



bu bir MMO
yayıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Endüstriyel Kurutma Sistemleri

Ali GÜNGÖR
Necdet ÖZBALTA

Ege Üni.
Müh. Fak. Mak. Müh. Böl.

ENDÜSTRİYEL KURUTMA SİSTEMLERİ

Ali GÜNGÖR
Necdet ÖZBALTA

ÖZET

Gazlar, katılar veya sıvılardan su veya diğer sıvıların uzaklaştırılması olarak tanımlanabilecek kurutma işleminin uygulanması ile malzemenin ekonomik olarak işlenmesi, transportu için kütlesinin azaltılması, daha sonraki üretim ve satış aşamalarında gerekli koşulların sağlanması, ürünün sterilizasyonu veya korunması, çözeltilerden bazı ürünlerin geri kazanılması gerçekleştirilebilir.

Kurutma işlemi ve kurutucu seçiminde dikkate alınması gerekli temel etken istenen niteliklere sahip ürünün eldesinde minimum enerji tüketimi ve mümkün maksimum kuruma hızına ulaşmaktır.

Nemli ve kurutulmuş malzemenin fiziksel özellikleri, kurutma işleminin başlangıcında içerdikleri nem yüzdesi, uzaklaştırılacak nem miktarı, nemin tipi (bağlı, bağısız veya her ikisi), kurutma sıcaklığı, saatte işlenecek malzeme miktarı, uygulanacak işlemin sürekli veya kesikli olması, geri kazanım sorunları gibi özellikler dikkate alınarak değişik kurutucu tipleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada endüstride kullanılan kurutucuların sınıflandırılması, seçimine etki eden parametreler, kurutma sistemlerinde kütle ve enerji dengeleri, kuruma hızının belirlenmesi, malzemenin nem içeriğinin saptanması incelenecek ve kurutma sistemlerinde enerji tasarrufu, kurutucu tasarımında dikkate alınması gereken önemli noktalar da verilecektir.

1. GİRİŞ

Kurutma işlemi gazlardan, sıvılardan veya katılardan su veya diğer sıvıların giderilmesidir. Bununla birlikte kurutma teriminin en yaygın kullanım yeri katı maddelerden ısı yöntemleriyle su veya uçucu diğer maddelerin giderilmesi işlemlerini tanımlamaktadır.

Doğaldır ki kurutma öncesi ısı yöntemleri dışında diğer yöntemlerle katı maddeden suyun mümkün olduğunca uzaklaştırılması daha ekonomik bir ayırma veya "kurutma" işlemi olacaktır. Bu nedenle kurutulan ürün için mekanik yöntemler olarak tanımlanan filtrasyon, presleme, santrifüjleme, çökeltme, eleme gibi işlemler daha az güç gereksinimi ve birim uzaklaştırılan su için daha az maliyet gerektirmektedir. Kurutma işlemlerinde enerjinin verimli kullanımı bu nedenle önem kazanmaktadır. Sonraki bölümlerde kurutmanın temelleri, endüstriyel kurutma amaçlı kullanılan sistemler ve kurutucu tipleri, bunların avantaj ve dezavantajları, enerji gereksinimleri ve uygulamaları tartışılacaktır.

2. KURUTMANIN MEKANİZMASI

Bir katı maddenin kuruması esnasında aynı anda iki işlem birden oluşur [3,4]:

- Sıvının buharlaşması için ısının kurutulan maddeye transfer edilmesi işlemi,
- İç sıvı ve buhar geçişi olarak gerçekleşen kütle transferi işlemi.

Isı ve kütle transferi işlemlerinin her ikisinde kuruma hızının çözümlenmesinde etken kullanılan faktörlerdir.

Ticari kurutucularda tasarımda birincil hedef , kurutucuda gerekli ısının en verimli kullanılmasıdır. Kurutucularda gerçekleştirilen ısı transferi , kurutucu tipine göre değişmek üzere taşınım , iletim , ışınım veya bunların kombinasyonları biçiminde olabilir. Genelde ısı katı maddenin dış yüzeyinden iç kısımlara doğru geçer. Yalnızca yüksek frekanslı elektrik akımlı kurutmada yüksek sıcaklık katı maddenin içinde oluşturulur ve ısı dış yüzeye doğru akar , bu esnada gerçekleşen kütle transferi ile de kurutma işlemi gerçekleşir.

3. KURUTMA İŞLEMLERİ İÇİN PSİKROMETRİK DİYAGRAMLARIN KULLANIMI

Kurutma işlemleri uygulamalarında kurutma havasının sürekli dolaşımı ısı verimliliği artırmaktadır. Optimum dolaştırılan hava kesrinin çözümlenmesi için daha fazla dolaştırılan hava ile düşük ısı kaybı ve daha az dolaştırılan hava (taze hava çok) ile yüksek kuruma hızı arasında denge araştırılmalıdır.

Geri çevrim oranı kurutma havasının nemliliğini etkilemektedir. Kurutucu içinde havanın nemliliğinin fiziksel olarak kurutulacak üründen alınacak nemi uzaklaştırabilmesi gerekmektedir. Kullanılan kurutma havasının maksimum nem alma kapasitesi havanın yaş termometre sıcaklığındaki doyma özgül nemi ile kurutma havası özgül nemi arasındaki fark kadardır. (kg nem/ kg kuru hava). Gerçek nem alma miktarı ısı ve kütle transferi hızları ile çözümlenmekte olup , her zaman maksimum ulaşılabilecek nem alma (kurutma) hızından daha az değerlerdedir.

Normal ve yüksek sıcaklıklar için hazırlanmış psikrometrik diyagramlar kurutma işlemlerinin bir çoğunun hesaplanması için yeterlidir [4,5]. Kurutma işlemi tam olarak adyabatik soğuma hatları boyunca gerçekleşmeyecektir. Bunun nedeni bir kısım ısının malzemeye direkt ışınım veya metal tepsi veya konveyörlerden iletimle geçmesidir.

4. KURUTMA ZAMANININ BELİRLENMESİ

Kuruma zamanının belirlenmesinde kullanılacak üç yöntem aşağıda verilmiştir.

- **Davranış Testi** : Bir laboratuvarda , ticari bir kurutucudaki koşulların sağlandığı durumlarda deneysel çalışmalar yaparak veya direkt olarak ticari bir kurutucuda gerçekleştirilen deneylerde verimlilik verilerinin elde edilmesi ile kuruma zamanının belirlenmesi.

- **Yapay Madde Testi** : Eğer kurutulacak özel maddenin temini güçse , yukarıda belirtilen davranış testleri benzer özelliklerdeki yapay bir maddeye uygulanır. Bu konu araştırmacının deneyim ve değerlendirilmesiyle uygun sonuçlar verebilir.

- **Teorik Tahmin** : Kuruma zamanı literatürde verilen uygun eşitliklerin kullanımı ile teorik olarak belirlenebilir.

Ticari bir cihaz tasarlandığında , laboratuvar kurutucusundaki davranış testi , ticari kurutucudaki çalışma koşullarıyla benzerdir. Laboratuvar testlerinde kullanılan malzemelerin , ticari kurutucuda kurutulacak madde ile benzeşmesi (veya aynı malzeme olması) gerekir. Bir çok denemedeki sonuçlar

uygunluk için karşılaştırılır. Aksi durumda test sonuçları ticari malzemenin kuruma karakteristiklerini hassas olarak yansıtmayabilir.

Laboratuvar testleri pratik değilse , ticari kuruma verileri cihaz imalatçısının (önemli bir veri kaynağı) deneyimlerine dayanmış olabilir.

Teorik eşitliklerden kurutma zamanının tahmin edilmesi yalnızca yaklaşım değerlerini verir , bu yöntemin kullanılmasında bu konuya dikkat edilmelidir.

4.1. Ticari Kurutma Zamanı :

Ticari bir kurutucu seçileceğinde , tahmin edilen kuruma zamanı istenen bir kurutma kapasitesi için gerekli ne büyüklükte bir kurutma makinası gerektiğini belirlemeyi sağlar. Eğer kuruma zamanı laboratuvar testleriyle belirlendiyse aşağıdaki konular dikkate alınmalıdır.

-Laboratuvar tipi bir kurutucuda önemli bir kurutma işlemi ısı ışınımı ve ısı iletimi ile gerçekleşebilir. Ticari kurutucuda bu faktörler genelde ihmal edilebilir düzeydedir.

-Ticari bir kurutucuda nem koşulları bir laboratuvar kurutucusundan daha yüksek koşullarda olabilir. Kontrollü nemlilikteki kurutma işlemlerinde bu faktör etkisi laboratuvar tipi kurutucu içindeki nem koşullarının tekrarlanması yoluyla yok edilebilir.

-Ticari kurutucu içindeki kurutma koşulları , bir laboratuvar tipi kurutucudaki kadar düzenli (kararlı) değildir.

-Küçük miktarlarda örnekle çalışıldığından , test malzemesi ticari bir kurutucudaki sonuçları temsil etmeyebilir.

Böylece tasarımcı deneyim ve değerlendirmesiyle ticari koşullara uygun düzeltilmiş test (deneme) kuruma zamanına ulaşmalıdır.

5. KURUTMA SİSTEMİ TİPLERİ

5.1. Morötesi radyasyon kurutma

Morötesi kurutmada elektromagnetik radyasyon kullanılır. Monomer yapılı kaplamalar ve boyar maddeler UV radyasyon etkisinde kurutulmuş olarak işlenirler. Morötesi kurutmanın uygulanmasında en büyük sorun yüksek yatırım maliyetidir.

5.2. İletimle Kurutma

İletimle kurutmada, ısıtılan yüzey, malzeme ile temastadır ve malzemenin aşırı ısınmasını önlemek, ısıtmanın homojen olmasını sağlamak için gereken önlemler alınmalıdır. İletimle kurutma kağıt ürünlerinin kurutulması ve üretimin de yaygın olarak kullanılır. Ancak iletimle kurutmada, yüksek kuruma hızlarına ulaşamama, uniform olmayan ısı ve kütle transfer koşulları, kontrol problemleri, yüksek yatırım ve işletme maliyetleri gibi sorunlarla karşılaşabilir. Tüm bu olumsuzluklara karşın iletimle kurutmanın diğer kurutma sistemlerine dönüştürülmesi ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri nedeniyle tercih edilmemektedir.

5.3. İnfrared (Kızılötesi) Radyant Kurutma

Termal radyasyon, kızılötesi lambalar, buhar ısıtmalı kaynaklar, elektikle ısıtılmış yüzeyler tarafından sağlanır. Bu mekanizma ile malzemenin yüzeyine yakın bölgeleri ısındığından, ince levha yapısındaki malzemelerin kurutulması için uygundur. Isı transferi termal radyasyon yayan malzemenin yapısı ve karakteristiği ile kurutulan maddenin özelliklerine bağlıdır ve ısı verim düşük olabilir.

Radyant ısıtma kağıt, tekstil gibi üzerinde motif desen içeren ürünlerin kurutulmasında kullanılır. Kurutulacak malzemenin yanabilir olması durumunda ürün ısı kaynağına yakın tutulmamalıdır.

5.4. Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyva suları, sebze, kahve ve çay özlerinin eldesinde, et ve süt üretiminde uygulanabilir. Malzeme önce dondurulur. Ardından kimyasal nem alıcı veya düşük sıcaklık yoğunlaştırıcısı ile bağlantılı yüksek vakum uygulanan hacme alınır. Dondurulan malzemeye iletim veya kızılötesi radyasyon ile ısı geçişi sağlanır. Bu esnada uçucu element genellikle su süblimleşir ve yoğunlaşır, ya da nem alıcı madde tarafından absorplanır. Dondurarak kurutma genellikle -10 °C ile -40 °C arasında uygulanır. Dondurarak kurutma pahalı ve yavaş yürüyen bir işlemdir, ısıya duyarlı malzemeler için uygundur.

5.5. Vakumda Kurutma

Vakumdan kurutma düşük basınçlarda suyun düşük sıcaklıklarda(buharlaşması) kaynaması gibi avantaja sahiptir. Kağıt sanayiinde kısmen uygulanmaktadır.

5.6. Karıştırmalı Yatakta Kurutma

Titreşimli raf veya konveyör kullanılarak malzemenin sürekli ve belli aralıklarla titreştirilmesi sonucu üniform bir kuruma elde edilir. Aynı sonuç delikli raf veya konveyör üzerindeki yatağın kısmi akışkanlaştırılması ile de elde edilir. Tahıl kurutulması için uygundur.

5.7. Akışkanlaştırılmış Yatakta Kurutma

Akışkanlaştırılmış yatakta tanecik yapısındaki maddeler arasından kurutma ortamı gaz akımı geçirilir. Gaz hızı çok dikkatli ayarlanmalıdır. Toz veya taneli yapıdaki kurutucular malzeme ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğundan, kurutma havası ve tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde gerçekleşir. Bu mekanizma ile büyük sıcaklık farkları sakıncası olmaksızın malzemelerin kurutulması mümkündür. Otomatik yükleme ve boşaltmanın mümkün olduğu bu sistemin en önemli avantajı kurutma işlemi kısa sürede tamamlanmasıdır.

Akışkanlaştırılmış yatak kömür, kireçtaşı, şiş, fosfat, plastik ilaç tabletleri kurutulması için uygundur.

5.8. Kızgın Buhar Atmosferinde Kurutma

Bir malzemenin kurutulmasında hava veya diğer gazlar kullanıldığında, uzaklaştırılan nem buharları kitlesel gaz akımına ulaşana dek durgun bir gaz filminde diffüzenir. Bu filmin kütle transferine direnci büyük olduğundan, kuruma hızı nem buharının diffüzyon hızına bağlı olur. Kurutma ortamı olarak nem buharı kullanılırsa buhar fazındaki kütle transfer direnci önlenir ve kurutma hızı sadece ısı transfer hızına bağlı olur. Nem buharındaki kuruma hızları, kurutma ortamı olarak havanın kullanıldığı durumlara göre daha büyüktür.

Bu yöntemde verim daha yüksektir ve nemin geri kazanımı da kolaydır. Ayrıca kurutma ortamı olarak havanın kullanıldığı durumlarda görülen oksidasyon ve diğer tepkimeler söz konusu değildir. Ancak yüksek sıcaklık nedeniyle ısıya duyarlı malzemelere uygulanması sakıncalıdır. Ticari olarak örnekler tekstil ve kimya sanayilerinde görülmektedir.

5.9. Flaş Kurutma

Flaş kurutmada çok küçük yapıdaki malzeme sıcak gaz akımında dağıtılmıştır. Pigment, sentetik, reçine, gıda ürünleri, kağıt üretiminde uygulama örnekler vardır.

5.10. Tünel Kurutucu

Sürekli veya yarı sürekli olarak çalıştırılan tünel kurutucu modifiye edilmiş kompartıman kurutucudur. Kurutma ortamı olarak kullanılan sıcak hava yanma gazları fan yardımıyla sistemde dolaştırılır.

Malzeme raf veya bantlar üzerinde kurutulur. Hava akımı, malzeme ile paralel zıt akışlı veya her ikisinin birlikte uygulaması olarak sistemden geçirilir. Kurutucuda havanın tekrar ısıtılması veya tekrar dolanım ile sistemden çıkmadan önce daha fazla nem alması sağlanabilir.

Tünel kurutucularda değişik hava hız ve yönü, sıcaklık , nem uygulamaları mümkündür. Giriş ve çıkışta sıcak hava kayıplarını önlemek için gereken önlemler alınmalıdır.

5.11. Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutucular genellikle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılır. Kurutulan ürünler üniformdur ve kuruma süreleri (5 ile 15 saniye arasında) değişir. Bu sistemlerde sıcak kurutma ortamına, malzeme bir püskürtücü yardımıyla gönderilir. Giriş gaz sıcaklığı 93 °C ile 760 °C arasında değişir. Isıl verimlilik kurutma ortamı giriş sıcaklığı ile arttığından, yüksek sıcaklıklar tercih edilir. Kuruma süresinin çok kısa olması nedeniyle ısıya duyarlı malzemelerin kurutulması için de uygundur. Kurutma ortamı, besleme akımı ile paralel veya zıt yönde sistemden geçirilebilir. Çıkış gazı ile sürüklenebilen toz halindeki malzeme siklon seperatör veya torba filtrelerde tutulur.

Kurutulan ürünün tanecik büyüklüğü, yoğunluğu gibi kitlesel özellikleri kurutma gazının sıcaklığı ve püskürtme karakteristiklerinden etkilenir. Ürünün son nemliliği çıkış gaz akımının sıcaklık ve nemi ile kontrol edilir.

Ortalama tanecik çapı, kuruma süresi, sistem hacmi, giriş ve çıkış sıcaklıkları ile ilgili deneysel eşitlikler ile ilgili literatürden sağlanabilir.

5.12. Taşınım Kurutucu (Direkt Kurutucu)

Taşınım etkisiyle kurutma tüm kurutucularda gözlenmekle birlikte, ısı kaynağı olarak sıcak hava veya diğer gazların kullanıldığı kurutucular bu sınıfa girer.

5.13. Döner Kurutucular

Kurutucu ısıtılması direkt veya indirekt olacağı gibi hava akımı paralel veya zıt akışlı olabilir.

5.14. Kabinet ve Kompartıman Kurutucular

Bu tip kurutucularda kurutulacak malzeme temas yüzeyini arttıracak şekilde raflara serilir. Eğer kurutulma olan ürünün içerdiği nem buharı patlayıcı-yanıcı özellikte ise kurutma işleminin başında veya yüksek hızda buharlaşmanın gözlemlendiği anlarda çıkış havasının tamamı sisteme geri gönderilmeden dışarı verilmelidir. Normal çalışma koşullarında ise çıkış havasının bir bölümünü sisteme geri göndermek ekonomik bir yöntemdir.

5.15. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutmada çok yüksek frekanslı (900 ile 5000 Mhz) güç kaynağı kullanılır. İletken olmayan maddelerin ısıtılmasına uygulandığından bir dielektrik ısıtma formu olarak nitelenebilir. Mikrodalga kurutma şerit şeklindeki ince malzemelere uygulanır.

Sistem giriş ve çıkışında alınması gerekli koruyucu önlemler sürekli çalışmayı zorlaştırır. Sistemi çalıştırmak için gerekli emniyet önlemleri mikro dalga kurutmayı, dielektrik kurutmaya göre daha pahalı hale getirir.

5.16. Dielektrik Kurutma

Nemli malzeme yüksek frekanslı elektrostatik alana yerleştirilirse, malzeme içinde ısı üretilir. Nemli bölgelerde kuru bölgelere daha fazla ısı üretilir. Bu şekilde malzeme içinde nem profili otomatik düzenlenir. Su, malzeme aşırı derece ısıtılmaksızın buharlaşır.

6. KURUTUCULARIN SINIFLANDIRILMASI ve SEÇİMİ

Bir kurutma sisteminin seçimi genel işlem sıralaması aşağıdaki gibidir [12]:

- Uygun kurutucuların incelenmesi
- Değişik tiplerin ön maliyetlerinin tahminlenmesi
 - a) Yatırım Maliyeti
 - b) İşletme Maliyeti
- Prototip veya laboratuvar ünitesinde kurutma testi davranışları en uygun cihazın tipini belirleyebilir. Bazen bir örnek tesisle bu doğrulanabilir.
- Kurutma deneylerinde kurutulan ürünlerin örnek ve kalitelerinin belirlenmesi.

Bazı konular işletme ve yatırım maliyetlerini dikkate almamayı gerektirebilir , bunlar:

- Ürün kalitesi , gözardı edilemez
- Tozlanma , çözgen veya diğer ürün kayıpları
- Hacim sınırlamaları (kaplanan yerin büyüklüğü)
- Ürünün yığın yoğunluğu , paketlenme maliyetlerini etkiler.

Değişik gereksinimler kurutucunun tasarım esaslarını belirler. Örneğin ürünün kurutucuda taşınması çok önemli olup kurutucuda kalma süresiyle yakından ilgilidir. Ürünün başlangıçtaki durumu (sıvı , pasta , katı , toz , granüler , levha v.b.) tasarım esaslarında büyük etkiye sahiptir. Tablo 1' de bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri verilmiştir. Isı transfer yöntemine göre endüstriyel kurutucuların sınıflandırılması Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 3'de ise değişik bazı kurutucularda örnek olarak birim buharlaştırılan su için enerji gereksinimleri verilmiştir.

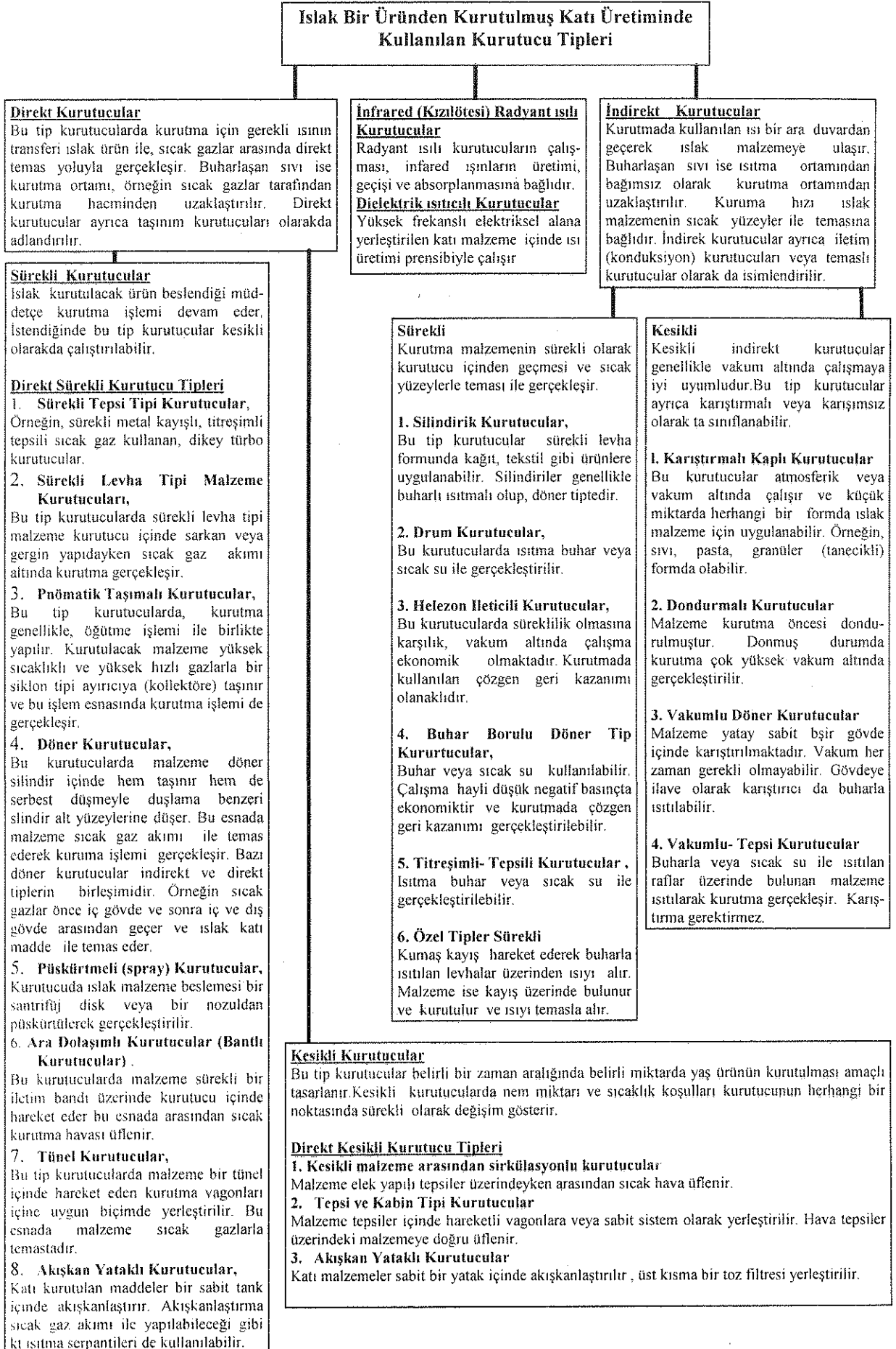
Kurutma cihazlarının seçimi aşağıdaki sıralama dahilinde gerçekleştirilir.

a) Kurutucuların ön seçimi: Islak malzeme ve kuru ürün teminine en uygun kurutucu tipleri ön seçimi gerçekleştirilir. Kurutucularda bütün işlemlerin sürekliliği ve istenen fiziksel ve kalite özelliklerini elde etmesi ön koşulu aranır. Bu amaçla Tablo 1-3'deki verilerden yararlanılabilir.

Tablo 1. Bazı Ürünlerin Kuruma Sıcaklıkları ve Kurutma Süresi [6,7,17]

Malzeme Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Hafta	Gün	Saat
Meşe Tahtaları	32 - 52	1 - 4		
Yumuşak Tahtalar	70 - 105		2 - 14	
Tuğlalar	77			30
Kahve	50 - 72			12 - 48
Kauçuk	36 - 60		2 - 6	
Kabuksuz Hindistan Cevizi	65 - 92			4 - 20
Meşin ve Köşefeler	26 - 38		2 - 6	
Meyveler	55 - 80			6 - 24
Uzum	60 - 65			24
Elma	1.Kademe:70-88 2.Kademe 74			8
Seftalî, Armut	68			24-30
Serbetçi otu	50 - 65			6 - 12
Sebzeler	50 - 65			2- 18
Havuç	1.Kademe 70 C 2.Kademe 65C			14-24
Mantar	1.Kademe 44 C 2.Kademe 65C			
Soğan	1.Kademe70-88 2.Kademe 55-60 °C			10-15
Deriler	21 - 32			2 - 150
Fırın Boyaları	105 - 175			1/4 - 6
Sabun	38 - 52			12 - 72
Tütün Yaprakları	29 - 55			12
Çay yaprakları (Fanaç veya ilk kurutma)	38			4 - 8
Çay yaprakları (Kurutma)	70 - 110			1-2

Tablo 2 . Isı Transfer Yöntemine Göre Kurutucuların Sınıflandırılması



Tablo 3. Bazı Kurutucu Tipleri İçin Enerji Tüketimi ve Buharlaşma Hızları [11]

	Enerji tüketimi (kJ/kg buharlaştırılan Su)	Buharlaşma hızı (kg su /h m² veya m³)
Kabinet kurutucu (Normal basınç)	5000 - 13000	0,1 - 15 /m ²
Kabinet kurutucu (Vakum)	3000 - 5000	0,1 - 1 /m ²
Tünel Kurutucu	5500 - 6500	
Band kurutucu	4000 - 6000	
Jet hava püskürtmeli kurutucu	5000 - 7000	50 / m ²
Rafli kurutucu	3500 - 9000	4-8 /m ²
Döner Kurutucu	4600 - 9200	30 - 80/m ²
Santrifüj kurutucu	3000 - 4000	90/m ³
Akışkanlaştırılmış Yatak Kurutucu		
Pnömatik yatak kurutucu	4600 - 9200	Tanecik çapı d _p =0,5 mm 100/m ³ d _p = 1 mm 20/m ³ d _p = 5 mm 4/m ³
Spiral borulu kurutucu	3500	500/m ³
Püskürtmeli kurutucu	4600 - 11500	1-50/m ³
Silindir kurutucu	3200 - 6500	7-25/m ²

b) Kurutucuların ön karşılaştırılması: Ön seçilen kurutucular elde edilebilen veriler ışığında yaklaşık maliyet ve verimlilik açısından karşılaştırılır. Bu değerlendirmede verimlilik açısından uygunsuz veya ekonomik olmayan kurutucular sonraki değerlendirmelerde dikkate alınmaz.

c) Kurutma denemeleri (testleri) : Bu denemeler halen değerlendirmeye alınmakta olan kurutucu tipleri için gerçekleştirilir. Bu testler optimum çalışma koşullarını ve ürün karakteristiklerini belirler ve ayrıca cihaz satıcı firmaların aktardıkları bilgilerin doğruluğunun sınanmasını da sağlayacaktır.

d) Kurutucu seçiminde karar verme: Kurutma testlerinden ve belirtilen özelliklerin değerlendirilmesiyle kurutucu seçimine karar verilebilir.

6.1. Kurutucuların Ön Seçiminde Ele Alınması Gereken Önemli Faktörler

- 1- Temin edilen malzemenin özellikleri
 - Islak durumdayken fiziksel karakteristikleri
 - Kuru durumdayken fiziksel karakteristikleri
 - Korozyon etkisi
 - Tutuşabilirlik
 - Zehirlilik
 - Parça büyüklüğü
 - Aşındırıcılık
- 2- Malzemenin kuruma karakteristikleri
 - Nemin tipi (bağıli nem , bağırsız nem veya her ikisi)
 - Başlangıç nem miktarı
 - Son nem miktarı (en çok)
 - İzin verilen kurutma sıcaklığı
 - Farklı kurutucular için muhtemel kuruma zamanı
- 3- Malzemenin kurutucuya ve kurutucudan akışı
 - Birim zamanda kütleli debiler
 - Sürekli veya kesikli işlem
 - Kurutma öncesi işlemler
 - Kurutma sonrası işlemler
- 4- Ürün Kalitesi
 - Büzülme
 - Bulaşma
 - Son nem miktarının kararlı dağılışı
 - Ürünün bileşimi
 - Aşırı kuruma
 - Ürün sıcaklığı
 - Yığın yoğunluğu
 - Alt kısmın durumu
- 5- Geri kazanım problemleri
 - Toz geri kazanımı
 - Çözgen geri kazanımı
- 6- Öngörülen yerleşim yerinde mevcut olanaklar
 - Hacim
 - Havanın sıcaklık nem ve temizliği
 - Mevcut yakıtlar
 - Mevcut elektrik gücü
 - İzin verilen gürültü , titreşim , toz veya ısı kaybı
 - Islak ürün beslemenin tipi
 - Çıkan eksoz gazları

Kurutma amaçlı temin edilen ıslak maddenin ve kuru halin fiziksel durumu en başta ele alınması gereken bir özelliktir. Sıvı , katı , kristal , taneli yapı veya levha yapıda bulunma gibi özellikler kurutucu seçimini etkileyecektir.

Uygun kurutucu tiplerinin ön seçiminden sonra tüm analizler boyut ve maliyetler üzerine yoğunlaştırılır. Bu değerlendirme için bilgiler kurutucu tiplerindeki malzeme kullanımlarıyla belirlenebilir veya üretici firmalardan sağlanabilir. Kurutucu verimliliğiyle ilgili faktörler bu değerlendirmede özel bir önem taşır. Seçilen kurutma sisteminin bir bütün olarak değerlendirilmesi ve kurutma öncesi ve sonrası işlemleri , örneğin filtreleme , öğütme , konveyörle taşıma v.b. gibi , azaltma olanakları da araştırılır.

Sistem giriş ve çıkışında alınması gerekli koruyucu önlemler sürekli çalışmayı zorlaştırır. Sistemi çalıştırmak için gerekli emniyet önlemleri mikro dalga kurutmayı, dielektrik kurutmaya göre daha pahalı hale getirir.

7. KURUTMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ KAZANIM UYGULAMALARI

Kurutma işlemlerinde nemli hava karışımlarının termodinamik incelemesinde enerji ve kütle denkliklerinin kurulmasında psikrometrik diyagramlar kullanılır.

Kurutucularda sıcak hava akımı kurulacak ürüne nemin buharlaşması için gerekli ısıyı sağladığı gibi , oluşan buharın ortamdaki uzaklaştırılmasını da gerçekleştirir. Kurutma sistemlerinde enerji kazanımı sağlamak için taze hava ve eksoz havası belirli oranlarda karıştırılarak ısıtıcıya gönderilir.

Kademeli kurutma sisteminde ise bir kademeden çıkan kurutma havası tekrar ısıtılıp bir sonraki kademede kullanılan kurutma hacminde kullanılır.

Kademeli kurutma sisteminde harcanan enerji miktarı , tek kademeli kurutma sistemindekinden azdır. Eksozdan atılan havanın enerjisinin yüksek düzeylerde olması durumunda ısı geri kazanımlı kurutma sistemi kullanılır [15,16].

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstrimizin bir çok alanında kurutucular kullanılmaktadır. Bu kurutucuların büyük çoğunluğu ise yurt dışından ithal edilmektedir. Prensip, çalışma biçimleri ve kurutulacak ürünlerin özellikleri, kapasite gibi verilerin bilinmesi durumunda bu değişik tipteki kurutucuların tasarımı mevcut temel kurutma kaynaklarından [5,6,7,12,13,14] yararlanarak , imalatı ve kontrol sistemlerinin bir çoğu teknolojik olanaklarımızla gerçekleştirilebilir. Bu sistemlerin tasarım ve uygulanması aşamalarında tesisat mühendislerine görevler düşmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] TRUMLO, C., KUDRA, T., "Drying, Principles, Applications and Design", Gordon and Breach Science Publishers, 1986.
- [2] MOHSENIN, N.,N., "Thermal Properties of Foods and Agricultural Materials", Gordon and Breach Science Publishers, 1980.
- [3] MUJUMDAR, A.,S., "Advances in Drying", Mc Graw Hill Int. Book Company, 1980.
- [4] MUJUMDAR, A.,S., "Handbook of Industrial Drying", Marcel Dekker Inc., 1987.
- [5] KEYEY, R.B., "Introduction to Industrial Drying Operations", Pergamon Press, 1987.
- [6] ARSDEL, W.,B.,V., COPLEY, M.,J., "Food Dehydration", V I, The AVI Publishing Company, 1964
- [7] ARSDEL, W.,B.,V., COPLEY, M.,J., "Food Dehydration", V II, The AVI Publishing Company, 1964
- [8] ASHRAE 1991 Applications Handbook (SI), Chapter 28, Industrial Drying Systems.
- [9] ASHRAE 1982 Applications Handbook ,Chapter 22, Drying and Storing Farm Crops
- [10] BUDIN, R., BOGDANIC, A.,M., "Application of Solar Energy in Drying Processes", Energy Convers. Mgmt. Vol.35, N:2, (97-103), 1994.
- [11] SCHLÜNDER, E.U., Dryers, Chapter 3.13, Hemisphere Publ. Comp., 1983.
- [12] PERRY, R.H., CHILTON, C.H., "Chemical Engineers" Handbook, Mc Graw-Hill, 1973.

- [13]KRÖLL, K., " Trocknungstechnik" Trockner und Trocknungsverfahren, Springer-Verlag , 1978.
[14]KAST , W., " Trocknungstechnik" Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik , Springer Verlag , 1978 .
[15] TELLİ, K., Termodinamik, Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No:19, 1984.
[16] BOSNJAKOVIC, F., Technische Thermodynamik, II. Teil, 1960.
[17] KÖKTÜRK, U.,Pratik Havalandırma Tesisleri Klavuzu,Cilt 1., Cilt 2.

ÖZGEÇMİŞ

Ali GÜNGÖR

1955 Elazığ doğumlu, evli ve iki kız çocuk babasıdır. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı Üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1985 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve Madde Transferi Bilim Dalında Doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesinde Profesör ünvanını aldı. Halen Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanı ve E.Ü.Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde de Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.

Necdet ÖZBALTA

1953 İzmir doğumludur. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 1976 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı Üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1986 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1989 yılında Yenilenebilir Enerji Sistemleri Bilim Dalında Doçent, 1996 yılında Profesör ünvanını aldı. Halen Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Müdürü olup Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde de Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.