

**T.C.**  
**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PARABOLOİD TABANLI FIŞKIRAN YATAKLARDA KURUTMA  
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Selim Uğraş FENDOĞLU**

**Ana Bilim Dalı: Makine Mühendisliği**  
**Programı: Termodinamik**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 4 Haziran 2010**

**HAZİRAN-2010**

**T.C.**  
**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PARABOLOİD TABANLI FIŞKIRAN YATAKLARDA KURUTMA  
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Selim Uğraş FENDOĞLU**  
**(02220106)**

**Ana Bilim Dalı: Makine Mühendisliği**  
**Programı: Termodinamik**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 4 Haziran 2010**

**HAZİRAN-2010**

**T.C.**  
**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PARABOLOİD TABANLI FIŞKIRAN YATAKLARDA KURUTMA  
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Selim Uğraş FENDOĞLU**  
**(02220106)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 4 Haziran 2010**  
**Tezin Savunulduğu Tarih: 4 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı :** Prof. Dr. Vedat TANYILDIZI (F.Ü.)  
**Diğer Jüri Üyeleri :** Doç. Dr. Mehmet ESEN (F.Ü.)  
Doç. Dr. Ebru Kavak AKPINAR (F.Ü.)

**HAZİRAN-2010**

## İÇİNDEKİLER

**Sayfa No:**

|                                                 |            |
|-------------------------------------------------|------------|
| <b>İÇİNDEKİLER.....</b>                         | <b>I</b>   |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ .....</b>                   | <b>II</b>  |
| <b>KISALTMALAR LİSTESİ .....</b>                | <b>IV</b>  |
| <b>ÖZET .....</b>                               | <b>V</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                           | <b>VII</b> |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                            | <b>1</b>   |
| <b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>            | <b>3</b>   |
| <b>3. MISIR.....</b>                            | <b>15</b>  |
| <b>4. ENDÜSTRİYEL GIDA KURUTUCULARI .....</b>   | <b>19</b>  |
| <b>5. FIŞKIRAN YATAKLI KURUTMA SİSTEMİ.....</b> | <b>22</b>  |
| <b>6. KURUTMA VE KURUTMA TERMODİNAMİĞİ.....</b> | <b>24</b>  |
| 6.1. Kurutma.....                               | 24         |
| 6.1.1. Sorpsiyon izotermi .....                 | 25         |
| 6.1.2. Kurutma hızı.....                        | 26         |
| 6.1.2.1. Sabit kuruma hızı periyodu .....       | 28         |
| 6.1.2.2. Azalan kuruma hızı periyodu .....      | 28         |
| 6.1.2.3. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler..... | 28         |
| <b>7. DENEYSEL ÇALIŞMA.....</b>                 | <b>29</b>  |
| <b>8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>            | <b>40</b>  |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                           | <b>42</b>  |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                            |            |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.1. Makarna kurutmada kullanılan endüstriyel gıda kurutucusu .....                                                                         | 20 |
| Şekil 4.2. Tarım ürünlerini kurutmak için kullanılan endüstriyel gıda kurutma makinesi..                                                          | 21 |
| Şekil 5.1. Fıskıran yatağın şematik resmi.....                                                                                                    | 23 |
| Şekil 6.1. Örnek bir ürün için nem sorpsiyon eş sıcaklık eğrisi .....                                                                             | 26 |
| Şekil 6.2. a. Ürün neminin zamana bağlı değişimi, b. Kurutma hızının zamana bağlı<br>değişimi, c. Kurutma hızının nem oranına göre değişimi ..... | 27 |
| Şekil 7.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....                                                                                                | 29 |
| Şekil 7.2. Çekiş Borulu ve Çekiş Borusuz PTFY'nin ölçekli resmi.....                                                                              | 30 |
| Şekil 7.3. Fıskıran yatağın çekiş borulu ve çekiş borusuz şematik görünümü.....                                                                   | 31 |
| Şekil 7.4. Çekiş Borusuz yapılan deneylerde elde edilen Boyutsuz Nem-Zaman grafiği...                                                             | 33 |
| Şekil 7.5. Çekiş Borulu yapılan deneylerde elde edilen Boyutsuz Nem-Zaman grafiği .....                                                           | 34 |
| Şekil 7.6. 75 °C'de çekiş borusuz PTFY'da mısırın kuruma hızının zamanla değişimi .....                                                           | 35 |
| Şekil 7.7. Çekiş borusuz PTFY'da yapılan deneylerde farklı sıcaklıklarda mısırın kuruma<br>hızının zamanla değişimleri .....                      | 35 |
| Şekil 7.8. 75 °C'de çekiş borulu PTFY'da mısırın kuruma hızının zamanla değişimi.....                                                             | 36 |
| Şekil 7.9. Çekiş borulu PTFY'da yapılan deneylerde farklı sıcaklıklarda mısırın kuruma<br>hızının zamanla değişimleri .....                       | 36 |
| Şekil 7.10. Farklı yatak yüksekliklerinde yapılan deneylerde elde edilen Nem-Zaman<br>grafiği.....                                                | 38 |
| Şekil 7.11. 0,4 (kg su/kg kuru madde) başlangıç nemiyle yapılan deneylerde elde edilen<br>Nem-Zaman grafiği .....                                 | 39 |
| Şekil 7.12. 0,4 (kg su/kg kuru madde) başlangıç nemiyle yapılan deneylerde elde edilen<br>kuruma hızı-zaman grafiği.....                          | 39 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No:

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 3.1 Yıllar bazında Dünya’da ve Türkiye’de mısır ekim alanları, üretim ve verim Değerleri (FAO 2010).....          | 16 |
| Tablo 3.2. Yıllar bazında Türkiye’nin Mısır İthalatı (FAO 2010) .....                                                   | 17 |
| Tablo 3.3 Deneylerde kullanılan mısır tanelerinin fiziksel özellikleri .....                                            | 18 |
| Tablo 7.1 Farklı yatak yüksekliklerindeki mısır miktarları ve fıskıran yatak oluşabilmesi için gereken asgari debi..... | 37 |

## KISALTMALAR LİSTESİ

|             |   |                                                |
|-------------|---|------------------------------------------------|
| $h_h$       | : | Havanın özgül entalpisi, kJ/kg                 |
| $h_b$       | : | Buharın özgül entalpisi, kJ/kg                 |
| $h_s$       | : | Sıvı özgül entalpisi, kJ/kg                    |
| $W_s$       | : | Su ağırlığı, kg                                |
| $W_k$       | : | Katı ağırlığı, kg                              |
| $D_i$       | : | Gaz giriş nozulunun çapı                       |
| $d_p$       | : | Efektif parçacık çapı                          |
| $D_c$       | : | Kolon çapı                                     |
| $H$         | : | Sabit yatak yüksekliği                         |
| $H_m$       | : | Maksimum yatak yüksekliği                      |
| <b>PTFY</b> | : | Paraboloid Tabanlı Fıskıran Yatak              |
| <b>FY</b>   | : | Fıskıran Yatak                                 |
| $\phi$      | : | Mısır tanelerinin küresellik oranı             |
| $D_g$       | : | Mısır tanelerinin geometrik çapı, mm           |
| $D_a$       | : | Mısır tanelerinin aritmetik çapı, mm           |
| $L$         | : | Mısır tanelerinin uzunluğu, mm                 |
| $W$         | : | Mısır tanelerinin genişliği, mm                |
| $T$         | : | Mısır tanelerinin kalınlığı, mm                |
| $A_s$       | : | Mısır tanelerinin yüzey alanı, mm <sup>2</sup> |

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### PARABOLOİD TABANLI FIŞKIRAN YATAKLARDA KURUTMA PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Selim Uğraş FENDOĞLU

T.C. Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

2010, Sayfa: 49

Bu çalışmada paraboloid tabanlı fişkiran yataklı kurutma sisteminde mısırın sıcak hava akımıyla kurutulmasında kurutma süreleri belirlenmiştir. Deneyler fişkiran yatak oluşturacak minimum hava debisinde, 55°C, 75°C ve 95°C sıcaklıklarında olmak üzere üç farklı sıcaklık değerinde, kuru baza göre %20 ve %40 nem değerlerinden mısır için güvenli depolama nemi olan kuru baza göre %14 nem değerine ininceye kadar yapılmıştır. Bunun yanında çekiş borusu kullanarak, sistemin çekiş borusuz kurutma performansı ile karşılaştırma yapılmıştır. Yatak yüksekliğinin kurutma sürelerine etkilerini incelemek amacıyla üç farklı yatak yüksekliğinde 75°C’de deneyler yapılmıştır.

Deneyler esnasında mısırın paraboloid tabanlı fişkırان yataklı kurutma sisteminde, çekiş borulu ve çekiş borusuz kurutmada kurutma süreleri ölçülmüştür. Çekiş borusuz 95°C sıcaklıktaki kurutmada en kısa kurutma süresi elde edilmiştir. Sistemde kullanılan çekiş borusunun kurutma süresini arttırdığı görülmüştür. Bunun yanında farklı yatak yüksekliklerinin kurutma süresine belirgin etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mısır kurutma, kurutma hızı, paraboloid taban, fişkırان yatak, çekiş borusu

## **ABSTRACT**

M.Sc.Thesis

### **EXAMINING OF DRYING PARAMETERS IN PARABOLOID BASED SPOUTED BED**

**Selim Uğraş FENDOĞLU**

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

2010, Page: 49

In this study, duration of corn drying in paraboloid based spouted bed by hot air flow is investigated. Experiments were conducted at minimum flow rates which able to create spouted bed and, three different temperatures 55°C, 75°C and 95°C which different values to achieve humidity 14% secure storing damp from 20% - 40% humidity (dry based). Furthermore, a draft tube is applied to the system and drying performances of the system with and without draft tube were compared. The experiments were conducted to

investigate the effects of bed heights on drying duration at three different bed heights at 75°C.

During the experiments, corn drying durations in paraboloid based spouted bed with and without draft tube are measured. The shortest drying time is obtained without draft tube and for 95°C drying gases temperature. It is observed that drying duration increases with draft tube usage. Furthermore, another result observed that the different bed heights do not effect drying duration distinctly.

**Keywords:** Corn drying, drying velocity, paraboloid base, spouted bed, draft tube.

## 1. GİRİŞ

Genel olarak tarım ürünlerinin kurutulması, nemin üründen uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Tarım ürünlerine uygulanan kurutmanın amacı ürünün bozulmadan uzun süre depolanabilmesidir. İnsanların beslenmesinde en önemli yere sahip olan tarımsal ürünler, üretiminden tüketimine kadar değişik evrelerde kayba uğramaktadırlar. Örneğin tahıllarda, hasattan kullanıma kadar meydana gelen kayıpların yıllık üretimin %10'u, kuru ot üretiminde ise bu oranın %28'e ulaştığı saptanmıştır. Meyve ve sebzedeki kayıpların ise yıllık üretimin %35-40'ına ulaştığı tahmin edilmektedir (Işık ve Alibaş, 2000). Dünya toplam üretim rakamlarının büyüklüğü göz önüne alınırsa bu kayıpların büyük ölçekte olduğu gözlenebilmektedir. İnsanlık için besin maddelerinin yitirilmesinden ötürü karşılaşılan zararın yanı sıra, üreticinin ekonomik açıdan uğradığı kayıplar da küçümsenemeyecek boyutlara varır. Üretimden tüketime aktarılacak besin maddeleri miktarının en yüksek düzeyde kalmasını sağlamak amacıyla uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu uygulamalar tarladan tüketiciye kadar olan geniş bir alanı kapsamaktadır.

Kurutma çalışmalarında kullanılan kuru baza göre nem içeriği, mısırdaki su ağırlığının mısırın kuru ağırlığına oranıdır (Akpınar ve Biçer, 2002). Mısır tahılının hasat nemi yaklaşık olarak kuru baza göre % 40 civarındadır. Hasat nemine sahip mısır tahılının, bozulmadan veya küflenmeden uzun süre saklanabilmesi için kuru baza göre nem değeri, % 13 – 14' ün altına muhakkak kurutma işlemiyle düşürülmelidir. Tahılların kurutulmasında kullanılan yöntemlerden biri ve en kolay güneşte kurutmadır. Diğer bir yöntem ise, ısıtılmış havanın bir fan vasıtasıyla kurutulacak tahıl üzerine gönderilmesi ile yapılan kurutmadır. Kurutma havasının belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmasındaki amaç, kurutma potansiyelini artırıcı etkiye sahip olan havanın bağıl nemini düşürmektir. En ekonomik kurutma güneşte yapılmaktadır.

Mühendislik uygulamalarında fişkıran yatakların kurutma, granülleştirme, kaplama, heterojen reaksiyonlar, parçacıkların ısıtılması veya soğutulması gibi çok çeşitli genel uygulamaları mevcuttur. Bunun yanında, laboratuvar ölçekli olarak, tablet kurutma ve

kaplama, yüksek sıcaklıktaki termokimyasal reaksiyonlarla pirolitik karbon veya silikon karbid ile nükleer yakıt mikro kürelerin kaplanması, kömürün yanması, katıların karıştırılması ve harmanlanması, tahılların kurutulması gibi özel uygulamalarda fışkıran yataklar kullanılmaktadır.

Fışkıran yatak ilk kez Kanada'da 1954 yılında Gishler ve Mathur tarafından kurutucu olarak kullanılmış (Mathur ve Epstein, 1974) ve günümüze kadar fışkıran yatak üzerine pek çok çalışma yapılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gıdaların kurutulması ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bazı araştırmacılar, kurutma sırasında kurutucu ortam koşulları (hava sıcaklığı, nem ve akış hızı) ile kurutulan örneğe ait özelliklerinin (boyut ve yüzey temas alanları) kurutma hızına etkilerinin incelemiştir. Bu konuda en önemli araştırmacılar şöyle sıralanabilir : Saravacos ve Chann, (1962a, 1962b); Komanowsky vd., (1970); Labuza ve Simon, (1970); Pointing ve Bean, (1970); Bowden vd., (1983); Mazza., (1983); Mulet vd., (1987); Puiggali vd., (1987); Mulet vd., (1989); Weite vd., (1989); Adar, (1989); Yapar vd., (1990); Karataş ve Esin, (1990); Doğan, (1991); Karataş ve Battalhey, (1991).

Bir grup araştırmacılar ise nem taşıma mekanizmasını incelemişlerdir. Bunların başında da Vaccarezza vd., (1974); Vaccarezza ve Chirife, (1975); Kısakürek, (1980); Özil ve Özel, (1987); Monr ve Can, (1992) gelmektedir.

Kurutma sırasında kalite kayıplarının incelendiği araştırmalar da yapılmıştır. Bu konudaki önemli araştırmacılar ise Schadle vd., (1983); Evranuz vd., (1984); Mishkin vd., (1984); Esin, (1985); Keleş, (1986); Madahar vd., (1989) dır.

Bunlardan bazıları sebze kurutmaya ilgilidir ki bunlar Saravacos ve Chann, (1962a, 1962b); Komanowsky vd., (1970); Mazza, (1991) dır. Ayrıca Van Arsdel (1963), patatesin kurutulmasında hava hızının ve sıcaklığının etkisini araştırmış, hava hızının kuruma hızına etkisini ve ayrıca patatesin kuruması sırasında sabit ve azalan hız periyotlarında kurduğunu ispatlamıştır. Diğer taraftan Zhao ve Porsdal (1988), patatesin azalan hız periyodunda kurduğuna ve kurumayı denetleyen faktörün iç nem transportu olduğuna işaret etmiştir. Şahbaz ve Kayhan (1992), da yaptığı araştırmayla haşlanmış patates örneklerini, yarı kesikli tünel tipi kurutucuda farklı hava sıcaklık ve akış hızlarında kurutarak, sıcaklık ve hava akış hızının kuruma hızına etkisini incelemişlerdir. Karataş ve Esin (1989), deneysel bir püskürtmeli kurutucu ile domates salçasından domates tozu eldesi için TÜBİTAK destekli başarılı bir çalışma gerçekleştirmiş, Cihan ve Özgür (1991), çeltik kurutma ve bir optimum çeltik kurutma tesisatı tasarımı çalışmalarında bulunmuştur. Küçüka (1989), bilgisayar simülasyonu yardımıyla İzmir ve yöresindeki bir depo tipi mısır kurutucu için optimum çalışma koşullarının belirlendiği bir çalışma yapmıştır. Akkiprik

(1970), Turhal Şeker Fabrikasına bağlı ispiroto fabrikasına yemlik maya kurutma için Vals tipi kurutucu imali ve termodinamiği hakkında bir çalışma yapmıştır. Şengezer (1970), çözgü nemliliği ve nispi hava rutubetinin dokuma prosesine etkisinin araştırılması, Özel ve Özel'in (1987), kurutmada güneş enerjisinin kullanımı ile ilgili araştırmasına psikrometrinin de katılarak sunulması, Uyarel ve Öz (1987), ayrıca Atagündüz'ün (1989), orman ürünlerinin güneş enerjisi ile kurutulması hakkındaki araştırma ve projeleri sayılabilir.

Lawand (1965), kolektörde ısınan havayı kurutucuya verip, kurutucu bacasına koyduğu rüzgar enerjisiyle çalışan aspiratör vasıtasıyla emip dışarı atan sistem geliştirmiştir. Bu kurutucu ile domates salçası, bamya, patlıcan, kabak, patates ve ebegümeci kurutmuştur. Güneşte sererek kurutmaya göre, %20-58 daha kısa sürede kurutma sağlamıştır.

Agrawall vd. (1973), sandık tipi kurutucu ile erik, şeftali, bezelye ve karnabaharı, 3 ile 18 saat arasında kurutarak, nem içeriğini %80-85'den %5-20'ye indirebildiğini bildirmektedir. Hindistan'da uygulanan bu kurutucu, Lawand'ın (1965), geliştirdiği kurutucu tipine çok benzemektedir.

Ghosh (1973), klasik cam serayı değiştirerek kurutucuya çevirmiştir. Burada kakao kurutmayı deneyerek başarılı sonuç elde etmiştir. Prototip kurutucuda platform altına yerleştirilen ısıtıcılar, yağışlı devrelerde veya geceleyin çalışarak kuruma süresini kısaltmıştır. Gün ortasında kurutucu içindeki ortalama en fazla sıcaklık, çevre havasından 20 ile 25°C daha fazla, bağıl nem ise çevre havasına göre %15-20 daha az olmuştur. Ek ısıtıcı kullanıldığında ise sıcaklık 70-75 °C'ye çıkmıştır.

Posingham (1973), Avustralya'da üzüm kurutmayı, yaptığı kurutucuyla deneyerek başarılı sonuç elde etmiştir. 1,50 m. genişlik, 2,50 m. yükseklik ve 50 m. arasında uzunluğu olan ahşap ve demir borular ile çatı oluşturmuştur. Araya aralıkları 5 cm olan kümes telinden rafları 25 cm. dikey aralıklarla yerleştirmiştir. Kurutucuyu yağış ve aşırı güneşten korumak için de üzerine oluklu saçtan bir çatı yapmıştır. Dört tarafı açık bırakmıştır. Bu yöntemle kendi yöresi için üzüm kurutma süresini 8-14 gün arasına indirmeyi başarmıştır.

Peterson vd. (1974), yaptıkları çalışmada mısır kurutmada kullanılan havayı ısıtan, beş

tip güneş enerjisi toplayıcılarını birbirleri ile kıyaslamışlardır. En iyi verimi, üstü siyaha boyanmış oluklu galvanize sac tabakaya sahip toplayıcı vermiştir. Güneş enerjili bu kurutucu, klasik tipe göre enerji tüketiminde %26 azalma sağlamıştır.

Esin (1985), besin sanayinde ısı işlemler ve konservecilik hakkındaki araştırmayla besin maddelerinin bir süre bozulmadan saklanabilmesi için kurutmanın önemini açıklamıştır.

Cemeroğlu (1986), meyve ve sebze işleme teknolojisinin bilimsel temellerini izah etmiş, bunun yanında kurutma sistemlerinden de bahsetmiştir.

Luikov (1966,1968,1975), kılcal gözenekli cisimlerde ısı ve kütle transferini incelemiş ve kendi adı ile anılan bir kurutma modeli geliştirmiştir. Ayrıca, gözenekli ortamlarda nem ve sıcaklığın zamana ve kurutulan malzemenin içindeki konumuna bağlı olarak değişimini gösteren denklemler geliştirmiştir.

Gupta (1975) ve Mikhailov (1975), bireysel çalışmalarında, her ikisi de hareketli buharlaşma cephesi tekniğini kullanarak kurutma probleminin sayısal çözümlerini vermişlerdir.

Whitaker (1977), gözenekli yapıda ısı ve kütle transferini incelemiş. Bu incelemelerde yapıyı iki kısma ayırmıştır: Birincisi; içinde sürekli boşluğu olan sürekli katı yapı, ikincisi; içinde sürekli boşluğu olan süreksiz katı yapıdır.

Daloğlu (1982), örnek olarak fındığı alıp, katmanlı kütlede ısı transferini incelemiştir. Fındığın katmanlı bir küre özelliğini taşıdığını aradaki katmanın hava olması durumunda taşınım ile ısı transferinin çok küçük olması nedeniyle sadece iletimle ısı transferinin olduğu kabulünü yapmıştır.

Wang ve Fang (1984), ıslak ve gözenekli ortamda ısı ve kütle transferi ve nem taşıma özelliklerinin belirlenmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Ayrıca, ısı ve kütle transferi için bağıntılar vermişlerdir.

Ayken (1985), bir akışkan yatak sistemini kurarak, kesilmiş patatesleri kızartma

işlemini gerçekleştirmiştir. Çalışma bünyesinde, akışkanlaştırıcı havanın hızı ve sıcaklığı, işlem zamanı, patates boyutları, patates parçalarına uygulanan ön işlemler gibi parametrelerin etkilerini gözlemiş ve uygun şartların tespitine çalışmıştır .

Stanisch vd.(1986), higroskopik gözenekli ortamlar için geliştirdikleri modellerini örnek bir kurutma işlemine uygulayarak teorik ve deneysel sonuçların uyum içinde olduğunu belirlemiştir.

Abid vd. (1990), akışkan yatakta mısır kurutma esnasında ısı ve kütle transferi mekanizmasının deneysel ve teorik analizini yapmışlardır. Modellerinde tersinmez termodinamik prensiplerini kullanmışlardır. Modellerinde nem transferinin; sıcaklık gradyan etkisi altındaki termodifüzyon ile nem konsantrasyon gradyanı etkisindeki difüzyon ile sağlandığını hesaba katmışlardır. Sonuçta; gaz hızının ve neminin kurutma oranı üzerinde küçük bir etki gösterdiğini tespit etmişlerdir. Termal gradyan katsayısının analizi sonucunda, suyun termodifüzyon ile transferinin, difüzyona oranla ihmal edilebileceğini belirlemişlerdir.

Basilico vd. (1990), bir pilot fırın deney seti kurmuşlar ve yüksek sıcaklık ile ağaç kurutarak ağacın kuruma esnasındaki değişimlerini incelemişlerdir. Sıcaklığı 180°C' ye kadar ve hızı da 6m/s' nin üstüne kadar çıkarmışlardır.

Chandran vd. (1990), akışkan yatakta katı partikül kurutma kinetiği için, sabit oran periyodunu azalan oran periyodunun takip ettiğini kabul ederek bir model önermişlerdir. Kurutma kinetiği ile bekleme zamanı yoğunluğunu birlikte ele alıp, yataktaki partikülün karıştığını kabul ederek, sürekli akışkan yatağın ürününün ortalama nem konsantrasyonunu tespit etmeye çalışmışlardır. Tekil ve spiral akışkan yatakta, model ile deneysel sonuçların iyi bir uyum içinde olduğunu belirlemişlerdir.

Dinçer ve Erdallı (1992), kurutma ile ilgili temel kavramları incelemişler, gıda maddesinin kurutulması sırasındaki ısı ve kütle transferinin analizi için detaylı formülasyon vermişlerdir. Çeşitli kurutma tiplerini de tanıtmışlardır.

Bilge (1994), çalışmasında, vitrifiye malzeme üreten bir seramik fabrikasında, dökümde kullanılan alçının ve alçı içinden çıkan yarı mamülün sağlıklı kurutulması için

geliştirilen model ile kurutma prosesi sonucunda elde edilen deneysel sonuçların mukayesesini yapmıştır.

Ünal ve Daloğlu (1995), küresel şekilli kompozit sistemlerde ısı transferinde, geçici rejimde bir boyutlu ısı iletim probleminin analitik ve nümerik çözümlerini elde etmişler ve bu sonuçlarla, fındık üzerinde yapılan çalışmaların uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Zahed vd. (1990), akışkan yatakta kurutma için bir model sunmuşlar ve bu modeli kurarken, partiküllerin içinde nem transportunun olduğunu, gaz ile partikül arası kütle transferinin yoğun fazda gerçekleştiğini, gaz baloncukları ile yoğun faz arasında ara faz geçiş dengesinin iyi olduğunu kabul etmişlerdir. Farklı kurutma şartlarında, partikül nem konsantrasyonu ve yatak sıcaklığını tespit etmişlerdir. Fakat deneysel çalışma yapmamışlar aynı zamanda sonuçları, literatürde mevcut deney sonuçları ile kıyaslamamışlardır.

Alvarez ve Shene (1996), sabit oran periyodunda, kurutma datalarını kullanarak ısı transfer katsayısını tespit etmek üzere bir yöntem sunmuşlardır. Buldukları ısı transfer katsayısı, literatürdekilerden oldukça küçüktür.

Can vd. (1997), Güneş enerjisi ile ısıtılan havayı kullanarak kabak çekirdeklerini kurutmuşlar ve kabak çekirdeğinin nem transportunun kinetiğini incelemişlerdir. Sonuçta efektif nem transport katsayılarını belirlemişlerdir.

Dimattia vd. (1997), akışkan yatakta Group D partiküllerinin yapışma karakteristiklerini incelemişlerdir. Farklı yatak yüksekliklerinde basınç dalgalanmalarını ölçmüşlerdir. Bu dalgalanmaların analizi sonucu, yapışma hızı ve frekansını tespit edecek korelasyonlar elde etmişlerdir. Daha önceki yapılmış korelasyonların büyük partiküller için yeterli olmadığını ve partikül şeklinin önemli rol oynadığını belirlemişlerdir. Büyük partiküllerde yapışmayı önlemek için yüksek debide havaya ihtiyaç olduğunu tespit etmişlerdir.

Grabowski vd. (1997), mayanın laboratuvar boyutlarındaki akışkan yatakta ve fişkırان yatakta kurutulmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Fişkırان yatağın akışkan yatağa göre %25 daha fazla havaya ihtiyacı olduğunu belirlemişlerdir. Aynı zamanda akışkanlaşma, püskürtme davranışları, kurutma kinetiği ve hesaplamalar açısından fişkırان

yatağın veya akışkan yatak ile fişkırın yatak kombinasyonunun yalnız akışkan yataktan daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Jumah vd. (1997), dönen fişkırın yatakta, partikülün ortalama nem konsantrasyonu üzerine farklı aralıklı prosesin etkileri üzerine çalışmışlardır. Isıya duyarlı partiküllerin aralıklı kurutulmasından, kalite ve önemli miktarlarda enerji avantajının elde edilebileceğini belirlemişlerdir.

Soponronnarit vd. (1997), küçük bir akışkan yatakta mısırın kuruma karakteristiklerini araştırmışlardır. Yatağın termal verimini artırmak üzere çıkan havanın bir kısmını yeniden yatağa göndermişlerdir. Deneysel sonuçlar ile korelasyon yapmak için birçok ampirik ince tabaka kurutma denklemlerini denemişler ve Wang ve Singh (1978) denkleminin iyi sonuç verdiği kanaatine varmışlardır.

Tanyıldızı ve İnallı (1997), yaptıkları deneysel çalışmada Güneş enerjisi ile ısıtılan havayı kullanarak ot kurutulmasını ele almışlardır. Güneş enerjisi dolaylı kullanıldığından ottaki kayıpların minimuma indiğini ifade etmişlerdir.

Erbil (1998), 0.30-0.45 mm. büyüklükteki tanecikler için fişkırın yataklı sistemin fiskiye yüksekliğinin hesaplanması üzerine bir bağıntı geliştirmiştir.

Yıldız vd. (1989) tane mısırın düşük sıcaklıkta kurutulmasında enerji tüketimi ile ilgili çalışmalarında, tane mısırın kurutulmasına ilişkin bazı özellikleri belirlemişlerdir. İkinci ürünlerin %17-25 (yaş baz) nemde hasat edilebileceğini, bu ürünlerin bozulmadan depo edilebilmesi için %11-13 (y.b.) neme kadar kurutulması gerektiği belirtilmiştir. Bölgede bu amaçla çalıştırılan birçok kurutucunun bulunduğu vurgulanmıştır. Yüksek sıcaklıkta kurutma yapan bu kurutucularda enerji tüketiminin 4000-5000 kJ/kg-su arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu çalışmada bir kurutucuda, tane mısırın düşük sıcaklıkta kurutulmasına ilişkin bazı özellikler belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, mısırdan 1 kg suyun alınması için 2112.87-6114.52 kJ enerji tüketildiğini, uygun bir ısıtıcının kullanımı ile bu miktarın azaltılabileceğini göstermiştir.

Yağcıoğlu ve Evcim (1991), mısırın kurutulması için gerekli parametrelerin bilgisayar destekli simülasyon yoluyla belirlenmesi ile ilgili çalışmalarında, İzmir, Aydın ve Manisa

illerinden aldıkları örnek tanelenmiş mısırları Ekim, Kasım ve Aralık aylarında düşük sıcaklık şartlarında kurutmuşlardır. İnce tabaka kurutma teorisi ve Thompson'un önerdiği modeli esas alarak BASIC diliyle bir bilgisayar programı yazmışlar ve simülasyon programını çeşitli şartlar için çalıştırarak, kuruma süresi, ürün nemi, enerji tüketimi ve üründe meydana gelen kuru madde kayıpları açısından incelemişlerdir.

Trelea vd. (1996), doğrusal olmayan en uygun yığın kontrolü işlemlerinde mısır kurutma uygulaması ile ilgili çalışmalarında, yığın kurutma işleminin on-line kontrolü için tahmini bir en uygun kontrol algoritması sunmuşlardır. Uygun komut profilini hesaplayarak ölçümleri on-line sisteme dönüştürmüşlerdir. Doğrusal olmayan işlem modeli örneğinde off-line ve on-line da tahminleyici kullanmışlardır.

Haroze ve Suarez (1997), nemli öğütölmüş mısırdaki kurutma etkisi, ilk nem ve değişkenlik ile ilgili çalışmalarında, nemli öğütme işleminde farklı kurutma şartları altında atdışı ve sert mısır tanelerinin nişasta kazanımını belirlemeye çalışmışlardır. Kurutulmamış ürünlerle karşılaştırarak kurutulmamış örnekler için nişasta kazanımı değişkenleri arasındaki farkın önemsiz olduğunu tespit etmişlerdir. Hava sıcaklığı artarken tohumların ilk nem içeriğinin azaldığını, sert mısır tanelerinin atdışı mısır tanelerine göre daha fazla protein bozulmasının olduğunu belirlemişlerdir. Şişme, çözünürlük ve ilk filizlenme sıcaklığı değişkenlerinin kurutma şartlarını etkilediğini belirlemişlerdir.

Johnson vd. (1998), bir muz çeşidi olan Plantain (Musa AAB)'in hava kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalarında, bir sıcak hava kurutucusu ile çeşitli kalınlıklardaki Plantain silindirik parçalarını, farklı hava sıcaklıklarında kurutma davranışlarını, büzölme ve nem dağılımını incelemişlerdir. Sonuç olarak hava sıcaklığının görünüş metodoloji etkisi ve kuruma oranlarındaki parçaların kalınlığını bulmuşlardır. Sıcak havanın kurutma davranışında en büyük etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Plantain'in hava kurutması için hareket enerjisini 38.81 kJ/(g.mol) olarak hesaplamışlardır. Kurutma süresince büzölen parçaların hacim ve boyutlarındaki değişiklikleri izleyerek hacimdeki değişiklikleri bir çekirdek kurutma modeli ile çok iyi tanımlarken boyutlardaki değişiklikleri doğrusal nem içeriği ile tanımlamışlardır. Fick'in yayılım denklemini kullanarak kurutma süresince Plantain parçaları içindeki nemin yayılımını engellemek için kullanmışlardır.

Arinze vd. (2002a), düşük sıcaklıklarda arpanın kurutulmasında kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. İnce tabaka kurutucu kullanarak arpanın kuruma değerlerini bilgisayar simülasyon modeli ile sunmuşlardır.

Arinze vd. (2002b), bir ticari ot kurutma makinasının deneysel değerlendirilmesi ve en iyi şekilde kullanılması ile kurutucu işlevsel performansı, yığın ot kurutucunun otomatik bir balya vagonu ile çalıştırmanın mühendislik tasarımını, işlevsel performansını, üretim kalitesini ve doğal bir yakıtın ekonomik analizini araştırmışlardır. Otomatik balya vagonunu yığın ot kurutma kurutucularının yüklemeli ve yüklemesiz yığınları için kullanmışlardır. Yenilenerek geliştirilmiş bir yığın ot kurutucusunun üçgen çatı biçimindeki bir yapıda iki benzer kurutma ünitesine ve her kurutma ünitesi için büyük bir aksiyal akıntıya sahip olduğunu ve bunu sağlayan fan güçlerinin yaklaşık 450 m<sup>3</sup>/dak hava debisi değerinde olduğunu belirlemişlerdir. Balyaları küçük dikdörtgen biçiminde bir yapıda 22–31 t (en fazla beş yığın) kapasiteli delikli geniş bir metal ızgara zeminine koyarak üst çerçeve sınırını polyethylene perdeler ile sarmışlar ve dikey kenarları ot yığınlarının bir sonu olarak kullanmışlardır. Ot yığınlarını %25–40 ilk nem içeriği ve %12–15 son nem içeriği için ortalama 45 ± 5°C'lik hava sıcaklığında 17–37 saat kurutmuşlardır. Kuruma kapasitesinin 1.0 ton/saat, yakıt tüketiminin 26 m<sup>3</sup>/t, enerji tüketimi için ise 4790 kJ/kg olduğunu tespit etmişlerdir. Kurutucu tarafından kurutulan otun yüksek kaliteli çekici yeşil bir renge sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Chandra ve Sodha (2003), işlenmemiş tarımsal ürünlerin kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalarında, bazı işlenmemiş tarımsal ürünlerin (buğday, çeltik, mısır ve bezelye) kurutma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Yüzeysel kurutma oranları için basit değişkenler elde etmişlerdir. Bu değişkenlerin ürünlerin ilk nem içeriğinin fonksiyonları, kurutma hava sıcaklığı, hava akımı ve yığın miktarı olduklarını tespit etmişlerdir. Yığın yatağı ve hava hızı etkisinin yüzeysel kurutmada sadece sınırsal bir değer olduğunu bulmuşlardır.

Doymaz ve Pala (2003), mısırın ince tabaka kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalarında, mısır için kurutma oranlarında etil oleatın etkisini bir deney hava kurutucusunda incelemişlerdir. Mısırı muamele edilmeksizin ya da etil oleat çözeltisine daldırılarak kontrollü kurutma koşullarında hava ile kurutmuşlardır. Çoğu durumda %2 etil

oleat ve %4 potasyum karbonat çözeltisine daldırıldıktan sonra mısır çekirdeğinin kurutma hızında artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Hunter renk ölçüm parametrelerini renk değişiklik miktarı için ölçmüşler, daha kısa süre ve en kaliteli kurutmayı etil oleat çözeltisine mısır tanelerini daldırarak elde etmişlerdir. Tek üslü denklem ve Page denklemlerini ince tabaka kurutma karakteristiklerini belirlemek için kullanmışlardır. İki denklemin de deneysel bilgiler için çok uygun olduğunu belirleyerek Page denkleminin ince tabaka mısır kurutma için tek üslü denklemden daha uygun olduğunu bulmuşlardır. Yayılım etkisini sırasıyla 55–75°C de kimyasal işleme tutulmamış mısır için değerini  $9.488 \times 10^{-11} - 1.768 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  kimyasal işleme tutulmamış örnek için  $1.424 \times 10^{-10} - 2.716 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  olarak belirlemişlerdir.

Ghaly ve Sutherland (2003), soya fasulyelerinin ısıtılmış hava ile kurutmasının kalite görünüşleri ile ilgili çalışmalarında, 300 g soya fasulyesi tohumu örneğini %14.6 ve %18’lik nem içeriği koşullarında 0.03 kg/s’deki hava akım oranı ile 4 saat kurutmuşlardır. Kurutma sıcaklıkları olarak 40 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C, 65 °C, 70 °C ve 80 °C kullanmışlardır. Tohum filizlenmesi ve tohumlanma gücünün açıkça sıcak hava akışının diğerlerinden daha duyarlı tek kriter olmadığını belirlemişlerdir. 55 °C, 60 °C ve 65 °C hava sıcaklıklarının güvenli kurutma için sırasıyla %14, %16 ve %18’lik nem içeriklerini belirlemişlerdir. Peroksit değeri, 50 °C üzerindeki sıcaklıklarda biraz artış gösterirken, oda sıcaklığındaki akıcılık filizlenmenin etkilemediğini 50–80 °C’lik beyazlatma ısısından sonra ham yağın rengi, 40 °C’lik çok koyu bir renk verirken, ilk halinden daha soluk bir hale geldiğini tespit etmişlerdir. Soya fasulyelerini ayçiçeği ve kolza tohumları için karşılaştırılarak kuruması için logaritmik kuruma modelini değişik kurumlara uyarlamışlardır. Kurutucu bilgisayar programının soya fasulyeleri için uygulanabilir olduğunu, etkili tohum kalitesinin önemli olmadığı kurutmalarda yüksek bir hava giriş sıcaklığı ile kurutmanın avantajlı olduğunu belirlemişlerdir.

Sutherland ve Ghaly (2003), yağ tohumlarının (ayçiçeği ve kolza) ısıtılmış hava ile kurutulması ile ilgili çalışmalarında, kurutucu tasarımı için ihtiyaç duyulan parametreler olan kuruma oranları ve hava akıntısı dirençlerini ölçmüşlerdir. Bazı sıcaklık testlerini karşılaştırma için uygulamışlardır. Kalite değerlendirmesinde, çekilmiş yağın peroksit değerini, asit yağı içersinde ve tohumun filizlenmesindeki kurutma durumlarının etkisini de esas almışlardır. Yağın rengini bir fotometrik metot kullanarak sıcaklık ile beyazlatma

testinden önce ve sonra ölçmüşlerdir. Kalite sonuçları göstermiştir ki filizlenme, kritik bir kurutma havası ve tohum sıcaklığı ile etkilidir. Ayçiçeği tohumları için güvenli kurutma hava sıcaklıklarını sırasıyla %12, %14 ve %16 nem içeriği için 55 °C, 60 °C ve 65 °C olarak belirlemişlerdir. Kolza tohumu için 60 °C'lık bir giriş hava sıcaklığı her ilk nem içeriği için filizlenmenin kaybolmasına sebep olmuştur.

Özler vd. (2005), mısırdaki farklı ön işlemlerin kuruma hızına etkisini araştırmışlardır. Tokat ve çevre illerde mevcut olan hasat sonrası kurutma ve depolama problemleri ve benzeri nedenlerden dolayı mısır tarımı, sınırlı ölçüde yapılmaktadır. Bu çalışmada, Tokat yöresinde yetiştirilen mısırların farklı kurutma ortamlarını ve ön işleme tekniklerini kullanmak suretiyle, mısırdaki kuruma hızına etkisini belirleyerek ve kurutma süresini azaltarak mevcut problemlere çözüm getirmeye çalışmışlardır. Denemelerde atdışi mısır, sert mısır ve şeker mısır olmak üzere üç mısır tipi kullanmışlardır. Mısır tanelerini % 2 etil oleat, % 4 potasyum karbonat, %2 sodyum hidroksit çözeltilerinden bir tanesine 1 dakika süreyle bandırdıktan sonra laboratuvar tipi kurutucuda kurutmuşlardır. Kurutucuda hava sıcaklığını ortalama 49.3 °C ve hava bağıl nemini % 21.5 tutarak kontrollü olarak denemeleri yürütmüşlerdir. Atdışi mısır ve şeker mısır örneklerinde kuruma hızı üzerine etkili kimyasalın % 2 sodyum hidroksit olduğunu belirlemişlerdir. Sert mısırdaki ise kurutucuda yapılan kurutma denemelerinde ön işlem yapmanın pratik olmayacağı sonucuna varmışlardır.

Mujumdar, fişkiran yatakları sınıflandırarak farklı tiplerin birbirlerine olan üstünlüklerini ve fişkiran yatak tekniğindeki sınırlamaları incelemiştir (Mujumdar, 1984). Çalışmasında, fişkiran yatak teknolojisinin bazı alanlarında -özellikle tahılların kurutulması üzerinde- yapılacak ileri araştırmalar için araştırmacılara bazı tavsiyelerde bulunmuş ve modifiye edilmiş fişkiran yatakların avantajlarını tartışarak daha ileri çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir. Konvansiyonel yataklardaki bazı olumsuzlukların giderilmesi amacıyla yeni fişkiran yataklar geliştirilmektedir. Devahastin ve Mujumdar, titreşimli fişkiran yatak adını verdikleri bir fişkiran yatak geliştirmişlerdir. Bu yatağın bazı hidrodinamik karakteristiklerini tespit etmek üzere polietilen, polistren, buğday ve soya fasulyesi ile deneyler yapmış ve fişkırabilen maksimum yatak yüksekliği, katı sirkülasyon hızı, ve karışım davranışı açısından konvansiyonel yataklara nazaran daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir (Devahastin ve Mujumdar, 2001). Jumah vd., yeni bir dönen

jetli fişkiran yatak (RJSB) geliştirmiş ve test etmişlerdir (Jumay vd.,1998). Bu yeni fişkiran yatakta konvansiyonel fişkiran yatlara nazaran partikül karışımı ve sirkülasyonunun arttığı tespit edilmiştir. Devahastin vd., partiküllerin düşen kuruma hızı periyodunda kurutulması için yeni bir dönel jetli fişkiran yatak kurutucu geliştirmişlerdir (Devahastin vd., 1999). Bu yatak, merkezine boru yerleştirilmiş bir silindirik kabın cidarı ile boru arasında kalan halka kesitli bölgede çevresel olarak dönen tek bir fişkırma jeti ihtiva etmektedir. Geldart sınıflandırmasına göre hepsi D grubu partiküller olan buğday, mısır ve polistren kullanılarak bu yatağın hidrodinamik karakteristikleri incelenmiştir.

Olazar vd. (2001), konvansiyonel fişkiran yatlarda işletme şartlarının partikül hızı üzerindeki etkisi üzerine yaptıkları çalışmalarında, bir optik fiber prob kullanarak taban açısı, gaz giriş çapı, durgun yatak yüksekliği, partikül çapı ve gaz hızının koni tabanlı konvansiyonel bir fişkiran yatağın üç bölgesindeki (fişkırma, halka kesit, fiskiye) katı partikül hızına etkisini incelemişlerdir.

Freitas ve Freire (1997), koni tabanlı çekiş borulu alttan beslemeli bir fişkiran yatağın dinamik karakteristiklerini incelemiştir. Partikül hızı ve sirkülasyon debilerinin tespitini aynı boyutlardaki bir yarım kolon fişkiran yatak imal ederek tespit etmiş, partikül besleme debisi, hava debisi ve yatak yüksekliğinin fişkiran yatak dinamiğine etkilerini incelemişlerdir. Swaminathan ve Mujumdar (1984), çalışmalarında, düz tabanlı bir fişkiran yatağın aerodinamik karakteristiklerine ait deneysel sonuçları sunmuş, deneylerinde mısır, yulaf ve arpa kullanarak gerek tam gerekse yarım kolon fişkiran yatak için basınç düşüşü eğrilerini tespit etmişlerdir. Partikül hareketinin aerodinamiği ısı transferi ve kuruma miktarlarını belirlediğinden, farklılıkları ortaya koymak üzere çeşitli tahıllar ve suni nemlendirilmiş partiküllerin kullanıldığı deneysel çalışmalara ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır.

Olazar vd. (1992), konik fişkiran yatlara ait dizayn faktörlerini araştırdıkları çalışmalarında gaz girişı nozul çapı, koni alt ve üst çapları gibi farklı dizayn faktörlerinin etkisini incelemişlerdir .

Olazar vd. (2003), yine konik fişkiran yatlaları ele aldıkları bir başka çalışmalarında ise, konik fişkiran yatağın hidrodinamik davranışının konvansiyonel koni tabanlı fişkiran

yatağına kıyasla önemli farklılıklar gösterdiği tespit edilmiş, konik fışkıran yatakların özellikle yapışkan özellikte, düzensiz yapı veya boyut dağılımına sahip malzemeler için kullanımlarının uygun olduğunu belirtmiştir.

Jing vd. ( 2000), koni açısı ve yatak yüksekliğinin yatak aerodinamiğini etkileyen en önemli parametreler olduğunu deneysel olarak tespit etmişlerdir.

Ishikura vd. (2003), gözenekli çekiş borusunun koni tabanlı bir fışkıran yatağa hidrodynamic etkisini incelemek üzere çeşitli işletme şartları ve dizayn faktörleri için deneysel bir çalışma yapmışlardır.

### 3. MISIR

Orijini ve gen merkezi Amerika kıtası olan mısır (*Zea mays* L.) gerek dünyada ve gerekse Türkiye’de bitkisel kökenli proteinlerin yeterli ve ekonomik üretimi için büyük önem taşımaktadır. Özellikle ülkemizde mısır tarımı hayvansal protein üretimine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ayrıca mısırın tanesinden elde edilen nişasta, glikoz ve mısırozü yağı da gıda sektöründe ham madde açısından büyük önem taşımaktadır (İzli,2007) .

Mısır, ılıman ve tropik bölgelerde yetiştirilen bir sıcak iklim bitkisidir. Çok farklı iklim koşullarına uyabilen pek çok tipleri vardır. Mısır tarımı kuzey yarım kürede 58–60° enlemlerinden güney yarım kürede 35–40° enlemleri arasında yapılır. Diğer taraftan deniz seviyesinden daha düşük yerlerden 4000 m yüksekliğe kadar alanlarda yetiştirilebilir. Mısırın yetiştirme sınırlarını belirleyen en önemli faktörler sıcaklık ile yetiştirme periyodudur. Dünyada mısır üretiminin çoğu 30–47° kuzey enlemleri arasında yapılmaktadır. 36–42° kuzey enlemleri arasında bulunan Türkiye de mısır yetiştirmeye uygun sınırlar içersinde yer almaktadır. İklim verilerine göre yapılan değerlendirmede Ağrı, Kars ve Erzurum illerinde düşük sıcaklık nedeniyle yetiştirme süresi; Siirt, Diyarbakır, Ş.Urfa, Adıyaman ve Mardin illerinde yüksek sıcaklık ve düşük nem dolayısıyla mısır üretiminde sorunlar olabileceği belirlenmiştir. GAP projesinin devreye girmesiyle bu illerde mısır üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde mısırın gerek birinci, gerekse ikinci ürün yetiştiriciliğinde toplam yağış, sıcaklık ve bağıl nem yönünden sorun olmayan 9 ilimiz vardır. Bunlar; Rize, Giresun, Ordu, Zonguldak, Trabzon, Samsun Kocaeli, Sinop ve Sakarya’dır (Turgut,2001).

Ülkemizde genelde yetiştirilen mısır çeşitleri atdışı mısır (*Zea mays indentata*), sert mısır (*Zea mays indurata*), cin mısır (*Zea mays everta*) ve şeker mısır (*Zea mays saccharata*)’dır. Mısır, ülkemizde tarla ürünleri arasında ekiliş alanı bakımından yedinci sırada, üretim miktarı bakımından ise üçüncü sırada yer alan bir üründür (Süzer,2006). Dünyada ortalama 161 milyon hektar alanda mısır üretimi yapılmaktadır. Toplam dünya üretimi ortalama 822 milyon ton, ortalama verim ise 5.1 t/ha’dır. Mısır üretiminde dünyada önde gelen ülkeler Çin, Rusya, Hindistan, Polonya, ABD, Meksika, Brezilya ve Almanya’dır. Dünya’da ve Türkiye’de mısır ekim alanları, üretim ve verim değerleri Tablo 3.1’ de verilmiştir (FAO 2010).

Ülkemizde üretilen mısırın tamamına yakını yurtiçinde tüketilmektedir. İçinde bulundurduğu zengin besin maddesi nedeniyle insan ve hayvan beslenmesinde büyük değer taşımaktadır. Dünyada üretilen mısırın yaklaşık %27'si insan beslenmesinde, %73'ü ise hayvan yemi olarak tüketilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde üretilen mısırın %45.9'u hayvan beslenmesinde, %54.1'i insan besin kaynağı olarak kullanılırken, gelişmiş ülkelerde hayvan yeminin payı %88.9'a ulaşmaktadır (İzli, 2007).

**Tablo 3.1.** Yıllar bazında Dünya’da ve Türkiye’de mısır ekim alanları, üretim ve verim Değerleri (FAO 2010)

|      | Ekim Alanı (ha) |         | Üretim (ton) |           | Verim (kg/ha) |         |
|------|-----------------|---------|--------------|-----------|---------------|---------|
|      | Dünya           | Türkiye | Dünya        | Türkiye   | Dünya         | Türkiye |
| 2003 | 144.673.388     | 560.000 | 645.231.203  | 2.800.000 | 4,460         | 5,000   |
| 2004 | 147.472.375     | 545.000 | 729.212.203  | 3.000.000 | 4,945         | 5,505   |
| 2005 | 147.441.686     | 600.000 | 713.913.914  | 4.200.000 | 4,842         | 7,000   |
| 2006 | 148.607.870     | 528.283 | 706.311.210  | 3.811.000 | 4,753         | 7,214   |
| 2007 | 158.606.742     | 516.960 | 788.112.128  | 3.535.000 | 4,969         | 6,838   |
| 2008 | 161.016.542     | 593.785 | 822.712.527  | 4.274.000 | 5,109         | 7,198   |

Son yıllarda artan tüketime karşın, uygulanan destekleme politikaları ile üretim artmış, buna karşılık ithalat miktarında önemli bir azalma gözlenmiştir. İthal ettiğimiz mısırın yaklaşık %1.3'ü mısır tohumluğu, geriye kalan %98.7'lik kısmı ise diğer mısır (tane, yağ, vs.) ithalatı şeklindedir. Yıllar itibariyle Türkiye'nin mısır ithalatı Tablo 3.2'de verilmiştir (FAO 2010).

**Tablo 3.2.** Yıllar bazında Türkiye'nin Mısır İthalatı (FAO 2010)

|      | Miktar (ton) | Değer (1000 \$) | Ort. İth. Fiyat (\$/ton) |
|------|--------------|-----------------|--------------------------|
| 2001 | 537.481      | 65.635          | 122,12                   |
| 2002 | 1.177.659    | 133.754         | 113,58                   |
| 2003 | 1.818.132    | 276.182         | 151,90                   |
| 2004 | 1.049.744    | 190.477         | 181,45                   |
| 2005 | 218.059      | 47.335          | 217,07                   |
| 2006 | 30.579       | 12.702          | 415,38                   |
| 2007 | 1.128.456    | 269.338         | 238,68                   |

Ülkemizde mısırın yetiştirme şartları ve ekim alanlarının dağılımı göz önüne alındığında mısır ekimi için en elverişli bölge Karadeniz Bölgesi'dir. Ülkemizdeki mısır ekiminin yarıya yakını bu bölgede yapılır. Karadeniz, Akdeniz ve Marmara bölgeleri ülkemiz mısır ekim alanlarının % 87,6'sına, mısır üretiminin ise %88,8'ine sahiptir (İzli, 2007) .

Çalışmada materyal olarak Mardin Kızıltepe ilçesinde 2009 yılında üretilen atdışi mısır (*Zea mays indentata* Sturt.) kullanılmıştır. Mısırı kurutma çalışmaları, tasarımı ve imalatı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yapılan Paraboloid Tabanlı Fışkıran Yatak Deney Düzenegi'nde gerçekleştirilmiştir. Tohumların boyutlarını belirlemek için, uzunluk (L), genişlik (W) ve kalınlık (T) kumpas kullanılarak ölçülmüştür. Tanelerin aritmetik çapı ( $D_a$ ) ve geometrik çapı ( $D_g$ ) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Mohsenin, 1970; Ünal, Işık, Alpsoy, 2006).

$$D_a = \frac{(L + W + T)}{3} \quad (3.1)$$

$$D_g = (LWT)^{\frac{1}{3}} \quad (3.2)$$

Küresellik ise,

$$\phi = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L} \quad (3.3)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır (Mohsenin 1970).

Mısır tanelerinin yüzey alanı, geometrik ortalama çapa bağlı olarak, ( $A_s$ ) aşağıdaki eşitlik kullanılarak, hesaplanmıştır. (Olajide ve Ade-Omewaye, 1999).

$$A_s = \pi D_g^2 \quad (3.4)$$

Yetmiş adet mısır tanesinin boyutları ölçülerek fiziksel özellikler ile ilgili hesaplamalar yapılmış, ortalama değer alınarak fiziksel özellikler belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan mısır tanelerinin en, boy, kalınlık, yüzey alanı, küresellik, aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap değerleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

**Tablo 3.3.** Deneylerde kullanılan mısır tanelerinin fiziksel özellikleri

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| En (mm)                        | 8,170   |
| Boy (mm)                       | 10,850  |
| Kalınlık (mm)                  | 4,480   |
| Yüzey Alanı (mm <sup>2</sup> ) | 169,742 |
| Küresellik (%)                 | 0,675   |
| Aritmetik Ortalama Çap (mm)    | 7,840   |
| Geometrik Ortalama Çap (mm)    | 7,350   |

#### 4. ENDÜSTRİYEL GIDA KURUTUCULARI

Endüstriyel gıda kurutmasına bilimsel yaklaşım 18.yy da başlamıştır. Gıda kurutması işlemi ilk olarak sebze kurutması ile 18. yüzyılda gerçekleşmiştir. Uzun soluklu savaşların devam etmesiyle birlikte gıdaya olan ihtiyaç insanları gıda kurutması teknolojisine yönlendirmiştir. Örnek olarak Kırım'daki İngiliz askerleri (1854-1856) yanlarında ülkelerinden getirmiş oldukları sebzelerle idare etmişlerdir. Yine aynı şekilde, Kanada'dan kurutulmuş olan sebzeler Güney Afrika'daki Boer Savaşı'ndaki (1899-1902) askerleri beslemek amacıyla yollanmıştır. Bir başka örnekte ise 1. Dünya Savaşı'nda yaklaşık olarak 4500 tonluk kurutulmuş ürün Amerika'dan birliklere gönderilmiştir (Kurtuluş, 2007). Gıda kurutması biyokimyasal, kimyasal ve gıda endüstrileri gibi süreçlerde çok önemli bir işlemdir. Kurutmanın temel amacı malzemeden suyun uzaklaştırılmasıdır. Gıdalarda kurutma işlemi ile kurutulmak istenen ürünün içindeki su alınarak, mikro organizma bozulmalarını azaltmak ya da durdurmak hedeflenmektedir. Bir başka açıdan bakılacak olunursa, kurutulan malzeme içerisinde herhangi bir kimyasal reaksiyon oluşmasını engellemek temel hedeftir. Gıda kurutması işlemlerinde iki ifade vardır. Bunlardan biri dehidre edilmiş ürün diğeri ise kurutulmuş üründür. Kurutulmuş ürün ile dehidre edilmiş ürün farklı anlamlar içermektedir. Amerikan Tarım Departmanının açıklamasına göre içinde %2,5 dan fazla su bulunmayan ürünler dehidre edilmiş ürün, içerisinde %2,5 dan fazla su bulunan ürünler ise kurutulmuş ürün olarak ifade edilmektedir (Gongora-Nieto, 2001) .



**Şekil 4.1.** Makarna kurutmada kullanılan endüstriyel gıda kurutucusu

Gıda kurutma sistemleri kullanım amaçlarına göre sıralanacak olunursa; güneşte kurutma, suni kurutma, kombine kurutma olarak sıralanabilir. Güneş enerjisi ile kurutma işlemi açık havada yapılmaktadır; hijyenik açıdan pek tavsiye edilmeyen bir sistemdir. Suni kurutma işlemi ile dışarıdan alınan havanın elektrikli bir ısıtıcı, ya da yakma sistemleri aracılığıyla kurutulduktan sonra gıda maddesiyle temas ettirilmesi işlemidir. Kombine kurutma sistemi ise güneş enerjisi ile birlikte suni kurutma sistemlerinin bütünleşik olarak kullanıldığı kurutma sistemleridir. Bu sistemlere tepsili ve kabin tipli kurutma sistemleri örnek olarak gösterilebilir. (<http://www.erzurum-tarim.gov.tr/teknik/gida/kurutma.htm>).

Kurutma süreçleri genel olarak doğrusal olmayan süreçler olarak bilinir. Tarımsal ürünler, gıda maddeleri, maya, enzim ve bakteri türü biyolojik ürünler, kurutma süreci boyunca sıcaklık, nem oranı gibi kurutma koşullarına karşı çok hassas davranış gösterirler. Bu yüzden kurutma süreçlerinin modellemeleri oldukça karmaşık ve zordur.



**Şekil 4.2.** Tarım ürünlerini kurutmak için kullanılan endüstriyel gıda kurutma makinesi

Gıda kurutmasında ihtiyaca göre ya da kurutulmak istenilen ürüne göre genel kurutma sistemleri ya da özel kurutma sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar genel başlıklar altında isimlendirilecek olursa; tepsili kurutma, kabinli kurutma, tünel kurutma, tamburlu kurutma gibi adlandırılan kurutma sistemleridir. Bunun yanında özel kurutma sistemleri de olduğu bilinmektedir. Bu sistemlerde, kurutma prosesi sırasında, kurutma havası ve kurutulacak ürünün tam olarak buluşması istenir. Özel kurutma sistemlerinin tercih edilmesinin bir başka nedeni ise bazı durumlarda çok ekonomik olmayan kurutma işleminin ekonomik hale getirilmeye çalışılmasıdır. Özel kurutma sistemleri arasında en çok uygulamaya sahip olanlar sprey kurutma, vakum kurutma, dondurarak kurutma, akışkan yataklı kurutma sistemleridir (University of Texas, 2005) .

## 5. FIŞKIRAN YATAKLI KURUTMA SİSTEMİ

Akışkan yataklara alternatif olarak, kimya endüstrisinin bazı alanlarında düzensiz boyutlardaki iri katı partiküllerin akışkanlar gibi kolaylıkla işlenebilmeleri amacıyla fişkiran yataklar geliştirilmiştir. Sürekli sistemler için taşıma kolaylığı akışkanlaştırma sayesinde sağlanmaktadır.

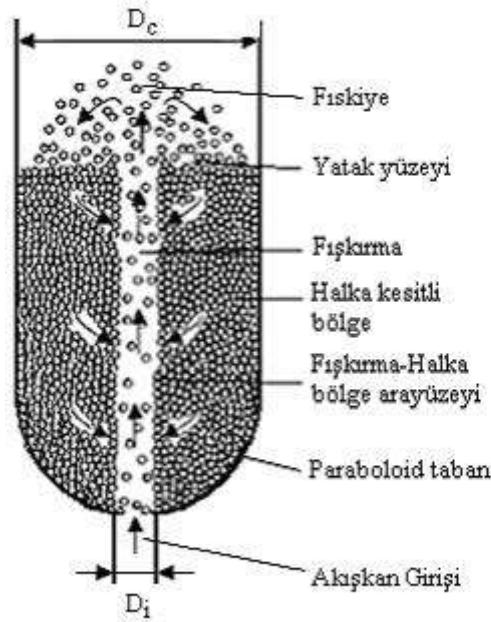
Fişkiran yataklarla akışkan yatakların akış mekanizmaları birbirinden oldukça farklıdır. İri taneli, homojen dağılımlı katı partiküllerin akışkanlaştırılması için fişkiran yatak tekniği geliştirilmiştir. Katı partiküllerin özellikle düşey yöndeki devridaim hareketi sonucunda yatak içinde çok iyi bir karışım gerçekleşmektedir. Akışkan yataklarda ise gelişigüzel ve kompleks kabarcıkların neden olduğu partikül akış deseni vardır. Gaz-katı reaksiyonları, kurutma, partiküllerin karışımı, tabletlerin kaplanması ve granülasyon gibi uygulama alanları olmasına rağmen fişkiran yatak teknolojisi bazı sınırlamalardan dolayı büyük ölçekli endüstriyel proseslerde henüz uygulama alanı bulamamıştır.

Fişkiran yatağın şematik gösterimi Şekil 5.1’de verilmiştir. Merkezdeki kısmı fişkırma bölgesi kolon duvarı ile içteki oluk arasındaki halka şeklindeki bölgeye “halka kesitli (anüler) bölge” ve halka kesitinin yukarısında bir mantar gibi büyüyen bölgeye de “fiskiye” denir.

Fişkiran yataklarda akışkan olarak gaz tercih edilmektedir. Çünkü akışkan olarak sıvı kullanılması her durumda uygun değildir. Akışkan olarak sıvı kullanılırsa katı parçacıkların mekanik özellikleri değişir ve gaz akışkanlarda olduğu kadar geniş sahada kullanıma imkan vermez. Fişkiran yatağın hareket ettirilmesi gazın jet akışı ile sağlanır. Gaz, fişkiran yatağın tabanındaki küçük nozuldan düşey olarak içeri püskürtülür. Gazın nozuldan püskürtülme hızı yeterince yüksek ise katı yatağındaki partiküller fişkırarak merkezi boşluğa yükselir. Halka kesitli bölgenin üst kısmındaki yatağın en üst seviyesini aşan bu parçacıklar, bir fiskiye gibi halka kesitli bölgeye tekrar yağmurlama düşerler. Bu sırada fişkırma bölgesinde yukarı hareket eden akışkanın bir kısmı da halka kesitli bölgeye doğru yayılır. Katılar da toplam yatak yüksekliği boyunca tekrar merkezdeki oluğa girerler. Gazın karşı akımla halka kesitli bölgeye süzülmesi ve katıların eş yönlü akım tarafından

yukarı sürüklenmesi ile seyreltik olan oluk bölgesi karmaşık hale gelir. Bu sistematik devridaim şeklindeki katı hareketleri sürekli dir.

Kimya endüstrisinde daha çok tercih edilen akışkan yataklarla karşılaştırıldığında, fışkıran yatağın basınç kaybı daha azdır. Fışkıran yataklar katı ile akışkan arasında çok iyi bir temas sağlar. Akışkan yataklarda dağıtıcı tasarımı kritik olmasına rağmen, fışkıran yataklarda dağıtıcı yerine elek kullanılır.



Şekil 5.1. Fışkıran yatağın şematik resmi

## 6. KURUTMA VE KURUTMA TERMODİNAMİĞİ

### 6.1. Kurutma

Kurutma, genel anlamıyla bir maddenin bünyesinde bulunan nemin alınmasını belirtir. Teknik anlamda; bir katının bünyesinde bulunan nemin bir gaz akımı içinde buharlaştırılarak gaza geçirilmek suretiyle alınmasına kurutma denir. Katıdaki su miktarı fazla ise, en basit olarak presleme veya santrifüjleme uygulanabilir. Bu tip bir işleme uygun değilse katı yüzeyine ısı transferi uygulanarak buharlaşma yolu ile kurutma sağlanır. Transfer olan ısı katının gözeneklerindeki nemin buharlaşmasına harcanır. Bu nedenle, kurutma işleminde ısı ve kütle transferi aynı anda gerçekleşmektedir. Isı ve kütle transferinin beraber gerçekleşmesinden ötürü, kurutma prosesi araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Tarım ürünlerinin muhafazası için de kurutma çok önemlidir.

Bir katının kurutulması esnasında iki olay beraber gerçekleşmektedir. Birincisi; kurutucu gazdan katı bünyesindeki buharlaşan sıvıya ısı transferi, ikincisi; katının iç kısımlarından dışa ve buradan da kurutucu gaza doğru sıvı veya buhar olarak kütle transferi. Bu iki olay incelenirken; katı bünyesindeki sıvının katı yüzeyine gelmesi sürecinde oluşan iç difüzyon ve kılcallık gibi iç koşullar ve kurutucu gazın hızı, sıcaklığı ve nemi gibi dış koşullar ele alınır.

Kurutma olayında etkin olan parametrelerin bir kısmı aşağıda verilmektedir:

- 1) Isı Transferi
  - a) Isıtma ortamından sıvı yüzeyine ısı transferi
  - b) Yapışkan katmanlarda ısı transferi
  - c) Katıdan sıvıya direk ısı transferi
- 2) Kurutma Atmosferi
  - a) Kurutma atmosferi basınç ve sıcaklığı
  - b) Kurutma atmosferinin bileşimi

c) Kurutma yüzeyindeki havanın izafi hızı

### 3) Katı Sıvı Sisteminin Genel Fiziksel Özelliği

a) Katı sıvı arasındaki yüzey gerilmesi

b) Katı sıvı arasındaki yapışkan film kalınlığı

c) Gözenekler içinde yüzey alanının sıvı hacmine oranı

### 4) Katıların Özellikleri

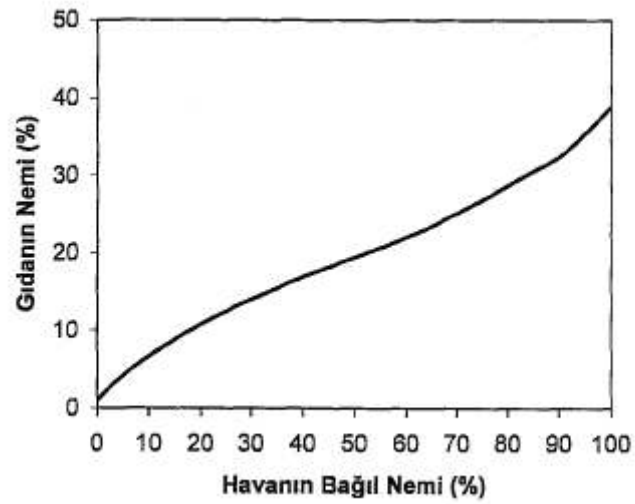
a) Parçacık boyutu

b) Katının Etken alanı

c) Katının gözenekliliği vs.

#### 6.1.1. Sorpsiyon izotermi

Bir kap içindeki su buharlaşarak kendisini çevreleyen atmosferle dengeye geldiği gibi, herhangi bir nemli madde de aynı davranışı göstererek, bulunduğu sıcaklıkta kendisini çevreleyen atmosferle nem açısından bir dengeye ulaşır. Belli bir sıcaklık derecesinde, farklı bağıl nem içeren koşullarda tutularak dengeye erişmiş bir gıdanın nem içeriği ile çevre havanın bağıl nemi arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklere sorpsiyon izoterm (eş sıcaklık) eğrileri adı verilir. Her gıdanın belli koşullarda ulaştığı denge nemi farklıdır. Gıda maddesinin sorpsiyon izoterm (eş sıcaklık) eğrisini çizmek ve belirli sıcaklıklarda ulaştığı denge nemi değerini belirlemek üzere; gıda maddesi, bağıl nemi sabit kalabilen kavanozlarda belli sıcaklıkta dengeye erişene kadar tutulur. Bağıl nemi sabit kalabilen kavanoz için de, kavanozun içine değişik tuz çözeltileri konur. Böylece, içindeki atmosferin bağıl neminin sabit kaldığı kavanozlara gıda maddesi yerleştirilip, istenen sıcaklıktaki sorpsiyon (eş sıcaklık) eğrileri elde edilmiş olur.

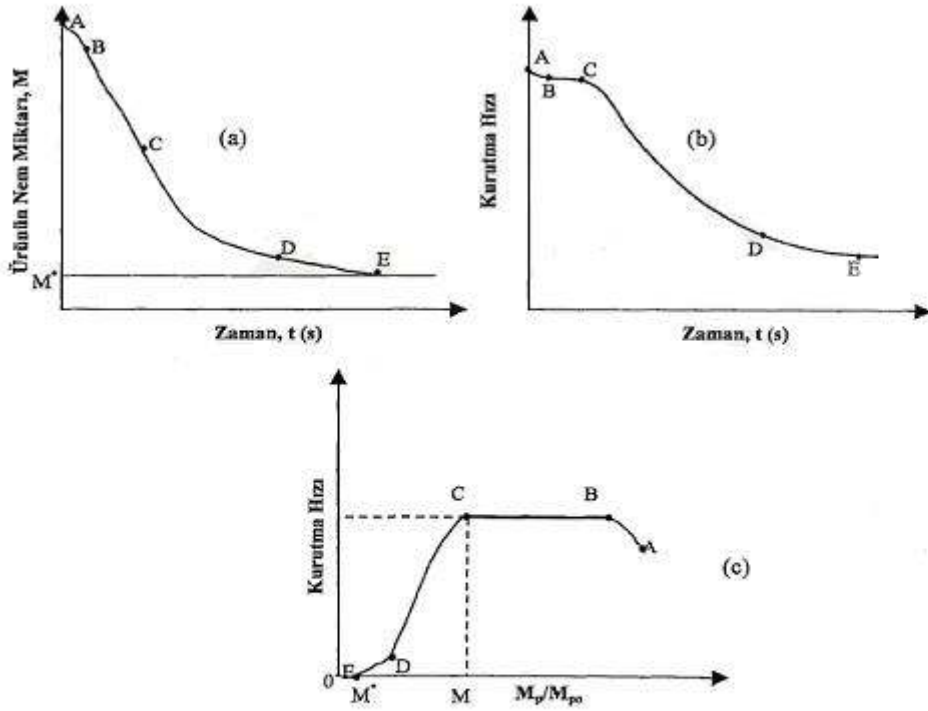


**Şekil 6.1.** Örnek bir ürün için nem sorpsiyon eş sıcaklık eğrisi

#### **6.1.2. Kurutma hızı**

Kurutma işlemi; kurutulacak üründeki suyu buharlaştırmak ve sonra da bu buharı ortamdan uzaklaştırmaktır. Birim zamanda birim alandan buharlaşan su kütlesi kurutma hızını tanımlar. Kurutma hızı ürün kalitesi ve enerji ekonomisi açısından önemlidir. Uygun kurutma hızını elde etmek için örnek kurutma çalışmaları yaparak, değişik kurutma eğrilerini elde etmek gerekir.

Kurutma işleminde, kurutulacak ürünün ağırlığı zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenerek (kuru madde baz alınarak) nem içeriği tespit edilir. Şekil 6.2’de değişim grafikleri görülebilir.



**Şekil 6.2.** a. Ürün neminin zamana bağlı değişimi, b. Kurutma hızının zamana bağlı değişimi, c. Kurutma hızının nem oranına göre değişimi

Bu grafikte C noktası kurutulacak olan tahılın özellikleri ile ilgili birçok faktöre bağlı olan kritik nem miktarını gösterir. Yüzeyde ilk kuru noktanın oluştuğu duruma kritik nokta adı verilir. Kritik nokta aynı zamanda, sabit hızda kuruma periyodunun sonunu, azalan hızda kuruma periyodunun başlangıcını gösterir. Şekil 6.2a'da AB bölgesi ürünün ısınma süresini gösterir. BC bölgesinde buharlaşma, ürünün yüzeyindeki sıvı filmi tabakasıyla gerçekleşir. Şekil 6.2c'de, kurutma hızı eğrisi çeşitli kuruma periyotlarını verir. Başlangıçta nem, doymuş halde bulunan yüzeyden buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Kuruma ilerledikçe doymuş halde bulunan yüzey alanı gittikçe azalır. Bundan sonra maddenin iç kısmındaki suyun buharlaşması takip eder. CD bölgesinde ise ürün yüzeyine difüze olan su buharlaşmaktadır. Bu nedenle BC bölgesinde kurutma hızı sabit olmakta, CD bölgesinde ise değişmektedir. DE bölgesi, ürün içindeki suyun dışarı difüzyonunun azaldığı bölgedir.

#### **6.1.2.1. Sabit kuruma hızı periyodu**

Sabit hızda kurutma periyodunda, sıcak havadan katı maddeye ısı geçişinde azalma olmamasına rağmen, kurutma işlemi ilerledikçe katı içindeki nem miktarında azalma meydana gelir. Bunun sonucunda, yüzeyin devamlı olarak ıslak kalması daha zorlaşır. Sıvı, katı yüzeyini buharlaşma yolu ile terk eder. Bu esnada kılcal kuvvetler sayesinde katı içerisinden yüzeye nem transferi olur. Bu periyotta kuruma, katı yüzeyden hava akımı içerisine kütle transferi şeklinde olur. Havadan katıya olan ısı transferi taşınım olup, iletim ve ışıyım ihmal edilecek düzeydedir.

#### **6.1.2.2. Azalan kuruma hızı periyodu**

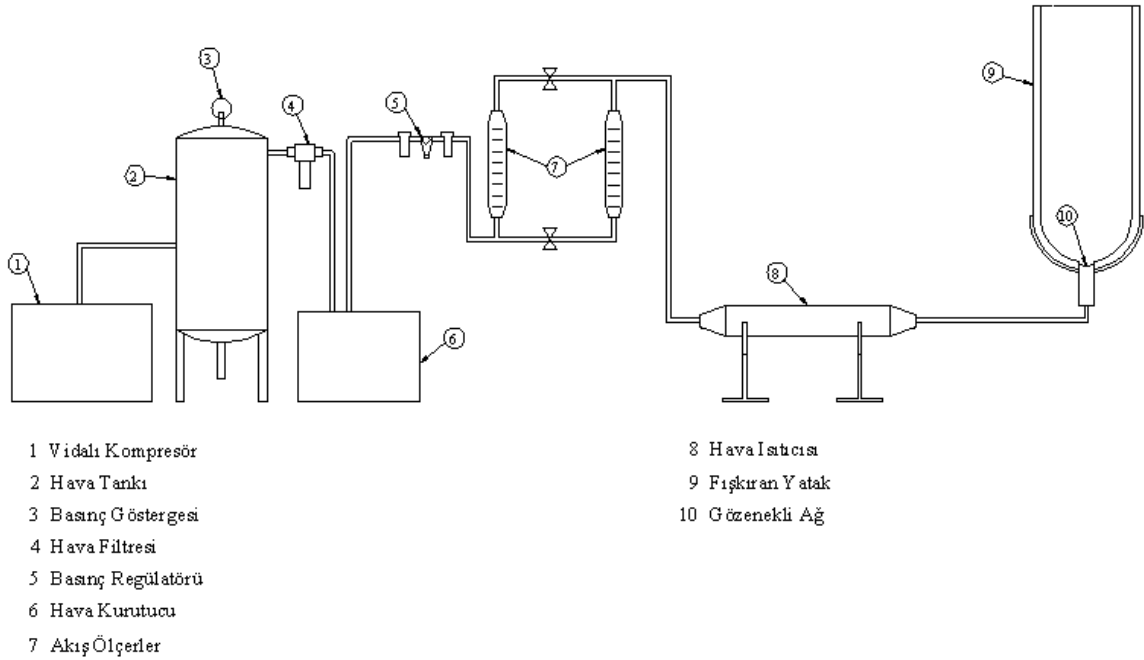
Azalan kurutma hızı periyodunda, yüzeydeki ıslak alan sürekli azalır. Bu durumda kurutma hızı, ürünün iç gözenek yapısının ve katının içindeki nemin yüzeye doğru akmasına neden olan kuvvetlerin etkisi altındadır. Burada, hava hızının kurutma hızına etkisi daha azdır, fakat katının iç yapı özellikleri etkindir. Katı maddenin yüzeyindeki ıslak alan azalır, kuru alan arttığından ötürü, yüzeyin yaş hava sıcaklığında kalmaması söz konusudur. Bu nedenle, kurutma hızının hesaplanmasında katının nem dağılımı yanında sıcaklık dağılımının da göz önüne alınması gerekir.

#### **6.1.2.3. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler**

Kurutulacak ürünün fiziki ve kimyevi yapısı, başlangıç nemi gibi özellikler kuruma hızı üzerinde etkilidir. Kurumanın ilk safhalarında kuruma hızına etki eden en önemli faktörlerden biri, kurutma havasının yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki farktır. Başlangıçta kuruma hızı ile ters orantılı olan yaş termometre sıcaklık farkı sonradan önemini kaybeder ve kurumanın son safhalarında etkisizdir. Hava hızının kuruma hızına etkisi azdır. Hava akımı türbülanslı olduğu müddetçe hava hızının kuruma hızına etkisi önemli miktarda olmamaktadır.

## 7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Kurutmada Paraboloid Tabanlı Fışkırın Yatakların (PTFY) incelenmesi amacıyla kurulan deney düzeneği Şekil 7.1’ de görülmektedir. Vidalı bir kompresör (1) vasıtasıyla yüksek basınçta gönderilen hava önce bir filtreden (4) daha sonra da nem alıcı üniteden (6) geçmektedir. Havanın debisi bir basınç regülâtörüyle (5) kontrol edilerek biri 0–20 m<sup>3</sup>/h diğeri ise 10–100 m<sup>3</sup>/h olan iki rotametre (7) ile ölçülmekte ve hava, içerisinde her biri 1 kW olan ayrı ayrı kontrol edilebilen beş adet çubuk tip ısıtıcı bulunan izolasyonu yapılmış bir hava ısıtıcısında (8) ısıtılmaktadır (Evin ve Tanyıldızı, 2007; Evin et al., 2008).



Şekil 7.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

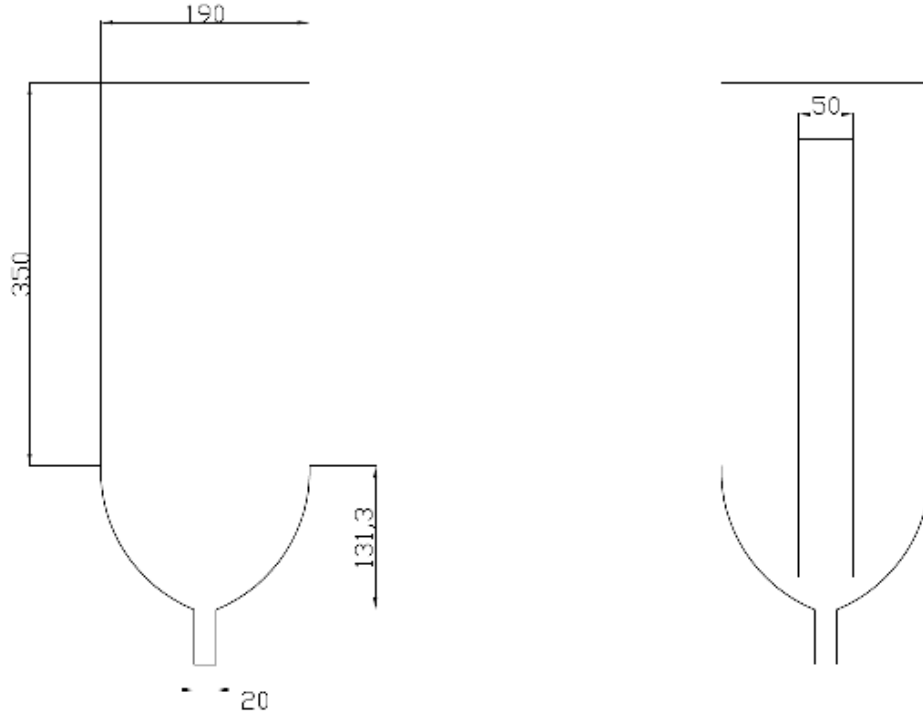
Geleneksel koni tabanlı bir fışkırın yatakta kararlı bir fışkırmaya için aşağıdaki parametreler önem arz etmektedir (Evin ve Tanyıldızı, 2007):

$$D_i/d_p < 25\sim 30, \quad (7.1)$$

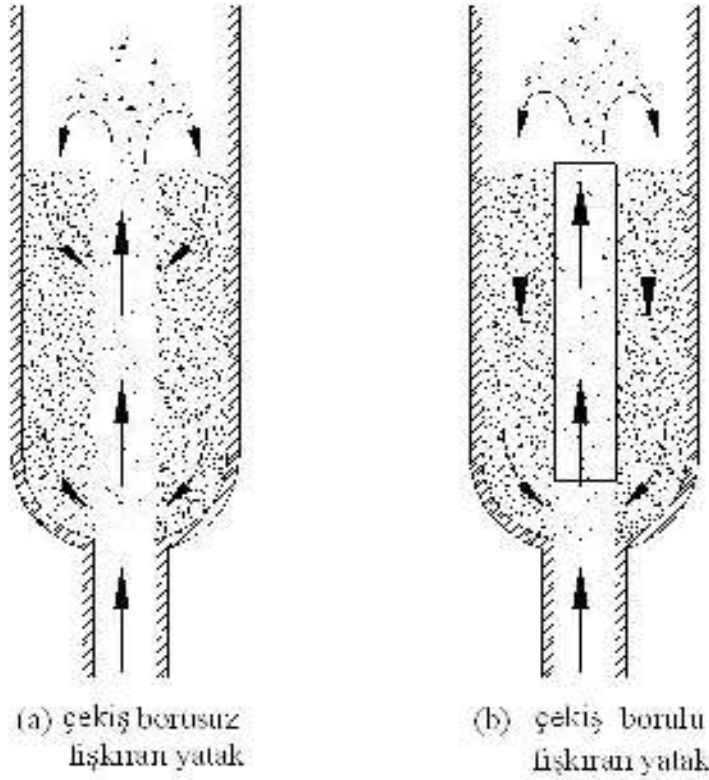
$$D_o/D_i > 3\sim 12, \quad (7.2)$$

$$H < H_m \quad (7.3)$$

Yukarıdaki kriterler de dikkate alınarak şekil 7.2’de gösterildiği gibi üst çapı 190 mm olan paraboloid tabanlı silindirik gövdeli bir fışkıran yatak imal edilmiştir (Evin et al., 2008). Fışkıran yatak polyester malzemeden yapılmış olup giriş çapı 20 mm ve yüksekliği 131.3 mm dir.



**Şekil 7.2.** Çekiş Borulu ve Çekiş Borusuz PTFY’nin ölçekli resmi



**Şekil 7.3.** Fıskıran yatağın çekiş borulu ve çekiş borusuz şematik görünümü

Kurutma deneylerinde Geldart sınıflandırmasına (Geldart, 1986) göre D grubuna ait, fıskırtılabilen, mısır taneleri kullanılmıştır. Mısır tanelerinin başlangıç nem içerikleri bir halojen nem ölçme cihazı (Sartorius MA45) ile kuru baza göre tespit edilmiştir. Kurutma deneyleri için minimum fıskırma hızına bağlı olarak hava debisi ayarlanmış, hava sıcaklığı istenilen değerde sabit tutulacak şekilde sistem sürekli rejime geldiğinde başlangıç nemi ve ağırlığı ölçülen mısır taneleri fıskıran yatağa yerleştirilerek deney başlatılmıştır. Nem içeriğinin zamanla değişimini belirlemek üzere 55 °C ve 75 °C ‘de 10’ ar ve 95 °C ‘de 5’er dakika arayla numune alınarak nem içeriği tespit edilmiş ve bu işlem istenilen nem içeriği elde edilinceye kadar devam etmiştir. Elde edilen veriler ile nem içeriği-zaman grafikleri çizilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan kuru baza göre nem içeriği, mısırdaki su ağırlığının mısırın kuru ağırlığına oranıdır.

$$M_t = \frac{W_s}{W_k} \quad (7.4)$$

Deney sonuçlarına göre kuruma hızı 8.2 numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir (Akpınar ve Biçer, 2002).

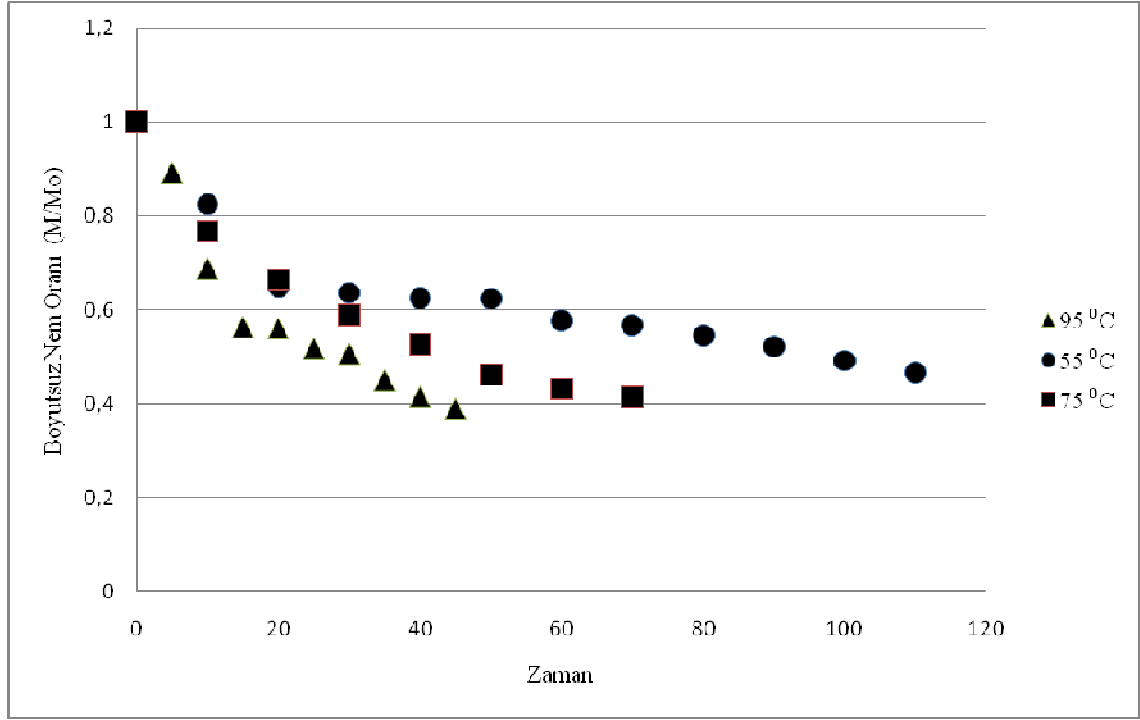
$$\frac{dM}{dt} = \left( \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \right) \quad (7.5)$$

Burada;  $W_s$  su ağırlığı (g su),  $W_k$  mısırın kuru ağırlığı (g katı madde),  $dM/dt$  kuruma hızı (g su/g katı madde.dak),  $M_t$  t anındaki nem içeriği (g su/g katı madde),  $M_{t+dt}$  t+dt anındaki nem içeriği (g su/g katı madde), dt zaman aralığı (dak) olarak ifade edilmektedir.

Yapılan çalışmalarda borulu ve borusuz paraboloid tabanlı fişkıran yataklarda, önce borusuz düzeneğe 55 °C, 75 °C ve 95 °C’de mısırın kurutulması incelenmiştir. Sonra borulu düzeneğe üç ayrı sıcaklıkta çalışmalar yapılmış, numuneler alınmıştır. Yatak yüksekliğinin kurutma performansını incelemek için üç ayrı yatak yüksekliğinde, borusuz düzeneğe ve yine üç ayrı sıcaklıkta kurutma yapılmış, belirli zaman aralıklarında numune alınarak grafikler çizilmiş, mukayeseler yapılmıştır. Mısırın hasat nemine yakın nemlendirilerek borusuz ve borulu düzeneğe, üç ayrı sıcaklıkta deneyler yapılmıştır.

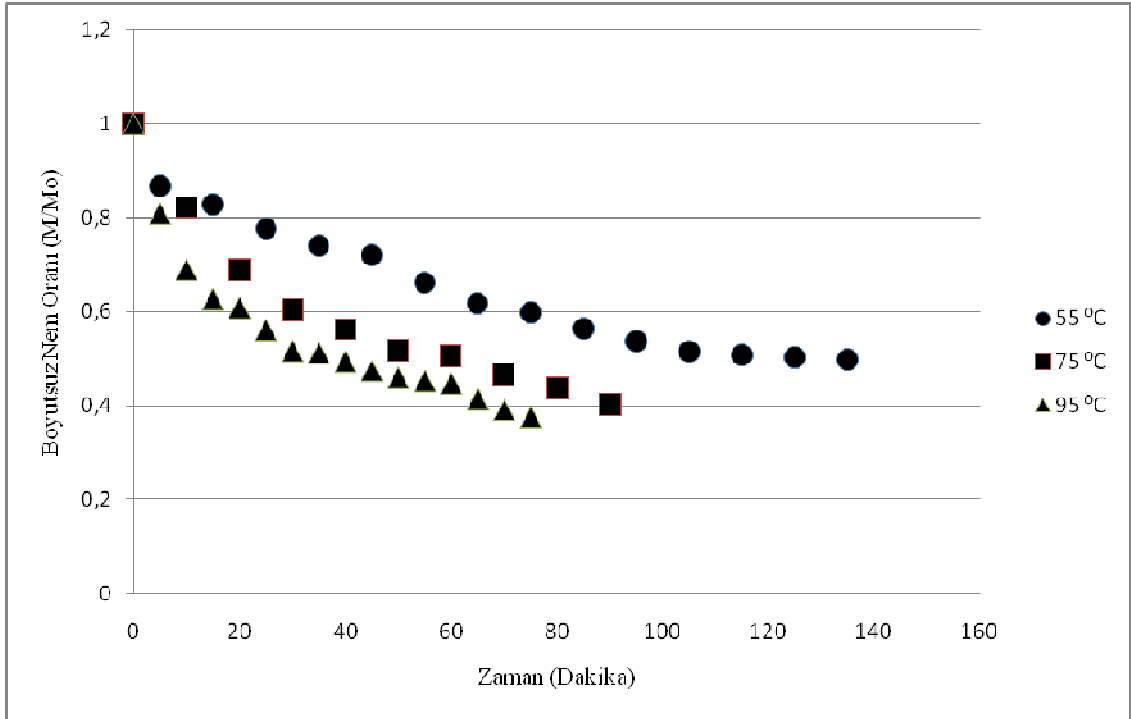
Borusuz düzeneğe 0,3 (kg su/kg kuru madde) başlangıç nemiyle yapılan deneylerde, 85 m<sup>3</sup>/h debide fişkırmaya oluşmuştur. 55 °C ve 75 °C’de 10’ar dakika , 95 °C’de 5’er dakika arayla numuneler alınmıştır. Üç ayrı sıcaklıkta yapılan çalışmalarda en erken kurumanın 95 °C’de, en geç kurumanın 55 °C’de olduğu gözlemlenmiştir. Deneylerde aynı miktarda, 2 kg. mısır kullanılmıştır.

Şekil 7.4’de Çekiş Borusuz PTFY’de yapılan deneyler sonucunda elde edilen Boyutsuz Nem-Zaman Grafiği görülmektedir.



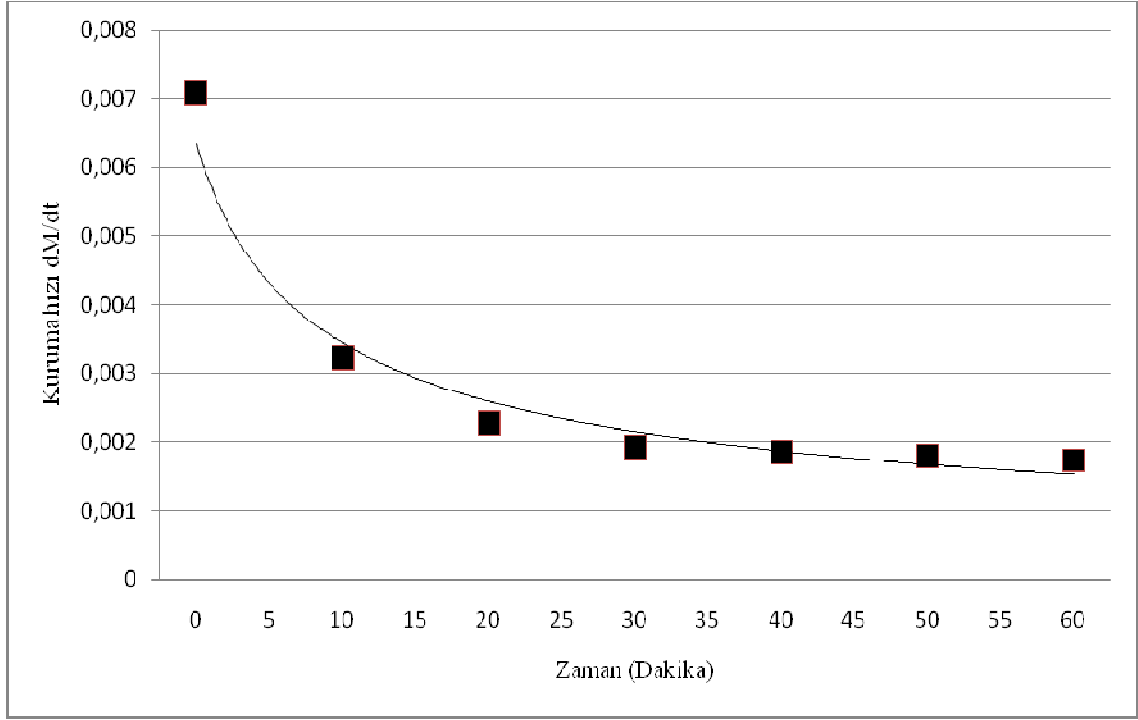
**Şekil 7.4.** Çekiş Borusuz yapılan deneylerde elde edilen Boyutsuz Nem-Zaman grafiği

Çekiş borulu PTFY’da 0,32 (kg su/kg kuru madde) başlangıç nemiyle, kurutma sürelerini görebilmek için yapılan deneylerde yine 2 kg. mısır kullanılmış, fışkırma oluşumu için minimum akış hızı 65 m<sup>3</sup>/h olarak gözlenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda da yine 95 °C’de en kısa kurutma süresi elde edilmiş, yine en uzun kurutma süresi 55 °C’de görülmüştür (Şekil 7.5).

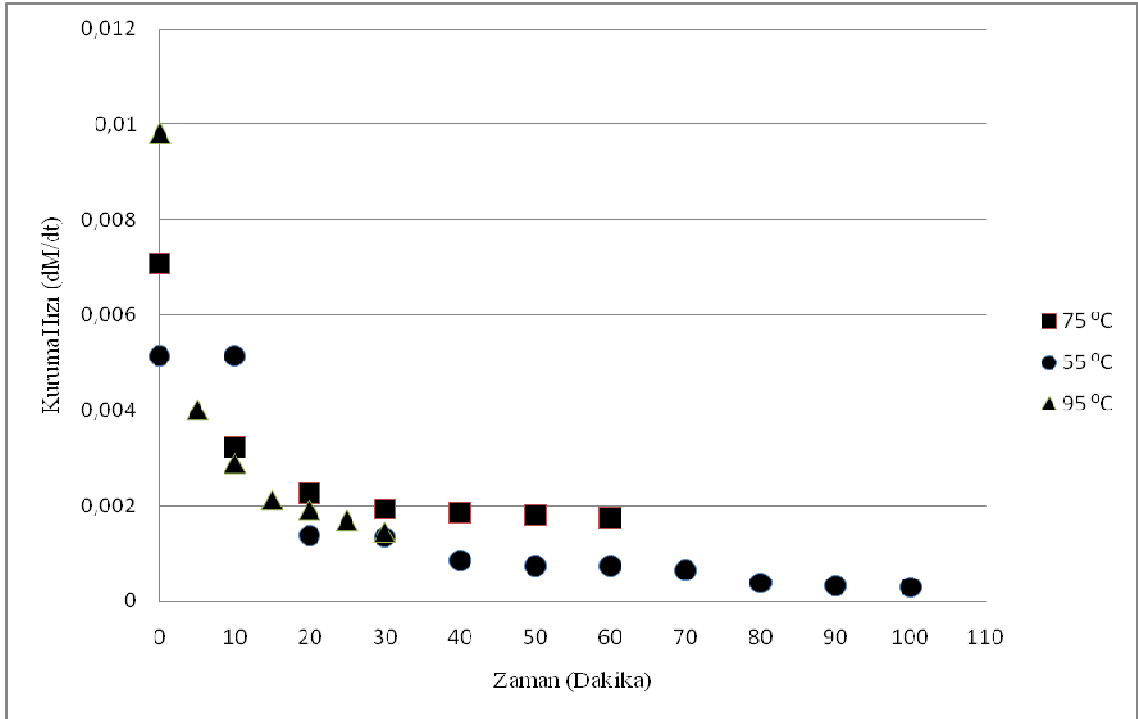


**Şekil 7.5.** Çekiş Borulu yapılan deneylerde elde edilen Boyutsuz Nem-Zaman grafiği

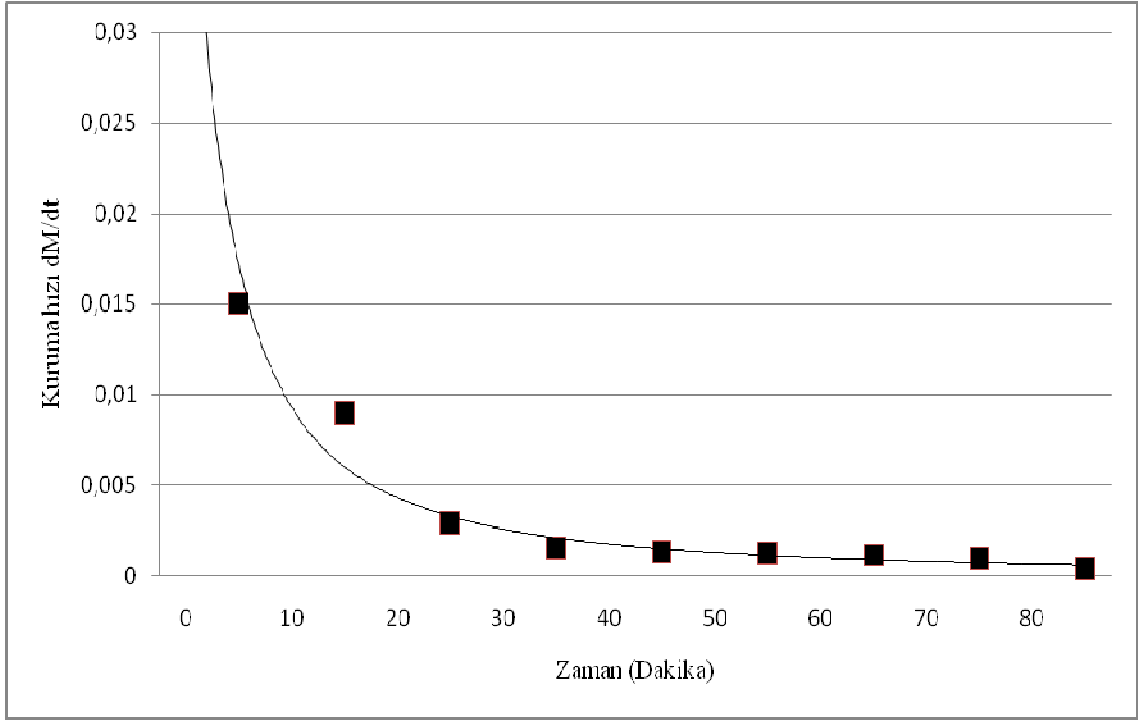
Şekil 7.6' da mısırın çekiş borusuz PTFY' da 75 °C 'de kuruma hızının zamanla değişimi, Şekil 7.7'de her üç sıcaklıktaki kuruma hızları görülmektedir. Şekil 7.8'de ise çekiş borulu PTFY' da 75 °C 'de kuruma hızının zamanla değişimi verilmiştir. Yine Şekil 7.9'da Çekiş Borulu PTFY'da her üç sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda elde edilen kuruma hızı – nem grafiği görülmektedir.



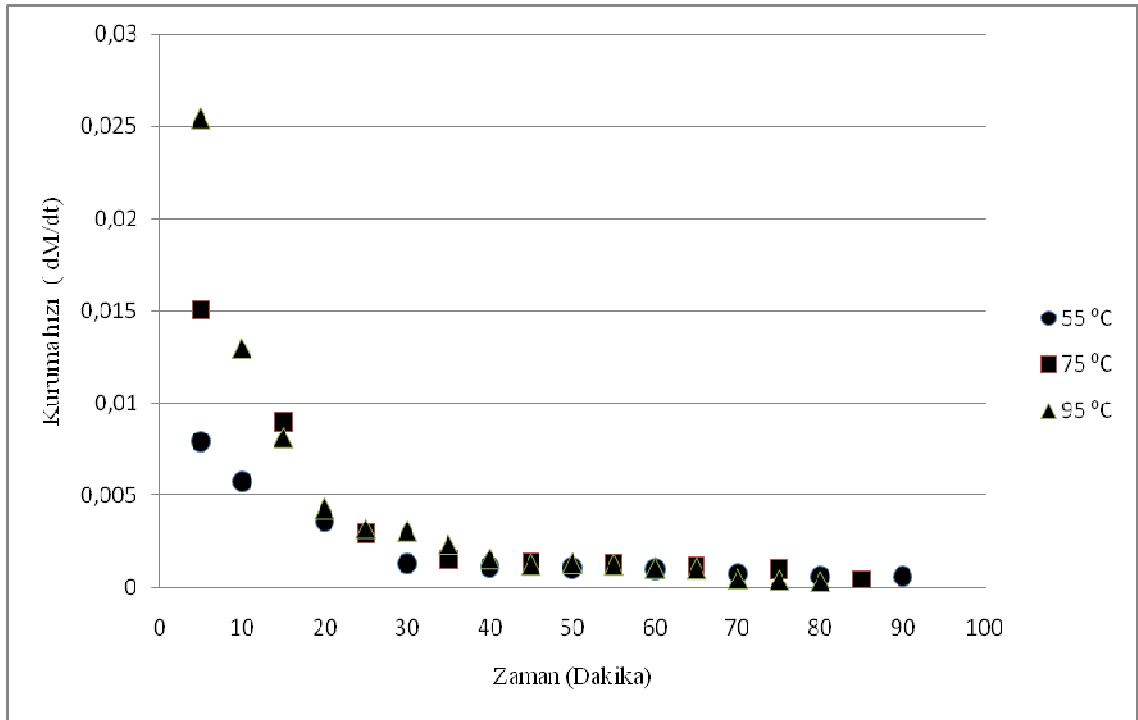
**Şekil 7.6.** 75 °C’de çekiş borusuz PTFY’da mısırın kuruma hızının zamanla değişimi



**Şekil 7.7.** Çekiş borusuz PTFY’da yapılan deneylerde farklı sıcaklıklarda mısırın kuruma hızının zamanla değişimleri



**Şekil 7.8.** 75 °C’de çekiş borulu PTFY’da mısırın kuruma hızının zamanla değişimi



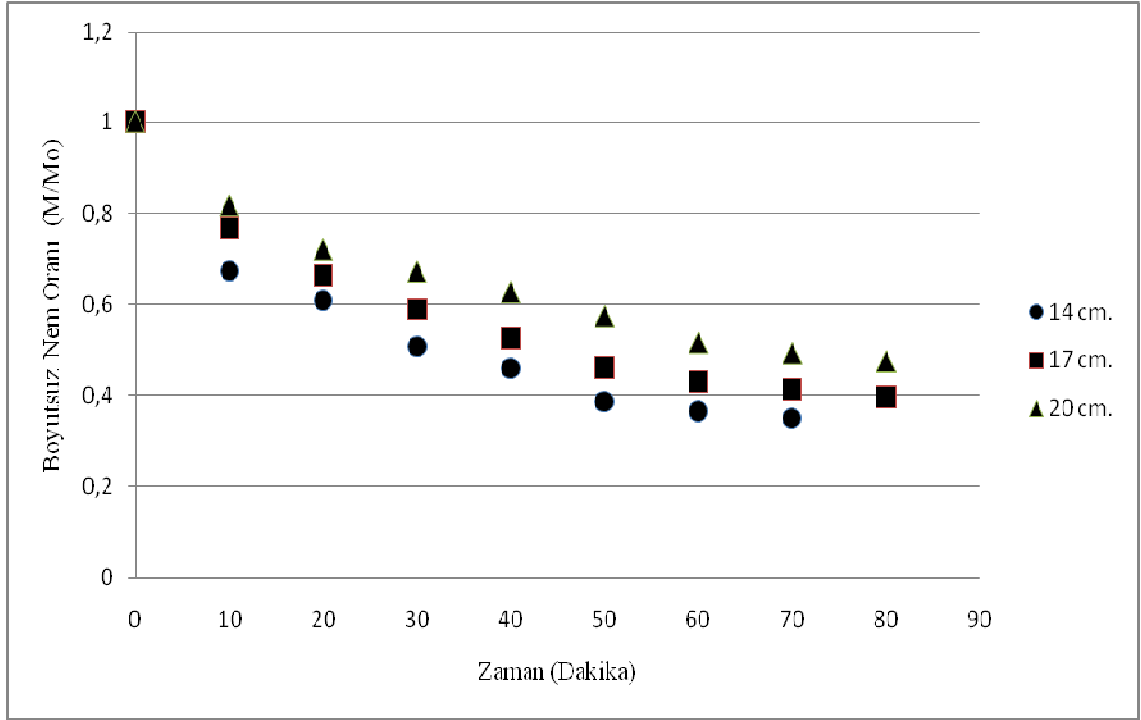
**Şekil 7.9.** Çekiş borulu PTFY’da yapılan deneylerde farklı sıcaklıklarda mısırın kuruma hızının zamanla değişimleri

Paraboloid Tabanlı Fıskıran Yatak deney düzeneğinde farklı yatak yükseklikleri elde etmek için farklı miktarlarda 1,5 kg, 2 kg ve 2,5 kg olmak üzere yaklaşık olarak aynı başlangıç nemlerinde üç ayrı grupta mısır kurutulmuştur.

Tablo 7.1’de görüldüğü gibi, 1,5 kg mısır için 14 cm. yatak yüksekliği elde edilmiş, 75 m<sup>3</sup>/h debide fıskırma elde edilmiş, 2 kg için 17 cm.yatak yüksekliği elde edilmiş, 85 m<sup>3</sup>/h debide fıskırma görülmüş ve 2,5 kg için 95 m<sup>3</sup>/h debide fıskıran yatak elde edilmiştir. Kurutma gazı olarak kullanılan hava, 75°C’de sabit tutulacak şekilde, sistem sürekli rejime geldiğinde başlangıç nemi ve ağırlığı ölçülen mısır taneleri fıskıran yatağa yerleştirilerek deney başlatılmıştır.

**Tablo 7.1.** Farklı yatak yüksekliklerindeki mısır miktarları ve fıskıran yatak oluşabilmesi için gereken asgari debi

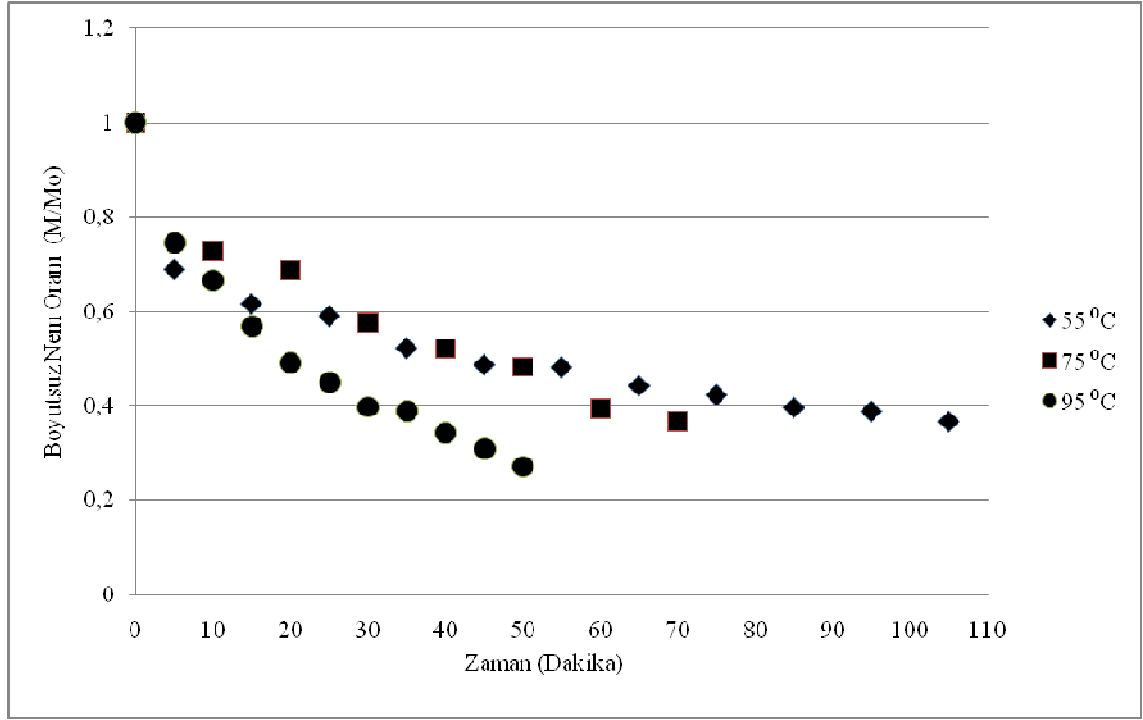
| Ağırlık (kg.) | Yatak Yüksekliği (cm.) | Asgari Debi (m <sup>3</sup> /saat) |
|---------------|------------------------|------------------------------------|
| 1,5           | 14                     | 75                                 |
| 2,0           | 17                     | 85                                 |
| 2,5           | 20                     | 95                                 |



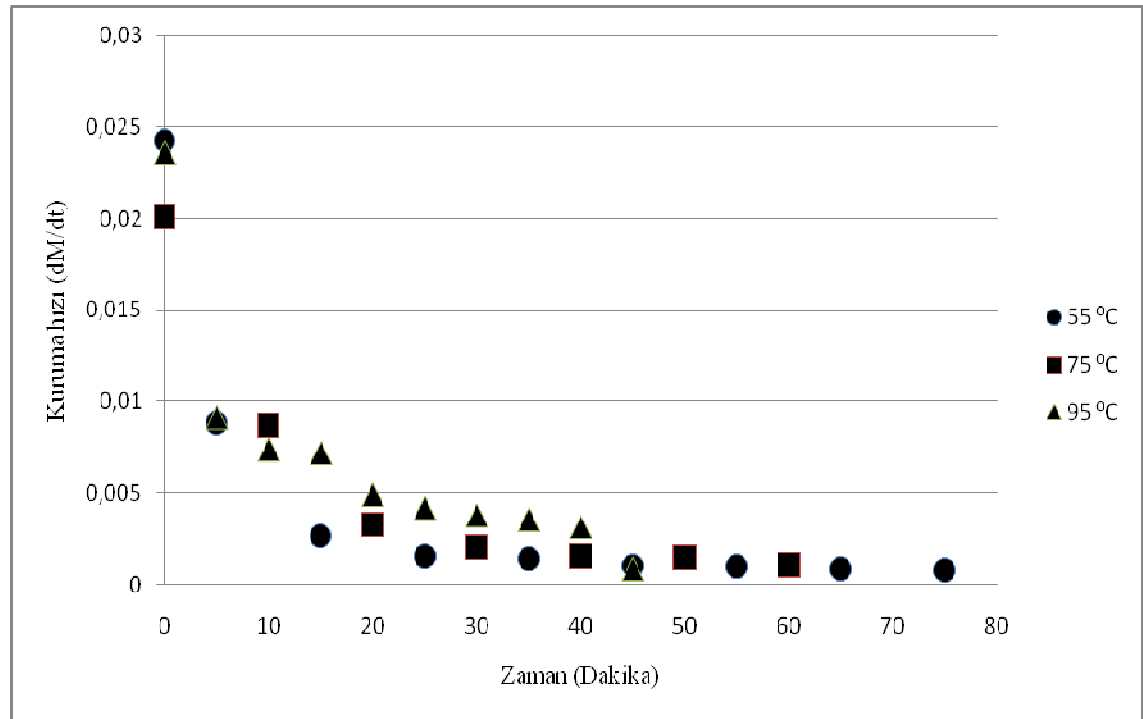
**Şekil 7.10.** Farklı yatak yüksekliklerinde yapılan deneylerde elde edilen Nem-Zaman grafiği

Şekil 7.10’da farklı yatak yüksekliklerinde 0,3 (kg su/kg kuru madde) başlangıç nemiyile yapılan deney sonuçlarında elde edilen Nem Miktarı ve Zaman grafikleri görülmektedir. Yatak yüksekliği arttıkça kuruma süresinin azda olsa arttığı gözlemlenmiştir, fakat yatak yüksekliğinin kuruma süresine kurutucu havanın sıcaklığı kadar etki etmediği görülmüştür. Yatak yüksekliğinin kurutma işlemi için belirgin bir parametre olmadığı anlaşılmıştır.

Şekil 7.11’de ise 0,4 (kg su/kg kuru madde) nem oranından, 0,14 (kg su/kg kuru madde) nem oranına kurutma işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen nem- zaman grafiği görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda kuruma süresinin arttığı görülmüştür. Şekil 7.12’de ise kuruma hızlarının zamana göre grafiği çizilmiş, kuruma hızının başlangıç safhalarında yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 7.11.** 0,4 (kg su/kg kuru madde) başlangıç nemiyle yapılan deneylerde elde edilen Nem-Zaman grafiği



**Şekil 7.12.** 0,4 (kg su/kg kuru madde) başlangıç nemiyle yapılan deneylerde elde edilen kuruma hızı-zaman grafiği

## 8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Fıskıran yatakta mısırın kuruması çoğunlukla fıskırma bölgesinde gerçekleşmektedir. Mısırın kurutma bölgesi dışındaki sirkülasyonu sırasında ise temperlenerek tahıl içerisindeki nem homojen bir şekilde dağılmaktadır. Dolayısıyla, fıskırma kanalından geçen tanenin iç ve dış yüzeyi arasında daha az gerilme oluşmakta ve mısır tanelerinin yüksek sıcaklıklarda zarar görmeden kurumaları sağlanmaktadır. Kuruma hızının konvansiyonel tepsili kurutuculara nispeten çok yüksek ve akışkan yatak ile mukayese edildiğinde nemin uzaklaştırılması için geçen sürenin önemli ölçüde kısa olması fıskırma bölgesinde ara faz yüzeyinin büyük olmasına ve sirkülasyon bölgesinde tanedeki nemin uniform olarak dağılmasına bağlanmaktadır.

Çekiş Borulu ve Çekiş Borusuz PTFY’da yapılan deneyler sonucunda gaz sıcaklığının kurutma süresini etkileyen önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Ayrıca çekiş borusu kullanımının da süreyi önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen grafiklerde de görüldüğü gibi kuruma hızı zamanla azalmaktadır, ancak kurumanın başlangıç safhalarındaki kuruma hızı daha yüksek olup, tüm yüzey nemi buharlaşmaya kadar eksponansiyel olarak azalmaktadır. Fıskıran yataklarda ısı ve kütle transfer katsayıları yüksek olduğundan yüzey neminin buharlaşmasının çok hızlı olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı yatak yüksekliklerinde fıskıran yatak oluşturabilmek için debi arttırılmıştır. Kurutma gazı sıcaklığını sabit rejimde tutabilmek için harcanan enerji miktarı da göz önüne alındığında, hem debi artışı hem de ısıtıcıya verilen enerji açısından sistemin toplam enerji tüketiminin artacağı görülmüştür. Yatak yüksekliğinin artmasıyla kuruma sürelerinde çok az bir artış gözlemlenmiştir. Farklı yatak yüksekliğinin Kurutma Havası sıcaklığı kadar etkili bir parametre olmadığı anlaşılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yatak yüksekliğinin kurutma süresine etki eden çok önemli bir parametre olmadığı düşünülmektedir.

Kuruma katı-gaz sistemleri (Mathur ve Epstein, 1974) içerisinde konvansiyonel fıskıran yatak teknolojisinin Geldart tipi D grubuna ait, nispeten büyük katı partiküller ile

gaz arasında mükemmel temas sağladığı kanıtlanmıştır. Ancak, konvansiyonel fişkıran yatakta yığın halka bölgedeki partiküller yığın bölgenin herhangi bir noktasından fişkırmaya katılabilmekte, bu sebeple partikül hareketi kontrol edilememektedir. Yatak içerisine eksenel olarak yerleştirilecek bir çekiş borusu katı partiküllerin fişkırmaya bölgesine olan bu gelişigüzel katılımını engelleyerek bir avantaj sağlamaktadır. Ancak, kurutma gibi gazın aktif bir rol aldığı uygulamalarda çekiş borusu kullanımında potansiyel bir sınırlama vardır. Zira, çekiş borusu fişkırmaya bölgesinden yığın bölgeye olan gaz sızıntısını engelleyerek, -gerek fişkırmaya gerekse halka bölgedeki gaz-partikül temasına ve ısı transfer katsayısına bağlı olan- net gaz-katı temas verimini azaltacaktır. Çekiş borusu kullanıldığında fişkırmaya bölgesindeki basıncın düştüğü görülmüştür (Evin ve Tanyıldızı, 2007). Bu durum sistemin enerji harcaması açısından avantaj sağlamaktadır.

Özetlenecek olursa; bu çalışmada, paraboloid fişkıran yataklarda kurutma parametrelerinin incelenmesi amacıyla bir kurutma deney düzeneği kurulmuş, çekiş borulu ve çekiş borusuz düzeneklerde kurutma deneyleri yapılmış, farklı yatak yüksekliklerinde deney düzeneğinin kurutma performansı gözlemlenmiş, % 20 ve % 40 nem miktarlarından kurutma yapılarak çalışmalar sonlandırılmıştır. Deneyler sonucunda, çekiş borusuz PTFY’da, 95 °C’de, en kısa kurutma süresi elde edilmiştir. Sonuçlar çekiş borusu kullanımının kuruma süresinde önemli bir artışa sebep olduğunu göstermiş, çekiş borulu ve çekiş borusuz yapılan deneylerde ise kurutucu gaz olan havanın sıcaklığının önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Kuruma hızı grafikleri incelendiğinde başlangıç bölümlerinde daha hızlı kuruma olduğu ve sonlara doğru kuruma hızının azaldığı görülmektedir. Bu durum fişkıran yataklı kurutucuda yüzeydeki nemin daha çabuk buharlaşmasından, iç yüzeyin temperlenerek daha geç kurumasından olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca paraboloid tabanlı fişkıran yataklı kurutucuda hasat nemine yakın nem içeriği (%40-%45) miktarlarından güvenli depolanma seviyesi olan %14 nem içeriğine indirmek için yapılan kurutma işleminde, yine üç farklı sıcaklıkta kurutma yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Deneyler sonucunda başlangıç nemi ne olursa olsun %20 nem içeriğine kadar daha hızlı bir kuruma periyodu gözlenmiş, kurutma işlemi %14 - %12 nem içeriğine erişene kadar daha yavaş ilerleyen bir periyotta seyretmiştir.

## KAYNAKLAR

- Abid M., Gibert R., Laguerie, C.**, 1990, An experimental and theoretical analysis of the mechanisms of heat and mass transfer during the drying of corn grains in a fluidized bed, International Chemical Engineering, 30, 632-642
- Akkiprik C.**, 1970 Vals Tipi Kurutucular ve Termodinamik Hesapları. Müh. ve Mak. C.13 Sayfa 156,
- Akpınar E., Biçer Y.**, 2002, Siklon Tipi Konvektif Bir Kurutucuda Patlıcan Dilimlerinin Kuruma Kinetiğinin Ampirik Bağlantılarla Açıklanması, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 2003/2, 28-37
- Alvarez P., Shene C.**, 1996, Experimental Study of the Heat and Mass Transfer Drying in a Fluidized Bed Dryer, Drying Technology, vol 14 (3,4), 701-708
- Arinze, E.A., S. Sokhansanj, G.J. Schoenau, A.K. Summer.**, 2002, Control Strategies for Low Temperature In-bin Drying of Barley for Feed and Malt Journal of Agricultural Engineering, 58(3): 73-88
- Atagündüz, G.**, 1987, Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları. Ege Üniversitesi Basımevi
- Ayken U.**, 1985, Design and Construction of a Fluidised Bed For Roasting Diced Potatoes, a Masters Thesis, Mechanical Engineering METU, 93 .
- Bilge M.**, 1994, Seramin Kurutma Projesine Teorik ve Deneysel Bir Yaklaşım Termodinamik Dergisi, 49-50
- Can A., Günaçar M., Ergener D.**, 1992, Güneş Enerjisi ile Isıtılmış Hava ile Kurutma Şartlarında Kabak Çekirdeklerinden Nem Transportunun Kinetiği, İTÜ Mak. Fak. 1. Mak. Müh. Kongresi, 102-112

- Chandnani P. P., Epstein N.**, 1986, Spoutability and spout destabilization of fine particles with a gas, Fluidization, eds: Ostergaard K., Sorensen A., Engineering Foundation, New York, . . 233–240.
- Chandra, R., Sodha. M. S.**, 2003, Drying characteristics of coarse agricultural grains. Journal of Food Engineering, 87, 307-314.
- Chandran A.N., Rao S.S., Varma Y.B.G.**, 1990, Fluidized Bed Drying of Solids, AIChE Journal, vol 36, No (1), 29-38
- Cihan, A.**, 1991, Çeltik Kurutmasının Deneysel ve Teorik Araştırılması. Yıldız Üniversitesi. Doktora Tezi
- Cihan. A., Özgür D.**, 1992, Bir Optimum Kurutma Tesisatı Tasarım Önerisi. 5. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi ODTÜ, Ankara
- Claflin J.K., Fane A.G.**, 1983, Spouting with a porous draft-tube, Can. J. Chem. Eng., 61, 356– 363,
- Devahastin S., Mujumdar A.S.**, 2001, Some hydrodynamic and mixing characteristics of a pulsed spouted bed dryer, Powder technology, 117, 189-197,
- Devahastin S., Mujumdar A.S., Raghavan G.S.V.**, 1999, Hydrodynamic characteristics of a rotating jet annular spouted bed, Powder Technology, 103, 169–174
- Dimattia D.G., Amyotte P.R., Hamdullahpur F.**, 1997, Slugging Characteristics of Group D Particles in Fluidized Beds, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 75, 452-459
- Dinçer İ.**, 1992, Soğuk Su Banyosunda Soğutulan Küresel Şekli Domatesin Sıcaklık Dağılımının Belirlenmesi , Mühendis ve Makine Dergisi, 33, 21-26
- Dinçer İ., Erdal Y.**, 1992, Kurutma Prosesinin Analizi, Termo Klima Dergisi, Sayı 10, 38-51

- Doymaz, İ., Pala. M.,** 2003, The thin-layer drying characteristics of corn. Journal of Food Engineering, 60, 125-130.
- Erbil A.Ç.,** ,1998, Prediction of the Fountain Heights in Fine Particle Spouted Bed Systems, Tr.J. of Engineering and Enviromental Sciences, 22, 47-55
- Esin, A.,** 1985, Besin Sanayinde Isıl İşlemler ve Konservcilik. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi. C. 7. Sayı 3., 44-46
- Evin D., Tanyıldızı V.,** 2007, Küresel Tabanlı Fışkıran Bir Yatağın Aerodinamiği, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 25, (1), 67-75
- Evin D., Tanyıldızı V., Gül H.,** 2008, Grain drying in a paraboloid based spouted bed with and without draft tube, Drying Technology, 26, 1577-1583.
- Evranoz, Ö.,** 1984, Gıdalarda Su Etkinliği (Aktivitesi) ve Önemi. TÜBİTAK Mar. Arş. Enst. Gebze-Kocaeli
- Evranoz, Ö., Evranoz, Ç., Tuğal. V., Ve Özil, E.,** ,1984, Kuru ve Kurutulmuş Tarım Ürünlerinin Türk Ekonomisi İçindeki Yeri ve Güneşte Kurutma Uygulamalarının İrdelenmesi. TÜBİTAK Mar. Arş. Enst. Gebze-Kocaeli
- Freitas L.A.P., Freire J.T.,** 1997, Experimental study on the dynamics of a spouted bed with particle feed through the base, Braz. J. Chem. Eng., 14, 3
- Geldart D.,** 1986, Gas fluidization technology, Wiley, New York
- Ghaly, T. F., Sutherland A. J. W.,** 2003, Quality aspects of heated-air drying of soybeans. Journal of Stored Products Research, 19, (1), 31-41.
- Grabowski S., Mujumdar A.S., Ramaswamy H.S., Strumillo, C.,** 1997, Evulation of Fluized Versus Spouted Bed Drying of Bakers Yeast , Drying Technology, 15, (2), 625-634

- Gupta L.N.**, 1975, An Approximate Solution of the Generalized Stefans Problem in Porous Medium , Int. J. Heat and Mass Transfer, 18, 15-25
- Güney M. Ş.**, 2007, Akışkan Yatakta Fındık Kavurma İşleminin Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Hajidavalloo E., Hamdullahpur , F.**, 2000, Thermal analysis of a fluidized bed drying process for crops. Part II: Experimental results and model verification, International J. Energy Research, 24, 809-820
- Haroz, M., Suarez. C.**,1997,Effect of Drying, Initial Moisture and Variety in Corn Wet Milling. Journal of Food Engineering, 34, 473-481
- He, Y.-L., Lim C.J., Grace, J.R.**,1997, Scale up studies of spouted beds, Chem. Eng. Science, 52, 2, 329-339,
- Ishikura T., Nagashima, H. and Ide, M.**, 2003, Hydrodynamics of a spouted bed with a porous draft tube containing a small amount of finer particles, Powder technology, 131, 56-65,
- İzli N.**, 2007, Mısırın Sıcak Hava Akımıyla Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Jing, S., Hu, Q., Wang, J., Jin, Y.**, 2000, Fluidization of coarse particles in gas-solid conical beds, Chemical Engineering and Processing, 39, 379-387
- Johnson, P-N. T., Brennan J. G., Addo-Yobo. F. Y.**, 1998,Air-drying Characteristics of Plantain (Musa AAB). Journal of Food Engineering, 37, 233-242
- Jumah R.Y., Mujumdar A.S., Raghavan G.S.V.**, 1997, A Mathematical Model for Constant and Intermittent Batch Drying of grains in aNovel Rotating Jet Spouted Bed, in Mathematical Modeling and Numerical Technique in Drying Technology, Eds., I. Turner, A.S. Mujumdar, Marcel Dekker Inc. New York

- Jumah R.Y., Mujumdar, A. S., Raghavan, G.S.V.**,1998, Aerodynamics of a novel rotating jet spouted bed, Chemical Engineering Journal, 70, 209-219
- Karataş, Ş., Esin, A.**, 1990, Domates Salçasının Püskürtülerek Kurutulması İçin Yüzey Yapıştırıcılı Bir Kurutma Odası Tasarımı. Doğa Tr.J.Of Engineering and Environmental Sciences (14), 557-567
- Keleş, F.**, 1986, Gıdalarda Enzimatik Esmerleşme ve Kontrolü. DOĞA TU. Tar. Ve Or.D. 11.1.1987
- Kısakürek, B.**, 1980, Kurutma Modelleri. Isı Bilimi ve Tekniği, 2, 37-40
- Korkmaz C.**, 2005, Mısırın Kuruma Davranışının Deneysel Olarak Belirlenmesi ve Değişik Modellerle Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kurtuluş O.**, 2007, Akışkan Yatakta Kurutma Prosesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Küçüka, S.**, 1989, Depo Tipi Bir Mısır Kurutucusu Tasarımı. Müh. Ve Mak., 30, 352
- Lim, C. J., Grace J. R.**, 1987, Spouted bed hydrodynamics in a 0.91 m diameter vessel, Can. J. Chem. Engng., 65, 366- 372,
- Luikov A.V.**, 1975, Systems of Differential Equations of Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Bodies(Review), Int. J. Heat and Mass Transfer, 18, 1-14
- Luikov A.V.**, 1966, Analytical Heat Diffusion Theory, Academic Press Inc., New York,
- Luikov A.V.**, 1966, Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Bodies Pergamon Press, New York
- Mathur K.B.**, Epstein N., 1974, Spouted Beds, Academic Press, New York,

- Mikhailov M.D.**, 1975, Exact Solution of Temperature and Moisture Distributions in a Porous Half-Space With moving Evaporation Front, Int. J. Heat And Mass Transfer, 18, . 797-804
- Mohsenin, N.N.**, 1970, Physical Properties of Plant and Animal Materials. (2nd Ed.).Gordon and Breach Science Publishers, Newyork, Air-dried Bay Leaves, Journal of Food Engineering, 57, 25–335
- Monr, K.H.**, Çeviri Can A., 1992, Kurutma Koşullarında Biyolojik Ürünler İçinden Nem Transportunun Kinetiği. Müh. ve Mak., 33, 392
- Mujumdar A.S.**, 1984, - Spouted bed technology - a brief review, Drying 84, ed: A.S. Mujumdar, Hemisphere, New York, 193-196,
- Olazar M., Alvarez R., Aguado R.**, 2003, Jose M.J.S., Spouted bed reactors, Chem. Eng. Technol., 26, (8), 845-852
- Olazar M., Jose M.J.S., Aguayo A.T., Arendes J.M., Bilbao J.**, 1992, Stable operation conditions for gas-solid contact regimes in conical spouted beds, Ind. Eng. Chem. Res., 31, 1784-1792,
- Olazar M., San Jose M.J., Izquierdo M.A., Salazar A.O., Bilbao J.**, 2001, Effect of operating conditions on solid velocity in the spout, annulus and fountain of spouted beds, Chemical Engineering Science, 56, 3585-3594.
- Özil, E., Özel, S.**, 1987, Kurutmada Güneş Enerjisini Kullanımı. Müh. Mak. C.28, 327
- Özler, S., G. Ergüneş, S. Tarhan**, 2005, Sert buğdaydan yapılmış bulgurun tepsili kurutucuda kurutulması, Osmangazi Üniv. Zir. Fak. Dergisi, 21, (2),160–166
- Sarsılmaz C.**, 1998, Güneş Enerjisi Destekli Kayısı Kurutma Sistemi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- Selbaş R.**, 1998, Akışkan Yataklı Kurutma Sistemlerinin Analizi ve Sunta Kurutulmasında Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Soponronnarit S., Pongtornkulpanich A., Prachyawarakorn S.**, 1997, Drying Characteristics of Corn in Fluidized Bed Dryer, Drying Technology, vol 15, (5), 1603-1625,
- Stanisch M.A., Schafer G.S., Kayihan F.**, 1986, A Mathematical Model of Drying for Hygroscopic Porous Media, AIChE Journal, 32,(8), 1301-1311,
- Sutherland, A J. W., T. F. Ghaly**, 2003, Heated-air drying of oilseeds, Journal of Stored Products Research, 18 (2), 43–54.
- Şengezer, K.**, 1970, Çözümlü Nemliliği ve Nisbi Hava Rutubetinin Dokuma Prosesine Etkisi. Müh. ve Mak., 13, 156
- Tanyıldızı V., İnallı M.**, 1997, Ot Kurutmada Güneş Enerjisinin Dolaylı Kullanımı MAMKON97, İTÜ Mak. Fak.. 1. Mak.Müh. Kongresi, 113-118
- Topuz A.**, 2002, Akışkan Yatakta Fındık Kurutma Prosesinde Isı ve Kütle Geçişinin İncelenmesi , Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Trelea, I.C., , Trystram G., Courtosis F.**, 1996, Estimating Optimal Constrained Non-linear Control of Batch Processes: Application to Corn Drying. Journal of Food Engineering, 31, 403-421
- Uyarel, A.Y., Öz, E.S.**, 1987, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Emel Matbaacılık Sanayi, Ankara
- Ünal A., Daloğlu A.**, 1955, Küresel Şekilli Kompozit Cisimlerde Isı Transferi 10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 139-148

- Ünal, H., Işık E., Alpsoy H.C.**, 2006, Some physical and mechanical properties of black-eyed pea (*Vigna Unguiculata* L.) grains, Pakistan Journal of Biological Sciences, Vol. 9, 1799–1806
- Wang B.X., Fang Z.H.**, 1984, Heat and Mass Transfer in Wet Porous Media and Method Proposed for Determination of the Moisture Transport Properties, Heat and Technology, 2, (1), 29-43
- Whitaker S.**, 1977, Simultaneous Heat, Mass and Momentum Transfer ins Porous Media; A Theory of Drying , Advances in Heat Transfer, 13, 199-203
- Yağcıoğlu, A.,Ü. Evcim.**, 1991,Mısırın kurutulması için gerekli parametrelerin bilgisayar destekli simülasyon yoluyla belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı. Konya, 25–27 Eylül 1991, sayfa.481–488.
- Yıldız, Y., İ.K. Tuncer., Başçetinçelik A.**, 1989, Tane mısırın düşük sıcaklıkta kurutulmasında enerji tüketimi. Tarımsal Mekanizasyon 12. Ulusal Kongresi Bildiri kitabı. Tekirdağ,1–2 Haziran 1989, 44–52

## **ÖZGEÇMİŞ**

5 Eylül 1976 tarihinde Elazığ'da doğdu, ilk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamladıktan sonra 1993 yılında Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek öğrenimine başladı. 2002 yılında mezun olduktan sonra 2003 yılında Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans çalışmalarına başladı. 2004 yılında askerliğini tamamlayıp, 2005 yılında İSDEMİR Demir Çelik İşletmeleri A.Ş.'de Enerji Üretim ve İşletme Mühendisi olarak göreve başladı. 2007 yılı itibariyle BOTAŞ'ta mühendis olarak görevine devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.