’de ise bu değişimi kamara bazında incelenmektedir. Aşırı kurutma söz konusu olduğunda kumaş daha yavaş ilerlemekte, dolayısıyla toplam kurutma süresi uzamaktadır. Kurutma süresi uzadığından, birim zamanda geçen kumaş miktarı için ortaya çıkan özgül ekserji kayıpları da artmaktadır.



Şekil 9.53 Atık hava ile ekserji kaybının kumaş çıkış nemine göre değişimi

9.2.1.2.4 Kurutma havası sıcaklığının etkisi

Kurutma işlemlerinde kurutma havasının sıcaklığı arttıkça, kumaş ile hava sıcaklığı arasındaki fark artacağından ısı transferi de artmakta, dolayısıyla buharlaşma hızı yükselmektedir. Ancak, tekstil mamulleri genel olarak yüksek

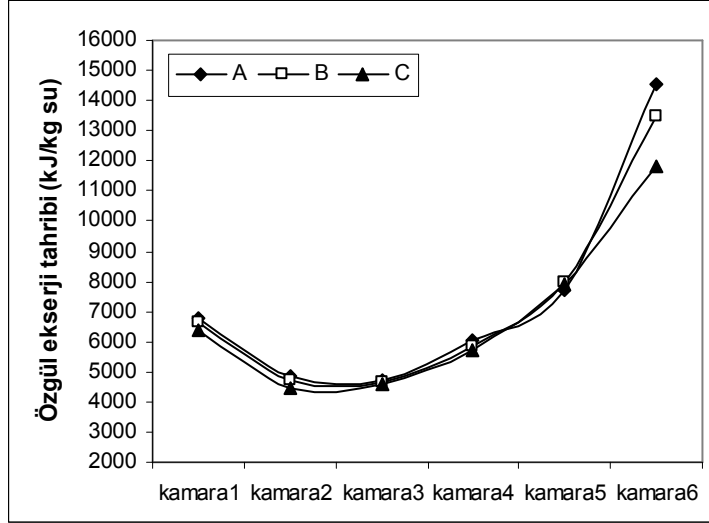
sıcaklıklara karşı hassastırlar. Bu nedenle kurutmanın yüksek sıcaklıkta yapılması kaliteyi düşürücü bir etki gösterebilmektedir.

Diğer yandan, kurutma işleminin sabit hız periyodu anlatılırken ifade edildiği gibi, kumaş yüzeyinde nem bulunduğu sürece, kurutma havasının sıcaklığı ne kadar yüksek olursa olsun, kumaş yüzey sıcaklığı kurutma havasının yaş termometre sıcaklığını (soğuma sınır sıcaklığını, yaklaşık 55 °C ile 80 °C'u) aşmamaktadır. Bu prensipten hareketle, kurutma makinesinin ilk kamaralarında mümkün derece yüksek sıcaklıkta çalışılması ve daha sonraki bölmelerde de kademeli olarak sıcaklığın düşürülerek kurutulacak mamulün kalitesini bozmayacak seviyedeki sıcaklıkların ayarlanması ile kurutma hızı artırılabilir.

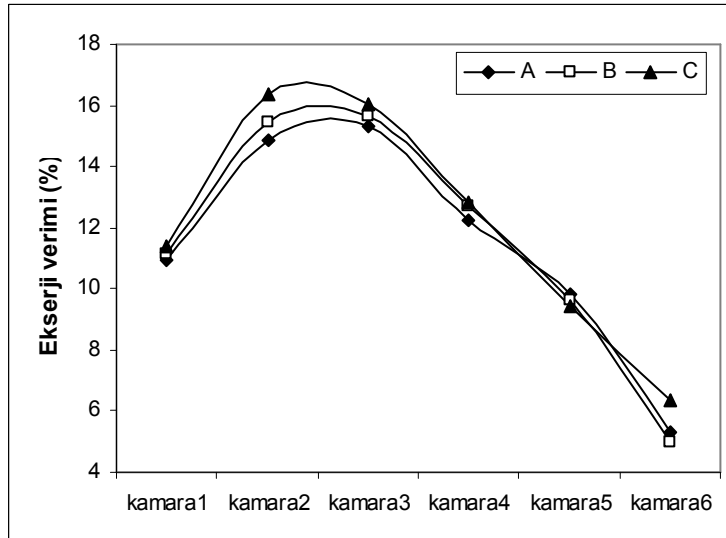
Kurutma havası sıcaklığının özgül ekserji tahribine ve verimine etkisinin belirlenmesi için üç tip çalışma şekli incelenmiştir. Birinci durumda ramözün tüm kamaraları 150 °C (A durumu), ikinci durumda ise 160 °C (B durumu) olarak ayarlanmış ve kurutma işlemine dair veriler alınmıştır. Üçüncü olarak ise kademeli sıcaklık yöntemi uygulanarak kamara sıcaklıkları sırasıyla 150 °C, 170 °C, 170 °C, 150 °C, 140 °C ve 120 °C (C durumu) olacak şekilde ayarlanmıştır.

Şekil 9.54'de görüldüğü gibi kurutma havasının sıcaklığının artması ile her bir kamarada ortaya çıkan özgül ekserji tahribi azalmaktadır. Kamara sıcaklığının değişiminin daha ziyade kurutmanın sabit hız periyodu ile ikinci azalan hız periyodunu etkilediği görülmektedir. Diğer yandan, kademeli çalışma dikkate alındığında, son kamarada çok daha düşük sıcaklık kullanıldığından özgül ekserji tahribi iyice düşmekte, bu duruma ilk kamaralarda ortaya çıkan özgül ekserji

tahribi düşüşleri de eklendiğinde, toplamda tüm kamaraların aynı sıcaklıkta çalıştırıldığı duruma göre daha düşük özgül ekserji tahribinin ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 9.54 Kurutma havası sıcaklığının özgül ekserji tahribine etkisi



Şekil 9.55 Kurutma havası sıcaklığının ekserji verimine etkisi

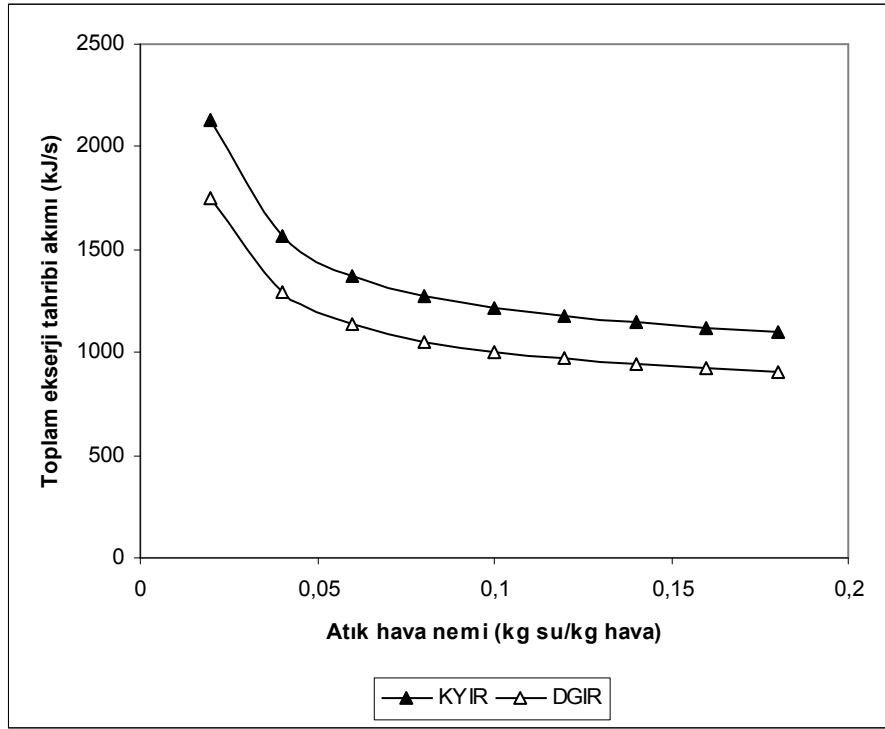
Her bir kamaraya ait ekserji verimi dikkate alındığında (Şekil 9.55), kurutma havası sıcaklığının artırılmasının ekserji verimini özellikle 2. ve 3. kamaralarda, yani kurutmanın sabit hız periyodunda büyük oranda artırdığı, ancak diğer kamara verimlerine belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Kademeli çalışma durumunda, ilk kamaralarda daha yüksek sıcaklıklar uygulandığından kurutma hızı artmış, özgül ekserji tahribi düşmüştür, bu nedenle en yüksek ekserji veriminin bu çalışma şekli ile sağlandığı belirlenmiştir.

9.2.1.3 Yağ ısıtmal ramöz (KYIR) ile direkt doğal gaz ısıtmal ramözün (DGIR) kıyaslanması

Yağ ısıtmal ramözlerde, kurutma işleminden çıkan (soğumuş ve nemlenmiş) hava, temiz hava ile karıştırıldıktan sonra, kızgın yağın sirküle edildiği radyatör peteklerinden geçirilmektedir. Bu sistemlerin en büyük avantajı çok yüksek sıcaklıklara kolaylıkla çıkılabilmesinin sağlanmasıdır. Ancak kızgın yağ ısıtmal ramözlere ek olarak bir de kızgın yağ kazanının olması gerekmektedir. Bu nedenle direkt doğal gaz ısıtmal tiplerle karşılaştırma esnasında muhakkak yağ kazanının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

KYIR ile DGIR sistemlerinin doğru bir şekilde kıyaslanabilmesi için, KYIR için de benzer bir kontrol hacmi oluşturulmuştur ve Şekil 8.6'da gösterilmektedir. Buna göre KYIR sistemi; sirkülasyon havası ile temiz havanın karıştırıldığı karışma kısmı, karışım havasının kurutma sıcaklığına kadar kızgın yağ ile ısıtılmasının sağlandığı ısı değiştirici kısmı, fan, kurutma kamaraları ve kızgın yağın ısıtılmasının sağlandığı kızgın yağ kazanından oluşmaktadır. Daha önce yapılan, kızgın yağ ısıtmal ramöz ve taşıma bantlı kurutucunun ekserjetik açıdan

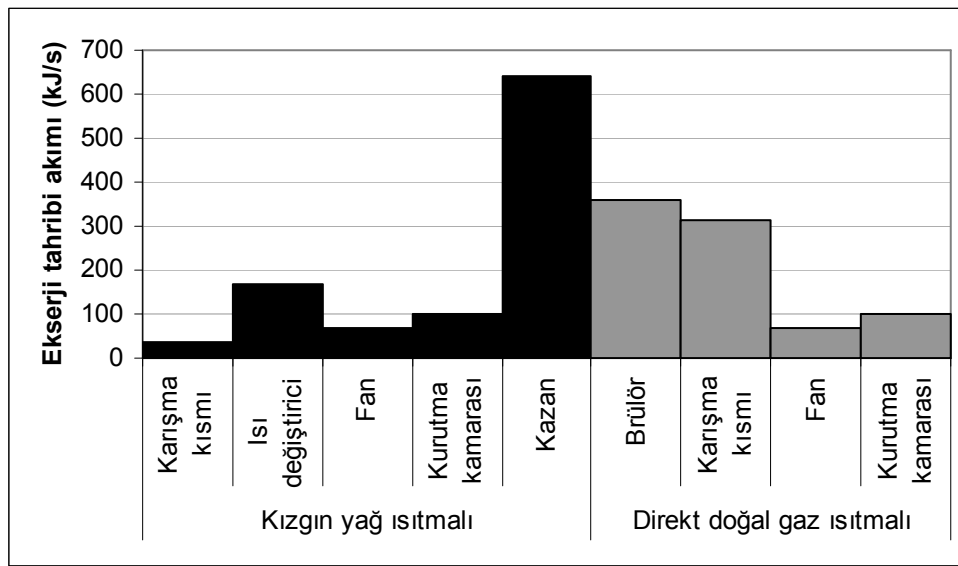
karşılaştırıldığı çalışmada, tek kontrol hacmi karıştırma, ısı değiştirici ve kurutma kısımlarını içine almaktaydı. Bu çalışmada ise, hem daha ayrıntılı veri alabilmek, hem de direkt doğal gaz ısıtmalı ramöz ile kıyaslamada denklik sağlayabilmek için yeni ve detaylı bir kontrol hacmi kullanılmıştır.



Şekil 9.56 KYIR ve DGIR için toplam ekserji tahribi akımının kıyaslanması

Kızgın yağ ısıtmalı sistemde, sadece ramöz kısmı göz önünde bulundurulduğunda, daha düşük sıcaklıklarda hava karıştırma işlemi ve ısı transferi olduğundan, ortaya çıkan ekserji tahribi akımlarının daha düşük olduğu gözlenmektedir. Ancak, sadece ramözü ele almak yanıltıcı olmaktadır. Direkt doğal gaz ısıtmalı ramözde ısıtmak için gerekli enerji direkt olarak sistemin

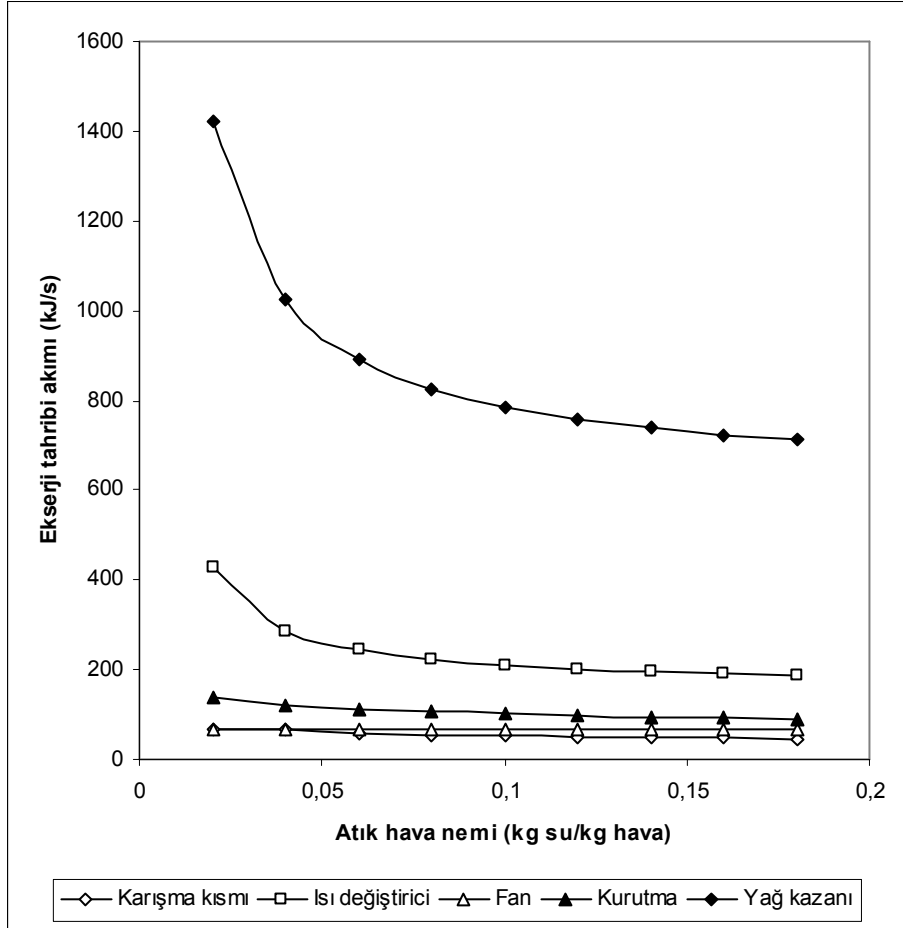
bünyesinde üretilmektedir. O halde tam bir kıyas yapılabilmesi için, kızgın yağ ısıtmalı ramöz için de enerji kaynağının analize dahil edilmesi şarttır. Sonuç olarak, Şekil 9.57’de görüldüğü üzere, kızgın yağ kazanında ortaya çıkan ekserji tahribi akımı çok yüksek olmakta ve dolayısıyla kurutma işlemi için mevcut toplam ekserji tahribi akımı, direkt ısıtmalı ramözden daha yüksek olmaktadır (Not: Kızgın yağ kazanının analizinde, sadece 1 ramözün ısıtılmasında kullanılan kızgın yağ için ortaya çıkan ekserji tahribi akımı bu analize dahil edilmiştir).



Şekil 9.57 0,1 kg_{su}/kg_{hava} atık hava neminde KYIR ve DGIR için her bir bileşende ortaya çıkan ekserji tahribi akımı

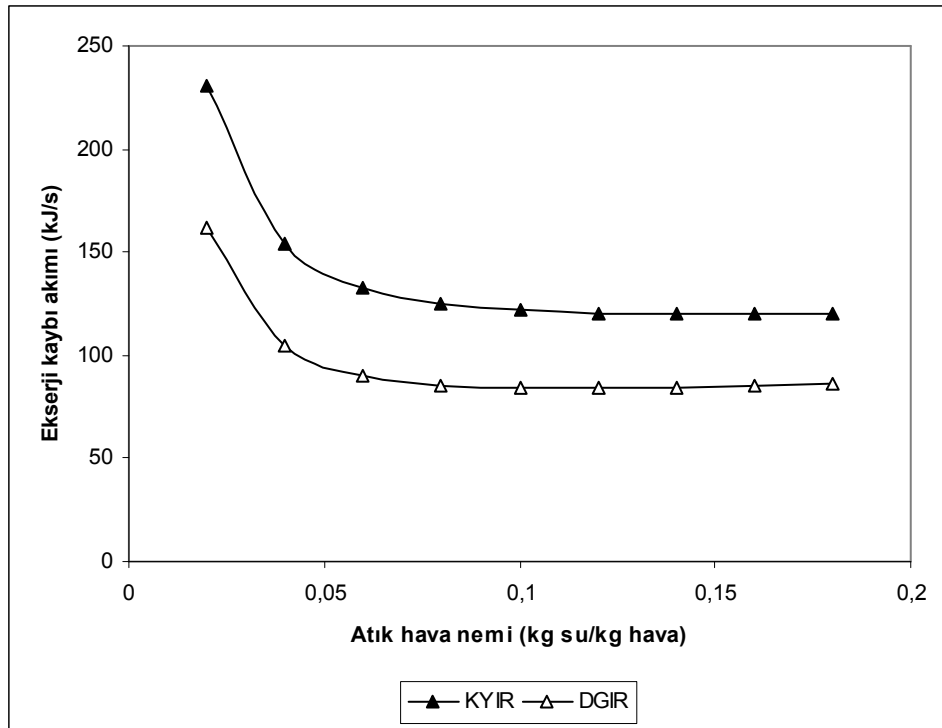
Şekil 9.57’de görüldüğü üzere, her iki sistemde de, materyal ve kurutma şartları benzer olduğundan fan ve kurutma kısımlarında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Kızgın yağ ısıtmalı ramöz sisteminde en büyük ekserji tahribi akımı kaynağı yağ kazanıdır. Çünkü burada hem yanma reaksiyonu hem de sonlu sıcaklıkta ısı transferi (yanma ürünleri ile ısı transfer yağı arasında) sonucu

büyük tersinmezlikler ortaya çıkmaktadır. KYIR’de karışma kısmındaki ekserji tahribi akımı, DGIR’e nazaran oldukça düşüktür. Çünkü burada yalnızca sirkülasyon havası ile soğuk temiz hava karıştığından, karışım elemanlarının sıcaklık farkı, DGIR’dekine göre daha düşüktür.



Şekil 9.58 KYIR’de her bir bileşende ortaya çıkan ekserji tahribi akımının atık hava nemine göre değişimi

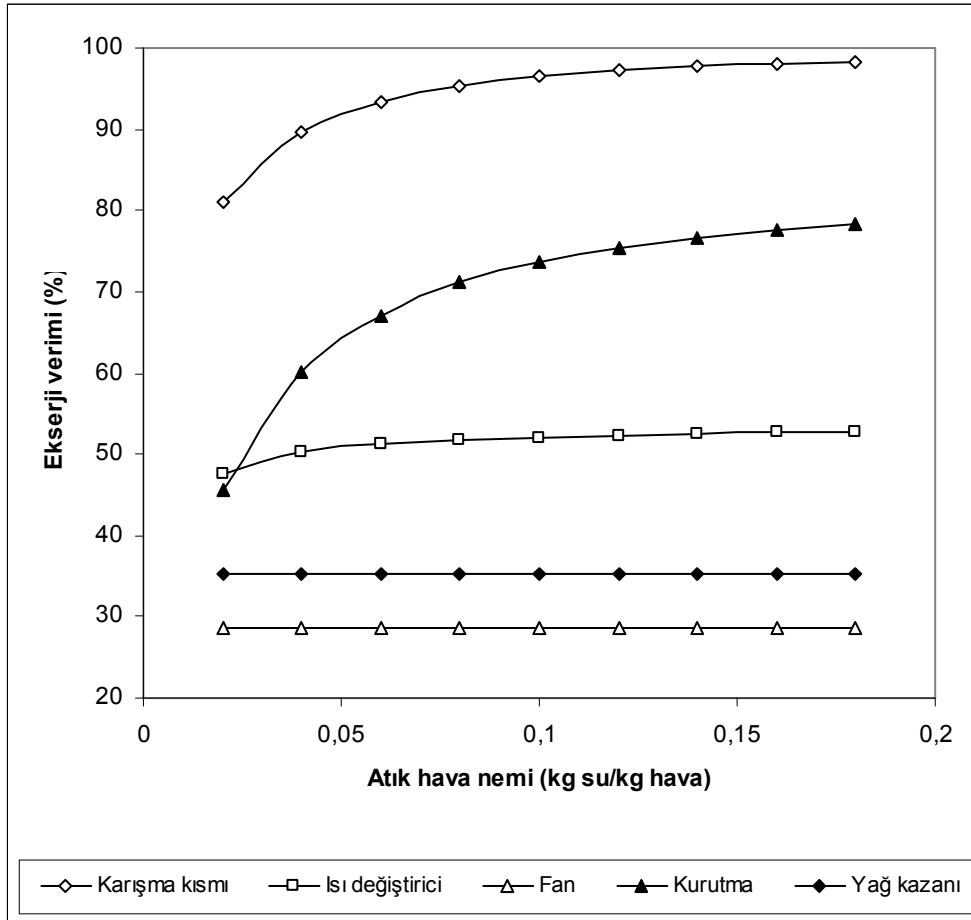
Şekil 9.58’de, atık hava nemine bağlı olarak, KYIR için oluşturulan yeni model bazında her bir bileşende ortaya çıkan ekserji tahribi akımı görülmektedir. En büyük ekserji tahribi akımı kızgın yağ kazanında ortaya çıkmaktadır. Isı değiştirici kısmı da toplam ekserji tahribinin önemli bir kısmını oluşturan diğer bir bileşendir. Atık hava nemi arttıkça, tüketilen yakıt miktarı azaldığından, kızgın yağ kazanındaki ekserji tahribi akımı büyük ölçüde azalmaktadır.



Şekil 9.59 KYIR ve DGIR’de toplam ekserji kaybı akımları

Tersinmezliklerin yanı sıra, sistemden dışarıya gönderilen ve işe dönüştürülmeden atılan ekserji akımlarının da büyük kayıplara neden olduğu daha önce belirtilmişti. Direkt doğal gaz ısıtmalı ramözde bu kayıp akımlar atık

hava nedeniyle ortaya çıkarken, kızgın yağ ısıtmalı ramözde hem atık hava hem de kızgın yağ kazanının bacasından atılan baca gazı kayıplara neden olmakta ve Şekil 9.59’da görüldüğü gibi kızgın yağ ısıtmalı ramözdeki toplam ekserji kaybı akımları yüksek olmaktadır.



Şekil 9.60 KYIR’de her bir bileşen için ekserji verimleri

Kızgın yağ ısıtmalı ramözün her bir bileşeni için (kurutma kamarası hariç) ekserji verimlerinin hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılmıştır (Formüllerdeki numaralandırmalar için bkz. Şekil 8.6). Kurutma kamarasının ekserji verimi Formül (9.6)'ya göre hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_{I,KYIR} = \frac{\dot{E}x_2}{\dot{E}x_1 + \dot{E}x_9} \quad (9.10)$$

$$\varepsilon_{II,KYIR} = \frac{\dot{E}x_3 - \dot{E}x_2}{\dot{E}x_4 - \dot{E}x_5} \quad (9.11)$$

$$\varepsilon_{III,KYIR} = \frac{\dot{E}x_{3'} - \dot{E}x_3}{\dot{W}_{fan}} \quad (9.12)$$

$$\varepsilon_{V,KYIR} = \frac{\dot{E}x_4 - \dot{E}x_5}{\dot{E}x_{10} - (\dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{12})} \quad (9.13)$$

Şekil 9.60'da kızgın yağ ısıtmalı ramözün her bir bileşeni için ekserji verimleri sunulmaktadır. Kızgın yağ kazanının ekserji verimi (Formül 9.13'e göre) % 35,3 olarak hesaplanmıştır. Karışma kısmının ekserji verimi (Formül 9.10'a göre) % 80,4 ile % 98,9 arasında değişmektedir. Isı değiştiricinin ekserji verimi ise atık hava nemine bağlı olarak % 47,6 ile % 52,8 arasında değişmektedir (Formül 9.11). Kumaş özellikleri ve kurutma reçetesi DGIR ile benzer olduğundan fan ve kurutma kısmının ekserji verimi DGIR'deki ile benzerdir.

KYIR için toplam sistem enerji ve ekserji verimi, “yakıt” birimi olarak ramözde kullanılan kızgın yağın enerji/ekserji akımı veya kızgın yağ kazanında tüketilen yakıtın enerji/ekserji akımı alınarak iki şekilde hesaplanmıştır. Buna göre enerji ve ekserji verimleri için bağıntılar aşağıdaki gibidir:

Kızgın yağa göre verim:

$$\eta_{ky} = \frac{\dot{E}_{ev}}{\dot{E}_{ky,g} - \dot{E}_{ky,\zeta}} \quad (9.14)$$

$$\varepsilon_{ky} = \frac{\dot{E}x_{ev}}{\dot{E}x_{ky,g} - \dot{E}x_{ky,\zeta}} \quad (9.15)$$

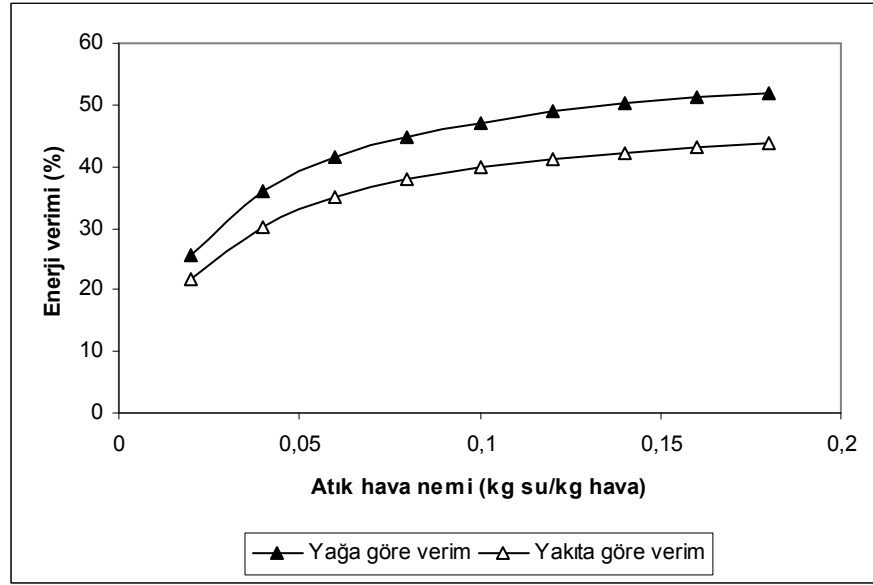
Kızgın yağ kazanında tüketilen yakıta göre verim:

$$\eta_y = \frac{\dot{E}_{ev}}{\dot{E}_y} \quad (9.16)$$

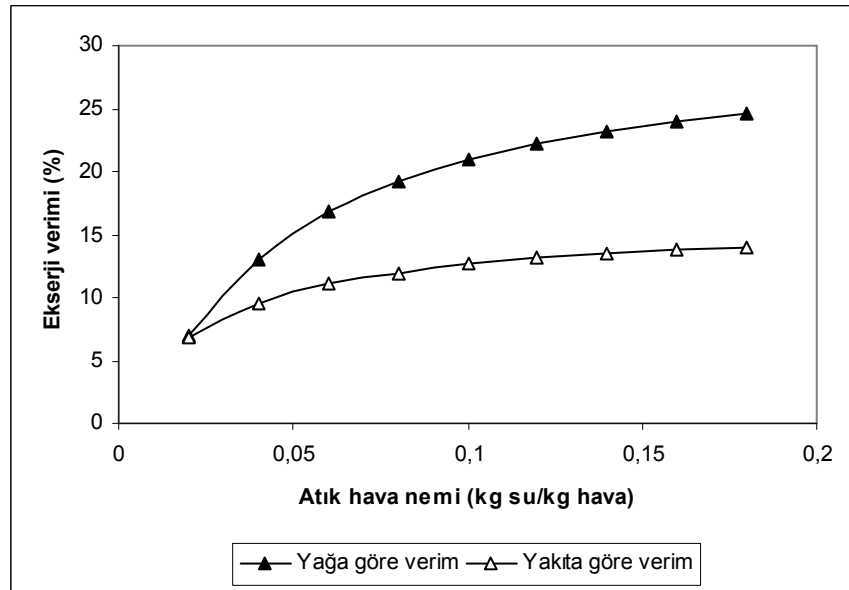
$$\varepsilon_y = \frac{\dot{E}x_{ev}}{\dot{E}x_y} \quad (9.17)$$

Burada ky,g ve ky,ζ alt indisleri sırasıyla giren ve çıkan kızgın yağı, y alt indisleri ise yakıtı ifade etmektedir. Her iki verim hesaplaması da ramözün ısı değerlendirmesinde faydalı olmaktadır ancak yakıta göre hesaplanan verim değeri daha gerçekçidir ve DGIR ile kıyaslamada bu değer kullanılmıştır.

Şekil 9.61 ve 9.62’de sırasıyla KYIR için her iki yönteme göre hesaplanan toplam sistem enerji ve ekserji verimleri gösterilmektedir. Toplam sistem enerji verimleri, atık hava nemine bağlı olarak, kızgın yağa göre ve yakıta göre sırasıyla % 25,6 ile % 52,0 ve % 21,6 ile % 43,9, toplam sistem ekserji verimleri ise sırasıyla % 7,1 ile % 24,6 ve % 6,8 ile % 14,0 arasında değişmektedir.

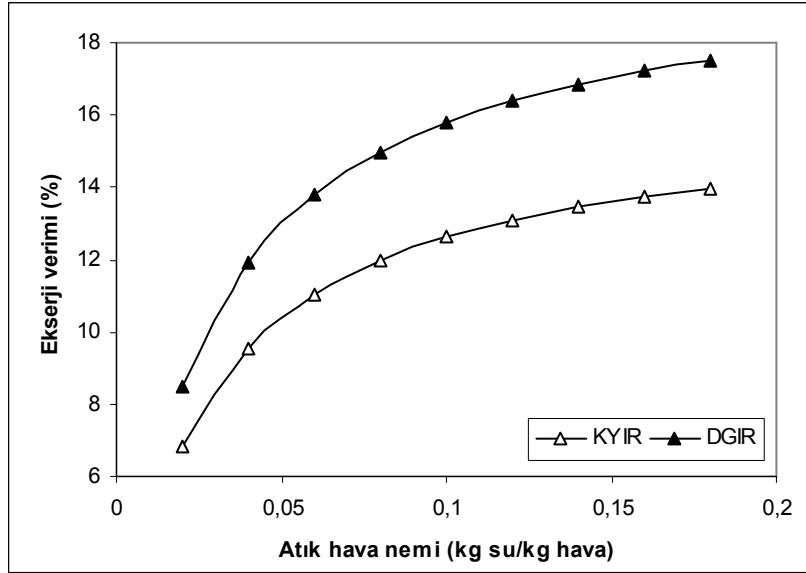


Şekil 9.61 KYIR için toplam sistem enerji verimleri



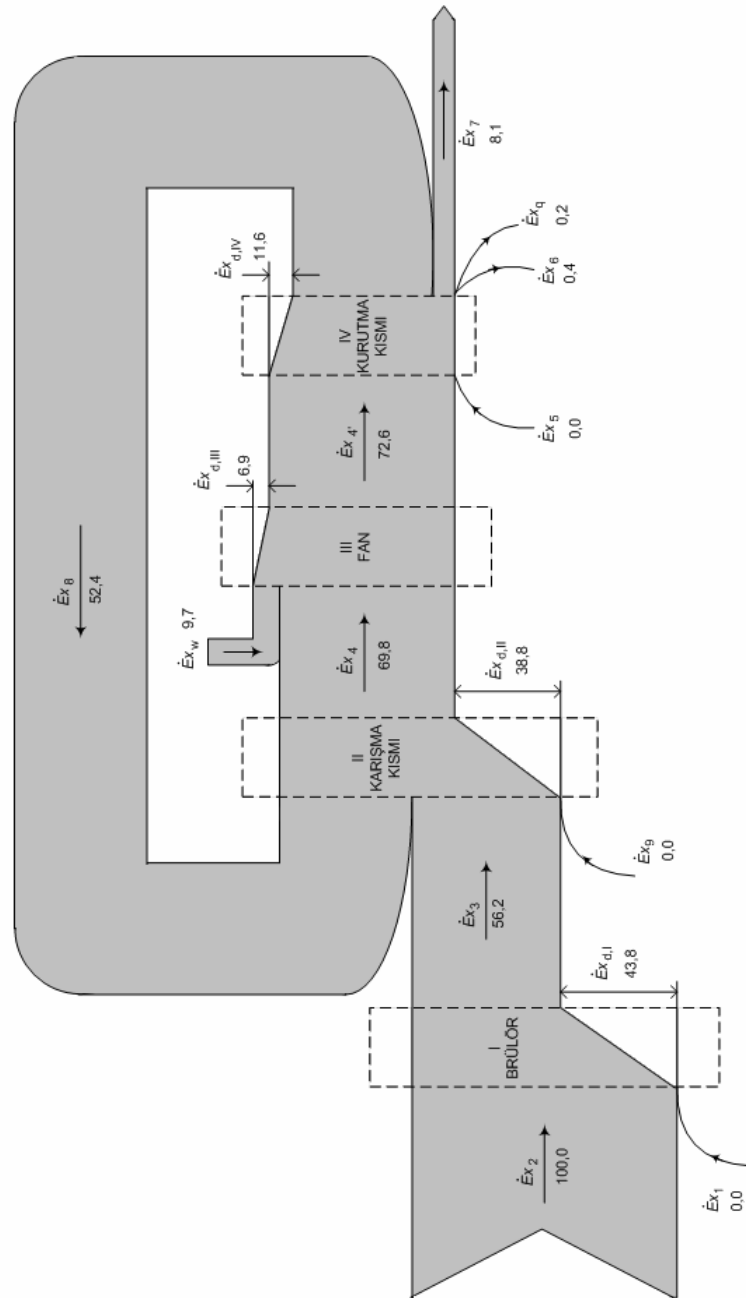
Şekil 9.62 KYIR için toplam sistem enerji verimleri

Şekil 9.63’de KYIR ile DGIR toplam sistem ekserji verimleri karşılaştırılmaktadır. KYIR’ün ekserji verimi daha düşüktür, çünkü burada yakıt ayrı bir kazanda yakılmakta ve yakıt enerjisinin bir kısmı yanma gazlarıyla, kazan yüzeyinden ve boru hattından ısı transferiyle kaybolmaktadır. Ayrıca yakıtın enerjisi indirekt olarak kızgın yağa, ardından kızgın yağın enerjisi yine indirekt olarak kurutma havasına iletilmektedir. DGIR’de ise yakıtın tüm enerjisi yanma gazı olarak sisteme verilmektedir. Şekil 9.63’de görüleceği gibi, atık hava nemi arttıkça verim değerleri artmaktadır, ancak DGIR’deki artış oranı daha yüksek olduğundan iki sistem arasındaki ekserji verim farkı büyümektedir.

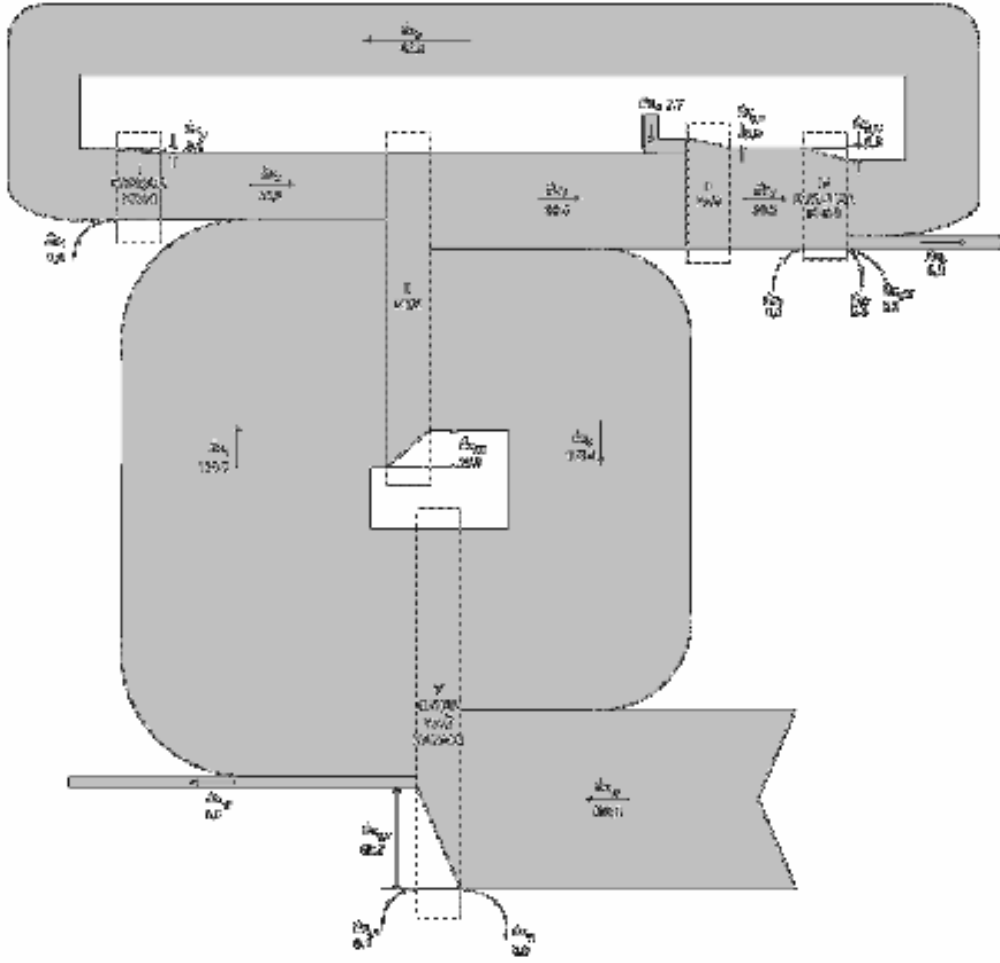


Şekil 9.63 KYIR ile DGIR’ün toplam sistem ekserji verimlerinin karşılaştırılması

Şekil 9.64 ve 9.65’de Model II’ye göre sırasıyla direkt doğal gaz ısıtmalı ve kızgın yağ ısıtmalı ramözler için çizilen Grassman diyagramları verilmektedir.



Şekil 9.64 Direkt doğal gaz ısıtmalı ramöz için ekserji kayıp ve akış (Grassman) diyagramı

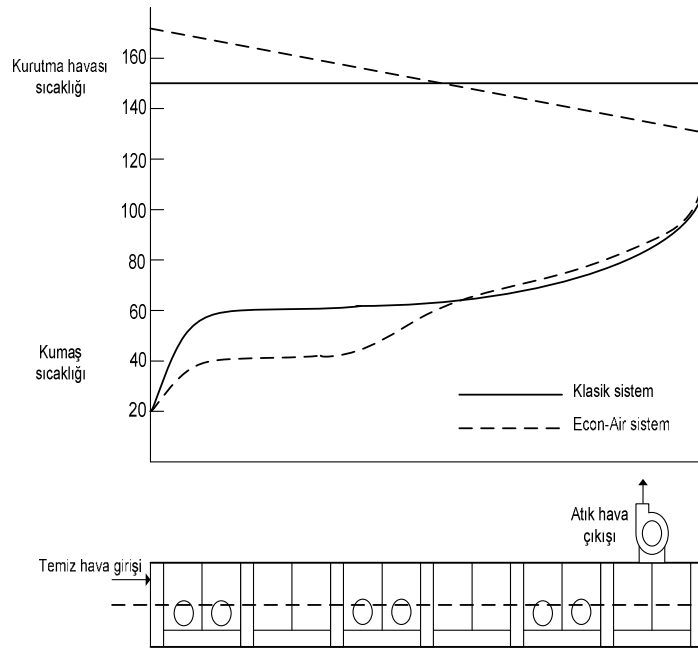


Şekil 9.65 Kızgın yağ ısıtmalı ramöz için ekserji kayıp ve akış (Grassman) diyagramı

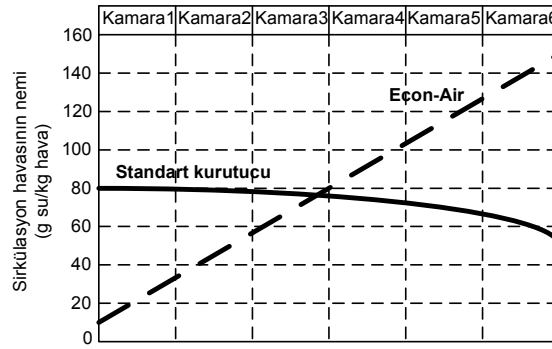
9.2.1.4 Econ-Air sisteminin incelenmesi

Ramözlerde enerji tüketiminin büyük kısmı kurutma havasının kurutma sıcaklığına kadar ısıtılması için tüketilmektedir. Bu nedenle dışarıdan alınan temiz hava miktarı ne kadar düşürülürse, enerji tüketimi ve buna bağlı olarak ta ekserji tahribi akımı da o kadar azalmaktadır. Econ-Air sisteminde ramöze temiz

hava girişı yalnızca ilk kamaradan olmakta, giriş ve çıkışlarda alınan önlemler ve tüm kurutucuda sağlanan iyi bir izolasyon sistemi ile istenmeyen hava girişleri önlenmektedir. Şekil 8.66'da klasik ve Econ-Air sistem kurutucularda kurutma havası ve kumaş sıcaklık değerleri (Çoban, 1991), Şekil 8.67'de ise sirkülasyon havasının nemi görülmektedir. Bu sistemde kurutma havası sürekli bir kamaradan diğerine sirküle edildiğinden, son kamaralara doğru sirkülasyon havasının nemi giderek artmakta, dolayısıyla son kamaradan en düşük sıcaklıkta ve en yüksek nemde atık hava dışarıya gönderilmektedir. Ayrıca bu sistemde kademeli sıcaklık yöntemi uygulanmakta ve ilk kamaralarda kurutma sıcaklığı mümkün derece yüksek tutulmaktadır.



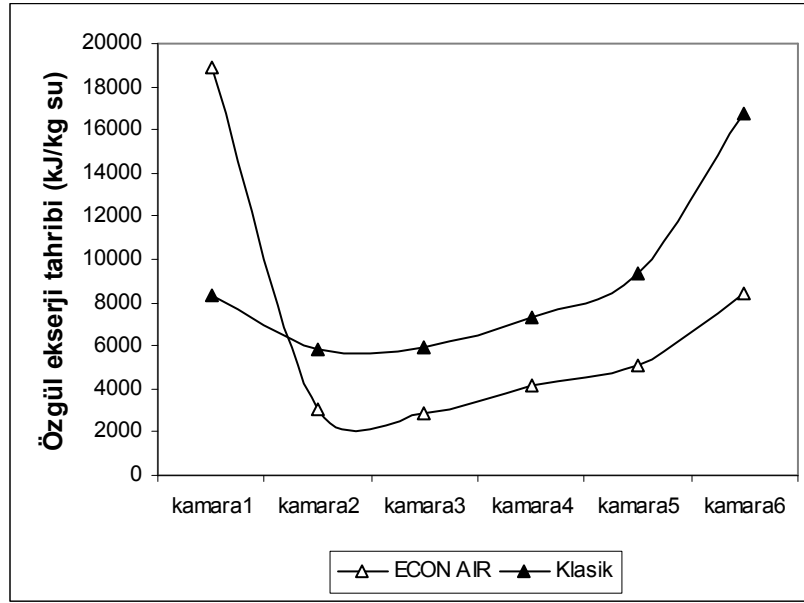
Şekil 9.66 Klasik ve Econ-Air sistem kurutucularda kurutma havası ve kumaş sıcaklık eğrileri



Şekil 9.67 Klasik ve Econ-Air sistem kurutucularda sirkülasyon havasının nemi

Şekil 9.66 ve 9.67'deki veriler göz önüne alınarak Econ-Air sisteminin ekserji analizi teorik olarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 9.68'de klasik ve Econ-Air sistem kurutucularda her bir kamarada ortaya çıkan özgül ekserji tahribi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi Econ-Air sisteminde ilk kamaradaki özgül ekserji tahribi oldukça yüksektir, çünkü bu kamarada fazla miktarda soğuk ve temiz hava yüksek sıcaklıklara kadar sürekli ısıtılmakta ve diğer kamaralara gönderilmektedir. Diğer kamaralarda ise, dışarıdan temiz hava alınmayıp, sadece buharlaşma sonucu soğuyan kurutma havası ısıtıldığından, yakıt tüketimi düşük olmakta ve buna bağlı olarak ta özgül ekserji tahribi bir hayli düşmektedir. Öte yandan Econ-Air sisteminde de, diğer sistemlerde olduğu gibi kurutmanın azalan hız periyodunda ortaya çıkan özgül ekserji tahribi değerleri daha yüksek olmaktadır. Klasik ve Econ-Air sistemlerin toplam sistem özgül ekserji tahribi sırasıyla 53567 kJ/kg su ve 42600 kJ/kg su olarak hesaplanmıştır. Her ne kadar ilk kamarada yüksek özgül ekserji tahribi ortaya çıksa da, toplamda Econ-Air sistemi, klasik sisteme göre çok daha düşük ekserji tahribine neden olmaktadır.



Şekil 9.68 Econ-Air ve klasik ramözlerde ekserji tahribi akımı

9.2.2 Kurutma işlemlerinde eksergoekonomik analiz

Kurutma işlemlerinin eksergoekonomik analizi için Model II'ye göre düzenlenmiş kontrol hacimleri ele alınmıştır. Bu bağlamda direkt doğal gaz ısıtmalı ve kızgın yağ ısıtmalı ramözler için eksergoekonomik analiz yöntemlerinden SPECO ve EXCEM yöntemleri uygulanmıştır.

9.2.2.1 SPECO yöntemine göre eksergoekonomik analiz

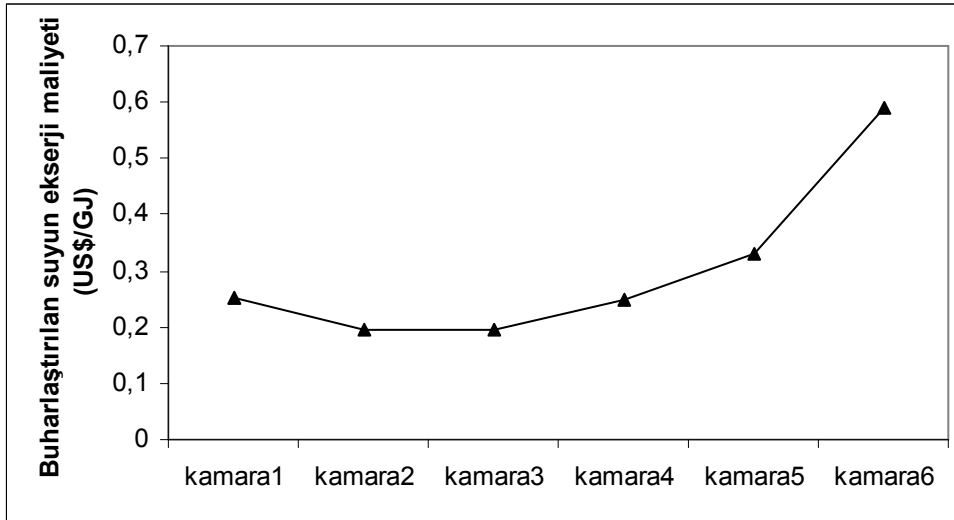
Kurutma işlemlerinde esas olarak ürün, kumaştan buharlaştırılan sudur. Her ne kadar buharlaştırılan bu su atık olarak dışarıya atılsa da, enerjinin büyük kısmı bu işlem için kullanıldığından, bu yöntemde suyun buharlaştırılması için gerekli

ekserji maliyetinin (c_{ev}) hesaplanması için bir model oluşturulmuştur. DGIR ve KYIR için uygulanan eşitlikler sırasıyla Çizelge 8.1 ve 8.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 9.4’de direkt doğal gaz ısıtmalı ve kızgın yağ ısıtmalı kurutma sistemlerinin bileşenlerine göre yatırım maliyeti akımları ($\dot{Z}$) verilmektedir.

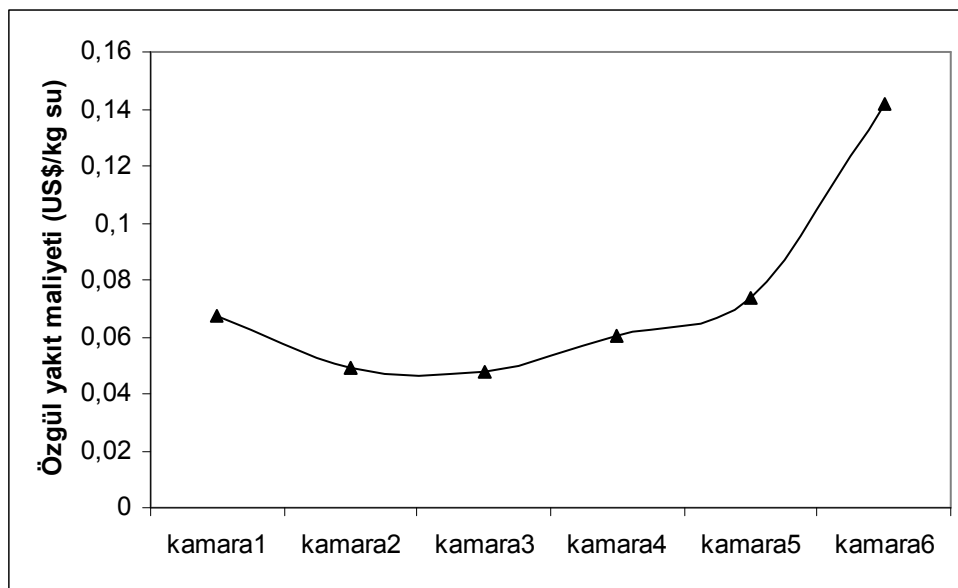
Çizelge 9.4 Ramözlere ait yatırım maliyeti akımları

		$\dot{Z}$ (US\$/s)
DGIR	Brülör	0,0026
	Karışma kısmı	-
	Fanlar	0,0023
	Kurutma kısmı	0,0139
KYIR	Karışma kısmı	-
	Isı değiştirici	0,0032
	Fanlar	0,0023
	Kurutma kısmı	0,0132
	Kızgın yağ kazanı	0,0032



Şekil 9.69 DGIR’de her bir kamarada buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti

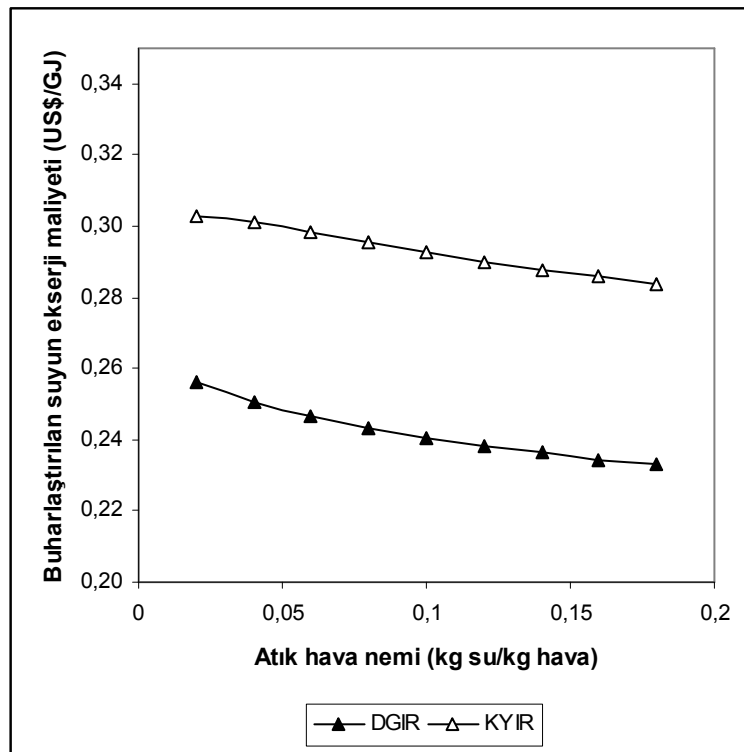
Şekil 9.69’da, Çizelge 9.2’de verilen şartlara göre çalışan bir direkt doğal gaz ısıtmalı ramözün (DGIR) her bir kamarasında buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti, Şekil 9.70’de ise özgül yakıt maliyeti gösterilmektedir. Buharlaşmanın yüksek olduğu kamaralarda buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti düşüktür. Kurutmanın sonuna doğru, kumaştaki su azalacağından işlem çok yavaşlamakta ve zorlaşmaktadır. Bu nedenle son kamaralarda buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti bir hayli yükselmektedir.



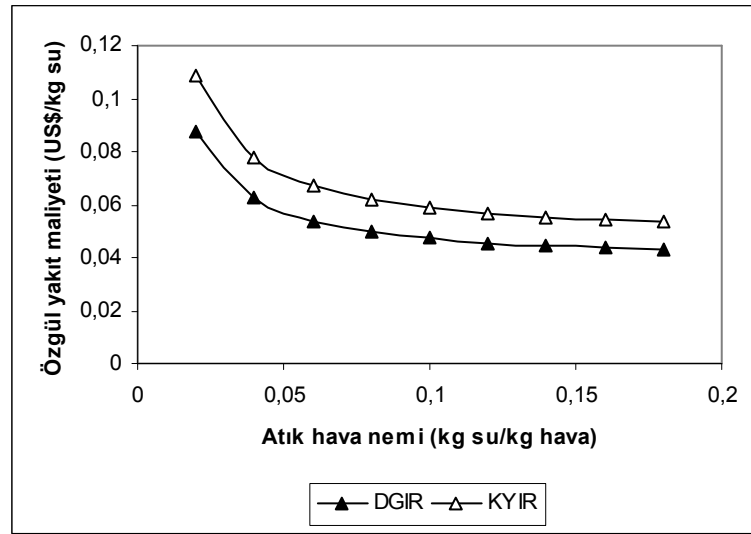
Şekil 9.70 DGIR’de her bir kamarada birim zamanda buharlaştırılan su miktarı için tüketilen yakıtın ekserji ile ilişkilendirilmiş maliyeti (US\$/kg su)

Şekil 9.71’de pamuklu kumaşın kurutulmasıyla buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti, DGIR ve KYIR için atık hava nemine bağlı olarak gösterilmektedir. Buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti DGIR ve KYIR için sırasıyla 0,23 US\$/GJ ile 0,26 US\$/GJ ve 0,25 US\$/GJ ile 0,29 US\$/GJ arasında değişmektedir.

KYIR’de ekserji maliyetleri daha yüksektir, çünkü ek bir yağ kazanı gerektirdiğinden ilk yatırım maliyeti yüksektir. Ekserjiyle ilişkilendirilmiş özgül yakıt maliyeti eğrileri incelendiğinde KYIR’e ait yakıt maliyetinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, ekserji analizinde ayrıntılı bir şekilde anlatıldığı gibi yağ kazanındaki ve kızgın yağın ısıtılması sırasındaki ek kayıplar nedeniyle yakıt miktarındaki artış da ekserji maliyetini artıran diğer önemli faktördür.



Şekil 9.71 DGIR ve KYIR’de buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti

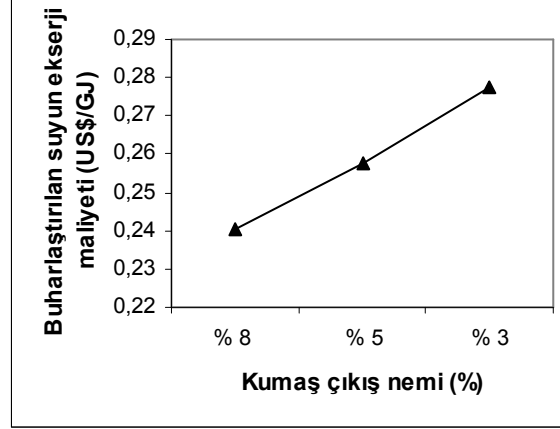


Şekil 9.72 DGIR ve KYIR’de ekserji ile ilişkilendirilmiş özgül yakıt maliyeti

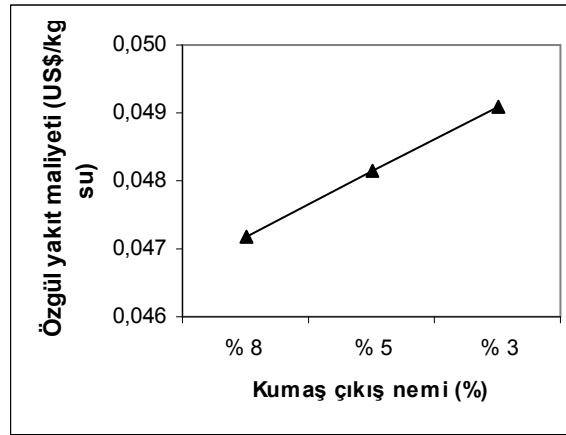
Şekil 9.71 ve 9.72’de görüldüğü gibi, atık hava nemi arttıkça buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti ve ekserji ile ilişkilendirilmiş özgül yakıt maliyeti azalmaktadır. Kızgın yağ ısıtmalı ramözde, çok yüksek atık hava nemi ile çalışılsa dahi, direkt doğal gaz ısıtmalı ramözün ortalama çalışma şartlarında ortaya çıkan ekserji maliyetlerine yaklaşılamamaktadır.

Ekserji analizi sonuçlarında, atık hava nemine bağlı olarak ekserji tahribi akımı ve ekserji veriminin yaklaşık $0,1 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{hava}}$ atık hava neminden daha yüksek değerlerde büyük oranda değişmediği ifade edilmişti. Ancak, ekserji maliyetleri incelendiğinde, atık hava neminin artışı ile birlikte, ekserji maliyetinin de doğrusal olarak azaldığı görülmektedir. Bu durum, ramözlerde mümkün mertebe en yüksek atık hava nemi değerlerinde çalışmanın önemini vurgulamaktadır.

Şekil 9.73 ve 9.74’de kumaş çıkış neminin, sırasıyla buharlaştırılan suyun ekserji maliyetine ve ekserji ile ilişkilendirilmiş özgül yakıt maliyetine etkisi görülmektedir.



Şekil 9.73 Kumaş çıkış neminin buharlaştırılan suyun ekserji maliyetine etkisi



Şekil 9.74 Kumaş çıkış neminin ekserji ile ilişkilendirilmiş yakıt maliyetine etkisi

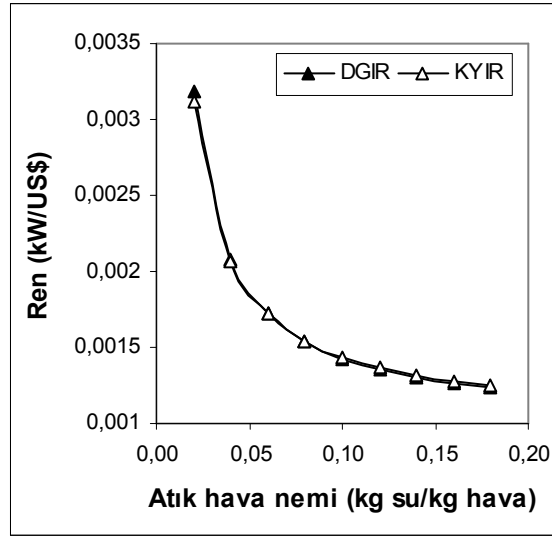
Kumaş çıkış nemi düştükçe, yani aşırı kurutma ilerledikçe, kurutma hızı yavaşlamakta ve dolayısıyla kurutma için harcanan ekserji akımı artmaktadır. Özellikle aşırı kurutmanın gerçekleştiği son kamaralarda suyu buharlaştırmak için gerekli enerji bir hayli yüksektir. Bu nedenle kumaş çıkış nemi düştükçe, yakıt maliyeti ve buna bağlı olarak da buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti artmaktadır.

9.2.2.2 EXCEM yöntemine göre eksergoekonomik analiz

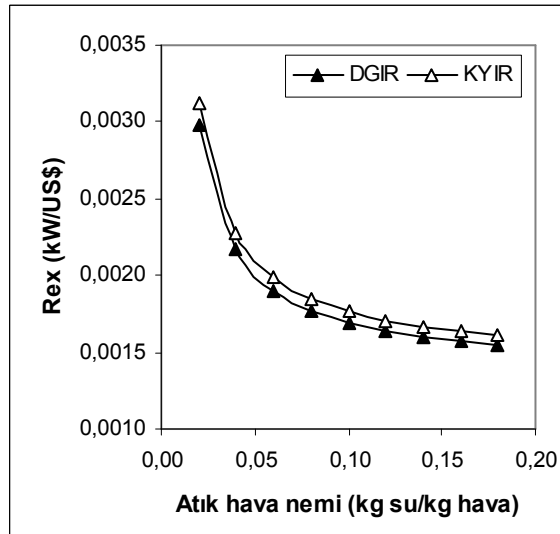
EXCEM yöntemi kullanılarak direkt doğal gaz ısıtmalı ve kızgın yağ ısıtmalı ramözlerdeki ekonomik kayıplar incelenmiştir. Enerji kaybı akımlarına bağlı R_{en} değerleri (Eşitlik 6.9'a göre) incelendiğinde, her iki ramöz tipi için de aynı olduğu söylenebilmektedir (Şekil 9.75). Fark ancak ekserji kaybı ve tahribi akımlarına bağlı R_{ex} değerleri (Eşitlik 6.10'a göre) incelendiğinde ortaya çıkmaktadır.

Şekil 9.76'ya göre kızgın yağ ısıtmalı ramözdeki ekonomik kayıplar daha fazladır. Diğer yandan, atık hava neminin artması ile birlikte R_{ex} değerlerinin azaldığı, yani daha az ekonomik kayıp oluştuğu görülmektedir.

Direkt doğal gaz ısıtmalı ve kızgın yağ ısıtmalı ramözler için R_{ex} değerleri atık hava nemine bağlı olarak sırasıyla 0,0015 kW/US\$ ile 0,0030 kW/US\$ ve 0,0016 kW/US\$ ile 0,0031 kW/US\$ değerleri arasında değişmektedir.

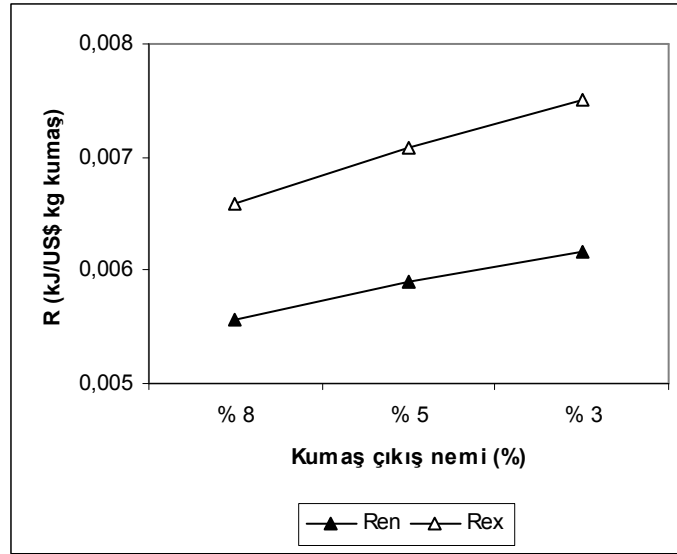


Şekil 9.75 DGIR ve KYIR için R_{en} değerinin atık hava nemi ile değişimi



Şekil 9.76 DGIR ve KYIR için R_{ex} değerinin atık hava nemi ile değişimi

Şekil 9.77’da, termodinamik kayıpların maliyete oranının kumaş çıkış nemine göre değişimi verilmektedir. Burada kumaş geçiş hızı değiştiğinden, anlamlı sonuçların ortaya konabilmesi için birim zamanda geçen kumaş miktarı için oluşan termodinamik kayıp akımlarının sermayeye oranı kullanılmıştır. Şekilden kumaş çıkış nemi azaldıkça, özgül ekonomik kayıpların arttığı açıkça görülmektedir.



Şekil 9.77 Termodinamik kayıpların sermayeye oranının (R_{en} ve R_{ex}) kumaş çıkış nemi ile değişimi

10.SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında, tekstil terbiye işletmelerinde en çok enerji tüketen çektirme yöntemine göre aplikasyon ve kurutma işlemleri için literatürde ilk kez ekserji ve eksergoekonomik analiz yöntemleri uygulanmıştır.

Çektirme yöntemine göre aplikasyon işlemlerinde, işlem süresi ve sıcaklığı, flotte oranı, carry-over oranı ve sıcaklığı, su giriş sıcaklığı gibi ekserji tüketimi ve tahribini etkileyen başlıca parametreler incelenmiştir.

İşlem süresi ve sıcaklığı arttıkça özgül ekserji tahribi ve tüketimi artmaktadır. Ancak işlem süresinin etkisi özgül ekserji tahribi açısından önemsizdir, çünkü işlem süresi boyunca buhar sadece flottenin soğumasını engellemek için kullanıldığından özgül ekserji tahribi az olmakta, tahribin neredeyse tamamı flottenin ısıtılması sırasında ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan, işlem süresi boyunca elektrik enerjisi kullanıldığından, toplam özgül ekserji tüketimi işlem süresinden de etkilenmektedir.

Flotte oranı, carry-over oranı ve sıcaklığı arttıkça özgül ekserji tahribi azalmaktadır. Diğer yandan carry-over oranının artması, mevcut adımdaki özgül ekserji tahribinin azalmasına neden olsa da, özellikle yıkama işlemlerinde yıkama adımı sayısını artırdığından, toplamda özgül ekserji tahribi bir hayli artmaktadır.

Tekstil boyahanelerinde, bir sıvı/sıvı ısı geri kazanım sistemi kullanılarak atık sıcak flotteyle temiz suyun ön ısıtmasının yapılması, çektirme yönteminde ortaya çıkan özgül ekserji tahribini büyük ölçüde azaltmaktadır.

Çektirme yöntemi parametreleri incelendikten sonra pamuk ve poliester kumaşların çektirme yöntemine göre terbiye işlemleri, gerçek işletme verileri esas alınarak incelenmiştir. Pamuk terbiyesinde en yüksek özgül ekserji tahribi ağartma ve özellikle de reaktif boyama sonrasında yapılan yıkama işlemleri ile ortaya çıkmaktadır ve yıkama adımları toplam özgül ekserji tahribinin yarısından fazlasını tek başına oluşturmaktadırlar. Poliester boyamada ise boyama adımı en yüksek özgül ekserji tahribini ortaya çıkarmaktadır.

Tekstil boyahanelerinde atık su ile özgül ekserji kaybı oldukça yüksektir ve işlem sıcaklığı yükseldikçe özgül ekserji kaybı da artmaktadır. Atık suyun ısı enerjisinin geri kazanılması özgül ekserji kaybını önlemektedir; ancak, tüm atık suların karıştırılması sırasında, sıcak ve soğuk akımlar birleştirildiğinden büyük bir ekserji tahribi ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan, sadece sıcak atık suların birleştirilmesi durumunda ısı geri kazanım sistemine gelen atık suyun özgül ekserjisi artmakta ve özgül ekserji tahribi büyük oranda azalmaktadır.

Çektirme yönteminde, işlem sıcaklığı ve flotte oranı arttıkça, sistemde ortaya çıkan özgül ekserji tahribi ve sistemden dışarıya atılan atık su özgül ekserjisi arttığından, ekonomik kayıplar artmaktadır. EXCEM yöntemine göre yapılan eksergoekonomik analiz sonucunda jet boyama makinesinde R_{ex} değerlerinin işlem sıcaklığına bağlı olarak 0,0023 kJ/kgUS\$ ile 0,0184 kJ/kgUS\$ arasında değiştiği belirlenmiştir.

Kurutma işlemlerinin ekserji analizi için iki ayrı model geliştirilmiştir. Model I, kullanımı daha kolay ve çabuk sonuç veren daha basit bir modeldir . Model II’de ise ramöz içerisindeki her bir kısım ayrıntılı olarak incelenmekte ve kıyaslamalı olarak değerlendirilmektedir. Ancak her iki model de kurutucu performanslarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılması açısından yeterli sonuçlar sağlamaktadır.

Model I kullanılarak kızgın yağ ısıtmalı kurutucuların ekserji analizi yapılmış, ramöz ve taşıma bantlı kurutucu sistemleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu kurutucuların ekserji verimi ve ekserji tahribi akımı değerleri birbirine yakındır. Model I’e göre ramöz ve taşıma bantlı kurutucunun ekserji verimleri atık hava nemine bağlı olarak sırasıyla % 3,9 ile % 18,9 ve % 6,4 ile % 17,9 arasında değişmektedir. Ancak ramözde daha fazla yüksek debili kurutma havası kullanıldığından, atık hava ile kaybolan ekserji akımı daha yüksektir. Ekserji kaybının azaltılması için özellikle ramözün birinci bacasının atık hava neminin ayarlanması gerekmektedir.

Farklı mevsimlerde işletmelerin ortam sıcaklığı değişeceğinden, bu değişimlerin kurutucuların ekserji verimlerine ne denli yansıyacağını görmek amacıyla farklı referans hal sıcaklıkları için hesaplamalar yapılmıştır. Referans hal sıcaklığının artması ile ekserji verimi doğrusal olarak artmakta ve ekserji tahribi akımında da doğrusal bir azalma görülmektedir.

Model II kullanılarak direkt doğal gaz ısıtmalı ramöz (DGIR) ve kızgın yağ ısıtmalı ramözün (KYIR) ekserjetik modellemesi gerçekleştirilmiştir.

Model IIa'da DGIR'ler; brülör, karışma kısmı, fan ve kurutma kısmı olmak üzere dört kısımda incelenmektedir. İlk olarak işletme şartlarındaki veriler esas alınarak ramözün her bir kamarası ayrı ayrı incelenmiştir. Ramözün ilk kamaralarında, kurutma sabit-hız periyodunda olduğundan buharlaştırılan birim su miktarı için tüketilen özgül enerji ve tahrip edilen özgül ekserji daha düşüktür. Son kamaralara doğru gidildikçe, sırasıyla birinci ve ikinci azalan hız periyotları gerçekleşmeye başlayacağından buharlaştırılan birim su miktarı başına özgül ekserji tahribi giderek artmakta, son kamarada en yüksek değerine ulaşmaktadır.

Tersinmezlikler bileşen bazında incelendiğinde, en yüksek ekserji tahribi akımının brülörde ortaya çıktığı, bunu karışma kısmının takip ettiği ortaya konmuştur. Brülördeki tersinmezlikler kimyasal reaksiyonlar nedeniyle, karışma kısmında ise gazların karışması nedeniyle oluşmaktadır. Özellikle karışma kısmında, yüksek sıcaklıktaki yanma gazları ve düşük sıcaklıktaki kurutma havası ile ortam sıcaklığındaki temiz hava karıştığından tersinmezlikler bir hayli yüksek olmaktadır.

DGIR'ün her bir kamarası için kurutma kısmının ekserji verimleri sırasıyla % 57,3, % 79,5, % 82,1, % 64,8, % 52,5 ve % 28,6 olarak hesaplanmıştır. Toplam sistem ekserji verimleri ise her bir kamarası için ise, sırasıyla, % 10,9, % 14,9, % 15,3, % 12,2, % 9,8 ve % 5,3'tür.

Atık hava nemi arttıkça, ısıtılacak temiz hava miktarı azaldığından, kullanılan yakıt miktarı azalmakta, buna bağlı olarak brülördeki tersinmezlikler azalmaktadır. Diğer bileşenlerde de atık hava neminin artması ile birlikte ekserji tahribi akımı azalmaktadır.

Atık hava nemi arttıkça, tersinmezlikler azaldığından ekserji verimi yükselmektedir. Buna göre brülör, karışma kısmı, fan ve kurutma kısmı için ekserji verimleri atık hava nemine bağlı olarak sırasıyla % 56,2, % 25,5 ile % 25,6, % 47,0 ile % 87,7 ve % 45,6 ile % 78,3 olarak hesaplanmıştır. DGIR'ün toplam sistem enerji ve ekserji verimi ise atık hava nemine bağlı olarak sırasıyla % 27,9 ile % 57,1 ve % 8,5 ile % 17,5 arasında değişmektedir.

Kumaş çıkış nemi düştükçe, aşırı kurutma nedeniyle son kamaralarda birim zamanda buharlaştırılan su miktarı için gerçekleşen özgül ekserji tahribi arttığından, toplam özgül ekserji tahribi yüksek, ekserji verimi de düşük olmaktadır. Kumaş çıkış nemi % 8'den % 5'e ve % 3'e düşürüldüğünde sistemdeki özgül ekserji tahribinin sırasıyla % 7,7 ve % 14.1 arttığı ortaya konmuştur.

Kurutma havasının sıcaklığının artması ile ekserji veriminde artışın sağlandığı görülmüştür. Ancak en verimli çalışma şeklinin ilk kamaralarda mümkün derece yüksek sıcaklıkta çalışılması ve daha sonraki bölmelerde de kademeli olarak sıcaklığın düşürülmesi ile sağlanacağı ispatlanmıştır. Bu sayede hem sabit hız, hem de ikinci azalan hız periyodunun ekserji verimi artmaktadır.

DGIR ile KYIR'ün kıyaslanabilmesi için Model II KYIR için modifiye edilmiştir. Model IIB'ye göre KYIR; karışma kısmı, ısı değiştirici, fan, kurutma kısmı ve kızgın yağ kazanı olmak üzere 5 kısımda incelenmiştir.

KYIR’de en yüksek ekserji tahribi akımı kızgın yağ kazanında ortaya çıkmaktadır. Isı değiştirici kısmı da toplam ekserji tahribi akımının önemli bir kısmını oluşturan diğer bir bileşendir.

DGIR’de sistemden dışarıya gönderilen ve işe dönüştürülmeden atılan ekserji akımları sadece atık hava nedeniyle ortaya çıkarken, KYIR’de hem atık hava hem de kızgın yağ kazanının bacasından atılan baca gazı kayıplara neden olmakta ve bu bağlamda toplam ekserji kaybı akımları yüksek olmaktadır.

KYIR’de, kızgın yağ kazanının ekserji verimi % 35,3 olarak hesaplanmıştır. Karışma kısmının ve ısı değiştiricinin ekserji verimleri sırasıyla % 80,4 ile % 98,9 ve % 47,6 ile % 52,8 arasında değişmektedir. Kumaş özellikleri ve kurutma reçetesi DGIR ile aynı olduğundan, fan ve kurutma kısmının ekserji verimi DGIR’deki ile aynıdır.

KYIR’ün toplam sistem enerji ve ekserji verimleri atık hava nemine bağlı olarak sırasıyla % 21,6 ile % 43,9 ve % 6,8 ile % 14,0’dır ve DGIR’den daha düşüktür.

Temiz hava girişinin yalnızca ilk kamaradan sağlandığı Econ-Air sistemine yönelik teorik bir analiz gerçekleştirilmiş ve bu yöntemde ortaya çıkan ekserji tahribi akımının klasik yöntemle göre daha düşük olduğu ortaya konmuştur.

Kurutma işlemlerinin eksergoekonomik analizi hem SPECO hem de EXCEM yöntemine göre gerçekleştirilmiştir.

Ramözde, sabit hız periyodundaki buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti, azalan-hız periyoduna göre birim su miktarı için daha düşüktür. Aşırı kurutma yapılması halinde son kamaralardaki maliyet daha da artmaktadır.

Buharlaştırılan suyun ekserji maliyeti DGIR ve KYIR için sırasıyla 0,23 US\$/GJ ile 0,26 US\$/GJ ve 0,25 US\$/GJ ile 0,29 US\$/GJ arasında değişmektedir. KYIR’de ekserji maliyetleri daha yüksektir, çünkü ek bir yağ kazanı gerektirdiğinden ilk yatırım maliyeti yüksektir ve ayrıca yağ kazanındaki ve kızgın yağın ısıtılması sırasındaki ek kayıplar nedeniyle yakıt miktarındaki artış da ekserji maliyetini artıran diğer önemli faktördür.

DGIR ve KYIR için R_{ex} değerleri atık hava nemine bağlı olarak sırasıyla 0,0015 kW/US\$ ile 0,0030 kW/US\$ ve 0,0016 kW/US\$ ile 0,0031 kW/US\$ değerleri arasında değişmektedir.

Termodinamik teknikler, ısı sistemlerdeki termodinamik verimsizliklerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve azaltılması açısından etkin bir araç görevi görmektedir. Sonuçların, araştırmacılara, bu konuda ve tekstil sektöründe çalışan mühendislere mevcut işletme şartlarının performanslarının değerlendirilmesinde ve iyileştirme çalışmalarında faydalı olacağı ümit edilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abele H., Stegmaier T., Planck H.**, 2005, “Energieeinsparung und Reduzierung der Trocknerlänge bei IR- und Konvektionstrocknern”, *Melliand Textilberichte*, Vol. 5, 348 - 353 p.
- Akgün F.**, 2008, “Enerji stratejisi ve teknolojik Ar-Ge”, *ENKÜS 2007 İTÜ Enerji Çalıştayı Sergisi, İTÜ Enerji Enstitüsü Yayınları, İstanbul, Turkey*.
- Akpınar E.**, 2004, “Energy and exergy analyses of drying of red pepper slices in a convective type dryer”, *Internatinal Comm. Heat Mass Transfer*, Vol. 31, No. 8, 1165 – 1176 p.
- Akpınar E., Midilli A., Bicer Y.**, 2005, “Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 46, 2530 – 2552 p.
- Akpınar E., Midilli A., Bicer Y.**, 2006, “The first and second law analyses of thermodynamic of pumpkin drying process”, *Journal of Food Engineering*, Vol. 72, 320 – 331 p.
- 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*, Vol. 25, 1315 – 1332 p.
- Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M.**, 1996, “Thermal Design and Optimization”, *John Wiley and Sons Inc., U.S.A.*

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bejan A.**, 2002, “Fundamentals of exergy analysis, entropy generation minimization, and the generaion of flow architecture”, *International Journal of Energy research*, Vol. 26, 545 – 565 p.
- Berghel J., Brunzell L., Bengtsson P.**, 2004, “Performance analysis of a tumble dryer”, *Proceedings of the 14th International Drying Symposium, Sao Paulo, Brazil*, Vol. B, 821 – 827 p.
- Blackburn RS, Burkinshaw SM.**, 2002, “A greener approach to cotton dyeings with excellent wash fastness”, *Green Chemistry*, Vol. 4, 47-52 p.
- Brenner E., Brenner T., Scholl M.**, 1993, “Saving water and energy in bleaching tubular knits”, *American Dyestuff Reporter*, March, 76 – 82 p.
- Buyruk B.H.**, 2008, “Dünya ve Türkiye’de enerji verimliliğine bakışımız”, *ENKÜS 2007 İTÜ Enerji Çalıştay Sergisi, İTÜ Enerji Enstitüsü Yayınları, İstanbul*.
- Carr W.W., Tincher W.C.**, 1983, “Energy measurements on a continuous carpet dyeing range”, *Textile Research Journal*, 219 – 224 p.
- Ceylan İ., Aktaş M., Doğan H.**, 2007, “Energy and exergy analysis of timber dryer assisted heat pump”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, 216 – 222 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çoban S.**, 1991, “Konveksiyon kurutmanın esasları ve ramözlerde sağlanan yeni gelişmeler”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, Sayı 2, 133-141 s.
- Çoban S.**, 1999, “Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri”, Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir.
- Çolpan C.Ö.**, 2005, “Exergy analysis of combined cycle cogeneration systems”, *Master of Science Thesis, METU, Ankara, Turkey*.
- Dincer İ., Cengel Y.A.**, 2001, “Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering”, *Entropy*, Vol. 3, 116-149 p.
- Dincer I.**, 2002, “On energetic, exergetic and environmental aspects of drying systems”, *International Journal of Energy Research*, Vol. 26, 717 – 727 p.
- Dincer I., Sahin A.Z.**, 2004, “A new model for thermodynamic analysis of a drying process”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 47, 645 – 652 p.
- DPT**, 2007, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, “Dokuzuncu Kalkınma Planı, Tekstil Deri ve Giyim Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, Yayın no: DPT-2715
- EİE**, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 1997, “Sanayide enerji yönetimi esasları”, Cilt II.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Haghi A.K., 2003, “Thermal analysis of drying process – A theoretical approach”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 74, 827 – 842 p.

Haghi A.K., 2006, “Transport phenomena in porous media: A review”, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, Vol. 40, No. 1, 14 – 26 p.

Hartmann W., 2004, “Ramöz tipi kurutucularda ısı işlemlerin düzgünlüğü”, *Melliand Türkiye Sayısı*, Vol.02, 71 – 74 s.

Hinderink A.P., Kerkhof F.P.J.M, Lie A.B.K., De Swaan Arons J., Van Der Kooi H.J., 1996, “Exergy Analysisi with a flowsheeting simulator – I. Theory; calculating exergies of material streams”, *Chemical Engineering Science*, Vol. 51, No. 20, 4693 – 4700 p.

Holme I., 2004, “Energy efficiency in wet processing”, *International Dyer*, October, 9 – 11 p.

http://aida.ineris.fr/bref/bref_text/breftext/anglais/bref/BREF_tex_gb55.html
(10.01.2009)

IPPC Integrated Pollution Prevention and Control, 2002, “Reference Document on Best Available Techniques (BAT) for the Textiles Industry”, *European Commission Directorate-General Joint Research Centre*.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kalliala E., Talvenmaa P.,** 2000, “Environmental profile of textile wet processing in Finland”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 8, 143 – 154 p.
- Karaaslan A.,** 2006, “Ramöz atık havasından ısı geri kazanımı”, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İzmir
- Kavak K.,** 2005, “Dünya’da ve Türkiye’de enerji verimliliği ve Türk sanayiinde enerji verimliliğinin incelenmesi”, *DPT*, Yayın No: 2689, 103 – 106 s.
- Keskin, T.,** 2008, “Enerji verimliliğinde politikalar”, 27. *Enerji Verimliliği Haftası*, Ankara.
- Kiran-Ciliz N.,** 2003, “Reduction in resource consumption by process modifications in cotton wet processes”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 11, 481 – 486 p.
- Korucu Y.,** 2005, “Enerji verimliliği kanun tasarısı taslağı”, 24. *Enerji Verimliliği Haftası Etkinlikleri*, Ankara.
- Kotas T.J.,** 1995, “The Exergy Method of Thermal Plant Analysis”, *Krieger Publishing Company*, Malabar, Florida.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kruska M., Meyer J., Elsasser N., Trautmann A., Weber P., Mac T., 2001,** “Rationelle Energienutzung in der Textilindustrie”, *Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH*, Braunschweig/Wiesbaden.
- Kudra T., 2004,** “Energy aspects in drying”, *Drying Technology*, Vol. 22, No. 5, 917 – 932 p.
- Kuzgunkaya E., Hepbasli A., 2007,** “Exergetic evaluation of drying of laurel leaves in a vertical ground-source heat pump drying cabinet”, *International Journal of Energy Research*, Vol. 31, 245 – 258 p.
- Labude J., Schirmer U., 1992,** “Die messung konvektiver wärmeübergangskoeffizienten an spann-, trocken-, und fixiermaschinen”, *Textil Praxis International*, April, 352 – 355 p.
- Lazaretto A., Tsatsaronis G., 2006,** “SPECO: A systematic and general methodology for calculating efficiencies and cost thermal systems”, *Energy*, Vol. 31, 1257 – 1289 p.
- Lewis DM., 1992,** “Wool Dyeing”, *Society of Dyers and Colourists, England*.
- Menshutina N.V., Gordienko M.G., Voynovskiy A.A., Kudra T., 2004,** “Dynamic analysis of drying energy consumption”, *Drying Technology*, Vol. 22, No: 10, 2281 – 2290 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Monforts**, Montex stenters, Heating methods, <http://www.monforts.de/Heating-methods.208.0.html?&L=2.>, (14.12.2008)
- Moran M.J., Tsatsaronis G.**, 2000, “Engineering Thermodynamics”, *CRC Press LLC*.
- Mozes E., Cornelissen R.L., Hirs G.G., Boom R.M.**, 1998, “Exergy analysis of the conventional textile washing process”, *Energy Conversion Management*, Vol. 39, No. 16 – 18, 1835 – 1843 p.
- Narin M., Akdemir S.**, 2006, “Enerji verimliliği ve Türkiye”, *UEK-TEK 2006 Uluslararası Ekonomi Konferansı, Türkiye Ekonomi Kurumu, Ankara*.
- Ohno H., Yoshida F., Morimoto M., Hashimoto I., Takamatus T.**, 1986, “Modelling of a dyeing process and its energy consumption analysis”, *Journal of Textile Machinery Society of Japan*, Vol. 32, No. 1, 11 – 17 p.
- Oktay Z., Hepbasli A.**, 2003, “Performance evaluation of a heat pump assisted opener dryer”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, 1193 – 1207 p.
- Ozgener L., Ozgener O.**, 2006, “Exergy analysis of industrial pasta drying process”, *International Journal of Energy Research*, Vol. 30, 1323 – 1335 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Ozturk H.K., 2005, “Energy usage and cost in textile industry: A case study for Turkey”, *Energy*, Vol. 30, Issue 13, 2424 – 2446 p.

Özgener L., 2005, “Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin ekserjik ve ekonomik analizi”, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, İzmir.

Park S.I., Baik D.H., 1997, “Heat and mass transfer analysis of fabric in the tenter frame”, *Textile Research Journal*, Vol. 67, 311 – 316 p.

Pleva, Pleva GMBH, www.pleva-controls.de, (24.01.09)

Prabhu M.R., Parajia J.S., 1982, “Performance relations and norms for textile contact and convection dyers”, in “*Drying '82*” edited by Majumdar A.S., Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 233 – 238 p.

Ramaswamy S., Cui Y., 1999, “Analyzing convective heat and mass transfer in through-air drying of fabrics”, *Textile Research Journal*, Vol. 69, 776 – 781 p.

Rosen M.A., Dincer I., 2003a, “Exergy-cost-energy-mass analysis of thermal systems and processes”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, 1633 – 1651 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rosen M.A., Dincer I.**, 2003b, “Exergoeconomic analysis of power plants operating on various fuels”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, 643-658 p.
- Rouette H.K.**, 1995, “Lexion für Textilveredlung”, *Laumann Verlag*.
- Schramm W., Jantschgi J.**, 1999, “Comparative assessment of textile dyeing technologies from a preventive environmental protection point of view”, *Journal of Society Dyers and Colourists*, Vol. 115, 130 – 135 p.
- Sertsöz S., Hepbaşlı A., Kendir T.E.**, 2001, “Enerji denkliği (balansı) metodolojisi ve tekstil sektöründe uygulaması”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası II. Çevre ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı*, 245 – 255 s.
- Sieniutycz S.**, 2000, “Thermodynamic optimization for work-assisted heating and drying operations”, *Energy Conversion & Management*, Vol. 41, 2009 – 2039 p.
- Shamey R., Hussein T.**, 2005, “Critical solutions in the dyeing of cotton textile materials”, *Textile Progress*, Vol. 37/1, 1-84 p.
- Shang S., Chong C.**, 2002, “Bleaching and dyeing cotton with a shorter process”, *AATC Review*, April, 31 – 33 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sousa L.H.C.D., Monteiro A.S., Perri V.R., Lima O.C.M., Pereira N.C., Mendes E.S.,** 2004a, “Generalization of the drying curves in convective and conductive/convective textile fabric drying”, *Proceedings of the 14th International Drying Symposium, Sao Paulo, Brazil*, Vol. A, 710 – 717 p.
- Sousa L.H.C.D., Monteiro A.S., Lima O.C.M., Pereira N.C., Mendes E.S.,** 2004b, “Analysis of moisture distribution in convective textile fabric drying”, *Proceedings of the 14th International Drying Symposium, Sao Paulo, Brazil*, Vol. A, 285 – 292 p.
- Sousa L.H.C.D., Lima O.C.M., Pereira N.C.,** 2006, “Analysis of drying kinetics and moisture distribution in convective textile fabric drying”, *Drying Technology*, Vol. 24, 485 – 497 p.
- Strumillo C., Kudra T.,** 1986, “Drying: Principles, Applications and Design”, Institute of Chemical Engineering, Switzerland, 376 – 396 p.
- Syahrul S., Hamdullahpur F., Dincer I.,** 2002, “Exergy analysis of fluidized bed drying of moist particles”, *Exergy, an International Journal*, Vol. 2, 87 – 98 p.
- Szargut J., Morris D.R., Steward F.R.,** 1988, “Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes”, *Hemisphere Publishing Corporation*, New York.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tarakçıoğlu I.**, 1984, Tekstil terbiye işletmelerinde enerji tüketimi ve tasarrufu”, *Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa.*
- Tarakçıoğlu I.**, 2000a, “Tekstil terbiyesinde aplikasyon yöntem ve makineleri”, *E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Yayını, İzmir.*
- Tarakçıoğlu I.**, 2000b, “Tekstil Terbiyesinde Yıkama Yöntemleri ve Makineleri”, *E.Ü. ve Konfeksiyon Araştırma – Uygulama Merkezi Yayını, Yayın No. 4, İzmir.*
- Tarakçıoğlu I.**, 2008, “Organik Pamuk ve Tekstil Sanayii”, *İTO Yayınları, 2008-7, İstanbul.*
- Tarakçıoğlu I., Karaaslan M.A., Cay A.**, 2008, “An experimental study on the heat recovery from the exhaust air of steners with a packed bed column”, *International Journal of Energy Research, Vol. 32, 648 – 654 p.*
- Tsatsaronis G.**, 1996, “Exergoeconomics: Is it only a new name?”, *Chem. Eng. Technol.*, Vo. 19, 163 – 169 p.
- Tsatsaronis G., Moran M.J.**, 1997, “Exergy-aided cost minimization”, *Energy Conversion and Management, Vol. 38, No. 15-17, 1535 – 1542 p.*

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Turna T., 2002, “Entegre tekstil prosesleri için uygun bileşik elektrik ve ısı sistemlerinin belirlenmesi”, *Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E., Doktora Tezi, İstanbul*.

TÜBİTAK TTGV Bilim Teknoloji Sanayi Tartışmaları, 1997, “Enerjinin Etkin Kullanımı ve Enerji Tasarrufu, Çalışma Taslağı”.

UNIDO, 1992, “Output of a seminar on energy conservation in textile industry, Textile Industry”, Handy manual.

Waltz A., Rückert M., 1998, “Industrial through-air drying of nonwoven and paper basic principles and applications”, *Drying Technology*, Vol. 16(6), 1027 – 1045 p.

Wepfer W.J., Gaggioli R.A., Obert E.F., 1979, “Proper evaluation of available energy for HVAC., *ASHRAE Transactions*, Vol. 85(1), 214-230 p.

WEC, World Energy Council, 2001, “A report of the World Energy Council – Pricing energy in developing countries”

WTAD, The Washington Times Advertising Department, 2000, “A special international report – Textile industry still faces barriers in the US market”

Xue L., 2004, “Process optimization of dryers/tenters in the textile industry”, *Master of Science Thesis, Georgia Institute of Technology, USA*.

Zvolinschi A., Johanessen E., Kjelstrup S., 2006, “The second-law optimal operation of a paper drying machine”, *Chemical Engineering Science*, Vol. 61, 3653 – 3662 p.

TEZDEN YAPILAN YAYINLAR

Cay A., Tarakçıoğlu I., Hepbasli A., 2007, “Exergetic performance assessment of a stenter system in a textile finishing mill”, *International Journal of Energy Research*, Vol. 31, 1251-1265 p.

Cay A., Tarakçıoğlu I., Hepbasli A., “A study on the exergetic analysis of continuous textile dryers”, *International Journal of Exergy* (Baskıda).

Cay A., Tarakçıoğlu I., Hepbasli A., “Assessment of finishing processes by exhaustion principle for textile fabrics: An exergetic approach”, *Applied Thermal Engineering* (Baskıda).

ÖZGEÇMİŞ

14.12.1979 tarihinde Amasya’da dünyaya gelen Ahmet ÇAY, ilk, orta ve lise öğrenimini aynı ilde tamamladıktan sonra 1997 yılında Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü’nde yüksek öğretime başlamıştır. 2002 yılında Tekstil Kimyası ve Terbiyesi Opsiyonu’ndan Tekstil Mühendisi unvanıyla mezun olmuştur. 2005 yılında Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2002-2004 yılları arasında TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi’nde uzman yardımcısı olarak görev yapmıştır. 2004 yılından itibaren Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.