



TEPSİLİ BİR KURUTUCUDA YEŞİL ZEYTİN KURUTULMASININ EKSERJİ ANALİZİ



Neslihan ÇOLAK^a,
Arif HEPBAŞLI^b

^aPamukkale Üniv., Mühendislik Fak.,
Gıda Müh. Böl. – Denizli

^bEge Üniv., Mühendislik Fak.,
Makine Müh. Böl. – İzmir



Özet

Bu çalışmada yeşil zeytinin tepsili bir kurutucuda tek tabaka halinde kurutulması için performans değerlendirmesi ekserji analizi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kurutma işlemleri dört farklı kurutma havası sıcaklığında (40, 50, 60 ve 70 °C) ve %15 sabit nispi nem değerinde gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın etkisi belirlenmiştir. Kurutma kabini için maksimum ekserji verimliliği 40 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. Ekserji verimliliği değerleri; 40 °C ile 70 °C arasındaki hava sıcaklıkları için % 5.94 ile % 7.87 aralığında bulunmuştur.

Exergy Analysis of Drying of Green Olives in a Tray Dryer

Abstract

This paper deals with the performance evaluation of a single layer drying process of green olives in a tray dryer using exergy analysis method. Drying process was realized at four different drying air temperatures (40, 50, 60 and 70 °C) and a constant relative humidity of 15%. The effects of temperatures investigated. Maximum exergy efficiency of the drying chamber was obtained at a temperature of 40 °C. The exergy efficiency values were found to be in the range of 5.94%–7.87% for air temperatures varying from 40 °C to 70 °C.

Giriş

Kurutma, bilinen en eski gıda saklama tekniğidir ve yüzyıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Pek çok uygulamada kurutma, yüksek enerji girdisi olan bir süreçtir. Üretim sektöründe kullanılan toplam enerjinin ortalama % 12'si endüstriyel kurutucular tarafından tüketilmekte, kurutma işleminin gerektiği üretim sektöründe kurutma maliyeti toplam maliyetin % 60 ile % 70'ini oluşturmaktadır (Syahrul et al., 2002).

Fosil yakıtlar yakın bir gelecekte tükeneceği için, dünyadaki bütün endüstriyel sektörlerin bütün bölümleri enerjiyi daha etkin kullanmak için daha verimli yöntemlere ihtiyaç duymaktadır (Strumillo et al., 1995). Bu nedenle kurutma endüstrisinde baş edilmesi gereken en önemli unsur, kaliteli kuru gıda üretimi için kullanılan enerjinin maliyetini düşürmektir (Dincer, 1998).

Günümüzde, kurutma sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde, enerji verimi, özgül nem çekme oranı, bağlı yararlı enerji gibi, çeşitli değerlendirme kriterleri kullanılmaktadır. Oysa bu kriterler, sistem içindeki tersinmezliklerin dağılımı ve bunların büyüklüğü, başka bir deyişle; enerji verimliliği bakımından sistemdeki olası iyileştirme potansiyellerinin belirlenmesinde yeterli olmamaktadır. Bu bağlamda, enerji verimliliği yanında, ekserji verimliliğinin belirlenmesi önem taşımaktadır.



Tepsili Bir Kurutucuda Yeşil Zeytin Kurutulmasının Ekserji Analizi

Ekserji, enerjinin faydalılığının, kalitesinin bir ölçüsü olarak görülebilir ve bir maddenin çevreyle etkileşim potansiyelinin etkin bir ölçümüdür. Kurutma süresince, ekserjinin büyük bir bölümü proseste kullanılmakta olup, kalan kısmı ise, kayıplar ve/veya atıklardır. Ekserji, enerjiden farklı olarak, korunmaz ve atıklarla orantılı bir şekilde sistemde entropi üretilmektedir. Dolayısıyla, ekserji analizi ile sistemdeki tersinmezlikler belirlenebilmekte, enerji kayıpları minimize edilebilmekte ve kullanılmadan atılan enerjinin değerlendirilmesi sağlanabilmektedir (Moran, 1989; Fortes and Ferreira, 2004).

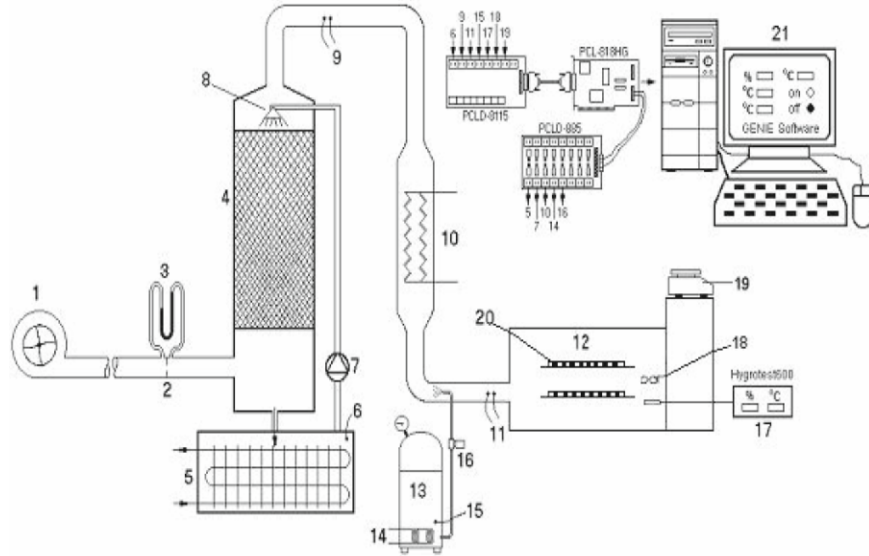
Türkiye 1525000 ton zeytin üretimi ile (FAO, 2007) dünya sofralık zeytin üretiminde İspanya'dan sonra ikinci sıradadır. Üretilen zeytinlerin önemli bir kısmı zeytinyağına işlense de, dikkate değer oranda zeytin de direkt tüketim için sofralık zeytin olarak işlenmektedir. Türkiye'yi de içine alan Güney Avrupa için fermente edilmiş, yeşil ve siyah sofralık zeytin oldukça önemli ürünlerdir.

Bu çalışmada, ülkemizde yaygın olarak üretilen yeşil zeytinin saklanması için yeni bir yöntem olan kurutma işlemi geleneksel bir elektrikli kurutucu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sistem performansı ekserji analizi yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Deney Düzenliği

Zeytin kurutma deneyleri, Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiş olan, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümünde kurulu bulunan laboratuvar ölçekli tepsili bir kurutucuda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Tepsili kurutma sistemi

(1) santrifüj fan, (2) orifis plakası, (3) U manometre, (4) soğutma ve nemlendirme kulesi, (5) soğuk su tankı, (6) soğuk su tankı sıcaklık ölçüm termokaplı, (7) soğuk su sirkülasyon pompası, (8) su fiskiyesi, (9) kuru ve yaş termometre sıcaklıkları ölçümü için termokaplı çifti, (10) elektrikli su ısıtıcı, (11) kuru ve yaş termometre sıcaklıkları ölçümü için termokaplı çifti, (12) kurutma kabini, (13) buhar üretici, (14) ısıtıcı, (15) termokaplı, (16) buhar enjektörü ve selenoid valf, (17) bağıl nem ve sıcaklık sensörü, (18) anemometre, (19) terazi, (20) tepsisi, (21) ölçme kayıt ve kontrol cihazı.

Bu sistem üç ana bölümden meydana gelmiştir, bunlar, (a) hava sağlama ünitesi, (b) ısıtıcı ve nemlendirici ile kurutma ünitesi (c) ölçme kayıt ve elektronik kontrol ünitesi. Sıcaklık kontrolü, verilerin kaydedilmesi ve depolanması yanında elektrikli ısıtıcının açılıp kapatılması, hava akışının içine sıcak su enjekte edilmesi ve soğutma kulesinde soğuk su sirkülasyonu yapılması GENIE (Advantech Automation Corp., USA) veri kaydetme yazılımı ile yapılmaktadır.

Deney Yöntemi

Zeytin örnekleri (Domat türü yeşil zeytin), TC. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Zeytincilik Araştırma Enstitüsünden temin edilmiştir. Zeytinler kalibre edilmiş (140 – 180 partikül/kg) ve işlenmeden önce bir gece 10 °C ± 2 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Kullanılan ürünün hazırlanması prosedürü, zeytin meyvelerinin % 2 NaOH çözeltisi (kostik) ile muamele edilmesini içerir. Bu işlem, zeytinde acılığa neden olan bir glikosid olan oleuropeinin hidrolize edilmesini ve zeytin yüzeyinin (en dış tabaka) geçirgenliğinin artmasını sağlar. Uygulama, fazla alkalinin uzaklaştırılması için yapılan suyla yıkama işlemi ile devam eder. Daha sonra, zeytin meyvelerinin üzerine % 7'lik (w/v) bir NaCl (tuz) çözeltisi eklenir ve kendiliğinden laktik asit fermentasyonuna bırakılır (Fernandez-Diez et al., 1985). Fermentasyon işlemi tamamlandığında asitlik ve salamura konsantrasyonu depolama boyunca sabit olarak tutulmuştur. Bu işlemden sonra zeytinlerin çekirdekleri çıkarılmıştır.

Kurutma sistemi kararlı hale ulaştıktan sonra, zeytin örnekleri tepsiler üzerine tek sıra halinde yerleştirilerek kurutma işlemine başlanmıştır. Elektrikli kurutma sisteminde deneyler 4 farklı hava sıcaklığında (40 °C, 50 °C, 60 °C ve 70 °C) gerçekleştirilmiştir. Kurutma havasının hızı 1 m/s'de sabit tutulmuş ve nispi nem değeri de % 15 olarak korunmuştur. Zeytin örneklerinin başlangıç sıcaklığı 18 °C ve su içeriği % 76.29 (yaş baza göre) olarak ölçülmüştür. Kurutma işlemi zeytin örneklerinde sabit tartıma ulaşılan kadar devam etmiştir. Deneyler süresince, çevre hava sıcaklığı ve nispi nemi, kurutma sistemine giren ve sistemden çıkan havanın sıcaklık ve nem değerleri kaydedilmiştir.

Deneyler 3 paralel set olarak yapılmıştır. Ürünün kütlesindeki değişim 30 dakika ara ile yapılan tartımlarla belirlenmiştir.

Zeytin meyvesinin nem içeriği AOAC metodu kullanılarak 70 °C sıcaklık ve 400 mm Hg vakum altındaki etüvde belirlenmiştir. Yağ içeriği Abencor sistem kullanılarak analiz edilmiş ve yağın kütle fraksiyonu % olarak hesaplanmıştır. Protein (Nx6.25) tayini toplam nitrojen miktarının belirlenmesi esasına dayanan Kjeldahl yöntemi ile ve katalist olarak Kjeltabs ST eklenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Örneklerin tuz içeriği Mohr metodu (AOAC, 1975) kullanılarak tayin edilmiştir (Ongen et al., 2005).

Bu analizler sonucunda elde edilmiş olan ve zeytinin özgül ısı değerlerinin belirlenmesinde de kullanılmış olan bileşim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Zeytin örneklerinin bileşim değerleri

Bileşen	Değer (%)
Su	76.29
Protein	1.13
Yağ	14.67
Karbonhidrat	3.32
Lif	4.09
Kül	0.50

Teorik Analiz

Genel ekserji denkliği şu şekilde yazılabilir;

$$\sum \dot{E}x_{in} - \sum \dot{E}x_{out} = \sum \dot{E}x_{dest} \quad (1)$$

Ekserji, giren ve çıkan tüm noktalar için aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\dot{E}x = \dot{m} \cdot \psi \quad (2)$$

$$\psi = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (3)$$

Burada, ψ akış ekserjisini (kJ/kg), $\dot{E}x$ zamana bağlı olarak ekserjiyi (kJ/s=kW), \dot{m} kütleli debiyi (kg/s), h özgül entalpiyi (kJ/kg) ve s özgül entropiyi (kJ/kgK) göstermektedir. T_0 referans sıcaklık (ölü hal), h_0 ve s_0 referans sıcaklık için, sırasıyla, entalpi ve entropi değerleridir.



Tepsili Bir Kurutucuda Yeşil Zeytin Kurutulmasının Ekserji Analizi

Denklem (2)'deki $\dot{E}x_{p1}$, $\dot{E}x_{p2}$, $\dot{E}x_{da1}$, $\dot{E}x_{da2}$ değerleri yukarıdaki formüller kullanılarak hesaplanabilir. $\dot{E}x_{evap}$ ve $\dot{E}x_{loss}$ aşağıdaki formüllerle hesaplandıktan sonra $\dot{E}x_{dest}$ formül (2)'den bulunabilir (Syahrul et al., 2002).

$$\dot{E}x_{evap} = \left[1 - \frac{T_0}{T_m} \right] \dot{m}_w h_{fg} \quad (4)$$

$$\dot{E}x_{loss} = \left(1 - \frac{T_0}{T_b} \right) \dot{Q}_{loss} \quad (5)$$

Burada, T_m gıda maddesinin sıcaklığını ve T_b kurutma kabini yüzey sıcaklığını ifade etmektedir.

Nemli havanın entalpisi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$h_{da} = c_{da} T + \omega h_{fg} \quad (6)$$

Burada, c_{da} kurutma havasının özgül ısı (kJ/kg K), T kurutma havası sıcaklığı (C), ω özgül nem ve $h_{sat@T}$ doymuş buharın entalpi değeridir (kJ/kg).

Nemli havanın entropisi;

$$s_{da} = s_a - R_a \ln \frac{P_a}{P_0} + \omega \left(s_v - R_v \ln \frac{P_v}{P_0} \right) \quad (7)$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada R gaz sabiti ve P basınç değerlerini göstermektedir.

Yeşil zeytin için entalpi değerleri ise aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Rahman, 1995);

$$h = \sum h_i X_i = \sum \int_{T_1}^{T_2} C_i X_i dT \quad (8)$$

Burada, C gıda maddesi bileşenlerinin özgül ısı ve X kütle fraksiyonudur.

Gıda maddesinin özgül ısı değeri saf bileşenler dikkate alınarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Choi and Okos, 1986);

$$C = C_w X_w + C_p X_p + C_f X_f + C_c X_c + C_{fi} X_{fi} + C_a X_a \quad (9)$$

Burada w su, p protein, f yağ, c karbonhidrat, fi selüloz ve a külü simgeler.

Gıda maddesinin özgül entropi değeri;

$$s_2 - s_1 = C \ln(T_2 / T_1) \quad (10)$$

bağıntısından hesaplanabilir.

Van Gool (1997), bir proses veya sistemde ekserji verimliliğini maksimum geliştirmenin ancak ekserji kayıpları veya tersinmezliğin ($\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out}$) minimize edilmesi ile mümkün olacağını belirtir. Sonuç olarak, ekserjetik "iyileştirme potansiyeli"ni hesaplamanın faydalı olacağını belirtmektedir. Bu iyileştirme potansiyeli, IP, aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Hammond and Stapleton, 2001);

$$IP = (1 - \eta)(\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out}) \quad (11)$$

Kurutma kabini için ekserji verimi genel olarak, $verim = ürün / bedel$ olarak ifade edilebilir, bu çalışmada kullanılan eşitlikte, ürün olarak buharlaştırılan su ve bedel olarak kurutma havası ve kurutulan ürünün ekserjilerinin toplamı olan $\dot{E}x_{giren}$ değeri alınmıştır (Çolak, 2009).

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}x_{evap}}{\dot{E}x_{giren}} \quad (12)$$

Bulgular ve Tartışma

Tepsili kurutucuda dört farklı hava sıcaklığında zeytin kurutulması için hesaplanmış olan ekserji analizi sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

En yüksek ekserji verimliliği değeri 40 °C sıcaklıkta yapılan kurutma işleminde elde edilmiştir. En yüksek evaporasyon ekserjisi değerine ise 70 °C sıcaklıkta ulaşılmıştır.

Tablo 2 Elektrikli kurutucuda zeytin kurutma için $\dot{E}x_k$, $\dot{E}x_{buh}$, $\dot{E}x_{yikim}$, η_{ex} ve IP değerleri

T (°C)	$\dot{E}x_k$ (kJ/s)	$\dot{E}x_{evap}$ (kJ/s)	$\dot{E}x_{yikim}$ (kJ/s)	η_{ex} (%)	IP (kJ/s)
40	0.037	0.033	0.031	7.87	0.028
50	0.045	0.048	0.046	6.17	0.043
60	0.035	0.053	0.064	5.23	0.060
70	0.049	0.075	0.113	5.94	0.106

Sonuç

Ekserji verimliliğinin artırılması ve ekserji kayıplarının minimize edilmesi için kurutucu yüzey sıcaklığının düşürülerek, ısı kayıplarının azaltılması gerekmektedir.

Kurutulmuş yeşil zeytin yeni bir üründür ve kalite açısından tüketici beğenisine yönelik iyileştirmeler yapılırken, üretimde kullanılan enerjinin azaltılması yönünde de çalışmalar yapılmalıdır.

Yeşil zeytin kurutma için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliği de araştırılmalıdır.

Kaynaklar

- Syahrul, S., Hamdullahpur, F. and Dinçer I., 2002, 'Exergy analysis of fluidized bed drying of moist particles', Exergy, an International Journal, 2, 87–98.
- Dincer I., 1998, 'Moisture transfer analysis during drying of slab woods', Heat and Mass Transfer, 34:317-320.
- Strumillo, C., Jones, P.L. and Zylla, R., 1995, Energy aspects in drying, In Handbook of Industrial Drying Volume 2, ed. A.S. Mujumdar, Marcel Dekker, New York.
- Moran, M.J., 1989, Availability analysis: a guide to efficient energy use, ASME Press, New York, US.
- Fortes, M. and Ferreira, W.R., 2004, Second law analysis of drying: modeling and simulation of fluidized bed grain drying, Proceedings of the 14th International Drying Symposium, (pp. 301-308), Sao Paulo, Brazil.
- FAO, 2007, Food and Agriculture Organization of The United Nations. FAO Statistical Databases, <http://faostat.fao.org>
- Fernandez-Diez, M. J., Castro, R., Garrido, A., Cancho, F. G., Pellisso, F. G., Vega, M. N., et al., 1985, Biotecnología de la aceituna demesa. Madrid, Spain: CSIC, Ed.
- Ongen, G., Sargın, S., Tetik, D., Kose, T., 2005, Hot air drying of green table olives. *Food Technology and Bitechology*, 43(2), 181–187.
- Choi, Y., Okos, M.R., Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. Food Engineering and Process Applications, Vol.1, Transport Phenomenon, ed. L. Maguer and P. Jelen, Elsevier, New York, 1986.
- Rahman, S., Food Properties Handbook, CRC Press, US, 1995.
- Van Gool W., 1997, Energy policy: fairly tales and factualities, in: Innovation and Technology.
- Hammond, G.P., Stapleton, A.J., Exergy analysis of the United Kingdom energy system. Proc Instn Mech Engrs 215(2):141-162, 2001.
- Çolak N, 2009, Gıda Kurutma Sistemlerinin Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü.