



PARABOLİK OLUK KOLEKTÖRÜYLE GÜNEŞ DESTEKLİ BUĞDAY PIŞİRİLMESİNİN ZAMANA BAĞLI SİMÜLASYONU

TRANSIENT SIMULATION OF SOLAR ASSISTED WHEAT COOKING BY PARABOLIC TROUGH COLLECTOR

The Journal of Global Engineering Studies

Volume:3 Issue:1 (2016) 93–106

□

3rdAnatolia Energy Symposium Special Issue

İbrahim Halil Yılmaz^{a*}

Mehmet Sait Söylemez^b

^aGaziantep Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 27310, Gaziantep Türkiye, iyilmaz@gantep.edu.tr

^bGaziantep Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 27310, Gaziantep Türkiye, sait@gantep.edu.tr

Özet

Gıda sektöründe, tarımsal ürünlerin işlenmesi sırasında gerekli olan ısı enerjisinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu tür uygulamalarda ihtiyaç duyulan sıcaklık 60°C ile 180°C arasında değişebilmektedir. Düşük sıcaklık (90°C'nin altında) güneş destekli uygulamalarda, genel olarak odaklama yapmayan (düz plakalı, vakum tüplü vb.) kolektör sistemleri kullanılmaktadır. 90°C üzeri gıda işleme sıcaklıklarında, odaklamalı kolektör kullanılarak hem orta düzey sıcaklıklarda (120-200°C kolektör çıkışı) enerji aktarımı hem de bu sıcaklıklarda kolektör sisteminin nispeten yüksek verimlerde çalışması sağlanır. Bu çalışmada, Parabolik Oluk Güneş Kolektörü (POGK) kullanımıyla ısı bir sistem tasarımı yapılarak buğdayın pişirilip hedik haline getirilmesi amaçlanmıştır. Pişirme işlemi için gerekli olan ısı enerjisinin bir kısmı güneş enerjisinden sağlanmıştır. Bunun için deneysel bir düzenek Gaziantep Üniversitesi'ne kurularak, pişirme işlemi için tasarlanan sistemin fizibilite testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, tasarlanan sistemin orta sıcaklık ihtiyacı olan büyük-ölçekli endüstriyel gıda fabrikalarına adapte edilmesiyle, pişirme prosesi için gerekli olan enerji sarfiyatının, yıllık %15 ile %25 arasında düşeceği tahmin edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, parabolik oluk kolektör, gıda işleme, proses ısı, buğday pişirme.

*Corresponding author

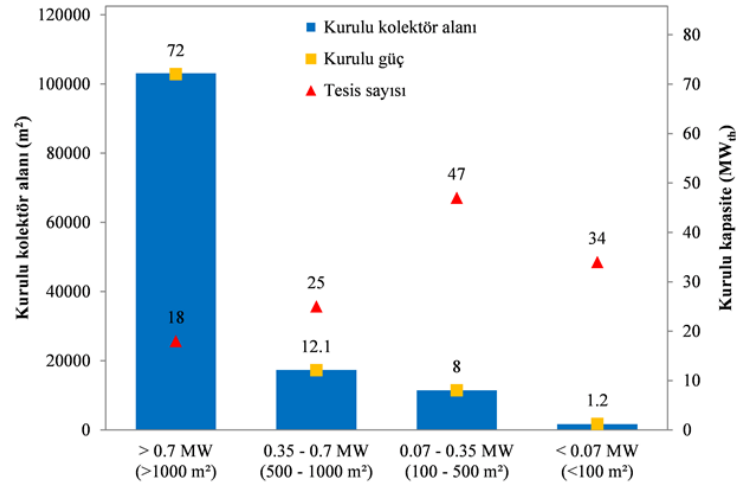
Abstract

In food industry, a substantial part of thermal energy need for processing of agricultural products is met from the fossil fuels. The temperature requirement can range from 60°C to 180°C in these types of facilities. It is generally used nonconcentrating collector (flat plate, vacuum tube etc.) systems in low temperature (under 90°C) solar-assisted applications. Using concentrating collector above 90°C food processing temperatures provides both transferring energy at medium temperatures (120-200°C collector outlet) and working relatively higher efficiencies of the collector system at these temperatures. In this study, a thermal system design is performed using Parabolic Trough Solar Collector (PTSC) for cooking wheat to obtain hedik as a purpose. A part of the thermal energy needed for cooking operation has been supplied by the solar energy. For this reason, an experimental setup is installed, and the feasibility tests are fulfilled for the system designed for cooking operation. In the light of the results obtained, by the implementation of the designed system to the large-scale industrial food plants that require medium temperature, the annual energy cost for cooking process is estimated to decline between 15% and 25%.

Keywords: Solar energy, parabolic trough collector, food processing, process heat, wheat cooking.

1 Giriş

Ülkemizde artan enerji giderleri ve enerji konusunda kısmen dışa bağımlı olduğumuz gerçeği, alternatif enerji kaynaklarına yönelmemize ve bu konuda yeterli olmayan araştırmalara ağırlık vermemize neden olmaktadır. Seçim aşamasında kullanılacak olan enerji kaynağının zenginliği ve sürekliliği temel teşkil etmektedir. Bu yönüyle konu ele alındığında, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de genel manada yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ilk bakışta göze çarpılmaktadır. Güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynaklarının en başında gelmesi ve ısıl endüstriyel işlemlere daha elverişli olmasından dolayı, çalışmalar ekseriyetle bu yönde ilerletilmektedir. Dünya genelindeki endüstriyel uygulamalara bakıldığında; güneş enerjisi uygulamalarının günden güne arttığı ve uygulamalarda karşılaşılan teknik problemlerin büyük ölçüde çözümlendiği görülmektedir. 2007 yılında 21 ülkede yapılan çalışmalarda, toplam kurulu gücün 25 MW olduğu yaklaşık 90 adet Güneş Destekli Endüstriyel Proses Isı (GDEPI) sistemi olduğu belirlenmiştir [1]. Bu tesislerin çoğu küçük-ölçekli ve deneysel çalışmalardan oluşmaktadır. Fakat son yıllarda küçük-ölçekli uygulamalardan daha büyük tesislere geçişte, gelecek vadeden bazı projeler gerçekleştirilmiştir. 2014 yılının sonunda tüm dünyada kurulu tesis sayısı 124'e ulaşırken, kurulu toplam güç ise 93 MW'ın (133.200 m² kolektör alanına eşdeğer) üzerine çıkmıştır [2]. GDEPI uygulamalarının geldiği son durum Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Şirket ve enstitüler güneş teknolojisinin endüstriyel alanlarda ticarileştirmesi için çaba gösterebilirler de, özellikle son çeyrek asırda tatmin edici başarı elde edilememiştir. Bu teknolojinin büyümesinin önünde bariyer olan başlıca nedenler ise yüksek yatırım maliyeti, fosil yakıt fiyatlarında ki artış, devlet teşviklerinin mevcut olmaması ve güneş enerjisi kullanımından gelen çeşitli dezavantajların var olmasıdır [3]. Fakat güneş kolektör teknolojisinde ki gelişmeler, kolektör sistemlerinin maliyetlerini dolayısıyla yıpranma payı sürelerini kısmen azaltmıştır.



Şekil 1.1: Küresel ölçüde faaliyette olan GDEPI uygulamaları

Böylelikle kurulu tesis sayısı gözle görülür bir şekilde artarak birçok endüstriyel alanda kullanılması cazip hale gelmiştir [4–6].

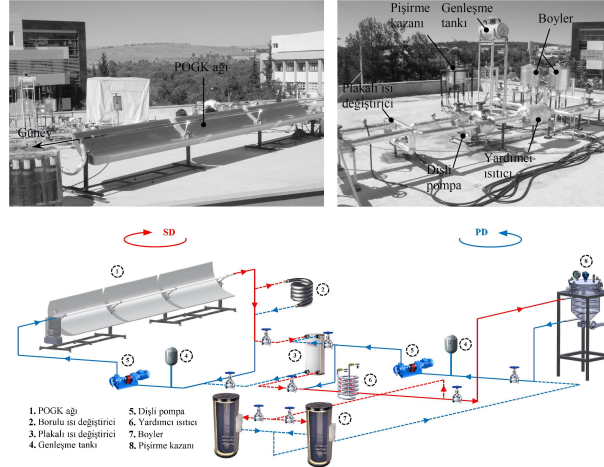
Ülkemizin sektörel enerji tüketim oranlarına bakıldığında, en büyük paya endüstri sektörünün sahip olduğu görülmektedir. 2010 yılına gelindiğinde bu pay toplam enerji tüketiminin %40'ına karşılık gelmiştir [7]. Bu enerji ihtiyacının ise yaklaşık olarak 1/5'i endüstriyel proses ısı işlemlerinde kullanılmaktadır [8]. Gaziantep Organize Sanayi Bölgesinin sektörel bazda ki dağılımı incelendiğinde, işletmelerin %43'ü tekstil sektöründe, %22'si gıda sektöründe, %9'u boya-kimya sektöründe, %7'si plastik sektöründe, %3'ü temizlik-hijyen sektöründe, %16'sı ise diğer sektörlerde faaliyet göstermektedir [9]. Gaziantep ilinin endüstriyel proses ısı kullanım hacmi ve güneş enerjisi potansiyeli göz önüne alındığında, güneş enerjisi destekli proses ısı uygulamalarının hayata geçirilmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda, endüstriyel sektörlerde sıkça kullanılan düşük ve orta dereceli sıcaklık gerektiren proses ısı (sıcak su, sıcak hava, kızgın buhar, kızgın yağ vb.) uygulamalarının güneş enerjisi sistemlerine entegre edilmesi ve ısıl enerji sarfiyatının kısmen güneşten karşılanması, bu alandaki çalışmalara olan talebi arttırmaktadır. Özellikle güneş enerjisinin bol olduğu Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında proses ısı işlemi için gerekli olan enerjinin gün içerisinde doğrudan olarak güneşten sağlanması, Mart, Nisan, Mayıs, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise mevcut konvansiyonel ısıtma sistemine (fosil yakıtla çalışan) takviye olması, işletmelerin enerji verimliliğini arttıracaktır.

Bu çalışma kapsamında, buğdayın kaynatılarak hedik haline getirilmesi ve gerekli olan ısıl enerjinin güneş enerjisinden karşılanması için Güneş Destekli Proses Isı (GDPI) uygulamasının tasarımı yapılmıştır. Yıllık sistem performansının değerlendirilmesi için Visual Basic 6.0 programlama dilinde sistem bileşenlerinin modelleri yapılarak hazırlanan simülasyon programında zamana bağlı sistem analizi yapılmıştır.

2 Materyal ve Metot

Gaziantep Üniversitesi yerleşkesine kurulan GDPI uygulamasının test düzeneği ve bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Sistem; primer ve sekonder olarak ad-

landırılan birbirine plakalı ısı değiştirici (PID) ile bağlı iki kapalı devreden oluşmaktadır. Primer devre (PD) temel olarak pişirme kazanı (PK), boylerler, yardımcı ısıtıcı (YI) ve genleşme tankından (GT) oluşmakta, sekonder devre (SD) ise parabolik oluk güneş kolektör (POGK) ağı, borulu ısı değiştirici ve GT'ndan oluşmaktadır. POGK ağı seri biçimde bağlanan 3 özdeğ güneş kolektöründen oluşmaktadır. Kolektörlerin teknik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir [10–12].



şekil 2.1: GDPI uygulaması için oluşturulan test dzeneneği

Parabolik ayna, güneşten gelen direk ışınımı odak çizgisinde bulunan cam tüpe, buradan da emici tüpe odaklayarak tüp içerisinde dolaştırılan çalışma sıvısına ısıl enerji aktarımı sağlanır. Bu enerjiyi PD'ye aktararak pişirme işlemi için gerekli olan enerjinin bir kısmının güneşten alınması amaçlanır. Güneş takip mekanizması, frekans kontrollü sonsuz dişli motora akuple merkezi kontrol ünitesi ile yatay düzlemde yer alan POGK ağına güneş takibi yaptırmaktadır. Ayrıca takip sistemi üzerinde küresel konumlandırma sistemi (GPS) ve güneş takip detektörü bulunmaktadır. Kolektör ağının eksenini, yerel Kuzey-Güney koordinat eksenine ile çakışık hale gelecek şekilde ayarlanmıştır. Böylelikle POGK ağı Doğudan Batı eksenine doğru Kuzey-Güney eksenini etrafında dönerek güneşin geliş açısını düşürecek ve yaz sezonu boyunca gelen direk ışınımı daha yüksek miktarlarda toplayacaktır [11, 12].

PD ve SD içerisinde çalışma sıvısı olarak Renolin therm 320 ısıl yağı kullanılmıştır. Isıl yağ kullanılması ki en önemli amaç; çalışma sıcaklığının kolay bir şekilde kontrol edilmesidir. Sistemdeki yağın dolaşımı ve debi kontrolü için frekans-kontrollü dişli pompa kullanılmıştır. PD'den SD'ye ısı aktarımı, yüksek verimli plakalı ısı değiştirici ile sağlanmıştır. Isı değiştirici seçimi, PD ve SD'nin çalışma sıcaklığına ve aktarılacak ısı gücüne bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Isı değiştiricinin enerji aktarımı, SD'nin çalışma sıcaklığı, POGK ağının verimine bağlı olduğundan, PD'ye aktarılan enerji miktarında zamana bağlı değişiklikler olacaktır. Bu noktada uygun ısı değiştirici seçimi, GDPI sisteminin yıllık güneşten faydalanma verimini de arttıracaktır. Çünkü güneş enerjisinin şiddeti, gün içerisinde kısa süreli periyotlarla dalgalanacağı için gün içerisinde kolektör çıkış sıcaklığı değişecektir. Güneş enerjisi sistemlerinin proses ısı ve diğer uygulamalara entegre edilmesinde karşılaşılan en büyük problem, güneş enerjisinin dengesiz ve kesintili oluşudur [13].

Proses ısı uygulaması için gerekli olan ısı yükünün karşılanması için yapılan sis-

Tablo 2.1: *POGK teknik özellikleri*

Kolektör tip	Smirro300
Takip biçimi	Tek-eksen
Parabol ölçüleri	3.00 m × 1.14 m
Odak mesafesi	0.358 m
Emici tüp çapı	0.032/0.035 m
Cam tüp çapı	0.054/0.060 m
Ayna yansıtıcılık	0.90
Ayna yayıcılık	0.85
Emici tüp soğurganlık	0.95
Cam tüp yayıcılık	0.88
Emici tüp malzeme	Seçici yüzeyli paslanmaz çelik
Cam tüp malzeme	Duran
Ayna malzeme	Miro-sun

tem tasarımı ve bileşen seçimleri büyük önem arz etmektedir. Literatürde GDPI sistemleri için bazı tasarım yaklaşımları önerilmiştir [3,14–17]. Genel olarak endüstriyel GDPI uygulamalarında, güneş enerjisinin süresiz ve değişken karakterini dengelemek için yardımcı ısıtıcı yani fosil yakıtla çalışan ısıtma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [18]. Sistem tasarımımızda güneş enerjisini yetersiz kaldığı durumları oluşacak boşluğu dengelemek amacıyla, 6 kW gücünde özel tasarlanmış elektrikli yardımcı ısıtıcı kullanılmıştır. Sistemin küçük-ölçekli olmasından ve ısı enerjisi aktarımını daha kontrollü yapabilmek adına elektrikli ısıtıcı seçilmiştir. Ayrıca kurgulanan sistem tasarımında, günlük ısı enerjisi depolama birimi kullanılmadığı için sistemde yardımcı ısıtıcıya yer verilmesi, istenilen çalışma koşullarının sağlanmasında etkin rol oynamaktadır. Yardımcı ısıtıcı, PD’de set edilen çalışma (yük) sıcaklığını sağlamak ve proses dönüş sıcaklığını tekrar yük sıcaklığına çıkarmak için ısı enerjisi takviyesi yapmaktadır.

GDPI uygulamasında suyun 90°C sıcaklığa kadar ön ısıtılması için 2 adet 60 L boyler kullanılmıştır. Bu boylerlerin ilki, pişirme için gerekli olan proses-suyunu ön ısıtmada, diğeri ise pişirme işlemi sonrası (dinlenme ve boşaltma sırasında) fazla enerjiyi bir sonraki pişirme işlemi için kullanılacak olan suya aktarmakta kullanılmıştır. Boyler içerisindeki suyun sıcaklığı ön ısıtma sıcaklığına ulaştığında pişirme kazanına aktarılır. Pişirme kazanının içinde ortam sıcaklığında bulunan buğday ile proses-suyu karıştırılarak pişirme işlemi başlatılır. Buğdayın ilk sıcaklığına ve termofiziksel özelliklerine göre pişirme süresinin uzunluğu değişebilmektedir. Bulgur, temel olarak sert buğdaydan (*Triticum durum*) elde edilir. Buğdayın pişirilmesi, ön-ısıtma ve kaynama işlemlerinden oluşmaktadır. Ön-ısıtma işlemi karışım sıcaklığında ki buğdayın kaynama sıcaklığına kadar olan ısıtılma sürecini kapsamaktadır. Karışım kaynama sıcaklığına ulaştığında, kaynama işlemi buğday içerisindeki nişastanın tamamıyla jelatinize olmasına kadar sürer. Buğdayın jelatinizasyonu buğdayın cinsine, kaynama sıcaklığı ve süresine bağlıdır [19]. Nişastanın yüksek seviyede jelatinizasyonunu sağlayabilmek için mevcut proses-suyu miktarı ve kaynama sıcaklığı önemlidir. Kaynama sıcaklığının artması jelatinizasyon derecesini arttırmakta olup kaynama süresi bu şekilde kısalmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda; 1:2 oranı (1 ölçek buğday numunesine karşılık 2 ölçek su) kullanılmıştır [20].

Deneysel düzenek üzerinde fiziksel ölçümlerin alınması ve akabinde analizlerinin

yapılabilmesi için ölçüm cihazları yerleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümleri iki kablolu A sınıf Ordel marka Pt100 rezistans termometre ile yapılmıştır. Her bir termometre, ölçüm yapacağı yere uygun olarak boyutlandırılmış ve üretici firma tarafından IEC751 standardına göre kalibre edilmiştir. Primer ve sekonder devreler üzerinde ki çevrim basınçları ve pişirme kazanının işletme basıncı analog basınç transmitterleri tarafından ölçülmüştür. Ayrıca PD ve SD boru tesisatı içerisinde dolaşan ısı yağın debileri yüksek hassasiyetli Krohne koriolis ve Aktek ultrasonik debimetreler ile ölçülmüştür. Güneşten gelen toplam ışınım miktarını ölçmek için Kipp & Zonen CMP11 model piranometre kullanılmıştır. Bu ölçümlerin haricinde; enerji, ısı transferi ve akışkan hesaplamalarında gerekli olacak yoğunluk, özgül ısı, ısıl iletkenlik ve kinematik viskozite gibi çalışma sıvısının (Renolin therm 320) termofiziksel özellikleri doğrudan ölçülmeyerek üretici firmanın sağlamış olduğu laboratuvar ölçümlerinden alınmıştır. Akışkanın termofiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimi (2.1)-(2.4) eşitliklerinde verilmiştir. Tüm dijital ölçüm cihazlarından gelen sinyalleri işlemek üzere veri toplama (DAQ) cihazlarına bağlantılar yapılmıştır. Bu amaç için MCC marka bir adet 16 kanallı 24-bit USB-2416, iki adet 8 kanallı USB-TEMP kullanılmıştır. DAQ cihazları, Usb port girişinden bilgisayara bağlanmış ve arayüz programı TracerDAQ Pro yardımıyla gelen sinyaller fiziksel ölçümlere dönüştürülerek veriler anlık olarak bilgisayara kaydedilmiştir.

$$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} = 880 - 0.6495 T \quad (2.1)$$

$$c_p \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} = 1864 + 4.289 T \quad (2.2)$$

$$k \text{ (W/m}^\circ\text{C)} = 0.1344 - 0.00007235 T \quad (2.3)$$

$$\nu \text{ (m}^2\text{/s)} = \begin{cases} \exp\left(\frac{918.132}{T + 105.587} - 2.786\right) \times 10^{-6}, & 0^\circ\text{C} \leq T < 80^\circ\text{C} \\ \exp\left(\frac{745.466}{T + 89.422} - 2.225\right) \times 10^{-6}, & 80^\circ\text{C} \leq T \leq 320^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2.4)$$

2.1 Enerji Dengesi

Proses ısı yükünü sağlamak için SD'den PD'ye enerji aktarımı gerçekleşir. Zamana bağlı enerji değişimi Eş. (2.5) ve (2.6) ifade edildiği şekliyle

$$\dot{Q}_{PID} + \dot{W}_{net,YI} - \dot{Q}_{PY} - \dot{Q}_{GT} - \dot{Q}_b = \frac{dE_{PD}}{dt} \quad (2.5)$$

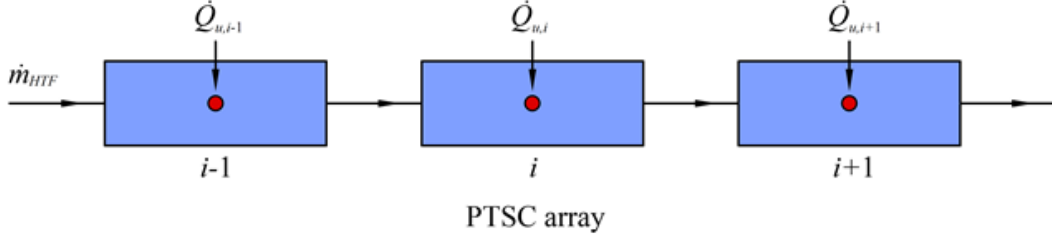
$$\dot{Q}_u - \dot{Q}_{PID} - \dot{Q}_{GT} - \dot{Q}_b = \frac{dE_{SD}}{dt} \quad (2.6)$$

Isı kapasitelerinin hesaplanması için tüm sistem bileşenlerinin giriş ve çıkış sıcaklıklarının belirlenmesi gerekir. Bunun için sistem bileşenlerinin ısı analizleri yapılmıştır.

2.2 Sistemin Matematiksel Modellenmesi

Sistem performansının analizinin yapılması için Şekil 2'de verilen GDPI sistem bileşenlerinin matematiksel modelleri oluşturulmuştur. POGK'lerinin ısıl performansını

incelemek amacıyla ısı transferi ve optik modelleri geliştirilmiştir. Daimi şartlara göre yapılan POGK modeli, ısı yağındaki sıcaklık yükselişini ve faydalı enerji girişinin bulunmasına yardımcı olmaktadır. Yapılan çalışmanın detayları hakkında daha fazla bilgi [10–12, 21] numaralı kaynaklarda yer almaktadır. Yapılan modelin zamana bağlı analizi için Şekil 3'te gösterildiği üzere POGK sahasına “düğüm analizi” yaparak ısı atalet analizi uygulanmıştır.



Şekil 2.2: POGK ağının düğüm analizi

Zamana bağlı enerji balansı yazılırsa

$$(m c_p)_{HTF} \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{HTF} c_{p,HTF} (T_g - T) + \dot{Q}_u \quad (2.7)$$

(2.7) eşitliğinin integrali alınır

$$\int_0^{t+\Delta t} \frac{dT}{T - T_g - \dot{Q}_u / \dot{m}_{HTF} c_{p,HTF}} = -\frac{\dot{m}_{HTF}}{m_{HTF}} \int_0^{t+\Delta t} dt \quad (2.8)$$

$$T(t + \Delta t) = T_g + \frac{\dot{Q}_u}{\dot{m}_{HTF} c_{p,HTF}} + \left(T(t) - T_g - \frac{\dot{Q}_u}{\dot{m}_{HTF} c_{p,HTF}} \right) e^{-\frac{\dot{m}_{HTF}}{\rho_{HTF} V_a} \Delta t} \quad (2.9)$$

Düğüm notasyonu kullanılması durumunda ise

$$T_i^+ = T_{i-1} + \frac{\dot{Q}_{u,i}}{\dot{m}_{HTF} c_{p,HTF,i}} + \left(T_i - T_{i-1} - \frac{\dot{Q}_{u,i}}{\dot{m}_{HTF} c_{p,HTF,i}} \right) e^{-\frac{\dot{m}_{HTF}}{\rho_{HTF,i} V_a} \Delta t} \quad (2.10)$$

burada T_i^+ ise i düğümündeki bir sonraki zaman basamağındaki sıcaklık değeridir.

SD'den PD'ye aktarılan enerjinin hesaplanması için PID'nin ısı transfer modeli yapılmıştır. Giriş ve çıkış sıcaklıklarının değişmesine göre aktarılan enerji miktarında değişiklikler olacaktır. Tablo 2.2'de deneysel düzenekte kullanılan PID'nin teknik özellikleri verilmiştir.

Sıcak ve soğuk akışkanın sadece giriş sıcaklık ve debi değerlerinin bilinmesi durumunda, NTU metodu kullanılarak PID çıkışında sıcak ve soğuk akışkanın sıcaklık değerleri tahmin edilir ve aktarılan ısı enerjisinin miktarı bu sayede hesaplanmış olunur. NTU metot, boyutsuz parametre olarak ifade edilen ısı transfer etkinlik, sayısına ve maksimum olası ısı transfer miktarına dayanır.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} \quad (2.11)$$

Tablo 2.2: *PID teknik özellikleri [22].*

Plaka malzemesi	AISI 316
Efektif akış plaka mesafesi	0.243 m
Efektif kanal eni	0.119 m
Port çapı	0.024 m
Plaka kalınlığı	0.0004 m
Oluk derinliği	0.00224 m
Total efektif yüzey alanı	0.248 m ²
Genişletme faktörü	1.19
Chevron açısı	23°
Plaka sayısı	10
Isı aktarımındaki efektif plaka sayısı	8
Kanal sayısı (sıcak taraf/soğuk taraf)	4/5
Plakanın ısı iletkenlik katsayısı	15.5 W/m°C

$$\dot{Q}_{\max} = C_{\min} (T_{h,g} - T_{c,g}) \quad (2.12)$$

burada C_{\min} , $C_h = \dot{m}_h c_{p,h}$ ya da $C_c = \dot{m}_c c_{p,c}$ 'den küçük olanıdır.

Isı transfer etkinlik katsayısı ısı değiştiricinin geometrisine bağlı olduğu kadar akış düzenine de bağlıdır. Karşı akış düzenlemesi için şu şekilde hesaplanır.

$$\varepsilon = \frac{\exp[(1-c)NTU] - 1}{\exp[(1-c)NTU] - c} \quad (2.13)$$

burada c ve NTU boyutsuz parametreler olarak anılan kapasite oranı ve ısı transfer ünite sayısıdır.

$$c = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \quad (2.14)$$

$$NTU = \frac{UA_e}{C_{\min}} \quad (2.15)$$

Isı değiştiricinin toplam ısı transferi katsayısı kaynak [12]'de önerilen prosedür ile hesaplanmıştır. Tüm bu yaklaşımlardan sonra PID'ye giren sıcak ve soğuk ısı yağın sıcaklıkları sırasıyla enerji dengesinden hesaplanır.

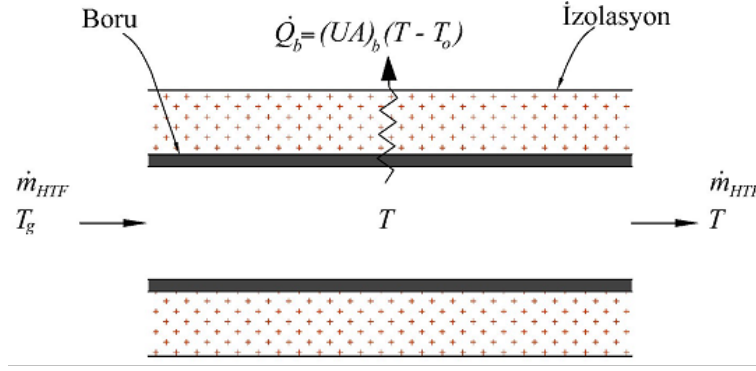
$$T_{h,\zeta} = T_{h,g} - \frac{\dot{Q}}{C_h} \quad (2.16)$$

$$T_{c,\zeta} = T_{c,g} + \frac{\dot{Q}}{C_c} \quad (2.17)$$

Burada $\dot{Q} = \dot{Q}_{PID}$. PID'nin soğuk çıkışındaki akışkan sıcaklığı YI'ya girmeden önce set edilen sıcaklık değerinin altında ise YI akışkana enerji aktarımı yaparak set sıcaklığına çıkarır.

$$\dot{W}_{net,YI} = \dot{m}_{HTFC_p,HTF} (T_{set} - T_{c,\zeta}) \quad (2.18)$$

GT'dan olan ısı kaybının detaylı analizi kaynak [12]'de verilmiştir. Borulardan olan ısı kaybı hesaplanırken Şekil 2.3'te verilen kontrol hacmi göz önüne alınırsa Zamana bağlı analiz için enerji balansı uygulanır ve aşağıdaki denklem elde edilir.



Şekil 2.3: Boru tesisatında ısı atalet analizi

$$(mc_p)_T \frac{dT}{dt} = \dot{m}_{HTF} c_{p,HTF} (T_g - T) - (UA)_b (T - T_o) \quad (2.19)$$

burada $(mc_p)_T = (mc_p)_{HTF} + (mc_p)_b + (mc_p)_{izo}$ 'dir. (2.19) nolu eşitliğin integrali alınır

$$\int_0^{t+\Delta t} \frac{dT}{T - T_b} = -\frac{\dot{m}_{HTF} c_{p,HTF} + (UA)_b}{m_{HTF} c_{p,T}} \int_0^{t+\Delta t} dt \quad (2.20)$$

elde edilir. Burada $T_b = \frac{\dot{m}_{HTF} c_{p,HTF} T_g + (UA)_b T_o}{\dot{m}_{HTF} c_{p,HTF} + (UA)_b}$ 'dir. Zamana bağlı çıkış sıcaklığındaki değişim

$$T(t + \Delta t) = T_b + (T(t) - T_b) e^{-\frac{\dot{m}_{HTF} c_{p,HTF} + (UA)_b}{m_{HTF} c_{p,T}} \Delta t} \quad (2.21)$$

şeklinde elde edilir.

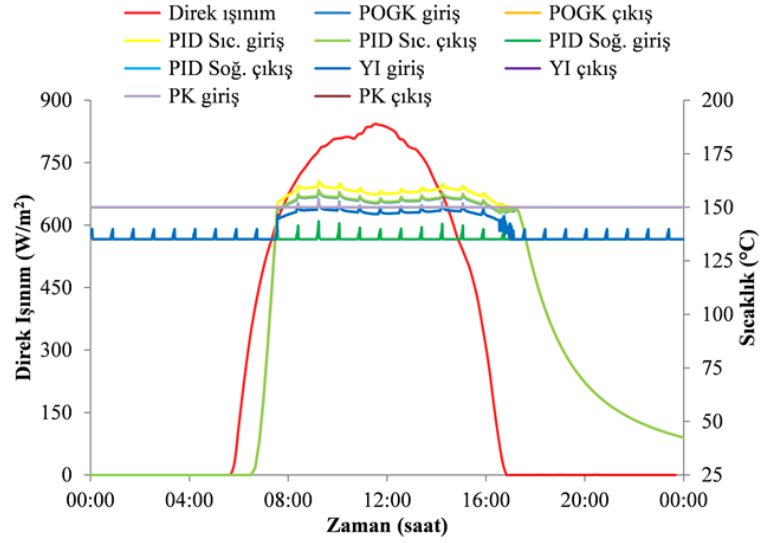
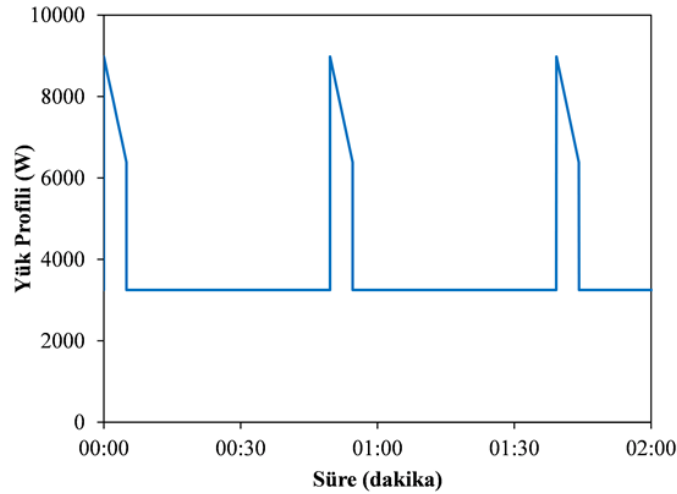
3 Sonuçlar

Bu bölümde, sistem bileşenlerinin zamana bağlı dinamik çalışma şartları altında bütünlük performansının analizi yapılmıştır. Verilen matematiksel modeller bütünlükleştirilerek Visual Basic 6.0'da bir program hazırlanmıştır. Sistem davranışının yıl içerisindeki bir güne uygulanmış hali ve sonuçları Şekil 3.1'te gösterilmiştir. Sistemin yıllık analizi için Tablo 3.1'te ki sistem parametreleri, Şekil 3.2'da ki pişirme yükü profili ve Şekil 3.3'de ki aylara göre ortalama ışıınım değerleri [12] uygulandığında aylara göre sistem veriminin değişimi Şekil 3.4'de ki gibi elde edilmiştir.

Beklendiği üzere yaz sezonundaki ışıınım şiddeti diğer sezonlara nispeten daha yüksek olduğundan, sistem verimi daha yüksek elde edilmiştir. Haziran ayında %40.28 gibi bir sistem veriminin elde edilmesinde, ay içerisindeki güneş ışıınlarının geliş açısının daha dik olması oldukça etkili olmuştur. Kullanılan sistem parametreleri düşünüldüğünde sistemin yıllık verimi simülasyon sonuçlarına göre %20.8 edilmiştir. Yani, tasarlanan sistemin PD'ye entegre edilmesiyle, Gaziantep iklim şartları altında sistemin yıllık enerji tüketiminin yaklaşık olarak 1/5 oranında azalacağı öngörülmektedir.

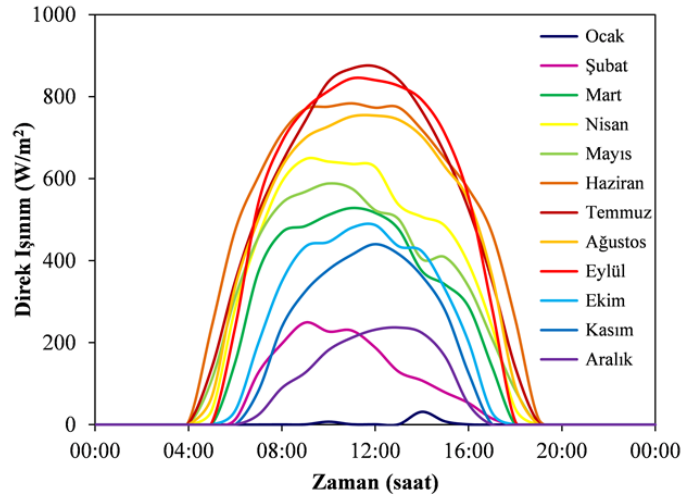
Tablo 3.1: Simülasyonda kullanılan parametreler

Yer	Gaziantep
Kolektör tipi	Smirro300
Piştirme yük profili	Şekil 3.2
Set sıcaklığı	150°C
PD boru uzunluğu	14 m
SD boru uzunluğu	21 m
Boru iç/dış çap	0.0297/0.0337 m
Boru yalıtım malzemesi	0.025 mm cam yünü

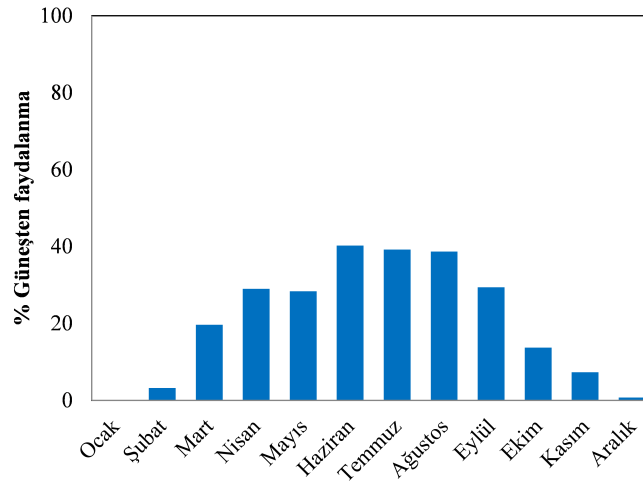
**Şekil 3.1:** 15 Ekim gününe ait simülasyon sonuçları**Şekil 3.2:** Piştirme yükünün zamana bağlı değişimi.

4 Tartışma ve Öneriler

GDPI uygulamalarında en önemli etkenlerden biri, sistem bileşenleri için uygun kapasite seçimidir. Bu bakış, sistemin ilk yatırım maliyetinin düşürülmesi ve çalışma



Şekil 3.3: Aylık ortalama direkt ışınım değişimi.



Şekil 3.4: Aylara göre güneş enerjisinden faydalanma.

veriminin maksimize edilmesi açısından çok önemlidir. Bu noktada yapılacak olan sistem tasarımları, bu iki parametreye göre belirlenmektedir. Gerçekte güneş enerjisi sistemlerinin proses ısı uygulamalarına entegre edilmesi, birçok tasarım kriterine bağlıdır fakat literatürde yer alan çalışmalar ve metodolojiler bu anlamda kesin çözümler içermezler [3, 14–17]. Bu yüzden sistem tasarımı ve analizlerinin iyi şekilde yapılması gerekmektedir. Bu süreç, genellikle uzun ve zaman alıcıdır. Bunun için zamana bağlı sistem modelinin yapılması zor olsa da analiz açısından avantaj sunmaktadır. Deneysel çalışmalar sayesinde, sistem bileşenlerinin matematiksel modelleri deneysel verilerle doğrulanarak, sistemin fiziksel davranışının farklı şartlar altında nasıl olacağı ile ilgili veriler elde edilebilir.

Bu çalışmada kurulan deney düzeneği üzerinde yapılan testlerde, sistem bileşenlerinin model doğrulamaları yapılarak [12] bütünlük sistem simülasyonu hazırlanmış

ve sistem bileşenleri incelenmiştir. Pişirme yükü ve profiline bağlı olarak sistem verimini etkileyen parametrelerin başında plakalı ısı değiştirici ve yardımcı ısıtıcının kapasiteleri ve bu görevi yerine getirecek kolektör ağı yüzey alanının en uygun şekilde seçilmesi gelmektedir. Sistem tasarımında mevcut olan PD ile SD arasındaki bağlantıyı sağlayan sistem bileşeni plakalı ısı değiştirici olduğundan, PD'ye aktarılan enerjinin miktarını plakalı ısı değiştiricinin kapasitesi belirlemektedir. SD güneşten elde etmiş olduğu faydalı enerjiyi çevrimde dolaşan çalışma sıvısına aktararak buradan da plakalı ısı değiştirici vasıtasıyla PD'ye aktarmakta ve pişirme kazanının anlık ihtiyacı olan enerji yükünü desteklemektedir. SD'nin operasyon sıcaklığında güneşten gelen ışınım miktarının değişimine ve anlık değişen ısı pişirme yüküne bağlı olarak dalgalanmalar olacaktır. Bu yüzden sıcaklık dalgalanmalarını en aza indirmek üzere sisteme yardımcı ısıtıcı akuple edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonunda elde edilen çıktılar göstermiştir ki ısı pişirme yükünü sağlayacak POGK ağı yüzey alanının belirlenmesinde, sistemde yer alan tüm bileşen kapasitelerinin doğru şekilde seçimi önemlidir.

Gaziantep ilinin iklim şartları altında POGK'ün ısı-proses uygulamasına entegre edilmesi gerekli olan ısı enerji ihtiyacının belirli bir kısmını güneş enerjisinden karşılanmasında yardımcı olacaktır. Özellikle güneş enerjisinin bol olduğu Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında proses ısı işlemini gün içerisinde doğrudan güneşten destekleyerek, Mart, Nisan, Mayıs, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise güneş ve yardımcı ısıtıcı ile desteklemek, sistem verimine katkı sağlayacaktır. Bu amaç doğrultusunda yapılan sistem bileşenlerinin modelleri ve bütünlük sistem modeli, büyük ölçekli endüstriyel proses ısı uygulamalarına adapte edildiği takdirde çalışma şartlarına bağlı olarak yıllık enerji tüketiminin azalmasında ciddi katkı sağlayacaktır. Burada en can alıcı nokta, sanayideki bir proses ısı uygulamasının güneş desteğiyle çalışması için gerekli olacak güneş kolektörünün sayısı ve diziliminin belirlenmesidir. Ayrıca endüstriyel işlemin ısı yük profili, kapasitesi ve çalışma sıcaklığı gibi birçok parametrenin gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Gaziantep Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne MF.11.13 nolu projeye olan katkılarından, TÜBİTAK BİDEBin yurtiçi bilimsel etkinliklere sağlamış olduğu destekten ve sağlamış olduğu ışınım verilerinden dolayı Prof. Dr. Hüsamettin Bulut'a teşekkürü borç biliriz.

Semboller

A	Yüzey alanı [m^2]
C	Isı kapasitesi [$W/^\circ C$]
c_p	Özgül ısı [$J/kg^\circ C$]
E	Sistemin enerjisi [J]
HTF	Isıl yağ

m	Kütle [kg]
\dot{m}	Kütlesel debi [kg/sn]
\dot{Q}	Isı transfer kapasitesi [W]
t	Zaman [sn]
T	Sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]
U	Toplam ısı transferi katsayısı [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]
V	Hacim [m^3]
\dot{W}_{net}	Net aktarılan elektrik kapasitesi [W]
ρ	Yoğunluk [kg/m^3]
Δt	Zaman farkı [sn]

Kaynaklar

- [1] C. Vannoni, R. Battisti and S. Drigo S, *Potential for Solar Heat in Industrial Processes*, IEA SHC Task 33 and SolarPACES Task IV. Ciemat.
- [2] F. Mauthner and W. Weiss, *Solar Heat Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply* 2012. IEA-SHC.
- [3] C. F. Kutscher, R. L. Davenport, D. A. Dougherty, R. C. Gee, P. M. Masterson and E. K. May, *Design approaches for solar industrial process heat systems*, Technical Report No. SERI/TR-253-1356.
- [4] H. Schweiger, J. F. Mendes, C. Schwenk, K. Hennecke, C. G. Barquero, A. M. Sarvisé and M. J. Carvalho, *POSHIP: The potential of solar heat for industrial processes*, Final Report of Project No. NNE5-1999-0308.
- [5] N. Cottret and E. Menichetti, *Solar Heat for Industrial Processes (SHIP): State of the art in the Mediterranean region*.
- [6] IEA SHC Task 49: *Solar Heat Integration in Industrial Processes*. <http://ship-plants.info/>.
- [7] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Sektörel Enerji Tüketimi İstatistik Raporu. <http://www.enerji.gov.tr/>.
- [8] S. Özdoğan and M. Arıkol, *Energy and exergy analyses of selected turkish industries*, *Energy*, 20(1) (1995), 73–80.
- [9] <http://www.ika.org.tr/>
- [10] İ. H. Yılmaz, M. S. Söylemez, H. Hayta and R. Yumrutas, *Model-based performance analysis of a concentrating parabolic trough collector array*, *Progress in Exergy Energy and the Environment (IEEES'6)*, (2014) 815–827.
- [11] İ. H. Yılmaz and M. S. Söylemez, *Thermo-mathematical modeling of parabolic trough collector*, *Energy Conversion and Management*, 88 (2014), 768–784.

- [12] İ. H. Yılmaz, *A theoretical and experimental study on solar-assisted cooking system to produce bulgur by using parabolic trough solar collector*, Yayınlanmış Doktora tezi, Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2014).
- [13] İ. H. Yılmaz and M. S. Söylemez, *Design and computer simulation on multi-effect evaporation seawater desalination system using hybrid renewable energy sources in Turkey*, *Desalination*, S. 291 (2012), 23–40.
- [14] J. M. Gordon and A. Rabl, *Design, analysis and optimization of solar industrial process heat plants without storage*, *Solar Energy*, 28 (1982), s. 519-530.
- [15] M. Collares-Pereira, J. M. Gordon, A. Rabl and Y. Zarmi, *Design and optimization of solar industrial hot water systems with storage*, *Solar Energy*, 32 (1984), 121–133.
- [16] A. Aidonis, V. Drosou, T. Mueller, L. Staudacher, F. Fernandez-Llebrez, A. Oikonomou and S. Spencer, *PROCESOL II - Solar thermal plants in industrial processes: Design and Maintenance Guidelines*. ALTENER 4.1030/Z/02-084/2002 (2005).
- [17] G. N. Kulkarni, S. B. Kedare and S. Bandyopadhyay, *Design of solar thermal systems utilizing pressurized hot water storage for industrial applications*, *Solar Energy*, 82 (2008), 686–699.
- [18] İ. H. Yılmaz, M. S. Söylemez, H. Hayta and R. Yumrutaş, *A process heat application using parabolic trough collector*, *International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2013)*, Springer Proceedings in Physics, 155 (2014), 137–141.
- [19] İ. H. Yılmaz, H. Hayta, M. S. Söylemez ve R. Yumrutaş, *Bulgur potasının termal analizi*, 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Samsun, Türkiye, 9-12 Ekim 2013, 746–749.
- [20] K. Münzing, *DSC studies of starch in cereal and cereal products*, *Thermochimica Acta*, 193 (1991), 441–448.
- [21] İ. H. Yılmaz, H. Hayta, R. Yumrutaş and M. S. Söylemez, *Performance testing of a parabolic trough collector array*, *The 6th International Congress of Energy and Environment Engineering and Management (CIEM15)*, Paris, France, 22-24 July 2015.
- [22] Technical datasheet of B10TH. Web sitesi: <http://www.swep.net/>.