



TTMD

TÜRK TESİSAT MÜHENDİSLERİ DERNEĞİ DERGİSİ

Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki

Sayı : 13

TTMD

Adına Sahibi
Hüseyin Erdem

Yazı İşleri Müdürü
Abdullah Bilgin

Genel Yayın Yönetmeni
Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç

Yayın Kurulu
Gürkan Arı
İ. Zeki Aksu
Abdullah Bilgin
Aytekin Çakır
Dr. İbrahim Çakmanus
Erbay Çerçioğlu
Ali Rıza Dağlıoğlu
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Günerhan
Orhan Murat Gürson
Halim İman
Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç
Selami Orhan
Fevzi Özel
E. Aybars Özer
S. Seden Çakıroğlu Özteker
İsmet (Ünlü) Taner
Halil Bora Türkmen

Dergi Yayın Sorumlusu
Gülten Acar

Dergi Yayın Asistanı
İlknur Altınbaş

İletişim

Bestekar Sk. Çimen Apt.
No: 15/2 06680 Kavaklıdere-Ankara
Tel: 0.312. 419 45 71 - 419 45 72
Faks: 0.312. 419 58 51
web: <http://www.ttmd.org.tr>
e-mail: ttmd@ttmd.org.tr

TTMD Yönetim Kurulu
Hüseyin Erdem (Başkan)
Abdullah Bilgin (Başkan Yrd.)
Hırant Kalataş (Başkan Yrd.)
Prof. Dr. Abdurrahman Kiliç (Başkan Yrd.)
Dr. İbrahim Çakmanus (Genel Sekreter)
Orhan Murat Gürson (Muhasip Üye)
İ. Zeki Aksu (Üye)
Levent Alatlı (Üye)
Gürkan Arı (Üye)
Handan Özgen (Üye)
S.Seden Çakıroğlu Özteker (Üye)
Tufan Tunç (Üye)
Cafer Ünlü (Üye)

36. Sayının Ekidir

Endüstriyel Kurutma Sistemleri

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Günerhan, Mak. Yük. Müh.

TTMD Üyesi

1. Giriş

Kurutma, gaz, sıvı ve katı malzemelerden su ve diğer sıvıların uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma işlemi, genelde katı malzemelerden ısı olarak su veya eritkenlerin uzaklaştırılması için yapılır. Nem alma bir gazın kurutma ortamı aracılığıyla, genelde yoğunlaşma veya absorpsiyon (soğurma) işlemiyle kurutulmasıdır. Damıtma ise, sıvıların kurutulması için yapılan bir işlemdir.

Bir katının ısı yöntemlerle kurutulmasından önce, mekanik yöntemlerle içindeki suyun ayrıştırılması daha ekonomiktir. Filtreleme, eleme, sıkma, santrifüj veya süzme gibi mekanik yöntemler, uzaklaşan suyun birim kütlesi başına çok daha az güç ve sermaye gerektirir.

2. Kurutma Mekanizması

Bir katı kururken, iki süreç oluşur: Sıvıyı buharlaştırmak için gerekli olan ısı transferi ve buhar ve iç sıvı kütlesinin transferi. Her bir işlemin oranını belirleyen faktörler kurutma hızında belirler. Ticari kurutma işleminin en temel amacı, işlem için gerekli ısıyı verimli bir şekilde sağlamaktır. Isı transferi; iletim, taşınım, ışınlım veya üçünün birleşimi şeklinde gerçekleşebilir. Endüstriyel kurutucu tipleri, katıya olan ısı transferi yöntemlerine bağlı olarak değişir. Genelde ısı, önce katının dış yüzeyine sonra da katının içine doğru hareket eder. Bu durumun tersi yüksek frekanslı elektrik akımları aracılığı ile oluşur. Bu durumda iç bölgedeki sıcaklık dış yüzeyden daha yüksektir ve ısı akışı içeriden dışarıya doğru oluşur [1].

3. Kurutmaya Higrometrinin (Nem Ölçümün) Uygulanması

Birçok uygulamada, kurutucu akışkanın yeniden dolaştırılması ısı verimi artırır. Fazla dolaşım ile oluşan düşük ısı kaybı ile, az dolaşım ile oluşan yüksek kuruma hızı, dolaştırılan hava oranı en uygun duruma getirilerek giderilebilir. Kurutma havasının nem içeriği, yeniden çevrimden etkilendiği için, istenilen hava neminin korunması amacıyla zaman zaman analiz edilmelidir. Havanın soğurabileceği maksimum nem miktarını; yağ termometre sıcaklığındaki doyma nemi ile sisteme sağlanan havanın çığ noktasındaki nemi arasındaki fark verir. Havanın gerçek nem alma potansiyeli ısı ve kütle transferi oranlarıyla hesaplanır ve genelde maksimum değerlerden düşüktür.

**ÜNTES ISITMA KLİMA SOĞUTMA SAN. VE TİC. A.Ş.'NİN
KATKILARIYLA YAYINLANMAKTADIR**

Çoğu kurutma hesaplamaları için ASHRAE psikrometrik (psychometric) çizge kullanılabilir [2]. İşlem adyabatik (adiabatic: ısı almaz) soğutma eğrilerini tamamen izlemeyebilir. Bunun nedeni, malzemeden bir miktar ısının ışıınım veya metal tepsi veya konveyör (taşıyıcı) yardımıyla iletimle taşınmasıdır [1].

Örnek 1: 41.05 kg/h kapasiteli, kuru kemik jelatini kurutma sistemi ele alınsın. Başlangıç nemi %228, son nemi ise %32 kuru kemik bazında olsun. Optimum kurutma için, dış hava 48.88°C (kuru termometre) ve 29.44°C (yaş termometre) sıcaklığında, egzoz havası, 37.77°C (kuru termometre) ve 29.16°C (yaş termometre) sıcaklığında ve karışım havası ise 26.66 °C (kuru termometre) ve 18.33°C (yaş termometre) sıcaklığında olsun.

Yukarıda verilen kurutma sistemi için, karışım ve egzoz havası miktarı ile yeniden sisteme verilen hava miktarı, aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir:

Bu örnekte, üç hava akımında da nem içeriği sabittir ve yeniden çevrim oranı da belirlenmiştir. Karışım ve egzoz havası özelliklerinin belirlenmesi için ASHRAE psikrometrik çizge kullanılır [2]. Kurutucuda, sabit-kararlı bir durumun oluşması için, malzemeden buharlaşan su, egzoz havası tarafından taşınır. Nem alma oranı (egzoz havası ile karışım havasının nem içerikleri farkı); malzemeden buharlaşan suyun, saatte atılan kuru hava ağırlığına bölünmesiyle hesaplanır.

Adım 1: ASHRAE psikrometrik çizgeden Çizelge Ö1 ile verilen değerler bulunur.

	Kuru termometre sıcaklığı (°C)	Yaş termometre sıcaklığı (°C)	Nem oranı (kg/kg kuru hava)
Dış hava	48.88	29.44	0.0187
Egzoz havası	37.77	29.16	0.0220
Karışım havası	26.66	18.33	0.0100

Çizelge Ö1. ASHRAE psikrometrik çizgeden bulunan değerler

Nem alma miktarı = 0.022-0.010 = 0.012 kg/kg kuru hava

Kurutucuda buharlaşan su miktarı = 41.05 (228-32) / 100 = 80.458 kg/h (= 0.022 kg/s)

Bu miktarı buharlaştırmak için gerekli hava miktarı = 80.458 / 0.012 = 6704.8 kg/h (= 1.86 kg/s)

Adım 2: [x = (yeniden sisteme verilen hava miktarı)] ise, [100-x = (karışım havası miktarı)] olur.

Dış hava nemi ise, [(Egzoz havası ve yeniden sisteme verilen hava nemleri oranı)(x / 100) + (Karışım havası nemi oranı)(100-x) / 100] olarak hesaplanır.

Buradan, 0.0187 = 0.022 (x/100) + 0.010 (100-x)/100 ise,

Karışım ve egzoz havası oranı: 100-x = %27.5

Yeniden sisteme verilen hava oranı: x = %72.5 olarak hesaplanır.

4. Kuruma Zamanının Bulunması

Kuruma zamanını bulmak için üç yöntem vardır:

- Ticari bir makinanın özellikleri benzeşim yöntemi ile oluşturulur ve laboratuvar ortamında testler yapılır veya ticari makineyi kullanarak verim değerleri elde edilir.
- Kurutulmak istenen madde elde edilemezse, yukarıda verilen yöntemlerden biri kullanılarak benzer bir malzemenin kurutulması ile veri toplanır.
- Kuruma zamanı teorik denklemler ile hesaplanır. (Bu yöntem uygulanırken kullanılacak yaklaşık değerlere dikkat edilmelidir).

Ticari bir donanım tasarlanırken, ticari çalışma koşullarını içeren bir laboratuvar kurutucusunda kurutma deneyleri yapılmalıdır. Laboratuvar testlerinde kullanılan örnek malzemeler, ticari işlemlerde kullanılan malzemeye benzer olmalıdır. Çeşitli örneklerden elde edilen sonuçlar, doğruluk için karşılaştırılmalıdır.

Diğer yandan, test sonuçları ticari malzemenin kuruma karakteristiğini tamamıyla yansıtmayabilir. Laboratuvar testlerinin pratik olmadığı durumlarda, ticari kurutma verileri, kurutucu imalatçısının deneyimi ile elde edilebilir [1].

5. Ticari Kurutma Süresi

Ticari bir kurutucu seçerken, tahmin edilen kuruma zamanı, verilen kapasite için uygun makina boyutlarını belirlemeye yarar. Eğer kurutma zamanı laboratuvar testlerinden belirlenmiş ise, aşağıda verilen bilgiler göz önünde tutulmalıdır:

- Laboratuvar kurutucusunda, kurutma olayı ışıınım ve iletimin bir sonucu olabilir. Ticari kurutucuda ise, bu faktörler genelde ihmal edilir.
- Ticari kurutucuda, nem koşulları laboratuvar kurutucusundan fazla olabilir. Nem kontrollü kurutma işlemlerinde, laboratuvar kurutucusundaki ticari nem koşulları ikiye katlanarak bu faktör elenebilir.
- Ticari kurutucudaki işletme koşulları, laboratuvar kurutucusundaki gibi sabit değildir.
- Küçük ölçekte malzeme kullanıldığı için, bu ölçek ticari malzemenin özelliklerini tam olarak yansıtmayabilir. Bu nedenle tasarımcı, ticari koşullara uygun bir kuruma zamanı belirlenmesi için, deneyim ve karar verme yeteneğini kullanabilmelidir [1].

6. Kurutucu Hesapları

Ticari bir kurutucunun basit maliyet analizi için, dolaştırılan hava akımı miktarı, karışım ve egzoz havası miktarı ile ısı dengesi hesaplanmalıdır [1].

6.1. Dolaşım Havası

İstenilen dolaşım veya giriş havası miktarı, maddeye bağlı en uygun hava hızıyla hesaplanır. Bu miktar laboratuvar deneyleri veya önceki deneyimlerle belirlenebilir fakat havanın en uygun nem taşıma değerleri de göz önünde tutulmalıdır.

6.2. Karışım ve Egzos Havası

Kurutucuda sabit-kararlı koşulların elde edilmesi için gerekli karışım ve egzos havası miktarlarına 3. bölümde değinilmişti. Devamlı çalışan bir kurutucuda, maddenin nem içeriği ile karışım havası miktarı arasında Denklem (1) ile verilen bir bağıntı vardır.

$$G_T(W_2 - W_1) = M(v_1 - v_2)$$

Denklem (1) ile verilen gösterimler:

G_T : Karışım havası olarak kurutucuya verilen kuru hava, (kg/h)

M : Sürekli kurutucuda kurutulan malzeme miktarı, (kg/h)

W_1 : Giriş havasının nem miktarı, (kg su buharı/kg kuru hava)

W_2 : Çıkış havasının nem miktarı, (kg su buharı/kg kuru hava), (Sürekli kurutucuda W_2 sabittir, kesikli kurutucuda W_2 döngünün bir kısmında değişim gösterir)

v_1 : Kuru bazda malzemenin giriş nemi, (kg su/ kg kuru madde)

v_2 : Kuru bazda malzemenin çıkış nemi, (kg su/ kg kuru madde)

Kesikli kurutucuda, kurutma işlemine ait bağıntı Denklem (2) ile verilmiştir.

$$G_T (W_2 - W_1) = M_T (dv / d\theta)$$

Denklem (2) ile verilen gösterimler:

M_T : Kesikli kurutucuda işlenen malzeme kütlesi, (kurutma başına, kg).

$dv / d\theta$: v değerine karşılık gelen anlık buharlaşma miktarı.

θ : zaman

Karışım havası miktarı sabittir ve ortalama buharlaşma oranına bağlıdır. Kesikli kurutucudaki nem miktarı, kurutma çevrimi boyunca maksimum ile minimum değerler arasında değişir. Sürekli kurutucuda ise

nemlilik, sabit yük altında sabit bir değerdedir.

6.3. Isıl Denge

Bir kurutucunun yakıt gereksinimi hesaplanırken, aşağıda verilen ısıl hesapların yapılması gereklidir:

- Kurutucunun ısıtım ve taşınımıyla olan ısı kayıpları,
- Ticari olarak kurutulacak malzemenin çıkış sıcaklığına ısıtılması için gerekli ısı miktarı (bu miktar genelde tahmin edilir),
- Malzemeden alınacak suyun buharlaştırılması (genelde yaş termometre sıcaklığı için hesaplanır),
- Kurutucu için, yaş termometre sıcaklığından egzos sıcaklığına buharın ısıtılması,
- Kurutucudaki malzemenin içerisindeki toplam su miktarının giriş sıcaklığından yaş-termometre sıcaklığına ısıtılması,
- Karışım havasının ilk sıcaklığından egzos sıcaklığına ısıtılması.

Soğurulan enerji miktarı yakıt tarafından karşılanmalıdır. Isıtıcı donanımlarının seçimi ve tasarımı, kurutucu tasarımının en önemli kısımlarından biridir.

Örnek 2: Magnezyum hidroksit, kanatlı silindire beslenen sürekli taşıyıcılı bir kurutucuda %82 (kuru baz) nem içeriğinden %4 (kuru baz) nem içeriğine indirilmek isteniyor. İstenilen üretim miktarı 0.4 kg/s değerindedir. Dolaştırılan en uygun hava sıcaklığı 71.1°C sıcaklığındadır ve kurutucu, mevcut buhar basıncı ile kısıtlanmamaktadır.

Adım 1: Laboratuvar test sonuçları; Özgül ısı değerleri: Hava, $C_a = 1.00$ kJ/(kg°C); malzeme, $C_m = 1.25$ kJ/(kg°C); Su, $C_w = 4.18$ kJ/(kg°C); su buharı, $C_v = 1.84$ kJ/(kg°C); kurutucuya giren malzeme sıcaklığı = 15°C, karışım havası kuru termometre sıcaklığı = 21°C, karışım havası yaş termometre sıcaklığı = 15.5°C, dolaşım havası kuru termometre sıcaklığı = 71.1°C, dolaşım havası yaş termometre sıcaklığı = 38°C, kurutma yatağı boyunca hava hızı =

1.3 m/s, kurutma yatağı yükü = 33.3 kg/m², Test kurutma süresi = 1500 s.

Adım 2: Edinilen deneyimler, ticari kurutma süresinin laboratuvar testlerinde gözlemlenen süreden %70 daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, ticari kurutma süresi 2550 saniyedir.

Adım 3: Kurutma yatağının kapasitesi: $(0.4)(42.5)(60) = 1020$ kg [%4 (kuru baz)]. Gerekli taşıyıcı alanı: $1020 / 33.3 = 30.6$ m². Taşıyıcı genişliği 2.4 m kabul edilirse, kurutma bölgesi uzunluğu $30.6 / 33.3 = 12.8$ metredir.

Adım 4. Kurutucuya giren malzeme içerisindeki su miktarı: $(0.4)[82 / (100+4)] = 0.315$ kg/s, kurutucudan çıkan malzeme içerisindeki su miktarı: $(0.4)[4 / (100+4)] = 0.015$ kg/s, malzemeden alınan nem miktarı: $0.315 - 0.015 = 0.300$ kg/s değerindedir.

Adım 5: Hava, taşıyıcı delikli yüzeyine dik olacak şekilde gelir ve hava hacmi, (yüzey hızı). (taşıyıcı alanı) ile hesaplanır: Hava hacmi = $(1.3)(30.6) = 39.8$ m³/s.

ASHRAE psikrometrik çizgeye göre hava özellikleri: Dolaşım havası (71.1°C kuru baz, 38°C yaş baz): Nemlilik oranı = 0.029 kg/kg kuru hava, özgül hacim = 1.02 m³/kg kuru hava; karışım havası (21°C kuru baz, 15.5°C yaş baz): nemlilik oranı $W_1 = 0.0087$ kg/kg kuru hava, kuru havanın kütle akış oranı = $39.8 / 1.02 = 39.0$ kg/s

Adım 6: Nem alma oranı: $(0.300)(1000) / 39.0 = 0.0077$ kg/kg kuru hava, egzos havasının nemlilik oranı: $W_2 = 0.029 + 0.0077 = 0.0367$ kg/ kg kuru hava, denklem (1) yardımıyla: $G_T (0.0367 - 0.0087) = (0.4 / 1.04)(82-4) / 100$ ise, $G_T = 10.7$ kg kuru hava/h, karışım havası = $(100)(10.7) / (39.0) = \%24$, yeniden sirküle edilen hava = %76

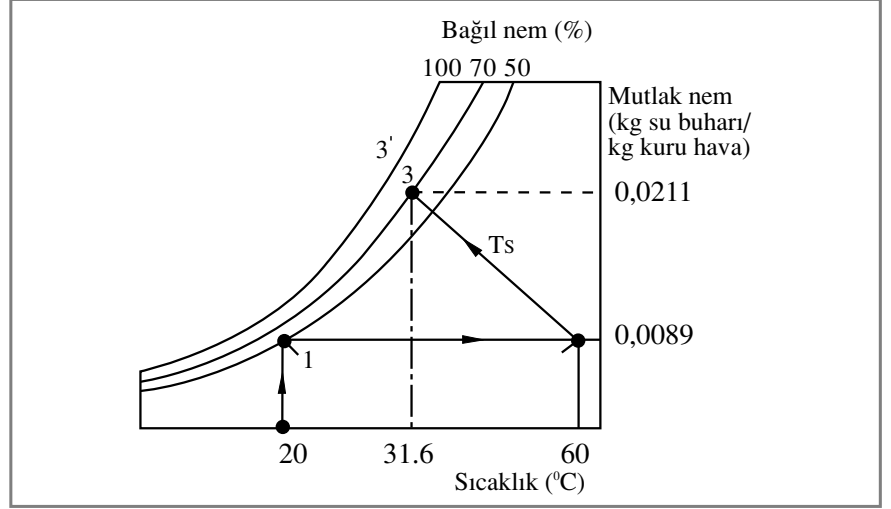
Adım 7: Isıl denge: Malzemenin duyulur ısısı = $M (t_{m2} - t_{m1}) C_m = (0.4 / 1.04) (38-15)(1.25) = 11.1$ kJ/s, suyun duyulur ısısı = $M_{w1} (t_w - t_{m1}) C_w = (0.315)(38-15)(4.18) = 30.2$ kJ/s

Buharlaşma gizli ısısı = $M(w_1 - w_2)$

$H = (0.300)(2411) = 723.3 \text{ kJ/s}$

Buharın gizli ısısı = $M(t_2 - t_w) C_v = (0.300)(71.1 - 38)(1.84) = 18.3 \text{ kJ/s}$.

Madde için gerekli ısı = 782.9 kJ/s (duyulur ve gizli ısılardan toplamı). Yataktaki sıcaklık düşümü $(t_2 - t_3) = (\text{gerekli ısı}) / [\text{kuru hava}, (\text{kg} / \text{s})(C_a)] = (782.9) / [(39.0)(1.00)] = 20^\circ\text{C}$. Egzos havası sıcaklığı = $71.1 - 20 = 51.1^\circ\text{C}$, karışım havası için gerekli ısı = $G_T(t_3 - t_1) C_a = (10.7)(51.1 - 21)(1.00) = 322.07 \text{ kJ/s}$, madde ve karışım havası için gerekli toplam ısı miktarı = $782.9 + 322.07 = 1104.97 \text{ kJ/s}$.



Şekil Ö1. Örnek 3 için psikrometrik çizge

Işınım ve taşınım kayıplarını karşılamak için sisteme sağlanması gereken ek enerji miktarı, kurutucu yüzeylerin bilinen kısımlarından hesaplanabilir.

7. Kurutma İşlemlerinde

Psikrometrik Çizgeden Yararlanma

Hava akımından yararlanılarak yapılan kurutma işlemlerinin, adyabatik koşullarda olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda, havanın kurutucu içinden geçerken ısı enerjisi içeriğinin sabit kaldığı kabul edilir. Gerçekte, kabul edilen değerden bir miktar farklılık olduğu bilinmekle birlikte, hata oranı çok küçük değerde kaldığı için yapılan kabul sonucu fazla etkilemez.

Ticari kurutucularda genellikle, sıcaklığı, kurutulacak malzemeden daha yüksek olan hava akımı kullanılır. Hava, kurutulacak malzeme ile karşılaştığında, sıcaklığı daha yüksek olduğu için, malzemeye ısı transfer eder. Bu sırada havanın duyulur ısısında azalma olduğundan sıcaklığı azalır. Havadan malzemeye geçen ısı, burada bulunan suyun buharlaşması için buharlaşma gizli ısısı olarak kullanılır. Buharlaşarak havaya karışan su, havadan malzemeye geçen duyulur ısıyı, buharlaşma gizli ısısı şeklinde tekrar geriye, havaya döndürmüş olur. Bu nedenle, kurutucu içindeki hava, duyulur ısı olarak malzemeye verdiği enerjisi, buharlaşan su ile geriye kazanır ve ısı miktarı toplamını (entalpisini) değiştirmemiş olur.

Kurutucularda, malzemenin kuruma sırasındaki yüzey sıcaklığı tam olarak

bilinmemekle birlikte, az bir hata payı ile havanın yaş termometre sıcaklığında olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda, malzemede su, havanın yaş termometre sıcaklığında buharlaşacaktır. Diğer bir deyişle, kurutma havasına karışan su buharı, havanın yaş termometre sıcaklığında olacaktır. Kurutma havasının sıcaklığı daha yüksek olduğundan, içine karışan su buharını belli bir değerde denge sıcaklığı sağlanıncaya kadar ısıtacaktır. Bu işlem sırasında da havanın duyulur ısısı kullanıldığından, sıcaklığı bir miktar daha düşecektir. Sonuç olarak, hava akımıyla kurutma sırasında havanın ısı miktarı değişmemekte, gerek suyun buharlaşması ve gerekse oluşan buharın sıcaklığının yükselmesi için duyulur ısını kullandığı için sıcaklığı azalmaktadır. Ayrıca, kuruma süresince havanın içine malzemeden ayrılan su buharı katıldığından, havanın mutlak ve bağıl nem değerleri yükselir. Kurutma havasındaki bu değişim, su buharıyla tamamen doyuncaya kadar sürebilir.

Yukarıda verilen temel ön kabullerden yararlanarak, kuruma havasının kurutucu içinden geçerken uğradığı durum değişimleri, psikrometrik eşitlikler yardımıyla belirlenebildiği gibi, psikrometrik çizgeden de yeterli bir hassasiyette bulunabilir.

Örnek 3: Kuru termometre sıcaklığı 20°C , bağıl nemi %60 şartlarında bulunan hava, sıcaklığı 60°C değerine kadar yükseltildikten sonra kurutucuya girmekte ve bağıl nemi %70 değerine ulaştığında dışarı çıkartılmaktadır. Ele alınan havayla ilgili özellikler psikrometrik diyagram üzerinde Şekil Ö1 ile verilmiştir.

Diyagram üzerinde, kuru termometre ölçü çizgisinden çıkan 20°C çizgisi ile %60 bağıl nem eğrisinin kesiştiği (1) numaralı nokta, havanın ısıtıcıya girmeden önceki durumunu belirtmektedir. Hava, sıcaklığı 60°C değerine yükselcek şekilde ısıtılırken, durumu mutlak nem çizgisi üzerinde değişir. (1) noktasından geçen mutlak nem çizgisi ile 60°C çizgisinin kesiştiği (2) numaralı nokta, havanın ısıtıcıdan çıktığı sıradaki durumunu belirtir. Havanın (1) ve (2) durumlarındaki su buharı içerikleri değişmediğinden, mutlak nemleri eşittir. Bu durumda, havanın kurutucuya girmeden önceki mutlak nemi, çizgeden $0.0089 \text{ kg su buharı} / \text{kg kuru hava}$ olarak bulunur.

Durumu (2) numaralı nokta ile belirlenen hava, kurutucuya girdikten sonra, teorik olarak, sabit entalpi koşullarında sıcaklığı azalırken su buharı içeriği artar. Değişim sırasında havanın yaş termometre sıcaklığı sabit kalır. Hava, (2) numaralı noktadan geçen yaş termometre çizgisi (Ts) boyunca durum değiştirir. Sürekli olarak kurutucu içinde dolaştırılması durumunda hava aynı çizgi boyunca doymuş duruma gelene kadar nem

almaya devam eder. Bu durum, izlenen Ts çizgisi ile %100 bağıl nem eğrisinin kesiştiği (3') numaralı noktaya gösterilmiştir. Ancak, hava kurutucu içinde tamamen doyma noktasına ulaşmaya kadar bekletilmez. Aksi takdirde, kuruma süresi çok uzar. Bu örnekte havanın, doyma noktasından önce, %70 bağıl neme ulaştığında kurutucu dışına çıkarıldığı varsayılmıştır. (2) numaralı noktadan geçen Ts çizgisinin %70 bağıl nem eğrisi ile kesiştiği (3) numaralı nokta, havanın kurutucu dışına çıkarılması sırasındaki durumunu belirlemektedir. Bu noktadaki havanın mutlak neminin, 0.0211 kg su buharı / kg kuru hava ve sıcaklığının 31.6°C olduğu, çizgeden bulunur. Kurutucudan çıkan havanın 28.4°C soğuduğu ve mutlak neminin 0.0122 kg su buharı / kg kuru hava arttığı görülmektedir.

Kurutma ile ilgili çalışmalarda, kurutucuda dolaştırılan havanın mutlak neminin yaklaşık olarak bulunabilmesi için kuru ve yaş termometre sıcaklıklarından yararlanılmaktadır. Bu iki sıcaklığın arasındaki her 2.7°C değerindeki fark, mutlak nemin yaklaşık olarak %0.1 oranında artışını göstermektedir. Bu örnekte, kurutucu içinde dolaştırılan havanın sıcaklığı 28.4°C azalmıştır. Ve kullanılan havanın mutlak nemi $(28.4 / 2.7)(0.001) = 0.0106$ kg artmış olmaktadır. Bu değer, psikrometrik diyagram yardımıyla bulunan değerden 1.6 g farklıdır. Ancak aradaki fark, devam eden kurumayla ilgili bazı ön değerlendirmelerin yapılması için kullanımını önleyecek derecede büyük değildir.

Kurutma havasının adyabatik koşullarda, kurutucu içinde alabileceği nem, havanın kurutucuya girdiği noktada sahip olduğu mutlak nem ile bu noktadan geçen Ts çizgisinin havanın doymuş duruma geleceği %100 bağıl nem eğrisini kestiği noktadaki mutlak nem arasındaki fark kadardır. Örnekte bu noktalar, (2) ve (3') ile gösterilmiştir. Ts çizgisi boyunca (2) ve (3') noktaları arasındaki uzaklığın büyüklüğü, kurutma havasının adyabatik koşullarda alabileceği su buharının da bir göstergesidir. Kurutma havasının sabit entalpi koşullarında kurutucu içinde alabileceği nem “adyabatik kurutma potansiyeli (akp)” olarak tanımlanır. Örnekte, havanın (3') noktasındaki mutlak nemi, psikrometrik çizgeden yararlanarak 0.0231 kg su buharı / kg kuru hava olarak bulunur. (2) numaralı durum noktasında havanın sahip olduğu mutlak nem ile (3') noktasında sahip olduğu mutlak nem arasındaki fark, kullanılan havanın “akp” değerini verir: $akp = 0.0231 - 0.0089 = 0.0142$ kg su buharı / kg kuru hava. Bu örnekte, kurutucuya gönderilen havanın adyabatik olarak doyma noktasına ulaşması beklenmeden, bağıl nemi %70 değerine ulaştığında kurutucu dışına çıkarıldığı kabul edilmişti. Bu durumda, 1 kg kuru havaya ortamdan 0.0122 kg su buharı karışmaktaydı. Havanın kurutucuda aldığı nem miktarının, alabileceği nem miktarına oranı, “havadan yararlanma oranı (hyo)” şeklinde tanımlanır. Örnekte oluşturulan koşullara göre “hyo” değeri $= 0.0122 / 0.0142 = 0.859$ olarak hesaplanır. Bu değer, yapılan işlem sırasında havanın nem alma potansiyelinin yaklaşık %86 kadarından yararlandığını göstermektedir.

Kurutma işlemi, sırasında, kurutucuya giren hava, kurutucuyu bir kerede geçerse, genellikle, sahip olduğu nem alma potansiyelinin hepsini kullanmadan kurutucu dışına çıkar. Havanın kurutma potansiyelinden yeterince yararlanabilmek için, kurutucu dışına çıkarılmadan önce, içeride birkaç kez dolaştırılıp nem içeriğinin belli bir değere ulaşması sağlanır. Kurutma işleminin uzamaması için genellikle havanın bağıl nemi %60-70 değerlerine ulaştıktan sonra kurutucu dışına çıkmasına izin verilir. Bu yöntemin uygulanması sırasında, önce çevreden alınan taze hava, bir ısıtıcıdan geçirilerek sıcaklığı yükseltilir ve kurutucuya gönderilir. Kurutucu içinden geçen hava çıkışa ulaştığında, istenen miktarda nem almamışsa, bir başka kanaldan tekrar emilip ısıtıcıya sokularak ilk sıcaklığına kadar yeniden ısıtılır ve kurutucuya gönderilir. Hava bu şekilde kurutma potansiyeli yeterince kullanılıncaya kadar birkaç kez aynı işlemden geçirilir, istenilen değere ulaşıldığında kurutucu dışına çıkarılırken çevreden yeni taze hava emilip ısıtılarak kurutucuya verilir. Kuruma tamamlanana kadar bu işleme sürekli olarak tekrar edilerek devam edilir.

Bu yöntemin iki sakıncasından söz edilebilir: Bunlardan birincisi, kullanılan sıcak havanın mutlak neminin sürekli olarak artışı, ikincisi ise, zamanı geldiğinde havanın tümüyle değiştirilmesidir. Her iki nedenden ötürü, kuruma süreci sırasında malzemenin kuruma hızında farklılaşmalar meydana gelir. Bu durum kurumunun gelişiminde olumsuzluklara neden olduğu için söz konusu yöntem, zorunluluk olmadıkça uygulanmak istenmez.

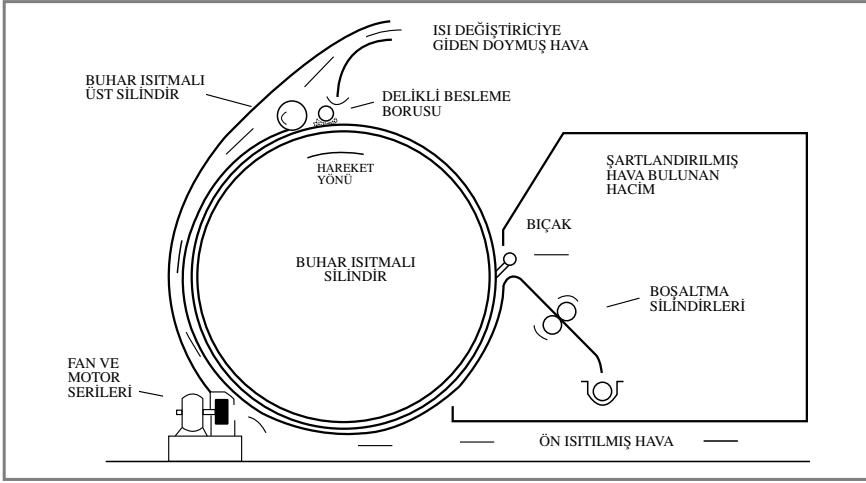
Kurutma tekniği açısından, kurutucuda sürekli olarak belli koşullardaki havanın kullanılması istenir. Enerji ekonomisini de göz önünde bulundurarak, sürekli taze hava kullanmaktansa, kurutucudan çıkan henüz kurutma potansiyelini tamamen kaybetmemiş durumdaki kullanılmış havanın bir bölümü ile taze hava karıştırılıp, bu karışımın ısıtıcıdan geçirildikten sonra kullanılması daha uygun olmaktadır. Hava karışımı, sürekli olarak aynı sıcaklıkta ve nemde kurutucuya gireceğinden, kuruma oluşumu üzerinde olumsuz etkiler görülmez.

Yeni (taze) ve kullanılmış havanın karışma oranları önceden belirlenebilir. Örneğin, %70 kullanılmış hava + %30 taze hava gibi. Bu karışım oranının belirlenmesi sırasında, kurutmayı aksatmamak koşuluyla kullanılmış havadan en fazla miktarda yararlanmak esas olmalıdır. Hava karışımının özellikleri, psikrometrik çizgeden yararlanılarak bulunabilir [3].

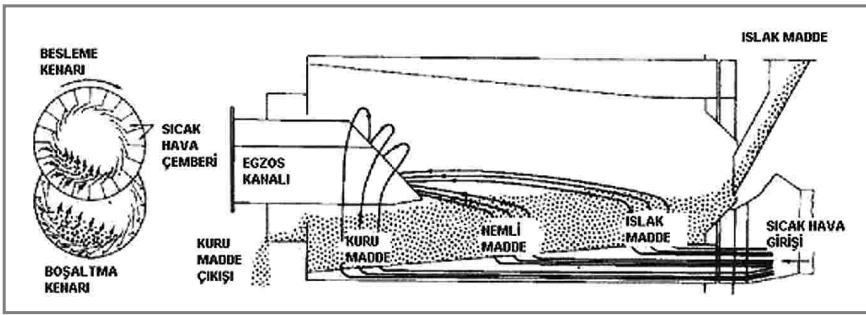
8. Kurutma Sistemi Seçimi

Bir kurutma sistemi seçiminde izlenecek yol aşağıda verildiği gibi olmalıdır [1, 4, 5]:

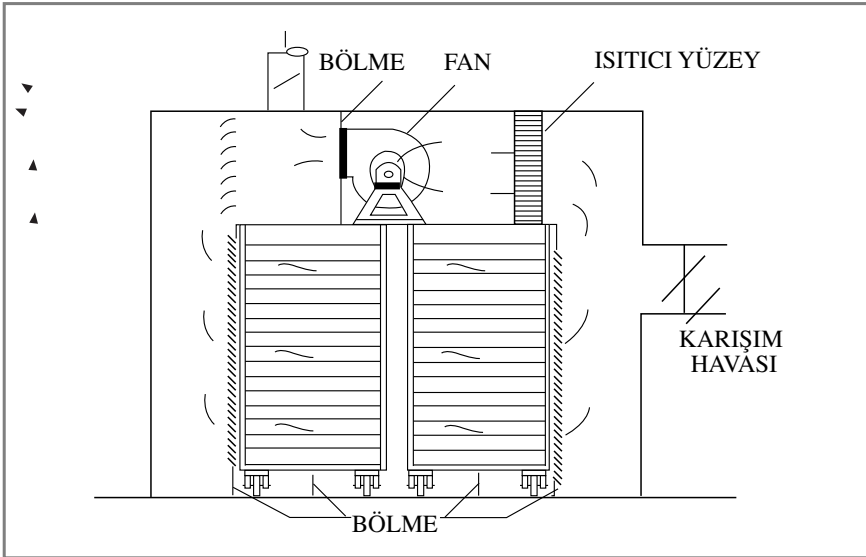
- Uygun kurutucunun araştırılması,
- Değişik tiplerin ön maliyet analizlerinin yapılması: İlk yatırım maliyetleri ve İşletme maliyetleri,
- Prototip veya laboratuvar ölçeklerinde yapılan kurutma testleri ve bu testler için en uygun donanımın kullanılması (Bazen pilot bir işletme de kullanılabilir),
- Örneklerin kurutulduğu denemelerin sonuç analizinin yapılması.



Şekil 1. Kurutma silindiri [1]



Şekil 2. Döner kurutucu örneği [1]



Şekil 3. Kabinli kurutucu örneği [1]

İşletme ve ilk yatırım maliyetini etkileyebilecek faktörler ise aşağıda verildiği gibidir:

- Ürün kalitesi (kesinlikle ödün verilemez),
- Tozlanma, çözücü veya diğer ürün kayıpları,
- Yer kısıtlamaları,
- Ürünün yığın yoğunluğu (paketleme maliyetini etkileyebilir).

9. Kurutma Sistemi Tipleri

Bazı kurutma sistemi tipleri aşağıda verildiği gibidir [1]:

9.1. Kızılötesi Işınım Kurutma

Isıl ışınım, kızılötesi lambalar, gaz ısıtmalı akkor yansıtıcılar, buhar ısıtmalı kaynaklar

ve genelde elektrikle ısıtılmış yüzeyler ile sağlanır. Kızılötesi, sadece bir malzemenin yüzeyi ve etrafında etkilidir, bu sebeple ince tabakaların kurutulması için uygundur.

9.2. İletim ile Kurutma

Kurutma silindireleri veya topları (Şekil 1), düz yüzeyler, açık kazanlar ve daldırma ısıtıcılar direkt temaslı kurutmaya örnek olarak verilebilir. Isıtma yüzeyi, kurutulacak malzeme ile temas halinde olmalıdır. Bu sistemlerde nem miktarı aşırı ısınmayı önlemektedir.

İletim ile kurutma sistemleri genel olarak kağıt ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır. İletim ile kurutmada; yüksek kurutma hızı ve sabit bir ısı ve kütle transferi koşulları sağlanamaz, ağ boyunca zayıf bir nem profili oluşur, sistem istenildiği gibi kontrol edilemez, işletilmesi genelde pahalıdır, makina etrafında istenmeyen çalışma koşulları oluşur.

Yukarıda verilen iletim ile kurutmanın olumsuz yanlarına rağmen, sistemi diğer kurutma sistemleriyle değiştirmek oldukça pahalı olmaktadır.

9.3. Taşınım ile Kurutma

Neredeyse bütün kurutucularda bir miktar taşınım ile kurutma olayı gerçekleşmektedir. Gerçek taşınımlı kurutucular, dolaştırılan sıcak hava veya diğer gazları, temel ısı kaynağı olarak kullanırlar. Herbirinin kendine özgü artıları vardır.

9.4. Döner Kurutucular

Silindirik kısımlar, kurutulacak malzemeyi hava akımı içerisine fırlatarak kurutma yaparlar (Şekil 2). Kurutmayı yapacak kısımlar doğrudan veya dolaylı olarak ısıtılır, hava akışı paralel veya ters akımlı olarak uygulanabilir. Döner raflı kurutucuda hava, rafların altına verilir.

9.5. Kabinli ve Bölmeli Kurutucular

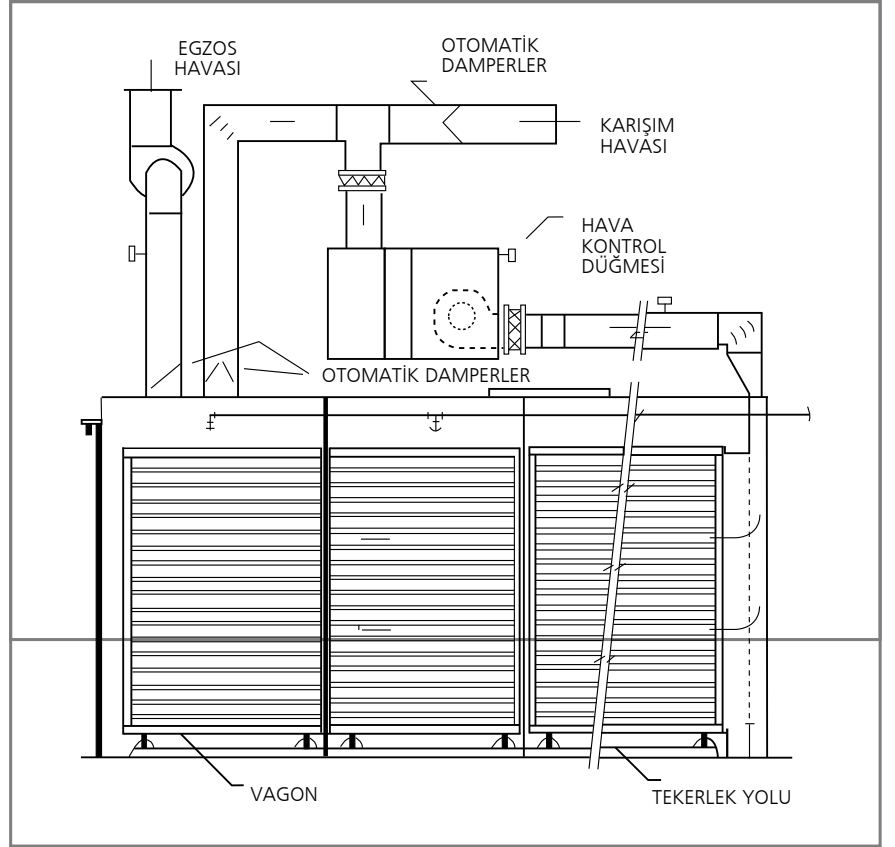
Kabinli kurutucuların, ısıtılan tavanlı sistemlerden (bu sistemlerde sadece doğal taşınım ve genelde zayıf ve düzensiz bir kurutma sağlanır), zorlanmış taşınımlı ve özel olarak tasarlanmış bölmeli daha

karmaşık sistemlere kadar birçok modeli vardır. Birçok sistem hassas ve nemli malzemenin düşük sıcaklıklarda kurutulması için tasarlanmıştır. Bu tip kurutucularda kurutma işlemi, kuutulacak malzemenin yüzey alanını arttırmak için tepsilere serilerek yapılır. Şekil 3 ile, suya doymuş ürünlerin kurutulması işleminde kullanılan bir sistem örneği verilmiştir.

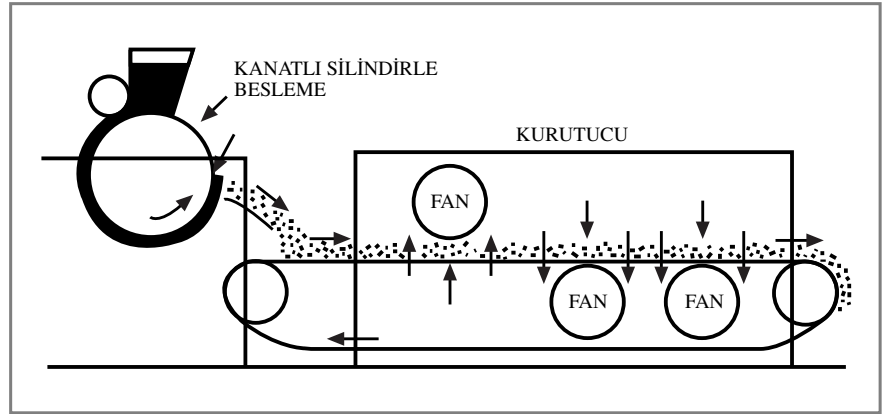
Çeşitli çözücüler ile doymuş ürünlerin kurutulmasında, herhangi bir patlamaya neden olabilecek gaz oluşumunu engellemek için özel yapılar tasarlanmalıdır. Eğer çözücü yüksek oranda buharlaşıyorsa, sistem güvenliği için dolaştırılan hava egzos olarak dışarı atılmalı ve sisteme geri verilmemelidir. Temizleme döngüsü boyunca hava devamlı dolaştırılmalı ve sisteme ısı verilmelidir. Patlamaların önlenmesi için laboratuvar kurutucuları, dolaştırılan hava miktarının tayini, çevrim uzunluğu ve herbir ürün için uygulanan ısı miktarı bilgilerinin eldesi için kullanılabilir. Kurutma çevrimi boyunca şartlandırılmış hava, en kısa zamanda sisteme geri dönmelidir. Tehlikeli maddelerin kurutulmasında hava dolaşımı önlenmelidir.

Kurutucuların özel güvenlik kısımları, çevrimin herhangi bir yerinde bir sorun olabileceği dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Ocak ve kurutucularda dikkat edilmesi gereken güvenlik koşulları aşağıda verildiği gibi olmalıdır [6]:

- i. Herbir bölümün ayrı hava sağlama ve egzos fanı ve patlamaya karşı uyarı paneli olmalıdır.
- ii. Egzos fanı pervane ucu hızı, ileri eğimli pervanelerde 25 m/s, radyal uçlu pervanelerde 35 m/s ve geriye eğimli pervanelerde 38 m/s değerinde olmalıdır. Bu hızlar fanda yüksek statik basınçlar oluşturur.
- iii. Egzos kanalında yetersiz hava akımını saptayan bir sistem olmalı ve sistem fan ve ısıtıcı bobinini kapatmalı ve sesli uyarı vermelidir.
- iv. Hava sağlama sisteminde yetersiz hava akımını saptayan bir sistem olmalı ve sistem fan ve ısıtıcı bobinini kapatmalı ve sesli uyarı vermelidir.



Şekil 4. Tünel kurutucu örneği [1].

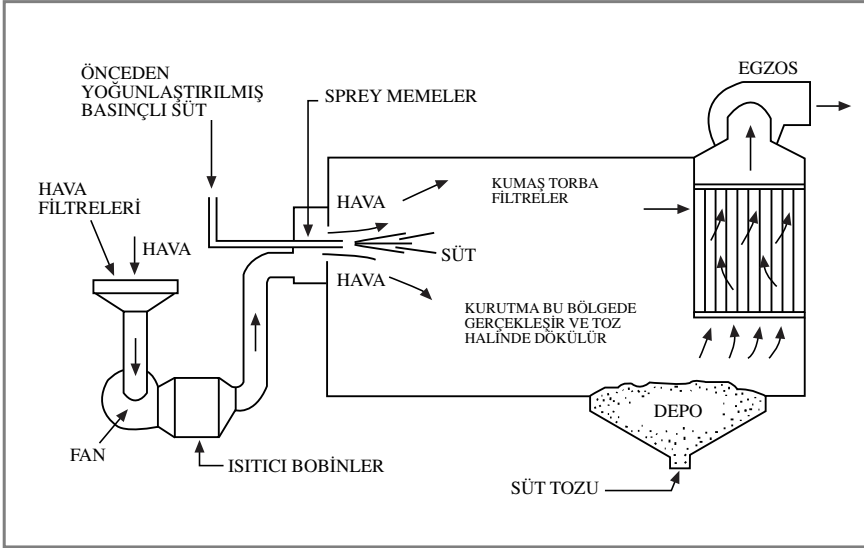


Şekil 5. Sürekli bir tünel kurutucu akış şeması [1]

- v. Hava sağlayıcı kanalda yer alacak yüksek sıcaklık kontrol cihazı, ısıtma bobinine giden elektriği kesmeli ve sesli uyarı vermelidir.
- vi. Kurutucu kapısındaki elektrikli kilit mekanizması, kapı, bir insanın içeriye girmesine yetecek kadar açıldığı zaman kurutma çevrimini otomatik olarak durdurmalıdır.

9.6. Tünel Kurutucular

Tünel kurutucular, sürekli veya yarı-sürekli çalışan yeniden tasarlanmış bölmeli kurutuculardır. Isıtılmış hava veya yanma gazları fanlar yardımıyla dolaştırılır. Malzeme, kurutucuda sürekli veya periyodik olarak tepsiler, arabalar veya bölmeler içerisinde hareket ettirilir. Hava akışı paralel, çapraz veya merkez egzozuyla birlikte bu akışların birleşimi şeklinde hareket edebilir (Şekil 4). Hava tepsi yüzeyi boyunca, dikey olarak yatak boyunca veya herhangi bir doğrultuda akmaktadır. Kurutucudaki havanın tekrar ısıtılması veya



Şekil 6. Dönen tip sprey kurutucu [1].

dolaştırılması, hava egzos edilmeden yüksek bir karışım kalitesine ulaşılmasını ve duyulur ısı kaybının azaltılmasını sağlar.

Tünel kurutucularda gözlenen bazı sorunlar aşağıda verildiği gibidir:

- İşletmenler, çıkan malzeme miktarını arttırmak için tepsileri aşırı yükleyebilir, bu da sistemin aşırı yüklenmesine ve kuruma zamanının uzamasına neden olabilir.
- Bazen, kurutma tüneline hava üretim alanına boşaltılabilir ve bu işlemde malzeme nemliliğini artırır. Kurutma tüneline hava tekrar sisteme verilmeli veya dışarı atılmalıdır.
- Ürün tepsilerinin aşırı yüklenmesi basınç düşümüne neden olur, bu işlemde tünel kurutucunun akış hızını düşürür. Kontrol paneli, tüneldeki en uygun akış hızını belirtmelidir. Hızlı ve yavaş akış ile yüksek nem oranlarında sesli uyarı sistemi devreye girmelidir.
- Döngü zamanı karşı-akışlı kurutucu tasarımı ile paralel akışlı sisteme göre daha da azaltılabilir.

Tünel kurutucunun bir diğer tipi (Şekil 5), malzemeyi taşıyan bir veya birden çok dişli kayışların olduğu sürekli kurutucudur. Sıcaklık, nem, hava yönü ve hava hızının çeşitli bileşimleri mümkündür. Sistem giriş ve çıkışındaki sıcak hava sızıntıları, eğik çıkışlar ve kanallar ile azaltılabilir.

9.7. Yüksek Hızlı Kurutucular

Yüksek hızlı kurutucular, kağıt kurutmak için kullanılan silindirik kurutuculara benzer bir sistemdir. Silindirik kurutucularla birlikte kullanıldığı zaman, dokuma kalitesinde ve işlem kontrolünde bazı problemler gözlenebilir. Kurutma hızında iç yayının kontrol edici etmen olmadığı ince zarımsı dokumalarda daha iyi sonuçlar vermektedir.

9.8. Sprey (Püskürtmeli) Kurutucular

Sprey kurutucular, süttozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılmaktadır. Çünkü kurutulmuş malzeme damlacık veya tanecik yapısı olarak aynı yapıdadır ve kuruma süresi oldukça kısadır (5-15 s). Bir sıvı veya bulamaç kurutulduğunda, sprey kurutucular yüksek üretim miktarlarında çalışabilir. Sprey, iki akışkanlı meme, yüksek basınçlı meme veya dönen disk şeklinde olabilir. Gaz sıcaklığı 93-760°C arasında değişirken, yüksek sıcaklıklar

için özel yapı malzemeleri kullanılır. Gaz sıcaklığı yükseldikçe ısı verim artar, bu nedenle yüksek sıcaklıklar tercih edilir. Sıcaklığa duyarlı ürünler bile düşük kuruma zamanı sayesinde kurutulabilir. Sıcak gaz, dökülen malzeme damlacıklarıyla aynı yönde veya ters yönde sisteme verilebilir. Kuruyan malzeme yerçekimi etkisiyle dökülmektedir. Egzos havası içerisindeki malzeme parçacıkları, siklon ayırıcılar veya torba filtreler yardımıyla toplanır. Şekil 6 ile, tipik bir sprey kurutucu sistemi verilmiştir.

Kurutulan malzemenin fiziksel özellikleri (örneğin; parça boyutu, yığın yoğunluğu ve toz içeriği) püskürtme karakteristiği ve kurutucu gazın sıcaklık ve akış yönüyle değişebilir. Ürünün son nem içeriği, egzos gazı akımının sıcaklık ve nemliliği ile kontrol edilebilir.

Tasarım için, pilot tesis veya gerçek üretim verileri elde edilmelidir. Kurutma odası tasarımı, meme sprey karakteristiği ve ısı ve kütle transfer oranlarıyla elde edilir. Parça çapı, kuruma zamanı, kurutma odası hacmi, giriş ve çıkış gaz sıcaklıklarını veren deney-sel eşitlikler vardır.

9.9. Dondurmalı (Şoklama ile) Kurutma

Şoklama ile kurutma, eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, aşılar, meyve suları, kahve ve çay esansları, sebzeler, deniz ürünleri, etler ve süt için kullanılır.

Malzeme önce dondurulur, sonra düşük sıcaklıklı bir yoğunlaştırıcı veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakum odasına yerleştirilir. Donmuş malzemeye ısı, kızılötesi ışınım ile iletilir, uçucu madde (genelde su) gaz haline gelir, yoğunlaşır veya kimyasal kurutucu ile soğurur. Birçok dondurucu kurutma işlemi, düşük basınçlar altında 40 ile -10°C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu işlem pahalı ve yavaş olmasına rağmen, ısıya duyarlı malzemeler için oldukça uygundur.

9.10. Akışkan Yataklı Kurutma

Akışkan yataklı sistemlerde katı parçacıklar hava hızıyla birlikte kurutulmaktadır. Ayrı

tanecikler ve kurutma havası arasındaki ısı transferi, tozlu veya tanecikli madde ile akışkan gaz arasında yakın temas olduğu için oldukça iyidir. Bu temas, hassas malzemelerin yüksek sıcaklık farklarından etkilenmeden kurutulmasını sağlar.

Kurutulan malzeme, geleneksel sistemlerden farklı olarak tepsi ve diğer ısı alışveriş yüzeylerine serilmeden serbest olarak akar. Otomatik doldurma veya boşaltma mümkündür fakat en büyük artısı azaltılmış işlem süresidir. Aşırı hava miktarı, gaz sıcaklığı ve malzeme kuruma süresi gibi bazı basit kontroller yapılmalıdır. Bütün akışkan yataklı kurutucular patlama-çıkış kapaklarına sahip olmalıdır. Patlama basınç ve alevleri tehlikelidir. Toksik malzeme kullanıldığında, kullanılan gazın atmosfere kontrolsüz olarak verilmesi önlenmelidir. Basınç hareketli amonyak fosfat söndürücüler gibi, patlama bastırıcı sistemler kullanılabilir. Patlayıcı karışımların oluşmasını önlemek için kurutucu iç atmosferi hazırlanabilir.

Organik ve parlamayan karışımlar kullanıldığı takdirde, kapalı sistemlerin birçok artısı vardır. Akışkan gazın bir kısmı, devamlı olarak yoğunlaştırılarak geçirilir ve böylece hava kirliliği sorunları azaltılıp, bir miktar malzemenin sisteme geri kazanılması sağlanır.

Akışkan yataklı sistemlerde kurutulan malzemelere örnek olarak kömür, kireç taşı, çimento, kabuklar, dökümhane kumu, fosfat kayası, plastik tıbbi malzeme ve yiyecekler verilebilir.

9.11. Kızgın Buhar Ortamında

Kurutma

Kızgın buhar ortamında kurutma işleminde, katıların hava veya bir başka gaz ile kurutulması işlemi sırasında buharlaştırılan çözücü (su veya organik sıvı) yığın gaz akımına ulaşmak için durgun bir gaz filmine yayılmalıdır. Gaz filmi, kütle transferine karşı bir direnç gösterir ve kurutma miktarı, çözücü buharı yayılım oranına bağlı olarak

değişir. Eğer gaz, çözücü buharı ile yer değiştirirse, buhar fazındaki kütle transferine olan direnç ihmal edilir ve kurutma oranı yalnızca ısı transfer oranına bağlı olarak alınır. Çözücü buharındaki kurutma oranı (kızgın buhar gibi), kurutucu akışkanın sıcaklık ve kütle akış oranından daha büyüktür [7].

Bu yöntemin ısı verimi oldukça yüksektir, çözücünün sisteme geri kazanılması mümkündür. Ayrıca aşırı kurutma gözlenmez ve havanın oluşturduğu oksitlenme ve diğer kimyasal reaksiyonlar gözlenmez. Kumaş kurutmada kızgın buhar kullanılırsa, reçine ve boya maddelerinin bir yerde birikmesi önlenir. Kızgın buharla kurutma, yüksek sıcaklıklar sebebiyle ısıya dayanıklı olmayan malzemelere uygulanmaz.

9.12. Flaş (Alevli) Kurutma

Düzgün bir şekilde bölünmüş katı parçacıklar, sıcak gaz akımı içerisine yayılarak hızlı ve düzgün bir şekilde kurutulabilir. Ticari uygulamalarda; pigment (boya maddesi), sentetik reçine, yiyecek maddeleri, sulu bileşikler, alçıtaşı, kil ve tahta kurutulması gözlenmektedir.

10. Kurutucu Seçimi

Kurutma işleminin gerek ürün kalitesi ve gerekse işletmenin karlılığı açılarından başarısı, uygun bir kurutucunun seçilmesine bağlıdır. Her türlü kurutma işlemine uygun çok amaçlı bir kurutucu tipinin olmaması nedeniyle, ilk adım olarak, kurutma yöntemi ve kurutucunun doğru seçimine önem vermek gerekmektedir.

Yapılmak istenen kurutma için uygun kurutucu seçimi, birçok etkenin dikkate alınmasını gerektiren karmaşık bir işlemdir. Kurutulacak malzemenin özellikleri, ısıtıcı tipi, enerji kaynağı, kurutma havası ile malzeme arasındaki hidrodinamik koşullar özellikle ele alınmalıdır. Seçim sırasında teknolojik gereksinimler, ekonomik çalışma ve elde edilen kuru ürünün kalitesi de önemli kriterler olarak ele alınmalıdır. Kurutucu seçimi sırasında dikkate alınacak unsurlar ve etkileşimleri Şekil 7 ile verilmiştir.

Kurutucu seçiminde ilk hareket noktası malzemenin özelliklerinin belirlenmesidir. Kurutulacak malzemenin statik ve kinetik kuruma özellikleri ve kurumuş üründen beklenen şekil ve dış görünüm özellikleri öncelikle belirlenmelidir. Malzemenin statik ve kinematik kuruma özellikleri, soğurma ve yüze çekme (adsorption) eşsıcaklıkları ile kritik nem, denge nemi, kurutma sıcaklığı, kuruma hızı gibi parametrelerin belirlenmesi için bilinmesi gereken önemli unsurlardır.

Kurutma yöntemleri ve kurutucular seçimli olarak belirlendikten sonra kesin seçim için aşağıda verilen unsurlar dikkate alınmalıdır:

- i. Yıllık kurutulacak ürün miktarı,
- ii. Tesisin kuruluş maliyeti,
- iii. Tesisin işletme masrafları,
- iv. İşlem sırasında malzemenin verilecek fire miktarı,
- v. Emniyetli çalışma,
- vi. Kurumuş ürünün kalitesinin uygunluğu,
- vii. Kurumuş ürünün dış görünüşünün isteğe uygunluğu,
- viii. Kurutucunun çeşitli kapasitelerde çalıştırılabilme esnekliği,
- ix. Çevre kirliliğine etkisi olup olmadığı,
- x. Çalışma sırasında etkin kontrollerin yapılmasına olanak vermesi,
- xi. Tamir ve bakım kolaylığı,
- xii. Kurutucunun görüntüsü.

Kurutucu seçimi sırasında yıllık kurutulacak ürün miktarı, karara etkili olacak önemli unsurlardan biridir. Bu miktara bağlı olarak önerilen bazı kurutma yöntemleri Çizelge 1 ile verilmiştir.

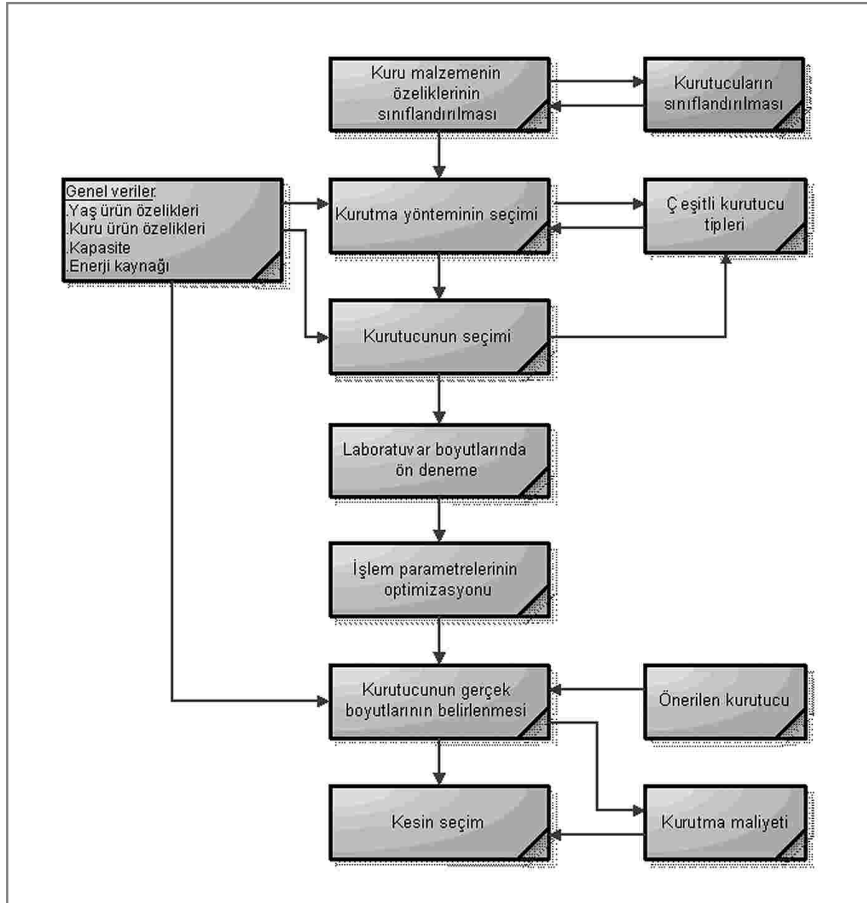
Kurutulacak Ürün (ton/yıl)	Kurutma Yöntemi
22-60	Isıtılmamış çevre havasıyla kurutma
60-445	Düşük sıcaklıkta kurutma+ısıtılmamış çevre havasıyla kurutma
445-1550	Sıcak havalı depo tipi kurutucularla kurutma
1550-∞	Sıcak havalı sürekli akışlı kurutucularla kurutma

Çizelge 1. Kurutulacak yıllık tarımsal ürün miktarına bağlı olarak önerilen kurutma yöntemleri [3, 8].

Kurutucu seçimi sırasında, özgül enerji tüketimi dikkate alınması gereken bir başka önemli noktadır. Bazı kurutucuların özgül enerji tüketimi miktarları Çizelge 2 ile verilmiştir.

Kurutucu Tipi	Özgül Enerji Tüketimi (kJ / kg su)	Buharlaştırma Kapasitesi
Akışkan yatak	4000-6000	
Döner silindir	4600-9200	30-80 kg su / (hm ³)
Püskürtmeli kurutma	4500-11500	1-30 kg su / (hm ³)
Sonsuz döner bant	4000-6000	
Tünel	5500-6000	
Tambur	3200-6500	6-20 kg su / (hm ³)

Çizelge 2. Bazı kurutucuların özgül enerji tüketimi miktarları [3, 9]



Şekil 7. Kurutucu seçimi için işlem adımları [3, 10]

11. Kaynaklar

1.“Industrial drying systems”, ASHRAE Applications Handbook (SI), Chapter 28, 2003.

2.“Psikrometri”, ASHRAE Temel El Kitabı (Fundamentals), Bölüm 6, Çeviren: O.F. Genceli, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar: 2, Ocak 1997.

3.Yağcıoğlu A, Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 536, Bornova-İzmir, 1999.

4.Friedman SJ, “Steps in the selection of drying equipment”, Heating and Ventilating, p.95, (February) 1951.

5.Parker NH, “Aids to drier selection”, Chemical Engineering, p.115, 70 (June 24) 1963.

6.FMEA, “Industrial ovens and driers”, Data Sheet No.6-9, Factory Mutual Engineering Association, Norcross, GA, 1990.

7.Chu JC, Lane AM, Conklin D, “Evaporation of liquids into their superheated vapors”, Industrial and Engineering Chemistry, p.1586, 45, 1953.

8.Raghavan VGS, “Drying of agricultural products”, Handbook of Industrial Drying, Edited by AS Mujumdar, 2.Edition, Vol.1, Chp.20, pp.627-642, Mercel Dekker, 1995.

9.Mujumdar AS, Menom AS, “Drying of solids, principles, classifications and selection of dryers”, Handbook of Industrial Drying, Edited by AS Mujumdar, 2.Edition, Vol.1, Chp.1, pp.1-39, Mercel Dekker, 1995.

10.Lee DA, “Aspects of new dryer selection”, Drying'86, Edited by AS Mujumdar, Vol.2, pp.625-636, Hemisphere Pub. Corp., 1986.

Yazar,**Hüseyin Günerhan,**

1966 tarihinde Urla-İzmir'de doğdu. 1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 31.01.1990 tarihinde, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 03.08.1992 tarihinde ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 11.01.1999 tarihinde tamamladı. 23.01.1991-21.08.2001 tarihleri arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi ünvanı ile çalıştı. 01.12.1999-21.11.2000 tarihleri arasında, Milli Savunma Bakanlığı Teknik Hizmetler Dairesi Başkanlığında (Ankara) proje subayı olarak görev yaptı. 15.03.2001 tarihinden beri Ege Üniversitesi Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (EBİLTEM)- Enerji Verimliliği ve Yönetimi Ar-Ge Biriminde (EVYAB) kurucu üye olarak, 22.08.2001 tarihinden beri, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor ünvanı ile çalışmaktadır. 20.08.2004 tarihinde, Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezine (ÇEVMER) Müdür Yardımcısı olarak atanmıştır. Çalışma alanlarını, Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Sayısal Analiz, Isıl Enerji Depolama, Toprak Kaynaklı Isı Pompaları ve Yeni Enerji Kaynakları oluşturmaktadır. (<http://www.gunerhan.cjb.net>)

TTMD Dergisi Uygulama Eki İndeksi

YAYIM TARİHİ	UYGULAMA EKİ	YAZARLAR
1. Sayı Mart-Nisan 2003	Hava Kanalları	Faruk Çimen
2. Sayı Mayıs-Haziran 2003	Psikrometri	E. Aybars Özer
3. Sayı Temmuz-Ağustos 2003	Vanalar	Serdar Gürel
4. Sayı Eylül-Ekim 2003	Buhar ve Buhar Tesisatı	Cafer Ünlü
5. Sayı Kasım-Aralık 2003	Doğalgaz İç Tesisat Uygulama Kuralları	Aytekin Çakır
6. Sayı Ocak-Şubat 2004	Enerji Ekonomisi-Sıhhi Tesisat	Rüknettin Küçükçalı
7. Sayı Mart-Nisan 2004	Kapalı Genleşme Tankları	İbrahim Çakmanus Abdullah Bilgin
8. Sayı Mayıs-Haziran 2004	Endüstri Kazan Dairelerinde Enerjinin Etkin Kullanılması İçin; Yakıttan Baca Gazına Kadar Dikkate Alınması Gereken Hususlar	Metin Bilgiç
9. Sayı Temmuz-Ağustos 2004	Yerden Isıtma Sistemleri	Gültekin Şahin
10. Sayı Eylül-Ekim 2004	Mekanik Tesisat Sistemlerinde Kullanılan Borular	İbrahim Çakmanus Halim İman
11. Sayı Kasım-Aralık 2004	Merdiven Yuvası Basınçlandırma Sistemleri	F. Esra Kırkaç
12. Sayı Ocak-Şubat 2005	Su Arıtma ve Şartlandırma Teknikleri	Tuba Küçük