

Gıda Kurutulmasında Akışkan Yataklı Kurutma Sistemlerinin Kullanımı: Bir İnceleme

Ali Etem Gürel*, İlhan Ceylan, Doğancaz Uz

*#Düzce University, Vocational School, Department of Electrical and Energy, Düzce/Turkey
etemgurel@gmail.com*

*Karabük University, Faculty of Technology, Energy Systems Engineering, Karabük/Turkey
ilhancey@gmail.com*

*Düzce University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Düzce/Turkey
dogancanuz@gmail.com*

Özet— Kurutma, tarımsal ürünlerin bozulmadan korunması için kullanılan en eski yöntemdir. Kurutma işlemi ile birlikte gıda ürünlerindeki su aktivitesi değeri düşer. Böylece gıdaların bozulma süreci yavaşlar. Endüstriyel talepleri karşılayacak birçok kurutucu modeli geliştirilmiştir. Bu kurutucu yapılarından biri de akışkan yataklı kurutuculardır. Akışkan yataklı sistemlerin temel prensibi, kurutulacak taneçikli ürünlere akışkan özelliklerine benzer özellikler kazandırılmasıdır. Bu sistemlerde kurutulacak ürünler akışkan bir ortam (hava) içinde askı halinde tutulurken kuruma işlemi gerçekleşir. Akışkan yataklı kurutucularda kurutma havası ürünün her bir noktasına homojen olarak dağılır. Bu nedenle bu kurutucular yüksek bir kurutma performansına sahiptirler. Ayrıca bu tip kurutucular, ülkemizde bol miktarlarda bulunan bakliyat, tahıl gibi ürünlerin kurutulmasında da çok kullanışlıdır. Bu çalışmada, literatürde bulunan ve gıda kurutulmasında kullanılan farklı yapılarıdaki akışkan yataklı kurutucular incelenmiştir.

Anahtar kelimeler— Akışkan yataklı kurutucular, sistem tasarımı, enerji

Abstract— Drying is the oldest method used for the protection of agricultural products. With the drying process, the water activity in the food products is reduced. Thus, the degradation process of foods slows down. Many dryer models have been developed to meet industrial demands. One of these dryer structures is fluid bed dryers. The basic principle of fluidized-bed systems is to impart properties similar to fluid properties to the granular products to be dried. In these systems the drying process takes place while the products to be dried are suspended in a fluid environment. In fluidized bed dryers, the drying air is homogeneously distributed at each point of the product. For this reason, these dryers have a high drying performance. These types of dryers are also very useful for drying crops such as pulses and grains, which are abundant in our country. In this study, fluidized bed dryers in the literature and in different structures used for food drying were investigated.

Keywords— Fluidized bed dryers, system design, energy

I. GİRİŞ

Kurutma; bir madde içinde bulunan sıvının kontrollü veya kontrolsüz yöntemler kullanılarak uzaklaştırılmasıdır. Teknik kurutmada, kuruma işlemine dış müdahale yapılarak madde içinde bulunan nem değişik metotlarla alınır. Bu nedenle kurutma, kuruyacak ürün neminin istenilen kuruluk değerlerine düşürülmesini sağlayan bir süreç olarak tanımlanır. Belli bir süreçte ürünün kuruma değerlerine gelmesini sağlayan ve değişik birimlerden oluşan (ısıtma, nem alma, buharlama vb.) ünitelerin bütününe de kurutma sistemi denir [1].

Geçmişten günümüzde kurutma işlemi endüstriyel ihtiyaçları karşılayacak biçimde gelişmiş ve kendisine geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bugün endüstriyel uygulamalarda kurutmanın kullanılmadığı alan neredeyse yok gibidir. Kurutma işlemi yaygın olarak gıda, kimya, tekstil, deri ve kereste sanayi gibi endüstri dallarında uygulanmaktadır [2].

Bu çalışmada, akışkan yataklı kurutucular (AYK) incelenmiştir. Çalışmada öncelikle uygun kurutucu seçim kriterlerine değinilmiş ve ardından AYK sistemleri detaylı olarak ele alınmıştır. Literatürde bulunan ve gıda kurutma uygulamaları için kullanılan farklı yapılarıdaki AYK'lar, kurutma kapasitesi, enerji tüketimi, yatak derinlikler, kurutma havası hızları gibi etkenler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

II. KURUTUCU SEÇİM KRİTERLERİ

Kurutma işleminin başarısı, gerek ürün kalitesi gerekse işletmenin karlılığı bakımından uygun bir kurutucunun seçilmesine bağlıdır. Her türlü ürünün kurutma işlemine uygun çok amaçlı bir kurutucu tipinin olmaması nedeni ile ilk adım olarak kurutma yöntemi ve kurutucunun doğru seçimi büyük önem taşımaktadır [3].

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 ısı nem almanın maliyeti için doğru çalışma şartlarını da seçmek ayrıca önemlidir [4]. Kurutma sistemlerinin seçiminde aşağıdaki sıralama belirleyici olmaktadır.

1. 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 koşul olarak aranır.

2. 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.

3. 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.

4. Kurutucu seçiminde karar verme: Kurutma testlerinden ve belirtilen özelliklerin değerlendirilmesiyle kurutucu seçimine karar verilebilir [4].

Gıdaların kurutulmasında bilinmesi gereken en önemli verilerden biri de kurutmanın başlangıcındaki nemliliği ve kurutma işlemi sonunda ulaşacağı nemlilik değerleridir. Tablo 1’de bazı ürünler için ilk ve son nem değerleri ile yine bu ürünler için izin verilen en yüksek kurutma sıcaklıkları verilmiştir. Tablo 2’de endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan bazı kurutucu tiplerinin karakteristik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Bazı gıda ürünlerinin nem değerleri ve kurutma sıcaklıkları

| Ürün adı | Başlangıç nemi (yaş baza göre) (%) | Son nem miktarı (yaş baza göre) (%) | 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 |

Tablo 2. Gıdaların kurutulmasında kullanılan bazı kurutucuların özellikleri [4]

| 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 |
| Patates | 75 | 5 | 75 |
| Biber | 80 | 24 | 65 |
| Elma | 80 | 18 | 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 |

III. AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SİSTEMLERİ

Akışkan yataklı kurutucuların bu geniş kullanım oranına rağmen endüstriyel ölçekte bir akışkan yataklı kurutucu tasarlamak üzerinde uğraşılması gereken bir konu olup, bu süreç ampirik ifadelerle dayanmaktadır. Akışkan yatak teknolojisini diğer kurutma yöntemleri ile karşılaştırdığımızda bu teknoloji ile sunulan başlıca üstünlükleri şunlardır:

1. Kurutulacak parçaların düzenli akışı sayesinde, ürünün kolayca beslenmesi ve çıkarılması sağlanabilir ve büyük ölçekli kurutma işlemleri gerçekleştirilebilir.

2. Mekanik olarak hareket eden parçaların sayısı çok az olduğu için bakım masrafları düşüktür.

3. Gaz ve parçacıklar arasında ısı ve kütle geçişinin hızlı olması sayesinde ısıya duyarlı parçacıkların aşırı ısıtılması önlenir.

4. Akışkan yatak içine ısıtıcı paneller yerleştirilerek, yatak içindeki malzemeler ile daldırılmış nesnelere arasındaki ısı geçişi oranı artırılabilir.

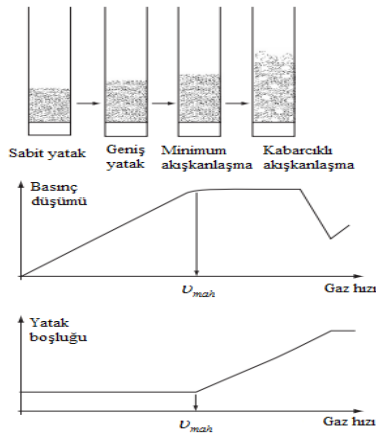
5. Kurutulacak katıların hızlı karışımı, akışkan yatak boyunca hemen hemen sabit sıcaklık şartlarının oluşmasını sağlar ve böylece kurutma sürecinin sıcaklık ve nem kontrolü kolaylıkla sağlanabilir [5]

Bu sistemlerin başlıca dezavantajları ise; yüksek basınç düşümü, yüksek elektrik enerjisi tüketimi, partikül ürünlerin bazılarının kötü akışkanlaşma kalitesi, akışkan yataklı kurutucuların belirli türleri için düzenli olmayan ürün kalitesi, boru ve kanalların erozyonu, ince parçacıkların sürüklenmesi ve parçacıkların aşınması ya da pülverizasyonu olarak sıralanabilir.

Akışkan yataklı sistemlerin temel prensibi, kurutulacak tanecikli ürünlere akışkan özelliklerine benzer özellikler kazandırılmasıdır. Bu sistemlerde kurutulacak ürünler akışkan bir ortam (hava) içinde askı halinde tutulurken kuruma işlemi gerçekleşir.

| Kurutucu tipi | Yüklemeli/Sürekli | Katı/Sıvı | Başlangıç nem miktarı | Kuruma hızı | Tipik en çok buharlaşma kapasitesi (kg/h) | Kullanıldığı alanlar |
|----------------------------|-------------------|-----------|-----------------------|-------------|---|---|
| Yığın | Yüklemeli | Katı | Düşük | Yavaş | - | Sebzeler |
| Kabin | Yüklemeli | Katı | Orta | Orta | 55-75 | Meyveler ve sebzeler |
| Konveyör/bantlı | Sürekli | Katı | Orta | Orta | 1820 | Kahvaltı tahılları, meyve ürünleri, şekerleme, sebze, bisküvi, fındık |
| Drum | Sürekli | Katı | Orta | Orta | 410 | Çözelti, mısır şurubu, patates, jelatin |
| Foam-mat | Sürekli | Sıvı | - | Hızlı | - | Meyve suları |
| Akışkan yatak | Yüklemeli/Sürekli | Katı | Orta | Orta | 910 | Bezelye, doğranmış veya dilimlenmiş sebze, toz veya kalıplanmış gıdalar, meyveler, Hindistan cevizi, tıbbi bitkiler (otlar) |
| Kılın | Yüklemeli | Katı | Orta | Yavaş | - | Elma halkaları, şerbetçiotu |
| Mikrodalga-dielektik | Yüklemeli/Sürekli | Katı | Düşük | Hızlı | - | Ekmek yapım ürünleri |
| Pnömatik/sirkülasyonlu | Sürekli | Katı | Düşük | Hızlı | 15900 | Niştastalar, sos veya çorba tozu, püre patates |
| İşinimli | Sürekli | Katı | Düşük | Hızlı | - | Ekmek yapım ürünleri |
| Döner | Yüklemeli/Sürekli | Katı | Orta | Orta | 1820-5450 | Kakao tanesi, fındık, posa, pişmiş tahıllar |
| Spin flaş | Sürekli | Sıvı | Orta | Hızlı | 7800 | Pastalar, kekler, çamurlar, viskoz sıvılar |
| Püskürtmeli | Sürekli | Katı | - | Hızlı | 15900 | Tozlar, hazır kahve, süt tozu |
| Güneş enerjili | Yüklemeli | Katı | Orta | Yavaş | - | Meyveler ve sebzeler |
| Arasından geçmeli (Trough) | Sürekli | Katı | Orta | Orta | - | Bezelye, doğranmış sebzeler |
| Tünel | Sürekli | Katı | Orta | Orta | - | Meyveler ve sebzeler |
| Vakum bantlı/raflı | Sürekli | Sıvı | - | Hızlı | 18200 | Et özleri, çikolata kırıntları |

Geleneksel akışkan yatak, katı parçacıklardan oluşmuş bir yatağın altından bir gaz (genellikle hava) akımının geçirilmesi ile elde edilir. Düşük gaz hızlarında yatak statiktir. Partikül yatağı bir dağıtıcı plaka üzerindedir. Akışkanlaştırıcı gaz dağıtıcı plakadan geçer ve akışkan yatak boyunca homojen bir biçimde dağılır. Akışkanlaştırıcı gaz hızı arttıkça bu durum yatak boyunca basınç düşümünün artmasına neden olur. Belirli bir gaz hızında akışkan yatak içerisindeki gaz akımı tüm yatağın ağırlığını destekleyecek düzeye ulaştığında yatak akışkanlaşır. Bu durum minimum akışkanlaşma ve bu durumu oluşturan gaz hızı da minimum akışkanlaşma hızı, olarak ifade edilir. Şekil 1'de gaz hızının artmasıyla sabit yataktan kabarcıklı yatağa farklı yatak rejimleri gösterilmiştir. Grafiklerde ise farklı yatak rejimlerinde yatak basınç düşümlerinin ve yatak boşluklarının değişimleri gösterilmiştir [6].



Şekil 1. Akışkan yatak için farklı yatak rejimleri.

IV. AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCU TİPLERİ

Geçmişten günümüze işlem, ürün, işletim güvenliği ve çevresel ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak çok sayıda endüstriyel uygulama için çeşitli akışkan yataklı kurutucuların üzerine çalışmalar yapılmıştır. Uygun maliyetli ve mantıklı bir seçim yapabilmek için farklı akışkan tiplerinin belirli özelliklerine aşına olmak çok önemlidir.

Endüstride kullanım alanı bulamamış bazı yeni tasarım akışkan yataklı kurutucuların dezavantaj ve güçlüklerinin üstesinden geleneksel tip akışkan kullanılarak gelinebilir. [6].

Geleneksel Akışkan Yataklı Kurutucular

Geleneksel akışkan yataklı kurutucular; yığın tip, yarı zamanlı ve tam zamanlı akışkan yataklı kurutucular olarak sınıflandırılabilir [6].

1. Yığın Tip Akışkan Yataklı Kurutucu

Kapasitesi genel olarak 50 kg/h ile 1000 kg/h arasında olan küçük işletmeler için uygundur. Kurutma havası sıcaklığı ve hızı genel olarak sabit değerlerdedir. Fakat hava hızını ve sıcaklığını kontrol etmek enerji giderlerini azaltacaktır.

2. Yarı Zamanlı Akışkan Yataklı Kurutucu

Yarı zamanlı akışkan yataklı kurutucularda bir dizi alt prosesten meydana gelir. Yüklenen ürünler işlem hattı boyunca bir işlemciden diğer işlemciye döndürülerek taşınır.

3. Tam Zamanlı Akışkan Yataklı Kurutucu

Endüstride en çok kullanılan akışkan yataklı kurutuculardır. Akışkan yataktaki partiküller kusursuz bir şekilde karışırlar. Akışkan yataktaki sıcaklık dağılımı homojendir. Akışkan yatak içerisindeki malzemenin sıcaklığı egzoz sıcaklığına eşittir. Partiküllerin sıklonda bekleme ve karışma süresi uzundur bu sırada ürün nemi dağılarak artabilir.

Farklı Tipteki Akışkan Yataklı Kurutucular

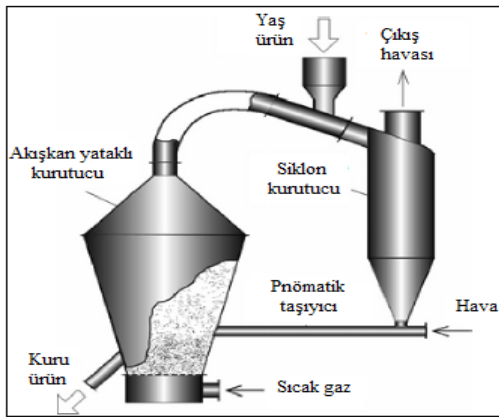
Birçok endüstriyel uygulama için farklı modifikasyonlara sahip çok sayıda akışkan yataklı kurutucular bulunmaktadır. Bu akışkan yataklı kurutucular, geleneksel tipteki akışkan yataklı kurutucuların bazı problem ve dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu akışkan yataklı kurutuculardan bazıları aşağıda sıralanmıştır [6].

1. Kademeli ve Çok Süreçli Akışkan Yataklı Kurutucular

Akışkan yataklar parçacıklı malzemelerin işlenmesinde birçok farklı özellik ve avantajlar sunduğundan, bir akışkan yatak içerisinde iki veya daha fazla işlem gerçekleştirilebilir. Bu işlemler; karıştırma, kurutma, soğutma vb. işlemler olarak sıralanabilir.

2. Hibrit Akışkan Yataklı Kurutucular

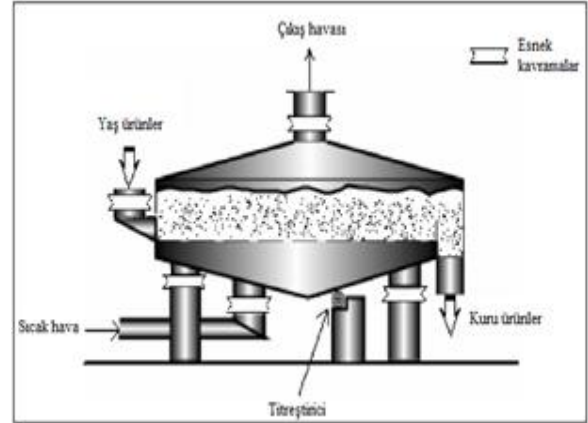
Hibrit akışkan yataklı kurutucular yüzey ve iç nem içeren katıların kurutulmasında kullanılırlar. Yüzey nemi flaş ya da siklon tipi kurutucu kullanılarak ilk aşamada çıkarılabilir. Kurutmanın ikinci aşaması kolaylıkla kontrol edilebilen kurutma süresi ile akışkan yatak içerisinde gerçekleştirilir. Şekil 2’de örnek bir hibrit siklon tipi akışkan yataklı kurutucu görülmektedir.



Şekil 2. Hibrit siklon akışkan yataklı kurutucu

3. Titreşimli Akışkan Yataklı Kurutucular

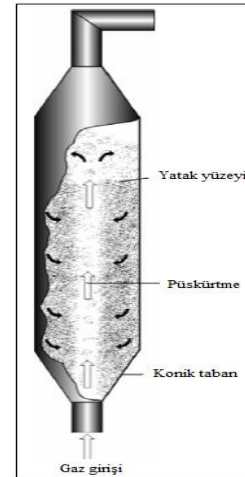
Bu tip akışkan yataklı kurutucularda titreşim kombinasyonu ile ürünler titreştirilerek sahte bir akışkan yatak ortamı oluşturulur. Minimum akışkanlaşma için ihtiyaç duyulan gaz hızı, geleneksel akışkan yataklı kurutucularda ihtiyaç duyulan gaz hızından daha azdır. Şekil 3’de titreşimli akışkan yataklı bir kurutucu görülmektedir.



Şekil 3. Titreşimli akışkan yataklı bir kurutucu

4. Püskürtmeli Akışkan Yataklı Kurutucular

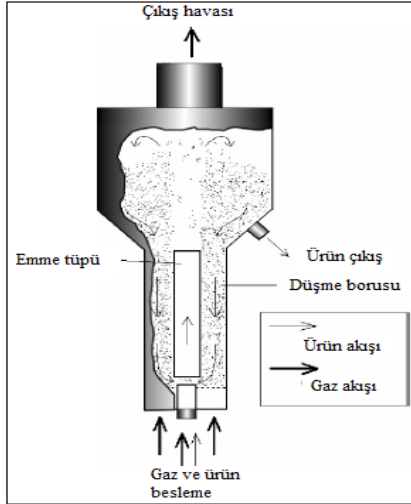
Püskürtmeli tip akışkan yataklı kurutucular geniş parçacıkların (> 5mm) kurutulmasında oldukça kullanılırlar. Püskürtmeli yatakta, yüksek gaz hızı yatağın altından girer ve parçacıklar boyunca hareket ederek parçacıkları taşır. Şekil 4’de püskürtmeli tip bir akışkan yataklı kurutucu görülmektedir.



Şekil 4. Püskürtmeli akışkan yataklı bir kurutucu

5. Çevrimli Akışkan Yataklı Kurutucular

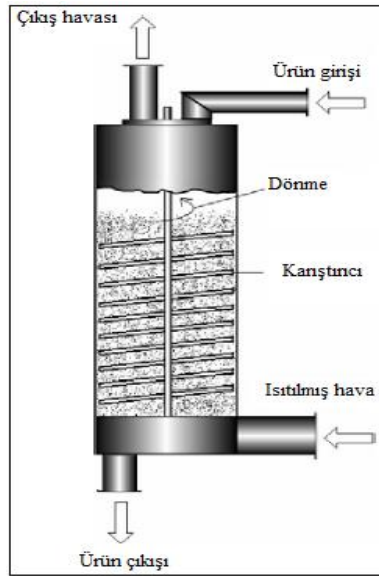
Sıradan bir püskürtmeli akışkan yataklı kurutucu içerisine bir emme tüpü yerleştirilmesiyle, bu yatağın kurutma karakteristikleri değişir. Bu tip akışkan yataklar çevrimli akışkan yatak olarak bilinir. Püskürtmeli akışkan yatağın aksine çevrimli akışkan yataklı kurutucuda maksimum püskürtme yatak yüksekliği ve minimum püskürtme hız limitleri yoktur. Şekil 5’de çevrimli akışkan yataklı bir kurutucu görülmektedir.



Şekil 5. Çevrimli akışkan yataklı bir kurutucu

6. Karıştırıcı Akışkan Yataklı Kurutucular

Kurutulacak ince partiküllerde akışkanlaşma kalitesini artırmanın yolların biride mekanik bir karıştırıcı kullanmaktır. Karıştırıcı sistem akışkan yatak boyunca homojen bir akışkan yatak formu oluşmasını sağlar. Bu tip kurutucular hamur gibi ince partiküllü malzemelerin kurutulması için çok kullanışlıdır. Karıştırıcının dönme etkisiyle hamurun sürekli olarak karışması ve macunumsu yapısının dağılması sağlanır. Bu tip bir kurutucu Şekil 6'da görülmektedir.

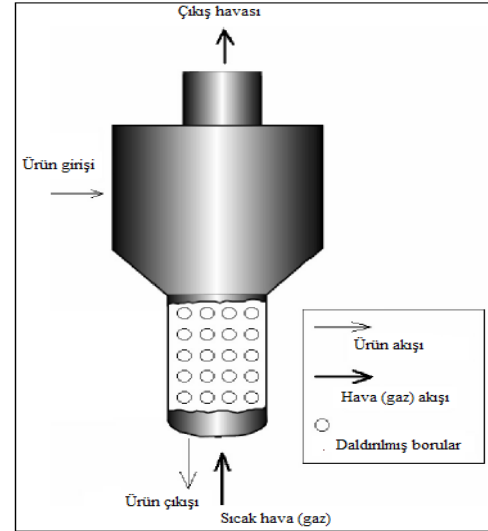


Şekil 6. Karıştırıcı tip akışkan yataklı kurutucu

7. Daldırmalı Isı Değiştiricili Akışkan Yataklı Kurutucular

Dahili ısıtıcılar ya da daldırma tipi ısı değiştiricileri ile donatılmış akışkan yataklar kurutulmuş malzemeye endirekt

olarak ısı transfer ederler. Bu sistemlerde, yatay boru demetleri dikey boru demetlerine göre daha geniş bir kullanım alanına sahiptir. Dahili ısıtıcı ya da daldırma borulu akışkan yataklı kurutucular ince tozlar ve küçük boyutlu kurutma uygulamalarında kullanılır. Şekil 7'de daldırmalı ısı değiştiricili bir akışkan yataklı kurutucu görülmektedir.

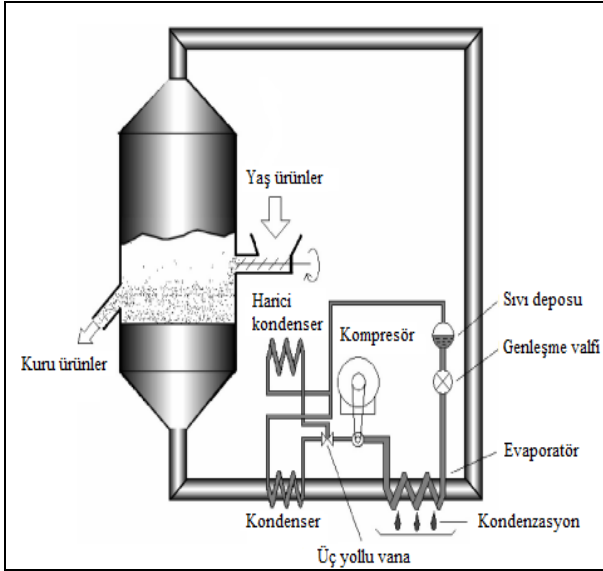


Şekil 7. Daldırmalı ısı değiştiricili bir akışkan yataklı kurutucu

8. Isı Pompalı Akışkan Yataklı Kurutucular

Sıradan bir akışkan yataklı kurutucu; fan, ısıtıcı, nem alıcı, akışkan yatak ve siklon kısımlarından oluşurken, sıradan bir ısı pompası sistemi ise; evaporatör, kondenser, kompresör ve genişleme valfi kısımlarından oluşur. Isı pompalı akışkan yataklı bir kurutucu kombinasyonunda kondenser ısıtıcı ve evaporatör nem alıcı olarak işlev yapmaktadır. Bu tip kurutucuların başlıca avantajları: yüksek özgül nem çekme oranına karşın düşük enerji tüketimi, yüksek performans katsayısı (COP), geniş bir kurutma sıcaklığı (-20°C ile 110°C arasında), çevreye dost olmaları ve yüksek ürün kalitesidir [6].

Tipik bir ısı pompalı akışkan yataklı kurutucu sistemi Şekil 8'de görülmektedir. Sistemde ısı pompasının kondenserinden elde edilen kurutma havası akışkan yatağa iletilmekte ve bu sayede kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Söz konusu sistem kapalı bir sistem olup, akışkan yataktan çıkan kurutma havası tekrar sisteme dahil edilmektedir. Bu sayede enerji tasarrufu da yapılmaktadır. Bu sistemde, kurutma havasının sistem evaporatöründen geçirilerek taşıdığı nemin yoğunlaşarak alınması hedeflenmiştir. Bu sayede dönüş havasının kurutma kabiliyetinin artırılması sağlanmaktadır.

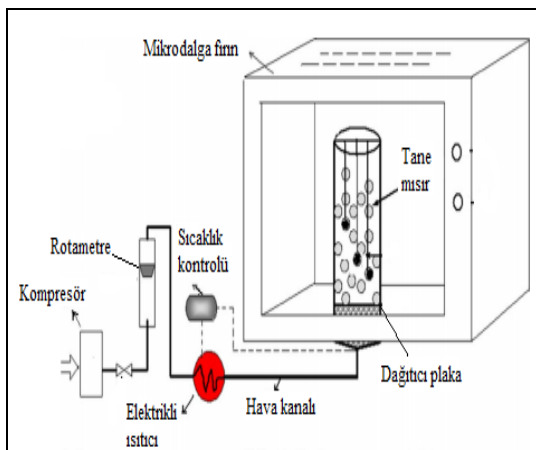


Şekil 8. Isı pompalı akışkan yataklı kurutucu

V. GIDA KURUTMA UYGULAMALARINDA AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCU KULLANIMI

Bu bölümde literatürde bulunan ve gıda kurutma uygulamalarında kullanılan bazı akışkan yataklı kurutucular incelenmiştir.

Momenzadeh vd. mikrodalga destekli akışkan yataklı bir kurutucuda tane mısır kurutulmasını yapay sinir ağları kullanarak teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler dört farklı hava sıcaklığında (30, 40, 50 ve 60°C) ve beş farklı mikrodalga güçte (180, 360, 540, 720 ve 900 W) gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kurutma süresinin tahmini için yapay sinir ağları uygulaması incelenmiştir. Model için giriş parametreleri olarak mikrodalga gücü, kurutma havası sıcaklığı ve nem içeriği değerleri kullanılmıştır. İmal edilen mikrodalga destekli akışkan yataklı kurutucu Şekil 9'da gösterilmiştir [7].



Şekil 9. Tane mısır kurutulmasında kullanılan mikrodalga destekli AYK

Tasirin vd. akışkan yataklı bir kurutucuda kuş biberinin kurutma kinetiklerini incelemişlerdir. Kurutma deneyleri 2 - 4 cm yatak derinliklerinde, 0,85, 0,97 ve 1,09 m/s hava hızlarında ve 50, 60, 70°C sıcaklık şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kurutma sonrası yapılan karşılaştırmalar, akışkan yatakta kurutulan biberin, güneş altında kurutulandan biberden daha iyi bir kaliteye sahip olduğunu göstermiştir. İmal edilen deneysel sistem Şekil 10'da verilmiştir [8].

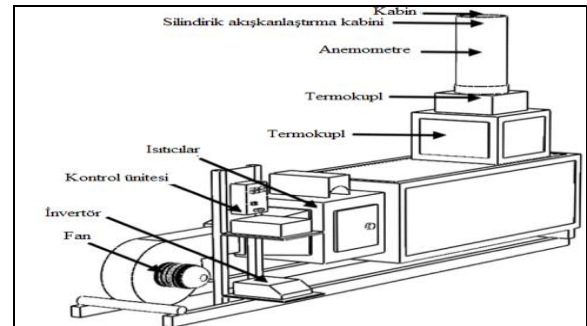


Şekil 10. Kuş biberlerinin kurutulmasında kullanılan AYK

Nazghelichi vd. yaptıkları çalışmada, havuç küplerinin kurutulmasında akışkan yatağın enerji ve ekserji analizlerini araştırmışlardır. Kurutma deneyleri 50, 60 ve 70°C giriş havası sıcaklığında, yatak derinlikleri 30, 60 ve 90 mm ve kare-küp havuç ölçüleri 4, 7 ve 10 mm ölçülerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar faydalı enerji ve faydalı enerji oranının sırasıyla 0,105 - 1,949 kJ/s ve 0,074 - 0,486 arasında değiştiğini göstermiştir. Ekserji kaybı ve ekserji verimi sırasıyla 0,206 - 1,612 kJ/s ve 0,103 - 0,707 değerleri arasında bulunmuştur. Şekil 11'de kullanılan kurutucu görülmektedir [9].

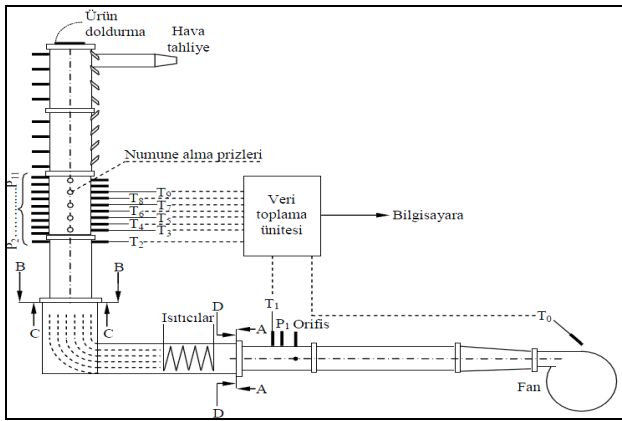
Bu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

1. Kurutma havası sıcaklığında ve yatak derinliğindeki artış ile birlikte enerji kullanımı ve enerji kullanım oranı artarken, küp boyutlarında artışla azalmıştır.
2. Kuruma havası sıcaklığında ve yatak derinliğindeki artış ile birlikte ekserji kaybı artarken, küp boyutundaki artış ile azalmıştır.
3. Ekserji verimi, kurutma havası sıcaklığında ve küp boyutlarında artışla birlikte artarken, yatak derinliğindeki artış ile azalmıştır.



Şekil 11. Nazghelichi vd. tarafından incelenen AYK

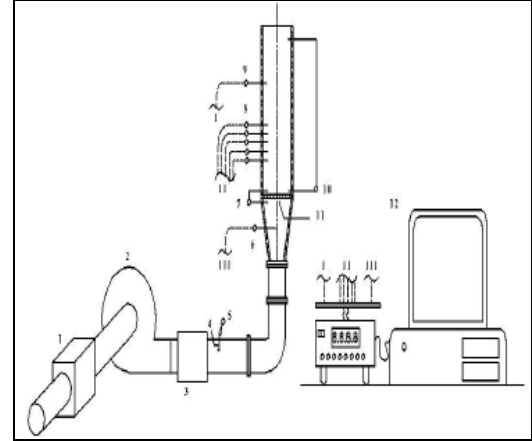
Erçetin yaptığı çalışmada buğdayın akışkan yataklı bir kurutucuda kurutulmasını incelemiştir. Deneysel çalışmada iç çapı 30 cm, yüksekliği 2.5 m olan bir akışkan yatak kullanılmıştır. Yatağa beslenen havanın debisi, fan motoruna kumanda eden bir AC frekans konvektörü ile; sıcaklığı ise, dağıtıcı plakanın hemen altına yerleştirilen 10 adet 2.5 kW gücündeki (toplam 25 kW) elektrikli ısıtıcılar ile kontrol edilmiştir. Akışkan yatağın karakteristiklerini belirlemek üzere, yatağın farklı yüksekliklerine sıcaklık, basınç, ve nem ölçerler yerleştirilmiş ve bunlar bir veri toplama sistemine bağlanmıştır. Kurutma işlemi 70 °C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Kurutma sistem Şekil 12’de verilmiştir [5].



Şekil 12. Buğday kurutulmasında kullanılan AYK

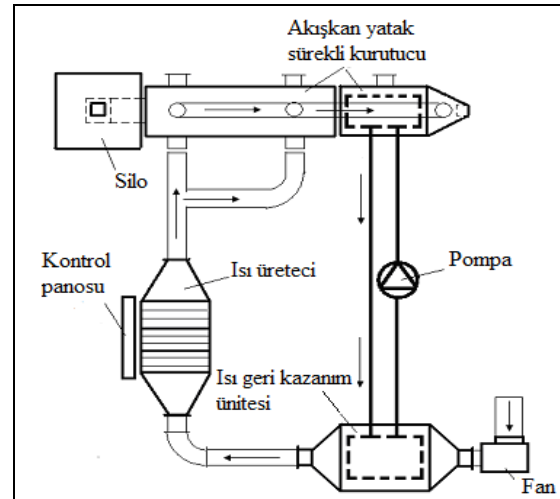
Karagüzel yaptığı çalışmada tarım ürünlerinin akışkan yatakta kurutulmasını deneysel olarak incelemiştir. Sistemde fasulye ve nohut kurutulması incelenmiştir. Her iki materyalin kurutma deneyinde kurutma havası sıcaklığının artmasıyla kurutma hızının arttığı, fakat kurutma havası hızının artmasının prosesi pek fazla etkilemediği tespit edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, enerji kullanımı değerinin her iki materyal için de, kurutma havası sıcaklığını ve hızı ile doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Kurutma odasında çevreye olan ısı kayıplarının neden olduğu ekserji kaybı kurutma havası sıcaklığı ile arttığı fakat kurutma havası hızının bu değeri az etkilediği ve aynı zamanda her iki materyal için de yakın değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Sistem Şekil 13’de verilmiştir [10].



Şekil 13. Tarım ürünlerinin kurutulması için geliştirilen bir AYK

Ersöz, doktora çalışmasında tuz kurutulması için ısı geri kazanımlı akışkan yataklı sürekli kurutucunun tasarımını ve deneysel analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada ısı geri kazanımlı akışkan yataklı sürekli kurutucu, akışkan yataklı sürekli kurutucunun deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneyler, her iki kurutucuda da 4920 W, 7380 W ve 10250 W elektrikli ısıtıcı güçlerinde yapılmıştır. Her iki kurutucuda da eşit miktarda enerji kullanılmasına karşın ısı geri kazanımlı akışkan yataklı sürekli kurutucu ile akışkan yataklı sürekli kurutucudan daha fazla kurutma havası sıcaklığı elde edilmiştir. Şekil 14’te deneysel sistem görülmektedir [3].



Şekil 14. Isı geri kazanımlı akışkan yataklı sürekli kurutucu

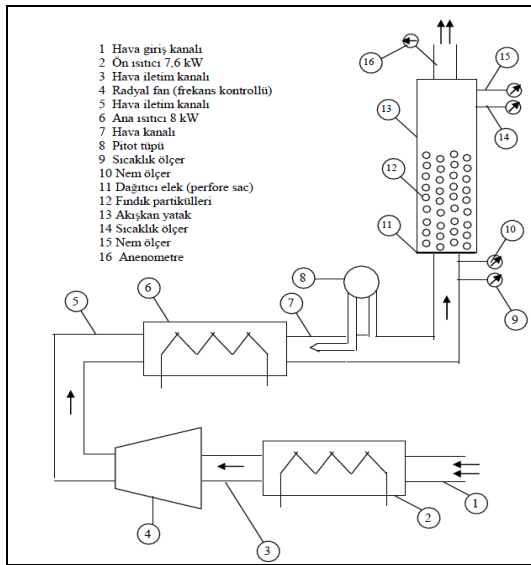
Güney yaptığı çalışmada akışkan yataklı kurutucuda fındık kurutulmasını incelemiştir. Deneyler esnasında kavurma sıcaklıkları 90, 110, 130, 150 °C olarak seçilmiştir. Ön ısıtıcı kapasite ayarını tam yapabilmek amacıyla her biri 0.8 kW gücünde yedi adet ve 2 kW’lık bir adet toplam 7.6 kW’lık elektrikli rezistanstan oluşmuştur. Ana ısıtıcı ise her biri 2

kW güce haiz dört adet toplam gücü 8 kW olan elektrikli rezistanslardan oluşmaktadır.

Akışkan yatak havasının nem oranının kavurmanın ilk aşamalarında hızlı düştüğü, kurutma hızının düşmesiyle birlikte yatak havasının nem düşmesinin de azaldığı görülmektedir.

Yapılan bu çalışmada, akışkan yataklarda fındık kavurma işleminin yapılabileceği gösterilmiştir.

İç fındık partiküllerinin yüksek hava hızlarından ve akışkan yatak havası içinde sürekli hareket etmelerinden dolayı beyazlatma yani zar ayırma işlemi de kendiliğinden olmaktadır. Şekil 15’de sistem verilmiştir [11].



Şekil 15. Akışkan yatakta fındık kavurma için tasarlanan ve incelenen AYK

VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, akışkan yataklı kurutucular analiz edilmiştir. Bununla birlikte, literatürde bulunan ve gıda kurutulması uygulamalarında kullanılmış farklı yapıdaki akışkan yataklı kurutucularda incelenmiştir.

Akışkan yataklı kurutucular özellikle tanecikli ürünlerin kurutulması için oldukça uygun yapıdaki kurutucu tiplerindedir. Bu kurutucularda sıcak kurutma havasının ürünün her bir noktasına homojen biçimde dağılması ile verimli bir kurutma süreci oluşturmak mümkündür. Ayrıca bu kurutucu tipleri –tipine ve kullanım alanına göre değişmekle birlikte- çok fazla hareketli mekanizma da bulundurmamaktadır.

Bütün bu olumlu yanlarına karşın, AYK’ların kullanımlarındaki en büyük problem yoğun enerji tüketimleridir. Bu enerji tüketimi ısıtıcı üniteleri ve fan motorlarını çalıştırmak için gerekmektedir. Bu problem AYK’ların kullanımlarını belirli ölçüde kısıtlamaktadır.

Enerji tüketimlerinin neden olduğu problemlerin giderilmesi için AYK sistemlerinin –özellikle düşük kurutma sıcaklığı gerektiren uygulamalarda- yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre edilmesi oldukça önemlidir. Bunun yanında bu sistemler ısı pompası ile de desteklenebilmektedir.

Özellikle güneş enerjisi sistemleri ile desteklenmiş AYK uygulamaları, enerji tüketimi bağlamında oldukça kullanışlı alternatifler olarak görülmektedirler. Bu sistemlerde enerji depolama çözümleri ile kurutma havası için gereken ısı, akşam saatlerinde bir süre daha kullanılmak üzere depolanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ceylan, İ. & Doğan, H. (2004). Güneş enerjili ve nem kontrollü kondenzasyonlu bir kereste kurutma fırınının modellenmesi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 150-158.
- [2] Gürel, A. E. (2015). Güneş Enerjisi Destekli, Isı Pompalı Akışkan Yataklı Bir Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve Deneysel Analizi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 1-3..
- [3] Ersöz, M. A., (2008). Isı geri kazanımlı akışkan yatak sürekli kurutucu tasarımı, imalatı ve tuz kurutmasında enerji analizi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 77-82.
- [4] Güngör, A. (2013). Sebze ve meyve kurutmada kullanılan kurutucular ve kurutma teknolojileri. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 43-63.
- [5] Erçetin, Ü. (2007). Tanecikli gıda maddelerinin akışkan yatakta kurutulması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 90-93.
- [6] Law C. L., & Mujumdar, A. S. (2015). Handbook of Industrial Drying. Chapter 8: Fluidized Bed Dryers, Fourth Edition, CRC Press, Florida, USA, 161-191.
- [7] Momenzadeh, L., Zomorodian, A., & Mowla, D. (2011). Experimental and theoretical investigation of shelled corn drying in a microwave-assisted fluidized bed dryer using Artificial Neural Network. Food and Bioproducts Processing, 89 (1): 15-21.
- [8] Tasirin, S. M., Kamarudin, S. K., Jaafar, K., & Lee, K. F. (2007). The drying kinetics of bird’s chillies in a fluidized bed dryer. Journal of Food Engineering, 79 (2): 695-705.
- [9] Nazghelichi, T. Mohammad H. K., & Mortaza, A. (2010). Thermodynamic analysis of fluidized bed drying of carrot cubes. Energy, 35: 4679-4684.
- [10] Karagüzel İ. (2009). Tarım ürünlerinin akışkan yatakta kurutulmasının ekserji analizi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 17-60.
- [11] Güney, M. Ş. (2007). Akışkan yatakta fındık kurutma işleminin deneysel ve teorik incelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 76-78.