

# Isı Geri Kazanımlı Akışkan Yataklı Sürekli Kurutucunun Enerji Analizi

M. Ali ERSÖZ  
Hikmet DOĞAN

## ÖZET

*Bu çalışmada, Isı Geri Kazanımlı Akışkan Yataklı Sürekli Kurutucu (IGKAYSK) tasarımı yapılarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu kurutucu, gıdadan kimya endüstrisine kadar birçok alanda kullanılan tuzun, kurutulması deneysel olarak incelenmiştir. IGKAYSK ile Akışkan Yataklı Sürekli Kurutucu (AYSK) karşılaştırılarak enerji analizi yapılmıştır. IGKAYSK'da kurutma havasından kazanılan enerji kurutma havası sıcaklığı yükseldikçe artmıştır. 94 °C yapılan deneyde geri kazanılan enerji 0,37 kW, 126 °C kurutma havası sıcaklığında 0,64 kW ve 171 °C kurutma havası sıcaklığında 1,10 kW olarak tespit edilmiştir. IGKAYSK' da ısı geri kazanım ünitesinin kurutma havasından geri kazanılan enerji miktarı 94 °C kurutma havası sıcaklığı için % 7, 126 °C kurutma havası sıcaklığı için % 8 ve 171 °C kurutma havası sıcaklığı için ise % 10 olmuştur. Sisteme kazandırılan enerji ile kurutma havası sıcaklığı yükseltilecek tuzdan daha fazla nem atılması sağlanmıştır. Böylece aynı miktarda enerji kullanılarak daha kısa sürede ve daha kuru olan tuz elde edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Isı geri kazanım, akışkan yatak kurutucu, enerji

## 1. GİRİŞ

Tüm ülkelerde olduğu gibi, Türkiye'de de enerji ihtiyacının; artan nüfus ve gelişen teknolojiye bağlı olarak artması, buna karşılık bir yandan enerji kaynaklarının kısıtlı olması diğer yandan da enerjinin sağlanması ve kullanılmasında çevre sorunlarının getirdiği sınırlamalar mevcut enerji kaynaklarının kullanımının yanısıra yeni arayışları da beraberinde getirmektedir.

Endüstriyel süreçlerde enerji atıklarının değerlendirilmesi ile enerjinin etkin kullanımı sağlanarak mevcut enerji kayıpları en aza indirilir. Böylece ülkenin ekonomik kalkınmasına ve sosyal refahına önemli ölçüde katkı sağlanır. Enerji tasarrufunun güncel ve önemli bir konu olmasında, çeşitli dönemlerde meydana gelen petrol krizleri sebebiyle enerji maliyetindeki büyük artışların ve enerji kaynaklarındaki azalmanın rolü oldukça büyüktür. Özellikle, Türkiye gibi gelişmekte olan ve enerji açısından büyük ölçüde dışa bağımlı olan ülkeler için bu durum son derece önemlidir [74].

## Abstract:

In this study, heat recovery fluidized bed continuous dryer (HRFBCD) has been designed and manufactured. This apparatus was experimentally used for drying of salt which is used in various areas from food to chemistry. Experimental results getting from HRFBCD and fluid bed continuous dried fluid beds (FBCD) were compared each other and then energy analysis was made. In HRFBCD, the rate of obtained energy in air of drying increased when air of drying increased. Recovered energy achieved at 94 °C, 126 °C and 171 °C were determined 0,37 KW, 0,64 KW and 1,1 KW, respectively. In HRFBCD, the rate of recovered energy acquired from drying air of heat recovery unit for 94 °C, 126 °C and 171 °C were % 7, % 8 and % 10, respectively. Putting out more moisture from salt by increasing the temperature of drying air was provided with recovery energy for system. So, more dry salt in sort time were acquired by using equal quantity of energy.

## Key Words:

Heat recovery, Fluid bed dryer, Energy

Enerjinin etkin kullanılması sonucunda verimlilik artışı meydana gelir. Verimlilik artışı, enerji tasarrufu sağlar. Enerji tasarrufu da enerji arz-talep dengesini düzenler. Savurganlığı kaldırarak, talebin abartılmış biçimde ortaya çıkmasını engeller. Enerji tasarrufu, ekonomik büyümeden ve yaşam koşullarından ödün vererek enerjinin az kullanılması değildir. Enerji tasarrufu, enerji üretim ve tüketiminin maksimum verimle gerçekleştirilmesi, enerji kayıplarının minimuma indirilmesi, ekonomik büyümeyi ve yaşam konforunu engellemeden enerji talebinin kontrol altına alınması ve artış hızının düşürülmesidir.

Enerji tasarrufu enerjinin etkin kullanımı ve verimlilik artışı biçiminde ele alınmalıdır. Enerji tasarrufu sağlanmasında, atık enerjinin geri kazanılması çok önemlidir ve enerji tasarrufunun özüdür.

Endüstride kurutma işlemi uygulayan firmaların kurutma fırınlarıyla ilgili temel beklentileri; fırının teknik açıdan uygulanabilirliği, karmaşık kontrol sisteminden uzak olması ve enerji tasarrufu sağlamasıdır. İlk yatırım maliyetleri yüksek olsa da, bilgisayar kontrollü otomasyon tekniğinin gelişmesi ile kontrol sistemleri çok basitleşmiştir. Böylece, kurutma fırın tasarımında geriye kalan en önemli iki husus fırının teknik özellikleri ve enerji maliyeti olmaktadır.

## 2. KURUTMA

Kurutma, genel olarak bir maddenin bünyesindeki sıvıların alınması anlamına gelir. Bununla birlikte kurutma, katı maddelerden ısı yöntemlerle su veya uçucu diğer maddelerin buharlaştırılması ve sonra da bunların ortamdaki uzaklaştırılması işlemlerini tanımlamaktadır. Kurutma öncesi ısı yöntemleri dışında başka yöntemlerle katı maddeden suyun mümkün olduğunca uzaklaştırılması daha ekonomik bir kurutma işlemidir. Ürünlerin mekanik yöntemler olarak tanımlanan filtreleme, presleme, santrifüjleme, çökeltme, eleme gibi işlemlerle kurutulması daha az enerji ihtiyacı ve uzaklaştırılan birim miktar su için daha az maliyet gerektirmektedir. Kurutulacak ürün mekanik yöntemlere uygun değilse ürüne gaz akımı ile ısı transferi uygulanarak buharlaştırma yolu ile kurutma sağlanır. Transfer edilen ısı ürün içerisindeki nemin buharlaşmasına ve

ortamdan uzaklaştırılmasına harcanır. Bu kurutma işleminde ısı ve kütle transferi aynı anda gerçekleşir. Kurutmada, kurutma gazı olarak genellikle hava kullanılır. Kurutma havasının ya da sıcaklığın artması; kullanılan enerji miktarının artmasına neden olur. Ürün içerisindeki nemin buharlaştırılması için verilmesi gereken enerjinin daha kısa sürede kurutma sistemine verilmesi ise, kurutma süresini azaltır. Kurutma havasının sıcaklığı nemi, ürün içerisindeki nem ise, kuruma hızını belirler. Kurutma havasının neminin azaltılması da bu kurutma hızını artırarak kurutma süresini kısaltır.

Kurutmanın yaygın olarak uygulandığı alanlar; gıda, deri, kimya, tekstil ve orman ürünleri endüstrisi, tarım sektörü ve silah sanayidir. Bu alanlarda kurutma işlemi uygulanarak ürünlerin kalitelerinin iyileştirilmesi yanında, nemden korunması, hacimlerinin ve ağırlıklarının azaltılması, taşıma, depolama, işleme ve kullanım kolaylığı gibi üstünlükler kazandırılır.

## 3. TUZ

Eski çağlardan beri besin maddesi olarak kullanılan tuz, çağımız kimya sanayinin en önemli girdilerinden 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/cm<sup>3</sup> arasında değişir. Erime noktası 800,8 °C, kaynama noktası ise 1412 °C dir [1].

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 renklerde 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. 0 °C'de 100 g suda 36 g tuz eriyerek doymuş tuzlu çözelti oluşturulduğu halde, 100 °C'de bu miktar 40 g olmaktadır. Yüksek basınç altında tuz plastik özellik gösterir [2].

## Makale

Rutubet miktarı sofrta tuzlarında kütlece en çok % 0,5, gıda sanayinde kullanılan tuzlarda ise en çok % 2 olmalıdır [3]. Sodyum klorür miktarı; katkı maddeleri hariç olmak üzere sofrta tuzunda kuru maddede en az % 98, gıda sanayi tuzunda kuru maddede en az % 97 olmalıdır. Sofrta tuzuna 50-70 mg/kg oranında potasyum iyodür (KI) veya 25-40 mg/kg oranında potasyum iyodat (KIO<sub>3</sub>) katılması zorunludur. İyot eklenmesi gıda sanayi tuzunda zorunlu değildir. Tuzda asitte çözünmeyen madde miktarı, asitte çözünmeyen katkı maddeleri hariç olmak üzere kütlece en çok % 0,5 olmalıdır [3]. Tuzda suda çözünmeyen madde miktarı, suda çözünmeyen katkı maddeleri hariç olmak üzere kütlece en çok % 0,5 olmalıdır [3].

### 4. AKIŞKAN YATAK KURUTUCULAR

Küçük katı taneciklerinin, gaz veya sıvı ile temas ettirilerek akışkanların özelliklerine benzer özellikler kazandırma işlemine “akışkanlaştırma” denir [4]. Modern kurutma yöntemleri arasında akışkan yataklı kurutma tekniği önemli bir yere sahiptir [5]. 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 [6]. Akışkan yatakta gaz hızı çok önemlidir ve dikkatli ayarlanmalıdır. Toz veya taneli yapıdaki kurutulmuş malzeme ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olmaktadır. 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 [7].

Akışkan yatak kurutucular, biyolojik ürünlerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin en önemli üstünlüğü yatak içinde tanecik karışımının yüksek seviyede olması ve bu nedenle kurutma için daha homojen bir sürecin meydana gelmesidir. Ürünün aşırı ısınmaması da sistemin diğer

bir üstünlüğüdür. Bundan dolayı ısıya karşı hassas maddelerin kurutulmaları için çok uygundur. Ürün taneciklerinin mekanik olarak zarara uğrama riski, şeklinin değişmesi ve taneciklerin topaklaşım akışkanlığı zorlaştırmaları ise akışkan yataklar için sakınca teşkil etmektedirler [8].

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

## 5. DENEYLERİN YAPILIŞI

### 5.1. Deney Malzemelerinin Hazırlanışı

Bu çalışmada kullanılan tuz (NaCl), 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, buharlaştırma, öğütme, yıkama, santrifüj vb.) geçirilerek kurutma şartlarına getirilen tuzdur. Tuz, genelde farklı tane büyüklüklerinde olup, içerisinde 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 yapılmaya kadar bu bidonlarda muhafaza edilmiştir.

### 5.2. 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 (daraları) 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 duyarlılık 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 Çizelge 1’de verilmiştir. Tuz numunelerinin kuru baza göre nem miktarı; eşitlik 1’den hesaplanarak % 4,4 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur.

Tuzdaki kuru esasa göre nem miktarı;

$$SO_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (1)$$

Tuzdak yağ esasa göre nem miktarı;

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

eşitliği ile bulunur[9].

Isı geri kazanımlı akışkan yataklı sürekli kurutma sistemi Şekil 1’de görülmektedir.

Deney setinin imalatında kullanılan ekipmanların özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Isı Geri Kazanımlı Akışkan Yataklı Sürekli Kurutma Sistemi

Çizelge 1. Tam Kuru Ağırlığı Bulunması İçin Hazırlanan Numunelere Ait Kuruma Değerleri

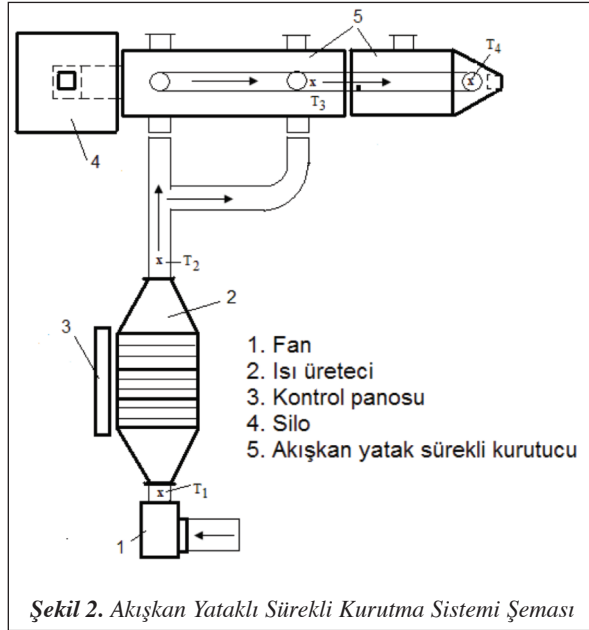
Numuneler	1.	2.	3.	4.
Dara (g)	57,8	57,8	57,7	57,8
Ürün Miktarı (g)	50,0	50,0	50,0	50,0
Toplam Miktar (g)	107,8	107,8	107,7	107,8
İlk 6 saat sonunda ürün miktarı (g)	105,7	105,8	105,6	105,7
İkinci 6 saat sonunda ürün miktarı (g)	105,7	105,7	105,6	105,6
Üçüncü 6 saat sonunda ürün miktarı (g)	105,7	105,7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

Çizelge 2. Kullanılan Ekipmanların Özellikleri

Ekipmanın adı	Özellikleri
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 <sup>3</sup> /h, 2483 dev/dak., 180 Watt, 0,8 A, 50 Hz, 130 °C, 63 dBA, 4 kg, 220-230 V, 5/400 MF’dir.
Isı değiştirici	0,6 HP (441,6 W) Soğutma davlumbazında ve ısı geri kazanım ünitesinde 1 er adet
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
Devir-daim pompası	GRUNDFOS, Type UPS 15-50, No: HRF 310, 220 V, I: 042 A, P: 95 Watt, n: 1700 min-1, Class F
Isı üretici	Her bir rezistans gücü 410 W olan 25 adet boru tipi rezistans üretece 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’tır. 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.

## Makale

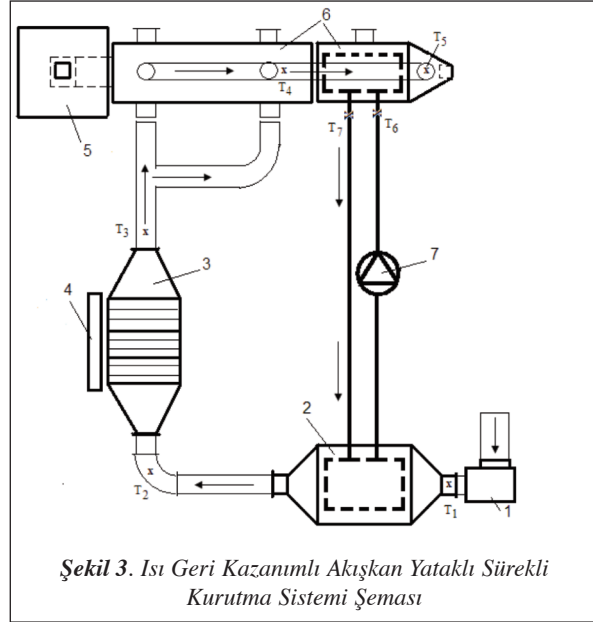
Her iki kurutucu modelinde de enerji kaynağı olarak, boru tipi elektrikli ısıtıcılardan yararlanılmıştır.



Şekil 2. Akışkan Yataklı Sürekli Kurutma Sistemi Şeması

AYSK'da yapılan deneylerde sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı noktalar Şekil 2'de, IGKASYK'da yapılan deneylerde sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı noktalar Şekil 3'de görülmektedir.

Elektrikli ısıtıcılar, 1. kademe 4920 W, 2. kademe 7380 W ve 3. kademe 10250 W olmak üzere üç kademe kullanılmıştır. Deneyler her bir ısıtıcı gücü için ayrı ayrı yapılmış ve bütün deneyler için kurutma süresi, sistemin çalışmaya başlangıcından sürecin tamamlanmasına kadar 120 dakika ile sınırlandırılmıştır.



Yine bütün deneylerde kurutma havası hızı 4,5 m/s olup, kurutma süreçlerinde sabit tutulmuştur. Ayrıca kurutucunun titreşim frekansı tüm deneylerde sabittir. Bu nedenle; yapılan deneylerde kurutma sürecini etkilemeyeceği için titreşim frekansı ölçülmemiştir.

### 5.4. Deney Planı

Yapılan deneylerin planı Çizelge 3'de verilmiştir:

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, tuz akışkan yatağa yüklenmesinden 90 dakika sonra kuru ürün toplama kabında biri-

Çizelge 3. Deney Planı

Deneyler	Kurutma sistemi tipi	Boru tipi elektrikli ısıtıcı gücü (watt)	Sisteme hava giriş hızı (m/s)	Isı geri kazanım ünitesinde kullanılan ısı taşıma akışkanı
1. Deney	AYSK	4 920	4,5	-
2. Deney	IGKAYSK	4 920	4,5	Su
3. Deney	AYSK	7 380	4,5	-
4. Deney	IGKAYSK	7 380	4,5	Su
5. Deney	AYSK	10 250	4,5	-
6. Deney	IGKAYSK	10 250	4,5	Su

ken tuzdan, cam kavanozlara silme doldurulup, kavanoz kapakları kapatılarak alınmıştır.

### 5.5. Deneylerde Kullanılan Ölçme Cihazları

Deneyler yapılırken kullanılan ölçme cihazları ve özellikleri Çizelge 4’de verilmiştir.

## 6. ARAŞTIRMA BULGULARI

Her iki kurutucu modeli için sistemin denge haline varabilmesi, sistemin çalışmaya başlamasından itibaren ilk 30 dakikadan sonra olmaktadır. Bu süreden sonra birinci kademedeki ısı geri kazanım ünitesi ile kazanılan kurutma havası sıcaklığında 4,5 °C – 5,9 °C aralığında artan bir değişim olmuştur. İkinci kademedeki ısı geri kazanım ünitesi ile kazanılan kurutma havası sıcaklığında 8,7 °C – 9,8 °C ve üçüncü kademedeki ise ısı geri kazanım ünitesi ile kazanı-

lan kurutma havası sıcaklığında 14,2 °C – 16,7 °C aralığında değişim gözlemlenmiştir. Yani her iki kurutucuda da eşit miktarda enerji kullanılmasına karşın IGKAYSK ile AYSK’dan daha fazla kurutma havası sıcaklığı sağlanmıştır. Buna göre 120 dakikalık kurutma süreci sonunda birinci kademedeki 5,9 °C, ikinci kademedeki 9,8 °C ve üçüncü kademedeki ise 16,7 °C’lik sıcaklık artışı sağlanmıştır.

AYSK ile IGKAYSK’da aynı ısıtıcı kademelerinde elde edilen kurutma havası sıcaklığının zamana bağlı olarak değişimi karşılaştırmalı olarak Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir.

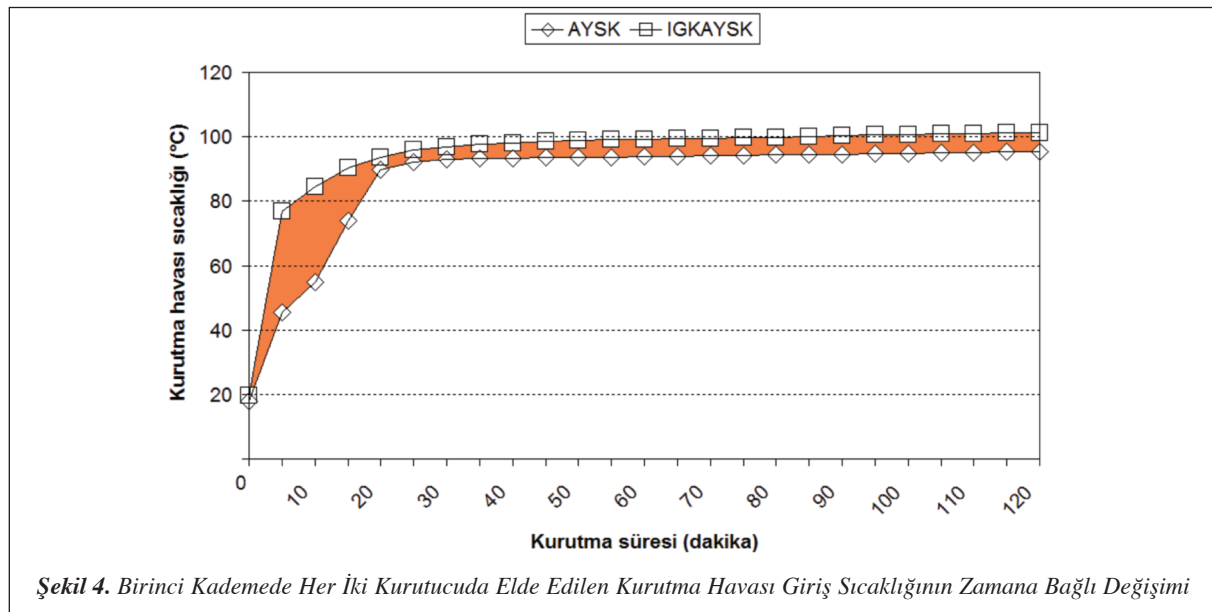
AYSK ile IGKAYSK’da aynı ısıtıcı kademelerinde elde edilen kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak kazanılan enerjinin kurutma zamanına göre değişimi

Çizelge 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*	Elimko, tip E-6700-12, tip J, ölçüm aralığı 0-400 °C, 12 kanallı elektronik sıcaklık ölçüm cihazı.
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.

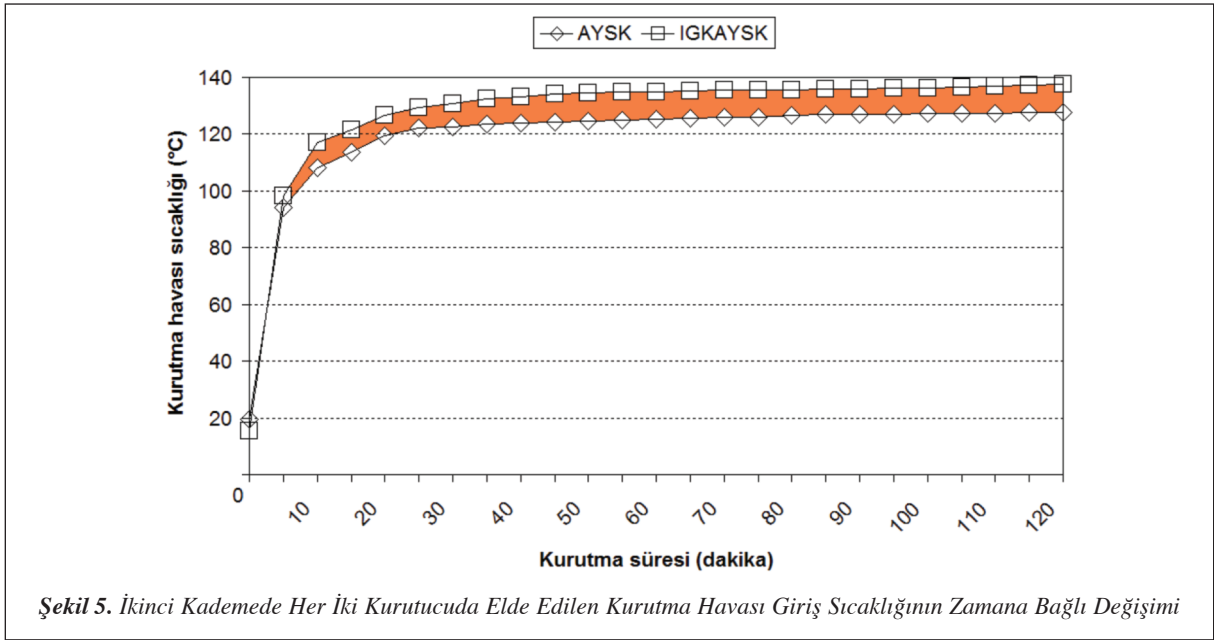
\* Isı geri kazanım devresindeki ölçümlerde kullanılmıştır.

\*\*Akışkan yatak sürekli kurutucudaki ölçümlerde kullanılmıştır.

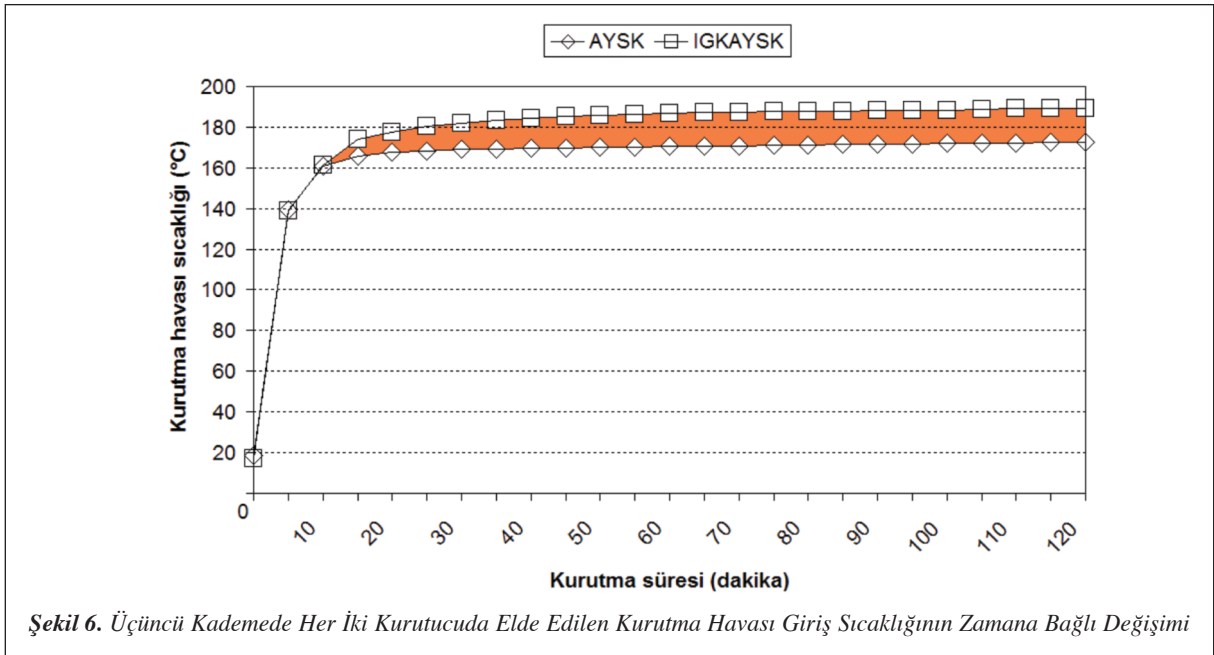


Şekil 4. Birinci Kademedeki Her İki Kurutucuda Elde Edilen Kurutma Havası Giriş Sıcaklığının Zamana Bağlı Değişimi

## Makale



Şekil 5. İkinci Kademedeki Her İki Kurutucuda Elde Edilen Kurutma Havası Giriş Sıcaklığının Zamana Bağlı Değişimi

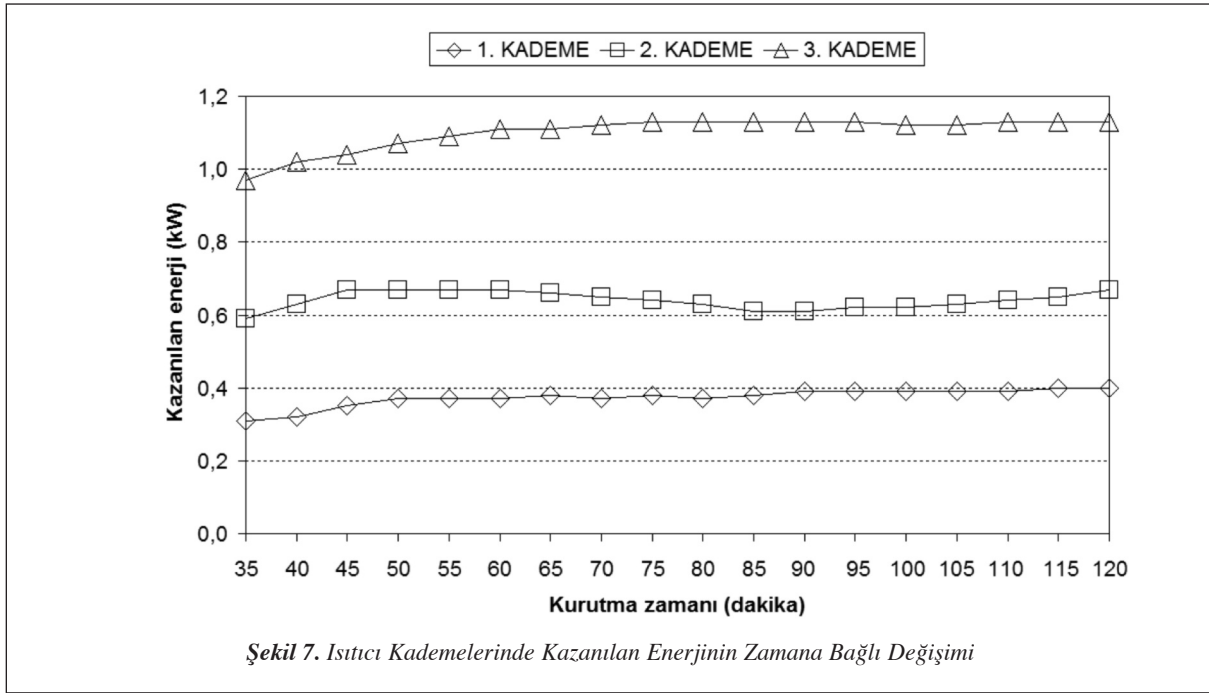


Şekil 6. Üçüncü Kademedeki Her İki Kurutucuda Elde Edilen Kurutma Havası Giriş Sıcaklığının Zamana Bağlı Değişimi

karşılaştırmalı olarak Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7'de görüldüğü üzere kurutma sisteminin çalışmaya başlamasından itibaren geçen ilk 30 dakikalık süre, sistemin dengeye gelmesi için gereken süre olarak kabul edilmiş ve bu süre içinde meydana gelen değişimler grafiğe yansıtılmamıştır. Yine görülmektedir ki birinci kademedeki kazanılan enerjinin zamana bağlı değişimi 0,31-0,40 kW aralığında,

ikinci kademedeki kazanılan enerjinin zamana bağlı değişimi 0,59-0,67 kW aralığında ve üçüncü kademedeki kazanılan enerjinin zamana bağlı değişimi 0,97-1,13 kW aralığında olmaktadır. Buna göre IGKAYSK'da ilave olarak kurutma havasında kazanılan enerji birinci kademedeki ortalama 0,37 kW, ikinci kademedeki ortalama 0,64 kW ve üçüncü kademedeki ortalama 1,10 kW'dır.



## 7. SONUÇLAR

AYSK'da ve IGKAYSK'da eşit miktarda enerji kullanılmasına karşın IGKAYSK'da daha yüksek kurutma havası sıcaklığı elde edilmiştir. Buna göre 120 dakikalık kurutma süreci sonunda birinci kademedede 5,9 °C, ikinci kademedede 9,8 °C ve üçüncü kademedede ise 16,7 °C'lik sıcaklık artışı sağlanmıştır. IGKAYSK'da AYSK'ya ilave olarak kurutma havasında kazanılan enerji birinci kademedede ortalama 0,37 kW, ikinci kademedede ortalama 0,64 kW ve üçüncü kademedede ortalama 1,10 kW olarak tespit edilmiştir.

IGKAYSK'da ısı geri kazanım ünitesinin kurutma havasında kazanılan enerji miktarı birinci kademedede % 7 ikinci kademedede % 8 ve üçüncü kademedede % 10 olmuştur.

IGKAYSK'da, birinci kademedede yapılan deneyde kuru olarak alınan tuz numunesinin nem içeriği % 3,1; ikinci kademedede % 1,9; üçüncü kademedede % 0,4 olarak tespit edilmiştir. IGKAYSK'da, AYSK'ya göre kurutma havası sıcaklıklarının daha yüksek olması nedeniyle birinci kademedede % 93, ikinci kademedede % 79 ve üçüncü kademedede % 44 oranında daha kuru tuz elde edilmiştir.

IGKAYSK'da sisteme kazandırılan enerji ile kurut-

ma havası sıcaklığı yükseltilerek tuzdan daha fazla nem atılması sağlanmıştır. Böylece aynı miktarda enerji kullanılarak aynı sürede daha kuru olan tuz elde edilmiştir. IGKAYSK'da kurutma süreci sonunda yani 120 dakika sonunda ısı geri kazanım ünitesi ile tuzun soğutulmasıyla kazanılan enerji ise, birinci kademedede 0,45 kW, ikinci kademedede 0,64 kW ve üçüncü kademedede 0,84 kW olmuştur. IGKAYSK'da ısı geri kazanım ünitesi ile kazanılan toplam enerji (tuzun soğutulmasıyla kazanılan enerji ile kurutma havasına kazandırılan enerjinin toplamı) birinci kademedede 0,82 kW, ikinci kademedede 1,28 kW ve üçüncü kademedede 1,90 kW olmuştur. IGKAYSK'da ısı geri kazanım ünitesinin enerji verimi birinci kademedede % 16 ikinci kademedede % 17 ve üçüncü kademedede % 18 olmuştur.

Belirtilen sonuçlar dikkate alındığında, ilk yatırım esnasındaki az bir maliyet farkı ile daha az enerji harcayarak, kuru tuz üretim maliyetini düşürmek mümkün olacaktır. Ayrıca; enerji ve özellikle de temiz enerji ihtiyacının gün geçtikçe daha da arttığı dünyamızda, az enerji ile çok iş yapmak oldukça önem kazanmaktadır. Kaldı ki, bu sistem deney amaçlı olduğu için iyi bir yalıtım da yapılmamıştır, bu sebeple; iyi bir yalıtım yapıldığında verimin, yani; enerji tasarrufunun daha da yükseleceği aşikârdır.



**Makale****KISALTMALAR****KA** Kuru ağırlık (kg)**YA** Yaş ağırlık (kg)**SO<sub>KA</sub>** Üründeki kuru ağırlığa göre su oranı (g su/ g kuru ağırlık)**SO<sub>YA</sub>** Üründeki yaş ağırlığa göre su oranı (g su/ g yaş ağırlık)**KAYNAKLAR**

- [1] YALÇIN, E., ERTEM, M. E., “Deniz tuzlarının Türkiye tuz potansiyelindeki yeri”, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 208-215, 1997.
- [2] ERSOY, A., YÜNSEL, T. Y., “Çözelti madenciliği ile tuz üretimi”, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 208-220, 2001.
- [3] İnternet: Tarım ve Köyişleri Bakanlığı “Türk gıda kodeksi sofrta ve gıda sanayi tuz tebliği”, [http://rega.basbakanlik.gov.tr/main.aspx?home=http://rega.basbakanlik.gov.tr/eskiler/2005/01/20\\_050113.html](http://rega.basbakanlik.gov.tr/main.aspx?home=http://rega.basbakanlik.gov.tr/eskiler/2005/01/20_050113.html). T.C., Resmi Gazete, 25699, 13.01.2005.
- [4] TOPUZ, A., “Akışkan yatakta fındık kurutma prosesinde ısı ve kütle geçişinin incelenmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-93, 2002.
- [5] YÜZGEÇ, U., “Kurutma sürecinin modellenmesi ve akıllı öngörülü denetimi”, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-35, 2005.
- [6] BAYROCK, D., INGLEDEW, W.M., “Mechanism of viability loss during fluidized bed drying of baker’s yeast”, in: Food Research International, 30 (6): 417-425, 1997.
- [7] GÜNGÖR, A., ÖZBALTA, N., “Endüstriyel kurutma sistemleri”, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, İzmir, 2: 737-747, 1997.
- [8] KANARYA, A., “Akışkan yataklı kurutma prosesinin matematiksel modellenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, 2-66, 2002.
- [9] CEYLAN, İ., “Programlanabilir (PLC) Isı Pompalı Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve Ke-  
reste Kurutma İşleminde Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13-33, 2007.