TESKON 2015 / TERMODİNAMİK SEMPOZYUMU

Bu bir MMO yayınıdır

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

GÜNEŞ ALTINDA KURUTMA PROSESİNDE BİBERİN KONVEKTİF ISI TRANSFER KATSAYISININ BELİRLENMESİ

KAMİL NEYFEL ÇERÇİ
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ

EBRU KAVAK AKPINAR
FIRAT ÜNİVERSİTESİ

MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

BİLDİRİ

GÜNEŞ ALTINDA KURUTMA PROSESİNDE BİBERİN KONVEKTİF ISI TRANSFER KATSAYISININ BELİRLENMESİ

Kamil Neyfel ÇERÇİ
Ebru KAVAK AKPINAR

ÖZET

Konvektif ısı transfer katsayısı hava ve ürün arasındaki sıcaklık farkıyla değişim gösterdiğinden dolayı kurutma hızının belirlenmesinde ve dolayısıyla kurutucu dizaynında önemli bir parametredir. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, biberin konvektif ısı transfer katsayısı, doğal taşınımda direkt güneş altında kurutma prosesi kullanılarak belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. C ve n katsayıları, kurutma deneyleri sonucu elde edilen değerler ile lineer regresyon analizi yapılarak tespit edilmiştir. Doğal taşınımda direkt güneş altında kurutulan biberlerin ortalama ısı transfer katsayısı değerleri 1.860 ve 1.225 W/m²°C aralığında tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı Transfer katsayısı, Güneşte Kurutma, Doğal taşınım, Biber

ABSTRACT

The convective heat transfer coefficient is an important parameter in drying rate simulation, since the temperature difference between the air and product varies with this coefficient. Convective heat transfer coefficient of pepper has been determined under open sun at natural convection mode. Convective heat transfer coefficients were determined by linear regression analysis from experimental data. The average convective heat transfer coefficient values of pepper were found as 1.860 and 1.225 W/m²°C for open sun drying under natural convection mode.

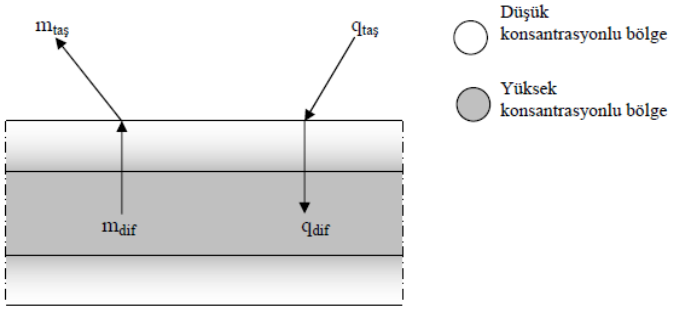
Key Words: Heat transfer coefficient, Open sun drying, Natural convection, Pepper.

1. GİRİŞ

Gıda ürünleri yılın belirli dönemlerinde üretilip hasat edilir. Hasat edilen veya üretilen ürünlerin bir kısmı aynı dönem içerisinde taze olarak tüketilebilmektedir. Tüketilmeyen çoğu bitkisel ürünler üretim dönemi dışında tüm yıl boyunca tüketiciye ulaştırılması ekonomik açıdan çok önemlidir. Fakat bu ürünlerin içerdikleri yüksek orandaki su ve bazı organik maddeler, mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalara neden olmaktadır. Bu da artan ürünlerin bozulup atılmasına yol açmaktadır [1]. Gıda ürünlerinin bu olumsuzluklarını giderip ürünleri uzun süre muhafaza edebilmek için birçok teknik geliştirilmiştir. Bu teknikler kurutma, soğutma, kimyasal maddelerle işleme tabii tutma olarak sıralanabilir. Bunların içerisinde kullanım alanı en geniş olan kurutmadır [2]. Kurutma, madde içerisindeki su veya sıvının uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Kurutmadaki amaç, yaş ürünlerin içerisinde bulunan serbest suyu uzaklaştırıp oluşabilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizmaların gelişimini durdurarak üreyemeyecekleri bir orana indirmektir [1].

Kurutma; bir eş zamanlı ısı ve kütle transferi prosesidir. Şekil 1'de kurutma prosesinde meydana gelen ısı ve kütle transferi gösterilmiştir. Kurutma havasından kurutulan ürün yüzeyine taşınımla ısı transferi

gerçekleşirken ($q_{taş}$), ürünün iç kısmına ise difüzyonla ısı transferi (q_{dif}) gerçekleşir. Nem transferi ise, ısı transferinin tam tersi bir yol izler. Nem iç kısımdan ürün yüzeyine difüzyonla (m_{dif}), ürün yüzeyinden kurutma havasına taşınımla ($m_{taş}$) transfer olur. Nem, ürün merkezinden yüzeye doğru ya sıvı difüzyonu ya da kılcal kuvvetlerin etkisiyle hareket eder. Genel olarak kılcal kuvvetlerin etkisi gözenekli maddelerde, sıvı difüzyonu ise gözenekli olmayan maddelerde meydana gelir [3,4].



Şekil 1. Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi

Kurutma prosesine etki eden faktörler iç ve dış olmak üzere iki gruba ayrılabilir: iç faktörler; kurutulan ürüne ait özellikler olup, ürünün termofiziksel özellikleri, parçacık boyutu, katının gözenekliliği, kuruma sırasında ürün yüzeyinin sertleşmesi, ürünün başlangıç nem içeriği, su aktivitesi ve difüzyon katsayısını kapsar. Dış etkenler ise; sadece kurutma havasıyla ilgilidir. Kurutma havasının sıcaklığı, hızı, basıncı ve bağıl nemi dış etkenleri oluşturan parametrelerdir [5]. Kurutma çalışmalarında iç faktörlerden ziyade dış faktörlerin etkisi daha çok araştırma konusu olmuştur [6].

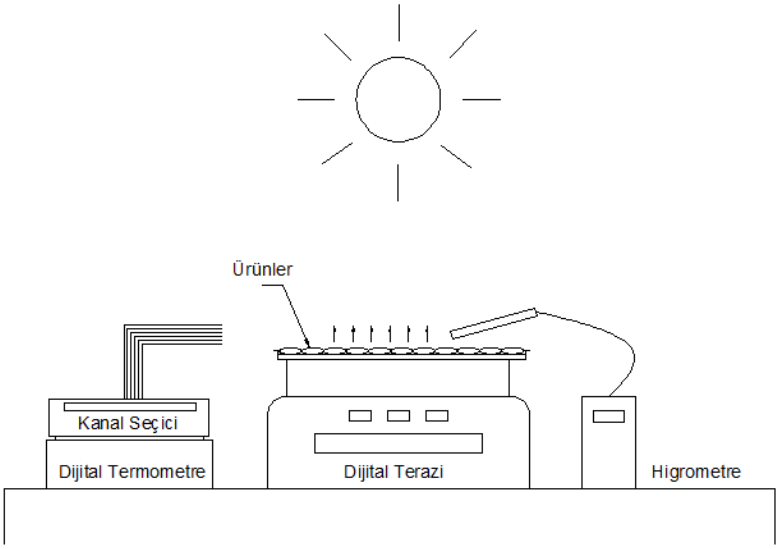
Gıda ürünlerinin kurutulması için mevcut metotlar arasında en eskisi ve en yaygını güneş altında kurutmadır. Bu metot, çok basit bir dehidrasyon işlemidir [2]. Kurutma işleminde bir diğer göz önünde bulundurulması gereken faktör de konvektif ısı transfer katsayıdır. Konvektif ısı transfer katsayısı hava ve ürünün arasındaki sıcaklık farkından dolayı kurutucu havası için önemli bir parametredir [7]. Kurutma üzerine bazı teoriksel ve deneysel çalışmalar yapılmasına karşın ısı transfer katsayısını incelemek için sınırlı çalışmalar gerçekleşmiştir. Ratti ve Crapiste [8] yiyeceklerin kurutulması esnasındaki ısı transfer katsayılarını, kurutma verileri ile ısı ve kütle transferi dengelemelerinden hesaplamışlardır. Goyal ve Tiwari [9] kurutmada ısı ve kütle transferi analizi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Nohudun ve buğdayın ısı transfer katsayılarını 12.68 ve 9.62 W/m²°C olarak hesaplamışlardır. Anwar ve Tiwari [10] doğal taşınımda direkt güneş altında kurutmada ısı transfer katsayısının bulunması için çalışma yapmışlardır. Altı farklı tarımsal ürün için elde edilen deneysel verilerden yararlanmış ve lineer regresyon analizini kullanarak ısı transfer katsayısını hesaplamışlardır. Akpınar [11] doğal taşınımda direkt güneş altında sekiz farklı tarımsal ürünü (dut, çilek, sarımsak, patates, kabak, patlıcan ve soğan) kurutarak ısı transfer katsayılarını tespit etmiştir. Sahdev vd. [12] zorlanmış taşınımda kurutma yaparak eriştenin ısı transfer katsayısını hesaplamışlardır. Eriştenin ısı transfer katsayı değerleri 0.98 – 1.10 W/m²°C aralığında değişim göstermiştir.

Bu çalışmada güneş altında kurutmada, doğal taşınımda biberin konvektif ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Konvektif ısı transfer katsayısı, deneysel çalışma sonucu elde edilen değerler ile lineer regresyon analizi yapılarak tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Deneysel Kurulum

Deneyler Elazığ ilinde Mayıs ve Haziran (2014) aylarında direkt güneş altında gerçekleşmiştir. Şekil 2'de deneysel kurulumun şematik diyagramı gösterilmiştir. Deneyden önce biber yıkanmış, tomurcuklarından el ile ayrıştırılmış, ortalama 20 mm genişlik ve 45 mm boyda kesilmiştir. 0.17 x 0.30 m^2 alanına sahip tepsilere yayılmış biberlerin ağırlık tespiti BEL marka 0.01 gram duyarlıklı maksimum 2000 grama kadar ölçüm yapabilen dijital bir terazi ile yapılmıştır. Sıcaklık ölçümleri, ölçüm yapılacak kısımlara yerleştirilen ısıl çiftlerle yapılmıştır. Isıl çift olarak 0.5 mm çapında demir-constantan kullanılmıştır. Isıl çiftlerden elde edilen değerler yirmi kanallı Elimko 6400 elle kumandalı 0.1 °C hassasiyetli dijital termometre kullanılarak okunmuştur. Nem ölçümünde EXTECH 444731 markalı hem sıcaklık hem de %RH olarak nem değişimini veren bir termo higrometre kullanılmıştır.



Şekil 2. Deneysel Kurulum

Artarda gelen iki zaman aralığında alınan veriler ile ortalama ürün sıcaklığı ($\bar{T}_c$), ortalama ürün üzerinde dolaşan hava sıcaklığı ($\bar{T}_g$), ve ortalama bağıl nem ($\bar{\gamma}$) hesaplandılar ve bu elde edilen yeni veriler sonraki adımlarda gerçekleşecek olan hesaplamalarda kullanıldı. Üründe ardışık okunan iki ağırlık değerinin farkı ile buharlaşmış nem miktarı hesaplandı. Deneysel kurulum güneş altında tutuldu ve rüzgar hızı önemsenmedi. Ölçümler yarım saat aralıklarla yapıldı.

2.2. Metot

Konvektif ısı transfer katsayısı (hc) Nusselt sayısı ile tespit edilmektedir [10]:

$$h_c = \frac{N_u K_v}{X} \tag{1}$$

Konvektif ısı transfer katsayısı:

$$h_c = \frac{K_v}{X} C(GrPr)^n \tag{2}$$

Nemi buharlaştırmak için gerekli ısı miktarı:

$$\dot{Q}_e = 0.016 h_c [P(T_c) - \gamma P(T_e)] \tag{3}$$

eşitliğiyle bulunabilir.

Eşitlik (2) 'deki h_c değeri Eşitlik (3) 'de yerine yazılırsa,

$$\dot{Q}_e = 0.016 \frac{K_v}{X} C(GrPr)^n [P(T_c) - \gamma P(T_e)] \tag{4}$$

eşitliği elde edilir.

Buharlaşan nem miktarı zaman aralığıyla (t) ve tepsinin alanıyla (A_t) çarpılarak ve buharlaşma gizli ısısına (λ) bölünerek tespit edilmektedir:

$$\dot{m}_{ev} = \frac{\dot{Q}_e}{\lambda} A_t t = 0.016 \frac{K_v}{X\lambda} C(GrPr)^n [P(T_c) - \gamma P(T_e)] A_t t \tag{5}$$

Burada buharlaşan nem miktarı Z gibi sabit bir değere eşitlenir.

$$0.016 \frac{K_v}{X\lambda} [P(T_c) - \gamma P(T_e)] A_t t = Z \tag{6}$$

Bu durumda,

$$\frac{\dot{m}_{ev}}{Z} = C(GrPr)^n \tag{7}$$

olarak Eşitlik (4) düzenlenebilir.

Eşitlik (7) 'de her iki tarafın logaritması alınırsa,

$$\ln[\frac{\dot{m}_{ev}}{Z}] = \ln C + n \ln(GrPr) \tag{8}$$

ifadesi elde edilir.

Eşitlik (8) için aşağıda Eşitlik (9) ile verilen bir doğrunun denklemine benzeşim yapılır.

$$Y = b_1 X + b_0 \tag{9}$$

Burada,

$$Y = \ln[\frac{\dot{m}_{ev}}{Z}], \qquad b_1 = n, \qquad X = \ln(GrPr), \qquad b_0 = \ln C \tag{10}$$

ile ifade edilmektedir.

Böylece

$$C = e^{b_0} \tag{11}$$

olarak elde edilir.

Nemli havanın farklı fiziksel özellikleri, yoğunluk (ρ_v), ısıl iletkenlik (K_v), özgül ısı (C_v), viskozite (μ_v) ve buhar basıncı (P) aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\rho_v = \frac{353.44}{(T_i + 273.15)} \tag{12}$$

$$K_v = 0.0244 + 0.6773 \times 10^{-4} T_i \tag{13}$$

$$C_v = 999.2 + 0.1434 T_i + 1.101 \times 10^{-4} T_i^{\,2} - 6.7581 \times 10^{-8} T_i^{\,3} \tag{14}$$

$$\mu_v = 1.718 \times 10^{-5} + 4.620 \times 10^{-8} T_i \tag{15}$$

$$P(T) = \exp\left[25.317 - \frac{5144}{(T_i + 273.15)}\right] \tag{16}$$

Burada nemli havanın elde edilen fiziksel özellikleri için T_i, ortam sıcaklığı (T_e) ve ürünün merkez yüzey sıcaklığının (T_c) ortalaması olarak alınmaktadır.

$$T_i = \frac{(T_c + T_e)}{2} \tag{17}$$

Nemli havanın farklı fiziksel özellikleri kullanılarak Prandtl sayısı (Pr) ve Grashof sayısı (Gr) elde edilmektedir [10].

3. SONUÇ

Deneylerde 30 dakika aralıklarla ürünlerin merkez ve yüzey sıcaklıkları, dış çevre sıcaklığı, nem kaybı ve bağıl nem değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2 ‘de verilmiştir.

Tablo 1. 28.05.2014 tarihinde kurutulan biberden elde edilen veriler

Zaman (dk)	T_c (°C)	T_e (°C)	γ (%)	Ürün Ağırlığı (gr)	m_{ev} (gr)	$\bar{T}_c$ (°C)	$\bar{T}_e$ (°C)	$\bar{\gamma}$ (%)
0	24.1	30.7	23.1	257.65	-	-	-	-
30	33.7	31.8	20.0	253.47	4.18	28.9	31.3	21.6
60	31.9	32.4	13.6	248.6	4.87	32.8	32.1	16.8
90	29.6	35.8	12.3	244.28	4.32	30.8	34.1	13.0
120	38.2	30.5	13.1	240.14	4.14	33.9	33.2	12.7
150	38.7	30.2	10.7	236.49	3.65	38.5	30.4	11.9
180	39.2	33.4	10.6	232.05	4.44	39.0	31.8	10.7

Tablo 2. 24.06.2014 tarihinde kurutulan biberden elde edilen veriler

Zaman (dk)	T_c (°C)	T_e (°C)	γ (%)	Ürün Ağırlığı (gr)	m_{ev} (gr)	$\bar{T}_c$ (°C)	$\bar{T}_e$ (°C)	$\bar{\gamma}$ (%)
0	28.4	32.0	12.7	261.12	-	-	-	-
30	37.7	36.7	20.9	256.29	4.83	33.1	34.4	16.8
60	38.5	38.2	10.6	251.43	4.86	38.1	37.5	15.8
90	39.2	37.4	12.8	247.32	4.11	38.9	37.8	11.7

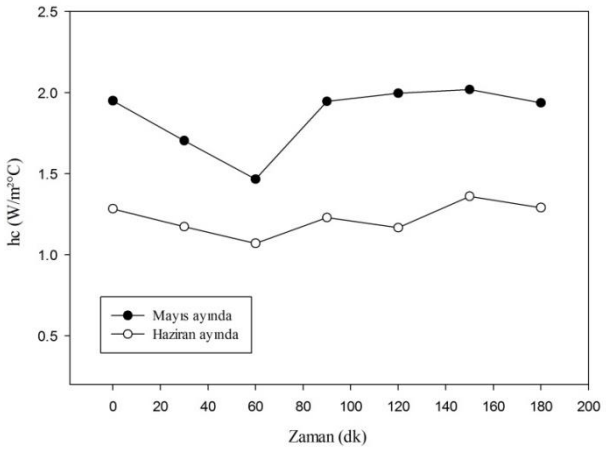
120	39.1	40.0	11.1	242.42	4.90	39.2	38.7	12.0
150	41.4	34.8	10.5	237.15	5.27	40.3	37.4	10.8
180	37.5	34.0	13.7	235.35	1.80	39.5	34.4	12.1

Grashof ve Prandtl sayılarını hesaplamak için elde edilen ortalama ürün sıcaklığı ($\bar{T}_c$), ürün yüzeyindeki hava sıcaklığı ($\bar{T}_e$) ve ortalama nem ($\bar{\gamma}$) değerleri kullanıldı. Lineer regresyon analizi kullanılarak C ve n sabitleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sabitler yardımıyla denklem (1) kullanılarak konvektif ısı transfer katsayıları tespit edildi. Direkt güneş altında kurutulan biberlerin C, n ve h_c değerleri Tablo 3'de özetlenmiştir. Mayıs ayında alınan ölçümler neticesinde elde edilen ortalama konvektif ısı transfer katsayısı 1.860 W/m²°C, Haziran ayında alınan ölçümler neticesinde elde edilen konvektif ısı transfer katsayısı değeri ise 1.225 W/m²°C olarak hesaplanmıştır. Biberler farklı dönemlerde kurutuldukları için farklı çevresel koşullara maruz kalmışlardır. Bunun neticesinde de her iki kurutma işleminde farklı konvektif ısı transfer katsayı değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3. Biberlerin kurutulmasında elde edilen ortalama konvektif ısı transfer katsayı değerleri (h_c)

Tarih	C	n	h_c (W/m²°C)
28.05.2014	1.108	0.112	1.860
24.06.2014	1.131	0.078	1.225

Mayıs ayında yapılan kurutma işleminde ortam sıcaklıkları Haziran ayında yapılan kurutmadan daha düşük değerlerde olmasına karşın ısı transferinde çok önemli bir faktör olan ürünle ortam arasındaki sıcaklık farkından dolayı Mayıs ayı verileri ile elde edilen sonuçlar daha yüksek çıkmıştır. Sıcaklık farkı faktörü dışında ısı transfer katsayısını etkileyen diğer faktörler: nem miktarı, ışınım değerleri, farklı hava koşulları olarak sıralanabilir.



Şekil 3. Biberin ısı transfer katsayısının zamanla değişimi

Şekil 3'de farklı zamanlarda kurutulan biberlerin yarım saat aralıklarla elde edilen veriler ile hesaplanmış konvektif ısı transfer katsayı değerlerinin zamana göre değişim grafiği çizilmiştir. Grafiğin ilk yarım bölümünde Mayıs ayı ölçümleri daha yüksek değere sahip olmasına karşın daha değişken bir eğim göstermiştir. Kurutmanın ikinci yarısında ise Haziran ayı ölçümlerine göre daha stabil bir değişim göstermiştir. Bu değişimlerin sebebi farklı çevresel koşullar olarak nitelendirilebilir.
Kullanılan ürün için bir kurutucu tasarımı dizaynında öncelikle deneysel çalışmada elde edilen konvektif ısı transfer katsayı değerlerinin bilinmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

[1] DARICI, S., ŞEN, S., '' Kivi Meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi'', X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi-13/16/İzmir, 2011.

[2] AKYURT, M., SEVİLİR, E., SELÇUK, K., ''Güneş enerjisi ve bazı yakıtlarla meyve ve sebze kurutulması'', TÜBİTAK, Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu, Proje no: TOAG-97, Ankara, 1971.

[3] GEANKOPLIS, C.J., ''Transport Processes and Unit Operations'', 3rd Edition, Prentice Hall, Englwood Cliffs, NJ, London, 1993.

[4] ROBERTS, J.S., ''Understanding The Heat and Mass Transfer of Hygroscopic Porous Materials'', Doktora Tezi, The State University Of New Jersey, Food Science, New Brunswick, New Jersey, 1999.

[5] DINCER, I. VE HUSSAIN, M.M., ''Development of A New Biot Number and Lag Factor Correlation for Drying Applications'', Int. J. Heat Mass Tran., 47, 653–658, 2004.

[6] DEMIRTAŞ, C., ''Fındık Kurutma Şartlarının Belirlenmesi'', Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1998.

[7] AKPİNAR, E.K., 2004. ''Experinemtal determination of convective heat transfer coefficient of some agricultural product in forced convection drying'', Int. Comm. Heat and Mass Transfer. 31(4): 585-595.

[8] RATTI, C., and CRAPISTE, G.H., ''Determination of heat transfer coefficients during of food stuffs'', Journal of Food Process Engineering. 18: 41-53, 1995.

[9] GOYAL, R.K., TIWARI, G.N., ''Heat and mass transfer relations for crop drying'', Drying Technol., 16(8): 1741-1754, 1998.

[10] ANWAR, S.I., TIWARI, G.N., ''Evaluation of convective heat transfer coefficient in crop drying under open sun drying conditions'', Energy Convers. Mgmt. 42(5): 627-637, 2001.

[11] AKPINAR, E.K., ''Experimental investigation of convective heat transfer coefficient of various agricultural products under open sun drying'', International Journal of Green Energy. 1(4): 429-440, 2006.

[12] SAHDEV, R. K., JAIN, N., KUMAR, M., ''Convective heat transfer coefficient for indoor forced convection drying of vermicelli''. IOSR Journal of Engineering. 2(6): 1282-1290, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Kamil Neyfel ÇERÇİ

1988 yılı Hannover-(D) doğumludur. 2011 yılında FÜ. Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversitede yüksek lisansa başlamıştır ve şu an devam etmektedir. 2014 Yılında Araştırma Görevlisi, olarak Osmaniye Korkut Ata Üniversite'sinde göreve başlamıştır. Halen göreve devam etmektedir.

Ebru KAVAK AKPINAR

1973 yılında Elazığ ilinde doğmuştur. 1994 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Lisans, 1997 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans, 2002 yılında doktora öğrenimini tamamlamıştır. 2005 yılında doçent, 2011 yılında profesör olarak Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne atanmıştır. Evli ve 2 kız çocuk annesidir.