

Jeotermal Enerji Santrallerine Yönelik Termoelektrik Jeneratör Sistem Modellemesi

Modelling of a Thermoelectric Generator System for Geothermal Power Plants

Mahmut HEKİM¹, Engin ÇETİN²,

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Karaman.
mahmuthekim@kmu.edu.tr

² Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Denizli.
engincetin@pau.edu.tr

Özet

Son yıllarda ülkemizde kurulan Jeotermal Enerji Santral sayısında (JES) kayda değer bir artış görülmektedir. Tüm santral yapılarında olduğu gibi, JES'lerde de enerji verimliliği son derece önemlidir. JES'lerde meydana gelen enerji kayıplarını azaltmak için, santraldeki jeotermal akışkanın dönüş suyundan elektrik enerjisi elde edilmesi yoluna gidilebilir. Bunun için, Termoelektrik Jeneratör (TEG) sistemleri kullanılabilir. Yapılan bu çalışmada, Termoelektrik Jeneratör Modülleri (TGM) kullanılarak bir TEG sistemi modellenmiştir. Modelleme için, Matlab/Simulink yazılımı kullanılmıştır. Çalışma neticesinde, jeotermal enerji santrallerine yönelik örnek bir TEG sistem modeli ve bu modelin elektriksel çıktıları elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Jeotermal enerji, termoelektrik jeneratör, matlab-simulink.

Abstract

In recent years, there has been a significant increase in the number of Geothermal Power Plants (GPP) installed in Turkey. As in all power plants, energy efficiency is also very important in GPPs. In order to reduce the energy losses occurring in GPPs, electricity can be generated using the geothermal return fluid of the GPP. For this purpose, Thermoelectric Generator (TEG) Systems can be used. In this study, a TEG system was modeled using Thermoelectric Generator Modules (TGM). To get this aim, Matlab/Simulink software was used. As a result of the study, a model of TEG system for geothermal power plants and electrical simulation data of this model were obtained.

Keywords: Geothermal energy, thermoelectric generator, matlab/simulink.

1. Giriş

Günümüzde, elektrik üretiminde değişik enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır. Bu enerji kaynakları; yenilenemeyen (kömür, petrol vb.) ve yenilenebilir (jeotermal enerji, güneş enerjisi vb.) kaynaklar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Günümüzde, çevreyi kirletmeyen, maliyeti düşük ve temiz enerji kaynakları aranır hale gelmiştir. Güneş, rüzgar, su vb. gibi jeotermal su, jeotermal kökenli gaz da doğanın insanlara sunduğu tükenmez hazır enerji kaynaklarıdır. Jeotermal Enerji Santralleri (JES) de, temiz, çevre dostu, doğanın çevriminde kendisini yineleyen elektrik üretim sistemleri arasındadır.

Jeotermal enerji kaynaklarının kullanım alanları oldukça yaygındır. Başta elektrik üretimi olmak üzere; ısıtma, soğutma, kurutma, termal tesisler, konservecilik, kimyasal madde üretimi ile kağıt ve tekstil sanayii ve şehir ısıtmasında bu kaynaklardan doğrudan veya dolaylı olarak yararlanılmaktadır.

100 °C'yi aşan çok sayıda sıcak su kaynağının bulunuşu, Türkiye'nin jeotermal enerji olanakları yönünden önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [1].

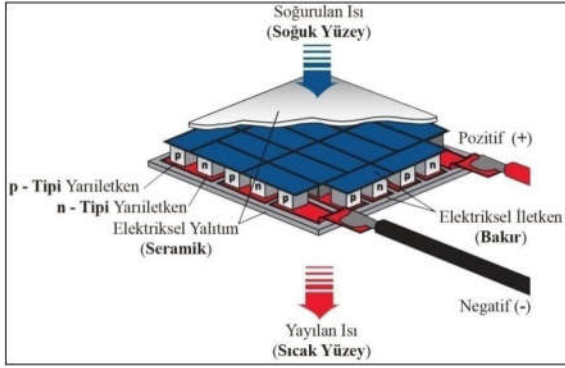
Bu çalışmada; JES'lerin jeotermal kaynak dönüş hattı ısı enerjisinden, Termoelektrik Jeneratör (TEG) Modülleri kullanılarak elektrik enerjisi elde etmek amacıyla tasarlanan bir sistem modeli ele alınmıştır. Jeotermal kaynak dönüş suyu ile santral soğutma suyu arasındaki sıcaklık farkı ile orantılı olarak, belirli bir elektriksel yük üzerinde, TEG Modülleri kullanılarak DC gerilim elde etmek mümkündür. Çalışmada ilk önce, TEG Modülleri'nin matematiksel ifadelerinden faydalanılarak Matlab/Simulink modelleri ortaya koyulmuştur. Sonrasında, bu matematiksel modelleme ile elde edilen verilerin Matlab/Simulink kütüphanesinde bulunan uygun dönüştürücülerle elektriksel ekipmanlara bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Modellemeye ait akış

şeması, matematiksel formüllere göre elde edilen hat verileri, TEG sistemi elektriksel verileri ve çıkış dalga şekilleri çalışmanın sonunda sunulmuştur.

Yapılan bu çalışma ile elde edilen Matlab/Simulink modeli kullanılarak, jeotermal kaynaklı enerji tesislerine uygulanabilecek TEG sistemlerine yönelik örnek bir model elde edilmiştir.

2. Termoelektrik Generatör

Termoelektrik (TE) terimi, elektrik enerjisi ile ısı enerjisinin birbirlerine dönüşümünü ifade eder. Bir TE modül (TEM), çok sayıda *n* ve *p* tipi yarı iletken malzemeden meydana gelir. Bu termoelementler, elektriksel olarak seri, termal olarak ise paralel bağlanarak değişik boyut ve kapasitelerde farklı amaç için kullanılacak şekilde, Şekil 1’de temel yapısı görülen termoelektrik modül elde edilir [2].



Şekil 1. TE modül yapısı [3]

TEM’ler, sadece soğutma veya ısıtma değil, elektrik üretiminde de kullanılabilirler. TEM’lerden elektrik enerjisi üretmek için, modül yüzeyleri arasında yeterli sıcaklık farkı oluşturmak gereklidir. Böylece oluşan sıcaklık farkı ile Seebeck Etkisi’nden dolayı TEM çıkışında DC voltaj elde edilebilir. TEM sayısı artırılmak suretiyle, TEG sisteminin akım ve gerilim değeri istenilen düzeye ayarlanabilir.

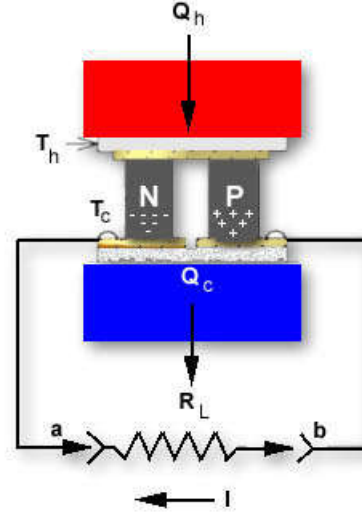
Elektrik enerjisi, ısı transferine bağlı olarak termoelektrik yarıiletkenler boyunca elektriksel yük taşıyıcılarının hareketinden üretilmektedir.

2.1. TEM Matematiksel Modeli

2.1.1. TEM Güç Üretimi

Bizmut Telluride tabanlı TEM’lerde, modülün iki farklı yüzeyi arasında sıcaklık farkı uygulanarak, elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Güç çıkışı ve üretim verimi çok düşük olmasına rağmen, genellikle herhangi bir ısı kaynağının bulunduğu durumlarda faydalı güç elde edilebilir.

Enerji üretiminde kullanılan bir TEM, geleneksel bir termokupl ile benzerlik göstermektedir. Şekil 2’de TEG’yi oluşturan TEM eşdeğer devresi görülmektedir.



Şekil 2. Sıcaklık farkı uygulanmış TE çifti [4]

$T_h > T_c$ 'nin (T_h : sıcak yüzey sıcaklığı, T_c : soğuk yüzey sıcaklığı) bulunduğu tek bir TE çifti için, çıkışa yük bağlı değil iken (R_L mevcut değil), a ve b noktaları arasında ölçülen açık devre voltajı;

$$\Delta U = s \cdot \Delta T \quad (1)$$

şeklinde. Burada;

U = Çiftin (jeneratör) çıkış voltajı [V]

s = Volt cinsinden ortalama Seebeck Katsayısı [V/K]

ΔT = Kelvin cinsinden çiftteki yüzeyler arası sıcaklık farkı (burada $\Delta T = T_h - T_c$)

TE çiftine bir yük bağlandığında, dahili jeneratör direncinin bir sonucu olarak çıkış voltajı (U) düşer. Yük boyunca geçen akım;

$$I = (s \cdot \Delta T) / (R_{in} + R_L) \quad (2)$$

olur. Burada;

I : Jeneratör çıkış akımı [A]

R_{in} : Termoelektrik çiftin ortalama iç direnci [Ω]

R_L : Yük direnci [Ω]

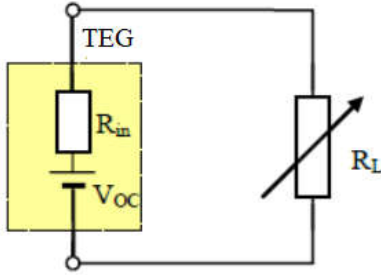
TEM’den elde edilen P gücü veya I akımı; sıcaklık farkına (ΔT), yarıiletken materyallerin özelliklerine ve harici yük direncinin (R_L) değerine bağlıdır. R_L yük direnci ile TEM iç direncinin eşit olduğu durumda, TEM’den maksimum güç elde edilebilir. Elektrik enerjisi, ısı transferine bağlı olarak TE yarıiletkenleri boyunca elektriksel yük taşıyıcılarının hareketinden üretilmektedir.

Bir TEM’de “Delta T (ΔT)” ve “Figure of Merit-Kalite Faktörü (FOM)”, TEM yüzeyleri arası sıcaklık farkının bir fonksiyonudur. Son yıllarda üretilen TEM’lerin FOM’leri yüksektir ve buna bağlı olarak verimlerinde de kayda değer bir artış olmuştur.

2.1.2. TEM Çıkış Karakteristiği

TEM uçları açık devre yapıldığında, TEM'den maksimum gerilim (U_{oc}), kısa devre yapıldığında ise maksimum akım (I_{sc}) elde edilir. TEM'den elde edilen güç, yükün değerine bağlı olarak değişim gösterir. Bir TEM; açık devre geriliminin (U_{oc}) kısa devre akımına (I_{sc}) bölümünden (U_{oc}/I_{sc}) elde edilebilen R_{in} iç direncine sahip bir gerilim kaynağı olarak modellenebilir. Burada açık devre gerilimi; U_{oc} , sıcaklık farkı DT ve Seebeck Sabiti s ile orantılı açık devre gerilimidir. TEM kısa devre akımı I_{sc} ise, belirli bir sıcaklık farkında (DT) uçları kısa devre edilmiş TEM'nin akımıdır [3].

TEM'in TEG olarak kullanılmasıyla ilişkili eşdeğer elektrik devresi, Şekil 3'te verilmiştir. Yük direncinin (R_L) değerine bağlı olarak TGM'den elde edilen güç miktarı değişir [3].



Şekil 3. TEG Thevenin eşdeğer elektrik devresi [3].

2.1.3. TEG Modülünün Modellenmesi

Ticari olarak üretilen TGM'lerde;

- Soğuk yüzey sıcaklığı T_C ,
- Sıcak yüzey sıcaklığı T_H ,
- Maksimum güç P_{max} ,

gibi parametreler belirtilir. Bu verilen değerlerle devrenin elektriksel parametreleri hesaplanabilir.

Kullanılacak bir TEG için verimliliğin yüksek olması noktasında malzeme, aşağıda bahsi geçen özelliklere haiz olmalıdır.

- ❖ Malzeme, gereken gerilimi sağlayabilmek için yüksek Seebeck Katsayısı'na (s) sahip olmalıdır.
- ❖ İstenmeyen Joule ısısını (Joule ısısı; $I^2.R$) azaltmak için çok iyi elektriksel iletkenliğe (σ) sahip olmalıdır.
- ❖ Isı kayıplarının azaltılması için düşük ısı iletkenliğe (k) sahip olmalıdır [5].

2.1.4. TEG Sistem Tasarımı ve Matlab/Simulink Benzetimi

Bu bölümde, örnek bir TEG sisteminin Matlab/Simulink benzetimi ele alınmıştır. Örneğin; 12 V / 11 A'lık bir termoelektrik güç üretici için bir TEG sistemi tasarımı yapılmak istenilsin.

Tasarımı yapılacak TEG sistemi ile; jeotermal tesiste jeotermal kuyunun kireçlenmesini önleyen Skid Sistemi'nin pompa motorunun çalıştırılması amaçlansın. Tasarım parametrelerine göre, sürekli olarak akan jeotermal akışkan 150 °C boru muhafaza sıcaklığı üretir. Soğutma suyu olarak kullanılan 30 °C sıcaklıktaki su, TEG sisteminin soğuk tarafından sürekli olarak transfer edilir. Sistemde, hedeflenen güçte TEG sistemini oluşturmak için, "Kryotherm Termoelektrik Generatör Modül" kullanılacaktır. Kullanılması planlanan Kryotherm TEG modül özellikleri, Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. TGM teknik özellikleri [6]

TGM Tip	Ölçüler, mm			Rac 22°C Ohm	Ri K/W	U Volts	I Amp	P Watts	η %
	A	B	H						
TGM 127-2,0-1,3	48	48	3,6	0,72	0,71	1,85	2,6	4,7	3,0

$T_{soğuk\ taraf} : 50\ ^\circ C - T_{sıcak\ taraf} : 150\ ^\circ C$ (Maksimum Çalışma Sıcaklığı)

TEG sistem tasarım bilgileri ise şu şekildedir;

U_0	: 12 V
I	: 11 A
T_{amb} (Ortam Sıcaklığı)	: 22 °C
R_{in} (İç Direnç)	: 0,72 Ω
T_H (Sıcak Taraf Isısı)	: 150 °C = 423,2 K
T_C (Soğuk Taraf Isısı)	: 30 °C = 303,2 K
V_{max} (TEG Maksimum Gerilim)	: 1,85 V
I_{max} (TGM Maksimum Akım)	: 2,6 A
P_{max} (Maksimum Güç)	: 4,7 W
η_{max} (Verim)	: % 3,0

Burada;

R_{in}	: Çalışma sıcaklığında TEG'nin dahili elektriksel direnci
I	: $R_L = R_j$ iken çıkış akım değeri [A]
U	: $R_L = R_j$ iken çıkış voltaj değeri [V]
P	: $R_L = R_j$ iken çıkış elektriksel güç değeri [W]
η	: $R_L = R_j$ iken verimlilik değeri

Bu parametreler her üretici firma tarafından verilmektedir. Bu değerlere göre kullanıcılar değişik yüklerde ve sıcaklık değerlerinde TEG'den alabilecekleri güç hesaplamalarını yapabilmektedirler. Yapılan bu hesaplamalar değişik yük değerlerinde TEG'lerden elde edilebilecek güç için önem arz etmektedir. Buna göre sırasıyla; ortalama sıcaklık, yük direnci, çıkış gücü ve sıcaklığı değişim değerleri, aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$T_{ave} = \frac{(T_h + T_c)}{2} \quad (3)$$

$$= (423,2 + 303,2) / 2 = 363,2\ K$$

$$R_L = \frac{V_0}{I} \quad (4)$$

$$= 12V / 11A = 1,09\ \Omega$$

$$P_0 = V_0 * I \quad (5)$$

$$= 12 * 11 = 131\ W$$

$$\Delta t = T_h - T_c \quad (6)$$

$$= 423,2 - 303,2 = 120\ K$$

Seebeck sabiti (s) ve R_{in} , aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$s = \frac{2V_{max}}{DT} \quad (7)$$

$$= 2 * 1,85 / 120 = 0,0308 \text{ V/K}$$

$$R_{in} = R_L = \frac{V_{max}^2}{P_{max}} \quad (8)$$

$$= 1,85^2 / 4,7 = 0,728 \Omega$$

Verim değeri mevcutsa, FOM değeri (Z) aşağıdaki gibi hesaplanır [7].

$$Z = \frac{4\eta_{max} TEJ}{[\Delta T - \eta_{max} TEJ(1,5T_H + 0,5T_C)]} \quad (9)$$

$$Z = 4 * 0,03 / [120 - 0,03(1,5 * 423,2 + 0,5 * 303,2)]$$

$$Z = 0,001245 \text{ K}^{-1}$$

TEG termal iletkenlik değeri ise, K_{th} eşitliğinden şu şekilde elde edilir;

$$K_{th} = \frac{s^2}{R_{in} \cdot Z} \quad (10)$$

$$K_{th} = (0,0308)^2 / (0,728 * 0,001245)$$

$$K_{th} = 1,047 \text{ W/K}$$

Çoğu TEG; seri, paralel veya seri / paralel düzenleme ile elektriksel olarak bağlanabilen bir takım bireysel modüller içerir.

Bir TEG'de kullanılan ekipman sayısı; seri bağlı modüller (N_S) ile paralel bağlı kol sayısına (N_P), neticede de toplam modül sayısına (N_T) bağlıdır [4]. Sistemdeki toplam modül sayısı Denklem 11 ile hesaplanır.

$$N_T = N_S * N_P \quad (11)$$

Yük direnci R_L 'den geçen akım, Denklem 12 kullanılarak hesaplanabilir.

$$I = \frac{N_S \cdot S_M \cdot DT}{\frac{N_S \cdot R_M}{N_P} + R_L} \quad (12)$$

Generatörden elde edilen çıkış gücünü Watt cinsinden hesaplamak için ise, şu denklem kullanılabilir;

$$P_0 = V_0 \cdot I = \frac{N_T \cdot (S_M \cdot DT)^2}{4 \cdot R_{in}} \quad (13)$$

Yük direnci R_L , TEG'nin iç direncine (R_{in}) eşit olduğunda, TEG'nin maksimum çıkış gücünün yükü karşılaşma durumu oluşur ve alınacak maksimum güç (P_{Lmax}), aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$P_{Lmax} = \frac{s^2 \cdot DT^2}{4 \cdot R_{in}} \quad (14)$$

$$P_{Lmax} = (0,0308 * 120)^2 / (4 * 0,728) = 4,69 \text{ W}$$

Gerekli minimum modül sayısı,

$$N_{Tmin} = \frac{P_0}{P_{max}} \quad (15)$$

$$= 12 * 11 / 4,69 = 28,09 = 28 \text{ adet}$$

olarak hesaplanır. Maksimum TEG verimliliği ise, $R_{GEN} = R_L$ durumu için söz konusudur.

$$R_{GEN} = \frac{N_S \cdot R_{in}}{N_P} \quad (16)$$

$$N_S = 7, N_P = 4 \gg \gg$$

$$R_{GEN} = 1,274 \Omega$$

$R_{GEN} \cong R_L$ olduğu için, N_S : 7, N_P : 4 kombinasyonu uygulanır.

$R_{GEN} = 1,274 \Omega$ değeri, $R_L = 1,09 \Omega$ yük direnci değerine yakın olduğu için elde edilen sonuç, tatmin edici aralıkta kabul edilebilir.

Bu kombinasyon, elde edilen en yakın direnç eşleşmesidir. N_S : 7, N_P : 4 olduğundan toplamda 28 adet modül kullanılması planlanmıştır. Bu düzenleme için I_{GEN} değeri hesaplanır.

$$I_{GEN} = \frac{N_S \cdot S_M \cdot DT}{\frac{N_S \cdot R_M}{N_P} + R_L} \quad (17)$$

$$= 10,95 \text{ A}$$

$$U_{GEN} = I_{GEN} * R_L \quad (18)$$

$$= 11,94 \text{ V}$$

$$P_0 = \frac{V_{GEN}^2}{R_L} \quad (19)$$

$$= 130,8 \text{ W}$$

TEG verimi ise, aşağıdaki verimlilik formülü kullanılarak bulunur [7].

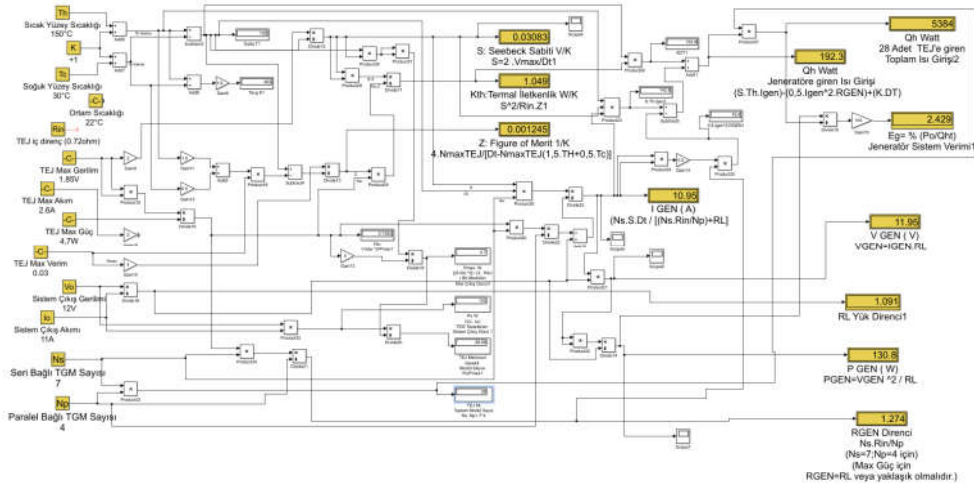
$$\eta_{max} = \frac{Z \cdot DT}{[4 + Z(1,5T_H + 0,5T_C)]} \quad (20)$$

$$\eta_{max} = \% 3,0$$

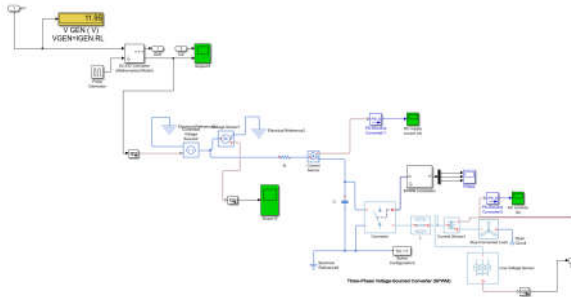
TEG Matlab/Simulink benzetim modeli, Şekil 4'te sunulmuştur. Oluşturulan matematiksel modelden elde edilen Matlab/Simulink güç parametre verileri, uygun konverterler kullanılarak Simscape Power System konverterleri ile fiziksel bağlantı yapılabilir duruma getirilmiştir.

Elde edilen matematiksel veri şeklindeki 12 V DC çıkış değeri, önce DC/DC boost konvertör kullanılarak yükseltilmiş, ardından üç faz DC/AC inverter ile DC gerilim, trifaze AC gerilime dönüştürülmüştür. Yapılan güç bağlantılarına ait simülasyon çalışması Şekil 5'te sunulmuştur.

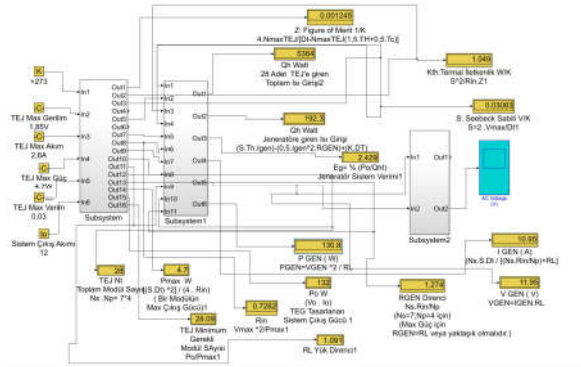
Matematiksel model genel halde kapsamlı olmasından dolayı, matematiksel ifadelerin olduğu bağlantılar alt sistem şeklinde Şekil 6'da ayrıca sunulmuştur. Benzetim çalıştırıldığında elde edilen güç eğrilerinden; DC/AC inverter girişindeki DC voltaj Şekil 7'de, DC/AC inverter çıkışındaki AC voltaj ise Şekil 8'de sunulmuştur.



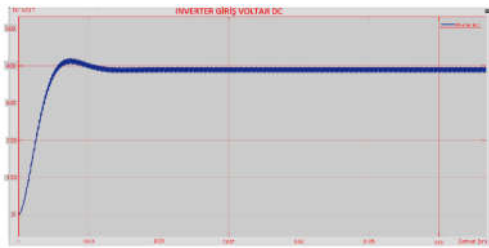
Şekil 4. TEG Matlab-Simulink benzetim modeli



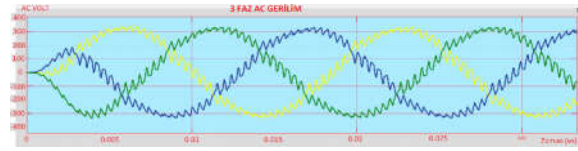
Şekil 5. TEG sistemi matematiksel model güç modülü bağlantıları



Şekil 6. TEG sistemi uygulaması alt sistemleri

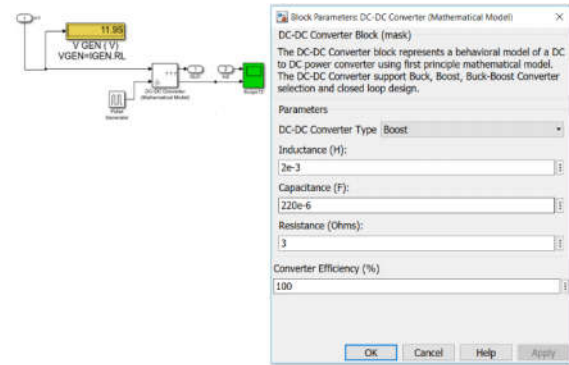


Şekil 7. Benzetimde elde edilen güç eğrileri; evirici girişi DC voltajı



Şekil 8. Benzetimde elde edilen güç eğrileri; trifaz evirici çıkış gerilim değeri

Matlab/Simulink çalışmasında DC-DC konvertör olarak, parametreleri Şekil 9'da görülen matematik model kullanılmıştır [8]. Sistemde kullanılan DC-AC evirici modellenmesi, Matlab kütüphanesinden Trifaze Gerilim Kaynaklı Dönüştürücü olarak temin edilmiştir [9]. Bu konvertör ile, Sinusoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SPWM) kullanan, üç fazlı gerilim kaynaklı bir dönüştürücüyü modifiye etmek mümkündür.



Şekil 9. DC-DC konverter matematiksel modeli

Bu modülasyon şeması, darbe üretmek için bir referans sinüs dalgasını daha yüksek frekanslı tekrar eden üçgen dalga ile karşılaştırır. Model; L , C ve darbe modülasyon şeması parametreleri için uygun değerlerin seçimini desteklemek için kullanılabilir.

TEG'nin verimliliği elektriksel yüke bağlı olarak değişir. Yük direncinin iç dirence oranı m ile ifade edilerek akım denklemi, Denklem 21'deki gibi elde edilir.

$$I = \frac{s \cdot DT}{(1+m)R_{in}} \quad (21)$$

m_{opt} değeri, maksimum hale getirilen TEG verimliliğindeki m direnç oranının değeri olarak ifade edilir [10].

Tek bir TEG modül için güç değeri hesaplanmak istenirse; sıcaklık farkı DT sabit tutulmak şartıyla, yük değerinin değişimine bağlı olarak, Denklem 22 ile (m_{opt}) değeri hesaplanır [7].

$$m_{opt} = \frac{(DT + \eta_{max} T_C)}{(DT - \eta_{max} T_H)} \quad (22)$$

$$m_{opt} = 1,203$$

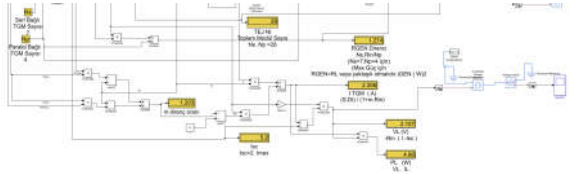
m_{opt} değeri kullanılarak tek bir modül için akım, gerilim ve güç değerleri Denklem 23 - 25'ten elde edilir.

$$\begin{aligned} I_L &= 2,306 \text{ A} \\ I_{max} &= 2,6 \text{ A} \\ I_{sc} &= 2 \cdot I_{max} \\ I_{sc} &= 5,2 \text{ A} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} R_{in} &= 0,728 \Omega \\ U_L &= -R_{in} \cdot (I_L - I_{sc}) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} U_L &= 2,107 \text{ V} \\ P_L &= I_L \cdot U_L \\ P_L &= 4,86 \text{ W} \end{aligned} \quad (25)$$

Şekil 10'da görüldüğü gibi, Matlab/Simulink uygulamasında verilen eşitlikler kullanılarak, tek bir modül için TEM parametreleri hesaplanmıştır. TEG sistem tasarımında sıcak taraf sıcaklığı, soğuk taraf sıcaklığı, maksimum gerilimi, maksimum güç ve verimlilik değerleri operatör tarafından girilmiştir.



Şekil 10. Matlab/Simulink uygulamasında, verilen eşitlikler kullanılarak, tek bir modül için elde edilen TEM parametreleri

3. Sonuç

Yapılan bu çalışmada; jeotermal santrallere yönelik, santralin re-enjeksiyon akışkanının ikincil bir işleme tabi tutularak elektrik enerjisi üretiminde kullanılabileceği bir termoelektrik jeneratör sisteminin modellenmesi yapılmıştır. Oluşturulan Matlab/Simulink modelinde, TEG modül parametreleri kullanılarak, TEG sisteminde güç üretimine etki eden Seebeck Katsayısı ($s=\alpha$), Figure of Merit (Z), Termal İletkenlik Değeri (K_{th}) gibi parametreler hesaplanmış, sonrasında bu bilgiler kullanılarak TEG sisteminin akım, gerilim ve güç parametreleri elde edilmiştir. Matematiksel modelde elde edilen Matlab/Simulink güç parametre verileri, uygun

konvertörler kullanılarak Simscape Power System'de bulunan DC/DC konvertör ve DC/AC eviricilere uygulanarak, sistemden elde edilen elektriksel parametreler izlenmiştir. Yapılan simülasyon çalışması ile TEG sisteminin jeotermal kaynaklı tesislerde uygulanabilirliğine yönelik bir model ortaya konmuştur. TEG bağlantı konfigürasyonları değiştirilerek değişik elektriksel yükler için de çalışmalar yapmak mümkündür.

4. Kaynaklar

- [1] Çetin, E., Hekim, M. ve Özden, H., "A Small Scale Geothermal Power Plant in Denizli-Turkey for Sustainable Energy Studies", *26th European Conference on Operational Research - EURO 2013*, (2013).
- [2] Döşkaya, H. E., "Güneş Enerjisi ve Atık Isı Kullanılarak Termoelektrik Modül ile Deneysel Elektrik Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Hatay, (2014).
- [3] Mamur H., "Termoelektrik Jeneratörün Elektriksel, Termoelektriksel ve Isıl Parametrelerinin İncelenmesi İçin Bilgisayarlı Bir Veri Edinim ve Test Sisteminin Gerçekleştirilmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı Ankara, (2014).
- [4] Url-1 - <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref13/>
- [5] Möröydor, E., "Sb2Te3 ve Bi2Te3 İçerikli Bileşenlerin Termoelektrik, Yapısal ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 18-36 (2005).
- [6] Url-2 <http://kryothermtec.com/assets/dir2attz/Kryotherm%20catalog.pdf>
- [7] Tsai, H. L., ve Lin, J. M. Model Building and Simulation of Thermoelectric Module Using Matlab/Simulink, *Journal of Electronic Materials*, 39(9), 2105-2111, (2010).
- [8] Url-3 <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52825-dc-dc-converter-mathematical-model?focused=5301640&tab=model>
- [9] Url-4 <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/three-phase-voltage-sourced-converter-spwm.html>
- [10] Ahıska, R., Mamur, H. ve Uliş, M., "Termoelektrik Modülün Jeneratör Olarak Modellenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 26, No 4, 889-896*, (2011).

Teşekkür

Yazarlar, Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne, 2017FEBE027 no'lu projeye desteklerinden dolayı teşekkür ederler.