



TERMOELEKTRİK MODÜL KULLANILAN SERADAKİ BİR BİTKİNİN TOPRAK ALTI VE ÜSTÜ SICAKLIĞININ SAYISAL VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Alp BÜYÜKBAYRAKTAR¹ , *Elif ÖĞÜT¹ 

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

(Geliş/Received: 15.05.2024, Kabul/Accepted: 03.09.2024, Yayınlanma/Published: 31.12.2024)

ÖZ

Seralarda kış aylarında üretimi artırmadaki en önemli faktör, sera içindeki bitkinin olgunlaşır büyümesini sağlayan, gerekli konfor sıcaklığına ulaşmak için kullanılan yakıt ile ısıtma sistemlerinin işletme ve tasarım maliyetleridir. Toprak ısıtma sistemleri ile bitkilerde önemli ölçüde verim artışı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, Termoelektrik modül ile toprağın ısıtılması amaçlanmaktadır. Termoelektrik modülün ısıtma yükünden yararlanılıp önce kontak malzemeye ısı aktarmasını, sonra da ısınan kontak malzemesinin toprağı ısıtması ve doğal taşınım etkisiyle bitki yapraklarının ısıtılması amaçlanmıştır. Farklı bir yaklaşımla termoelektrik modül kullanarak alüminyum blok tasarlanmış olup bitkinin kök ve tohum çimlenme sıcaklığı arttırması amaçlanmıştır, bitkinin yaprak sıcaklığı ise kübik bir termoelektrik modül hazırlayarak toprağın üstüne yerleştirilerek elde edilmiştir. Tasarım alüminyum blok bitkinin kök sıcaklığının arttırarak don olayından koruma sağlarken kübik termoelektrik modül bitki yapraklarındaki don olayını azaltarak kök ve sera içi ısınmayla daha verimli ve çok daha ekonomik bir üretim amaçlanmaktadır. Çalışmada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri Ansys Fluent yazılımı kullanarak elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada toprak tipi, kontak malzemesi, çevre ve ortam koşulları, bitki kök konumu gibi parametreler incelenmiştir. Birbiri ile ilişkili olan bu terimler de değişiklik yapılarak ideal tasarımın elde edilip optimum konfor sıcaklığına ulaşması bu çalışmanın ana amacıdır. Yapılan deneyler ve simülasyonlar sonucunda, termoelektrik modüllerin sera içi sıcaklık kontrolünde etkili olduğu ve bitki verimliliğini önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Toprağın ısıtılmasıyla kök sıcaklığında 16.3 derece bir artış sağlanmış ve bitki köklerinin don olayından korunması başarılmıştır. Ayrıca, kübik termoelektrik modül kullanımıyla bitki yaprak sıcaklığı da 26 derece artırılarak, yaprak don olayları minimize edilmiştir. Bununla birlikte yapılan test ve analiz sonuçlarında 720 saniyenin sonunda %0.91 bir bağıl hata tespit edilmiş olup analiz ve yapılan deneyin tutarlılığı gösterilmiştir. Bu sonuçlar, termoelektrik modüllerin sera içi ısıtma sistemleri için verimli ve ekonomik bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Deneysel veriler ve simülasyon sonuçları, termoelektrik modül tasarımının sera içi sıcaklık kontrolünde geleneksel yöntemlere göre daha etkin olduğunu kanıtlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Ansys Fluent, Peltier, Sera, Termoelektrik Modül.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ABOVE AND BELOW GROUND TEMPERATURE OF A PLANT IN A GREENHOUSE USING A THERMOELECTRIC MODULE

ABSTRACT

Enhanced production during winter hinges on the choice of fuel for attaining the requisite comfort temperature and the efficient operation of heating systems. Notably, a substantial yield boost is observed in plants utilizing soil heating systems. This study aims to employ Thermoelectric modules for soil heating. The strategy involves transferring heat to the contact material through the thermoelectric module's heating load. The heated contact material then warms the soil, and natural convection is utilized to heat the plant leaves. An innovative approach incorporates an aluminum block designed with a thermoelectric module to elevate root and seed germination temperatures, coupled with a cubic thermoelectric module placed on the soil to influence leaf temperature. The aluminum block shields against frost by raising the plant's root temperature, while the cubic module minimizes frost on the leaves. This dual-pronged approach seeks a more efficient and economical greenhouse production by

heating both the root zone and the interior. The study incorporates Computational Fluid Dynamics (CFD) analyses using Ansys Fluent software. Experimental parameters encompass soil type, contact material, environmental conditions, and plant root positioning. The aim of this study is to optimize the design, adjusting interrelated factors to achieve the ideal configuration and attain the optimum comfort temperature. Based on experiments and simulations, it has been observed that thermoelectric modules are effective in controlling internal greenhouse temperatures and significantly enhancing plant productivity. Heating the soil resulted in a 16.3-degree increase in root temperature, successfully protecting plant roots from frost events. Additionally, using cubic thermoelectric modules increased leaf temperature by 26 degrees, minimizing leaf frost occurrences. Moreover, test and analysis results indicated a relative error of 0.91% after 720 seconds, demonstrating the consistency of the analysis and experiments. These findings illustrate that thermoelectric modules provide an efficient and economical solution for greenhouse heating systems. Experimental data and simulation results confirm that thermoelectric module designs are more effective in greenhouse temperature control compared to traditional methods.

Keywords: Ansys Fluent, Peltier, Greenhouse, Thermoelectric Module.

1. Giriş (Introduction)

Toprak ısıtma sistemleri, tarım ve sera yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, bitki büyümesini ve verimliliği artırmak amacıyla toprağın kök seviyesindeki sıcaklığı kontrol altında tutmayı sağlar. Geleneksel yöntemlerden farklı olarak, peltier (termoelektrik) cihazları, doğrudan elektrik enerjisi kullanarak termal enerji üretir ve bu sayede toprak içinde istenen sıcaklık seviyelerini korur. Peltier cihazları, termoelektrik etki sayesinde bir yüzeyde soğutma ve diğer yüzeyde ısıtma sağlayabilen kompakt ve sessiz bir teknolojidir. Peltierler, doğrudan akım (DC) ile çalışan ve bir soğutma etkisi yaratmak için yarı iletken farklı sıcaklıklara sahip iki yüzey arasında termoelektrik etkiyi kullanan cihazlardır. Bu sistemler, istenilen sıcaklık farkını koruyarak toprak içinde homojen bir ısı dağılımı sağlar. Özellikle sera içi koşullarda, bitkilerin kök sistemlerinin don olaylarından korunması ve optimal büyüme şartlarının sürdürülmesi için ideal bir çözüm sunar. Peltierlerin toprak ısıtma sistemlerindeki avantajları arasında enerji verimliliği ve düşük bakım gereksinimi bulunmaktadır. Diğer ısıtma yöntemlerine kıyasla daha az enerji tüketimi sağlayan bu teknoloji, aynı zamanda sessiz çalışmasıyla da dikkat çeker. Modern tarım ve sera yönetimi için giderek daha önemli hale gelen bu sistemler, hem mevsimsel değişimlere hem de çevresel faktörlere karşı bitki sağlığını koruma açısından kritik bir rol oynar.

Ülkemizin içinde bulunduğu ılıman iklim kuşağındaki ülkelerde seracılık ekolojik koşullara bağlı olarak gelişmiştir. Buna göre, 2008 yılı itibarıyla, seralarımızın %84.6'sı ve toplam örtü altı alanlarımızın %86.9'u Akdeniz Bölgesinde yer almaktadır. 1980'li yılların sonuna doğru diğer bölgelerimizde de seracılık faaliyetleri başlamıştır ve günümüzde giderek artan bir eğilim göstermektedir [1]. Seraların ısınması için harcanan maliyet seraların ekonomi dengesini etkileyen önemli bir parametredir. Son dönemde hem ülkemiz hem de diğer ülkeler çevreye duyarlı ısıtma ve soğutma sistemleri için temiz ve sürekli dönüşüme uğramakta olan yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru kullanılması için çalışmalar yürütmektedirler. Yenilenebilir enerji kaynakları sera içi ısınma sistemlerinde aktif rol alması gün geçtikçe artmaktadır. Sera içinde bitkinin çimlenmesini ve sağlıklı bir şekilde büyümesini sağlayan, konfor sıcaklığına ulaşabilmek için harcanan yakıtın miktarı cinsi, sistemi seralarda ısıtma sistemlerinin işletme giderlerini oluşturur. Günümüzde aktif kullanılan klasik seracılıkta çoğu kez merkezi ısıtma sistemi kullanılmaktadır. Bu ısıtma sistemleri kalorifer kazanından çıkan sıcak hava ile sera içerisindeki soğuk havayı ısıtmayı amaçlarken enerjinin büyük bir miktarını seranın toprak tabanından atmosfere yollamaktadır. Bu durum doğal olarak sera üreticilerini toprak ısıtma sistemlerine yönlendirmektedir. Seralarda toprağın ısıtılması ile ısı verim ve bitkilerin gelişimi artmakta iken bu yöntemle toprağın ısıtılması aynı zamanda da tüm seranın iç sıcaklığını artırmaya katkı sağlamaktadır [2]. Klasik toprak ısıtma sistemlerine nazaran, Termoelektrik bir modül ile toprağın ısınması gözlenebilir. Termoelektrik modül temiz bir enerji kaynağıdır. Elektrik enerjisini ısıtma yüküne veya soğutma yüküne dönüştürür. Burada Termoelektrik modülün (TEM) ısınma yükünden yararlanıp, önce kontak malzemeye ısıyı aktarmasını, sonra da ısınan kontak malzemesinin (alüminyum) toprağa iletim ile ısı transferini gerçekleştirip, aynı malzemeyi toprağın üst kısmına yerleştirdiğimiz anda da doğal taşınım etkisiyle bitki ve bitki yapraklarına ısı yükü vermek amaçlanmaktadır. TEM'ler yarı iletken malzemelerden yapılmış olup ısıtıcı-soğutucu olmak üzere iki grupta incelenirler. Her iki tipte de n ve p tipi yarı iletken malzemeler kullanılırken n-tip ve p-tip yarıiletkenleri bir araya gelerek yarıiletken çiftini oluşturmaktadırlar. Bu yarıiletken çiftler seri olarak birbirine bağlandığı zaman TEM'i oluştururlar.

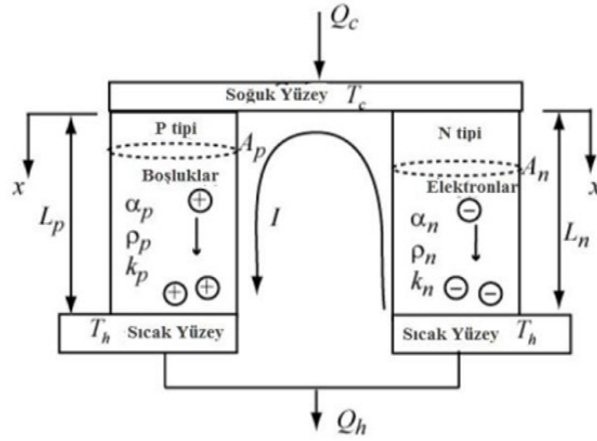
Seraların ısıtma sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, yenilikçi ve çevre dostu çözümler geliştirilmesinde önemli katkılar sağlamaktadır. Çanakçı ve arkadaşları (2013) seralarda ısıtma maliyetlerinin yüksek olduğunu ve bu maliyetlerin azaltılması için termal ekranlar, çift katlı örtü malzemeleri ve pasif güneş enerjisi kullanımı gibi yenilikçi yöntemlerin gerekli olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, iklim verilerine bağlı olarak ısıtma uygulamalarının maliyeti artırdığı ve enerji verimliliğinin sağlanması için termal ekranlar gibi çözümlerin önemine vurgu yapılmıştır [3]. Öztürk ve arkadaşları (2006) seralardaki ısıtma sistemlerinin önemine dikkat çekmiş ve maliyeti düşürmek için ısı performansını yüksek sistemlerin kullanılması gerektiğini ifade etmiştir. Bu çalışmada, seralarda ısı değiştiricilerin bitki sıralarına yakın yerleştirilmesi gerektiği ve bitki yaprak sıcaklığının yüksek olmasının mantar ve bakteriyel hastalık riskini azalttığı belirtilmiştir [4]. Kendirli ve Çakmak (2010) sera üreticiliğinin en büyük sorunlarından birinin ısıtma sistemleri olduğunu ve fosil yakıtların yüksek maliyetinin sera üreticilerini zorladığını belirtmiştir. Bu çalışmada, seralarda düzenli ısınma sağlanamamasının bitkilerde verim düşüklüğüne yol açtığı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtma sistemlerinde kullanımının önem kazandığı ifade edilmiştir [5]. Popovski (1990) seralarda bitki ve tohumların uygun bir ısıtma sistemi ile yetiştirilmesi gerektiğini ve ısıtma sisteminin sera içerisindeki hava hareketine bağlı olarak tüm ortamı ısıttığını belirtmiştir. Çalışma, seralarda bitki tipine ve konumuna göre ısıtmanın önemini vurgulamaktadır [6].

Termoelektrik modüllerin ısıtma sistemlerinde kullanımı üzerine yapılan çalışmalar da bu alanda yenilikçi çözümler sunmaktadır. Kobari ve arkadaşları (2015) termoelektrik modül (TEM) kullanarak bir sıcak plaka aparatı geliştirmiş ve TEM'in hassas çalışma sıcaklıklarının önemini vurgulamıştır. Bu çalışmada, TEM'in ısı akışını hassas bir şekilde ölçmek için bir sıcaklık aparatı tasarlanmıştır [7]. Huang ve Duang (2000) hassas elektronik bileşenlerin sabit sıcaklıkta çalışma performanslarının önemine vurgu yapmış ve değişken ortam sıcaklığında sıcaklık denetiminin elzem olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, dinamik sürekli ısı transferinin önemi vurgulanmıştır [8]. Bununla birlikte Sato ve arkadaşları (2005) çok yüksek akımların devre içerisinde iletilmesi ve TEM akımlarının uçlarındaki ısı kaçaklarının düşürülmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışma, TEM'in sıcak ve soğuk yüzeyi arasındaki ısı düşüşlerin azaltılmasının önemini vurgulamaktadır [9].

Bu çalışmada, termoelektrik modüllerin sera içi sıcaklık kontrolünde etkinliği ve bitki verimliliği üzerindeki etkisi deneysel ve sayısal analizlerle incelenmiştir. Temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olan termoelektrik modüllerin, sera içi ısıtma sistemlerinde nasıl kullanılabileceği ve bu sistemlerin verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar, farklı toprak tipleri, kontak malzemeleri ve ortam koşulları altında yapılmış, bu parametrelerin bitki kök sıcaklığı ve yaprak sıcaklığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri Ansys Fluent yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve deneysel verilerle doğrulanmıştır. Bu sayede, termoelektrik modül tasarımının sera içi sıcaklık kontrolünde geleneksel yöntemlere göre daha etkin ve ekonomik olduğu ortaya konulmuştur

2. Teorik Model (Theoretical Model)

TEM matematiksel modelleri için ideal denklem takımları kullanılmaktadır. Kullanılan ideal takım denklemler TEM' in ısıtma ve soğutma olayını tanımlamak için kullanılır. Aşağıda Şekil 1'de modüle ait P-N tipteki termal elementleri ortaya çıkaran durum parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 1. P ve N tipi termoelementlerin şematik gösterimi [10] (Schematic representation of P and N type thermoelements)

2.1. Yönetici denklemler (Governing equations)

$$q = \alpha T_j - k \vec{\nabla} T \quad (1)$$

Burada α seebeck katsayısı, j akım yoğunluğu, k ısı iletkenliği ve $\vec{\nabla}$ gradyandır. Bu denklem ısı akısı, elektrik akımı ve ısı iletimini Denklem (1) ile ilişkilendirirken, kararlı durum hali olarak Denklem (2)'de gösterilmiştir.

$$\vec{\nabla}(k \vec{\nabla} T) + j^2 \rho - T d\alpha/dT j \vec{\nabla} T = 0 \quad (2)$$

Burada ρ elektrik direncidir. Birinci terim ısı iletimini, ikinci terim Joule ısısını, üçüncü terim ise Seebeck katsayısından dolayı ortaya çıkan sıcaklığı ifade etmektedir.

Şekil 1'de termoelektrik modüle ait L_p ve L_n uzunluğunda ve A kesit alanı olan p-n tipi ısıl çiftlerin bir araya gelmesi ile oluşan modül gösterilmiştir. Sıcak yüzey ile soğuk yüzey arasında sıcaklık farkı modüle verilen elektrik akımı ile oluşmaktadır.

Sıcaklığın seebeck katsayısına bağımlı olmadığı, ısı kayıplarının önemsenmediği şartlar altında Denklem (3) ortaya çıkmaktadır.

$$d/dx(kA dT/dx) + I^2 \rho/A = 0 \quad (3)$$

İki sınır şartlı sıcaklık gradyanı için çözüm ($T_{x=0} = T_c$ ve $T_{x=L} = T_h$);

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = \frac{I^2 \rho L}{2A^2 k} + \frac{T_h - T_c}{L} \quad (4)$$

(4) Denklemi p ve n tipindeki ısıl çiftlerle birlikte açıklanmak istenirse denklem (5) elde edilir.

$$\dot{Q}_C = \left[(\alpha_p - \alpha_n) T_c I + \left(-kA \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} \right)_p + \left(-kA \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} \right)_n \right] \quad (5)$$

$$\dot{Q}_C = n(\alpha_p - \alpha_n) T_c I - \frac{1}{2} I^2 \left(\frac{\rho_p L_p}{A_p} + \frac{\rho_n L_n}{A_n} \right) - \left(\frac{K_p A_p}{L_p} + \frac{K_n A_n}{L_n} \right) (T_h - T_c) \quad (6)$$

Denklem (6)'da peltierde mevcut bulunan n ısıl çiftlerin TEM bulunan miktarıdır. Q_c soğuk yüzeyden

çekilen ısı oranını verir.

Son olarak, T_c sıcaklığındaki soğutma gücü Denklem (7)'de belirtilmiştir.

$$\dot{Q}_c = n[\alpha T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - K(T_h - T_c)] \quad (7)$$

$$\alpha = \alpha_p - \alpha_n \quad (8)$$

$$R = \frac{\rho_p L_p}{A_p} + \frac{\rho_n L_n}{A_n} \quad (9)$$

$$K = \frac{K_p A_p}{L_p} + \frac{K_n A_n}{L_n} \quad (10)$$

p-tipi ve n-tipi ısı çiftlerinin birbirine benzemekte olduğu düşünülürse, $R = \rho L/A$ ve $K = kA/L$ olarak alınabilir. Burada $\rho = \rho_p + \rho_n$ ve $K = K_p + K_n$ şeklinde ifade edilir (9) ve (10) Denklemleri uygulama olarak bilimsel yayınlarda ve sanayide sıklıkla karşımıza çıkan ideal denklem olarak adlandırılır. Termoelektrik modülün ısınan sıcak yüzeyden ortama bırakılan serbest ısı oranı Q_h Denklem (11)'de belirtilmiştir.

$$\dot{Q}_h = n[\alpha T_c I + \frac{1}{2} I^2 R - K(T_h - T_c)] \quad (11)$$

Termodinamiğin birinci yasası dikkate alınırsa Denklem (12) TEM için yazılır.

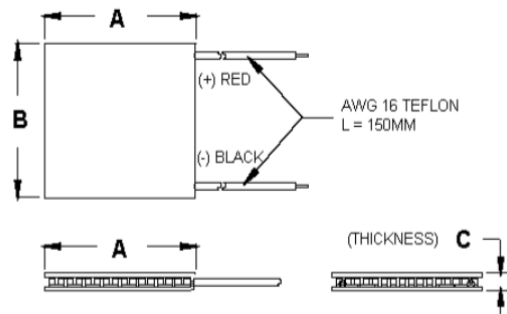
$$\dot{W} = \dot{Q}_h - \dot{Q}_c \quad (12)$$

Denklem (7) ve Denklem (11), (12) Denkleminde uygulandığında Denklem (13) elde edilir.

$$\dot{W} = n[\alpha T_h - T_c) + I^2 R] \quad (13)$$

2.2. Tasarım prensipleri (Design principles)

Sistemde kullanılan Termoelektrik modül TEC1-12706 markalı modüldür. Modül 12V ve 6 amperlik akımla çalışmaktadır. Bu modüle ait başlangıç koşulları ve sınır şartları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Fiziksel sistemin şematik görünümü [11] (Schematic view of the physical system)

Bu çalışmada Seramik Materyal: Alüminyum oksit (Al_2O_3) Lehim Yapımı: 138C, Bizmut Tin (BiSn) kullanılmıştır. Burada $A=40mm$, $B=40mm$, $C=38mm$ olarak tanımlanmıştır.

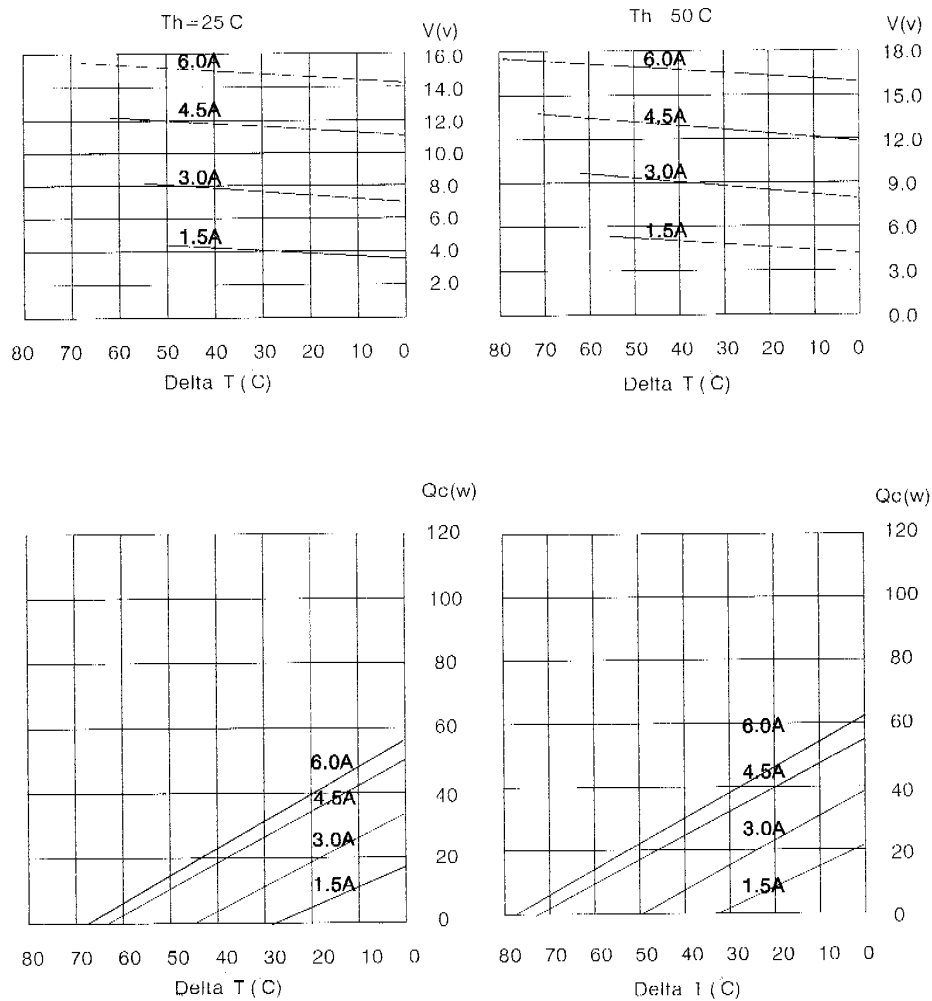
Tablo 1 'de TEC-12706 markalı termoelektrik modülün çalışma esnasındaki maksimum ve minimum değerleri verilmiştir. Yüzey sıcaklığı maksimum $50^\circ C$ iken ve Q_{max} değeri 57 (Watt) değerlerine sahiptir. Bunun anlamı verilen maksimum akım değerine karşılık gelen sıcaklıktır ve modülün gücüdür. Voltaj ve akım değerleri termoelektrik modülün direnci ile değişmektedir. Termoelektrik modülün direnci, modül içindeki p-n çiftleri sayısına, yüzey alanlarına ve kullanılan malzeme tipine bağlıdır.

Tablo 1. Peltier’e ait sınır şartları ve özellik tablosu [12] (Peltier boundary conditions and property table)

TEC-12706 Markalı Modülün Maksimum ve Minimum Değerleri	Minimum Değerler	Maksimum Değerler
Sıcak Yüzey Sıcaklığı °C	25°C	50°C
Q_{max} (Watt)	50 (Watt)	57 (Watt)
ΔT_{max} °C	60°C	75°C
I_{max} (Amper)	1.5 (Amper)	6.4 (Amper)
V_{max} (Volt)	14.4 (Volt)	16.4 (Volt)
TE Modül Direnci (Ohm)	1.98 (Ohm)	2.30 (Ohm)

Şekil 1’de gösterildiği gibi y eksenini Termoelektrik modülün kullanacağı Voltaj miktarını göstermektedir. X eksenindeki ΔT °C ifadesi ise Termoelektrik modülün iki yüzeyi arasındaki maksimum sıcaklık farkını göstermektedir. Soğuk yüzey 0°C olduğu anda gerekli olan yüzey 75°C dereceye kadar çıkmaktadır. Böylelikle alüminyuma iletilen sabit bir ısı oluşmaktadır. Burada gönderilen akımla sıcaklık ayarı kolaylıkla yapılır. Bir regülatör akü çıkıcı amper devresiyle amper ayarı kolaylıkla yapılır. Aşağıda TEC1-12706 markalı termoelektrik modüle ait voltaj sıcaklık değerlerine ait uygun amper miktarları aşağıda Şekil 3’te gösterilmiştir.

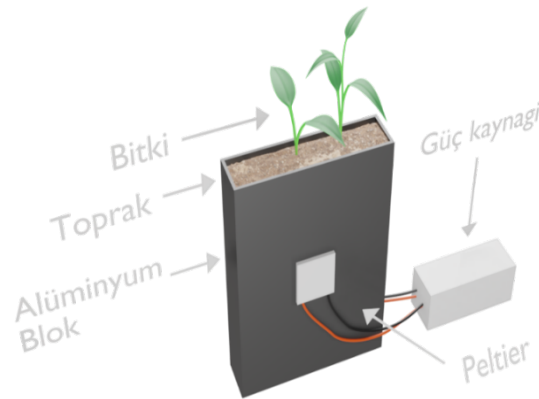
TEC1-12706



Şekil 3. TEC1-12706 markalı TEM’in çalışma aralığı [12] (Operating range of TEM branded TEC1-12706) (Daha Ayrıntılı resim ölçeklendirildi.)

2.3. Peltier kullanılarak doğrudan ısı katı temaslı alüminyum bloğun modellenmesi (Modelling of aluminium block with direct heat solid contact using Peltier)

Tasarımda kullanılan sistem ergonomik ve geleneksel ısıtma sistemlerine göre ebatça küçüktür. İki ayrı şekilde ısıtma yapılacak olan sistemde ilk ısıtma bitkinin toprak sıcaklığını arttırmaya yöneliktir. Burada asıl amaç bitkinin toprak sıcaklığını arttırırken aynı zamanda bitkinin toprak içinde kalan köklerini ısıtarak bitkinin anlık gelen don olayından koruyarak bitki çimlenme sürecinin devamlılığını sağlamaktır. Don olayında bitkinin toprak sıcaklığı çok ciddi bir düşüş yaşarken toprağın içinde bulunan köklerdeki sıvı donmasıyla bitkinin kök yapısını patlatarak bitkinin hayati faaliyetine son vermektedir. Tasarlanan ilk sistemde 8cmx4cmx8cm uzunluğa sahip ve bir 4mm bir et kalınlığına sahip alüminyum blok ve alüminyum bloğun karşılıklı iki yüzeyine gerekli miktarda termal macun ile yapıştırılan 4cmx4cmx3.8cm uzunluk ölçülerine sahip klasik termoelektrik modüller kullanılarak 8cmx4cmx8cm uzunluktaki küpün içerisine toprak koyularak ısıtılması hedeflenmiştir. Temel düşünce elektrik enerjisi verilen termoelektrik modülün joule yasaları gereği ısınması ve bu ısıyı yüksek iletim katsayısına sahip alüminyuma iletmesi ve alüminyum da gerek ve yeter seviyede toprağı ısıtması amaçlanmıştır. Topraktaki su miktarı da don olayında ve ısıtılma sürecinde elzem şekilde önemli bir parametredir. Toprağın içindeki su miktarı toprağın termofiziksel özelliklerin değiştirdiği için analizler de bu önemli parametreyi kullanarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te alüminyum blok ile Termoelektrik Modülün tasarımı, Ansys Fluent paket programı ile tasarlanmıştır. Yapılan her iki ısıtma eyleminde çimlenme için gerekli bitki sıcaklığını anlık don olayından koruyarak bitki kök sıcaklığını ve yaprak sıcaklığını optimum seviyede tutarak bitkinin gelişmesinde rol oynayacağı belirlenmiştir. Seralarda kullanılan geleneksel sera ısıtma sistemi yerine daha ergonomik olan bu sistem tüm sera alanını ısıtmak yerine sadece bitkinin gerekli bölgelerini ısıtarak bitkinin çimlenme dönemi için daha ekonomik ve daha çevreci bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir. Tasarımdaki modelde, peltier kablolarının artı (+) ve eksi (-) uçları güç kaynağına bağlanarak peltiere elektrik akımı verilmektedir. Verilen elektrik akımı peltieri Termoelektrik etkilere göre bir yüzeyini ısıtıp diğer yüzeyini soğutma eylemine girmektedir. Sıcak yüzey alüminyum bloğun 4cm x 4cm yani 16cm² bir yüzey alanına verdiği yüzey ısısı ile bir sıcaklık farkı oluşturmakta ve alüminyum bloğun ısınması ile de ısı iletim yasaları gereği toprağı ısıtması amaçlanmaktadır.

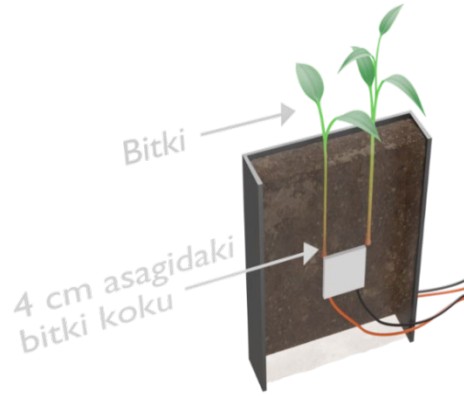


Şekil 4. Doğrudan ısı temaslı katı ısıtmalı peltier küpün modellenmesi (Modeling of a solid heated peltier cube with direct heat contact)

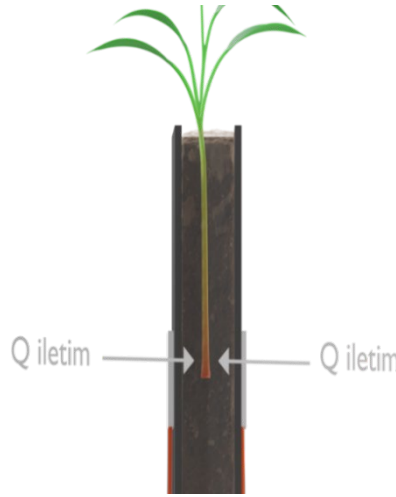
Bitkinin kök ve tohumu klasik seracılıkta çimlenme potlarında potun tam orta noktasına konularak, tohumun altına ve üzerine eşit miktarda ve yükseklikte toprağın koyulması ile ayarlanmaktadır. Bu çimlenme için önemli bir yapıdır. Bitki böylelikle aşağıya doğru gelişecek hem de yukarıya doğru su taşıma kapasitesini arttıracaktır. Bitkinin kök ve tohum konumu alüminyum bloğun tam orta noktasıdır. 8 cm yüksekliğe sahip olan alüminyum blok modelde toprak yüzeyinden 4 cm aşağıda bulunan bitki kökü peltierden gelecek sıcaklık ekseninde yerleştirilmiştir. Analizler bu kritik konumda gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki Şekil 5'te bitkinin tohum ve kök konumu modellenmiştir.

Isınan peltier, alüminyumun 16 cm²'lik alana, yüzey ısı akısını oluşturur. Termal macun ile alüminyum bloğa yapıştırılan peltier maksimum sıcaklık farkını belli bir süre sonra açığa çıkarmaktadır. Tabii ki bu durum peltiere verilen akımla doğru orantıdadır.

Peltiere verilecek akım ne kadar yüksek olursa peltierin dışarıya verdiği ısı güçte bir o kadar fazla olacaktır. Dolayısıyla potansiyel sıcaklık farkı fazla olacak ve bu durumda bir yüzey çok ısınırken diğer yüzey daha fazla soğuyacaktır.



Şekil 5. Doğrudan ısı temaslı katı ısıtmalı peltier küpün tohum ve kök konumunun modellenmesi (.
Modeling the seed and root position of a solid heated Peltier cube with direct heat contact)

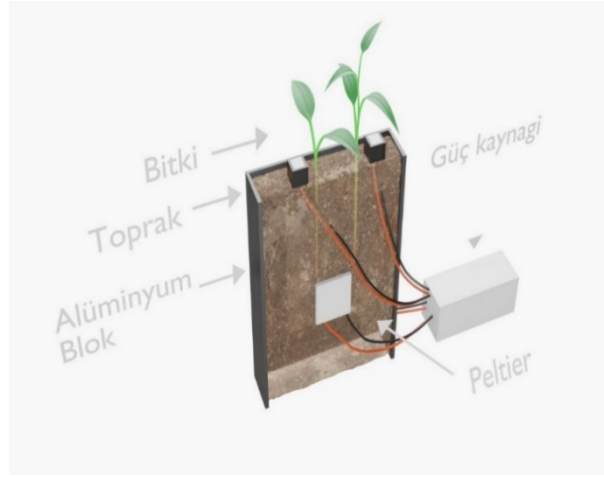


Şekil 6. Peltierin bitki kök ve tohumuna verdiği ısının gösterilmesi (Demonstration of the heat given
by Peltier to plant roots and seeds)

Fakat yapılan çalışmada akım ayarı ile bir düzenek kurmaya gerek yoktur. Sera içerisinde, don olayında dış hava ve toprak sıcaklığı -1°C ve -2°C arasında olduğu gözlemlendiği durumlarda peltiere verilecek en yüksek akımla çalışması gerekmektedir. Bunun sebebi bitkinin optimal kök sıcaklığının derece aralıkları 3 ile 4°C arasında değişmesinden kaynaklanmaktadır. Bu minimal değişim aralığı sisteme verilen akım miktarı değişiminde önemli bir sıcaklık farkı geçişi yaratmayacaktır. Yukarıdaki Şekil 6'da peltierin bitki kök ve tohumuna iletim yoluyla gerçekleştirdiği ısı transferi gösterilmiştir.

2.4. Kübik peltier modülün doğal taşınım ile bitki yapraklarının ısıtılmasının modellenmesi (Modelling of natural convection heating of plant leaves by cubic peltier module)

Kübik peltier modül toprak üstüne konularak bitkinin yapraklarının don olayından korumasının mümkün olacağı amaçlanmaktadır. 4 cm x 4 cm x 4 cm kübik bir yapının toprak yüzeyine kontak olan bölgesi haricinde tüm yüzeylerine peltier modül termal macun yapıştirılarak peltier tasarımı hazır hale getirilmektedir. Güç kaynağından gelen elektrik akımı peltieri ısıtarak çevre hava hacmini doğal taşınım ilkeleri ile havayı ısıtarak bitki yaprak sıcaklığını arttırmak hedeflenmektedir. Aşağıdaki Şekil 7'de amaçlanan sistemin tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 7. Kübik Peltier modülün toprağa yerleştirilmesi (Placing the cubic Peltier module in the soil)

Deney düzeneğinin oluşturulması;

Peltier modülün tasarımı, Atatürk Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü İstanbul Yolu 2. km, Kırklareli Merkez, Kırklareli adresinde 2. Toprak araştırma ve Geliştirme Laboratuvarında hazırlanmıştır. Laboratuvar 4°C sıcaklıkta sabit bir çalışma ortamı sağlamaktadır. Yaş toprağın nem miktarını ölçmek için Gravimetrik fırın yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntemde alınan yaş toprağın ağırlığı bilinmekte ve daha sonrasında 105 santigrat derece sıcaklıkta 1 gün kalarak fırında bekletilmektedir.

Tamamen sıvıdan arındırılan toprağın yaş ağırlığından kuru ağırlığını çıkarttıktan sonra kuru ağırlığına oranlayarak kuru toprak nem yüzdesi elde edilmektedir. Deneylerde kullanılan toprağın yapılan laboratuvar deneylerinde elde edilen nem miktarı %11 olarak tespit edilmiştir. Bu değer kışın toprak nem miktarının optimal değeridir. Deneylerde kullanılan toprak, 2 mm elekten geçen bir topraktır. PH seviyesi 8.120, su ile doyum oranı %44, organik madde miktarı 1.350, EC (ds/m) 0.152, kireç miktarı %11 olan ve nem miktarı %11 olan hacimsel nem ağırlık miktarı %16 olan %47.18' i kum, %30.52 'si silt, %22.30'u kil olan kumlu killi tın bünyesinde bir toprak tipidir. Tablo 2 'de toprağın karakteristik özellikler gösterilmektedir.

Tablo 2. Toprağın karakteristik özelliği (Characteristic feature of soil)

	Nem	pH	EC (ds/m)	Organik madde (%)	Organik karbon (%)	Su ile doyumluk (%)	Kireç (%)
Toprak	11.146	8.120	0.152	1.350	0.784	44	11.02

PH seviyesi topraktaki asit seviyesidir. Toprağın pH seviyesi 1-14'lük bir ölçekle ölçülmektedir. 7 nötr işaretidir. 7'nin altındaki herhangi bir şey asitli veya ekşi toprak olarak düşünülür ve 7'nin üstünde herhangi bir şey, alkali veya tatlı, toprak olarak kabul edilir. EC miktarı ise elektriksel kondüktivite olarak adlandırılmaktadır. Başka bir deyişle toprağın elektrik iletme kapasitesidir. Toprağın EC derecesi tuzluluk oranını ile paraleldir. EC ölçüm işlemleri yaş toprağın elektrik iletme niteliğine göre yapılmaktadır. Organik madde ve organik karbon miktarı toprak mikroorganizmaları için temel enerji kaynağıdır. Silt, kumdan küçük kilden büyük taneli malzemeye verilen isimdir. Genelde 0.002 milimetre ile 0.1 milimetre arasındaki alüminyum silikatlardan oluşur. Tınlı topraklar tarımsal açıdan orta düzeyde verimli ancak fiziksel özellikler bakımından bitki yetiştiriciliğine en uygun topraklardır. Su ve hava geçirgenlikleri oldukça düşüktür. Deneylerde kullanılan malzemeler sırasıyla TEC1-12706 markalı Peltier, Doğru akım güç adaptörü, 8cm x 4cm x 8 cm uzunluğundaki alüminyum blok, FLUKE 568 IR Dijital Termometre, HUTIXI termal macun, TP 101 Dijital termometreden oluşmaktadır. Bunlar Şekil 8-13'te gösterilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler ortam sıcaklığından etkilenmeyen ve deney esnasında bir bozulmaya maruz kalmayan malzemelerden oluşmaktadır. Güç adaptörüne peltierden gelen elektrik kabloları civata vasıtasıyla sıkıştırılmıştır. Doğru akımla gelen elektrik enerjisi sisteme güç adaptöründen geçerek peltiere gelmektedir. Peltierin her iki yüzeyine yerleştirilen termal macun, peltieri alüminyum bloğa yapıştırırken aynı zamandan ısınan peltier yüzeyindeki ısıyı aktarmıştır.



Şekil 8. Deneylerde kullanılan TEC modül (TEC module used in experiments)



Şekil 9. Deneylerde kullanılan güç adaptörü (Power adapter used in experiments)

Deneylerde kullanılan TEC modülü 12 Volt 6 amper ile çalışmaktadır. Toplamda 72 Watt güç harcayan peltier kolay bir şekilde akım ayarı yapılmaktadır. Akım şiddetleri değişkenlik gösterdiği sürece peltierin harcayacağı güçte değişmektedir. Bu da verilen ısı yük miktarının değişken olabileceği anlamına gelirken farklı toprak ve bitki kökleri için farklı sıcaklık ayarlarında mümkün olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 10. Deneylerde kullanılan alüminyum blok (Aluminum block used in experiments)



Şekil 11. Deneylerde kullanılan termometreler (Thermometers used in experiments)

Alüminyum blok ve toprak, deneyler başlamadan hemen önce 12 saat boyunca soğuk buz odasında bekletilmiştir ve -1.6°C toprak sıcaklığı ve yaklaşık olarak -1°C alüminyum blok sıcaklığı ile deneye başlanmış olup deney düzeneği kurulduğu gibi sisteme güç verilmiştir.



Şekil 12. Toprağın başlangıç sıcaklığı (Initial temperature of the soil)



Şekil 13. Deneylerde kullanılan termal macun (Thermal paste used in experiments)

Deneyimiz, peltier cihazı kullanarak toprağın iç sıcaklık dağılımını incelemeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Peltier cihazı, alüminyum bloğun tam ortasına termal macun yardımıyla sabitlenmiş ve sabit bir akım ile beslenmiştir. Bu düzenleme, peltier cihazının alüminyum blok üzerinde belirli bir noktayı sabit bir şekilde ısıtmasını ve bu noktadan toprağa doğru sürekli ve sabit bir ısı transferi sağlamasını amaçlamıştır. Deney sırasında, toprak odası olarak adlandırılan ortamın iç sıcaklığı sabit tutulmuş ve bu durum, deney koşullarının sabitliğini sağlamıştır.

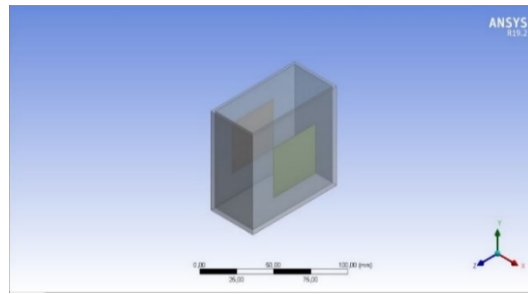
Deneyde kullanılan dijital termometre, toprağın kök seviyesine kadar uzanan mesafeye yerleştirilerek her 120 saniyede bir sıcaklık ölçümü alınmıştır. Isınan toprağın sıcaklığının sabitlenmesi, 720 saniyenin

sonunda toprak kök ve üstü sıcaklıklarının eşitlendiği anlamına gelmiştir. Bu durum, toprak içinde homojen bir sıcaklık dağılımının sağlandığını göstermektedir.

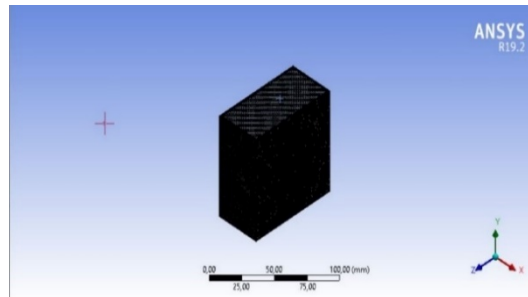
Deney sırasında, herhangi bir akım veya voltaj değişimi yapılmadan peltier cihazı sabit akım ile çalıştırılmıştır. Bu düzenleme, deneyin tekrarlanabilirliğini ve sonuçların tutarlılığını sağlamıştır.

3. Sayısal Analiz (Numerical Analysis)

Tasarım Peltier Ansys Fluent Programına tanımlanırken kullanılacak geometri deneylerde kullanılan alüminyum blok ile bire bir aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Face Split fonksiyonu ile yüzeyde 2 ayrı farklı yüzey oluşturulmuştur. Peltier yüzeyi peltierin yüzey alanı ile aynı büyüklüktedir. Toprak ise Boolean Fonksiyonu kullanılarak katı model şeklinde Ansys Fluent'e tanımlanarak iki farklı katı domaini oluşturularak geometri hazırlanmıştır. Çalışmada beş farklı ağ göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 14'te tasarlanan modelin üç boyutu gösterilmiştir.



Şekil 14. Tasarlanan modelin üç boyutlu gösterilmesi (Three-dimensional representation of the designed model)



Şekil 15. Tasarım modelin ağ yapısının gösterilmesi (Demonstration of the network structure of the design model)

Çarpıklık (Skewness) değeri 2.7088×10^{-2} , Element Quality değeri 0.93981 ve Orthogonal Quality değeri 0.99714 olarak tanımlanarak Şekil 15'te gösterilmiştir. Tablo 3'te verilen sonuçlar M3 ağ yapısının ve sayısından bağımsızlığının elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 3. Toprağın tam orta noktasına ait sıcaklığın ağdan bağımsızlık çalışması (Network independence study of the temperature at the exact midpoint of the soil)

Ağ yapısı	Çıkış Sıcaklıkları (K)
M1-584917	297.46 K
M2-588454	297.48 K
M3-592784	297.50 K
M4-597091	297.50 K
M5-602781	297.50 K

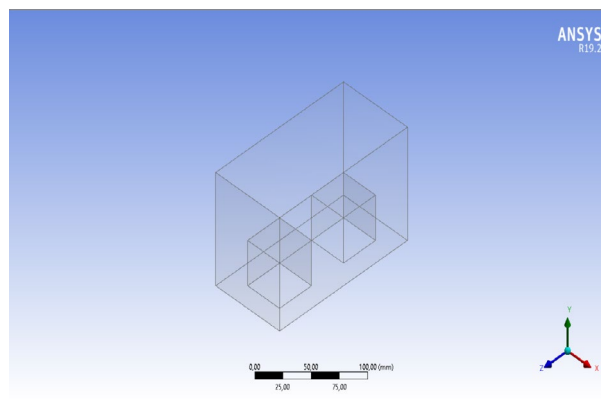
Isıtıcı peltier aşağıdaki görselde gösterilen yüzey sıcaklığı 40°C olan peltier yüzey sıcaklığı değerleri, Boundary Conditions kısmında Wall olarak tanımlanırken toprak maddesi yüzeyi de don olayındaki sıcaklığa paralel olarak deneylerde elde edilen toprak sıcaklığı değeri olan -1°C olarak tüm toprak domaininde tanımlanmıştır. 3 Boyutlu yapılan çalışmada Alüminyum toprak kontak yüzeyi "coupled"

olarak tanımlanmıştır. Yapılan Ansys Fluent çalışmasındaki kontak yüzeyleri, birbirine bağlanan nodüllerin birebir eşleşmesiyle ortaya çıkmıştır. Tam yüzey eşleşmesine sahip geometrideki iletimin yapıldığı yüzeyler çözücüde ikinci dereceden enerji denklemleri ile çözülmüştür. Momentum ve enerji denklemleri ikinci mertebeden Upwind yaklaşımı, basınç hız denklemi ise SIMPLE algoritması ile çözülmüş olup laminer akış modeli kullanılmıştır. Her bir veri için zaman adımı 0,1 saniye zaman adımı sayısı da 1200 olarak seçilerek her bir zaman adımı 20 iterasyon yapılarak çözülmüş ve analizin 120 saniyelik sonuçları ekran görüntüsü olarak alınmıştır. 720 saniye sonunda analiz yakınsamış olup kararlı duruma gelmiştir. Sonuçlarda artık bu zaman diliminden sonra bir değişkenlik gözlemlenmemiştir. Deneylerden elde edilen toprak nem miktarı %11 olarak tespit edilmiştir. Topraktaki nem miktarına göre toprağın termofiziksel özellikleri değişmektedir. Aşağıda Ansys Fluent Programına Tanımlanmak üzere toprağın ve alüminyum Bloğun termofiziksel özellikleri verilmiştir. Toprağın termofiziksel özellikleri olarak (%30>Su) kısmındaki termofiziksel özellikler seçilmiştir. Aşağıdaki Tablo 4'te toprak ve alüminyumun özellikleri verilmiştir.

Tablo 4. Alüminyum toprağın termofiziksel özellikleri [13] (Thermophysical properties of aluminum soil).

Alüminyum	Termal İletkenlik	Özgül Isı	Yoğunluk
	202 (W/m K)	871 (j/kg K)	2719 (kg/m ³)
Toprak (%30 >Su)	1.89(W/m K)	1800 (j/kg K)	2125 (kg/m ³)
Toprak (%40 >Su>%30)	2.44(W/m K)	2120 (j/kg K)	1975 (kg/m ³)
Toprak (Su>40)	3.02(W/m K)	2430 (j/kg K)	1825(kg/m ³)

Tasarım kübik peltier modül Ansys Fluent Programına tanımlanırken kullanılacak geometri deneylerde kullanılan peltierin uzunluk ölçülerinin bir küpün tüm yüzeyini saracak şekilde tasarlanmıştır. 2 adet peltier küpü Boolean fonksiyonu ile hava yüzeyinde 2 aynı hava hacimden çıkartılarak geometri oluşturmuştur. Boşalan bölgelere peltier sıcaklık şartı tanımlanarak havayı ısıtmak amaçlanmaktadır. Isıtılması amaçlanan hava kendi içerisinde herhangi bir zorlanmış dış kuvvetin etkisinde değildir. Sadece ısınan termoelektrik modülden çıkan sıcak hava akımları ile hava ısıtılması ön görülmüş olup zorlanmış taşınım ile sağlanacak olan enerji ihtiyacında doğal taşınım etkileri gereğince ortadan kaldırılmıştır. Böylece daha ekonomik ve daha çevreci bir yaklaşım izlenmiştir.



Şekil 16. Kübik peltierin üç boyutlu görünümü (Three-dimensional view of the cubic peltier)

Model geometri olarak düzgün ve eşit mesafededir. Tasarım kübik peltier modeli Şekil 16'da görüldüğü üzere en alt yüzeyi toprak yüzeyidir. 8 cm x 4 cm x 10 cm hava hacmine sahip modeli 4cmx4 cm x 4cm uzunluk ölçülerine sahip küpün üstüne konulan toplam 5 adet peltier yüzeyi ısıtmaktadır. Ansys Fluente girdi olarak sıcak yüzeyler tanımlanmış olup hava hacminden katı hacmi çıkartılmıştır. Çalışmada modelin akış alanına uygun ağ yapısı için beş farklı ağ göz önünde bulundurulmuştur. Ağ çalışmasındaki yüzey ağlarına geçilmiş ve eleman boyutu sayısı seçilerek ısınan bölgedeki yüzeylere katman yüzey ağları atılarak sisteme dahil edilmiştir. Çarpıklık (Skewness) değeri 1.8945×10^{-4} , Element Quality değeri 0.9898 ve Orthogonal Quality değeri 0.998 olarak tanımlanırken Şekil 16'da gösterilmiştir. Isıtıcı peltierin 57W Q_{max} 1s1 sınır şartı tek bir peltier için bu ısıl gücün altında olan her durumda hava hacminin sıcaklık orta konum değerlerine karşılık gelen çıkış sıcaklıkları yukarıdaki ağdan bağımsızlık

çalışmasına benzer şekilde birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. Tablo 5’te verilen sonuçlar M4 ağı için, ağ yapısının ve sayısından bağımsızlığının elde edildiği sonucuna varılmıştır [14].

Tablo 5. Toprağın tam orta noktasına ait sıcaklığın ağdan bağımsızlık çalışması (Network independence study of the temperature at the exact midpoint of the soil)

Ağ yapısı	Çıkış Sıcaklıkları (K)
M1- 481775	298.27 K
M2-483795	298.29 K
M3-486201	298.31 K
M4-488741	298.33 K
M5-490364	297.33 K

Isıtıcı kübik peltier aşağıdaki görselde gösterilen yüzey sıcaklığı 40°C olan peltier yüzey sıcaklığı değerleri, Boundary Conditions kısmında Wall olarak tanımlanırken hava hacmi yüzeyi de don olayındaki sıcaklığa paralel olarak hava dış ortam sıcaklığı -10°C olacak şekilde tüm hava hacmi boyunca tanımlanarak sisteme dahil edilirken hava yoğunluğu Boussinesq yaklaşımı kullanılarak sisteme tanımlanmıştır. 3 Boyutlu yapılan çalışmada hava hacmi kübik peltier kontak yüzeyi ‘‘coupled’’ olarak tanımlanmakta ve modelin en altındaki yüzey toprak yüzeyi olarak -1°C Wall olarak tanımlanmıştır. Model sınır başlangıç koşulu olarak Ansys Fluent’e tanımlı ‘‘standart initialization’’ kısmı kullanılarak denklem sistemlerinin sıcaklık değişkenlerini ve basınç-ısı alanı için daha bölgesel bir yakınsama yapmasından dolayı analizlerde tercih edilmiştir. Üç boyutlu geometri Design Modeler ara yüzünde, sayısal analizler ise Fluent ara yüzünde yapılmıştır. Momentum ve enerji denklemleri ikinci mertebeden Upwind yaklaşımı, basınç hız denklemleri ise SIMPLE algoritması ile çözülmüş olup k-epsilon RNG standart duvar akış modeli kullanılmıştır. Tüm değişkenler için yakınsama aralığı 10⁻⁶ sayısına ulaştığında çözümlerin yakınsadığı kabul edilmiş ve zamana bağlı bir analizi yürütülmüştür. Her bir data için zaman adımı 0.1 saniye zaman adımı sayısı da 2400 olarak seçilerek her bir zaman adımı 20 iterasyon yapılarak çözülmüş ve analizin 240 saniyelik sonuçları ekran görüntüsü olarak alınmıştır. 1200 saniye sonunda analiz yakınsamış olup kararlı duruma gelmiştir. Sonuçlarda artık bu zaman diliminden sonra bir değişkenlik gözlemlenmemiştir.

4. Sonuçlar ve Tartışmalar (Result and Discussions)

Deneylerde kullanılan TP 101 Dijital termometre deney düzeneğinin ve toprağın tam orta noktasına yerleştirilmiştir. 240 saniyelik süreler ile gözlemler yapılmış en son toprak üstü sıcaklık FLUKE 568 IR Dijital Termometre ile ölçülmüş olup sistemde 720 saniyenin sonunda bir sıcaklık artışı gözlemlenmemiştir.

$x = 0.02$ m, $y = 0.04$ m, $z = 0.04$ m konumundaki deney sıcaklık görselleri;



Şekil 17. $x = 0.02$ m, $y = 0.04$ m, $z = 0.04$ m, $t = 240$ saniyedeki deney sıcaklığı (Experimental temperature at $x = 0.02$ m, $y = 0.04$ m, $z = 0.04$ m, $t = 240$ seconds)



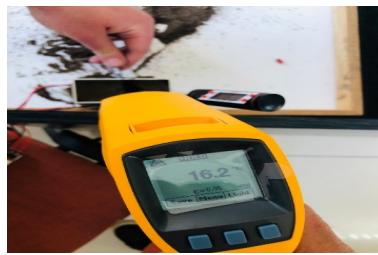
Şekil 18. $x = 0.02$ m $y = 0.04$ m, $z = 0.04$ m, $t = 480$ saniyedeki deney sıcaklığı (Experimental temperature at $x = 0.02$ m $y = 0.4$ m, $z = 0.04$ m, $t = 480$ seconds)

Yukarıda Şekil 17’de görüldüğü gibi üzere 240 saniye sonundaki sıcaklık -1.6°C çok hızlı bir şekilde 11.7°C çıkmıştır. İlk ısınma esnasındaki sisteme verilen ısı enerjisi soğuk toprak ve alüminyum hızla bir şekilde ısıtmıştır.

Şekil 18 ‘de görüldüğü gibi 480 saniye sonunda toprak ısınmaya devam etmiştir fakat bu sıcaklık artışı ilk 240 saniyelik ısınma işlemine göre daha azdır. Bunun sebebi toprağın artık yavaşta olsa denge sıcaklığına gelmesidir. 480 saniyenin bitiminde toprak sıcaklığı önceki sıcaklık değerinden 3.5°C bir sıcaklık artışı gözlemlenmiştir.

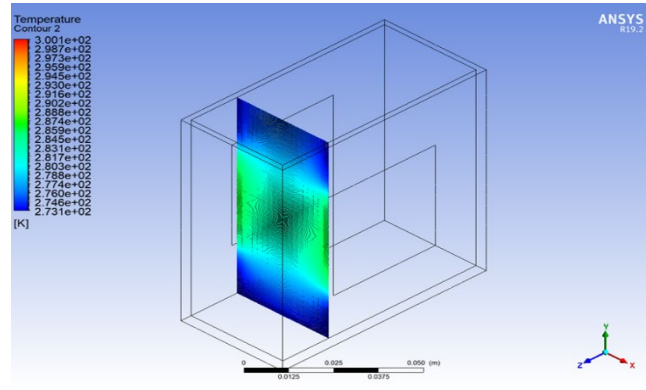


Şekil 19. $x = 0.02$ m, $y = 0.04$ m, $z = 0.04$ m, $t = 720$ saniyedeki deney sıcaklığı (Experimental temperature at $x = 0.02$ m, $y = 0.04$ m, $z = 0.04$ m, $t = 720$ seconds)

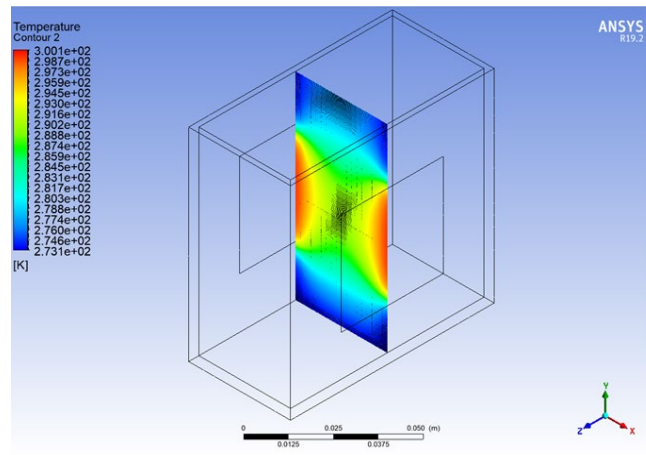


Şekil 20. $x = 0.02$ m $y = 0.04$ m, $z = 0.04$ m, $t = 720$ saniyedeki toprak deney sıcaklığı (. Soil experimental temperature at $x = 0.02$ m, $y = 0.04$ m, $z = 0.04$ m, $t = 720$ seconds)

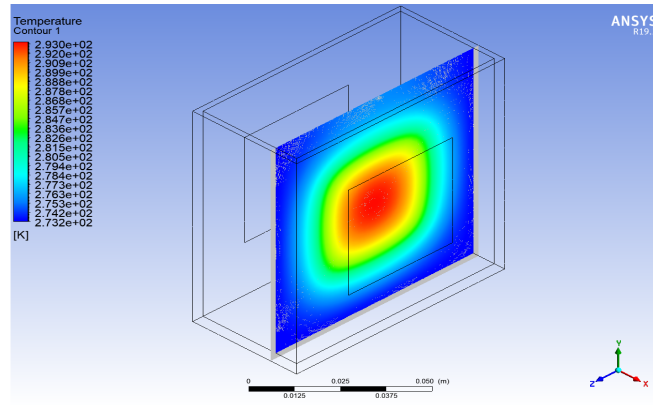
720 saniye sonunda toprak kök sıcaklığı 16.3°C gelmiştir. Bu sıcaklık değerinden sonra artık sisteme verilen ısı toprağı ısıtmamış toprak denge sıcaklığına ulaşmıştır. Şekil 19’da toprağın kök sıcaklığı gösterilmiştir. FLUKE 568 IR Dijital marka termometre ile tam nokta sıcaklığın ölçümleri Şekil 20’ de gösterilmiştir. Ayrıca, Analizlerin 240 saniyelik zaman adımlarında ekran görüntüleri alınmış olup toprağın konumuna göre sıcaklık konturları da elde edilmiştir. Aşağıda Termoelektrik modülle yapılan toprak ısıtma işlem prosesinin toprak sıcaklık konturları konuma ve zamana göre ekran görüntüleri gösterilmektedir (Şekil 21-26).



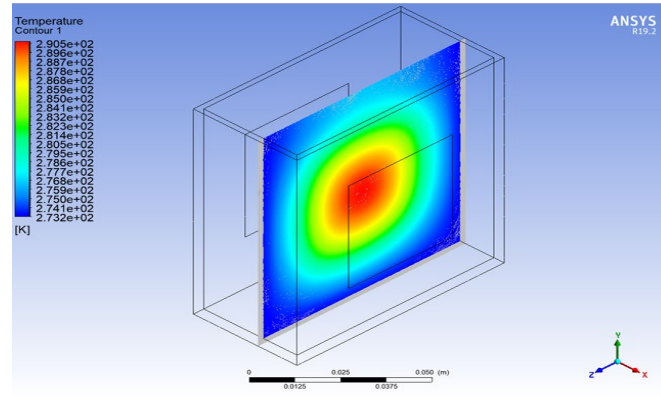
Şekil 21. XY kesitinden $z=0.02$ m konumunda $t=720$ saniyedeki sıcaklık dağılım görüntüleri
(Temperature distribution views from the XY section at $z=0.02$ m at $t=720$ seconds)



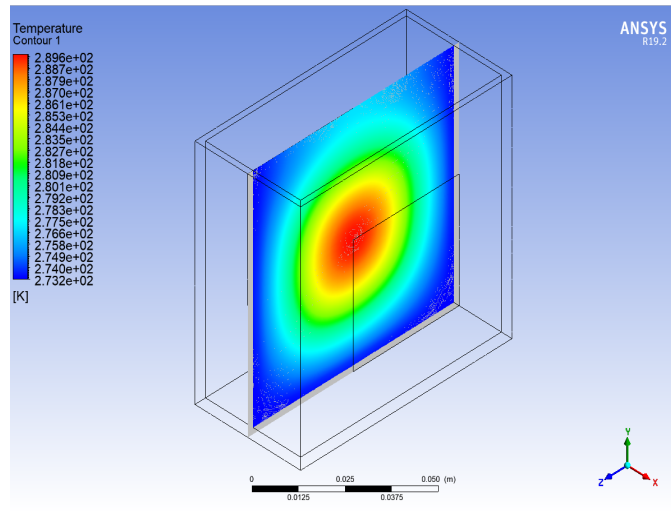
Şekil 22. XY kesitinden $z=0.04$ m konumunda $t=720$ saniyedeki sıcaklık dağılım görüntüleri
(Temperature distribution views from the XY section at $z=0.04$ m at $t=720$ seconds)



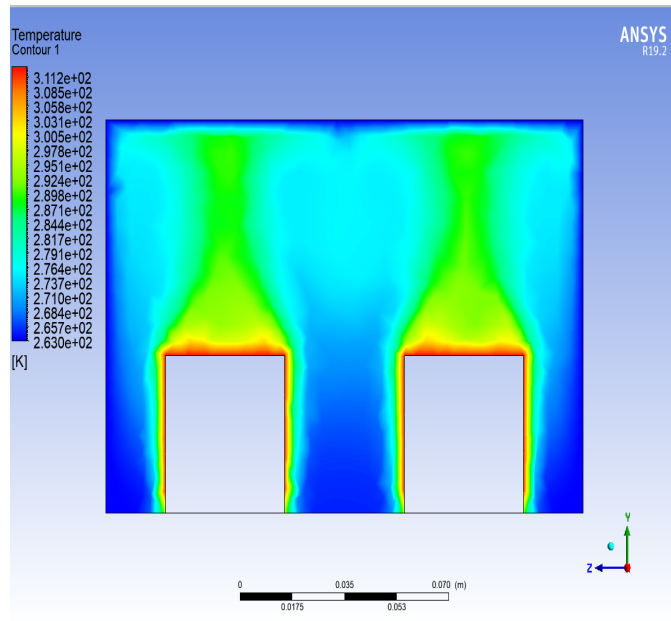
Şekil 23. YZ kesitinden $x=0.01$ m konumunda $t=720$ saniyedeki sıcaklık dağılım görüntüleri
(Temperature distribution views from the XY section at $z=0.01$ m at $t=720$ seconds)



Şekil 24. YZ kesitinden $x = 0.015$ m konumunda $t = 720$ saniyedeki sıcaklık dağılım görüntüleri
(Temperature distribution views from the XY section at $z = 0.015$ m at $t = 720$ seconds)



Şekil 25. YZ kesitinden $x = 0.02$ m konumunda $t = 720$ saniyedeki sıcaklık dağılım görüntüleri
(Temperature distribution views from the XY section at $z = 0.02$ m at $t = 720$ seconds)



Şekil 26. YZ kesitinden kübik peltiere ait $x = 0.02$ m konumunda $t = 720$ saniyedeki sıcaklık dağılım görüntüleri
(Temperature distribution views of the cubic peltier from the YZ section at $x = 0.02$ m at $t = 720$ seconds)

Aşağıdaki Tablo 6’da deneylerde ve analizlerde elde edilen toprağın kritik konumundaki verilerin zamana bağlı sıcaklık değerleri ve bu sıcaklık değerlerine bağlı sonuçların yüzdece hata oranları verilmiştir.

Tablo 6. Deneylerde ve analizlerde elde edilen toprağın kritik konumundaki verilerin zamana bağlı sıcaklık değerleri ve bu sıcaklık değerlerine bağlı sonuçların yüzdece hata oranları (Time-dependent temperature values of the data in the critical position of the soil obtained in the experiments and analyzes and the percentage error rates of the results based on these temperature values)

Deneylerde, analizlerde Geçen süre	t=240 saniye	t=480 saniye	t=720 saniye
Deneylerde elde edilen sıcaklık değeri	11.7°C	15.2°C	16.3°C
Analizlerde elde edilen sıcaklık değeri	12.95°C	15.95°C	16.45°C
Sonuçlar arasındaki yüzdece hata oranı	%9.65	%4.70	%0.91

5. Sera maliyet analizi ve diğer ısıtma sistemleri ile karşılaştırılması (Greenhouse cost analysis and comparison with other heating systems)

Isıtma maliyetini sera ısı yükü ve ısı enerjisi fiyatı belirlemektedir. Genel kabul ve araştırmalar neticesinde ısıtma maliyetinin toplam maliyetler içerisinde %83’le en büyük paya sahip olduğu yapılan çalışmalarla görülmüştür. Sera ısı yükünü bölgenin iklim değerleri ve sera içi sıcaklığı belirlemektedir. Sera ısıtma sistemlerinde genellikle yapılan ısıtma sistemleri toprak ısınmasını ele almamaktadır. Temel düşünce serayı ısıtmak ve bitki yapraklarını koruyarak sadece sera içi sıcaklığı sabit tutmaktır. Modern seralarda genellikle bir kalorifer kazanı ve buna bağlı polietilen ya da demir boru ağlarıyla oluşturulan merkezi ısıtma sistemi kullanılmaktadır.

Kazanda yakılan enerji kaynaklarının çıkardığı ısı enerjisi ile sera ısıtılması amaçlanmaktadır. Sera ısıtma işlemi yapılırken yenilenemez enerji kaynaklarının kullanılmasıyla ısıtma işlemi yapılmaktadır. Seralarda kullanılan yenilemez enerji kaynakları sırasıyla; odun, yerli linyit kömür, fuel oil, doğal gaz enerjisidir.

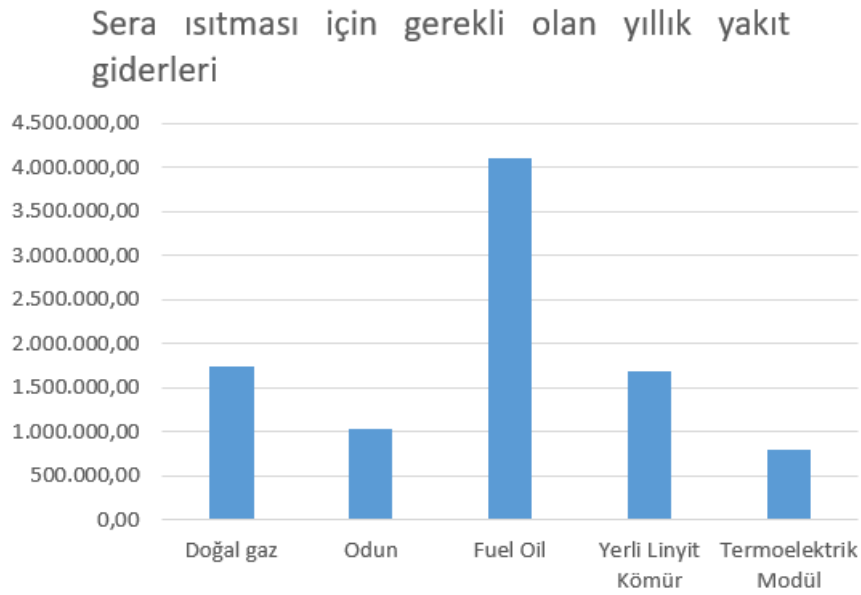
Yıllık yakıt miktarının bulunmasında seraların ısı gereksinimi değerlerine göre 10°C sera sıcaklığı için Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarında ısıtmanın yapılacağı, 20°C sera sıcaklığı için ise Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında ısıtmanın yapılacağı varsayılmıştır. Bu aylarda sera ısıtma sisteminin ortalama günde 14 saat çalıştırılacağı, yıllık çalışma süresinin ise 10°C sera sıcaklığı için 120 gün ve 20°C sera sıcaklığı için 210 gün olacağı kabul edilmiştir. Sera ısıtmasında katı, sıvı ve gaz halde değişik yakıtlar kullanılmaktadır. 840 m2 cam sera için sıcak hava ile ısıtma sisteminin kullanıldığı kabul edilmiş olup, 840 m2 sera alanında 2 metre aralıklarla ekilen fidelerden toplam 420 adet olduğu kabul edilmiştir. Belirlenen sera taban alanına göre her bir sera örtü malzemesi ve sera içi sıcaklığı için yıllık yakıt miktarları tespit edilmiştir [14].

Odun ve yerli linyit kömür fiyatları Türkiye Kömür İşletmelerinden güncel Haziran 2022 yılına ait fiyatlar olarak alınmıştır. Doğal gaz ve Fuel oil fiyatları ise Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından Haziran 2022 yılına ait verilerden alınmıştır. Yenilemez enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanılmasındaki süreçte kazan, pompa, ısı iletici borular, vana, valf, sirkülasyon pompası, santrifüj pompası ve finli borular gibi birçok dış yapı parametreleri de sera ısıtma maliyetinin bir kısmını oluşturmaktadır.

Tasarım TEM sadece elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Deneylerde ve analizlerde kullanılan peltier 12 volt 6 amper ile çalışmaktadır. Bu da 72 Watt değerinde bir elektrik enerjisi harcadığı anlamına gelmektedir. Tasarlanan modeldeki peltier sayısı 2 adettir. Toplamda 420 adet fide olduğundan 840 adet peltiere ihtiyaç vardır. Peltier bütün bir yıl çalıştığı varsayılırsa, 72 Watt gücündeki peltier 14 saat çalışırsa 1008 Wh saat çalışmış olur. Buda 1,008 kWh yapmaktadır. Haziran 2022 döneminde işletmeler için vergiler dahil elektrik enerjisi birim fiyatı kiloWattsaat başına 2,64 TL/kWh'dir.

1,008 kWh x 2,64 TL/ kWh = 2,66112 TL yapacaktır. Bu değer peltierin 14 saat boyunca çalışırken harcayacağı enerji miktarıdır. 360 gün boyunca çalışan peltierin elektrik maliyeti ise; 2,66112 TL (günde) x 360 gün = 958,0032 TL olacaktır. Bu bir peltierin tüketeceği elektrik enerjisi miktarıdır.

Tasarlanan sistemde toplam peltier sayısı 840 adet olduğuna göre, 958,0032 TL (1 adet) x 840 (adet) = 804.722,688 TL. 840 adet peltierin günde 14 saat çalışarak 360 gün boyunca çalışması sonunda ortaya çıkan elektrik enerjisinin maliyetidir.



Şekil 27. Sera ısıtması için gerekli olan yıllık yakıt giderleri

Termoelektrik modül ile yapılan ısıtma işlemi tüm serayı ısıtmak yerine sadece toprağı ve bitki yaprakları ile birlikte dalları ısıtmayı amaçlar dolayısıyla harcanan işletme giderleri yıllık olarak diğer ısıtma işlemlerine göre daha ucuzdur. Haziran 2022 verilerine göre yapılan maliyet analizlerinde TEM ile yapılan ısıtma işlemi diğer ısıtma işlemlerine göre daha az maliyetli olduğu gözlemlenmiş olup, Şekil 27’de sera ısıtması için harcanan yıllık yakıt giderleri gösterilmiştir.

6. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, seralarda oluşan don olayının bitkiler üzerindeki etkisini azaltmak için Termoelektrik modül kullanarak tüm serayı ısıtmak yerine sadece bitki için önemli olan tohum, kök, çimlenme bölgesi, deneysel ve sayısal analiz olarak, hava hacminin içinde bulunan yapraklar ve dallar ise sadece sayısal analiz çalışmaları ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler ve sayısal çalışmalar sonucunda peltierden gelen ısı güç alüminyum bloğu ısıtması sonucunda ısınan toprağın birçok farklı konumundaki sıcaklıkların değişimleri irdelenmiştir. Analiz sonuçları ile deneysel veriler iyi bir uyum içindedir. Yapılan sayısal analizler ve deneylerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Isıl analizlerden görüldüğü üzere -1°C ’de olan toprak, tasarlanan sistemle başlangıç sıcaklığından kısa süre sonra peltierden gelen ısı güç sayesinde ısınarak optimum çimlenme sıcaklığına ulaştığı gözlemlenmiştir.
2. Termoelektrik modülden gelen ısı yük, ilk olarak alüminyum bloğu ısıtmıştır. Alüminyum blok ise aldığı ısıyı toprağa aktararak toprak ısısını gerekli miktarda arttırmış ve kritik toprak konumundaki sıcaklığı 16.2°C ’ye kadar çıkarmıştır. Buda kış koşulları için gayet ideal ve yeterli bir toprak sıcaklığı olup, üretici için olumlu bir etkiye sahip olabilmektedir. Bunun sonucu olarak ülkemizde soğuk iklim koşullarının olduğu ve üretimin az olduğu yerlerde, ısınma için harcanacak ekonomik giderlerin azalacağı ve verimin artırılmasına olanak sağlanacaktır.
3. Topraktaki nem miktarı arttıkça toprağın iletim ile ısı transfer miktarı artmaktadır. Bu durumda üretici için sistemdeki toprağın nemin artması istenen bir durumdur. Bu da üreticinin kışın sulama yaparken don olayından etkilenmemesini sağlayarak kış ayı boyunca hava şartlarından etkilenmeden sulamanın yapılması, sera endüstrisi için farklı bir yaklaşım olacağı gözlemlenmiştir.
4. Termoelektrik modüle güç veren adaptör, Arduino kartları ile yazılım olarak kontrol edilebilir.

Toprağa sıcaklık ve nem sensörleri yerleştirilerek herhangi ani bir sıcaklık düşüşünde güç adaptörü yazılımla devreye girerek termoelektrik modülün çalışmasına olanak sağlayarak ani gelen don olayında üretici ürünlerin yanında olmaması durumunda bile toprak sıcaklığı artarak sistemin veriminde bir artış olmasına olanak sağlayabilmektedir.

5. Doğal taşınım etkisi de gayet yeterli düzeydedir. Maksimum 6 amperde bitki üstü sıcaklığı -10°C 'den yaklaşık 16°C 'ye çıkmıştır. Bu da bitki yaprak don sıcaklığının çok üstünde bir değer olup, konfor sıcaklığı şartlarına ulaşmıştır. Bu durumda uygun meyve ve sebzeleri zorlu kış şartlarında yetiştirebilmenin önü açabilmektedir.
6. Sistem, akü veya güneş enerjisinden elde edilen elektrik ile, çok rahat bir şekilde çalışmaktadır. Bunun nedeni sistemin gerekli elektrik enerji ihtiyacı, diğer elektrik araçlarına göre çok azdır. Sistem 12 V ve 6 Amper maksimum güç ile çalışmaktadır. Ayrıca sistemin amper ve voltaj değerleri boost devreleriyle ayarlanabilir oluşu, sisteme verilecek olan ısı enerjisini doğrudan ve hızlı bir şekilde değiştireceğinden, üretici için farklı sıcaklık koşullarında istenilen ısı enerjisini sağlamış olacaktır.

Bu çalışma, seralarda oluşan don olayının bitkiler üzerindeki etkisini azaltmak için termoelektrik modül kullanarak hedeflenmiş bir ısıtma yaklaşımını araştırmaktadır. Literatürde benzer bir çalışma bulunmamasıyla birlikte, bu araştırmanın yenilikçi ve öncü bir nitelik taşımasını sağlamaktadır. Literatürde benzer çalışmalara rastlanmamış olması, bu çalışmanın özgünlüğünü ve yenilikçi yaklaşımını ortaya koymaktadır. Termoelektrik modül kullanılarak toprak ısıtma sistemi, klasik yöntemlere göre daha çevre dostu ve ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Çalışma, tüm serayı ısıtmak yerine yalnızca bitki için kritik olan tohum, kök ve çimlenme bölgelerini ısıtarak enerji verimliliğini artırmayı hedeflemiştir. Elde edilen sonuçlar, termoelektrik modülün bu bölgeleri etkin bir şekilde ısıtarak optimum çimlenme sıcaklığına ulaşabileceğini göstermektedir.

Araştırmanın avantajları arasında, termoelektrik modülün düşük enerji tüketimi ve çevre dostu bir çözüm sunması bulunmaktadır. Sistem, 12V ve 6 Amper maksimum güç ile çalışmakta olup, bu değerlerin boost devreleriyle ayarlanabilir olması sayesinde farklı sıcaklık koşullarına hızlı uyum sağlayabilmektedir. Ayrıca, sistemin akü veya güneş enerjisi ile çalışabilmesi, seralarda enerji maliyetlerini düşürmekte ve sürdürülebilir bir tarım uygulaması için önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu durum, özellikle kış koşullarında üretimin az olduğu bölgelerde ekonomik açıdan büyük bir avantaj sunmaktadır. Çalışmanın dezavantajları arasında, termoelektrik modüllerin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve sistemin uzun vadeli performansının daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyması bulunmaktadır. Ayrıca, termoelektrik modülün sıcaklık kontrolü ve toprak nem seviyesinin sürekli izlenmesi gerekmektedir. Ancak, bu dezavantajlar, sistemin enerji verimliliği ve sürdürülebilirliği göz önüne alındığında tolere edilebilir niteliktedir. Yapılan deneyler ve sayısal analizler, termoelektrik modülün etkinliğini ve toprak sıcaklığını istenen seviyelere getirme kapasitesini doğrulamaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, termoelektrik modül kullanarak seralarda hedeflenmiş bir ısıtma yaklaşımının potansiyelini ve etkinliğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, bitki kök ve tohumlarının doğrudan ısıtılmasıyla enerji verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Bu yenilikçi yaklaşım, sera endüstrisi için önemli bir katkı sunmakta ve kış koşullarında üretimin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Gelecekteki çalışmalar, sistemin uzun vadeli performansını ve ekonomik etkilerini daha ayrıntılı olarak incelemeli ve bu yenilikçi çözümün tarım endüstrisindeki uygulamalarını genişletmelidir.

7. Kaynaklar (References)

- [1] Y. Tüzel, G.B. Öztekin, A. Gül, Antalya'nın Kepez ilçesinde geleneksel sera üretiminin özellikleri, Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi 1 (1) (2014) 68–77.
- [2] L. Tan, J.A. Love, Literature review on heating of ventilation air with large diameter earth tubes in cold climates, Energies 6 (1) (2013) 3734–3743.
- [3] C. Çanakçı, S. Acarer, Jeotermal enerji ile sera ısıtma sistemleri tasarım esasları, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi (TESKON 2009), İzmir, Türkiye, 2009.
- [4] H.H. Öztürk, M.M. Hocagil, C. Türkay, Sera ısıtma sistemlerinin teknik tasarımı, Alatarım 5 (1) (2006) 44–50.
- [5] B. Kendirli, B. Çakmak, Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımı, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi 2 (1) (2010) 95–103.
- [6] K. Popovski, Low-temperature installations for greenhouse heating, Direct Application of Geothermal Energy 18 (1) (1990) 18–28.
- [7] T. Kobari, J. Okijima, A. Komiya, S. Maruyama, Development of guarded hot plate apparatus utilizing Peltier module for precise thermal conductivity measurement of insulation materials, Int. J. Heat Mass Transfer 91 (1) (2015) 1157–1166.
- [8] B.J. Huang, C.L. Duang, System dynamic model and temperature control of a thermoelectric cooler, Int. J. Refrigeration 23 (3) (2000) 197–207.
- [9] K. Sato, H. Okumura, Y. Satarou, Numerical calculations for Peltier current lead designing, Cryogenics 41 (2001) 497–503.
- [10] A. Gündüz, Termoelektrik soğutma dolaplı buharlaşmalı soğutucunun ısıl ve hidrolik performansının incelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2019.
- [11] <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/227422/ETC2/TEC1-12706/309/3/TEC1-12706.html> (erişim tarihi: 02.07.2024).
- [12] alldatasheet.com, “Electronic Components Datasheet Search.” <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/313841/HB/TEC1-12706.html> (erişim tarihi: 02.07.2024).
- [13] J. Du, P. Bansal, B. Huang, Simulation model of a greenhouse with heat-pipe heating system, Appl. Energy 93 (1) (2012) 268–276.
- [14] Ö. Genç, Balıkesir ili iklim koşullarına uygun sera modellerinin oluşturulması ve ısıtma-soğutma yükünün belirlenmesi, Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2008.
- [15] A. Büyükbayraktar, Termoelektrik modül kullanılan seradaki bir bitkinin toprak altı ve üstü sıcaklığının sayısal ve deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2022.