

Fındığın Üç Farklı Sistemde Güneş Enerjisi ile Kurutulması

Hayati OLGUN, Perviz RZAYEV

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü,
61080, Trabzon-TÜRKİYE

Geliş Tarihi 24.10.1997

Özet

Fındık, Doğu Karadeniz bölgesinin en önemli tarımsal ürünü olup dünya pazarına kurutularak sunulmaktadır. Fındık üreticileri tarafından açık sergide yapılan kurutma işlemi, hava şartlarına bağlı olarak 3 ile 10 gün arasında tamamlanmaktadır. Hasat döneminde bölge ikliminin yağışlı geçmesi kurutma işleminin gecikmesine ve önemli ürün kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle dünya fındık üretiminin yaklaşık %75'ine sahip olmamıza rağmen dünya standartlarında fındık kurutmada zorluklarla karşılaşmaktayız. Fındığın geleneksel yöntemlerle açık sergide kurutulması için güneşli ve yağışsız günlere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada; Doğu Karadeniz bölgesinde yetiştirilen fındık, tütün, mısır gibi çeşitli ürünlerin güneş enerjisinden yararlanarak kurutulabilmesi için ucuz, yapımı kolay, çok amaçlı kullanılabilen kurutucular tasarlanarak imal edilmiştir. Bunlardan kabinet, dolap ve çadır olmak üzere üç farklı güneş enerjili kurutma sisteminin tasarım esasları verilmiştir. Bu üç kurutucuda; dalından toplanmış, nem oranı yüksek ve zurufundan ayrılmış fındıklar kurutulmuş ve kuruma eğrileri elde edilmiştir. Çalışma sonuçları, açık havada yapılan doğal kurutma sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda açık havada 82 saat civarında fındığın kuruduğu tespit edilmiştir. Kabinet tipli kurutucuda ise ek ısıtıcı kullanılması durumunda 28 saatte, ek ısıtıcı kullanılmadığı durumda ise yaklaşık 50 saatte fındık kurumuştur. Çadır tipli kurutucuda 73 saatte ve ek ısıtıcı kullanılmayan dolap tipli kurutucuda ise yine 72-76 saat içerisinde fındığın kuruduğu görülmüştür. Kurutulmuş fındıklardan alınan numuneler görüntü ve tat analizine de tabi tutulmuş ürünlerde herhangi bir bozulmaya rastlanılmamıştır.

Anahtar Sözcükler: Fındık, Kurutma, Kabinet tipli kurutucu, Dolap Tipli Kurutucu, Çadır tipli kurutucu.

Solar Drying of Hazelnut by Three Different Types of System

Abstract

Hazelnut is the most important agricultural product of the Eastern Black Sea region of Turkey, and is exported to the world market dried and unshelled. The traditional sun drying process used by hazelnut farmers takes about 3 to 10 days depending on the weather conditions. If precipitation is high during the harvesting period, drying takes longer and causes the harvest to be spoilt. Although Turkey grows almost 75% of the world's hazelnuts, due to the current difficulties in the drying process, the country has problems in reaching world standards. Therefore, instead of using traditional methods, artificial drying processes should be used to obtain optimum drying conditions and to avoid defects in the product. In this study, for application to the regional agricultural and marine products such as hazelnut, tobacco, fish, corn, fruit and vegetables, low cost, multipurpose solar dryers were designed. Properties of three different designs (cabinet, cupboard, and tent types) are given. In these systems, drying curves were given for hazelnuts, which were harvested, peeled and dried. The present results were compared with results from traditional methods. Although hazelnuts are dried in 82 hours in traditional methods, in the cabinet dryer with a pre-heater the drying took about 28 hours. In the cabinet dryer with only solar energy the drying took about 50 hours, in the tent-type dryer the drying took about 73 hours, in the cupboard type dryer between 72 and 76 hours.

Samples of dried hazelnut were subjected to taste analyses and it was observed that the quality of these products was not affected inversely in any way.

Key Words: Hazelnut, Drying, Cabinet type dryer, Tent type dryer, Cupboard type dryer

Giriş

Kurutma işlemi bir ısı ve kütle transferi olayı olup güneş enerjisi ile tarım ürünlerini kurutma, en eski ve en önemli gıda saklama yöntemlerinden birisi olarak bilinmektedir (Akyurt ve arkadaşları, 1971). Günümüz Türkiye'sinde bir çok tarım ürününün kurutulmasında açık sergide kurutma yöntemi uygulanmaktadır. Açık sergide kurutmanın; tozlanma, mikroorganizma üremesi, bozulma ve yerel meteorolojik şartlara bağlılık gibi bir çok dezavantajları vardır. Özellikle hasat dönemlerindeki kararsız meteorolojik şartlar ürün kalitesine önemli olumsuz etkiler yapmaktadır. Ülkemiz ayrıca, yüksek oranda kurutulmuş meyve ve sebze potansiyeline de sahiptir. İhracatın istenilen oranda artırılması için kaliteli kurutulmuş meyve ve sebze üretiminin sağlanması gerekmektedir. Bunun için de uygun kurutma tekniklerinin seçilmesi ve uygulanması gerekmektedir (Kahveci ve arkadaşları, 1992). Üretici bazında istenilen, ürünün daha kısa sürede kuruması ve daha kaliteli olmasıdır. Bu da güneş enerjili sistemlerin kullanım gereksinmelerini doğurmaktadır. Güneş enerjili kurutma sistemleri kullanımında aşağıda belirtilen üstünlükler vardır:

- Kurutma süresinin önemli ölçüde azalması
- Kayıpların önlenmesi
- Ürün kalitesinin artması
- Kurutma sırasında ürünlerin yağmurdan, tozdan, böcek ve diğer zararlılardan korunması

Bütün bu istenilen özellikler ürün kalitesine olumlu katkılarda bulunurlar. Güneş enerjili kurutma sistemlerine ait çeşitli uygulamalar bir çok ülkede yaygın olarak kullanılmasına rağmen bu durum ülkemiz için oldukça sınırlı düzeyde kalmıştır (Kahveci ve arkadaşları, 1992).

Dünya üzerinde fındık üretimi beş farklı kıtaya yayılmıştır. 1992 rakamlarına göre 657 bin ton olan dünya yıllık toplam fındık üretiminin % 75'i Türkiye'de, % 11'i İtalya'da, % 6'sı İspanya'da, % 2'si Amerika'da ve % 1'i ise Yunanistan'da gerçekleşmiştir. Dünya fındık ihracatının ise % 70 - 80'i Türkiye kaynaklıdır (Şahin ve arkadaşları, 1989). Sert kabuklu meyveler içinde fındık % 26 - 28 oranıyla en fazla kullanılan olup tüketimi

farklı şekillerde yapılmaktadır. Herhangi bir işlem görmeden taze olarak tüketilebildiği gibi, diğer ürünlere katkı malzemesi olarak ta kullanılabilir. Türkiye'de yoğun olarak Orta ve Doğu Karadeniz bölgesinde yetiştirilmekte olup bu bölgenin iklimi nedeniyle fındık üretimine elverişli ekolojik özellikleri mevcuttur. (Ayfer ve arkadaşları, 1986). Bu nedenle en kaliteli fındıklar bu bölgeden çıkmaktadır. Fındığın bozulmadan uzun süre saklanabilmesi için zürufundan ayrıldıktan sonra kurutulması gerekmektedir. Son zamanlarda fındığın ideal kuruma koşullarını belirlemek üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Demirtaş (1996) laboratuvar koşullarında kurduğu deney düzenğinde; kurutma havasının dört farklı bağıl neminde (% 45 - %70), beş farklı sıcaklığında (25°C - 50°C) ve üç farklı hava hızında (0.2 m/s - 0.6 m/s) fındık kurutma deneyleri yapmıştır. En iyi kurutma havası sıcaklığını 35-40°C olarak belirlemiştir. Ayrıca Demirtaş ve arkadaşları (1998) fındığın kurumasını sayısal yöntemlerle de incelemiştir. Literatürde verilen diğer çalışmalarda da şartlandırılmış hava kullanılarak fındığın kuruma karakteristikleri incelenmiştir (A. Lopez ve arkadaşları, 1998a). Burada farklı sıcaklıklarda (30°C - 70°C) ve hızlardaki (0.5 m/s - 2m/s) şartlandırılmış hava ile farklı yatak yüklerinde (50 kg/m²-150 kg/m²) deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, hava sıcaklığının kuruma süresine etkisinin fazla olduğu buna karşılık hava hızının ve kurutma yatak yükünün etkisinin fazla olmadığı belirtilmiştir. Lopez ve arkadaşları (1998b), kalın sergide fındık kurutma için bir matematik model de geliştirmeye çalışmışlardır. Ayrıca, Lopez ve arkadaşları (1997a,1997b, 1997c) farklı koşullarda kurutulmuş fındıkların kalite üzerindeki etkilerini incelemiştir. Literatürde bulunan bu fındık kurutma çalışmalarında şartlandırılmış hava kullanılmıştır. Güneş enerjili kurutma sistemleri ile ürün kurutma bir çok ülkede yaygın olarak yapılmasına karşılık güneş enerjili sistemlerle fındık kurutma yeni bir uygulamadır.

Güneş enerjili kurutma sistemlerinde çeşitli tiplerde kurutucular kullanılmaktadır. Burada

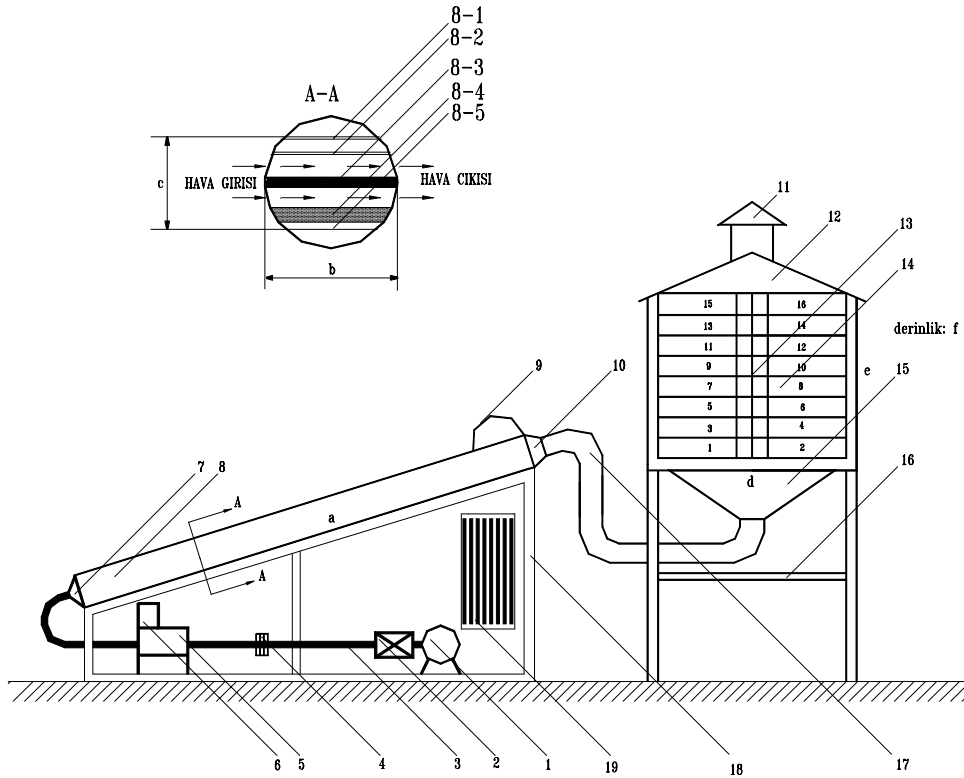
amaç; ürünün ağırlığına, şekline ve yapısına uygun özel tasarımlar geliştirerek mümkün olduğu kadar basit bir sistemle fazla ürünün bir seferde kurutulmasını sağlamaktır (Garg, 1990; Sodha ve arkadaşları, 1985; Bansal ve arkadaşları, 1984).

Bu çalışmada; Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Ana Bilim Dalı Laboratuvarında, bölgede yetişen farklı türdeki ürünleri kurutmaya elverişli üç ayrı güneş enerjili kurutma sistemi tasarlanarak imal edilmiştir. Bu sistemlerin tasarımlarının basit ve yerel imkanlarla ucuz bir şekilde yapılabilir olmasına dikkat edilmiştir. Dalından toplanarak zurufundan ayrılmış fındıklar, hem bu kurutucularda hem de açık sergide kurularak kuruma özellikleri incelenmiştir.

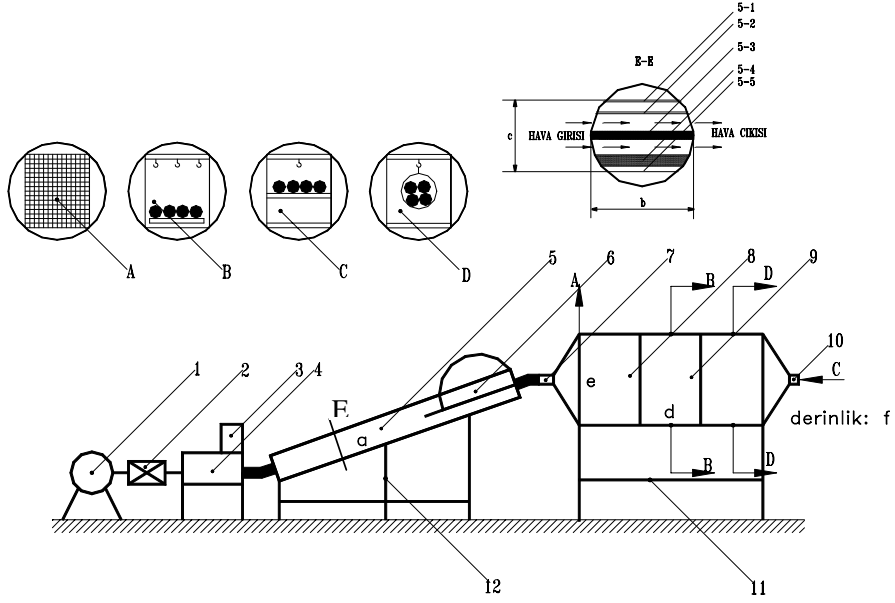
Deney Düzenegi

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina

Mühendisliği Bölümü Enerji Ana Bilim Dalı laboratuvarında üç farklı tipte kurutucu tasarlanarak imal edilmiştir. Bu kurutucular; kabinet tipli, dolap tipli ve çadır tipli kurutuculardır. Bu kurutucu tiplerinin seçimindeki temel amaç; basit tasarıma sahip olmaları, yerel imkanlarla yapılabilmeleri, bakım ve işletme masraflarının az olmaları, mevsimine göre farklı ürünlerin de kurutulmasına uygun olmalarıdır. Şekil 1'de kabinet tipli kurutucu, Şekil 2'de dolap tipli kurutucu Şekil 3'de ise çadır tipli kurutucu görülmektedir. Kabinet tipli kurutucu ile taneli ürünlerin (fındık, ceviz, elma, erik, mantar gibi), raflar üzerine tek ya da çok sıralı serilmesi ile kurutulması amaçlanmıştır. Dolap tipli kurutucu, asılarak (balık, tütün gibi) yapılan kurutmaya daha uygundur. Çadır tipli kurutucuda ise her türlü kurutmayı (sergi ve askı usulü) yapmak mümkündür (Mujumdar, 1995).

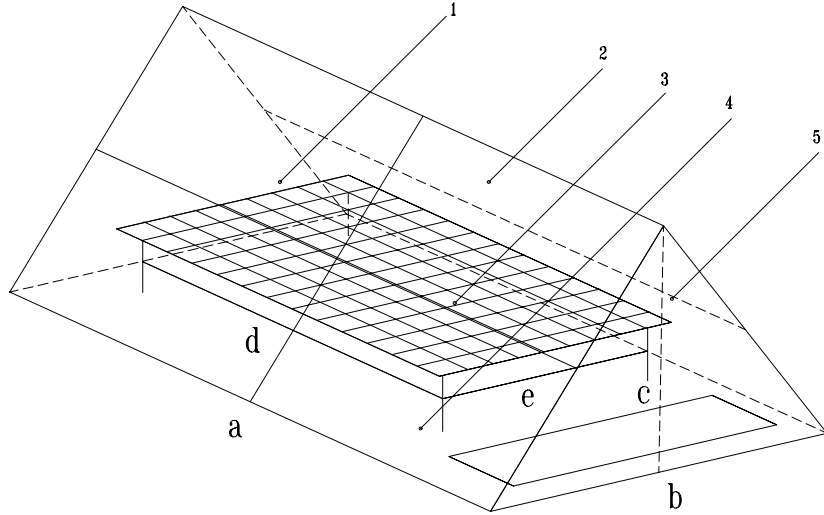


Şekil 1. Kabinet tipli kurutucu (a=3m, b=1.2m, c=0.17m, d=0.93m, e=1.17m, f=0.485m)



1-Fan, 2- vana, 3- sıcaklık kontrol cihazı, 4- ek ısıtıcı, 5- havalı güneş toplacı, 5.1- cam örtü, 5.2- cam örtü, 5.3- soğurucu yüzey, 5.4- yalıtım, 6- piranometre, 7- kurutma dolabı girişi, 8- kurutma dolabı, 9- kurutma dolabı kapağı, 10- kurutma dolabı çıkışı, 11- kurutma dolabı oturağı, 12- havalı güneş toplacı oturağı

Şekil 2. Dolan tipli korunma sistemi ($a=3\text{m}$, $b=1.2\text{m}$, $c=0.17\text{m}$, $d=1.5\text{m}$, $e=0.72\text{m}$, $f=0.72\text{m}$)



Şekil 3. Çadır tipli korutucu ($a=2\text{m}$, $b=1.5\text{m}$, $c=1.8\text{m}$, $d=1.8\text{m}$, $e=12\text{m}$)

Kabinet ve dolap tipli kurutucu sistemlerinde, aynı boyutta ve şekilde imal edilmiş iki adet güneş toplacı kullanılmıştır. Ayrıca bu sistemlerde, kurutma dolabı ve güneş toplacındaki hava hareketini sağlamak amacıyla bir fan da bulunmaktadır. Fan, 1.1 KW gücünde ve 2815 d/d devir sayısında dönmektedir. Geceleyin ve güneşsiz havalarda da kurutmanın devam edebilmesi amacıyla bir ek ısıtıcı sisteme ilave edilmiştir. Ek ısıtıcı, 120mm çapında bir seramik borunun dışına rezistans telleri sarılarak elde edilmiş ve ısı kaybına karşılık cam yünü ile yalıtılarak bir koruyucu kılıf içerisine yerleştirilmiştir. Isıtıcı içerisindeki sıcaklık, termostatlı kontrol ünitesiyle istenilen değere ayarlanabilmektedir. Ayrıca harcanan elektriği bilmek amacıyla bir elektrik sayacı da sisteme ilave edilmiştir. Dış ortamdan bir fan yardımıyla çekilen hava, sıcaklığı ayarlanabilir bir ısıtıcı içerisinden geçirilerek havalı güneş toplacına buradan da kurutma dolabı girişine sevk edilmektedir.

Havalı güneş toplacı tamamen ahşap malzemeden (sarı çamdan) yapılmış, $1.2 \times 3.0 = 3.6 \text{ m}^2$ dış yüzey alanına sahip ve toplam kalınlığı 170 mm'dir. Saydam örtü olarak 4 mm kalınlığında iki kat normal pencere camı kullanılmıştır. Her katta, 1.11 m^2 yüzey alanına sahip 3 parça cam kullanılmıştır. Camlar arasında 18mm kalınlığında hava boşluğu vardır. Soğurucu yüzey olarak, siyaha boyalı 2mm kalınlığında ve $1.16 \times 2.96 = 3.44 \text{ m}^2$ yüzey alanına sahip düz aliminyum levha kullanılmıştır. Giriş hava kanalı üç adet olup her birinin kesit alanı $32 \times 2.6 = 83.20 \text{ cm}^2$ 'dir. Böylece havanın üç ayrı kesitten toplaca girmesi sağlanmıştır. Hava, aynı anda hem yutucu levhanın üstünden hem de altından geçmektedir. Cam yüzey ile yutucu levha arasında 23 mm, yutucu yüzey ile alt levha arasında ise 19 mm kalınlığında hava boşluğu vardır. Havalı toplacın girişi ile ek ısıtıcının çıkışı arasına sac levhalardan yapılmış bir yayıcı yerleştirilmiştir. Havalı güneş toplacı, alt yüzeylerinden 5cm kalınlığında cam yünü ile yalıtılmış ve profillerden yapılmış yatayla 30° açı yapan bir iskelet üzerine yerleştirilmiştir.

Kabinet tipli dolap tamamen ahşap malzemeden yapılmış olup dış yüzeyleri galvanizli sac ile kaplanmıştır. Dolabın dış hacmi $1.17 \times 0.93 \times 0.585 = 0.636 \text{ m}^3$ ve iç hacmi ise $1.1 \times 0.9 \times 0.46 = 0.456 \text{ m}^3$ 'dir. Dolapta 16 adet ikişer sıra halinde dizilmiş takılıp çıkartılması kolay raf mevcut olup rafların alt yüzeyleri tel kafeslerle kaplanmıştır (Şekil 1). Raflara fındıklar tek sıra halinde yerleştirilmiştir. Ayrıca ısı kaybını önlemek amacıyla

ön yüzde iki adet tahta kapak ta bulunmaktadır.

Dolap tipli kurutucu kare profillerden yapılmış olup boyutları $0.72 \times 1.5 \times 0.72 \text{ m}^3$ 'dür. Kurutucu dolap yerden 1.1 m yüksekliğe yerleştirilmiş olup ön yüzünde birbirinden bağımsız üç adet kapak mevcuttur (Şekil 2). Kurutma dolabının taban, tavan, yan duvarlar ve kapaklarındaki profillerinin iç yüzeyleri galvanizli dış yüzeyleri ise normal saca kaplatılmış olup aralarına 2.5 cm kalınlığında cam yünü konmuştur. Kurutma dolabındaki bütün bağlantı yüzeyleri hava sızıntılarına karşı çekomastikle sıvanmıştır. Kapakların iç yüzeylerine hava sızıntısına karşı kapı bantları ile koruma yapılmıştır. Kurutma dolabı, kurutulacak ürünlerin asılarak kurutulması için uygun bir tasarıma sahip olmasına karşılık bu sistemde deneme amaçlı fındık ta kurutulmuştur. Burada, fındıklar üç ayrı şekilde (dolabın tabanına sererek, dolap içinde bir sehpanın üzerine sererek ve tel ağına içine yerleştirilip asılarak) kurutulmuştur (Şekil 2). Isıtılmış havanın kurutma odasında homojen bir dağılım gösterebilmesi için, dolabın giriş ve çıkış kesitlerine tel kafesler yerleştirilmiştir. Kurutma odasının tüm dış yüzeyi koyu renk bir boya ile boyanmıştır.

Çadır tipli kurutucu, ahşap malzemeden yapılmış bir iskelete sahip olup yatayla $30 - 60^\circ$ açı yapacak şekilde ayarlanabilmektedir. Çadırın yüksekliği 1.8m, genişliği 1.5m, uzunluğu 2.0m'dir. Kurutucu portatif olup istenilen yöne rahatlıkla döndürülebilmektedir. Güneye bakan yüzeyi 4mm kalınlığında 4 parçadan oluşan pencere camı ile kaplanmıştır. Kuzeye bakan yüzeyi ise beyaz naylon örtü ile kaplanmıştır. Doğu-batı doğrultusundaki her iki yan yüzeyi de yine beyaz naylon örtü ile kaplanmıştır. Diğer iç yüzeyler yutucu yüzey olarak davranabilmesi için siyaha boyanmıştır. Kurutucunun içerisine, yerden 0.60m yükseklikte $1.8 \times 1.2 = 2.16 \text{ m}^2$ kesitinde ve üzeri siyah tel kafesle örtülmüş sehpa yerleştirilmiştir (Şekil 3). Çadır tipli kurutucunun kapasitesi, ince sergi fındıkta 5 kg/m^2 'dir. Dışarıda 28°C sıcaklık olduğunda çadır içerisinde sıcaklık 50°C 'a kadar çıkabilmektedir. Çadır içerisindeki hava dolaşımı, iki yan yüzeydeki saydam örtünün açılıp kapanması ile sağlanmaktadır.

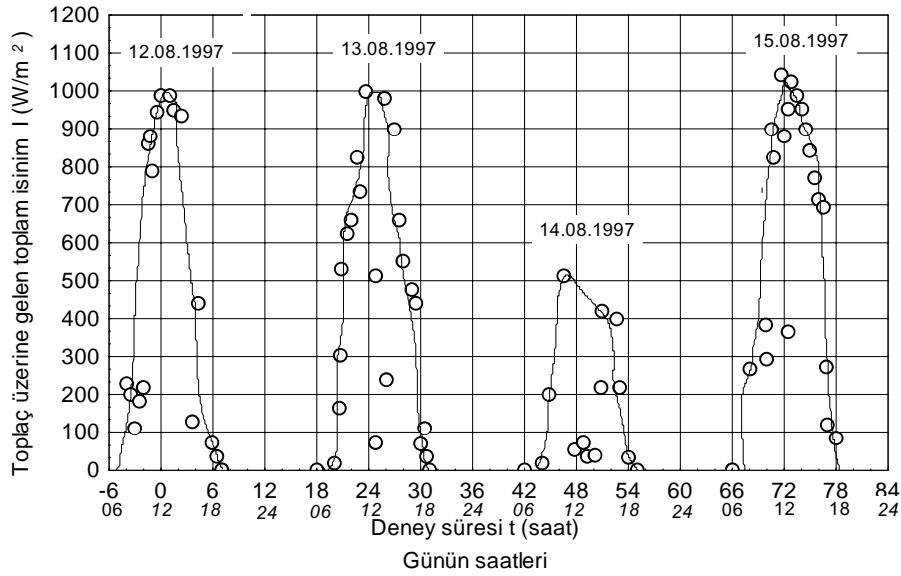
Deneyler

Deneyler her üç farklı kurutma sisteminde de (kabinet, dolap ve çadır) yapılmış olup açık havada sergi üstünde yapılmış kurutma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Güneşli kurutucularda ve açık sergide kurutulmak üzere seçilen fındık,

Trabzon Beşikdüzü ilçesinde önceden belirlenmiş üreticilerden zurufu olarak alınmış ve kurutma işlemine başlamadan önce zurufundan ayrılmıştır.

Kurutma başlangıcındaki nem miktarı; kurutma şartları açısından, kurutma sonundaki nem miktarı ise depolama şartları açısından önemli parametreler olup hem deney öncesi hem de deneyler sonrasında seçilen numunelerde nem miktarı tayini yapılmıştır. Nem miktarının tayininde, kapağı ile darası alınmış Petri kutusuna ince çekilmiş fındık örneğinden 11.5 gram konulmuş ve kapağı açık olarak 105-110 °C sıcaklığındaki etüvde 4 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda Petri kutusunun kapağı kapatılarak desikatöre alınmış ve oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. İşlem sonunda öğütülmüş fındık kütlesi 8.056 gram olarak ölçülmüş buradan da başlangıçtaki yaş fındığın nemi %30 olarak bulunmuştur. Aynı işlem kurutma işlemi sonunda da tekrarlanarak kuru fındıkların son nemi bulunmuştur. Literatürde (Demirtaş, 1996) besin değeri ve kalite açısından doğru kurutulmuş fındıkta %6-8 arasında nem olması gerektiğini belirtilmiştir. Bu nedenle kurutma deneylerine, kurutma işlemi sonunda üründe %6 civarında nem kalacak şekilde son verilmiştir. Kurutulacak fındık için bir ön işlem yapılmamış ve kurutma hücrelerinde nem kontrolüne gidilmemiştir. Tüm deneylerde 1000 gramlık numuneler kullanılmış olup, 760 gram ağırlık kuruma sonu için esas alınmıştır. Kütle kaybı

ölçümlerinde ayrıca tek fındık tanesi için kütle ölçümü yapılmamış bir bütün olarak alınan numuneler terazide tartılmıştır. Her iki sistemde de (kabinet ve dolap) hava hızı fan yardımıyla kurutma dolabı içerisinde 0.8m/s olarak ayarlanmıştır. Deneyler süresince güneş toplacı üzerine gelen toplam güneş ışınımı toplaç ile aynı açı altında yerleştirilmiş Piranometre yardımıyla ölçülmüştür. Çadır tipli kurutucu için sıcaklık ölçümlerinde; çadır içerisindeki ortam havasının sıcaklığı, sehpa üstündeki fındığın bulunduğu ortam sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığı cıvalı termometreler ile ölçülmüştür. Kütle kaybı ölçümlerinde ise elektronik terazi kullanılmıştır. Kabinet ve dolap tipli kurutuculardaki sıcaklık ölçümlerinde ise; bakır-konstandan termo-elemanlar kullanılmış ve ayrıca kontrol için cıvalı termometreler de kullanılmıştır. Kütle kaybı ölçümlerinde ise elektronik terazi kullanılmıştır (% 0.1 hassasiyetli). Kabinet tipli kurutucuda 9 farklı rafta kurutma işlemi yapılmıştır. Seçilen bu raflar Şekil 1de gösterilmiştir. Bu sistemde 5 hafta (3, 4, 5, 15 ve 16nolu) kurutma işlemi, gündüz güneş enerjisi ile gece ise ek ısıtıcı ile yapılmıştır. Diğer raflarda (1, 2, 13 ve 14nolu) kurutma işlemi sadece gündüz ve güneş enerjisi ile yapılmış olup geceye fındık dolu raflar dolaptan çıkartılarak dış ortamdan nem almayacak şekilde korunmuşlardır. Dolap tipli ve çadır tipli kurutucularda ek ısıtıcı kullanılmamış kurutma sadece güneş enerjisi ile gerçekleştirilmiştir.

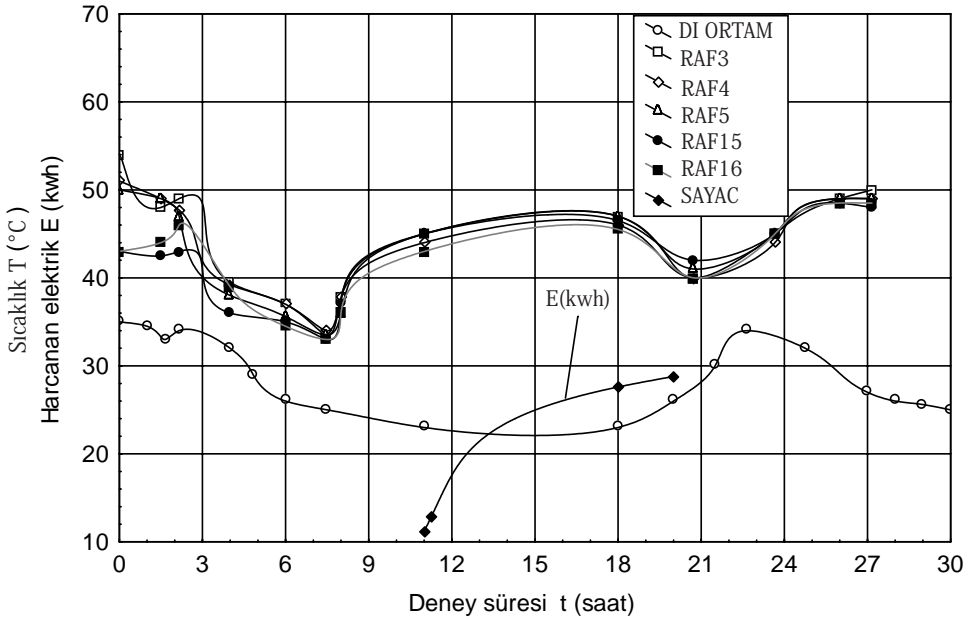


Şekil 4. 12-15 Ağustos 1997 tarihleri arasında havalı toplayıcı üzerine gelen toplam güneş ışınımının değişimi (12 Ağustos 1997 saat 12.00 deneylerin başlangıcı olarak alınmıştır.)

Deneysel Sonuçlar

Tüm sistemlerde kurutma deneylerine 12 Ağustos 1997 tarihinde saat 12.00'de birlikte başlanmıştır. Bu durum grafiklerde deney süresi (saat) ekseninde 0 olarak gösterilmiştir. 15 Ağustos 1997'de ise kurutma işlemleri tamamlanmıştır. Havalı güneş toplacı üzerine gelen toplam ışınım değerlerinin değişimi, 12-15 Ağustos 1997 tarihleri arasında Şekil 4'de verilmiştir.

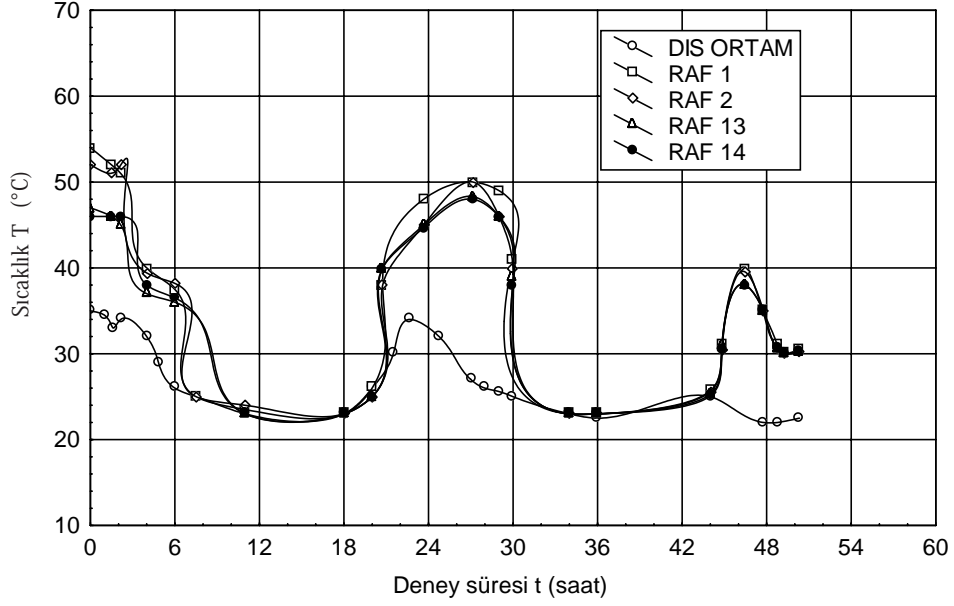
Bu şekildeki ölçülen toplam ışınım değerlerinin incelenmesinden; 1 ve 4 üncü deney günlerinde havanın genellikle açık ve az bulutlu olarak geçtiği, 2 inci deney gününde havanın açık fakat öğle saatlerinde parçalı bulutlu olduğu, 3 üncü deney gününde ise havanın parçalı bulutlu ve kapalı olduğu anlaşılmaktadır. Deneyler süresince yağışlı ve rüzgarlı hava olmamıştır. Deneylerde ölçülen en yüksek güneş ışınımı değeri 1050W/m^2 'ye kadar ulaşmıştır.



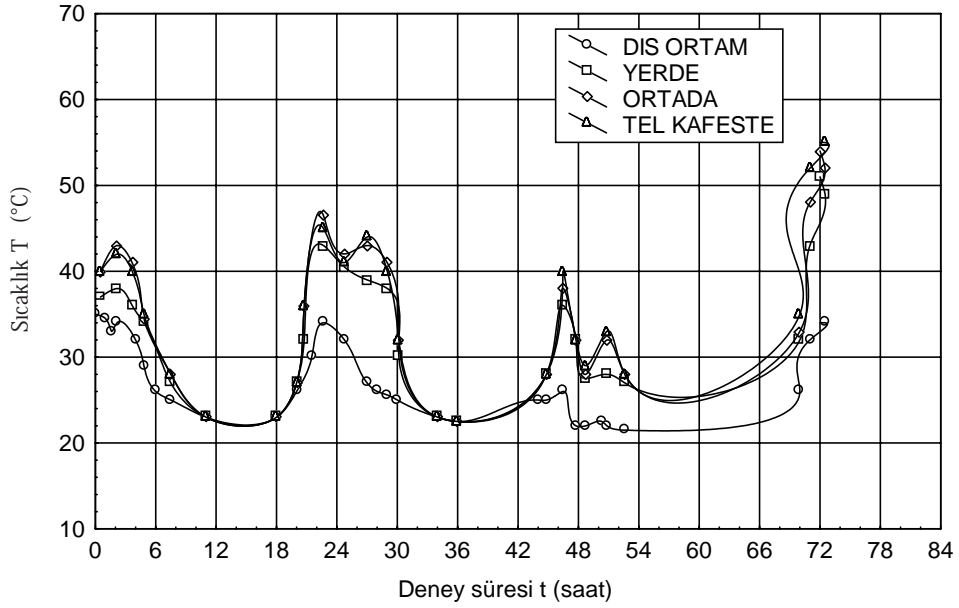
Şekil 5. Ek ısıtıcı kullanılması durumunda kabinet tipli kurutma sisteminin 5 farklı rafındaki hava sıcaklığının deney süresince değişimi.

Şekil 5'de ek ısıtıcı kabinet tipli kurutucunun 5 farklı rafındaki (3, 4, 5, 15 ve 16nolu) ve dış ortamdaki hava sıcaklıklarının deneyler süresindeki değişimi verilmiştir. Buradan; 3, 4 ve 5nolu raflardaki hava sıcaklıklarının deneyler süresince 40-45°C arasında değiştiği ve birbirlerine çok yakın çıktığı, 15 ve 16nolu raflardaki hava sıcaklıklarının ise diğer üç rafa göre yaklaşık 1°C kadar düşük çıktığı görülmüştür. Bu durum, toplaktan gelen sıcak havanın kabinet tipli kurutucuya 1 ve 2nolu raflardan

başlayarak girmesinden kaynaklanmıştır. Sıcak hava yükselirken üründen nem alarak soğumuştur. Dış ortam sıcaklığı ise en düşük 23°C olarak ölçülmüştür. Ayrıca, gece ek ısıtıcının devreye girmesi ile harcanan elektrik miktarı da bu grafiklerde gösterilmiştir. Dış ortam sıcaklığının düşmesi ile ek ısıtıcı devreye girmiş ve toplam 28 kwh elektrik enerjisi harcanmıştır. Böylece raflarda ölçülen sıcaklığın aynı değerde kalması sağlanarak kurutmada süreklilik sağlanmıştır.



Şekil 6. Ek ısıtıcı kullanılması durumunda kabinet tipli kurutma sisteminin 4 farklı rafındaki hava sıcaklığının deney süresince değişimi.



Şekil 7. Dolap tipli kurutma sisteminin üç farklı bölgesindeki hava sıcaklığının deney süresince değişimi.

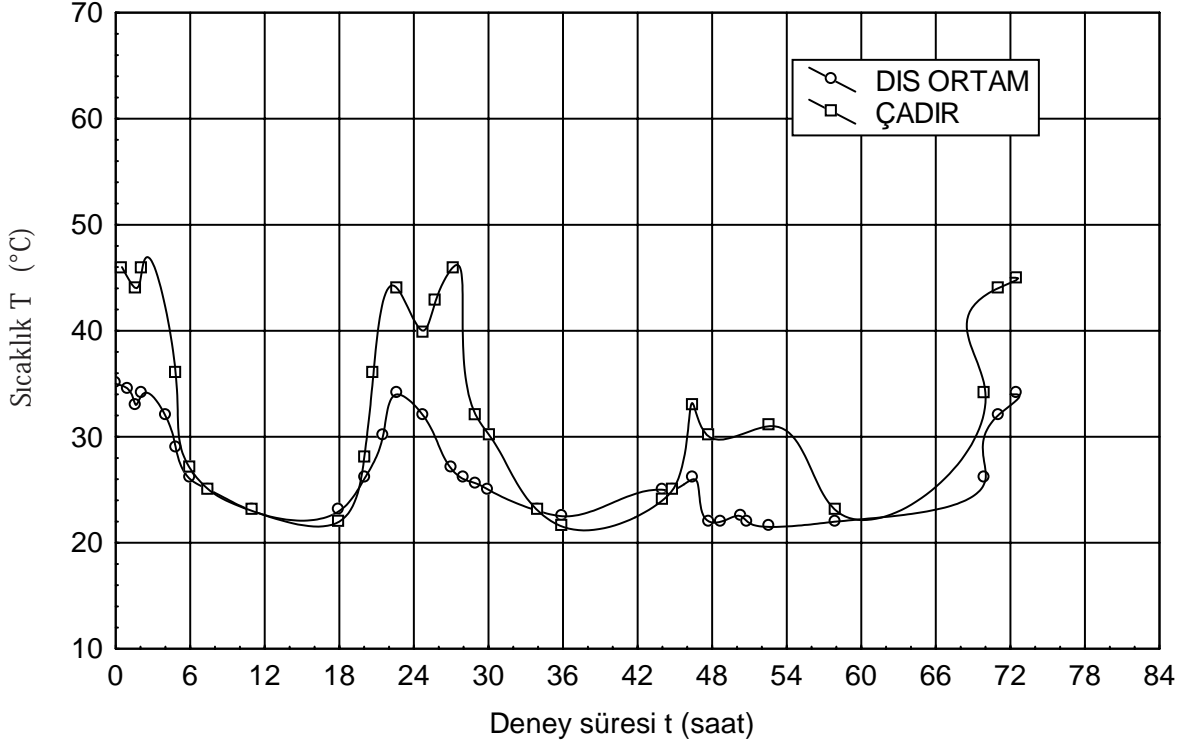
Şekil 6'da kabinet tipli kurutucunun 4 farklı rafındaki (1, 2, 13 ve 14nolu) ve dış ortamdaki hava sıcaklıklarının deneyler süresince değişimi verilmiştir. Bu grafiklerden de; 1 ve 2nolu raflardaki

hava sıcaklıklarının diğer iki rafa göre bir miktar daha yüksek olduğu, geceleyin ise raf sıcaklıklarının dış ortam sıcaklığına eşitlendiği görülmektedir. Raflarda izin verilen sıcaklık değeri 45°C olup bu

değerin aşılması durumunda havalı toplacın cam örtüsünün üzeri kapatılmıştır.

Şekil 7’de dolap tipli kurutucudaki fındıkların yerleştirildiği yerlerdeki (yerde, ortada ve tel kafes içinde) ortam sıcaklıklarının ve dış ortam sıcaklığının deneyler süresince değişimi verilmiştir. Dolap içerisinde homojen bir hava akımı sağlanamadığından farklı sıcaklıklar oluşmuştur. En

düşük sıcaklık ise dolabın alt kısmında (yerde) ölçülmüştür. Tel kafes içinde ve ortada ölçülen sıcaklık değerleri birbirlerine yakın çıkmıştır. Bu sistemde de kurutma güneş olduğu müddetçe devam ettiğinden gece dolap içindeki sıcaklıklar çevre sıcaklığına düşmüştür. Güneşli saatlerde ise dolap içerisinde dış ortama göre 15-20°C daha yüksek bir sıcaklık elde edilmiştir.



Şekil 8. Çadır tipli kurutma sisteminin içerisindeki hava sıcaklığının deney süresince değişimi.

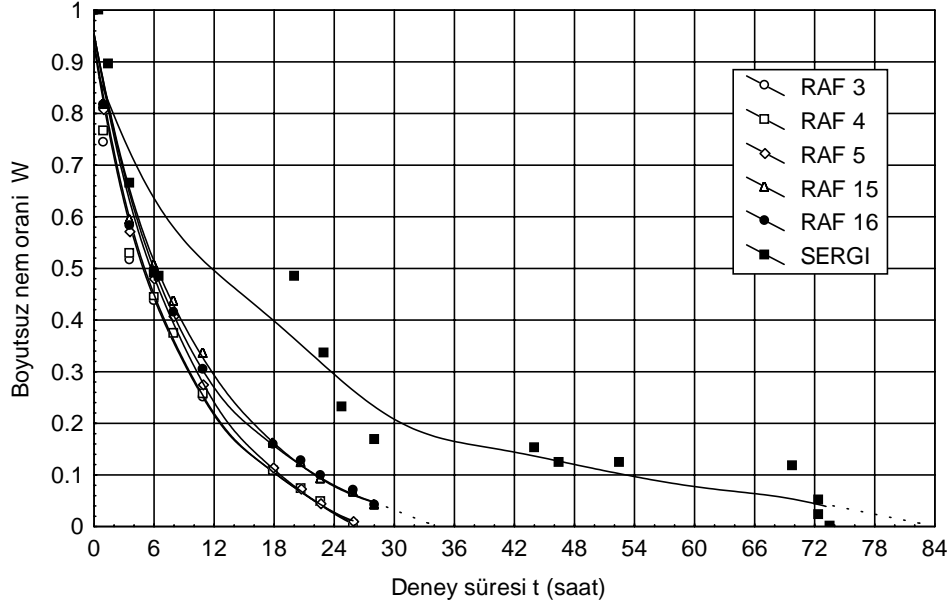
Şekil 8’de çadır tipli kurutucuda fındıkların serildiği bölgedeki sıcaklığın deney süresince değişimi dış ortam sıcaklığı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buradan da güneşli saatlerde çadır içerisinde dış ortama göre 10-20°C arasında daha yüksek bir sıcaklık değeri ölçülmüştür. Bu sistemde hava akışı ve çadır içerisindeki hava sıcaklığı, çadırın her iki yanındaki naylon örtülerin açılıp kapanması ile ayarlanmıştır.

Deneylerde zamana bağlı olarak kuruma eğrileri

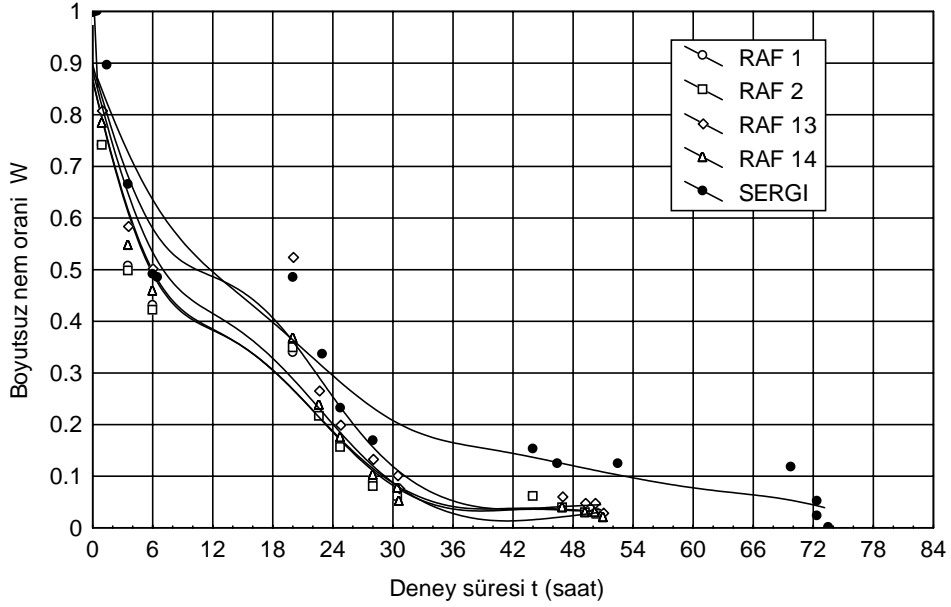
her numune için elde edilmiştir. Boyutsuz nem oranı

$$W = (M_t - M_e)/(M_o - M_e) \quad (1)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada; W boyutsuz nem oranını, M_t fındığın t anındaki kütleini, M_e ise fındığın içerisinde %6 nem kalacak şekilde hesaplanmış son kütleini, M_o ise başlangıçtaki kütleini göstermektedir. Bütün çalışmalarda boyutsuz nem oranının deney süresince değişimi açık sergideki kurutma ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 9. Ek ısıtıcı kullanılan kabinet tipli kurutucunun 5 farklı rafında kurutulan fıncığa ait kuruma eğrileri.



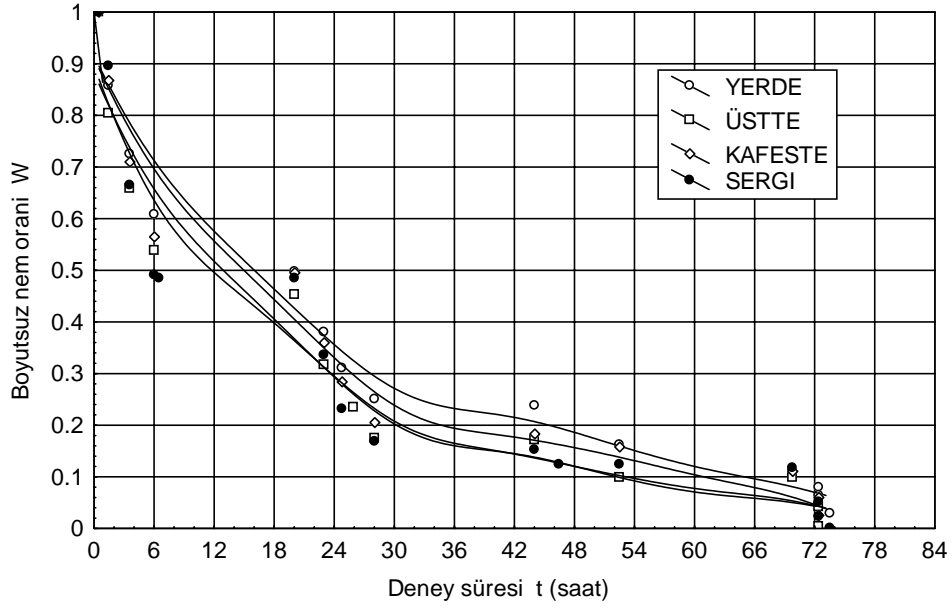
Şekil 10. Ek ısıtıcı kullanılan kabinet tipli kurutucunun 4 farklı rafında kurutulan fıncığa ait kuruma eğrileri.

Şekil 9’da ek ısıtıcı kullanılan kabinet tipli kurutma sisteminin raflarında (3, 4, 5, 15 ve 16 nolu) kurutulan fıncık ile açık sergide kurutulan fıncığın boyutsuz nem oranı-deney süresi değişimi eğrileri verilmiştir. Buradan en hızlı kurumanın,

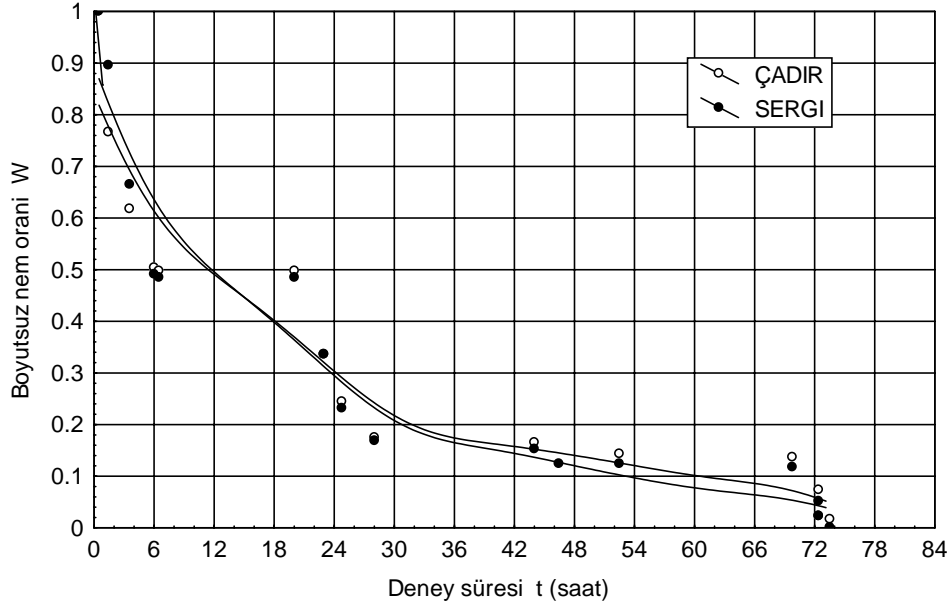
daha yüksek raf sıcaklığına sahip olan 3 ve 4nolu raflarda meydana geldiği (26 -28 saatte), 15 ve 16nolu raflarda ise kurumanın 30 saati geçeceği (35 saat), açık sergide ise bu sürenin 82 saate ulaşacağı görülmüştür.

Şekil 10'da ek ısıtıcı kullanılmayan kabinet tipli kurutma sisteminin 4 rafında (1, 2, 13 ve 14 nolu) kurutulan fındığın deney sonuçları, açık sergi

ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu sistemde fındıkların 50 saatin biraz üzerinde istenilen boyutsuz nem oranına geldikleri görülmüştür.



Şekil 11. Dolap tipli kurutucunun 3 farklı bölgesinde kurutulan fındığa ait kuruma eğrileri.

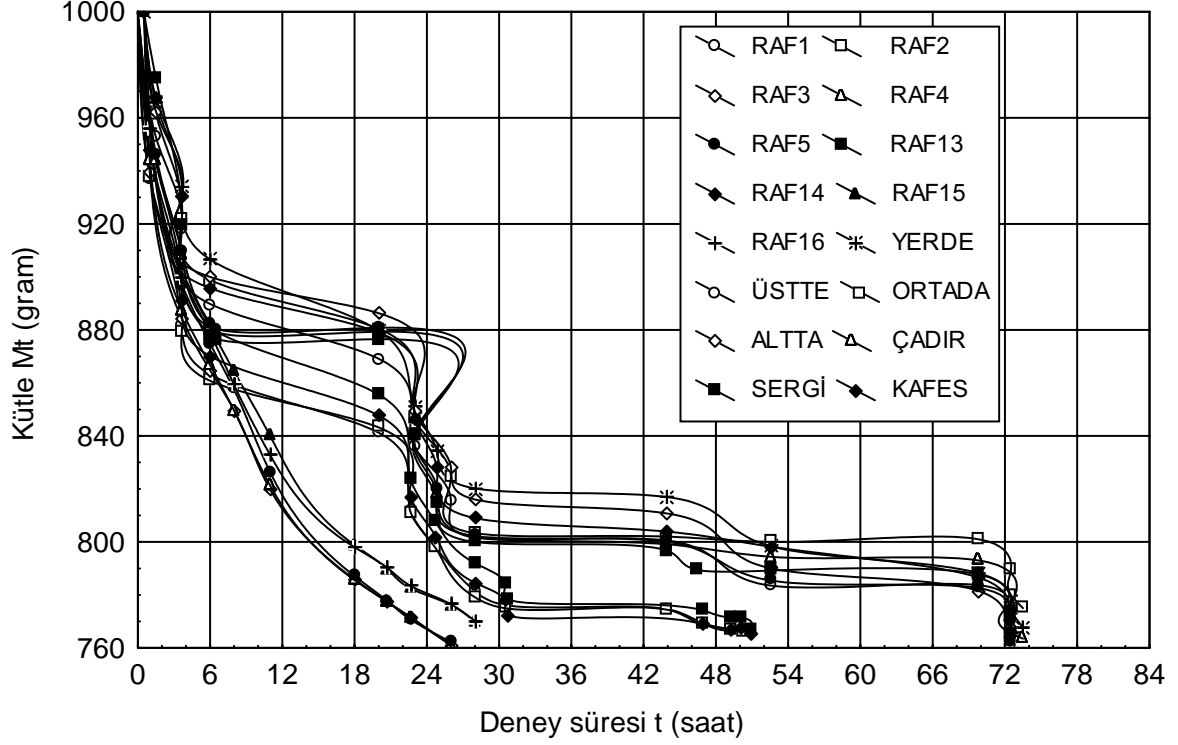


Şekil 12. Çadır tipli kurutucuda ve açık sergide kurutulan fındığa ait kuruma eğrileri.

Şekil 11’de dolap tipli kurutma sisteminde kurutulan fındığa ait sonuçlar verilmiştir. Burada en hızlı kuruma kafes içerisindeki fındıklarda görülmüştür. Sehpa üzerine konan fındıklar, kafes içindeki fındıklarla yaklaşık aynı sürede (72 saatte) kurumıştır. Dolap içerisinde yerde duran fındıklarda ise bu süre 76 saate ulaşmıştır.

Şekil 12’de çadırda ve açık sergide kurutu-

lan fındığa ait sonuçlar verilmiştir. Burada çadır (73 saat) ile açık sergide (82 saat) kuruma süreleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Çadır içerisinde dış ortama nazaran daha yüksek bir hava sıcaklığı sağlanmasına karşılık, hava akımının sürekli sağlanamaması kurutma koşullarına etki yaptığı sanılmaktadır. Bunun sonucunda istenilen bir kurutma süresi gerçekleşmemiştir.



Şekil 13. Tüm sistemlerdeki fındık kütlesinin deney süresince değişimi.

Tüm kurutma sistemlerindeki sonuçları birlikte görüp karşılaştırabilmek amacıyla Şekil 13’de kütle - deney süresi değişimi eğrileri verilmiştir.

Kurutulan fındık örneklerinin t anındaki kütlesi ve boyutsuz nem oranı sırasıyla

$$M_t = M_o e^{-at} \text{ ve } W = W_o e^{-bt} \quad (2)$$

olarak tanımlanmıştır (Tırıs ve arkadaşları, 1994). Burada M_t t anındaki kütlesini, M_o başlangıçtaki

kütlesini, a kuruma hız sabitini, t zamanı, W boyutsuz nem oranını, W_o başlangıçtaki boyutsuz nem oranını, b kuruma hız sabitini göstermektedir. Tablo 1’de tüm sistemlerdeki deney fındıklarının kütle kaybı ve boyutsuz nem oranı değerlerinin deney süresince değişimi üssel ifadelerle gösterilmiştir. Bu tablo incelendiğinde hızlı kurumanın meydana geldiği kabinet tipli kurutucunun 3, 4, 5, 15 ve 16nolu raflarında yüksek olan “a” ve “b” kuruma hız sabiti değerlerinin diğer sistemlerde düştüğü görülmüştür.

Tablo 1. Kurutma deneylerine uygulanan üssel eşitliklerin sabit katsayılarının değişimi

| | $M_t=M_0e^{-at}$ | | $W=W_0e^{-bt}$ | |
|--------|------------------|-------|----------------|-------|
| | M_0 | a | W_0 | b |
| RAF 1 | 915.23 | 0.004 | 0.782 | 0.065 |
| RAF 2 | 914.34 | 0.004 | 0.775 | 0.066 |
| RAF 3 | 936.03 | 0.009 | 1.356 | 0.188 |
| RAF 4 | 938.56 | 0.009 | 1.19 | 0.164 |
| RAF 5 | 946.69 | 0.009 | 1.169 | 0.153 |
| RAF 13 | 926.86 | 0.004 | 0.873 | 0.062 |
| RAF 14 | 919.45 | 0.004 | 0.849 | 0.07 |
| RAF 15 | 946.13 | 0.008 | 0.966 | 0.104 |
| RAF 16 | 943.29 | 0.008 | 0.939 | 0.103 |
| YERDE | 935.98 | 0.003 | 0.879 | 0.036 |
| ÜSTTE | 923.02 | 0.003 | 0.911 | 0.048 |
| KAFES | 932.25 | 0.003 | 0.858 | 0.038 |
| ÇADIR | 914.30 | 0.003 | 0.784 | 0.04 |
| SERGI | 919.10 | 0.003 | 0.767 | 0.038 |

İrdeleme

Bu çalışmada güneş enerjili kurutma sistemleri ile fındığın kurutulması incelenmiştir. Bu amaçla; farklı tiplerdeki ürünlerin kurutulmasına uygun, yerel atölye imkanlarıyla basit ve ucuz bir şekilde yapılabilecek 3 farklı kurutma sistemi tasarımı olarak imal edilmiştir. Bunlar; kabinet, dolap ve çadır tipli kurutuculardır. Kurutma işlemi en hızlı kabinet tipli kurutucunun raflarında gerçekleşmiş olup ek ısıtıcının da devreye girmesi ile kuruma daha da hızlanmıştır. Dolap tipli kurutma sisteminin bu tip ince taneli ürünlerin serilerek kurutulması için uygun bir tasarım olmadığı asarak yapılacak (tütün, balık gibi) kurutmalarda denenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Çadır tipli kurutucunun ise yapımının çok kolay olması ve kapalı havalarda da kullanılabilir olması nedeni ile fındık kurutmada kullanılabilir olacağı görülmüştür. Kurutulmuş fındıklardan alınan numuneler görünüm ve tat açısından da duyuşal değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Duyuşal değerlendirmede seçilmiş panelislere rasgele alınmış fındıklar tattırılmıştır. Değerlendirmede fındıkların tat, lezzet, acılık, dış görünüş, renk ve koku durumlarının dikkate alınması istenmiştir. Yapılan bu değerlendirme sonucunda kurutulmuş örnekler arasında görünüm ve tat açısından büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Gıdacılar tarafından yapılacak

bir çalışma ile ayrıca üründe yağ, protein ve lif tayini yapmak mümkün olacaktır. Genelde fındık üreticileri duyuşal değerlendirme ile yetinmektedirler. Deneysel çalışmada kullanılan kurutucuların üreticiler tarafından sadece fındık kurutmada kullanılması ekonomik olmayacaktır. Bu sistemlerle yıl boyunca diğer ürünler de kurutulmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma K.T.Ü. Araştırma fonundan desteklenmiştir. Deney düzeneğinin kurulmasındaki katkılarından dolayı K.T.Ü. Orman Fakültesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Kemal Üçüncüye ve ölçü sisteminin kurulmasında destek veren TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri Bölümüne ve Müdür yardımcısı Doç. Dr. Mustafa Tırıs'a teşekkür ederiz.

Semboller

- a : kuruma hız sabiti
- b : kuruma hız sabiti
- M_t : t anındaki numune kütlesini (g)
- M_e : fındığın içerisinde % 6 nem kalacak şekilde hesaplanmış son kütlesini (g)
- M_o : numunenin başlangıç kütlesini (g)
- W : boyutsuz nem oranı
- W_o : başlangıçtaki boyutsuz nem oranı

Kaynaklar

- Akyurt, M., Sevilir, E., Söylemez, E., Selçuk, K., Güney Enerjisi ve Bazı Yakıtlarla Meyve ve Sebze Kurutulması, TÜBİTAK, Tarım ve Ormanlık Araştırma Grubu, Proje no: TOAG-97, Ankara, 1971.
- Ayfer, M., Uzun, A., Baş, F., Türk Fındık Çeşitleri, Karadeniz Bölgesi Fındık İhracatçılar Birliği, Giresun, 1986.
- Bansal, N. K., Uhlemann, R., "Development and Testing of Low Cost Solar Energy Collectors for Testing", *Solar Energy*, 33, 197-208, 1984.
- Demirtaş, C., Fındık Kurutma Şartlarının Belirlenmesi, Doktora tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon, 1996.
- Demirtaş, C., Ayhan, T., Kaygusuz, K., "Drying Behaviour of Hazelnuts", *Journal Science of Agriculture*, 76, 559-564, 1998.
- Garg, H. P., "Status and Prospects of Solar Crop Drying", 1st World Renewable Energy Congress, 1990.
- Kahveci, N., Erdal, Y., Dinçer, İ., Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri ve Kullanım Olanakları, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Gebze, 1992.
- Lopez, A., Pique, M. T., Boatella, J., Romero, A., Ferran, A., Garcia, J., "Influence of Drying Conditions on the Hazelnut Quality, 1. Lipid Oxidation", *Drying Technology*, 15, 3-4, 965-977, 1997a.
- Lopez, A., Pique, M. T., Ferran, A., Romero, A., Boatella, J. Garcia, J., "Influence of Drying Conditions on the Hazelnut Quality, II. Enzymatic Activity", *Drying Technology*, 15, 3-4, 979-988, 1997b.
- Lopez, A., Pique, M. T., Boatella, J., Romero, J., Ferran, A., Garcia, J., "Influence of Drying Conditions on the Hazelnut Quality, III. Browning", *Drying Technology*, 15, 3-4, 989-1002, 1997c.
- Lopez, A., Pique, M. T., Boatella, J., Ferran, A., Garcia, J., Romero, A., "Drying Characteristics of the Hazelnut", *Drying Technology*, 16, 3-5, 627-649, 1998a.
- Lopez, A., Pique, M. T., Romero, A., "Simulation of Deep Bed Drying of Hazelnuts", *Drying Technology*, 16, 3-5, 651-665, 1998b.
- Mujumdar, A. S., *Handbook of Industrial Drying*, Marcel Dekker Inc, Volume 1., New York, 1995.
- Sodha, M. S., Dange, A., Bansal, P. K., Sharma, S. B., "An Analytical and Experimental Study of Open Sun Drying and a Cabinet Type Drier", *Energy Convers. Vol. 25*, no 3, 263-271, 1985.
- Şahin, İ., Erku A., Öztekin, L., Oysun, G., Üstün, Ş., Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesinde Yetiştirilen Fındık Çeşitlerinin Teknolojik Özellikleri Üzerine Araştırmalar, Araştırma Projesi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Samsun 1989.
- Tırıs, Ç., Özbalt, N., Tırıs, M., Dinçer, İ., "Experimental Testing of a New Solar Dryer", *International Journal of Energy Research*, Vol. 18, 483-490, 1994.