

ÖRTÜ ALTI TARIMDA ALTERNATİF İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ ve ISI POMPASI KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çağdaş ÇARKACI
Kıvanç ÖZKORUCU
İbrahim ATMACA

ÖZET

Örtü altı alanların başlıca amacı ürünün gelişim sürecinin her aşamasında optimum sıcaklıkları sağlamak kaydıyla üründen sezonu dışında da yeterli miktarda elde edebilmektir. Ürün kalitesi ve miktarı birçok parametreye bağlı olsa da örtü altı alanın iklim şartları en önemli parametrelerden birisidir. Bu amaç doğrultusunda kışın örtü altı alanın ısıtılmasında yaygın olarak kullanılan birçok sistem mevcuttur. Genellikle yapılan uygulama konvansiyonel yakıtların yakılması ile örtü altı alanların ısıtılması şeklindedir. Alternatif enerji kaynaklarına yönelimlerde mevcuttur. Ancak gerek aktif gerek pasif güneş enerjili ısıtma sistemleri belirli bir süre ısıtma için yeterli olabilmekte arda kalan zamanda yine konvansiyonel yakıtlı sistemler devreye girmektedir. Yazın örtü altı alanın soğutulmasında da fan – ped ve sisleme gibi evapotaratif sistemler, doğal veya zorlanmış havalandırma yöntemleri veya gölgeleme gibi yardımcı elemanlar kullanılabilir. Ancak bu sistemlerde günlük dış ortam şartlarına bağlı olarak yeterli olamayabilmektedir. Son zamanlarda örtü altı tarımda ısı pompalarının kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada örtü altı tarımda kullanılacak alternatif iklimlendirme sistemleri ve ısı pompalarının kullanımları değerlendirilmiş, ısı pompalarının soğutmada da kullanımı durumunda amortisman süresini azaltma yönünde getireceği avantajlar ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Örtü altı tarım, iklimlendirme, ısı pompası

ABSTRACT

Purpose of the greenhouse cultivation is to obtain sufficient amount of product during off-season by providing optimum temperatures on each phase of development process. Even if the quality and amount of product depends on several different parameters, one of the most important parameter is greenhouse climate conditions. In accordance with this purpose, there are a lot of systems designed for heating of greenhouses in winter. Greenhouses generally heated by conventional fuels. People also tend towards to alternative energy resources but both active and passive solar heating systems can only afford heating for short periods of time. In the end, conventional heating system does the job for the rest of the time. In summer; evaporative systems like fan-pad and fogging, natural or forced air-conditioning methods or shading can be used for cooling of greenhouses. But mentioned systems might not be sufficient according to daily outdoor conditions. Recently, heat pumps are becoming common on greenhouse heating. In this study, additional air-conditioning systems and heat pump usage in greenhouses are evaluated. Also the advantages of heat pump usage for cooling over having shorter period of redemption are taken into consideration.

Key Words: Agricultural greenhouse, air-conditioning, heat pumps

1. GİRİŞ

Zirai üretimde örtü altı alanların kullanımı son yirmi yıl içerisinde artan bir çeşitliliğe sahiptir. Örtü altı alanların başlıca amacı ürünün gelişim sürecinin her aşamasında optimum sıcaklıkları sağlamak kaydıyla üründen sezonu dışında da yeterli miktarda elde edebilmektir. Yetiştirilen ürüne bağlı olarak istenilen ortam sıcaklığı ve nemi değişkenlik göstermektedir. Örtü altı tarımda temel amaç hem kışın hem de yazın örtü altı alanın ortam şartlarını ürün için önerilen optimum şartlarda sabit tutabilmektir. Bu şartların temini ürün kalite ve miktarını şüphesiz ki arttıracaktır. Bu amaç doğrultusunda örtü altı alana uygun ısıtma ve / veya soğutma sistemleri kurulmalıdır. Uygulanan bu iklimlendirme sistemleri ürünlerin sezonu, kalitesi ve miktarları üzerinde önemli bir etkiye bulunmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda kışın örtü altı alanın ısıtılmasında yaygın olarak kullanılan birçok sistem mevcuttur. Genellikle yapılan uygulama konvansiyonel yakıtların yakılması ile örtü altı alanların ısıtılması şeklindedir. Yetiştirilen ürünlerin maliyeti ise yakıt fiyatlarının yüksek olmasına bağlı olarak artan ısıtma giderleri neticesinde yükselmektedir. Yöreyle, yetiştirilen ürüne ve yapılan üretim şekline bağlı olarak klasik fosil yakıtlı ısıtma uygulamalarında ısıtma giderleri toplam üretim giderlerinin %60 – 70' ine ulaşmaktadır. Güney Avrupa koşullarında örtü altı tarım ısıtma giderleri, toplam işletme giderlerinin %30' undan daha fazladır [1].

Alternatif enerji kaynaklarına yönelimlerde mevcuttur. Bu kapsamda genellikle güneş enerjisinin aktif veya pasif kullanımları tercih edilmektedir. Ancak gerek aktif gerek pasif güneş enerjili ısıtma sistemleri belirli bir süre ısıtma için yeterli olabilmekte arda kalan zamanda yine konvansiyonel yakıtlı sistemler devreye girmektedir.

Örtü altı alanın soğutulması ise daha önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Yazın örtü altı alanın soğutulmasında fan – ped, sisleme gibi evapotaratif sistemler, doğal veya zorlanmış havalandırma yöntemleri veya gölgeleme gibi yardımcı elemanlar kullanılabilir. Yaz şartlarının çok sert olmadığı, dış ortam sıcaklığının 33 °C' nin altında kaldığı yerlerde havalandırma ve gölgeleme teknikleri ile iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Dış ortam sıcaklığının yaz şartlarında 40 °C' yi aştığı sert yaz şartlarının olduğu yerlerde evaporatif soğutma etkili olmaktadır. Ancak bu sistemlerde günlük dış ortam şartlarına özellikle de ortam nemine bağlı olarak yeterli olamayabilmektedir.

Son zamanlarda örtü altı tarımda ısı pompalarının kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Isı pompaları uygun şekilde dizayn edildiğinde hem kışın ısıtmada, hem yazın soğutmada, hem de ara mevsimlerde belirli saatlerde ısıtmada belirli saatlerde ise soğutmada kullanılabilir en uygun sistem gibi görülmektedir. Bu çalışmada örtü altı tarımda kullanılabilir alternatif iklimlendirme sistemleri ve ısı pompalarının kullanımları değerlendirilmiş, ısı pompalarının soğutmada da kullanımı durumunda amortisman süresini azaltma yönünde getireceği avantajlar ele alınmıştır.

2. ÖRTÜ ALTI TARIMDA İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

Örtü altı tarımda kullanılan çeşitli iklimlendirme sistemleri karakteristiklerine bağlı olarak ısıtma, soğutma ve kompozit (bileşik) sistemler olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

I. Isıtma Sistemleri

- i. Fosil yakıt kullanılarak yapılan kazanlı ısıtma sistemleri
- ii. Güneş enerjisini kullanan sistemler

a) Aktif Sistemler

- Sulu,
- Havalı

b) Pasif Sistemler

- Su depolamalı,
- Taş yatak depolamalı,
- Faz değişim materyali (PCM) depolamalı,
- Kuzey duvar uygulamalı

II. Soğutma sistemleri

- Doğal havalandırmalı,
- Zorlanmış havalandırmalı,
- Gölgelemeli,
- Evaporatif soğutmalı,

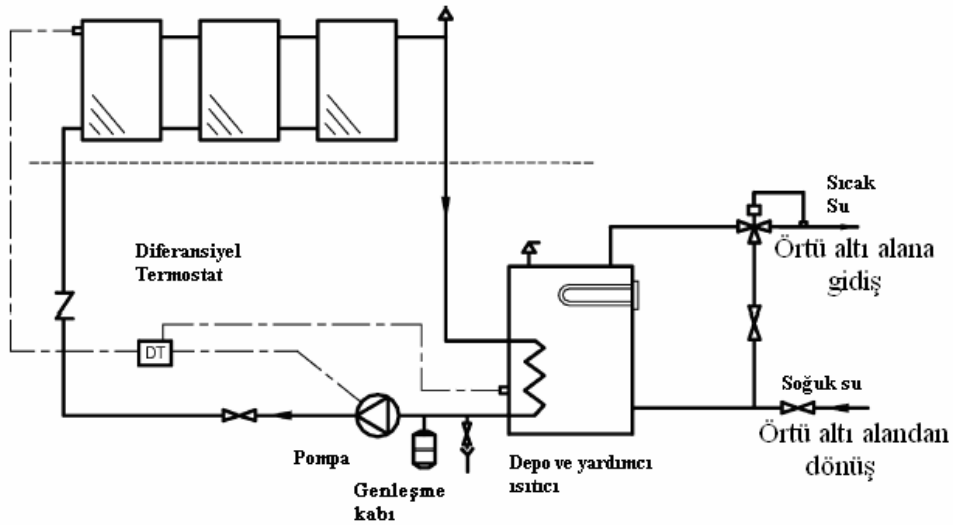
- Fan – ped ile,
- Sisleme ile,
- Çatıdan su filmi ile

III. Bileşik (Kompozit) Sistemler

- Toprak – hava ısı değiştirici sistemli,
- Yeraltı suyu kullanan boşluk akışlı ısı değiştirici sistemli

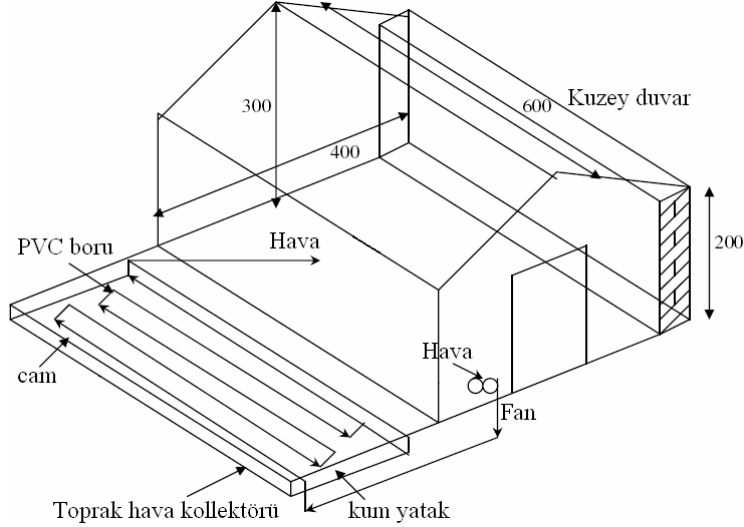
Ülkemizde özellikle de Antalya’ da örtü altı tarımda kullanılan yaygın ısıtma sistemi LNG veya kömürlü kazan kullanan ısıtma sistemleridir. Artan enerji maliyetleri ve çevresel sorunlar üreticiyi günden güne alternatif çözümlere doğru yöneltmektedir. Bununla birlikte yenilenebilir enerjinin özellikle de güneş enerjisinin kullanıldığı sistemler ise hem ilk yatırım maliyetleri hem de bu enerjinin kesintili oluşu ve tüm ısıtma saatleri için yeterli olmayışı sebebiyle çok yaygın olarak tercih edilmemektedir.

Güneş enerjili aktif ısıtma sistemlerinde ısı toplama ve depolama üniteleri Şekil 1.’ den de görüleceği üzere örtü altı alanın dışındadır. Bu tip sistemlerde ısı depolama materyali olarak su dışında, çakıl taş, toprak veya faz değişim materyalleri (PCM) kullanılabilir. Bu sistemlerde yüksek ilk yatırım masraflarının yanı sıra ısı toplayan yüzeylerin çok büyük alan kaplaması da problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Sistemin en büyük dezavantajı ise örtü altı alan için gerekli ısı enerjisinin ancak belirli bir oranını karşılayabilecek olmalarıdır. Geri kalan miktarın temini için ise yine fosil yakıtlı kazan sistemlerine ihtiyaç duyulacaktır.



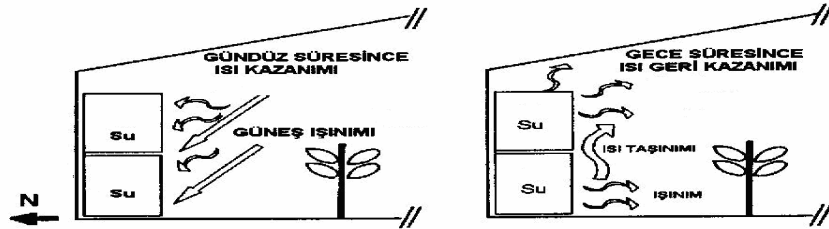
Şekil 1. Güneş enerjili aktif ısıtma sistemlerinde ısı toplama ve depolama üniteleri [2].

Akışkan olarak havayı kullanan aktif bir sistemin şematik resmi Şekil 2.' de verilmiştir. Toprak hava kollektör sistemi ismi verilen bu uygulamada toplayıcı ünite örtü altı alanın güneyine yeraltına yerleştirilmiştir. Toprak hava kollektör sistemi cam yüzey, güneş ışınımını yutan absorber kum ya da beton yatak, hava akışının sağlandığı borular ve fan üzere dört temel elemandan oluşmaktadır. Bu sistemde güneş ışınımı siyaha boyanmış kum yatak tarafından absorbe edilir ve depo edilen ısı yatak içine gömülmüş akışkan taşıyıcı borulara iletilir. Boru içerisinde hava sirkülasyonu başlayınca, hava ısınır ve örtü altı alana gönderilerek ısıtma yapılır. Verimli kullanımı halinde, sistem örtü altı sıcaklığını 5 – 6 °C yükseltebilse de m² örtü altı alan başına 0.73 m² gibi büyük kollektör alanlarına gereksinim olması ve güneş ışınımının olmadığı saatlerde absorber yatağın ısı kaybederek hızla soğuması sebebiyle çok yaygın bir metot olmaktan uzaktır [3, 4].



Şekil 2. Toprak hava kollektörlü sistem şematik resmi [4].

Pasif ısıtma yapılan örtü altı alanlarda, ısı toplama ünitesi örtü altı alanın içerisindedir. Yani örtü altı alan bir toplayıcı gibi kullanılır. Bu sistemler su depolamalı, taş yatak depolamalı, faz değişim materyali (PCM) depolamalı veya kuzey duvar uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlerde örtü altı alan iç ortamında gündüz süresince güneş ışınımından kazanılan ısı, bir akışkan aracılığıyla ısı depolama materyalinde toplanır ve ısıtma gereği duyulan gece süresinde kullanılır. Su depolamalı sistemlerde bitki sıraları arasındaki toprak yüzeyine yerleştirilen plastik su tüpleri veya örtü altı alanın kuzey tarafına yerleştirilen su tankları güneş kolektörü ve ısı depolama ortamı olarak kullanılabilir. Su tanklı bir sistemin şematik resmi Şekil 3.' de sunulmuştur. Su tüpleri veya su tankları gün boyunca örtü altı alana gelen güneş ışınımını depolarlar. Gece boyunca depolanan ısı ışınım ve doğal taşınım ile örtü altı alana tekrar salınarak iç ortam ısıtılır.

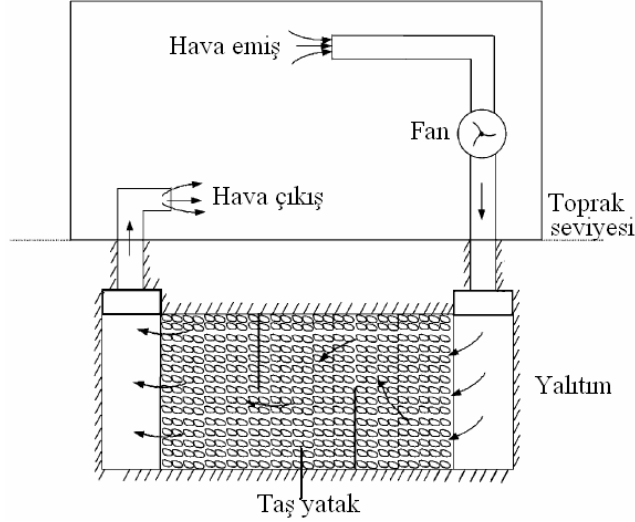


Şekil 3. Su tanklı pasif örtü altı alan ısıtma sistemi şematik resmi [2].

Çeşitli su depolama sistemleri kullanan örtü altı alanların performans özetleri Tablo 1.' de özetlenmiştir. Sistemlerin performansı depolama hacmine, örtü altı alana, depolama tipine, konuma ve örtü malzemesine bağlı olarak değişkenlikler göstermektedir. Bununla birlikte Sethi ve Sharma [3] Tablo 1.' deki çalışmalar üzerinden yaptıkları korelasyonlar ile örtü altı alanın m² si başına gerekli depolama hacmini ortalama 54.841 l/m² olarak tespit etmişlerdir. Bu rakam kullanılan örtü

malzemesine göre de değişim göstermiştir. Polietilen örtü malzemesinde gerekli depo hacmi 48.61 l/m² iken cam örtü malzemesinde bu değer 54.521 l/m² olarak belirlenmiştir. Genel ortalamanın yüksek olmasının sebebi ise filon (yarısaydam cam takviyeli polyester kaplama) örtü malzemesi kullanımında yüksek depolama hacmi gereksinimi olarak çalışmada belirtilmektedir.

Isı depolama malzemesi olarak çakıl taşları kullanan pasif sistemlerde, gündüz boyunca örtü altı alandaki fazla ısı örtü altı alanın tabanındaki toprak altına kurulan çakıl veya kırma taşlardan meydana gelen ısı deposuna aktarılır. Gece süresince ise örtü altı alandaki soğuk hava, ısı deposu içerisinden dolaştırılarak gündüz süresince depolanan ısı geri kazanılarak örtü altı alanın ısıtılmasında kullanılır. Böyle bir sistemin prensip şeması Şekil 4.' de verilmiştir.



Şekil 4. Taş yatak depolamalı pasif sistem prensip şeması [5].

Kürlü ve ark. [5], Antalya' da 15 m² lik polietilen kaplama tünel tip örtü altı alanda taş yatak sistemi test etmişler ve 1100 m³/h hava debisi ile yaptıkları çalışmada örtü altı alan iç sıcaklığı ile dış sıcaklık arasında taş yatak depolama sayesinde 6 – 9 °C sıcaklık farkı tespit etmişlerdir. Çalışmada sistemin enerji toplama verimi ise %34 olarak belirlenmiştir. Sethi ve Sharma [3] ise konu ile ilgili tüm verileri derleyerek, taş yatak depolama sistemleri ile iç sıcaklığı minimum dış ortam sıcaklığından 4 – 10 °C daha yüksek tutmak kaydıyla yıllık enerji ihtiyacının %20 – 70'ini karşıladığını rapor etmişlerdir.

Çakıl taşlı sistemlere benzer olarak faz değişim malzemesinin çakıl taşları yerinde kullanıldığı sistemlerde faz değişim malzemeleri toprak altına veya örtü altı alanın kuzey tarafına yerleştirilir. Örtü altı alandan hava ile taşınan ısı faz değişim malzemesi tarafından soğurularak gizli ısı şeklinde depolanır. Sıcak hava dolaşımı sırasında malzeme faz değiştirir. Gece boyunca örtü altı alandaki soğuk hava faz değişim malzemesinde depolanan gizli ısı ile ısınır ve malzeme ilk haline geri döner. Yapılan çalışmalar incelendiğinde en fazla kullanılan faz değişim malzemesi inorganik bir bileşik olan CaCl₂.6H₂O (calcium chloride hexa-hydrate) olarak öne çıkmaktadır. CaCl₂.6H₂O kullanılan bir ısıtma sistemi ile konuma bağlı olarak örtü altı alan iç hava sıcaklığı minimum dış ortam sıcaklığının 2 – 8 °C üzerine çıkmakta ve örtü altı alanın yıllık ısıtma ihtiyacının %30-75' i sağlanabilmektedir [3].

Kullanılabilecek bir diğer pasif sistem ise kuzey duvar uygulamalarıdır. Kuzey duvar uygulaması kuzey yarım kürede doğu – batı doğrultulu örtü altı alanlarda uygulanır. Doğu – batı doğrultulu örtü altı alanlarda kışın maksimum ışınım güney duvara düşerken, kuzey duvar tarafından da ışınım çıkar. Bu nedenle kuzey duvar dış yüzeyi yalıtılır ve iç yüzeyi siyaha boyanarak gece boyunca kullanmak için enerji depolanabilir. Bu yöntem ile en düşük dış ortam sıcaklığından 7 – 9 °C daha yüksek iç ortam sıcaklığı sağlanarak yıllık enerji gereksiniminin %35' i karşılanabilmektedir [1].

Tablo 1. Çeşitli su depolama sistemleri kullanan örtü altı alanların performans özetleri [3].

Bölge	Örtü malzemesi ve Üretim	Depolama tipi	Depolama hacmi (m ³)	Alan başına depolama kapasitesi (l/m ²)	Performans
Almeria, İspanya	PE, Çilek	Yer tüpleri	1.5	20.83	2-4 °C daha yüksek
Athens, Yunanistan	PE, Domates	Yer tüpleri	5.0	33.33	2-4 °C daha yüksek
Avignon, Fransa	PE, Kavun	Yer tüpleri	5.4	23.37	2-4 °C daha yüksek
Hannover, Danimarka	PE, Bitkisel	Yer tüpleri	4.4	20.18	3 °C daha yüksek
Bet-Dagan, İsrail	PE, Kavun	Yer tüpleri	12	46.15	2.5 °C daha yüksek
Lisbon, Portekiz	PE, Kavun	Yer tüpleri	15	50	2-4 °C daha yüksek
Dordogne, Fransa	Cam, Bitkisel	Su tankları	4.0	21.05	10 °C daha yüksek
Bet-Dagan, İsrail	PE, Gül	Su tankları	40	40	11 °C daha yüksek
Roskilde, Danimarka	Cam, Domates, Kavun	Su tankları	0.8	66.67	4 °C daha yüksek
Grenoble, Fransa	Çift cam, Bitkisel	Su tankları	1.7	23.61	3 °C daha yüksek
Nashville, ABD	PE, Çiçek	Su tankları	1.0	33.33	2-3 °C daha yüksek
Hannover, Almanya	Cam, Sebze	Su tankları	21	91.31	2 °C daha yüksek
Fanar, İrlanda	PE, Gül	Yer tüpleri	25.6	89.20	2.5-4 °C daha yüksek
Roma, İtalya	Polikarbon, Salatalık	Su tankları	5.8	19.33	2-10 °C daha yüksek
Salonika, Yunanistan	PE, Çiçek	Yer tüpleri	10	20	2-4 °C daha yüksek
Delhi, Hindistan	PE, Biber	Su tankları	3.2	207.79	5-6 °C daha yüksek
Delhi, Hindistan	PE, Sebze	Su tankları	1.0	50	3-4 °C daha yüksek
Tokyo, Japonya	PE, Salatalık	Su tankları	30.9	36.1	8-10 °C daha yüksek
Delhi, Hindistan	PE, Biber	Su tankları	0.214	10.30	4-6 °C daha yüksek
Ludhiana, Hindistan	Cam, Kavun	Su tankları	1.0	47.62	4-5 °C daha yüksek

Örtü altı alanların soğutulması ise daha büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde sıklıkla kullanılan sistemler doğal veya zorlanmış havalandırma, gölgeleme veya fan-ped, sisleme gibi evaporatif sistemlerdir. Ancak bu mevcut sistemlerin hiçbiri mükemmel değildir. Sistemlerin seçilmesi ve işletilmesinde dış ortam şartları, ürün, maliyet, bakım, işletme kolaylığı, güvenilirlik, sistem ömrü, elektrige olan bağımlılık gibi birçok etken vardır.

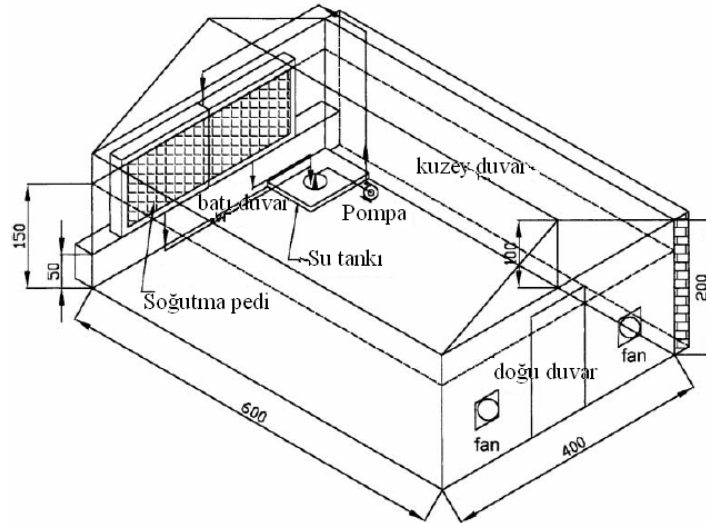
Örtü altı alanın soğutulmasının en basit yolu havalandırma sağlamak kaydıyla sıcak iç ortam havası ile kısmen daha ılık dış ortam havasının yer değiştirmesini sağlamaktır. Doğal veya pasif havalandırma ismi verilen havalandırmada havanın hareketi dışarıdaki rüzgara veya örtü altı alan içindeki sıcaklık

farkına bağılı olarak iç ile dış ortam arasında oluşan basınç farkı ile meydana gelir. Doğal havalandırma ile örtü altı alanın soğutulmasında kritik faktör hava değişim oranıdır. Bu değişim oranı toplam havalandırma alanı, rüzgar hızı ve iç – dış ortam arasındaki sıcaklık farkından etkilenmektedir. Soğutma etkinliği için zemin alanının %15 – 30' una eşit bir havalandırma alanına ihtiyaç vardır. Etkin %30' dan daha büyük bir havalandırma alanı soğutmada çok az bir artış meydana getirmektedir. Doğal havalandırma, örtü altı sıcaklığın 42 °C' yi aştığı, dış sıcaklığın 35 °C' nin üstünde seyrettiği tropikal iklimlerde rüzgarsız güneşli bir günde etkisiz ve yetersizdir. Ancak, zayıf rüzgarın olduğu yumuşak iklim bölgelerinde ilk ve son bahar aylarında kullanışlı bir sistemdir. Bu sistemle örtü altı alanın sıcaklığını 2-3 °C düşürmek mümkündür ancak bu da çiçek veya meyve gibi üretimlerin kritik periyotlarında ürünün ihtiyacı olan sıcaklığı karşılayamaz. Egzoz fanları üfleyiciler gibi sistemler ile zorlanmış havalandırma yapılarak yüksek hava değişim oranları sağlamak ve böylece örtü altı sıcaklıkları dış ortam sıcaklıklarının bir miktar üzerine çıkaracak şekilde soğutma yapmak mümkündür. Zorlanmış havalandırma ile hava değişim oranı artırılmasına rağmen yalnızca bu sistem ile çalışan örtü altı alanlar limitlidir. Çünkü yazın pik yük zamanlarında iç sıcaklık yeteri kadar düşmemektedir. Sadece zorlanmış havalandırma ile hava değişim debisi 0.05 m³/m²s değerinin üzerine çıkartıldığında bir miktar avantaj sağlanabilmektedir.

Gölgeleme yazın aşırı güneş ışınımını kontrol altına almada basit, ucuz ve etkin bir metottur. Boya, dış gölgeleme örtüleri, panjur veya çatıda su filmi kullanımı gibi teknikleri ile gölgeleme yapmak mümkündür. Hafif geçen yaz şartlarında örtü altı alan sıcaklığını alüminyum yansıtıcı tabakaların kullanımı ile 3-6 °C, su filmi ile 4-6 °C düşürmek mümkündür.

Kullanılan bir diğer teknik ise evaporatif soğutmadır. Bu sistemler duyulur ısının gizli ısıya dönüşmesi prensibine dayanır. İşlem sırasında havanın toplam entalpisi değişmez. Günümüzde kullanılan evaporatif metotları fan-ped, sisleme ve çatıdan su filmi ile soğutma şeklinde sınıflandırabiliriz.

Fan-ped sisteminde örtü altı alanın bir duvarında fan bulunurken tam karşı duvarında ise ped konumlandırılır. Sistemde pedler üzerinden su akarken, karşı duvardaki fan tarafından çekilen hava pedler içinden geçer. Fan-ped ile soğutma esnasında pedlerden geçen hava hem soğur hem de nemlenir. Böyle bir sistemin şematik görünümü Şekil 5.' de verilmiştir.

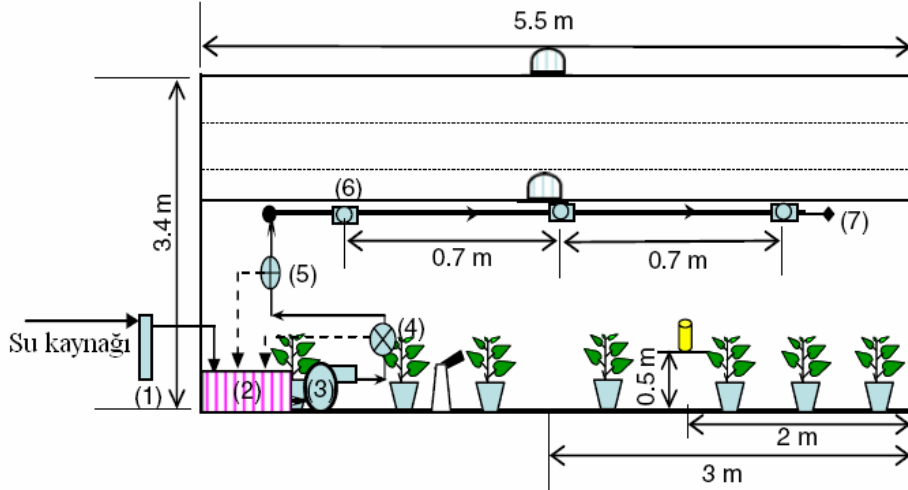


Şekil 5. Fan-ped sistemi prensip şeması [6].

Fan-ped sistemi iç ortam sıcaklığını yalnız kullanıldığında 4-6 °C, gölgeleme ile birlikte kullanıldığında 4-12 °C düşürebilen etkin bir metot olarak göze çarpmaktadır. Nemin fazla olmadığı kuru yaz şartlarında örtü altı alanların soğutma ihtiyacının yaklaşık %80' ini karşılayabilmektedir. Kuru ortam şartlarında örtü altı alanda istenilen şartlara ulaşmak için saatte 20 hava değişimi meydana getirebilecek hacimsel debiye ihtiyaç vardır. Bununla birlikte sistemin dezavantajları da mevcuttur. Pedler üzerinden geçen hava sadece ped çıkışında soğur ve nemlenir. Bu da örtü altı alan içinde birikmiş aşırı ısıya karşı bir önlem olmaz. Böylece örtü altı alanın uzunluğu boyunca bir sıcaklık ve

nem gradyeni oluşur. Bunun yanı sıra sürekli çalışma ve zayıf su kalitesi pedlerin tıkanmasına ve bunun neticesinde de soğutma performansının düşmesine sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca örtü altındaki yüksek nem seviyesi mikroorganizma üremesine de sebebiyet verebilmektedir. Tüm bunların yanında suyun buharlaşmasıyla pedlerde kalan tuzlar ve oluşabilecek yosunlaşma da pedlerin ömrünü kısaltabilmekte, ayrıca pedlerden hava geçişini engelleyebilmektedir. Bu nedenle pedlerin bakımı da düzenli olarak yapılmalıdır [7].

Bir diğer evaporatif metot olan sisleme ise yüksek basınçta, 2-60 μm çapında küçük su damlacıklarının bitki üzerinden püskürtülmesi esasına dayanır. Bu damlacıkların serbest düşme hızı yavaştır ve hava içerisinde buharlaşırlar. Sisleme örtü altı alanda soğutma sağladığı gibi yüksek nem sağlamada da kullanılabilir. Sistemin basit şematik gösterimi Şekil 6.'da verilmiştir.



(1) Filtre (2) Su tankı (3) Pompa (4) Akış kontrol vanası (5) Basınç kontrolü (6) Nozüller (7) kapak

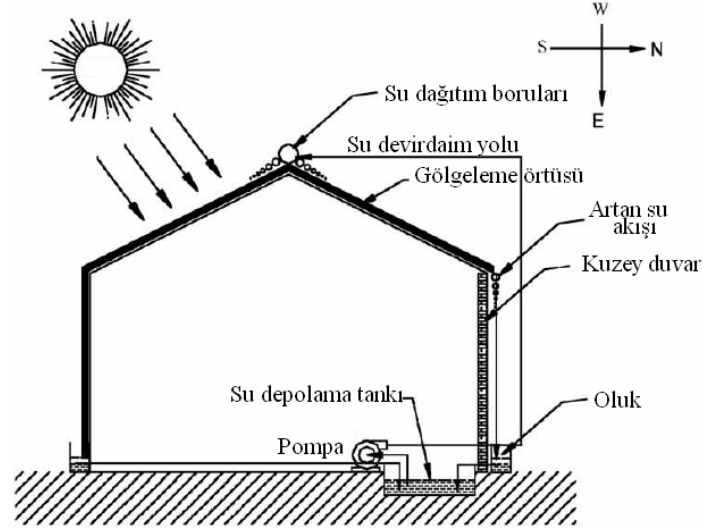
Şekil 6. Sisleme sistemi prensip şeması [8].

Fan-ped sistemler ile karşılaştırıldığında sislemeye daha üniform bir sıcaklık ve nem dağılımının sağlandığı söylenebilir. Örtü altı alan iç ortam sıcaklığı bu yöntem ile 3-8 $^{\circ}\text{C}$ düşürülebilmektedir. Ancak bu sistemlerde bir boru hattı boyunca nozüllerin kullanımına ihtiyaç vardır ki bunlarda oldukça pahalıdır. Bunun yanı sıra bu nozüller suda bulunan çözünebilir veya çözünemez tuzlar nedeniyle tıkanabilir ki bu da sistemin çalışma verimini düşürür. Tıkanmayı önlemek için kullanılacak suyun şartlandırılması ise sistemin işletme masraflarını arttıracaktır. Bütün bunların yanı sıra iç ortamdaki yüksek nem mikroorganizmaların oluşmasına da sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca dış ortam neminin yüksek olduğu yağmurlu günlerde sistem verimi çok düşük olacaktır.

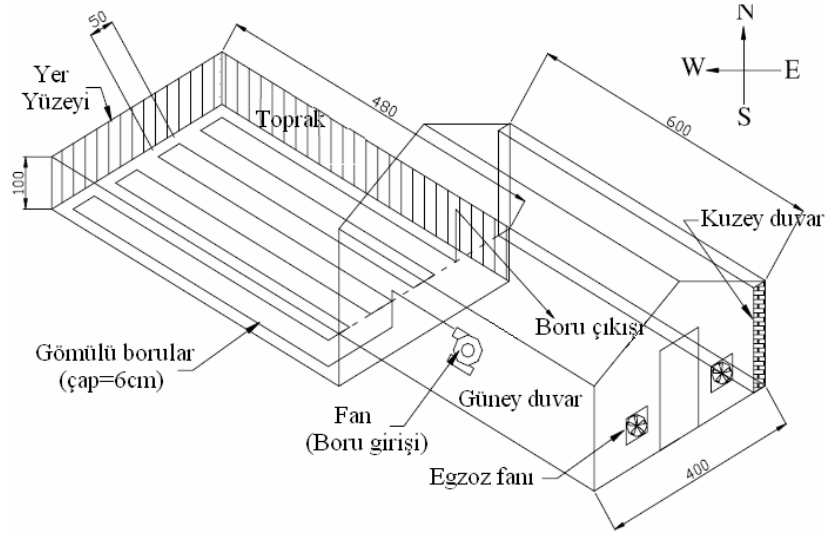
Çatıdan su filmi ile yapılan evaporatif soğutmanın şematik resmi Şekil 7.'de verilmiştir. Bu sistemde su filmi çatı yüzeyi boyunca ince bir film tabaka şeklinde püskürtülürken bir kısmı güneş ışınımı ile buharlaşmak vasıtasıyla ısıyı çeker ve örtü altı alan ısı kazançları azalarak soğutma sağlanır. Bu sistemde buharlaşan su direkt olarak örtü altı alan ortam havası ile temasta olmadığı için fan-ped ve sisleme yöntemlerine göre daha etkisizdir. Bu yöntemle iç ortam sıcaklığı 3-5 $^{\circ}\text{C}$ düşürülebilmektedir.

Aynı sistem ile hem ısıtma hem de soğutma yapılabilecek kompozit sistemler de mevcuttur. Bunlardan biri toprak – hava ısı değiştiricili sistem olarak isimlendirilebilir. Bu sistemin şematik gösterimi Şekil 8.'de sunulmuştur. Bu sistem toprağın sabit olan sıcaklığını örtü altı alana ısı transfer etmek veya örtü altı alandan ısı çekmek amacıyla kullanır. 3-4 m derinlikteki toprak yıl boyunca sabit sıcaklıktadır. Bu büyük toprak kütlesi ısı depolama ortamı olarak kullanılabilir. Isıtmada örtü altı alandan borulara giren soğuk akışkan topraktan ısıyı çekerek ısınır ve örtü altı alana ısıyı aktarırken, soğutmada ise örtü altı alandan çekilen sıcak hava ısıyı toprağa transfer ederek soğur ve örtü altı alandan ısı çekilmiş olur. Yapılan çalışmalarda örtü altı alanın m^2 si başına 0.31 m^3/s debi ile iç ortam sıcaklığının 3 – 13 $^{\circ}\text{C}$ yükseltildiği ve ısı ihtiyacının %28 – 62 kadarının karşılandığı görülmüştür [3]. Soğutma amaçlı kullanımda ise bu sistemler ile iç ortam sıcaklığının 3 – 5 $^{\circ}\text{C}$ düşürülebildiği görülmüştür [7]. Toprağı kazmanın maliyeti ve 2 – 4 m derinliğe boruları gömmenin zorluğu ise bu sistemin temel sıkıntısıdır.

Bunun yanı sıra borularda hava dolaşımının ve bunlar için gerekli cihazların hem ilk yatırım hem de işletme maliyetleri bu sistemin problemleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

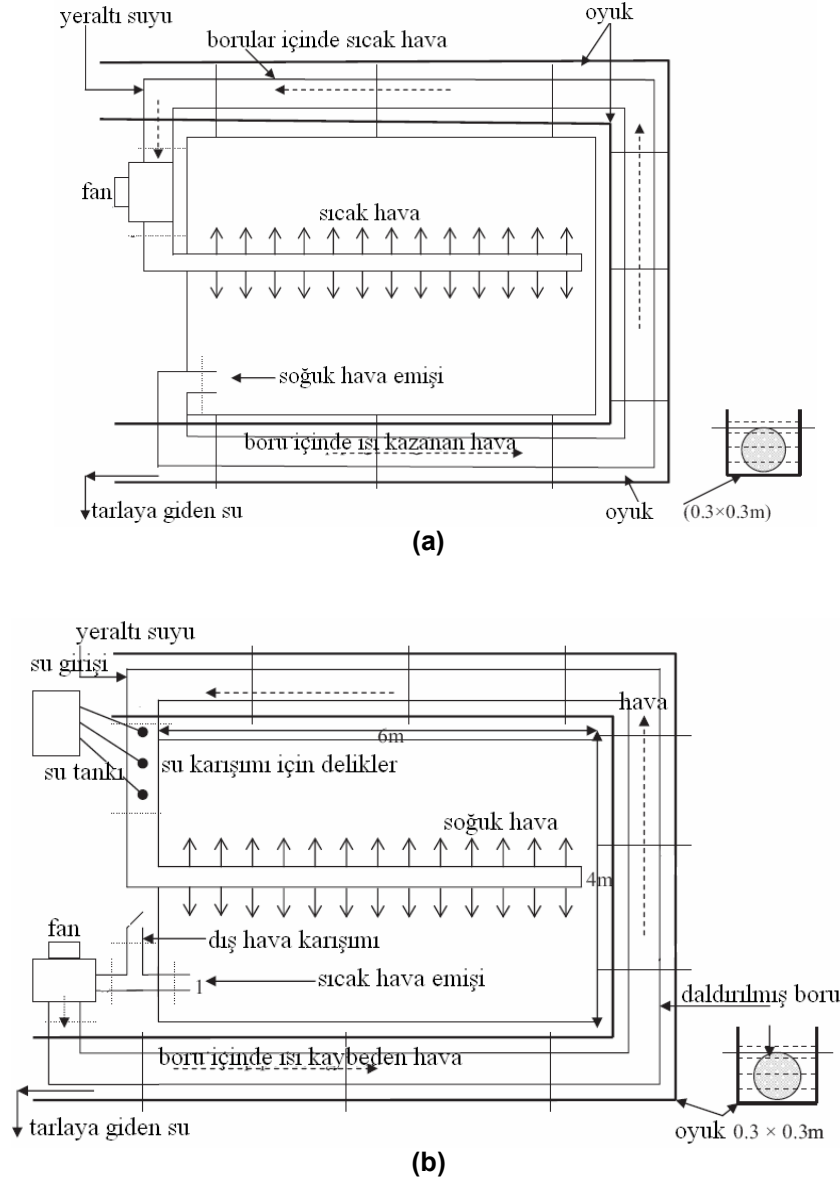


Şekil 7. Çatıdan su filmi ile evaporatif soğutma sistemi prensip şeması [9].



Şekil 8. Toprak – hava ısı değiştiricili kompozit sistem prensip şeması [10].

Hem ısıtma hem de soğutmada kullanılacak bir diğer kompozit sistem ise yeraltı suyu kullanan boşluk akışlı ısı değiştirici sistem olarak isimlendirilebilir. Bu sistemde sulama amaçlı kullanılan ve sıcaklığı sabit olan yer altı suyu hem ısıtma hem de soğutma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Şekil 9.' dan görüleceği üzere, sulama amaçlı yer altı suyu oyuklu kanal içinden akarken örtü altı alandaki hava suyun içine daldırılan yatay boru içerisinden suya ters yönlü olarak geçiş yapar. 24 m² lik örtü altı alan için Hindistan' da yapılan bir çalışmada 12.63 m² ısı transfer yüzey alanı, 0.47 kg/s hava debisi ile örtü altı iç ortam sıcaklığının dış sıcaklığa göre 7 – 9 °C yükseltilebildiği gözlenmiştir. Aynı sistemin soğutma amaçlı kullanımında ise evaporatif soğutma teknikleri ile beraber ağır yaz şartlarında örtü altı alan iç ortam sıcaklığı dış ortam sıcaklığının 6 – 7 °C altına düşürülebilmektedir. Bununla birlikte, yapılan üretimde sulama amaçlı su ihtiyacı yok ise sistemin çalışması olanaksız olduğu da vurgulanmalıdır [3,7].



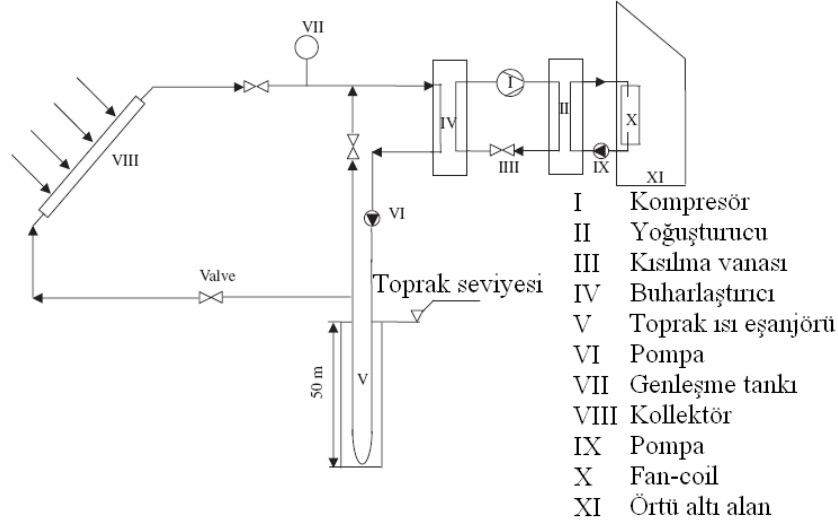
Şekil 9. Yeraltı suyu kullanan boşluk akışlı ısı değiştirici sistem prensip şeması, (a) ısıtma modu, (b) soğutma modu [11].

3. ÖRTÜ ALTI TARIMDA ISI POMPASININ KULLANIMI

Hava kaynaklı ısı pompaları hem hacim ısıtma hem de soğutma amaçlı olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerin verimleri dış sıcaklıklardaki salınımlardan etkilenmektedir. Ayrıca ısıtmanın en fazla ihtiyaç olduğu zamanlarda hava sıcaklığı düşük iken, soğutmanın ihtiyaç olduğu zamanlarda hava sıcaklığı yüksek olmakta bu da sistem verimini düşürmektedir. Isı pompaları için sabit sıcaklıklı kaynak temini hem sabit hem de yüksek verimli çalışma için oldukça önemlidir. Toprak veya yeraltı suyu, yıl boyunca hemen hemen sabit kalan sıcaklıkları ile ısı pompaları için iyi bir kaynak oluşturmaktadır. Bu avantajına rağmen hava kaynaklı sistemlere göre %30 – 50 oranında daha pahalı ilk yatırım maliyetleri ise toprak ve yer altı suyu kaynaklı ısı pompası sistemlerinin en büyük dezavantajıdır. Ancak kurulum sonrası yıllık işletme maliyetleri hava kaynaklılara göre oldukça

düşüktür. Birçok ısıl işletmede ısı pompalarının kurulumu ile konvansiyonel ısıtma sistemlerine göre %20 – 50 arasında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [12, 13].

Örtü altı alanların iklimlendirilmesinde ısı pompaları hem ısıtma hem de soğutma gibi çoklu fonksiyonlarından ötürü bir alternatif olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Şekil 10.' da örtü altı alanın ısıtılmasında kullanılan güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ısı pompasının buharlaştırıcı tarafında kaynak olarak toprak kullanılmakta, sistem COP değerini yükseltmek için güneş enerjisi ile de destek verilmektedir.



Şekil10. Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin şematik gösterimi [13].

4000 m² örtü altı alanın ısıtılmasında havadan suya ısı pompası sisteminin kullanılabilirliği güney Avustralya denemiştir. LPG kullanan kazan sistemi ile ısıtılan bir örtü altı alanda 32 kW lık COP değeri 1.6 – 4.9 arasında değişen ve ortalama 3.0 COP ile çalışan ısı pompası ile destek sağlanması durumunda LPG tüketiminde %16' lık bir düşüş elde edilmiştir. Çalışmada ısı pompasının geri ödeme süresi de yaklaşık 6 yıl olarak tespit edilmiştir [14].

Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin örtü altı uygulamaları da mevcuttur. İzmir' de yapılan bir çalışmada 50 m dikey döşeli U profilli güneş destekli toprak kaynaklı ısı pompasının performansı test edilmiştir. Sistem COP değerinin havanın bulutlu veya güneşli oluşuna göre 2 ile 3.13 arasında değiştiği gözlenmiştir. Çalışmada örtü altı alanın ısıtma yükü 7.4 kW olarak hesaplanırken, ısı pompası ısıtma kapasitesi 4.194 kW olarak belirlenmiş, dış sıcaklığın çok düşük olduğunda tek bir sistemin örtü altı alanın toplam ısı kaybını karşılayamadığı ve yardımcı ısıtma sistemlerine ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır [12, 13].

Diğer bir çalışma ise Elazığ bölgesinde 30 m² lik örtü altı alan için yapılmıştır. Bu çalışmada ise gizli ısı depolama sistemi ile kombine edilmiş toprak kaynaklı ısı pompası sistemi test edilmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompası ile hem örtü altı alan havası ısıtılırken aynı zamanda ısı depolama malzemesine de ısı aktarımı yapılmıştır. Kullanılan ısı pompasının ısıtma kapasitesi 11.63 kW olarak çalışmada verilmektedir. Bahsedilen ısı pompasının COP değerinin 2.3 ile 3.8 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Çalışmada toprak kaynaklı ısı pompası ile örtü altı alan sıcaklığı 5 – 10 °C yükseltilirken, faz değişim malzemesinin sıcaklığı da 1 – 3 °C artırılabilmiştir. Yine dış sıcaklığın çok düşük olduğunda tek bir sistemin örtü altı alanın toplam ısı kaybını karşılayamadığı ve yardımcı ısıtma sistemlerine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir [15].

Örtü altı tarımda kullanılacak ısı pompalarına yeraltı suya da iyi bir kaynak olacaktır. Hatta kış şartlarında yeraltı suyundan elde edilen enerjiye güneş enerjisi ile de takviye yapılabilir. Antalya' da yeraltı suyu kış şartlarında yaklaşık 18 °C, yaz şartlarında ise yaklaşık 19 °C' de sabit kalmaktadır. Isıtma sezonunda bu yeraltı suyundan elde edilen enerji ile güneş enerjisi takviye edilir ve yaklaşık 15 °C sabit sıcaklıklı bir kaynak elde edilebilirse, su – su kaynaklı bir ısı pompası ile ortalama 3.3 COP

değerleri ile 65 °C sıcak su temini mümkündür. Aynı ısı pompasının iç ortamda zorlanmış konveksiyon oluşturacak düzenek takviyesi ile yaz şartlarında soğutma periyodunda da kullanılması mümkün olacaktır. Yaz şartlarında yaklaşık 19 °C sıcaklıktaki yeraltı suyu ile ortalama 22 °C sıcaklıklarda sabit bir ısı kaynağı oluşturmak mümkündür. 22 °C sıcaklıklı kaynak ile yine su – su kaynaklı bir ısı pompasında ortalama 6.2 COP değeri ile 7 °C' de soğutma suyu üretmek mümkün olacaktır. Isı pompalarının örtü altı tarımda soğutma amaçlı kullanımı ile yüksek soğutma yüklerinin bir kısmını sağlamak mümkündür. Bu durum sistemlerin amortisman sürelerini de kısaltacaktır. Ancak ısıtma sistemine göre tasarlanan bir ısı pompasının örtü altı alanın tüm soğutma yükünü karşılayamayacağı, yine geleneksel evaporatif yöntemler ve/veya gölgelendirmeye ihtiyaç duyulacağı da bir gerçektir.

Isı pompaları işletme maliyetlerini oldukça düşürecektir. Isıtmada bu değeri net olarak hesaplamak mümkündür. Ancak örtü altı tarımda gölgeleme ve evaporatif teknikler dışında soğutma uygulaması yok denecek kadar azdır. Bu nedenle de soğutmada işletme maliyeti getirisini tahmin etmek oldukça zordur. Ancak ısı pompaları ile yapılacak soğutma yaz ve ara mevsimlerde de yeterli kalite ve miktarda ürün temini olarak geri dönecektir. Bu da ısı pompası sistemlerinin geri ödeme sürelerini mutlaka kısaltacaktır.

SONUÇ

Örtü altı tarımda iklimlendirme amaçlı kullanılabilecek çok sayıda sistem çalışmada tanıtılmıştır. Bunlardan bir kısmı sadece ısıtma bir kısmı sadece soğutma amaçlı kullanılırken bazı sistemler ise hem ısıtma hem de soğutma amaçlı olarak kullanılabilmektedir. Bu çalışmada yapılan değerlendirilmeler karşısında şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Örtü altı alanın ısıtılmasında ve/veya soğutulmasında tek bir sistem ile çözüme kavuşmak oldukça zordur.
- Örtü altı tarımda ısı pompalı sistemler hem ısıtma, hem de soğutmada etkin olacağı gibi diğer sistemlere nazaran örtü altı alanı dış ortama kapalı tutacağı için de tercih edilebilir gözükmektedir.
- Isıtma sezonu için toprak, yeraltı suyu ve güneş enerjisi ısı pompası için yeterli ve sabit sıcaklıklı bir ısı kaynağı oluşturmak için kullanılabilir.
- Isı pompalarını soğutma sezonunda da uygun sistem kurulumu ile belirli bir miktar kullanmak mümkündür. Ancak ısıtma amaçlı tasarlanan bir ısı pompası ile soğutma yükünün tamamını sağlamak oldukça güçtür. Mutlaka yardımcı sistemler ile takviye gerekliliği söz konusudur.
- Soğutma sezonunda ısı pompası kullanımının getirilerini tam analiz etmek oldukça zordur. İç ortam şartlarının iyileştirilmesi ile yüksek miktar ve kalitede ürün almak da sistem geri ödeme sürelerini mutlaka düşürecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Öztürk, H., "Güneş Enerjisi ve Uygulamaları", Birsen yayınevi, 2008.
- [2] Yiğit, A., Atmaca, İ., "Güneş Enerjisi ", Alfa – Aktüel yayınevi, 2010.
- [3] Sethi, V.P., Sharma, S.K., Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications, Solar Energy, 82, 832 – 859, 2008.
- [4] Jain, D., Tiwari, G.N., Modeling and optimal design of ground air collector for heating in controlled environmental greenhouse, Energy Conversion and Management, 44, 1357 – 1372, 2003.
- [5] Kürklü, A., Bilgin, S., Özkan, B., A study on the solar energy storing rock – bed to heat a polyethylene tunnel type greenhouse, Renewable Energy, 28, 683 – 697, 2003.
- [6] Jain, D., Tiwari, G.N., Modeling and optimal design of evaporative cooling system in controlled environmental greenhouse, Energy Conversion and Management, 43, 2235 – 2250, 2002.

- [7] Sethi, V.P., Sharma, S.K., Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications, *Solar Energy*, 81, 1447 – 1459, 2007.
- [8] Abdel-Ghany, A.M., Goto, E., Kozai, T., Evaporation characteristics in a naturally ventilated, fog-cooled greenhouse, *Renewable Energy*, 31, 2207 – 2226, 2006.
- [9] Ghosal, M.K., Tiwari, G.N., Srivastava, N.S.L., Modeling and experimental validation of a greenhouse with evaporative cooling by moving water film over external shade cloth, *Energy and Buildings*, 35, 843 – 850, 2003.
- [10] Ghosal, M.K., Tiwari, G.N., Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse, 47, 1779 – 1798, 2006.
- [11] Sethi, V.P., Sharma, S.K., Greenhouse heating and cooling using aquifer water, *energy*, 32, 1414 – 1421, 2007.
- [12] Ozgener, O., Hepbasli, A., Performance analysis of a solar – assisted ground – source heat pump system for greenhouse heating: an experimental study, *Building and Environment*, 40, 1040 – 1050, 2005.
- [13] Ozgener, O., Hepbasli, A., A review on the energy and exergy analysis of solar assisted heat pump systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 482 – 496, 2007.
- [14] Aye, L., Fuller, R.J., Canal, A., Evaluation of a heat pump system for greenhouse heating, *International Journal of Thermal Sciences*, 49, 202 – 208, 2010.
- [15] Benli, H., Durmuş, A., Evaluation of ground – source heat pump combined latent – heat storage system performance in greenhouse heating, *Energy and Buildings*, 41, 220 – 228, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Çağdaş ÇARKACI

1986 Eskişehir doğumludur. 2009 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu ve aynı yıl Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılından itibaren özel sektörde çalışmaktadır ve Enerji Anabilim Dalı'nda tez çalışmasına devam etmektedir.

Kıvanç ÖZKORUCU

1987 İzmir doğumludur. 2005 yılında Bornova Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamlayıp aynı üniversitede yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir. Ayrıca Antalya Teknokent'de, yenilenebilir enerjilere dayalı iklimlendirme alanında faaliyet gösteren Mitas Doğal Enerji A.Ş. firmasında 2009 yılından beri Ar-Ge mühendisi olarak görev almaktadır.

İbrahim ATMACA

1979 yılı Antalya doğumludur. 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından yüksek lisans ve 2006 yılında aynı Enstitüden Doktora derecelerini aldı. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim dalına Yardımcı Doçent olarak atandı. Halen Akdeniz Üniversitesinde Enerji Anabilim Dalı Başkanlığı görevini yürütmektedir. Aynı zamanda MMO Antalya şube yönetim kurulu üyesidir. Evli ve bir çocuk babasıdır.