

## ÇARPAN HAVA JETLERİ İLE İNCE MÜREKKEP FİLMLERİNİN KURUTULMASI

A. Erdal FERLAN<sup>\*</sup>  
Recep YAMANKARADENİZ<sup>\*\*</sup>  
Muhiddin CAN<sup>\*\*\*</sup>

### ÖZET

Yüksek hızlı çarpan hava jetleri, çarpma bölgesinde oluşturdukları yüksek ısı ve kütle transferi miktarları nedeniyle endüstride genellikle ısıtma, soğutma ve kurutma vb. gibi işlemlerde kullanılırlar. Bu çalışmada, ince mürekkep filmlerinin kurutulması işlemi ele alınarak, çarpan hava jetlerinin kütle transferi dolayısıyla kurutma işlemi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

İnce bir plastik alt tabaka üzerine basılan tek çözücü esaslı mürekkep filmi için ısı ve kütle transferi teorileri üzerine kurulan bir bilgisayar programıyla; hava hızı, hava sıcaklığı ve lüle-yüzey aralığının ısı ve kütle transferi üzerindeki etkisi incelenerek, mürekkep filminin kurutulması işleminde gereken toplam kurutma zamanı hesaplanmıştır.

### ABSTRACT

High velocity impinging air jets are widely used in industry, for heating, cooling, drying etc, because of the high heat and mass transfer rates which are developed in the impingement region. In this study, to provide data for dryer designers a

\* Arş. Gör.; Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, BURSA.

\*\* Yrd. Doç. Dr.; Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, BURSA.

\*\*\* Yrd. Doç. Dr.; Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, BURSA.

*programme of research has been implemented to study the heat and mass transfer processes which underlie the drying of thin ink films. The ink drying process is described and drying curves for an ink based on a single solvent are presented. Experimentally determined drying times are compared with those calculated numerically using established heat and mass transfer theory.*

## 1. GİRİŞ

Hareketli bir malzeme (kağıt, plastik, metal vs.) yüzeyine ince bir mürekkep tabakası bırakmak için geniş, dönel basım presleri kullanılmaktadır. Bu mürekkep tabakası ise fiziksel buharlaşma işlemiyle kurutulur. Kurutma, ısı ve kütle transferinin aynı anda olduğu bir prosesdir ve kurutulacak katı içindeki sıvıyı buharlaştırmak için gereken enerji kurutma havasıyla temin edilir. Kurutma havasının kurutulacak malzeme yüzeyine gönderilmesi çeşitli usullerde olabilir. Kurutma işlemi, hareketli malzeme yüzeyindeki çözücü yüklü tabaka üzerine bu yüzeyin normal doğrultusunda eksenlere sahip lülelerden püskürtülen sıcak ve yüksek hızlara sahip hava jetleri vasıtasıyla hızlandırılır. Jet ekseninin hareketli yüzeyi kestiği ilk durgunluk bölgesinde (çarpma bölgesinde) oluşan yüksek ısı ve kütle transferi miktarları nedeniyle, çarpan jetler yüzeye paralel gönderilen jetlerden daha çok kullanılırlar.

Jetleri püskürten (yayan) lüleler çeşitli şekillere sahip olabilirler. Fakat en yaygın olarak kullanılanlar ya uzun dikdörtgen kesitli lülelerdir veya yuvarlak deliklerdir. Uygulamada, yüksek basınçlı kurutma havası lüle dizisine ortak bir basınç odasından temin edilir ve mürekkep ile etkileşimden sonra hava ve dolayısıyla havanın yüklendiği çözücü buharı uygun bir egzost sistemiyle kurutma yüzeyinden uzaklaştırılır.

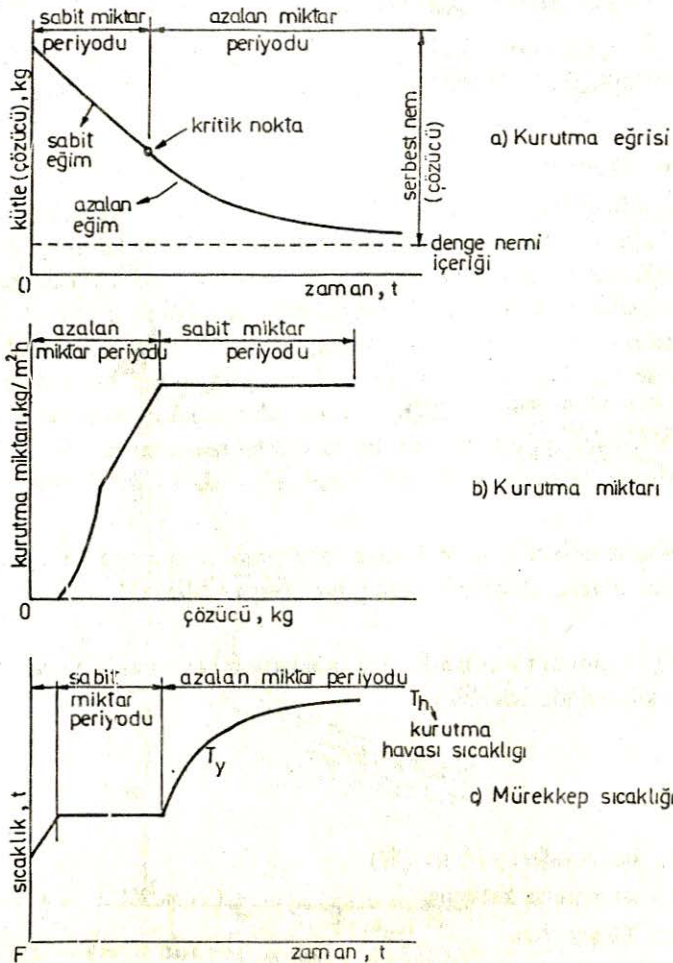
Kurutucu tasarımcılarının çok değişkenli bir probleme çok değişkenli bir çözüm bulması gerekmektedir. Tasarımcı lüle büyüklüğünü, şeklini, eğimini, lüle aralıklarını, kurutulacak malzeme yüzeyinden uzaklığını, kurutma havasının sıcaklık ve hızını temin edilmesi gereken hava miktarını (debisini), enerji kaynağını, egzost sistemini vs. belirlemek durumundadır. Bu belirlemeyi yapmak için, kurutulacak malzeme hakkında örneğin mürekkebin basıldığı malzeme (alttabaka), mürekkep ve içeriği, mürekkep tabakası kalınlığı ve baskı yapılan malzeme (kağıt, plastik, metal vs.) rulusunun hızı hakkında detaylı bilgilere ihtiyaç duyulacaktır. İlk yatırım maliyetini ve işletme masraflarını dikkatli bir şekilde hesaplamak gereklidir. Gürültü problemi de karşılaşılabilecek olaylardandır. Yüksek jet hızları yüksek mertebelerde gürültüye sebebiyet verebilir. Bu nedenle hızı iyi bir şekilde belirlemek bu problemi ortadan kaldıracaktır.

Mürekkep filmlerinin kurutulması hakkında özgün bir temel datanın mevcut olmaması nedeniyle, hava jetli kurutucuların tasarımı genellikle deneysel çalışmalar üzerine kurulmuştur. Bu nedenle, kurutucu tasarımcılarına gereken verileri temin etmek için ince mürekkep filmlerinin kurutulmasının temelini teşkil

eden ısı ve kütle transferi işlemlerinin irdelenmesini, konu edinen bir araştırma programı yürütülerek birtakım sayısal sonuçlar sunulur.

## 2. KURUTMA

Kurutma işlemi, Şekil 1'de sunulan üç ampirik grafik vasıtasıyla karakterize edilip, tanımlanabilir. Sherwood<sup>1</sup>, yapmış olduğu deneylerle, ıslak malzeme dilimlerinin zorlanmış taşınım ile kurutulması işleminde, dilimlerin başlangıçta sabit bir kurutma miktarında bunun ardından azalan bir miktarda kuruduğunu tesbit etmiştir. İlk periyotta (sabit-miktar periyodunda) kurutma miktarı, tamamen kurutma havası şartlarıyla kontrol edilir. Sonraki periyotta kurutma miktarı ise, katı içinden açık yüzeye geçebilen sıvı miktarı ile sınırlanır. Yani son pe-



Şekil: 1 - Kurutma işleminin karakteristikleri

riyoddaki kurutma miktarı hava şartlarından (dış şartlardan) ziyade, katının iç mekanizmasına bağlıdır.

Sabit-miktar periyodunda ısı ve kütle transferi işlemleri birlikte cereyan etmektedir: Mürekkep yüzeyi ile kurutma havası arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle ısı (çözücüü buharlaştıracak enerji), mürekkep yüzeyine transfer olur. Benzer tarzda, açık yüzeydeki doymuş buhar şartları ile kurutma havasındaki daha düşük buhar konsantrasyonu arasında mevcut olan konsantrasyon farkı, açık yüzeyden kurutma havasına doğru bir kütle transferi oluşturur. Kısaca, ısı kurutma havasından yüzeye transfer edilirken kütle ters yönde yüzeyden kurutma havasına transfer olur.

Açık yüzeydeki denge halini sürdürebilmek için katı içindeki sıvı katının içinden hızlı bir şekilde geçip yüzeye çıkarsa bu durumda sıvı, yüzeyden sabit miktarda buharlaşacak (ve), buharlaşma sanki açık bir sıvı yüzeyinden oluyor-muş gibi olacak ve sıvının buharlaşma miktarı büyük ölçüde yüzeyin ısı ve kütle transfer katsayısı değerlerine bağlı olacaktır.

### 3. SABİT-MİKTARDA KURUTMA

#### 3.1. Isı Transferi

Çarpan hava jetlerinin yüksek ısı ve kütle transferi miktarları oluşturduğunu anlamak için katı bir yüzey üzerinde biçimlenen "sınır tabaka" üzerinde durmak gereklidir. Akışkan katı bir yüzeyi türbülanslı hareket halinde geçerken, yüzeyin hemen yakınında ince bir film tabaka (sınır tabaka) oluşur. Yüzey üzerindeki akışkan hızı sıfırdır. Bu sınır tabakanın dışında akış türbülanslıdır. Cidara yakın bölgede ısı akış esas itibariyle viskozdur ve ısının bu viskoz tabakadan transferi moleküler iletimle olduğundan, çalışılan akışkan ısı iletkenliği bakımından zayıf olan hava olduğu zaman, bu viskoz tabaka transfer proseslerine karşı büyük bir direnç gösterir, sanki bir "engel" gibi davranır. (Detay için Schlichting<sup>2</sup>).

Bu viskoz tabakayı, gerçek sınır tabakanın ısı transferine karşı gösterdiği direncin aynısını verecek kalınlığı sahip bir "durgun film" olarak varsaymak mümkündür.

Sürekli rejimde türbülanslı sınır tabakadan katı yüzeye geçen ısı transferi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{Q} = hA_y (T_h - T_y) \quad (1)$$

Burada;

$\dot{Q}$  : Isı transferi miktarı (W)

h : Isı taşınım katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)

A<sub>y</sub> : Yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

$T_h$  : Serbest akış (C)

hava sıcaklığı

$T_y$  : Yüzeysel sıcaklığı (C)

Verilen bir sıcaklık farkı ( $T_h - T_y$ ) için, yukardaki varsayım üzerine kurulan ısı taşınım katsayısı ( $h$ ), durgun filmin hem ısı özelliklerine hem de etkin kalınlığına bağlıdır.

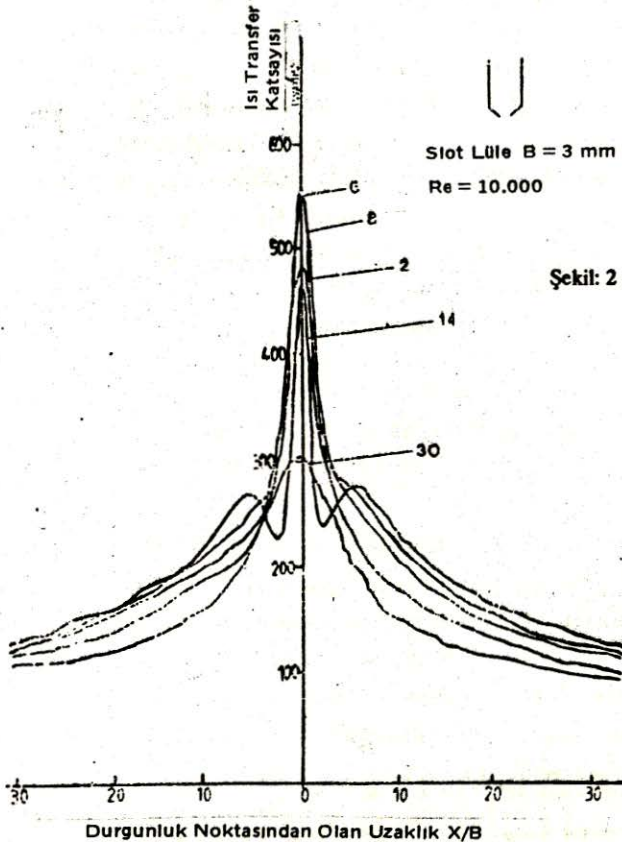
$$h = f(v, L, g, \mu, C_p, k, \text{yüzeyin şekli}) \quad (2)$$

Gerçek " $h$ " değerlerini genellikle deneylerden belirlemek gerekmektedir.  $C$ ,  $a$  ve  $b$  yüzeyin geometrisiyle ilgili deneysel sabitler olmak üzere, zorlanmış taşınım ısı transferi aşağıdaki gibi boyutsuz gruplarla ifade edilebilir.

$$Nu = C Re^a Pr^b \quad (3)$$

### 3.2. Çarpan Hava Jetleri Altında Isı Transferi

Şekil 2'den<sup>3</sup> görüldüğü üzere, lokal ısı transfer katsayısı  $h_x$  hem lüle-yüzey aralığı ( $Z/B$ ) ile hem de durgunluk noktasından olan  $x$  uzaklığı ile değişir. Jetin

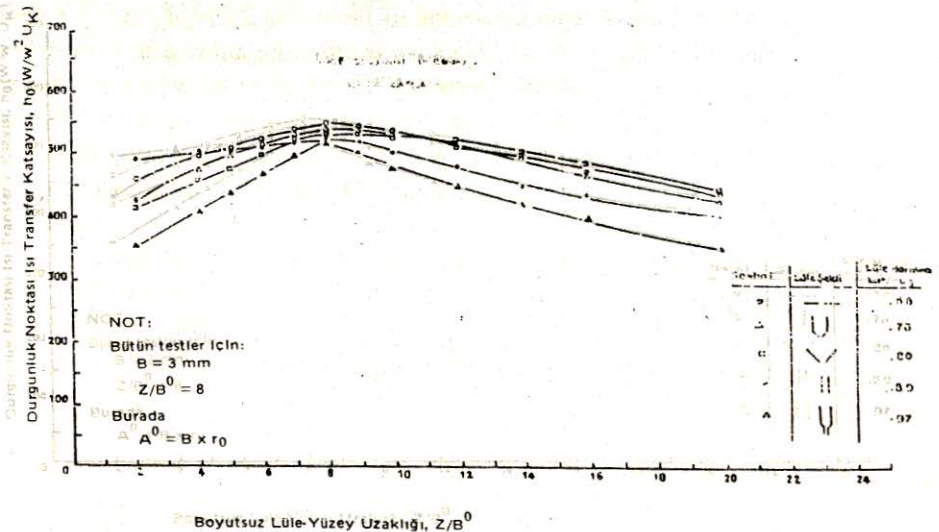


hemen altında (durgunluk noktasında)  $h$  değerlerinin yüksek olduğu açıkça görülebilir. Lüle çıkışında jetin türbülans mertebesi izafi olarak düşüktür. Jet'deki potansiyel "kor"un türbülans mertebesi jet ekseninde giderek artar ve kabaca lüle çıkışından itibaren lüle genişliği ( $B$ ) nin 8 katı bir uzaklıkta ( $Z/B = 8$  değerinde), bir maksimuma ulaşır, Gardon ve Akfırat<sup>4</sup>.

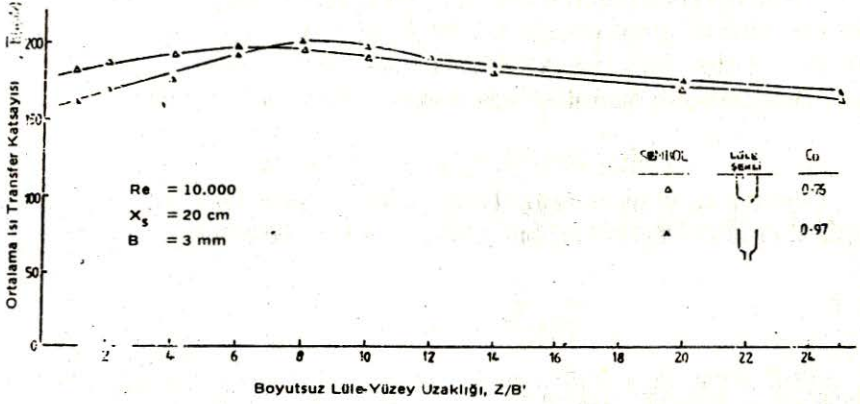
Lokal ısı transfer katsayısının durgunluk noktasında (çarpma noktasında) bir maksimum sergilediği Şekil 2'den görülebilir. Ayrıca durgunluk noktası ısı transfer katsayısının ( $h_0$ ), boyutsuz lüle-yüzey aralığı  $Z/B$  değeri  $6 + 8$  bölgesinde kaldığında maksimum değerler verdiği görülebilir. Gardon ve Akfırat<sup>4</sup>, bu maksimum değerleri, jet ekseninde oluşan maksimum türbülans mertebesiyle açıklamaktadır.

Hardisty ve Can<sup>3</sup>, farklı lüle şekillerini kullanmak suretiyle yapmış oldukları deneysel çalışmalarda, bütün lüle şekilleri için eğrilerin ( $B^1 = C_D \cdot B$  olmak üzere)  $Z/B^1 = 8$  değerinde lokal ısı transfer katsayısının maksimum değerlerini sergilediklerini elde etmektedirler. Şekil 3'. Bu sonuç,  $Z/B^1 = 8$  değerine sahip lüle düzeneklerinde ısı transfer katsayısının lüle şeklinden bağımsız olması demektir. Yine farklı lüle şekillerinin ortalama ısı transfer katsayısı üzerindeki etkisinin sunulduğu Şekil 4'den<sup>3</sup> görülebilir ki ortalama ısı transfer katsayısı lüle şeklinden bağımsız maksimum değerler sergilemektedir. Bu sonuçlar çok önemlidir çünkü uygulamada tasarım için gerekli olan ortalama ısı transfer katsayısıdır.

Aynı çalışmada, dar lülelerle daha büyük ısı transferi miktarları elde edildiği ve ısı transfer katsayılarının lüle genişliğine de bağlı olduğu belirtilmektedir.



Şekil 3 - Lüle şeklinin durgunluk noktasındaki ısı transfer katsayısı üzerindeki etkisi



Şekil 4 - Lüle şeklinin ortalama ısı transferi üzerindeki etkisi

Diğer yandan, ilk durgunluk noktası için deneysel sonuçlardan aşağıdaki ısı transferi bağıntısı verilmektedir, Hardisty<sup>5</sup>,

$$Nu = 0,178 Re^{0,58} Pr^{1/3} \quad (4)$$

### 3.3. Kütle Transferi

Nasıl ki bir sıcaklık farkı ısı transferi için "itici güç" ise, konsantrasyon farkı da kütle transferi için "itici güç" tür. Dolayısıyla ısı ve kütle transferi işlemleri arasında bir "benzeşim"den söz etmek mümkündür, Sherwood ve Figford<sup>6</sup>.

Bu benzeşimden hareketle, kütle transferi denklemini (1) denklemine benzer olarak ifade etmek mümkündür.

$$\dot{M}_D = h_p A_y (\rho_y - \rho_n) \quad (5)$$

Ayrıca, (3) denklemi de böyle bir benzeşimden hareketle, boyutsuz kütle transferi bağıntısı için kullanılabilir:

$$Sh = C Re^a Sc^b \quad (6)$$

Buradaki C, a ve b yüzeyin geometrisiyle ilgili deneysel sabitler olduklarından benzer yüzey geometrisi şartlarında, ısı transferi için sahip oldukları değerlere kütle transferinde de sahiptirler.

Yine ısı ve kütle transferi benzeşimden, kütle transferi için (4) denklemin den hareketle aşağıdaki bağıntı çıkarılabilir.

$$Sh = 0,178 Re^{0,58} Sc^{1/3} \quad (7)$$

### 3.4. Sabit Miktarda Kurutma

Yeni basılan mürekkep filmi ilk olarak çevre sıcaklığındadır ve cidar jetinin (yan jetin) kurutma ortamına girdiği zaman mürekkep filminin sıcaklığı yükselecektir. Daha sonra mürekkep sıcaklığının "yaş-termometre" sıcaklığı değerinde sabit kaldığı denge haline ulaşılacaktır.

$$hA_y (T_h - T_y) = h_p A_y (\rho_y - \rho_h) h_{fg} \quad (8)$$

Burada  $\rho_y$ , yüzey sıcaklığı  $T_y$ 'ye karşılık gelen doymuş buhar yoğunluğudur. Hava içindeki buhar konsantrasyonu ise sıfır kabul edilebilir ( $\rho_h = 0$ ).

$$T_h - T_y = \frac{h_p}{h} \rho_y h_{fg} \quad (9)$$

$h_p/h$  oranı, ısı ve kütle transferi benzeşiminden elde edilebilir. Kullanılacak benzeşim, Chilton ve Colburn'un<sup>7</sup> önerilerinden çıkarılabilir.

$$J_H = J_D$$

$$St_{Pr}^{2/3} = St_{DSc}^{2/3} \quad (10)$$

$$\frac{h}{h_p} = \frac{\bar{P}_h}{P} \rho C_p Le^{2/3} \quad (11)$$

- $\rho$  = Hava/buhar karışımının yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $C_p$  = Hava/buhar karışımının özgül ısısı ( $\text{J/kgK}$ )  
 $P$  = Atmosfer basıncı ( $\text{N/m}^2$ )  
 $\bar{P}_h$  = Havanın ortalama logaritmik basıncı ( $\text{N/m}^2$ )  
 $h_{fg}$  = Solventin buharlaşma gizli ısısı ( $\text{J/kg}$ )

$$T_h - T_y = \frac{P}{\bar{P}_h} \frac{1}{\rho C_p} Le^{-2/3} \rho_y h_{fg} \quad (12)$$

Kurutucu tasarımı için, (8) ve (9) denklemlerinden şu önemli hususlar çıkarılabilir:

a)  $h_p/h$  oranı hava hızından büyük ölçüde bağımsızdır. Hava hızı değiştiği zaman,  $(T_h - T_y)$  sıcaklık farkı ve  $T_y$  sıcaklığı değişmez. Verilen bir buharlaşma miktarı için, kurutucu uzunluğunu veya hava sıcaklığını azaltmak için hava hızının artırılması yöntemi kullanılabilir.

b) Bazı durumlarda, hava debisi yüksek olduğunda hava sıcaklığı  $T_h$  yaklaşık olarak sabit kalır. Bu tip durumlarda, yüksek hava sıcaklıkları buharlaşma enerjisini temin etmek için değil de, kurutma miktarını hızlandırmak için kullanılabilir.



c) Kurutma miktarının artışı, gizli buharlaşma ısısı ( $h_{fg}$ ) yüksek bir çözünücülük tercihiyle de sağlanabilir. H. Hardisty<sup>8</sup>.

### 3.5. Buharlaşma (Kurutma) Miktarı

(5) denklemini kullanarak ve  $\rho_h = 0$  kabul ederek,

$$\dot{M}_D = h_p \rho_y A_y \quad (13)$$

eşitliği, (7) denkleminde havanın debisi ve yüzey geometrisi değerlerinin sabit kaldığı varsayımıyla,

$$Sh \propto Sc^{1/3} \quad (14)$$

orantısı elde edilebilir.

Düşük buhar konsantrasyonlarında, hava/buhar karışımı özelliklerinin havanın özelliklerine yaklaştığı kabul edilerek,

$$h_p \propto D^{2/3} \quad (15)$$

ve

$$\rho_y = \frac{P_y M}{RT_y} \quad (16)$$

ifadesi elde edilebilir.

Burada  $P_y$ ,  $T_y$ 'ye karşılık gelen doymuş buhar basıncıdır. Son olarak, herhangi bir sıcaklıktaki yüzey için,

$$\text{"Buharlaşma miktarı"} \propto D^{2/3} P_y M \quad (17)$$

Bu orantı, Gardner'ın<sup>9</sup> sonuçlarıyla uyum halindedir.

### 3.6. Kurutma Zamanının Hesaplanması

Daha önce de belirtildiği gibi, kurutma işlemi süresince ısı mürekkep yüzeyine transfer edilirken, aynı anda çözünücülük buharı yüzeyden transfer edilir ve uzaklaştırılır. Yüzeye transfer edilen ısı hem çözünücülüğü buharlaştırır, hem de mürekkep sisteminin sıcaklığını artırır. Daha sonra, mürekkep sıcaklığının "yaş-terмомetre" değerinde sabit kaldığı denge haline ulaşılacaktır. Küçük bir  $\Delta t$  zaman aralığı için enerji dengesi aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

$$hA (T_h - T_y) = hA (\rho_y - \rho_h) + \Delta T \Sigma m C_p / \Delta t \quad (18)$$

En son terim, sistemin sıcaklığını  $\Delta T$  kadar artırmak için gereken enerjiyi ifade eder.

Yukardaki denklem,  $\Delta T$  için bir sonlu fark denklemi olarak yeniden formüle edilebilir.

$$\Delta m = h_p A (\rho_y - \rho_h) \Delta t \quad (19)$$

$$E_H = hA (T_h - T_y) \Delta t \quad (20)$$

$$E_D = \Delta m h_{fg} \quad (21)$$

$$\Delta T = \frac{E_H - E_D}{\Sigma m C_p} \quad (22)$$

(18) nolu denklemin çözümü için gerekli bilgiler ve kabuller şunlardır:

1. Problemi basitleştirmek için kurutma havası içindeki çözücü buharı konsantrasyonu ( $\rho_h$ ) sıfır kabul edilmiştir.

2.  $\rho_y$  mürekkep/hava ortak yüzeyinin  $T_y$  sıcaklığındaki doymuş buhar yoğunluğudur. Bir sıvının sıcaklığı ve buhar basıncı arasındaki bağıntı aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

$$\ln P = A - \frac{B}{T} \quad (23)$$

Kullanılacak çözücü için, A ve B değerleri çözücü üreten firmaların kataloglarından temin edilebilir.

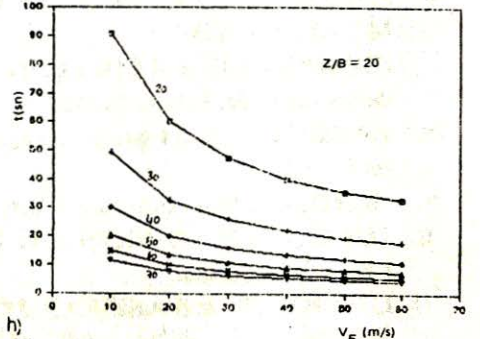
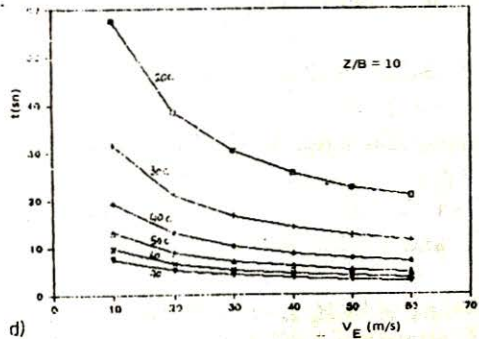
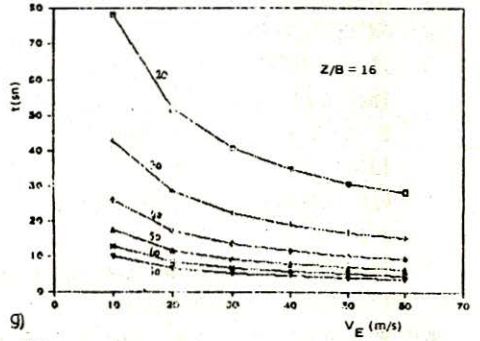
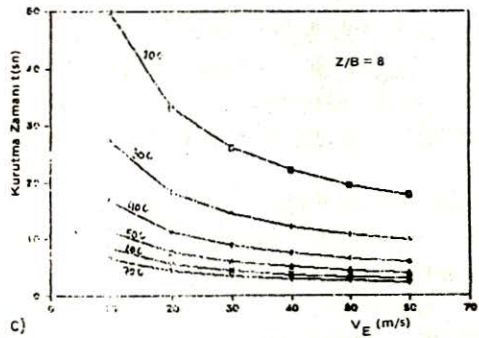
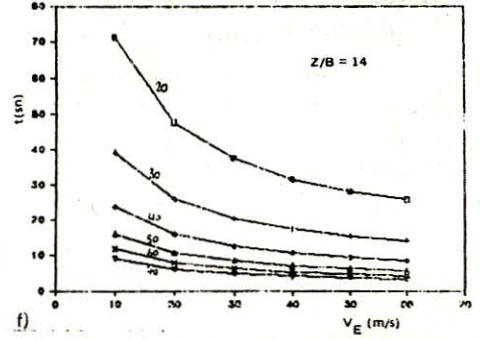
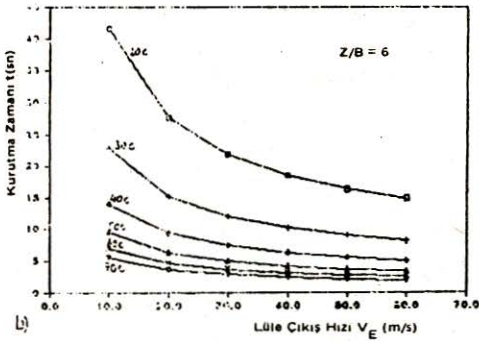
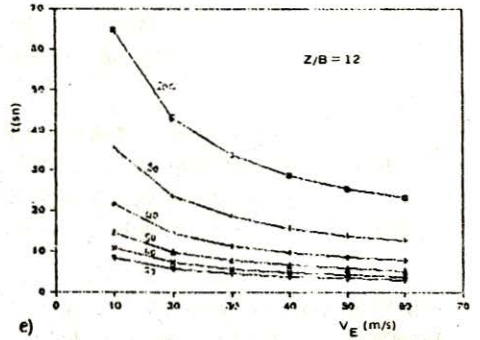
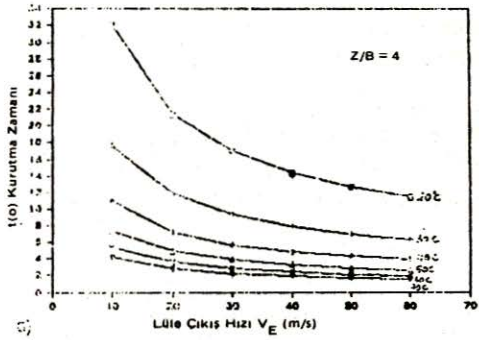
3. ( $T_h - T_y$ ) sıcaklık farkının belirlenmesi için öncelikle psikrometrik oran ( $h/h_p$ ) bilinmelidir. Bu oran, daha önce de belirtildiği gibi ısı ve kütle transferi arasındaki benzeşime başvurmak suretiyle çıkarılabilir, (Chilton ve Colburn<sup>7</sup>). Psikrometrik oranın hava bazından bağımsız olduğu (11) nolu denklemden görülebilir.

4. Çözücü buharının hava içindeki yayılabilirliği, Fueller, Schettler ve Giddings'in<sup>10</sup> formüllerinden hesaplanabilir. Ayrıca, buharın kısmi basınç kesri küçüktür ve hava/buhar karışımının termodinamik özellikleri için havanın özellikleri alınabilir.

5. Durgunluk noktası dataları Gardon'dan<sup>11</sup> alınmıştır.

6. Sabit miktarda kurutma işleminde, genellikle kurutma yüzeyindeki (buharlaşan) sıvının buhar basıncının, sıvının sıcaklığına tekabül eden doymuş değerde kaldığı kabul edilir. Halbuki çözücü bir eriyikten buharlaşmakta olup, mürekkep kurutması işleminde yüzey buhar basıncı daha komplekstir ve saf çözücü buhar basıncının bu etkiye bağlı değişimini kestirmek güçtür. Bu nedenle, buharlaşmanın saf çözücüden olduğu kabul edilmiş olup, saf çözücünün yaklaşık olarak % 30 oranında daha hızlı kuruduğu varsayımıyla 1.3 değerinde bir düzeltme faktörü kullanılmıştır.

7. 18-22 denklemleri ve yukarıda yapılan kabuller üzerine kurulan bilgisayar programıyla farklı lüle-yüzey aralıkları, değişik hava hızı ve sıcaklıkları için toplam kurutma zamanları Şekil 5'te verilmiştir. Elde edilen sonuçların bu konuda daha önce yapılan deneysel ve teorik çalışmalarda<sup>12,13</sup> uyum halinde olduğu tesbit edilmiştir.



Şekil 5 - Toplam kurutma zamanının lüle çıkış hızı ve sıcaklıkla değişimi

#### 4. SONUÇLAR

1. İnce mürekkep tabakalarının kurutulmasına ilişkin bir çalışma yürütülmüş olup, kurutucu tasarımında temel olarak kullanılabilir sonuçlar elde edilmiştir.

2. Sabit-miktarda kurutma periyodu süresince kurutma miktarı hava şartlarıyla kontrol edilebilmektedir. Hava hızı ve sıcaklığındaki değişimlerin kurutma zamanı üzerindeki etkisi belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar çeşitli deneysel ve teorik çalışmaların sonuçlarıyla yakın bir mutabakat halindedir.

3. Lüle-yüzey arası uzaklığın ısı ve kütle transferi üzerindeki etkisi incelenmiş ve boyutsuz lüle-yüzey aralığı  $Z/B = 6 \div 8$  bölgesinde lokal ısı transfer katsayısının maksimum değerleri elde edilmiştir. Bu sonuç, deneysel çalışmalarla mutabakat halindedir.

4. Kurutma havasındaki çözücü konsantrasyonunun sıfır olduğunun kabulü, ısı ve kütle transferi arasındaki benzeşim ve cidar jeti sınır şartlarının yeniden gözden geçirilip irdelenmesiyle sabit-miktar periyodu için önerilen teori iyileştirilebilir.

#### KAYNAKLAR

1. SHERWOOD, T.K.: Ind. Eng. Chem, 1929, 21, 12.
2. SCHLICHTING, H.: Boundary Layer Theory McGraw-Hill, 1960.
3. HARDISTY, H. and CAN, M.: An experimental investigations into the effect of changes in the geometry of a slot nozzle on the heat transfer characteristics of an impinging air jet. Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 197C, I. Mech E March 1983.
4. GARDON, R. and AKFIRAT, J.C.: Int. J. Heat Mass Transfer 1965, 8, 1261.
5. HARDISTY, H.: Analysis of the constant-rate period of ink drying. J. Oil. Col. Chem. Assoc. 1977.
6. SHERWOOD, T.K. and DIGFORD, R.L.: Absorption and Extraction McGraw-Hill, 1952.
7. CHILTON, T.H. and COLBURN, A.P.: Mass transfer (absorption) coefficients Ind. Eng. Chem. 26.11.1934.
8. HARDISTY, H.: Evaporative drying using impinging air jets. Gravure 80, pp 9.1.9.18.
9. GARDNER, G.S.: Ind. Eng. Chem. 1940, 32, 226.
10. FULLER, E.N., SCHETTLER, P.D. and GIDDINGS, J.C.: Ind. Eng. Chem. 58, 19, 1966.
11. GARDON, R. and AKFIRAT, J.C.: Trans. ASME, J. Heat Transfer, 101, 1966.

12. **HARDISTY, H.:** The analysis of the drying process in thin films of ink. Proc. First International Symposium on Drying Science Press, Princeton, 1978.
13. **HARDISTY, H.:** Drying printed coatings by impinging air jets. Drying 80, Vol. 1, Hemisphere Publishing Corp. 1980.

### SEMBOLLER

<b>A</b>	Yüzey Alanı	$m^2$
<b>B</b>	Lüle (Slot) Genişliği	$m$
<b>B<sup>1</sup></b>	Etkin Lüle Genişliği	$m$
<b>C<sub>D</sub></b>	Lüle Daralma (Boşaltma) Katsayısı	-
<b>C<sub>p</sub></b>	Özgül ısı	$J/kgK$
<b>D</b>	Difüzyon Katsayısı	$m^2/s$
<b>E</b>	Enerji	$J$
<b>G</b>	Kütlesel Debi	$kg/m^2s$
<b>h</b>	Isı Taşınım (Transfer) Katsayısı	$W/m^2K$
<b>h<sub>p</sub></b>	Kütle Transfer Katsayısı	$m/s$
<b>h<sub>fg</sub></b>	Gizli Buharlaşma Isısı	$J/kg$
<b>j</b>	Colburn j faktörü	-
<b>k</b>	Isı İletim Katsayısı	$W/mK$
<b>L</b>	Karakteristik Uzunluk	$m$
<b>L</b>	Mürekkep Tabakası Kalınlığı	$\mu$
<b>Le</b>	Lewis Sayısı ( $k/\rho DC_p$ )	-
<b>Q</b>	Kütle Transfer Miktarı	$kg/s$
<b>Nu</b>	Nusselt Sayısı ( $hL/k$ )	=
<b>p</b>	Basınç	$N/m^2$
<b>Pr</b>	Prandtl Sayısı ( $\mu C_p/k$ )	=
<b>Q</b>	Isı Transferi Miktarı	$W$
<b>q</b>	Isı Akışı	$W/m^2$
<b>Re</b>	Reynolds Sayısı ( $\rho VL/m$ )	=
<b>Sc</b>	Schmidt Sayısı ( $\mu/(D\rho)$ )	-
<b>Sh</b>	Sherwood Sayısı ( $hL/D$ )	-
<b>T</b>	Sıcaklık	$C$
<b>t</b>	Zaman	$s$
<b>V</b>	Hız	$m/s$
<b>X</b>	Durgunluk Noktasından Olan Yatay Uzaklık	$m$

Z	Lüle Çıkışı ile Yüzey Arasındaki Düşey Uzaklık	m
$\rho$	Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>
$\theta$	Sıcaklık Farkı	C
$\mu$	Mutlak Viskozite	kg/ms
$\nu$	Kinematik Viskozite	m <sup>2</sup> /s

#### İndisler

o	Durgunluk Noktası
y, s	Yüzey Şartları
h, A	Hava Şartları
E	Lüle Çıkışı