T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİ BİR TİP TERMOELEKTRİK VE PİEZOELEKTRİK MALZEME TASARIMI VE ANALİZİ

Ali GÜL

DANIŞMAN
Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI

II.DANIŞMAN
Dr. Cengiz KAHRAMAN

Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı

Mühendislik Bilimleri Programı

İSTANBUL-2020

Bu çalışma, Tarih girmek için burayı tıklatın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı, Mühendislik Bilimleri Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik fakültesi

Dr. Cengiz KAHRAMAN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik fakültesi

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

20.04.2016 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin ..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.
Bu tez, ... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, bilgi birikimi ve tecrübesi ile beni yönlendiren, desteğini eksik etmeyen güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli danışmanım Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI ve Dr. Cengiz KAHRAMAN' a teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteğini esirgemeyen babam ve annem Mohammad Samer ve Rana GÜL'e

Teşekkür ederim.

Son olarak bana okuma fırsatı veren Türkiye Cumhuriyeti'ne en içten teşekkürlerimi arz ederim

Ağustos 2021 Ali GÜL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xi**
SUMMARY ..... **xii**
1. GİRİŞ **13**
2. GENEL KISIMLAR **14**
2.1. PİEZOELEKTRİK MALZEMELER 14
2.2. TERMOELEKTRİK MALZEMELER 15
3. MALZEME VE YÖNTEM **18**
3.1. BİRİNCİ TASARIMIN MODELLENMESİ VE ANALİZLERİ 18
1. Birinci Tasarım 18
2. Birinci Tasarım Analizleri 30
a) Piezoelektrik Jeneratöründen Elde Edilen Enerji 31
b) Piezoelektrik modülünde kullanılan formüller 42
c) Termoelektrik Jeneratörden kullanılan formüller 43
3.2. İKİNCİ TASARIMIN MODELLENMESİ VE ANALİZLERİ 44
3.2.1. İkinci Tasarım 44
3.2.2. İkinci tasarım analizleri 55
4. BULGULAR **61**
4.1. BİRİNCİ TASARIM TERMOELEKTRİK JENERATÖRÜNÜN ANALİZLERİ 61
4.2. BİRİNCİ TASARIM PİEZOELEKTRİK MODÜLÜNÜN ANALİZLERİ 67
4.3. İKİNCİ TASARIM PİEZOELEKTRİK MODÜLÜNÜN ANALİZLERİ 72

4.4. İKİNCİ TASARIM TERMOELEKTRİK JENERATÖRÜNÜN ANALİZLERİ 78

5. TARTIŞMA VE SONUÇ 85

Referensler 87

ÖZGEÇMİŞ 90

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Piezoelektrik malzemeler çeşitleri 14
Şekil 2.2: Kuvars kristal yığını 15
Şekil 3.1 Birinci tasarımın teknik resmi 19
Şekil 3.2 İki boyutlu gövde çizimi 20
Şekil 3.3 Üç boyutlu gövde çizimi 21
Şekil 3.4 gövde tasarımı 22
Şekil 3.5 İki boyutlu koltuk sırt kısmı çizimi 23
Şekil 3.6 Üç boyutlu sırtlık çizimi 23
Şekil 3.7 Koltuk sırtlığı 24
Şekil 3.8 Sırtlık ve kolçak tasarımı 25
Şekil 3.9 Sırt kısmı tümü 25
Şekil 3.10 Gövde kısmı şekillendirilmesi 26
Şekil 3.11 Gövde İnceltilmesi 26
Şekil 3.12 Kesilmiş gövde ön görünümü 27
Şekil 3.13 Sivri pürüzler yumuşatılması 27
Şekil 3.14 Oturak Arka kısmı yumuşatılması 28
Şekil 3.15 Oturak ön Kısımı yumuşatılması 28
Şekil 3.16 Koltuk görünümü 29
Şekil 3.17 Nihai tasarım 29
Şekil 3.18 Kavramsal deney krokisi 30
Şekil 3.19 Piezoelektrik malzemesinin ebatları 31
Şekil 3.20 Kullanılan malzeme PZT 4 32
Şekil 3.21 PZT 4 materyal özelikleri 33
Şekil 3.22 Uygulanan kuvvet 34
Şekil 3.23 Ön Görünüş elektrik potansiyeli 35
Şekil 3.24 Üst Görünüş elektrik potansiyeli 36
Şekil 3.25 3 Boyutlu görünüş elektrik potansiyeli 37
Şekil 3.26 Deformasyon bilgileri 38

Şekil 3.27 Üç boyutlu etkin gerilimi 39
Şekil 3.28 Üst görünüş etkin gerilimi 40
Şekil 3.29 Ön görünüş etkin gerilimi 41
Şekil 3.30 İkinci tasarımın teknik resmi 44
Şekil 3.31 ikinci Tasarımın üç boyutlu gövde çizimi 45
Şekil 3.32 İkince tasarımın gövde tasarımı 47
Şekil 3.33 İkinci tasarımın koltuk sırt kısmı çizimi 50
Şekil 3.34 ikince tasarımın sırt kısmı 51
Şekil 3.35 Bağlantı Aparatı Tasarımı 52
Şekil 3.36 İkinci tasarımın Yumuşatılması 53
Şekil 3.37 İkinci Tasarımın Görünümü 54
Şekil 3.38 İkinci tasarımın piezoelektrik malzemesinin ebatları 55
Şekil 3.39 İkinci tasarımın üç boyutlu etkin gerilimi 56
Şekil 3.40 İkinci tasarımın üst görünüş etkin gerilimi 57
Şekil 3.41 İkinci tasarımın üç boyutlu görünüş elektrik potansiyeli 60
Şekil 4.1 Termal iletkenlik-Sıcaklık farkı Grafiği 62
Şekil 4.2 Termal iletkenlik-Alan Grafiği 64
Şekil 4.3 Isı iletkenlik Isı-iletim katsayısı Grafiği 66
Şekil 4.4 Kuvvet-Güç Grafiği 68
Şekil 4.5 Alan-Güç Grafiği 69
Şekil 4.6 Kalınlık-Güç Grafiği 71
Şekil 4.7 İkinci tasarım Kuvvet-Güç Grafiği 73
Şekil 4.8 İkinci tasarım Alan-Güç Grafiği 75
Şekil 4.9 İkinci tasarım kalınlık-Güç Grafiği 77
Şekil 4.10 Termal iletkenlik-Sıcaklık farkı Grafiği 79
Şekil 4.11 Termal iletkenlik-Alan Grafiği 81
Şekil 4.12 Isı iletkenlik Isı-iletim katsayısı Grafiği 83

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1 Birinci tasarım Sıcaklık farkına göre elde edilen enerji 61
Tablo 4.2 Birinci tasarım termoelektrik modülünün alanına göre elde edilen Enerji 63
Tablo 4.3 Birinci tasarım TEG Isı iletim katsayısına göre elde edilen enerji 65
Tablo 4.4: PZT 4 Parçasına uygulanan kuvvete göre elde edilen Güç 67
Tablo 4.5: Birinci tasarım PZT 4 Parçasının alanına göre elde edilen güç 68
Tablo 4.6: Birinci tasarım PZT 4 Parçasının kalınlığına göre elde edilen güç 70
Tablo 4.7 İkinci tasarımın PZT 4 Parçasına uygulanan kuvvete göre elde edilen güç 72
Tablo 4.8: İkinci tasarım PZT 4 Parçasının alanına göre elde edilen güç 74
Tablo 4.9: İkinci tasarım PZT 4 Parçasının kalınlığına göre elde edilen güç 76
Tablo 4.10 İkinci tasarım Sıcaklık farkına göre elde edilen enerji 78
Tablo 4.11 İkinci tasarım termoelektrik modülünün alanına göre elde edilen Enerji 80
Tablo 4.12 İkinci tasarım TEG Isı iletim katsayısına göre elde edilen enerji 82
Tablo 4.13 İdeal şartlarda Birinci piezoelektrik modülünden maksimum enerji 84
Tablo 4.14 İdeal şartlarda Termoelektrik modülünden maksimum enerji 84

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
C	: Elektriksel Kapasite
A	: kapasitör plakası alanı
ε_r	: Bağıl yalıtkan sabiti
ε_0	: Boşluk yalıtkan sabiti
ε	: Yalıtkan sabiti
V	: Voltaj
t	: Kalınlık
Q	: Elektrik yükü
P	: Güç
K	: Isı iletim katsayısı
I	: Akım
R	: Direnç
ΔT	: Isı farkı
T_H	: Vücut ısısı
T_C	: ortam sıcaklığı
d	: Piezoelektrik katsayısı
F	: Kuvvet

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİ BİR TİP TERMOELEKTRİK VE PİEZOELEKTRİK MALZEME TASARIMI VE ANALİZİ

Ali GÜL

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI

II.DANIŞMAN Dr. Cengiz KAHRAMAN

Özet metni

Bu çalışmada, insan ağırlığından ve vücut sıcaklığından faydalanarak enerji üretmek için bilgisayar yardımıyla simülasyon yapılmıştır. 100 kg ağırlıklı bir insan için hem piezoelektrik materyali hem de termoelektrik malzemesi kombine edilerek farklı bir koltuk tasarımları dizeyin edilmek ile birlikte optimize bir tasarım elde edilmiştir. Enerji üretmek için piezoelektrik ve Termoelektrik malzemesi içeren yeni koltuk tasarımı ve analizini sunmaktadır. Elektrik enerjisi üreten, Solidworks yazılımı vasıtasıyla tasarlanmış olan koltuğun termoelektrik malzemesinin altına yerleştirilen bir Piezoelektrik malzemesi olarak Kurşun zirkonat titanat adlı seramik bir malzeme seçilmiştir. Ayrıca bu çalışmada Koltuğun üstte konulan Termoelektrik jeneratörü için ise bizmut Tellürid materyali kullanılıp elektrik potansiyeli hesaplamak ve analizleri yapmak için COMSOL Multiphysics kullanılmıştır.

Ekim 2021, 88 sayfa.

Anahtar kelimeler: Piezoelektrik, Termoelektrik

SUMMARY

M.Sc. THESIS

A DESIGN AND AN ANALYSIS OF A NEW TYPE OF THERMOELECTRIC AND PİEZOELECTRİC MATERIAL

Ali GÜL

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Engineering Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökhan ÇAYLI

II.Supervisor Dr. Cengiz KAHRAMAN

Summary text

In this study, a simulation was made with the help of a computer to generate energy by utilizing human weight and body temperature. an optimized design was obtained by combining both the piezoelectric material and the thermoelectric material for a person weighing 100 kg, with a different seat design. It presents new seat design and analysis that incorporates piezoelectric and thermoelectric materials to generate energy. A ceramic material called Lead zirconate titanate was chosen as Piezoelectric material placed under the thermoelectric material of the seat, which was designed through Solidworks software, also in this study Bismuth telluride material which was placed on the top of the seat was used as thermoelectric material and COMSOL Multiphysics was used to do the analysis and to calculate the electric potential.

July 2021, 90 pages.

Keywords: Piezoelectric, Thermoelectric,

1. GİRİŞ

Birinci dünya savaşında ultrason ve sonar gibi alanlarda kullanılmaya başlayan piezoelektrik malzemeleri ikinci dünya savaşında dramatik bir şekilde istihdamı artmıştır (Katzir, 2012). Belirli malzemelerin uygulanan mekanik baskıya reaksiyon olarak elektrik yükü üretme kabiliyeti Piezoelektrik denir (Holler,F.James;Skoog, Douglas A. & Crouch, Stanley R., 2006). Piezoelektrik işlemi de geri dönüşümlüdür, buna binaen bu malzemelere bir elektrik akımı uygulanırsa şeklini biraz olsa da değişmektedir (Josef Krautkramer, Herbert Krautkramer, 1990).

Piezoelektrik kelimesi sıkmak veya bastırmak anlamına gelen Yunanca "piezein" kelimesinden gelmektedir (Friend J. , Yeo L., 2008). Sonar ve Sensör gibi farklı alanlarda sık sık kullanılan piezoelektrik materyalleri 1880 yılında kuvars kristali üzerine analiz yapan Fransız fizikçiler Pierre Curie ve Jacques Curie kardeşler tarafından keşfedilmiştir (Jacques Curie, Pierre Curie, 1880). 1881 yılında tersine, uygulanan bir elektrik akımı ile orantılı bir gerilme gösteren piezoelektrik malzemeleri Gabriel Lippmann tarafından keşfedilmiştir (Lippmann, 1881).

1794'te Alessandro Volta, demir bir çubuğu u şeklinde oluşturduğu deneyler yaptı. Çubuğun bir ucu kaynar suya batırılarak ısıtıldı. Dengesiz bir şekilde ısıtılan çubuk artık yaşamayan bir kurbağa bacağına elektriksel olarak bağlandığında, kurbağa bacağından bir akım geçirildi ve kaslar kasılır. Bunun Seebeck etkisinin ilk kanıtı olduğuna inanılıyor. (Pastorino, 2009)

2. GENEL KISIMLAR

Piezoelektrik ve Termoelektrik jeneratörü ile alakalı farklı sektörlerde sıklıkla kullanılmaktadır (Jones,D. J., et al., 1996). Bununla ilgili literatürde oldukça çalışma bulunmaktadır.

2.1. PİEZOELEKTRİK MALZEMELER

Günümüzde piezoelektrik materyaller sadece doğalda bulunan bir malzeme değil fakat suni voltaj oluşturabilen çeşitli piezoelektrik malzemeler bulunmaktadır. Kristaller, kemik, bazı seramikler (Bernard Jaffe, william R Cook, Hans Ludwig Jaffe, 1971), emaye, ipek ve dentin (diş kemiği) gibi Doğalda oluşan piezoelektrik malzemelerdir. Sentetik kristaller, Zirkon, Titanat ve kurşundan yapılan PZT ve Baryum Titanat bir araya getiren BT gibi Sentetik seramik suni Piezoelektrik materyallerdir. (Piezoelectricity, 2019)



Şekil 2.1 Piezoelektrik malzemeler çeşitleri (Kiran Kumar Sappati and Sharmistha Bhadra, 2018)

Kristaller: silikon ve oksijen atomlarından oluşan sert ve kristalli, magmada kristalleşen dünyada bol miktarda bulunan bir mineraldir. Oksijen atomu iki üçgen piramit paylaşılarak silikon-oksijen üçgen piramitleri birbirine bağlanıp SiO4 oluşturulmaktadır. (Robert S. Anderson, Suzanne P. Anderson, 2010)



Şekil 2.2: Kuvars kristal yığını (Harrison, 2019)

Bu çalışmada yüksek yüklerde daha istikrarlı, birçok piezoelektrik malzemelerden daha yüksek voltaj üreten, en yaygın piezoelektrik materyallerden biri olan PZT4 (kurşun zirkonat titanat) kullanılmıştır.

2.2. TERMOELEKTRİK MALZEMELER

Termoelektrik jeneratörler için yaygın olarak üç malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemeler bizmut (Bi_2Te_3) tellürid, kurşun tellürid (PbTe) ve Silikon germanyumdur (SiGe) (Yu Xiao, Li-Dong Zhao, 2018) (Thermoelectric products engineering special components operations electronic components rca, 1969) (Duck Young Chung; Hogan, T; Schindler, J; lordarridis, L; Brazis, P; Kannewuf, C.R; Baoxing Chen; Uher, C; Kanatzidis, M.G, 1997). Hangi malzemenin kullanılacağı, ısı kaynağı, soğuk havuz ve termoelektrik jeneratörün tasarımına bağlıdır. En iyi verim elde etmek için yüksek

elektriksel iletkenlik ve düşük ısıl iletkenlik özelliklere sahip malzemeler kullanılmalıdır. Bu çalışmada ise Bi_2Te_3 Termoelektrik malzemesi kullanılmıştır.

- Genelde termoelektrik modülü, uçlarında birleştirilmiş iki farklı termoelektrik malzemeden oluşmaktadır: bir n-tipi (negatif yük taşıyıcılı) ve bir p-tipi (pozitif yük taşıyıcılı) yarı iletkendir. Malzemelerin uçları arasında sıcaklık farkı olduğunda devrede doğru elektrik akımı akmaktadır.
- Termoelektrik jeneratörler, uzun süre bakım veya yakıt gerektirmeyen, güvenlilik konusunda üst düzey olan, hareketli parçaları olmayan, soğutmak için herhangi bir sıvı ihtiyaç duymayan bir cihaz olması çok büyük bir önem taşımaktadır.

(Starner, 1996) Yaptığı çalışmada, Yaklaşık 116 cm^2'lik bir ayak izine sahip bir kadının ayakkabısının ucuna piezoelektrik parçası konulmuştur. Bir insanın ayağının ucunda uygulanan maksimum etkili gücün, görünen kütleyi yüzde 30 arttırdığını işaret etmiştir. Yürürken ayakkabının doğal esnemesi ile piezoelektrik plakasından güç üretmek için gerekli bükülmeyi sağlamaktadır. İnsanın Piezoelektrik plakasını tam 5 cm bükülmek için sadece 52 kg kütleye ihtiyacı olduğunu belirtmiştir. Çalışmadaki değerler, uygun şekilde şekillendirilmiş bir piezoelektrik parçanın üretebileceği güç miktarını yaklaşık olarak belirlemek için kullanıldığını ifade etmiştir. Böylece, 1,5 W'da saniyede 0,6 bükülmenin saniyede iki adımla ölçeklendirerek 5W elektrik gücü 52 kg insan tarafından tempolu bir yürüyüş hızında üretilebildiğini göstermiştir.

(XU, YANG, ZHOU, & LIU, 2013) yaptıkları çalışmada, taşınabilir elektronik cihazlara güç sağlamayı amaçlayan, insan ayakkabısı tabanı ile toprak arasında bir termoelektrik jeneratörü (TEG) katmanlar oluşturarak termal enerjiyi insan vücudundan toplamayı başarmıştır. Enerji depolama cihazlarıyla çok sayıda mikro-elektronik cihazı çalıştırmak için 273 K düşük sıcaklıkta bir zeminde TEG vasıtasıyla maksimum 3.99 mW sabit çıkış gücü elde edilebildiğini göstermiştir. Ayrıca TEG çalışma performansını etkileyen faktörleri sistematik olarak netleştirmek için parametrik simülasyonlar yapılabildiğini belirtmiştir. Bir yetişkin kadın (Boyu 160 cm, ağırlık 55 kg) ayakkabısının ucuna (54 mm * 54 mm * 3,9 mm) Boyutlu termoelektrik modülü konulmuştur. Zemin sıcaklığı 293 K (19.85°C) olarak ölçülmüştür. Üretilen enerji veri toplama sistemiyle ölçülmüştür. Test kullanıldığında 142 s'lik bir sürede, maksimum sıcaklık farkı 1.96 K ve voltaj

çıkışı 151.73 mV idi. ısıl denge sabitlenmesiyle, TEG'deki sıcaklık farkı 1,24K'da kademeli olarak sabit hale gelince 93,50 mV voltaj çıkışı sağlamıştır. Teorik maksimum çıkış gücünü ölçmek için TEG modülüne 20 Ω direnç bağlanmıştır. Nihai sıcaklık farkı ve voltaj çıkışı yaklaşık 0,97 K ve 37,12 mV olarak ortaya çıkarak sonuç olarak güç çıkışı yaklaşık 0,07 mW idi.

Literatürden farklı olarak, bu yüksek lisans çalışmasında; hem piezoelektrik malzemesi hem de termoelektrik malzemesiyle enerji sağlayan katmanlı bir koltuk tasarlanmıştır. Bu amaçla koltuğun ürettiği çevre dostu enerjisiyle oturana ihtiyaç duydu enerjiyi kullanabilmektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Gerçekleştirilen bu tezde öncelikle bilgisayar destekli tasarım yardımıyla hibrit katmanlı elektrik üreten bir koltuk tasarlanmıştır. İlk olarak Termoelektrik katmanı konup ardından Piezoelektrik katmanı eklenmiştir. Tasarlanan koltuk tek kişilik yetişkin bir insan için standart ölçülerle dizeyin edilmiştir.

Aşağıdaki başlıklarda iki farklı tasarım yapılarak parçaların çizimleri ve analiz aşamaları, aynı zamanda elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak verilmiştir.

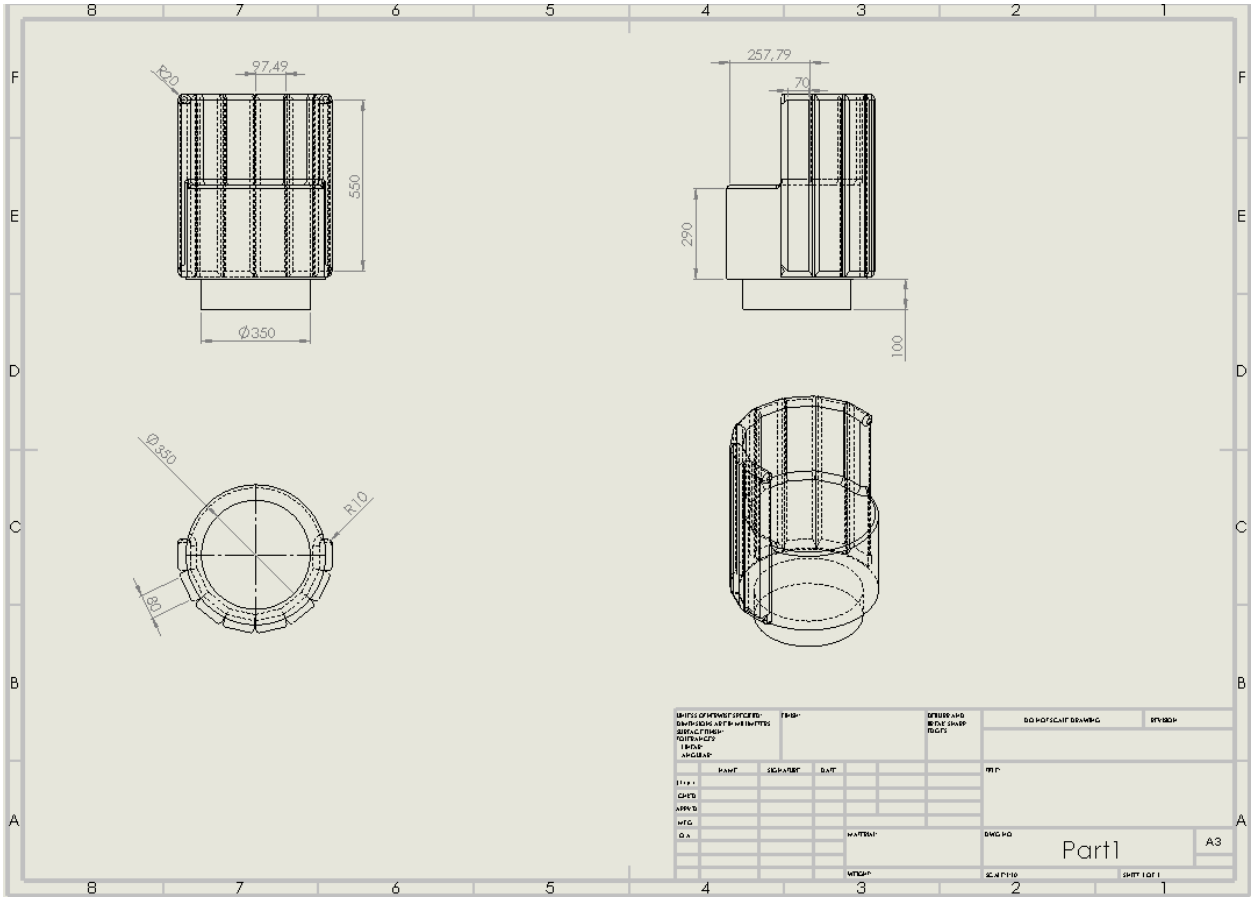
İlk olarak oturan kişinin vücut ısısı en etkili bir şekilde iletilmesi için TEG tabakasını konulması gerektiğini düşünülmüştür. Bu sayede vücudun sıcaklığı ara parça olmadan direk transfer edilmektedir. İkinci katman ise Piezoelektrik PZT4 tabakası olacaktır. Koltuğa oturan kişinin vücut ağırlığıyla iyi bir basınç kuvveti oluşturacaktır.

3.1. BİRİNCİ TASARIMIN MODELLENMESİ VE ANALİZLERİ

Bu çalışmadaki birinci tasarımı gerçekleştirmek için Solidworks bilgisayar destekli tasarım programı kullanılmıştır. Tasarım çeşitli adımlarla çizimler gerçekleştirilmiştir. Modülün analizlerini sağlamak için Comsol programı kullanılmıştır.

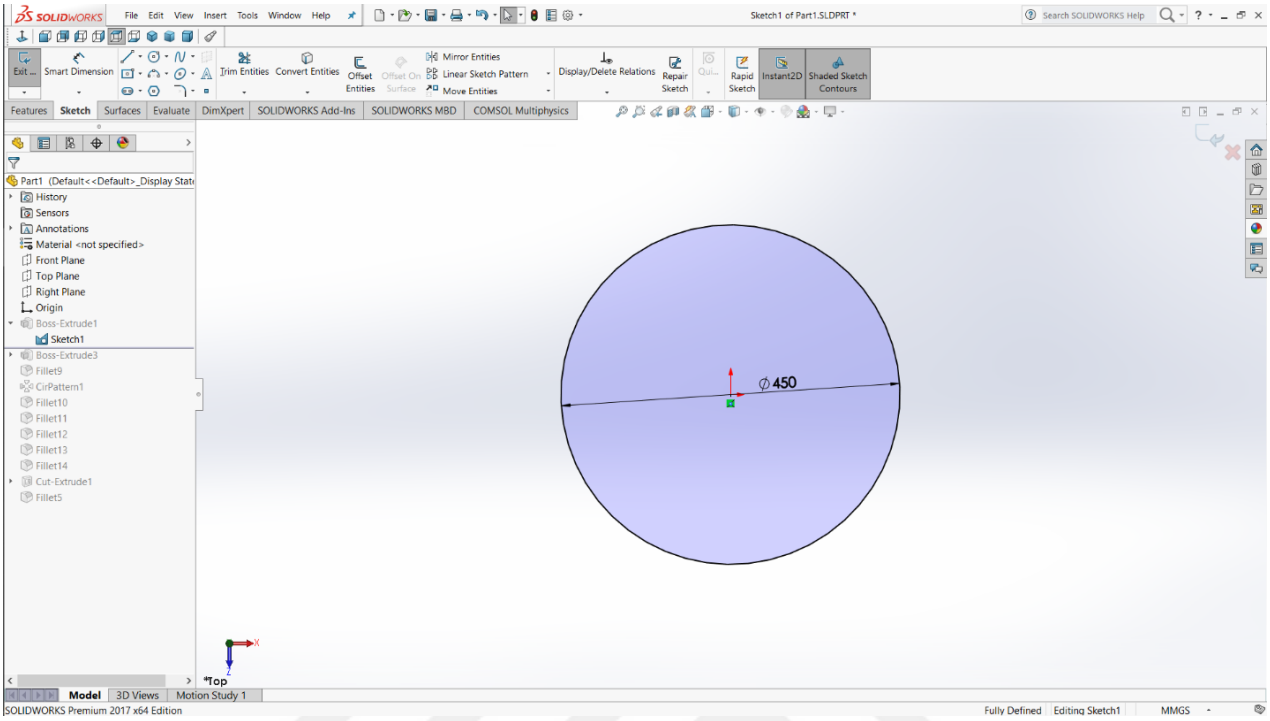
1. Birinci Tasarım

Bu tasarımda silindir şeklinde ortalama bir yetişkin için tasarlanmıştır. Aşağıdaki adımlar ile tasarım gerçekleştirilmiştir.



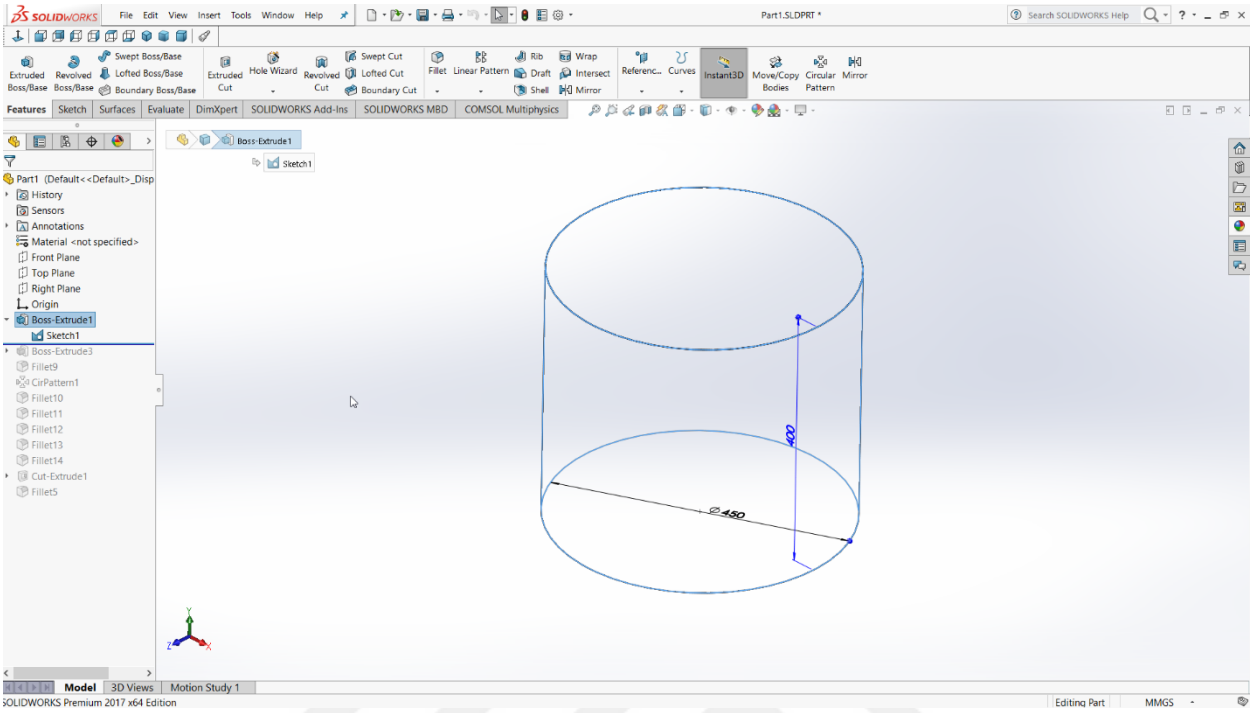
Şekil 3.1 Birinci tasarımın teknik resmi

Bu teknik resminde birinci tasarımın gereken ölçümler ve üç boyutlu resmini görebiliriz.



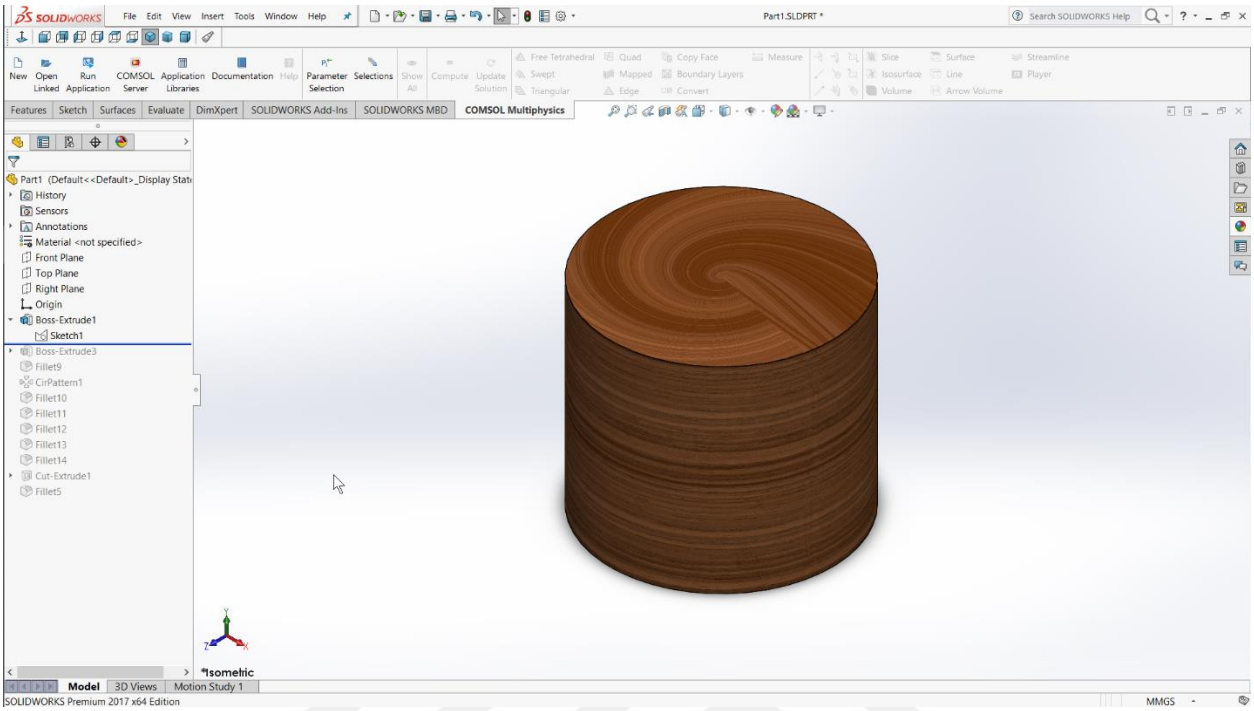
Şekil 3.2 İki boyutlu gövde çizimi

Bilgisayar yardımıyla bu modülü tasarlayabilmek için ilk olarak Solidworks'ta bulunan Parça bölümü girerek üst yüzünü seçtikten sonra koltuğun temel iki boyutlu çizimi gerçekleştirilmiştir. Tasarımın birinci adım olarak 45cm çapında bir daire çizilmiştir.



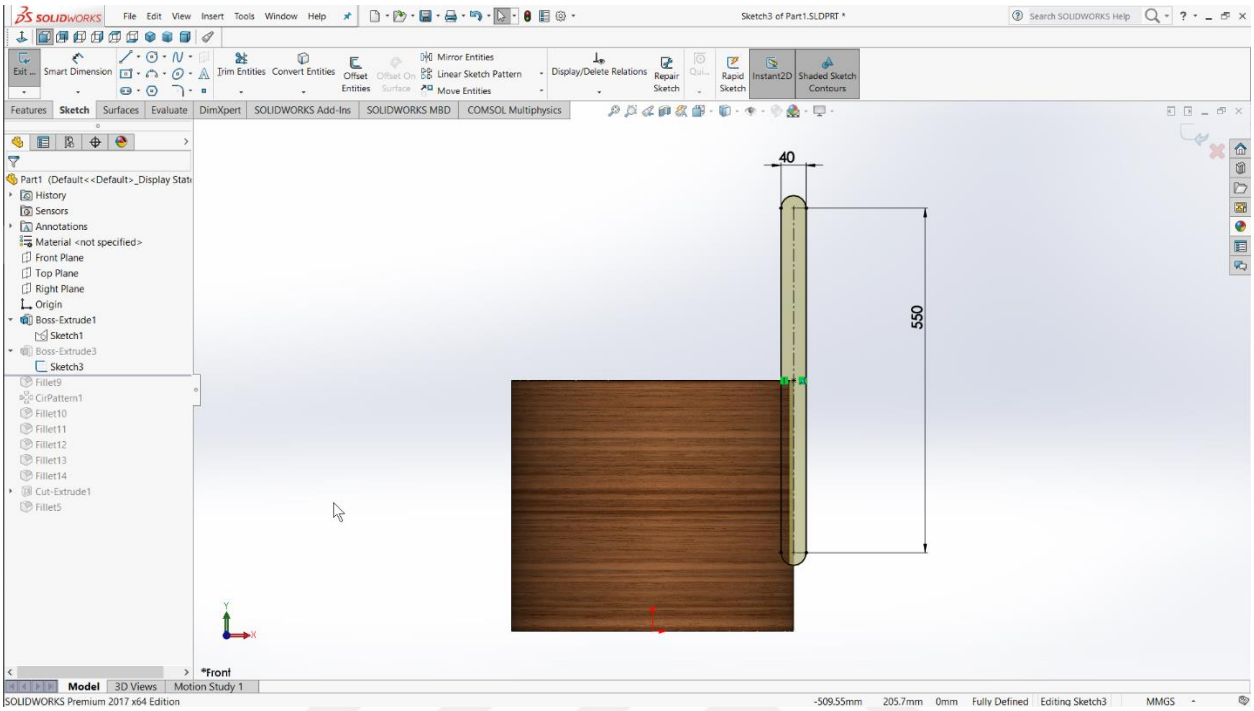
Şekil 3.3 Üç boyutlu gövde çizimi

İki boyutlu çizimden 3 boyutlu şekle geçmek için “Feature” menüsünden “Extrude” seçeneği tıklayarak parçanın yönü ve yüksekliği 40cm olarak belirtildikten sonra bu adımla sonlandırılmıştır. Bu sayede aşağıdaki şekil 5 gibi koltuğun gövdesi tasarlınmış olur.



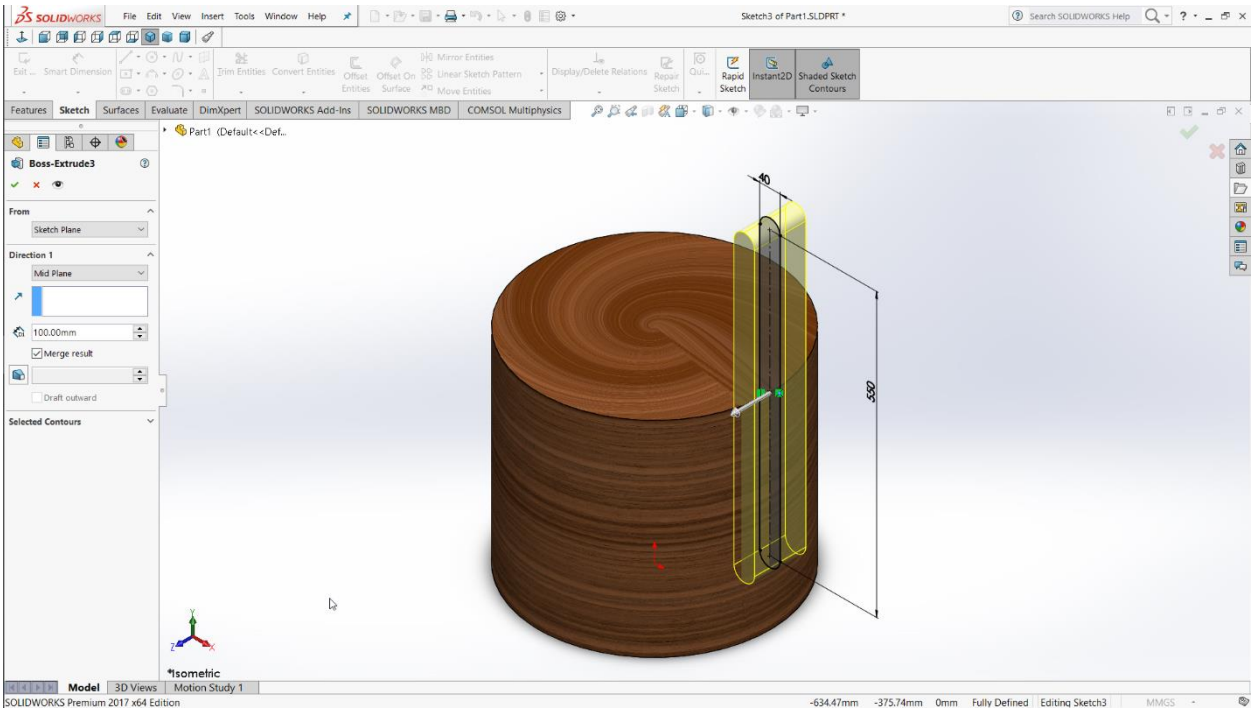
Şekil 3.4 gövde tasarımı

Bu gövdenin üzerine TEG parçası sonrası PZT4 malzemesi konulup estetik şekli alması için ahşap rengi ile boyatılmıştır.



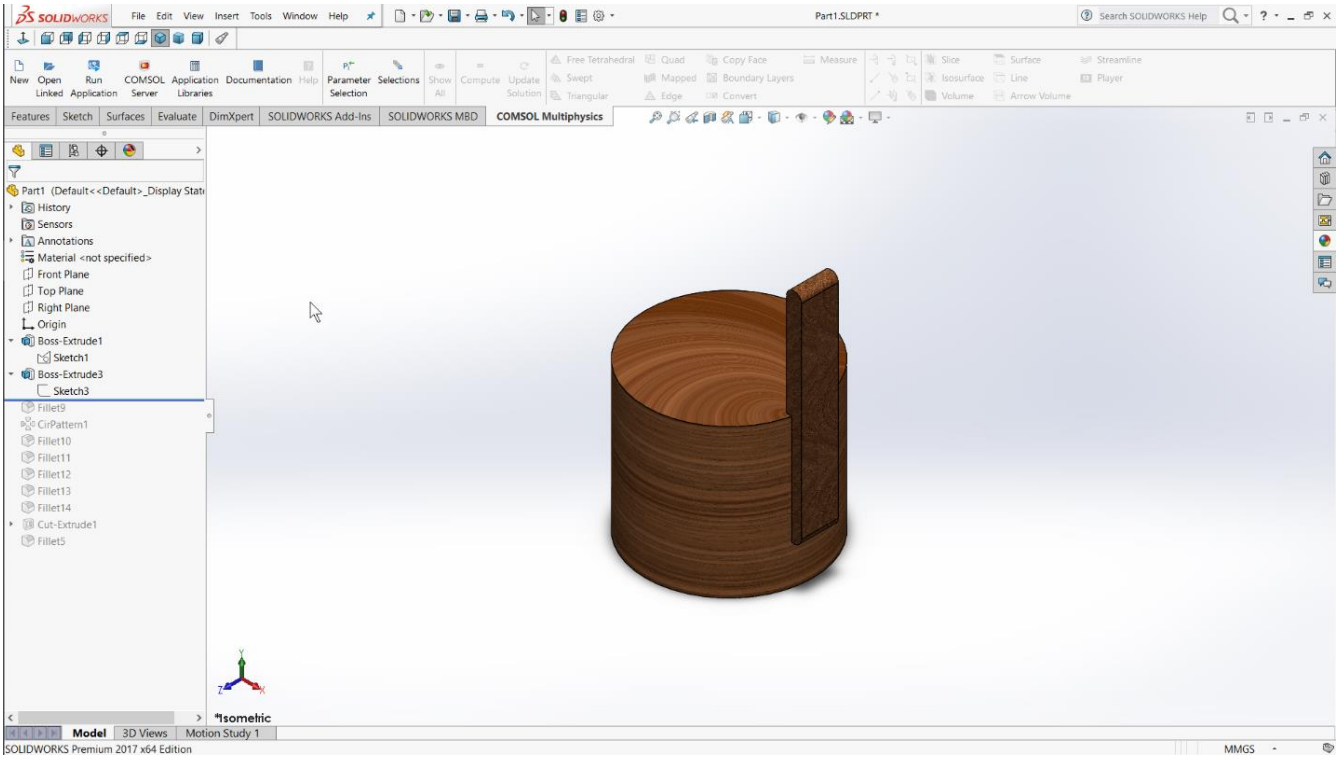
Şekil 3.5 İki boyutlu koltuk sırt kısmı çizimi

Bu aşamada genişlik 4 cm uzunluk 55 cm olarak bir sırtlık iki boyutlu çizilmiştir.



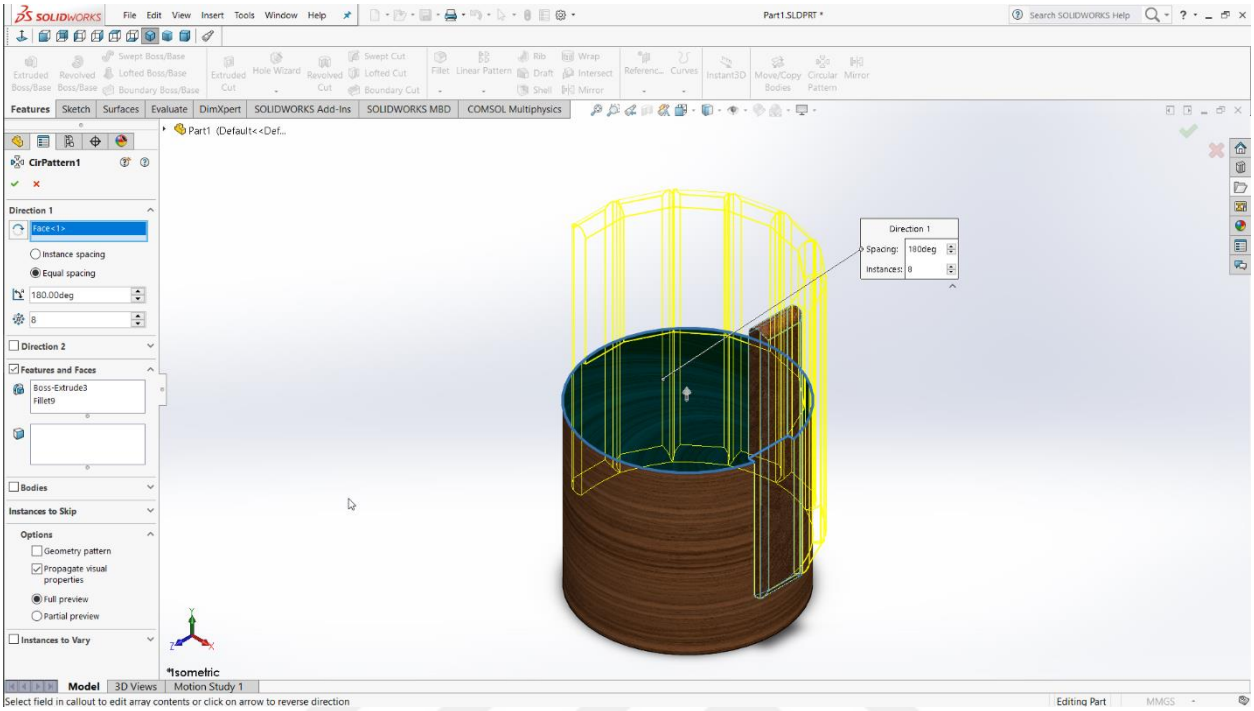
Şekil 3.6 Üç boyutlu sırtlık çizimi

İki boyutlu resminden 3 boyutluya geçmek için daha önce gövde kısmında yapıldığı gibi parçanın yönü ve kalınlığı 10 cm olarak belirlenmesini müteakip sırtlık temeli kurulmuş olur. Böylelikle sırtlık ve kolçak tamamlanmış olur.



Şekil 3.7 Koltuk sırtlığı

Gövde kenarının ortasında tasarlanan sırtlığın temeli yukarıdaki gibi gösterilmektedir. Bu parçanın sayasından kalan sırtlık ve kolçak parçalarının çizilmesine imkânı sağlamaktadır.



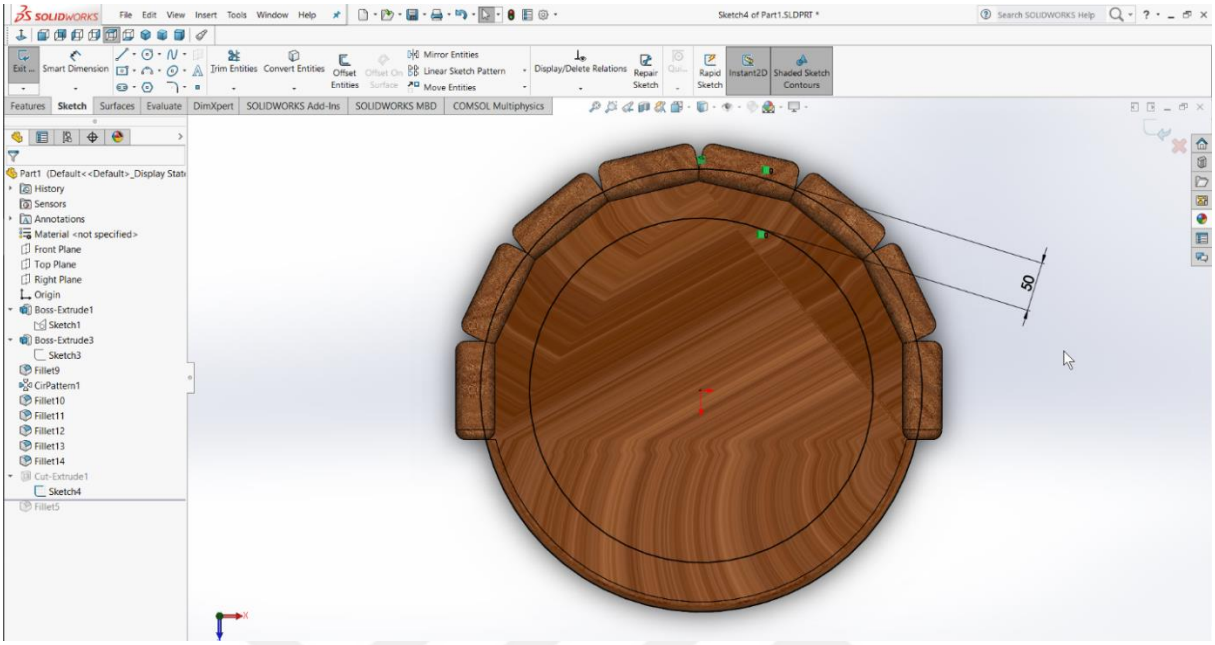
Şekil 3.8 Sırtlık ve kolçak tasarımı

Bir önceki adımdan oluşan temelden 180 derece 8 adet olarak çoğaltarak koltuğun sırt kısmı çizilmiş olur.



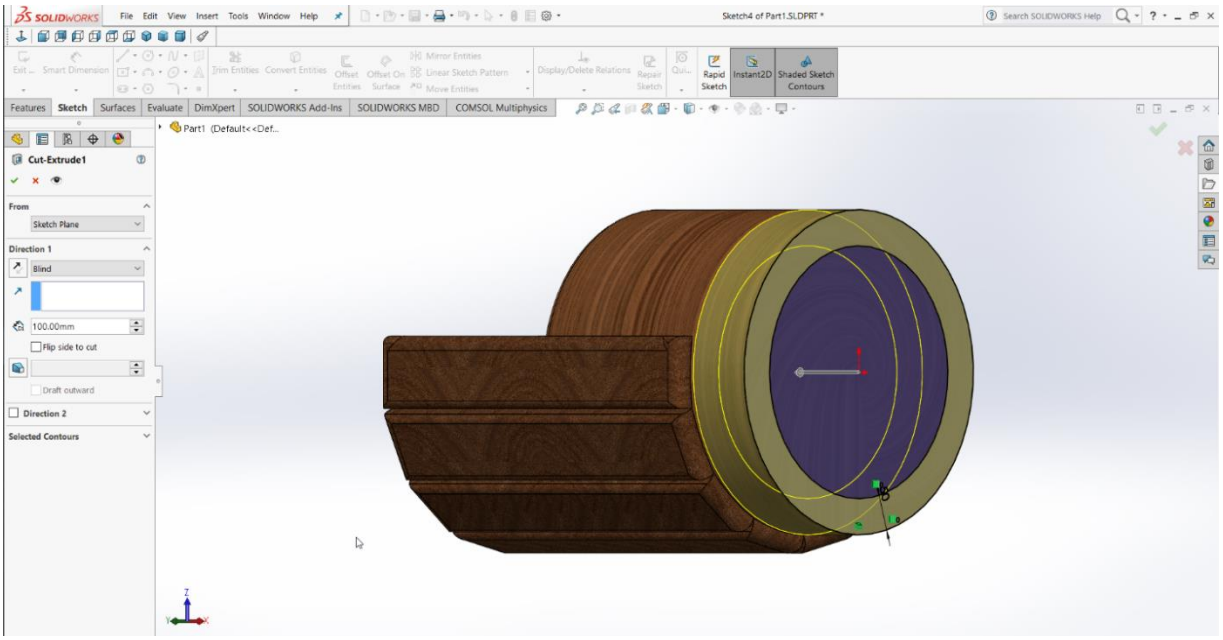
Şekil 3.9 Sırt kısmı tümü

Yukarıda bulunan şekilde tamamlanan koltuğun sırt kısmı oluşturulmuştur.



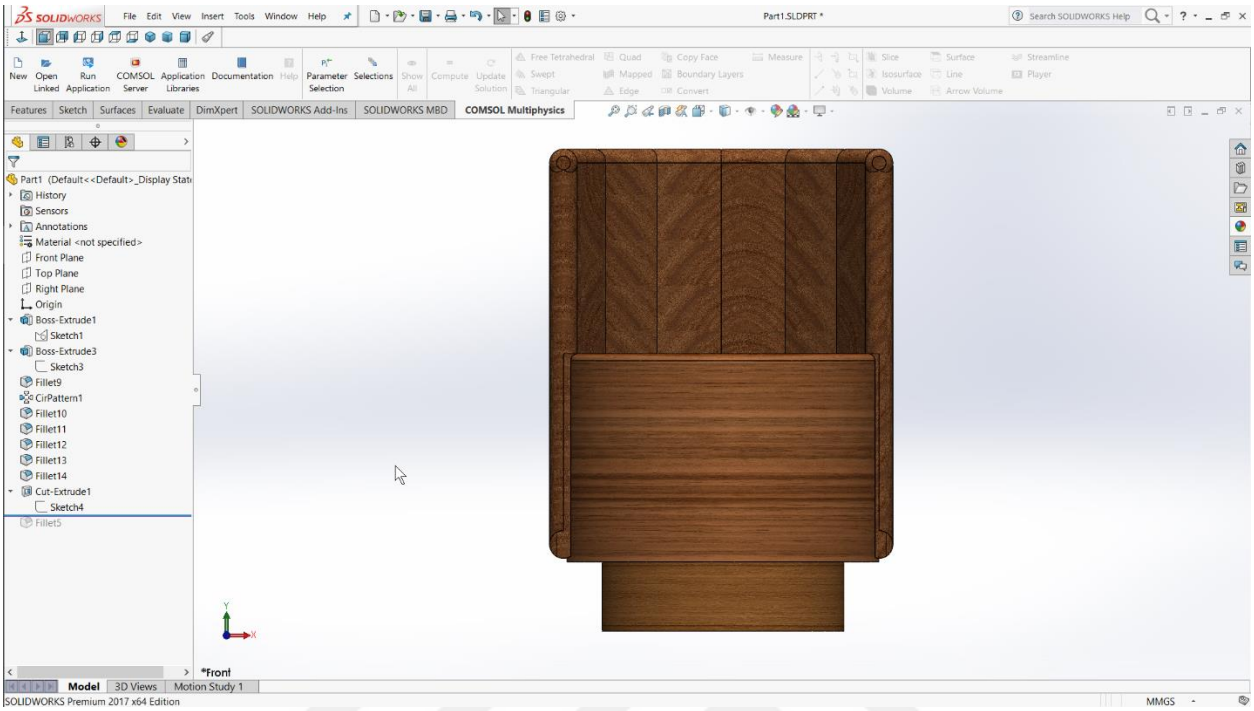
Şekil 3.10 Gövde kısmı şekillendirilmesi

Koltuğun gövdesinin çerçevesinde 5 cm Kesilmek üzere iki boyutlu bir halka çizilmiştir.



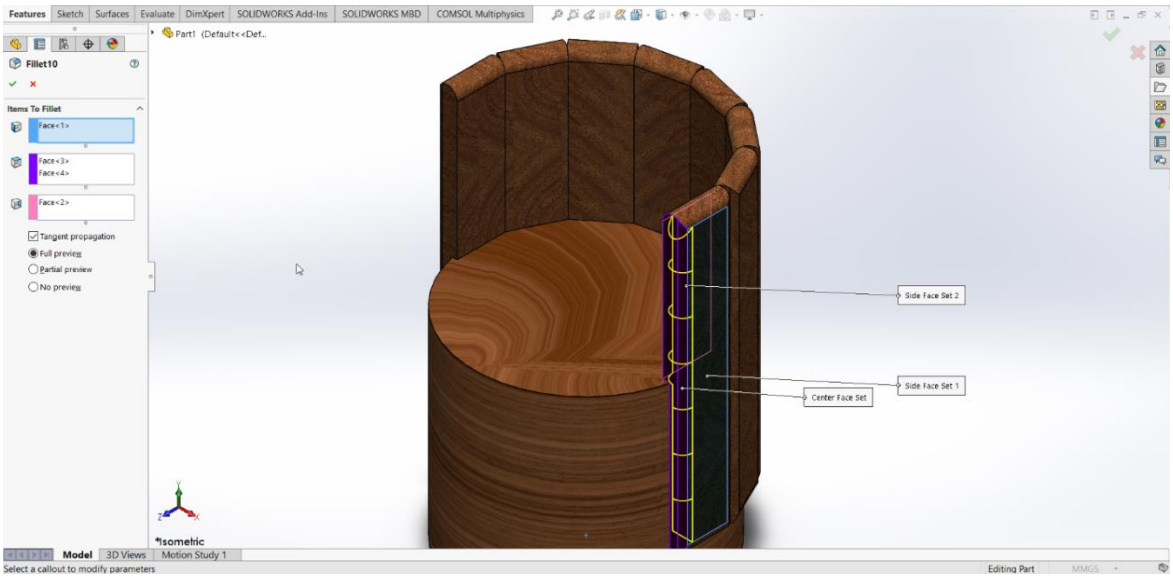
Şekil 3.11 Gövde İnceltilmesi

İki boyuttan üç boyuta geçmek üzere “Extrude-Cut” kullanarak 10 cm yükseklik belirtildikten sonra işlem tamamlanmaktadır.



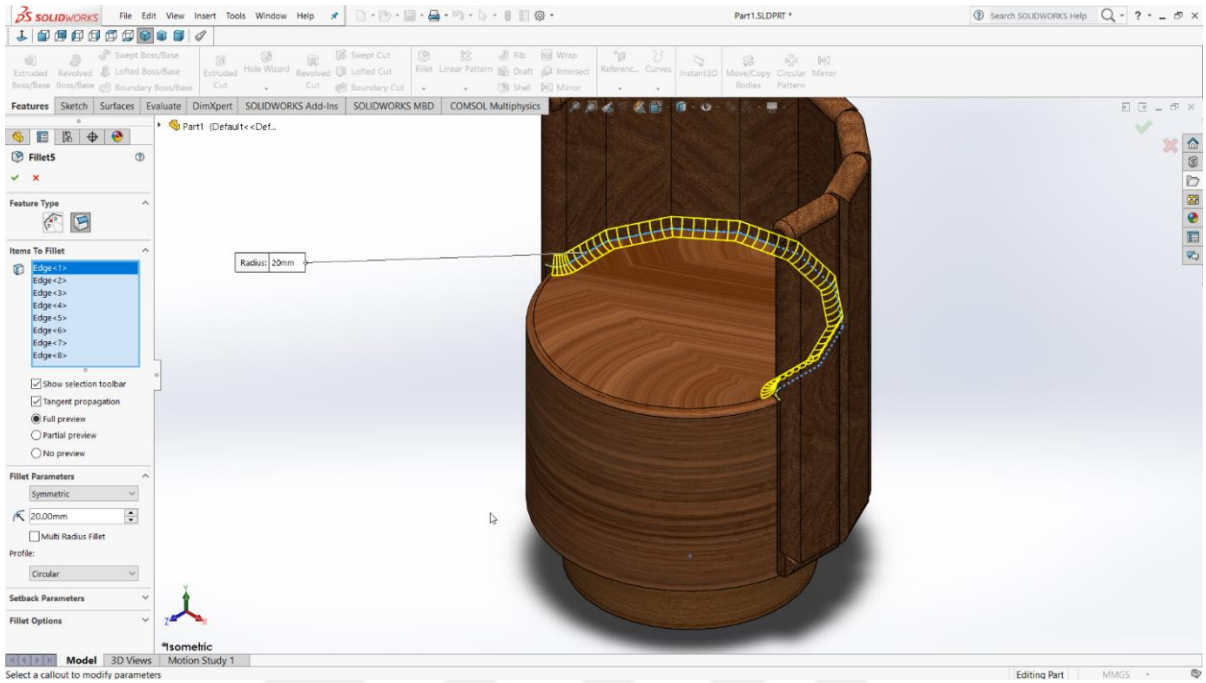
Şekil 3.12 Kesilmiş gövde ön görünümü

Üç boyutlu kesim işlemi yapıldıktan sonra ön görünüm gösterilmiştir.



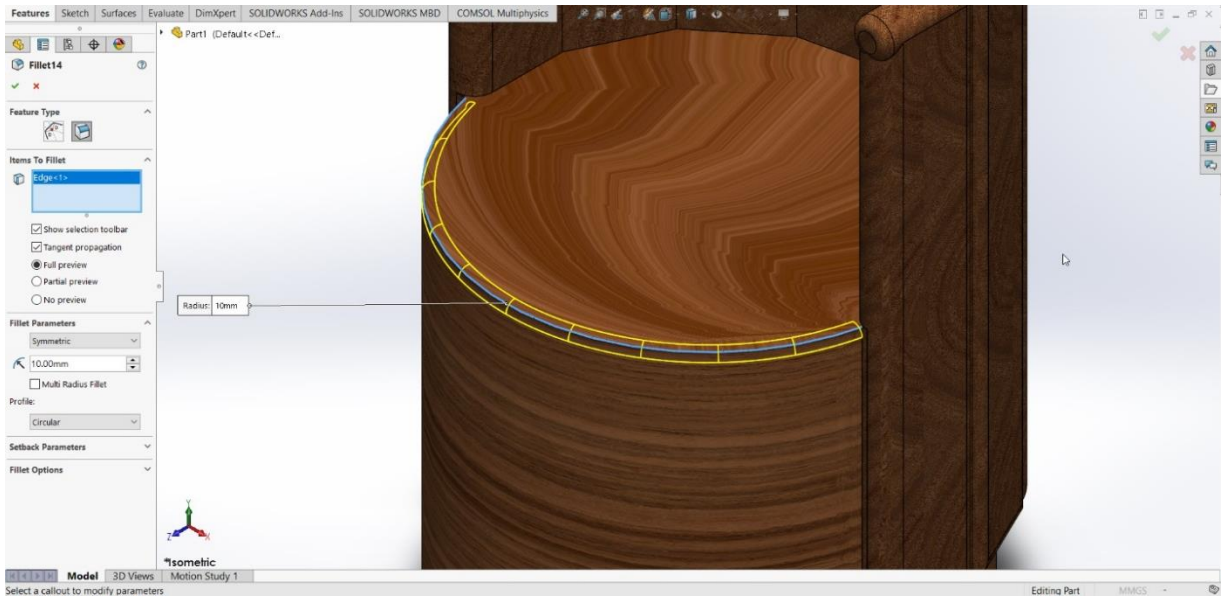
Şekil 3.13 Sivri pürüzler yumuşatılması

Kolçağın sivri etraflarını yok etmek için “Fillet” komutunu kullanarak kavisli şekil verilmiştir.



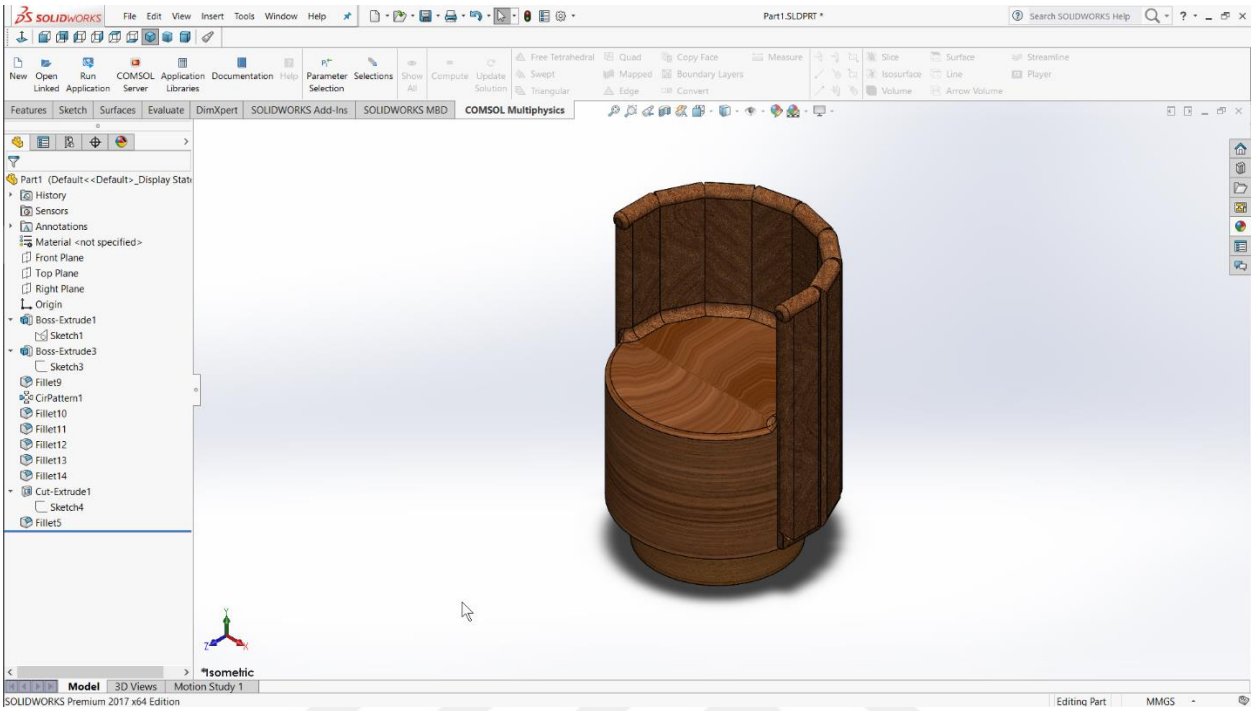
Şekil 3.14 Oturak Arka kısmı yumuşatılması

Aynı şekilde oturak arka kısmı için sivri yerleri alınması için kenarlar 20mm olarak yarıçap kesilmiştir.



Şekil 3.15 Oturak ön Kısımı yumuşatılması

Oturak ön kısmı sivri yerleri giderilmesi için kenarlar10mm olarak düzeltilmiştir



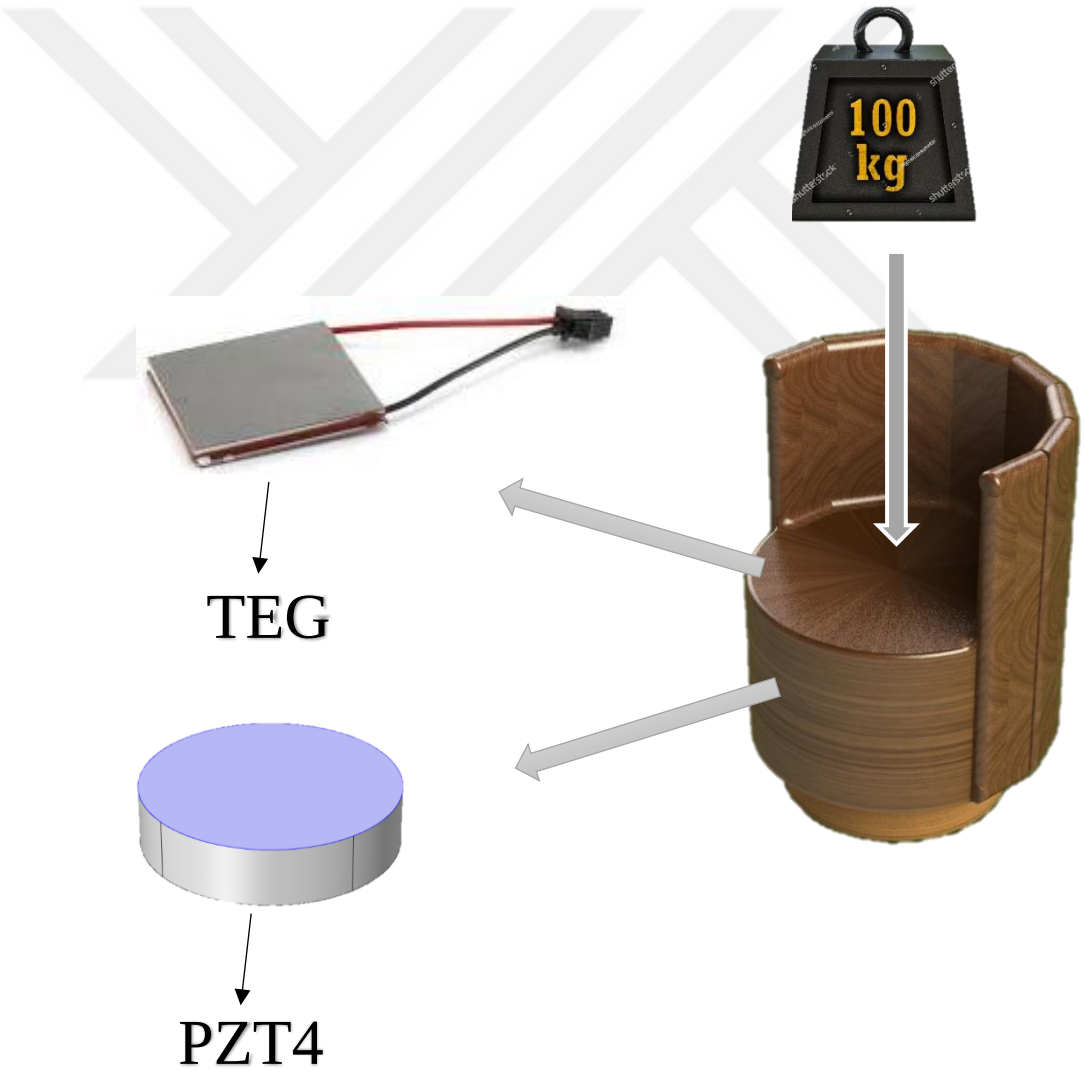
Şekil 3.17 Nihai tasarım



Şekil 3.16 Koltuk görünümü

2. Birinci Tasarım Analizleri

Gerçek enerji üretim kabiliyetini değerlendirmek için, Şekil 18'de gösterildiği gibi deneysel platform kurulması gerekmektedir. Aşağıdaki görseldeki gibi 100 kg ağırlıkta bir kişi için hem termoelektrik enerjisinden hem de piezoelektrik enerjisinden faydalanarak bir karışım enerjisi elde etmeye hedeflenmektedir. Koltuğun gövde kısmında bulunan en üst düzey TEG jeneratörü konulacaktır ardından ise kişinin ağırlığından faydalanmak PZT4 tabakası konulmuştur.



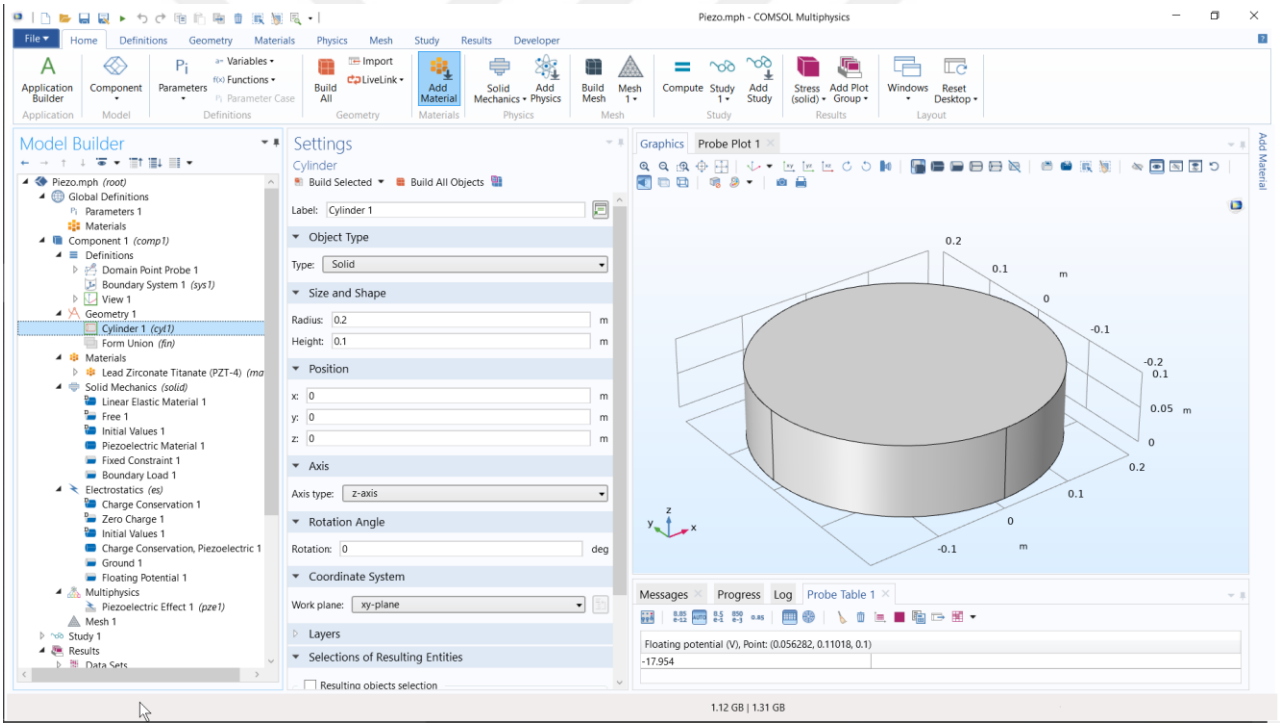
Şekil 3.18 Kavramsal deney krokisi

a) Piezoelektrik Jeneratöründen Elde Edilen Enerji

Piezoelektrik jeneratörünün analizleri COMSOL MULTİPHYSİCS programı vasıtasıyla üretilecek voltaj hesaplanmıştır.

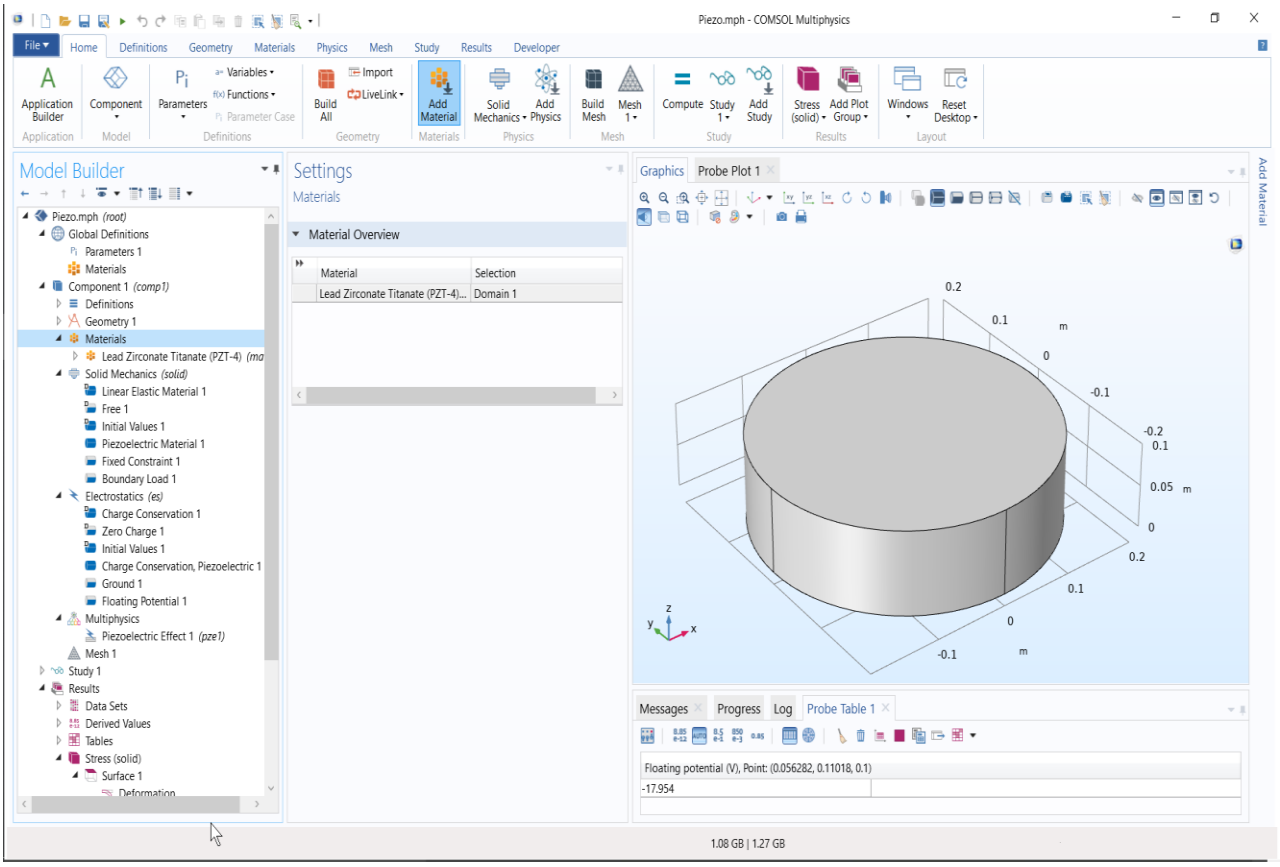
Analizler, COMSOL MULTİPHYSİCS'un Model Wizard, 3D Piezoelektrik cihazların sabit çalışma ortamımdadır, alan değişkenleri zaman içinde değişmediğinde kullanılmaktadır.

Verimli bir tasarım elde edilmesi ve termoelektrik jeneratörün ağırlığından faydalanmak için Piezoelektrik malzemesi, termoelektrik jeneratörün altına yerleştirilmiştir.



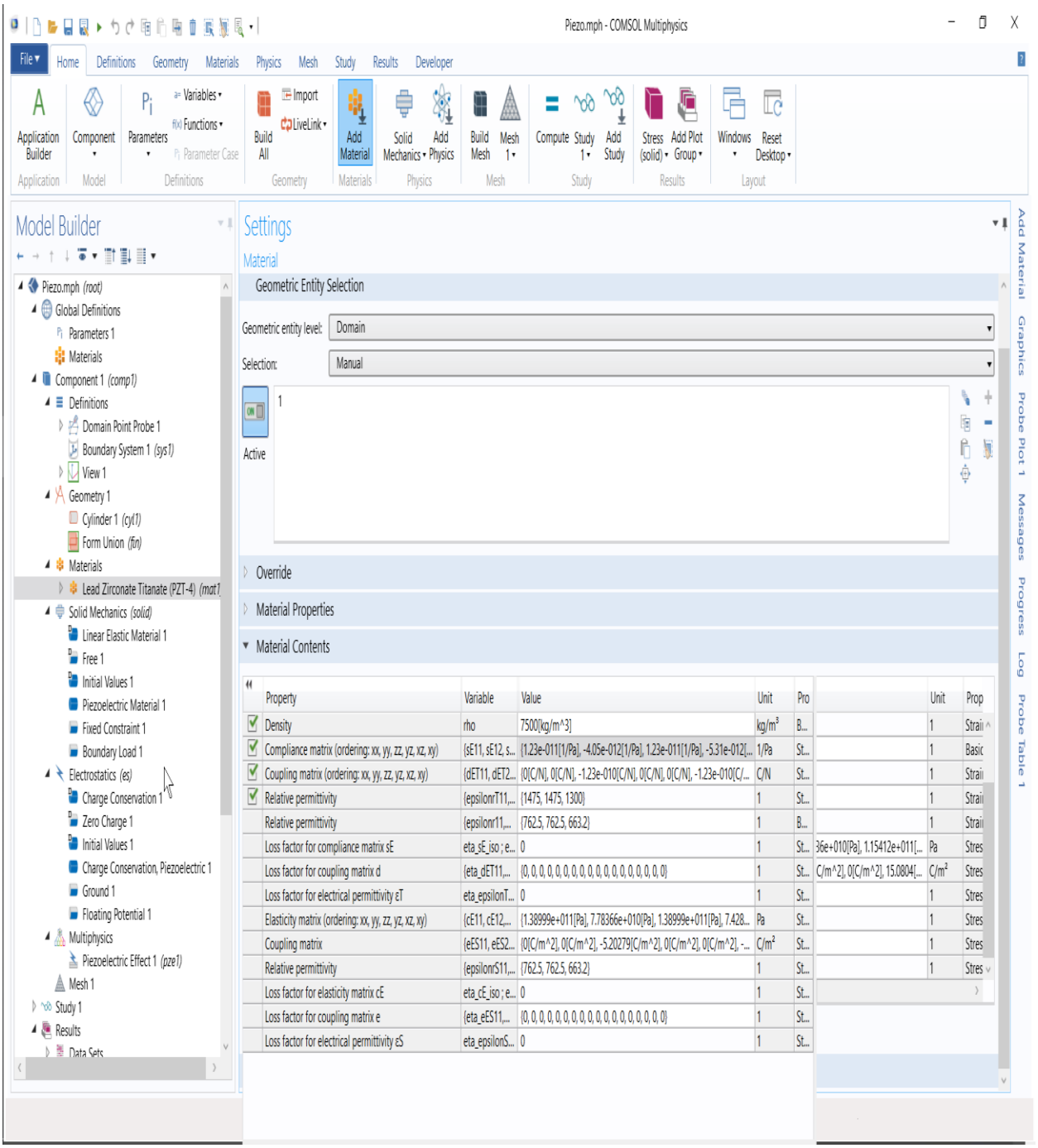
Şekil 3.19 Piezoelektrik malzemesinin ebatları

Piezoelektrik malzemesi silindir şeklinde tasarlanıp ebatları yarıçapı 0,2 (m) ve yükseklik 0,1 (m) olarak tasarlanmıştır.



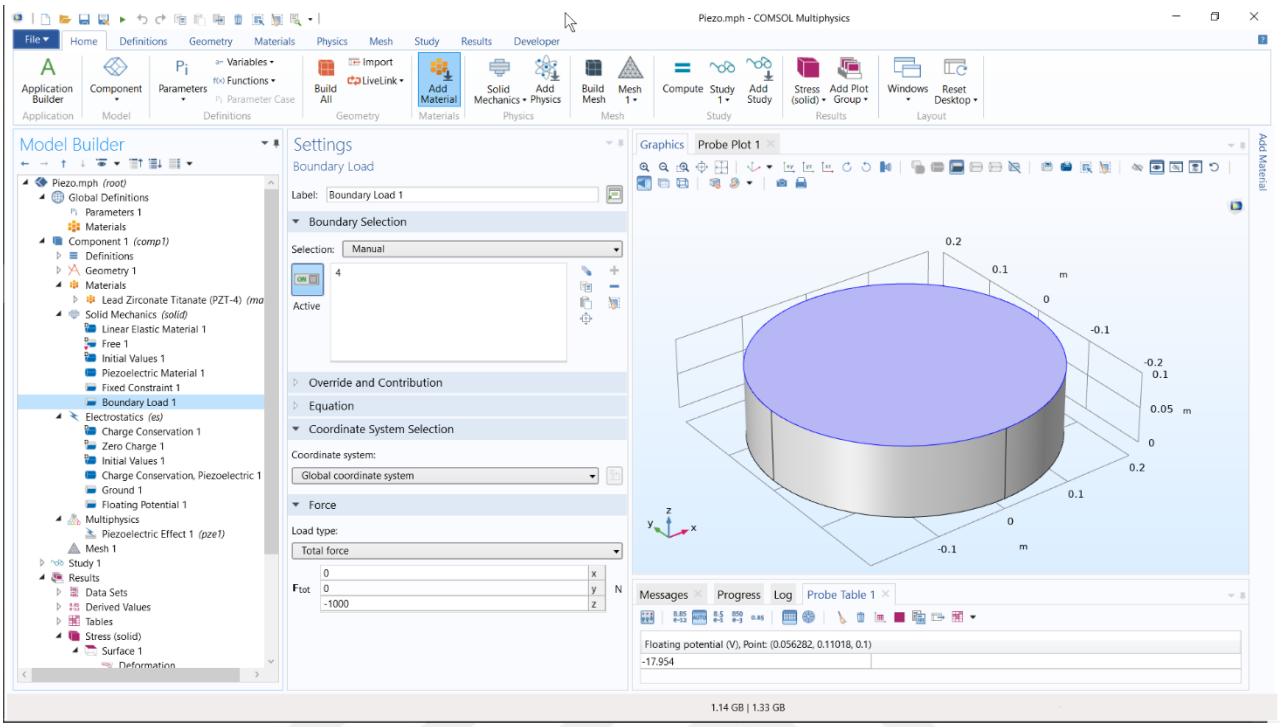
Şekil 3.20 Kullanılan malzeme PZT 4

COMSOL MULTİPHYSİCS programı birden fazla Piezoelektrik malzemesi sunmaktadır. Bu çalışmada PZT 4 (Zirkon, Titanat ve kurşundan) materyali seçilmiştir.



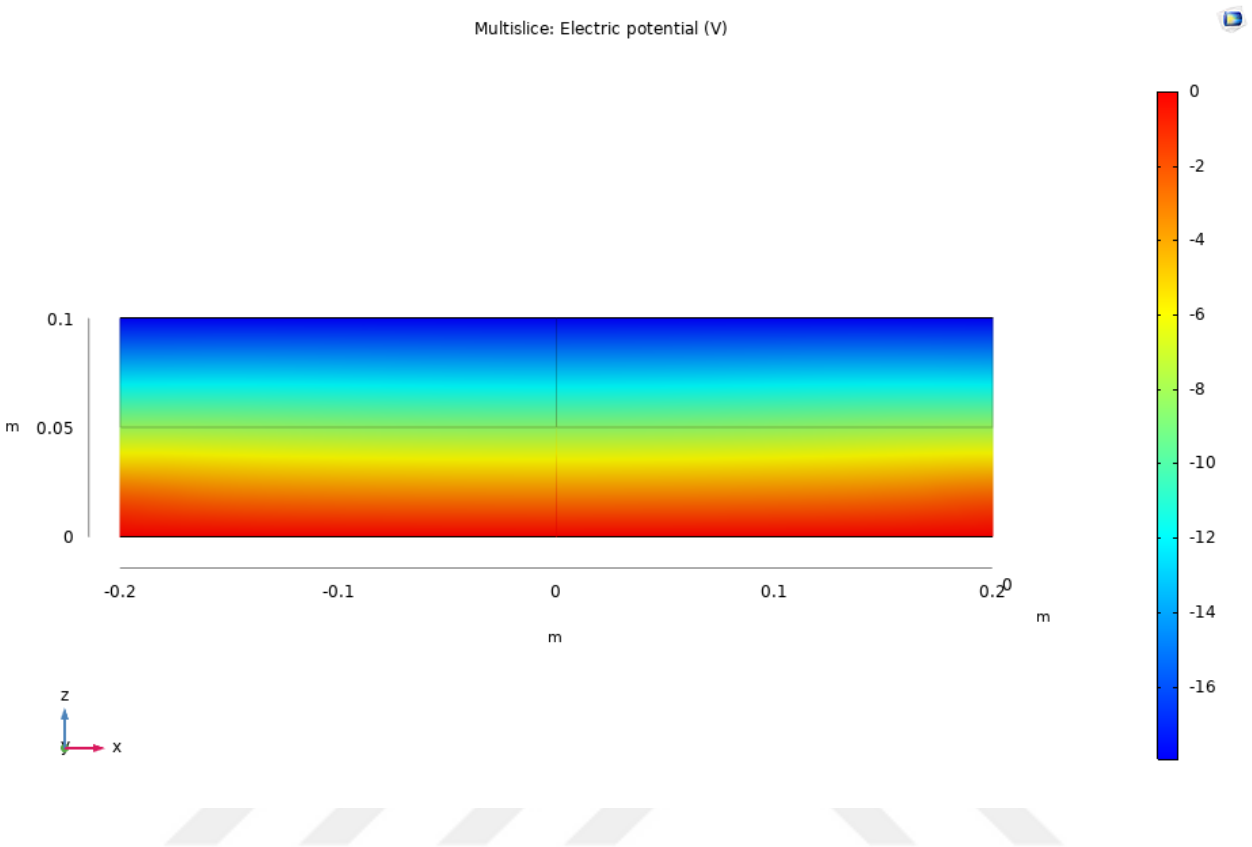
Şekil 3.21 PZT 4 materyal özelikleri

Yukarıdaki tabloda COMSOL MULTİPHYSİCS yazılımda Malzeme Kısımında yer alan liste Şekil 21'te PZT 4 (Zirkon, Titanat ve kurşundan) malzeme özelikleri göstermektedir.



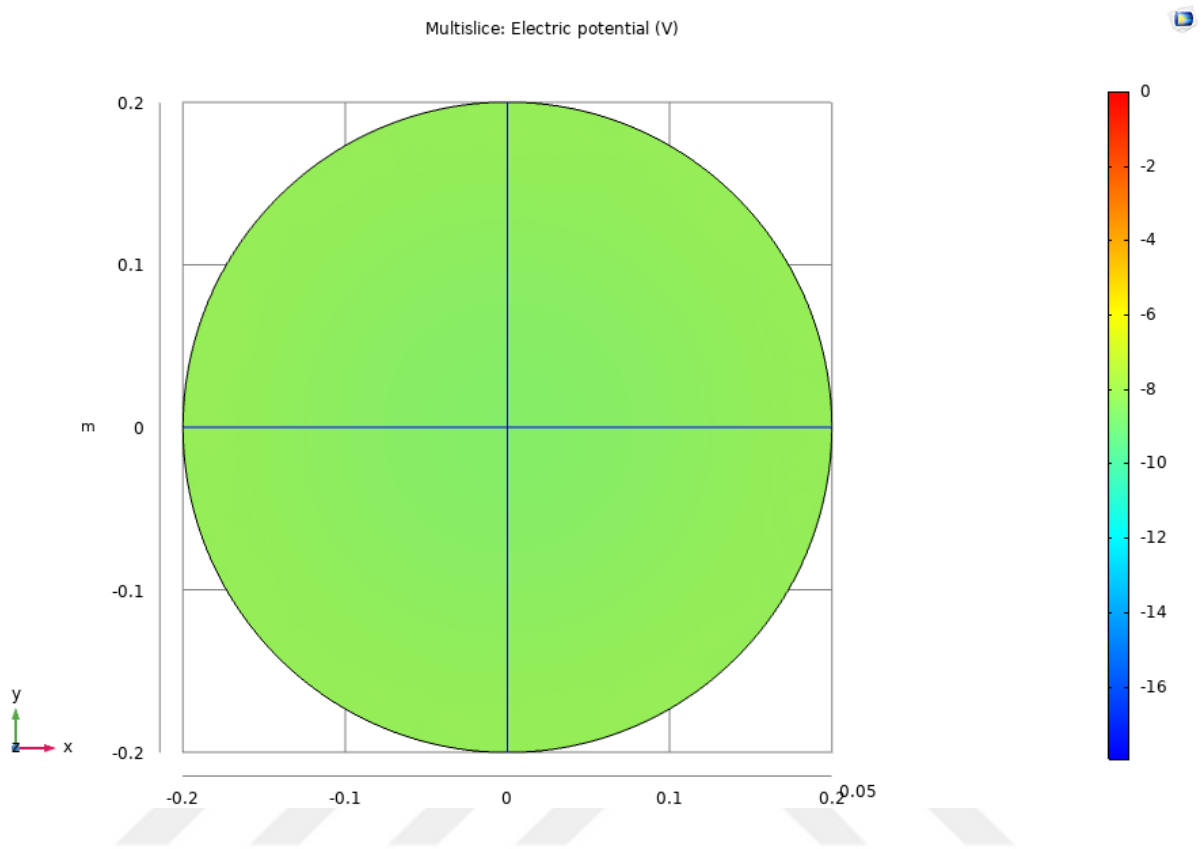
Şekil 3.22 Uygulanan kuvvet

Üst yüzeyin üzerine Z eksende uygulanan Toplam kuvvet 1000 (Pa) olarak seçilmiştir. COMSOL MULTİPHYSİCS uygulanan kuvvet eşit şekilde tüm yüzeye dağıtmaktadır. Gerçek hayatta ise yüzeyin belirli kısımında uygulanmaktadır.



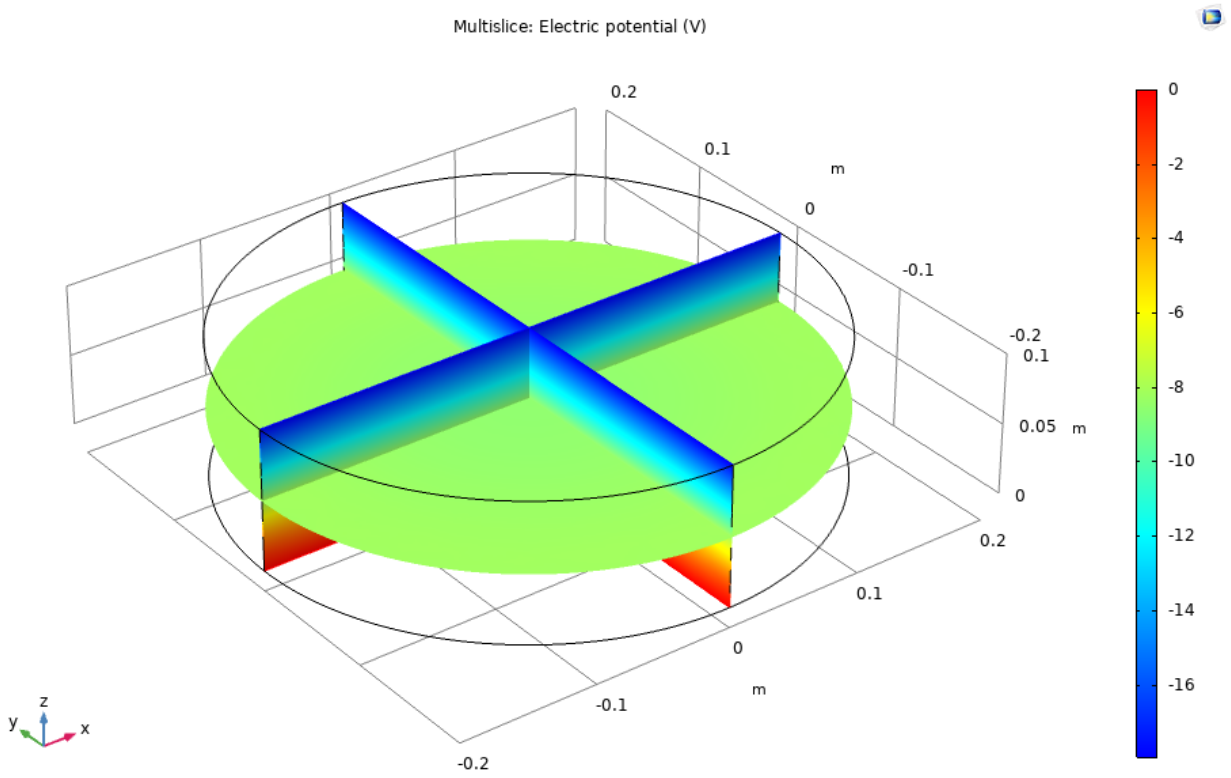
Şekil 3.23 Ön Görünüş elektrik potansiyeli

COMSOL MULTİPHYSİCS ön görünüş elektrik potansiyeli dağılımını görebilmekteyiz. En yüksek değer koyu mavi rengi ve en küçük değer kırmızı rengi temsil etmektedir. Doğal olarak en yüksek değerler kuvvetin temas ettiği noktada olup aşağıya doğru uzaklaşarak potansiyel elektrik azalması ile devam etmiştir.



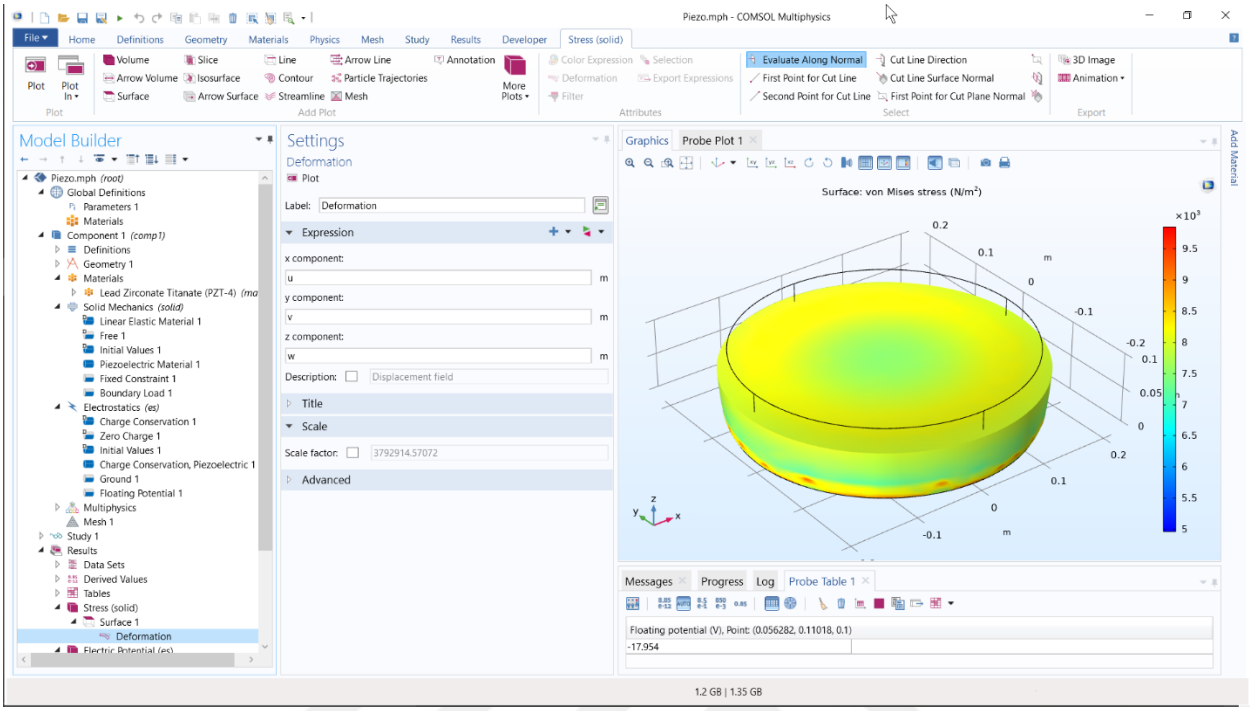
Şekil 3.24 Üst Görünüş elektrik potansiyeli

COMSOL MULTİPHYSİCS üst görünüş elektrik potansiyeli dağılımını görebilmekteyiz. Maksimum değer koyu mavi rengi ve minimum değer kırmızı rengi temsil etmektedir. Bu görünümden elektrik potansiyeli bütün yüzeyde eşit şekilde dağılmıştır. Gerçek hayatta değişken bir şekilde oluşmaktadır.



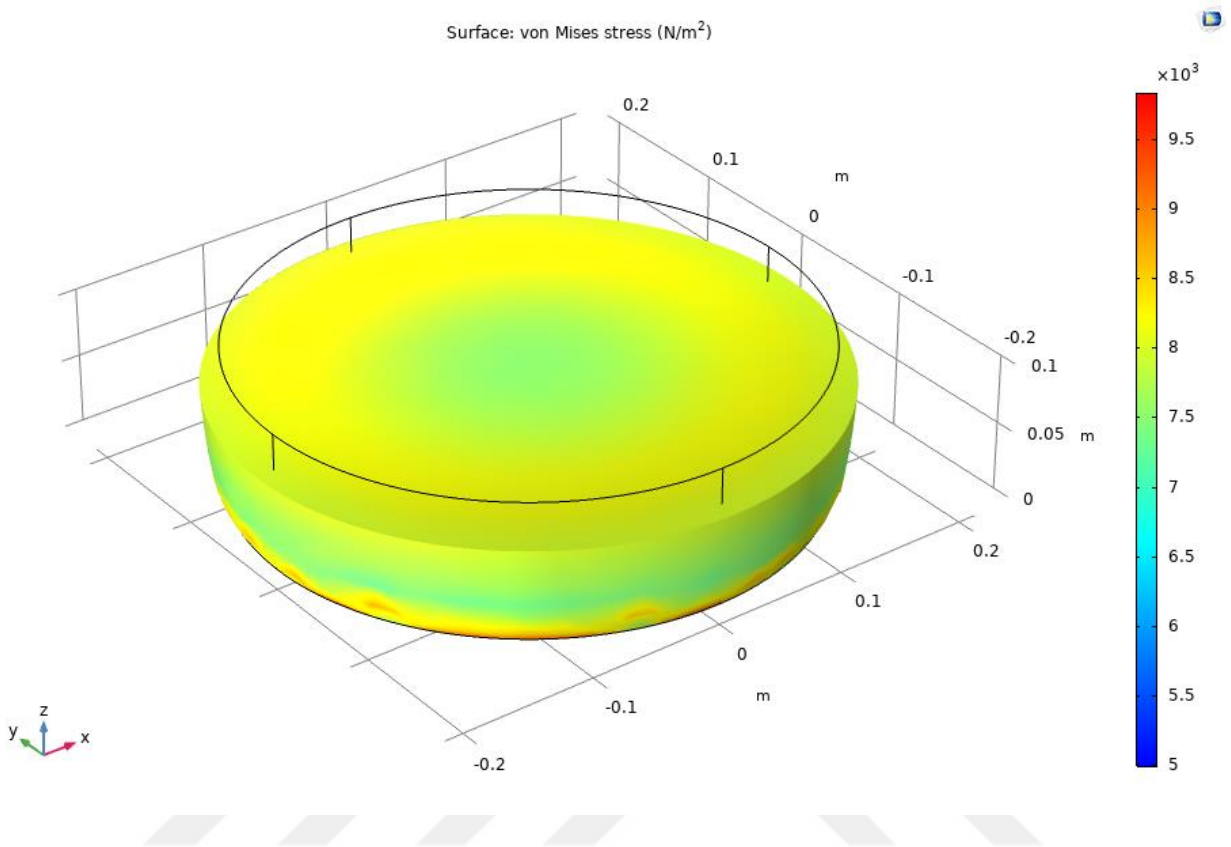
Şekil 3.25 3 Boyutlu görünüş elektrik potansiyeli

COMSOL MULTİPHYSİCS 3 boyutlu elektrik potansiyeli dağılımını görebilmekteyiz. En yüksek değer koyu mavi rengi ve en küçük değer kırmızı rengi temsil etmektedir.



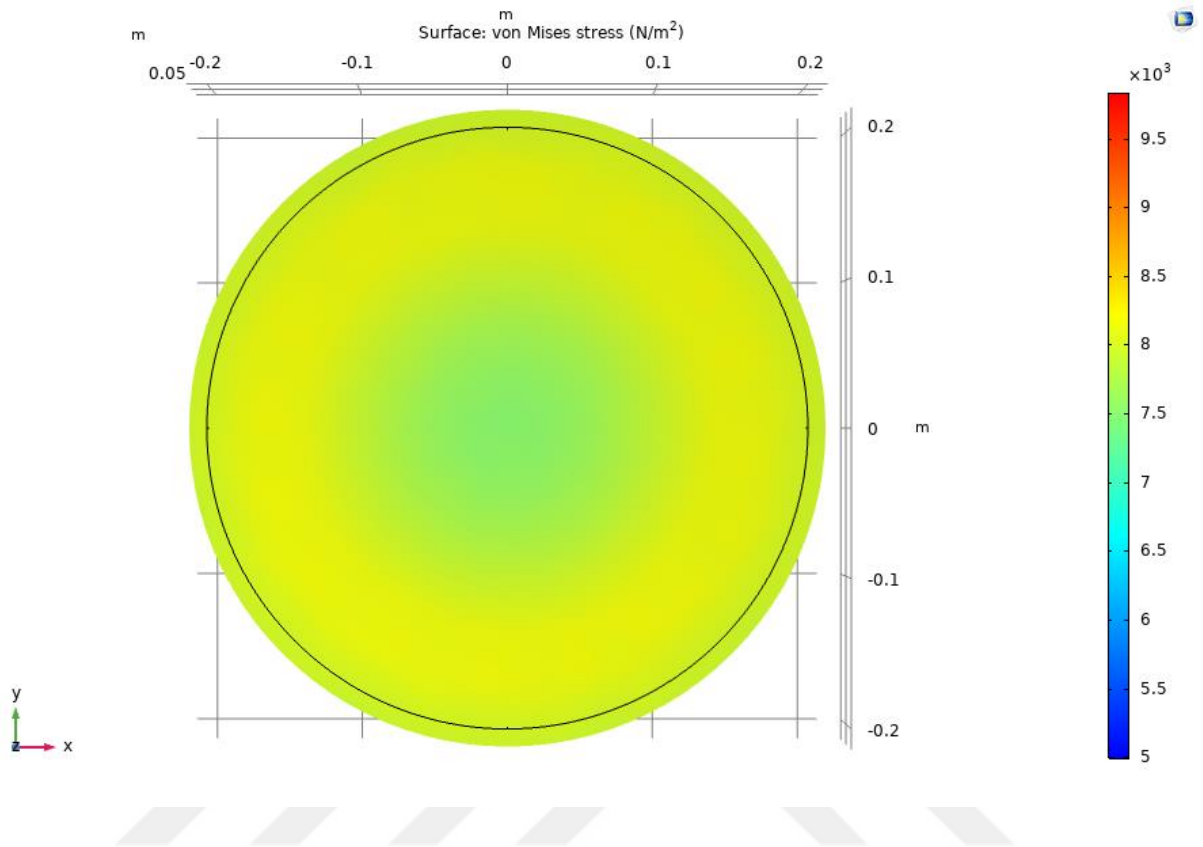
Şekil 3.26 Deformasyon bilgileri

Bulunan fotoğrafta COMSOL MULTİPHYSİCS deformasyon stresi ve çıkan voltaj miktarı programın ara yüzü göstermektedir. Etkin gerilim veya deformasyon stresi, verilen bir malzemenin eğilip kırılmayacağını belirlemek için kullanılan bir analizdir.



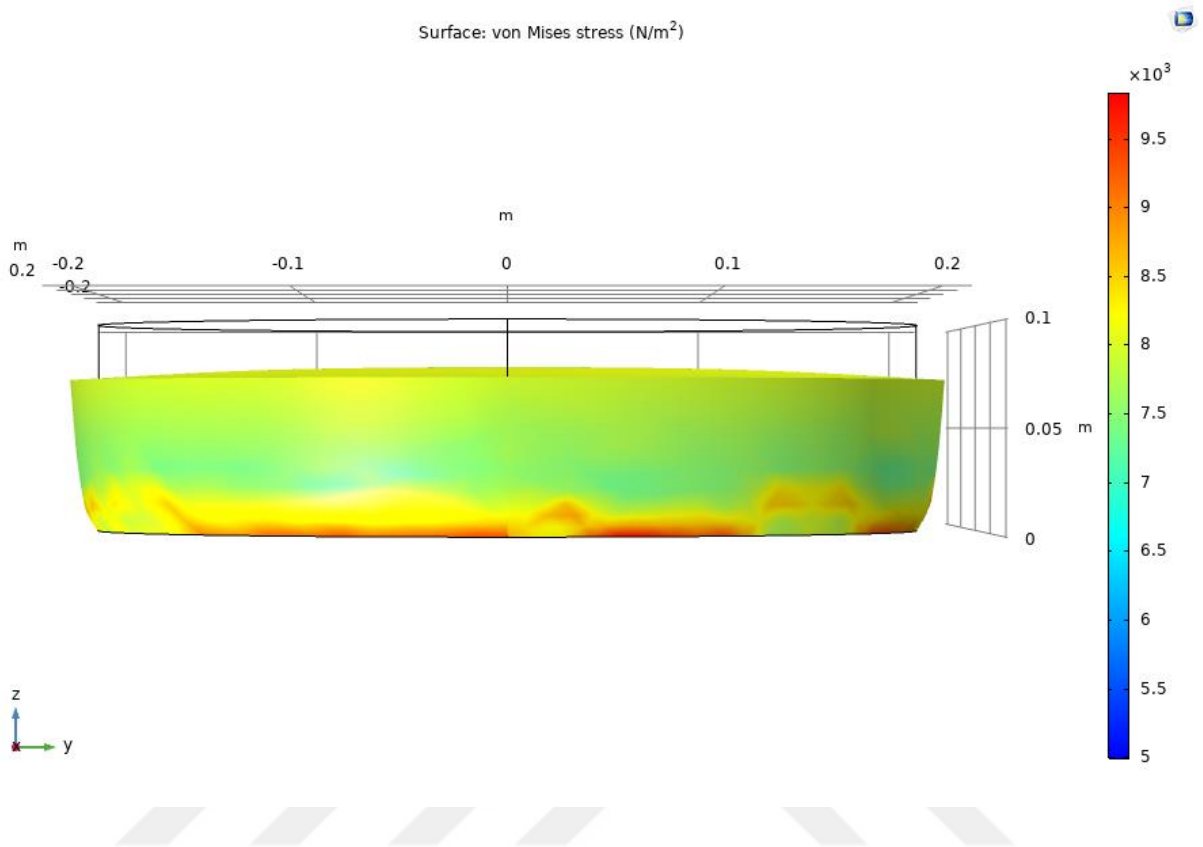
Şekil 3.27 Üç boyutlu etkin gerilimi

Yukarıdaki resimde Piezoelektrik modülünün üç boyutlu etkin gerilim dağılımını göstermektedir. En yüksek rakam kızıl rengi ve en küçük rakam koyu mavi rengi temsil etmektedir. Üç boyutlu cisminin analizlerinde gerilim dağılması eşit olmadığı ve şekle göre değiştiği gözlenmiştir.



Şekil 3.28 Üst görünüş etkin gerilimi

Görünen şekilde Piezoelektrik cisminin üst görünüm etkin gerilim değiştiğini göstermektedir. Maksimum ölçü kızıl rengi ve minimum ölçü koyu mavi rengi temsil etmektedir.



Şekil 3.29 Ön görünüş etkin gerilimi

Gösterilen şekilde Piezoelektrik parçasının ön görünüş etkin gerilim dağılımını göstermektedir. Maksimum kıymet kırmızı rengi ve minimum kıymet koyu mavi rengi temsil etmektedir.

1000 N kuvvet uyguladığımızda 17,95V bir voltaj sonuç olarak Comsol programı ölçmüştür. Bu sonuç üst yüzey, toprak olarak seçilen alt yüzeyin arasında ölçülmüştür.

b) Piezoelektrik modülünde kullanılan formüller

$$Q = C \cdot V$$

$$Q = d \cdot F$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{t}$$

Boşluk için ε_0 = 8.85 x 10-12 farad / metre

$$A = \pi r^2$$

$$I \cong 1\ (A)$$

$$P = V \times I$$

$$P = 20\ (W)$$

$$V = \frac{d \cdot F}{C}$$

$$V = \frac{d \cdot F \cdot t}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}$$

$$V = \frac{300 \cdot 100 \cdot 0.10}{1300 \cdot \pi 0.2^2} \cong 20\ volt$$

Elektrik güç akışına sunulan bu yüksek direnç nedeniyle, akım değerleri çok düşüktür. Bu değerler amper ölçeğinde olmaktadır. PZT4 cihazları için 1 A düzeyinde bir temel akım dikkate alınacaktır.

c) Termoelektrik Jeneratörden kullanılan formüller

Fourier ısı transfer formülü kullanarak sandalyeye monte edilen Termoelektrik modülünden güç miktarı hesaplanmıştır.

$$Q = -\kappa \cdot A \cdot \Delta T$$

$$Q = I^2 \cdot R$$

Bi_2Te_3 katsayısı: $K = 1{,}6\ w/m.k$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = \pi \cdot 0{,}2^2 \cdot \mathrm{m}^2$$

$$\Delta T = T_H - T_C$$

$$\Delta T = 37° - 15° = 22°$$

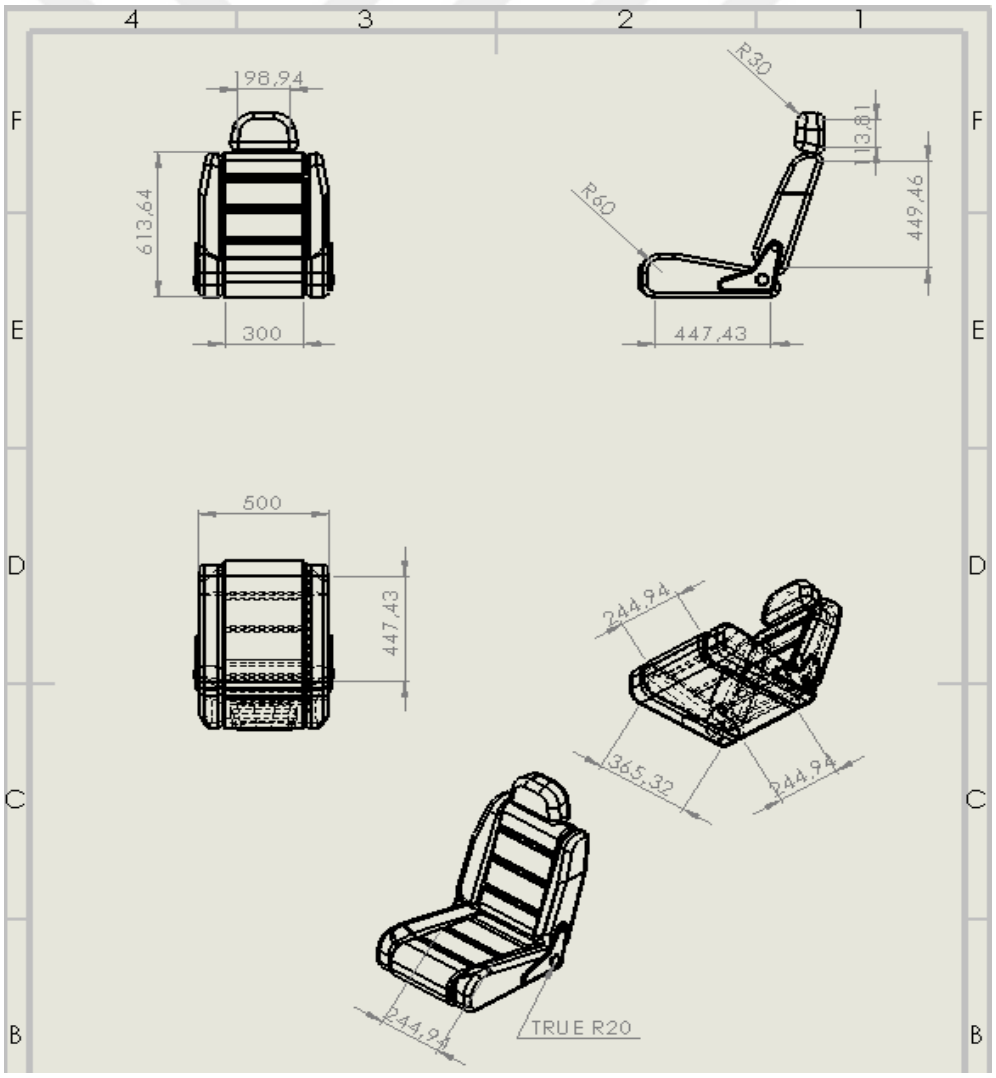
$$Q = 1{,}6 \times 0{,}04\pi \times 22 = 4{,}42\ W$$

3.2. İKİNCİ TASARIMIN MODELLENMESİ VE ANALİZLERİ

Bu çalışmadaki İkinci tasarımı gerçekleştirmek için birinci tasarımdaki gibi Solidworks programı kullanılmıştır. Tasarım farklı adımlarla çizilmiştir. Modülün analizlerini da birinci tasarım gibi yapılmıştır.

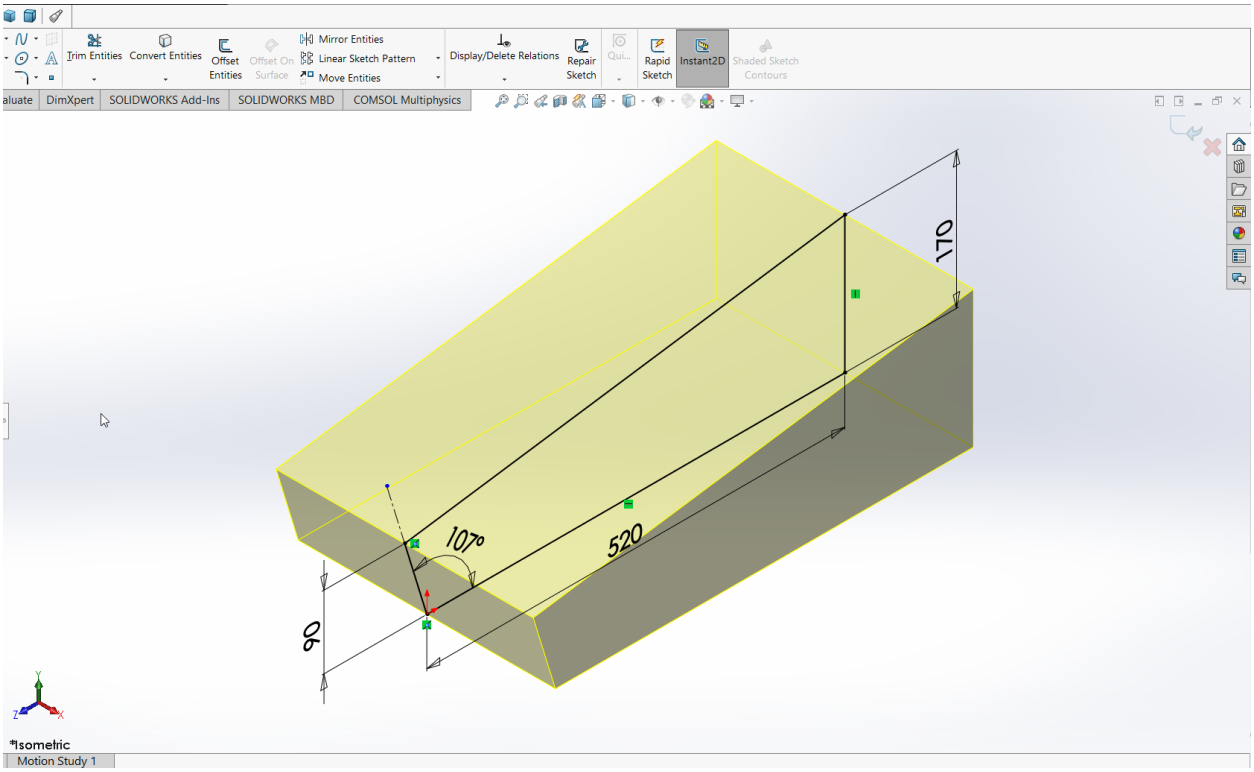
3.2.1. İkinci Tasarım

Bu tasarımda kare prizma şeklinde ortalama bir yetişkin için tasarlanmıştır. Aşağıdaki adımlar ile tasarım gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.30 İkinci tasarımın teknik resmi

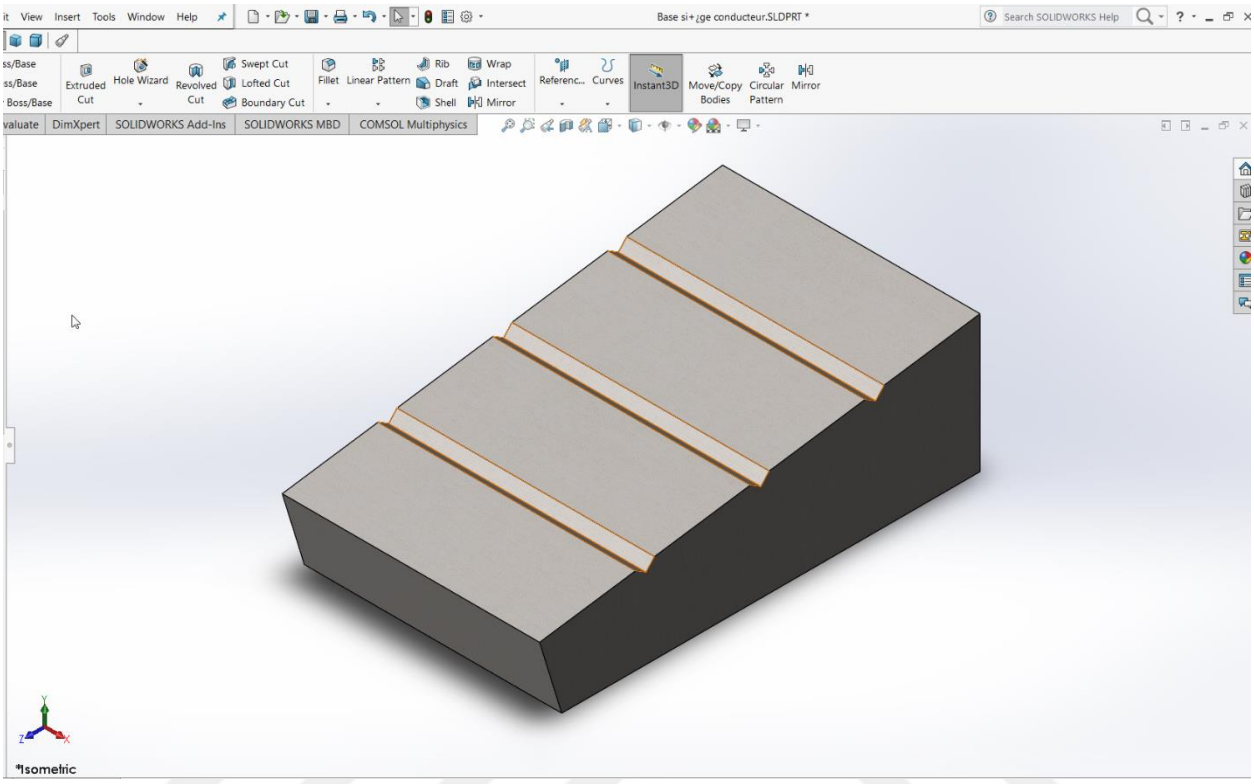
Bu teknik resminde birinci tasarımın gereken ölçümler ve üç boyutlu resmini görebiliriz.

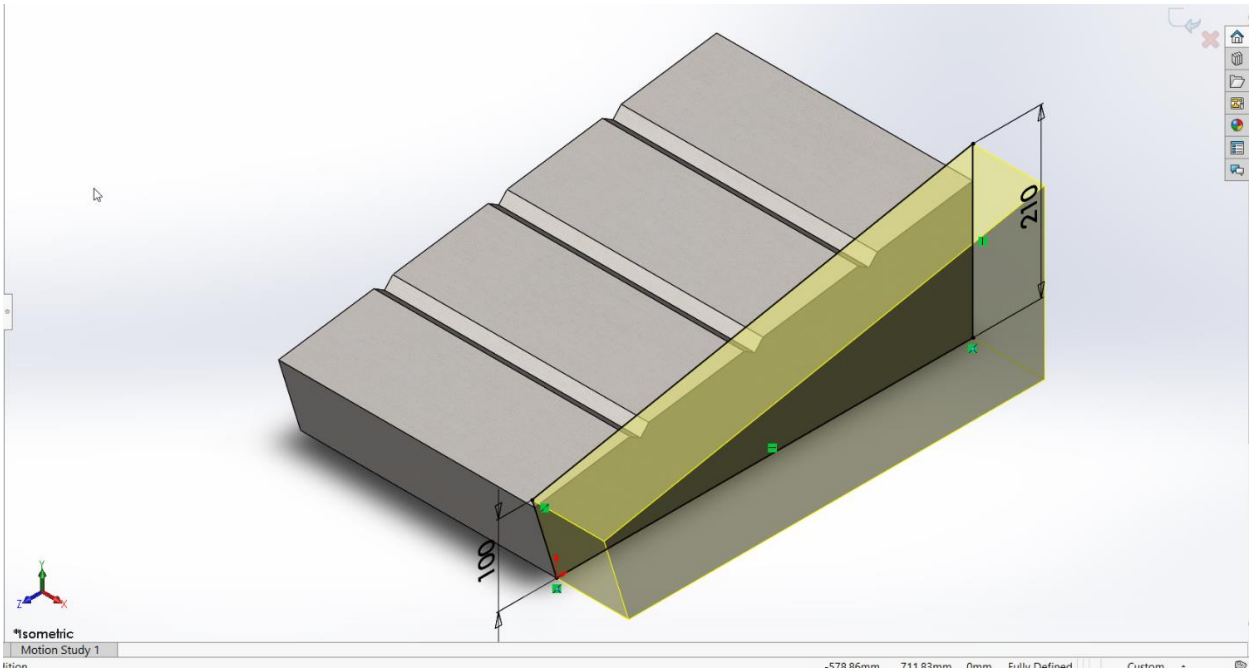


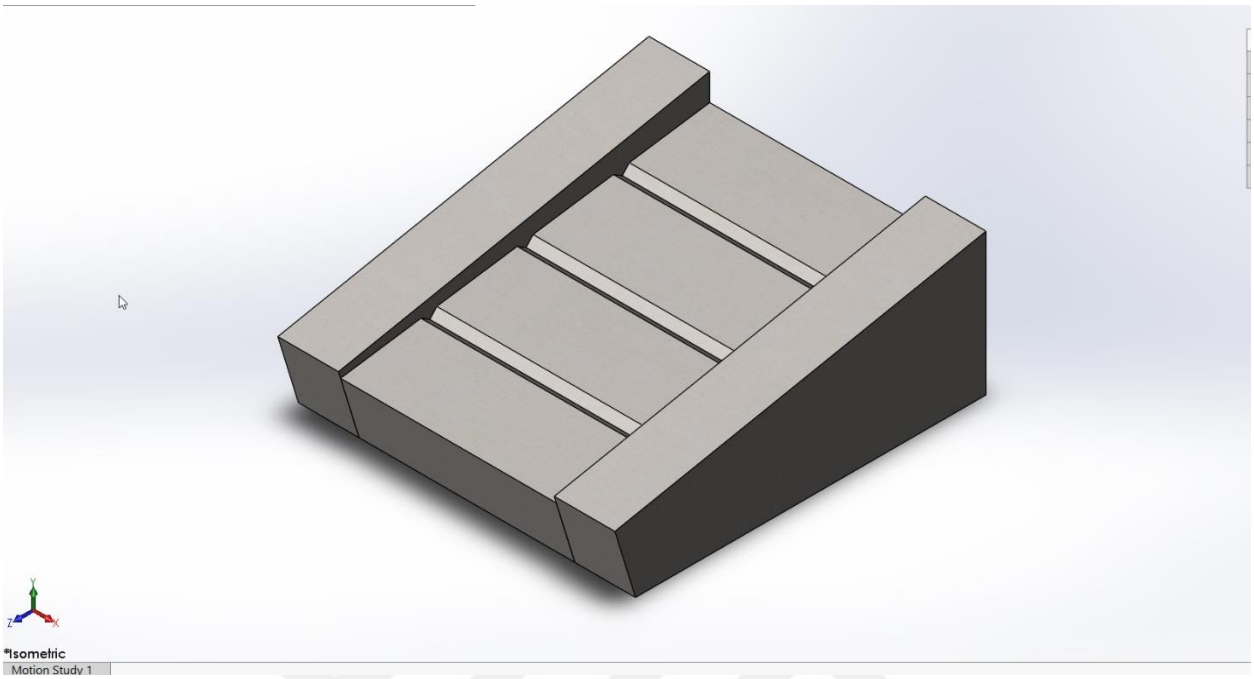
Şekil 3.31 ikinci Tasarımın üç boyutlu gövde çizimi

Bilgisayar yardımıyla ikinci tasarım aynı şekilde Solidworks'ta bulunan Parça bölümü girerek alt yüzünü seçtikten sonra koltuğun temel iki boyutlu çizimi gerçekleştirilmiştir. İkinci tasarım ve birinci tasarım aynı boyutlar alınarak kenarlı bir kare çizilmiştir.

İki boyutlu çizimden 3 boyutlu şekle geçildikten sonra parçanın yönü ve yüksekliği 170 cm olarak alınarak koltuğun gövdesi tasarlanmıştır.

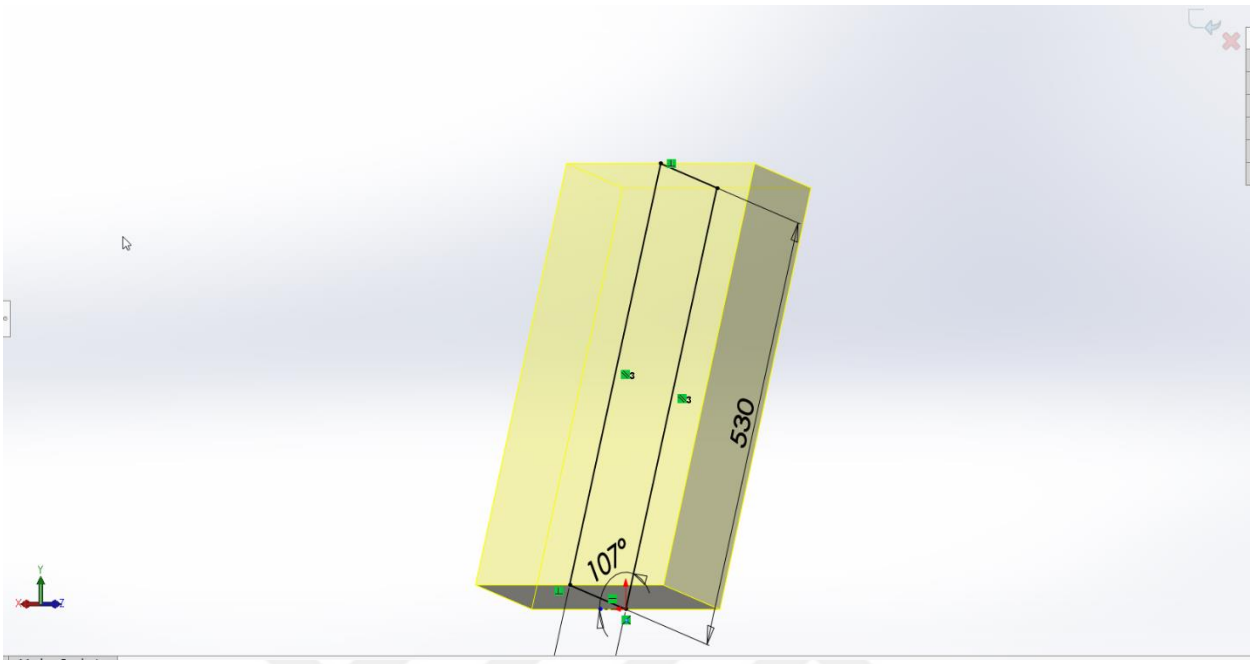

View Insert Tools Window Help
Base si+¿ge conducteur.SLDPRT *
Search SOLIDWORKS Help
Extruded Cut
Hole Wizard
Revolved Cut
Swept Cut
Lofted Cut
Boundary Cut
Fillet
Linear Pattern
Rib
Draft
Shell
Wrap
Intersect
Mirror
Curves
Instant3D
Move/Copy Bodies
Circular Pattern
Mirror
DimXpert
SOLIDWORKS Add-Ins
SOLIDWORKS MBD
COMSOL Multiphysics
*Isometric

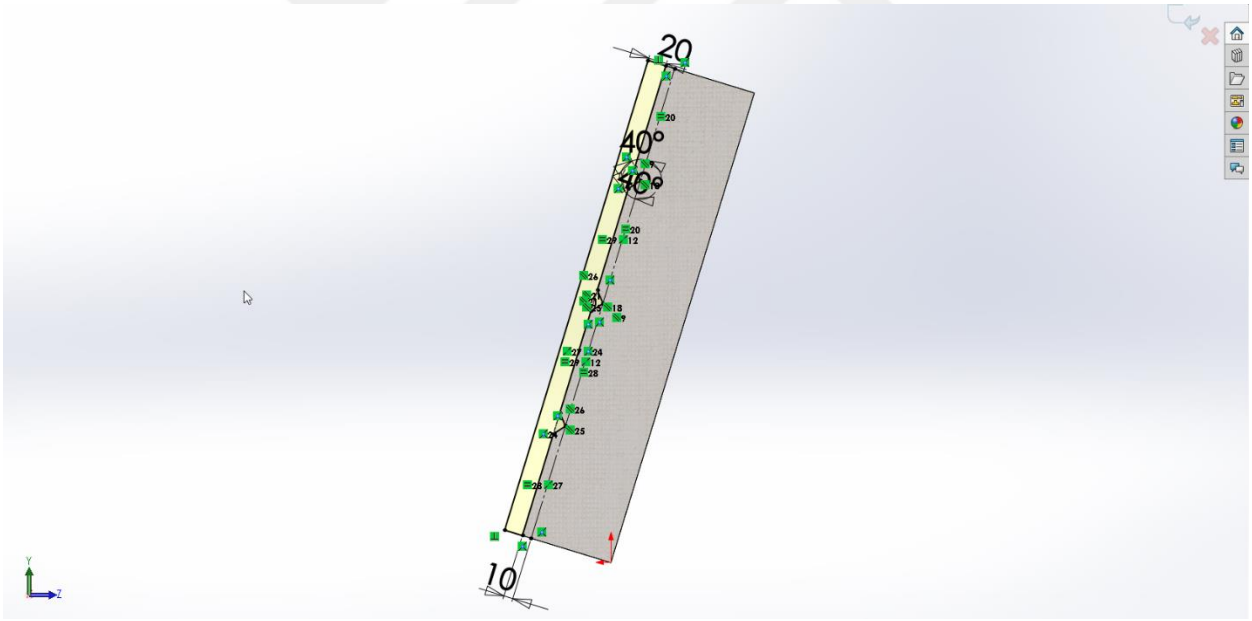

210
100
*Isometric
Motion Study 1

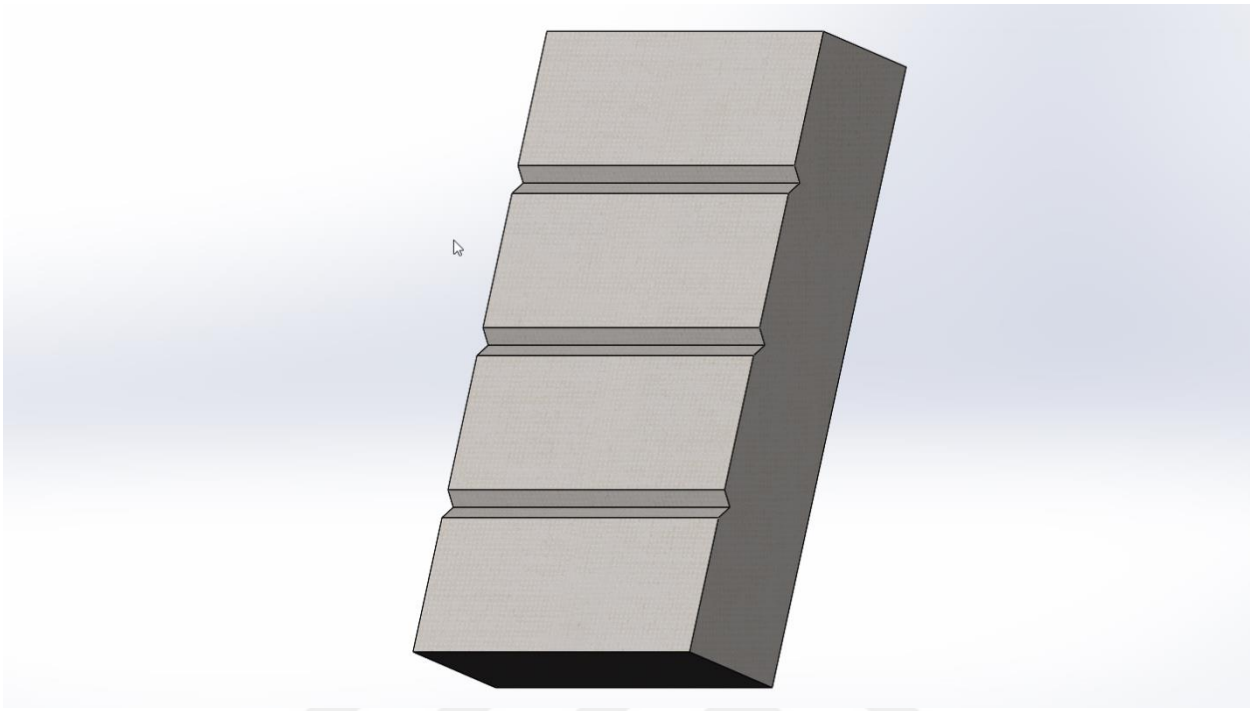


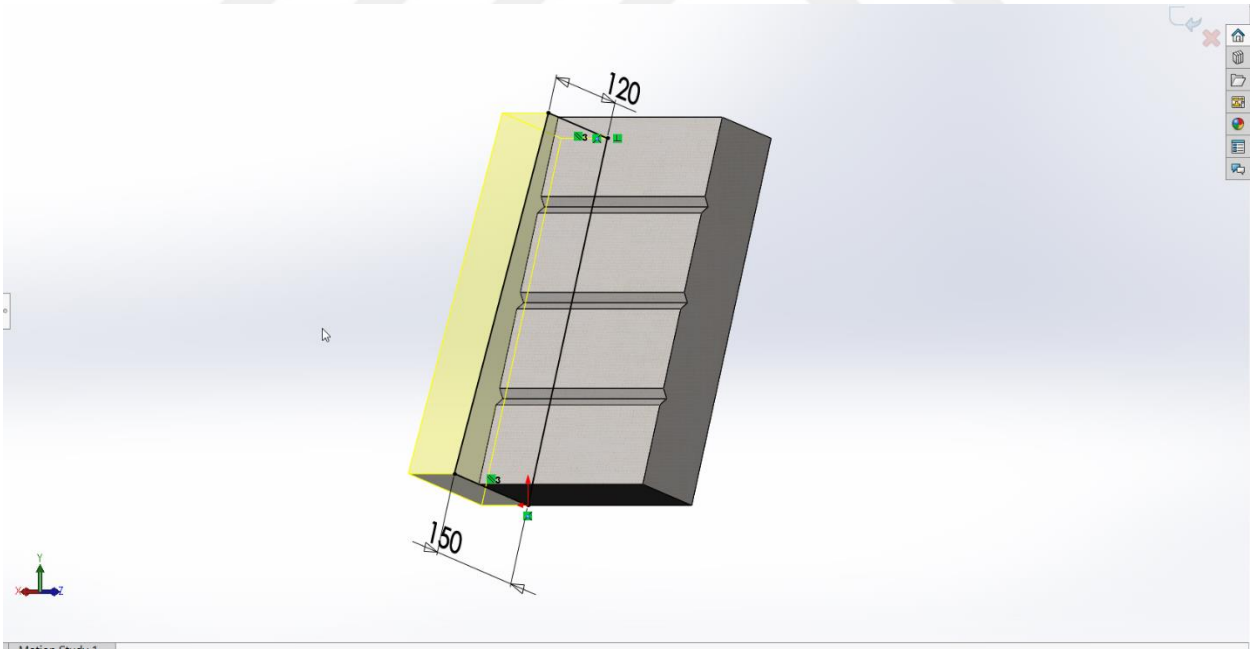
Şekil 3.32 İkince tasarımın gövde tasarımı

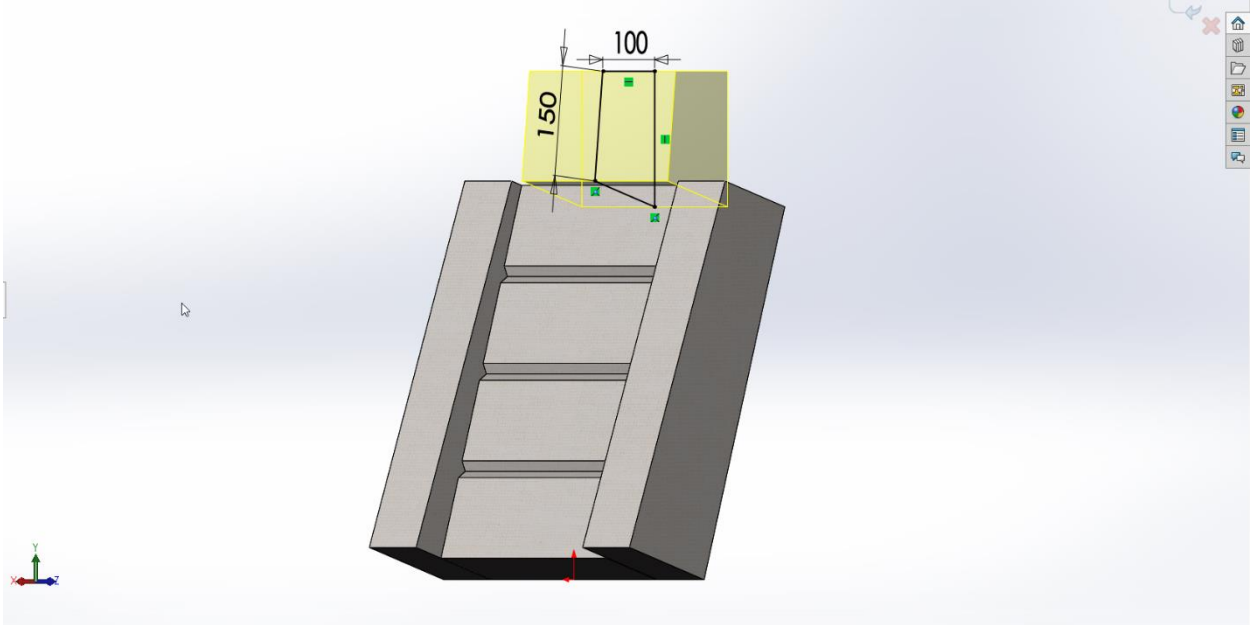
İkinci tasarımda da TEG parçası sonrası PZT4 malzemesi konulup uygun şekli alması için ahşap rengi ile renklendirilebilmektedir.


530
107°


20
40°
10

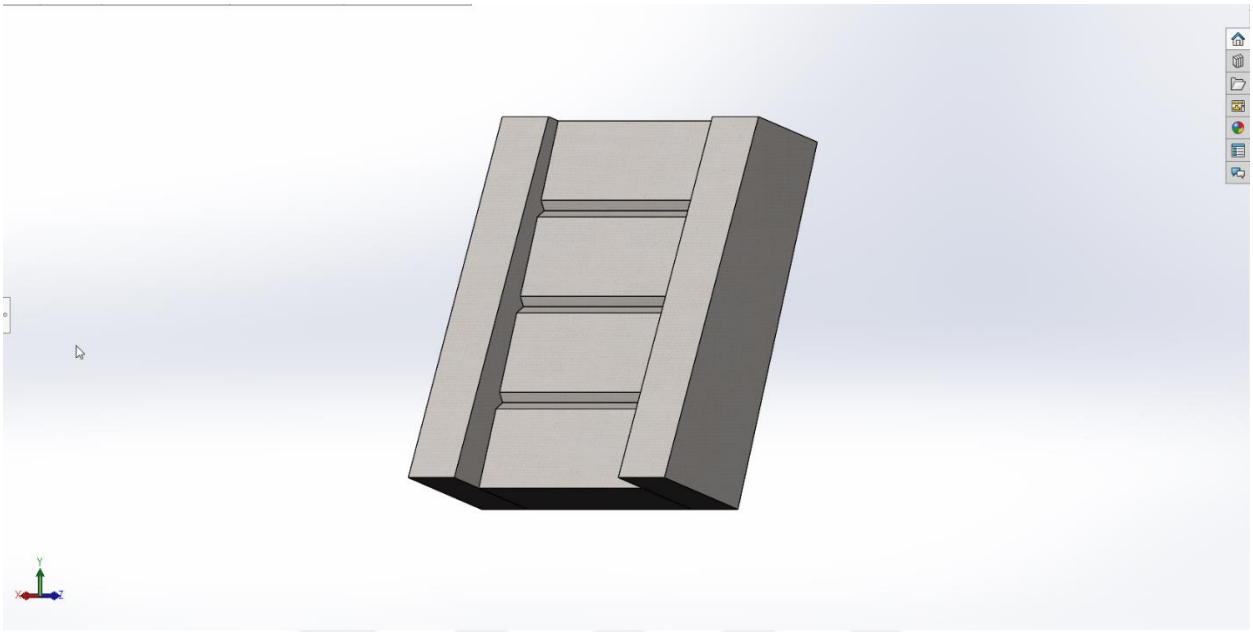



120
150



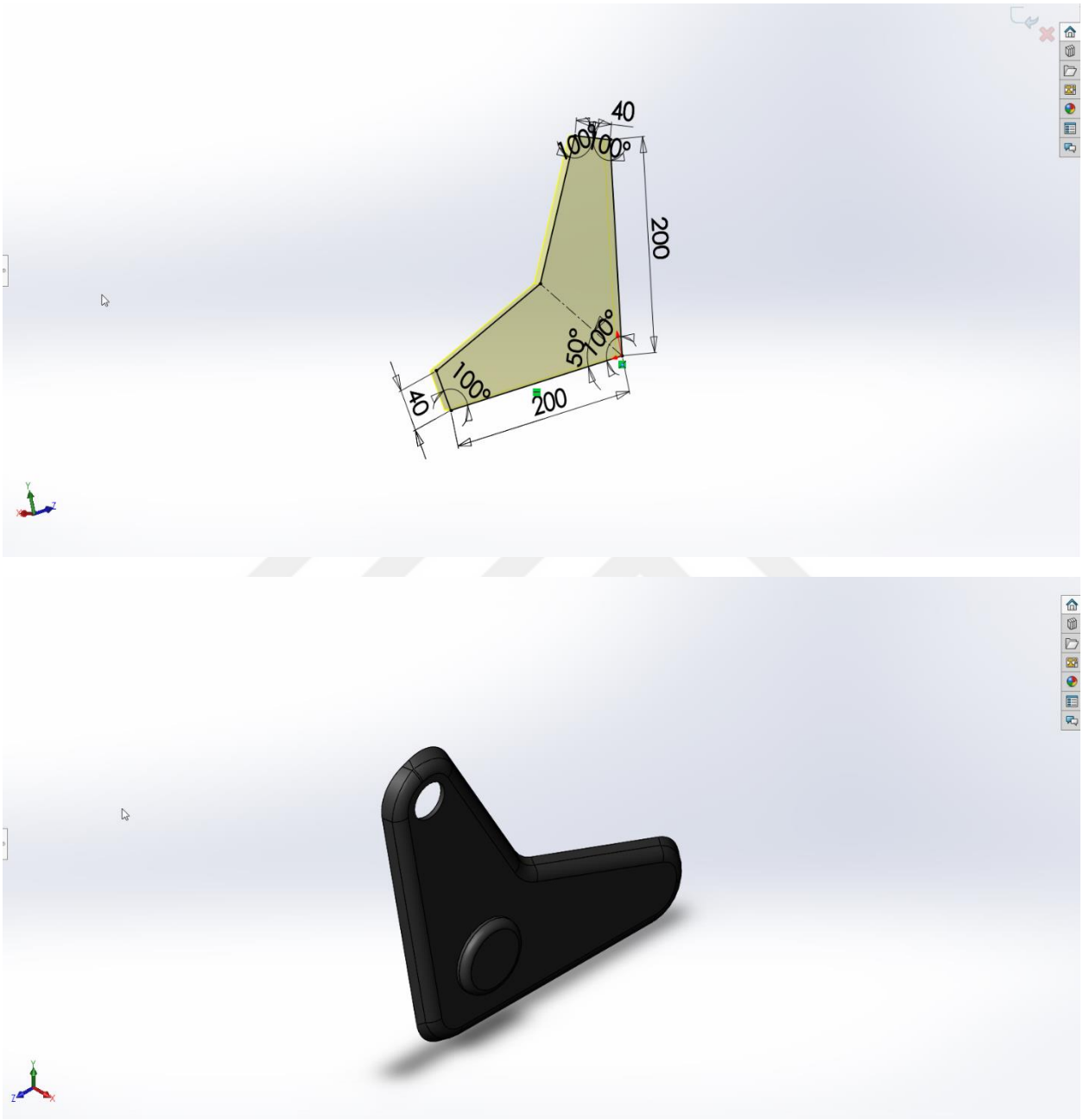
Şekil 3.33 İkinci tasarımın koltuk sırt kısmı çizimi

Kenarın boyunca çapı 3 cm daireler şeklinde bir sırtlık iki boyutlu çizilmiştir. Ardından İki boyutlu resminden üç boyutluya dönüştürmek için daha önce gövde kısmında yapıldığı gibi parçanın yönü ve uzunluk yukarıdaki ölçüler gibi sırtlık tamamlanmıştır.



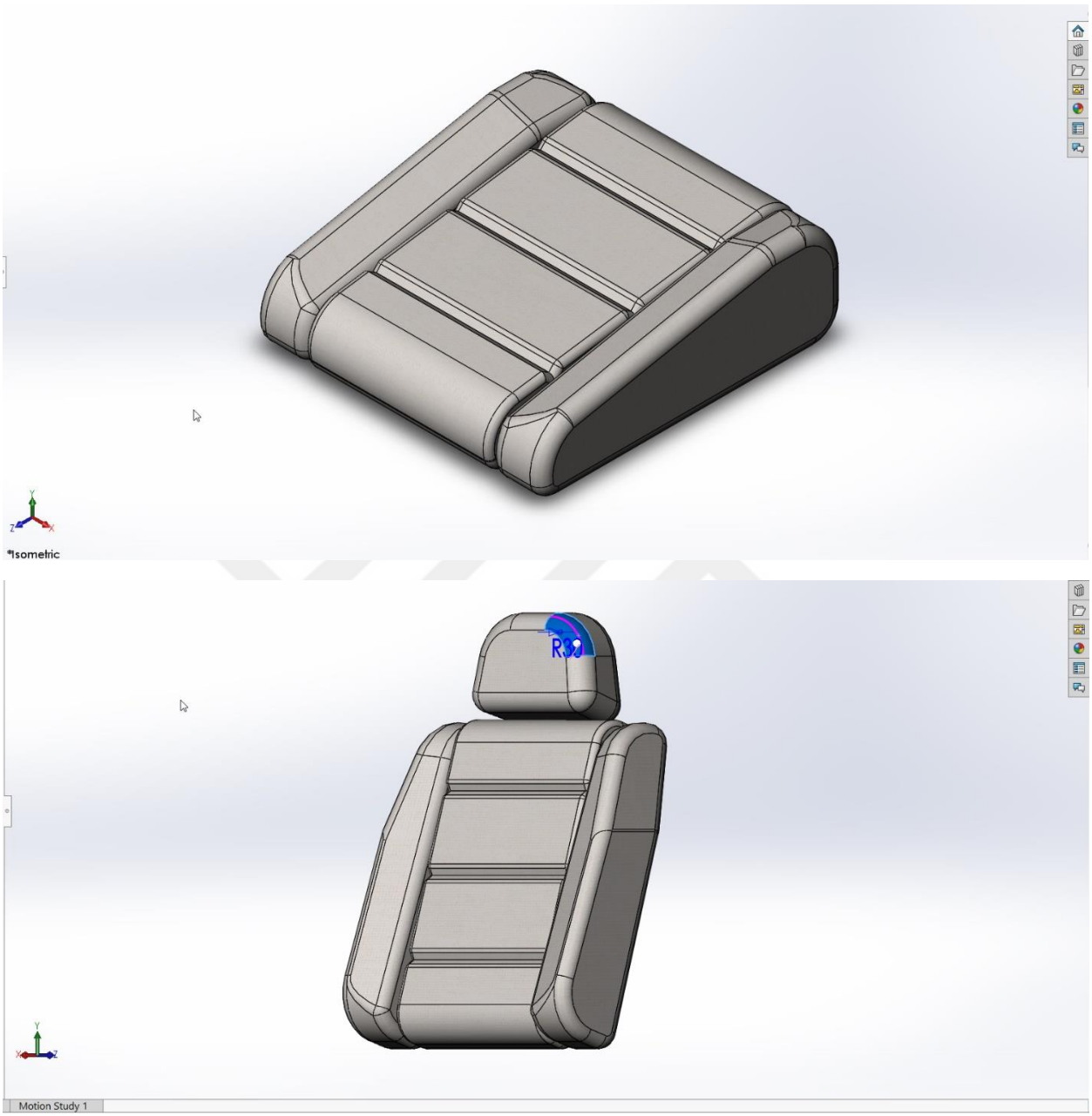
Şekil 3.34 ikince tasarımın sırt kısmı

Yukarıdaki bulunan şekilde tamamlanan koltuğun sırt kısmı oluşturulmuştur.



Şekil 3.35 Bağlantı Aparatı Tasarımı

Gövde ile sırtlık parçalarını bağlamak için 200 x 200 cm metal bir aparat çizilmiştir.



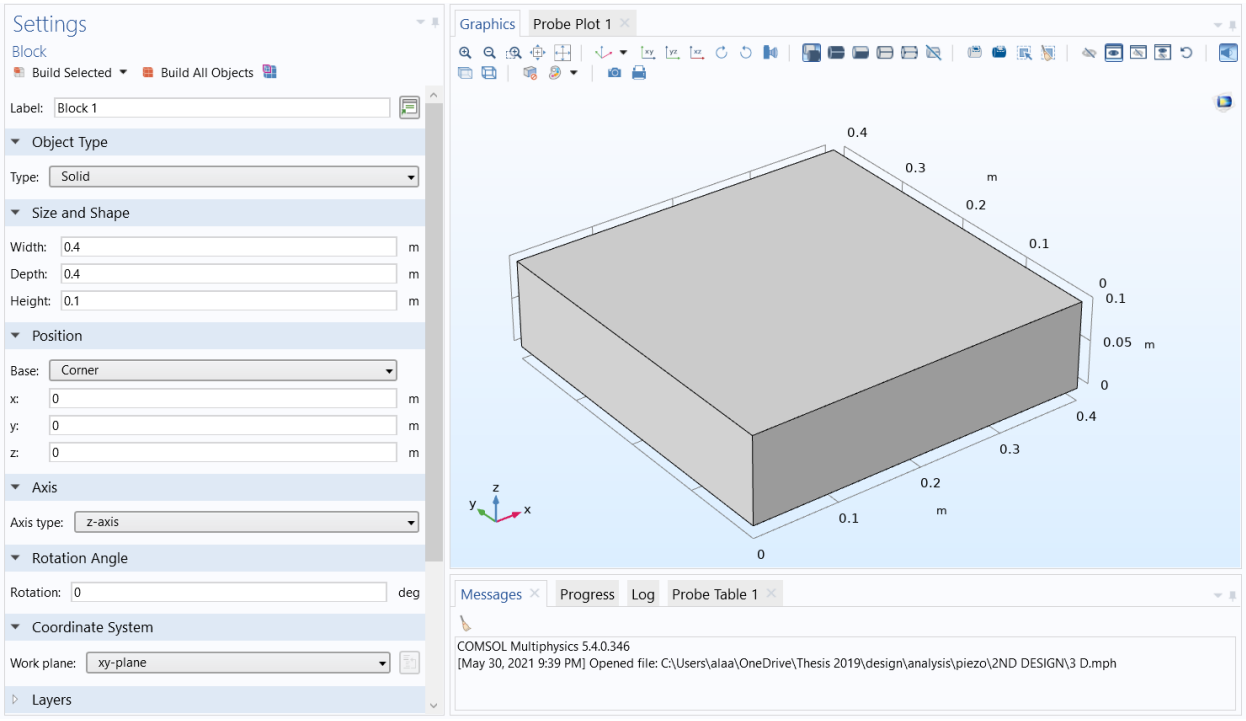
Şekil 3.36 İkinci tasarımın Yumuşatılması

Bütün sivri yerleri daha yumuşak ve rahat bir biçim alınması için kenarlar 8cm çapı dairelerle yuvarlatılmıştır



Şekil 3.37 İkinci Tasarımın Görünümü

3.2.2. İkinci tasarım analizleri

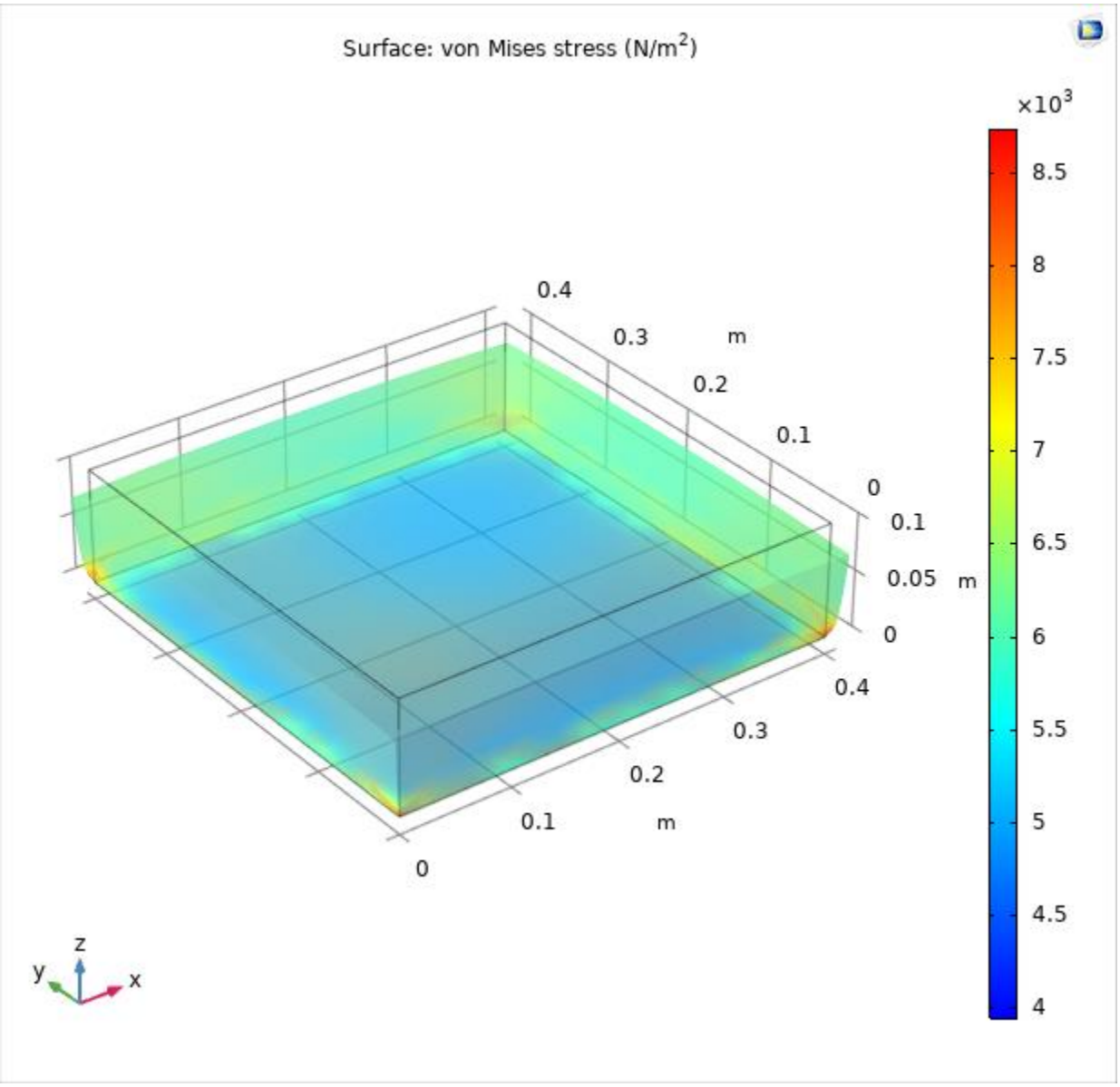


Şekil 3.38 İkinci tasarımın piezoelektrik malzemesinin ebatları

COMSOL programı kullanarak PZT4 malzemesi seçtikten sonra aynı analiz ikinci tasarım için Piezoelektrik analizi yapılmıştır

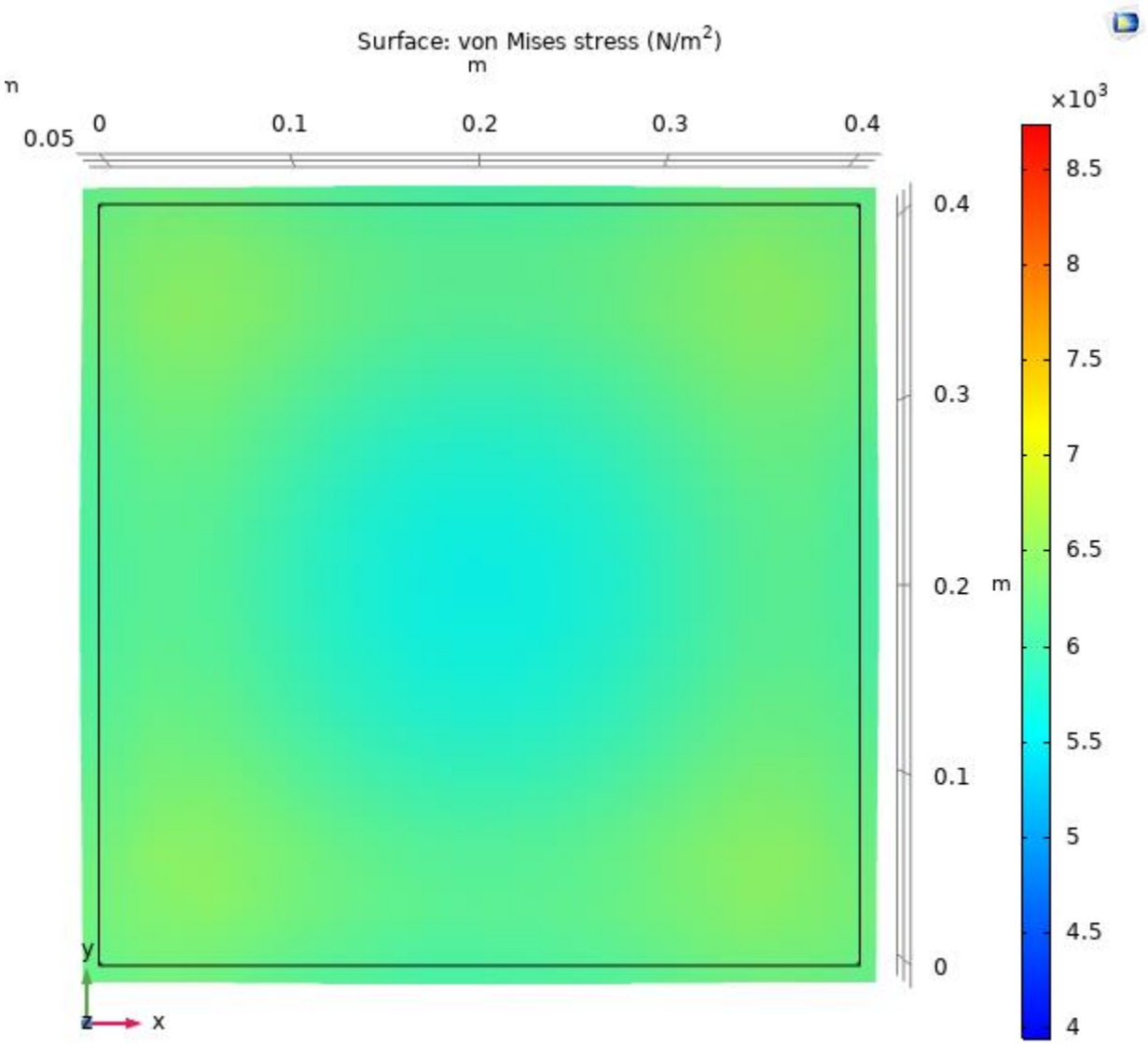
Piezoelektrik malzemesi kare prizma şeklinde tasarlanıp ebatları genişlik (0,4 m) ve yükseklik (0,05 m) olarak tasarlanmıştır.

Üst yüzeyin üzerine Z eksende uygulanan aynı kuvvet 1000 (Pa) olarak uygulanmıştır. Doğal şartların dışında oluşturan COMSOL kuvvet eşit şekilde tüm yüzeye dağıtılmaktadır.



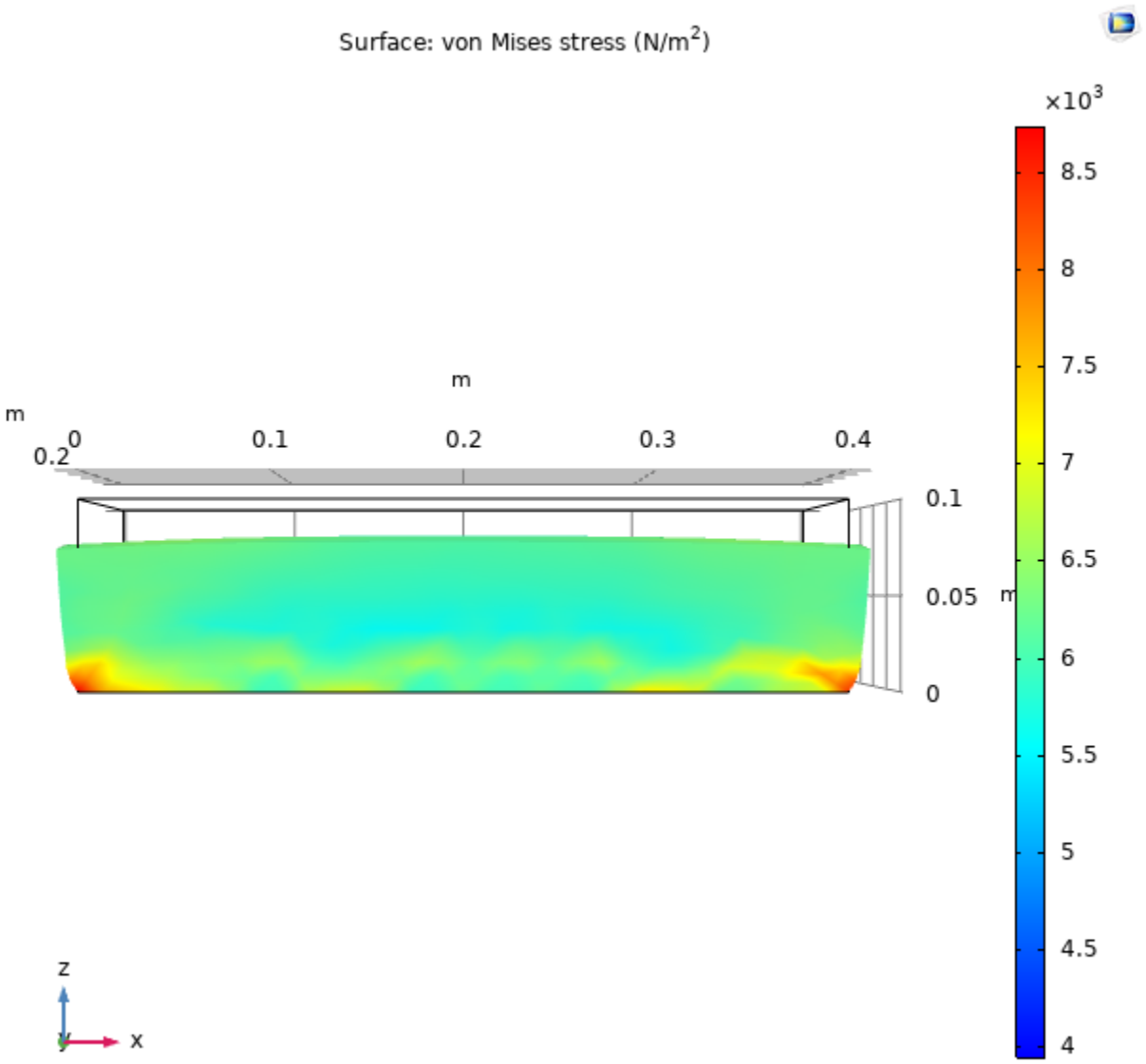
Şekil 3.39 İkinci tasarımın üç boyutlu etkin gerilimi

Yukarıdaki resimde Piezoelektrik modülünün üç boyutlu etkin gerilim dağılımını göstermektedir. En yüksek değer kırmızı rengi, en küçük rakam ise koyu mavi rengi temsil etmektedir. Üç boyutlu cisminin analizlerinde gerilim dağılması eşit olmadığı ve şekle göre değiştiği gözlenmiştir.

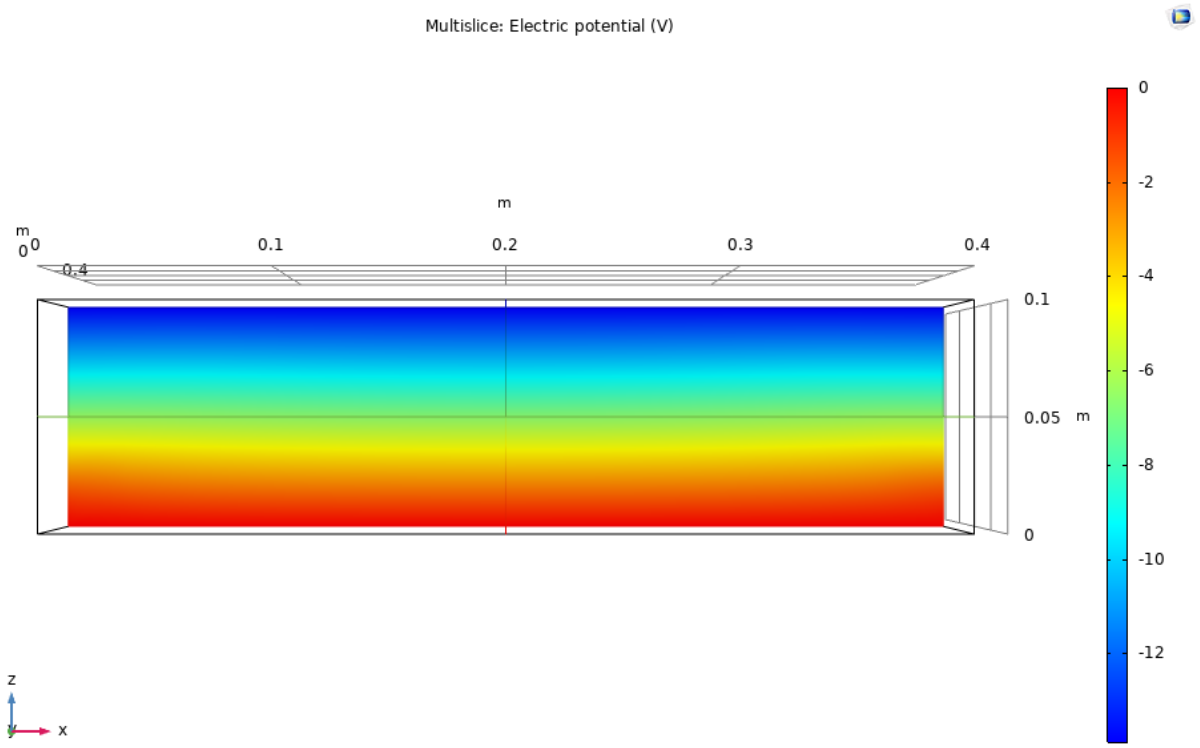


Şekil 3.40 İkinci tasarımın üst görünüş etkin gerilimi

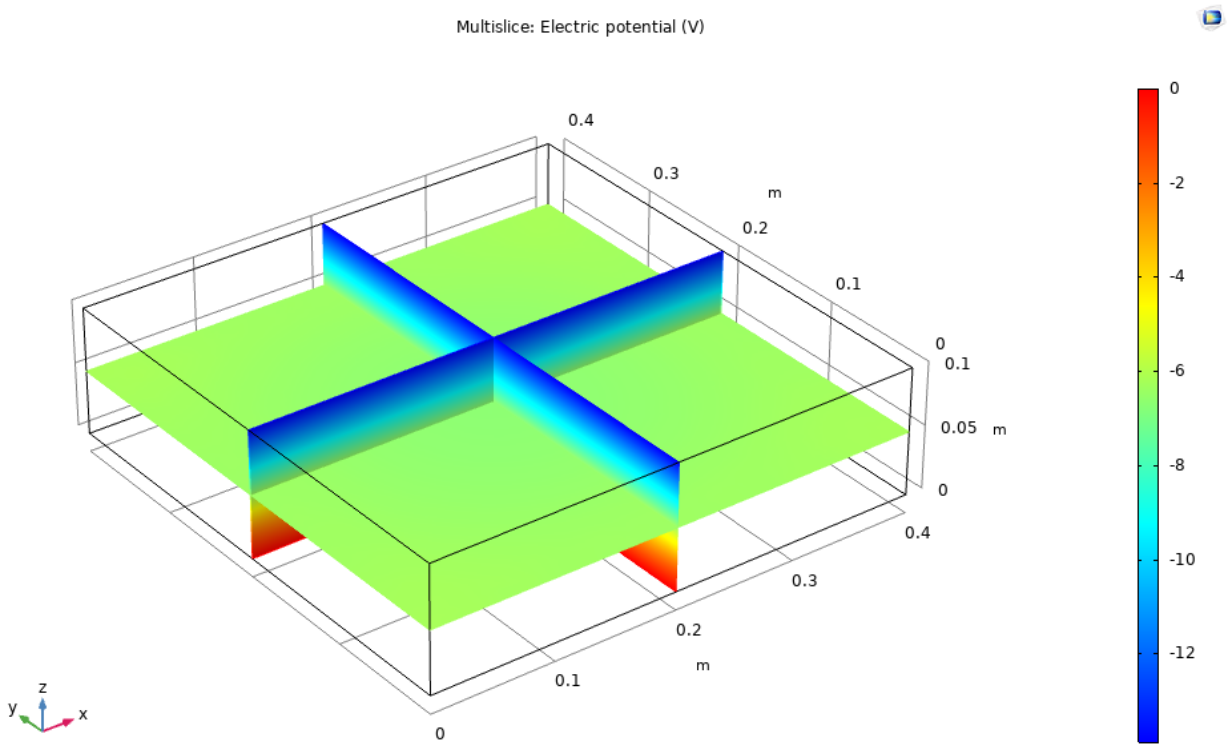
Yukarıdaki şekilde Piezoelektrik cisminin üst görünüm etkin gerilim değiştiğini göstermektedir. Maksimum ölçü kırmızı rengi ve minimum ölçü koyu mavi rengi temsil etmektedir.



Gösterilen şekilde Piezoelektrik parçasının ön görünüş etkin gerilim dağılımını göstermektedir. Maksimum kıymet kırmızı rengi ve minimum kıymet koyu mavi rengi temsil etmektedir.



COMSOL MULTİPHYSİCS ön görünüş elektrik potansiyeli dağılımını görünmektedir. En yüksek değer koyu mavi rengi ve en küçük değer kırmızı rengi temsil etmektedir. Doğal olarak en yüksek değerler kuvvetin temas ettiği noktada olup aşağıya doğru uzaklaşarak potansiyel elektrik azalması ile devam etmiştir.



Şekil 3.41 İkinci tasarımın üç boyutlu görünüş elektrik potansiyeli

Yukarıdaki şekilde üç boyutlu elektrik potansiyeli dağılımını bulunmaktadır. En yüksek değer koyu mavi rengi ve en küçük değer kırmızı rengi temsil etmektedir.

1000 N basınç uygulandığı zaman 14 V bir voltaj sonuç olarak Comsol programı ölçmüştür. Bu netice üst yüzey, toprak olarak seçilen alt yüzeyin arasında ölçülmüştür.

4. BULGULAR

Bu çalışmada bilgisayar yardımıyla seçilen Piezoelektrik modülü ve termoelektrik jeneratöründen elde edilebilecek en yüksek ve en düşük voltaj miktarı ve optimumum parametreler ulaşılmaya çalışılmıştır.

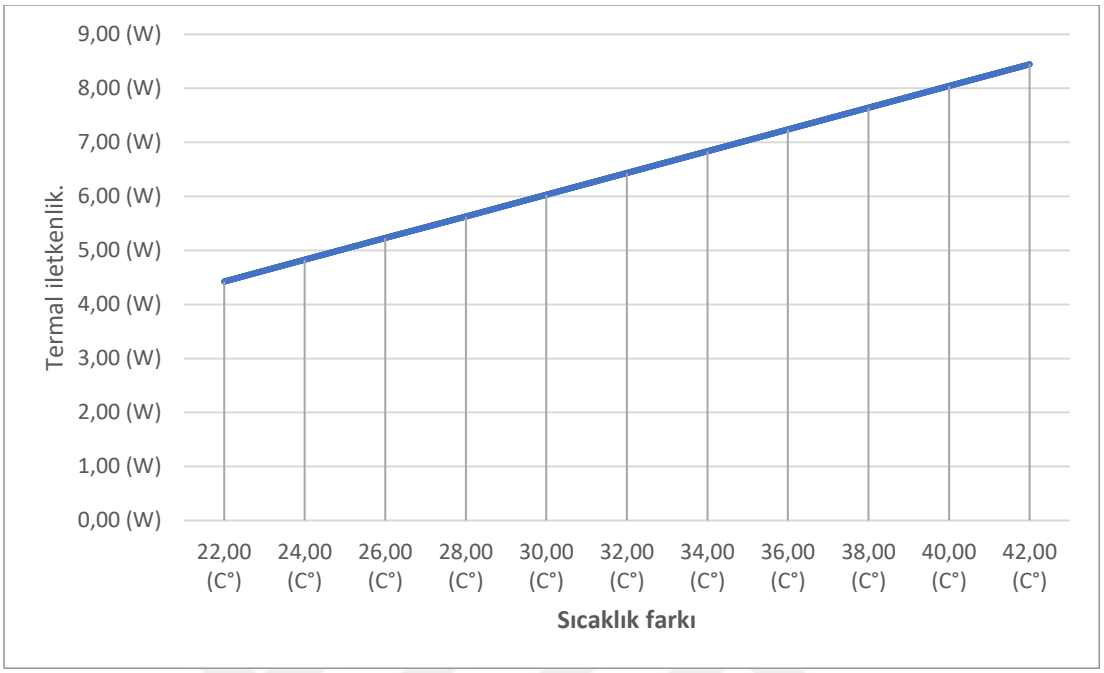
4.1. BİRİNCİ TASARIM TERMOELEKTRİK JENERATÖRÜNÜN ANALİZLERİ

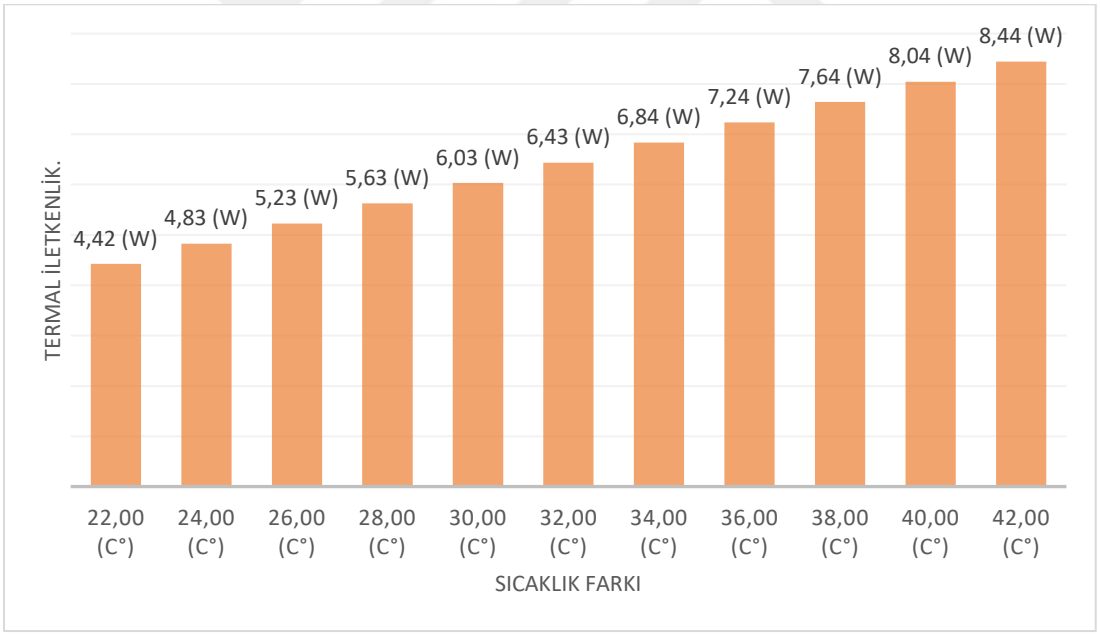
Koltuğu temas eden insan vücut ısısından azami verimlilik elde edilmesi için ilk olarak Termoelektrik modülü ardından piezoelektrik modülü konulmuştur.

Tablo 4.1 Birinci tasarım Sıcaklık farkına göre elde edilen enerji

K	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)
R	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)
A	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)
ΔT	22,00 (C°)	24,00 (C°)	26,00 (C°)	28,00 (C°)	30,00 (C°)	32,00 (C°)	34,00 (C°)	36,00 (C°)	38,00 (C°)	40,00 (C°)	42,00 (C°)
Q	4,42 (W)	4,83 (W)	5,23 (W)	5,63 (W)	6,03 (W)	6,43 (W)	6,84 (W)	7,24 (W)	7,64 (W)	8,04 (W)	8,44 (W)

Tablo 4.1'e dikkat edildiğinde Termoelektrik jeneratörünün yüzeylerine oluşan sıcaklık farkı yani ΔT değiştikçe elde edilen enerji de değişmiştir. Isı farkı büyüdükçe gözlenen sonuçlardan enerji de artığını izlenmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.1'de Termal iletkenlik-Sıcaklık farkı orantılı olduğunu göstermektedir.



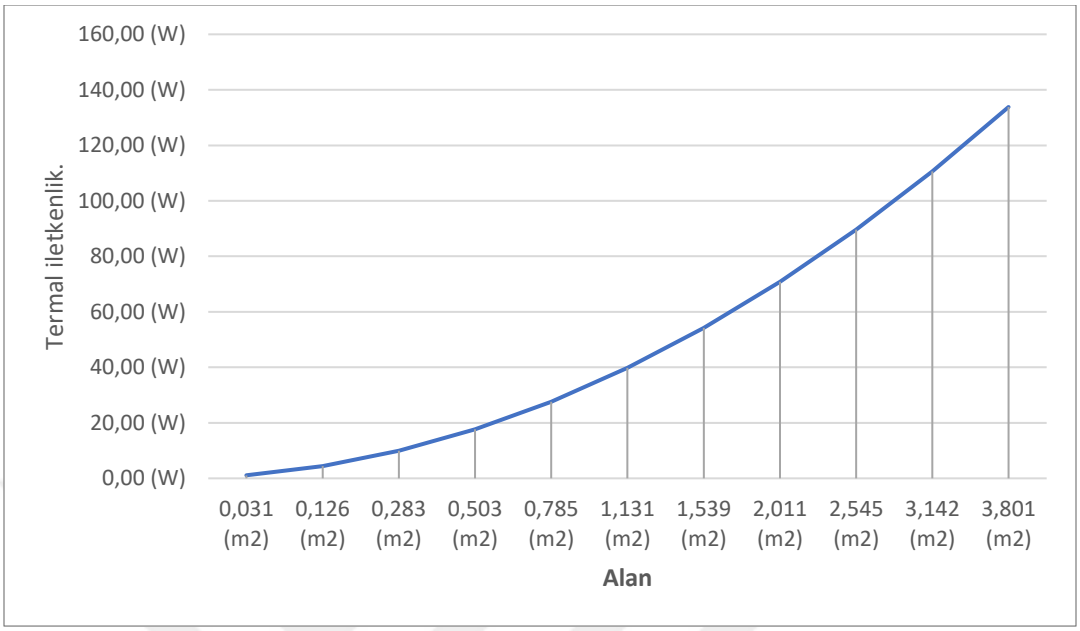


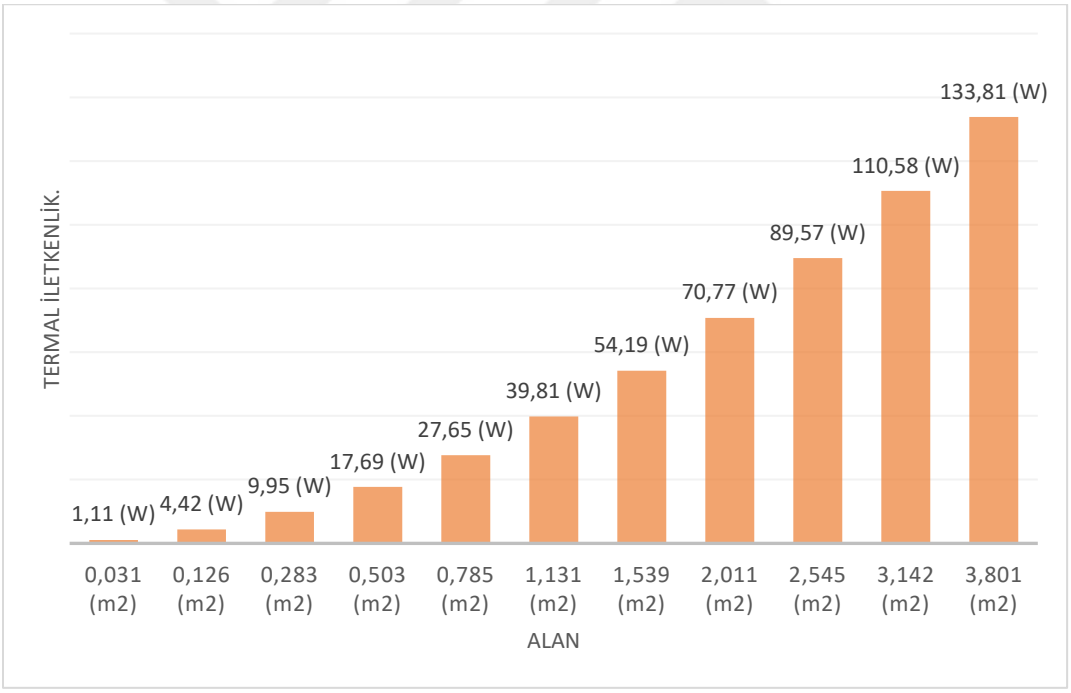
Şekil 4.1 Termal iletkenlik-Sıcaklık farkı Grafiği

Tablo 4.2 Birinci tasarım termoelektrik modülünün alanına göre elde edilen Enerji

K	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)
R	0,10 (m)	0,20 (m)	0,30 (m)	0,40 (m)	0,50 (m)	0,60 (m)	0,70 (m)	0,80 (m)	0,90 (m)	1,00 (m)	1,10 (m)
A	0,031 (m2)	0,126 (m2)	0,283 (m2)	0,503 (m2)	0,785 (m2)	1,131 (m2)	1,539 (m2)	2,011 (m2)	2,545 (m2)	3,142 (m2)	3,801 (m2)
ΔT	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)
Q	1,11 (W)	4,42 (W)	9,95 (W)	17,69 (W)	27,65 (W)	39,81 (W)	54,19 (W)	70,77 (W)	89,57 (W)	110,58 (W)	133,81 (W)

Tablo 4.2'de Termoelektrik jeneratörünün Alanı değiştiğinde ortaya çıkan enerji de farklılık göstermektedir. Alan büyüdükçe enerji ise belli bir alan değerinden sonra çok hızlı yükseldiği fark edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.2'de Alan ve Termal iletkenlik birbirine bağlı olduğu gözükmektedir



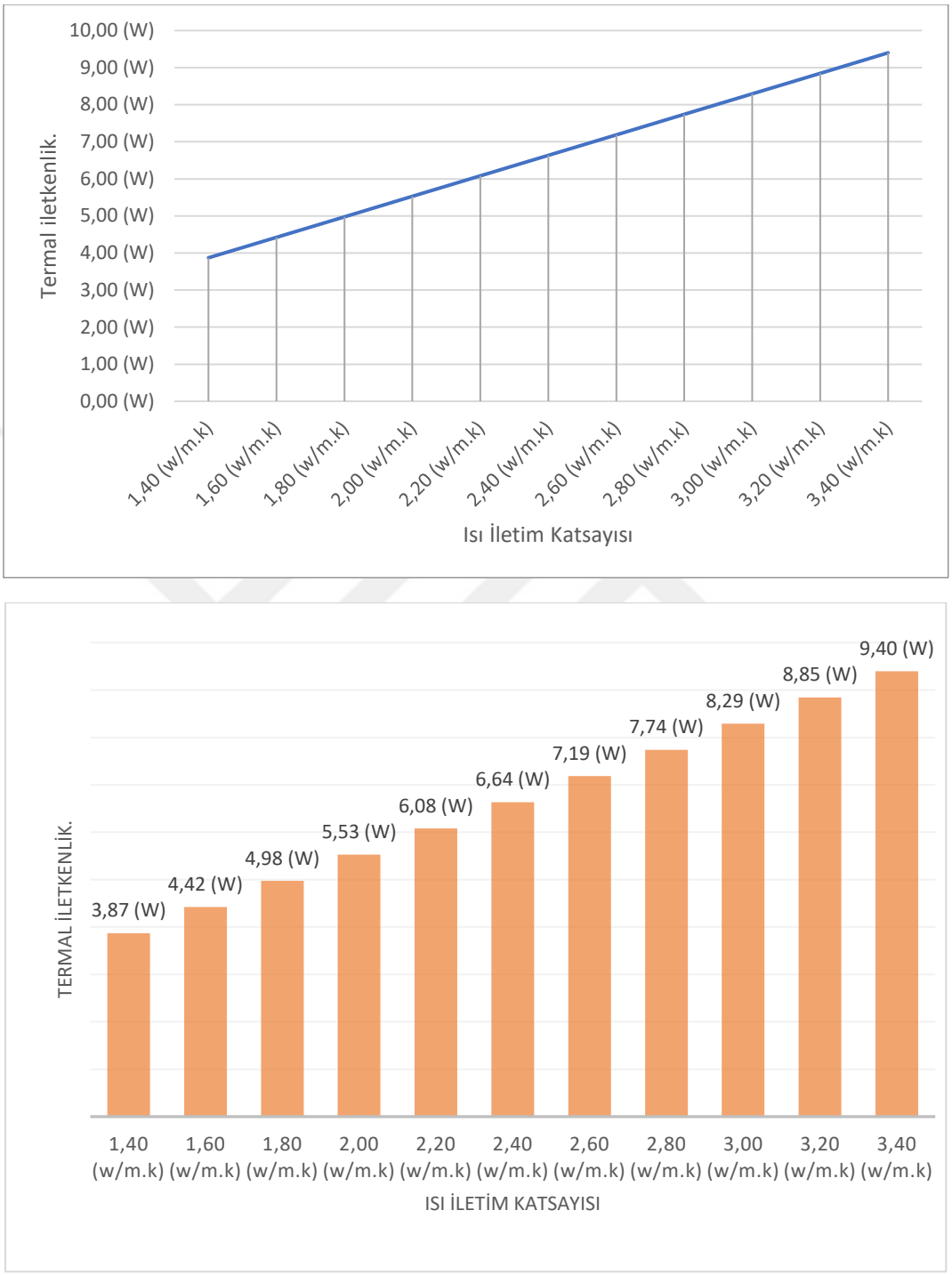


Şekil 4.2 Termal iletkenlik-Alan Grafiği

Tablo 4.3 Birinci tasarım TEG Isı iletim katsayısına göre elde edilen enerji

K	1,40 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,80 (w/m.k)	2,00 (w/m.k)	2,20 (w/m.k)	2,40 (w/m.k)	2,60 (w/m.k)	2,80 (w/m.k)	3,00 (w/m.k)	3,20 (w/m.k)	3,40 (w/m.k)
R	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)
A	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)
ΔT	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)
Q	3,87 (W)	4,42 (W)	4,98 (W)	5,53 (W)	6,08 (W)	6,64 (W)	7,19 (W)	7,74 (W)	8,29 (W)	8,85 (W)	9,40 (W)

Tablo 4.3'ü incelendiğinde Termoelektrik jeneratörünün katsayısı değiştiği zaman elde edilen enerji miktarı da değişmiştir. Seçilen materyalin katsayısı artıkça üretilen enerji ise artığı görünmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.3'de Isı iletkenlik Isı-iletim katsayısı orantılı olduğunu fark edilmektedir.



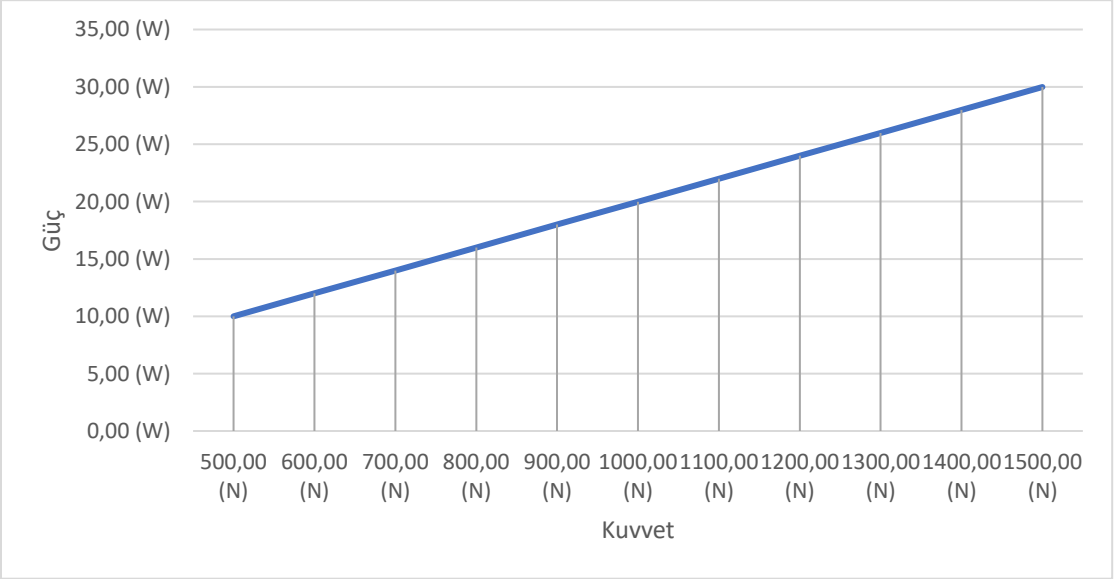
Şekil 4.3 Isı iletkenlik Isı-iletim katsayısı Grafiği

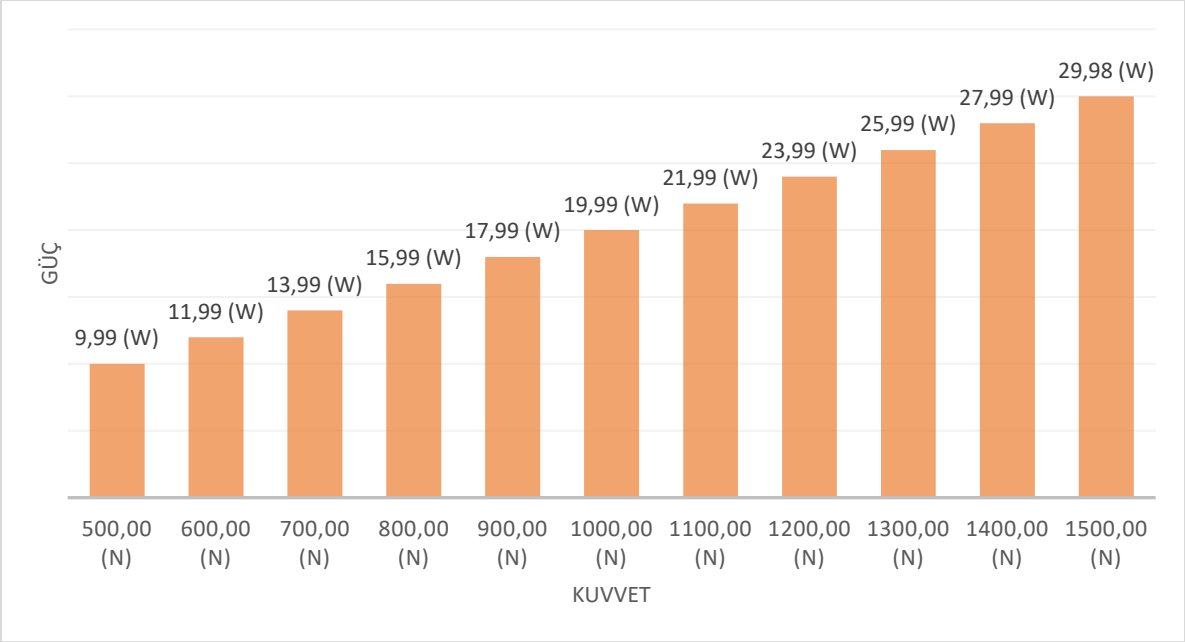
4.2. BİRİNCİ TASARIM PİEZOELEKTRİK MODÜLÜNÜN ANALİZLERİ

Tablo 4.4: PZT 4 Parçasına uygulanan kuvvete göre elde edilen Güç

Er	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00
E0	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)
A	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,12566 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,12566 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)
r	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)
T	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)
F	500,00 (N)	600,00 (N)	700,00 (N)	800,00 (N)	900,00 (N)	1000,00 (N)	1100,00 (N)	1200,00 (N)	1300,00 (N)	1400,00 (N)	1500,00 (N)
d	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)
P	9,99 (W)	11,99 (W)	13,99 (W)	15,99 (W)	17,99 (W)	19,99 (W)	21,99 (W)	23,99 (W)	25,99 (W)	27,99 (W)	29,98 (W)

Tablo 4.4'e bakıldığında Piezoelektrik yüzeyine uygulanan kuvvet yani kişi ağırlığı değiştikçe elde edilen voltaj da değişmiştir. Uygulanan kuvvet yükseldikçe çıkan sonuçlardan voltaj da artığı izlenmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.4'de kuvvet ve güç orantılı olduğu görünmektedir.





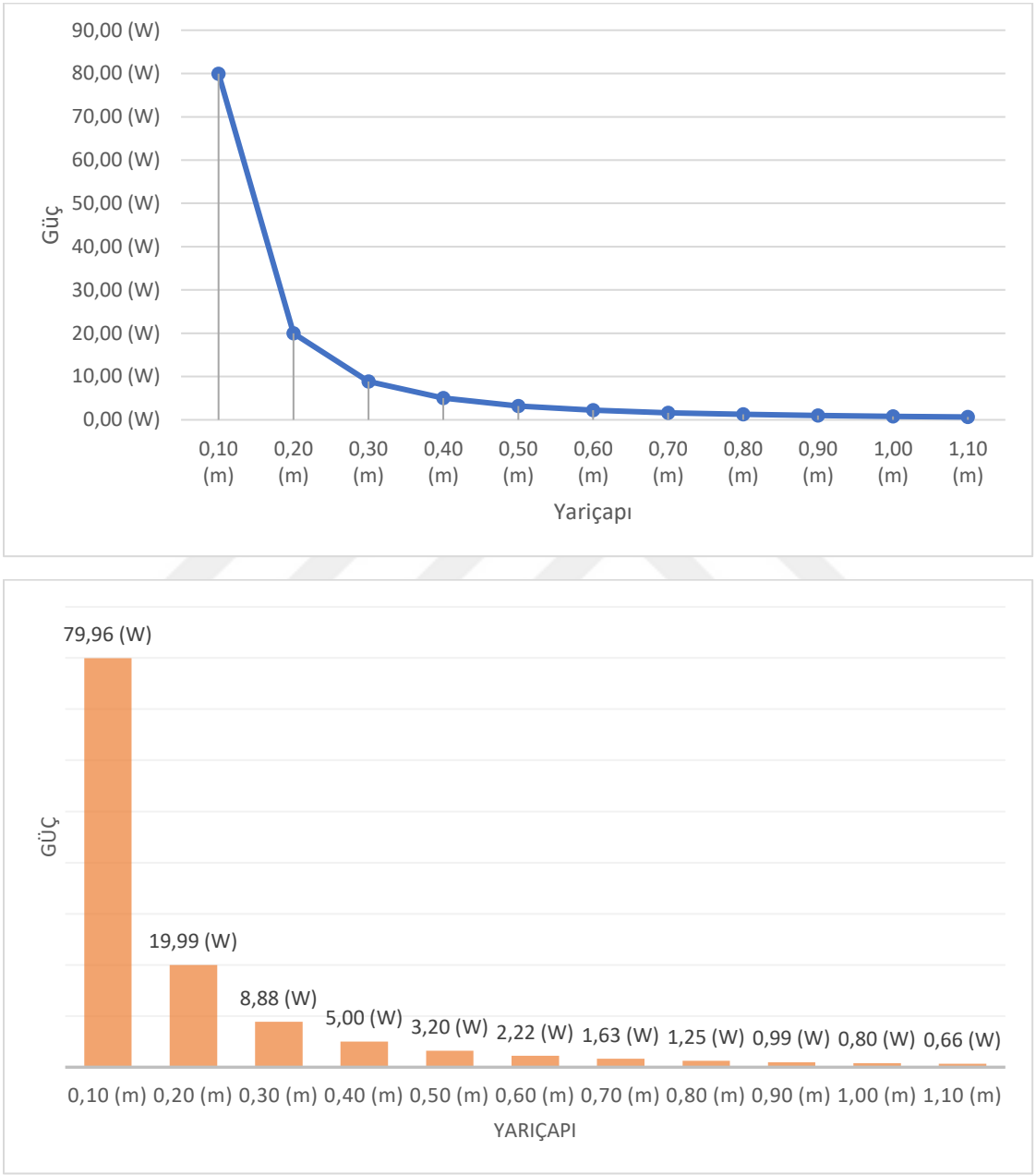
Şekil 4.4 Kuvvet-Güç Grafiği

Tablo 4.5: Birinci tasarım PZT 4 Parçasının alanına göre elde edilen güç

Er	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00
E0	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)
A	0,031 (m2)	0,126 (m2)	0,283 (m2)	0,50265 (m2)	0,785 (m2)	1,131 (m2)	1,539 (m2)	2,01062 (m2)	2,545 (m2)	3,142 (m2)	3,801 (m2)
r	0,10 (m)	0,20 (m)	0,30 (m)	0,40 (m)	0,50 (m)	0,60 (m)	0,70 (m)	0,80 (m)	0,90 (m)	1,00 (m)	1,10 (m)
T	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)
F	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)
d	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)
P	79,96 (W)	19,99 (W)	8,88 (W)	5,00 (W)	3,20 (W)	2,22 (W)	1,63 (W)	1,25 (W)	0,99 (W)	0,80 (W)	0,66 (W)

Tablo 4.5'de Piezoelektrik silindirinin yarıçapı değiştiğinde, bağlı olarak aynı zamanda da alan değişerek ortaya çıkan voltaj da farklılık göstermektedir. Yarıçap artıkça bağlı olarak alan

büyüdükçe voltaj da azaldığı fark edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.5'de Alan ve güç birbirine bağlı olduğu gözükmektedir.

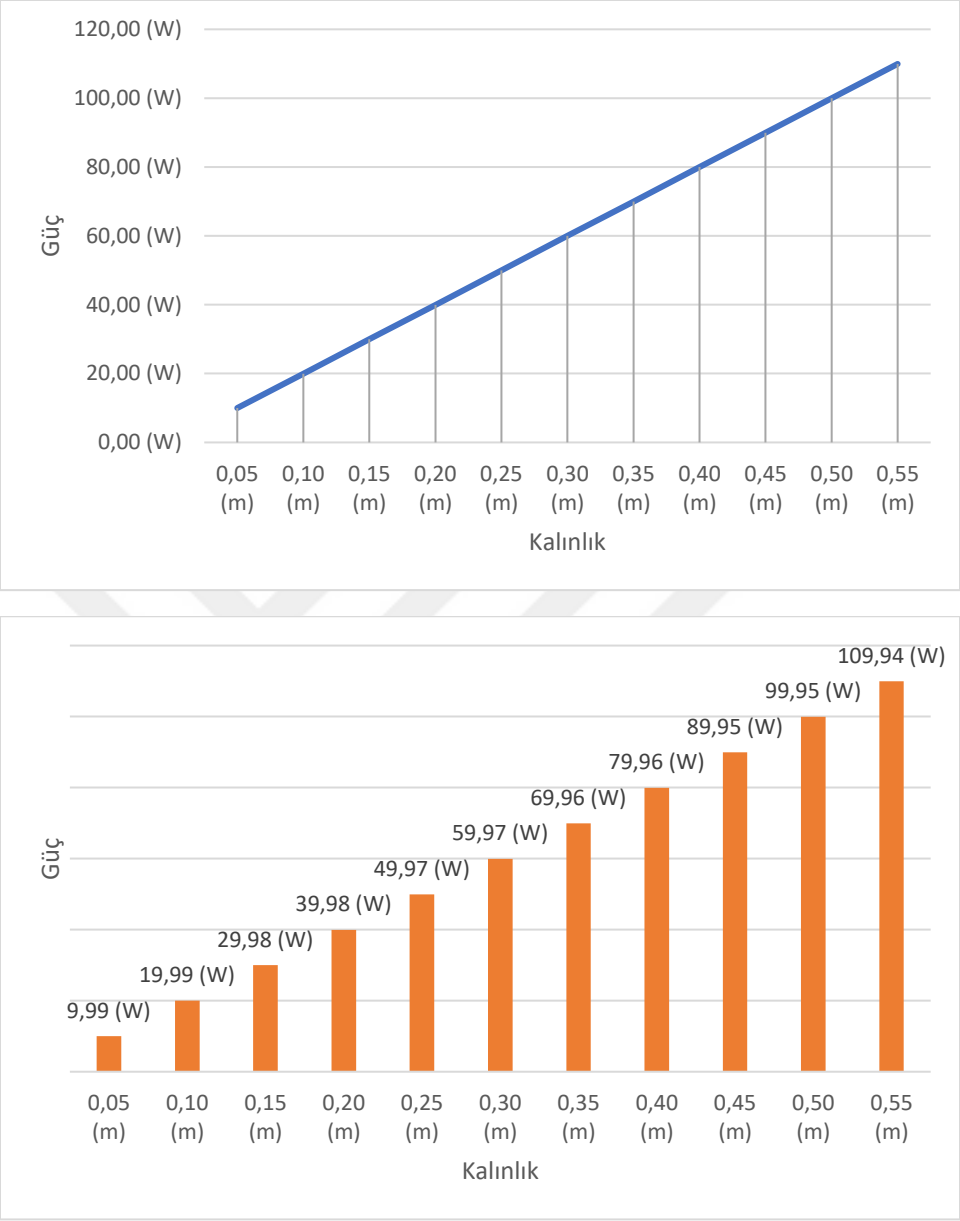


Şekil 4.5 Alan-Güç Grafiği

Tablo 4.6: Birinci tasarım PZT 4 Parçasının kalınlığına göre elde edilen güç

Er	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00
E0	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)
A	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,12566 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,12566 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)	0,126 (m2)
r	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)
T	0,05 (m)	0,10 (m)	0,15 (m)	0,20 (m)	0,25 (m)	0,30 (m)	0,35 (m)	0,40 (m)	0,45 (m)	0,50 (m)	0,55 (m)
F	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)
d	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)
P	9,99 (W)	19,99 (W)	29,98 (W)	39,98 (W)	49,97 (W)	59,97 (W)	69,96 (W)	79,96 (W)	89,95 (W)	99,95 (W)	109,94 (W)

Tablo 4.6'ü gözlendiğinde Piezoelektrik modülünün kalınlığı değiştiği zaman elde edilen voltaj da farklı olmuştur. Kalınlık artıkça ortaya çıkan voltaj da artığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 4.6'de kalınlık ve güç orantılı olduğunu görünmektedir.



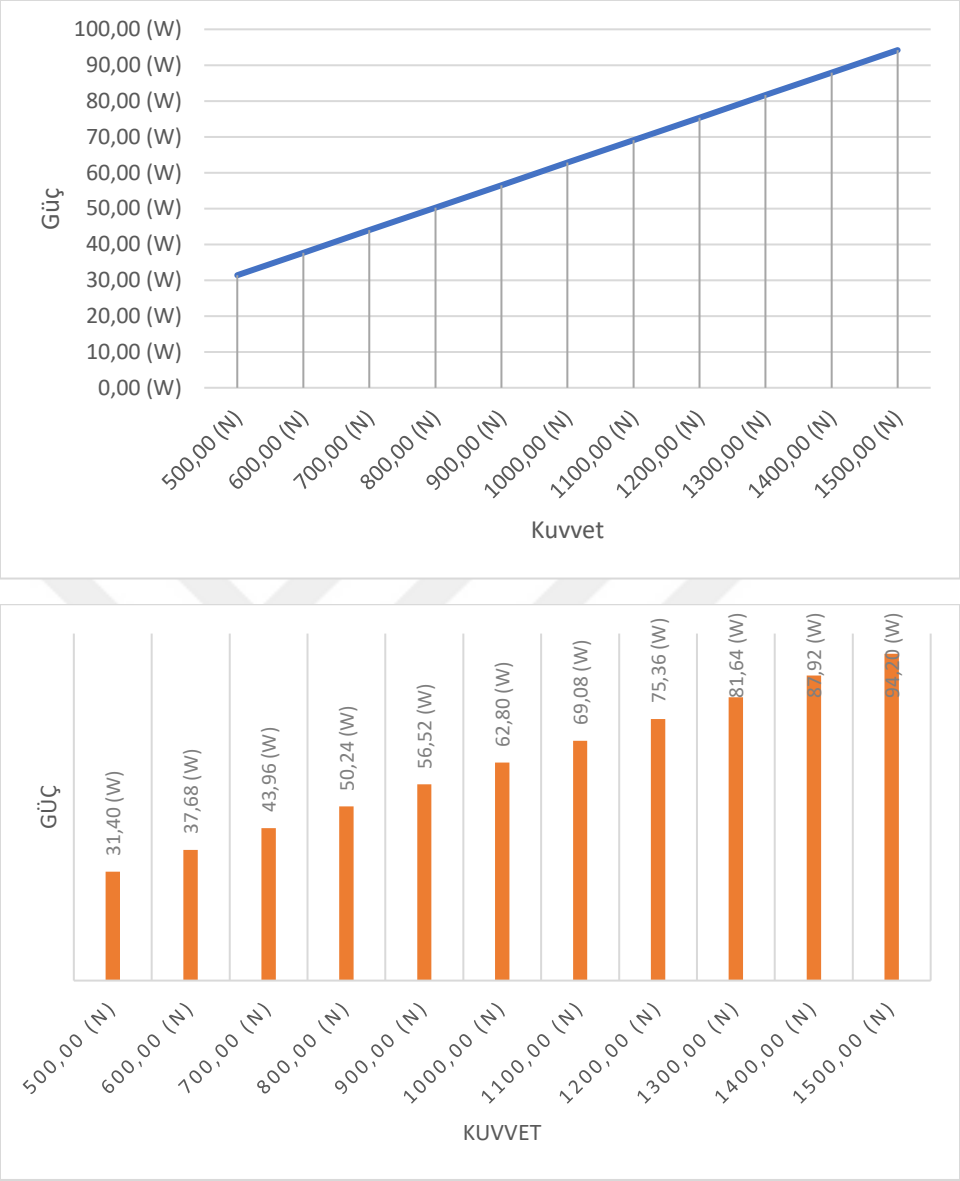
Şekil 4.6 Kalınlık-Güç Grafiği

4.3. İKİNCİ TASARIM PİEZOELEKTRİK MODÜLÜNÜN ANALİZLERİ

Tablo 4.7 İkinci tasarımın PZT 4 Parçasına uygulanan kuvvete göre elde edilen güç

Er	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00
E0	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)
A	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)
L	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)
T	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)
F	500,00 (N)	600,00 (N)	700,00 (N)	800,00 (N)	900,00 (N)	1000,00 (N)	1100,00 (N)	1200,00 (N)	1300,00 (N)	1400,00 (N)	1500,00 (N)
d	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)
P	31,40 (W)	37,68 (W)	43,96 (W)	50,24 (W)	56,52 (W)	62,80 (W)	69,08 (W)	75,36 (W)	81,64 (W)	87,92 (W)	94,20 (W)

Tablo 4.7'de Piezoelektrik yüzeyine uygulanan basınç başka bir değişle kişi ağırlığı değiştikçe voltaj da değişmektedir. Uygulanan basınç arttıkça voltaj da artığı görünmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.7'de kuvvet ve voltaj orantılı olduğu gösterilmektedir.

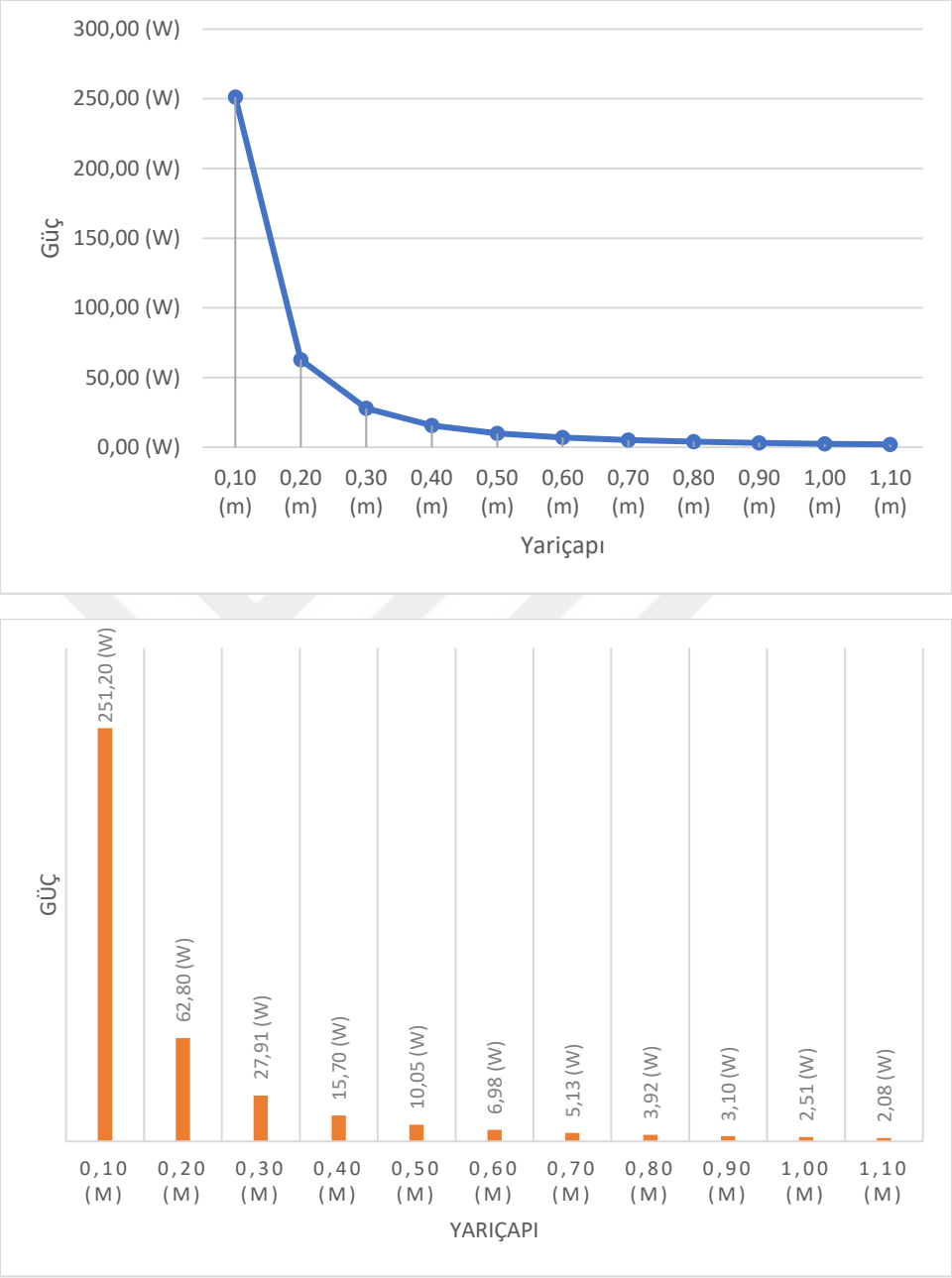


Şekil 4.7 İkinci tasarım Kuvvet-Güç Grafiği

Tablo 4.8: İkinci tasarım PZT 4 Parçasının alanına göre elde edilen güç

Er	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00
E0	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)
A	0,010 (m2)	0,040 (m2)	0,090 (m2)	0,160 (m2)	0,250 (m2)	0,360 (m2)	0,490 (m2)	0,640 (m2)	0,810 (m2)	1,000 (m2)	1,210 (m2)
L	0,10 (m)	0,20 (m)	0,30 (m)	0,40 (m)	0,50 (m)	0,60 (m)	0,70 (m)	0,80 (m)	0,90 (m)	1,00 (m)	1,10 (m)
T	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)
F	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)
d	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)
P	251,20 (W)	62,80 (W)	27,91 (W)	15,70 (W)	10,05 (W)	6,98 (W)	5,13 (W)	3,92 (W)	3,10 (W)	2,51 (W)	2,08 (W)

Tablo 4.8'de Piezoelektrik kare prizmanın ayrıtı değiştiğinde, alan değişerek ortaya çıkan voltaj da değişiklik göstermektedir. Alan büyüdükçe voltaj dramatik bir şekilde azaldığı fark edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.5'de Alan ve güç birbirine bağlı olduğu gözükmektedir.

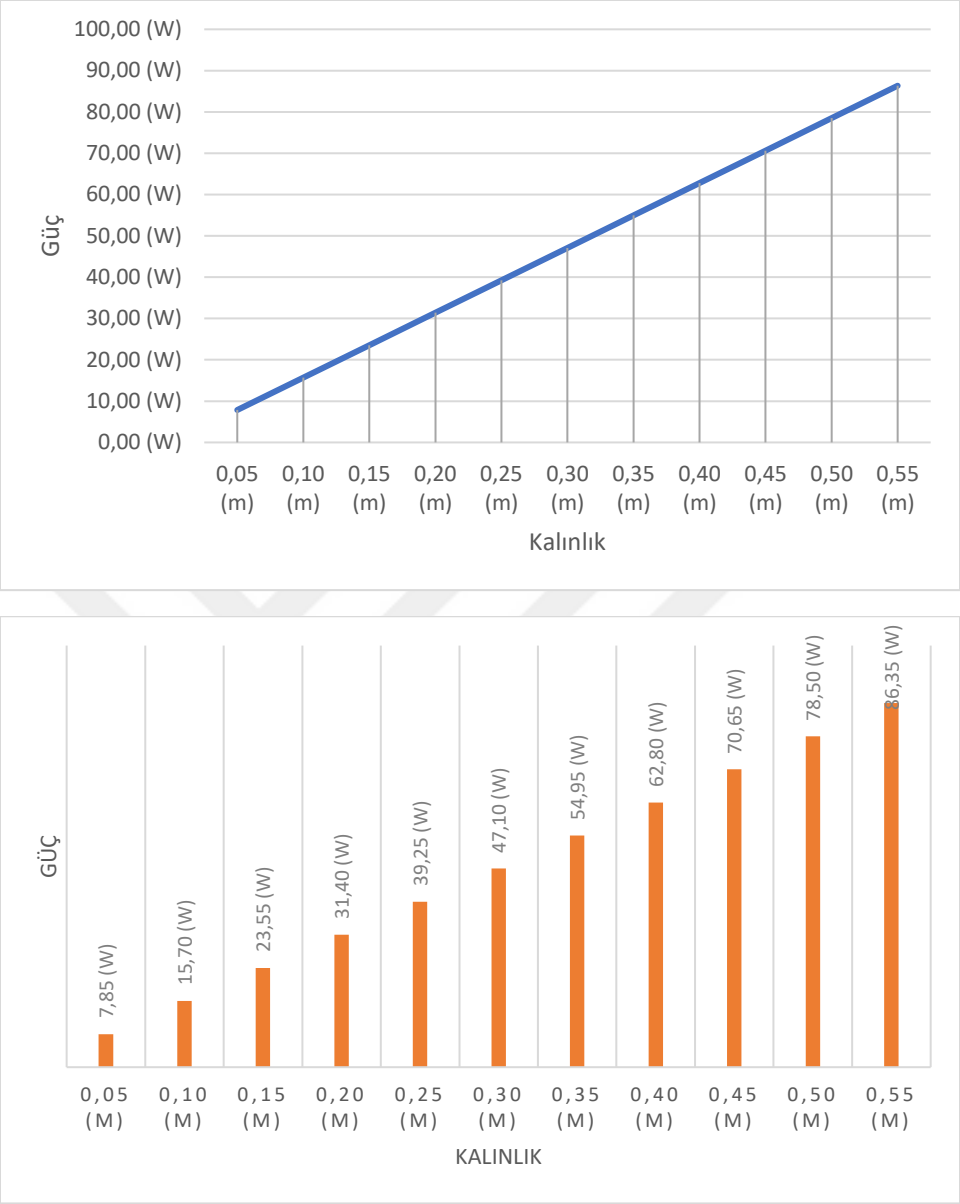


Şekil 4.8 İkinci tasarım Alan-Güç Grafiği

Tablo 4.9: İkinci tasarım PZT 4 Parçasının kalınlığına göre elde edilen güç

Er	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00
E0	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)
A	0,160 (m2)	0,160 (m2)	0,160 (m2)	0,160 (m2)	0,160 (m2)	0,160 (m2)	0,160 (m2)	0,160 (m2)	0,160 (m2)	0,160 (m2)	0,160 (m2)
L	0,40 (m)	0,40 (m)	0,40 (m)	0,40 (m)	0,40 (m)	0,40 (m)	0,40 (m)	0,40 (m)	0,40 (m)	0,40 (m)	0,40 (m)
T	0,05 (m)	0,10 (m)	0,15 (m)	0,20 (m)	0,25 (m)	0,30 (m)	0,35 (m)	0,40 (m)	0,45 (m)	0,50 (m)	0,55 (m)
F	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)	1000,00 (N)
d	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)
P	7,85 (W)	15,70 (W)	23,55 (W)	31,40 (W)	39,25 (W)	47,10 (W)	54,95 (W)	62,80 (W)	70,65 (W)	78,50 (W)	86,35 (W)

Tablo 4.9'ü incelendiğinde Piezoelektrik modülünün kalınlığı değiştiğinde ortaya çıkan voltaj da değişmiştir. Kalınlık artıkça ortaya çıkan voltaj da artığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 4.9'de kalınlık ve güç orantılı olduğunu görünmektedir.



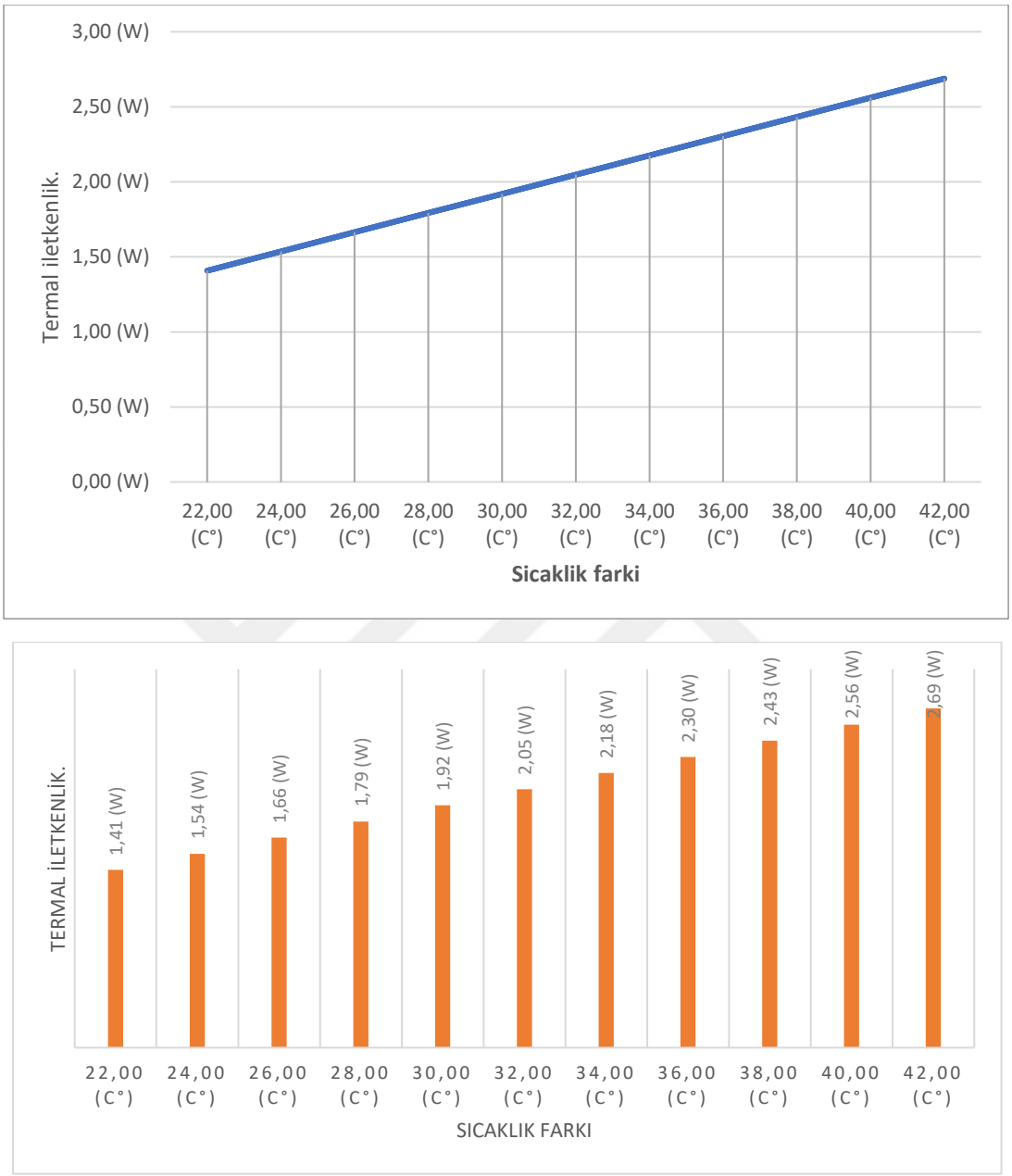
Şekil 4.9 İkinci tasarım kalınlık-Güç Grafiği

4.4. İKİNCİ TASARIM TERMOELEKTRİK JENERATÖRÜNÜN ANALİZLERİ

Tablo 4.10 İkinci tasarım Sıcaklık farkına göre elde edilen enerji

K	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)
L	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)
A	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)
ΔT	22,00 (C°)	24,00 (C°)	26,00 (C°)	28,00 (C°)	30,00 (C°)	32,00 (C°)	34,00 (C°)	36,00 (C°)	38,00 (C°)	40,00 (C°)	42,00 (C°)
Q	1,41 (W)	1,54 (W)	1,66 (W)	1,79 (W)	1,92 (W)	2,05 (W)	2,18 (W)	2,30 (W)	2,43 (W)	2,56 (W)	2,69 (W)

Tablo 4.10'e bakıldığında termoelektrik jeneratörünün yüzeylerine oluşan ısı farkı yani ΔT değiştikçe ortaya çıkan enerji de değişmektedir. sıcaklık farkı büyüdükçe görünen neticeden enerji de artığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 4.10'de Termal iletkenlik-Sıcaklık farkı orantılı olduğunu göstermektedir.

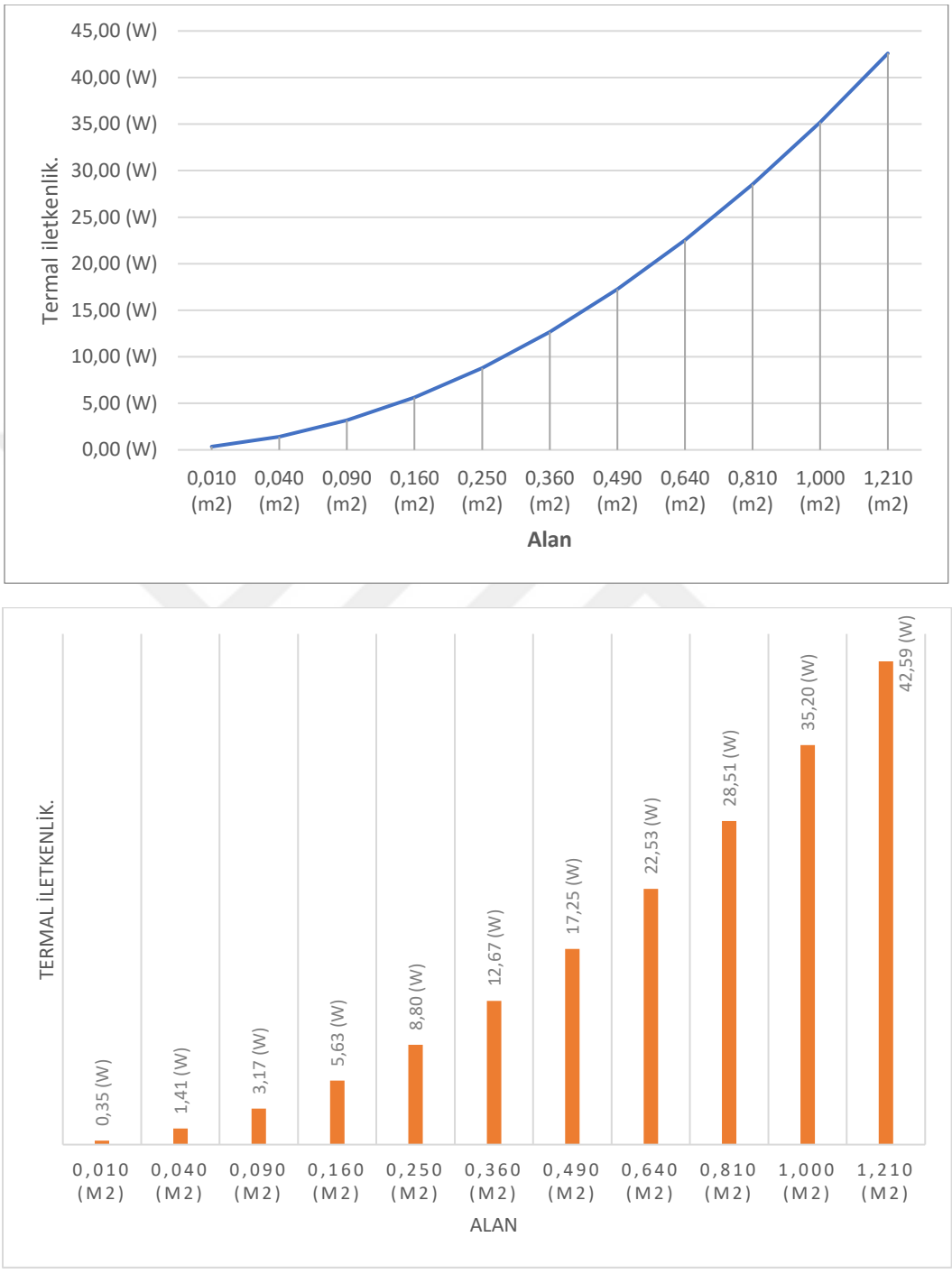


Şekil 4.10 Termal iletkenlik-Sıcaklık farkı Grafiği

Tablo 4.11 İkinci tasarım termoelektrik modülünün alanına göre elde edilen Enerji

K	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)
L	0,10 (m)	0,20 (m)	0,30 (m)	0,40 (m)	0,50 (m)	0,60 (m)	0,70 (m)	0,80 (m)	0,90 (m)	1,00 (m)	1,10 (m)
A	0,010 (m2)	0,040 (m2)	0,090 (m2)	0,160 (m2)	0,250 (m2)	0,360 (m2)	0,490 (m2)	0,640 (m2)	0,810 (m2)	1,000 (m2)	1,210 (m2)
ΔT	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)
Q	0,35 (W)	1,41 (W)	3,17 (W)	5,63 (W)	8,80 (W)	12,67 (W)	17,25 (W)	22,53 (W)	28,51 (W)	35,20 (W)	42,59 (W)

Tablo 4.11’de Termoelektrik jeneratörünün Alanı değiştiği zaman ortaya çıkan enerji de değişiklik göstermiştir. Alan büyüdükçe enerji de çok sert bir şekilde yükseldiği görünmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.11’de Alan ve Termal iletkenlik birbirine bağlı olduğu fark edilmiştir.

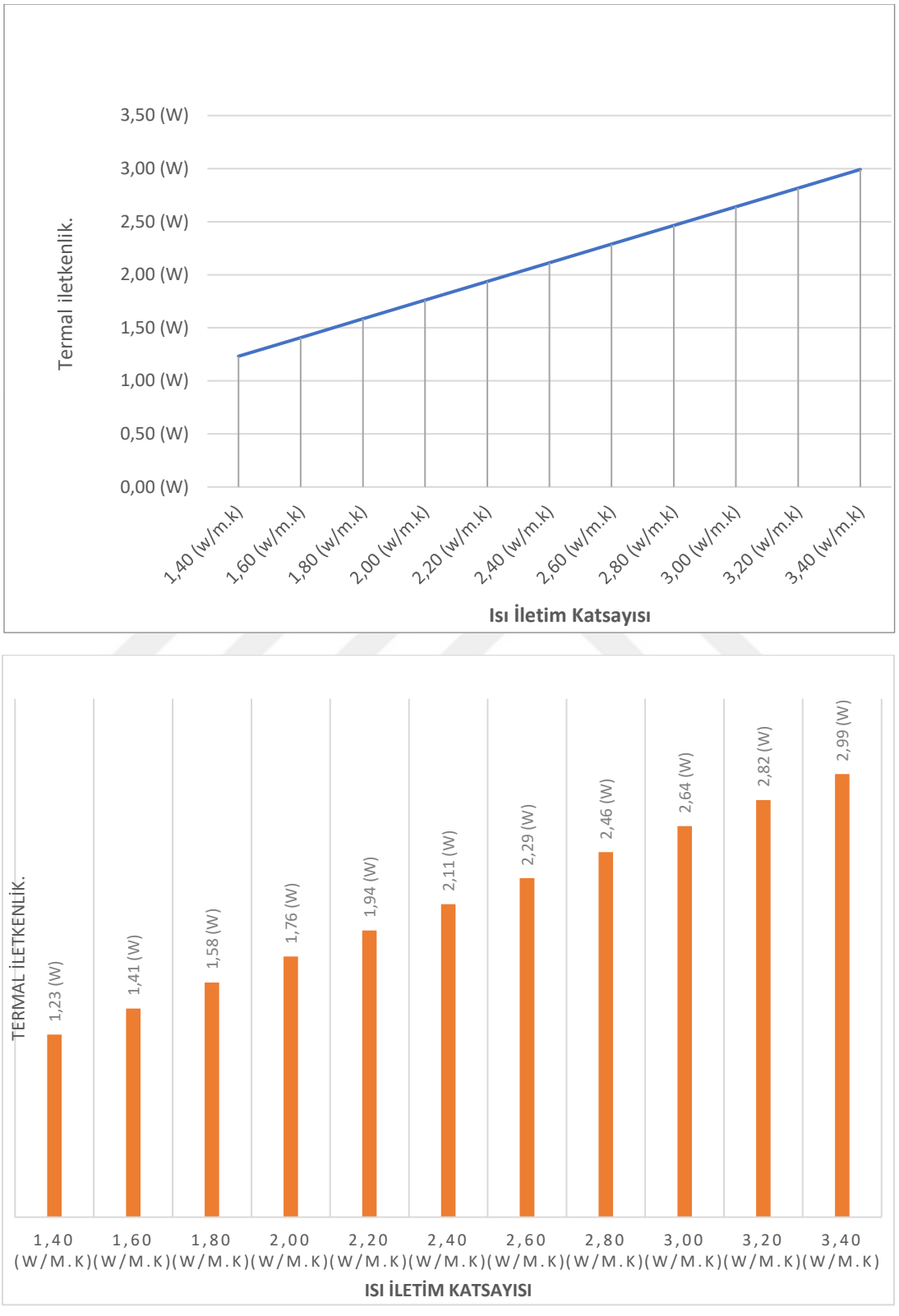


Şekil 4.11 Termal iletkenlik-Alan Grafiği

Tablo 4.12 İkinci tasarım TEG Isı iletim katsayısına göre elde edilen enerji

K	1,40 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,80 (w/m.k)	2,00 (w/m.k)	2,20 (w/m.k)	2,40 (w/m.k)	2,60 (w/m.k)	2,80 (w/m.k)	3,00 (w/m.k)	3,20 (w/m.k)	3,40 (w/m.k)
L	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)	0,20 (m)
A	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)	0,040 (m2)
ΔT	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)	22,00 (C°)
Q	1,23 (W)	1,41 (W)	1,58 (W)	1,76 (W)	1,94 (W)	2,11 (W)	2,29 (W)	2,46 (W)	2,64 (W)	2,82 (W)	2,99 (W)

Tablo 4.12 izlendiğinde Termoelektrik jeneratörünün katsayısı değiştikçe ortaya çıkan enerji miktarı da değişmektedir. Kullanılan materyalin katsayısı artıkça ortaya çıkan enerji ise artığı görünmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.12'de Isı iletkenlik Isı-iletim katsayısı orantılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.12 Isı iletkenlik Isı-iletim katsayısı Grafiği

Tablo 4.13 İdeal şartlarda Birinci piezoelektrik modülünden maksimum enerji

	T	A	F	İdeal Şartlarda
Er	1300,00	1300,00	1300,00	1300,00
E0	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)	8,85E-12 (F/m)
A	0,126 (m2)	0,031 (m2)	0,126 (m2)	0,031 (m2)
r	0,20 (m)	0,10 (m)	0,20 (m)	0,10 (m)
T	0,55 (m)	0,10 (m)	0,10 (m)	0,55 (m)
F	1000,00 (Pa)	1000,00 (Pa)	1500,00 (Pa)	1500,00 (Pa)
d	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)	2,89E-10 (C/N)
P	109,94 (W)	79,96 (W)	29,98 (W)	**668,50 (W)**

Yukarıdaki tabloda 3 tane kritere göre birinci tasarım için mükemmel durumlarda ulaşılan azami sonuçları göstermektedir. Elde edilen 668,5 (W) teorik anlamda makuldür fakat gerçek şartlarda bu neticeye varmak oldukça güç olabilmektedir. Çünkü kalınlığı 0,10 (m), 0,031 (m2) alana sahip ve 1500 (Pa) bir kuvvete dayanabilen bir parça üretilmesi çok külfetli ve zor bir iştir.

Tablo 4.14 İdeal şartlarda Termoelektrik modülünden maksimum enerji

	K	A	ΔT	İdeal Şartlarda
K	3,40 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	1,60 (w/m.k)	3,40 (w/m.k)
R	0,20 (m)	1,10 (m)	0,20 (m)	1,10 (m)
A	0,126 (m2)	3,801 (m2)	0,126 (m2)	3,801 (m2)
ΔT	22,00 (C°)	22,00 (C°)	42,00 (C°)	42,00 (C°)
Q	9,40 (W)	133,81 (W)	8,44 (W)	**542,83 (W)**

Hesaplanan tabloda 3 farklı parametrede ideal şartlarda elde edilen maksimum enerji göstermektedir. Ulaşılan 542,83 (W) Matematiksel olarak mümkündür lakin pratikte bu sonuca ulaşmak mümkün olmayabilir. Bunun sebebi ise 3,40 (w/m.k) iletim katsayısı olan ve 3,801 (m2) alana sahip bir parçaya ısı farkı 42 (C°) olarak tutmak gerçekten fizibil bir durum olmayabilir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yeni Bir Tip Termoelektrik ve Piezoelektrik Malzeme Tasarımı ve Analizi bilgisayar yardım ile tamamlanmış olmasına rağmen fiziksel olarak bu alanda yeterli bir deneyim yapılması gerekmektedir. Bu tasarımın gerçek hayatta çalışma sırasında hangi durumlar veya problemler ile karşılaşılacağı son tasarımın yapılmasına dek dikkate alınmalıdır. Gerilme, toplam deformasyon ve Elektrik Potansiyeli hesaplaması Comsol programıyla gerçekleştirilmiştir.

SolidWorks programında katı modeli çizilen koltuk Piezoelektrik modülünün Alanı, kalınlığı ve üzerine uygulanan kuvvet değiştirilerek Excel Programı yardım ile en optimize sonucu bulmak hedeflenmiştir. Bu tasarımın bir adım daha ilerlemesi ilişkin kinetik enerjisinden faydalanarak yaylı sistem gibi farklı fikirler uygulanabilmektedir. Mükemmel şartlarda Piezoelektrik modülünün alanı en küçük alınarak Kalınlığı ve uygulanan Kuvvet en büyük seçerek maksimum voltaj elde edilmektedir.

Birince tasarım ve ikinci tasarım aynı özelliklere sahip olmalarına rağmen ikinci tasarımde Pizoelektrik modülü daha yüksek bir voltaj, termoelektrik jeneratörü daha düşük bir enerji elde edilmiştir. İkinci tasarımın piezoelektrik modülünden elde edilen yüksek voltajın sebebi ikinci tasarımın alanı daha küçük olmasından kaynaklıdır. Tam ters bir şekilde, İkinci tasarımın termoelektrik jeneratöründen ortaya çıkan düşük enerjinin nedeni ise ikinci tasarımın alanı birinci tasarımın alanından daha küçük olmasından dolayıdır.

Günümüzde artan nufüs ve sanay faaliyetleri karşısında enerji son derece önemli ve stratejik bir güç haline gelmiştir. Başta fosil kaynaklı yakıtlar olmak üzere bilinen klasik enerji elde etme metotları gerek çevrisel kirlilik gerekse bu enerji üretimlerinin yeterince ekonomik olmaması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarının önemine ortaya çıkarmıştır. Yenilenebilir enerjisi açısında oldukçe zengin bir bölgede yer alan Türkiyede bu kaynak yönelik bu yatırmlar ucuz ve temiz enerji üretimini artıracaktır. Ancak yenilenebilir enerji kaynak bu amaçla daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmalar yapılması ve altyapı olanakları yapılmasına ihtiaç vardır. Bunun yanında yerli üreimin artırılması enerji kaynakların çeşitlendirilmesi, dış bağımlığlın azaltması, ve çevresel faktörler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması teşvik edilmelidir

Bu çalışmada aternatif enerji kaynağı olarak değerlendirebilecek piezo elektrik enerjisi bu anlamda altarnatif bir kaynak yaratmaktadır. Hem piezoelektrik modülü hem de termoelektrik jeneratöründe elde etmek istenen enerjiyi maksimum dereceye ulaştırmak için optimum tasarıma ulaşmak çok önemli bir faktördür.

Bu çalışmadaki gibi bir aydınlatma sistemini çalıştırabilecek veya ufak enerjiye ihtiyaçlarımızı giderebilecek güç sağlayacak bir elektrik enerjisi üretim modülü etkileyicidir. Piezoelektrik ve termoelektrik elemanlarından üretilen enerji şarjediebilen pillerde depolanması ve son olarak kullanılması enerji tasarrufu anlamında çok önemlidir. Öte yandan, tasarım ve uygulamanın bilgisayar yardımıyla çalıştığı ve çalışmanın amacını yerine tam getirmek için testler ile gözlenmelidir. Enerji üretmek veya aydınlatmak için gereken enerjiyi verecek bir pilin şarjını depolayan kapasitörler kullanılabilir.

Son olarak, piezoelektrik ve Termo elektrik jeneratörü üretim sistemlerinin temiz, güvenilir ve uzun ömürlü olması, büyük jeneratörler gibi motor gerektirmemesi nedeniyle, bu tür bir üretim önerilebilir. Ancak elde edilen elektrik enerjisinin düzeyine göre nispeten düşüktür.

REFERENSLER

Bernard Jaffe, william R Cook, Hans Ludwig Jaffe. (1971). *Piezoelectric Ceramics.* London, New yokr: Academic Press.

Duck Young Chung; Hogan, T; Schindler, J; lordarridis, L; Brazis, P; Kannewuf, C.R; Baoxing Chen; Uher, C; Kanatzidis, M.G. (1997). Complex bismuth chalcogenides as thermoelectrics. *Thermoelectrics XVI ICT 97* (p. 459). Michigan: Michigan state university.

Friend J. , Yeo L. (2008). *Piezoelectric Materials for Microfluidics. In: Li D.(eds) Encyclopedia of Microfluidcs and Nanofluidics.* Boston, MA: Springer.

Harrison, J. (2019, 11 23). *Crystal cluster*. Retrieved from wikipedia: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Quartz%2C_Tibet.jpg

Holler,F.James;Skoog, Douglas A. & Crouch, Stanley R. (2006). *Principles of instrumental Analysis,6th Ed.* Cengage Learning.

Jacques Curie, Pierre Curie. (1880). Developpement par compression de l`electricite polaire dans les cristaux hemiedres a faces inclinees. *Bulletin de la Societe Mineralogique de France*, 90-93.

Jones,D. J., et al. (1996). Piezoelectric Materials and their Applications Key Engineering Materials. *Trans Tech Publications,Ltd*, 71-144.

Josef Krautkramer, Herbert Krautkramer. (1990). *Ultrasonic Testing of Materials.* Berlin, Heidelberg: Springer.

Katzir, S. (2012). Who knew piezoelectricity? Rutherford and Langevin on submarine detection and the invention of sonar. *The Royal Society*, 143.

Kiran Kumar Sappati and Sharmistha Bhadra. (2018). Piezoelectric Polymer and Paper Substrates. *Sensorsz*, 18 (11).

Lippmann, G. (1881). Annales de chimie et de physique Principe de la conservation de l`electrcite. *V.Masson (paris)*, 145.

Mends, F. (2019, 11 17). *Piezoelectric materials*. sciencing: Sciencing.com/piezoelectric-materials-8251088.html adresinden alındı

Pastorino, G. (2009). ALESSANDRO VOLTA AND HIS ROLE IN. *Journal of Thermoelectricity*, 7-10.

Piezoelectricity. (2019, 11 27). Retrieved from Wikipedia: en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricity

Robert S. Anderson, Suzanne P. Anderson. (2010). *Geomorphology: The Mechanics and Chemistry of Landscapes.* Cambridge University Press, 2010.

Starner, T. (1996). Human-Powered Wearable Computing. *BM SYSTEMS JOURNAL,*, 6-7.

Thermoelectric products engineering special components operations electronic components rca. (1969). *Silicon Germanium Thermoelectric materials and module development program U.* New jersey: Thermoelectric products engineering special components operations electronic components rca.

XU, G., YANG, Y., ZHOU, Y., & LIU, J. (2013). Wearable thermal energy harvester powered by human foot. *Frontiers in Energy*, 26-38.

Yu Xiao, Li-Dong Zhao. (2018). Charge and phonon transport in PbTe-based thermoelectric materials. *npj Quant Mater 3*.