

# SEBZE VE MEYVE KURUTMADA KULLANILAN KURUTUCULAR VE KURUTMA TEKNOLOJİLERİ

Ali GÜNGÖR

## ÖZET

Bu çalışmada, sebze ve meyve kurutmada kullanılan konvansiyonel kurutucular üzerinde durulmuştur. En yaygın kullanılan kurutuculardan tünel tip kurutucular, bantlı konveyörlü kurutucular, kabinet (kompartıman) kurutucular, akışkan yataklı kurutucular, depo tipi kurutucular, özel kurutucular özellikleriyle incelenmiştir. Bazı sebze ve meyvelerin kurutma özellikleri verilmiştir. Bu kurutucuların kullanım alanları, bazılarının enerji tüketimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Kurutulacak ürünün istenen özellikleriyle uyumlu bir kurutucu seçimi gerekli olup, bu seçim ve kullanımlarla ilgili bilgiler verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutucular, kurutma tekniği, sebze ve meyve kurutucular

## ABSTRACT

In this study, conventional dryers are used for drying of fruits and vegetables are emphasized. The most commonly used type of tunnel dryers, belt dryers, cabinet dryers, fluid bed dryers, bin dryers, special dryers features are given and analyzed. Drying properties of some fruits and vegetables are given. These dryers using areas, and energy consumption of them are presented comparatively. Dried product properties are important parameter for the selection of the dryer. Also selection of dryer compatible with desired product information are given.

**Key Words:** Dryers, drying technology, fruit and vegetable dryers.

## 1. GİRİŞ

Kurutma işlemi gazlardan, sıvılardan veya katılardan su veya diğer sıvıların giderilmesidir. Bununla beraber kurutma teriminin en yaygın kullanım yeri katı maddelerden ısı yöntemlerle su veya uçucu diğer maddelerin giderilmesi işlemi tanımlamaktadır [1]. Kurutma gıda maddelerinin korunmasında kullanılan en önemli yöntemlerden biri olup kimya ve üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir işlemdir.

Kimyasal proseslerin en önemli basamaklarından biri kabul edilen kurutma, bir ürünün satışa sunulmasından önceki görünüm ve mukavemet özelliklerini en iyi yansıttığı rutubet seviyesine getirilmesi için uygulanan bir işlemdir. Kurutma işlemi ısı ve kütle aktarımının aynı anda gözlemlendiği karmaşık bir olaydır. İşlem sırasında kurutucu gazdan katıya doğru ısı aktarımı gerçekleşir. Ürünün kullanım kalitesi ile dayanım özelliklerinin olumsuz etkilenmesinden dolayı, bu işlemde son kurutma derecesinin çok önemli olduğu kabul edilmektedir. Bu sebeple şartların optimize edilerek kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi önemlidir.

Kurutma işleminin uygulanması ile malzemenin ekonomik olarak işlenmesi, nakliyesi için kütlelerinin azaltılması, daha sonraki üretim aşamalarında gerekli koşulların sağlanması, ürünün sterilasyonu veya korunması, çözümlerden bazı ürünlerin geri kazanılması gerçekleştirilebilir.

Birçok sektörde kurutma için tüketilen enerji toplam enerji tüketimi içinde önemli bir paya sahiptir. Bu oran kimyada % 6, tekstilde % 5, seramik ve diğer inşaat malzemeleri üretiminde % 11, kereste kurutmada % 11, gıda ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında % 12 ve kağıt endüstrisinde % 33 düzeylerine ulaşabilmektedir.

Enerji tüketiminin yüksek olduğu konvektif kurutucularda nemin buharlaştırılması için gerekli enerji ve kurutucu akış havasıyla enerji kaybı, sistemin toplam enerji gereksiniminin önemli bir bölümünü oluşturur (Tablo 1.).

**Tablo 1.** Bir konvektif kurutucuda tipik enerji tüketiminin dağılımı [2].

Tüketim Noktaları	Enerji Gereksinimi	
	kJ/h	%
Buharlaştırma	975400	55
Kurutucu çıkış havası	521200	30
Destek donanımı	143900	8
Radyasyon	47900	3
Sistemin ısıtılması	45800	3
Fan	13300	1

Enerji yoğun bir süreç olan kurutmada kurutma etkinliği kurutucu tipine bağlı olarak % 20 ile % 90 arasında değişmektedir (Tablo 2.) [2]

**Tablo 2.** Değişik kurutucularda kurutma etkinlikleri [2].

Kurutucu Tipi	Etkinlik (%)	Kurutucu Tipi	Etkinlik (%)
Direkt Sürekli		İndirekt Sürekli	
Konvektif	20 – 40	Silindirik	85
Flash	50 – 75	Döner	75 – 90
Bantlı	40 – 60	Kesikli	
Döner	40 – 70	Karıştırıcı, tepsili	90
Püskürtmeli	50	Vakumlu döner	70
Tünel	35 – 40	İnfrared	30 – 60
Akışkanlaştırılmış Yatak	40 – 80	Dielektrik	60
Kesikli, raflı	85		

Bu noktada Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) açısından kurutmanın ne kadar etkileyici ve önemli olduğunu gösteren bazı özellikleri belirtmekte yarar vardır.

- Ürünün boyutu mikron mertebesinde, santimetrenin katlarına kadar çıkabilir. (kalınlık ya da derinlik olarak)
- Ürünün gözenekli yapısı yüzde olarak 0'dan 99'a kadar değişebilir.
- Kurutma zamanı 0.25 saniyeden (ince kağıdın kurutulması esnasında) beş aya (bazı sert ağaç türleri için) kadar çıkabilir.
- Üretim kapasitesi 0.10  $kg/h$  ile 100  $t/h$  arasında değişebilir.
- Ürün hızı sıfır ile (sabit durum) 2000  $m/s$  (ince kağıdın kurutulması esnasında) arasındadır.
- Kurutma sıcaklık aralığı sıvılar için üçlü noktanın altıyla kritik noktanın üstü arasında değişir.
- Çalışma basıncı milibar mertebesinde 25 atmosfere kadar çıkabilir.

- Isı sürekli ya da aralıklı olarak taşınım, iletim, ışınım ya da elektromanyetik dalgalar halinde transfer edilir.

Açık bir şekilde yukarıda belirtilen koşulların tamamını ya da büyük bir kısmını hiçbir kurutucu tasarımı sağlayamaz. Bu noktada var olan bir kurutucuyu analiz ederken ya da yeni bir kurutucu tasarlarken ısı, kütle ve momentum transferi hesaplamalarına gereksinim duyulur.

Kurutma besleme stoğuna ısı verilip sıvının buharlaşmasını sağlayarak gerçekleşir. Daha önceden belirtildiği gibi ısı taşınımıyla (direkt kurutucular), iletimle (temasla ya da indirekt kurutucular), ışınım ya da hacimsel olarak ıslak materyali mikrodalga ya da radyo frekanslı elektromanyetik dalgaya yerleştirmekle sağlanabilir. Endüstriyel kurutucuların % 85'i kurutma aracı olarak hava ya da doğrudan yanma gazlarını kullanan taşınımlı kurutuculardır. Uygulamaların % 99'u suyun uzaklaştırılmasını içerir. Dielektrik (mikrodalga ya da radyo frekansı) yöntemi dışında bütün uygulamalarda kurutma objesinin sınırları ısıyla beslenir, böylece ısı öncelikle iletimle malzemenin içine difüze olur. Sıvı, taşıyıcı gaz tarafından uzaklaştırılmadan evvel malzemenin sınırlarına transfer olmalıdır. (ya da taşınımlı olmayan kurutucularda vakum uygulamasıyla) [3].

Isı ve kütle transfer işlemlerinin her ikisi de kuruma hızının çözümlenmesinde etkin kullanılan faktörlerdir [1].

## 2. KURUTUCULARIN SINIFLANDIRILMASI VE SEÇİMİ

### 2.1 Kurutucuların Seçimi

Kurutucu seçimi uzun zamandır önceki tecrübeler ve üretici tavsiyelerine, bilimden daha fazla bağımlı hale gelmiştir. Kurutma teknolojileri daha fazla geliştikçe, daha karmaşık ve farklı bir hale geldikçe, kurutucu seçimi çok daha fazla sayıda takım ve bunların uygulanması açısından bilgisi ve tecrübesi olmayan kişiler için artan bir şekilde zor ve ilgi gerektiren bir görev olmuştur. Bir mühendis için kurutucu seçmek çok önemlidir, bunun yanında piyasada hangi tip kurutucuların bulunduğu, seçim aşamasında önemli noktaların neler olduğunun ve ilave olarak satıcıya gitmeden önce (rekabetçi bir kota oluşturabilmek için) sisteme alternatif olabilecek donanımların bilincinde olunması bir kurutma sistemi tasarımı için çok daha uygun olacaktır. Geçmişteki tecrübeler önemli bir nokta olmasına rağmen kurutma sistemlerinin seçiminde tek başına bir kriter olamaz.

Bir örnek vermek gerekirse, yoğunlaştırılmış nikel çekirdeği dünyanın farklı yerlerinde farklı üretim kapasiteleri ile (20 – 75 t/h) şok kurutucular, akışkan yataklı kurutucular, döner kurutucular ya da sprey kurutucular ile kurutulmaktadır. Bu yüzden herhangi bir yerde bu tür bir uygulamada ne yapıldığı, kurutucu seçimi için tek bir kriter değildir.

Verilen bir uygulama için ön kurutma ve son kurutma işlemleri ile uygun kurutucu seçimi arasında önemli bir ilişki vardır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise farklı kurutucu tipleri (ya da kurutma sistemleri) verilen bir uygulama için aynı derecede (teknik ve ekonomik olarak) uygun olabilir. Seçimi etkileyecek mümkün olduğunca çok faktörün değerlendirilmesi elimizdeki opsiyonların sayısını düşürecektir. Yeni bir uygulama için (yeni ürün ya da yeni proses) kurutucu seçiminde dikkatli bir prosedür izlenmesi çok önemli bir rol oynamaktadır. Kurutucu seçimi yapılırken kurutucuların karakteristik özellikleri göz önünde tutulmalıdır. Aynı kurutucunun çalışma şartlarında yapılan değişiklik ürünün kalitesini etkileyebilir. Bu yüzden kurutucu tipinin yanında optimum kalite ve ısıl nem almanın maliyeti için doğru çalışma şartlarını da seçmek ayrıca önemlidir [3].

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 vb) tasarım esaslarında büyük etkiye sahiptir [1]. Tablo 3.'de kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerjiler görülmektedir. Tablo 4.'de ise bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri verilmiştir.

Kurutma cihazlarının seçimi aşağıdaki sıralama dahilinde gerçekleştirilir.

- 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.
- 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.
- 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 sağlayacaktır.
- Kurutucu seçiminde karar verme: Kurutma testlerinden ve belirtilen özelliklerin değerlendirilmesiyle kurutucu seçimine karar verilebilir [1].

**Tablo 3.** Kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerjiler [16].

Kurutucu Tipleri	MJ/kg Uzaklaştırılan Su
Isı Pompalı Kurutucu	0,5 - 0,8
Direkt Egzoz Gazları İle Çalışılan Kurutucu	3,2 – 3,8
Hava İle Çalışan Kurutucu 70 – 100 °C	4,5 – 5,5
Kazandan Alınan Egzoz Gazları İle Kurutma (400 °C)	5,0 – 6,0
Kazandan Alınan Egzoz Gazları İle Kurutma (200 °C)	9,0 – 12,0
Bantlı ve Tünel Kurutucular	
Ters Akışlı Tepsili-Bantlı	8,0-16,0
Ters Akışlı Rafli-Tünel	6,0-16,0
Arasından Akışlı Tepsili-Bantlı	5,0-12,0
Vakumlu Tepsili-Bantlı-Levhalı	3,5-8,0

**Tablo 4.** Bazı sebze ve meyvelerin kurutma sıcaklıkları ve kuruma süreleri.

Sebze veya meyve cinsi	Kurutma sıcaklığı, C	Kuruma süresi Saat
Meyveler	55-80	6-24
Üzüm	60-65	24
Elma	I. Kademe 70-88 II. Kademe 74	8
Şeftali, Armut	68	24-30
Kabuksuz Hindistan cevizi	65-92	4-20
Sebzeler	50-65	2-18
Havuç	I. Kademe 70 II. Kademe 65	14-24
Mantar	I. Kademe 44 II. Kademe 65	
Soğan	I. Kademe 70-88 II. Kademe 55-60	10-15
Çay Yaprakları (Fanaaj veya ilk kurutma)	38	4-8
Çay Yaprakları (Kurutma)	70 – 110	1-2

Gıdaların kurutulmasında bilinmesi gereken en önemli verilerden biri de kurutmanın başlangıcındaki nemliliği ve kurutma işlemi sonunda ulaşacağı nemlilik değerleridir. Tablo 5. 'de bu özellikler değişik sebze ve meyveler için verilmiştir. Ayrıca bu ürünler için izin verilen en çok kurutma sıcaklığı değerleri de Tablo 5. 'de verilmiştir.

**Tablo 5.** Bazı sebze ve meyvelerin ve gıdaların kurutma başlangıcı ve sonu nemlilikleri ve izin verilen en yüksek kurutma sıcaklıkları.

Gıda adı	Kurutma başlangıcındaki nemlilik (yaş esas %)	Kurutma sonundaki nemlilik (yaş esas %)	İzin verilen en yüksek kurutma sıcaklığı, °C
Çeltik, ham	22-24	11	50
Çeltik,(kısmi kaynatılmış)	30-35	13	50
Mısır	35	15	60
Buğday	20	16	45
Tahıl	24	14	50
Pirinç	24	11	50
Bakliyat	20-22	9-10	40-60
Yağlı tohumlar	20-25	7-9	40-60
Yeşil bezelye	80	5	65
Karnabahar	80	6	65
Havuç	70	5	75
Yeşil fasulye	70	5	75
Soğan	80	4	55
Sarımsak	80	4	55
Lahana	80	4	55
Tatlı patates	75	7	75
Patates	75	13	75
Biber	80	5	65
Elma	80	24	70
Kayısı	85	18	65
Üzüm	80	15-20	70
Muz	80	15	70
Bamya	80	20	65
Ananas	80	10	65
Domates	96	10	60

Tablo 6.'da ise sebze meyve kurutulmasında kullanılan değişik tip kurutucuların tipik özellikleri verilmiştir.

**Tablo 6.** Gıdalar için kullanılan bazı kurutucuların karakteristik özellikleri.

Kurutucu tipi	Yüklemeli veya sürekli	Katı/ Sıvı	Başlangıç nem miktar	Isıya duyarlılık	Parça boyutu	Mekanik Olarak dayanıklı olma zorunluluğu	Kuruma hızı	Son nem miktar	Tipik en çok buharlaşma kapasitesi kg/h	Kunutulmaya uygun gıda
Yiğün (Bin)	Yüklemeli	Katı	Düşük	Evet		Evet	Yavaş	Düşük	-	Sebzeler
Kabinet	Yüklemeli	Katı	Orta				Orta	Orta	55-75	Meyveler ve sebzeler
Konveyör/bantlı	Sürekli	Katı	Orta				Orta	Orta	1820	Kahvaltı tahılları, meyve ürünleri, şekerleme, sebze, bisküvi, fındık
Drum	Sürekli	Katı	Orta				Orta	Orta	410	Çözelti, mısır şurubu, patates, jelatin
Foam-mat	Sürekli	Sıvı	-	Evet			Hızlı	Hızlı	-	Meyve suları
Akışkan yatak	Yüklemeli /Sürekli	Katı	Orta			Evet	Orta	Düşük	910	Bezelye, doğranmış veya dilimlenmiş sebze, tahıllar, toz veya kalıplanmış gıdalar, meyveler, hindistan cevizi, tıbbi bitkiler (otlar)
Kılın	Yüklemeli	Katı	Orta				Yavaş	Orta	-	Elma halkaları, dilimleri, şerbetçi otu
Mikro dalga- dielektrik	Yüklemeli/ Sürekli	Katı	Düşük				Hızlı	Düşük	-	Ekmek yapım ürünleri
Pnömatik/ sirkülayonlu	Sürekli	Katı	Düşük	Evet		Evet	Hızlı	Düşük	15900	Nişastalar, sos veya çorba tozu, püre patates
Işınımlı	Sürekli	Katı	Düşük				Hızlı	-	-	Ekmek yapım ürünleri
Döner	Yüklemeli/ Sürekli	Katı	Orta	Evet		Evet	Orta	Orta	1820-5450	Kakao tanesi, fındık, posa, pişmiş tahıllar
Spin flash	Sürekli	Sıvı	Orta				Hızlı	Düşük	7800	Pastalar, kekler, çamurlar, viskoz sıvılar
Püskürtmeli	Sürekli	Katı	-				Hızlı	Orta	15900	Tozlar, hazır kahve, süt tozu
Güneş Enerjili	Yüklemeli	Katı	Orta				Yavaş	Orta	-	Meyveler, sebzeler
Arasından geçmeli (Trough)	Sürekli	Katı	Orta				Orta	Orta	-	Bezelye, doğranmış sebzeler
Tunel	Sürekli	Katı	Orta				Orta	Orta	-	Sebzeler, meyveler
Vakum bantlı/raflı	Sürekli	Sıvı	-				Hızlı	Düşük	18200	Suları, et özleri, çikolata kırıntıları

## 2.2. Kurutucuların Sınıflandırılması

Uzun seneler süren deneysel çalışmalar sonunda çok değişik tipte cihazlar meydana getirilmiştir. Hatta birbirine çok benzer operasyonlar için, birbirinden oldukça farklı birkaç cihaz kullanılmaktadır. Bu sadece, o endüstri kolunda uzun seneler boyunca meydana gelmiş alışkanlığın eseridir. Cihazların yapılarındaki bu farklılık, sınıflandırmayı güçleştirir. Cronshaw'ın yaptığı sınıflandırmada kurutma operasyonuna giren maddelerin şekli esas alınmaktadır [5].

### I. Tepsi (tava) veya konveyör üzerinde taşınan, yığın veya tabaka halindeki maddeler.

- A. Devamsız Kurutucular
  - 1. Atmosferik–kompartıman
  - 2. Vakum–tepsi(tava)
- B. Devamlı Kurutucular
  - 1. Tünel

### II. Tanecik halinde gevşek yapılı maddeler

- A. Döner kurutucular
  - 1. Standart tip
  - 2. Roto–Louvre
- B. Türbo kurutucular
- C. Konveyör kurutucular
- D. Süzgeç–kurutucu karışımı sistemler

### III. Devamlı bir tabaka halindeki maddeler

- A. Silindir kurutucular
- B. Askı kurutucuları

### IV. Hamur ve lapa veya kek teşkil eden kristaller

- A. Karıştırmalı kurutucular
  - 1. Atmosferik
  - 2. Vakum

### V. Çözelti halindeki maddeler

- A. Tek ve çift silindirli kurutucular
  - 1. Atmosferik
  - 2. Vakum

### VI. Özel yöntemler

- A. İnfrared radyasyon
- B. Dielektrik ısıtma
- C. Buzdan buharlaştırma

Tablo 7.'de ise kurutucu tipleri çeşitli kıstaslara göre ifade edilmiştir.( \* ) işaretliler en sık kullanılan modellerdir [3, 8].

Isı transfer yöntemine göre endüstriyel kurutucuların sınıflandırılması ise şöyledir:

**A. Direkt Kurutucular:** Bu tip kurutucularda kurutma için gerekli ısının transferi ıslak ürün ile sıcak gazlar arasında direkt temas yoluyla gerçekleşir. Buharlaşan sıvı ise kurutma ortamı, örneğin sıcak gazlar tarafından kurutma hacminden uzaklaştırılır. Direkt kurutucular ayrıca taşıyıcı kurutucuları olarak da adlandırılır.

**Tablo 7.** Kurutucuların sınıflandırılması [3, 8].

Kriter	Modeller
Çalışma Şekli	– Yüklemeli
	– Devamlı*
Isı Giriş Şekli	– Taşınım, iletim, ışınlım, elektromanyetik dalgalar,
	ısı transfer şekillerinin birleşimi
	– Kesintili ya da sürekli*
	– Adyabatik ya da adyabatik olmayan
Kurutucudaki materyalin durumu	– Sabit
	– Hareket eden, sallanan ve dağınık
Çalışma basıncı	– Vakumlu*
	– Atmosferik
Kurutma ortamı (taşınım)	– Hava*
	– Kızgın Buhar
	– Baca gazları
Kurutma sıcaklığı	– Kaynama sıcaklığının altında*
	– Kaynama sıcaklığının üstünde
	– Donma noktasının altında
Kurutulan katı ve ortam arasındaki bağıl hareket	– Aynı Yönlü
	– Ters Yönlü
	– Karışık akım
Kademe Sayısı	– Tekli
	– Çoklu
Zaman Dilimi	– Kısa (1 dakikadan az)
	– Orta (1 – 60 dakika arası)
	– Uzun (60 dakikadan fazla)

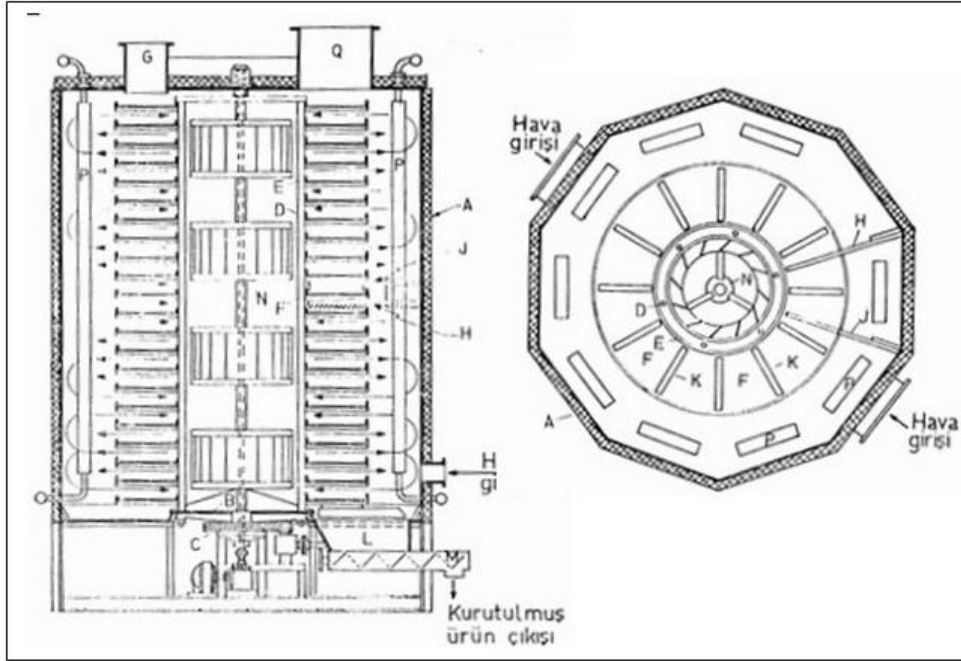
\* Uygulamada en çok kullanılanlar.

**A.1 Sürekli Kurutucular:** Kurutma işlemi, kurutulacak ıslak ürün beslendiği müddetçe devam eder. İstendiğinde bu tip kurutucular kesikli olarak da çalıştırılabilirler.

**A.1.1 Sürekli Tepsi Tipi Kurutucular:** Örnek olarak sürekli metal kayışlı, titreşimli, tepsili sıcak gaz kullanan, dikey türbo kurutucu verilebilir [1]. (Şekil 1.'de görülen bu kurutucu düşey bir silindir veya çok kenarlı bir kaplamadan (A) ibarettir. Hava, kurutucu gövdesinin altında bulunan çok sayıdaki delikler yolu ile kurutucuya girer. Kurutucunun merkezinden yükselen bir şaft N, çok sayıda vantilatöre sahiptir. Bu vantilatörler havayı, merkezden çevreye doğru ve tavaların üstünden geçecek şekilde hareket ettirirler ve hava, şekilde oklarla gösterildiği gibi, vantilatörlerin arasındaki kısımdan merkezi şafta geri döner. Buharla ısıtılan ve kanatlı borulardan meydana gelen bir boru topluluğu P, hareket eden havayı devamlı surette ısıtır. Bu kurutucu kırılğan maddeler için daha uygundur ve daha az enerjiye ihtiyaç gösterir [5].

**A.1.2 Sürekli Levha Tipi Kurutucular:** Bu tip kurutucularda sürekli levha tipi malzeme, kurutucu içinde sarkan veya gergin yapıdayken sıcak gaz akımı altında kurutma gerçekleşir [1]. Tekstil maddelerinin ve bazı cins kağıtların, özellikle baskı maksadı ile fazla miktarda dolgu yapılmış kağıtların kurutulmasında kullanılırlar. Bu kurutucuların bir tipi Şekil 2.'de gösterilmektedir [5].

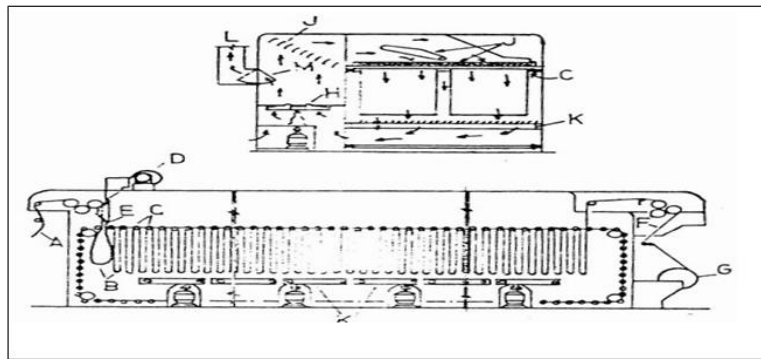




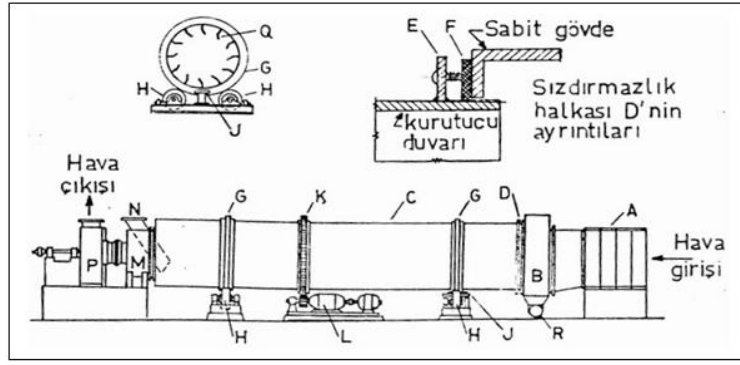
**Şekil 1.** Türbo kurutucu: A, dış kaplama; B, temel dökümü; C, hareket dişlileri; D, çubuklar; E, metal kuşak; F, tavalalar; G, besleme kapısı; H, kalınlık düzenleme bıçağı; J kazıyıcı, K, madde transfer yarıkları; L, kurumuş madde için boşalma oluşu; M, boşaltma konveyörü; N, vantilatör şaftı; P, kanatlı borulardan yapılmış ısıtıcı; Q, hava çıkışı. [5].

**A.1.3 Pnömatik Taşımalı Kurutucular:** Bu tip kurutucularda, kurutma genellikle öğütme işlemi ile birlikte yapılır. Kurutulacak malzeme yüksek sıcaklıklı ve yüksek hızlı gazlarla bir siklon tipi ayırıcıya (kollektöre) taşınır ve bu işlem esnasında kurutma işlemi de gerçekleşir [1].

**A.1.4 Döner Kurutucular:** Şekil 3.'de görülen bu tip kurutucularda malzeme döner silindir içinde hem taşınır, hem de serbest düşmeyle duşlama benzeri silindir alt yüzeyine düşer. Bu esnada malzeme sıcak gaz akımı ile temas ederek kuruma işlemi gerçekleşir. Bazı döner kurutucular indirekt ve direkt tiplerin birleşimidir. Örneğin sıcak gazlar önce iç gövde ve sonra iç ve dış gövde arasından geçer ve ıslak katı madde ile temas eder [1].

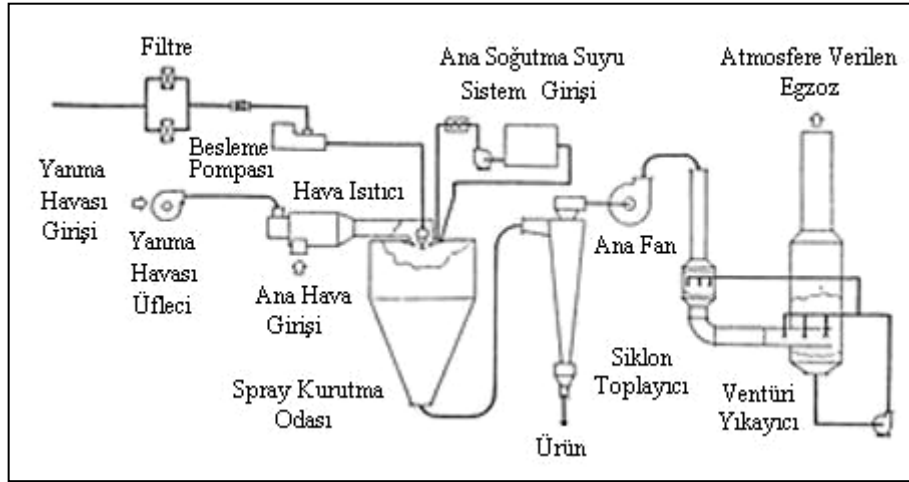


**Şekil 2.** Askı kurutucu: A, kurutucuya giren levha; B, askılar veya kolonlar; C, çapraz çubuklar; D, askı fanları; E, hava nozulu; F, levha çıkışı; G, ürün silindiri; H, vantilatörler; J yön değiştirme levhaları; K, ısıtıcılar; L, hava çıkışı; M, hava kontrol kapakları [5].

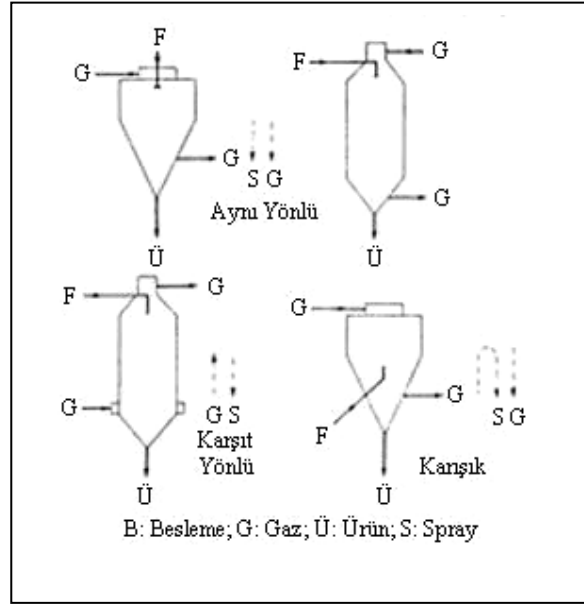


**Şekil 3.** Döner kurutucu: A, hava ısıtıcısı; B, sabit başlık; C, kurutucu gövdesi; D, sızdırmazlık halkası; E, sızdırmazlık halkası dayanağı; F, sızdırmazlık parçası; G, çemberler; H, dayanma silindirleri J, güvenlik (saplama) silindirleri; K, döndürme dişlileri; L, motor ve hız düzenleyici; M, hava çıkış başlığı; N, besleme oluğu; P boşaltma vantilatörü; Q, kanatlar [5].

**A.1.5 Püskürtmeli (Spray) Kurutucular:** Püskürtmeli kurutucular genellikle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılırlar [1]. Şekil 4.'de püskürtmeli kurutucu ünitesinin süreç şeması görülmektedir. Spray formundaki toz haline getirilmiş besleme ürünü özel olarak tasarlanmış bir kurutma haznesinde sıcak gazla temas eder. Atomizörün uygun tasarlanması ve seçimi püskürtmeli kurutucu için çok önemlidir çünkü kurutucu besleme türü (viskozite), besleme ürününün aşındırıcı etkisi, besleme oranı, arzu edilen parçacık boyutu ve parçacık dağılımı ile paralel, karşıt ve karışık akım için kurutma haznesi ve akış türünün tasarlanması püskürtmeli kurutucunun çalışmasını etkilemektedir (Şekil 5.) [3].

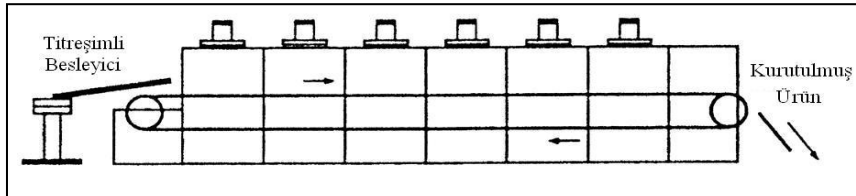


**Şekil 4.** Püskürtmeli kurutucu ünitesinin süreç şeması [3].



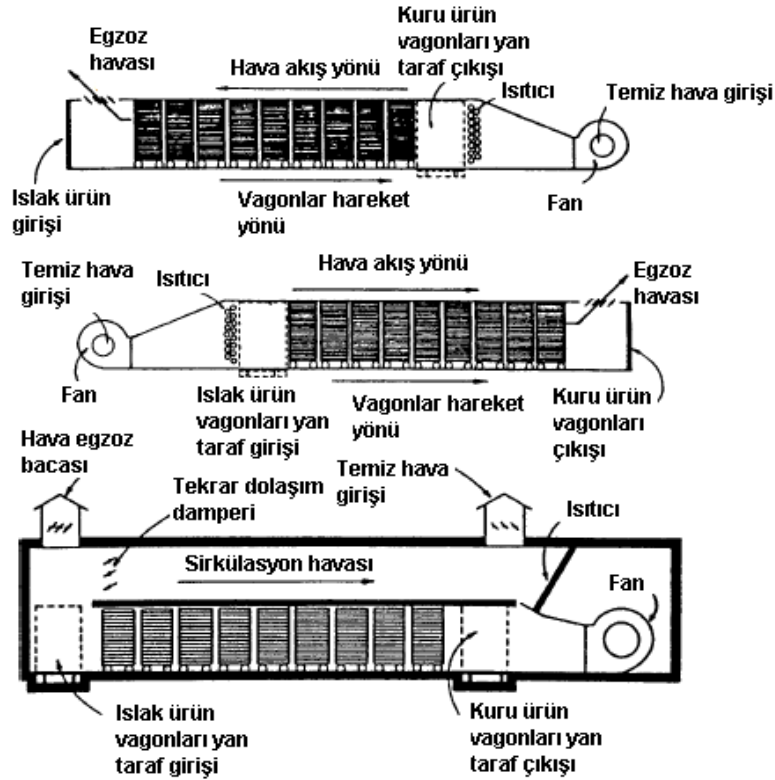
Şekil 5. Paralel, karşıt ve çapraz akımlı püskürtmeli kurutucunun kurutma hazneleri [3]

**A.1.6 Ara Dolaşımli Kurutucular (Bantlı Kurutucular):** Bu kurutucularda malzeme sürekli bir iletim bandı üzerinde kurutucu içinde hareket eder ve bu esnada arasından sıcak kurutma havası üflenir [1]. Bu tip kurutucular çok yönlüdür ve aynı zamanda hem ısıya duyarlı hem de kırılğan olan büyük miktardaki gelişigüzel şekilli yükleri taşıyabilir. Çok büyük ticari bant tipi kurutucuların tasarımında, bant üzerindeki ürünün düzgün bir şekilde dağılması ve ayrıca kurutucunun bulunduğu kurutma odasında ürünün dengeli bir neme sahip olması için havanın da eşit bir şekilde dağılması çok önemlidir. Şekil 6.'da tek geçişli bant tipi kurutucu görülmektedir [3].



Şekil 6. Bant tipi kurutucu [3].

**A.1.7 Tünel Kurutucular:** Bu tip kurutucularda malzeme bir tünel içinde hareket eden kurutma vagonları içine uygun bir biçimde yerleştirilir. Bu esnada malzeme sıcak gazlarla temastadır [1]. Şekil 7.'de görülen tünel kurutucularda vagonların tünel içerisinden geçirilmesi, ya devamlı veya kuruma işlemi tamamlanan bir vagon, tüneli terk ederken yeni yüklenmiş bir vagon tünel girecek şekilde düzenlenir. Tünel kurutucuda hava akımı paralel, zıt veya vagonların takip ettikleri yola dik yönde olabilir.



**Şekil 7.** Tünel tip kurutucuda vagonlarda malzeme akışı, hava akışı ve tekrar dolaşım uygulaması.

Bu son sistem, kurutucunun muhtelif bölümleri için ayrı ısıtma üniteleri uygulanmasına imkan verir. Bu durumda hava, tünel içerisindeki vagonlar üzerinden geçirildikten sonra, bir ısıtıcıda ısıtılıp tekrar aynı kısımdaki vagonlara gönderilir. Tünel kurutucular genellikle miktarları büyük olan, fakat yavaş yavaş kurumaları gereken tuğla, kiremit, seramik malzemeler, kereste ve diğer malzemeler için de kullanılır. Bu sistemle kereste kurutulması esnasında, kurutucunun sıcak kısmında kerestenin çok çabuk kurumasını önlemek için, havanın nemlendirilmesi lüzumlu olabilir [5].

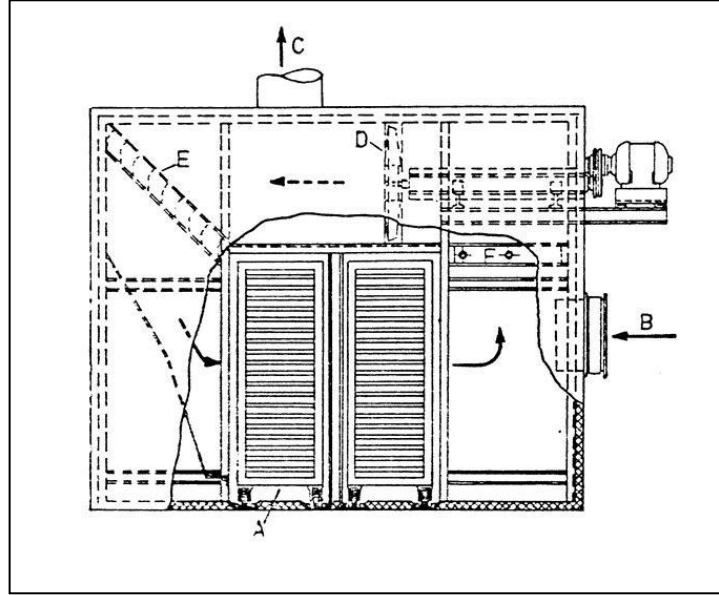
**A.1.8 Akışkan Yataklı Kurutucular:** Katı kurutulmuş maddeler bir sabit tank içinde akışkanlaştırılır. Akışkanlaştırma sıcak gaz akımı ile yapılabileceği gibi ısıtma serpantinleri de kullanılabilir [1].

**A.1.9 Isı Pompalı Kurutucular:** Bu tip kurutucular gıdaların ve diğer ürünlerin kurutulmasında ortam havasının yüksek nemliliğinin sonucu olarak kurutma süresini uzatan ve daha fazla enerji tüketimine yol açan ısıtmalı ve fanlı tip kurutuculara göre idealdir. Isı pompalı kurutucular dördüncü bölümde incelenmiştir.

**A.2 Kesikli Kurutucular:** Bu tip kurutucular belirli bir zaman aralığında belirli miktarda yaş ürünün kurutulması amaçlı tasarlanır. Kesikli kurutucularda nem miktarı ve sıcaklık koşulları kurutucunun herhangi bir noktasında sürekli olarak değişim gösterir.

**A.2.1 Kesikli Malzeme Arasından Sirkülasyonlu Kurutucular:** Malzeme elek yapılı tepsiler üzerinden iken sıcak hava üflenir [1].

**A.2.2 Tepsi Ve Kabin Tipi Kurutucular:** Cihaz esas itibarıyla dikdörtgen şeklinde bir odadan ibaret olup, bu odanın duvarları uygun bir ısı yalıtım maddesi ile kaplanmıştır. Bu odaların içersinden ya tepsilerin yerleştirildiği ve üzerlerinde rafların kolayca kaydığı raflar vardır veya tamamen boş olup, tepsiler vagonlar üzerindeki raflara yerleştirildikten sonra, bu odalara konular ve kurutucunun kapıları kapatılır. Havayı tepsiler üzerinde ve kurutucu içersinde dolaştıracak tedbirler alınmıştır. Bu tip kurutucularda havanın ısıtılması cihaz içersindeki ısıtıcılar tarafından yapılır ve dışarıdan sıcak hava alınmaz. Oldukça yaygın böyle bir kurutucu Şekil 8.'de görülmektedir [5].



**Şekil 8.** Tepsili kompartıman kurutucu: A, tepsileri taşıyan vagon; B, taze (temiz) hava girişi; C, hava çıkışı; D, vantilatör; E, yön verme kanatları; F, kanatlı borulardan meydana getirilmiş ısıtıcı [5].

**A.2.3 Akışkan Yataklı Kurutucu:** Katı malzemeler sabit bir yatak içinde akışkanlaştırılır. Üst kısma bir toz filtresi yerleştirilir.

## B. Özel Kurutucular

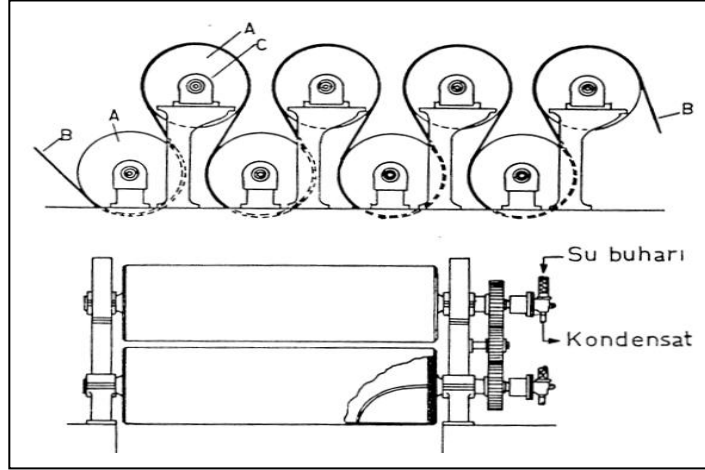
**B.1 İnfrared (Kızılötesi) Radyant Isılı Kurutucular:** Radyant ısıli kurutucuların çalışması, infrared ışınların üretimi, geçişi ve absorplanmasına bağlıdır [1]. Otomobil gövdesi gibi metal malzeme üzerindeki boya tabakasının kurutulmasında kullanılır. Radyasyon genellikle kızılötesi ışın veren lambalarla temin edilir ve kurutma, bir sıra lambanın yer aldığı bir tünel kurutucuda yapılır. Bu kurutma operasyonu sadece metal yüzeyler üzerindeki ince boya filmleri için uygundur, çözücü olarak suyun yer aldığı haller hiçbir zaman kullanılmaz. Çok pahalı bir kurutucudur [5].

**B.1 Dielektrik Isıtıcı Kurutucular:** Yüksek frekanslı elektriksel alana yerleştirilen katı malzeme içinde ısı üretimi prensibiyle çalışır [1]. Bu malzemenin her noktasında muntazam bir ısınma meydana getirir. Bu yöntem sadece kontrplak tabakaları arasındaki reçinenin polimerizasyonu ve bu suretle, tabakaların birbirlerine yapışması için önem taşır. Bu yöntem de tam bir kurutma operasyonu sayılmaz. Kurutma için de kullanılması düşünülebilir; fakat çok pahalıdır [5].

**C. İndirekt Kurutucular:** Kurutmada kullanılan ısı bir ara duvardan geçerek ıslak malzemeye ulaşır. Buharlaşan sıvı ise ısıtma ortamından bağımsız olarak kurutma ortamından uzaklaştırılır. Kuruma hızı ıslak malzemenin sıcak yüzeyler ile temasına bağlıdır. İndirekt kurutucular ayrıca iletim (kondüksiyon) kurutucuları veya temaslı kurutucular olarak da isimlendirilir.

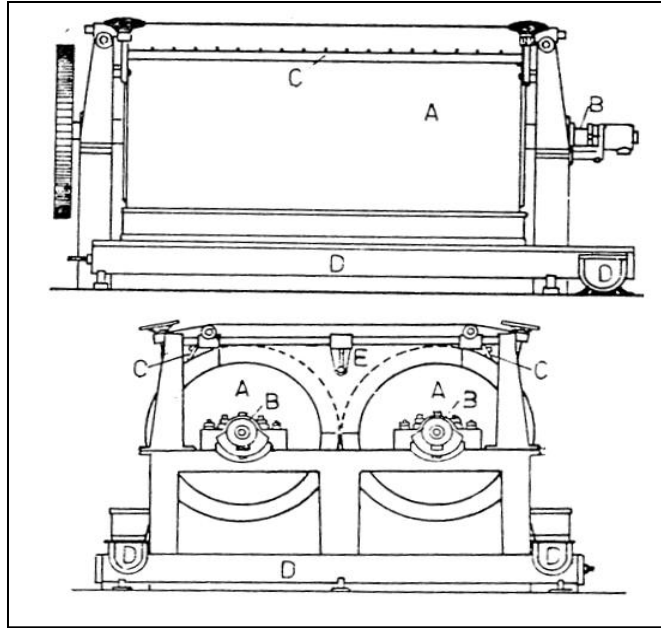
**C.1 Sürekli Kurutucular:** Kurutma malzemesinin sürekli olarak kurutucu içinden geçmesi ve yüzeylerle teması ile gerçekleşir [1].

**C.1.1 Silindirik Kurutucular:** Bu kurutucular devamlı bir tabaka halindeki kağıt ve tekstil gibi maddelerin kurutulmasında kullanılırlar. Bunlar pek çok sayıda buharla ısıtılan silindirlere meydana gelmiş olup, kurutulacak madde bu silindirler üzerinden devamlı geçer. Şekil 9., bu tip bir kurutucunun sadece bir kısmını göstermektedir. Silindirler A iki farklı seviyede sıralanmış olup, aralarında levha halindeki kurutulacak madde B yer alır. Silindirleri taşıyan mil yatakları C, şekilde diagramatik olarak gösterilmektedir [5].



**Şekil 9.** Silindir kurutucu: A, silindirler; B, levha yapısında kurutulacak madde; C, mil yatakları [5].

**C.1.2 Drum Kurutucular:** Şekil 10.'da çift silindirli bir kurutucu gösterilmektedir. Bu kurutucu esas itibarıyla, düz bir yüzeye sahip dökme demirden yapılmış iki büyük silindirden (A) meydana gelmiştir. Silindirlerin iç kısmına su buharı gönderen ve kondensatı alan borular, silindirleri taşıyan ve içleri boş olan millerden geçerler. Silindirler birbirlerine karşı yönde dönerler ve kurutulacak çözelti, silindirler tarafından meydana getirilen V şekilli aralığa gönderilir. Silindirleri örten film tabakasının kalınlığı, silindirler arasındaki açıklığın ayarlanması ile düzenlenir. Kazıyıcı bıçak (C), dış tarafa ve silindirlerin üstüne gelen bir yere yerleştirilir ve kurumuş olan ürün, kazınarak konveyör (D) içine dökülür. (kim üni 588–589)



**Şekil 10.** Atmosfer basıncı altında çalışan çift silindirli bir kurutucu: A, kurutma silindirleri; B, miller; C, kazıyıcı bıçak; D, ürünün taşınması için konveyör; E, kapak levhası. (ünit sf 588)

**C.1.3 Helezon İleticili Kurutucular:** Bu kurutucularda süreklilik olmasına karşılık, vakum altında çalışma ekonomik olmaktadır. Kurutmada kullanılan çözen geri kazanımı olanaklıdır.

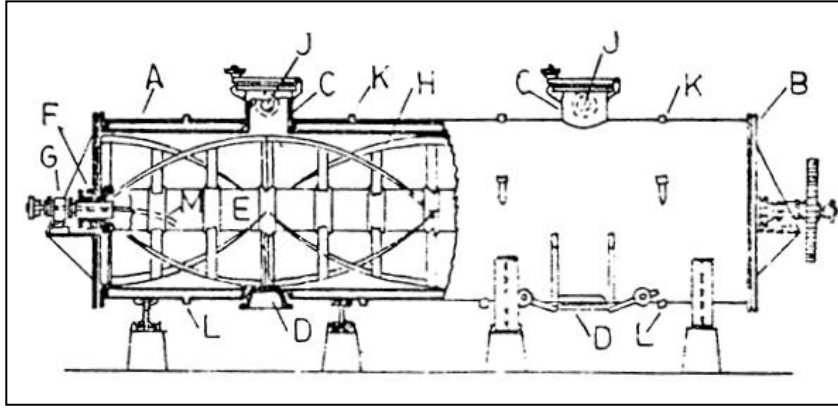
**C.1.4 Buhar Borulu Döner Tip Kurutucular:** Buhar veya sıcak su kullanılabilir. Çalışma hayli düşük negatif basınçta ekonomiktir ve kurutmada çözen geri kazanımı gerçekleştirilebilir.

**C.1.5 Titreşimli–Tepsili Kurutucular:** Bu kurutucularda ısıtma buhar veya sıcak su ile gerçekleştirilir.

**C.1.6 Özel Tipler Sürekli:** Kumaş kayış hareket ederek buharla ısıtılan levhalar üzerinden ısıyı alır. Malzeme ise kayış üzerinde bulunurken ısıyı temasla alır ve kurutulur.

**C.2 Kesikli Kurutucular:** Kesikli indirekt kurutucular genellikle vakum altında çalışmaya iyi uyumludur. Bu tip kurutucular ayrıca karıştırmalı veya karıştımsız olarak da sınıflandırılabilirler [1].

**C.2.1 Karıştırmalı Kaplı Kurutucular:** Bu kurutucular atmosferik veya vakum altında çalışmaya iyi uyumludur. (tes 743)Devamlı çalışan döner bir kurutucuda kurutulamayacak kadar yapışkan olan, tepsi veya kompartıman tipi kurutucuda kurutulacak kadar değerli olmayan, pek çok maddenin kurutulmasında, çok değişik tipleri bulunan ve mekanik olarak karıştırılan kurutucular kullanılmaktadır [5]. (örneğin sıvı, pasta, granüler [tanecikli] formda olabilir [1]. Bunların bir tipi Şekil 11.'de gösterilmektedir. Şekilde gösterilen cihazda kurutucu gövdesi dönmez. Bu tip kurutucularda kurutucu içersinden hava geçirilmez. Kurutulması istenilen maddeden buharlaşan çözücü buharı, hava ile karışmadan J bağlantıları yardımı ile kurutucu dışarısına alındığı için, bu bir evaporasyon operasyonudur. Bununla beraber bu operasyondan maksat, katı bir madde topluluğu elde etmek ve çözücü miktarını azaltmak olduğu için, cihaz kurutucular arasında yer alır [5].

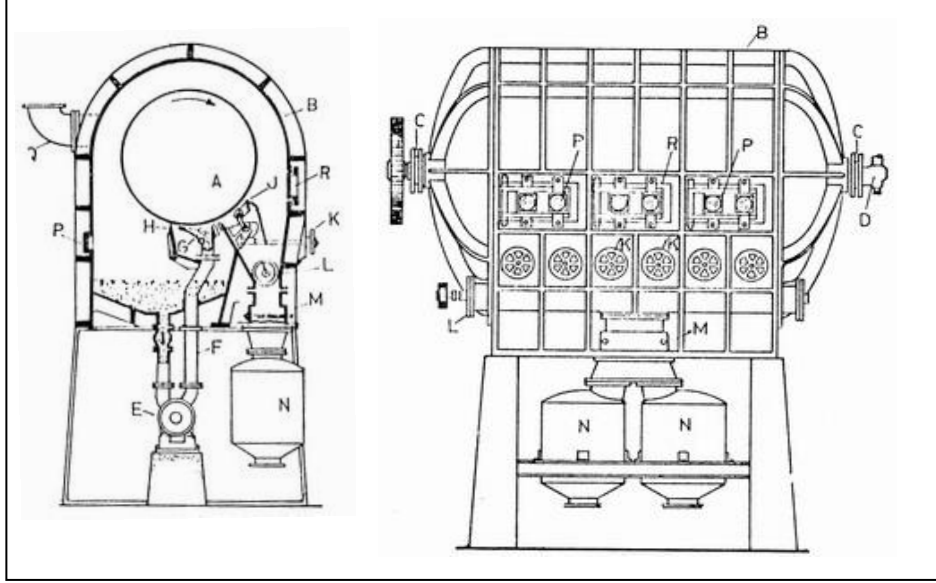


**Şekil 11.** Mekanik olarak karıştırılan devamsız bir kurutucu: A, ceketli silindir; B, başlıklar; C, doldurma bağlantıları; D, boşaltma kapıları; E, karıştırıcı şaftı; F, salmastra kutusu; G, şaft yatağı; H, karıştırıcı kolları; J, buhar çıkışları; K, su buharı girişleri; L, kondensat çıkışları; M, şaftta meydana gelen yoğunlaşma için boşaltma sifonu [5].

**C.2.2 Dondurmalı Kurutucular:** Saf buz üzerinde suyun buhar basıncı 4,6 mm civa'dır. Bunun bir sonucu olarak içersinde su bulunan bir madde 4,6 mm'den daha düşük bir vakum altında tutulacak olursa su donar ve buzun süblimleştirilmesi sonucu, sudan kurtarılır. Bu yöntem yavaş ve pahalı olup, çok geniş cihazlara ihtiyaç gösterir. Bu yöntemin faydalı yönü, yüksek sıcaklık veya oksidan atmosferden zarar gören, biyolojik ürünlerin kurutulmalarında kullanılabilmesidir. Meyve sularına uygulanması da düşünülebilir.

**C.2.3 Vakumlu Döner Kurutucular:** Atmosfer basıncı altında kaynama sıcaklığına kadar ısıtılmaları sakıncalı olan, hassas maddelerin kurutulması için, Şekil 10.'daki görülen kurutucu vakum altında çalışacak şekilde yapılır. Vakum altında çalışan tek silindiri bir kurutucu örneği Şekil 12.'de görülmektedir. A, tek bir kurutma silindiri olup, dökme demirden yapılmış geniş bir kaplama B ile sarılmış ve bu kaplamanın atmosfer basıncı altında şekil değiştirmemesi için, demir kuşaklar konulmuştur.

**C.2.4 Vakumlu-Tepsi Kurutucular:** Pek çok durumlarda maddenin, atmosfer basıncı altında suyun buharlaşacağı sıcaklıktan daha düşük sıcaklıkta ve kısa zamanda kurutulması istenebilir. Böyle bir durumda vakum altında çalışan raflı bir kurutucu kullanılır. Genellikle kesiti dikdörtgen şeklinde olan ve dökme demirden yapılmış bulunan bir odacık olup, bu odacık içersinde raflar bulunmaktadır. Rafların içi boş olup, çalışma esnasında bu boşluklar sıcak su veya buharla doldurulmaktadır. Kurutulması istenilen madde raflardaki tepsilerin üzerine serilir. Kurutucunun kapısı kapatıldıktan sonra, bir vakum pompası yardımı ile kurutucu içindeki vakum temin edilir. Raflara verilen su buharı, tepsilerdeki maddeyi yavaş yavaş ısıtır ve kurutucu içersindeki basınç altında suyun buharlaşabileceği bir sıcaklığa yükselir. Buharlaşan su, kurutucu ile vakum pompası arasında yer alacak bir kondenserde yoğunlaştırılır. Bu kurutucular özellikle (a) kurutulacak maddenin tepsilere yükleme ve boşaltma işi oldukça az olan pahalı maddeler ve (b) aynı kurutucuda zaman zaman çok değişik yapılış ve karakterde maddelerin kurutulması zorunluluğu olduğu haller için uygundur. Kullanış alanı geniş olan bu kurutucular atmosferik tipe oranla çok daha pahalıdır [5].



**Şekil 12.** Vakum altında çalışan tek silindirli kurutucu: A, kurutma silindiri; B, kaplama; C, miller; D, döner bağlantı; E, besleme pompası; F, besleme akımı için giriş borusu; G, silindir besleme teknesi; H, yayıcı; J, kazıyıcı bıçak; K, kazıyıcı bıçağı ayarlayan çark; L, ürünü taşıyan konveyör; M, ürün tanklarına ait açıp kapama vanası; N, ürün depolama tankları; P, gözetleme pencereleri; Q, buhar çıkışı; R, bakım için giriş kapağı [5].

#### 4. ISI POMPALI KURUTUCULAR

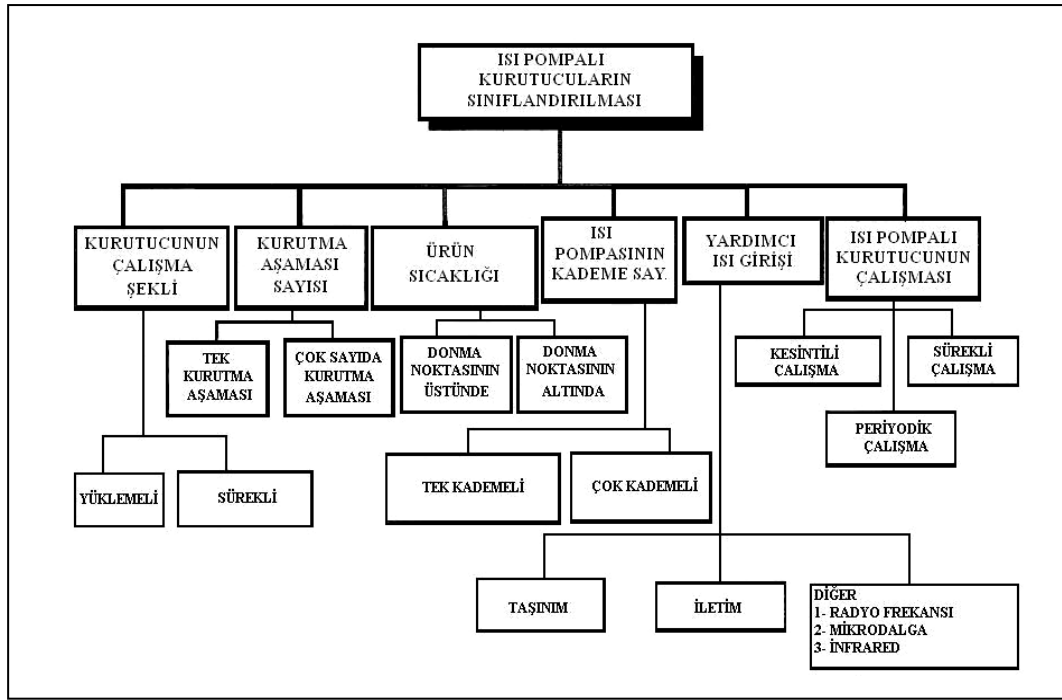
Enerji ve çevre problemleri göz önüne alındığında, etkili ısı enerji kullanımı önemli bir hale gelmiştir. Ekolojik olarak çevreyle dost yeni ısı enerji kullanma sistemleri geliştirilmelidir [18]. Kurutmada enerji yoğun bir işlem olduğundan, etkin enerji kullanımına sahip kurutma süreçlerinin geliştirilmesine önem verilmektedir [17].

Genelde yaygın kullanılan kurutucularda enerji tasarrufu düşünüldüğünde, ısı değiştirici kullanımı ile atık ısının sistemden çıkan kurutma havasından geri kazanımı veya kurutma havasının taze hava ile karıştırılarak tekrar dolaşımının sağlanması uygulamalarına sıklıkla karşılaşırlar. Isı değiştirici ilave edilen bir kurutucuda amaç, kurutucudan ayrılan egzoz gazlarının ısısını, kurutucuya giren gazlara vermek suretiyle bir ön ısıtma işleminin gerçekleştirmek ve bu yolla kurutma havasının ısıtılması için gerekli ısı miktarını ve dolayısıyla enerji giderlerini düşürmektir. Bazı kurutucularda ise yalnızca kurutucudan çıkan nemli havanın bir kısmını geri besleme yaparak, giriş taze havası ile karıştırılması sağlanır. Bu yöntemde kurutucuya giren havanın sıcaklığı ile beraber nem miktarı da artacağından, kurutma hızı azalacaktır. Kurutma havasının nemi kontrol edilerek egzoz miktarı kontrollü bir biçimde gerçekleşmektedir. Atık egzoz kurutma havasındaki ısı birçok farklı ısı değiştirici sistemi ile geri kazanılabilir. Örneğin bu yöntemlerden bazıları: levhalı ısı değiştirici kullanımı, ısı borulu ısı değiştirici ile ısı geri kazanımı, termosifon prensipli ısı geri kazanım sistemi, pompalı ısı taşıyıcı akışkanlı (su) ısı değiştiricili gibi yöntemler olarak sıralanabilir. Diğer bir yöntem ise dışarı atılan sıcak gazların gizli ve duyulur ısısını sisteme kazandırmak için ısı pompası kullanımıdır [16]. Son yıllarda, ısı pompalarının kurutma alanında büyük enerji tasarrufu sağladığı bilinmektedir [19]. Yakın zamanda geliştirilmekte olan yeni teknolojilerin de etkisiyle ısı pompalı kurutucuların potansiyel piyasasında önemli bir büyüme gerçekleşmiştir [17]. Sanayileşmiş yabancı ülkelerde birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılan ısı pompaları ne yazık ki ülkemizde sadece konfor amaçlı uygulama alanları ile sınırlı kalmıştır. Isı pompalarının endüstriyel alanda özellikle mamullerin kurutulması işleminde çok büyük enerji tasarrufu sağladığı bilinmektedir [19].



Isı pompalı kurutucu, iki mühendislik sisteminin bir araya gelmesinden oluşmaktadır: -ısı pompası ve kurutucu. Isı pompalı kurutma ile kontrol edilebilir bir kurutma ortamında (sıcaklık ve nem) düşük enerji tüketilerek, daha iyi kalitede ürünler elde edilir [20].

Şekil 13. Isı pompalı kurutucular için süreç türü, kurutma aşamalarının sayısı, ısı pompasının kademe sayısı, yardımcı ısı geçiş modelleri ve ısı pompalı kurutucunun çalışma şekline bağlı olarak geliştirilmiş sınıflandırma şemasıdır [17]. Bu çok farklı ısı pompalı kurutucularla yüksek verimliliklere ulaşabilmektedir.

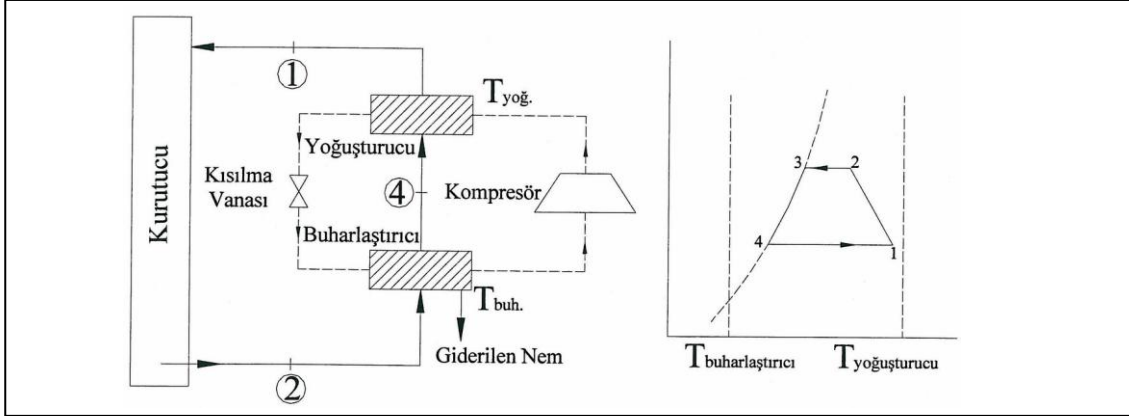


Şekil 13. Isı pompalı kurutucular için geliştirilmiş sınıflandırma şeması [6].

#### 4.1 Isı Pompalı Kurutucunun Çalışma Şekli

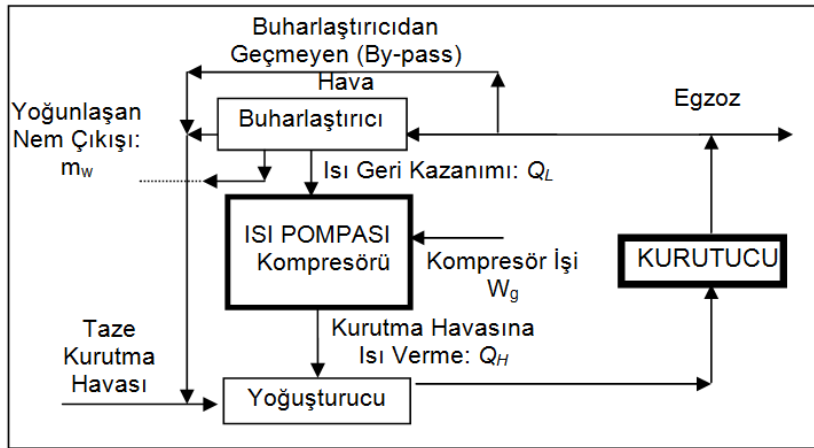
Geleneksel sıcak havalı bir kurutucuda, oldukça yüksek sıcaklıktaki kurutucu havasının kurutucudan dışarı atılması gerektiğinden önemli bir miktarda enerji (ısı) kaybı kaçınılmazdır. Isı pompası ile desteklenmiş bir kurutucuda kurutucu egzozundaki enerji tekrar kullanılmaktadır [20].

Kapalı sistem ısı pompaları uygulamasının temel prensibi Şekil 14.'de görülmektedir. Burada kurutucudan gelen düşük sıcaklıktaki hava yardımıyla buharlaştırıcıda, ısı pompası devresindeki soğutucu akışkan buharlaşır. Aynı zamanda egzoz (kurutma) havasından yoğunlaşan nem uzaklaştırılır. Soğutucu akışkan kompresörde sıkıştırılır ve yoğunlaştırıcıdan geçirilerek taşıdığı enerji kurutma havasına transfer edilir. Sıcaklığı yükselen kurutma havası da kurutucuya verilir. Soğutucu akışkan ise adyabatik olarak buharlaştırıcı basıncına genişletilir. Bu uygulamada kurutucudan gelen egzoz havası, taşıdığı nemin uzaklaştırılabilmesi için yoğunlaşma sıcaklığının altına soğutulmalıdır. Bu sürecin izlediği yol psikrometrik diyagramda Şekil 3.5'de görülmektedir. Kurutucudan gelen egzoz havasının ısı pompası buharlaştırıcısına giriş koşulları 2 noktası ile belirlenir. Buharlaştırıcıda önce egzoz havasının sıcaklığı düşer (3), ardından içerdiği nem yoğunlaşarak 4 noktası ile gösterilen koşullara ulaşılır. Nemi uzaklaştırılan egzoz havası ısı pompası yoğunlaştırıcısında kurutma sıcaklığına getirilerek 1 noktası ile gösterilen koşula getirilir [21].



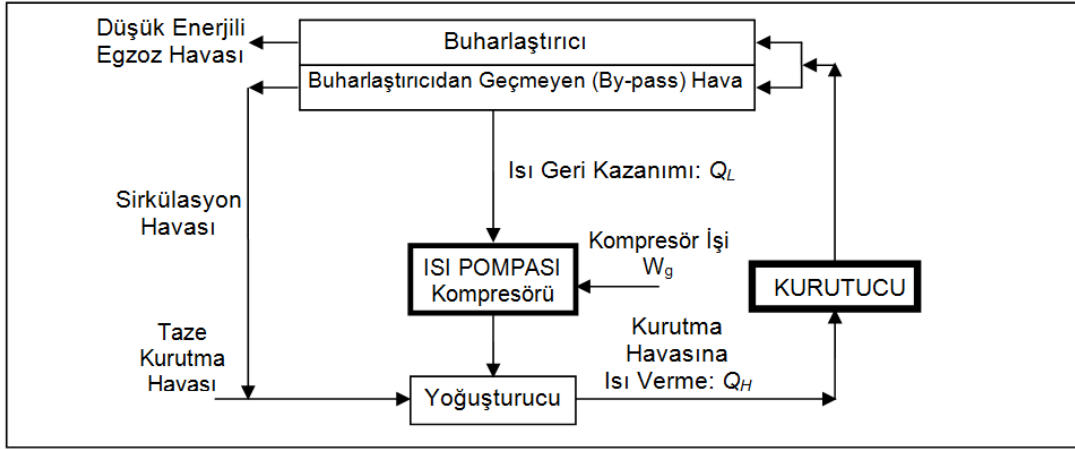
**Şekil 14.** Isı pompalı kurutucu prensip şeması ve psikometrik diyagramda gösterimi [21].

Isı pompalı kurutma sistemlerinde, uygulamada farklı yerleşimler söz konusudur. Şekil 15’de nem almalı ısı pompalı kurutucu olarak adlandırılan kapalı çevrimli sistem görülmektedir. Kurutucu çıkışındaki nemli egzoz havasının bir kısmı buharlaştırıcıdan geçirilirken bir kısmı ise buharlaştırıcı çıkışına dışarıdan dolaştırılarak gönderilir. Buharlaştırıcıdan geçirilen egzoz havasının bünyesindeki mutlak nem azalır ve sıcaklığı düşer. Buharlaştırıcıdan geçen egzoz havası ile dışarıdan dolaştırılan nemli hava karıştırılarak ısı pompası yoğuşturucusundan geçirilerek ısıtılır ve kurutma odasına geri gönderilir [16].



**Şekil 15.** Basit nem alıcı ısı pompalı kurutucu [16].

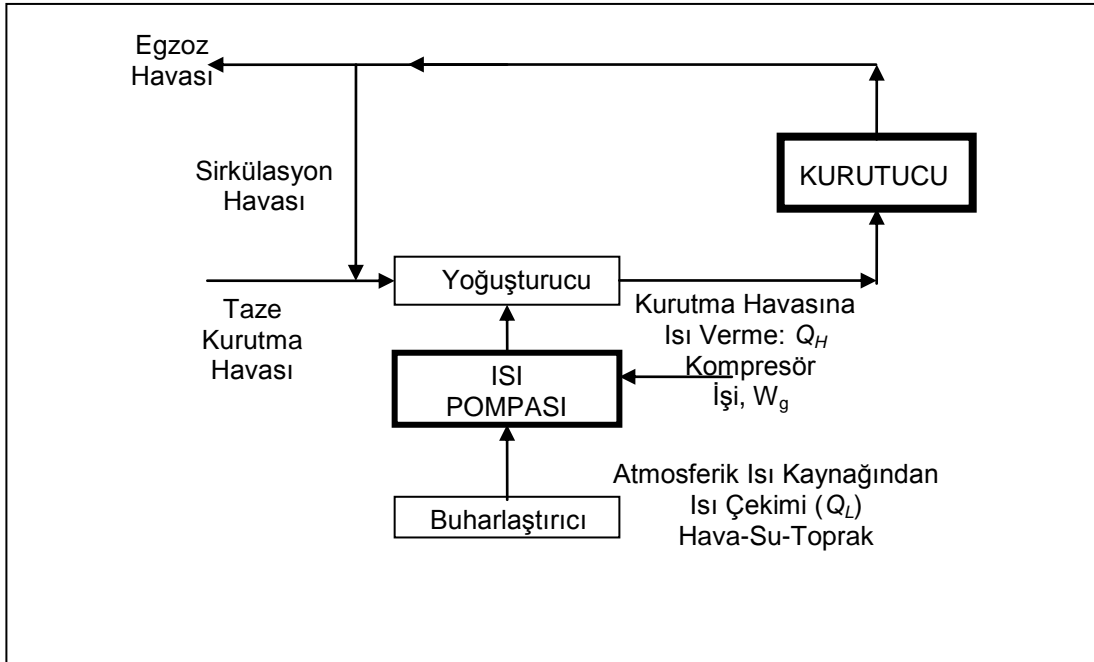
Şekil 16.’da, ısı geri kazanımının ana amaç olduğu açık çevrimli sistem şematik olarak gösterilmiştir [22]. Isı pompası ünitesinin buharlaştırıcısı, kurutucu egzoz havasının çıktığı kanalın içerisine yerleştirilir. Kurutucu çıkışında nemli egzoz havasının bir kısmı buharlaştırıcıdan geçirilirken bir kısmı ise kurutucu girişine yerleştirilen yoğuşturucuya dışarıdan dolaştırılarak gönderilir. Buharlaştırıcıdan geçerken sıcaklığı düşen ve bünyesindeki mutlak nemi azalan egzoz havası dış ortama atılır. Kurutma odası girişinde ise dış ortamdan çekilen taze hava ile dışarıdan dolaştırılan nemli hava karıştırılarak, ısı pompasının yoğuşturucusundan geçirilerek ısıtılır ve kurutma odasına gönderilir.



Şekil 16. Isı geri kazanımlı ısı pompalı açık hava çevrimli sistem [16].

Atmosferik ısı kaynaklı ısı pompalı kurutucuda ise ısı pompası direkt olarak dış bir atmosferik kaynaktan (atmosferik çevre havası kaynaklı, toprak kaynaklı, su kaynaklı) buharlaştırıcısı aracılığı ile çektiği ısıyı kurutma havasının ısıtılmasında kullanır. Tasarruflu bir elektrik enerjisi kullanımı sağlar.

Şekil 17.'de bu uygulama gösterilmiştir [16].



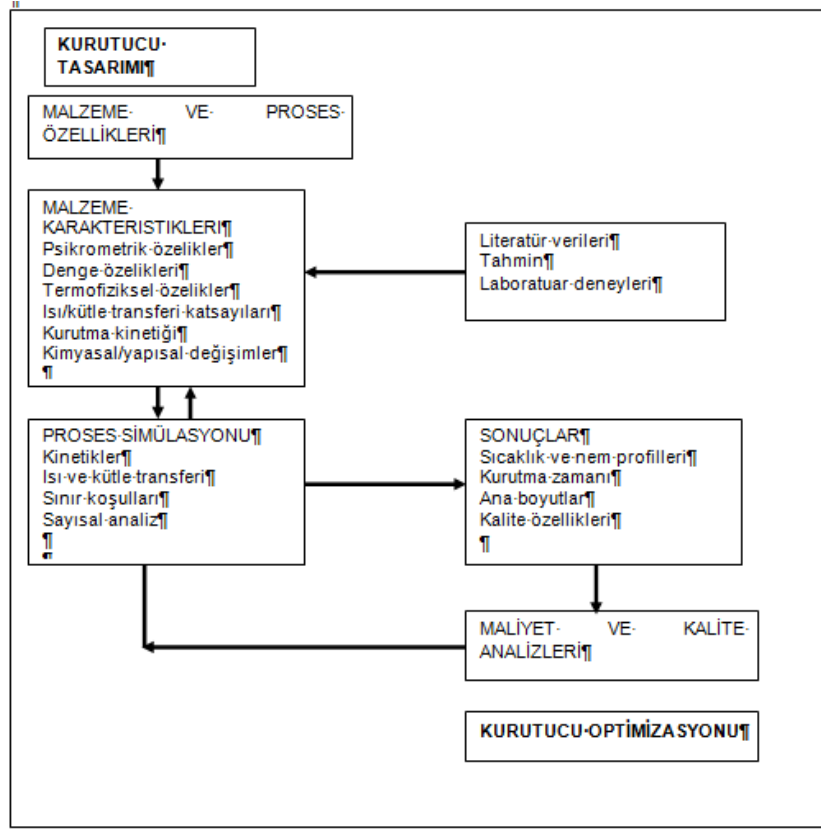
Şekil 17. Isı pompası ile bir atmosferik kaynaktan ısı çekimi ile kurutma havasının ısıtılması [16].

## SONUÇ

Gıda prosesleri arasında kurutma önemli bir yer almaktadır. Gıda saklama yöntemlerinden ve özellikle de sebze ve meyve kurutmada çok farklı kurutma teknikleri ülkemizde de kullanılmaktadır. Ancak

kurutucu imalat sanayimiz yeterince gelişmemiştir. Bu tip kurutucuların çoğunluğu yerel sanayimizin olanaklarıyla geliştirilebilir tiplerdir.

Gıda kurutulması [7,8,9,15], prosesleri [10, 11], kurutucu tasarımı [6,13,14] ve optimizasyonu ile ilgili çok sayıda kaynak bulunabilir. Bu kaynaklarda kurutucu tasarımı ve optimizasyonu ile ilgili bilgiler de yer alır. Şekil 18.'de bir kurutucu tasarımı ve optimizasyonunda gerekli adımlar gösterilmiştir.



Şekil 18. Kurutucu tasarımı ve optimizasyonu akış şeması.

Ülkemizde de son yıllarda konvansiyonel kurutucu üretimi yapan firma sayısında artışlar kaydedilmiştir. Ar-ge çalışmalarıyla her tür kurutucu imalatı gerçekleştirilebilir. Doğaldır ki konvansiyonel kurucularda özgül enerji tüketimleri genelde yüksektir. Özellikle de bu enerji fosil kaynaklı ise hem maliyetler ve hem de çevresel kısıtlar kullanımında caydırıcı olabilmektedir. Bu nedenle enerji verimliliği yüksek kurutuculara yönelmek gerekmektedir. Bu nedenle de özellikle güneş enerjisi, jeotermal enerji veya atık enerjilerin kullanıldığı tiplerin geliştirilmesi çalışmalarına ağırlık verilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] GÜNGÖR, A. ve ÖZBALTA, N., Endüstriyel kurutma sistemleri, TMMOB, MMO, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 1997.
- [2] ÖZBALTA N., GÜNGÖR, A., Kurutma sistemlerinde ısı pompası kullanım potansiyeli, III. GAP Mühendislik Kongresi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 2000
- [3] MUJUMDAR, A.S., Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying (Edited by Sakamon Devahastin, 2000.
- [4] MİRZA M., Isı Pompalı Kurutucunun Isıl Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

- [5] BANCHERO, J.T., BADGER, W.L., Kimya Mühendisliğine Giriş: Ünit operasyonlar, (Çev:Çataltaş, İ.), İstanbul, 1973
- [6] DAUTY, M.E., Fruit and vegetable processing, FAO Agricultural Organization of the United Nations, 1995.
- [7] SMİTH, J.S., HUI, Y.H., Food processing: Principles and Applications, Blackwell. Pub. 2004. Chapter:2 Food Dehydration, R.Driscoll.
- [8] MUJUMDAR, A.S., The Handbook of Drying, Chapter 25: Drying of Fruits and Vegetables, Taylor and Francis, 2006.
- [9] GREENSMİTH, M., Practical Dehydration, Chapter 4: Dryers, Woodhead Publ.,1998.
- [10] KUTZ, M., Handbook of Farm, dairy and Food Machinery, William Andrew, Inc.,2007, Chapter 11: Food drying and evaporation processing operations.
- [11] EARLE, R.L., EARLE, D., Unit operations in food processing, 2.Edition, Pergamon Commonwealth and International Library, 1983.
- [12] Energy-Related Best Practices: A Sourcebook for Iowa State University,2005.
- [13] LAND, C.M.V., Drying in the process industry, John Wiley, 2012.
- [14] LAND, C.M.V., Industrial drying equipment: Selection and Equipment, Marcel Dekker, 1991.
- [15] ÖZTEKİN, S. ve SOYSAL, Y. , Tarım Ürünleri Kurutma Tekniğine Giriş, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, Adana. 1998.
- [16] BASARAN, B., BİTLİSLİ, B.O., SARI, Ö., ÖZBALTA, N., GÜNGÖR, A., Deri kurutulmasında yeni teknolojiler: Isı Pompalı Kurutucular, I.Ulusal Deri Sempozyumu, Ege üniversitesi Mühendislik fakültesi Deri Mühendisliği Bölümü, 7-8 Ekim 2004.
- [17] CHUA, K.J., CHOU, S.K., HO, J.C. and HAWLADER, M.N.A., 2002, Heat pump drying: recent developments and future trends, Drying Technology Volume 20, No: 8, 1580-1588, 1595, 1596, 1599-1604p.
- [18] OGURA, H., ISHIDA, H., YOKOOJİ, R., KAGE, H., MATSUNO, Y. and MUJUMDAR, A.S.,2001, Experimental studies on a novel chemical heat pump dryer using a gas-solid reaction, Drying Technology Volume 19 (7), 1462p.
- [19] COŞKUN, S., 2002, Basit nem alıcı ısı pompalı sürekli kurutma sisteminin simülasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:4 Sayı:2, 80s.
- [20] PRASERTSAN, S. and SAEN-SABY, P., 1998 b, Heat pump drying of agricultural materials, Drying Technology Volume 16 (1&2)
- [21] ÖZBALTA, N. ve GÜNGÖR, A., 2000, Kurutma sistemlerinde ısı pompası kullanım potansiyeli, III. GAP Mühendislik Kongresi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- [22] HEPBASLI, A., 2002, Isı pompalarının ürün kurutucularında kullanılması, I. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, İzmir.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ali GÜNGÖR

1955 yılı Elazığ doğumludur. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında mühendis, 1979 yılında yüksek mühendis, 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 Dalı'nda doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesi'nde profesör oldu. 1978 yılından itibaren değişik üniversite içi kurumlarda, Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde ve Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde çalıştı. Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nde 1997-2012 yılları arasında bölüm başkanlığı görevinde bulundu. Halen aynı bölümde Termodinamik Anabilim Dalı başkanıdır. Çalışma konuları; iklimlendirme, güneş enerjisi ısı uygulamaları, kurutma tekniği, ısı boruları, soğutma teknolojileri, ısı pompaları, absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma, termodinamik, ısı ve madde transferi uygulamalarıdır.