



## KASKAT BAĞLI ÖZDEŞ TERMOELEKTRİK MODÜLLERİN PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Kemal ATİK

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü  
78010 Balıklarkayası Karabük, kemalatik@karaelmas.edu.tr

(Geliş Tarihi: 07. 02. 2006)

**Özet:** Bu çalışmada özdeş iki termoelektrik modülün kaskat bağlı durumdaki çalışmasının performans değerleri ile aynı modülün tek çalışması durumundaki performans değerleri karşılaştırılmıştır. Her iki durumda termoelektrik modüllerin çalıştıkları sıcaklık aralıkları ve çektikleri ısı eşit alınmıştır. Sıcaklık farkı 10 °C' den 65 °C' ye kadar değiştirilmiş, her sıcaklık farkı için tek çalışan modülün optimum verim noktasındaki soğutma gücü alınmıştır. Kaskat çalışan modüllerin birleşme noktalarındaki sıcaklık değeri de değiştirilerek en yüksek verimin olduğu çalışma noktası belirlenmiştir. Melcor firması tarafından üretilen CP 1.4-127-10 kodlu termoelemanın seçildiği uygulamada sıcaklık farkı 56.5 °C' ye kadar tek modül, daha büyük sıcaklık farkları için kaskat bağlantının verimi yüksek çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Termoelektrik soğutma, Kaskat bağlantı, Soğutma etkinliği.

### INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF IDENTICAL TWO-STAGE CONNECTED THERMOELECTRIC MODULES

**Abstract:** In this study, performance values of thermoelectric modules of two cases, two identical two-stage connected thermoelectric modules and one same module alone, were compared. In both case, working temperature differences and acquired heat of the modules were taken the same. While the temperature differences were changed from 10°C to 65°C, for single module, cooling power at optimum efficiency points for every single temperature differences were registered. In the same temperature span, optimum efficiency working point for two-stage working module was determined while the temperature values at the connected point were changed. In the study, the sed thermo element was CP 1.4-127-10 produced by Melcor. The experiments has shown that for single module, the highest efficiencies were at temperature differences up to 56 °C and for two-stage connection module, the temperature differences higher than 56 °C were shown the highest erformance.

**Key words:** Thermoelectric cooling, Two-stage connection, Cooling efficiency.

#### SEMBOLLER

A	Kesit alanı [m <sup>2</sup> ]
f	çözümü yapılacak fonksiyon
f'	türevi alınmış fonksiyon
G	Şekil faktörü [Alan/Uzunluk, cm]
I	Devreden geçen akım[Amper].
k	Isı iletim katsayısı [Watt/m <sup>2</sup> °K]
N	Termoelektrik çift sayısı
Q	Isı [Watt]
R	Termoelemanın direnci [Ω]
STK	Soğutma Tesir Katsayısı
t	Thomson katsayısı [ V/°K ]
T <sub>c</sub>	Soğuk yüzey sıcaklığı [°K]
T <sub>h</sub>	Sıcak yüzey sıcaklığı [°K]
T <sub>0</sub>	Ara yüzey sıcaklığı [°K]
TE	Termoelektrik
V	Devrede oluşan gerilim [Volt]
Z	Kalite katsayısı [°K <sup>-1</sup> ]
α	Seebeck katsayısı [Volt/°K]
ΔT <sub>1</sub>	1. kattaki sıcaklık farkı[°K]

ΔT <sub>2</sub>	2. kattaki sıcaklık farkı[°K]
π	Peltier sabiti [Volt]
ρ	Elektriksel Direnç [Ω cm]

#### GİRİŞ

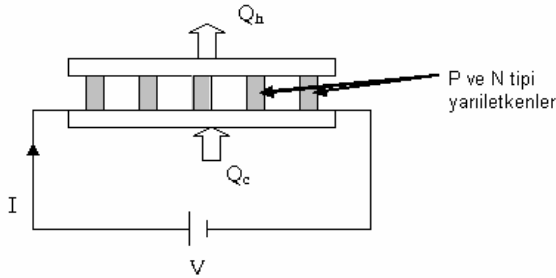
Termoelektrik (TE) modüller elektrik enerjisi kullanarak ısıyı düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa transfer ederler. TE soğutucu ısıyı transfer etmek için elektronların enerji seviyelerindeki değişimi kullanan bir ısı pompasıdır (Ahıska, 2004). Termoelektrik soğutmanın avantajları; hareketli parçalarının olmaması, titreşim ve ses yapmaması, aynı modülle hem ısıtma hem soğutma yapabilmeleri, çevreye zararsız olmaları, kontrol edebilme kolaylığı vb. dir. En önemli sakıncaları ise verimlerinin düşük olması ve pahalı olmalarıdır. Askeri ve uzay çalışmalarında, feber optik

ve laser uygulamalarında, bilgisayarlarda, laboratuvar ve bilimsel deneylerde, düşük güçlü ticari soğutma uygulamalarında ve tıp alanlarında kullanılmaktadırlar (Boztepe, 1995).

Usta ve Kırmacı (2000), küçük bir kutudaki suyun soğutulmasını TE soğutucu ile yapmışlardır. Boztepe (1995), güneş pilleriyle çalışan bir TE soğutucu yapmıştır. Güneş pillerinden elde ettiği elektrik enerjisini depolayarak TE modülün beslemesinde kullanmıştır. Cheng vd. (2006), kaskat bağlı TE modüllerin kapasitesinin ve etkinliğinin optimizasyonunu genetik algoritma ile yapmışlardır. Chen vd. (2005a) iki katlı (kaskat bağlı) TE jeneratörün performans optimizasyonunu araştırmıştır. TE modüller ısı pompası (soğutucu) olarak kullanılmalarının yanında, TE Jeneratör olarak adlandırılan uygulamalarda ısı enerjisi kullanarak elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmaktadır (Chen vd., 2005b; Esarte vd., 2001; Nuwayhid ve Hamade, 2005).

## TERMOELEKTRİK MODÜLLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bir TE modülün yapısı ve karakteristik değerleri Şekil 1'de gösterilmiştir. TE modülde geçerli olan etkiler ve bağlantıları şu şekildedir:



Şekil 1. Bir TE modülün yapısı.

İki farklı metalden oluşan kapalı bir devrede birleşme noktaları farklı sıcaklıklarda bulunursa, bu yüzeyler arasında Jeul etkisi, Feuer etkisi, Peltier etkisi ve Seebeck etkisi oluşur (Riffat vd, 2004). Seebeck etkisi; farklı iki malzemeden oluşan bir devrede, iki birleşme noktası farklı sıcaklıklarda olduğunda, malzeme uçlarında ölçülen gerilimin sıcaklık farkıyla orantılı olduğunu ifade eder.

$$V = \alpha \Delta T \quad (1)$$

V, devrede oluşan gerilim (Volt);  $\alpha$ , Seebeck katsayısı (Volt/°K);  $\Delta T$ , birleşme noktaları arasındaki sıcaklık farkı (°K).

Peltier etkisi, termoelemanda soğuk ve sıcak yüzeyde ortaya çıkan ısının devreden geçen akımla orantılı olduğunu gösterir.

$$Q_p = \pi I \quad (2)$$

$Q_p$ , Peltier ısısı (Watt);  $\pi$ , Peltier sabiti (Volt); I, Devreden geçen akım(Ampere).

Burada,

$$\pi = \alpha T \quad (3)$$

Thomson Etkisi, Seebeck ve Peltier etkileri arasındaki ilişkiyi verir. Böyle bir devrede oluşan ısı hem elektrik akımına hem de sıcaklık gradyanına bağlıdır.

$$Q_t = t \Delta T I \quad (4)$$

t, Thomson katsayısı ( V/°K );  $\Delta T$ , İletkenin uçları arasındaki sıcaklık farkı (°K); I, İletken üzerinden geçen akım şiddeti (Amper)

Jeul etkisi, devreden geçen akım sonucu ortaya çıkan ısı enerjisidir. Bu etki her iki yüzeye eşit olarak (yarı yarıya) paylaşılmaktadır. Akım (dolayısıyla gerilim) değeriyle parabolik olarak artmaktadır.

$$Q_j = I^2 R \quad (5)$$

R: Termoelemanın direnci ( $\Omega$ ), I : Devreden geçen akım (Amper)

Feuer etkisi; ise iki yüzey arasındaki sıcaklık farkından dolayı iletimle olan ısı geçişini ifade eder. Yüzeyler arası sıcaklık farkı arttıkça bu değer de artmaktadır.

$$Q = k A \Delta T \quad (6)$$

k: Isı iletim katsayısı (Watt/m<sup>2</sup>°K), A: Kesit alanı (m<sup>2</sup>),  $\Delta T$  : Sıcaklık farkı (°K)

Bütün bu etkiler bir arada yazılırsa; N adet çiftten oluşan bir TE modülde soğuk yüzeyden emilen ısı miktarı aşağıdaki eşitliklerle bulunur [Melcor, 2006]:

$$Q_c = 2N(\alpha I T_c - I^2 \rho / 2G + k \Delta T G) \quad (7)$$

sıcak yüzeyden atılan ısı miktarı:

$$Q_h = 2N(\alpha I T_h + I^2 \rho / 2G + k \Delta T G) \quad (8)$$

Burada, N TE çift sayısı;  $\alpha$ , Seebeck katsayısı (Volt/°K);  $T_c$ , soğuk yüzey sıcaklığı (°K);  $T_h$ , sıcak yüzey sıcaklığı (°K); G, Şekil faktörü (Alan/Uzunluk, cm);  $\rho$ , Elektriksel Direnç ( $\Omega$  cm)

Devredeki gerilim:

$$V = 2N(I\rho / G + \alpha \Delta T) \quad (9)$$

Optimum verimin elde edildiği akım:

$$I_{opt} = k \Delta T G (1 + \sqrt{1 + Zt}) / (\alpha t) \quad (10)$$

TE modülün verimi, Soğutma Tesir Katsayısı (STK) olarak da adlandırılmaktadır. Modülün soğutma

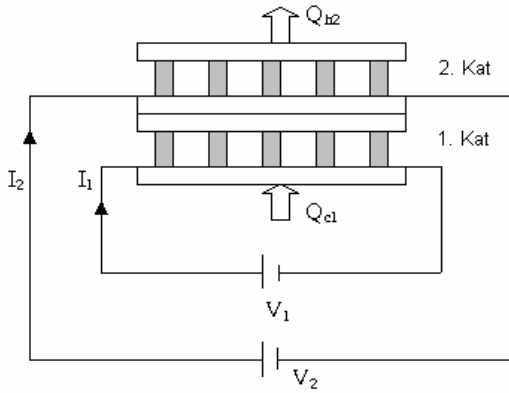
gücünün, modülün harcadığı elektriksel güce bölümüdür. TE modülün verimi, (STK):

$$STK = Q_c / (V I) \quad (11)$$

eşitliğiyle bulunur.

## KASKAT BAĞLI TERMOELEKTRİK MODÜLLERİN ÇALIŞMASI

TE modüllerin kaskat bağlantıları Şekil 2’de görülmektedir. Ara yüzey için ısı bilançosu yazılacak olursa 1. kattaki TE modül tarafından atılan ısı 2. kattaki TE modül tarafından alınan ısıya eşit olması gerekmektedir. TE modüllerin çalıştığı sıcaklıklar  $T_h$  ve  $T_c$ , İki modül ara yüzey sıcaklığı  $T_0$  olsun.



Şekil 2. Kaskat Bağlı Termoelektrik Modüllerin Çalışma Prensipleri.

Birinci kat için Eş. (7), Eş. (8) ve Eş. (9) kullanılarak:

$$Q_{c1} = 2N(\alpha I T_c - I_1^2 \rho / 2G + k \Delta T_1 G) \quad (12)$$

$$Q_{h1} = 2N(\alpha I T_0 - I_1^2 \rho / 2G + k \Delta T_1 G) \quad (13)$$

$$V_1 = 2N(I_1 \rho / G + \alpha \Delta T_1) \quad (14)$$

İkinci kat için Eş. (7), Eş. (8) ve Eş. (9) kullanılarak:

$$Q_{c2} = 2N(\alpha I T_0 - I_2^2 \rho / 2G + k \Delta T_2 G) \quad (15)$$

$$Q_{h2} = 2N(\alpha I T_h - I_2^2 \rho / 2G + k \Delta T_2 G) \quad (16)$$

$$V_2 = 2N(I_2 \rho / G + \alpha \Delta T_2) \quad (17)$$

Ara yüzeyde alınan ve verilen ısılar birbirine eşit olduğundan:

$$Q_{c2} = Q_{h1} \quad (18)$$

Birinci kat için; çekilen ısı ( $Q_{c1}$ ),  $T_1$  ve  $T_0$  sıcaklıkları bilirse Eş. (12) den  $I_1$  akımı Newton-Raphson metoduyla hesaplanabilir (Çağal, 1998).

$$I_1 = I_1 - f / f' \quad (19)$$

Burada  $f$  çözülecek fonksiyon,  $f'$  bu fonksiyonun türevidir.

$$f = 2N(\alpha I_1 T_c - I_1^2 \rho / (2G) - k(T_0 - T_c)G) - Q_{c1}$$

$$f' = 2N(\alpha T_c - 2 I_1 \rho / (2G))$$

Yeterli yakınlık elde edilene kadar iterasyona devam edilir.

$I_1$  akımı hesaplandıktan sonra Eş. (13) ve Eş. (14) ile  $Q_{h1}$  ve  $V_1$  hesaplanır.

Benzer şekilde 2. kat için çekilen ısı ( $Q_{c2}$ ),  $T_h$  ve  $T_0$  sıcaklıkları belli olduğundan Eş. (15) den  $I_2$  akımı Newton-Raphson metoduyla hesaplanabilir.

$I_2$  akımı hesaplandıktan sonra Eş. (16) ve Eş. (17) ile  $Q_{h2}$  ve  $V_2$  hesaplanır.

## SAYISAL ÖRNEK VE TARTIŞMA

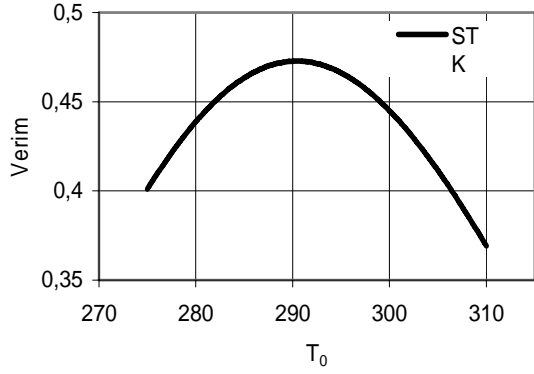
Kaskat bağlı özdeş TE modüllerin performans değerleri ile aynı sıcaklık aralığında çalışan, aynı soğutma gücünde tek bağlı TE modülün verim değerleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan TE modüller Melcor firması tarafından üretilen CP 1.4-127-10 kodlu modüldür. Bu TE modülün ortalama 300 °K sıcaklık için teknik verileri Tablo 1. de verilmiştir [Melcor, 2006].

Tablo 1. CP 1.4-127-10 Termoelektrik modülün teknik verileri.

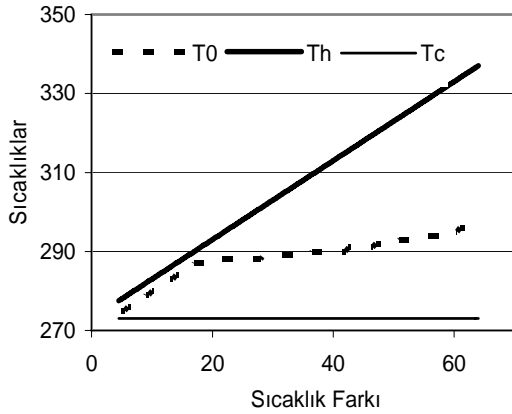
G	0.077 cm	z	$2.68 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$
$\alpha$	$2.02 \cdot 10^{-4} \text{ Volt}/^\circ\text{K}$	N	127 adet
$\rho$	$1.01 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega\text{cm}$	k	$1.51 \cdot 10^{-2} \text{ Watt}/\text{cm}^\circ\text{K}$

Çalışma şartları soğuk yüzey sıcaklığı:  $T_c = 273 \text{ } ^\circ\text{C}$  olarak sabit tutulmuştur. Isının atıldığı sıcak yüzey sıcaklığı  $T_h$  ise  $\Delta T$  sıcaklık farkı  $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ' den  $60 \text{ } ^\circ\text{C}$ ' ye kadar  $0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$  aralıkla değiştirilmiştir. Her bir  $\Delta T$  sıcaklık farkı için optimum verimi sağlayan  $T_0$  sıcaklığı hesaplanmıştır. Şekil 3'te örnek olarak yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$  için ara yüzey sıcaklığı değiştirilerek hesaplanan verim değerleri verilmiştir. Bu sıcaklık farkı için en yüksek verim  $T_0 = 290.4 \text{ } ^\circ\text{K}$  sıcaklığında  $0.47$  olarak bulunmuştur. Bütün sıcaklık farklarında  $T_0$  sıcaklığı; en yüksek verimin elde edildiği sıcaklık hesaplanarak alınmıştır.

Şekil 4'te  $T_h$  sıcaklığına bağlı olarak ara yüzey sıcaklığı  $T_0$  değişimi verilmiştir. Bu optimum  $T_0$  değeri için her iki katın akım ve gerilimleri, bunlardan da harcadıkları enerji ve soğutma tesir katsayıları (STK) hesaplanmıştır. Bu değerler aynı sıcaklık aralığında çalışan tek bağlı TE modüllerin verim değerleri ile karşılaştırılmıştır.

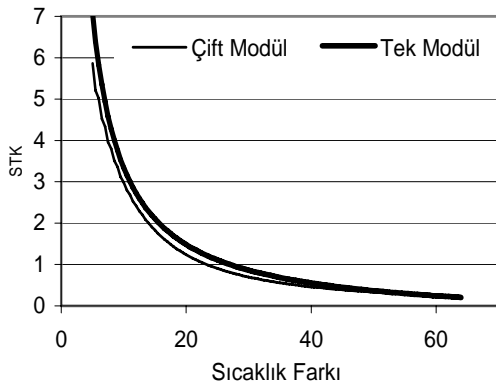


Şekil 3.  $\Delta t = 40$  °C için  $T_0$  ara yüzey sıcaklığına göre soğutma tesir katsayısının değişimi.

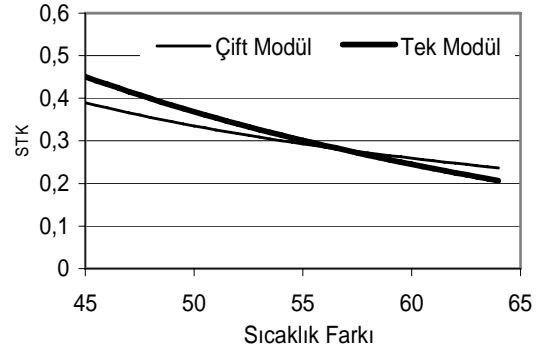


Şekil 4. Sıcaklık farkına bağlı olarak ara yüzey sıcaklığının ( $T_0$ ) değişimi.

Her iki çalışma durumu için hesaplanan verim (STK) değerleri aynı eksen takımı içerisinde çizilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir. 5 °C sıcaklık farkında tek modül için STK= 7.068, kaskat bağlı modüller için 5.866; 65 °C sıcaklık farkında tek modül için STK= 0.207, kaskat bağlı modüller için 0.237 olmaktadır.  $\Delta T = 56.5$  °C için her iki çalışma şeklinde verimler 0.283 değerine eşit olmaktadır.



Şekil 5. Soğutma tesir katsayısının (STK) sıcaklık farkıyla değişimi.



Şekil 6. STK ların değişiminin daha açık görülmesi.

## SONUÇ

TE modüller iki katlı bağlantı (kaskat) şekilde de kullanılabilir. Kaskat bağlantıda sıcak taraftaki modül daha büyük kapasiteli olmaktadır. Böylece daha büyük sıcaklık farkları elde edilebilir; daha yüksek verim sağlanmaktadır. Bu çalışmada her iki TE modül de aynı özellikte seçilmiştir. Sıcaklık farkı 56.5 °C' den küçük değerlerde tek modülün verimi daha yüksek, sıcaklık farkı 56.5 °C' den fazla olduğunda iki kat bağlı modülün verimi daha büyük çıkmıştır. Sıcaklık farkı 56.5 °C' den küçük değerlerde tek modülün verimi daha yüksek olmasının nedeni, kaskat bağlantıda düşük sıcaklık ve gerilim farklarında TE modüllerin her birinin verimsiz bölgede çalıştıklarındandır. Sıcaklık farkı 56.5 °C' den fazla olduğunda iki kat bağlı modülün verimi daha büyük çıkmasının nedeni, yüksek sıcaklık farkında tek katlı modülün ısıl direnci kaskat modüllerden daha düşük olacağı için sıcak yüzeyden soğuk yüzeye iletimle olan ısı geçişi daha fazla olmakta ve soğutma verimini azaltmaktadır. TE modüllerin kullanımında verimin yüksek olmasına dikkat edilmeli, optimum noktaya yakın çalışmaya gayret edilmelidir. Her zaman akımın artırılması soğutma gücünü arttırmadığı gibi; her zaman kaskat bağlantı verimi arttırmamaktadır.

## KAYNAKLAR

Ahıska R., Ciylan B., Savaş Y., Güler İ., Standart TE Modülün Z Parametresi İçin Yeni Yöntem ve Yeni Sistem, *Politeknik*, 4, 19, 467-473, 2004.

Boztepe M., Güneş Pilleri İle Çalışan Peltier Elemanlı Bir Soğutucu Sistemin Geliştirilmesi, Y. Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1995.

Chen L., Li J., Sun F., Wu C., Performance Optimization of a Two-Stage Semiconductor Thermoelectric-Generator, *Applied Energy*, 82, 300-312, 2005a.

Chen L., Sun F., Wu C., Thermoelectric-Generator With Linear Phenomenological Heat-Transfer Law, *Applied Energy*, 81, 358-364, 2005b.

Cheng Y.H., Shin C., Maximizing the Cooling Capacity and COP of Two-Stage Thermoelectric Coolers Through Genetic Algorithm, *Applied Thermal Engineering*, 26, 937-947, 2006.

Çağal B., *Sayısal Analiz*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.

Esarte J., Min G., Rowe D.M., Modelling Heat Exchangers For Thermoelectric Generators, *J. Of Power Sources*, 93, 72-76, 2001.

Melcor, <http://www.melcor.com/cpseries.html>, 2006.

Nuwayhid R.Y., Hamade R., Desing and Testing of a Locally Made Loop-Type Thermosyponic Heat Sink for Stove-top Thermoelectric Generators, *Renewable Energy*, 30, 1101-1116, 2005.

Riffat S.B., Qiu G., Comperative Investigation of Thermoelectric Air-Conditioners Versus Vapour Compression and Absorption Air-Conditioners, *Applied Thermal Engineering*, 24, 1979-1993, 2004.

Usta H., Kırmacı V., Termoelektrik Etkiler Ve Soğutma Etkinliğinin Uygulanması, *Teknoloji* 5(3-4), 65-71, 2002.



**Kemal ATİK**, 1970 yılında Kayseri’ de doğdu. 1992’de Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirdi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde 1995’te Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde 2002’de Doktorasını tamamladı. Halen Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesinde Yrd. Doç. Dr. olarak çalışmakta ve Tesisat Anabilim Dalı Başkanlığı görevi yapmaktadır. Güneş enerjisi uygulamaları, iklimlendirme ve soğutma, sayısal analiz ve yapay sinir ağları konularında çalışmaktadır.