

YAPIYA ENTEGRE FOTOVOLTAİK SİSTEM İLE ELEKTRİK ÜRETİLEREK İKLİMLENDİRİLEN SERA TASARIMLARI

Greenhouse Constructions Climatized with Electricity Generated by Photovoltaic System Integrated into the Structure

Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
Nurdan YILDIRIM ÖZCAN
Bekir CANSEVDİ
Hasan Kaan KÜÇÜKERDEM

ÖZET

Bu çalışmada, *yapıya entegre fotovoltaik sistem* (YEFS) ile kendi enerjisini üreterek iklimlendirilen sera yapılarının tasarım özellikleri incelenmiştir. Antalya yöresinde tasarımlanacak olan ve YEFS ile iklimlendirilecek olan bir cam sera için ısıtma ve soğutma yükleri değerlendirilmiştir. Bu amaçla, cam seranın ısıtılma ve soğutulması amacıyla $T_i=18$ °C ve $T_e=28$ °C referans sıcaklıklar için Isıtma/Soğutma-Derece-Saat/Gün (HDH, HDD ve CDH, CDD) değerleri belirlenmiştir. Serada HDH değeri; en yüksek Ocak ayında 6136.3 °C-saat, en düşük Eylül ayında 1.1 °C-saat ve yıllık toplam 25053.5 °C-saat olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, HDD değeri en yüksek Ocak ayında 255.7 °C-gün, en düşük Haziran ayında 1.1 °C-gün ve yıllık toplam 1043.9 °C-gün olarak hesaplanmıştır. Serada soğutma uygulanacak olan yaz ayları için CDH değeri, en yüksek Temmuz ayında 1985.5 °C-saat, en düşük Ekim ayında 71.7 °C-saat ve yıllık toplam 5148.7 °C-saat olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, CDD değeri en yüksek Temmuz ayında 82.7 °C-gün, en düşük Ekim ayında 3 °C-gün ve yıllık toplam 214.5 °C-gün olarak hesaplanmıştır. Ortalama ısıtma yükü en yüksek Ocak ayında 356.2 kW, en düşük Mayıs ayında 24 kW ve yıllık ortalama 147.46 kW olarak belirlenmiştir. Ortalama soğutma yükü en yüksek Temmuz ayında 251 kW, en düşük Ekim ayında 27.2 kW ve yıllık ortalama 138.52 kW olarak hesaplanmıştır. YEFS, seralar için özgün bir tasarımla, etkin alan kullanımı sağlayacak, altında gıda üzerinde ise enerji üreterek, ülke ekonomisi için bir katma değer sağlayacaktır. Çok geniş yüzey alanına sahip olan tarımsal yapıların çatılarının enerji üretimi amacıyla kullanılması, dağıtık güç üretim sistemlerinin kullanılmasını yaygınlaştıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Sera iklimlendirme, Güneş enerjisi, Fotovoltaik elektrik, Isı pompası

ABSTRACT

In this study, the design features of the greenhouse structures which are conditioned by producing the own energy by the integrated photovoltaic system (YEFS) have been examined. Heating and cooling loads were evaluated for a glass greenhouse to be designed in the Antalya region and to be air-conditioned with YEFS. For this purpose, Heating / Cooling-Degree-Hour / Day (HDH, HDD and CDH, CDD) values have been determined for glass greenhouse. HDH value in greenhouse; the highest in January was 6136.3 °C-hour, the lowest in September was 1.1 °C-hour and the annual total was 25053.5 °C-hour. However, the maximum HDD value was 255.7 °C-day in January, 1.1 °C-day in June and 1043.9 °C-day in total annually. The CDH value for the summer months of cooling in the greenhouse was determined as 1985.5 °C-hour in July, 71.7 °C-hour in the lowest in October and 5148.7 °C-hour in the year. However, the highest CDD value was 82.7 °C-day in July, 3 °C-day in October and 214.5 °C-day in total. The average heating load was 356.2 kW in January, 24 kW in May and 147.46 kW in average annually. The average cooling load was calculated as 251 kW in July, 27.2 kW in October and 138.52 kW in average annually. YEFS will provide efficient use of space with a unique design for greenhouses, and will provide an added value for the country's economy by producing energy on food. The use of the roofs of agricultural structures with a very large surface area for the purpose of energy production will promote the use of dispersed power generation systems.

Key Words: Greenhouse climatization, Solar energy, photovoltaic electricity, Heat pump

1. GİRİŞ

Tarım sektörü yoğun enerji tüketen bir sektördür. Artan nüfusumuzun ekonomik ve sağlıklı olarak beslenmesi, ülke kaynaklarıyla yeterli tarımsal üretimin sağlanması, ithal gıda ürünlerinin ülkemizde üretilerek ikamesi, gıda güvenliğimiz için büyük önem taşımaktadır. Tarımda, özellikle seracılık, mantar üretimi, sera altı havuzlarda su ürünleri üretimi, hayvansal gıda üretimi iklim kontrolü gerektiren ve yoğun enerji tüketen sektörlerdir. Arazinin işlenmesi, sulanması, hasadı ve tüketiciye ulaştırılması, yoğun enerji tüketen bir süreçtir. Tarım işletmeleri, yenilenebilir kaynaklarla kendi enerjisini üreterek, enerji giderlerini sıfırlayabileceği, karlılığını artırabileceği, artarıyla da Ülkenin enerji açığına katkı sağlayarak, katma değere ve ek gelire dönüştürebileceği birçok yöntem mevcuttur. Yenilenebilir enerjinin etkin olarak kullanıldığı ülkelerde, tarım işletmeleri, seraların, ahırların, ağılların, kümeslerin, depoların diğer bir deyişle tarımsal yapıların çatısında PV sistemlerle, rüzgar türbinleriyle, biyogaz enerjisiyle, işletme artıkları ve hayvan yemi olarak değerlendirilemeyen biyokütlelerin peletlenmesi ve gazlaştırılmasıyla, bir veya bir kaç kombinasyonla, gıda üretimi yanında elektrik üretmektedirler. Fazla miktarda enerji kullanımı gerektiren seracılık, mantarcılık, sera altı kontrollü su ürünleri üretimi, sera altı foto-biyoreaktörlerde alg üretimi, hayvansal gıda üretimi, gıda işleme ve soğuk depo muhafazası gibi tarımsal üretim sektörleri, güneş, rüzgar ve jeotermal enerji kaynağı olan ısı pompaları gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve sistemlerinin yerli teknolojiyle üretimi ve gelişimi için büyük bir uygulama ve pazar alanıdır. Bu nedenle, enerji tüketimi fazla olan bu tür tarımsal üretim konularında; ısıtma/soğutma/sıcak su ve elektrik üretimi yöntemler, enerji verimli tarımsal yapılar ve bu yapıların çatılarına entegre fotovoltaik sistemler (BIPV) için yerli imalat ve ekonomik çözümler gereklidir [1].

Günümüzde bilim ve teknolojinin sürekli gelişmesi ve sanayileşmenin artışına paralel olarak enerji ihtiyacı artmakta ve bunun sonucu olarak da enerji fiyatları yükselmektedir. Yeterli enerji kaynaklarına sahip olmayan ülkemizde, yalıtım bilinci de yeterince gelişmediğinden, ithal edilen enerjinin çok büyük bir kısmı ısıtma-soğutma ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır. Fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olduğu ve bunların çevreye olumsuz etkiler bıraktığı göz önüne alınarak yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışına gidilmektedir. Bunlardan en sık gördüğümüz sistemler güneş enerjisi sistemleri olup, jeotermal enerji de elektrik üretimi, ısıtma, soğutma ve sıcak su ihtiyaçlarının karşılanması, seracılık, sağlık sektörü v.b. gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca, toprağın depoladığı ısı enerjisinden de faydalanılarak, ısı pompası sistemleri kurulmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası olarak adlandırılan bu sistemler, ülkemizde de yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, YEFS ile kendi enerjisini üreterek iklimlendirilen sera yapılarının tasarımları incelenmiştir. Bu amaçla, Antalya yöresinde tasarımlanacak olan ve YEFS ile iklimlendirilecek olan bir cam sera örneği dikkate alınarak tasarım değişkenleri belirlenmiştir.

2. SERALARDA YAPIYA ENTEGRE FOTOVOLTAİK SİSTEM UYGULAMALARI

Yapıya entegre fotovoltaik sistem (YEFS), yapılar için yenilikçi, estetik ve çevre bilinci olan teknolojidir. YEFS sistemi, güneş teknolojisini yapılarla adapte edebilmek için mimariye tamamen yeni olanaklar sunmaktadır. Fotovoltaik (PV) sistemler ve mimarlık, tasarım, ekoloji ve ekonomi gibi kavramları aynı proje içinde uygulanabilirler. PV modüller, yapıya, dikey, yatay veya açılı olarak yerleştirilebilirler. Standart PV sistemler genelde, konut ve güneş çiftliği gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bina uygulamalarında, mevcut çatı örtüsünün üzerine, ayrıca PV panellerin montajlanabileceği taşıyıcı konstrüksiyon adapte etmek gerekir. Bu uygulama, çatı statğine ek yük ve ek maliyetler getirmekte, çatı yüzeyi etkin olarak kullanılamamaktadır. Hedefimiz tarımsal yapı ve bina konstrüksiyon ve taşıyıcı çatı profillerinin, PV camlarının sızdırmaz bir şekilde direk olarak montajlanabileceği şekilde, özgün, fonksiyonel ve modüler olarak tasarlamaktır. Bu sayede PV çerçeve maliyetine gerek kalmaz iken, PV camlar, çatı örtüsü vazifesi görecektir ve bina çatı kaplama malzemesi ile montaj aksesuarları maliyetine de gerek kalmayacaktır. Bütün çatı yüzeyi YEFS örtü olarak değerlendirileceği için etkin ve yüksek verimli elektrik üretim alanı elde edilecektir.

Sera yapısı içinde üretilecek olan ürünlerin ihtiyacı olan ışık geçirgenliği ihtiyacına göre yapıya entegre PV hücreler gerekli aralıklarla dizilerek gerekli geçirgenlik, ışık ve gölge düzeyi elde edilecektir. Bunu

sağlarken firesiz ve kayıpsız imalatlar için PV üretim ölçü standartlarına uyumlu olarak modüler konstrüksiyon ebatları şekillendirilecektir. Çatı açılarını planlarken, simülasyon programlarıyla, tarımsal yapı altındaki üretime ve güneş hücrelerinin elektrik üretim verimliliğine uygun bir denge sağlanacaktır. Çatı boyunca sağlı-sollu havalandırma pencereleri, sabah ve akşam güneşi istikametinde hareketli ve açısı ayarlanabilir olarak güneşe yönelecek ve güneşlenme yüzeyi gün boyu yüksek tutularak ekstra verimlilik sağlanabilecektir.

YEFS bulunan bitkisel üretim yapısında, ana taşıyıcı kolonlar ve makaslar galvanizli çelikten, cam taşıyıcı profiller, çatı cam mertekleri, aşık, mahya, pencere ve yağmur oluğu profilleri sızdırmaz olarak PV hücreli camların montajına uyumlu ve özgün olarak tasarımlanır (Şekil 1). Yeterli ışık geçirgenliği için seyrek döşenmiş PV hücreli özel boyutlandırılmış camların YEFS konstrüksiyona montajı ise özgün tasarım su ve ısı izolasyonu EPDM kauçuk filtrelerle sağlanır. Boydan boya çift yönlü kelebek çatı havalandırma pencereleri % 50 oranında etkin bir havalandırma sağlarken, sabah güneşi için doğuya akşam güneşi batıya açılan pencere yüzeyi etkin bir güneş alma yüzeyi sağlayarak PV hücrelerin verimliliğini artırır. Yapı optimum bitki iklim konfor koşullarını sağlayabilecek ve etkin bir ısı korunum ve izolasyon kaidelerine göre tasarımlanır. Çatı açısı ise PV hücrelerin verimliliğiyle bitkilerin ışık ihtiyacına göre dengelenir. PV hücrelerinin döşeme aralığı ve seyrekliği, bitkisel üretimde fotosentez etkinliğini kısıtlamayacak şekilde belirlenir. Örnek olarak seralarda yaz sıcaklarında % 55-60 gölge perdeleri ile gölgeleme yapılmaktadır. PV santral kurulumunda 1 MW kurulu güç için 20.000 m² arazi gerekirken, çatısı, % 40 gölge % 60 geçirgen özellikte PV hücre döşeme aralığındaki camlarla kaplanan 1 MW kurulu güç için 15.000 m² sera alanı yeterli olmaktadır [2].

└



Şekil 1. Seralarda yapıya entegre fotovoltaik sistem (YEFS) uygulamaları

Güneş enerjisi destekli-toprak kaynaklı ısı pompası sistemi, güneş ve topraktan gelen enerjiyi kullanarak çevreye zarar vermeden ısıtma ve soğutmada ideal konfor şartlarını en ekonomik şekilde sağlayabilir. Bu konuda, farklı bölgeler ve değişik amaçlar için güneş veya toprak kaynaklı ısı pompaları üzerine birçok çalışma farklı bölgeler ve değişik amaçlar için güneş veya toprak kaynaklı ısı pompaları konularında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genelde sadece güneş veya toprak kaynaklı çalışmalar olup, her iki kaynağı da kullanarak yapılan çalışmalar ise sınırlı sayıdadır.

Yıldırım Özcan ve Bilir [3] toprak kaynaklı ısı pompası ile entegre çalışan sera üzerine yerleştirilmiş fotovoltaik modüllerin seranın iklimlendirme ve aydınlatma gereksinimi karşılama düzeyini simüle etmişlerdir. Hassanien ve Ark. [4] Güneş enerjili su ısıtıcısının, ısıtma amaçlı bir elektrikli ısı pompasına yardımcı olarak, vakum tüplü güneş toplacı kullanımı araştırmışlardır. Farklı yerel hava koşullarında, seralarda mikroklima koşulları, üretilen ısı enerjisi ve elektrik tüketimi analiz edilmiştir. Güneş toplacının ısı verimi 0.49, geri ödeme süresi ise 4.1 yıl olarak belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, sera için gerekli toplam ısı enerjisinin % 35'inden fazlasının bu sistem tarafından karşılanabileceğini göstermiştir. Boughanmi [5] sera için yeni bir jeotermal ısı değiştiricinin (CHGHE) performansını incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, CHGHE tarafından toprağa geri kazanılan ısı güç değerinin yaklaşık 4.7 kW olduğunu göstermiştir. Isı pompası (COP_{hp}) ve genel sistem (COP_{sys}) performans katsayıları sırasıyla 3.93 ve 2.64 olarak belirlenmiştir. Trypanagnostopoulos ve Ark. [6] Akdeniz Bölgesi ile benzer iklimsel özellikler gösteren Güneybatı Yunanistan'da gerçekleştirdikleri

çalışmada, deneme serası üzerine yerleştirilen PV modüllere ait enerji üretimi, gölgeleme etkisi ve bunun bitki yetiştirme üzerine olan etkileri incelenmiştir. Awani ve Ark. [7] yatay durumda ısı değiştirici, güneş toplacı ile bağlantılı bir ısı pompası kullanmışlardır. 100 m² yüzey alanı ve 229.5 m³ hacim için sayısal bir model geliştirilmiştir. Güneş topaçlarının yüzey alanı 8 m²'dir. Yang ve Rhee [8] serada soğutma ve ısıtma amacıyla sera havasında fazla ısı enerjisi kullanan bir sera sistemi işletmiş ve performansını değerlendirilmişlerdir. Bu sistem, ısı depolama tankları, serada fan-coil üniteleri ve ek ısıtma için bir elektrikli ısıtıcı içeren bir ısı pompası sisteminden oluşmaktadır. SATE miktarının 100 m² taban alanı olan bir cam sera için 258.3 ile 6259.0 MJ/ay arasında olduğu ölçülmüştür. Enerji tasarrufu günlük maksimum % 76.3 ve aylık % 25.7 olarak belirlenmiştir. Li ve Ark. [9] Japonya'nın Hokkaido kentinin kuzeyinde 12 adet sera için ısıtma ve soğutma sağlamak amacıyla büyük bir dikey toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kumuşlardır. Sistem, ısıtma için 640 kW ve soğutma için 648 kW kapasiteye sahiptir. Sistemde COP 3.0 olarak belirlenmiştir. Sistemin ısı çekme oranı yaklaşık 27.7 W/m olmuştur. Isıtma talebinin soğutma talebini aştığı durumlarda, gelecekteki davranışlarını tahmin etmek için sistemin sayısal bir modeli geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, sistemin performansını önemli ölçüde bozmadan birkaç yıl boyunca ısı değişim oranını koruyabileceğini göstermektedir. Özgener ve Hepbaşlı [10] Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompasıyla sera ısıtma sisteminin etkinliğini ekserji analizi ile değerlendirmişlerdir. Toprak kaynaklı ısı pompası ünitesinin ısıtma etkinliği katsayısı 2.64, toplam sistem etkinliği katsayısı ise 2.38 olarak belirlenmiştir. Sistemin ekserji verimi % 67.7 olarak hesaplanmıştır.

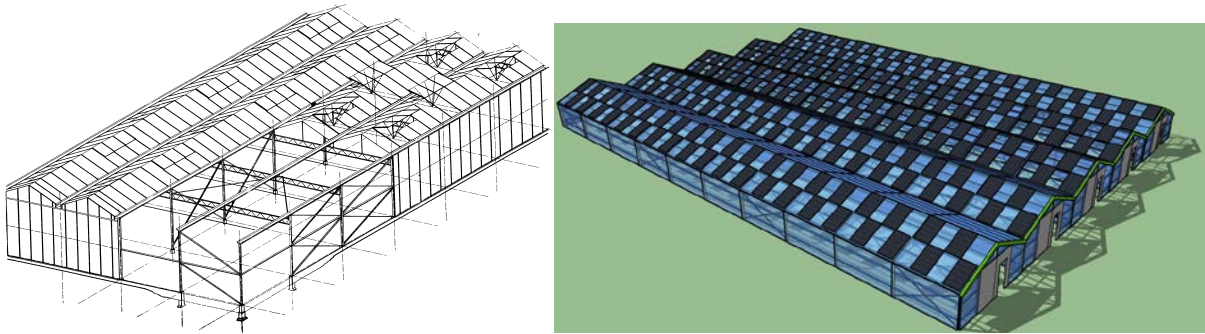
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Antalya yöresinde bulunan bir cam serada ısıtma ve soğutma uygulamaları için gereksinim duyulan toplam enerji miktarının, güneş enerjisi destekli-toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ve sera çatısına yerleştirilecek olan PV modüller aracılığıyla güneş enerjisinden karşılanması amaçlanmıştır. Böylece, serada üretimin yıl boyunca kesintisiz olarak gerçekleştirilmesi mümkün olabilecektir.

3.1. Cam Sera

Taban alanı 10 000 m² (10 da) olan cam sera 4 mm kalınlığından cam panelleri ile kaplıdır. Venlo tip sera çatısında 0.73×1.65m boyutlarında standart cam panelleri bulunmaktadır. Cam panelleri ve cam çerçeveleri kendi kendilerini desteklediklerinden, çatıyı desteklemek için ek kirişler yoktur. Cam serada toplam yükseklik 7 m'dir (Şekil 2).

Toplam 11 bölmeli cam seranın güney cephesine damalı şekilde 1155 adet PV modül yerleştirilecektir. Her modülde 15.675×15.675 cm boyutlarında 72 adet PV hücre bulunmaktadır. Bu durumda, sistemin toplam kurulu gücü (375 W×1155) = 433.13 kW olacaktır. Alanı 1.94 m² olan modüllerin, sera çatısında kapladığı toplan alan yaklaşık olarak 2240 m²'dir (Şekil 2).



Şekil 2. Isıtma ve soğutma yükleri için cam sera yapısı

3.2. Isıtma/Soğutma Derece-Gün/Saat Değerlerinin Belirlenmesi

Herhangi bir yer ve konumda bulunan bir yapının iklimlendirilmesi için yıllık enerji tüketimi, derece-gün (DD) değerlerine bağlı olarak en basit şekilde belirlenebilir. Bu nedenle, herhangi bir yörede ısıtma derece gün sayısı (HDD) ile soğutma derece gün (CDD) sayılarının ayrı ayrı belirlenmesi, ısıtma ve soğutma sistemi kapasitelerinin ve maliyetlerinin belirlenmesi açısından önemlidir [11]. Derece-gün yöntemi, ısıtma ve soğutma hesaplamalarında uzun yıllardır kullanılan basit, kullanışlı ve etkili bir yöntemdir. Bununla birlikte, birçok değişken parametreyi dikkate almaması nedeniyle günümüzde çok fazla kullanılmamaktadır. Bununla birlikte, uygulaması basit olduğundan ve hızlı sonuçlar belirlenebildiğinden, ilk değerlendirmeleri yapabilmek için günümüzde hala kullanılmaktadır. Derece-saat (DH) yönteminde ise günlük sıcaklık değerlerine dayanan derece-gün yönteminden farklı olarak, saatlik sıcaklık değerleri dikkate alınır. Bu nedenle, DH yöntemi DD yöntemine göre daha doğru sonuçlar vermektedir [12].

3.2.1. Isıtma/Soğutma Derece-Gün Belirlenmesi

Derece-gün (DD) yönteminde bir binanın enerji ihtiyacı temelde, binanın iç ortam sıcaklığı ile ilgili denge noktası sıcaklığı ve binanın bulunduğu yerin dış hava sıcaklığı arasındaki fark ile doğru orantılıdır. Eğer, binanın iç ortam sıcaklığı ve iç ısı kazançları sabit ise, DD yöntemlerinden elde edilen değerlerle, binanın ısıtma veya soğutma ihtiyacı için gerekli enerji iyi bir hassasiyetle tahmin edilebilir [13-14].

Bir iklimlendirme sürecindeki DD değeri, ısıtma veya soğutma günlerindeki ısıtılan veya soğutulan ortam sıcaklığı ile dış ortam (hava) sıcaklığı farklarının toplamına eşittir.

$$DD = \sum_{1}^{N} (T_i - T_o) \times j \quad (^\circ\text{C-gün}) \quad (1)$$

Burada:

- DD = Derece-gün ($^\circ\text{C-gün}$),
- T_i = Isıtılan veya soğutulan ortamın sıcaklığı (iç hava sıcaklık) ($^\circ\text{C}$),
- T_o = Dış ortamın günlük ortalama sıcaklığı (dış hava sıcaklığı) ($^\circ\text{C}$) ve
- j = Isıtma veya soğutma sürecinin uzunluğudur (gün).

DD değerleri temelde seçilen denge noktası sıcaklığına bağlıdır. Denge noktası sıcaklığı, bir binada ısıtma veya soğutmaya ihtiyaç duyulmadığı zamandaki dış ortam sıcaklığı olarak alınabilir. Bu denge noktası sıcaklığı bir binadan diğerine farklılık gösterebilir. Bu değişim, istenilen iç ortam sıcaklığına, binanın ısı özelliklerine ve kullanım şekline bağlı olarak belirlenebilir. Geleneksel olarak HDD sayıları 18°C denge sıcaklığında, CDD sayıları ise 22°C denge noktası sıcaklığında hesaplanır [14]. Antalya ilinde bulunan cam seranın ısıtılma ve soğutulması amacıyla, HDD, HDD ve CDH, CDD değerleri $T_r=18^\circ\text{C}$ ve $T_r=28^\circ\text{C}$ referans sıcaklıklar dikkate alınarak belirlenmiştir.

$$HDD(T_h) = \sum_{1}^{N} (T_h - T_o) \quad (^\circ\text{C-gün}) \quad (2)$$

$$CDD(T_c) = \sum_{1}^{M} (T_o - T_c) \quad (^\circ\text{C-gün}) \quad (3)$$

Eşitlik (2), sadece $T_h > T_o$ olan günler için eşitlik (3) ise sadece $T_o > T_c$ olan günler için hesaplanır.

Burada:

- HDD = Isıtma Derece-Gün ($^\circ\text{C-gün}$),
- CDD = Soğutma Derece-Gün ($^\circ\text{C-gün}$),
- T_o = Günlük ortalama dış hava sıcaklığı ($^\circ\text{C}$),
- T_c = Soğutma dönemi için belirlenmiş eşik veya referans sıcaklık (28°C) ve
- T_h = Isıtma dönemi için belirlenmiş eşik veya referans sıcaklık (18°C) ve
- N = Isıtma dönemindeki ısıtma gereken toplam gün sayısı ve
- M = Soğutma dönemindeki soğutma gereken toplam gün sayısıdır.

3.2.2. Isıtma/Soğutma Derece Saat Değerlerinin Belirlenmesi

Derece-saat yöntemi temel olarak, dış ortam sıcaklığı ile ısıtılan/soğutulan ortam için belirlenen referans sıcaklık arasındaki farka dayanır. Dış ortam sıcaklıkları ölçülen değerler iken referans sıcaklık farklı ortamlar için değişkenlik gösterebilmektedir. Ayrıca, ısıtma ve soğutma hesaplamalarında farklı referans sıcaklıklar kullanılır.

Derece-saat (DH) değeri genel olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$DH = \sum (T_o - T_r)^{\pm} \quad (^\circ\text{C-saat}) \quad (4)$$

Burada;

T_o = Saatlik dış ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$) ve

T_r = Referans sıcaklık değeridir ($^\circ\text{C}$).

İki sıcaklık değeri arasındaki fark ($T_o - T_r$) sıfırdan küçükse ısıtma-derece saat (HDH), sıfırdan büyükse soğutma-derece saat (CDH), olarak hesaplamalarda dikkate alınır.

$$HDH = \sum (T_o - T_r)^{-} \quad (^\circ\text{C-saat}) \quad (5)$$

$$CDH = \sum (T_o - T_r)^{+} \quad (^\circ\text{C-saat}) \quad (6)$$

3.3. Sera Isıtma Yüklerinin Belirlenmesi

Cam sera için ısıtma yükleri, TS 825 standardı dikkate alınarak, Isıtma-Derece-Gün (HDD) ve Isıtma-Derece-Saat (HDH) değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Isıtma-Derece-Gün (HDD) Yöntemi: } Qh_{ay} = \sum Qh_{gün} \quad (\text{W/m}^2) \quad (7)$$

$$\text{Isıtma-Derece-Saat (HDH) Yöntemi: } Qh_{gün} = \sum Qh_{saat} \quad (\text{W/m}^2) \quad (8)$$

$$Qh_{gün/saat} = \frac{A_c}{A_g} \times u \times [T_i - T_d] - l \times \tau \times \gamma \quad (\text{W/m}^2) \quad (9)$$

$$u = 3.55 + 0.11v_w \quad (\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}) \quad (10)$$

Burada:

Qh = Sera ısıtma yükü (W/m^2),

A_c = Sera örtüsü yüzey alanı (m^2),

A_g = Sera taban alanı (m^2),

u = Toplam ısı transferi katsayısı ($\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$),

T_i = Sera iç ortam sıcaklığı ($18 \text{ }^\circ\text{C}$),

T_d = Dış ortam sıcaklığı ($^\circ\text{C}$),

l = Toplam güneş ışıınımı (W/m^2),

τ = Seranın güneş ışıınımı geçirme oranı,

γ = Toplam ışıınımın sera içinde ısı enerjisine dönüşme oranı (0.5) ve

v_w = Dış ortam rüzgar hızıdır (m/s).

3.2. Sera Soğutma Yüklerinin Belirlenmesi

Cam sera için soğutma yükleri, CDD ve CDH değerleri bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Soğutma-Derece-Gün (CDD) Yöntemi: } Qc_{ay} = \sum Qc_{gün} \quad (\text{W/m}^2) \quad (11)$$

$$\text{Soğutma-Derece-Saat (CDH) Yöntemi: } Qc_{gün} = \sum Qc_{saat} \quad (\text{W/m}^2) \quad (12)$$

$$Qc_{gün/saat} = \left[u + \rho \times c_p \times N \left(\frac{H}{3600} \right) \right] \times (T_d - T_i) + \tau \times l + h_c (T_d - T_i) + \varepsilon \times \sigma [T_t^4 - T_i^4] \quad (\text{W/m}^2) \quad (13)$$

Burada;

- Q_c = Sera soğutma yükü (W/m^2),
 u = Toplam ısı transferi katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$),
 ρ = Hava yoğunluğu (kg/m^3),
 c_p = Hava özgül ısısı ($J/kg \text{ } ^\circ C$),
 N = Saatlik hava değişimi sayısı,
 H = Seranın maksimum yüksekliği (m),
 T_i = Sera iç ortam sıcaklığı ($28 \text{ } ^\circ C$),
 T_d = Dış ortam sıcaklığı ($^\circ C$),
 I = Toplam güneş ışınımı (W/m^2),
 τ = Seranın güneş ışınımı geçirme oranı,
 h_c = Isı taşınım katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$),
 ε_t = Işınım yayma değeri (0.94),
 σ = Stefan-Boltzman katsayısı ($5.6703 \times 10^{-8} W/m.C^4$) ve
 T_t = Sera toprak sıcaklığıdır ($^\circ C$).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Cam sera için hesaplanan ısıtma/soğutma-derece gün/saat değerlerinin aylara bağlı olarak değişimi Tablo 1'de verilmiştir. Serada HDH değeri; en yüksek Ocak ayında 6136.3 $^\circ C$ -saat, en düşük Eylül ayında 1.1 $^\circ C$ -saat ve yıllık toplam 25053.5 $^\circ C$ -saat olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, HDD değeri en yüksek Ocak ayında 255.7 $^\circ C$ -gün, en düşük Haziran ayında 1.1 $^\circ C$ -gün ve yıllık toplam 1043.9 $^\circ C$ -gün olarak hesaplanmıştır.

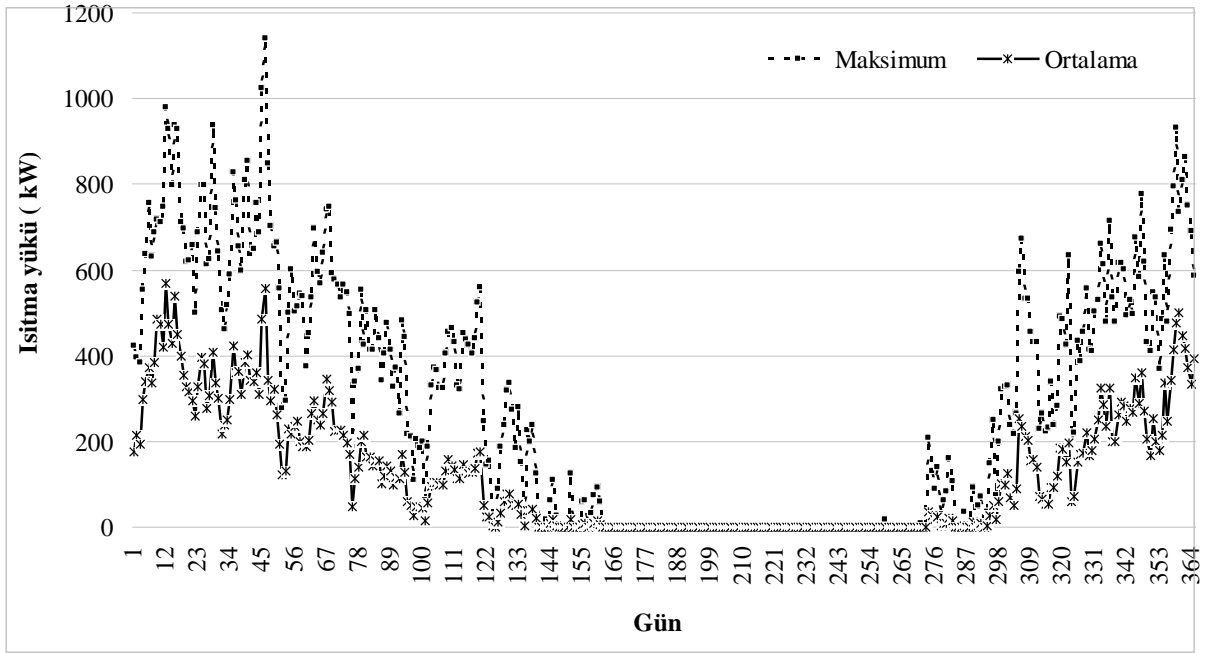
Tablo 1. Cam sera için hesaplanan HDH/HDD ve CDH/CDH değerleri

AYLAR	Ortalama Dış Hava Sıcaklığı ($^\circ C$)	Isıtma Derece Saat (HDH- $^\circ C$)	Soğutma Derece Saat (CDH- $^\circ C$)	Isıtma Derece Gün (HDD- $^\circ C$)	Soğutma Derece Gün (CDH- $^\circ C$)
Ocak	9.8	6136.3	0	255.7	0.0
Şubat	10.6	4966.1	0	206.9	0.0
Mart	13.7	3457.9	0	144.1	0.0
Nisan	16.4	1808.1	0	75.3	0.0
Mayıs	21.4	428.1	111.7	17.8	4.7
Haziran	26.1	26.9	803.1	1.1	33.5
Temmuz	29.5	0.0	1985.5	0.0	82.7
Ağustos	29.2	0.0	1708.1	0.0	71.2
Eylül	25.1	1.1	468.6	0.0	19.5
Ekim	21.0	447.0	71.7	18.6	3.0
Kasım	14.9	2670.6	0	111.3	0.0
Aralık	11.2	5111.4	0	213.0	0.0

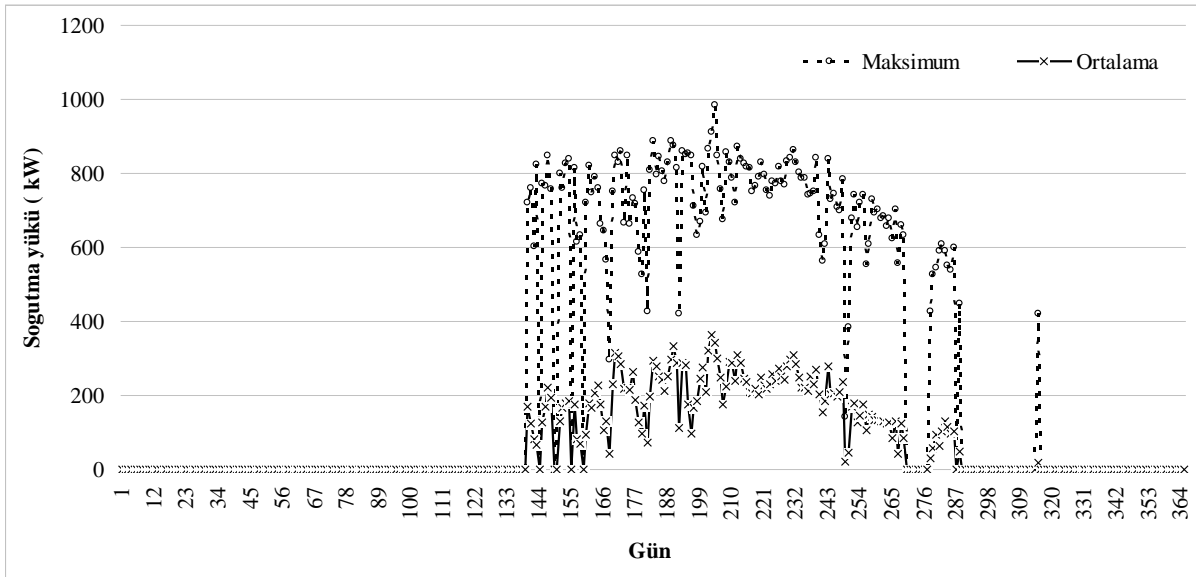
Serada soğutma uygulanacak olan yaz ayları için CDH değeri, en yüksek Temmuz ayında 1985.5 $^\circ C$ -saat, en düşük Ekim ayında 71.7 $^\circ C$ -saat ve yıllık toplam 5148.7 $^\circ C$ -saat olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, CDD değeri en yüksek Temmuz ayında 82.7 $^\circ C$ -gün, en düşük Ekim ayında 3 $^\circ C$ -gün ve yıllık toplam 214.5 $^\circ C$ -gün olarak hesaplanmıştır.

Ortalama ısıtma yükü en yüksek Ocak ayında 356.2 kW, en düşük Mayıs ayında 24 kW ve yıllık ortalama 147.46 kW olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Isıtma yükü Şubat ayında en fazla 1140 kW değerine yükselmektedir.

Ortalama soğutma yükü en yüksek Temmuz ayında 251 kW, en düşük Ekim ayında 27.2 kW ve yıllık ortalama 138.52 kW olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Soğutma yükü Temmuz ayında en fazla 983.6 kW değerine yükselmektedir.



Şekil 3. Cam sera için ısıtma yüklerinin değişimi



Şekil 4. Cam sera için soğutma yüklerinin değişimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Özellikle seralar ve hayvan barınakları gibi çok geniş çatı yüzeyine sahip tarımsal yapılar ülke enerji açığına yeni bir enerji üretim alanı alternatifi yaratacaktır. Bu tip uygulamalar, enerji verimliliği açısından en önemli çalışmalardan birisi olan, bina enerji yönetim sistemlerinin yapı özelinde geliştirilip, enerji tüketimi, üretimi, depolanması konularında yapı-enerji sistem etkileşiminin optimizasyonunun sağlanması bakımından önemlidir. Diğer taraftan, ülkemizde maliyet etkin "net-sıfır

enerjili yapılarda" yapıyı oluşturan tüm sistemlerin, ürünlerin ve şebekenin kusursuz bir şekilde yapı *Enerji Yönetim Sistemi* içerisine entegre edilip birlikte çalışabilirliğinin araştırılması için önem taşımaktadır.

Enerji gereksinimi artışına bağlı olarak, *Bina Enerji Yönetim Sisteminin* geliştirilmesi atık ısı geri kazanımı ve yönetimi, CO₂ emisyonlarını azaltmak, ucuz enerji arzı sağlamak ve enerji arzını güvenli duruma getirmek amacıyla önemli bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Enerji kıtlığı ve küresel ısınma nedeniyle, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına ve enerji depolama sistemlerine olan ilgi giderek artmaktadır. Düşük sıcaklıktaki yenilenebilir enerji kaynaklarından etkin olarak yararlanabilmek için geliştirilen yeni teknolojiler arasında, en yaygın olarak kullanılanı ısı pompası sistemleridir. Toprak kaynaklı ısı pompalarının performans katsayılarının diğer ısı pompası uygulamalarına göre yüksek olması, sistemin işletme maliyetini azaltmaktadır. Elde edilen enerjinin, tüketilen enerjiden daha yüksek olması ile sağlanan enerji tasarrufu hem kullanıcıya hem de ülke ekonomisine önemli kazançlar sağlar. Ayrıca, çevre dostu olan bu sistem kullanılarak, sera gazı emisyonları azaltılabilir. Isı pompaları, sürekli gelişmekte olan enerji tasarruf sistemleri olarak bilinirler. Aynı sistemde hem ısıtma hem de soğutma yapabilmeleri en önemli avantajlarından biridir. YEFS, seralar ve hayvan barınakları özgün bir tasarımıyla, etkin alan kullanımı sağlayacak, altında gıda üzerinde ise enerji üreterek, ülke ekonomisi için bir katma değer sağlayacaktır. Çok geniş yüzey alanına sahip olan tarımsal yapıların çatılarının enerji üretimi amacıyla kullanılması, dağınık güç üretim sistemlerinin kullanılmasını yaygınlaştıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] ÖZTÜRK, H.H., "Sera İklimlendirme İçin Organik Rankine Çevrimli Trijenerasyon Sistemi", 10. Uluslararası Temiz Enerji Sempozyumu, 24-26 Ekim 2016, İstanbul.
- [2] ÖZTÜRK, H.H., "Sera İklimlendirme Tekniği", HASAD Yayıncılık, İstanbul, ISBN: 978-975-8377-64-0, 2008.
- [3] YILDIRIM ÖZCAN, N., BİLİR, L., "Evaluation of a hybrid system for a nearly zero energy greenhouse", *Energy Conversion and Management* 148: 1278-1290, 2017.
- [4] HASSANIEN, R., HASSANIEN, E., LI, M., TANG, Y., "The evacuated tube solar collector assisted heat pump for heating greenhouses", *Energy & Buildings* 169: 305-318, 2018.
- [5] BOUGHANMI, H., LAZAAR, M., GUIZANI, A., "A performance of a heat pump system connected a new conic helicoidal geothermal heat exchanger for a greenhouse heating in the north of Tunisia", *Solar Energy* 171: 343-353, 2018.
- [6] TRYPANAGNOSTOPOULOS G., KAVGA, A. SOULIOTIS, M, TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y., "Greenhouse performance results for roof installed photovoltaics", *Renewable Energy* 111, 2017
- [7] AWANI, S., CHARGUI, R., KOOLI, S., FARHAT, A., GUIZANI, A., "Performance of the coupling of the flat plate collector and a heat pump system associated with a vertical heat exchanger for heating of the two types of greenhouses system", *Energy Conversion and Management* 103: 266-275, 2015.
- [8] Yang, s.h., Rhee, J.Y., "Utilization and performance evaluation of a surplus air heat pump system for greenhouse cooling and heating", *Applied Energy* 105: 244-251, 2013.
- [9] LI, H., NAGANO, K., LAI, Y., SHIBATA, K., FUJII, H., "Evaluating the performance of a large borehole ground source heat pump for greenhouses in northern Japan", *Energy* 63: 387-399, 2013.
- [10] ÖZGENER, Ö., HEPBAŞLI, H., "Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system", *Energy and Buildings* 37: 101-110, 2005.
- [11] BAYRAM, M., YEŞİLATA, B., "Isıtma ve soğutma derece gün sayılarının entegrasyonu", IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 425-431, 5-9 Mayıs 2009.
- [12] PUSAT, Ş., AKKOYUNU, M.T., "Seçilen şehirler için ısıtma derece-saat hesabı", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2): 314-321, 2018.
- [13] BÜYÜKALACA, O., BULUT, H., YILMAZ, T., "Türkiye'nin bazı illeri için derece-gün değerleri", 12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, 107-112, Sakarya, 2000.
- [14] BÜYÜKALACA, O., BULUT, H., YILMAZ, T., "Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey", *Applied Energy* 69(4): 269-283, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Hüseyin ÖZTÜRK

1966 yılında İzmir ili Bergama ilçesi Hacı Hamzalar köyünde doğdu. Orta öğrenimini Beydere (Manisa) Teknik Ziraat Ortaokulu'nda, Lise öğrenimini ise Söke Ziraat Meslek Lisesi'nde tamamladı. 1988 yılında Çukurova Üniversitesi (Ç.Ü) Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümü'nden Ziraat Mühendisi olarak mezun oldu. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda yüksek lisans ve doktora öğrenimlerini tamamladı. Halen aynı Anabilim dalında öğretim üyesi (Prof.Dr.) olarak görev yapmaktadır. Tarımda enerji kullanımı, enerji üretimi ve yönetimi, iklim değişikliği, enerji ve çevre ilişkileri, yenilenebilir enerji kaynakları, ısı depolama ve sera iklimlendirme konularında çalışmaktadır. Pelin ile evli ve Ece ve Ela'nın babasıdır.

Nurdan YILDIRIM ÖZCAN

1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. 2003 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Yüksek Mühendis, 2010 yılında da Doktor unvanını aldı. 2000-2010 yılları arasında aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Şubat 2010-Mart 2013 tarihleri arasında İzmir'de özel bir firmada enerji bölümünde Proje Müdürü olarak çalıştı. Halen Yaşar Üniversitesi'nde Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 2002 yılında İzlanda Hükümeti ve Birleşmiş Milletler bursu ile İzlanda'daki 6 aylık Birleşmiş Milletler Üniversitesi Jeotermal Eğitim Programına katıldı. Daha sonra 2004-2005 yılları arasında da NATO bursu ile Belçika'daki dünyaca ünlü Von Karman Institute'teki 9 aylık akışkan dinamiği konusundaki Diploma Kursu'na katıldı. Başta Enerji Yöneticisi sertifikası olmak üzere Doğalgaz İç Tesisat, Mekanik Tesisat, Soğutma Tesisatı, Havalandırma Tesisatı ve Klima Tesisatı Uzman Mühendis Yetki Belgelerine sahiptir. Başta jeotermal enerji olmak üzere, yenilenebilir enerji kaynakları ve uygulamaları ile enerji verimliliği alanlarında çalışmalarını yürütmekte olup, evli ve 2 çocuk annesidir.

Bekir CANSEVDİ

1980 yılında Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 1983 yılında TEBA şirketler topluluğunda göreve başlamış 2004 yılına kadar çeşitli görevlerde bulunmuştur. Uzmanlık alanları iklimlendirmede soğutma sistemleri ve soğutma sistemlerinde enerji verimliliği. 2004-2012 yılları arasında Mutfak Havalandırması ve Soğutma Sistemlerinde Evaporatif soğutma desteği konularında araştırmalar yapmıştır. HVAC ve enerji yönetim sistemleri konularında çalışmıştır. 2012 yılından UNTES A.Ş. Göreve başlamıştır. UNTES-RHOSS su soğutma gurupları fabrikasının kuruluşun bulunmuş. ÜNTES A.Ş. ARGE merkezi kuruluşunda bulunmuş. Halen ARGE merkezi yöneticisi olarak görev yapmaktadır. MMO MİEM soğutma, klima, havalandırma tesisatı konularında akredite eğitimidir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından verilen BEP eğitim programında eğitmen olarak görev almaktadır. Makine Mühendisleri Odası ve Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Ege Soğutma Sanayi ve İş Adamları derneği üyesidir. Evli bir çocuk babasıdır.

Hasan Kaan KÜÇÜKERDEM

1988 yılı Adana doğumlu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2011 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nden Ziraat Mühendisi olarak mezun oldu. 2013 yılında Araştırma Görevlisi olarak atandığı Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü'nde 2017 yılında yüksek lisansını tamamladı. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında doktora öğrenimine başladı ve halen devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.