

# TEKSTİL FABRİKALARINDA ATIK ISININ TERMoeLEKTRİK JENERATÖR SİSTEMİYLE ELEKTRİK ENERJİSİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

*Investigation Of The Conversion Of Waste Heat To Electric Energy In Textile Factories With The Thermoelectric Generator System*

**Ömer Faruk Demirbaş  
Mustafa Ali Ergün Ertürk**

## ÖZET

Sakarya'da bulunan bir tekstil fabrikasında 120°C kaynar su boya kazanına taşınmaktadır. Kaynar su boya kazanına taşınırken ortama atık ısı atılmaktadır. Bu çalışmada boya kazanına gelen suyun ısısından termoelektrik jeneratör sistemi SolidWorks programıyla katı modelleme yapılmıştır. Bu modellemede ANSYS Sonlu elemanlar tekniğiyle elektrik enerjisi üretimi analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre soğuk yüzey sıcaklığı 20°C, sıcak yüzey 30°C iken maksimum gerilim 0,0045 mV iken soğuk yüzey sıcaklığı 30°C, sıcak yüzey sıcaklığı 120°C'ye çıkarıldığında maksimum gerilim 0,021mV'a çıkmıştır. Soğuk yüzey sıcaklığı fabrika şartlarında 30°C olmaktadır. Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı 90 derece sıcaklık farkına ulaşınca kadar 0,000197°'lik bir eğimle artış göstermiş, 90-100 derece sıcaklık farklarında 0,00009°'lik bir eğimle artış göstermiş ve 100-150 derece sıcaklık farklarında ise 0,00016°'lik eğimle artış göstermiştir. Bulunan maksimum gerilim bir adet Peltier için 1,7415V olarak ortaya konulmuştur, ayrıca bulunan bu değer fabrika koşullarına en yakın değerdir. Fabrikadaki yaklaşık 50 metrelik sıcak su borusuna uygulanacak bu sistemle 703,4 W(J/s) 'lık bir enerji kazanımı sağlamaktadır. Optimum nokta ise 90°C sıcaklık farkı olmuştur. Optimum noktadaki maksimum gerilim noktasından sonra artış eğiminde azalmalar olmaktadır. Bu çalışmada optimum noktadan sonra bulunan maksimum gerilimin artış eğiliminin azaldığı ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Termoelektrik jeneratör, Peltier, Seebeck Etkisi, atık ısı, ANYS.

## ABSTRACT

In a textile factory in Sakarya, 120°C boiling water is transferred to a dyeing boiler. Approximately 40,000 kg of water is discharged at 50-60°C per hour in the textile factory under investigation. In this study, solid modeling was done with the thermoelectric generator system SolidWorks program from the heat of the water coming into the paint boiler. In this modeling, electrical energy production analyzes were made with ANSYS Finite Element technique. According to the analysis results, when the cold surface temperature is 20°C, the hot surface is 30°C, the maximum voltage is 0.0045 mV, while the cold surface temperature is 30°C and the hot surface temperature is increased to 120°C, the maximum voltage has increased 10 times to 0.045 mV. The cold surface temperature is 30°C in factory conditions. As the temperature difference between the surfaces increases, the tension found with an inclination of 0.00095° up to 20°C difference, constant between 20-30°C, 0.007° between 30-50°C and 0 between 50-90°C, It increased with a slope of 00042°. The maximum voltage found is 0.045 mV, and this value is closest to the factory conditions. With this system, which will be applied to the hot water pipe of approximately 50 meters in the factory, an energy gain of 45,5625 W(J/s) can be achieved. The optimum point was a temperature difference of 50°C. After the maximum voltage point at the optimum point, there is a decrease in the slope of increase. In this study, it has been revealed that the increasing trend of the maximum voltage found after the optimum point decreases.

**Key Words:** Fire, fire dampers, fire damper standards.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde artan enerji ihtiyacına karşılık yeterli enerji üretiminin her geçen gün daha da büyük sorun haline gelmesi büyük bir problemdir. Önümüzdeki yıllarda azalan fosil enerji kaynaklarının da etkisiyle dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artacaktır.

Artan talep tekstil sektörü içinde geçerlidir. Tekstil sektöründe kullanılan kumaş boyama kazanlarından ortama yüksek miktarda atıl ısı enerjisi atılmaktadır. Bu ısı enerjisinin en azından bir kısmının tekrar geri kullanılması için bu çalışma hazırlanmıştır.

Elektrik enerjisi için alternatif bir yöntem olan termoelektrik jeneratör sistemi ek elektrik enerjisi kaynağı oluşturabilir. Bu sistem termal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmede ya da elektrik enerjisini termal enerjiye dönüştürmede kullanılmaktadır [1].

Yapılan çalışmada kullanılan termoelektrik jeneratör sistemi tekstil sektörü açısından ilk olacaktır. Bu bağlamda sektörde yenilik olacağı düşünülmektedir. Ayrıca borulara monte edilecek olan Peltierlerin çizgisel temasını yüzeysel temas sağlayacak hale getirebilecek ara katman tasarımı yapılmıştır.

Yapılan bu tasarım termoelektrik jeneratör sisteminin farklı yüzeylerde kullanılabilmesi açısından ilk olmuştur [2].

## 2. TERMOELEKTRİK JENERATÖR

Termoelektrik jeneratör ya da diğer adıyla Seebeck Jeneratördür. Temel amacı ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirmektir. Yapısında bulunan ve yarı iletken malzemeden oluşan P tipi ve N tipi yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. Termoelektrik jeneratörler Seebeck etkisine göre çalışmaktadırlar. Termoelektrik sistemin yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluştuğunda gerilim üretebilmektedirler, üretilen gerilim sıcaklık farkı arttıkça artmaktadır. Bu durumun tam tersi de mevcuttur yani termoelektrik modül sistemine gerilim verildiğinde yüzeyleri arası sıcaklık farkı artmaktadır buna ise Peltier etkisi denir. Termoelektrik jeneratör sisteminin diğer bir avantajı bünyesinde hareket eden parça bulundurmamasıdır. Bu durum sürtünmelerden dolayı oluşacak verim kaybını ve sistem bakımını minimize etmektedir [3,4,5,6].

Termoelektrik jeneratörler oldukça uzun süredir insanoğlunun araştırıp çalışmalar yaptığı bir konudur. İlk olarak 1821 yılında Thomas Johann Seebeck, termal enerjinin doğrudan elektrik enerjisine çevrilebileceğini keşfetti ve bu olay Seebeck etkisi adını almıştır. 1834 yılında Jean Charles Athanase Peltier, elektrik akım yönünü yarıiletken malzemelerin ısınan ya da soğuyan yüzeyin yönünü değiştirdiğini keşfetmiştir [7].

Kızıl ordu tarafından termoelektrik jeneratör kullanıldığı bilinmektedir. Nikel, bakır bulunan alaşımlar ve Çinko, kullanılan yarıiletken malzemelerdir. 1943 yılında Leningrad Fizik ve Teknoloji Enstitüsü tarafından yapılan çalışmalarda ateş ve su sıcaklık farkı 300C°'ye ulaştırılmış ve gerilim üretilmede kullanılmıştır. Bulunan bu alete TG-1 adı verilmiştir. TG-1 10W güç üretebilmekteydi. Gerillalar, bu sıcaklık farkından oluşan elektrik enerjisiyle radyo istasyon pillerini şarj etmişlerdir. Savaş sonrasında kırsal bölgelerde yaşayan halk bu sistemi ve biraz daha geliştirilmiş halini kullanmıştır. Geliştirilen sistemlerle gaz lambasıyla elektrik enerjisi üretilir hale gelmiştir. Bu sistem çıkış gücü olarak 12V ve 25W güç verebilmekte ve yaklaşık olarak 8,5 kg ağırlığındaydı [8].

Günümüzde içten yanmalı motorlu taşıtların egzoz manifolduna ya da kalorifer sistemine bu sistemin entegre edilmesi için çalışmaların sürdüğü ve gelecekte kullanımının oldukça yaygınlaşacağı görülmektedir.

Fotovoltaik pillerde de bu sistem kullanılmaktadır. Güneş ışınlarından gelen sıcaklık enerjisi üzerinde bulunan hücrelerle doğrudan elektrik enerjisine çevirebilmektedirler. Ayrıca bilgisayar ya da diğer aletlerde kullanılan mikroişlemcilerde kullanılması için şu an da gerekli çalışmalar sürmektedir.

Buzdolabı ya da klima gibi soğutma işlemleri yapılan bazı uygulamalarda da termoelektrik jeneratör sistemi kullanılabilir.

Termoelektrik jeneratör sistemi temel olarak peltierlerden oluşmaktadır. Bu projede, sistem tekstil fabrikalarında bulunan kumaş boyama kazanlarında kullanmayı hedeflemektedir. Bu sebeple termoelektrik jeneratör sistemi dışında; akü ve inverter cihazlarına da ihtiyaç duyulmaktadır.

## 2.1. Seebeck Etkisi

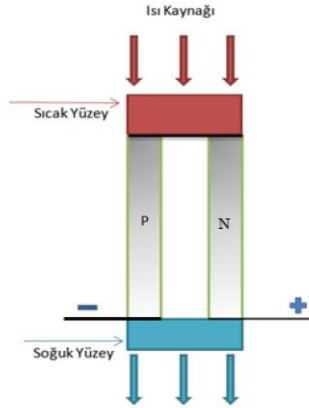
Sıcaklık farkının doğrudan elektrik gerilimine dönüşümüne Seebeck etkisi denmektedir. Seebeck etkisi, sıcaklık farkı olduğu zaman yarıiletken yük taşıyıcılarının sıcak uçtan soğuk uca doğru hareketi sonucu oluşan potansiyel fark ile oluşmaktadır. İki uç arasında potansiyel farkın sıcaklık farkına oranıdır. Bu oran sonucu Seebeck katsayısı bulunmaktadır [3].

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} \text{ (}\mu\text{V/K)} \text{ ile bulunabilir.}$$

S= Seebeck katsayısı

$\Delta V$ = Potansiyel fark

$\Delta T$ =Sıcaklık farkı



Şekil 1. Seebeck etkisi [3]

## 2.2. Peltier Etkisi

Elektrik akımının sıcaklık farkına dönüşümüne Peltier etkisi denmektedir. Peltier etkisi, verilen elektrik akımının artmasıyla doğru orantılı olarak yüzeyler arası sıcaklık farkı meydana gelmesini sağlar [3].

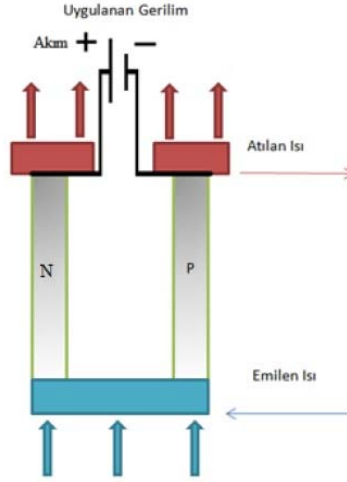
Peltier etkisindeki sıcaklık farkı;

$$Q_{peltier} = \pi_{AB} I \text{ (AV) ile bulunabilir.}$$

$Q_{peltier}$ =Isı miktarı

$\pi_{AB}$ =Peltier katsayısı

$I$ =Verilen akım miktarı



Şekil 2. Peltier etkisi [3]

### 3. KULLANILAN YÖNTEM VE BULGULAR

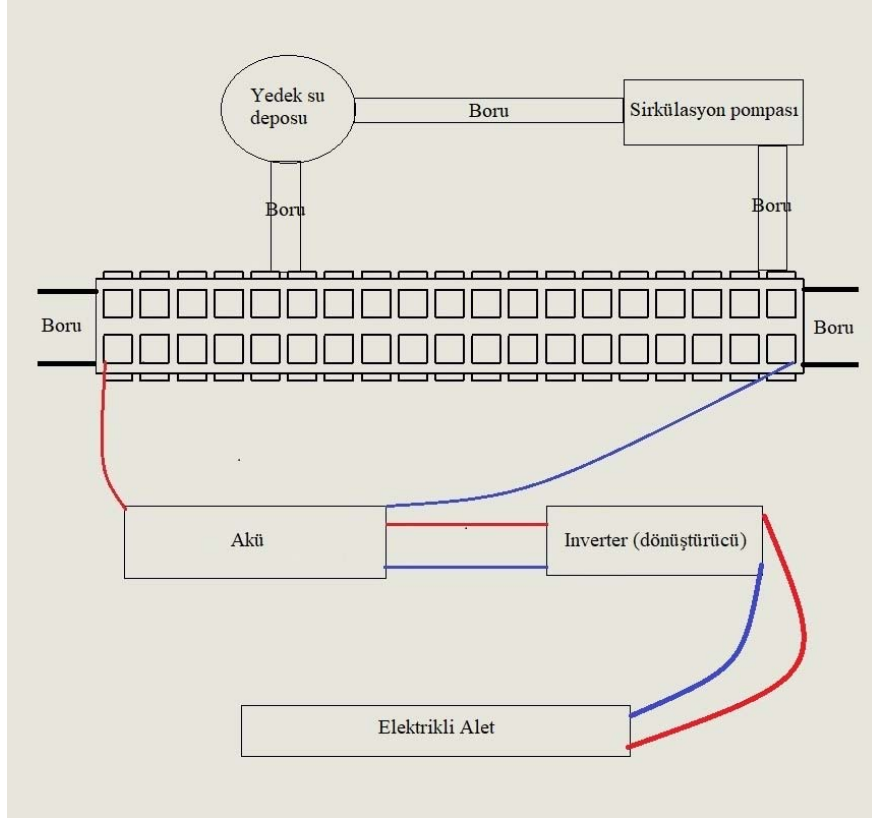
#### 3.1. Yöntem

Tasarım yapılırken SolidWorks kullanılmış sonrasında tasarım Ansys (Swanson Analysis Systems Inc.) ortamına aktarılmıştır. Yöntem olarak, sonlu elemanlar tekniği ile çalışan Ansys kullanılmıştır. Ansys ile yapılan analiz sonucuna göre deney yapılarak gerçek veriler toplanmıştır.

Tekstil fabrikasında kaynar su boya kazanına taşımada çelik boru kullanılmaktadır. Boru yüzeylerin dairesel olması sebebiyle bakırdan imal edilecek bir ara katmanla yüzeyler düzleştirilerek Peltier montajına uygun hale getirilecektir. Aşağıdaki şekil 4. ve şekil 5.'de bakır katmanın tasarımı gösterilmiştir (tasarım DN100 boru standardı için).

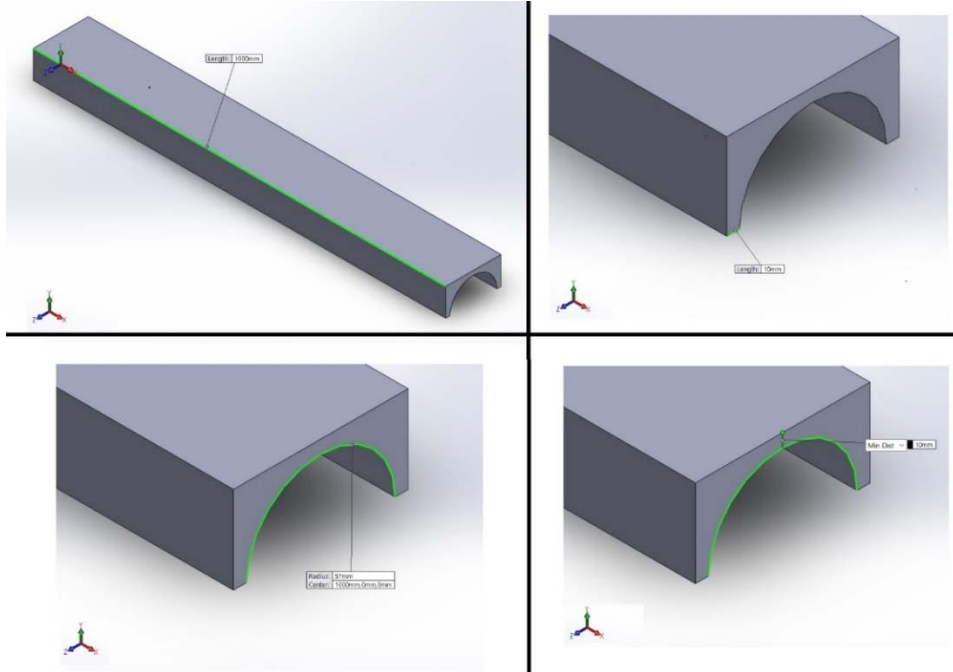
Soğuk yüzey sıcaklığının artmaması için sirkülasyon pompası ve yedek su deposu gereklidir. Bu sistemin şeması şekil 3.'de verilmiştir. Bakır bloğa monte edilmiş sıcak yüzeyin, diğer yüzeyine monte edilecek olan borular vasıtasıyla soğuma işlemi gerçekleştirilecektir [9].

Ara katman yüzeyde bakır kullanılma sebebi bakırın ısı iletkenliğinin alüminyum, çelik, dökme demir gibi metallerden daha yüksek olmasıdır [10].

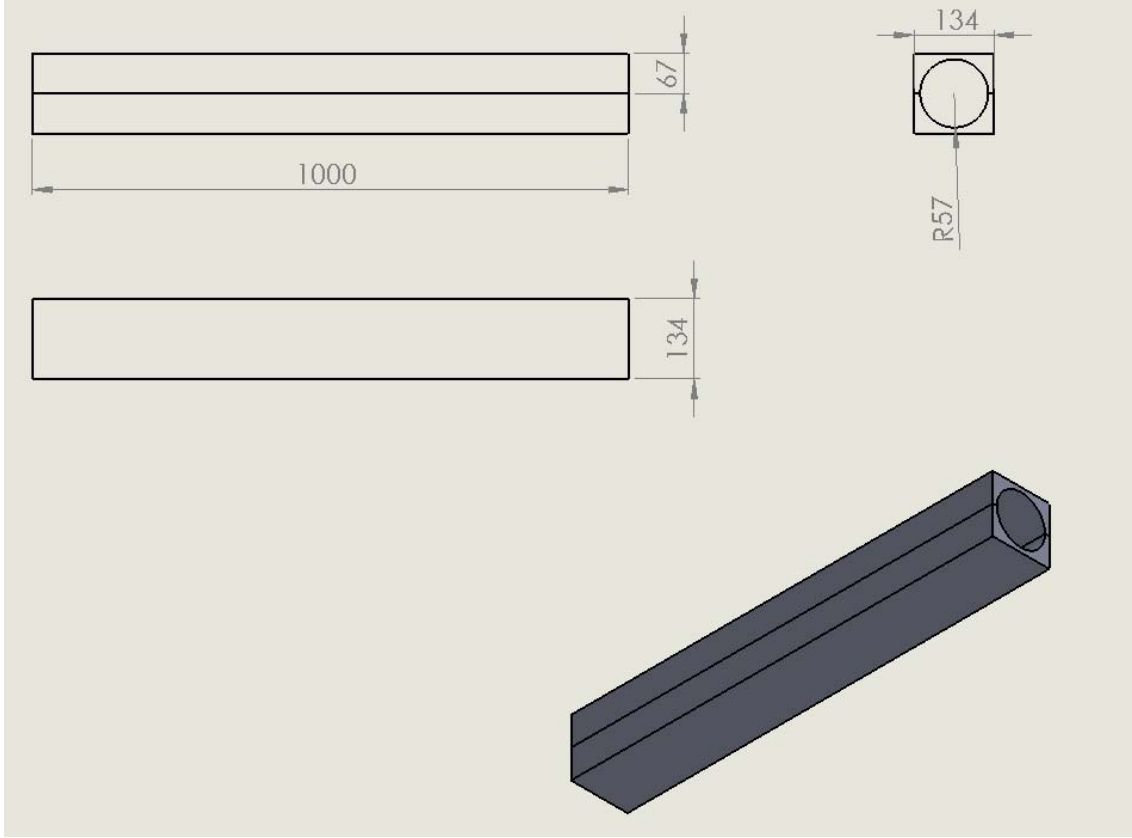


**Şekil 3.** Sistem Ekipmanlarının montajı yapılmış devre şeması

Aşağıdaki şekil 4.'de bakır katman tasarımının SolidWorks ortamında yapıldıktan sonraki görüntüsü verilmiştir. Tasarım DN100 boru için yapılmıştır.

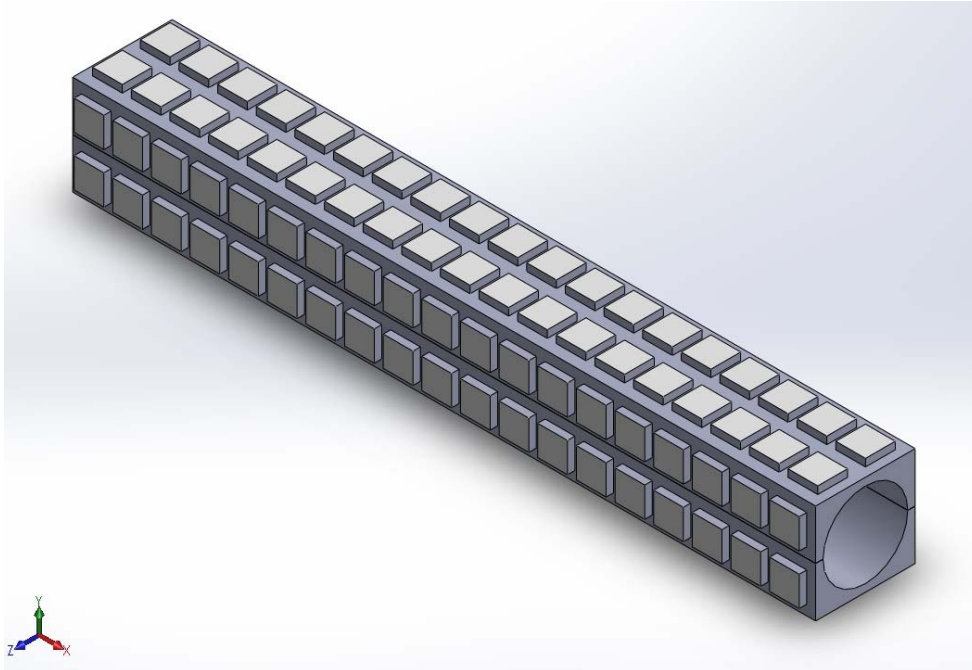


**Şekil 4.** Bakır katman tasarımı



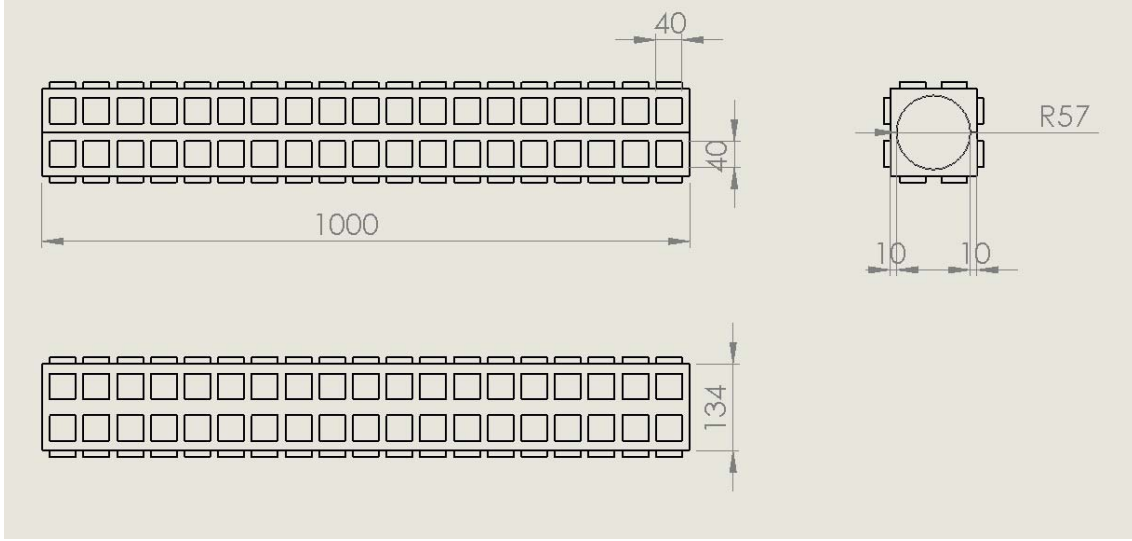
**Şekil 5.** Bakır katman teknik resmi

Aşağıdaki şekil 6.'da Peltier montajlanmış biçimde bakır katman gösterilmiştir. Bu katmanın ortasında boru geçecektir.



**Şekil 6.** Peltier montajlı bakır katman

Aşağıdaki şekil 7.'de Peltier montajlı bakır katmanın teknik resmi gösterilmiştir.



Şekil 7. Peltier montajlı bakır katman teknik resmi

### 3.1.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar Yönteminin kullanılmaya başladığı yıllar 1950'li yıllardır. Bilgisayar ve işlemci teknolojisinin her geçen gün daha da gelişmesiyle beraber kullanımı artmıştır. Matematik, fizik gibi mühendisliğin her dalı için önemlidir ve yaygın olarak kullanılır.

Sonlu Elemanlar Yöntemi, belirli sınır şartları altında bir parçanın veya montajın nasıl davrandığını tahmin etmek için kullanılan sayısal bir metottur. Isı, akışkan, piezoelektrik, elektrik alanlarında kullanıldığı söylenebilir. Ayrıca taşıtlarda ve inşaat sektöründe şekil değiştirme ve gerilmelerinin incelenmesinde kullanılmaktadır. Mühendisler, fiziksel prototiplerin ve deneylerin sayısını azaltmak ve daha iyi ve hızlı ürünler geliştirmek için ayrıca masraflardan tasarruf etmek için bileşenleri tasarım aşamalarında optimize etmek için kullanırlar. Kullanımda Sonlu Elemanlar Analizi, tasarımı Mesh elemanlarına ayırarak bir tasarım modelini matematik bir modeline çevirmede kullanılır. Sonlu elemanlar analizi kullanan programlara örnek olarak Ansys verilebilir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi; bir ürünün çalışma sırasında yapacağı davranışları önceden fark etmemizi sağlar, maliyet ve zamandan kazanım sağlar. İncelenecek olan parçadan doğru sonuçların alınabilmesi için Mesh atamasının doğru bir biçimde yapılması gerekir [11].

Sonlu Elemanlar Yönteminin bazı dezavantajları;

- Bulunan sonucun doğruluğu, sınır şartlarının doğruluğuna bağlıdır.
- Bir bilgisayara ihtiyaç vardır.
- Sonuç önceden tahmin edilerek inceleme yapılabilir çünkü işlem sırasında bazı adımlar yanlış gerçekleştirilmiş olabilir.

En doğru sonuçlar, daha fazla Mesh elemanı ile elde bulunabilir. Eleman boyutlarının küçüldükçe daha güçlü ve kaliteli bilgisayar hafızası, ekran kartı ve işlemci gerektirir.

### 3.1.2. Ansys Ortamında Analiz Gerçekleştirme Adımları

Ansys ortamında analiz yapmadan önce, ilk olarak analizin tipi belirlenmelidir. Ansys ortamında elektrik, statik, dinamik, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ya da termal analiz gibi çok çeşitli analiz türleri mevcuttur. Analiz türü kesinlikle doğru belirlenmelidir. Analiz türü belirlendikten sonra analizi gerçekleştirilecek tasarımın malzeme özellikleri belirlenmelidir. Malzeme özellikleri kütüphaneden seçilebileceği gibi özellikleri bilinen fakat malzeme kütüphanesinde bulunmayan malzemeler de

kullanılabilir. Malzeme belirlendikten sonraki adımda analizini gerçekleştirilecek olan tasarımın Ansys ortamında çizilmesi ya da Catia, SolidWorks gibi paket çizim programları kullanılarak çizilen geometrinin Ansys'e yüklenmesi gerekir Ansys dışı bir CAD ("Computer Aided Design", Bilgisayar Destekli Tasarım) programı ile çizilen geometri aktarımı sırasında bazen çeşitli problemler oluşabilir, Ansys'in tasarımı kabul etmemesi gibi problemler oluşabilir. Bu tip problemlerde kullanılan CAD programındaki çizim daha sade yani gereksiz çizgi ya da adımlardan arındırılması gerekebilir.). Tasarım da belirlendikten sonraki adım da Mesh atama işlemi yapılır. Mesh elemanlarının asıl amacı modeli basitleştirerek sonlu elemanlar metodunu kullanmak için ön hazırlık yapmaktır. Bu adım belki de en önemli adımlardan biridir. Mesh ataması hatalı olursa analiz yanlış veya çok farklı sonuçlar verebilir. Mesh atama işlemi kontrol etmenin çeşitli metotları mevcuttur. Mesh atama işlemi yapıldıktan sonra 'Quality' kısmından kontrol edilebilir.

### 3.2. Kullanılan Malzemeler

N tipi yarıiletken için Bizmut Tellür ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) kullanılır. P tipi yarıiletken için Antimon Tellür ( $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ) kullanılmaktadır. N tipi ve P tipi yarıiletkenlerin sabitlendiği bakır alaşım tabakası vardır. En dışta ise seramik plaka tarafından birden fazla termoelement birleştirilmiş durumdadır [12].

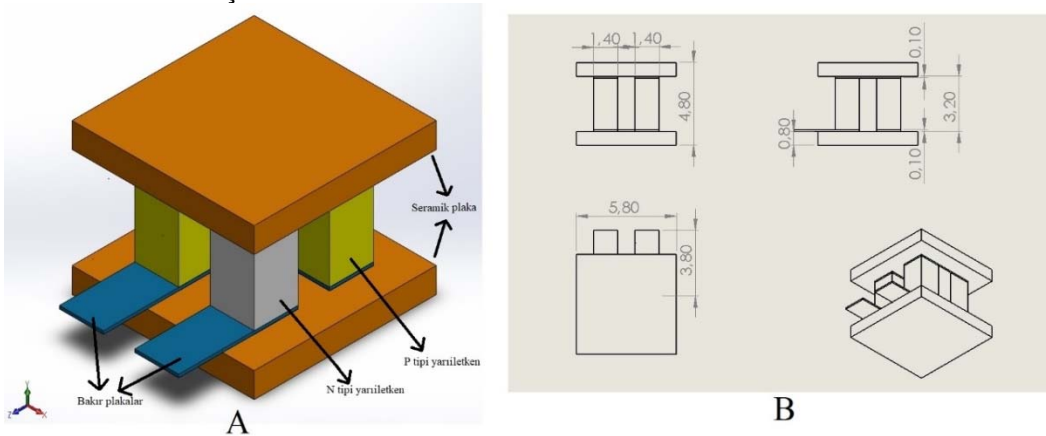
Kullanılan malzeme özellikleri aşağıdaki gibidir.

**Tablo 1.** Malzeme özellikleri [12]

| Film                     | Seebeck coefficient<br>( $\mu\text{V}/\text{K}$ ) | Electrical conductivity<br>( $\text{S}/\text{m}$ ) | Thermal conductivity<br>( $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ) |
|--------------------------|---|--|--|
| $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ | -181.57   | 920.2  | 1.2  |
| $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ | 229.4   | 624  | 1.65   |
| $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ | -192.75   | 699.5  | 1.2  |
| $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ | 228.2   | 540  | 1.65   |
| $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ | -201.77   | 416  | 1.2  |
| $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ | 224   | 486  | 1.65   |
| $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ | -202.68   | 376.9  | 1.2  |
| $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ | 210.5   | 406  | 1.65   |

### 3.3. Analiz Aşaması

SolidWorks ortamında tasarımı gerçekleştirilen aşağıdaki şekil 8.'de analiz gerçekleştirilmek üzere Ansys ortamına aktarılmıştır.



**Şekil 8.** Şekil A montaj izometrik görüntüsü, şekil B montajın teknik resmi



Tasarım Ansys ortamına aktarıldıktan sonra ilk olarak malzeme ataması yapılması gerekir. Kullanılacak N tipi ve P tipi yarıiletkenlerin malzemesi kütüphanede olmadığı için tablo 1.'de verilen malzeme özellikleri kütüphaneye eklenir. Gerekli malzemeler tamamlandığı için malzeme atamasına geçilir. Bakır ve seramik kısımlar kütüphaneden seçilir, P ve N tipi yarıiletkenler ise kütüphaneye eklenen malzemelerden alınarak gerekli kısımlara malzeme ataması yapılır.

Malzeme ataması yapıldıktan sonraki adım ise mesh ataması olacaktır. Aşağıdaki şekil 13.'de mesh ataması yapılmış termoelement görülebilir. Mesh atma işleminden sonra, atılan Mesh'in kalitesine bakmak için sol tarafta bulunan Quality sekmesinde bulunan Mesh Metric sekmesindeki parametrelerden yararlanılır. Mesh kalitesi ölçümü yapabileceğimiz çeşitli parametreler vardır bunlar; Warping Factor, Element Quality, Aspect Ratio, Jacobian Ratio, Parallel Deviation, Maximum Corner Angle, Characteristic Length, Skewness ve Orthogonal Quality parametreleridir. Bu çalışmada kullanılan mesh elemanlarının kalitesini öğrenebilmek için Orthogonal Quality ve Warping Factor parametrelerine bakılacaktır.

Skewness mesh metrics spectrum:



| Excellent | Very good | Good      | Acceptable | Bad       | Unacceptable |
|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|--------------|
| 0-0.25    | 0.25-0.50 | 0.50-0.80 | 0.80-0.94  | 0.95-0.97 | 0.98-1.00    |

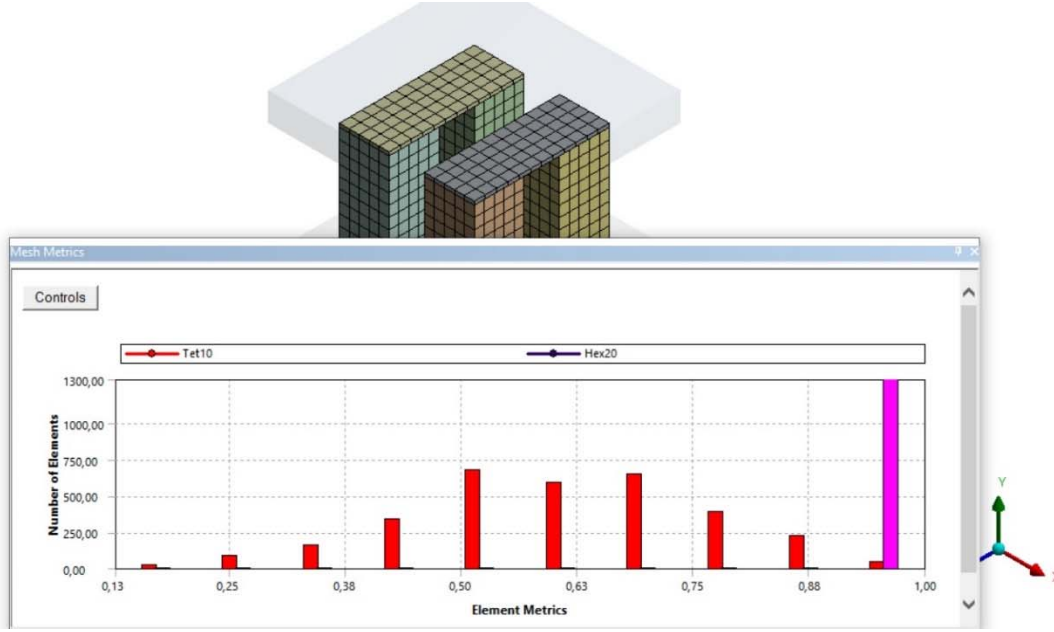
Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:



| Unacceptable | Bad        | Acceptable | Good      | Very good | Excellent |
|--------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 0-0.001      | 0.001-0.14 | 0.15-0.20  | 0.20-0.69 | 0.70-0.95 | 0.95-1.00 |

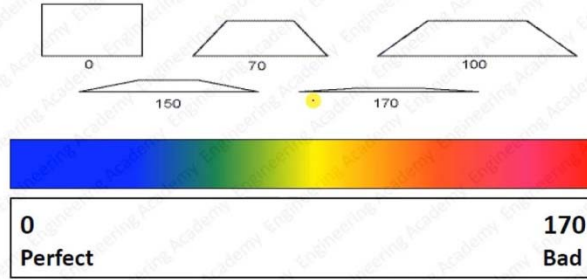
**Şekil 9.** Skewness ve Orthogonal Quality metrik spektrumu [13]

Yapılan mesh ataması sonucu, mesh elemanlarının orthogonal quality değerleri aşağıdaki şekil 10.'daki gibidir. Mesh elemanlarının büyük çoğunluğu 0,95 civarındadır. Mesh metric spectrum tablosu incelendiğinde mesh eleman kalitesinin çok iyi olduğu görülmektedir.



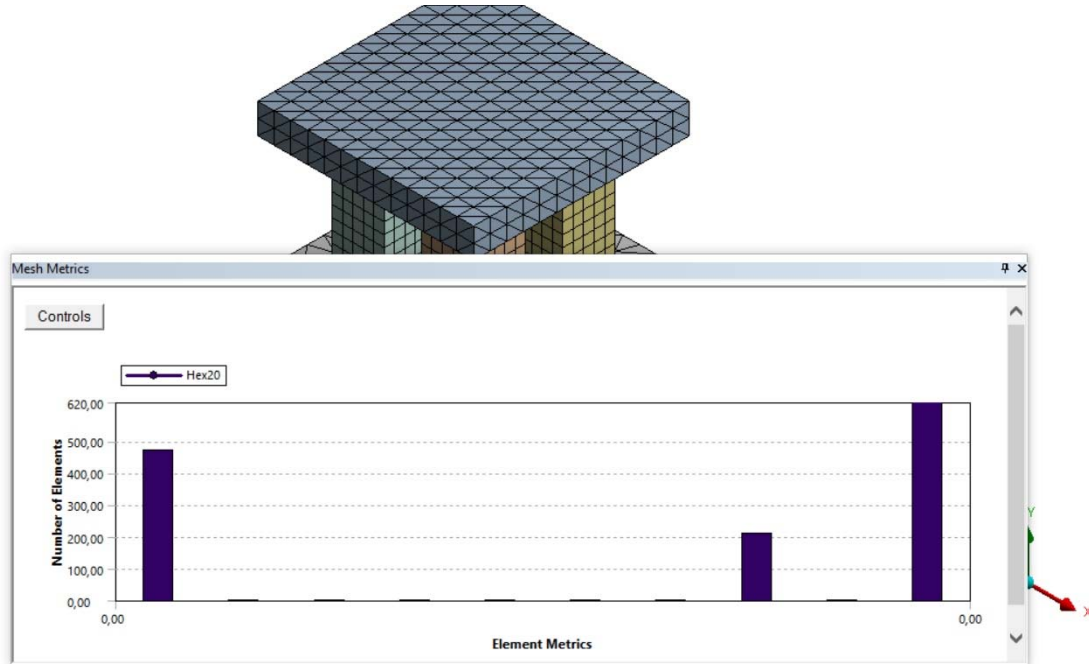
Şekil 10. Orthogonal Quality kalite grafiği

#### Parallel Deviation:

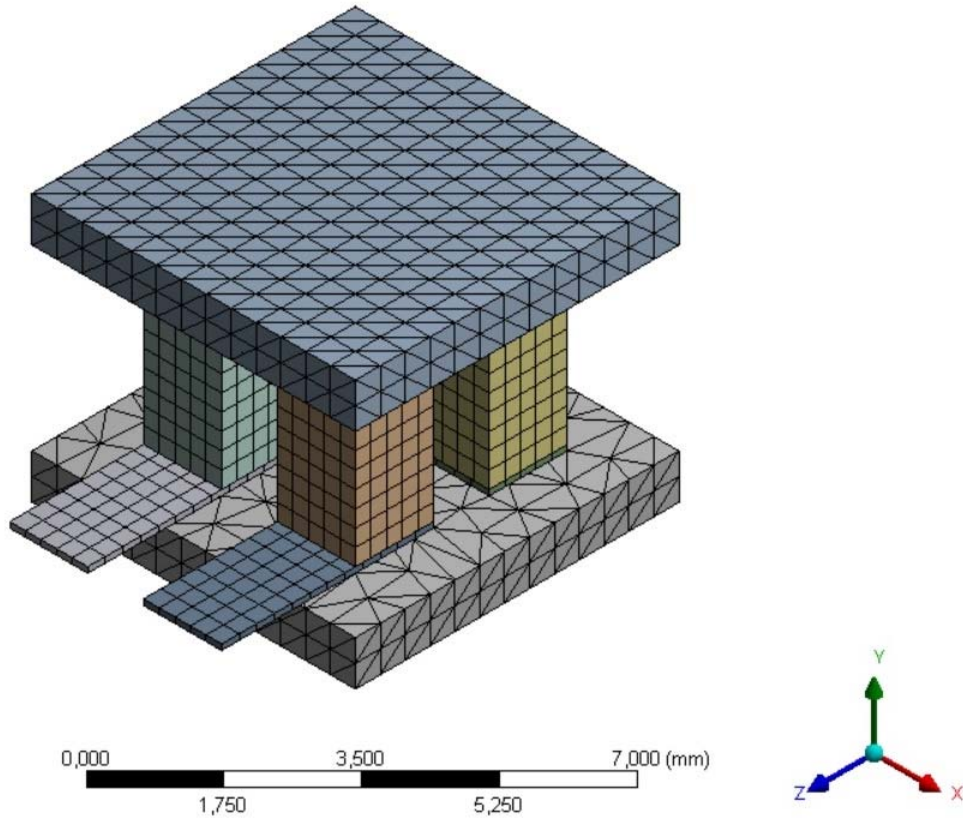


Şekil 11. Parallel Deviation metrik spektrumu [13]

Aşağıdaki şekil 12.'de ise Parallel Deviation kalite grafiği verilmiştir. Çıkan sonuçta bütün mesh elemanları 0 düzeyinde çıkmıştır, bu değer kalite grafiğinden incelendiğinde oldukça iyi mesh ataması yapıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 12. Parallel Deviation kalite grafiği

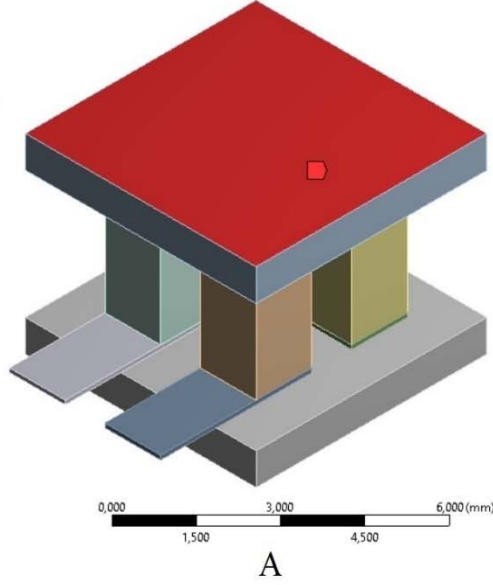


Şekil 13. Mesh ataması yapılmış termoelement

Mesh ataması yapıldıktan sonra uygun sınır şartları belirlenmelidir. Uygun sınır şartları fabrika koşullarında soğuk yüzey için  $30^{\circ}\text{C}$ , sıcak yüzey için ise  $120^{\circ}\text{C}$ 'dir. Aşağıdaki şekil 14.'de soğuk ve sıcak yüzeyler görülebilir.

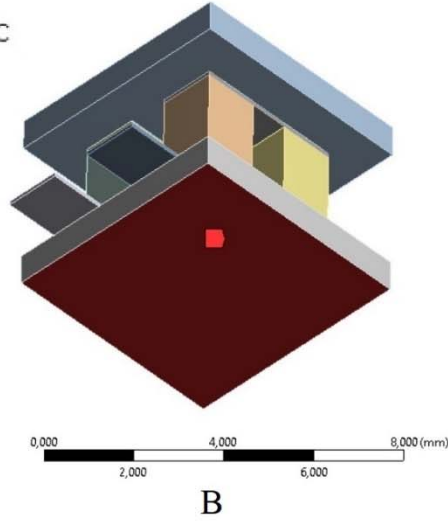
A: Thermal-Electric  
SICAK YÜZEY  
Time: 1, s  
6.01.2023 11:45

■ SICAK YÜZEY:  $120, ^{\circ}\text{C}$



A: Thermal-Electric  
SOĞUK YÜZEY  
Time: 1, s  
6.01.2023 11:45

■ SOĞUK YÜZEY:  $30, ^{\circ}\text{C}$



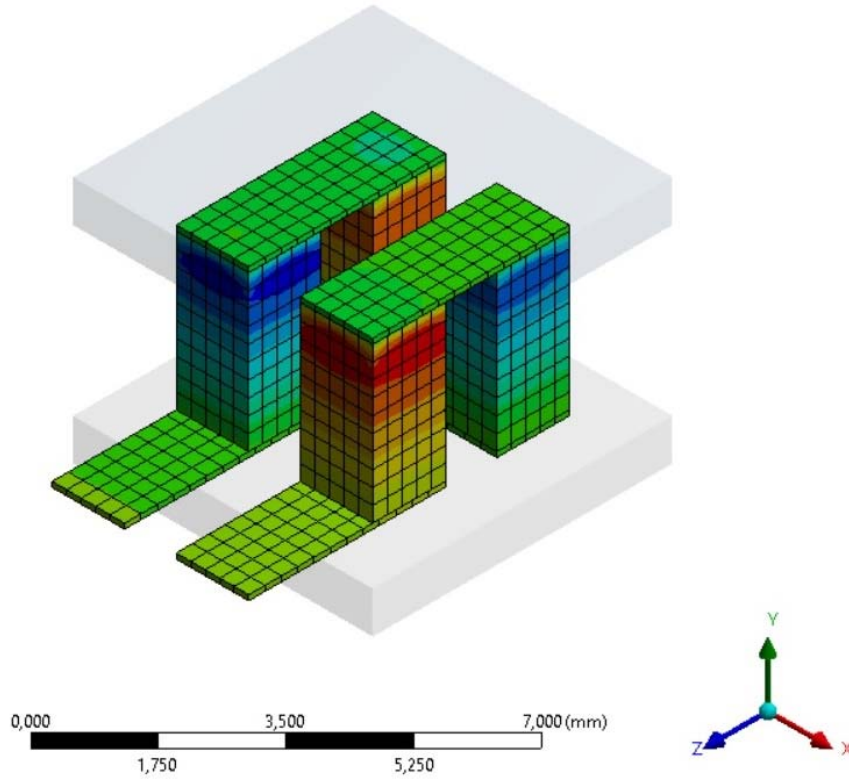
**Şekil 14.** Şekil A sıcak yüzey, şekil B soğuk yüzey

Yüzeyler belirlendikten sonra düşük voltaj ve yüksek voltaj çıkışları belirlenmelidir. Sıcak yüzey üstte soğuk yüzey altta olacak şekilde düşünüldüğünde sol taraf yüksek voltaj, sağ taraf ise düşük voltaj kısmı olmalıdır.

Sonrasında tasarımın konveksiyon katsayısı girilmelidir. Konveksiyon katsayısı havanın normal şartlarında yaklaşık  $20 \text{ W}/\text{m}^2\text{k}$  olduğu için analizde de bu değer kullanılacaktır [14].

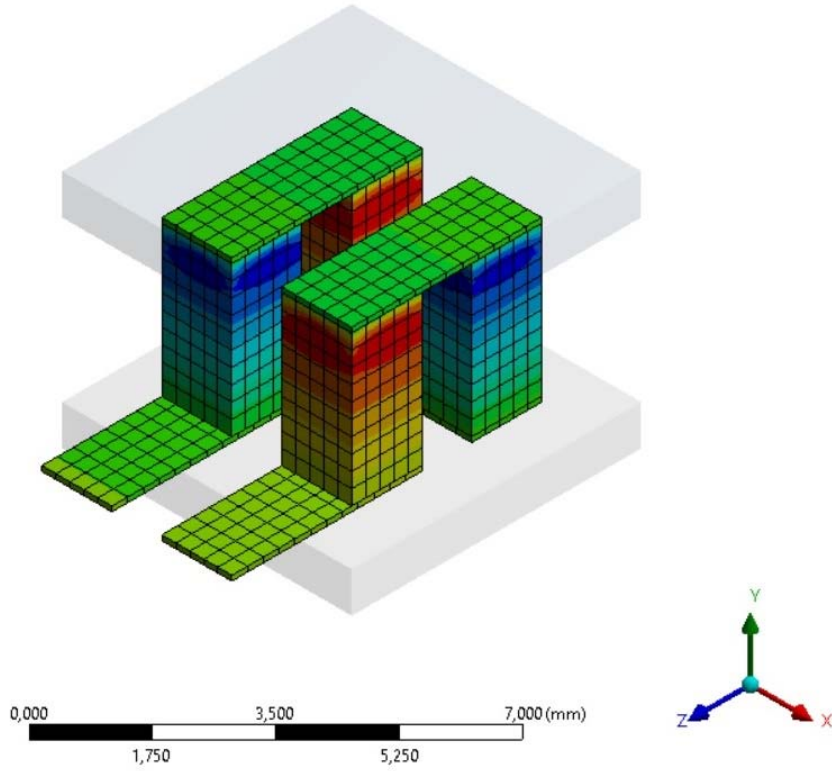
Konveksiyon değerinden sonra sonuçlar kısmından elektrik voltaj sonucu seçilmeli sonrasında analiz yapılabilir.

Aşağıdaki şekil 15. ve şekil 16.'da analizi tamamlanmış tasarım verilmiştir. Verilen tasarımlardan şekil 15.'da soğuk yüzey 20°C ve sıcak yüzey 120°C'dir, bu sınır şartları altında oluşan elektrik voltajı analiz sonuçlarının görselidir. Görselde yeşil olarak görünen yerlerde yaklaşık 0,022 mV elektrik enerjisi vardır. Kırmızı rengine doğru bu elektrik enerjisinin değeri azalmaktadır.



**Şekil 15.** Soğuk yüzey 20°C, sıcak yüzey 120°C sınır şartlarında analiz sonucu

Aşağıdaki şekil 16.'da soğuk yüzey 30°C ve sıcak yüzey 120°C'dir, bu sınır şartları altında oluşan elektrik voltajı analiz sonuçlarının görselidir. Görselde yeşil olarak görünen yerlerde yaklaşık 0,021 mV elektrik enerjisi vardır. Kırmızı rengine doğru bu elektrik enerjisinin değeri azalmaktadır.



**Şekil 16.** Soğuk yüzey 30°C, sıcak yüzey 120°C sınır şartlarında analiz sonucu

### 3.4. Bulgular

Fabrika şartları, soğuk yüzey 30°C ve sıcak yüzey 120°C sınır şartları için tablo 2.'de verilen sonuçlar bulunmuştur. Bulunan sonuçlar bir Peltier için verilmiştir. Sonuç incelendiğinde 90 derece sıcaklık farkı için 1,7415mV gerilim değeri bulunmuştur. Bulunan değer 40mm\*40mm ölçülerindeki bir adet Peltier kullanılmasında durumunda bulunan değerdir.

**Tablo 2.** Analiz sonuçları-1

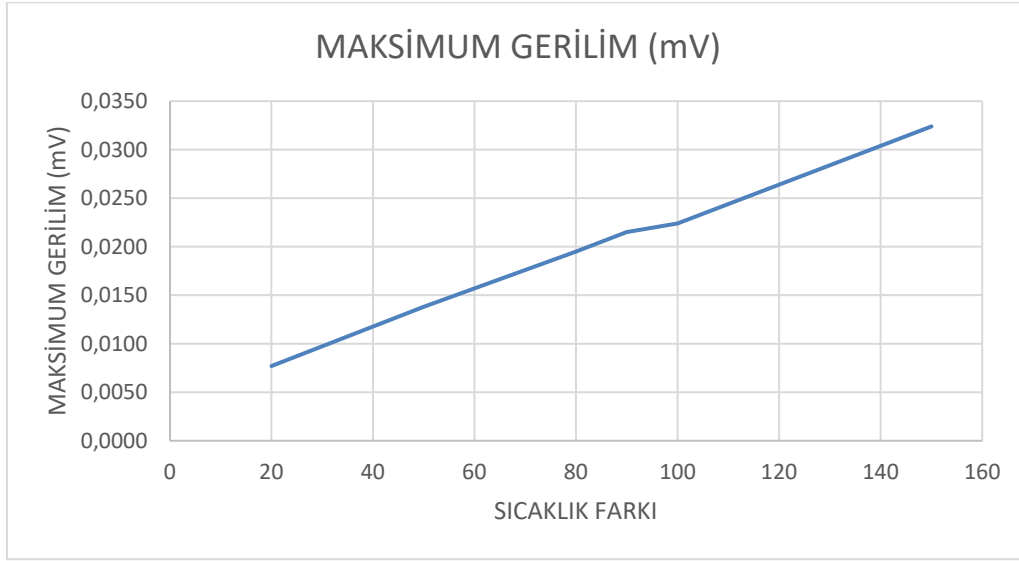
| SOĞUK YÜZEY (C°) | SICAK YÜZEY (C°) | SICAKLIK FARKI | BULUNAN MAKS. GERİLİM (mV) |
|------------------|------------------|----------------|----------------------------|
| 30               | 120              | 90             | 1,7415                     |

Bulunan bu değer, yaklaşık 50 metre uzunluğuna uygulanacak olan bakır plakanın 4 yüzeyine Peltier montajı sonucunda tablo 3.'deki gibi değişmektedir. Maksimum kullanılacak Peltier sayısı 7600 adettir. 7600 peltier kullanılması durumunda, soğuk yüzey ve sıcak yüzey arası sıcaklık farkının 90 derece olduğunda 13,2354V gerilim değeri bulunmuştur. Bu değer 12V'luk aküyü şarj edebilmek için yeterlidir. Akü kullanımı sonucu elektrik akımı sürekli olmasa bile ihtiyaç duyulduğunda elektrik enerjisi kullanılabilir. Aküden besleme yapıldığı için akü çıkışına inverter cihazı eklenecek ve gerilim değeri 220V'a çıkarılacaktır.

**Tablo 3.** Analiz sonuçları-2

| SOĞUK YÜZEY (C°) | SICAK YÜZEY (C°) | SICAKLIK FARKI | BULUNAN MAKS. GERİLİM (V) |
|------------------|------------------|----------------|---------------------------|
| 30               | 120              | 90             | 13,2354                   |

Farklı sıcaklık farklarında bulunan değerler aşağıdaki şekil 17.'deki grafikten incelenebilir.



Şekil 17. Farklı sıcaklık farklarında bulunan değerler

Bu sistemde üretilen elektrik enerjisi 220V'a dönüştürülerek fabrika içerisinde kullanılacaktır. Sistemin fabrika kazancı hesaplamak için toplam akım yoğunluğu analizi de yapılır. Yapılan analiz sonucunda soğuk yüzey 30°C ve sıcak yüzey 120°C sınır şartları için toplam akım yoğunluğu 291,82 mA/mm<sup>2</sup> bulunmuştur. Peltierlerin kesit alanı 181,7 mm<sup>2</sup>'dir. Elektriksel güç hesaplanır ve gerekli birim dönüşümleri yapılarak bu sistemin 703,4W elektrik güç üretebileceği hesaplanmıştır. Bu güç, 3,2A'e kadar olan elektrikli aletleri çalıştırmaya yetecektir. Hesaplanan değer kullanılacak elektrikli alete, boyahänenin günlük çalıştığı saate, sistemde kullanılan toplam kablo uzunluğu ve ortam sıcaklığı gibi çeşitli parametrelere bağlı olacaktır.

Grafik incelendiğinde ise, 90 derece sıcaklık farkına ulaşıncaya kadar 0,000197°'lik bir eğimle artış göstermiş, 90-100 derece sıcaklık farklarında 0,00009°'lik bir eğimle artış göstermiş ve 100-150 derece sıcaklık farklarında ise 0,00016°'lik eğimle artış göstermiştir. Grafikten de görülebileceği üzere sıcaklık farkı arttıkça genel olarak üretilen maksimum elektrik gerilim değeri artış göstermiştir. Fabrika koşullarında bulunacak olan 90 derece sıcaklık farkı ise en yüksek artış gösteren bölge içerisinde yer almaktadır. Maksimum gerilim değeri 13,2354V bulunmuştur. Akünün şarj olabilmesi için 12V'luk enerji yeterli olduğu için devrede akü öncesi inverter kullanımına ihtiyaç duyulmamıştır. Akünün 13,2354V'luk enerji ile şarj olması esnasında akü dolduğunda enerjinin kesilebilmesi için akü üzerine akü şarj devresi montajı yapılacaktır. Aküden sonra inverter kullanılacaktır çünkü, aküden gelen 12V'luk enerji elektrikli aletlerin çalışabilmesi için yeterli değildir bu sebeple 220V'a dönüştürülerek kullanılacaktır [15,16,17].

## SONUÇ

Bulunan analiz sonuçları incelendiğinde; üretilebilecek enerjinin inverter kullanılarak fabrika içerisinde çeşitli yerlerde kullanımı için yeterli olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın yenilikçi yönü, yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde özellikle tekstil sektöründe ilk kez termoelektrik jeneratör sistemi kullanılması ve dairesel yüzeyi, düzlemsel yüzeye dönüştürebilmek için tasarlanmış olan bakır tabakadır. Bu bakır taba sayesinde peltierler yüzeysel temas sağlamakta, ayrıca sistem daha çok Peltier montajına uygun hale gelmektedir.

Proje tekstil fabrikası için gerçekleştirilmiştir. Projenin temel hedefi tekstil fabrikalarında kullanılan yüksek enerji tüketimini düşürmektir. Özellikle tekstil sektörü olmak üzere atıl ısı bulunan çeşitli

sektörleri kapsayabilir. Günümüzde kullanılan içten yanmalı motorlu araçların yaklaşık %35 verimle çalışarak yaygın olarak kullanıldığını düşünürsek termoelektrik jeneratör sistemi de yaygın olarak kullanılabilir. Termoelektrik jeneratör sisteminin kullanımının yaygınlaşması sonucu artan bilimsel çalışmalarla gelecekte daha yüksek verimle daha fazla elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] <https://mc2haber.com/bp-dunya-enerjisi-2022-istatistiksel-incelemesini-yayimladi>.
- [2] [https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnya\\_enerji\\_t%C3%BCketimi](https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnya_enerji_t%C3%BCketimi).
- [3] Kayabaşı R. Ve Kaya M., “Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi,” Eur. J. Sci. Technol., no. 16, pp. 310–324, 2019.
- [4] Gürçan A. Ve Yakar G., “Farklı Dış Ortam Sıcaklıklarında Kullanılan Bir Termoelektrik Jeneratör Sisteminin Isı Alıcısının Optimizasyonu Optimization of the Heat Sink of a Thermoelectric Generator System Used at Different Outdoor Temperatures,” pp. 0–2, 2021.
- [5] Kayabaşı R. Ve Kaya M., “Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi,” Eur. J. Sci. Technol., no. 16, pp. 310–324, 2019.
- [6] Yağmur Y. Ve Taşdelen K., “Termoelektrik Üreteç ile Kalorifer Radyatörlerinden Elektrik Üretimine Deneysel İncelenmesi Experimental Analysis of Producing Electrical Energy From The Radiator Using Thermoelectric Generator,” vol. 3, no. 2, pp. 152–160, 2019.
- [7] Termoelektrik Jeneratör.” [https://stringfixer.com/tr/Thermoelectric\\_generator](https://stringfixer.com/tr/Thermoelectric_generator)
- [8] Termoelektrik akım jeneratörünün yaratılmasının tarihi, 2021. <https://tr.topwar.ru/179970-istorija-sozdaniya-odnogo-maloizvestnogo-izdelija-prodolzhenie.html>
- [9] <https://argevetasarim.com/metallerin-metalik-elementlerin-ve-alasimlarin-isil-iletkenligi/>
- [10] <https://celikonline.movie.blog/hangi-metaller-isiyi-en-iyi-iletir/>
- [11] Masis, “Sonlu Elemanlar Analizi,” 2020. <https://marsisinovasyon.com/sonlu-elemanlar-yontemi/>
- [12] Shen H., Lee H. Ve Han S., “Optimization and fabrication of a planar thermoelectric generator for a high-performance solar thermoelectric generator,” Curr. Appl. Phys., vol. 22, no. November 2020, pp. 6–13, 2021.
- [13] <https://forum.ansys.com/discussion/12577/what-is-the-source-of-mesh-quality-spectrum>.
- [14] <https://www.analizansys.com/sonlu-elemanlar-analizi/>,» [Çevrimiçi].
- [15] [https://help.solidworks.com/2014/turkish/solidworks/Cworks/c\\_Convection\\_Heat\\_Coefficient.htm](https://help.solidworks.com/2014/turkish/solidworks/Cworks/c_Convection_Heat_Coefficient.htm)
- [16] Hazar H. Ve Öner C., “İÇTEN YANMALI MOTORLARDA SERAMİK KAPLAMANIN MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ”, Doğu Anadolu bölgesi araştırmaları, 2004.
- [17] <https://www.youtube.com/watch?v=pHgaqpP9lcg&t=388s>.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ömer Faruk DEMİRBAŞ

2000 yılında İstanbul’da doğdu. Aslen Orduludur. İlk öğrenimini Hasdal İlkokulu’nda aldı. Ortaöğrenimini Mevlana Ortaokulu’nda aldı. Sonrasında lise öğrenimini Kayaşehir Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2018 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümüne yerleşti. 2021 yaz dönemi sonunda Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2022 yılı Ocak ayında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Makine Mühendisliği alanında tezli yüksek lisans programını 1. olarak kazandı. Kasım 2021’den beri Aydın Tekstil firmasında Üretim Planlama Mühendisliği yapmaktadır. Mühendis beyinler sayfasında makaleler yayınlamaktadır.

### Mustafa Ali Ergün ERTÜRK

1965 yılı Afyonkarahisar’da dünyaya gelmiştir. İlk,orta, lise öğrenimlerini Afyonkarahisar ili Bolvadin ilçesinde tamamlamıştır. 1987 yılında Gazi Üniversitesi Teknik eğitim Fakültesi Makine Eğitimi





bölümünden lisans derecesini aldı. 1998 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Eğitimi bölümünden yüksek lisans derecesini aldı. 2012 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünden Doktora derecesini aldı. 2018 yılı 11 haziranda Üniversitelerarası kurulundan Makine Mühendisliği Termodinamik- Enerji alanında Doçentlik derecesini almıştır. 1998-2019 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Balıkesir MYO iklimlendirme ve soğutma programında öğretim görevlisi, Yrd Doç Dr ve Doç Dr olarak çalışmıştır. 2019 yılından beri Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

Akademik olarak çok sayıda ulusal ve uluslararası yayın çalışmalarıyla birlikte bilimsel projelerde araştırmacı olarak görevler yapmıştır. Farklı enerji kaynaklı ısı pompaları, farklı faz akışkanlı ısı değiştiriciler, soğutma, havalandırma, iklimlendirme, yalıtım ve güneş enerjisi konularında çalışmaları vardır.