



Ram makinesinde kurutma prosesinin enerji verimliliği analizi

Ahmet Erhan AKAN*

Namık Kemal Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Tekirdağ
aeakan@nku.edu.tr ORCID: 0000-0003-1806-7943, Tel: (0282) 250 35 46

Derya Burcu ÖZKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul
tumer@yildiz.edu.tr ORCID: 0000-0002-1049-9437

Geliş: 19.06.2018, Kabul Tarihi: 24.07.2018

Öz

Tekstil sektöründe ram makineleri, kumaşların makine içerisinde enine bir şekilde paletler tarafından tutturulduğu, bir çift yürüyen zincirle kumaşın hareketinin sağlandığı ve bu esnada kumaşa sıcak havanın gönderildiği kurutma makineleridir. Bu çalışmada, 10 kabinli bir ram makinesinin kurutma prosesinde, enerji verimliliğini arttırmak hedeflenerek, gerçek üretim şartlarında deneysel çalışma yapılmıştır. Deneyler üç farklı kurutma havası sıcaklığında (110 – 130 – 150 °C) ve 10 m/d kumaş ilerleme hızında, %95 pamuk + %5 likra içerikli kumaş kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen verilerden yararlanılarak, her kabinde gerçekleşen ısı-kütle transfer katsayıları, buharlaşma miktarı, taşınım yolu ile kumaşa aktarılan enerji hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada; kurutma havası sıcaklığı 110 °C'den 130 °C'ye çıkarıldığında, ısı transfer katsayısı yaklaşık %6 artarken, enerji veriminde %4 azalma, kurutma havası sıcaklığı 130 °C'den 150 °C'ye çıkarıldığında, ısı transfer katsayısı yaklaşık %26 artarken enerji veriminin %5 azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Ramöz, Enerji verimliliği, Isı-kütle transferi, Kuruma davranışı;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

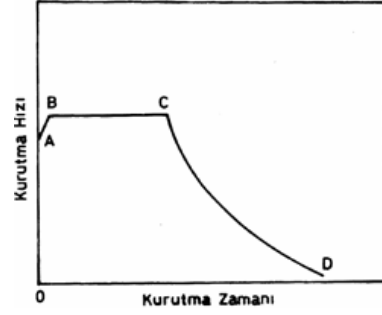
Giriş

Tekstil endüstrisinde minimum enerji tüketimi ile malzemenin kalitesini ve yapısını bozmadan kuruma süresini en aza indirecek kurutma proseslerinin hazırlanması ve bu doğrultuda kurutma metotlarının geliştirilmesi enerjiyi daha verimli kullanan proseslere ulaşılması için büyük önem taşımaktadır (Akyol, 2007).

Tekstil endüstrisinde ürünlerin kurutulması, malzemeden nemin alınış şekline göre ön kurutma ve esas kurutma olarak sınıflandırılmaktadır. Ön kurutma işlemi; mekanik yöntemlerle kurutma olup, ürün üzerindeki nemin istenilen miktarı bu yöntemlerle giderilememektedir (Oğulata vd., 2000). Bu nedenle esas kurutma olarak bilinen ısı enerjisiyle kurutma (konveksiyon kurutma) ön plana çıkmaktadır.

Ürünün kurutulurken yapısına zarar verilmemesi ayrıca istenilen en/boy ayarının yapılabilmesi açısından tekstil endüstrisinde en yaygın kullanılan konveksiyon kurutma makineleri Ramöz de denilen Ram makineleridir. Ram makineleri kumaşların makine içerisinde enine bir şekilde paletler tarafından tutturulduğu, bir çift yürüyen zincirle kumaşın hareketinin sağlandığı ve bu esnada kumaşa sıcak havanın gönderildiği kurutma makineleridir. (Şekkeli vd., 2009).

Şekil 1'de herhangi bir tekstil malzemesinin kurutma işlemi süresince kurutma hızı - kurutma zamanı değişimi şematik olarak gösterilmiştir. Burada AB bölgesi ısınmaya hazırlık kısmı olmakta ve kumaş üzerindeki fazla sıvı nedeniyle kurutma hızı artış göstermektedir. Bu aşamada kurutma havası sıcaklığı, nemi ve hızı kurutma hızını etkileyen parametreler olmaktadır. BC bölgesi ise kurutma havasının özelliklerinin değişimine bağlı olduğu kısımdır. BC bölgesinde kütle transfer olayı ısı transferi ile dengelenmiş bulunmaktadır. Ancak malzemedeki nem miktarı azalmaya başladıkça, kılcal boşluklarda sürtünme direncini artması, iç dokunun yüzeye sıvı transferini güçleştirmekte ve böylece yüzeyin sürekli nemli kalması zorlaşmaktadır.



Şekil 1. Tekstil ürünlerinin kuruma davranışı.

Sabit hızda kurutma devresinin sona erdiği C noktası, kritik nokta olarak ifade edilmekte ve bu noktadan sonra kütle transferinde sürekli bir azalma gözlenmektedir. CD bölgesi azalan kurutma devresi olmakta ve burada tekstil mamülü içerisinde bulunan şişme suyu ve higroskopik nemin mamülün yüzeyine transferi gerçekleşmektedir. Oldukça yavaş bir kurutma hızının elde edildiği azalan kurutma devresinde, mamül yüzeyinde kurulukların oluşması ve yüzey sıcaklığının yüksek değerlere çıkması ile kritik nem değerinin aşılması sonucu higroskopik nem kaybı, üründe yapı ve kalite bozuklukları görülebilmektedir. Özellikle higroskopik nem kaybının geri kazanımının güç olduğu tekstil ürünlerinde, kritik nem değerinin aşılmadığı BC bölgesinde (sabit hızda kurutma evresi) kurutma işleminin yapılması gerekli olmaktadır (Oğulata vd., 2000; Şekkeli vd., 2009; Perry, 1997). Tekstil ürünlerinin kuruma davranışı incelendiğinde, ramözlerde kurutma işlemi gerçekleştirilirken, tekstil malzemesi türüne bağlı olarak ilk kabinlerde kumaşın ısıtılması, orta bölümlerde sıcaklığın sabit tutulması ve son bölümlerde daha düşük sıcaklıklarda çalışılması kurutma verimini arttıracaklarını ortaya koymaktadır.

Literatürde tekstil kurutma işlemlerinin enerji tüketimi açısından incelendiği çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalara göre;

Prabhu ve Parajia (1982), kontakt ve konveksiyon kurutucuların performanslarını karşılaştırmışlardır. Kumaş yüzeyine sıcak hava püskürterek $10-20 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan taşınım ile ısı transfer katsayısının $100-200 \text{ W/m}^2\text{K}$

seviyelerine yükseltilebileceğini, konveksiyon kurutucularında özgül buhar tüketiminin, düze verimliliği ve atık hava miktarından önemli ölçüde etkilendiğini ifade etmişlerdir. Labude ve Schirmer (1992), kurutma ve termofiksaj uygulamalarında ısıtılmalı plaka kullanarak ısı transfer katsayısının ölçülmesi ve buna bağlı olarak en uygun lüle dizisi (düze) geometrisinin belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yuvarlak geometri düze ve yarık düzeleri karşılaştırdıklarında, yuvarlak delikli düzelerden daha yüksek ısı transfer katsayısı elde edildiğini belirtmişlerdir. Watzl ve Rückert (1998), emme taburlu kurutucuların kurutma davranışını incelemişlerdir. Yaptıkları deneye göre, kurutma havasının sıcaklığı ve hızı artırılıp kumaş giriş neminin azaltılması durumunda, kurutma hızının arttığını ifade etmişlerdir. Emme tamburlu kurutucu ile ramözleri enerji açısından karşılaştırdıklarında, enerji kayıplarını emme tamburlu kurutucu için %15, ramözlerde ise %40 seviyelerinde olduğunu belirtmişlerdir. Ramaswamy ve Cui (1999), kurutma havasının kumaş eksenine dik olarak üflendiği durumdaki konveksiyon kurutma işlemini teorik olarak araştırmışlar ve bu durumda ısı-kütle transferi için üç model gerçekleştirmişlerdir. Bu modellerin gerçek işletme verileriyle karşılaştırılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Park ve Baik (1997), Polyester kumaşların ramözlerde kurutulması esnasında sıcaklık ve nem değişimlerinin tahmin edilebileceği bir model geliştirmişlerdir. Bu model aracılığı ile kurutma havasının sıcaklığı ile neminin ve kumaşın kurutucu girişindeki su içeriğinin etkileri tahmin edilebilmektedir. Kurutma işlemi şartlarının optimize edilmesine imkan sağlayan model ile enerji tüketiminin azaltılabileceğine değinilmiştir.

Bu çalışmada, tekstil sektörünün hemen hemen tamamında kullanılan ve enerji sarfiyatı yönünden işletmenin en büyük gider kalemlerinden birini oluşturan ram makinesinde kurutma işleminin enerji verimliliği analizi yapılarak enerjinin daha verimli kullanılması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Deney Düzeneği

DeneySEL çalışma 10 kabinli bir ram makinesinde (Şekil 2), Çorlu'da kurulu bir tekstil üretim fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kumaşlar işletmenin üretim sürecinde kullandığı kumaşlar olup deneylerden alınan sonuçlar gerçek üretim koşullarından elde edilen verilerden oluşmaktadır. Ram makinesinde; her kabinde bir adet 350 kW'lık otomatik kontrollü brülör, dört adet 4 kW'lık çapraz konumlandırılmış otomatik kontrollü fanlar bulunmaktadır. Kabinler 3 m uzunlukta olup kabin hava sıcaklıkları 100-200 °C arasında ayarlanabilmektedir. Hareketli ve açılır kabin kapaklarında 160 mm, Sabit gövde brülör ve fan çevresinde 210 mm kalınlıkta yalıtım malzemesi kullanılmıştır.



Şekil 2. Ram makinesi genel görünümü

Deneylerde Kullanılan Kumaş Özellikleri

Deneyler sırasında kullanılan kumaş %95 Pamuk %5 Likra içerikli, 30/1 Kompakt Süprem örgü yapısında imal edilmiş kumaştır. Kumaşın kuru ağırlığı, standart atmosfer koşullarında (20 °C'de, %65 bağıl nemde) 24 saat etüvde bekletildikten sonra alınan 100 cm²'lik 5 adet numunenin hassas terazi ile ölçümünden elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak 133g/m² olarak belirlenmiştir. Kumaş kalınlığı ise 0,77 mm olarak tespit edilmiştir. Kumaş kurutucuya girmeden önce 1,45 m genişliğindedir. İşletme Ram makinesinden sonra uygulayacağı boya işlemi için kumaşın makine çıkışında genişliğinin 1,92 m olmasını istediğinden, kumaşın kabin içerisinde ilerlemesi sırasında en ölçüleri yaklaşık 10 cm arttırılarak 7. Kabinde istenilen ölçüye ulaşılmıştır. Kumaşın kurutma kabinleri içerisindeki en ölçüleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kumaşın kabinlerdeki en ölçüleri (metre)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,45	1,53	1,64	1,71	1,81	1,91	1,92	1,92	1,92	1,92

Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları ve Hassasiyetleri

Tablo 2’de sunulmuştur.

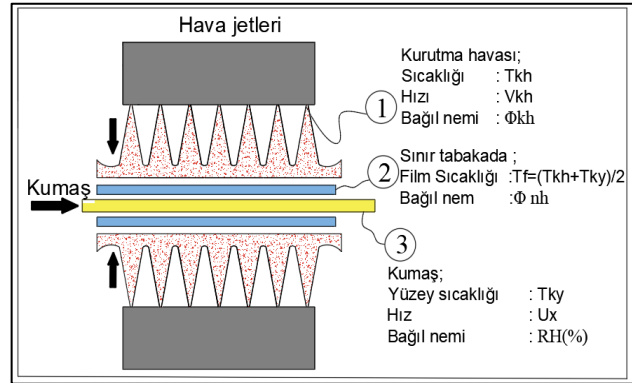
Tablo 2. Kullanılan ölçüm cihazları ve hassasiyetleri

Cihaz	Hassasiyeti
Testo 350M/XL Taşınabilir gaz analizörü (Hava hız ölçer)	%5
Testo 870-2 Termal Kamera	±%2 °C
Hygro Faster Ekv (Kumaş nem ölçer)	%0,8
Delta Ohm HD2301 (Hava nem ölçer)	±%0,1RH
Digitron ThermaPro 2 data logger (K tipi probe, Kumaş yüzey sıc.)	%0,5
Desis THB 600 hassas terazi	0,01g.

Deneyel Yöntem

Deneylerde kullanılan kumaş kurutucu kabinlere alınmadan önce fular kısmında banyo işlemine tabi tutularak üzerinde bulunan istenmeyen maddelerden uzaklaştırılmıştır. Banyo işleminden çıkan kumaş fular kısmında merdaneler arasında ön kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Ön kurutma işleminden sonra kumaşın birinci kabine girmeden önceki bağıl nem değeri %60 ve yüzey sıcaklığı 35 °C olarak ölçülmüştür. Deneyler; 110-130 ve 150 °C olmak üzere 3 farklı kurutma havası sıcaklığında ve 0,167 m/s (10 m/d) kumaş ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Deney yapılan ortamda sıcaklığının 27,6 °C ve bağıl nemin %60 olduğu belirlenmiştir. Deneylere başlamadan önce kurutma havası sıcaklık değerleri makinenin kontrol ekranında set edildikten sonra sistemin dengeye ulaşması için 10 dakika beklenmiştir. Bu süre sonunda her kabinde bulunan 8 çift düze üzerindeki hava çıkış lülelerinden kurutma havası çıkış hızı ve debisi ölçülmüştür (Şekil 3). Buna göre; 110 °C kurutma havası için, kurutma havası hızı ortalama 21.85 m/s ve debisi 0,194 kg/s, 130 °C kurutma havası için, kurutma havası hızı 24,45 m/s ve debisi 0,206 kg/s, 150 °C kurutma havası için, kurutma havası hızı 33,4 m/s ve debisi 0,268 kg/s olarak elde edilmiştir.

Kurutma işlemi sırasında kumaşın kabin giriş ve çıkış noktalarındaki yüzey sıcaklıkları ve sınır tabaka civarındaki havanın bağıl nem ile sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Bunlar Tablo 3’de gösterilmiştir. Kurutma işlemi sonunda kurutucudan çıkan kumaşın bağıl nem değerleri ölçülerek kumaşın nem kaybı elde edilmiştir. Buna göre 110-130 ve 150 °C kurutma havası ile yapılan kurutma işlemi sonunda kurutucudan çıkan kumaşın bağıl nem değerlerinin sırasıyla, %6,42, %4,96, %3,27 olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Bir çift düze üzerinde ölçüm yapılan noktaların şematik gösterimi

Yöntem

Deneylerden elde edilen verilerden yararlanılarak, her kabinde gerçekleşen ısı-kütle transfer katsayısı, buharlaşma miktarı, taşınım yolu ile kumaşa aktarılan enerji aşağıda verilen eşitlik ve formüllere göre hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda yapılan kabuller

- 1-Akışkan (Kurutma havası) özellikleri sabittir
- 2-Gözenekli ortamda (Kumaşta) nem üretimi veya tüketimi yoktur.
- 3-Kumaşla temas eden kurutma havası sürekli yenilendiğinden kurutma havasının nem ve sıcaklığı, kumaşın ısı ve nem değişiminden etkilenmemiştir.
- 4-Kumaşın ihmal edilebilir kalınlığı nedeniyle kumaş düzlemine dik yönde difüzyon direnci dikkate alınmamıştır.
- 5-Gözenekli ortam doymuş haldedir.
- 6-Kurutucu adyabatik kabul edilmiştir.
- 7-Hava akışının lüle orta düzlemine göre simetrik olduğu kabul edilmiştir.

8-Gözenekli malzemenin homojen ve rijit olduğu kabul edilmiştir.

9-Kurutucuda ilerleyen kumaş düz plaka olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3. Deneylerden elde edilen veriler

Kurutma Havası Sıcaklığı		110 °C			130 °C			150 °C		
Kabin	Süre	Kumaş Yüzey Sıcaklığı (°C)	Nemli Hava Bağlı Nemi (%RH)	Nemli Hava Sıcaklığı (°C)	Kumaş Yüzey Sıcaklığı (°C)	Nemli Hava Bağlı Nemi (%RH)	Nemli Hava Sıcaklığı (°C)	Kumaş Yüzey Sıcaklığı (°C)	Nemli Hava Bağlı Nemi (%RH)	Nemli Hava Sıcaklığı (°C)
Giriş	-	35	-	-	35	-	-	35	-	-
1. Kabin	18	58	66,3	57	74	68,3	56	74	72	52
2. Kabin	36	70	49,6	59	84	51	58	82	54,5	53
3. Kabin	54	85	36,3	62	110	37	61	112	41,7	55
4. Kabin	72	91	26,2	65	118	27,6	63	120	30	58
5. Kabin	90	96	16,6	71	122	18,1	68	132	21,2	61
6. Kabin	108	100	12,3	73	122	13,6	70	139	15	65
7. Kabin	126	102	8,2	79	123	9,6	74	142	10,8	69
8. Kabin	144	102	7,2	81	124	8,1	77	143	8,7	73
9. Kabin	162	103	6,4	83	125	7	79	144	7,6	75
10. Kabin	180	100	6,3	82	119	6,9	79	142	7	76
Çıkış	-	68	-	-	93	-	-	111	-	-

Isı ve kütle transferi

Kurutma işlemi eş zamanlı ısı ve kütle transferi içeren bir olaydır. Genelleştirilirse, faz değişimi içeren her kütle transferi problemi ısı transferi de içermelidir ve bu tür problemlerin çözümü, eş zamanlı ısı ve kütle transferinin dikkate alınıp çözümlenmesini gerektirir (Çengel ve Ghajar, 2015). Bu çalışmada yüksek hızlı çarpan hava jetleri altında kurutma söz konusu olduğundan Chilton – Colburn benzeşimi Eş (1), ($Pr \neq Sc \neq 1$) kullanılmıştır.

$$h = \rho c_p h_m Le^{2/3} \quad (1)$$

Kurutma işlemi sırasında kurutma havası ile kumaş arasında oluşan ara yüzeydeki film sıcaklığı Eş (2) kullanılarak tespit edilmiş ve bu sıcaklıktaki havanın termodinamiksel özellikleri kullanılarak boyutsuz sayılara ulaşılmıştır.

Ara yüzeyde film sıcaklığı

Film sıcaklığındaki havanın termodinamiksel özellikleri tespit edilmiştir (ρ , c_p , k , α , D_{AB} , μ , ν , Pr). Bulunan termodinamiksel özellikler yardımı ile boyutsuz sayılara ulaşılmıştır.

$$T_f = (T_{kh} + T_{ky})/2 \quad (2)$$

Akış tipinin belirlenmesi

Düz plaka üzerinde Reynolds sayısı Eş (3) kullanılarak hesaplanmıştır. Düz plaka üzerinde kritik Reynolds Sayısı 5×10^5 olduğundan bulunan Reynolds sayısına göre akışın tüm plaka üzerinde türbülanslı olduğu anlaşılmıştır.

$$Re = (VL_c)/\nu > 5 \times 10^5 \quad (3)$$

Isı ve kütle taşınım katsayılarının belirlenmesi

Düz plaka üzerinde zorlanmış dış taşınım türbülanslı akış için ($5 \times 10^5 < Re < 10^7$) geliştirilen ortalama Nusselt ve Sherwood sayıları ile ısı taşınım ve kütle taşınım katsayıları tespit edilmiştir Eş (4-5).

$$Nu = 0,037 Re_L^{0,8} Pr^{1/3} = (hL)/k \quad (4)$$

$$Sh = 0,037 Re_L^{0,8} Sc^{1/3} = (h_m L)/D_{AB} \quad (5)$$

Buharlaşma miktarının belirlenmesi

Her kabinde üzerinde 105 adet ($\phi=7$ mm) lüle bulunan toplam 8 çift (alt + üst) lüle dizisi (düze) bulunmaktadır. Kumaş üzerinden alınan nem miktarı, kumaşın kabinlerde kaldığı süre içerisinde düzelerden kumaş üzerine üflenen kurutma havası debisinin alabildiği nem miktarına eşit kabulü yapılmıştır. Bu nedenle her bir lüle dizisine ait kurutma havası debisi hesaplanmış ve nemli hava özgül nem değerleri

ile kurutma havası özgül nem değerinden yararlanılarak buharlaşma miktarına ulaşılmıştır.

Tek bir lüle için kurutma havası debisi;

$$\dot{m}_{kh\ tek} = \rho \cdot V \cdot A_{lüle} \quad (6)$$

Lüle dizisi için kurutma havası debisi;

$$\dot{m}_{kh\ dizi} = 210 \cdot \dot{m}_{kh\ tek} \quad (7)$$

Buharlaşma miktarı;

$$M_b = \dot{m}_{kh\ dizi} (\omega_{nemli\ hava} - \omega_{kurutma\ havası}) \cdot t \quad (8)$$

Kumaş nem oranının belirlenmesi

Kumaşın kabin giriş ve çıkışındaki nem oranları, yaş baza göre; kumaşın içerdiği su kütlesinin (m_s), yaş kumaş kütlesine (m_y) oranı alınarak elde edilmiştir Eş. (9).

$$MR(\%) = (m_s / m_y) \times 100 \quad (9)$$

Enerji verimliliği

Kurutma çevrimlerinde enerji verimliliği, ürünün kurutulması için gerekli enerjinin (E_b), proste kullanılan kurutma havasının enerjisine (E_{kh}) oranı olarak ifade edilebilir Eş.(10)

$$\eta = E_b / E_{kh} \quad (10)$$

Burada; ürünün kurutulması için gerekli enerji, kumaşın kurutma kabini içinde kaldığı süre zarfında kumaştaki buharlaşan nem miktarının enerjisidir. Eş (11) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_b = M_b \cdot h_{fg} \quad (11)$$

Her kabin için kullanılan kurutma havasının enerjisi E_{kh} , 12 numaralı eşitlikte verilmiştir.

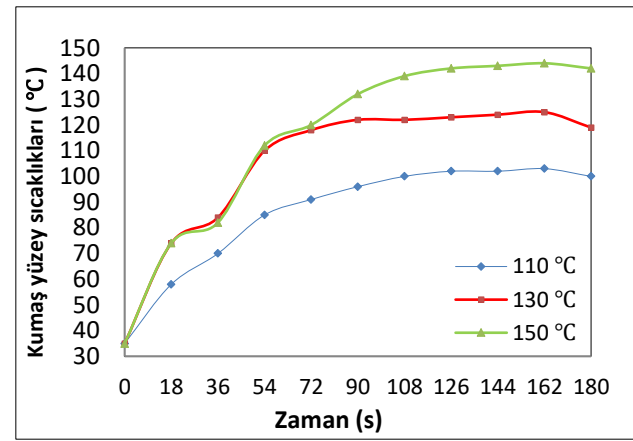
$$E_{kh} = \dot{m}_{kh\ dizi} \cdot C_p \cdot (T_{kh} - T_o) \quad (12)$$

BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, 10 kabinli bir ramözde farklı kurutma şartları için, enerji verimliliği

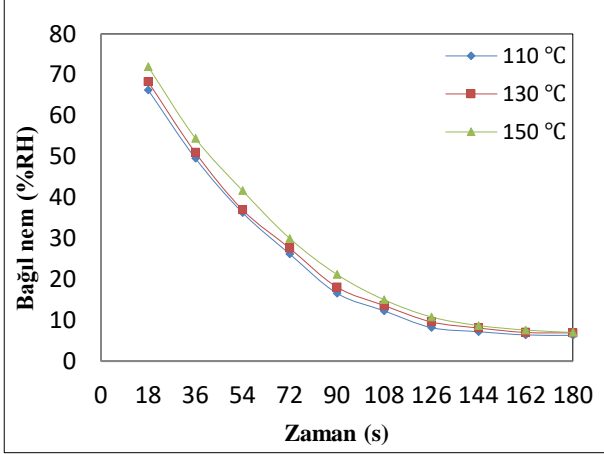
araştırılmış olup optimum kurutma şartlarıyla ilgili sonuçlar ortaya konulmuştur. Enerji hesaplamalarında kullanılan veriler, gerçek üretim koşullarından elde edilen verilerden oluşmaktadır. Hesaplamalar 110-130 ve 150 °C olmak üzere 3 farklı kurutma havası sıcaklığında ve 0,167 m/s kumaş ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir.

Kurutma havası sıcaklığının enerji verimi üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi aynı zamanda kuruma davranışını da tanımlayan, kumaş yüzey sıcaklıklarındaki, nemli hava bağlı nem değerlerindeki ve ısı - kütle transfer katsayılarındaki zaman bağlı değişim değerlerinin grafikleri Şekil 4-7'de verilmiştir.



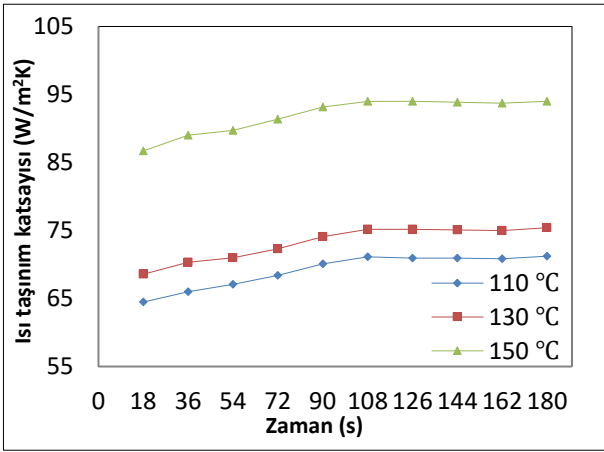
Şekil 4. Kurutma havası sıcaklığı ile kumaş yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi

Şekil 4'de 35 °C'de kurutucuya giren kumaş için, kurutma havası sıcaklığı ile kumaş yüzey sıcaklığının zamanla değişim grafiği görülmektedir. Grafiğe göre; kuruma başlangıcında üç farklı kurutma havası sıcaklığı için, kumaş yüzeyindeki nem miktarına bağlı olarak ilk iki kabinde kumaş yüzey sıcaklığının 84 °C'yi aşmadığı, kurumanın ilerleyen zamanlarında özellikle 6. Kabinde (108.saniye) sonra kumaşta azalan nem miktarının etkisi ile kumaş yüzey sıcaklığının kurutma havası sıcaklığına yaklaşmakta olduğu görülmektedir. Ayrıca 9. Kabinde (162.s) sonra kumaş yüzey sıcaklığının yaklaşık 9-14 °C düşmeye başlaması çıkışta bulunan açıklıktan olan ısı transferi nedeniyledir.



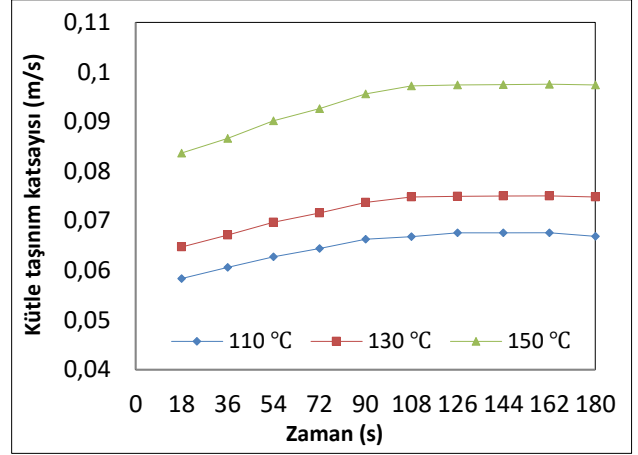
Şekil 5. Kurutma havası sıcaklığı ile nemli hava bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 5’de sabit kumaş ilerleme hızında (0,167 m/s), kurutma havasının sıcaklığının 20 °C artmasıyla, sınır tabaka civarında ölçülen bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi görülmektedir. Kurutma havası sıcaklığının 20 °C artmasıyla bağıl nem değerlerinin ilk kabin için yaklaşık %0,5 oranında arttığı, 6. kabinde sonra buharlaşmanın zorlaşmakta ve bağıl nem değerlerinin birbirine yaklaşmakta olduğu görülmektedir.



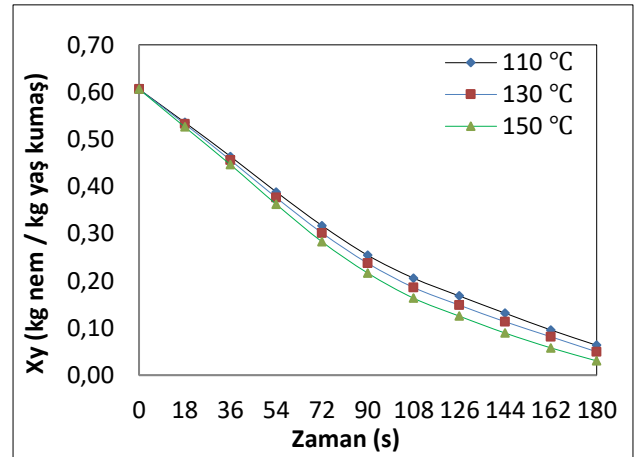
Şekil 6. Farklı kurutma havası sıcaklıkları için ısı taşınım katsayılarının zamanla değişimi

Şekil 6’da ısı taşınım katsayıları incelendiğinde; kurutma havası sıcaklığı 110 °C’den 130 °C’ye çıkarıldığında, ısı transfer katsayısı yaklaşık %6, kurutma havası sıcaklığı 130 °C’den 150 °C’ye çıkarıldığında, ısı transfer katsayısı yaklaşık %26 arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır.



Şekil 7. Farklı kurutma havası sıcaklıkları için kütle taşınım katsayılarının zamanla değişimi

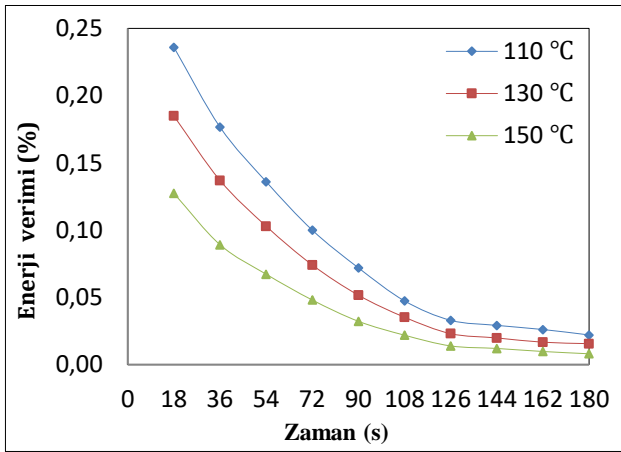
Şekil 7’de Kumaş yüzeyindeki nem miktarına paralel olarak, kumaş yüzey sıcaklıkları arttıkça ısı transfer katsayısına bağlı olarak kütle transfer katsayısı artmakta, kumaş yüzey sıcaklığı kurutma havası sıcaklığına yaklaşmaya başladığında ise ısı transfer katsayısı azalmakta buna karşılık kütle transfer katsayısı sabit değerlere ulaşmakta olduğu görülmektedir. Elde edilen verilerden yararlanılarak, Şekil 8 ve 9’da sırasıyla, kumaş nem oranı ve enerji verimi grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 8. Farklı kurutma havası sıcaklıkları için yaş baza göre kumaş nem oranları.

Şekil 8’de 0,167 m/s kumaş ilerleme hızında 3 farklı kurutma havası sıcaklığı için kuruma oranının zamanla değişimi görülmektedir. Burada Xy ile ifade edilen yaş baz kumaş nem

oranıdır. Kurumanın ilk evrelerinde kumaş yüzeyinde bulunan nem miktarına bağlı olarak kuruma oranı farklı sıcaklık değerleri için yaklaşık aynı değerlerde olmakta özellikle 3. Kabinden sonra kumaş yüzeyindeki nem miktarının azalmasıyla, kumaşın iç kısmında bulunan nemin difüzyon yoluyla yüzeye taşınması ve buradan kurutma havasına aktarılması kuruma işlemini zorlaştırmaktadır. Şekil 8’den 54. saniye sonrasında kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak kuruma oranındaki değişme fark edilmeye başlanmaktadır. Kurutma havası sıcaklığının artması kuruma oranını arttırmaktadır. Fakat 110 °C’lik kurutma havası sıcaklığı, kumaşın kabin içinde bulunma süresi de düşünüldüğünde istenilen çıkış nemi değerini vermemektedir.



Şekil 9. Farklı kurutma havası sıcaklıkları için enerji veriminin zamanla değişimi.

Şekil 9’da farklı kurutma havası sıcaklıkları için enerji veriminin zamanla değişimi görülmektedir. Grafiğe göre; kurutma havası sıcaklığı 110 °C’den 130 °C’ye çıkarıldığında, enerji veriminde %4 azalma, kurutma havası sıcaklığı 130 °C’den 150 °C’ye çıkarıldığında, enerji veriminin %5 azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Kurutma kabinlerine gönderilen kurutma havası sıcaklığının 20 °C artırılması aynı kumaş ilerleme hızında kabinlere daha fazla enerji gönderilmesine sebep olurken, kumaş üzerinden alınan nem miktarların özellikle ilk kabinlerde yaklaşık aynı değerlerde olması sebebi ile enerji veriminin düşmesine sebep olmaktadır.

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada; tekstil mamullerinin sıcak hava ile kurutulmasını sağlayan 10 kabinli bir ram makinesinin kurutma davranışı ve enerji verimliliği araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar sırasıyla aşağıda sunulmuştur. Sunulan sonuçlar, gerek akademik gerekse endüstriyel araştırmacılara, ram makinesinde kurutulan kumaşların kuruma davranışı üzerine açıklayıcı fikirler verecektir. Kurutulacak malzemelerin kuruma davranışlarının önceden bilinmesi, özellikle endüstriyel kuruluşlar gibi enerji tüketiminde önemli paya sahip sektörlerde, enerji verimini arttırmaya ve optimize etmeye olanak sağlayacaktır.

1- Kuruma işleminin ilk evrelerinde (ilk iki kabin), kumaştaki nem miktarına bağlı olarak, kumaş yüzey sıcaklığı, kumaş yüzeyindeki sınır tabakanın yaş termometre sıcaklığını geçmemektedir. Kurumanın ilerleyen zamanlarında, özellikle 6.kabinden sonra, yüzeydeki serbest nem miktarının ortadan kalkması (difüzyon ile kuruma aşamasının başlaması) ile kumaş yüzey sıcaklığının, kurutma havası sıcaklığına yaklaşmakta olduğu görülmüştür.

2- Kurutma havasının sıcaklığının 20 °C artmasıyla, birinci kabinde bağıl nem değerlerinin yaklaşık %0,5 oranında arttığı, kumaştaki nem miktarının azalmasına paralel olarak kurumanın ilerleyen zamanlarında bağıl nem miktarlarının birbirine yaklaşmakta olduğu görülmüştür.

3- Kurutma havası sıcaklığının, ısı ve kütle transfer katsayısı üzerinde etkili olduğu, ısı transfer katsayısının artan değerleri ile kütle transfer katsayısının da arttığı, kumaş yüzey sıcaklığı kurutma havası sıcaklığına yaklaşmaya başladığında ise ısı transfer katsayısının azalmakta buna karşılık kütle transfer katsayısının sabit değerlerde seyrettiği belirlenmiştir.

4- Yüksek sıcaklık değerlerinde, kumaştaki suyun daha kolay buharlaştığı ve kuruma hızının arttığı tespit edilmiştir.

5- Kurutma şartları enerji verimini önemli ölçüde etkilemekte, aynı kumaş ilerleme hızında kurutma havası sıcaklığının değiştirilmesiyle birlikte enerji veriminde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Özellikle ilk üç kabinde, kumaş yüzeyindeki nem miktarına bağlı olarak enerji verimi ve buharlaşma yüksek olmakta, 6. Kabinden sonra kuruma işleminin zorlaşmaya başlaması ile enerji verimi zamanla düşmekte ve kuruma işleminin son aşamasında ise enerji verimi en düşük değerlerini almaktadır.

6- İncelenen kurutma proseslerinin enerji verimleri değerlendirildiğinde, enerji verimin en yüksek olduğu çalışma şartının 110 °C ve enerji veriminin en düşük olduğu çalışma şartlarının 150 °C olduğu tespit edilmiştir.

7- Kurutma işlemi sonrasında kumaş çıkış bağlı nem değerlerinin %4-5 arasında olması istendiğinden en uygun kurutma koşulu olarak 130 °C kurutma havası sıcaklığı ile yapılan kurutma işlemi olduğu görülmektedir. Uygun bulunan kurutma havası sıcaklığı olan 130 °C yerine 150 °C seçilmesi durumunda kurutma işlemi için yaklaşık 2400 kJ daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacağı, 110 °C seçilmesi durumunda istenilen kurutma işleminin gerçekleşmeyeceği sonucuna ulaşılmıştır.

Semboller

c_p	Sabit basınçta özgül ısı [kJ/kgK]
D_{AB}	Kütle yayılım katsayısı [m^2/s]
h	Taşınım ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
h_{fg}	Buharlaşma gizli ısı [kJ/kg]
h_m	Taşınım kütle transfer katsayısı [m/s]
k	Isı iletim katsayısı [W/mK]
L_c	Karakteristik uzunluk [m]
Le	Lewis sayısı [α/D_{AB}]
m	Kütle [kg]
\dot{m}	Kütlesel debi [kg/s]
Nu	Nusselt sayısı [hL/k]
P	Basınç [Pa]
Pr	Prandtl sayısı [$\mu c_p/k$]
R	Gaz sabiti [kJ/kgK]
RH	Bağıl nem [$P_v/P_{g@T}$]
Re	Reynolds sayısı [$\rho VL/\mu$]
Sh	Sherwood sayısı [$h_m L/D_{AB}$]
t	Zaman [s]
T	Sıcaklık [$^{\circ}C$]
V	Hız [m/s]

X_y Nem oranı (kg nem/kg yaş kumaş)

Alt İndisler

b	Buhar
kh	Kurutma havası
k	Kumaş
g	Gaz
n	Nem
y	Yüzey

Yunan Harfleri

ρ	Yoğunluk [kg/m^3]
α	Isıl yayılım katsayısı [m^2/s]
μ	Dinamik viskozite [kg/ms]
ν	Kinematik viskozite [m^2/s]
\emptyset	Çap [m]

Kaynaklar

- Akyol U., (2007). İplik bobini kurutulmasının teorik incelenmesi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne-Türkiye.
- Çengel Y.A., Ghajar A.J., (2015). Isı ve Kütle Transferi Esaslar ve Uygulamalar, Palme Yayıncılık, 4. Baskı, Ankara.
- Labude J., Schirmer U., (1992). Die messung konvektiver wärmeübergangskoeffizienten an spann-, trocken-, und fixiermaschinen, Textil Praxis International, April, pp. 352-355.
- Oğulata R.T., Kadem F.D., Koç E., (2000). Tekstilde kurutma yöntem ve makineleri, 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye.
- Park S.I., Baik D.H., (1997). Heat and mass transfer analysis of fabric in the tenter frame, Textile Research Journal, Vol. 67, pp.311-316.
- Perry R., (1997). Perry's Chemical Engineer's Book, McGraw-Hill Book Comp.
- Prabhu M.R., Parajia J.S., (1982). Performance relations and norms for textile contact and convection dyer, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, pp.233-238.
- Ramaswamy S., Cui Y., (1999). Analyzing convective heat and mass transfer in through-air drying of fabrics, Textile Research Journal, Vol. 69, pp. 776 –781.
- Şekkeli M., İmal M., Kılıç E., Dinçer F., (2009). Tekstil Fabrikası Boya Tesisinde SCADA

Yazılımlı Isı Geri Kazanım Otomasyonu ve Uygulaması, V. Otomasyon Sempozyumu, İzmir.

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

Energy efficiency analysis of drying process in industrial type convectional dryer

Extended abstract

Textile products frequently need to be dried at various step of production. Drying of textile products is usually carried out in convection dryers. The most common convection drying machines in the textile industry are the called ram or ramos. Ram machines are drying machines in which fabrics are held transversely in the machine by pallets, the movement of the fabric is carried out by a pair of moving chains, and hot air is sent to the fabric.

The drying process is generally divided into two parts that mechanical drying and convection drying. In this ram machine which drying behavior have investigated, these two drying methods are also used. The part where the fabric take into the dryer is fulard section. In this place unwanted foreign substances on the fabric are removed by washing the fabric. right after the washing process, the free water on the fabric is removed by being compressed between the rolls (mechanical drying). This period is the easiest and cheapest period of drying. Afterwards, convection drying is performed with the help of drying air in the dryer that until the desired amount of moisture is achieve inside the fabric. This process is the most difficult and expensive part. It requires overmuch energy. It is inevitable to use energy efficiently in such drying processes.

In this study, In the drying process of a 10-chamber ram machine, with the aim of raising energy efficiency, experimental studies was carried out in real production conditions. . The experiments were carried out at three different drying air temperatures (110-130-150 °C) and 0.167 m/s (10 m / min.) at the speed of fabric movement, using 95% cotton + 5% lycra content fabric. In the measurements made, it was determined that the wet fabric weight was 338 g/m² and the dry fabric weight was 133 g/m². It is desirable that the relative humidity value of the fabric is 4-5% at the dryer outlet. The heat and mass transfer coefficients, the amount of evaporation and the energy transferred to the fabric by convection have calculated for each drying chamber according to data obtained from the experiments.

Results in this study have been obtained that; the heat transfer coefficient increases about 6% while the energy efficiency decreases 4% in case of drying air temperature is increased from 110 °C to 130 °C. The heat transfer coefficient increases about 26% while the energy efficiency decreases 5% in case of the temperature is increased from 130 °C to 150 °C. Additionally, the optimum operating condition have determining at a drying air temperature of 130 °C, when this temperature is increased to 150 °C, 2400 kJ has been determined to require more energy.

Keywords: Drying, Ram machine, Energy efficiency, Heat and mass transfer, Drying behavior.