



# ISI BORULU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ İLE KURUTMA

**Hikmet DOĞAN**

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Beşevler/Ankara

## ÖZET

Bu araştırmada, kurutmada güneş enerjisinden daha iyi faydalanabilmek için güneş kolektöründe ısı borusu kullanılmıştır. Isı boruları ile güneşten alınan enerji kurutma havasına aktarılmış, bu sıcak hava, kurutulmak istenilen materyalin üzerine salınmıştır. Kurutulmak istenen materyal bünyesindeki su, sıcak havanın etkisiyle buharlaştırılarak, kurutma gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde kurutma olayı güneşin direkt radyasyon etkisinden uzak, gölgede kurutulduğu için, ürün üzerinde, dışarıdaki serbest güneşte kurutmada görülen bazı mahzurlar ortadan kalkmıştır. Ayrıca kuruma süresinin de dışarıdaki serbest kurutmaya göre kısaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Kurutma, Isı borusu, Güneş enerjisi, Güneş kolektörü

## DRYING WITH SOLAR COLLECTOR BY HEAT PIPE

### SUMMARY

In this research, heating pipe was used in the solar collector in order to take better advantage of the solar energy. The energy obtained from the sun was transferred to the drying air by means of heating pipes and this hot air was blown on the material to be dried. The water on the material to be dried vaporised with the effect of the hot air and drying took place. Because drying took place in the shade, distant from the direct radiation effects of the sun, some of the disadvantages seen in drying outside, under the sun were eliminated. Additionally, it was observed that it took less time to dry in this method than it takes to dry under the open sun.

**Key Words :** Drying, Heat pipe, Solar energy, Solar collector

## 1. GİRİŞ

Kurutma, değişik endüstri dallarında önemli yer tutmaktadır. Tekstil sanayi, tütün sanayi, mobilya sanayi, deri sanayi gibi. Ürünün cinsine göre kurutma; ya kurutma odalarında, ya da tabii olarak güneşte bırakılarak yapılmaktadır.

Kurutma, ürün içinde genellikle su halinde bulunan nemin, fiziksel anlamda çekilmesi işlemidir. Kurutma tekniğinin gelişmesinde ürünün cinsi, biyolojik yapısı, güneş kolektörü verimlilik derecesi yanında tabii çevrenin hava sıcaklığı, nemi, rüzgarın varlığı ve hızı, güneşin ışınım yoğunluğu gibi faktörler etkili olurlar (Wieneke, 1972).

Bütün kurutma metotlarında esas olan, kurutulmak istenilen materyal içinde bulunan nemin, öyle ya da böyle alınarak, istenilen değerlere getirilmesidir. Üründeki nemin alınması değişik şekil ve metotlarla yapılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları aşağıda belirtilmiştir:

- Güneşte, açık havada tabii kurutma
- Sıcak hava ile kurutma
- Soğutarak kurutma
- Vakumla kurutma
- Kimyasal maddelerin yardımı ile kurutma.

Bu çalışmada, kurutma sisteminde, güneşten alınan ısı ürün üzerine taşınımını kolaylaştırmak ve sistemin verimini artırmak üzere, ısı borulu güneş

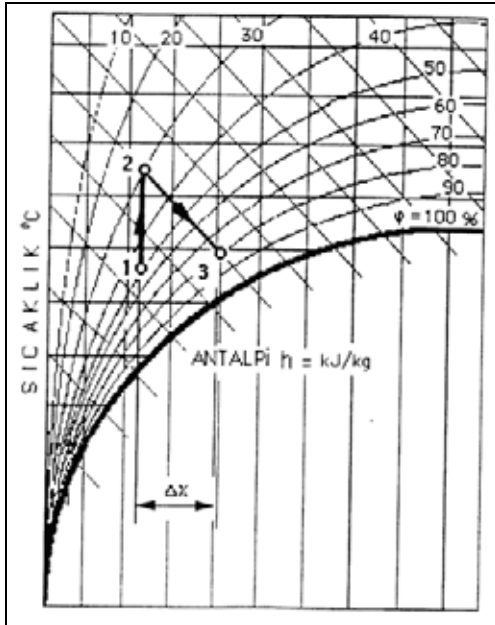
kolektörü kullanıldığı için sadece sıcak hava ile kurutmadan bahsedilmiştir.

### 1. 1. Sıcak Hava İle Kurutma

Sıcak hava ile kurutma metodunda hava, her hangi bir ısı kaynağından faydalanılarak ısıtılmaktadır. Isıtılan hava kurutulmak istenen ürünün üzerine gönderilerek içindeki nemin ısıtılarak buharlaşması sağlanmaktadır.

Bu sistemde ısı borularının soğuk bölgesinde, ısı yönden iyice yüklenen hava, kurutma hücresine gelerek, kurutulmak üzere bulunan materyali ısıtarak, yapısında bulunan suyun buharlaşıp, havaya geçmesini sağlamaktadır. Burada iç enerjisi yükselmiş olan hava dışarı atılırken, dışardan yeniden mutlak nemi düşük hava alınıp ısıtıldığında bağıl nemi iyice düşmektedir. Nem yönünden fakirleşen bu hava tekrar kurutulan materyalin üzerine gelince, onu ısıttığından buharlaşma işlemi devam etmektedir. Buhar haline gelen su da kurutma hücresinden alınarak hava ile dışarı atılmaktadır.

Şekil 1'deki h, x diyagramında görüleceği üzere; sıcak hava ile kurutmada, önce 1 noktasında bulunan hava (dışarıdan alınan normal şartlardaki hava) ısı borularının kanatçıklarının bulunduğu kanaldan geçerken 2 noktasına kadar ısıtıldığında, bağıl neminin düştüğü görülmektedir.



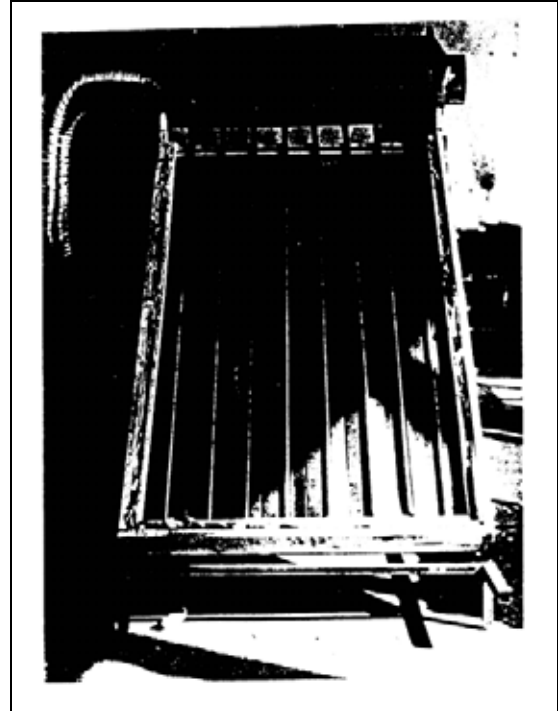
Şekil 1. Sıcak hava ile kurutmanın h, x diyagramındaki gösterilişi

Bu demektir ki, hava mevcut nemi ile ısıtıldığından, sıcaklığı yükseldiği için 2 noktasına geldiğinde 1 noktasına göre nem alma yeteneği daha da

artmaktadır. Bu hava kurutulacak olan materyalin üzerine gönderildiğinde 2 noktasından 3 noktasına gelirken, hem üründen nem çekmekte ve hem de sıcaklığı ürünün sıcaklığına düşerek sistemi terk etmektedir.

## 2. PİLOT KURUTMA TESİSİ

Meyve ve sebze kurutma amacı ile bu yazıda anlatılanlara uygun bir prototip deney sistemi, Şekil 2'de görüldüğü gibi yapılarak deney için hazırlanmıştır.



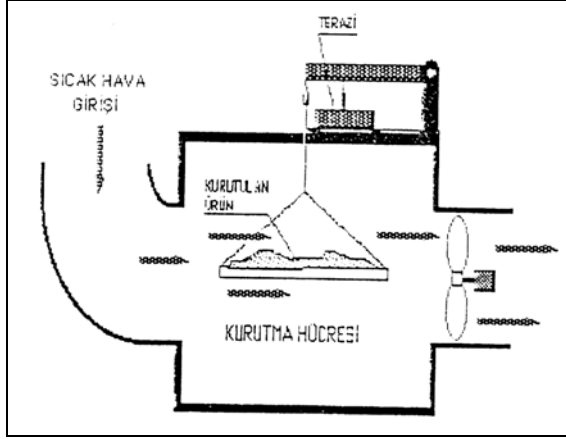
Şekil 2. Isı borularının kanatçılı kısımlarının hava kanalına yerleşimi

Sistem, şekillerden de anlaşılacağı üzere; bir ısı borulu güneş kolektörü, bir kurutma hücresi, bir hava dolaşımını sağlayan fan ile hücre çıkışına yerleştirilen (kurutma havasındaki nemi çekebilme için) evaporatörden oluşmaktadır. Girişte bahsedilenlere uygun olarak, ısı borularının soğuk bölgesine ısı taşınım yüzeyini artırmak amacı ile kanatçıklar yapılmış ve hava kanalının içine yerleştirilmiştir. Kanatçılı kanal, izole edilmiş başka bir kanal ile kurutma odasına bağlanmıştır. Isınan hava yukarıda olduğu için, tabii dolaşım mümkün olmayacağından, hücre çıkışına konulan bir fanla havanın cebri olarak dolaşımı sağlanmıştır.

## 3. DENEYİN YAPILIŞI VE KOLLEKTÖR VERİMİ

Kollektör ve deney seti veriminin tespitinde, ısı boruları aracılığı ile güneşten alınan ve kurutma havasına aktarılan faydalı ısı enerjisi esas alınmıştır.

Kurutma hücresi içerisine 7 adet pamuklu havlu iyice su emdirilerek asılmış ve sistemin 1 saat çalışması sonunda havluların toplam ağırlığı 1430 g azaldığı tespit edilmiştir. Bu demektir ki; havlulardan 1 saatte 1430 g su çekilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Kurutma hücresi ve ağırlık tespiti

Buna göre, 1430 g suyun üründen çekilebilmesi için ihtiyaç duyulan enerji;

$$Q = m \times r \quad (1)$$

$$\begin{aligned} m &= \text{Çekilen suyun kütlesi (kg/h)} \\ r &= \text{Suyun buharlaşma özgül ısısı (1 bar basınçta,} \\ &= 2256 \text{ kJ/kg) (Baehr, 1961).} \\ Q &= 1.430 \text{ kg/h} \times 2256 \text{ kJ/kg} \\ Q &= 3226.08 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

olarak bulunur.

Isı borulu güneş kolektörü ile güneşten kazanılan faydalı enerji için, aynı gün Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü rasat verilerine göre, kollektör yüzeyine gelen güneş radyasyonunun en yüksek değerleri, deneyin yapıldığı gün ve saatte (Ankara 03.10.1994, saat 14<sup>00</sup>), direkt radyasyon 751 W/m<sup>2</sup> ve diffüz radyasyonu da 77 W/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Bu değer, yatay düzleme gelen güneş radyasyonudur. Sistemin güneş kollektörü yatay düzleme 45<sup>0</sup> eğik konumdadır. 45<sup>0</sup> eğik yüzeye gelen güneş radyasyonunu bulmak için aşağıdaki eşitliklerden faydalanılmıştır (Zarem and Erway, 1963; Kılıç ve Öztürk, (1983); Twidell, (1986); Atagündüz, 1989).

Deneyin yapıldığı gün yılın 276. günü, buna göre deklinasyon açısı;

$$\delta = 23.45 \times \sin \left( 360 \times \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

$$\delta = 23.45 \times \sin \left( 360 \times \frac{284 + 276}{365} \right)$$

$$\delta = -5.007^0$$

olarak bulunmuştur.

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \times \sin \phi \times \cos \beta - \sin \delta \times \cos \phi \times \sin \beta \times \\ &\cos \gamma + \cos \delta \times \cos \phi \times \cos \beta \times \cos \omega + \cos \delta \times \sin \phi \times \\ &\sin \beta \times \cos \gamma \times \cos \omega + \cos \delta \times \sin \phi \times \sin \gamma \times \sin \omega \end{aligned}$$

$$\phi = -40^0 \quad (\text{Ankara'nın enlem derecesi})$$

$$\beta = -45^0 \quad (\text{Güneş kollektörü yatayla } 45^0 \text{ açı yapmaktadır})$$

$$\gamma = -0^0 \quad (\text{Kollektörün yönü tam güneye olduğu için azimut } 0^0 \text{ dir})$$

$$\omega = -30^0 \quad (\text{Saat } 12^{00} \text{ den sonra 2 saat ve her saat için } 15^0 \text{ olduğu için})$$

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin(-5.007) \times \sin 40 \times \cos 45 - \sin(-5.007) \times \\ &\cos 40 \times \sin 45 \times \cos 0 + \cos(-5.007) \times \cos 40 \times \\ &\cos 45 \times \cos 30 + \cos(-5.007) \times \sin 40 \times \sin 45 \times \\ &\cos 45 \times \cos 30 + \cos(-5.007) \times \sin 45 \times \sin 0 \times \\ &\sin 30 \end{aligned}$$

$$\cos \theta = 0.867^0$$

$$\cos \theta_2 = \sin \theta \times \sin \delta + \cos \phi \times \cos \delta \times \cos \omega$$

$$\begin{aligned} \cos \theta_2 &= \sin 40 \times \sin(-5.007) + \cos 40 \times \cos(-5.007) \times \\ &\cos 30 \\ &= 0.604^0 \end{aligned}$$

$$R = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_2} = \frac{0.867}{0.604} = 1.4337 \quad (3)$$

$r_a$  -Eğik düzlem çevresinin toplam güneş radyasyonu için yansıtma katsayısı ( $\approx 0.2$ ) (Twidell and Weir 1986).

Bu veriler ışığında Ankara şartlarında 45<sup>0</sup> eğim açısı olan kollektör yüzeyine gelen güneş radyasyonu değeri;

$$\begin{aligned} I_{\text{top}} &= I_{\text{dir}} \times R \times I_{\text{dif}} \left( 1 + \frac{\cos \beta}{2} \right) + (I_{\text{dir}} + I_{\text{dif}}) \times \\ &r_a \left( 1 - \frac{\cos \beta}{2} \right) \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{top}} &= 751 \times 1.4337 + 77 \left( 1 + \frac{\cos 45}{2} \right) + (751 + 77) \\ &\times 0.2 \left( 1 - \frac{\cos 45}{2} \right) \end{aligned}$$

$$I_{\text{top}} = 1166.6838 \text{ w/m}^2$$

$$I_{\text{top}} = 1166.6838 \times 3.6$$

$$I_{top} = 4200 \text{ kJ/h}$$

olur.

Bu durumda ürün içindeki suyu buharlaştırma verimi;

$$\eta = \frac{K.F.E}{K.G.T.E} \quad (5)$$

Burada;

K. F. E = Kullanılan faydalı enerji

K. G. T. E = Kollektöre gelen toplam enerji olup,

$$\eta = \frac{326.08 \text{ kJ/h}}{4200 \text{ kJ/h}} = \% 77 \quad (6)$$

olarak bulunur.

Kurutma havasına aktarılan ısıya göre sistemin verimi ele alınırsa;

0.8 m x 1.26 m = 1 m<sup>2</sup> ölçülerindeki kolektörünün güneşten aldığı ısı enerjisi, sisteme giren enerjinin toplamını oluşturmaktadır.

Bu durumda güneşten kazanılan faydalı güneş enerjisi; ısı borularının kanatçıklarının bulunduğu kanala giren hava ile çıkan havanın sıcaklık farklarından gidilerek bulunur.

$$Q = \dot{V} \times \rho \times c \times \Delta t$$

$\dot{V}$  = Toplam hava debisi (m<sup>3</sup>/h)

$\rho$  = Havanın yoğunluğu (40 °C için;  $\rho = 1.12 \text{ kg/m}^3$ )

$c$  = Havanın ısınma ısısı (1 kJ/kgK)

$\Delta t$  = Sıcaklık farkı (dış hava sıcaklığı 32 °C ve kollektör çıkış sıcaklığı 44 °C)

Giriş kanalının çapı 20 cm ve hava hızı 2 m/s ( hava hızı kanal içine yerleştirilen dijital hava hızı ölçme aleti ile tespit edildi ) olduğu için, toplam hava debisi;

$$\dot{V} = A \times \omega = (r^2 \times \pi/4) \times \omega$$

$$\dot{V} = ((0.2^2 \times 3.14)/4) \times 2$$

$$\dot{V} = 0.0628 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V} = 226.08 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q = \dot{V} \times \rho \times c \times \Delta t$$

$$Q = 226.08 \times 1.12 \times 1 \times 12 = 3038.5 \text{ kJ/h}$$

olarak bulunmuştur.

Böylece kollektör verimi de;

$$\eta = \frac{3038 \text{ kJ/h}}{4200 \text{ kJ/h}} = \% 72 \quad (7)$$

olarak bulunmuştur.

#### 4. MATERYAL VE SİSTEMDEN ÇEKİLEN NEMİN ÖLÇÜMÜ

Sistemden çekilen nem iki şekilde ölçülmüştür;

1. Sistemin üzerine Şekil 3'de görüldüğü gibi kurutma hücresi üstüne yerleştirilen bir terazi aracılığı ile kurutulan ürünlerdeki ağırlık azalması takip edilerek,
2. Dışarıya atılan soğuşma suyunun (\*) sistem dışına alınıp ölçülmesiyle ürünlerdeki nem miktarı tespit edilmiştir.

(\*) Hücre içindeki sıcak hava, hücreyi terkederken hücre çıkışındaki evaporatör yüzeyine çarpınca sıcaklığı düştüğünden içindeki fazla nemi evaporatör yüzeyine bırakmaktadır.

#### 5. KURUTULAN ÜRÜNÜN NEMLİLİK DURUMU

Sistemde değişik ürünler kurutulmuştur. Örnek olarak, 1420 g kayısı kurutulduğunda kuru kaysının 310 g geldiği görülmüştür. (Deneyi yapılan kayısı, Ürgüp'ten getirilen kurutmalık olmayıp, meyve suyu üretiminde kullanılmak üzere yetiştirilen kayısı türüdür). Kayısısındaki tam kuruma (kuru madde) miktarı % 17 olduğuna göre nem durumu aşağıdaki eşitlikle tespit edilmiştir :

Başlangıçta;

$$\text{Islak nemlilik} = \frac{Y_{aş} \text{ Ürünün Kütlesi} - \text{Kuru Ürünün Kütlesi}}{Y_{aş} \text{ Ürünün Kütlesi}} \quad (8)$$

(Erdoğan, 1984).

$$m_2 = m_1 \times 0.17 = 241 \text{ g olduğundan};$$

$$N_{is} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} = \frac{1420 \text{ gr} - 241 \text{ gr}}{1420 \text{ gr}} \times 100 = \% 83 \quad (9)$$

ve son durumu;

$$N_{kr} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} = \frac{3100 \text{ gr} - 241 \text{ gr}}{3100 \text{ gr}} \times 100 = \% 22 \quad (10)$$

olarak bulunur.

## 6. SONUÇ

Bu şekilde sıcak hava ile gölgede kurutma sonucunda görülmüştür ki; (Şekil 4'de elmanın ve Şekil 5'de kayısının kurutulmuş resminde görüldüğü gibi) bu sistem içinde gölgede kurutulan ürünler, güneşin radyasyon etkisinden korundukları için renk olarak direkt güneşe tabii olarak kurutulan üründen daha canlıdır. Ayrıca, cebri hava sirkülasyonu ile ürün içinden buharlaşan suyun ürün dış yüzeyinde (nem yönünden) doygun bir hava tabası oluşturarak sürekli buharlaşmayı engellemesi önlendiği için kuruma süresinin kısılması sağlanmıştır.



Şekil 4. Sistem içinde ve dışarıda kurutulan elmanın karşılaştırılması



Şekil 5. Sistem içinde ve dışarıda kurutulan kayısının karşılaştırılması

## 7. KAYNAKLAR

Atagündüz, G. 1989. "Güneş Enerjisinin Temelleri ve Uygulamaları", Ege Üniv. Güneş Enerjisi Enstitüsü Yayını, No : 2, İzmir.

Baehr, H. D. 1961. Mollier i, x-Diagramme für Feuchte Luft; Springer, Berlin.

Erdoğan, D. 1984. "Doğal Akışlı Güneşli Kurutucular", Verimlilik, MPM, Ankara.

Kılıç, A., Öztürk, A. 1983. "Güneş Enerjisi", İstanbul.

Twidell, J. W. and A. D. WEIR, 1986. "Renewable Energy Sources", E, and F. N. Span Ltd, London.

Wieneke, F. 1972. "Verfahrenstechnik der Halmfutterproduktion", Goettingen.

Zarem, A. M. and D. D. Erway, 1963. "Introduction to the Utilization of Solar Energy", Mebrow Hill Book, New York.