



## KURUTMA HAVASI SICAKLIĞININ KIZILCIĞIN KURUMA SÜRESİ VE SORPSİYON EĞRİSİNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Ahmet KAYA ve Orhan AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon  
E-mail: kaya38@ktu.edu.tr, oaydin@ktu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 01. 02. 2008, Kabul Tarihi: 09. 07. 2008)

**Özet:** Bu çalışmada, bir konvektif kurutucuda kurutulmuş kızılciğın kuruma davranışına, kurutma havası sıcaklığının etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, kuru kızılciğın, farklı sıcaklık ve denge bağıl nemlerinde sorpsiyon eğrisi belirlenmiştir. Elde edilen kuruma eğrileri, üç farklı ince tabakalı kurutma modeline yerleştirilmiş (Lewis, Henderson ve Pabis ve iki terimli eksponansiyel) ve kızılciğın kurumasını tanımlamada iki terimli eksponansiyel ve Henderson ve Pabis modellerinin uygun olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Konvektif kurutma, Kızılciğ, Sorpsiyon eğrisi.

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECT DRYING AIR TEMPERATURE ON DRYING TIME AND SORPTION ISOTHERMS OF CORNELIAN CHERRY FRUITS

**Abstract:** The present study is aimed at experimentally investigating the drying kinetics of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*) in a convective dryer for various values of drying air temperature. Sorption isotherms of the dried cornelian cherry fruit are also determined for different temperatures and equilibrium relative humidity. The experimental moisture data were fitted to some models (namely Henderson and Pabis, Lewis and two-term exponential models) available in the literature. The two-term exponential and Henderson and Pabis models were found to describe the characteristics of cornelian cherry fruits better.

**Keywords:** Convective drying, Cornelian cherry fruit, Sorption isotherm

#### SEMBOLLER

a	kurutma katsayısı
b	kurutma katsayısı
e.r.h.	denge bağıl nemi
$k_0$	kurutma sabiti [1/h]
$k_1$	kurutma sabiti [1/h]
k.m.	kuru madde
MR	boyutsuz nem içeriği $\left[ MR = \frac{(M - M_e)}{(M_i - M_e)} \right]$
M	t anındaki nem içeriği [kg H <sub>2</sub> O/kg k.m.]
$M_e$	denge nem içeriği [kg H <sub>2</sub> O /kg k.m.]
$M_i$	ilk nem içeriği [kg H <sub>2</sub> O /kg k.m.]
$r^2$	korelasyon katsayısı
t	zaman [h]
T	sıcaklık [°C]
U	hız [m/s]
y.m.	yaş madde
k.m.	kuru madde
$\phi$	bağıl nem

#### GİRİŞ

Kızılciğ (*Cornus mas L.*), Cornaceae ailesinin 40 türünden en önemlisi olup ılık bölgelerde yetişir. Eliptik şekle sahip ve 10–20 mm uzunluğunda olan bu ürünün ekşimsi bir tadı vardır. Türkiye’de yılda yaklaşık 14 bin ton üretimi yapılan kızılciğ, taze olarak tüketildiği gibi kurutularak ta tüketilmektedir (Koyuncu vd., 2007).

Birçok ülkede, sezon sebze ve meyvelerini işletme imkanı yetersiz olduğundan, ürünler kısa sürede bozulup atılmakta ve büyük ölçüde ekonomik kayba uğranmaktadır (Karim ve Hawlader, 2005). Bunu önlemek için sezon meyvelerinin bir şekilde dayanım ömürlerinin artırılması gerekmektedir. Bu amaçla; konserveleme, dondurma ve kurutma işlemleri yapılmaktadır. Gıda ürünlerinde vitamin değerlerinin

korunması, görüntüsünün bozulmaması, tadın muhafazası, azalan kütle ile paketlenme, depolama ve nakliye imkanları bakımından; kurutma, en uygun prosestir (Doymaz, 1998; Hussain, 2001).

Literatürde, gıda ürünlerinin kuruma davranışını deneysel ve sayısal olarak araştıran birçok çalışma mevcuttur. Queiroz ve Nebra (2001) muzun; Park vd. (2002) armudun; Doymaz (2004) dutun; Kaya vd., taflanın (karayemiş) (2007a ve 2008a); ayvanın (2007b), elmanın (2007c); kabağın (2007d), havucun (2008b); Kaya (2008) kiviinin; Toğrul ve Toğrul (2007) kayısı, üzüm, şeftali, incir ve eriğin kuruma davranışlarını deneysel olarak araştırmıştır.

Bu çalışmada; kızılığın kuruma davranışına, kurutma havası sıcaklığının etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Denge nem içeriği ile denge bağıl nem arasındaki ilişki olan sorpsiyon eğrisi, farklı sıcaklık koşulları için belirlenmiştir. İnce tabakalı kurutma modellerinden Lewis, Henderson ve Pabis ve iki terimli eksponansiyel model kullanılarak, kızılığın kurumasını tanımlamada en uygun olan model tespit edilmiştir.

## DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada kullanılan konvektif kurutucunun şematik gösterimi Şekil 1' de verilmiştir. Deney düzeneği, hızı kontrol edilebilir fan, ısıtıcı, soğutucu, nemlendirme ünitesi, hava girişi, hava çıkışı ve taze hava ile kullanılmış havanın belirli ölçekte karıştırıldığı karışım odacığı, kurutma tepsisi, yük hücresi, veri okuma ve kaydetme sistemi ile bilgisayardan oluşmaktadır. Isı yalıtımı iyi bir şekilde yapılan konvektif kurutucuda, proses boyunca kurutma havası hızı, sıcaklığı ve bağıl nemi sabit tutulmaktadır. Test bölgesinde, hızın, sıcaklığın ve bağıl nemin sabit kalmasını sağlamak için hız, sıcaklık ve nem kontrol üniteleri kullanılmıştır. Test bölgesinde, akışa paralel olarak yerleştirilmiş ve alt yüzeyi yalıtılmış kurutma tepsisi bulunmaktadır. Kurutulmaya hazır olan kızılık kurutma tepsisine yerleştirilmiş, kurutma tepsisi de yük hücresine bağlanmıştır. Kızılığın ilk nem içeriği, OHAUS marka infrared nem tayin cihazıyla belirlenmiştir. Deney süresince, anlık kütle değişimlerini okumak için Lama tip yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücreleri, veri okuma ve kaydetme sistemiyle bilgisayara bağlanmış ve ölçümler doğrudan bilgisayara kaydedilmiştir. Kurutma kanalı içerisindeki hız Lutron marka hızölçerle, sıcaklık ve bağıl nem ise Lutron marka sıcaklık/nemölçerle belirlenmiştir. Veri okuma ve kaydetme sistemiyle her 10 dakikada bir alınan ölçümler 120 dakikalık zaman dilimlerinde bilgisayara doğrudan aktarılmıştır.

Kuru ürünler, uygun depolama koşullarında tutulursa, kullanım ömürleri daha da uzamaktadır. Kurutulan bir ürünün saklanacağı ortamın tespiti de ancak sorpsiyon eğrisinin belirlenmesi ile mümkündür. Sorpsiyon eğrisi; denge nem içeriği ile denge bağıl nem arasındaki ilişki olarak tanımlanır. Denge nem içeriği, belirli bir sıcaklık ve nemde kurutulan bir ürünün, kurutma işleminin sonunda sahip olduğu nem içeriğidir. Kurutma süresi ne kadar uzun olursa olsun, o şartlarda (kurutma havası

sıcaklık ve bağıl neminde), ürünün son nem içeriği değişmez. Gıdaların sorpsiyon izotermi, ürün nem içeriği ile ortam bağıl nemi arasındaki ilişkiyi gösterir. Statik gravimetrik yöntem (Keey, 1972) kullanılarak kızılığın, üç farklı sıcaklıkta (30, 40 ve 50°C) sorpsiyon eğrisi belirlenmiştir. Bu yöntem, bağıl nem değerleri %12 den %100 e kadar olan dokuz farklı kimyasal tuz çözeltisi ve saf suyun (LiCl, CH<sub>3</sub>COOK, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, MgCl<sub>2</sub>, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, SrCl<sub>2</sub>, NaCl, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>O) kullanımına dayanır. Her kimyasal tuz bir miktar saf su ile karıştırılıp bir cam kavanoz içine konulmuştur. Cam kavanozlar ise sıcaklığı sabit tutulan şartlandırma odasına yerleştirilmiştir. Kurutulan üründen 5 gr numune alınıp alüminyum folyodan yapılan kaplara konularak cam kavanozlar içerisine yerleştirilmiştir. Kuru ürünün, bağıl nemi yüksek olan ortamlardan nem almasıyla kütle miktarının arttığı gözlenmiştir. Ürünün günlük kütle değişim ölçümleri yapılmış, son iki ölçüm arasında kütle farkı olmayıncaya dek işlem sürdürülmüştür. Kütle değişiminin olmadığı durumda, ürünün denge nem içeriği nem tayin cihazıyla belirlenmiştir. Üç farklı sıcaklıkta, kızılığın denge nem içeriği tayini toplam 27 gün sürmüştür.

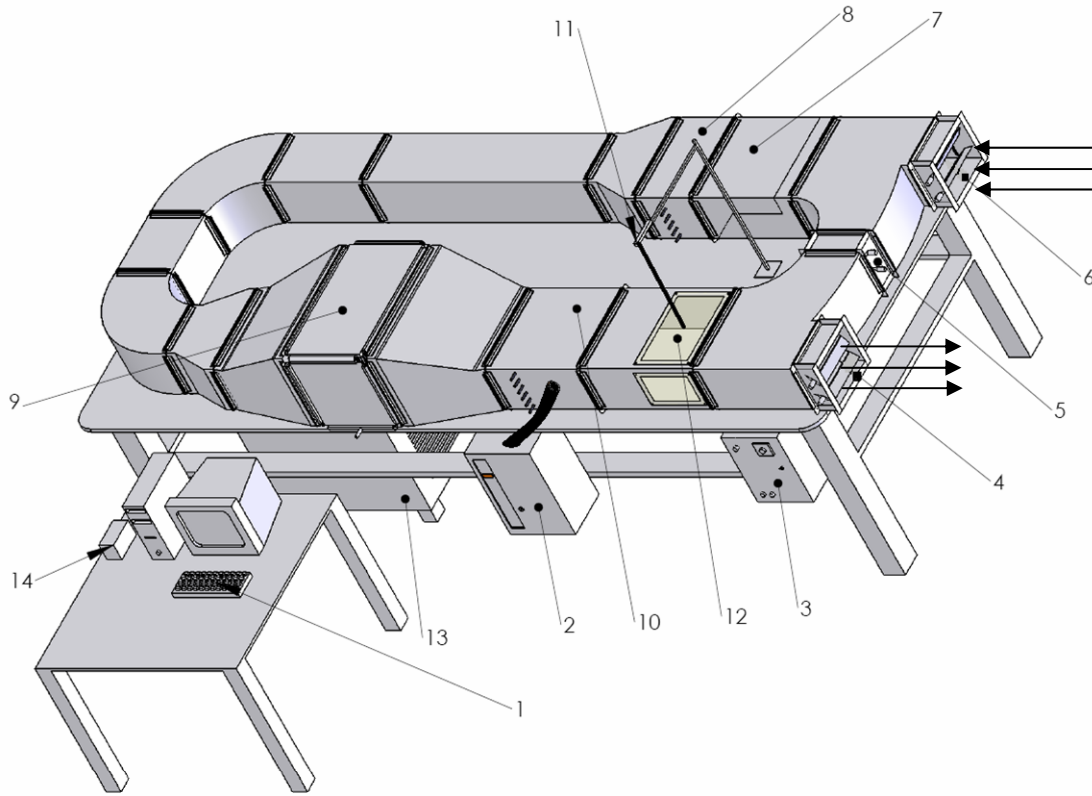
## BULGULAR VE TARTIŞMA

Kurutma işlemine başlamadan önce, sistem yaklaşık bir saat kadar çalıştırılarak istenilen sıcaklık değerine ulaşılmıştır. Kızılığın ilk nem içeriği %68.8 y.m. (2.21 kg H<sub>2</sub>O/kg k.m.) olarak belirlenmiştir. Deneyler, sabit kurutma havası hızında (0.9 m/s) ve sabit bağıl nemde (%25), üç farklı sıcaklıkta (30, 40 ve 50°C) gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi, ürün denge nemine erişinceye kadar devam etmiştir. Her deney en az üç kez tekrarlanmıştır. Her deneyde kurutma tepsilerine 500 g ağırlığında ürün konulmuştur.

Ürün denge nemi M<sub>e</sub>, yukarıda açıklanan yöntemle belirlenmiş ve Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü, sabit denge bağıl neminde artan sıcaklıkla denge nem içeriği azalmaktadır. Sabit sıcaklıkta ise, artan denge bağıl nemiyle, denge nem içeriği artmaktadır.

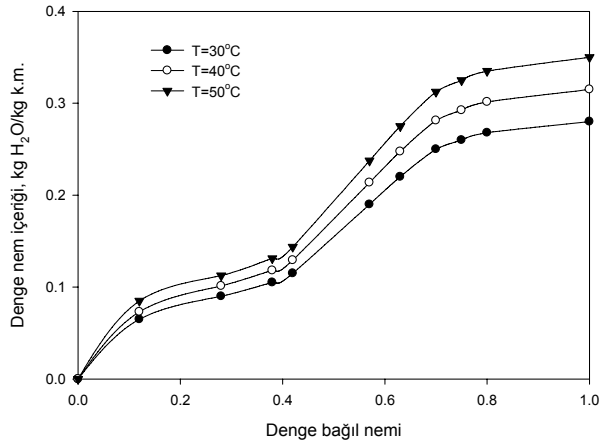
Şekil 3'te kurutma havası sıcaklığının kuruma süresine etkisi gösterilmiştir. Kurutma havası sıcaklığının 30°C den 50°C ye yükseltilmesi ile toplam kurutma süresinin %34 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Kurutma havası sıcaklığının yükselmesiyle hem difüzyon hem de kütle transferinin hızlandığı bilinmektedir (Kaya vd., 2007b, c, d; Kaya 2008). Bu etkiler, ürünün daha çabuk kurumasına sebep olmaktadır.

Tablo 1'de verilen ince tabakalı kurutma modelleri, kızılığın kuruma davranışını tanımlamada kullanılmıştır. Deneysel olarak elde edilen veriler, kurutma modellerine yerleştirilmiş ve regresyon analiziyle kurutma katsayıları tespit edilmiştir (Tablo 2). Regresyon analizinde, bir bilgisayar programı olan SigmaPlot kullanılmıştır.

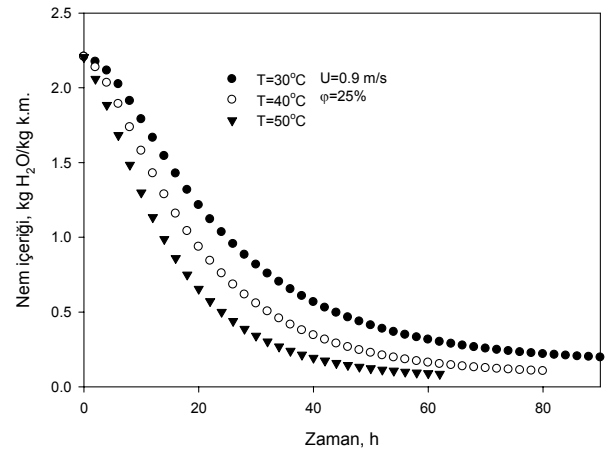


1- Bilgisayar, 2- Nemlendirici, 3- Kontrol panosu, 4- Hava çıkışı, 5- Karışım odacığı, 6- Hava girişi, 7- Fan, 8- Isıtıcı, 9- Yoğuşturucu, 10- Isıtıcı, 11- Yük hücresi, 12- Test bölgesi, 13- Yoğuşturucu aparatları (kompresör, fan), 14- Veri okuma ve kaydetme sistemi

Şekil 1. Konvektif kurutucu.



Şekil 2. Denge nem içeriğinin denge bağıl nem ile değişimi.

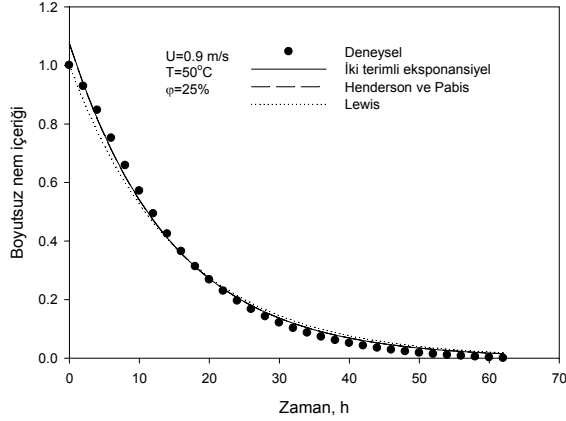


Şekil 3. Nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimine sıcaklığın etkisi.

Tablo 1. İnce tabakalı kurutma modelleri.

Model adı	Model	Referans
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Mujumdar (1987)
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis (1961)
İki terimli eksponansiyel	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Henderson (1974); Madamba vd. (1996)

Kurutma havası sıcaklığının artması, ürün içindeki nem difüzyonunu artırdığından, artan kurutma havası sıcaklığıyla kurutma sabitlerinin arttığı, kurutma katsayılarının ise azaldığı belirlenmiştir (Tablo 2). Şeki4'te, ince tabakalı kurutma modelleriyle deneysel sonuçların karşılaştırılması gösterilmiştir. Hem iki terimli eksponansiyel hem de Henderson ve Pabis modellerinin kullanımıyla elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Yarı-teorik modellerin kullanımıyla elde edilen boyutsuz nem içeriğinin kurutma süresiyle değişiminin, deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.

## SONUÇLAR

Konvektif kurutucuda kurutulan kızılcığın kuruma süresine sıcaklığın etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. İlk olarak; kurutulan bir ürünün depolama koşullarının belirlenmesinde son derece önemli olan sorpsiyon eğrisi, farklı sıcaklık ve bağıl nem değerleri için belirlenmiştir. Sabit denge bağıl neminde, artan sıcaklıkla denge nem içeriğinin azaldığı, sabit sıcaklıkta ise artan denge bağıl nemle denge nem içeriğinin arttığı görülmüştür. Kurutma havası sıcaklığının 30°C'den 50°C'ye çıkartılmasıyla toplam kurutma süresinin % 34 oranında azaldığı tespit edilmiştir. İnce tabakalı kurutma modellerinden, iki terimli eksponansiyel ve Henderson ve Pabis modellerinin, deneysel sonuçlara en uygun korelasyonları bulunduğu görülmüştür.

Tablo 2. Model katsayılarının sıcaklıkla değişimi.

Parametre	Sıcaklık, T(°C)			kor. kat r <sup>2</sup>
	30	40	50	
<b>İki terimli eksponansiyel</b>				
a	0.6071	0.5889	0.5639	0.996
k <sub>0</sub>	0.0429	0.0528	0.0688	
b	0.5218	0.5171	0.5112	
k <sub>1</sub>	0.0429	0.0528	0.0688	
<b>Henderson ve Pabis</b>				
a	1.1289	1.1060	1.0751	0.996
k	0.0429	0.0528	0.0688	
<b>Lewis</b>				
k	0.0383	0.0481	0.0643	0.989

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma; KTÜ Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince 2004.112.003.01 nolu proje ve Devlet Planlama Teşkilatı'nca (DPT) desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Doymaz I., Drying Kinetics of White Mulberry, *J. Food Engineering*, 61, 341-346, 2004.

Doymaz, I., Üzüm ve Kahramanmaraş biberinin kuruma karakteristiklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Y.T.Ü., Fen-Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.

Henderson, S.M., Papis, S., Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6 (3), 169-174, 1961.

Henderson, S.M., Progress in developing the thin layer drying equation, *Transactions of the ASAE*, 17, 1167-1172, 1974.

Hussain, M.M., Investigation of heat and moisture transfer during solids drying, Yüksek lisans tezi, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Suudi Arabia, 2001.

Karim, M.A., Hawlader, M.N.A., Mathematical modeling and experimental investigation of tropical fruits drying, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 4914-4925, 2005.

Kaya, A., Aydın, O., ve Demirtaş, C., Taflanın kuruma davranışının deneysel ve teorik olarak incelenmesi, *16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, 30 Mayıs-2 Haziran, Kayseri, 823-828, 2007a.

Kaya, A., Aydın, O., Demirtaş, C., Akgün, M., An experimental study on the drying kinetics of quince, *Desalination*, 212, 328-243, 2007b.

Kaya, A., Aydın, O., Demirtaş, C., Drying kinetics of red delicious apple, *Biosystems Engineering*, 96(4), 517-524, 2007c.

Kaya, A., Aydın, O., Demirtaş, C., Concentration boundary conditions in the theoretical analysis of convective drying process, *Journal of Food Process Engineering*, 30, 564-577, 2007d.

Kaya, A., Aydın, O., Experimental investigation of drying kinetics of Cherry Laurel, *Journal of Food Process Engineering*, baskıda, 2008a.

Kaya, A., Aydın, O., Demirtaş, C., Experimental and theoretical analysis of drying characteristics of carrot, *Desalination*, kabul edildi, 2008b.

Kaya, A. 2008. Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 2008.

Keey, R.B., *Drying Principles and Practice*. Pergamon Press, Oxford, 1972.

Koyuncu, T., Tosun, I., Pınar, Y., Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*), *Journal of Food Engineering*, 78, 735–739, 2007.

Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A., The thin layer drying characteristic of garlic slices, *Journal of Food Engineering*, 29, 75–97, 1996.

Mujumdar, A.S. *Handbook of Industrial Drying*, Marcel Dekker, New York, 1987.

Park K.J., Bin A., Brod F.P.R., Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 56, 97–103, 2002.

Queiroz M.R., Nebra S.A., Theoretical and experimental analysis of the drying kinetics of Bananas, *Journal of Food Engineering* 47, 127-132, 2001.

Toğrul İ.T., Toğrul, H., Determination of moisture transport parameters of some fruits under open sun drying conditions, *International Journal of Green Energy* 4 (4), 397-408, 2007.



**Ahmet KAYA**, 1978 yılında Kayseri'nin Sarız ilçesinde doğdu. 1999 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2001 yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan yüksek lisans ve 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan doktora derecelerini aldı. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.



**Orhan AYDIN**, 1972 yılında Trabzon'da doğdu. 1991 yılında KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1994 ve 1998 yıllarında sırasıyla yüksek lisans ve doktora derecelerini aldı. 1999-2001 ve 2003-2004 yılları arasında ABD University of Michigan'da doktora sonrası araştırmacı olarak çalıştı. 2002 yılında doçent ve 2007 yılında profesör oldu.