

# ORGANİK GÜBRE KURUTMA TEKNOLOJİLERİ: AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCULAR

**Rahman Çalhan<sup>1</sup>**  
rahmançalhan@hotmail.com

**Durmuş Kaya<sup>1</sup>**  
Prof. Dr.,  
durmuskaya@hotmail.com

**Gülşah Tulger<sup>1</sup>**  
gulsahtulger@gmail.com

**Muharrem Eyidoğan<sup>\*</sup>**  
muharrem\_eyidoğan@hotmail.com

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi,  
Enerji ve Çevre Teknolojileri Birimi,  
Balıklarkayası Mevkii, Karabük

## ÖZET

İnsanoğlu var olduğu günden bugüne kadar beslenme gereksinimlerini karşılamak amacıyla tarımsal faaliyetlerde bulunmuş, günümüzde ise tarım, besin üretimi için vazgeçilmez bir faaliyet alanı olmuştur. Gün geçtikçe artan dünya nüfusuna bağlı olarak, besin tüketimi artmış ancak tarımsal faaliyet yapılan alanlarda aynı oranda artış gerçekleşmemiştir. Bu durum tarımsal faaliyetin gerçekleştirildiği alanlardan, birim alanda daha fazla verim elde edilmesini gerektirmiştir. Toprakta birim alanda daha fazla verim almak için uygulanan kültürel önlemlerin en başında gübreleme gelmektedir. Organik kökenli atıklar çeşitli işlemlerden geçirilerek organik gübre elde edilebilmekte ve toprak ıslahında kimyasal gübrelerin yerine kullanılabilir. Bu çalışmada; organik gübre kurutmada kullanılan akışkan yataklı kurutucu tipleri tanımlanmış, bunların sağladığı avantajlar ve kısıtları irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Organik gübre kurutma, kurutma, akışkan yataklı kurutucular

## ABSTRACT

Since the day there are human beings in order to meet the nutritional requirements, they found in agricultural activities and now agriculture has become an indispensable field of activity for food production. Day after day, depending on increasing world population, food consumption has been increasing, whereas agricultural activity has not increased at the same rate. This caused to have more products from same amount of existing agricultural areas. Fertilization is the most common application which is used to get more yields from unit area of agricultural areas. Organic wastes can be processed to have organic fertilizers and these can be used instead of chemical fertilizers. In this study, general information about drying processes of fertilizers in fluid bed type dryers are mentioned and advantages and disadvantages of these systems has been discussed.

**Keywords:** Organic fertilizer drying, drying, fluid bed dryers

\* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 05.07.2012  
Kabul tarihi : 03.12.2012

Çalhan, R., Kaya, D., Tulger, G., Eyidoğan, M. 2012. "Organik Gübre Kurutma Teknolojileri: Akışkan Yataklı Kurutucular," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 634, s. 22-33

## 1. GİRİŞ

Tarım arazilerinde üretilen ürünlerden birim alanda daha fazla verim elde edebilmek amacıyla alınan kültürel önlemlerden birisi de gübrelemektir. Gübre olarak farklı malzemeler kullanılabilir. Ancak genel olarak gübreler, organik gübreler ve kimyasal gübreler olarak ikiye ayrılırlar [1].

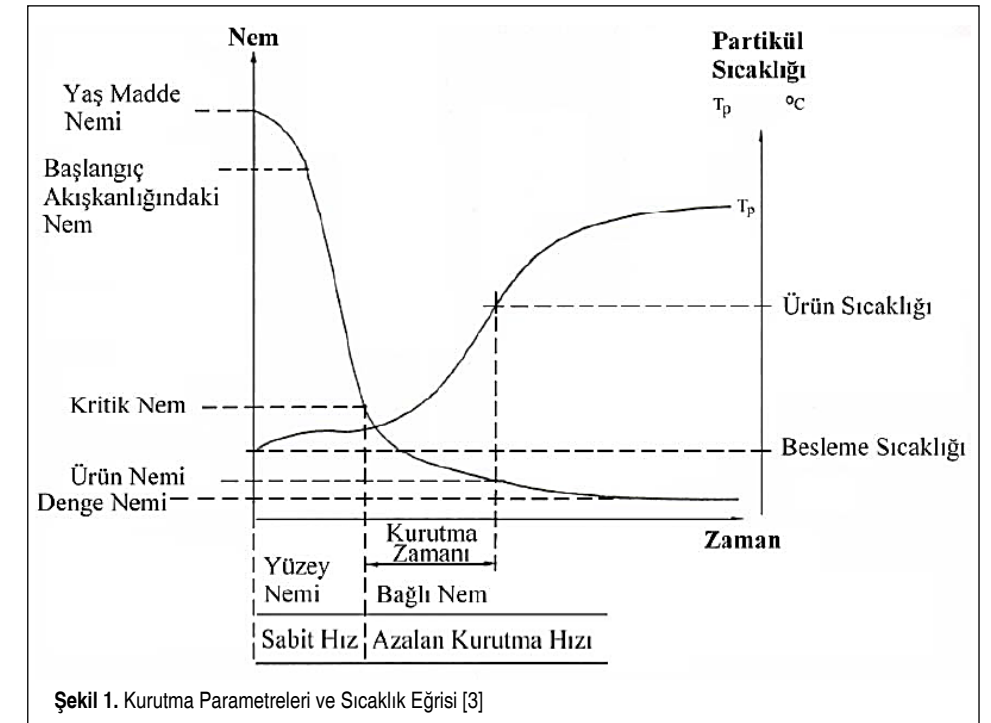
Besin kaynağı olarak organik gübreler bitki, hayvan ve insan kaynaklı kalıntılar veya atıklardan oluşmaktadır. Organik kökenli atıkların gübre olarak kullanılabilmesi ve atıkların içerisindeki zararlı mikroorganizmaların yok edilebilmesi için kompostlaştırılarak toprağa yararlı hâle getirilmesi gerekmektedir. Kompostlaştırılarak gübre haline getirilen atıkların, kullanıma sunulabilmesi için kurutulması belirli bir seviyeye getirilmesi gerekmektedir.

Kurutma eskiden beri kullanılan en temel işlemlerden birisi olmakla birlikte çok farklı ürünler için uygulanabilmektedir. Günümüzde 100'den fazla kurutucu çeşidi bulunurken, bugüne kadar 400'den fazla kurutucu çeşidinin kullanıldığı bilinmektedir. Farklı türlerdeki ham maddelerin kurutulma nedenleri;

- Malzemelerin ekonomik olarak işlenmesini,
- İşlenen ürünlerin korunması ve depolanmasını,
- Taşıma maliyetlerinin düşürülmesini,
- Ürünlerin istenilen kaliteye ulaşabilmesinin sağlanması
- Daha sonraki üretim ve satış aşamalarında gerekli koşulların sağlanmasıdır.

## 2. KURUTUCULAR

Kurutma, genellikle katı bir ürün elde etmek için uçucu maddelerin ısıtılarak giderilmesidir. Kurutma belki de en eski, en genel ve mühendislikte en çok kullanılan temel işlemlerden birisidir. Buharlaştırmadaki gizli ısı ve sıcak havanın kurutma için kurutma ortamında, verimsiz kullanımı nedeniyle enerjiyoğun temel işlemlerde kurutma işlemi, distilasyon ile çekişmektedir. Yapılan çalışmalarda endüstriyel kurutma işlemleri için enerji tüketimi A.B.D, Kanada, Fransa ve İngiltere için %10-15 iken Danimarka ve Almanya için %20-25 olarak belirtilmiştir.



Şekil 1. Kurutma Parametreleri ve Sıcaklık Eğrisi [3]

Zayıf bir kimyasal bağ ile tutulmakta olan nem, katı mikro yapı içerisinde sıkışmış olarak veya katı-sıvı içerisinde bir çözelti olarak bulunabilmektedir. Bağlı nem olarak adlandırılan bu nem saf sıvıdan daha az buhar basıncı oluşturmaktadır. Islak bir madde termal kurutmaya maruz bırakıldığında, sırasıyla iki olay meydana gelir:

1. Yüzey nemini buharlaştırmak için çevreden enerji (çoğunlukla ısı) transferi,
2. Katı içerisinden, katı yüzeyine nem transferi ve birinci işlem nedeniyle buharlaşma.

Kurutulacak malzemeye ısı geçişi taşınım, iletim, ışınlım mekanizmalarının biri veya ikisiyle olabileceği gibi bu üç mekanizmayla da meydana gelebilir. Şekil 1'de kurutma parametreleri ve sıcaklık eğrisi verilmektedir. Endüstriyel kurutucular, kullanılan ısı transfer metodu prensibine bağlı olarak, değişik tip ve dizaynda bulunmaktadır. Çoğu durumda ısı ilk olarak ıslak katının yüzeyine daha sonra ise içerisine transfer edilir. Ayrıca dielektrik, radyo frekanslı ve mikrodalga donduruculu kurutucularda enerji, katı içerisinde içsel ısı üretmek dış yüzeye doğru çıkışı sağlamak için kullanılmaktadır [2].

## 3. AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCULAR

Akışkan yataklı kurutucular, genellikle akışkanlaşabilen ıslak partiküller ve granüler materyallerin kurutulması için kullanılmaktadır. Genellikle kimyasallar, karbonhidratlar, gıda ürünleri, biyomateryaller, içecek ürünleri, seramikler, toz veya kapsül formundaki ilaçlar, sağlık ürünleri, pestisit-



Isı transferi yüzey alanının belirlenmesinde, yatak hacminin hesaplanması büyük önem taşımaktadır. Isı transferi katsayısı, akışkanlaşmanın kalitesine, ısı transfer yüzeyinin geometrisine, gaz özelliklerine ve yatak sıcaklığı seviyesine bağlıdır [8].

Büyük taneciklere sahip akışkan yataklardaki ısı transferi, küçük taneciklerden oluşan akışkan yataklardaki ısı transferine göre farklılık göstermektedir. Küçük tanecikli akışkan yataklarda tane çapı arttıkça ısı transferi katsayısı düşer. Büyük tanecikli sistemlerde, ısı transferi katsayısı değişmez, hatta tanecik çapıyla birlikte artma eğilimi gösterir. Küçük tanecikli sistemlerde ısı transferi basınç seviyesinden etkilenmezken, büyük tanecikli akışkan yataklarda ısı transferi katsayısı basınçla artış göstermektedir [8].

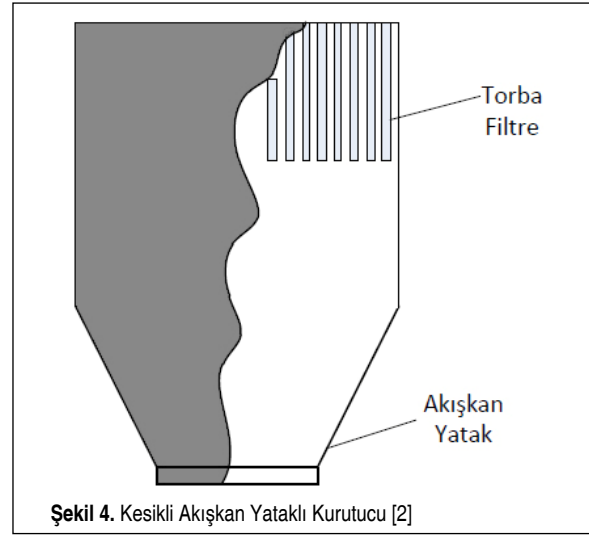
Akışkan yataklı kurutucularda kütle transferi de aynı ısı transferi gibi farklı yollarla gerçekleşebilmektedir ancak kütle transferinde; katalitik reaksiyonlar, iyon değişimi işlemleri, adsorpsiyon ve kurutma işlemlerinde partiküllerin akışkanlaştırıcı gaz ile etkileşimi öne çıkmaktadır [10]. Kütle transferinde de ısı transferinde olduğu gibi katsayıları ölçerek belirlemek oldukça zordur. Ölçümün zor olmasının nedenleri, dağıtıcı plaka yakınında çok hızlı kütleli dengeye ulaşılması, konsantrasyonların kısa bir süre içerisinde ölçümünün zor olması ve istenilen bileşenin örneklemede karşılaşılan problemlerdir [9].

Akışkan yataklı reaktörlerde genel olarak iki farklı kütle transfer katsayısı hesaplama modeli bulunmaktadır. Birinci uygulama “Homojen Yatak Uygulaması” olarak adlandırılmaktadır ve akışkan yataklı reaktörün, sabit yataklı bir reaktör gibi davrandığını kabul ederek, akışkan yataklı kütle transfer katsayısını, piston akımlı bir modelde sabit yataklı reaktörün katsayısıyla ilişkilendirmektedir. Diğer uygulama ise “Kabarcık Yataklı Uygulama” olarak adlandırılmaktadır ve akışkan yatağı baloncuk ve emülsiyon fazı olmak üzere iki ayrı faz olarak kabul etmektedir. İki faz arasındaki gaz değişimi kütle transfer oranını vermektedir [11].

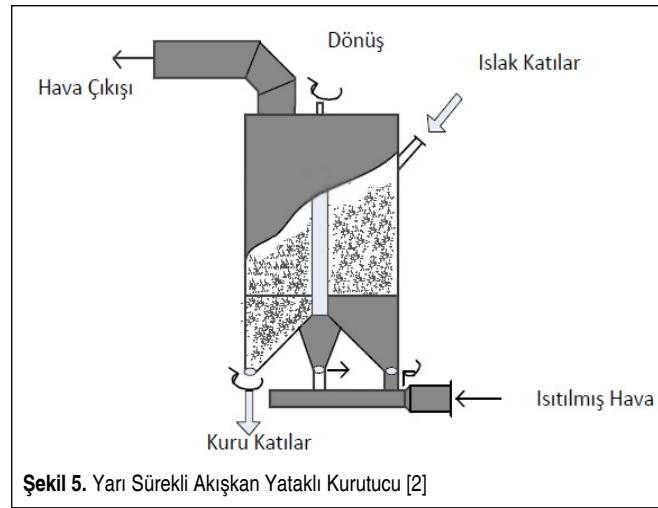
### 3.2 Geleneksel Akışkan Yataklı Kurutucular

**a) Kesikli akışkan yataklı kurutucular:** Kesikli akışkan yataklı kurutucular düşük kapasiteli üretim (50-1000 kg/s) yapıldığında veya aynı üretim hattında farklı ürünler üretildiğinde kullanılmaktadır. Eğer yukarı akış ve aşağı akış prosesleri kesikli olarak işletiliyorsa veya aynı üretim prosesinde birkaç proses ardışık olarak yürütülüyorsa (karıştırma, kurutma, granülasyon, kaplama ve soğutma), yığınların işlenmesinde kesikli akışkan yataklı kurutucular kullanılabilir.

Kesikli akışkan yataklı kurutucularda kurutma havası sıcaklığı ve akım hızı normalde sabit bir değerde tutulur. Ayrıca hava akımı hızı ve sıcaklığı ayarlanarak enerji ve sürtünme kayıpları da düşürülebilir. Çalkalama ve titreşim gibi mekanik yardımcılar da akışkanlaşması zor olan materyallerin ilerleye-



Şekil 4. Kesikli Akışkan Yataklı Kurutucu [2]

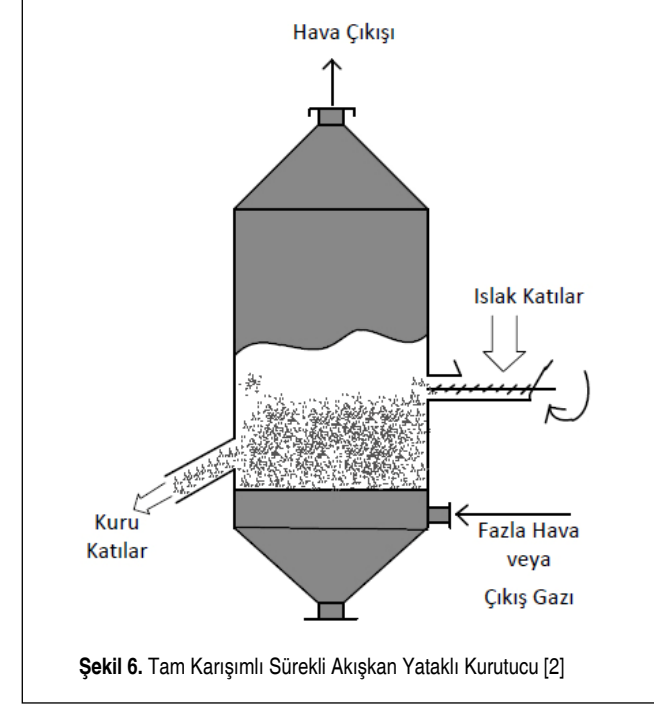


Şekil 5. Yarı Sürekli Akışkan Yataklı Kurutucu [2]

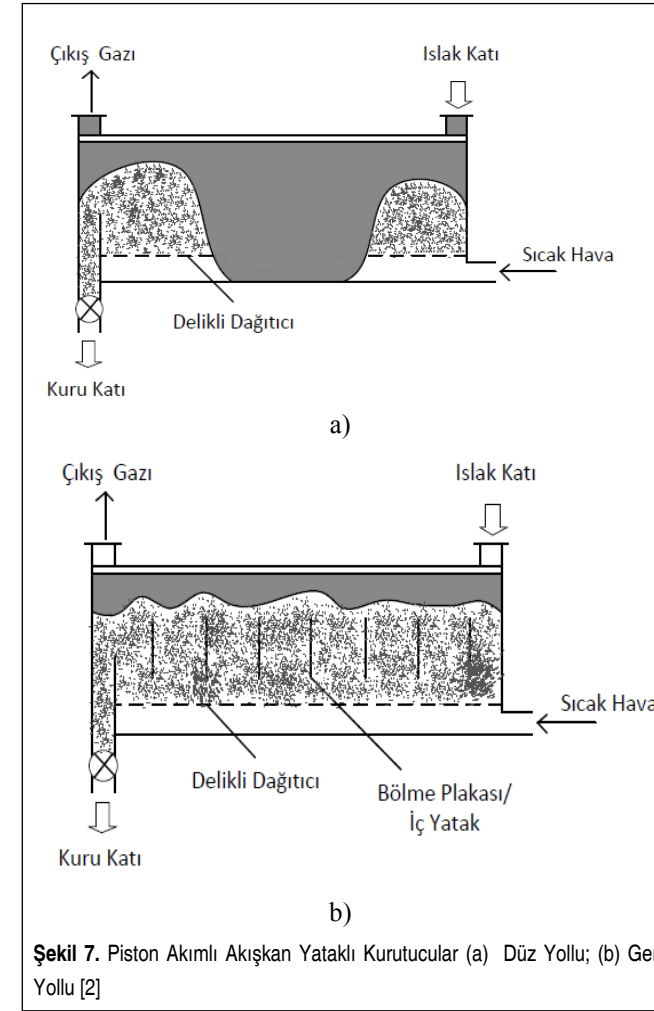
bilmesi için kullanılmaktadır. Şekil 4’te tipik bir kesikli akışkan yataklı kurutucu gösterilmektedir [2].

**b) Yarı sürekli akışkan yataklı kurutucular:** Yarı sürekli akışkan yataklı kurutucu sistemlerinde kurutma odası seri haldeki alt işleyicilerden oluşur. Islak ürün küme içerisine doğrudan dozlanır veya beslenir. Ürün ya bir işleyiciden diğerine yığından alınarak iletilir ya da proses hattı boyunca dönerek ilerler. Bu durum uzun bir periyot boyunca sürekli işlem yapılmasını sağlamaktadır [12].

**c) Tam karışımli sürekli akışkan yataklı kurutucular:** Bu tip kurutucularda partikül yatak tamamen karışımli dir. Yatak sıcaklığı, ürün sıcaklığı ve çıkış gazı sıcaklığıyla aynı olmakla birlikte üniformdur. Ancak partikül alıkonma süresi dağılımı oldukça geniştir, bu nedenle çıkıştaki ürünün nem içeriği de geniş bir aralıkta bulunabilmektedir. Diğer yandan besleme materyali olarak nispeten kuru partiküllerin akışkan yatak içerisine beslenmesi, akışkanlık kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Bazı durumlarda tam karışımli sürekli akışkan yataklı kurutucular seri halinde işletilerek değişik işletme koşulları için kullanılabilir [2].



Şekil 6. Tam Karışımli Sürekli Akışkan Yataklı Kurutucu [2]



Şekil 7. Piston Akımlı Akışkan Yataklı Kurutucular (a) Düz Yollu; (b) Geri Yollu [2]

**d) Piston akımlı akışkan yataklı kurutucular:** Piston akımlı kurutucularda dikey sürgüler kullanılarak dar bir partikül geçiş aralığı bırakılır, böylece nispeten düşük partikül bekleme süresi dağılımı sağlanır. Partiküller, piston akımlı olarak içerden dışarıya doğru bir yol izlerler. Bu da boyutlarından bağımsız olarak bütün partiküller için eşit bekleme süresi ve üretilen ürünler için üniform nem dağılımı sağlamaktadır. Düz ve spiral gibi birçok değişik yol dizayn edilebilir. Uzunluğun derinliğe oranı genellikle 5:1 – 30:1 aralığında olmaktadır. Şekil 7’de düz ve ters yollar izleyen piston akımlı akışkan yataklı kurutucular gösterilmektedir.

Girişte beslenen nemli ürünün, kuru maddeyle karıştırıldığı duruma göre daha akışkan olması gerekmektedir. Aksi halde işletme problemleri meydana gelebilir. Başlangıçtaki besleme maddesinin akışkanlığından kaynaklanan problemlerin üstesinden gelebilmek için başlangıç bölgesi bir karıştırıcıyla karıştırılabilir veya yüzey neminin giderilmesi için piston akımlı akışkan yataklı kurutucudan önce bir flaş kurutucu kullanılabilir [2].

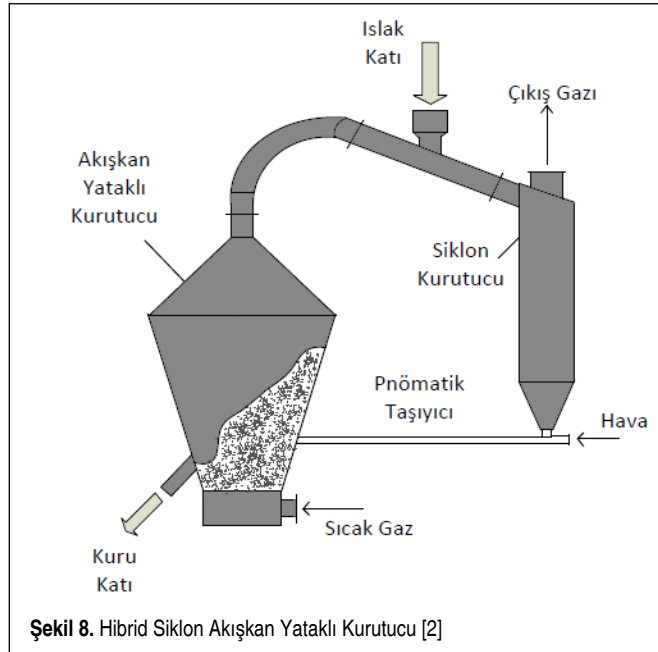
### 3.3 Modifiye Akışkan Yataklı Kurutucular

Modifiye akışkan yataklı kurutucular, geleneksel akışkan yataklı kurutucularda karşılaşılan problemleri en aza indirmek ve geleneksel akışkan yataklı kurutucuların dezavantajlarını gidermek amacıyla kullanılmaktadır.

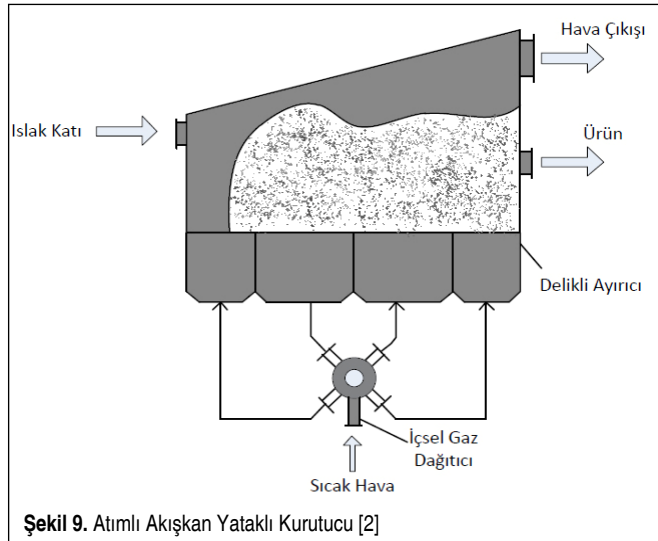
**a) Kademeli ve çok işlemlı akışkan yataklı kurutucular:** Bu tip kurutucular, geleneksel akışkan yataklı kurutucuların avantajlarını sağlamakla birlikte, partikül maddelerin işlenmesinde iki veya daha fazla işlemin bir arada gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Bu kurutucular, kurutma işleminin akışkan yataklı bir kolonda uygulanabilmesine olanak sağlamakta, birçok farklı özellik ve avantaj sunmaktadır. Bu durum akışkan yatağın işletme koşullarının karışım, kurutma, granülasyon, kaplama veya malzemenin deşarj edilmeden tek bir üniteye kurutulması gibi farklı koşullara uyum sağlayabilmesiyle gözlenebilmektedir [13].

Farklı tiplerdeki akışkan yataklı kurutucular birleştirilerek kademeli bir akışkan yataklı kurutucu oluşturulabilir. Örnek olarak ilk aşamada tam karışımli akışkan yataklı kurutucu, ikinci aşamada ise piston akımlı akışkan yataklı kurutucu kullanılabilir. Farklı akışkan yataklı prosesler birleştirilerek alan gereksinimi, işletme maliyetleri ve enerji gereksinimi düşürülebilmektedir [2].

**b) Hibrid akışkan yataklı kurutucular:** Hibrid akışkan yataklı kurutucular, yüzeysel ve içsel nem içeriğine sahip katıların kurutulmasında daha kullanışlıdır. İlk aşamada flaş veya siklon kurutucular kullanılarak yüzey nemi giderilebilir. İkinci aşamada ise bekleme süresinin kolay bir şekilde ayarlanabildiği akışkan yataklı kurutucular kullanılabilir. Şekil 8’de hibrid siklon akışkan yataklı kurutucu örneği gösterilmektedir [12].



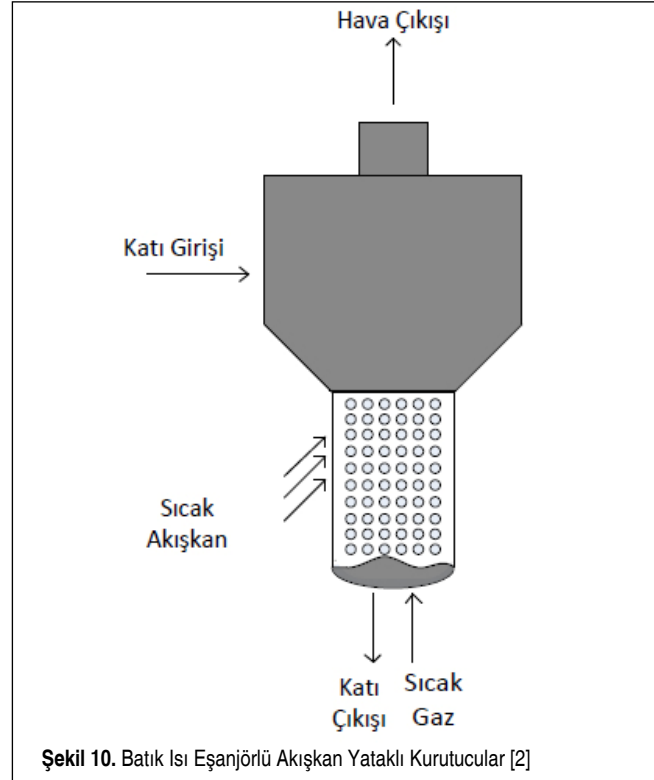
Şekil 8. Hibrid Siklon Akışkan Yataklı Kurutucu [2]



Şekil 9. Atımlı Akışkan Yataklı Kurutucu [2]

**c) Atımlı akışkan yataklı kurutucu:** Atımlı akışkan yataklı kurutucular, kısıtlı partikül boyutlarında karşılaşılan problemleri gidermek için kullanılmaktadır. Akışkanlık, gaz akışı titreştirilerek ya tüm yatağın ya da yatağın belirli bir bölgesinin farklı akışkanlık gazı hızlarında akışkanlaşmasını sağlamaktadır [14,15]. Bu durum fazladan yatırım maliyeti yapılmamasına gerek duyulmadan, akışkanlık kalitesi ve proses performansı etkilenmeden, iyi derecede enerji tasarrufu ve oldukça iyi kurutma performansı sağlamaktadır.

**d) Batık ısı eşanjörlü akışkan yataklı kurutucular:** Bu tip akışkan yataklı kurutucularda akışkan yataklar, genellikle iç ısıtıcılarla donatılmıştır veya batık tüpler, ısıyı kurutulacak maddeye dolaylı olarak iletirler. Dikey tüplerle karşılaştırıldığında yatay tüp demetleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 10). Tüp aralığı önemli bir tasarım parametresidir.



Şekil 10. Batık ısı eşanjörlü Akışkan Yataklı Kurutucular [2]

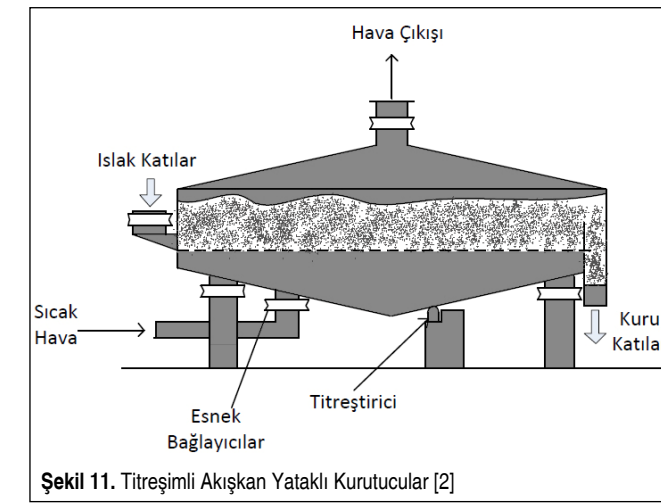
Akışkan gaz akımı materyalleri akışkanlaştırır ve buharlaşan nemi taşır. Sonuç olarak toplam hissedilir gaz ısı ve gerekli gaz miktarı düşer. Batık tüpler veya içsel olarak ısıtılan akışkan yataklı kurutucular küçük boyutlu, ince tozların kurutulmasında kullanılmaktadır. Bunun nedeni partikül boyutunun artması ile ısı transfer katsayısının düşmesidir. Tüpler yerine bazen dikey plakalar da batık ısıtıcılar olarak kullanılabilirler.

Isı transferi, partikül ısı kapasitesine ve karıştırmaya bağlıdır. Kabarma eylemi sayesinde partikül sirkülasyonu ve karışımı sağlanır. Böylece yatak ile ısı transfer yüzeyinin temas verimi artar. Bununla birlikte ısı transfer katsayısı maksimum değere ulaşır. Bu noktadan sonra artan yüzeysel gaz hızı, yataklı ısınan yüzey arasındaki ısı transferini engeller. Bunun nedeni partikül ile duvar arasındaki ısı transferini düşüren ve ısınan yüzeyde artan kabarcıkların baskın hâle gelmesidir [2].

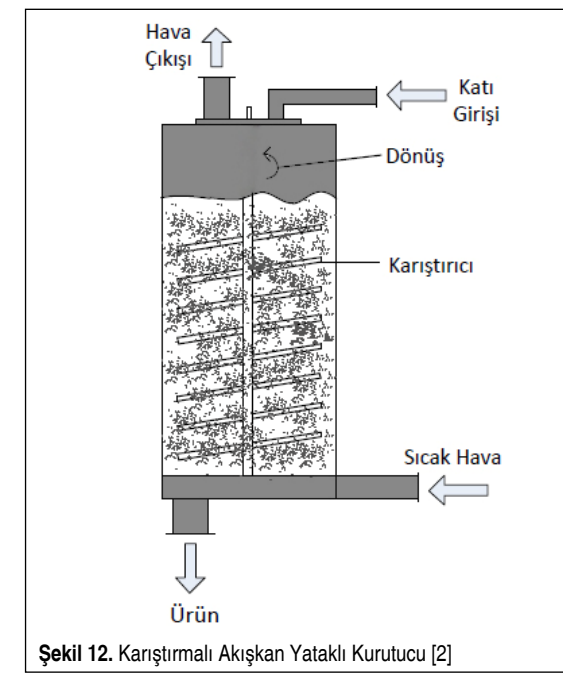
**e) Mekanik destekli akışkan yataklı kurutucular:** İnce ve kaba partiküllerin akışkanlaşma kalitesi, vibrasyon ve karıştırma gibi işlemlerle daha da iyileştirilebilmektedir. Bu tip karıştırıcılarda genellikle ürünün beslendiği giriş kısmında akışkanlığı iyileştirebilmek için karıştırıcılar bulunmaktadır ve ürün buradan sürekli piston akımlı kurutucu içerisine gönderilir. Ayrıca bu partiküller, akışkanlaşabilen inert partiküllerle karıştırılarak akışkanlaşma kalitelerinde artış sağlanabilir [16].

**f) Titreşimli akışkan yataklı kurutucular:** Titreşimli akışkan yataklı kurutucular ilk olarak 1969 yılında geleneksel akışkan yataklı kurutuculara alternatif olarak ortaya çıkmıştır [17].

Akışkan yatak içerisinde titreşimle birlikte aşağı ve yukarı akışlı hava akımları, partiküllerin düzgün bir şekilde akışkanlaşmasını sağlamaktadır [18]. Ayrıca titreşim büyük gerilmeler oluşturarak akışkanlaşmaya yardımcı olur [19,20]. Titreşimli akışkan yataklı kurutucularda tam bir akışkanlaşma için gerekli olan gaz hızı, geleneksel akışkan yataklı kurutuculara göre daha azdır [21]. Kırılgan, aşındırıcı ve ısıya duyarlı malzemeler için titreşimli akışkan yataklı kurutucular uygun olabilir [22]. İşletim gaz hızı, geleneksel akışkan yataklı kurutucu içinde olduğundan daha düşük olduğu için ince partiküllerin sürüklenmesinden kaynaklanan problem önlenmiş olur. Titreşimli akışkan yataklı kurutucular genellikle piston akımlı sıvı yataklardan oluşur. Bu nedenle geleneksel akışkan yataklı kurutuculara göre daha kısa bekleme süreleri uygulanmaktadır [23]. Titreşim ile partikül yayılma gücü ve kurutma hızı katsayısı artmakta [24,25] ancak kurutma hızı düşmektedir [26-28].

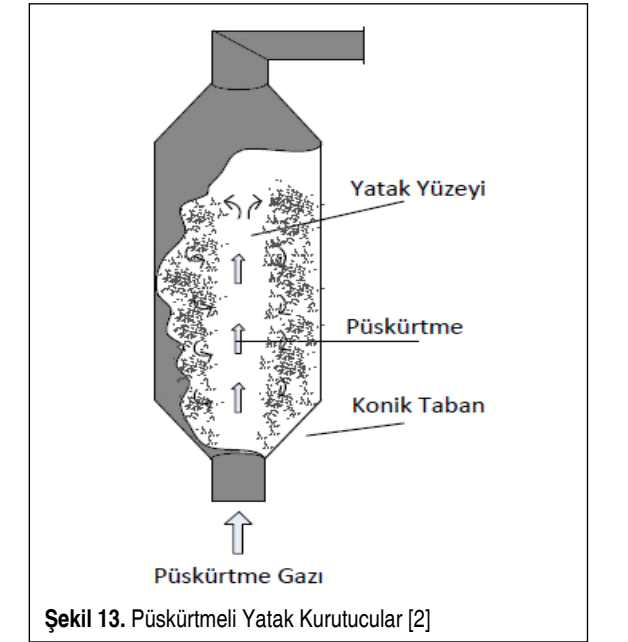


Şekil 11. Titreşimli Akışkan Yataklı Kurutucular [2]

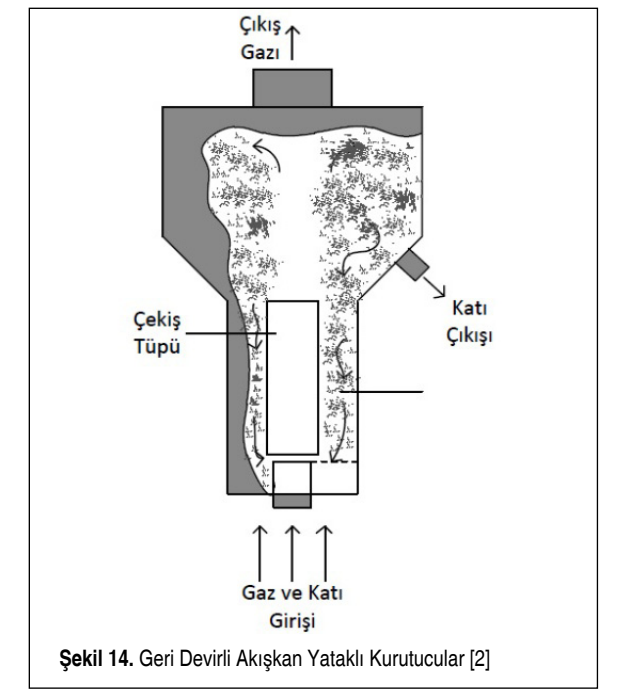


Şekil 12. Karıştırmalı Akışkan Yataklı Kurutucu [2]

**g) Karıştırmalı akışkan yataklı kurutucular veya türbülanslı akışkanlaştırıcılar:** İnce partiküllerin akışkanlık kalitesini artırmanın diğer bir yolu da yatağa mekanik karıştırma uygulanmasıdır (Şekil 10). Karıştırma sayesinde kanallanma veya büyük kabarcık oluşumu gibi problemler olmaksızın homojen akışkan bir yatak elde edilir. Ayrıca karıştırmalı akışkan yataklı kurutucular, ince partiküllerden oluşan malzemelerin kurutulmasında oldukça kullanışlıdır. İnce partiküllerin akışkanlık kalitesini artırmanın diğer bir yolu da yatağa mekanik karıştırma işlemi uygulanmasıdır (Şekil 12) [29]. Karıştırıcı kurutucu içerisinde mikser gibi işlev görür [30].



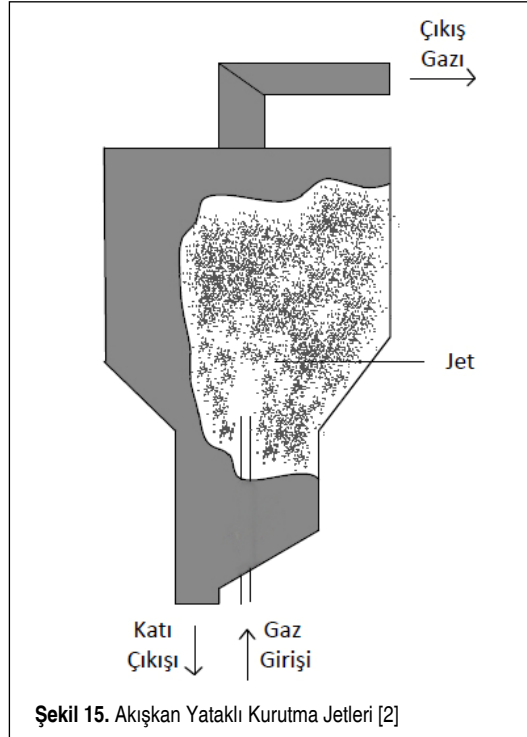
Şekil 13. Püskürtmeli Yatak Kurutucular [2]



Şekil 14. Geri Devirli Akışkan Yataklı Kurutucular [2]

Ayrıca eğer akışkanlık kalitesi sağlanabilirse daha derin bir yatak derinliği sağlanabilir.

**h) Püskürtmeli akışkan yataklı kurutucular:** Püskürtmeli yatak kurutucular, normal akışkanlaştırma şartlarında parçalanmış büyük partiküllerin (>5 mm) kurutulmasında kullanılmaktadır. Püskürtmeli bir yatakta, yüksek hızlı gaz jeti ile gaz, bir aralıktan yataktaki partiküllerin arasına doğru penetre olur ve partiküllerin yatak yüzeyine transfer edilmesini sağlar. Hareketli püskürtme ile yatak yüzeyinde, partiküllerin yatak merkezindeki hava payı bölgesine itilmesi sağlanır (Şekil 13). Momentini kaybeden partiküller tekrar yatak yüzeyine geri



Şekil 15. Akışkan Yataklı Kurutma Jetleri [2]

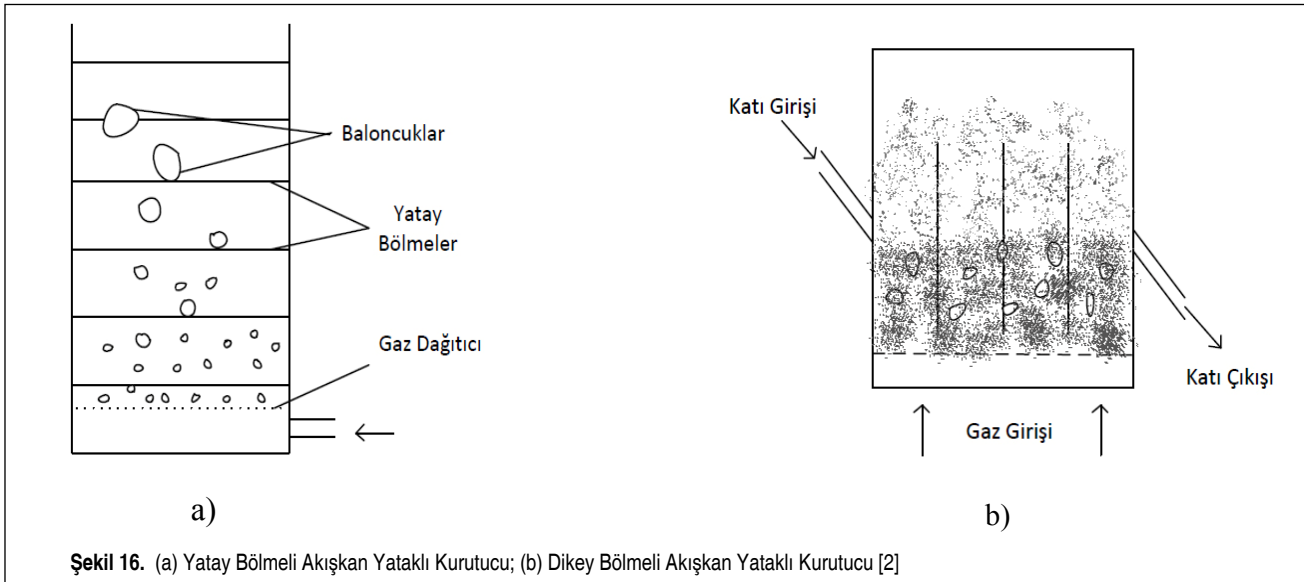
dönerler. Bu etkiyle katıların iyi bir şekilde karışımı sağlanır. Böylece partiküllerin dairesel hareketi sağlanır [2].

**i) Geri devirli akışkan yataklı kurutucular:** Basit bir püskürtmeli akışkan yatak içerisine, borulu çekiş tüpü eklenmesi; yatağın işletme ve dizayn karakteristiklerinin değişmesine neden olur. Bu tip akışkan yataklar, geri devirli akışkan yataklar olarak adlandırılmaktadır (Şekil 14). Çekiş tüpü içerisinden geçen püskürtme gazı, tüp içerisinde hapsedilir ve yatay olarak aşağıya doğru sızıntı önlenmiş olur. Çekiş tüpünü geçtikten sonra partiküller, yatak içerisinde bazı akım yönlerini izlerler ve akım dipteki toplanma noktasında son bulur [2].

**j) Akışkan yataklı kurutma jetleri:** Basit akışkan yataklarda içerideki gaz, dağıtıcı plakadaki deliklerden geçerek yatak üzerine eşit şekilde dağılır. Her delik üzerinde jetleme bölgesi bulunur. Püskürtmeli yatakta ise içerideki gaz akışı merkezde konumlandırılmış bir jetten geçirilir. Gaz, seyreltme fazında püskürtülür ve püskürtmeli yatak bölgesinin merkezine penetre edilir. Küçük boyutlu akışkan yataklı jetler kaplama ve granülasyon proseslerinde kullanılmaktadır [2].

**k) Bölmeli akışkan yataklı kurutucular:** Bu tip kurutucularda akışkan yatak içerisini birkaç bölmeye ayırmak için akışkan yatak içerisine perdeler yapılmaktadır. Tel örgü, delikli plaka, panjur plaka ve halka gibi farklı perde çeşitleri kullanılabilir [7]. Ayrıca bölmeler yatay veya dikey olarak ayarlanabilir (Şekil 16). Genellikle yatay bölmeler kullanılır. Yatak içerisine bölme konulmasının amacı kabarcık büyümesini ve yığılmayı engellemektir. Bölmelerin gaz ve kırtı akışındaki etkileri oldukça karmaşıktır ve yatak uzunluğuna, bölmeler arasındaki mesafeye, bölme sayısına ve işletme şartlarına bağlıdır [7,31].

**l) Kırtı buharlı akışkan yataklı kurutucular:** Bu tip kurutucular, kırtı buharı akışkan ortam olarak kullanarak;



Şekil 16. (a) Yatay Bölmeli Akışkan Yataklı Kurutucu; (b) Dikey Bölmeli Akışkan Yataklı Kurutucu [2]

Tablo 2. Bazı Akışkan Yataklı Kurutucu Tiplerinin Karşılaştırılması [16]

Seçim Kriteri	Tam Karışimli Akışkan Yataklı Kurutucu	Piston Akımlı Akışkan Yataklı Kurutucu	Titreşimli Akışkan Yataklı Kurutucu	Püskürtmeli Akışkan Yataklı Kurutucular
<b>Besleme</b>				
Sıvı/Süspansiyon/Hamur	İnert partikül yatak	Yok	İnert partikül yatak	İnert partikül yatak
<b>Islak Partiküller</b>				
Serbest Akışlı	Evet	Evet	Evet	Evet
Kohesiv	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Partikül Boyutu</b>				
Küçük	Evet	Evet	Evet	Hayır
Orta	Evet	Evet	Evet	Evet
Büyük	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
Dağınık	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
<b>Nem</b>				
Yüzeysel	Evet	Evet	Evet	Evet
İçsel	Evet	Evet	Evet	Evet
<b>Ürün Özelliği</b>				
Üniform Nem	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Düşük Nem	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Kırılgan	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Isı Hassas	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Kurutma Süresi</b>				
5-10 dk	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
10-60 dk	Evet	Evet	Evet	Evet
60 dk	Hayır	Evet	Hayır	Evet
<b>Ürün Verimi</b>				
Düşük	Evet	Evet	Evet	Evet
Orta	Evet	Evet	Evet	Evet
Yüksek	Evet	Evet	Evet	Hayır
<b>Batık Isıtıcılar</b>	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Isı Bölgenmesi</b>	Hayır	Evet	Evet	Hayır
<b>İşletme Esnekliği</b>	Hayır	Evet	Evet	Hayır

herhangi bir yanma veya patlama tehlikesi oluşturmaması, oksidatif hasar vermemesi, iyi işletme performansı (yüksek kurutma hızı) ve ürün kalitesi sağlaması, çevre dostu olması, yüksek verimli enerji kullanımı, toksik veya pahalı organik sıvı içeren ürünlerin kurutulmasına uygun olması, ürünlerin pastörizasyona ve sterilizasyona uygun olması gibi birkaç avantaj sağlamaktadır [32,33]. Kızgın buharlı akışkan yataklı kurutucularda odun malzemeleri, kömür, pirina, çamur, bira endüstrisinde kullanılan tanecikler, kereste, tortilla, sebzeler, otlar ve baharatların kurutulması sağlanabilmektedir [33,34].

**m) Akışkan yataklı dondurucu kurutucular:** Dondurarak kurutma, biyolojik-farmasotik ilaçlar ve gıda ürünleri gibi yüksek ısıya karşı hassas malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Dondurarak kurutma prosesinde katıların içindeki nem, süblimleştirme yoluyla katı fazdan buhar fazına dönüşürerek giderilebilmektedir [7].

Dondurarak kurutma işlemi, normal şartlarda vakum içerisinde gerçekleştirilir. Ancak yıllar sonra yeni gelişmeler sonucunda dondurarak kurutma işleminin de akışkan yataklı diğer proseslerde olduğu gibi atmosfer basıncında gerçekleştirilebileceği anlaşılmıştır [35-37].

Bu kurutucularda kurutma hızı oldukça yavaştır. Wolff ve Gilbert yaptıkları çalışmalarda adsorban kullanılarak atmosfer basıncında kurutma hızının artırılabilceğini göstermişlerdir [38]. Bu durumda adsorban partiküller hem ısı hem de kütle transferinde, transfer ajanı olarak görev yaparlar. Ama proses sonunda adsorban partiküllerin ve donmuş-kurumuş ürünlerin ayrılması oldukça zordur. Bu nedenle nişasta gibi yenilebilir veya insani tüketime uygun partiküller kullanılması önerilmektedir. Adsorban ile desteklenen akışkan yataklı dondurarak kurutma işlemi 3 aşamadan oluşur;

- Ürünün dondurulması,
- Serbest dondurulmuş suyun süblimleştirilmesi,
- İkincil susuzlaştırma ve desorpsiyon.

Adsorban destekli akışkan yataklı dondurarak kurutma prosesinde, vakumlu dondurarak kurutma prosesine göre daha uzun bir kurutma süresi gerektiği, ancak yaklaşık olarak %35 daha az ısı gereksinimi olduğu da belirtilmiştir [2].

**n) Isı pompalı akışkan yataklı kurutucular:** Basit bir akışkan yataklı kurutma sistemi üfleyci, ısıtıcı, nem tutucu (opsiyonel), akışkan yatak haznesi ve siklondan oluşur. Isı pompalı bir kurutucu ise buharlaştırıcı, kompresör, yoğunlaştırıcı ve bir genişleme valfinden oluşur. Isı pompalı kurutucu ile akışkan yatak sisteminin birleştirilmesi sonucunda buharlaştırıcı nem tutucu gibi, yoğunlaştırıcı da ısıtıcı gibi işlev görür ve ısı pompalı akışkan yataklı kurutucu oluşturulmuş olur [2].

Düşük basınçta akışkan, buharlaştırıcıda buhar haline getirilir. Aynı anda nemin buharlaştırılması çıkış havasının sıcaklığının çığ noktası sıcaklığına düşmesine neden olur. Bu nedenle proses havası nemsizleşir. Akışkan buradan sonra kompresö-

re gelir. Kompresör, çalışan akışkanın entalpisini yükseltir ve yüksek basınçta kızgın buhar olarak atılmasını sağlar. Akışkandan alınan ısı proses havasına geri verilir. Böylece prosesdeki hava sıcaklığı artırılmış olur. Akışkan, daha sonra döngüyü tamamlamak için düşük basınç hattına ve buradan da bir genişleme vanası kullanılarak buharlaştırıcıya gelir [38].

Isı pompalı akışkan yataklı kurutucuların avantajları;

- Yüksek spesifik nem alma hızı nedeniyle düşük enerji tüketimi
- Yüksek performans katsayısı
- Geniş kurutma sıcaklığı aralığı (-20 ile 110 °C)
- Çevre dostu üretim
- Yüksek ürün kalitesi olarak sıralanabilmektedir.

Bu nedenle bu tip kurutucuların ısıya karşı hassas olan gıda ve biyo-orijinli ürünlerin kurutulması için kullanılması uygundur.

Tablo 2’de bazı geleneksel ve modifiye akışkan yataklı kurutucuların karşılaştırılması verilmiştir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada organik gübre kurutmada kullanılan akışkan yataklı kurutucu çeşitleri tanımlanmış, avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Organik gübre üretiminde, organik kökenli farklı ürünler tek başlarına veya karışımlar halinde kullanılabilir. Bu durum organik gübrelerin kurutulması için gerekli olan kurutucunun seçimini de etkilemektedir. Akışkan yataklı kurutucular, çok farklı ürünlerin kurutulmasında kullanılabilir; kurutucu tipinin seçiminde ise kurutulacak ürünün özellikleri ön plana çıkmaktadır. Geleneksel akışkan yataklı kurutucuların mevcut bir takım dezavantajları modifiye akışkan yataklı kurutucularla giderilmekte, buna bağlı olarak da kurutulabilen ürün çeşidi ve kurutulmuş ürün kalitesi artmaktadır.

#### KAYNAKÇA

1. Demirtaş, E.I., Arı, N., Arpacıoğlu, A. E., Özkan, C. F., Kaya, H. 2005. “Değişik Organik Kökenli Gübrelerin Kimyasal Özellikleri,” Derim Dergisi, ISSN 1300-3496, cilt:22, sayı:2, s. 47-52, Antalya.
2. Mujumdar, A.S. 2006. “Handbook of Industrial Drying,” Third Edition, Taylor & Francis Group, LLC.
3. Kanarya, A. 2002. “Akışkan Yataklı Kurutma Prosesinin Matematiksel Modellemesi,” Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
4. Kurtuluş, O. 2007. “Akışkan Yatakta Kurutma Prosesinin İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
5. Erbaş, O. 2007. “Dolaşım Akışkan Yatakta Isı Transferi Mekanizması ve Bu Mekanizmanın Kuramsal ve Deneysel Analizi,” Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
6. Doğan, H., Ersöz, M. A. 2009. “Akışkan Yatak Sürekli

Kurutucuda Tuz Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi,” 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 13-15 Mayıs, Karabük.

7. Mujumdar, A.S., Devahastin, S. 2003. Applications for Fluidized Bed Drying, in Handbook of Fluidization and Fluid Systems, Yang, W.C., Ed., Marcel Dekker, New York, USA, Chap. 18.
8. Yang, W.C. 2003. Handbook of Fluidization and Fluid-Particle Systems, Marcel Dekker, New York, USA.
9. Milota, M. R. 1984. “Engineering Study on the Drying of Wood Particles in a Fluidized Bed,” A Thesis Submitted to Oregon State University, USA.
10. Kato, K., Kubota, H. C., Wen, Y. 1970. “Mass transfer in fixed and Fluidized Beds,” Chem. Engr. Prog. Symp. Ser., 66(105): p. 87-99.
11. Van, Lare, C. E. J. 1991. “Mass Transfer in Gas Fluidized Beds: Scaling, Modeling and Particle Size Influence,” Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands.
12. Romankov, P.G. 1971. “Drying, in Fluidization, Davidson, J.F. and Harrison, D., Eds., Academic Press, London, Chap.12.
13. Guignon, B., Duquenoy, A., Dumoulin, E.D. 2002. “Fluid Bed Encapsulation of Particles: Principles and Practice,” Drying Technol., 20 (2): 419-447.
14. Gawrzynski, Z., Glaser, R. 1996. “Drying in a Pulsed Fluidized Bed With Relocated Gas Stream,” Drying Technol., 14(9): 1121-1172.
15. Nitz, M., Taranto, O.P. 2004. “Drying of Beans in a Pulsed-Fluid Bed Dryer—Fluid-Dynamics and the Influence of Temperature, Airflow Rate and Frequency of Pulsation on the Drying Rate,” Proceedings of the 14th International Drying Symposium, Silva, M.A. et al., Eds., Sao Paulo, Brazil, pp. 836-843.
16. Mujumdar, A.S., Devahastin, S. 2000. “Fluidized Bed Drying Technology, in Mujumdar’s Practical Guide to Industrial Drying,” Devahastin, S., Ed., Exergex Corporation, Montreal, chap. 5.
17. Osinskii, V. P., Sazhin, B. S., Chuvpilo E. A. 1969. Results of Tests on a Dryer With a Vibrated Fluidized Bed, Khimicheskoe i Neftyanoe Mashinostroenie (Chem. Petrol. Eng.) 5, 866-869.
18. Hovmand, S. 1995. Fluidized Bed Drying, in: Handbook of Industrial Drying, 2nd edn, A. S. Mujumdar (Ed.), pp. 195-248. Marcel Dekker, New York, NY.
19. Moon, S. J., Kevrekidis, I. G., Sundaresan, S. 2006. Particle Simulation of Vibrated Gas-Fluidized Beds of Cohesive Fine Powders, Ind. Eng. Chem. Res. 45, 6966-6977.
20. Limtrakul, S., Rotjanavijit, W., Vatanatham, T. 2007. “Lagrangian modeling and Simulation of Effect of Vibration On Cohesive Particle Movement In A Fluidized Bed,” Chem. Eng. Sci. 62, 232-245.
21. Moreno, R., Rios, R., Calbucura, H. 2000. “Batch Vibrating Fluid Bed Dryer For Sawdust Particles: Experimental Results,” Drying Technol. 18, 1481-1493.
22. Law, C. L., Mujumdar, A. S. 2006. “Fluidized Bed Dryers, in: Handbook of Industrial Drying,” 3rd edn, A. S. Mujumdar (Ed.), pp. 173-201. CRC Press, New York, NY.

23. Han, W., Mai, B., Gu, T. 1991. “Residence Time Distribution and Drying Characteristics Of A Continuous Vibro-Fluidized Bed,” Drying Technol. 9, 159-181.
24. Suzuki, K., Fujigami, A., Yamazaki, R., Jimbo, G. 1980. “Characteristics of Vibro-Fluidized Bed For Drying of Wetted and Agglomerated Particles,” J. Chem. Eng., Japan 13, 495-498.
25. Alvarez, P. I., Blasco, R., Gomez, J., Cubillos, F. A. 2005. “A First Principles-Neural Networks Approach to Model A Vibrated Fluidized Bed Dryer: Simulations and Experimental Results,” Drying Technol. 23, 187-203.
26. Dong, Y. K., Pan, Deng, W. Y., Wei, Z., Mujumdar, A. S. 1991. “Effect of Vibration on the Drying Rate During the Falling Rate Period,” Drying Technol. 9, 723-733.
27. Pan, Y. K., Li, Z. Y., Mujumdar, A.S., Kudra, T. 1997. “Drying of a Root Crop in Vibro-Fluidized Beds,” Drying Technol. 15, 215-223.
28. Pan, Y. K., Zhao, L. J., Dong, Z. X., Mujumdar, A.S., Kudra, T. 1999. “Intermittent Drying of Carrot in a Vibrated Fluid Bed: Effect on Product Quality, Drying Technol. 17, 2323-2340.
29. Reyes, A., Eckholt, M., Alvarez, P.I. 2004. “Drying and Heat Transfer Characteristics For A Novel Fluidized Bed Dryer,” Drying Technol., 22(8): 1869-1895.
30. Pakowski, Z., Mujumdar, A. S. 1995. Basic Process Calculations in Drying, in: Handbook of Industrial Drying, 2nd edn, A. S. Mujumdar (Ed.), pp. 71-111. Marcel Dekker, New York, NY.
31. Law, C.L., Tasirin, S.M., Daud, W.R.W., Geldart, D. 2003. “Effect of Vertical Baffles on Particle Mixing and Drying in Fluidized Beds of Group D Particles,” China Particuology science and Technology of Particles, 1(3): 115-118.
32. Law, C.L., Tasirin, S.M., Daud, W.R.W., Ng, P.P. 2004. “The Effect of Vertical Internal Baffles on Fluidization Hydrodynamic and Grain Drying Characteristics,” Chinese J. of Chemical Engineering, 12(6): 801-808.
33. Kudra, T., Mujumdar, A.S. 2002. “Advanced Drying Technologies,” Marcel Dekker, New York, , chap. 7.
34. Pronyk, C., Cenkowski, S., Muir, W.E. 2004. “Drying foodstuffs With Superheated Steam,” Drying Technol., 22(5): 889-916.
35. Garcia-Pascual, P., Alves-Filho, O., Strommen, I., Eikevik, T.M. 2003. “Heat Pump Atmospheric Freezedrying Of Green Peas,” Proceedings of the Second Nordic Drying Conference, Eikevik, T.M., Alves-Filho, O., and Strommen, I., Eds., Copenhagen, Denmark.
36. Tomova, P., Behns, W., Haida, H., Ihlow, M., Morl, L., 2004. “Experimental Analysis of Fluidized Bed Freeze Drying,” Proceedings of the 14th International Drying Symposium, Silva, M.A. et al., Eds., Sao Paulo, Brazil, , pp. 526-532.
37. Menshutina, N., Korneeva, A.E., Goncharova, S., Leuenberger, H. 2004. “Modeling of Freeze Drying In Fluidized Bed,” Proceedings of the 14th International Drying Symposium, Silva, M.A. et al., Eds., Sao Paulo, Brazil, , pp. 680-686.
38. Wolff, E. Gibert, H. 1990. “Atmospheric Freeze Drying. Part 1. Design, Experimental Investigation and Energysaving Advances,” Drying Technol., 8(2): 385-404.