



GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ, ISI POMPALI KIRMIZIBİBER KURUTUCUSUNUN TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANS DENEYLERİ

Mustafa AKTAŞ*, İlhan CEYLAN**, Hikmet DOĞAN*, Zülfikar AKTEKELİ***

*Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Teknikokullar/ANKARA

**Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Balıklarkayası/KARABÜK

***Bilecik Üniversitesi Osmaneli Meslek Yüksekokulu, Osmaneli/Bilecik

(Geliş Tarihi: 01. 07. 2009, Kabul Tarihi: 29. 09. 2009)

Özet: Bu çalışmada, güneş enerjisi destekli ısı pompalı bir kurutucuda kırmızıbiber kurutulmuştur. Isı borulu güneş kolektörü ve havadan havaya ısı pompası sistemi kullanılarak kırmızıbiberler başlangıç nem miktarından (10.81 g su/g kuru madde) son nem miktarına (0.16 g su/g kuru madde) kadar kurutulmuştur. Kurutma sisteminde 24 saat kurutma periyodu ısı pompası desteği ile sağlanmıştır. PID kontrollü kurutucuda hava hızı proses kontrol cihazından set edilen sıcaklık değeri göre değişmiştir. Kırmızıbiberler 50 °C kuru termometre sıcaklığında ve ortalama 0.4 m/s hava hızında 210 dakikada kurutulmuştur. Deney sonuçlarına göre tüm sistem için ortalama ısıtma tesir katsayısı (COP_{wh}) 2.24 ve özgül nem çekme oranı ($SMER_{ws}$) 0.209 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kırmızıbiber, Kurutma, Güneş enerjisi, Isı pompası.

DESIGNING, MANUFACTURING AND PERFORMANCE EXPERIMENTS OF HEAT PUMP RED PEPPER DRYER ASSISTED SOLAR ENERGY

Abstract: In this study, redpeppers were dried in a heat pump dryer assisted solar energy. Redpeppers have been dried from initial moisture content (10.81 g water/g dry matter) to final moisture content (0.16 g water/g dry matter) by using heat pipe solar collector and air to air heat pump system. In the drying system, 24 h drying period was provided heat pump support. In PID controlled dryer, air velocity changed according to the temperature value which is set in process control device. Redpeppers were dried at 50°C dry bulb temperature and average 0.4 m/s air velocity in a period of 210 min. According to experiment results, average heating coefficient performance (COP_{wh}) and specific moisture extraction rate ($SMER_{ws}$) were calculated for whole system as 2.24 and 0.209 kg/kWh respectively.

Keywords: Red pepper, Drying, Solar energy, Heat pump.

GİRİŞ

Tarım ürünlerinin kurutularak muhafaza yöntemi, insanın doğadan öğrendiği ve bu yüzden de ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir. Bu yöntem çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmektedir. Doğada kuruma güneş ışığı ile gerçekleşmekte olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla sağlanması imkânsızdır. Kurutma, kısaca bir maddenin bünyesindeki suyun alınması olarak tanımlanır. Tarım kesimindeki ve gıda sanayindeki uygulamalarda uygun bir yöntem ile ürünün bünyesinde taşıdığı suyun alınmasına, çıkarılmasına veya buharlaştırılmasına, böylece nem oranının düşürülmesine kurutma (Dehidrasyon, Evaporasyon) denir (Kadayıfçılar, 1982). Belli bir süreçte ürünün kurutma değerlerine gelmesini sağlayan ve değişik birimlerden oluşan (ısıtma, nem alma) ünitelerin bütününe kurutma sistemi denir (Ceylan ve Doğan, 2004). Endüstriyel bir proses olan kurutma işlemi kimya, tekstil, seramik, inşaat malzemeleri, kereste, kağıt, gıda ve tarımsal ürünlerin

kurutulması gibi birçok alanda oldukça geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Kurutma işlemini gerçekleştirmek için çok değişik tasarımlarda kurutucular endüstriyel alanda kullanılmaktadır (Mujumdar, 1987).

Gıda maddelerine uygulanan kurutmanın birçok amacı olup, bunlardan en önemlisi, uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmasını önlemektir. Kurutma işlemi uzun süreli depolamalarda ürünün bozulmadan kalmasını ürünün nemini mikrobiyal gelişme veya diğer reaksiyonları sınırlayacak yeterli seviyeye düşürerek sağlar. Buna ek olarak nem miktarının düşürülmesi ile aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin muhafazası da sağlanmaktadır.

Kurutma işleminin diğer amacı ürün hacmini azaltarak, gıda maddesinin önemli bileşenlerinin taşınmasında ve depolanmasında verimliliği arttırmaktır (Evranoz ve Çataltaş, 1989).

Gıda maddelerinden meyve ve sebzelere kurutma işlemi yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu çerçevede, ülkemizde biber işleme tesislerinde kurutma temel işlemler arasında yer alır. Türkiye yılda 1390000 ton kırmızıbiber üretimi ile tek başına dünya üretiminin %10'unu karşılamaktadır. Kırmızıbiber yurdumuzun bütün bölgelerinde yetişmektedir. Türkiye’de beş değişik biber çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan Kahramanmaraş, Şanlıurfa, Kayseri, Bursa, Bilecik ve Gaziantep’ te üretilenler toz ve pul biber üretiminde son derece uygundur (Doğantan, 1986). Kahramanmaraş’da kırmızıbiber üreticiliği, kırmızı kuru biber üretimi için yapılmaktadır. Bölgede üretilen kırmızıbiber, yaygın biçimde Türkiye’nin iç talebini karşıladığı gibi, ihracatı da yapılmakta ve önemli ölçüde döviz kaynağı oluşturmaktadır (Tekinel vd, 1995).

Literatürde kırmızıbiber kurutulması ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Akpınar, kırmızıbiber dilimlerinin ince tabaka kurutma işleminin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Araştırmada, konvektif tip kurutucuda 55 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklık değerlerinde ve 1,5 m/s hava hızında kurutma işlemi gerçekleştirmiştir. Termodinamiğin I. kanunu kullanılarak enerji analizi ve termodinamiğin II. kanunu uygulanarak ekserji analizi yapılmıştır (Akpınar, 2004).

Koç vd. kırmızıbiber kurutmada kullanılan güneş enerjili bir kurutucu performansı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Açıkta kurutulan biberlerin toplam 37 saatte ilk ağırlıklarının %14’üne, buna karşın kurutucu içerisinde kurutulan biberlerin ilk ağırlığının %20’sinin altına düşmesi 46 saat sürmüştür. Yapmış oldukları çalışmada açık havada hızlı kurutma olmasına karşın, L-askorbik asit (C vitamini) ve renk seviyeleri incelendiğinde kurutucu ile kurutulan biberlerde elde edilen değerler açıkta kurutulan biberlerden daha yüksek olmuştur (Koç vd, 2004).

Onat, havalı güneş kolektörü ile kırmızıbiber kurutmuştur. Çalışmasında, kırmızıbiber için kurutma süresini etkileyen temel faktörlerin kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemi olduğunu çok az miktarda da hava hızının etkisinin olduğunu belirtmiş. Kırmızıbiber için en uygun kurutma havası hızının 0.5 m/s olduğunu da belirtmiştir 65 °C’nin üzerindeki kurutma işlemlerinde biberlerin renklerinde siyahlaşma olduğunu, 70 °C’nin üzerinde ise biberlerde yanma olduğunu gözlemlemiştir (Onat, 2002).

Makaracı, farklı kurutma yöntemlerinin kırmızıbiberlerde aflatoksin oluşumu üzerine etkisini incelemiştir. Yapmış olduğu çalışmada kırmızıbiberleri açık havada, fırında ve mikrodalga fırında kurutmuştur. Aflatoksin analizlerinde yapmış olduğu hiçbir kurutma yönteminde aflatoksine rastlamamıştır (Makaracı, 2006). Ürün üzerindeki sıcaklık değişimleri ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir (renk değişimi, aroma vb.) .

Bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak ısı pompası güneş destekli kurutucuda kurutma havasının sıcaklık kontrolü PID olarak sağlanmıştır. Yüksek su aktivitesi ve dolayısıyla nemden dolayı oluşan aflatoksin gıdalarda kansorejen bir etki oluşturmaktadır. Dolayısıyla kırmızıbiberleri kısa sürede, kaliteli ve kontrollü bir şekilde kurutabilmek için bu şekilde bir sistem tasarımına gidilmiştir. Daha az enerji maliyeti ile kontrollü, ilk yatırım maliyeti düşük, kurutma fırını ihtiyacı içerisinde olan üreticiye hitap edebilecek güneş enerjisi ve ısı pompası destekli bir sistem imal edilmiş ve kırmızı biber kurutulmasında deneysel olarak analiz edilmiştir.

KIRMIZIBİBERİN KURUTULMASI

Kırmızıbiberin kurutulmasında iki türlü kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi, ağırlık değişimine bağlı olarak üründeki nem kontrolü, ikincisi de kurutma sırasında ve sonrasında duyuusal kontroldür. Biberler saplarından arındırılıp tohum evleri temizlendikten sonra ortalama 4-5 mm kalınlığında boy boy dilimlenir. Taze kırmızıbiberlerin sap, tohum ve tohum evleri alındıktan sonra elde edilen ortalama etli kısım %69-74, kuru kırmızıbiberlerde ise %49-55, arasında değişmektedir. Tohum ve sap oranının düşük olması, kuru biberlerin yaprak ve toz biber üretiminde randıman değerlerinin artmasında önemli rol oynamaktadır (Demir, 1996).

Kurutma sonrası duyuusal kontrolde biberlerdeki renk değişimi göz ile görülebilmektedir. Ağırlık değişimine göre üründeki nem kontrolünün belirlenebilmesi için tam kuru ağırlığının bulunması gerekir. Kurutma işlemine başlanmadan önce biberler 70 ± 1 °C’ de sabit tutulan bir fırında belirli aralıklarla tartılarak kurutulur, birbirini takip eden 2 ölçüm sonunda ağırlığın %1’den az olması durumunda biberler tam kuru sayılır (TS-2134, 1987).

Biberlerdeki kuru esasa göre hesaplanan nem miktarı için;

$$MC_{KA} = \frac{M_t - M_e}{M_e} \quad (1)$$

eşitliği kullanılır.

Biberlerdeki yaş esasa göre hesaplanan nem miktarı için;

$$MC_{YA} = \frac{M_t - M_e}{M_t} \quad (2)$$

eşitliğinden faydalanılır (Ashrae, 1993).

Biberlerdeki nem oranının hesaplanması için de eşitlik 3 kullanılır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (3)$$

Yapılacak teknik kurutma işlemi ile bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli minimum su aktivitesi (a_w) değerinin altına düşürülmüş olacaktır (Cemeroğlu vd, 2003). Bir gıdanın su aktivitesi (a_w), onun mikrobiyolojik veya kimyasal-biyokimyasal yollarla bozularak kalitesini kaybetmesi üzerinde rol oynayan önemli bir faktördür (Antony ve Fontana, 2000). Tablo 1’de bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli minimum su aktivitesi değerleri görülmektedir. Gıdaların içerisindeki nemin bulunduğu ortam havasının bağıl nemi ile dengeye bulunmasına “higroskopik denge” denir. Kırmızı biber için son nem miktarı tam kuru maddeye göre % 20’dir. Gıdanın içerisindeki su oranının bulunduğu çevre havası bağıl nemi ile dengeye ulaştığında, çevre havası bağıl neminin 100’ e bölünmesi ile o gıdaya ait mevcut su oranındaki su aktivitesi (a_w) bulunmuş olur ve eşitlik 4 ile gösterilebilir.

$$a_w = \frac{\text{ÇBN}}{100} \quad (4)$$

Tablo 1. Bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli minimum su aktivitesi (a_w) değerleri (Cemeroğlu vd, 2003).

Oluşturulan mikotoksinler	Küfler	Minimum su aktivitesi değerleri	
		Faaliyet için	Toksin üretimi için
Aflatoksin	Aspergillus flavus	0.82	0.83-0.87
	A. parasiticus	0.82	0.87
Ochratoksin	A. ochraceus	0.77	0.85
	Penicillium cyclopium	0.82-0.85	0.87-0.90
Patulin	P.expansum	0.81	0.99
	P.patulum	0.81	0.95
Stachybotryn	Stachybotrys altra	0.94	0.94

KURUTMA SİSTEMİ

Tasarlanıp imalatı yapılan sistem kompresör, yoğuşturucu (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör), kurutucu filtre (dryer), kılcal boru, fan, frekans invertörü, proses kontrol cihazı, kurutma odası ve güneş kolektöründen oluşmaktadır (Şekil 1).

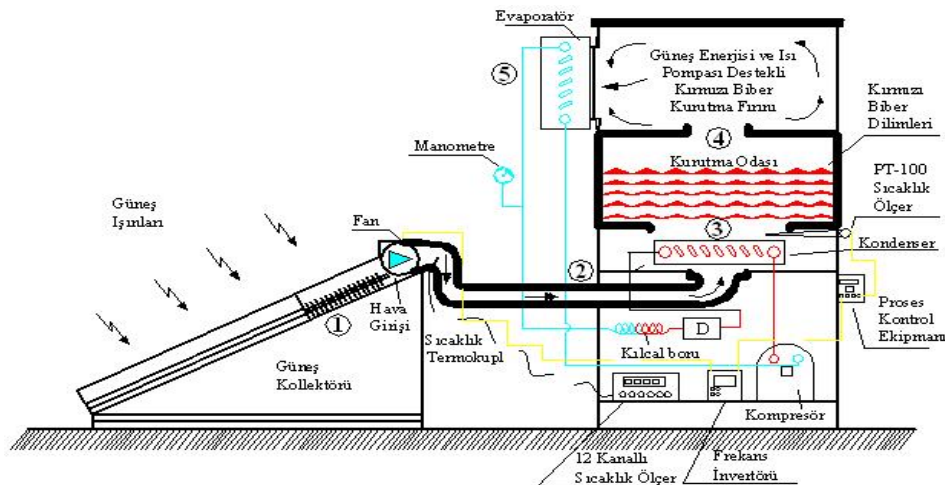
Deney sistemi ısı pompası sisteminin yoğuşturucusunu ve güneş kolektörünü enerji kaynağı olarak kullanacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir.

Kurutma fırını içerisindeki biberlerin nemi güneş kolektöründen ve ısı pompası sisteminin yoğuşturucusundan aldığı ısı ile buharlaşarak kurutma havasına karışacaktır.

% 100 dış hava ile çalışan güneş enerjisi destekli kurutucuda, ısı borulu kolektörü girişine konulan fanın devri kurutma havası sıcaklığı olarak belirlenen 50 °C sıcaklığı ürün üzerinde sağlayabilmek için frekans invertörü ile kontrol edilecektir.

Kurutma sisteminin imalatında kullanılan ekipmanların özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Güneş kolektörü ısı borulu tip olup ısı borusunun kondenser kısmındaki kanatçıklı yüzeyden kurutma havası geçirilerek kurutma havasının ısıtılması sağlanacaktır. Isı pompası sisteminde soğutucu akışkan olarak R-134a gazı kullanılmıştır.



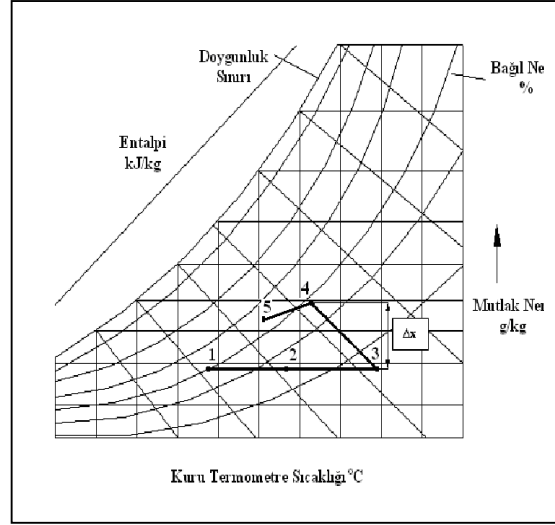
Şekil 1 . Isı pompalı, güneş enerjisi destekli kırmızıbiber kurutma fırını

Tablo 2. Isı pompalı kurutucuda kullanılan ekipmanların özellikleri

Kullanılan Ekipman	Teknik Özellikleri
Kompresör	Danfoss, 1/3 HP
Kondenser	½ HP
Evaporatör	1/3 HP
Salyangoz fan	125 W, 350 m ³ /h, 2700 d/d, 50 Hz, 220 V
Güneş kolektörü	Isı borulu, bakır borulu, 0.8 m x 0.5 m ebatında, toplam dört ısı borusu, ısı boruları bakır kanatçıklı
Proses kontrol ekipmanı	Ordal, PC440, 4 W, 100-240V AC, Transmitter kaynağı 24 V DC, Auto-Tuning, PID kontrol.
Invertor (driver)	Commander SK, 3 fazlı indüksiyon motorları için, AC değişken hız sürücüsü, Güç aralığı 0.25 kW - 4 kW, 0.33 HP - 5 HP
Termokupl (T, Pt-100)	Elimko, Giriş Pt-100, R/T Tip, Skala 0-70°C, Besleme 24 V - DC, Çıkış 4-20 mA

Kurutma sisteminde proses kontrol cihazından set edilen sıcaklık değerine göre salyangoz fanın devri ayarlanacaktır. Set edilen değer termokupl ile ölçülen sıcaklıktan büyükse salyangoz fandan üflenen havanın debisi azalacaktır. Böylelikle daha az debideki dış hava ısı borulu güneş kolektörü ve kondenserden geçirilerek sıcaklığın, set edilen değere ulaşması sağlanmaktadır. Set edilen değer termokupl ile ölçülen sıcaklıktan küçükse salyangoz fandan üflenen havanın hızı artmaktadır. Dolayısı ile daha fazla debideki dış hava kondenserden geçirilerek termokupl ile ölçülen sıcaklığın set edilen değere ulaşmasını sağlamaktadır.

Şekil 2’de kurutma sistemi üzerinde rakamlar ile gösterilen hava akışının psikrometrik diyagramı gösterilmiştir. “1” şartlarındaki dış hava ısı borulu güneş kolektöründe duyulur olarak ısıtılarak “2” şartına gelir. “2” şartındaki hava kondenserde duyulur olarak bir miktar daha ısıtılarak “3” şartında kurutma odasına girmektedir. Güneş kolektörü ve kondenserde ısıtarak sıcaklığı ΔT kadar artan hava kurutma odasına gönderilerek “4” şartında kurutma odasından Δx kadar nemi artarak çıkacaktır. Mutlak nemi yükselerek kurutma odasını terk eden “4” şartındaki hava evaporatör üzerinden geçirilerek yani soğutularak nemi alınıp “5” şartına gelecektir. “3-4” eğrisi ısı kayıplarının ihmal edildiği durumda entalpi eğrilerine paralel olacaktır. Psikrometrik diyagramda verilen noktalar ayrıca Şekil 1 üzerinde de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kurutma Sisteminin Psikrometrik Analizi

DENEYSSEL YÖNTEM

Tam Kuru Ağırlığın Belirlenmesi

Tam kuru ağırlığın belirlenmesinde iki türlü yöntem vardır bunlar endirekt ve direkt yöntem olarak tanımlanır. Direkt metot fırında kurutma işlemi ile gerçekleşmekte olup ürünün kütle değişimi esasına dayanır. Endirekt metotta ise nem ölçüm cihazlarından faydalanılmaktadır (Ashrae, 1997).

Deneylelerden önce temin edilen kırmızıbiberler tam kuru ağırlığı belirlenmek üzere hazırlanmıştır. Taze kırmızıbiberlerin sap, tohum ve tohum evleri alındıktan sonra elde edilen ortalama etli kısım ortalama 4-5 mm kalınlığında boy boy dilimlenmiştir.

Etüv fırınında saatlik kurutma periyotları sırasınca ağırlık değişimi saatte bir takip edilerek, en son iki ölçüm arasındaki fark % 1’den daha az olana kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Ağırlık değişimleri saatte bir takip edilerek, değerler kaydedilmiştir. Ölçümler Mettler Toledo marka dijital ağırlık ölçüm cihazı ile yapılmıştır. İki ölçüm arasındaki fark %1’den daha az olduğu durumda kırmızıbiberler tam kuru kabul edilmiştir.

Bu işlemler üç ayrı numune için ayrı ayrı yapılarak tam kuru ağırlık değeri olarak bu üç değerın ortalaması alınmıştır.

Kırmızıbiberlerin kuru baza göre başlangıç nem miktarı Eşitlik 1’den ortalama olarak 10.81 g su/g kuru madde olarak belirlenmiştir.

Belirsizlik Analizi

Belirsizlik analizi verilen bilgilerin doğruluk sınırlarını belirler. Kurutucuda kullanılan 3 ölçüm cihazının standart sapmaları göz önünde bulundurularak belirsizlikleri Eşitlik 5-9'dan hesaplanmış ve Çizelge 3'de verilmiştir.

$$X_M = \frac{1}{N} \sum X_i \quad (5)$$

$$V = \frac{1}{(N-1)} \sum (X_i^2 - X_M^2) \quad (6)$$

$$S = \sqrt{V} \quad (7)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (8)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R a_i^2 \cdot S_i^2} \quad (9)$$

Eşitliklerde “ X_M ” gözlemlerin aritmetik ortalaması, “ X_i ” yapılan gözlemler, “ N ” gözlem sayısı, “ a ” hassasiyet, “ S ” standart sapma, “ V ” varyans “ U ” belirsizliktir (Ceylan vd, 2007).

Isıtma Tesir Katsayısı

Sistemde kondenserden atılan ısı miktarı (\dot{Q}_K) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_{ia} \cdot c \cdot (T_{ia} - T_{aai}) \quad (10)$$

$$\dot{m}_{ia} = \rho_{ia} \cdot \dot{V}_i \quad (11)$$

Eşitlikte “ \dot{m}_{ia} ”, kurutma havasının kütleli debisi, “ c ”, kurutma havasının özgül ısı, “ \dot{V}_i ”, kurutma havasının hacimsel debisi, “ ρ_{ia} ”, kurutma havasının yoğunluğu, “ T_{ia} ve T_{aai} ” ise sırasıyla kondenserden çıkan ve kondensere giren havanın sıcaklığıdır.

Kondenser sıcaklığı (T_K) ile evaporatör sıcaklığı (T_E) arasında ideal bir soğutma çevrimi için maksimum ısıtma tesir katsayısı ($COP_{c,h}$) Carnot çevrimi ile aşağıdaki eşitlik ile belirlenir .

$$COP_{c,h} = \frac{T_K}{T_K - T_E} \quad (12)$$

Normal bir uygulama için, enerji tüketimi ısı pompasının kompresöründe meydana gelmektedir. Sistemde diğer ekipmanlarda söz konusu olabilir, örneğin fan vb.

Bir ısı pompası sisteminde ısıtma tesir katsayısı ($COP_{hp,h}$) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$COP_{hp,h} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_c} \quad (13)$$

Bütün sistem için ısıtma tesir katsayısının (COP_{wh}) hesaplanmasında tüketim ekipmanları için (kompresör, fan ve diğer ekipmanlar) aşağıdaki eşitlik kullanılır (Aktaş, 2007).

$$COP_{wh} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_c + \dot{W}_1} \quad (14)$$

Kurutma fırınlarında en önemli verim etkinliği 1 kg nem kaldırmak için harcanması gereken enerjidir. Özgül nem çekme oranı (SMER) olarak tanımlanan bu ifade eşitlik 15’de olduğu gibi ve tüm sistem için de eşitlik 16’da verilmiştir (Ceylan, 2007).

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c} \quad (15)$$

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c + \dot{W}_1} \quad (16)$$

Kırmızıbiberlerin Kurutulması

Başlangıç nem miktarları belirlenmiş olan kırmızıbiberler kurutucuda kurutma kabineye yerleştirilerek, kurutma işlemine hazır hale getirilmiştir. Sistemde istenilen kurutma havası sıcaklığı proses kontrol cihazından 50°C olarak set edilerek kurutma işlemi başlatılmıştır.

Yapılan deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri

Kullanılan cihaz	Özellikleri	Belirsizlik
Dijital tartı	Mettler Toledo, Excellence XS6002S model, en yüksek ölçülebilecek miktar 6100 g, ölçüm hassasiyeti 0,01 g.	\mp 1.360 g
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.	\mp 0.00732 m/s
Sıcaklık ve nem ölçüm cihazı* (Termohigrometre)	Testo, 625 model, 5-95% bağıl nemde \pm 3 % ölçüm hassasiyeti, 0-50 °C sıcaklıkta \pm 0,5 °C ölçüm hassasiyeti.	\mp 1.40 RH (%)
Sıcaklık ölçüm cihazı**	Elimko, tip E-6700-12, tip J, ölçüm aralığı 0°C-400 °C, 12 kanallı elektronik sıcaklık ölçüm cihazı.	\mp 0.59 °C
Su aktivitesi ölçüm cihazı	Testo, 650 model, su aktivitesi a_w değeri 0-1 arasında olduğunda ölçüm hassasiyeti 0.001.	\mp 0.0145

* Havanın sıcaklığı ve bağıl neminin ölçülmesinde kullanılmıştır.

** Güneş kolektöründen çıkan havanın sıcaklık değerinin ölçülmesinde kullanılmıştır.

Kurutma İşleminin Sonlandırılması

Kurutma işleminde aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurularak, kontroller yapılmış ve kurutma işlemi sonlandırılmıştır.

- Kırmızıbiberin son nem miktarı
- Kırmızıbiberlerde yapılan duyu analizi
- Kurutma sonrası biberlerin su aktivitesi değeri

Kırmızı biberlere kurutma sonrası yapılan duyu analizi el ve göz ile olmaktadır. El ile yapılan duyu analizi kurutulmuş biberler ikiye katlandığında kırılabilir hale gelmeli öğütülmeye hazır olmalıdır. Şekil 3 (b)'de gösterilmiş olan kurutulmuş biberler ikiye katlandığında kırılabilir hale gelmiştir. Kırmızıbiberlerin kurutma sonrası su aktivitesi değeri (a_w) 0,35 olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde Tablo 3'de özellikleri verilen su aktivitesi ölçüm cihazı kullanılmıştır. Çizelge 1'den görüleceği üzere 0,35 su aktivitesi değeri küflerin ve mikrotoksinlerin oluşmasının önlenmesi için olması gereken değerlerin altında bir değerdir. Kurutma öncesi ve sonrası elde edilen kırmızıbiberler ait resimler Şekil 3'te verilmiştir.

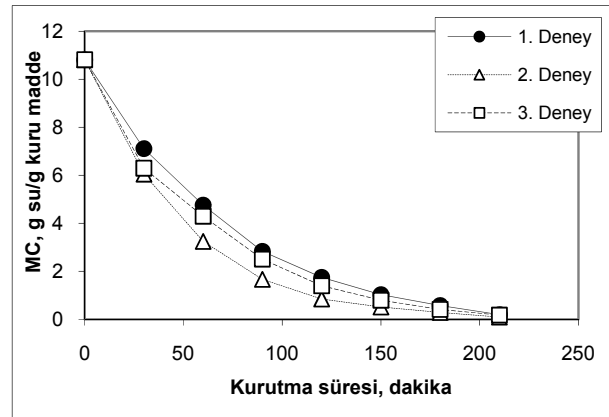


a) kurutma öncesi b) kurutma sonrası

Şekil 3. Kırmızıbiberlere ait resimler

DENEY SONUÇLARI

Eşitlik 1'den kırmızı biberlerin tam kuru madde miktarına göre nem değişimi hesaplanarak Şekil 4'de gösterilmiştir.

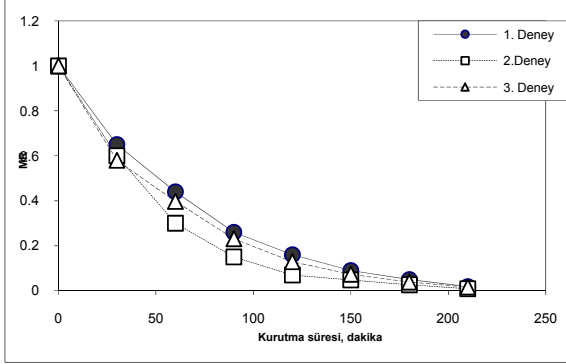


Şekil 4. Nem Miktarının Kurutma Süresine Bağlı Olarak Değişimi

Aynı başlangıç nemindeki kırmızı biberler 3 farklı gün kurutucuda kurutma işlemine tabii tutulmuştur. 210 dakika süren kurutma işlemi sonunda 1. deneyde 0.2 g su/g kuru madde, 2. deneyde 0.1 g su/g kuru madde ve 3. deneyde 0.18 g su/g kuru madde nem miktarlarına inilmiştir.

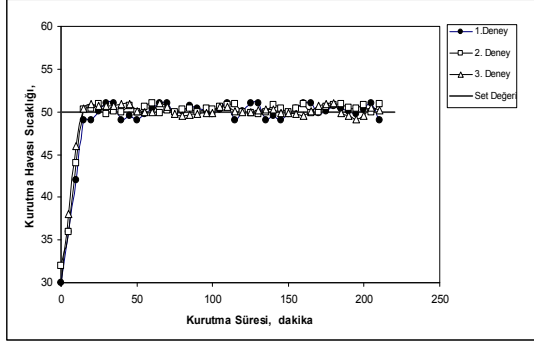
Nem oranının hesaplanmasında eşitlik 3 kullanılarak Şekil 5'deki grafik oluşturulmuştur. Şekil 5'den görüleceği üzere kurutma işleminin başlangıcında ürün içerisindeki serbest nemden ötürü kuruma oranı da fazla olmuştur. Kurutma işleminin ilerleyen safhalarında ürün

içerisindeki nem miktarına göre kuruma oranı azalmıştır. Kurutma işleminin 120. dakikasından sonra şekilde görüleceği üzere kuruma hızı önemli miktarda azalmıştır.



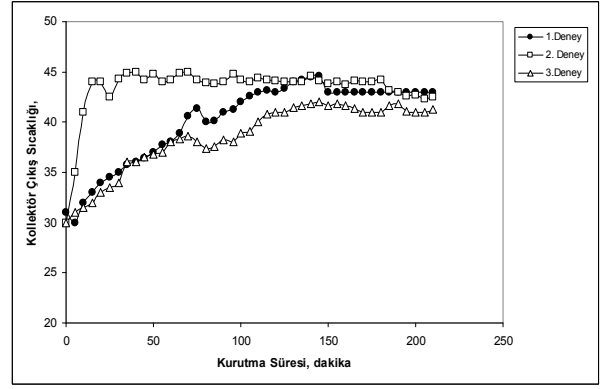
Şekil 5. Nem Oranının Kurutma Süresine Bağlı Olarak Değişimi

Deneyler sırasında kurutma havası sıcaklığı Şekil 1’de gösterilen proses kontrol cihazından 50 °C’ye set edilmiştir. Set edilen sıcaklık değerleri ile ölçülen sıcaklık değerlerinin grafiği Şekil 6’da gösterilmiştir. Kurutma havası sıcaklığı $\pm 0,4$ °C hassasiyetle sağlanmıştır. Set edilen 50 °C sıcaklık değerinde 3 farklı deney yapılmıştır. Deneylerin farklı dış ortam şartlarında gerçekleştirebilmesi için deneyler farklı günlerde yapılmıştır.



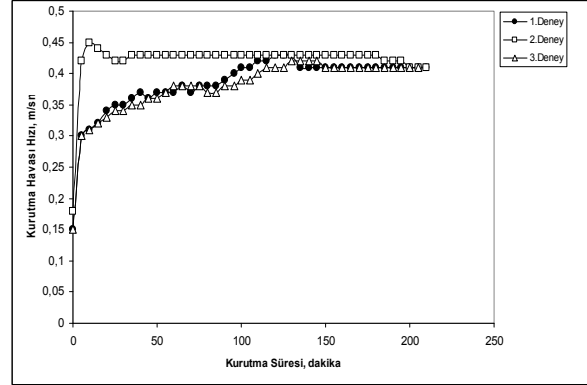
Şekil 6. Kurutma Havası Sıcaklığının Kurutma Süresine Bağlı Olarak Değişimi

Kurutma havası ısı pompasının kondenserinden geçmeden önce ısı borulu güneş kolektörü ile bir ön ısıtmaya tabii tutulmuştur. Kurutma havasının hızı, kondenser çıkışına konulan Pt-100 tipi sıcaklık algılayıcısı vasıtası ile frekans invertörü kullanılarak kurutma havası sıcaklığına göre değişmiştir. Kondenser giriş sıcaklığı yükseldikçe kurutma havası hızı da yükselmiştir. Sistemde, güneş kolektörü çıkışı yani kondenser giriş sıcaklıkları Şekil 7’de gösterilmiştir.

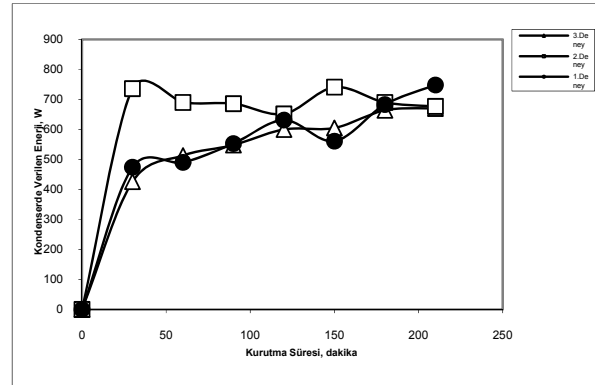


Şekil 7. Kolektör Çıkış Sıcaklığının Kurutma Süresine Göre Değişimi

Şekil 7’de görüldüğü üzere kolektör çıkış sıcaklığı kurutma süresine göre artan bir periyot izlemektedir. Bu artışa göre kurutma havası hızı da artmıştır. Şekil 8’de kondenser giriş (kolektör çıkışı) sıcaklığı arttığından dolayı kurutma havası hızındaki artış görülmektedir. Kurutma havası hızının artması ile sistemde kurutucu içerisine verilen enerji de artmıştır. Kurutucuda kondensere havaya verilen enerjinin kurutma süresine göre değişimi Şekil 9’da eşitlik 10 ’dan hesaplanarak gösterilmiştir.



Şekil 8. Kurutma Havası Hızının Kurutma Süresine Göre Değişimi



Şekil 9. Kurutucuda Kondensere Havaya Verilen Enerjinin Kurutma Süresine Göre Değişimi

Yapılan deney sonuçlarına göre eşitlik 13-16 kullanılarak SMER ve COP değerleri hesaplanmış ve Tablo 4’de gösterilmiştir. Tüm sistem için **SMER_{ws}** ve **COP_{wh}** değerleri kurutucuda kullanılan fanın harcadığı enerji de hesaba katılarak eşitlik 14 ve 16 yardımı ile hesaplanmıştır.

Tablo 4. Özgül nem çekme oranı ve ısıtma tesir katsayıları

	SMER kg/kWh	SMER _{ws} kg/kWh	COP _{hp,h}	COP _{wh}
1. DENEY	0.266	0.208	2.68	2.09
2. DENEY	0.27	0.21	2.94	2.3
3. DENEY	0.267	0.209	2.99	2.33

DEĞERLENDİRME

- Sistemin ısı pompası destekli yapılmasının nedeni; kurutmanın 24 saatlik periyotta sürdürülebilmesidir.
- Sıcaklığın PID olarak kontrol edilmesi ile üründe, sıcaklık değişiminden dolayı oluşabilecek renk değişimi engellenmiştir. Böylece ürün kaliteli olarak kurutulmuştur.
- Güneş enerjisi desteği ile de ısı pompası sisteminde harcanan enerji miktarı azalmıştır.
- Biberin işlenmesine yönelik Dünya standartları, biberin sadece kurutucularda kurutulmasını öngörmektedir. Kırmızıbiberde kurutma toprak üzerinde ve doğrudan etkili güneş ışığı ile yapılırsa bibere toz toprak karışmakta gündüz kuruma gece çiylenme oluşmakta ve biberde çeşitli küfler ve mikotoksinler oluşabilmektedir.
- Dışarıdan taze hava alınarak yapılan kurutmada hava, güneş kolektörü ve kondenserde ısıtılarak bağıl nemi düşmüş ve böylece bünyesine nem alma kabiliyeti arttırılmıştır. Bu da kurutma süresini kısaltmıştır.
- Sistemde sadece güneş enerjisi kullanılarak kurutma işlemi gündüz güneşli günlerde yapılabilir ve gecede ısı pompasından faydalanılabılır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 07/2008-05 kodlu proje kapsamında Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

SEMBOLLER

a_w	Su aktivitesi
c	Havanın özgül ısısı, [kJ/kg °C]
COP	Carnot çevriminin ısıtma tesir katsayısı
COP _{hp,h}	Carnot çevrimine göre ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı
COP _{wh}	Carnot çevrimine göre bütün sistemin ısıtma tesir katsayısı
ÇBN	Çevre havası bağıl nemi [%]
ΔT	Kondenser giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki fark, [°C]
MC_{YA}	Yaş maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g yaş madde]
MC_{KA}	Kuru maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g kuru madde]
M_t	Kurutmadan önce numune kütlesi, [g]
M_e	Kurutmadan sonra numune kütlesi, [g]
\dot{m}	Kütleli debi [kg/s]
\dot{m}_d	Kuruma oranı [kg/h]
\dot{Q}	Birim zamanda verilen enerji [kW]
PID	P-Oransal, I-İntegral, D-Türev
SMER _{hp}	Isı pompalı kurutucu için özgül nem çekme oranı [kg/kWh]
SMER _{ws}	Isı pompalı kurutucuda bütün sistem için özgül nem çekme oranı [kg/kWh]
\dot{W}_f	Fan gücü [kW]

KAYNAKLAR

- Akpınar, E., K., Energy and Exergy Analyses of Drying of Red Pepper Slices in a Convective Type Dryer, *Int. Comm. Heat and Mass Transfer*, (31)8: 1165-1176, 2004.
- Aktaş, M., Isı Pompası Destekli Fındık Kurutma Fırınının Tasarımı, İmalatı ve Deneysel İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Ankara, 70-85, Mayıs 2007.
- Anthony, J., Fontana, Jr., Water Activity's Role in Food Safety and Quality, *Presented at the second NSF International conference on food safety*, Savannah, GA, USA, 1, 2000.
- Ashrae, Fundamentals, chapter 11, *Psychological Factors in Drying and Storing Farm Crops*, 11.4-11.7, 1997.
- Ashrae Temel El Kitabı Bölüm 10, *Tarım Ürünlerinin Kurutulmasında ve Depolanmasında Göz Önüne Alınacak Fizyolojik Etkenler*, Tesisat mühendisleri derneği teknik yayınlar, 10.5, 1993.
- Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., Özkan, M., *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*, Gıda teknolojisi derneği yayınları no:28, Ankara, 544-570, 2003.
- Ceylan, İ., Doğan, H., Nem Kontrollü Kondenzasyonlu Kereste Kurutma Fırını, *II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 155-166, 2004.
- Ceylan, İ., Aktaş, M., Doğan, H., Isı pompalı Destekli Bir Kurutucuda Kerestelerin Kurutma Süresinin Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt-22, No 4, 847-854, 2007.
- Ceylan, İ., Programlanabilir (PLC) Isı Pompalı Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve Kereste Kurutma İşleminde Deneysel İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Ankara, 45-80, Mayıs 2007.
- Demir, L., Kahramanmaraş Kırmızıbiberinin Farklı Materyaller Üzerine Serilerek Güneşte Kurutulması Üzerine Bir Çalışma, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş, 1996.
- Doğantan, Z., S., Kahramanmaraş Biberinin Kurutmaya Yönelik Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Saptanması ile Doğal Koşullarda ve Plastik Örtü Altı Güneş Toplayıcılarıyla Kurutma Üzerine Bir Araştırma, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi*, Adana, 1986.
- Evranuz, Ö., Çataltaş, İ., *Gıda İşleme Teknolojisi*, Anka Ofset birinci baskı, 260-262, 1989.
- Kadayıfçılar, S., *Gıda Teknolojisi Makineleri*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders Notu, Ankara, 143-153, 1982.
- Koç, A., B., Toy, M., Hayoğlu, İ., Vardin, H., Kırmızıbiber Kurutmada Kullanılan Güneş Enerjili Bir Kurutucu Performansı, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8, 57-65, 2004.
- Makaracı, A., Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kırmızıbiberlerde Aflatoksin Oluşumu Üzerine Etkisi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 21-22, Tekirdağ, 2006.
- Mujumdar, A., S., *Handbook of Industrial Drying*, Marcel Dekker Inc., New York, USA, 28-32, 1987.
- Onat, A., Kırmızıbiberin Havalı Güneş Kolektörü Sistemi İle Kurutulması, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi*, 129-130, İstanbul, 2002.
- Tekinel, O., Tuncer, İ.K., Başer, N., Abak, K., Pakyürek, Y., Çoksöyler, N., Kahramanmaraş Kırmızı Biberinde İhracata Yönelik Kaliteli Yetiştirme İşleme ve Pazarlamada Karşılaşılan Sorunlara Çözüm Arayışları, *Panel, KSÜ Yayınları*, no:11, 7-9, Kahramanmaraş, 1995.
- TS-2134, *Baharat-Rutubet Miktarının Tayini*, Kasım 1987.



Mustafa AKTAŞ, 1979 yılında Bolu’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara’da tamamladıktan sonra 2000 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Anabilim Dalı’ndan mezun oldu. 2001 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Anabilim Dalı’nda Arş. Gör. olarak göreve başladı. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü’nde Yüksek Lisans çalışmasını ve 2007 yılında da Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü’nde Doktora çalışmasını tamamladı. Kurutma sistemleri, iklimlendirme, soğutma ve güneş enerjisi konularını içeren yaklaşık 35 adet yurt içi ve yurt dışı yayını bulunmaktadır. Halen Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Anabilim Dalı’nda Öğretim Görevlisi Doktor olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.



İlhan CEYLAN, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden 1999 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karaelmas Üniversitesi Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığında kontrol uzmanı olarak çalışmaya başladı. 2003 yılında Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Yüksek lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’ne doktora yapmak üzere görevlendirme aldı. 2007 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde doktora eğitimini tamamladı. Kurutma, Güneş Enerjisi Sistemleri, İklimlendirme ve Soğutma konularını içeren yaklaşık 40 adet yurt içi ve yurt dışı yayını bulunmaktadır.



Prof. Dr. Hikmet DOĞAN; 1954 yılında Malatya’da doğdu. 1979 yılında Ankara Yük. Tek Öğret. Okulu’ndan mezun oldu. 1985 yılında G. Ü. Tek. Eğt. Fak. Mak. Bölümünde Arş. Gör. olarak göreve başladı. 1987 yılında, aynı üniversiteye bağlı Fen Bilimleri Enstitüsü’nde “Isı Borulu Sera Tipi Damıtıcı” konulu tez çalışması ile Yüksek Lisans’ını, 1995 ‘de “Isı Borulu Güneş Kollektörü Yardımı İle Meyve ve Sebze Kurutulmasında Bazı Parametrelerin Belirlenmesi” konulu tez çalışması ile de doktora çalışmasını tamamladıktan sonra 1996 ‘da “Yrd. Doç. Dr.”, 1997 ‘de “Doçent Dr.” ve 2003 tarihinde de Prof. Dr. unvanını aldı. Halen aynı Üniversite’ye bağlı olarak kurulan Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Bölümü’nde öğretim üyesi olarak görev yapmakta olan Doğan’ın, değişik konuları ihtiva eden bilimsel makaleleri ve üç yardımcı ders kitabının yanında “Siyün-Bike” adlı bir tarihi araştırma romanı ve “Hesaplaşma” adlı bir de tiyatro eseri bulunmaktadır.



Zülfikar AKTEKELİ, 1983’ de Ankara’ da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Vakıflar İlköğretim Okulunda tamamlamıştır. 1997 yılında Ankara Kaya Bayazıtöğlü Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesini kazandı, 2001 yılında buradan mezun oldu. 2001 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Öğretmenliği Bölümü’nü kazandı. 2006 yılında bu bölümden mezun olarak teknik öğretmen ünvanını aldı. 2007 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde başladığı yüksek lisans programına devam etmektedir.