

Yutucu Plaka Üzerine Konik Yayların Yerleştirildiği Güneş Enerjili Hava Kollektörünün Bulanık Mantık ile Modellenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mesut ABUŞKA¹, Mehmet Bahattin AKGÜL², Volkan ALTINTAŞ³

¹Akhisar Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

³Akhisar Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Tek. Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.10.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2017)

ÖZ

Güneş enerjili hava kolektörleri (GEHK) genellikle mahal ısıtma ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır. GEHK’nde yutucu plaka ve akışkan arasındaki ısı transferinin düşük olmasından dolayı ısı verimleri düşüktür. Bu çalışmada ısı veriminin yükseltilmesine yönelik olarak yeni bir yutucu plaka geometrisi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Konik yayların çapraz sıralı olarak monte edildiği yutucu plakalı ve karşılaştırma amaçlı düz yutucu plakalı kolektörlerden ibaret test düzeneği kurulmuştur.

Çapraz sıralı konik yaylarla yüzey alanının, akışkan ile yutucu plaka etkileşiminin ve türbülans etkisinin artırılarak termal verimin yükseltilmesi amaçlanmıştır. Sistemin performansı deneysel olarak test edilmiştir. Deneylerde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları, global radyasyon, kolektörden havanın çıkış hızı, yutucu plaka sıcaklıkları, kolektör kasası dış yüzey sıcaklığı ve saydam örtü sıcaklıkları ölçülmüştür. Yapılan ölçümlere dayalı olarak ısı verimi hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel verilerle sistemin Bulanık Mantık modeli oluşturulmuş ve üç farklı üyelik fonksiyonuna (Üçgen- Gaussian- Trapez) göre giriş parametrelerine dayalı olarak havanın kolektörden çıkış sıcaklığı ve ısı verim modellenmiştir. Sonuç olarak bulanık mantık ile üçgen üyelik fonksiyonuna göre yapılan modellemenin sıcaklık için % 96, termal verim için ise % 94-95 oranında deneysel verilerle uyumlu olduğu sonucu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjili hava kolektörü, konik yay, bulanık mantık, modelleme, çıkış sıcaklığı, termal verim.

The Fuzzy Logic Modeling of Solar Air Heater Having Conical Springs Attached on the Absorber Plate

ABSTRACT

Solar air collectors (SAC) are usually used for space heating and drying of agricultural products. In SACs, thermal efficiency is low due to the low heat transfer between the absorber plate and fluid. In this study, a novel absorber plate geometry is designed and manufactured for enhancing the thermal efficiency. A comparative test system consisting of a flat absorber plate with staggered conical springs and a collector with flat absorber plate was established. It is aimed to increase the thermal efficiency by increasing the turbulence effect of the surface area, the interaction between the fluid and the absorber plate with the staggered conical springs. The performance of the systems was tested experimentally. In the experiments, inlet and outlet temperature of the collectors, global radiation, the exit velocity of air from the collectors, the absorber plate temperatures, backside surface temperature and transparent cover temperatures were measured. The thermal efficiency was calculated based on the measurements. Consisting of the fuzzy logic model of the system with the experimental data obtained, the outlet air temperature of the collector and thermal efficiency is modeled based on the input parameters according to three different membership functions (Triangle- Gaussian-Trapeze). As a result, it is concluded that the model based on the triangular membership function with fuzzy logic is 96% for the outlet temperature and 94-95% for the thermal efficiency.

Keywords: Solar air collector, conical spring, fuzzy logic, modeling, outlet temperature, thermal efficiency.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya’da güneş enerjisi kullanımı yaygınlaşmaktadır. Türkiye’de güneş enerjisinden faydalanma genellikle sıcak su hazırlama şeklindedir. Güneş enerjisinin farklı bir faydalanma şekli olan hava ısıtma yönteminin kullanımı da önem kazanmaya başlamıştır. GEHK genellikle mahal ısıtma ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılmak

tadır. Türkiye’nin; ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınlam şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olmak üzere iyi değerlere sahiptir. Bu çalışmanın icra edildiği Manisa ili için Eylül ayı 4,63 kWh/m² global radyasyon ve 9,26 saat güneşlenme süresi ortalama değerlerine sahiptir [1].

GEHK basit cihazlar olup konvansiyonel bir GEHK iyi izole edilmiş bir kasa, bu kasa içine yerleştirilen bir yutucu plaka ve en üste ise bir saydam örtüden meydana

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mesut.abuska@cbu.edu.tr

gelir. Hava akımının doğal veya zorlanmış olması durumuna göre de sistemde fan yer alır. Güneş enerjili hava kolektörlerinde yutucu plaka ve hava arasındaki ısı transfer katsayısı düşüktür. Bu nedenle bu kolektörler istenilen ısı verim değerlerinde çalışmamaktadır.

Termal güneş kolektörlerinin performans parametreleri özellikle de çıkış sıcaklığı ve buna bağlı olarak termal verim modellemesi uzun yıllardır araştırılmaktadır. Araştırmacılar açısından modellemelerde en uygun sistem değerlerini makul hassasiyette ve pratiklikte belirlemek önem arz etmektedir. GEHK'nin performansı ışınlam, hava sıcaklığı, akışkan debisi gibi başlıca değişkenlere bağlı olup modellenmesi oldukça zordur. Termal sistem mühendisliğinde ana amaç minimum maliyet ve süre ekleninde maksimum sistem verimliliğinin elde edilmesidir. Termal kolektörlerin performans analizleri oldukça karışık olup büyük miktarda bilişim teknolojisi ve zamana ihtiyaç duyulmaktadır.

Literatürde, yutucu plaka ve hava arasındaki ısı taşınım katsayısını artırmak için birçok düzenleme önerilmiştir. Yutucu plaka geometrisinin değiştirilmesi ısı performansı yükseltme metodlarından biridir. Naphon, çift geçişli bir havalı güneş kolektöründe absorber plaka üzerine boyuna doğrultuda kanatçıklar yerleştirilerek ısı verimin değişimini incelemiştir. Çalışmasının sonuçlarına göre kanatçık sayısının ve yüksekliğinin artması ile ısı verimin arttığını belirtmiştir [2]. Hachemi, absorber plaka üzerine kanatçıklar yerleştirilerek ısı performansı deneysel olarak incelemiştir. Hava akışına paralel olarak yerleştirilen kanatçıkların ısı verimi önemli ölçüde artırdığını belirtmiştir [3]. Isı verimi iyileştirmenin diğer bir yolu ise kolektör içerisinde gözenekli yapılar kullanmaktır [4-6]. Aldabbah vd., tek ve çift geçişli güneş enerjili hava kolektörlerinde akışkan yatağı olarak tel örgü yapısını kullanmışlar ve bunun performansını deneysel olarak test etmişlerdir. Tel örgü yapısı ile ısı verimin konvansiyonel yapıdaki düz absorber plakalı güneş kolektörlerine kıyasla önemli bir ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir [7]. Çalışmalarda, hava akışına türbülans etkisi verecek engellerin absorber plaka üzerine yerleştirilmesi yoluyla da ısı verimde önemli artışlar sağlandığı belirtilmiştir [8-10]. Esen, güneş enerjili hava kolektöründe absorber plakanın her iki yüzeyine de farklı şekillerdeki engelleri yerleştirilerek enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Çalışmasında engellerin şekline göre ısı performansın düz absorber plakalı duruma göre geliştiğini belirtmiştir [11]. Benli, farklı şekillerde absorber plaka yüzeylerine

sahip güneş kolektörünün ısı verimlerini deneysel olarak incelemiştir. Yutucu plaka üzerinde bulunan engellerin artmasıyla ısı transferinin arttığını fakat bunun yanında basınç kayıplarının da önemli ölçüde büyüdüğünü tespit etmiştir [12]. Akpınar vd., çalışmasında dört farklı yutucu plaka tipinin ısı verimini deneysel olarak araştırmışlardır. Yutucu plaka tipi olarak üçgen, yaprak, dikdörtgen engelli ve düz tip yutucu plakalarda en yüksek ısı verim değerinin yaprak tip yutucu plakalı kolektörde tespit etmişlerdir [13]. Gedik vd., zigzag ve düz yutucu plakalı GEHK'ni deneysel olarak enerji ve ekserji analizini yapmışlardır [14]. Altıntaş vd., yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği GEHK'nün ısı verimini ve kolektör çıkış sıcaklığını YSA ile modellemişlerdir [15]. Benli, iki farklı tip güneş enerjili hava kolektörünün ısı verimini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmasında ısı verimin tahmini için yapay sinir ağlarını (YSA) kullanmıştır. YSA'nın güneş kolektörlerinin ısı verimini tahmin etmede kullanılabileceğini vurgulamıştır [16]. Esen vd., güneş enerjili bir hava kolektörünün ısı verimini deneysel olarak incelemiş ve sistemin YSA ve dalgacık sinir ağı modelini oluşturmuştur. Çalışmasında YSA'nın ısı verimi yüksek bir hassasiyetle tahmin ettiğini belirtmişlerdir [17]. Abuşka ve Akgül GEHK'nde yutucu plaka üzerine konik yaylar monte ederek sistemin deneysel verilere dayalı olarak ısı transfer analizini yapmışlar ve yutucu plaka üzerindeki konik yayların termal verimi artırdığını belirtmişlerdir [18].

Bu çalışmada ısı verim artışı sağlayacak yeni bir yutucu plaka tasarlanarak imalatı yapılmıştır. Tasarlanan kolektörün ısı verimi ve havanın kolektörden çıkış sıcaklıkları, deneysel veriler baz alınarak bulanık mantık ile modellenerek karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, düz tip yutucu plakalı (Model I) ve düz yutucu plaka üzerine konik yayların monte edildiği (Model II) GEHK'nin deneysel ısı performans incelemesi yapılarak bulanık mantık ile modellemesi yapılmıştır. Bu amaçla düz yutucu plaka üzerine konik şeklinde yaylar monte edilmiş kolektör ve düz yutucu plakalı kolektörlerden ibaret deney düzeneği kurulmuştur. Kolektörler ana hatları ile kolektör kasası, yutucu plaka, saydam örtü, fan, yardımcı elemanlar ve test cihazlarından oluşmaktadır. Kolektörler aktif tip ve

Çizelge 1. Kolektör teknik özellikleri (Technical specifications of collector)

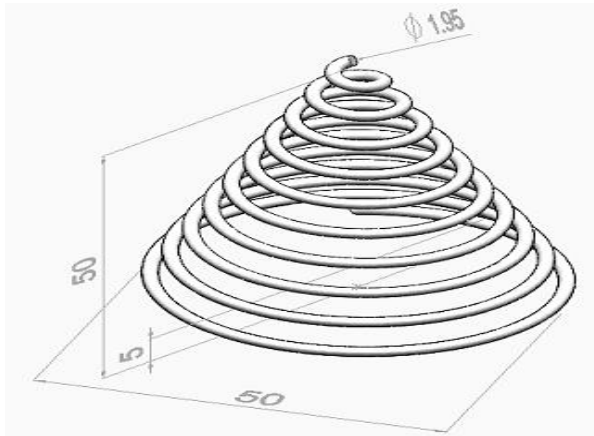
Sistem Elemanları	Teknik Özellikler
Kolektör tipi	Önden, tek geçişli
Kasa	1000x2000x200 mm, 0,8 mm dkp sac
İzolasyon	Taban ve yanlarda 50 mm cam yünü
Yutucu plaka ve boyası	900x1900x0,5 mm, alüminyum Selpa-1A selektif solar boya [19], $\varepsilon=0,20-0,49$, $\alpha=0,88-0,94$
Saydam örtü	900x1900x3,2 mm Durasol P' düşük demirli temperli buzlu cam [20]. $<0,002\% \text{Fe}_2\text{O}_3$, $T_{d65}: \% 92$ ve $T_{sol}: \% 90,7$
Sızdırmazlık	Epdm fitil ve silikon
Fan	2x35 W, 225 m ³ /h, AC 220V, d: 60 mm, l: 300 mm, çapraz akışlı

tek geçişli olarak tasarlanmıştır. Kollektörlerin yutucu plaka geometrisi haricinde tüm özellikleri aynıdır. İmalatı yapılan kollektörlerin teknik özellikleri Çizelge 1.'de verilmiştir. Kollektörlerin izolasyon ve montajı termal kamera yardımı ile test edilmiş ve gerekli iyileştirmeler yapılmıştır. Kurulan deney düzeneği Şekil 2.'de gösterilmiştir.

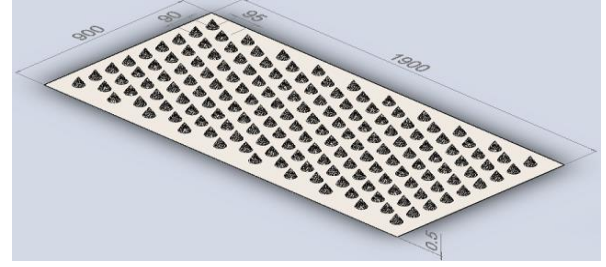


Şekil 2. Deney seti (Experimental setup)

Yutucu plaka, kollektör performansını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Yutucu plaka üzerindeki ısı direnci düşürmek için alüminyum telden imal edilen konik yay şekilli engeller çapraz sıralı olarak yerleştirilmiştir. Böylelikle hem daha fazla yutucu plaka yüzey alanı hem de türbülans etkisinin artırılması amaçlanmıştır. Yapılan yutucu plaka tasarımı ile düz yutucu plaka alanı 1,71 m²'den 2,70 m²'ye çıkarılmıştır. Şekil 3.'de gösterilen bu engeller, 1000 mm uzunluğunda ve 1,95 mm çapındaki alüminyum telden torna tezgâhında çekilerek imal edilmiştir. Yutucu plaka üzerinde toplam 162 adet konik yay engel Şekil 4.'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Şekil 5.'de ise yutucu plakanın kollektör içindeki görünümü verilmiştir. Şekil 6.'da ise her iki kollektörün kesit resmi verilmiştir.



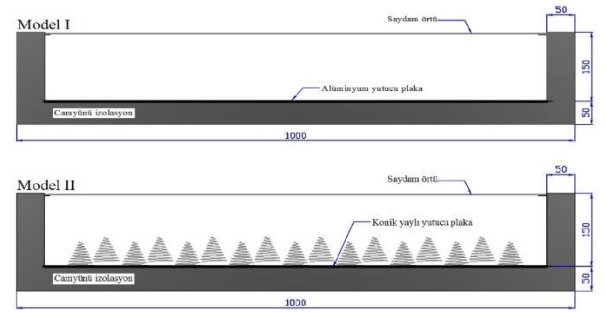
Şekil 3. Konik yay (Conical spring)



Şekil 4. Konik yaylı yutucu plaka (Absorber plate with conical springs)

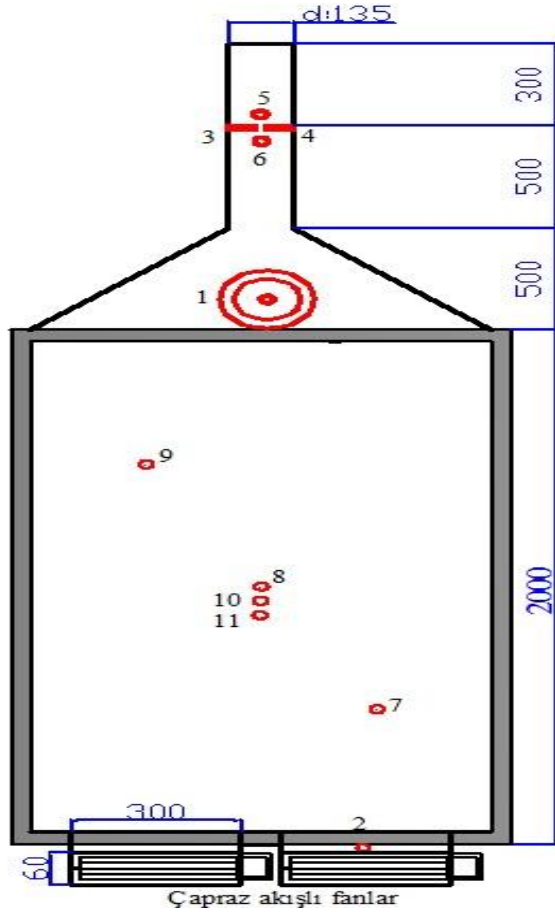


Şekil 5. Konik yaylı yutucu plakalı kollektör resmi (The picture of the collector having conical springs on the absorber plate)



Şekil 6. Kollektörlerin kesit görünüşü (Cross sectional view of collectors)

Deneyler 2014 yılı Eylül ayında 38° 55' K ve 27° 50' Doğu koordinatlarında olan Akhisar/Manisa'da gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisinin daha verimli kullanımı için güneş ışığının deney sezonu dikkate alınarak kollektör eğimi yaz koşulları için "Enlem-15" prensibince 23° olarak ayarlanmıştır. Deney düzeneğinin kurulumundan sonra sistem açık hava koşulları altında çalıştırılarak gerekli ölçümler yapılmıştır. Deney setindeki ölçüm noktaları Şekil 7.'da verilmiştir. Bu amaçla kollektör girişinden, çıkışından, absorber plaka yüzeyinden, cam örtüden ve kollektör kasasının arka yüzeyinden sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Kollektör çıkışında hava hızı ölçümü yapılmıştır. Güneş ışınım değeri kollektör üst bölümünden ölçülmüştür. Veri kaydetme aralığı beş dakika olarak ayarlanmıştır.



Şekil 7. Ölçüm noktaları (Measurement points)

Deney setinde aşağıdaki noktalardan:

1. Global ışıınım değeri
2. Kollektör giriş havası sıcaklığı
- 3-4. Havanın Kollektörden ortalama çıkış hızı
 $((V_3 + V_4) / 2)$
- 5-6. Havanın Kollektörden ortalama çıkış sıcaklığı
 $((T_5 + T_6) / 2)$
- 7-8-9. Yutucu plaka ortalama yüzey sıcaklığı
 $((T_7 + T_8 + T_9) / 3)$
10. Cam örtü yüzey sıcaklığı (T_g)
11. Kollektör kasası arka yüzey sıcaklığı (T_{box})

değerleri ölçülmüştür. Testler 9:00'da başlamış ve 17:00'de sonlandırılmıştır.

Deneylerde kullanılan test cihazlarının kontrolü uygulamalı olarak kapalı ortamda yapılmıştır. Hava hızı ölçümünde, çıkış hava kanalına iki adet hotwire tip anemometre yerleştirilmiş ve bunların ortalaması hava hızı olarak alınmıştır. Kollektör giriş sıcaklığı için T tipi ısı çifti kullanılmıştır. Kollektör çıkış hava sıcaklığı ölçümünde, çıkış kanalına iki adet T tipi ısı çifti monte edilerek ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Global radyasyon miktarı ölçümü için piranometre kullanılmıştır. Saydam örtünün geometrik ortasına PT1000 tipi yüzey sıcaklık probu monte edilerek sıcaklık

ölçülmüştür. Kollektör kasasının arka yüzeyinin geometrik ortasına PT1000 tipi yüzey sıcaklık probu monte edilerek sıcaklık ölçülmüştür. Yutucu plaka çapraz köşegeni üzerinden üç noktadan T tipi ısı çifti monte edilerek sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Deneylerde Comet MS6D-16 kanallı universal ve Comet SO141-4 kanallı sıcaklık veri kayıt ve online izleme cihazı kullanılmıştır. Yapılan ölçüm verileriyle kütleli debi ve ısı verim hesaplamaları yapılmıştır. Kütleli debi ve ısı verime dair toplam belirsizlik analizi değerleri sırasıyla %2,4 ve %1,05 bulunmuştur. Kullanılan test cihazlarının belirsizlik analizi Eşitlik 1 ile belirlenmiştir [21].

$$W_R = \sqrt{[(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots + (x_n)^2]} \quad (1)$$

3. ISIL VERİM ANALİZİ (THERMAL EFFICIENCY ANALYSIS)

Güneş enerjili hava kolektöründe faydalı enerji, kolektörden geçen akışkanın giriş ve çıkış sıcaklığına bağlı olarak,

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada $\dot{m}$, kolektörden geçen havanın kütleli debisi (kg/s), c_p havanın özgül ısıdır (J/kgK), T_i ve T_o sırasıyla kolektör hava giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır (°C). Kollektörden geçen havanın kütleli debisi ise,

$$\dot{m} = \rho A_k V \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır. Burada ρ havanın yoğunluğu (kg/m³), V hava akış hızı (m/s), A_k ise kolektörün çıkış kesit alanı (m²)'dir. Termodinamiğin I. kanunundan faydalanarak kolektörün ısı verimi

$$\eta = \frac{Q_u}{I A_c} \quad (4)$$

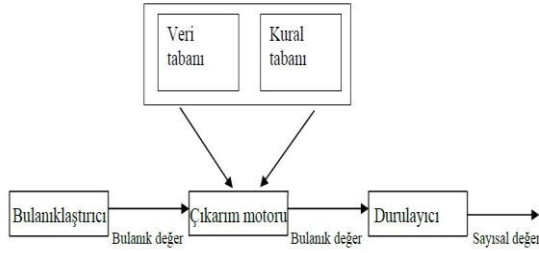
şeklinde belirlenir. Burada, η ısı verimi, I kolektör yüzeyine gelen güneş ışıınımı (W/m²), A_c ise güneş ışıınının direkt olarak gördüğü yutucu plaka yüzey alanıdır (m²).

4. BULANIK MANTIK İLE MODELLEME (MODELLING WITH FUZZY LOGIC)

Bulanık mantık, insan bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak, bu bilgileri kural tabanları halinde işleyip her bir kural tabanının belirli bir matematik fonksiyona denk gelecek şekilde sonuç elde edilmesidir. Bulanık mantık ile modelleme, çoklu değerlendirme olması sebebiyle modellenen problemin çözülmesinde gerçeğe yakınlık gibi avantajlara sahiptir. İkili sistem de ise karışık problemlere çözüm üretmek kolay olmamaktadır. Problemlere ikili sistemde sadece 0 ve 1 şeklinde çözüm bulma çalışmaları, bulanık mantıkta ara değerler girilerek ortadan kalkmaktadır. Bulanık mantık günlük hayatta kullanılan terimleri, bir probleme uygulanması daha kolaydır. "Az", "Çok", "Normal" vb. kelimeleri ikili sistemde tanımlamak ve problemin çözümü için bir model oluşturmak zordur. Bulanık mantıkta bu ifadeler

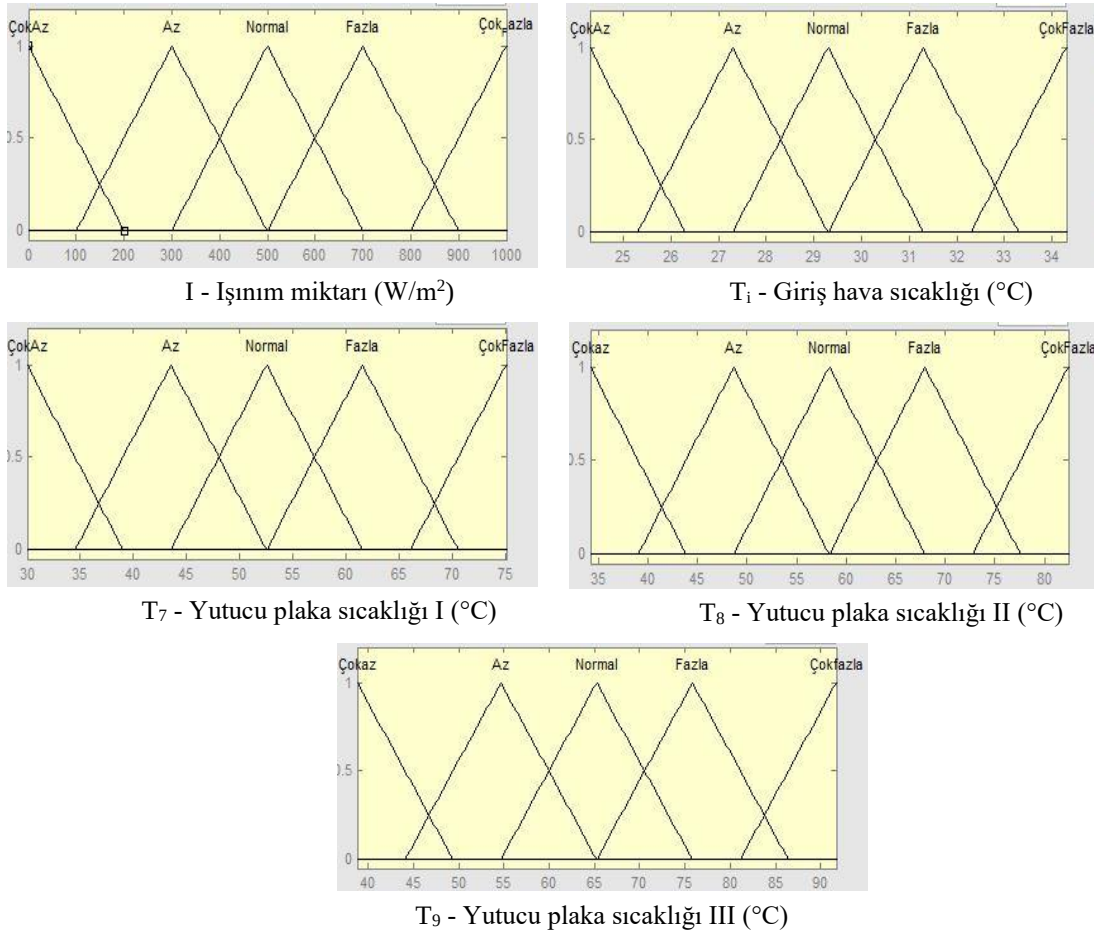
rahatlıkla tanımlanabilmektedir. Bu üstünlükleri dolayısıyla bulanık mantık problemlerin modellenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bulanık mantığın ilk aşaması problemin tanımlanması ve probleme göre uygun parametrelerin belirlenerek üyelik fonksiyonlarını oluşturmaktadır. Üyelik fonksiyonların oluşturulmasının ardından problemin çözümünü içeren kurallar Çizelgesi oluşturulmaktadır. Daha sonra ise çıkarım yöntemleri belirlenir [22]. En son aşama da ise bulanık mantık modellemesi ile oluşan bulanık sayıların klasik sayılara dönüştürme metodu belirlenir. Bulanık mantık sisteminin çalışma prensibi Şekil 8.'de gösterilmektedir [23].



Şekil 8. Bulanık mantık çalışma prensibi (Fuzzy logic operation principle)

Bu çalışmadaki modelleme düz yutucu plakalı ve konik yaylı yutucu plakalı GEHK için radyasyon miktarı, giriş hava sıcaklığı ve yutucu plaka yüzey sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Bulanık mantık kontrol sistemi bulanıklaştırma, berraklaştırma ve çıkarım ünitelerinden oluşmaktadır. Modellemede, radyasyon miktarı 315 ile 972 W/m² arasında, giriş hava sıcaklığı 24,3 ile 34,3°C değerleri arası, yutucu plaka yüzey sıcaklığı olarak üç noktadan sıcaklık değerleri alınmıştır. Birinci yutucu plaka yüzey sıcaklığı 30 ile 75,1°C, ikinci yutucu plaka yüzey sıcaklığı olarak 34,2 ile 82,4°C ve üçüncü yutucu plaka yüzey sıcaklığı olarak 38,8 ile 91,7°C değerleri arasındaki değerler alınmıştır. Bulanık mantık kütüphanesinde birçok üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. GEHK sisteminde güneş ışınımı ve sıcaklık değerlerinin gün içindeki değişim eğrisi dikkate alındığında yarım sinüsoidal bir değişim göstermektedir. Bu durum dikkate alındığında mevcut üyelik fonksiyonlarından üçgen, trapez ve gaussian tip üyelik fonksiyonları mevcut sistem parametrelerine uygunluk arz etmektedir. Bu üç tip üyelik fonksiyonu ile yapılan modellemeler sonucunda en uygun tahmin hassasiyetini üçgen tip üyelik fonksiyonu vermiştir. Oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 9.'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Üçgen tip üyelik fonksiyonları (Triangular type membership functions)

Üyelik fonksiyon sayısı, uygulanan deney ortamındaki giriş ve çıkış olarak kullanılabilir parametrelerden oluşmaktadır. Üyelik fonksiyonlarındaki değer aralıkları az, çok az, normal, fazla ve çok fazla şeklinde ayrılmıştır. Bu işlem her bir üyelik fonksiyonu için gün içindeki değişimleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Uygulamada üyelik fonksiyonları oluşturulduktan sonra kural Çizelgesi oluşturulmuştur. Kural Çizelgesi, gerçek deney sonuçlarında bulunan giriş parametrelerinin değişim karakteristiklerine göre oluşturulmuştur. Düz ve konik yaylı yutucu plaka için oluşturulan kurallar Çizelgesi her biri için ayrı olarak 72 adet kuraldan oluşmaktadır. Modellenen sistemde çıkış sıcaklığı ve verim tahmin edilmeye çalışılmıştır. Uygulama, Matlab R2013a paket programının Fuzzy uygulaması kullanılarak modellenmiştir. Üyelik fonksiyonlarında “ÇokAz”, “Az”, “Normal”, “Fazla”, “ÇokFazla” tanımlamalarının sayısal değerleri gösterilmiştir. Kural Çizelgesundan örneklemeler Çizelge 2.’de gösterilmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, düz yutucu plakalı ve yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği hava kollektörlerinin ısı performansını deneysel olarak incelenerek ısı verimi ve kollektör çıkış havası sıcaklığı Bulanık Mantıkla üç farklı üyelik fonksiyonu olan üçgen, trapez ve gaussian tip ile modellenmiştir. Modellemelere ait özet veri Çizelgesi Çizelge 3.’de verilmiştir. Şekil 10.’da düz yutucu plakalı kollektörün çıkış sıcaklık değeri ve tahmin edilen sıcaklık değerleri gösterilmiştir.

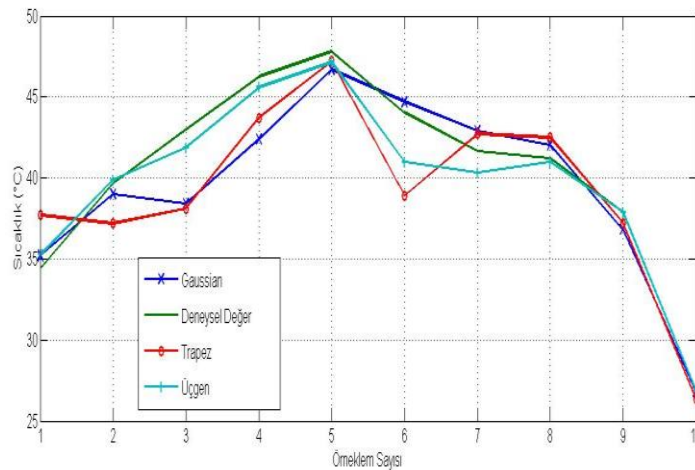
Düz yutucu plakalı kollektör için yapılan çıkış sıcaklık modellemesinde en yakın tahminleme üçgen tip üyelik fonksiyonu ile elde edilmiştir. Modelleme hassasiyeti R^2 yöntemine göre; üçgen tipte %96, gaussian tipte %91 ve trapez tipte %87 oranında elde edilmiştir. Şekil 11.’de düz yutucu plakalı kollektörün ısı verim değeri ve tahmin edilen ısı verim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 2. Bulanık mantık kural Çizelgesundan örneklemeler (Samples from the fuzzy rule table)

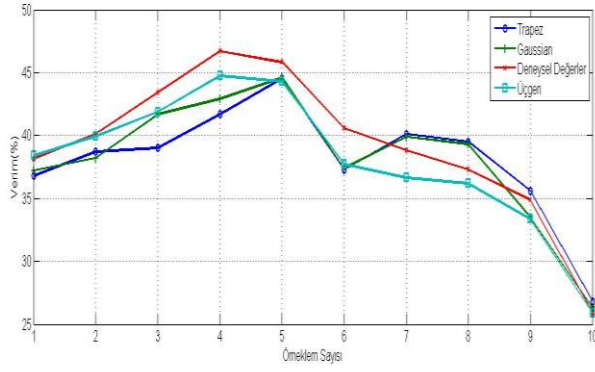
I (W/m ²)	T _i (°C)	Y. Plaka I (°C)	Y. Plaka II (°C)	Y. Plaka III (°C)	T _o (°C)	η (%)
ÇokAz	ÇokAz	ÇokAz	ÇokAz	ÇokAz	ÇokAz	ÇokAz
Normal	Normal	Az	Normal	Az	Normal	Az
Fazla	Fazla	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Fazla	Fazla	Normal	Fazla	Fazla	Normal	Normal
ÇokFazla	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla
Fazla	ÇokFazla	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla	Normal
ÇokFazla	ÇokFazla	ÇokFazla	ÇokFazla	Fazla	ÇokFazla	ÇokFazla

Çizelge 3. Modelleme veri Çizelgesi (Modeling data table)

Üyelik Fonksiyonu	Modelleme Hassasiyeti			
	Düz Yutucu Plaka için		Konik Yaylı Plaka için	
	Çıkış Sıcaklığı (%)	Termal Verim (%)	Çıkış Sıcaklığı (%)	Termal Verim (%)
Üçgen	96	94	96	95
Gaussian	91	91	92	91
Trapez	87	85	89	88

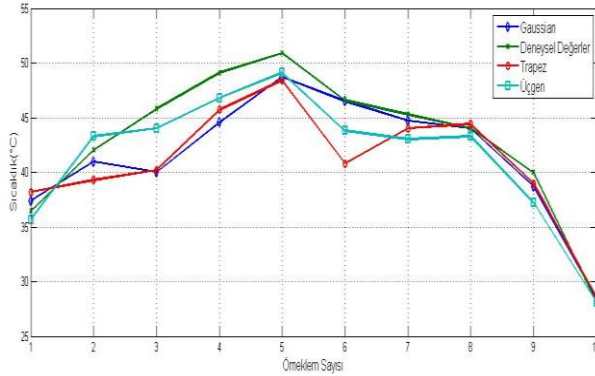


Şekil 10. Düz yutucu plakalı kollektör için çıkış havası sıcaklık grafiği (Outlet air temperature graph for flat plate collector)



Şekil 11. Düz yutucu plakalı kolektör için ısı verim grafiği (Thermal efficiency graph for flat plate collector)

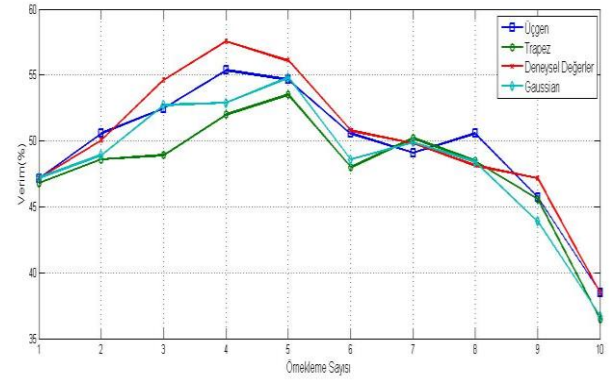
Düz yutucu plakalı kolektör için yapılan termal verim modellemesinde en yakın tahminleme yine üçgen tip üyelik fonksiyonu ile elde edilmiştir. Modelleme hassasiyeti R^2 yöntemine göre; üçgen tipte %94, gaussian tipte %91 ve trapez tipte %85 oranında elde edilmiştir. Şekil 12.'de konik yay yerleştirilmiş yutucu plakalı kolektörün çıkış sıcaklık değeri ve tahmin edilen sıcaklık değerleri gösterilmiştir.



Şekil 12. Konik yaylı kolektör için çıkış havası sıcaklık grafiği (Outlet air temperature graph for collector with conical springs)

Konik yaylı düz yutucu plakalı kolektör için yapılan çıkış sıcaklık modellemesinde en yakın tahminleme üçgen tip üyelik fonksiyonu ile elde edilmiştir. Modelleme hassasiyeti R^2 yöntemine göre; üçgen tipte %96, gaussian tipte %92 ve trapez tipte %89 oranında elde edilmiştir. Şekil 13.'de konik yay yerleştirilmiş yutucu plakalı kolektörün ısı verim değeri ve tahmin edilen ısı verim değerleri gösterilmiştir.

Konik yaylı yutucu plakalı kolektör için yapılan termal verim modellemesinde en yakın tahminleme üçgen tip üyelik fonksiyonu ile elde edilmiştir. Modelleme hassasiyeti R^2 yöntemine göre; üçgen tipte %95, gaussian tipte %91 ve trapez tipte %88 oranında elde edilmiştir.



Şekil 13. Konik yaylı kolektör için ısı verim grafiği (Thermal efficiency graph for the collector with conical springs)

Üçgen, gaussian ve trapez üyelik fonksiyonlarının tahminleme hassasiyetlerini dikkate aldığımızda belirgin farklar ortaya çıkmıştır. Yapılan modellemeler sonucunda üyelik fonksiyonları arasında üçgen tip üyelik fonksiyonu diğer tiplere göre daha iyi tahminleme yaptığı belirlenmiştir. Tahmin grafiklerindeki sapmaların güneş ışınımı ve hava hızındaki (bulutlanma ve rüzgâr hızı kaynaklı) anlık değişimler ve dalgalanmalardan kaynaklandığı söylenebilir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada termal verimin artırılmasına yönelik olarak düz yutucu plaka üzerine konik yayların çapraz sıralı olarak yerleştirildiği yeni bir yutucu plaka tasarlanmış ve deneysel olarak test edilmiştir. Çalışmada karşılaştırma amaçlı olarak düz yutucu plakalı kolektör kullanılmıştır. Çapraz sıralı konik şekilli yayların kullanılmasıyla yüzey alanını ve türbülans etkisinin artırılmasına karşın basınç kaybının göreceli olarak minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Kolektör çıkış sıcaklığı ve termal verim modellemesi Bulanık Mantık ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık modellemesinde üçgen, trapez ve gaussian tip üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Yapılan modellemelerde düz yutucu plakalı kolektöründe üçgen, gaussian ve trapez tip üyelik fonksiyonları için sırasıyla çıkış sıcaklığı için %96, %91 ve %87, termal verim için %94, %91 ve %85 hassasiyette deneysel verilere uygun tahmin yaptığı belirlenmiştir. Modellemelerde konik yaylı yutucu plakalı kolektörde üçgen, gaussian ve trapez tip üyelik fonksiyonları için sırasıyla çıkış sıcaklığı için %96, %92 ve %89, termal verim için %95, %91 ve %88 hassasiyette deneysel verilere uygun tahmin yaptığı tespit edilmiştir.

Yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği güneş enerjili hava kolektörünün bulanık mantık-üçgen üyelik fonksiyonu ile başarılı bir şekilde modellenebileceği görülmüştür.

Benzer çalışmalarda termal açıdan kollektör kanal için farklı kanal yükseklikleri, doğal konveksiyon koşulları, farklı plaka malzemesi gibi hususlar incelenebilir. Modelleme açısından ise çıkış sıcaklığı ve termal verim modellemesi farklı yapay zekâ teknikleri (Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritmalar gibi) ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımları ile yapılarak tahmin hassasiyetleri karşılaştırılarak kullanılabilirlikleri elde edilebilir. Ayrıca giriş parametre sayılarındaki değişimlerin modellemeye etkisi incelenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

2013-024 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] www.eiei.gov.tr, "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası", (2007).
- [2] Naphon P., "On the performance and entropy generation of the double-pass solar air heater with longitudinal fins", *Renewable Energy*, 30: 1345–1357, (2005).
- [3] Hachemi A., "Experimental study of thermal performance of offset rectangular plate fin absorber-plates", *Renewable Energy*, 17(3): 371–384, (1999).
- [4] Omojaro A.P. and Aldabbagh L.B.Y., "Experimental performance of single and double pass solar air heater with fins and steel wire mesh as absorber", *Applied Energy*, 87 3759–3765, (2010).
- [5] Ramadan M.R.I., El-Sebaei A.A., Aboul-Enein S. and El-Bialy E., "Thermal performance of a packed bed double-pass solar air heater", *Energy*, 32: 1524–1535, (2007).
- [6] El-Sebaei A.A., Aboul-Enein S., Ramadan M.R.I. and El-Bialy E., "Year round performance of double pass solar air heater with packed bed", *Energy Conversion and Management*, 48: 990–1003, (2007).
- [7] Aldabbagh L.B.Y., Egelioglu F. and Ikan M., "Single and double pass solar air heaters with wire mesh as packing bed", *Energy*, 35, 3783–3787, (2010).
- [8] Zaid A.A., Messaoudi H., Abenne A., Ray M.L., Desmons J.Y. and Abed B., "Experimental study of thermal performance improvement of a solar air flat plate collector through the use of obstacles: application for the drying of yellow onion". *International Journal of Energy Research*, 23(12): 1083–1099, (1999).
- [9] Ozgen F., Esen M. and Esen H., "Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans", *Renewable Energy*, 34(11): 2391–2398, (2009).
- [10] Abene A., Dubois V., Leray M. and Ouagued A., "Study of a solar air flat plate collector use of obstacles and application for the drying of grape", *Journal of Food Engineering*, 65: 15–22, (2004).
- [11] Esen H., "Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates", *Building and Environment*, 43: 1046–1054, (2008).
- [12] Benli H., "Experimentally derived efficiency and exergy analysis of a new solar air heater having different surface shapes", *Renewable Energy*, 50: 58–67, (2013).
- [13] Akpınar E.K. and Koçyiğit F., "Experimental investigation of thermal performance of solar air heater having different obstacles on absorber plates", *Int. Com. In Heat and Mass Transfer*, 37: 416–421, (2013).
- [14] Gedik E., Keçebaş A. and Öz E.S., "Havalı güneş kollektörlerinde farklı tip emici plakaların performansa olan etkisi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(4): 777–784, (2008).
- [15] Altıntaş V., Akgül M.B. ve Abuşka M., "Yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği güneş enerjili hava kollektörünün ısı verim analizi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi" *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 1807-1816, (2015).
- [16] Benli H., "Determination of thermal performance calculation of two different types solar air collectors with the use of ANN", *Int. Jo. of Heat and Mass Transfer*, 60: 1-7, (2013).
- [17] Esen H., Özgen F., Esen M. and Sengur A., "Artificial neural network and wavelet neural network approaches for modelling of a solar air heater", *Expert System with Applications*, 36: 11240-11248, (2009).
- [18] Abuşka M. and Akgül M.B., "Experimental study on thermal performance of a novel solar air collector having conical springs on absorber plate", *Arabian J. Sci Eng.*, 41(11): 4509-4516, (2016).
- [19] <http://www.solec.org/wp-content/uploads/2014/02/SOLKOTEbrochure.pdf>
- [20] <http://www.sisecamduzcam.com/sites/catalogs/tr/Documents/gunes-kolektor-camlari-dokumanlari/gunes-enerjisi-camlari-brosuru.pdf>
- [21] Holman J.P., "Experimental Methods for Engineers", McGraw-Hill Book Company, Singapore, (1994).
- [22] Şen Z., "Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri", Bilge Kültür Sanat Yayınevi, İstanbul, (2001).
- [23] Ross T., "Fuzzy Logic with Engineering Applications", McGraw-Hill Inc., (1995).