



YATAY YÜZEYE GELEN GLOBAL GÜNEŞ IŞINIMININ TAHMİNİ

Kadir BAKIRCI

Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 25240 Erzurum, abakirci@atauni.edu.tr

(Geliş Tarihi: 12. 06. 2006)

Özet: Güneş enerjisiyle çalışan sistemlerin analizini yapmak için, o bölgeye ait güneş ışınım değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, güneşlenme süresine bağlı üzerinde değişiklik yapılmış bazı Angström-tip eşitliklerin Erzurum'da aylık ortalama günlük global (toplam) güneş ışınımının tahmini için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca Erzurum'da aylık ortalama günlük global güneş ışınımı hesabı için, üçüncü dereceden bir eşitlik geliştirilmiştir. Eşitliklerin performans değerlendirmesi için ortalama taraflı hata (MBE), tahminin standart hataları (RMSE) ve t-istatistik yöntemleri kullanılmıştır. Ölçülen ve eşitliklerden elde edilen değerler karşılaştırılarak en uygun eşitlik bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Global güneş ışınımı, Güneşlenme süresi, Güneş ışınım modelleri.

ESTIMATION OF GLOBAL SOLAR RADIATION ON HORIZONTAL SURFACE

Abstract: To analyse the systems working with solar energy, it is required that values of the solar radiation belonging to the region have been known. In this study, it is investigated whether some modified Angström-type equations related to sunshine hours will be used to estimate of monthly average daily global solar radiation at Erzurum. Also, a third-order equation is developed for the calculation of the monthly average daily global solar radiation at Erzurum. The main bias error (MBE), the root mean square error (RMSE), and the t-statistic methods were used for evaluating the performance of the equations. The most suitable equation is found by compared with the values measured and obtained from the equation.

Keywords: Global solar radiation, Sunshine hours, Solar radiation models.

SEMBOLLER

a,b	Ampirik katsayılar
D	Ocak 1'den itibaren gün sayısı
f	Düzeltilme faktörü
H	Aylık ortalama günlük global ışınım [MJm^{-2} -gün]
H_0	Aylık ortalama atmosfer dışı ışınım [MJm^{-2} -gün]
I_{gs}	Güneş sabiti [Wm^{-2}]
n	Toplam gözlem sayısı
t	Aylık ortalama güneşlenme süresi [saat/gün]
t_g	Aylık ortalama gün uzunluğu [saat/gün]
t-ist	t-istatistik metodu
x_i	i. ölçülen değer
y_i	i. hesaplanan değer
Z	Deniz seviyesinden olan yükseklik [m]
α	İstatistiksel önem seviyesi ($\alpha=0.01$)
δ	Deklasyon açısı [derece]
φ	Enlem [derece]
ω_s	Güneş batış açısı [derece]

bulutluluk ve çevre sıcaklığı gibi çeşitli parametreler kullanılarak elde edilmiştir.

Aylık ortalama günlük global güneş ışınımını tahmin etmek için elde edilen güneşlenme süresine bağlı modellerin birçoğu, genelde üzerinde değişiklik yapılmış Angström-tip eşitliklerden oluşmaktadır. Angström eşitliği ilk olarak Angström (1924) tarafından geliştirilmiştir.

Güneşlenme süresi dünyada birçok meteoroloji istasyonlarında ölçülmektedir. Ölçülen bu değerlere bağlı olarak elde edilen korelasyonlar ile aylık ortalama günlük global güneş ışınımı tahmini yapılabilmektedir. Bu konuda, çeşitli bölgelerin iklim şartlarına göre bilim adamları tarafından birçok çalışma yapılmış ve çeşitli eşitlikler elde edilmiştir (Kılıç ve Öztürk, 1983; Ögelman vd., 1984; Akınoğlu ve Ecevit, 1990; Tırıs vd., 1996; Aksoy, 1997; Ülgen ve Özbalta, 2000; Toğrul ve Toğrul, 2002; Ülgen ve Hepbaşı, 2004; Tahran ve Sarı, 2005).

GİRİŞ

Güneş enerjisi uygulamalarında, sistemlerin tasarımı yapmak için ilk olarak ihtiyaç duyulan parametrelerden biri, o bölgenin güneş ışınım yoğunluğudur. Güneş ışınım miktarını belirlemek için birçok ampirik model geliştirilmiştir. Bu modeller, güneşlenme süresi,

Bu çalışmada, Erzurum ili (enlem: 39.55, boylam: 41.16, rakım: 1869 m) için yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınımı, literatürde Türkiye için verilen çeşitli lineer, ikinci ve üçüncü dereceden eşitlikler kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca Erzurum'da

aylık ortalama günlük global güneş ışınımı hesabı için, üçüncü dereceden bir eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitlik, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2000-2004 yılları arasındaki ölçümlerinden alınan, Erzurum için yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınımı ve güneşlenme süresi değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Aylık ortalama günlük global güneş ışınımı hesaplamalarındaki aylık ortalama değerler hesaplanırken, Klein (1977) tarafından önerilen her ayın ortalama değerlerini veren günler kullanılmıştır.

KULLANILAN MODELLER

Güneşlenme süresine bağlı eşitliklerin genel formülü, aylık ortalama günlük global güneş ışınım H , aylık ortalama atmosfer dışı güneş ışınım H_o , güneşlenme süresi t ve gün uzunluğu t_g olmak üzere,

$$\frac{H}{H_o} = a + b \left(\frac{t}{t_g} \right) \quad (1)$$

şeklinde. Burada, Angström katsayıları olarak da adlandırılan a ve b değerleri ampirik sabitlerdir. H_o ve t_g değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır (Howell vd. 1982; Duffie ve Beckman, 1991):

$$H_o = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left[\cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin(\varphi) \sin(\delta) \right] \quad (2)$$

$$t_g = \frac{2}{15} \cos^{-1} [-\tan(\delta) \tan(\varphi)] \quad (3)$$

Burada, I_{gs} güneş sabiti ($=1353 \text{ Wm}^{-2}$), f düzeltme faktörü, δ deklinasyon açısı, φ enlem (derece) ve ω_s güneş batış açısı olarak ifade edilir. Yukarıda geçen f , δ ve ω_s değerleri:

$$f = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360D}{365}\right) \quad (4)$$

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360(D+284)}{365}\right] \quad (5)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} [-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (6)$$

eşitlikleri ile hesaplanır (Howell vd. 1982; Duffie ve Beckman, 1991). Burada, D 1 Ocak'tan itibaren gün sayısını ifade eder.

Eşitlik (1)'de yer alan a ve b regresyon katsayıları, çeşitli bölgeler için ölçülen güneş ışınım değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Aşağıda Türkiye'de bazı iller için elde edilen güneşlenme süresine bağlı lineer, ikinci ve üçüncü dereceden eşitlikler verilmiştir:

Model-1:

Kılıç ve Öztürk (1983) Türkiye için Eşitlik (1)'deki a ve b katsayılarını, aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır:

$$a = 0.103 + 0.000017Z + 0.198 \cos(\varphi - \delta) \quad (7)$$

$$b = 0.533 - 0.165 \cos(\varphi - \delta) \quad (8)$$

Model-2:

Ögelman vd. (1984) Adana ve Ankara illeri için elde ettikleri ikinci dereceden eşitliği, aşağıdaki gibi ifade etmişlerdir:

$$\frac{H}{H_o} = 0.195 + 0.676 \left(\frac{t}{t_g} \right) - 0.142 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2 \quad (9)$$

Model-3:

Akınoğlu ve Ecevit (1990) tarafından Türkiye için elde edilen ikinci dereceden eşitlik, aşağıdaki şekildedir:

$$\frac{H}{H_o} = 0.145 + 0.845 \left(\frac{t}{t_g} \right) - 0.280 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2 \quad (10)$$

Model-4:

Tırıs vd. (1996) tarafından Gebze için elde edilen ölçüm sonuçlarından hareketle elde ettikleri lineer eşitlik,

$$\frac{H}{H_o} = 0.2262 + 0.418 \left(\frac{t}{t_g} \right) \quad (11)$$

şeklinde.

Model-5:

Aksoy (1997) Ankara, Antalya, İzmir, Konya, Samsun ve Urfa için geliştirmiş olduğu ikinci dereceden eşitlik, aşağıdaki şekildedir:

$$\frac{H}{H_o} = 0.148 + 0.668 \left(\frac{t}{t_g} \right) - 0.079 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2 \quad (12)$$

Model-6:

Ülgen ve Özbalta (2000) tarafından İzmir (Bornova) için geliştirilen ikinci dereceden eşitlik, aşağıda belirtildiği gibidir:

$$\frac{H}{H_o} = 0.0959 + 0.9958 \left(\frac{t}{t_g} \right) - 0.3922 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2 \quad (13)$$

Model-7:

Toğrul ve Toğrul (2002) tarafından, Ankara, Antalya, İzmir, Yenihisar (Aydın), Yumurtalık (Adana) ve Elazığ için aylık ortalama global ışınım için,

$$\frac{H}{H_0} = 0.318 + 0.449 \left(\frac{t}{t_g} \right) \quad (14)$$

şeklinde lineer bir eşitlik geliştirilmiştir.

Model-8:

Ülgen ve Hepbaşlı (2004) tarafından Ankara, İstanbul ve İzmir illeri için elde ettikleri üçüncü dereceden eşitlik,

$$\frac{H}{H_0} = 0.2854 + 0.2591 \left(\frac{t}{t_g} \right) + 0.6171 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2 - 0.4834 \left(\frac{t}{t_g} \right)^3 \quad (15)$$

şeklinde dir.

Model-9:

Tahran ve Sarı (2005) Orta Karadeniz Bölgesi (Amasya, Çorum, Ordu, Samsun ve Tokat) için elde ettikleri üçüncü dereceden eşitlik, aşağıda şekilde ifade edilmiştir:

$$\frac{H}{H_0} = 0.1520 + 1.1334 \left(\frac{t}{t_g} \right) - 1.1126 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2 + 0.4516 \left(\frac{t}{t_g} \right)^3 \quad (16)$$

Ayrıca bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan ölçüm verileri kullanılarak üçüncü dereceden bir eşitlik geliştirilmiştir. Erzurum için yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınımı hesabı için geliştirilen bu eşitlik:

$$\frac{H}{H_0} = 0.6307 - 0.7251 \left(\frac{t}{t_g} \right) + 1.2089 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2 - 0.4633 \left(\frac{t}{t_g} \right)^3 \quad (17)$$

şeklinde dir.

MUKAYESE METOTLARI

Literatürde, güneş ışınımı tahmin modellerini istatistiksel olarak değerlendirmek için kullanılan çeşitli test metotları bulunmaktadır. Bu çalışmada, farklı modellerden elde edilen sonuçlar, ortalama taraflı hata (Mean Bias Error, MBE), tahminin standart hataları (Root Mean Square Error, RMSE) ve t-istatistik (t-ist) yöntemleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır.

MBE ve RMSE değerleri,

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i) \quad (18)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \right]^{1/2} \quad (19)$$

eşitlikleri ile hesaplanmıştır (Ma ve Iqbal, 1984; Ertekin ve Yıldız, 2000). Burada, x_i i. ölçülen değeri, y_i i. hesaplanan değeri ve n ise toplam gözlem sayısını gösterir. MBE ise bir modelin uzun dönemde gösterdiği performansın bir ölçüsü olup MBE değerinin düşük olması istenir. Pozitif değerler, modelin gerçek değerden daha yüksek değer verdiğini, negatif değerler ise, daha düşük değerler verdiğini gösterir (Ma ve Iqbal, 1984).

RMSE değerleri, hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki sapmayı göstererek korelasyonların kısa dönem performansı hakkında bilgi verir (Ma ve Iqbal, 1984). RMSE değeri ne kadar küçükse modelin performansı o kadar yüksektir.

Yukarıda yapılan açıklamalardan da anlaşılacağı üzere, her bir testin (RMSE ve MBE) model performansını göstermek için tek başına yeterli olmadığı açıktır. Bir modelin, büyük bir RMSE değerine karşın küçük bir MBE değerine sahip olması mümkündür. Diğer taraftan, bir modelin oldukça küçük bir RMSE değerine karşın çok küçük bir MBE değeri göstermesi de mümkündür (Stone, 1993). Bu bakımdan ilave olarak t-istatistik kullanılmıştır. Bir istatistiksel gösterge olan t-istatistik, modellerin karşılaştırılmasında kullanıldığı gibi, aynı zamanda modellerden hesaplanan değerlerin belirli bir güven seviyesinde istatistiksel bir öneme sahip olup olmadıklarını da gösterebilmektedir (Stone, 1993).

MBE ve RMSE değerlerine bağlı olarak t-istatistiği,

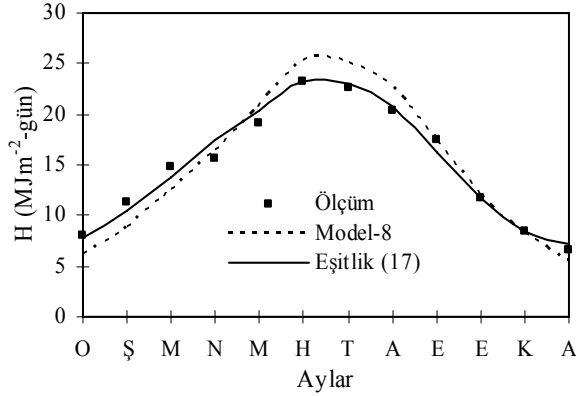
$$t - ist = \left(\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2} \right)^{1/2} \quad (20)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır (Stone, 1993; Toğrul ve Toğrul, 2002).

Bu yöntemde de t-ist değeri ne kadar küçükse modelin performansı o kadar iyidir. Modelden hesaplanan değerlerin istatistiksel olarak önemli olup olmadıklarını belirlemek için, önce istatistik tablolarından t-kritik değerinin belirlenmesi gerekir. Daha sonra $n-1$ serbestlik derecesinde ve α önem seviyesinde $t_{\alpha/2}$ değeri bulunur. Modelden hesaplanan değerlerin, $1-\alpha$ güven seviyesinde istatistiksel önemine karar verilebilmesi için, hesaplanan t-ist değerinin t-kritik değerinden daha küçük olması gerekir (Stone, 1993).

Tablo 1. Erzurum için yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınımı ($\text{MJm}^{-2}\text{-gün}$) ile modellerin MBE, RMSE ve t-istatistik değerleri ($\alpha = 0.01$ ve $n = 12$ için t-kritik = 3.106).

Aylar	Model-1	Model-2	Model-3	Model-4	Model-5	Model-6	Model-7	Model-8	Model-9	Eş. (17)
Ocak	5.636	5.898	5.718	5.387	5.228	5.504	6.937	6.215	6.190	7.811
Şubat	8.346	8.493	8.329	7.643	7.624	8.118	9.754	8.841	8.857	10.400
Mart	12.174	12.068	11.941	10.731	10.967	11.752	13.580	12.459	12.447	13.800
Nisan	16.408	15.958	15.875	14.081	14.638	15.718	17.705	16.399	16.269	17.406
Mayıs	20.522	20.256	20.291	17.661	18.945	20.268	21.921	20.675	19.996	20.352
Haziran	24.503	25.049	25.060	21.714	24.205	25.116	26.424	25.199	23.094	23.190
Temmuz	24.246	24.910	24.885	21.605	24.177	24.926	26.228	24.968	22.750	22.916
Ağustos	21.872	22.647	22.607	19.650	22.029	22.635	23.827	22.655	20.589	20.776
Eylül	16.603	17.248	17.292	14.949	16.499	17.338	18.298	17.460	16.254	16.262
Ekim	11.181	11.752	11.777	10.236	11.017	11.772	12.686	11.986	11.550	11.713
Kasım	7.514	8.081	8.072	7.083	7.483	8.032	8.850	8.274	8.120	8.442
Aralık	4.935	5.209	5.025	4.786	4.595	4.811	6.183	5.518	5.472	7.110
MBE	-0.420	-0.121	-0.182	-1.955	-0.966	-0.258	1.117	0.102	-0.646	0.065
RMSE	1.734	1.799	1.865	2.200	2.062	1.969	2.174	1.678	1.283	0.859
t-ist	0.827	0.223	0.326	6.426	1.760	0.439	1.987	0.201	1.931	0.253



Şekil 1. Yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınımının aylara göre değişimi.

MODELLERİN ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRMA

Erzurum için yatay yüzeye gelen günlük global güneş ışınımı, literatürde mevcut bazı modellerden ve bu çalışmada geliştirilen bir eşitlikten hesaplanmış ve sonuçlar çeşitli mukayese metotları ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 1'de farklı modeller yardımıyla hesaplanan Erzurum için yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınımı değerleri ile MBE, RMSE ve t-istatistik değerleri verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, en düşük RMSE ve MBE değerini Eş. (17) ve en düşük t-ist değerini ise Ülgen ve Hepbaşlı (Model-8) modelinin verdiği görülmektedir. Şekil 1'de ise ölçüm ile en iyi değerleri veren Model-8 ve Eş. (17)'den elde edilen sonuçlara göre, Erzurum için yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınımının aylara göre değişimleri gösterilmiştir.

SONUÇLAR

Yatay yüzeye gelen global güneş ışınım miktarının hesaplanmasında 9 değişik model ve bu çalışmada geliştirilen eşitliğin performansı, MBE, RMSE ve t-istatistik mukayese metotları kullanılarak araştırılmıştır. Her üç mukayese metoduna göre, tüm eşitlikler arasında genel bir değerlendirme yapıldığında en iyi sonuçları, MBE=0.065 ve RMSE=0.859 değerleri ile bu çalışmada geliştirilen Eş. (17) verirken, t-istatistik bakımından en iyi sonucu ise t-ist=0.201 değeri ile Model-8'in verdiği görülmüştür. MBE, RMSE ve t-istatistik mukayese metotlarına göre sırasıyla en iyi üç eşitliğin; i) MBE değerine göre, MBE=0.065 değeri ile bu çalışmada önerilen Eş. (17), MBE=0.102 değeri ile Ülgen ve Hepbaşlı (2004) tarafından önerilen Model-8 ve MBE=-0.121 değeri ile Ögelman vd. (1984) tarafından önerilen Model-2 ii) RMSE değerine göre, RMSE=0.859 değeri ile bu çalışmada önerilen Eş. (17), RMSE=1.283 değeri ile Tahran ve Sarı (2005) tarafından önerilen Model-9 ve RMSE=1.678 değeri ile Ülgen ve Hepbaşlı (2004) tarafından önerilen Model-8 iii) t-istatistik değerine göre birbirine çok yakın değerlerle, t-ist=0.201 değeri ile Ülgen ve Hepbaşlı (2004) tarafından önerilen Model-8, t-ist=0.223 değeri ile Ögelman vd. (1984) tarafından önerilen Model-2 ve t-ist=0.253 değeri ile bu çalışmada önerilen Eş. (17) şeklinde olduğu görülmüştür. Eşitlikler istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, Model-4 hariç diğer tüm eşitliklerin $\alpha=0.01$ istatistiksel önem seviyesinde kabul edilebilir t-kritik=3.106 değerinin altında olması, bu eşitliklerin Erzurum için kullanılabilir nitelikte olduklarını göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Erzurum iline ait meteorolojik verileri sağladığı için, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Akınoğlu, B. G. and Ecevit, A., Construction of a quadratic model using modified Angström coefficients to estimate global solar radiation, *Solar Energy* 45, 85-92, 1990.

Aksoy, B., Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations, *Renewable Energy* 10, 625-633, 1997.

Angström, A., Solar and terrestrial radiation, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 50:121-125, 1924.

Duffie, J. A. and Beckman W. A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1991.

Ertekin, C. and Yaldız, O., Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya (Turkey), *Energy Conversion and Management* 41, 311-330, 2000.

Howell, J. R., Bannerot, R. B. and Vliet G. C., *Solar-Thermal Energy Systems Analysis and Design*, McGraw-Hill Inc., New York, 1982.

Kılıç, A. ve Öztürk, A., *Güneş Enerjisi*, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.

Klein, S. A., Calculation of monthly average insolation on titled surfaces. *Solar Energy* 19, 325-329, 1977.

Ma, C. C. Y. and Iqbal, M., Statistical comparison of models for estimating solar radiation on inclined surfaces, *Solar Energy* 31, 313-317, 1984.

Ögelman, H., Ecevit, A. and Taşdemiroğlu, E., A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data, *Solar Energy* 33, 619-625, 1984.

Stone, R. J., Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models, *Solar Energy* 51, 298-291, 1993.

Tahran, S. and Sarı, A., Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey, *Energy Conversion and Management* 46, 605-613, 2005.

Tırıs, M., C. Tırıs, and I. E. Türe, Correlations of monthly-average daily global, diffuse and beam radiations with hours of bright sunshine in Gebze, Turkey, *Energy Conversion and Management* 37, 1417-1421, 1996.

Toğrul, İ. T. and Toğrul, H., Global solar radiation over Turkey: Comparison of predicted and measured data, *Renewable Energy* 25, 55-67, 2002.

Ülgen, K. and Hepbaşlı, A., Solar radiation models. Part 2: Comparison and developing new models, *Energy Sources* 26, 521-530, 2004.

Ülgen, K. ve Özbalta, N., İzmir Bornova'da yatay yüzeye gelen toplam güneş ışınımının ölçülmesi ve değerlendirilmesi, *12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Sakarya, 113-118, 2000.



Kadir BAKIRCI, 1994 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1997 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi oldu. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 1998 yılında Yüksek Lisans ve 2004 yılında Doktora öğrenimini tamamladı. Halen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.