



A novel thermoelectric CPU cooling system controlled by artificial intelligence

İlhan Umut^{1*}, Dinçer Akal²

¹Electronics Technology Department, Çorlu Vocational School, Tekirdağ Namık Kemal University, 59850, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Trakya University, 22030, Edirne, Türkiye

Highlights:

- A novel CPU thermoelectric cooling system design
- A special electronic circuit and computer software for the control of the system
- Developing an artificial neural network model to determine at what power the cooling system will operate.

Keywords:

- Artificial intelligence
- Cooling
- Central processing unit
- Energy
- Thermoelectricity

Article Info:

Research Article

Received: 29.07.2022

Accepted: 04.01.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1150632

Correspondence:

Author: İlhan Umut

e-mail:

ilhanumut@trakya.edu.tr

phone: +90 544 239 6465

Graphical/Tabular Abstract

Figure A shows the components of the additional TEC unit designed in addition to the CPU cooling fan. In order to realize the heat transfer by conduction between the TEC unit and the CPU, the aluminum plate (TEC Module Interface Connection), seen in (Figure A), is designed. On the plate used in this TEC unit, there are thermoelectric module (TEC-12706), heatsink and fan. Since the temperature of the thermoelectric cooler will always be lower than the CPU temperature, effective cooling will be ensured.

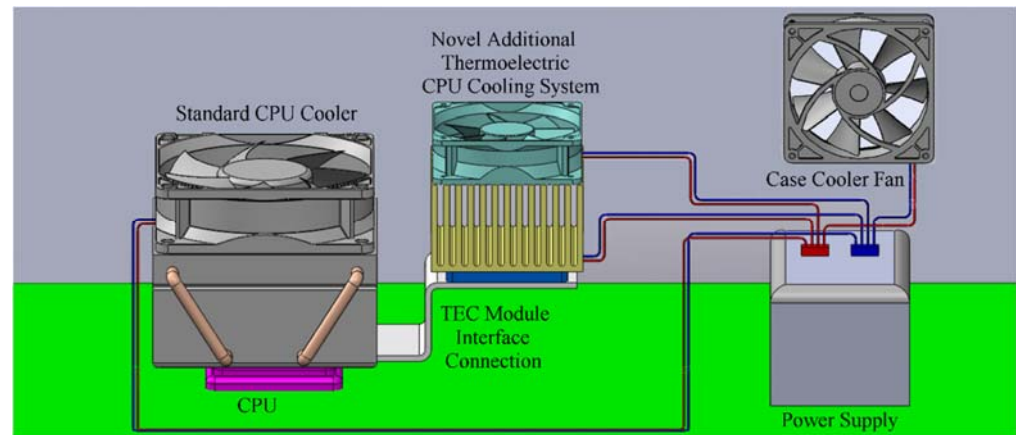


Figure A. Graphic design of the system

Purpose: Temperature rise in computers is an undesirable situation that occurs depending on the processor load. Due to excessive temperature rise in the Central Processing Unit (CPU), computers shut down and system damage occurs over time. In this study, a new thermoelectric cooling system is designed to reduce the temperature in the CPU. In addition, 3 different artificial intelligence models were created for the dynamic control of the system and their successes were compared.

Theory and Methods: The new cooling system is designed using a thermoelectric module. It is to remove the excess heat by conduction and convection by taking advantage of the temperature difference between the thermoelectric cooler and the CPU we add to the system. Since the temperature of the thermoelectric cooler will always be lower than the CPU temperature, effective cooling will be provided. A special electronic circuit and software have been developed for the control of the cooling unit. Three different artificial intelligence models (artificial neural network, random forest, and k-nearest neighbor) were created to dynamically control the additional cooling system and their successes were compared. Artificial intelligence determines the power and fan speed of the thermoelectric cooling system. It performs this control by evaluating all parameters (different values such as CPU frequency, voltage, number of processes) instead of a specific CPU load or a specific temperature value.

Results: While the CPU temperature was 41°C at maximum load, this temperature was reduced to 31°C thanks to the designed thermoelectric cooling system. All methods provided a high classification success in training. However, the classification success of the artificial neural network method (97.973%) is higher than the random forest (97.297%) and the k-nearest neighbor (96.306%).

Conclusion: In the standard CPU fan, the CPU temperature at maximum load was 41 °C and the maximum energy consumed by the fan for cooling was 8 Watts. Thanks to the developed thermoelectric cooler system, the CPU temperature was reduced to 31°C and the energy difference for this process was maximum 12 Watts, at maximum load.



Yapay zekâ tarafından kontrol edilen özgün bir termoelektrik CPU soğutma sistemi

İlhan Umut^{1*}, Dinçer Akal²

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Meslek Yüksekokulu, Elektronik Teknolojisi Bölümü, 59850, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

²Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 22030, Merkez, Edirne, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Yeni bir CPU termoelektrik soğutma sistemi tasarımı
- Sistemin kontrolü için özel bir elektronik devre ve bilgisayar yazılımı
- Soğutma sisteminin hangi güçte çalışacağını belirlemek için yapay sinir ağı modeli geliştirilmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 29.07.2022

Kabul: 04.01.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1150632

Anahtar Kelimeler:

Merkezi İşlem Birimi,
sıcaklık,
termoelektrik soğutma,
enerji,
yapay zekâ

ÖZ

Merkezi İşlem Birimi'ndeki (CPU) aşırı sıcaklık artışı nedeniyle, bilgisayarlar zamanla kapanma ve sistem hasarları meydana gelmektedir. Bu çalışmada, CPU'daki sıcaklığı azaltmak amacıyla yeni bir termoelektrik soğutma sistemi tasarlanmıştır. Özgün soğutma sistemi, termoelektrik modül kullanılarak tasarlanmıştır. Sisteme eklediğimiz termoelektrik soğutucu ile CPU arasındaki sıcaklık farkından faydalanarak fazla ısıyı iletim ve konveksiyon yoluyla uzaklaştırmaktır. Termoelektrik soğutucunun sıcaklığı her zaman CPU sıcaklığından düşük olacağından dolayı etkin soğutma sağlanmış olacaktır. Soğutma ünitesinin kontrolü için özel bir elektronik devre ve yazılım geliştirilmiştir. Ek soğutma sistemini dinamik olarak kontrol etmek için üç farklı yapay zekâ modeli (yapay sinir ağı, rastgele orman ve k-en yakın komşu) oluşturulup başarıları karşılaştırılmıştır. Yapay zekâ, termoelektrik soğutma sisteminin gücünü ve fan hızını belirler. Bu kontrolü belirli bir CPU yükü veya belirli bir sıcaklık değeri yerine tüm parametreleri (CPU frekansı, voltajı, işlem sayısı gibi farklı değerler) değerlendirerek gerçekleştirir. Maksimum yükte CPU sıcaklığı 41°C iken, tasarlanan termoelektrik soğutma sistemi sayesinde bu sıcaklık 31°C'ye düşürülmüştür. Tüm yöntemler eğitimde yüksek bir sınıflandırma başarıları sağlamıştır. Yapay sinir ağı yönteminin kullanılması ile %97,973, rastgele orman modelinde %97,297 ve k-en yakın komşu modelinde %96,306 sınıflandırma başarıları elde edilmiştir.

A novel thermoelectric CPU cooling system controlled by artificial intelligence

H I G H L I G H T S

- A novel CPU thermoelectric cooling system design
- A special electronic circuit and computer software for the control of the system
- Developing an artificial neural network model to determine at what power the cooling system will operate

Article Info

Research Article

Received: 29.07.2022

Accepted: 04.01.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1150632

Keywords:

Central Processing Unit,
temperature,
thermoelectric cooling,
energy,
artificial intelligence

ABSTRACT

Due to the excessive temperature rise in the Central Processing Unit (CPU), computers shut down and system damage occurs over time. In this study, a new thermoelectric cooling system is designed to reduce the temperature in the CPU. The novel cooling system is designed using a thermoelectric module. It is to remove the excess heat by conduction and convection by taking advantage of the temperature difference between the thermoelectric cooler and the CPU we add to the system. Since the temperature of the thermoelectric cooler will always be lower than the CPU temperature, effective cooling will be provided. A special electronic circuit and software have been developed for the control of the cooling unit. Three different artificial intelligence models (artificial neural network, random forest, and k-nearest neighbor) were created to dynamically control the additional cooling system and their successes were compared. Artificial intelligence determines the power and fan speed of the thermoelectric cooling system. It performs this control by evaluating all parameters (different values such as CPU frequency, voltage, number of processes) instead of a specific CPU load or a specific temperature value. While the CPU temperature was 41°C at maximum load, this temperature was reduced to 31°C thanks to the designed thermoelectric cooling system. All methods provided a high classification success in education. By using the artificial neural network 97.973% classification success was achieved, whereas the classification success for random forest and k-nearest neighbour model were 97.297% and 96.306%, respectively.

1. Giriş (Introduction)

Bilgisayar kurulumlarında dikkat edilmesi gereken önemli bir faktör CPU'nun çalışma sıcaklığıdır. Analiz, multimedya uygulamaları, oyunlar vb. gibi karmaşık iş yüklerinde CPU sıcaklığı artmaktadır. İdeal bir çalışma için bilgisayar donanımının özelliklerine bağlı olarak soğutulması gerekir. Sistem üzerindeki sıcaklık artışı önlenemezse bazı elektronik bileşenlerde arızalar meydana gelebilir. Bu nedenle CPU sıcaklığı çok yükseldiğinde işlemcinin zarar görmemesi için tetikleme mekanizmaları kullanılır. Dinamik frekans ölçekleme olarak da bilinen bu güvenlik mekanizması, işlemciyi olası hasarlara karşı korur. Ancak bu koruma aktif olduğunda performans kaybı meydana gelir. Farklı soğutma yöntemleri kullanılarak CPU'nun yüksek sıcaklıklardan bir miktar artması engellenmelidir [1].

Literatürde bu konuya yönelik çalışmalar incelendiğinde, CPU sıcaklığını düşürmek için kademeli düz ısı borusu uygulamasının yüksek kondenser sıcaklığı sorununu çözmeye etkili olduğunu göstermektedir. Kademeli düz ısı borulu çift kondenser, tek borulu kondensere göre daha iyi soğutma performansı sağlamaktadır [2]. CPU hızı ve performansı arttıkça CPU kapasitesi ve sıcaklık da artar. Sistemin arıza moduna geçmeden verimli çalışabilmesi için bu ısının uzaklaştırılması ve CPU'nun kritik yüzey sıcaklığının yaklaşık 85°C'nin altında tutulması gerekir. CPU sıcaklığı, geleneksel plaka tipi alüminyum soğutucu yerine gözenekli bir yapıya sahip alüminyum açık hücreli metal köpük soğutucu kullanılarak da düşürülebilmektedir [3]. Nanoakışkanların CPU soğutması üzerindeki etkisi incelendiğinde, deneysel koşullarda ısı yüklerine ve ölçümlere bağlı olarak nano akışkanların suya göre kullanılması durumunda %7,7'ye varan bir termal iletkenlik artışı gözlemlenmiştir [4]. Bilgisayarlardaki iyileştirilmiş performans nedeniyle, bu cihazlarda oluşan sıcaklık artma eğilimindedir. Isı yönetim sisteminin ve elektronik bileşenlerde çalışma sıcaklığının düşük tutulması önemlidir [5]. İki farklı soğutucunun CPU yüzey sıcaklıklarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, mikro kanallı geleneksel soğutucuya göre gözenekli bakır soğutucu kullanılması ile yüzey sıcaklığının 10°C'den fazla azaldığı ifade edilmektedir [6]. Sistemdeki CPU ve diğer bileşenlerin sıcaklıkları, işlemcinin güç tüketiminde artışa neden olduğu bilinmektedir. Ortam sıcaklığı ve hava giriş alanı bilgisayar kasası iç sıcaklığını önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca etkin soğutma için daha yüksek fan hızlarına çıkıldığında akustik gürültü de artmaktadır [7]. CPU yüzeyindeki sıcaklığı azaltmak için alüminyum ısı emici köpük tasarımının yapıldığı bir çalışmada yüzey sıcaklığını tahmin etmek için sistem üzerinde Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS) ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) modelleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yüzey sıcaklığının tahmininde MLP modellemesi ile daha doğru sonuçlar elde edilmiştir [8]. Farklı bir çalışmada termoelektrik jeneratörlerin modellenmesinde elektriksel direnç, yüzey ısı transferi ve doldurma faktörü verileri genetik algoritma ve yapay sinir ağları ile optimize edilmiştir [9]. Sunucu bilgisayarların kesintisiz çalışabilmesi için CPU sıcaklığının düşürülmesi önemli bir konudur. CPU sıcaklığının azaltılması için yapılan benzer bir çalışmada; ısı emici, su soğutma ve termoelektrik soğutma yöntemleri karşılaştırılmıştır. Termoelektrik soğutma ile diğer iki yöntemle göre daha yüksek verim elde edilmiştir [10]. Termoelektrik modüller ile CPU soğutulmasına ek olarak, elektronik çiplerin termal kontrolü de sağlanabilmektedir [11]. Termoelektrik soğutma sisteminin termal performansı, kullanılan modülün boyutları ve özellikleri ile daha da iyileştirilebilir [12]. CPU soğutucusundaki termoelektrik ısı eşanjör modülü için çok amaçlı bir optimizasyon çalışmasında, CPU'nun yüzey sıcaklığı ile giriş gücü arasında aynı anda bir denge sağlamak için en uygun koşullar araştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, tek amaç fonksiyonu için optimal değişkenlerin bazen çok amaçlı fonksiyon için uygun olmadığını göstermiştir [13]. Termoelektrik soğutucular, elektronik

yongaların soğutulmasında, çalışma kimyasalları içermemeleri, uygulama yönteminin kolay ve ekonomik olması nedeniyle tercih edilmektedir [14]. Bir termoelektrik modüle verilen elektrik akımı ve üzerinden geçen havanın hızı arttıkça soğutma performansı artmaktadır [15]. Genel olarak, bu sonuçlar bir kontrol metodolojisinin hem araştırma hem de endüstriyel uygulamalarda faydalı olabileceğini göstermektedir [16]. Tasarım ve uygulamayı kolaylaştırmak için algoritmalarından oluşan derin öğrenme modelleriyle daha iyi tahminler yapılabilmektedir [17]. Kullanılan soğutucularda geometri, ısı transfer akışkanı soğutucunun ısı performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [18]. Ayrıca, bir termoelektrik soğutucunun (TEC) termal performansı, faz değiştiren malzeme ile geliştirilebilir [19]. Tüm bunlara ek olarak, soğutucu olarak hidrojen gazı havadan daha iyi bir soğutma özelliğine sahiptir [20]. Termoelektrik soğutucular bazı avantajları nedeniyle bazı özel elektronik cihazların soğutulmasında kullanılabilir [21]. Ayrıca, sistemler üzerinde çoklu referans sorguları kullanan derin öğrenme yaklaşımları kullanılabilir [22]. En yüksek sıcaklık (sıcak noktalar), elektronik cihazların güvenilirliğini, soğutma maliyetini ve performansını önemli ölçüde etkiler [23]. Yeni teknolojilerin geliştirilmesi, büyük veri hacimlerinin uygun şekilde işlenmesine ve gerçek zamanlı uygulamaların doğru yanıt vermesine bağlıdır [24]. Ayrıca iki fazlı termoelektrik soğutucuların kullanılması ile tek fazlı soğutuculara göre daha yüksek verim elde edilmektedir [25].

Bu çalışmada, CPU'daki sıcaklığı daha etkin bir şekilde azaltmak için yeni bir termoelektrik soğutma sistemi tasarlanmış ve sistemin dinamik kontrolü için 3 farklı yapay zekâ modeli oluşturulup başarıları karşılaştırılmıştır. Literatürden farklı olarak, tasarlanan termoelektrik soğutma sisteminin ne zaman devreye gireceğine karar vermek için yapay zekâ modeli kullanılmaktadır. Bu model, termoelektrik soğutma sisteminin ne zaman devreye gireceğine, gücüne ve fan hızına, sabit bir sınıra göre (belirli bir CPU yükü veya belirli bir sıcaklık) yerine tüm parametrelere (CPU frekansı, voltajı, işlem sayısı gibi farklı değerler) bağlı olarak karar vermektedir.

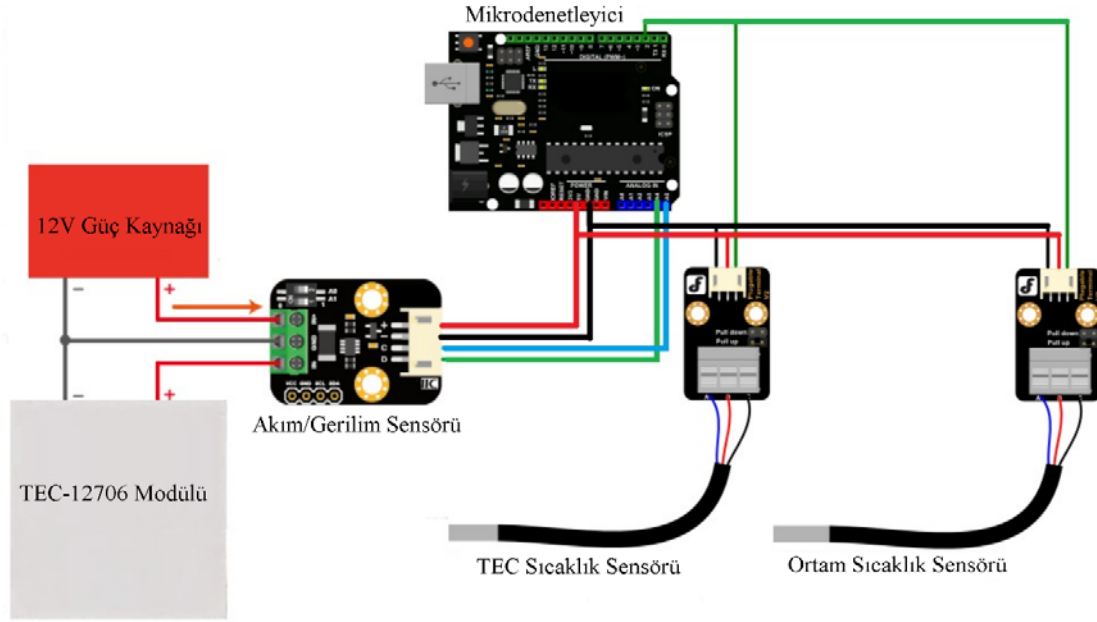
2. Deneysel Metot (Experimental Method)

Deneysel kurulum ve testler için sunucu bilgisayarın işlemci sıcaklığını azaltmak amacıyla kullanılan standart soğutma fanına ek olarak termoelektrik modüllü bir soğutucu sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem üç bileşenden (elektronik devre, TEC soğutma ünitesi ve bilgisayar yazılımı) oluşmaktadır. CPU soğutma fanına ilave edilen termoelektrik modül ile birlikte, modülün kontrol edilmesi ve farklı yük koşullarındaki veri kaydı için özel bir elektronik devre tasarlanmıştır. Ayrıca bu devre, farklı yük koşullarının simüle edilmesi ve değerlerin kaydı için yapay zekâ algoritmalarını barındıran delphi yazılım dili kullanılarak çalışmaya özel bir program geliştirilmiştir. Tasarlanan termoelektrik soğutma sisteminin ne zaman devreye gireceğine karar vermek için üç farklı yapay zekâ modeli geliştirilmiştir. Böylece termoelektrik ek soğutma sisteminin yapay zekâ ile dinamik kontrolü sağlanmış olacaktır.

2.1 Elektronik Devre (Electronic circuit)

Sunucu bilgisayarın farklı yük koşullarındaki veri kaydı ve aktarımı için tasarlanan elektronik devre Şekil 1'de görülmektedir.

Devrede mikrodenetleyici olarak Arduino Mega kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyiciye Arduino IDE (Entegre geliştirme ortamı)si kullanılarak çalışmaya özel bir kod yazılmıştır. Elektronik devrenin görevi sensörlerden okuduğu bilgileri Universal Serial Bus (USB) bağlantısı ile sunucuya göndermek ve sunucudan aldığı komutları termoelektrik modüle uygulamaktır. Devrenin program kodunun akış şeması Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Veri aktarımı ve kontrol için geliştirilen elektronik devresinin şeması
(Diagram of electronic circuit developed for data transfer and control)

2.2. TEC Ünitesi (TEC Unit)

Şekil 3'te CPU soğutma fanına ilave olarak tasarlanan ek TEC ünitesine ait bileşenler görülmektedir. TEC ünitesi ile CPU arasındaki iletimle ısı transferini gerçekleştirmek için Şekil 3'te görülen 3 numaralı alüminyum plaka tasarlanmıştır. Bu TEC ünitesinde kullanılan plaka üzerinde Şekil 3'te görülen 4 numaralı termoelektrik modül (TEC-12706), 5 numaralı soğutucu (heatsink) ve 6 numaralı fan bulunmaktadır. Termoelektrik soğutucunun sıcaklığı her zaman CPU sıcaklığından düşük değerlerde olacağından etkin bir soğutma sağlanacaktır.

Şekil 3 ve Şekil 4'teki sistem bileşenlerine ait numaralandırma sırasıyla; 1. CPU 2. Standart CPU Soğutucu 3. TEC Modülü arayüz bağlantısı 4. TEC Modülü 5. Alüminyum soğutucu 6. TEC Modülü soğutma fanı 7. Kasa Soğutucu Fanı 8. Güç kaynağıdır. Şekil 4'te CPU soğutucu fanına ilave edilen ünitenin grafik tasarımı görülmektedir.

Soğutucu ünitesinde kullanılan modül TEC-12706'dır. Modülün ölçüleri Şekil 5 ve teknik özellikleri Tablo 1'de görülmektedir [26].

Şekil 5'te verilen TEC-12706 soğutucu modülün ölçüleri $A=40\text{mm}$, $B=40\text{mm}$ ve $C=3.8\text{mm}$ dir. Termoelektrik modüller prensipte maksimum soğutma çıkışı Q_{\max} veya maksimum soğutma katsayısı ϵ_{\max} olmak üzere iki durumda çalışabilir. Ancak Q_{\max} maksimum soğutma kapasitesine yükseltildiğinde termoelektrik modülün enerji tüketimi de artacaktır. Soğutma performans katsayısı (COP) ise Eş. 1 ile tanımlanmaktadır:

$$\text{COP} = \frac{Q_c}{P} = \frac{\alpha \cdot I \cdot T_c - \frac{1}{2} I^2 R - k \Delta T}{\alpha I \Delta T + I^2 R} \quad (1)$$

Sistem için gerekli güç Eş. 2 ile tanımlanmaktadır [11];

$$P = \alpha \cdot I (T_h - T_c) + I^2 R \quad (2)$$

Termoelektrik soğutucular, buhar sıkıştırma soğutuculara göre daha düşük COP değerine sahiptir. Ancak termoelektrik modülün hareketli parça içermemesi ve ekonomik olması nedeniyle özel soğutma

uygulamalarında daha fazla tercih edilmektedir. Termoelektrik malzemelerde maksimum soğutma performansı, sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle termoelektrik modülün soğutma esnasındaki sıcaklık artışı kontrol edilmelidir. Modülün sıcak ve soğuk yüzeyleri arasındaki maksimum sıcaklık farkı, ZT değerine bağlı olarak Eş. 3'ten hesaplanabilmektedir [26].

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} ZT_c^2 \quad (3)$$

Şekil 6'da görüldüğü gibi, ticari olarak temin edilebilen termoelektrik malzemelerin ZT_m değeri yaklaşık 0,7'dir. Bu, termoelektrik modül yüzeyleri arasındaki maksimum sıcaklık farkının 70°C olduğu anlamına gelir.

2.3. Bilgisayar Yazılımı (Computer Software)

Delphi dili kullanılarak yazılan uygulama ile sistem üzerinden değerler alındıktan sonra görüntülenir ve yapay zekâ modeline girdi olarak verilmektedir. Bir diğer önemli görev ise yapay zekâ tarafından belirlenen voltaj değerini komut olarak göndermektir. Yapılan çalışmada kullanılan sunucu bilgisayarın teknik özellikleri Tablo 2 de görülmektedir.

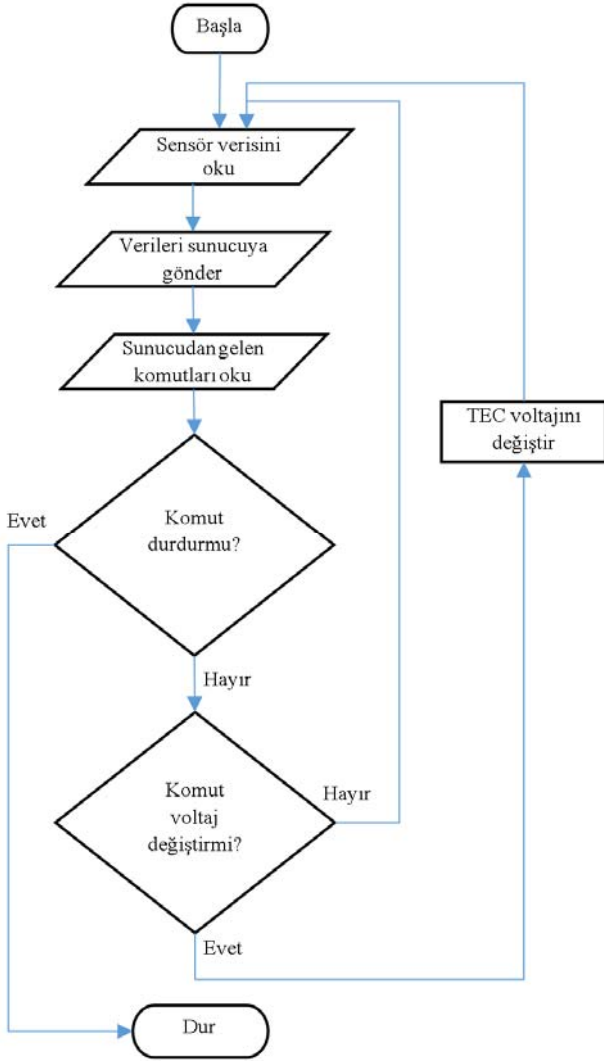
2.4. Yapay Zekâ (Artificial Intelligence)

Çalışmada CPU'nun farklı yük ve sıcaklık durumlarında bilgisayara ilave ettiğimiz TEC modülünün giriş gerilimi (0V-12V) manuel olarak değiştirilmiş ve tüm bu değerler saniyede bir olmak üzere kayıt edilmiştir. Yapay Zekânın amacı dokuz farklı giriş değerinin farklı durumlarında TEC modülün insan tarafından manuel olarak kontrol edilmesini otomatik hale dönüştürmektir.

2.4.1. Veri seti (Data set)

Deney düzeneğinde kullanılan devreden sensör bilgileri ve işletim sisteminden CPU ile ilgili (CPU Yükü, CPU Sıcaklığı, CPU Voltajı ve CPU Frekansı) elde edilen değerler 1 saniyelik periyotlarda ölçülerek COM portu üzerinden bilgisayara kaydedilmektedir. Ayrıca

yapay zekânın komutları da aynı port üzerinden sisteme aktarılmaktadır. Test aşamasında bu veriler kablo ile iletilmiş, ancak ek bir modül yerleştirilerek kablosuz olarak da iletebilmektedir. Eğitimde kullanılan veri setindeki sütun sayısı 10 (9 giriş 1 çıkış) ve satır sayısı 2220'dir. Yani 2220 saniyelik kayıt kullanılmıştır. Bu veriler geliştirilen sistemden elde edilmiştir. Bu sistemde sadece sıcaklık yerine birçok parametre değerlendirilerek soğutucu TEC modülüne ve fana verilmesi gereken voltaj değeri belirlenir. Veri setine ait istatistiksel bilgiler Tablo 3'te görülmektedir.



Şekil 2. Elektronik devre kodunun akış şeması
(Flow chart of electronic circuit code)

Verilerin sınıflandırma üzerindeki etkisini değerlendirmek için kazanç oranları hesaplatılmıştır. Farklı yöntemler kullanılarak yapılan hesaplamalarda benzer sonuçların çıktığı gözlemlenmiştir. GainRatio yöntemine ait değerlendirme sonucunda verilerin puan değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'e göre başarılı sınıflandırmada en etkili değişkenin CPU yükü olduğu, ardından TEC modül gücü olduğu belirlenmiştir. Modeller oluşturulurken veri ön işleme çalışması yapılmamış veriler ham halleri ile eğitilmiştir.

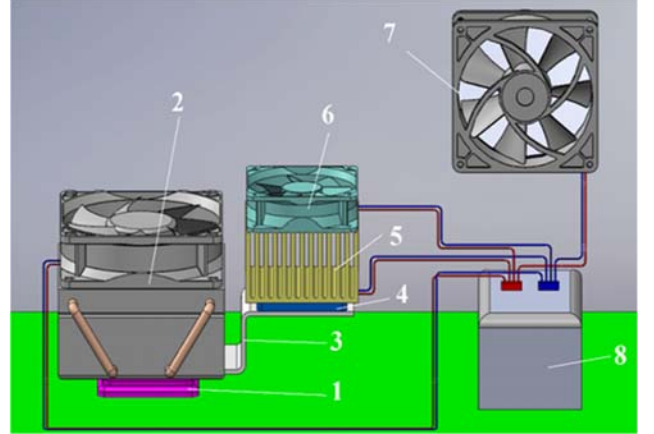
2.4.2. Yapay sinir ağı modeli (Artificial neural network model)

Termoelektrik üniteye verilecek voltaj değerini belirlemek için kullanılan yapay sinir ağı (YSA) yönteminde [28], gizli katman için

farklı sayıda katman ve nöronlardan oluşan modeller denenmiş, en başarılı tahmini yapan model seçilerek kullanılmıştır. Seçilen YSA'nın mimari yapısı, doğrusal (Purelin) transfer fonksiyonu kullanan 9 giriş katmanı, sigmoid (Eş. 4) transfer fonksiyonu kullanan 10 nöronlu gizli katman ve sigmoid transfer fonksiyonu kullanan 13 nöronlu çıkış katmanından oluşan İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (FFBPANN) modelidir. Bu modelin grafiksel hali Şekil 7'de gösterilmiştir. YSA modelinde kullanılan eğitim algoritması deltadır. Eğitim aşamasında farklı parametreler kullanılmış ancak en iyi sonucu veren iterasyon değeri 1000, öğrenme oranı değeri 0,5 ve momentum değeri 0,3 olarak tespit edilmiştir. Modelin en yüksek doğruluğa sahip eğitim aşaması 6,01 saniye sürmüştür.



Şekil 3. TEC ünitesi (TEC unit)

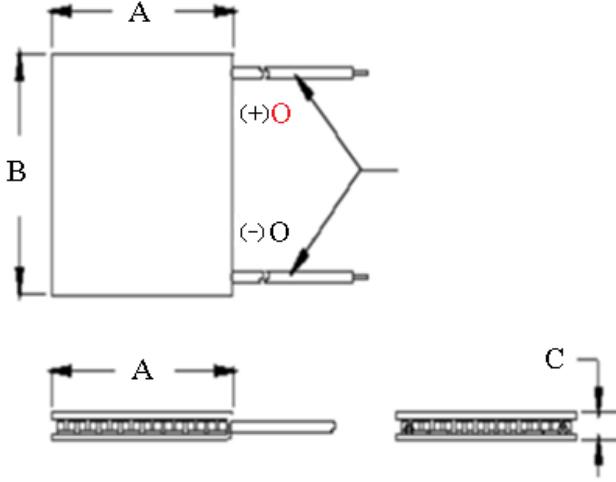


Şekil 4. Sistemin grafik tasarımı (Graphic design of the system)

$$y = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (4)$$

2.4.3. K-en yakın komşu modeli (K-nearest neighbor model)

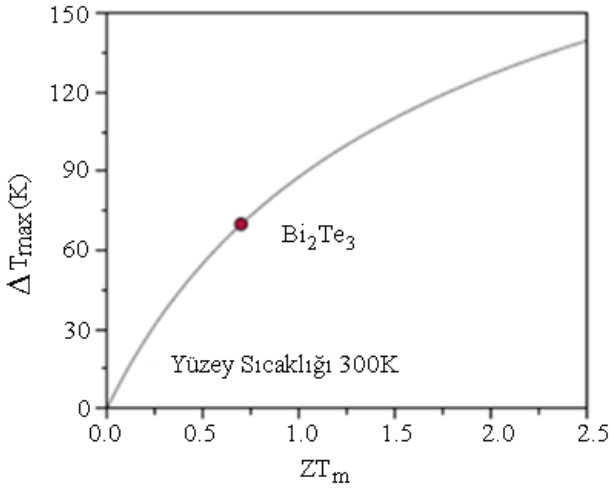
K-en yakın komşu (KNN) algoritması, makine öğrenmesi yöntemlerinde sıklıkla kullanılan popüler bir algoritmadır. Sınıflandırılacak bir özelliğin kategorisi, ona en yakın diğer özellikler arasındaki Öklid mesafesi kullanılarak belirlenir. Parametre olarak K değeri kullanılır. Bu değer pozitif bir tam sayı olarak ifade edilir. Eş. 5'teki matematiksel ifade, veriler arasındaki mesafeleri belirlemek için kullanılır.



Şekil 5. TEC-12706 soğutucu modül ölçüleri (TEC-12706 cooler module dimensions)

Tablo 1. TEC-12706 Performans özellikleri (TEC-12706 Performance specifications)

Yüzey sıcaklığı(°C)	25	50
Q_{max} soğutma kapasitesi (Watt)	50	57
Modül maksimum sıcaklık farkı(°C)	66	75
Maksimum akım (Amps)	6,4	6,4
Maksimum voltaj (Volts)	14,4	16,4
Modül dreni (Ohms)	1,98	2,30



Şekil 6. Termoelektrik soğutma performansı (Thermoelectric cooling performance) [27]

Tablo 2. Sunucu bilgisayarın özellikleri (Features of the server computer)

Bileşen	Özellik
CPU	Intel Core 2 Duo processor 2,0GHz
Hafıza	4 GB ECC DDR2-667 DIMMs
Ağ modeli	Single Gigabit Ethernet integrated on motherboard
Sabit disk	1 SATA drive 250GB (7,200 rpm)
Grafik kartı	NVIDIA Quadro FX 1500
Güç kaynağı	530W PSU

Tablo 3. Veri seti bilgileri (Dataset information)

Özellik	Ortalama	Standart Sapma
CPU hızı (Hz)	1730,531532	224,3066671
CPU sıcaklığı (°C)	29,14864865	1,214718548
CPU yükü (%)	38,93693694	25,63678751
TEC modül üst sıcaklığı (°C)	30,07382883	0,293734308
TEC modül alt sıcaklığı (°C)	22,35027027	0,032329174
Kasa sıcaklığı (°C)	21,43387387	0,041644285
CPU yük voltajı (V)	5,000154122	0,127634026
TEC modül gücü (W)	7022,995495	5197,321927
TEC modül fan gücü (W)	254,0675676	188,5031774
TEC modül voltajı (V)	4,216216216	3,120231472

Tablo 4. Değişkenlerin sınıflandırma üzerine etkisi (Effect of variables on classification)

Özellik	Kazanç Oranı
CPU yükü (%)	0,913
TEC modül gücü (W)	0,896
TEC modül fan gücü (W)	0,796
TEC modül alt sıcaklığı (°C)	0,678
CPU sıcaklığı (°C)	0,647
CPU hızı (Hz)	0,351
CPU yük voltajı (V)	0,287
TEC modül üst sıcaklığı (°C)	0,261
Kasa sıcaklığı (°C)	0,101

$$Ed = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (5)$$

Şekil 8, KNN sınıflandırma algoritmasının temel prensibini göstermektedir. Anormal davranış sınıfı kırmızı üçgenlerle, normal davranış sınıfı yeşil karelerle ve yeni gözlenen bilinmeyen örnekler mavi altgenle gösterilir. Bilinmeyen örnek, hangi sınıfta belirtilen (kullanıcı tarafından girilen K parametresi) en yakın komşu sayısına göre sınıflandırılabilir.

Çalışmada farklı K değerleri (1,2,4,9) kullanılarak eğitim gerçekleştirilmiştir. Bunlar arasında en yüksek sınıflandırma başarısını K=2 değeri sağlamıştır. En yüksek doğruluğa sahip modelin eğitimi 0,64 sn sürmüştür.

2.4.4. Rastgele orman modeli (Random forest model)

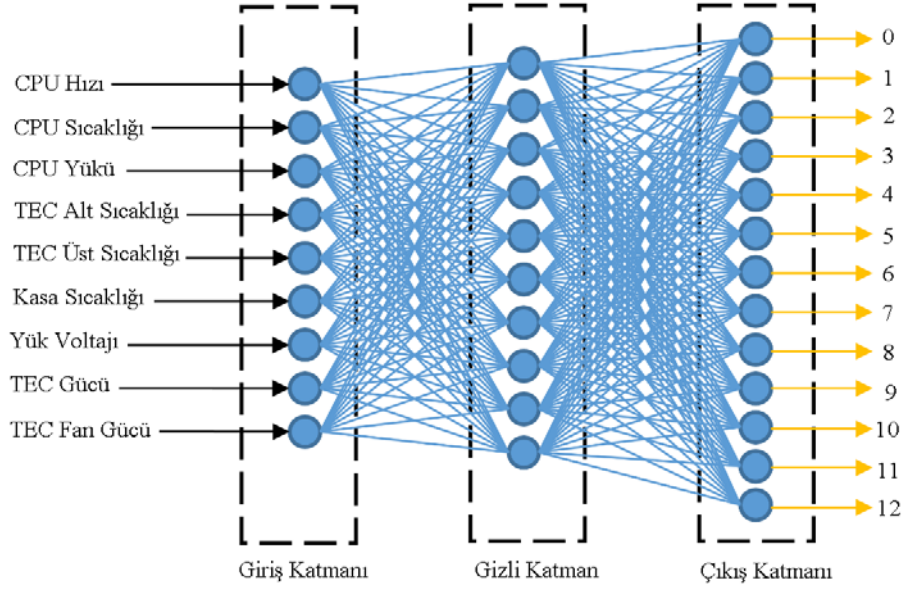
Rastgele ormanlar (RF), eğitim zamanında çok sayıda karar ağacı oluşturarak çalışan bir sınıflandırma yöntemidir. Rastgele ormanın çıktısı, karar ağaçlarının çoğu tarafından seçilen sınıftır. Rastgele karar ormanları, eğitim setlerini ezberlemek gibi karar ağaçlarının istenmeyen alışkanlıklarını düzeltmektedir. Rastgele ormanlar, doğrulukları eğitim destekli ağaçlardan daha düşük olmasına rağmen daha iyi performans gösterir. Veri özellikleri bazen performansı etkileyebilir. Şekil 9, B'nin RF'deki ağaç sayısı olduğu ve k_1 , k_2 , k_B ve k 'nin sınıf etiketleri olduğu genel bir RF mimarisi sunmaktadır.

Bu algoritmada farklı parametrelerle yapılan eğitimlerde en yüksek doğruluğa sahip modelin eğitimi 4,38 sn sürmüştür.

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

3.1. Yapay Zekâ Test Sonuçları (Artificial intelligence Test Results)

Tüm yöntemlerin test aşamasında 10 kat çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde tüm veriler dönüşümlü olarak hem eğitim hem de test aşamasında kullanılmaktadır. Bu sebeple bu test yöntemi seçilmiştir. Yöntemlerin sınıflandırma doğruluğu ANN (%97,973), RF (%97,297), KNN (%96,306) olarak elde edilmiştir. Ayrıntılı sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 7. Yapay sinir ağı modelinin grafiksel gösterimi (Graphical representation of the neural network model)

Tablo 5. Algoritmaların eğitim sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of training results of algorithms)

Özellikler	ANN	RF	KNN
Doğruluk (%)	97,973	97,297	96,3063
Kappa değeri	0,9774	0,9699	0,9589
Ortalama mutlak hata	0,00173	0,0091	0,0039
Ortalama hatanın karakökü	0,0392	0,0618	0,0514
Ortalama ROC değeri	0,996	0,995	0,959

Tablo 6. Yapay sinir ağı modelinin karışıklık matrisi (Confusion matrix of neural network model)

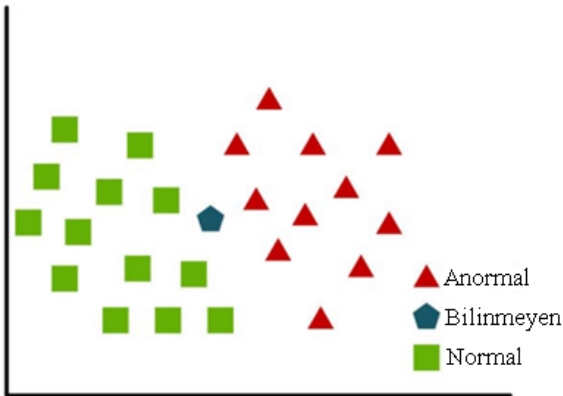
Gerçek	Tahmin												
	0V	1V	2V	3V	4V	5V	6V	7V	8V	9V	10V	11V	12V
0V	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1V	0	397	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2V	0	0	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3V	0	3	9	208	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4V	0	0	0	0	190	0	0	0	0	0	0	0	0
5V	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0
6V	0	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0
7V	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0
8V	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0
9V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137	2	0	1
10V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	21	0	6
11V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	14
12V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30

Elde edilen sonuçlar, yapay zekâ modellerinin TEC Modülünün gerilim (voltaj) değerini belirlemeyi %97,973 doğrulukla öğrendiğini göstermiştir. En yüksek doğruluğu veren yapay sinir ağı modelinin karışıklık matrisi Tablo 6'da verilmiştir.

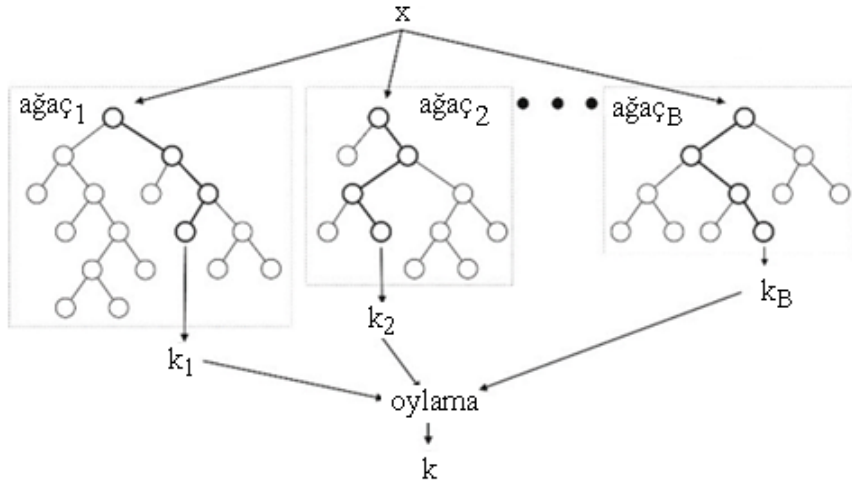
3.2. Standart CPU Soğutucu Test Sonuçları (Standard CPU Cooler Test Results)

Deney sırasında sunucunun CPU yüküne bağlı olarak sıcaklık ve CPU voltajındaki değişimler incelendiğinde minimum CPU yükünde sıcaklık 31°C iken maksimum yükte 41°C'ye kadar yükseldiği görülmektedir. Bu sıcaklık değişimlerinin ayrıntılı grafikleri Şekil 10'da verilmiştir.

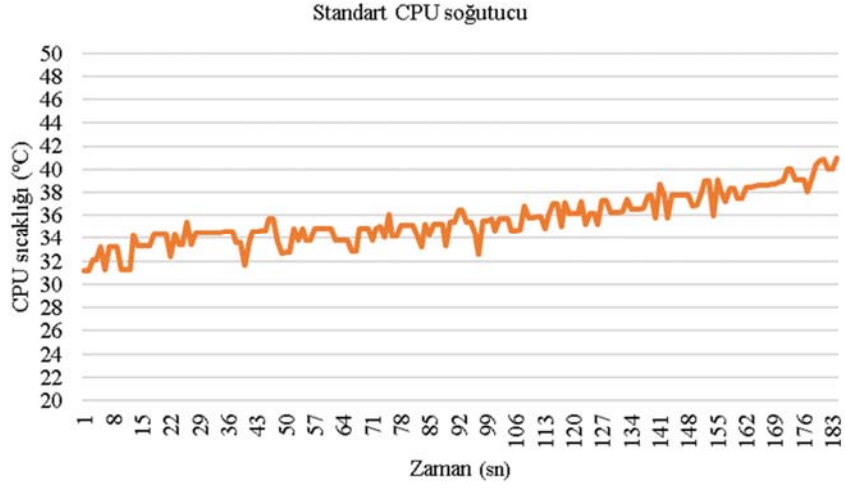
Bu test koşullarında CPU yükünün değişmesine rağmen voltajın 5,22V değerinde sabit kaldığı tespit edilmiştir. Bu CPU yükündeki değişimlerinin ayrıntılı grafikleri Şekil 11'de verilmiştir.



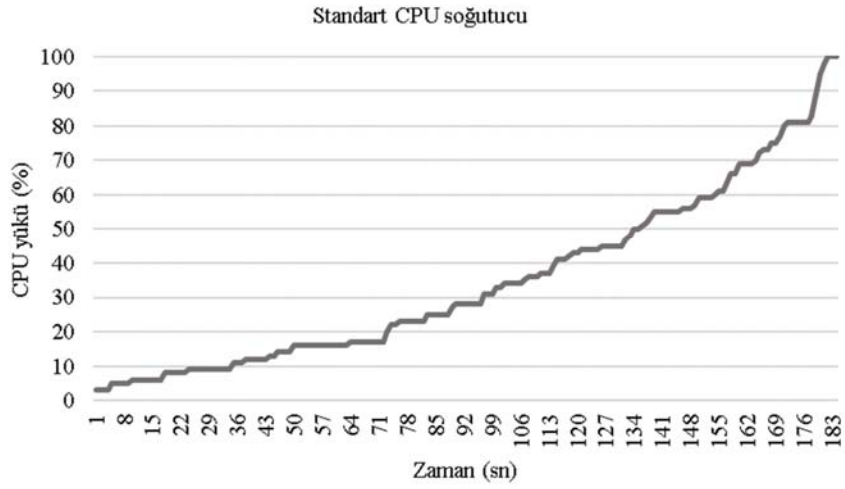
Şekil 8. K-en yakın komşu sınıflandırma ilkesi (K-nearest neighbor classification principle) [29]



Şekil 9. Rastgele bir ormanın genel mimarisi (General architecture of a random forest)[30]



Şekil 10. Standart soğutma sisteminin CPU sıcaklığı değişimleri (CPU temperature variations of the standard cooling system)



Şekil 11. Standart soğutma sisteminin CPU yük değişimleri (CPU load changes of the standard cooling system)

3.3. Standart CPU Soğutucu ve TEC Modül (Standard CPU Cooler and TEC Module Test Results)

Sunucudaki CPU soğutma sistemine TEC-12706 modül eklenerek aynı koşullar altında CPU yüküne bağlı olarak sıcaklık ve CPU voltajındaki değişimler incelenmiştir. Minimum CPU yükünde sıcaklık 29°C iken maksimum yükte 37°C'ye yükselmiştir. Bu sıcaklık değişimlerine ait ayrıntılı grafikler Şekil 12'de görülmektedir.

Bu test koşullarında CPU yükünün değişmesine rağmen voltajının 4,94V değerinde sabit kaldığı tespit edilmiştir. Bu CPU yükündeki değişimlerinin ayrıntılı grafikleri Şekil 13'te verilmiştir.

3.4. Standart CPU Soğutucu, TEC Modül ve Fan Test Sonuçları (Standard CPU Cooler, TEC Module and Fan Test Results)

Son aşamada CPU soğutma sistemine TEC-12706 fanlı soğutucu ünitesi eklenmiş ve aynı koşullar altında sıcaklık ve CPU voltajındaki değişimler incelenmiştir. Minimum CPU yükünde sıcaklık 23°C iken maksimum yükte 31°C'ye yükselmiştir. Bu değişikliklerin ayrıntılı grafikleri Şekil 14'te görülmektedir.

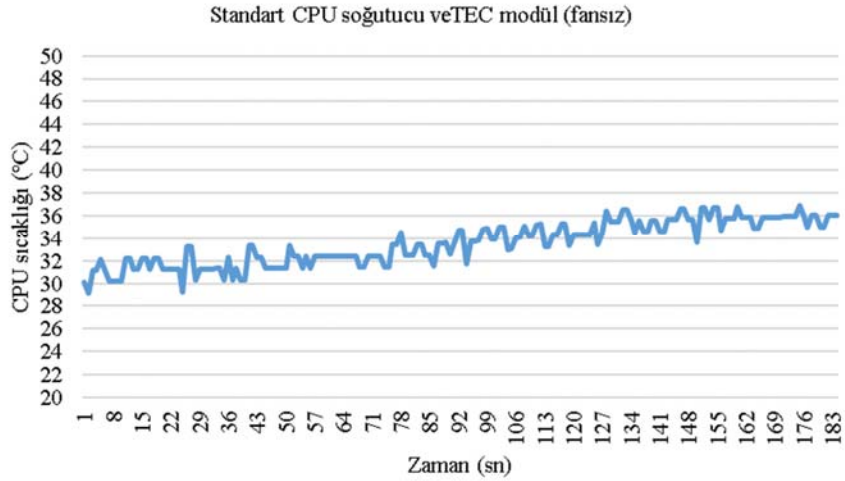
Bu test koşullarında CPU yükünün değişmesine rağmen voltajının 4,86V değerinde sabit kaldığı tespit edilmiştir. Bu CPU yükündeki değişimlerinin ayrıntılı grafikleri Şekil 15'te verilmiştir.

3.5. Soğutma Sistemindeki Bileşenlerin Güç Grafikleri (Power Graphs of Components in The Cooling System)

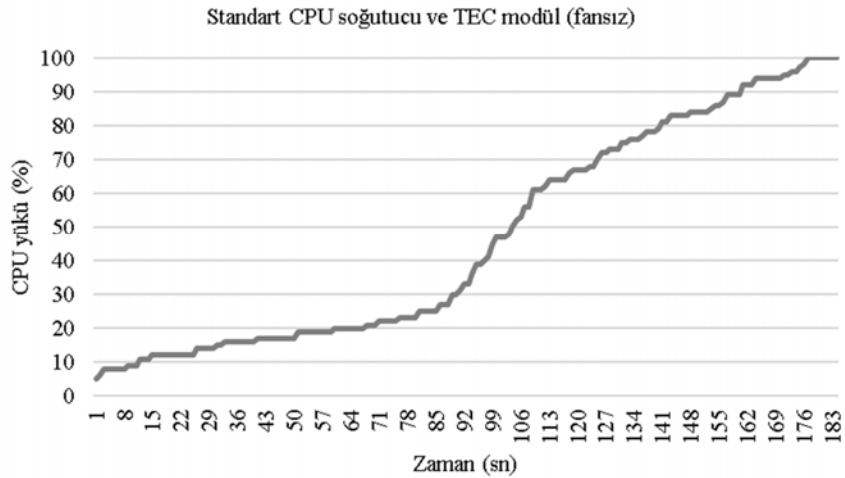
Sunucuya ait CPU üzerinde tasarlanan ek termoelektrik soğutma sisteminde kullanılan bileşenlerin voltaj ve güç değerleri ölçülmüştür. Termoelektrik soğutma ünitesinin fanı maksimum 12 V ile çalışmakta ve CPU yüküne bağlı olarak 1 watt güce sahiptir. Gerilim değerine bağlı olarak TEC ünitesi fanının harcadığı güç grafiği Şekil 16 'da görülmektedir.

CPU soğutucu fanı da maksimum 12 V ile çalışmakta ve 8 watt güç harcamaktadır. Gerilim değerine bağlı olarak CPU soğutucu fanının harcadığı güç grafiği Şekil 17 'de görülmektedir.

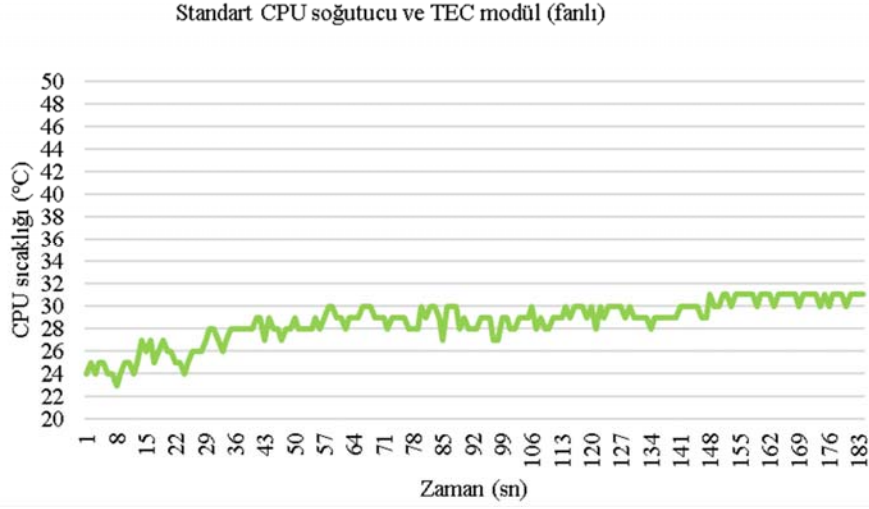
Benzer şekilde sistemde kullanılan TEC modül de maksimum 12V ile çalışmakta ve 20 watt güç harcamaktadır. Gerilim değerine bağlı olarak TEC modülün harcadığı güç grafiği Şekil 18 'de görülmektedir.



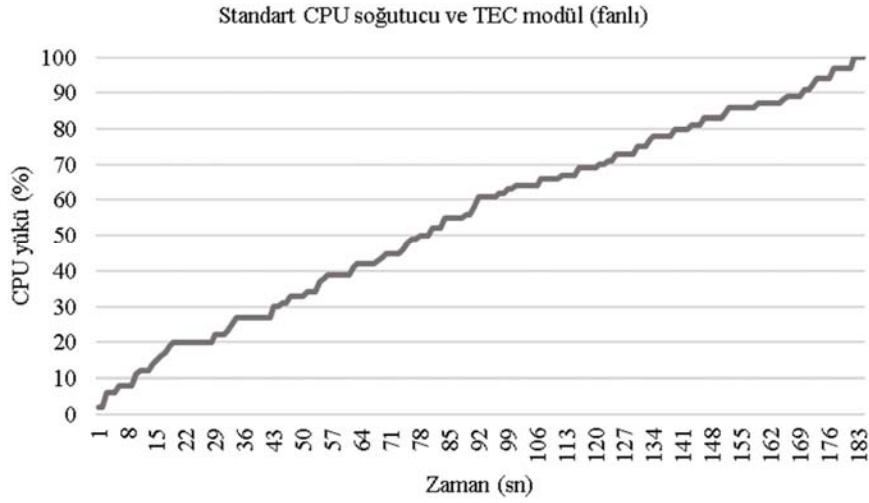
Şekil 12. Soğutma sistemine TEC-12706 modülü (fansız) eklendikten sonra CPU sıcaklığı değişimleri
(CPU temperature changes after adding TEC-12706 module (without fan) to cooling system)



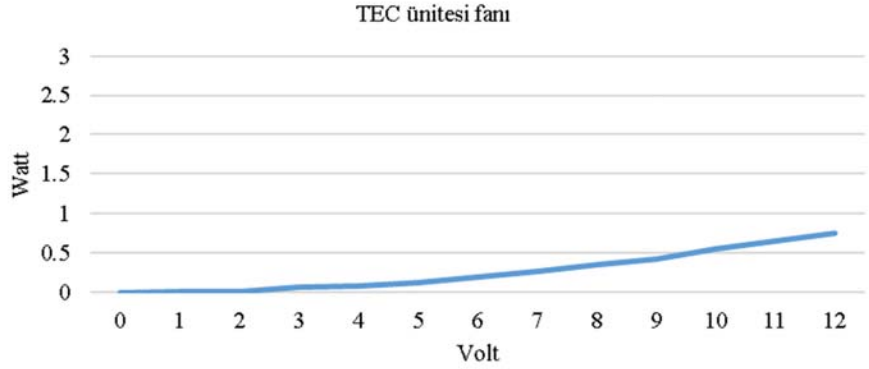
Şekil 13. Soğutma sistemine TEC-12706 modülü (fansız) eklendikten sonra CPU yük değişimleri
(CPU load changes after adding a TEC-12706 module (without fan) to the cooling system)



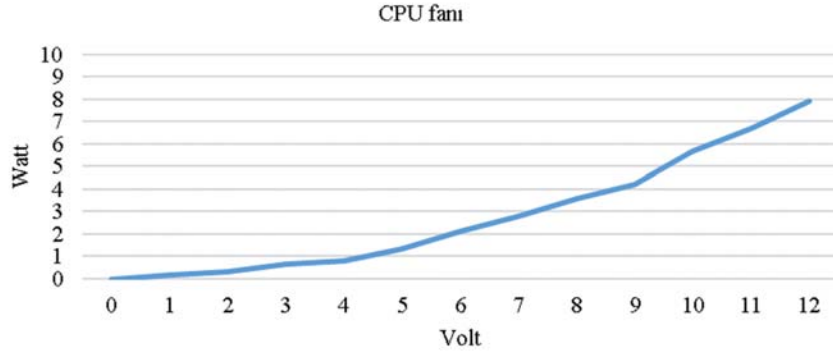
Şekil 14. Soğutma sistemindeki TEC-12706 modüle fan eklendikten sonraki CPU sıcaklık değişimleri (CPU temperature changes after adding fan to TEC-12706 module in cooling system)



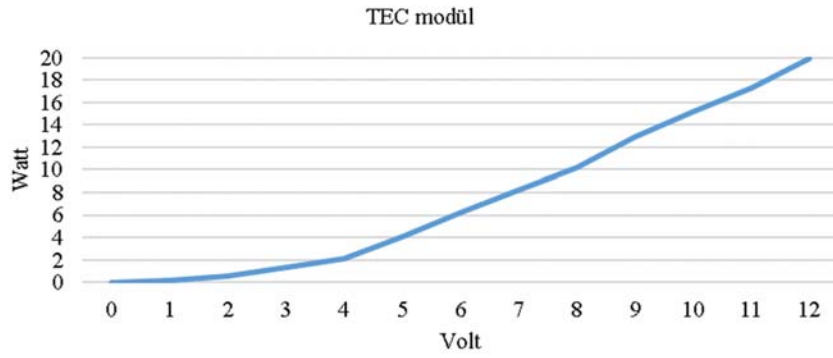
Şekil 15. Soğutma sistemindeki TEC-12706 modüle fan eklendikten sonraki CPU yük değişimleri (CPU load changes after adding fan to TEC-12706 module in cooling system)



Şekil 16. TEC ünitesi fanının güç tüketim değerleri (Power consumption values of the TEC unit fan)



Şekil 17. CPU soğutucu fanının güç tüketim değerleri (Power consumption values of CPU cooler fan)



Şekil 18. TEC modülün güç tüketim değerleri (Power consumption values of TEC module)

4. Simgeler (Symbols)

Q_c	: soğutma kapasitesi
P	: elektrik gücü
α	: seebeck katsayısı
I	: elektrik akımı
T_c	: modülün soğuk yüzey sıcaklığı
T_h	: modülün sıcak yüzey sıcaklığı
R	: direnç
k	: termal iletkenlik
ΔT	: sıcaklık farkı

4.1. Kısaltmalar (Abbreviations)

ANFIS	: Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemleri
CPU	: Merkezi İşlem Birimi
FFBPANN	: İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı
I	: Akım
IDE	: Entegre geliştirme ortamı
KNN	: K-En Yakın Komşu
MLP	: Çok Katmanlı Algılayıcı
P	: Güç
TEC	: Termoelektrik Soğutucu
USB	: Evrensel Seri Veri Yolu
V	: Gerilim, Voltaj
W	: Güç
YSA	: Yapay Sinir Ağı

5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada sunucu bilgisayarlar için ek olarak geliştirdiğimiz termoelektrik soğutma ünitesi ile CPU sıcaklığı başarılı bir şekilde düşürülmüştür. Standart sistemde maksimum yükte CPU sıcaklığı

41°C ve fanın soğutma için tükettiği maksimum enerji 8 Watt iken geliştirilen termoelektrik soğutucu sistemi sayesinde CPU sıcaklığı 31°C'ye düşürülmüştür. Ayrıca bu işlem için enerji farkı maksimum yükte 12 Watt olarak ölçülmüştür.

Tasarlanan termoelektrik soğutma sistemini bilgisayarın CPU ihtiyacına göre dinamik olarak kontrol etmek için geliştirilen yapay zekâ modellerinden en başarılı doğruluğu ANN modeli ile sağlamıştır. Bu sebeple sistemde bu model çalışmaktadır. Termoelektrik soğutma sisteminin fan hızı ve voltaj değerleri; CPU yükü, sıcaklık, frekans, voltaj, soğutma sisteminin akım gücü ve bilgisayarlardaki işlem sayısı gibi farklı değerlere bağlı olarak ANN modeli tarafından değiştirilmektedir.

Geliştirdiğimiz termoelektrik soğutma ünitesinin boyutu dizüstü bilgisayarlar için uygun değildir, masaüstü ve sunucu bilgisayarlarda rahatlıkla kullanılabilir. Diğer bir kısıt ise sistem farklı oda sıcaklıklarında test edilmemiştir. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda, farklı termoelektrik soğutucu modellerinin değişken oda sıcaklığı koşullarında test edilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar (References)

1. Wiriyaart, S., Hommalee, C., Naphon, P., Thermal cooling enhancement of dual processors computer with thermoelectric air cooler module, Case Studies in Thermal Engineering, 14, 100445, 2019.
2. Septiadi, W.N., Ula, W.A.W., Wulandari, I.G.A.A.D., Tnunay, J.A., Murti, M.R., Thermal resistance analysis of central processing unit cooling system based on cascade straight heat pipe, International Conference on Design, Energy, Materials and Manufacture, Materials Science and Engineering, 539, 012036, 2019.
3. Dogan, A., Ozbalci, O., Experimental Investigation of the Effect of Metal Foam Material on CPU Cooling, Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, 2 (3), 113-120, 2017.

4. Al-Rashed M.H., Dzido G., Korpyś M., Smółka J., Wójcik J., Investigation on the CPU nanofluid cooling, *Microelectronics Reliability*, 63, 159–165, 2016.
5. Siricharoenpanich A., Wiriyasart, S., Srichat, A., Naphon, P., Thermal management system of CPU cooling with a novel short heat pipe cooling system, *Case Studies in Thermal Engineering*, 15, 100545, 2019.
6. Zhang, Y., Long, E., Zhang, M., Experimental study on heat sink with porous copper as conductive material for CPU cooling, *Materials Today, Proceedings*, 5, 15004–15009, 2018.
7. Anandakrishnan, M., Balaji, C., Cfd Simulations of Thermal And Flow Fields Inside A Desktop Personal Computer Cabin With Multi-Core Processors, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 3 (2), 277–288, 2019.
8. Rashidi M.A., Paknezhad, M., Yousefi, T., Experimental and artificial neural network investigation on the effect of inclination angle on the interface temperature of CPU/metal foam heat sink, *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 28 (12), 2758-2768, 2018.
9. Zhu, Y., Newbrook, W.D., Dai, P., Groot, K.H.C., Huang, R., Artificial neural network enabled accurate geometrical design and optimisation of thermoelectric generator, *Applied Energy*, 305, 117800, 2022.
10. Tan, O.S., Demirel, H., Performance and cooling efficiency of thermoelectric modules on server central processing unit and Northbridge, *Computers and Electrical Engineering*, 46, 46-55, 2015.
11. Liu, D., Zhao, F., Yang, H., Tang, G., Thermoelectric mini cooler coupled with micro thermosiphon for CPU cooling system, *Energy*, 83, 29-36, 2015.
12. Harun, A.M., Che Sidik, A.N., A Review on Development of Liquid Cooling System for Central Processing Unit (CPU) *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 78, 2, 98-113, 2021.
13. Cai, Y., Liu, D., Yang, J., Wang, Y., Zhao, F., Optimization of thermoelectric cooling system for application in CPU cooler, *Energy Procedia*, 105, 1644 – 1650, 2017.
14. Chen, W., Shi, X., Zou, J., Chen, Z., Thermoelectric Coolers: Progress, Challenges, and Opportunities, *Small Methods*, 6, 2101235, 2022.
15. Belarbi, A.A., Beriache, M., Che Sidik, A.N., Mamat, R., Experimental investigation on controlled cooling by coupling of thermoelectric and an air impinging jet for CPU, *Heat Transfer*, 50, 2242–2258, 2020.
16. Rizkin, A.B., Popovich, K., Hartman, L.R., Artificial Neural Network control of thermoelectrically-cooled microfluidics using computer vision based on IR thermography, *Computers and Chemical Engineering*, 121, 584-593, 2019.
17. Lerat, J., Mahmoudi, A.S., Mahmoudi, S., Single node deep learning frameworks, Comparative study and CPU/GPU performance analysis, *Concurrency Computat Pract Exper*, 6730, 2021.
18. Neyestani, M., Nazari, M., Shahmardan, M.M., Sharifpur, M., Ashouri, M., Meyer, P.J., Thermal characteristics of CPU cooling by using a novel porous heat sink and nanofluids, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138, 805–817, 2019.
19. Manikandan, S., Selvam, C., Praful, S.P.P., Lamba, R., Kaushik, C.S., Zhao, D., Yang, R., A novel technique to enhance thermal performance of a thermoelectric cooler using phase-change materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 140, 1003–1014, 2020.
20. Soltangheis, S., Siavashi, M., Izadi, A.A., Xiong, Q., Semi-analytical study of impingement cooling of metal foam heat sinks of CPUs with air and hydrogen jets under LTNE condition, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 145, 1801–1816, 2021.
21. Kotsur, M., Optimal Control of Distributed Parameter Systems with Application to Transient Thermoelectric Cooling, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 15, 2, 2015.
22. Milicevic, M., Baranovic, M., Zubrinic, K., Application of Machine Learning Algorithms for the Query Performance Prediction, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 15, 3, 2015.
23. Das, A., Pradhan, N.S., Design Time Temperature Reduction in Mixed Polarity Dual Reed-Muller Network: a NSGA-II Based Approach, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 20, 1, 2020.
24. Timcenko, V., Gajin, S., Machine Learning Enhanced Entropy-Based Network Anomaly Detection. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 21, 4, 2021.
25. Ahiska R., Ahiska K., Flexible Two Phase Thermoelectric CPU Cooler, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22 (2), 347-351, 2007.
26. <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/227422/ETC2/TEC1-12706/99/1/TEC1-12706.html>.
27. Mao, J., Chen, G., Ren, Z., Thermoelectric cooling materials, *Nature Materials*, 20, 454–461, 2021.
28. Haykin, S., *Neural Networks and Learning Machines*, 3rd edition, McMaster University, Canada, 2008.
29. Asharf, J., Moustafa, N., Khurshid, H., Debie, E., Haider, W., Wahab, A., Review of Intrusion Detection Systems Using Machine and Deep Learning in Internet of Things: Challenges, Solutions and Future Directions, *Electronics* 9, 1177, 2020.
30. Verikas, A., Gelzinis, A., Bacauskiene, M., Mining data with random forests: A survey and results of new tests, *Pattern Recognition*, 44, 2, 2011.