

Akışkan Yataklı Sürekli Bir Kurutucuda Göl Tuzu Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi

Investigated By Experimentally for Drying Lake Salt in a Fluid Bed Continuous Dryer

M. Ali ERSÖZ^{a,*} ve Hikmet DOĞAN^b

^aUşak Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü, 64300, Uşak

^bGazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 06500, Ankara

Geliş Tarihi/Received : 23.06.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 02.12.2009

ÖZET

Bu çalışmada, bir akışkan yataklı sürekli kurutucu (AYSK) tasarımı yapılarak prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel alanda kullanılan göl tuzu, bu kurutucuda kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutma sürecinde kurutma havasının hızı, sıcaklığı ve tuzun kütle değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Kurutucudaki kurutma havasının hızı işlem başlangıcında 4.5 m/s olarak ölçülmüş ve tüm deneylerde sabit tutulmuştur. Deneylerde kullanılan göl tuzunun başlangıç nemi $0,044 \text{ g}_{\text{su}} / \text{g}_{\text{kuru madde}}$ olarak belirlenmiştir. Bu tuz, üç farklı kurutma havası sıcaklığında 90 dakikalık kurutma işlemlerine tabi tutulmuştur. 94 °C, 126 °C ve 171 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemleri sonrasında tuzun nemi, sırasıyla 0.033, 0.024 ve 0.009 $\text{g}_{\text{su}} / \text{g}_{\text{kuru madde}}$ 'ye indirgenmiştir. Bu sonuçlardan yararlanılarak tuzda 0.005 $\text{g}_{\text{su}} / \text{g}_{\text{kuru madde}}$ nem miktarına ulaşılabilmesi için kurutma havası sıcaklığının 181.511 °C olması gerektiği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Kurutma, Tuz, Akışkan yatak kurutucu.

ABSTRACT

In this study, a fluid bed continuous dryer was designed and implemented as a prototype. The lake salt used in the industry was carried out the drying process in this drier. The speed and temperature of the drying environment's air and the salt's mass was investigated by experimental. In the beginning, the air speed of the drying was measured 4.5 m/s and it was kept on constant during the experiment. The initial humidity of the lake's salt used in experiments was determined $0,044 \text{ g}_{\text{water}} / \text{g}_{\text{dry matter}}$. The salt was dried with 90 minutes time span for three drying temperatures separately. After the drying processes at 94 °C, 126 °C and 171 °C, the humidities were reduced 0.033, 0.024 ve 0.009 $\text{g}_{\text{water}} / \text{g}_{\text{dry matter}}$ respectively. Using the results data, drying air temperature was determined 181.511 °C for reaching the $0.005 \text{ g}_{\text{water}} / \text{g}_{\text{dry matter}}$ of the salt.

Keywords : Drying, Salt, Fluid bed dryer.

1. GİRİŞ

İnsan hayatı için zorunlu bir ihtiyaç maddesi olan ve ilk çağlardan bu yana başta gıdaların korunması ve tatlandırılması için bir besin maddesi olarak kullanılan tuz, çağımız kimya sanayinin en önemli maddelerinden biridir.

Kübik sistemde kristalleşen tuz, "Na" (Sodyum) ve "Cl" (Klor) iyonlarından oluşmakta ve "NaCl" (Sodyum Klorür) sembolü ile ifade edilmektedir. Yüksek basınç altında plastik özellik gösteren tuzun sertliği 2-2.5 olup, özgül ağırlığı 2.1-2.55 g/cm³ arasında değişir.

Erime noktası 800.8 °C, kaynama noktası ise 1412 °C'dir (Yalçın ve Ertem, 1997).

Tuz, havadaki nemi kapacak kadar higroskopiktir; suda kolayca çözünmesi bu özelliğini yansıtır. Tuzdaki yabancı maddeler ve kil, tuza değişik renkler verir. Tuz beyaz, gri, koyu gri ve siyaha yakın renklere görülmektedir. Molekül ağırlığı 58,454 g/mol olan tuzun ağırlık olarak % 39,34'ü sodyum, % 60,66'sı klor içerir. Tuzun suda erime miktarı sıcaklık ile değişir. Tuz, 0 °C'deki 100 g suda 36 g eriyerek doymuş tuzlu çözelti oluşturulduğu halde, 100 °C'de bu miktar 40

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : maliersoz@hotmail.com (M. A. Ersöz)

g olmaktadır. Yüksek basınç altında tuz plastik özellik gösterir (Ersoy ve Yünsel, 2001).

Bilindiği üzere Türkiye'de ham tuz üretimi 4 değişik doğal kaynak kullanarak yapılmaktadır. Bunlar;

- a) Deniz suyundan tuz üretimi
- b) Göl suyundan tuz üretimi
- c) Kaya (Yeraltı Madencilik) yöntemiyle tuz üretimi
- d) Kaynak (Yeraltı) suyundan tuz üretimidir.

Türkiye'de tuz üretiminin % 63'ü göl, % 30'u deniz, % 6'sı kaya, % 1'i ise kaynak tuzu olarak gerçekleşmektedir (D.P.T. VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı).

Kullanım yerlerine göre tuz tüketimi kimya sanayiinde % 67, besin sanayi ve hayvancılıkta % 5, karayolları kar ve buz mücadelesinde % 15, sofratuzunda % 3 ve diğer endüstriyel kullanım da ise % 10'dur (Madencilik Dergisi). İnsanlık hayat süreci ile iç içe olan tuzun üretimi ve tüketimi bu bakımdan önem kazanmaktadır.

Rutubet miktarı sofratuzlarında ve gıda sanayiinde kullanılan tuzlarında kütlece en çok % 0.5 olmalıdır. Sodyum klorür miktarı; katkı maddeleri hariç olmak üzere sofratuzunda kuru maddede en az % 98, gıda sanayi tuzunda en az % 97 olmalıdır (İnternet, T.C., Resmi Gazete, sayı: 26765, 23.01.2008).

Kimya sanayiinde, insan gıdasında, muhtelif gıda sanayiinde, tekstil-boyama sektöründe ve diğer bazı sanayi sektörlerinde yıkanmış veya rafine tuz olarak, bazı alanlarda ise; ham tuz olarak kullanılmaktadır (Parlak v.d., 2001).

Göl tuzu, diğer tuz üretim kaynaklarında olduğu gibi, havuzlama, çökeltme, toplama, harmanlama, taşıma işlemlerinden sonra ham tuz olarak üretilmektedir. Ham tuz, tuz işletmelerinde kuruluşun yapısına göre değişik şekillerde yapılsa da, istenilen özelliklere getirilirken yıkama, buharlaştırma, öğütme, santrifüjlüme, kurutma v.b. bir takım teknik işlemlerden geçirilmektedir.

Böyle olunca bu işlemler sürecinde bazen, gereğinden fazla zaman ve enerji harcanmaktadır. Fazladan harcanan zaman ve özellikle enerji israfı da tuzun maliyetini yükseltmektedir.

Tuz üretiminde kuruluşun yanı sıra temizliği, diğer madenlerden arılığı ve rengi de önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada; üretimdeki enerji maliyeti ve üretim süreci esas alınarak üretim maliyetinin nasıl düşürüleceğinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. DENEY SİSTEMİ VE METOD

2. 1. Akışkan Yatak Kurutucular

Kurutma, genel olarak ısı yöntemleriyle bir maddenin bünyesindeki su veya uçucu diğer maddelerin buharlaştırılması ve sonrasında bunların ortamdan uzaklaştırılması işlemlerini ifade eder.

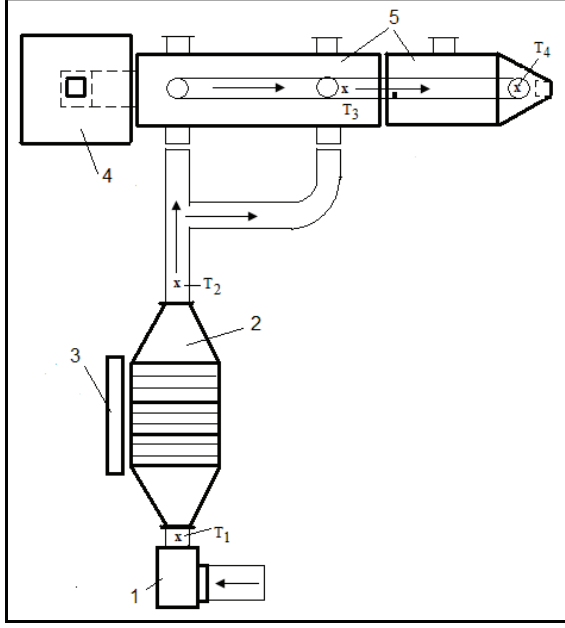
Modern kurutma yöntemleri arasında akışkan yataklı kurutma tekniği önemli bir yere sahiptir (Yüzgeç, 2005). Akışkan yataklı kurutucularda, ürünün silindirik veya küresel tanecik biçiminde olabilmesi için kurutulacak malzeme bir elekten geçirilerek kurutucuya yüklenir. Tanecikli malzeme bu süre içinde akışkanlaştırılmıştır ve malzemenin nemi bir kurutma gazı (genellikle havadır) ile uzaklaştırılır (Bayrock ve Ingledew, 1997). Akışkan yatakta gaz hızı çok önemlidir ve dikkatli ayarlanmalıdır. Toz veya taneli yapıdaki kurutulmuş malzeme ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olmalıdır. Bu nedenle kurutma havası ve tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde gerçekleşir. Bu kurutma sistemi ile büyük sıcaklık farklarında malzemelerin sakınca olmaksızın kurutulması mümkündür. Otomatik yükleme ve boşaltmanın mümkün olduğu bu sistemin en önemli üstünlüğü kurutma işleminin kısa sürede tamamlanmasıdır (Güngör ve Özbalta, 1997).

Akışkan yataklı sistemlerde kurutulmuş malzemelere; kömür, kireç taşı, çimento, kabuklar, dökümhane kumu, fosfat kayası, tuz, bor, plastik, tıbbi malzeme ve hububat örnek olarak verilebilir.

2. 2. Deney Setinin Hazırlanması

Akışkan yatak sürekli kurutucuda tuzun kurutulması için Şekil 1'deki şemada görüldüğü gibi, laboratuvar ölçülerinde bir deney seti kurulmuştur. Kurutma sistemi; silo, kurutma ve soğutma evresinden oluşan akışkan yatak sürekli kurutucu, kurutma havası emiş fanı, ısı üretici, sistem kumanda panosu, akışkan yataklı kurutucu üzerinde egzoz tesisatı ve taşıyıcı sistemden oluşmaktadır.

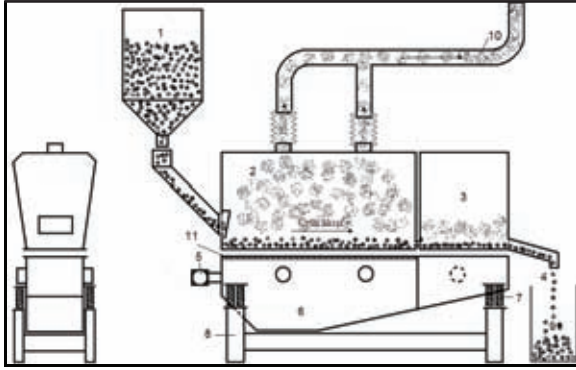
Tuz, metaller üzerinde yüksek oranda aşınma (korozyon) etkisine sebep olduğundan, sistemin bütün devre elemanları krom-nikel alaşım malzemelerden yapılması tercih edilmelidir. Ancak imal edilen bu kurutucu, deney amaçlı olduğundan ve sürekli sistem çalıştırması yapılmayacağından sistem kurma maliyetlerini asgaride tutabilmek için, farklı malzemeler kullanılması tercih edilmiştir.



1. Fan; 2. Isı üretici; 3. Kontrol panosu; 4. Silo; 5. Akışkan yataklı sürekli kurutucu.

Şekil 1. Akışkan yataklı sürekli kurutma sistemi şeması.

Kullanılan elemanların özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen kurutucu, uzun bir süre test edildikten sonra deneylerin yapımına hazır hale getirilmiştir. Akışkan yataklı sürekli kurutucunun elemanları ve kurutma süreci Şekil 2'de görülmektedir.



1. Silo; 2. Kurutma davlumbazı; 3. Soğutma davlumbazı; 4. Ürün boşaltması; 5. Titreşim motoru; 6. Akışkan yataklı sürekli kurutucu gövdesi; 7. Taşıyıcı yay; 8. Taşıyıcı sistem; 9. Kuru ürün toplama kabı; 10. Egzoz; 11. Elek.

Şekil 2. Akışkan yataklı sürekli kurutucu şeması.

Tablo 1. Kullanılan elemanların özellikleri.

Elemanın adı	Özellikleri
Silo	30x30x50 cm ebatlarında 1 mm'lik siyah saçtan imal edilmiştir. Silo dikdörtgen prizma şeklinde olup, ürün boşaltma bölümü ürün akışını kolaylaştırmak için konik olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ürün akış miktarını değiştirebilmek amacıyla boşaltma ağzına kapak konulmuştur. Siloya, belirli süreçlerden (önışlemler, buharlaştırma, öğütme, yıkama, santrifüj v.b.) geçtikten sonra % 6-7 nem oranına ve belirli tane büyüklüğüne getirilen tuz (NaCl) konulur.
Kurutma havası fanı	Fanın giriş ağız çapı 125 mm ve çıkış ağız 90x100 mm dikdörtgen kesitlidir. Fana ait diğer özellikler; DEMSAN Havalandırma San. Tic. Ltd. Şti., 750 m ³ /h, 2483 dev/dak., 180 Watt, 0,8 A, 50 Hz, 130 °C, 63 dBA, 4 kg, 220-230 V, 5/400 MF'dir.
Titreşim motoru	Elektrik motorunun milinin her iki ucuna 10 mm kalınlığında 80 mm çapında alüminyum disk bağlanarak (ağırlık merkezi değiştirilerek) titreşim motoruna dönüştürülmüştür. Elektrik motoru JIAN, 220 V, 50 Hz, 120 W, 1,5 Amps.
Taşıyıcı yaylar	TOFAŞ Şahin marka otomobillerin motorlarında kullanılan supap yayları
Isı üretici	Her bir rezistans gücü 410 W olan 25 adet boru tipi rezistans üretee bağlanmıştır. Boru tipi rezistanslar 3 adet 6 'lı, 1 adet 7'li olmak üzere gruplandırılmıştır. Her bir 6'lı grubun gücü 2460 W, 7'li grubun gücü ise 2870 W'tir. 6'lı gruplardan, 1. grup 1 no'lu, 2. grup 2 no'lu, 3. grup 3 no'lu, 7'li grup 4 no'lu anahtar tarafından kontrol edilmektedir.

2. 3. Tuzun Tam Kuru Ağırlığının Bulunması

Tuz kurutma deneyleri yapılmadan önce bazı ön deneyler yapılarak tuzun tam kuru ağırlığı bulunmuştur.

Tam kuru ağırlığı bulmak için tuz numuneleri, her birine 50 g ıslak tuz konulan 4 ayrı çay tabağı halinde hazırlanmıştır. Tuz konulmadan her bir çelik çay tabağının boş ağırlıkları tespit edilmiştir. Numuneler, 103 ±2 °C'de etüvde birinci aşamada 6 saat süre ile bekletilmiş, daha sonra desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numuneler 0,001 g duyarlılığı dijital ölçüm cihazında tartılarak sonuçlar alınmıştır. İkinci aşamada numuneler, 6 saat etüvde bekletilmiş ve aynı yöntemle sonuçlar alınmıştır. Üçüncü aşamada da numuneler tekrar 6 saat etüvde bekletilmiş ve aynı yöntemle sonuçlar alınmıştır. Numunelere ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tuz numunelerinin kuru baza göre nem miktarı % 4,4 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur.

Numunenin nem içeriği %'de olarak, aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\text{Rutubet muhtevası}(\%) = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1 - M_0} \cdot 100 \quad (1)$$

Tuzdaki kuru esasa göre hesaplanan su oranı için;

$$SO_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (2)$$

Tuzdaki yaş esasa göre hesaplanan su oranı için;

$$SO_{YA} = \frac{YA - KA}{YA} \quad (3)$$

eşitlikleri kullanılır (Ceylan, 2007).

Tablo 2. Tam kuru ağırlığın bulunması için hazırlanan numunelere ait kuruma değerleri.

Numuneler	1.	2.	3.	4.
Dara (g)	57,8	57,8	57,7	57,8
Ürün Miktarı (g)	50,0	50,0	50,0	50,0
Toplam Miktar (g)	107,8	107,8	107,7	107,8
1. 6 saat sonunda ürün miktarı	105,7	105,8	105,6	105,7
2. 6 saat sonunda ürün miktarı	105,7	105,7	105,6	105,6
3. 6 saat sonunda ürün miktarı	105,7	105,7	105,6	105,6
% (g su/g kuru madde)	4,3	4,3	4,3	4,6

2. 4. Deney Planı

Bu çalışmada kullanılan tuz, Koçhisar Tuz Gölü'nden alınan göl tuzu olup, Ankara Cad. No: 124 Şereflikoçhisar/Ankara adresinde bulunan Tekin Tuz Nak. Paz. San. Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir.

Deneylerde kurutmaya tabi tutulan tuz ham tuz olmayıp, belirtilen işletmede, belirli işlemlerden (ön işlemler, evaporasyon, öğütme, yıkama, santrifüj v.b) geçirilerek kurutma şartlarına getirilen tuzdur. Tuz, genelde farklı tane büyüklüklerinde olup, zerrecikler halinde de bulunmaktadır.

Tuz, işletmeden 10 kg'lık plastik bidonlarla silme doldurularak çevre havasının nemini almayacak şekilde kapatılarak deney setinin bulunduğu yere taşınmış ve deneyler yapılıncaya kadar bu bidonlarda muhafaza edilmiştir.

Tuz kurutmalı bütün deneylerde akışkan yataklı sürekli kurutucuya tuz yüklemesi; sistem çalıştırılıp, kurutma havası sıcaklığı denge haline ulaştıktan sonra, yani; sistemin çalışmaya başlamasından 30 dakika sonra ve eşit miktarlarda yapılmıştır. Kuru ürün numuneleri, tuzun akışkan yatağa yüklenmesinden 90 dakika sonra kuru ürün toplama kabında biriken tuzdan, cam kavanozlara silme doldurulup, kavanoz kapakları kapatılarak alınmıştır. Yapılan deneylerin planı Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Deney planı.

Deneyler	Boru tipi elektrikli ısıtıcı gücü (W)	Sisteme hava giriş hızı (m/s)	Titreşim frekansı
1. Deney	4 920	4,5	Sabit
2. Deney	7 380	4,5	Sabit
3. Deney	10 250	4,5	Sabit

Her iki kurutucu modelinde de enerji kaynağı olarak, boru tipi elektrikli ısıtıcılardan yararlanılmıştır. Elektrikli ısıtıcı, 1. kademe 4920 W, 2. kademe 7380 W ve 3. kademe 10250 W olmak üzere üç kademede kullanılmıştır. Deneyler her bir ısıtıcı gücü için ayrı ayrı yapılmış ve tüm deneyler için kurutma süresi, sistemin çalışmaya başlangıcından sürecin tamamlanmasına kadar 120 dakika ile sınırlandırılmıştır. Akışkan yatak sürekli kurutucuda (AYSK) yapılan deneylerde sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı noktalar Şekil 3'de görülmektedir. Yine tüm deneylerde kurutma havası hızı 4,5 m/s olup, bütün kurutma süreçlerinde sabit tutulmuştur. Ayrıca kurutucunun titreşim frekansı tüm deneylerde sabittir. Bu nedenle; yapılan deneylerde kurutma sürecini etkilemeyeceği için titreşim frekansının ölçülmesine ihtiyaç duyulmamıştır.

2. 5. Deneylerde Kullanılan Ölçme Cihazları

Deneyler yapılırken kullanılan ölçme cihazları ve özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Kullanılan ölçme cihazları ve özellikleri.

Ölçme Cihazları	Özellikleri
Hava hızı ve sıcaklık ölçüm cihazı	Testo, sıcaklık -20,+70 °C, hız 0-20 m/s, ölçüm hassasiyeti 0,01 m/s, 0,1 °C, heated wire, NTC sensör.
Dijital tartı	Metler Toledo, Excellence XS6002S model, en yüksek ölçülebilecek miktar 6100 g, ölçme hassasiyeti 0,001g.
Sıcaklık ölçme cihazı	TFA, art. No:30.1018, ölçme aralığı (-20) – (+200) °C ve (-40)-(+392) °F, ölçüm hassasiyeti 0,1 °C, batarya 1,5 V.

2. 6. Gerekli Enerji Miktarının Belirlenmesi

Kurutma uygulamalarında sistem kapasitesi belirlenirken, kurutucuda ihtiyaç duyulacak olan enerji miktarı hesaplanmalıdır. Hesaplanan bu enerjiyi, sistemin ısı kaynağı (ısı pompası, güneş enerjisi, elektrikli ısıtıcı, çeşitli yakıtların kullanıldığı kazanlar gibi) sağlamalıdır.

Akışkan yatak kurutucuda tuzun kurutulması için gerekli olan toplam enerji miktarı;

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \quad (4)$$

olarak kurutucuda harcanan ya da kaybolan ısıların toplanması ile bulunur ve kaybolan ya da harcanan bu ısılarla ait eşitlikler aşağıda sırası ile verilmiştir.

Kurutucu yüzeylerinin ısıtılması için gerekli enerji;

$$q_1 = m_y \cdot c_y \cdot T \quad (5)$$

Kurutma havasının ısıtılması için gerekli enerji;

$$q_2 = V \cdot c_{p,h} \cdot \rho \cdot \Delta T \quad (6)$$

Tuzun ısıtılması için gerekli enerji;

$$q_3 = m_t \cdot c_{p,t} \cdot \Delta T \quad (7)$$

Tuzdaki nemin buharlaştırılması için gerekli enerji;

$$q_4 = S_a \cdot q_{4a} \quad (8)$$

$$q_{4a} = [h''_{ss} - h'_s] \quad (9)$$

Kurutucudan çevre havasına olan ısı kayıplarını karşılamak için gerekli enerji;

$$q_5 = K \cdot A \left[\frac{(T_k - T_{iç})}{2} - T_d \right] \cdot Z \quad (10)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_{iy}} + \frac{1}{\alpha_{dy}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (11)$$

ile bulunur.

2. 7. Belirsizlik Analizi

Belirsizlik analizi elde edilen bilgilerin doğruluk değerlerini belirler. Sistemin değerlendirilmesinde kullanılan ölçüm cihazlarının standart sapmaları dikkate alınarak belirsizlik analizleri aşağıda verilen eşitlikler yardımı ile yapılmıştır (Ceylan v.d., 2007).

$$x_M = \frac{1}{N} \sum x_i \quad (12)$$

$$V = \frac{1}{(N-1)} \sum (x_i^2 - x_M^2) \quad (13)$$

$$S = \sqrt{V} \quad (14)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (15)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R a_i^2 \cdot S_i^2} \quad (16)$$

Eşitliklerde " X_M "; gözlemlerin aritmetik ortalaması, " X_i "; yapılan gözlemler, " N "; gözlem sayısı, " a "; hassasiyet, " S "; standart sapma, " V "; varyans, " U "; belirsizlik olarak verilmiştir.

Sistemin belirsizlik analizi Tablo 5'deki gibi hesaplanmıştır.

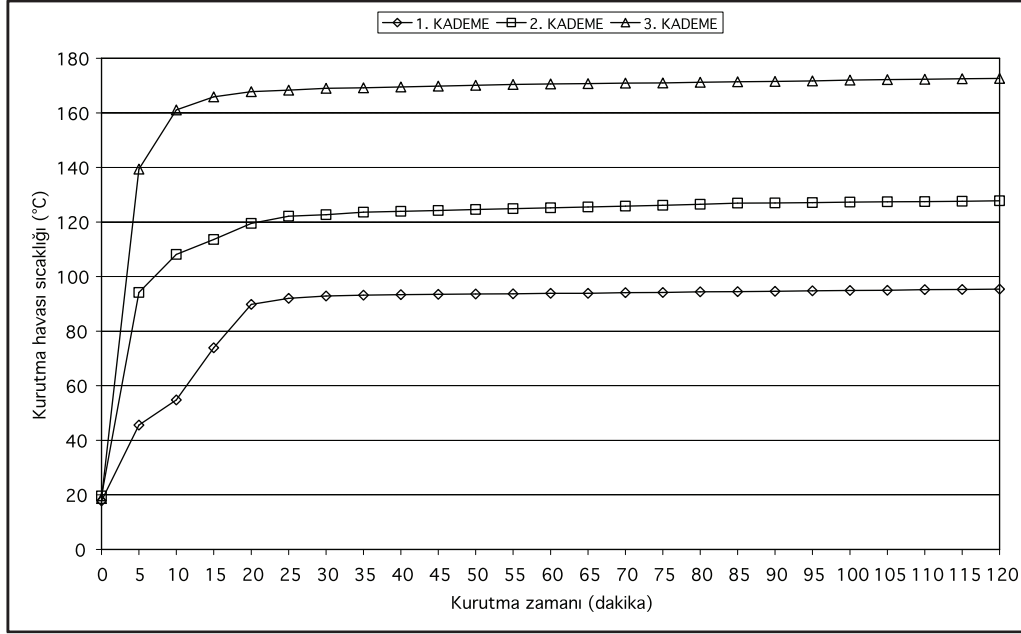
Tablo 5. Ölçü aletlerinin ölçüm hassasiyetleri ve sistemin belirsizliği.

Cihaz	Marka	Ölçüm Hassasiyeti	Belirsizlik
Hava hızı ve sıcaklık	Testo, heated wire, NTC sensör.	Hız= 0-20 m/s hassasiyeti 0,01 m/s	$\pm 0,016$ m/s
Ağırlık ölçüm cihazı	Metler Toledo, Excellence XS6002S	6100 g, ölçme hassasiyeti 0,001g.	$\pm 0,01$ g.
Sıcaklık	TFA, art. No:30.1018	(-20) – (+200) °C hassasiyeti 0,1 °C	$\pm 0,12$ °C

3. BULGULARIN DEĞERLENDİRMESİ

AYSK'da her bir kademede ısıtıcı gücü için elde edilen kurutma havası sıcaklığının zamana bağlı değişimi Şekil 3'de görülmektedir. Tuz, her bir ısıtıcı gücünde ayrı ayrı kurutmaya tabi tutulmuştur.

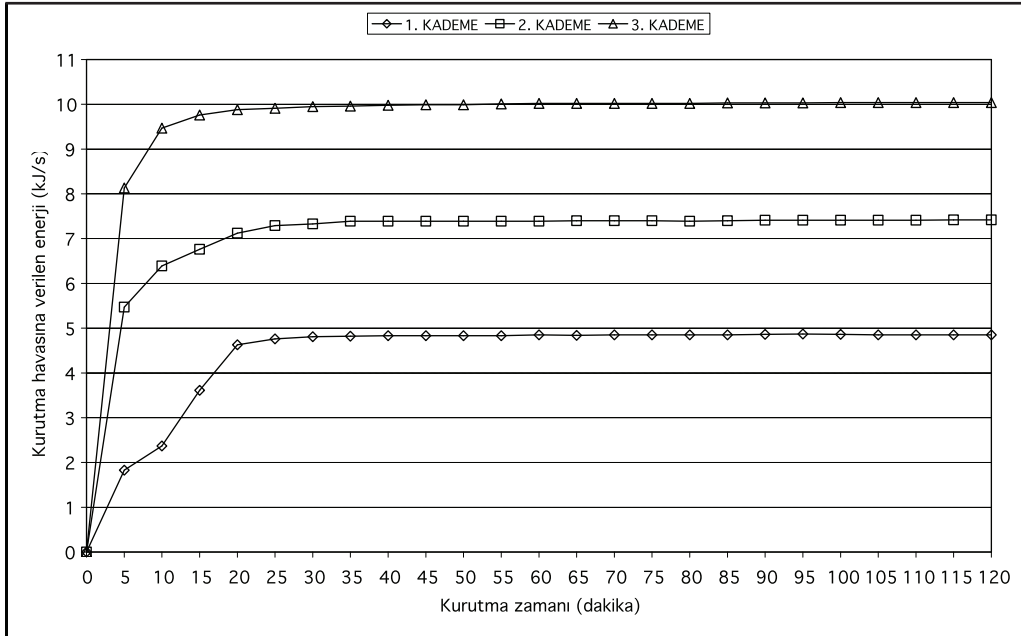
Şekil 3'de görüldüğü gibi her kademede sistemin çalışmaya başlamasından ilk 30 dakika kurutma havası sıcaklık değişimleri yüksek miktarlarda olmaktadır. Yükselme süresinden sonra sistem denge haline kavuşarak, kurutma havası sıcaklığı değişimi birinci kademede 93.2 °C–95.4 °C aralığında artan bir değişim göstermiştir.



Şekil 3. AYSK'da kurutma havası sıcaklığının zamana bağlı olarak değişimi.

İkinci kademede bu değişim 123,6 °C-127,8 °C aralığında, üçüncü kademede 169,2 °C-172,6 °C aralığında olmuştur.

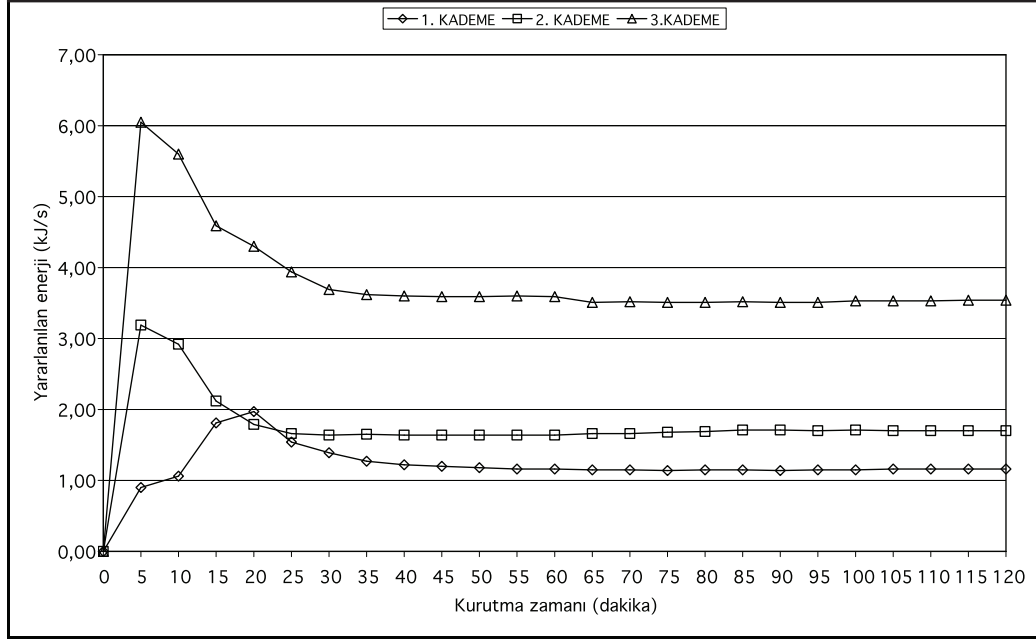
Her bir kademedeki ısıtıcı gücü için kurutma havasına verilen enerji elde edilen deneysel verilere göre Eş. 6'dan hesaplanarak Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. AYSK'da kurutma havasına verilen enerjinin zamana bağlı olarak değişimi.

Akışkan yatak sürekli kurutucuda tuzdaki nemin alınması için yararlanılan enerji Eş. 6'dan hesaplanmıştır.

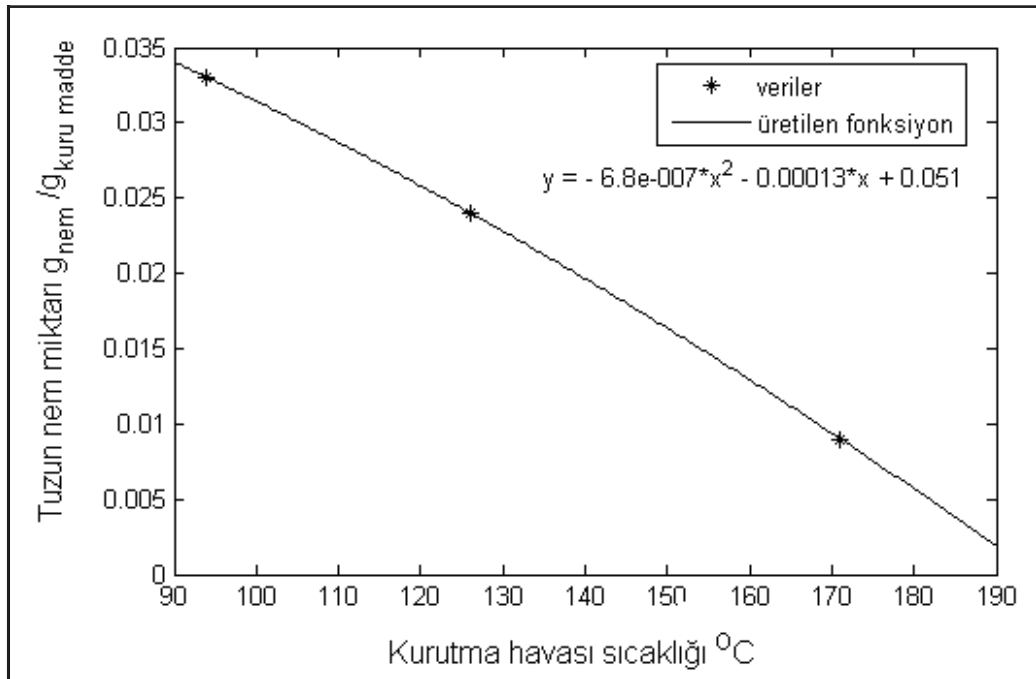
Kurutma zamanına bağlı olarak yararlanılan enerjinin değişimi Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. AYSK'da yararlanılan enerjinin zamana bağlı olarak değişimi.

Şekil 5'de görüldüğü üzere kurutmanın başlangıcında ilk 30 dakikada yüksek oranda enerji kullanımı gerçekleşmiştir. Daha sonra kullanılan enerji miktarı, zamana bağlı olarak azalmakta ve daha sonra denge haline ulaşmaktadır. Kurutma işleminin başlangıcında kullanılan enerjinin önemli bir miktarı akışkan yatağın ısıtılmasında harcadığından enerji kullanımı yüksek oranda olmaktadır. Kurutma sistemi sürekli bir sistem olup, akışkan yatağa sürekli nemli tuz girişi sağlanmaktadır. Bu nedenle yararlanılan enerji bir süre sonra küçük değişim miktarları ile denge haline ulaşmaktadır.

Elde edilen veriler kullanılarak Matlab yazılımı ile sıcaklık-nem ilişkisini gösteren bir fonksiyon elde edilmiştir (Şekil 6). Bu fonksiyondan yararlanılarak Türk Gıda Kodeksi Tuz Tebliğinde (Tebliğ No: 2007/53) belirtilen tuzlarda olması gereken % 0.5 nem miktarına yaklaşık 181.511 °C kurutma havası sıcaklığında ulaşılabileceği belirlenmiştir.



Şekil 6. Matlab yazılımı ile elde edilen sıcaklık-nem grafiği.

4. SONUÇLAR

AYSK'da her bir kurutma havası sıcaklığında yapılan deneylerle 90 dakika sonunda kuru ürün toplama kabında toplanan kurutulmuş tuzdan numuneler alınıp, etüvde 50'şer gram tuz tam kurutmaya tabi tutularak nem içeriği değerleri bulunmuştur. 94 °C kurutma havası sıcaklığında yapılan deneyde kuru olarak alınan numunenin nem miktarı % 3.3, 126 °C kurutma havası sıcaklığında yapılan deneyde kuru olarak alınan numunenin nem miktarı % 2.4 ve 171 °C kurutma havası sıcaklığında yapılan deneyde kuru olarak alınan numunenin nem miktarı % 0.9 olarak tespit edilmiştir. Daha önce belirtildiği üzere kurutulacak tuzun nem içeriği (kuru bazda) % 4.4'tür.

Kurutma süresince yararlanılan enerji ortalama olarak birinci kademede 1.18 kJ/s, ikinci kademede 1.68 kJ/s ve üçüncü kademede ise 3.56 kJ/s bulunmuştur.

Bu sonuçlardan, tuzda $0.005 \text{ g}_{\text{su}} / \text{g}_{\text{kuru}}$ madde nem miktarına 90 dakikalık kurutma süreci sonunda ulaşılabilmesi için kurutma havası sıcaklığının 181.511 °C olması gerektiği hesaplanmıştır.

Benzer bir kurutucuda kurutma konusu üzerine çalışmak isteyenler;

Aynı kurutucuda farklı ürünleri de kurutma işlemine tabi tutabilirler. Kurutma havasının giriş neminin, yatak malzemesinin miktarının nasıl bir etki gösterdiğini de inceleyebilirler.

Aynı sistemde kurutmanın aksine bir nemlendirme sürecine ilişkin araştırmalar yapabilirler.

Kurutma havasının ısıtılması için elektrik enerjisine kıyasla güneş enerjisi veya katı yakıt yanma enerjisi kullanılırsa maliyet açısından ve sürece uygunluk açısından nasıl sonuçlar elde edileceğini araştırabilirler.

Kurutma sisteminden egzoz edilen havanın kazanılması için değişik atık enerji kazanım sistemleri tasarlanarak sistem verimindeki artışın ne kadar olabileceğini inceleyebilirler.

5. SİMGELER

A	:	Kurutucu yüzeyi toplam alanı (m ²)
$c_{p,t}$:	Tuzun özgül ısı (kJ/kgK)
$c_{p,h}$:	Havanın özgül ısı (kJ/kgK).
$c_{p,s}$:	Kuru maddenin özgül ısı (kJ/kgK).
$c_{p,ss}$:	Su buharının özgül ısı (kJ/kgK).
c_y	:	Kurutucu yüzeyinin özgül ısı (kJ/kgK).
d	:	Yüzeyin her bir katmanının kalınlığı (m).
h_s^I	:	Suyun ısı miktarı (kJ/kg).
h_{ss}^{II}	:	Suyun doymuş buhar halinde ısı miktarı (kJ/kg).
K	:	Kurutucu yüzeyinin toplam ısı geçiş katsayısı (W/m ² K).
k	:	Kurutma katsayısı (1/s).
M_0	:	Kuru madde kabının dara kütlesi (g).
M_1	:	Kurutmadan önce numune kütlesi (g).
M_2	:	Kurutmadan sonra numune kütlesi (g).
m_y	:	Kurutucu yüzeyinin kütlesi (kg)
m_t	:	Kurutucudaki tuzun kütlesi (kg)
Q	:	Kurutma için gereken toplam enerji (kJ/s).
q_1	:	Kurutucu yüzeyini ısıtmak için gereken enerji (kJ).
q_2	:	Kurutma havasını ısıtmak için gereken enerji (kJ).
q_3	:	Tuzun ısıtılması için gereken enerji (kJ).
q_4	:	Tuzda nemi buharlaştırmak için gerekli enerji (kJ).
q_5	:	Kurutucudan çevreye ısı kayıpları için gereken enerji (kJ).
q_{4a}	:	Tuzda nemi buharlaştırmak için gerekli enerji (kJ/kg).
S_a	:	Su içerisindeki toplam su miktarı (kg).
T_k	:	Kurutucunun işletme sıcaklığı (°C).
$T_{iç}$:	Kurutma başlamadan önce iç hava sıcaklığı (°C).
T_d	:	Dış hava sıcaklığı (°C).
Z	:	Isıtma süresi (h).
a_{iy}	:	İç ortam ısı taşınım katsayısı (W/m ² K).
a_{dy}	:	Dış ortam ısı taşınım katsayısı (W/m ² K).
λ	:	Yüzeyi oluşturan her bir katmanın ısı iletim katsayısı (W/m ² K).
ρ	:	Havanın yoğunluğu (kg/m ³).
ΔH_v	:	Suyun buharlaşma ısı (kJ/kg).
SO_{KA}	:	Üründeki kuru ağırlığa göre su oranı (g su/ g kuru ağırlık).
SO_{YA}	:	Üründeki yağ ağırlığa göre su oranı (g su/ g yağ ağırlık).
V	:	Kurutucu içerisindeki hava miktarı (m ³).

KAYNAKLAR

- Bayrock, D. and Ingledew, W.M. 1997. "Mechanism of viability loss during fluidized bed drying of baker's yeast", in: Food Research International, 30 (6), 417-425.
- Ceylan, İ. 2007. "Programlanabilir (PLC) Isı Pompalı Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve Kereste Kurutma İşleminde Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 13-33.
- Ceylan, İ., Aktaş, M. ve Doğan, H. 2007. "Isı Pompalı Bir Kurutucuda Kerestelerin Kurutma Sürecinin Belirlenmesi", Gazi Üni., Müh. Mim. Fak. Dergisi, C.22, No: 4, Ankara. s. 847-854.
- D.P.T. VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001. "Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Kimya Sanayi Hammaddeleri, Cilt: 2, Ankara, 93-112.
- Ersoy, A. ve Yünsel, T. Y. 2001. "Çözelti madenciliği ile tuz üretimi", 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir. 208-220.
- Güngör, A. ve Özbalta, N. 1997. "Endüstriyel kurutma sistemleri", III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, İzmir. (2), 737-747.
- İnternet: Tarım ve Köyişleri Bakanlığı "Türk Gıda Kodeksi Tuz Tebliği", T.C., Resmi Gazete, 26765, (23.01.2008).
- Madencilik Dergisi, 1974, Cilt: XIII, Sayı: 5, Ankara. Sayfa 33.
- Parlak, H., Özkan, S. M. ve Ertem, H. İ. 2001. "Sekizinci beş yıllık kalkınma planı", Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayii Hammaddeleri,(Bor Tuzları-Trona-Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat-Stronsiyum) Çalışma Grubu Raporu, Ankara. (2), 93-112.
- Yüzgeç, U. 2005. "Kurutma sürecinin modellenmesi ve akıllı öngörülü denetimi", Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli. 1-35.
- Yalçın, E. ve Ertem, M. E. 1997. "Deniz tuzlarının Türkiye tuz potansiyelindeki yeri", 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir. 208-215.