



Invited Review Paper / Çağrılı Derleme Makalesi
COMBINING TREND OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Olca KINCAI*, Zafer UTLU, Haluk AĞUSTOS, Uğur AKBULUT,
Özgen AÇIKGÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Received/Geliş: 21.05.2009

ABSTRACT

Usage of Renewable Energy Sources, means saving money in terms of “energy economy”, defeats risks of energy supply lack in terms of “sustainability” and means to be independent in terms of “politics and national security”

Wind, Solar and Geothermal energy sources to be used alone, also they can be united as a **Hybrid Renewable Energy System (BYES)**.

In this study, necessity and utilization of Wind, Solar and Geothermal energy sources discussed and attracted attention to research on Renewable Energy Resources. Also given information about research on BYES.

BYES applications can be classified such as; bivalent systems, trivalent systems and multivalent systems which will use four and more Renewable Energy Sources together.

As a contribution for the literature on new “multivalent systems”, research on “**Yıldız Renewable Energy House Project**” continuing; aiming to find optimum proportion of Renewable Energy Sources which are components of a “multivalent BYES” according to regional climatic conditions.

A realization of combining trend of renewable energy sources occurring which is a necessity for the Environment.

Keywords: Hybrid renewable energy system, ground source heat pump, wind power, solar energy, thermal storage system, heating, cooling.

ISS User Guide number/numarası: TK1-1570, TJ807-830, TJ163.13-163.25,

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDA BİRLEŞME EĞİLİMİ

ÖZET

Yenilenebilir Enerji Kaynakların kullanımı, enerji ekonomisi yönünden artan yakıt maliyetleri, enerji güvenliği açısından tedarik etme ve politik açıdan da dışa bağımlılık risklerini en aza indirebilmektedir.

Rüzgâr, Güneş ve Toprak, Yenilenebilir Enerji Kaynağı olarak tek başına kullanılabilirdiği gibi, **Birleşik Yenilenebilir Enerji Sistemi (BYES)** [Hibrid Sistem] olarak da geliştirilebilir.

Bu çalışmada; Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgâr, Güneş ve Toprak ile oluşturulan BYES’in kullanım amaçları ve gerekliliği ortaya konulmuştur. Sistemin bileşenleri olan Yenilenebilir Enerji Kaynakları hakkında temel esaslar verilmiş ve irdelenmiştir.

Yenilenebilir Enerji Kaynakların dörtlü ve beşli kullanımına yönelik Yıldız Teknik Üniversitesi’nde yürütülen “**Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi**” projesi kapsamında sürdürülen araştırma ve uygulamalar örnek teşkil etmek üzere özetle belirtilmiştir. Sonuç olarak, bütün Yenilenebilir Enerji Kaynakların, bölgesel iklim koşulları gözetilerek birlikte kullanılmasını optimize eden ve enerji ihtiyaçların tamamını karşılamayı hedefleyen tek bir BYES kurulumuna yönelik çalışmalara adım, adım yaklaşılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Birleşik yenilenebilir enerji sistemi, toprak kaynaklı ısı pompası, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, ısı enerjisi depolama, ısıtma, soğutma.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: e-mail / e-ileti: okincay@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 28 13

1. GİRİŞ

Fosil yakıt kaynaklarının sürekli azalışı ve bunu takip eden fiyat artışları; artan CO₂ emisyonu ve bunun sonucu oluşan sera etkisi; fosil yakıtların yanma ürünü olan çevreye ve insan sağlığına zararlı gaz emisyonunda (CO, SO_x, NO_x, PbO_x) tehlikeli artışlar, ‘Temiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları’nın kullanımına yönelik ilgiyi daha fazla arttırmıştır. Bununla beraber, Kyoto ve AB Çevre Sözleşmeleri gibi uluslararası anlaşmalar kapsamında, egsoz edilebilecek CO₂ emisyonunun sınırlandırılması nedeni ile de Yenilenebilir Enerji Kaynakları konusunda bilimsel çalışmalara hız verilmiştir [1, 2].

Özellikle enerji ihtiyaçlarının düşük sıcaklık rejimi ile karşılanmasında etkin olarak kullanılan Yenilenebilir Enerji Kaynakları (Rüzgâr, Güneş, Toprak vb.), tek başına kullanılabilirlikleri gibi, **Birleşik Yenilenebilir Enerji Sistemi (BYES)** [Hibrid Sistem] olarak da kaynak teşkil edebilirler.

Bu sayede CO₂ emisyonu ve buna bağlı sera etkisinin azaltılması ve fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan çevre ve insan sağlığına zararlı yanma ürünlerdeki tehlikeli artışların engellenmesi konusunda olumlu sonuçlar elde edilecektir. Bununla birlikte fosil yakıt kullanımının azaltılması ve ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin olarak kullanılması ile ekonomik yönden olumlu katkılar sağlanacaktır. Dolayısı ile tasarlanan BYES aynı zamanda Sürdürülebilir Enerji Kullanımı için kalıcı çözümler sunacaktır.

Bu çalışmada; Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından olan Rüzgâr, Güneş ve Toprak ile oluşturulan BYES’in kullanım amaçları ve gerekliliği ortaya konularak, sistemi oluşturan bileşenler; Toprak Enerjisi, Güneş Enerjisi (GE), Rüzgar Enerjisi (RE) ve Isı Depolama Sistemleri (IEDS) hakkında temel bilgiler verilmektedir. Ayrıca, BYES’in çeşitleri ve uygulamaları hakkında literatürde yer alan çalışmalarla ilgili değerlendirmeler de yapılmaktadır.

2. BİRLEŞİK YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ (BYES)

Fosil yakıt kaynaklarının azalması ve aynı zamanda maliyetlerindeki artış, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik olan ilgiyi arttırmıştır. Ülkemizin de içinde bulunduğu, enerji ihtiyacını ithalat yolu ile karşılayan ülkeler bu konuyu acil olarak gündeme almaktadır. Bu bağlamda, fosil yakıt kullanımını azaltmak ve çevresel problemleri en aza indirmek amacıyla, yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeline sahip ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmaktadır. Diğer taraftan, bilim insanları tarafından farklı türde yenilenebilir enerji kaynakları birleştirilerek alternatif arayışlar ve kalıcı çözümler araştırılmaktadır.

BYES birden fazla enerji kaynağının birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Bu tür uygulamalar özellikle yıl boyunca sürekli enerji gereksiniminin olduğu durumlarda tercih edilmektedir [3].

Optimum şekilde tasarlanan BYES, sürdürülebilir enerji kullanımı prensibi bağlamında çözüm olarak görülmektedir. Fosil yakıt kullanımının tamamen terkedilerek yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik dengenin korunması yönünden son derece önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, toprak, hava, su vb. şeklinde sınıflandırılabilir. Ana enerji kaynağı olan güneşten, mahallerin ısıtılması ve soğutması, sıcak su veya buhar temini, sera ısıtması ve elektrik enerji üretimi gibi alanlarda yararlanılmaktadır.

BYES uygulamalarında Güneş Enerjisi Sistemleri (GES), Rüzgar Enerjisi Sistemleri (RES), Isı Pompası Sistemleri (IPS) ve Isıl Enerji Depolama Sistemleri (IEDS) kendi aralarında ikili veya üçlü olarak kullanılmaktadır. Hangi enerji kaynağının ne oranda kullanılacağı yöre iklim koşullarına göre belirlenebilmektedir.

BYES uygulamaları, kullanılan enerji kaynaklarına göre birçok olumlu özelliğe sahiptir. Özellikle ısı pompalarının (IP) kullanılmasıyla büyük oranda enerji tasarrufu sağlanabileceği vurgulanmaktadır. IP, yüksek COP değerleri ve sıfır emisyon yayıcılığı ile ekolojik denge ve sürdürülebilir kalkınmaya önemli katkı yapacak potansiyele sahiptir. Toprak, çevresine göre geç ısımp geç soğuduğu için Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP) sisteminin COP değeri kararlı bir

yapıdadır ve dış hava sıcaklığından pek etkilenmez. Dolayısıyla belirli sıcaklık aralıklarında çalışan pasif veya aktif ısıtma-soğutma proseslerinde TKIP kullanımını tercih etmek önemli avantajlar sağlar [4-7].

BYES uygulamaları kapsamında kullanımı gerekli olan elektrik, yenilenebilir enerji sistemleri kullanılarak (proje gereksinimlerine göre) şebekeye paralel, şebekeden bağımsız ve şebeke destekli olarak tasarlanabilir. Şebeke bağlantılı güneş pili sistemlerin gücü, birkaç kW'dan MW'lara kadar değişebilmektedir. Bu sistemler yüksek güçte santral boyutunda sistemler olabileceği gibi, daha çok küçük binalar için düşük kapasiteli uygulamalardır. Şebekeden bağımsız sistemler enerji nakil hatlarının olmadığı yerlerde tercih edilirler. İklim şartları yeterli olduğu sürece bu sistemleri kullanmak şebekeye bağlanmak için gerekli olan yatırım da göz önüne alındığında oldukça kazançlı olabilmektedir. Bu sistemlerde üretilen elektriğin depolanarak enerjinin üretilmediği zaman diliminde kullanılabilmesi için batarya (akü) sistemi gerekmektedir. Batarya kapasitesi, bölgenin iklim şartları, kullanılacak elektrikli cihazlarının kapasiteleri ve kullanım süreleri de göz önüne alınarak belirlenir. Şebekeden bağımsız sistemlerin genel uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir [8];

- a. Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri,
- b. Petrol boru hatlarının katodik koruması ve metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan korunması,
- c. Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları, bina iç ya da dış aydınlatmaları,
- d. Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki konutlarda TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması,
- e. Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompalama düzenekleri,
- f. İlkyardım, alarm ve güvenlik sistemleri ile deprem ve hava gözlem istasyonları,
- g. Orman gözetleme kuleleri, deniz fenerleri dağ evleri, çiftlikler, tekne, karavan gibi özel uygulamalar.

2.1. BYES'nin Olumlu Yönleri

BYES'nin olumlu yönlerini aşağıdaki şekilde sıralanabilir [9, 10];

- a. Yüksek etkinlik ve kararlı kapasite,
- b. Yüksek konfor ve hava kalitesi,
- c. Çevre dostu olması,
- d. Düşük bakım gideri, basit kontrol düzeneği ve ekipman,
- e. Düşük işletme maliyeti,
- f. Uzun çalışma ömrü,
- g. Gelişme potansiyeline sahip olmasıdır.

2.2. BYES'nin Olumsuz Yönleri

BYES'nin olumsuz yönlerini aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- a. BYES'in herhangi bir elemanındaki performans kaybının toplam performansı olumsuz yönde etkilemesi,
- b. Nitelikli tasarımcıların ve nitelikli müteahhitlerin sayısının sınırlı olması,
- c. İlk yatırım giderlerinin konvansiyonel kaynaklara oranla daha yüksek olması,
- d. Ticari karlılığın az olmasıdır.

3. BYES'DE TEMEL BİLEŞENLER

3.1. Isı Pompaları (IP)

IP basit olarak ısı enerjisini düşük sıcaklık derecesine (düşük enerji seviyesine) sahip bir ortamdan daha yüksek sıcaklık derecesine (yüksek enerji seviyesine) sahip diğer bir ortama taşıyan ve elektrikle beslenen bir sistemdir [4-7]. IP'da adını, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama "pompalama" veya "taşıma" kabiliyetinden alır. Bir IP'nın teknik ve ekonomik performansı, ısı kaynağı karakteristiğine bağlıdır. Binalarda kullanılan IP'ları, ısıtma dönemi boyunca yüksek ve fazla değişmeyen sıcaklık, bulunabilirlik, aşındırıcı ve kirletici etkenler taşımama, uygun termofiziksel özellikler, düşük yatırım ve işletim maliyeti gibi değerlere sahip olmalıdır. Çoğu durumda ısı kaynağının bulunabilirliği, en önemli etken olmaktadır. IP'da kaynak olarak: çevre havası, toprak, deniz, nehir, göl suyu, yeraltı suları, artık sızılar, artık gazlar, artık ısılar, güneş ve kaya kullanılabilir [11-13]. Bir IP'nı çok yönlü yapan özelliklerden biri, hem ısıtma hem de soğutma yapmasıdır.

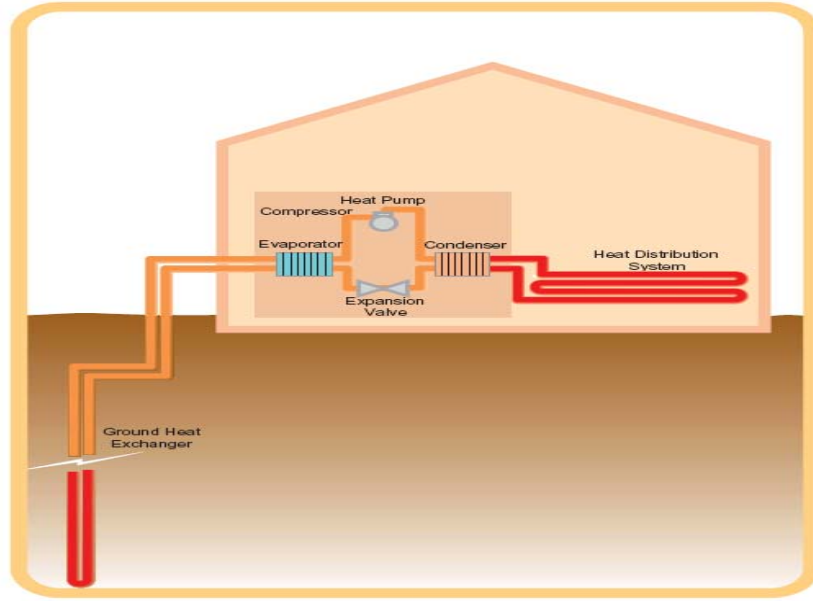
IP'nın işlevini yerine getirebilmesi için farklı sıcaklıklarda iki ortam gerekir: ısı alınan bir ısı çukuru ve ısının taşındığı ortam. İşte IP'nın sınıflandırılması da bu ortamlardan biri olan ısı çukuruna göre yapılır. IP'ları, kullandıkları ısı kaynağına göre iki sınıfa ayrılır: hava kaynaklı ısı pompaları, toprak – su kaynaklı ısı pompaları.

Hava kaynaklı ısı pompalarında sıcaklık kaynaklarından biri ısıtılmak veya soğutulmak istenen mahalin havası, diğeri ise dış havadır. Yani ısı kaynağı olarak dış hava kullanılmaktadır. Ancak dış hava koşullarının, yıl içinde mevsimler, aylar, hatta saatler boyunca değişmesi nedeniyle bu ısı pompalarının COP değeri oldukça değişkendir, kararlı değildir.

Dünyanın hayat kaynağı olan güneşten gelen enerjinin yaklaşık yarısı dünyanın kütleinde tutulur. Toprak – su kaynaklı ısı pompalarının amacı, dünyanın kütleinde bulunan bu hazır enerji kaynağından faydalanmaktır. Toprak ısıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta, soğutma sezonunda ise havadan daha düşük sıcaklıkta kalarak, tüm yıl boyunca yer yüzeyinin 1,5–2 m altında oldukça az değişen, yaklaşık olarak sabit sıcaklıklı sayılabilecek ve dolayısıyla daha kararlı bir enerji kaynağıdır [14, 15]. Her ülke, her şehir, her toprak tipine göre farklı çalışma sıcaklıkları bulunur. Toprak – su kaynaklı ısı pompaları kendi içinde üç sınıfa ayrılır: toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP), yüzey suyu ısı pompaları, yeraltı suyu ısı pompaları [14].

TKIP'da, toprak enerjisi ısı kaynağı olarak kullanılır. Bu ise, toprak altına döşenen boruların içerisinden su dolaştırılarak sağlanır. Örneğin ısıtma prosesinde, "toprak altı devresinde" ısınan su sıcaklığını buharlaştırıcıya bırakarak "ısı pompası iç devresinde" dolaştırılan soğutucu akışkanın buharlaşmasına neden olur [16]. Daha sonra kompresör bu gazı sıkıştırarak üst basınç seviyesine çıkarır. Yoğuşturucuda yoğuşan soğutucu akışkan ise ısısını "yük devresinde" dolaştırılan suya bırakır. Yaz mevsiminde ise sistem ters yönde çalıştırılır. TKIP tesisat şeması Şekil 1'de gösterilmiştir [17].

Temelde bir iç üniteyle, toprağın altına gömülmüş bir ısı değiştirgecinden meydana gelen TKIP (ısıtma-soğutma) sistemi, bu sabit sıcaklığı daha ucuz enerji elde etmek için kullanır. Görüldüğü gibi sistemde bir yakıt yakılması söz konusu değildir. Mevcut olan ancak ters yönde hareket etme eğilimindeki enerjinin ihtiyaç olan yere taşınması yani kısaca pompalanması söz konusudur. Bu nedenle işletme masrafları bakımından, doğalgaza göre %25, LPG'ye göre %65 oranında tasarrufludur [18].



Şekil 1. TKIP tesisat şeması

3.1.1. IP'nın Olumlu ve Olumsuz Yönleri

IP geleneksel ısıtma ve soğutma yöntemlerine alternatif oluşturmanın dışında farklı kaynak türlerine kıyasla bazı olumlu ve olumsuz yönlere sahiptir [4];

Olumlu Yönleri

- Yüksek etkinlik ve kararlı kapasite,
- Konfor ve hava kalitesi, çevre dostu olması,
- Basit kontroller ve ekipman, düşük bakım gideri,
- Hiçbir ilave ısıtma ihtiyacı gerektirmemesi, düşük giderli su ısıtması,
- Hiçbir dış ünite ekipmanı gerektirmemesi, paket şeklinde soğutucu ekipmanı olması,
- Tasarım esnekliği, düşük talep karakteristikleri,
- Mükemmel ömür gideri:
 - Enerji ve talep giderlerinin düşük olması,
 - Bakım giderinin düşüklüğü,
 - Ekipman ömrünün uzatılmasıdır.

Olumsuz Yönleri

- İlk yatırım giderinin daha yüksek olması,
- Performansın, toprak ısı değiştiricisine ve ekipmana bağlı olması,
- Nitelikli (ehliyetli) tasarımcıların sayısının sınırlı olması,
- Nitelikli müteahhitlerin sayısının sınırlı olmasıdır.

3.2. GÜNEŞ ENERJİSİ (GE)

GE, güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon sürecinde hidrojen gazının helyuma dönüşmesi ile ısıtma enerjisi açığa çıkmaktadır [19]. Dünya atmosferinin dışında GE'nin şiddeti, yaklaşık olarak

sabit ve 1370 W/m² değerindedir, ancak yeryüzünde 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır [20]. GE'den yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, GES teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat) ve ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olarak tespit edilmiştir [21].

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de mevcut GES'lerinin çoğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde kullanılmakta olan sıcak su üretme sistemleridir. Halen ülkemizde kurulu olan güneş kolektörü miktarı yaklaşık olarak 12 milyon m² olup, yıllık üretim hacmi 750 bin m³'dir. Bu üretimin bir miktarı da ihraç edilmektedir. Güneş kolektörlerinin ürettiği ısı enerjisinin birincil enerji tüketimimize katkısı 1998 yılına oranla on yılda %100 artarak 210 TEP'den 420 TEP'e ulaşmıştır. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş kolektörü üreticisi ve kullanıcısı durumundadır [22].

3.2.1. GE Kullanım Alanları [23, 24, 20]

a. Düzlemsel Güneş Kolektörleri

GE'ni toplayarak bir akışkana aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki ısı eşanjörleridir. En çok sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Elde edilebilecek sıcak su sıcaklığı 70-90°C civarındadır. Dünya genelinde kurulu bulunan güneş kolektörü alanı 30 milyon m²'nin üzerindedir. En fazla güneş kolektörü bulunan ülkeler arasında ABD, Japonya, Avustralya, İsrail ve Yunanistan yer almaktadır.

b. Vakumlu Güneş Kolektörleri

Bu tip kolektörlerde suyun çıkış sıcaklığı daha yüksek olduğu için (100-120°C), ısıtma ve kullanım sıcak suyunun hazırlandığı merkezi sistemlerde ve absorpsiyonlu soğutma sistemleri gibi daha geniş bir kullanım alanında yararlı olurlar.

c. Güneş Havuzları

Yaklaşık 5-6 m derinlikteki suyla kaplı bir havuzun siyah renkli zemini, güneş ışınımını tutarak 90°C sıcaklıkta sıcak su eldesine imkan verir.

d. Güneş Bacaları

Bu yöntemde güneşin ısısından kaynaklanan sera etkisinden yararlanılır. Oluşan hava hareketinden faydalanılarak türbinler yardımı ile elektrik enerjisi üretilir.

e. Güneş Kuleleri

Heliostat denen yansıtıcılara gelen güneş ışınları, tesisin merkezindeki kulenin tepesine odaklanır. Bu odaklama bölgesinde (alıcı) yoğunlaştırarak elde edilen yüksek ısı enerjisi (yaklaşık 565°C) önce sıcak depolama tankına gönderilir. Sonra Rankine çevrimi aracılığı ile elektrik enerjisi elde edilir.

f. Güneş Pilleri

Fotovoltaik piller de denen bu yarı-iletken malzemeler güneş ışığını, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5-20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevirirler.

g. Güneş Mimarisi

Bina yapı ve tasarımında yapılan çalışmalarla ısı enerjisi kullanımında ve aydınlatmada tasarruf sağlanır. Pasif olarak doğal ısı transfer mekanizmalarıyla güneş enerjisi toplanır, depolanır ve dağıtılır.

h. Ürün Kurutma ve Seralar

Güneş enerjisinin tarım alanındaki uygulamalarıdır. Bu sistemler ilkel pasif yapıda olabileceği gibi, hava hareketini sağlayan aktif bileşenler de içerir.

i. Güneş Ocakları

Çanak şeklinde ya da kutu şeklinde, içi yansıtıcı maddelerle kaplanmış güneş ocaklarında odakta ısı toplanarak yemek pişirmede kullanılır. Bu yöntem, Hindistan, Çin gibi birkaç ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca su arıtma sistemlerinde, yüzme havuzu ısıtılmasında ve birçok sahada güneş enerjisinden yararlanılmaktadır.

3.3. Isıl Enerji Depolama Sistemleri (IEDS)

Artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtlı kaynakların sınırlı olması nedeniyle, son yıllarda yapılan çalışmaların çoğu yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi konularına yönelmiştir. Bu kaynaklardan enerji elde edilmesi ve kullanımı arasındaki zaman farkı depolama ile kapatılabilmektedir.

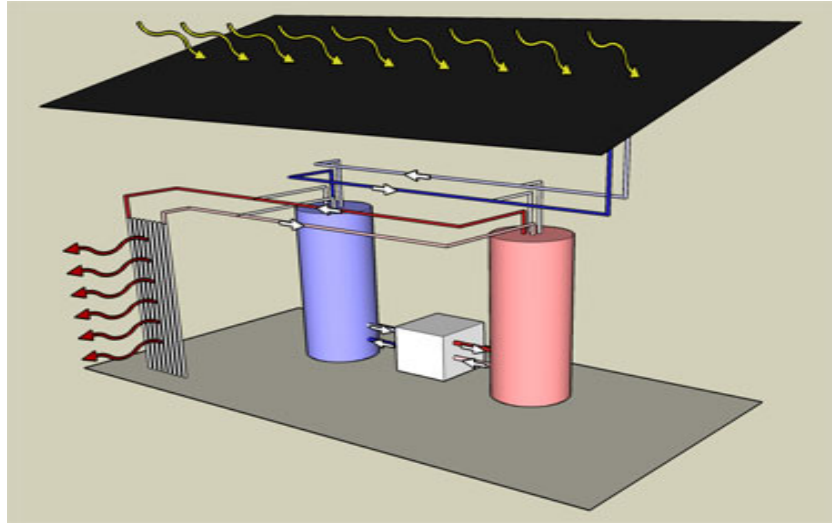
Isı enerjisi uzun süreli (mevsimlik) ve kısa süreli (haftalık) olarak depolanabilir. Bu kapsamda ısı enerjisi depolaması (IED) ısıtma, soğutma veya her iki amaçlı olarak yapılabilir. Isıl enerji zamandan bağımsız düşünülemez, ihtiyaç duyulduğunda enerji ya yokturlar ya da yetersizdir. Bu nedenle depolanması gereklidir. Enerji ihtiyacıyla birlikte üretim ve tüketim periyodunun detaylı olarak bilinmesi depolama metodunun seçiminde çok etkilidir. Isıl enerjinin başka bir enerji türüne çevrilmeden direkt ısı olarak depolanması da dönüşüm kayıplarını da yok ederek yüksek verim elde edilmesini sağlar. Çok tarifeli elektrik sistemi kullanan ülkelerde ucuz tarife kullanım periyodunda elektrik kullanımıyla elde edilen ısı da depolanmaktadır. Isıl depolama; fosil yakıt yakımının azaltılması yönü ile çevreye zararlı emisyonların azaltılması, soğutma için kullanılan elektrik enerjisinin azaltılması yönüyle de ekonomik tasarruf ve ozon tabakasına zarar veren kloroflorokarbon gazlarının sınırlandırılması kapsamında etkin rol oynamaktadır [25, 26].

IED, duyulur ısı depolama (DID), gizli ısı depolama (GID) ve termo-kimyasal ısı depolama (TID) yöntemlerinden biri kullanılarak yapılabilir. Her üç yöntemde de yüksek enerji depolama yoğunluğuna sahip malzemelerin kullanılabilirliği konusunda literatürde birçok çalışmaya rastlamak mümkündür [25, 27].

Bir maddenin sıcaklığı aynı kalırken fiziki yapısını (katı sıvı veya gaz halinde oluşunu) belirleyen ısı enerjisi miktarına gizli ısı denir. Malzeme faz değiştirme esnasında belirli miktarda ısıyı sıcaklığını değiştirmeden absorbe eder. Eğer bu malzeme saklanır ve süreç tersine çevrilirse daha önce absorbe edilen ısı yine belirgin sıcaklık değişiklikleri olmadan serbest kalacaktır. Faz değiştiren malzemelerin (FDM) depolama kapasitesi "faz değiştirme sıcaklığındaki faz değiştirme

entalpisi + depolama sıcaklık aralığındaki duyulur ısı kazancı” olarak ifade edilir. DID sistemlerinin en büyük kusurlarından biri olan büyük hacim gereksinimleri gizli ısı depolama sistemleriyle (GIDS) azaltılabilir. GIDS’leri malzemenin füzyon ısısından yararlanır. GIDS’nin çözüm bekleyen problemleri ise; büyük ısı transfer alanı gereksinimi, faz ayrıştırma, istenmeyen erime, aşırı soğuma, bozulma, hacim değişimleri ve yüksek maliyettir [27].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan GE ile birlikte kullanılan GIDS’de, güneş kolektörlerden toplanan enerji FDM’ye aktarılır. FDM katı fazdan sıvı faza geçerek faz değişimine uğrarken füzyon (erime) gizli ısı şeklinde enerji depolanır. Güneş enerjisi ihtiyacı karşılayamadığı durumlarda, FDM depolanan enerjiyi füzyon (katılaşma) ısısı şeklinde ısıtılacak ortama verirken kendisi de sıvı fazdan katı faza geçerek faz değişimine uğrar. GID’da gerekli hacim, DID göre 4-5 kat daha az olduğundan bu durum depo tasarımında önemli bir avantajdır [28]. GIDS en az üç elemandan meydana gelmelidir. Bunlar; istenen sıcaklık aralığında faz değiştirerek enerji depolayabilen FDM, maddenin konulduğu depo ve toplanan enerjinin yüksek bir verimle FDM’ye ve buradan da ısıtma ortamına taşınmasını sağlayacak olan bir ısı değiştiricidir [29]. Şekil 2’de bir GIDS’nin şematik gösterimi verilmiştir [30].



Şekil 2. GIDS’nin şematik gösterimi

FDM’lerin pek çoğunun ısıl iletkenliği zayıf, pek çoğu az veya çok korozif etkiye sahip olduğundan bu tür sistemlerde özel depolama kapları gerekmektedir. Bu durum sistemin ilk yatırım maliyetini artırır. Bu sistemler;

- Yüksek enerji yoğunluğu veya yüksek enerji kapasitesi gerektiğinde,
- Isıtılacak ortam sabit bir sıcaklıkta veya küçük bir sıcaklık aralığında enerjiye ihtiyaç duyduğunda, (örneğin ısı enerjisinin de depolandığı güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemleri ile bina ısıtılmasında)
- Depo hacminin küçük olması gereken yerlerde uygulanabilmektedir [31].

GES ile bina ısıtma ve sıcak su temini için optimum işletme sıcaklık aralığı 40–60°C’dir. Özel durumlar için bu sıcaklık aralığı 20–80°C civarında olabilir. Isı pompaları için ise bu sıcaklık aralığı 20–30°C olarak uygulanır. Bununla birlikte bu maddelerin GIDS’nde ısı depolayıcı madde olarak kullanılabilmesi için aşağıda verilen özellikleri göstermeleri gerekir [32];

- a. Erime noktası istenen çalışma sıcaklık aralığında olmalıdır.
- b. Birim kütlesinin depoladığı füzyon gizli ısı miktarı yüksek olmalıdır.
- c. Yoğunluğu yüksek olmalıdır.
- d. Özgül ısısı yüksek olmalıdır. Böylece ilave bir duyulur ısının depolanması sağlanmış olur.
- e. Isı yükleme ve boşaltma esnasında sıcaklık farklılıklarının düşük olması için ısıl iletkenliği yüksek olmalıdır.
- f. Erime anında kan ve sıvı fazlar bileşim bakımından aynı olmalı, yani uygun bir erime özelliği göstermelidir.
- g. Faz geçiş esnasında hacimdeki değişimler küçük olmalıdır.
- h. Donma esnasında aşırı soğuma göstermemeli veya çok az göstermelidir.
- i. Isı değiştirgeci (kap) malzemelerini korozyona uğratmamalıdır.
- j. Kimyasal olarak kararlı olmalıdır.
- k. Sistemin ekonomik ömrü boyunca kimyasal yapı bozulmamalıdır.
- l. Madde yanıcı, zehirleyici ve patlayıcı olmamalıdır.
- m. Madde kolay ve bol bulunmalı, ayrıca ucuz olmalıdır.

IEDS, son zamanlarda, hacim ve su ısıtması, soğutma ve iklimlendirme gibi ısı uygulamalara olan ilginin artmasıyla büyük önem kazanan ileri bir enerji teknolojisi. IEDS'nin kullanımıyla aşağıdaki yararlar sağlanabilir;

- a. Enerji giderleri ve enerji tüketimi azaltılır.
- b. İç hava kalitesi iyileştirilir.
- c. İşletme esnekliği artırılır. İlk yatırım ve bakım giderleri düşürülür.
- d. Ekipman boyutu azaltılır ve donanımlar daha verimli ve etkin kullanılır.
- e. Yakıt tasarrufu sağlanır. Çevreye zarar verici emisyonlar (CO₂ ve CFC'ler gibi) azaltılır.

3.4. Rüzgâr Enerjisi (RE)

RE, güneş radyasyonunun yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeylerinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Güneş ışınları olduğu sürece rüzgar olacaktır. Rüzgâr GE'nin dolaylı ürünüdür. Dünyaya ulaşan GE'nin yaklaşık %2 kadarı RE'ne çevrilmektedir [33, 34]. Türkiye'nin teorik olarak hesaplanan potansiyeli 83.000 MW değerindedir. Saha seçiminde öncelikle yeterli rüzgar hızının olduğu bölgeleri tespit etmek gerekmektedir. Ekonomik RES yatırımı için rüzgar hızının 7 m/s'den fazla olduğu yerler tercih edilir. Bu durum türbin seçimini de etkileyeceğinden çeşitli yüksekliklerde ölçülen hızların ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Ülkemizde 30 m yükseklikteki rüzgar hızları incelendiğinde bu yükseklikteki hızların ekonomik RES yatırımı için uygun olmadığı daha yükseklere çıkılması gerektiği tesbit edilmiştir [23].

3.4.1. RE'nin Kullanım Alanları

Elektrik üretimi ve akülerin şarj edilerek depolanması, su pompalama ve depolama, taşımacılık, tahılların öğütülmesi ve soğutma RE'nin başlıca kullanım alanlarıdır.

3.4.2. Enerji Üretiminde RE'nin Olumlu ve Olumsuz Yönleri [35, 36]

Olumlu Yönleri

- a. Temiz ve çevre kirliliğine olumsuz katkılarının olmaması ve hava kirliliği sorununu azaltması,
- b. Ucuz ve yakıt fiyatı riskinin olmaması,

- c. İklim değişikliği sorununa çözüm olması,
- d. Kırsalda elektrik ağını geliştirmesi, istihdam ve bölgesel kalkınma sağlaması,
- e. Fosil yakıtların fiyat değişkenliğinden kaynaklanan karmaşıklık önlemesi,
- f. Kaynak tükenmesi olmaması: küresel rüzgar kaynağı küresel enerji talebinden daha büyük olması,
- g. Arazi dostu: rüzgar santrali içinde veya etrafında tarım/sanayi faaliyetleri yapılabilmesi,
- h. Uygulama esnekliği: büyük ölçekli ticari santraller veya ev tipi uygulamaların mümkün olması,
- l. Enerji güvenliği açısından yakıt maliyetlerini ve uzun dönemli yakıt fiyatı risklerini eleyen ve ekonomik, politik ve tedarik riskleri açısından diğer ülkelere bağımlılığı ortadan kaldıran yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynak olmasıdır.

Olumsuz Yönleri

- a. Enerji üretimi rüzgara bağımlı olduğundan rüzgar kesilmesi veya azalması ile enerji kaybı oluşur.
- b. Türbin maliyetleri yüksek olabilmektedir. Ancak gittikçe azalan bir maliyet durumu söz konusudur.
- c. Büyük dönel bir makine olduğundan dolayı çevrede kuş ölümlerine neden olabilmektedir.
- d. Rüzgar türbinlerinin meydana getirdiği ses şiddeti çevreye gürültü olarak yansiyabilir.
- e. Türbinler; elektromanyetik dalgayı etkileyebilir.

Kyoto Protokolü'ne göre, AB 2010 yılına kadar kendi sera gazı emisyonunu 1990 seviyelerine göre %8 azaltmayı taahhüt etmiştir. Bugün AB, kurulu rüzgar gücünün her yıl 50 milyon tonun üzerinde CO₂ salınmasını engellemektedir. Eğer bugünkü büyüme sürerse, 2010 yılına kadar, rüzgar enerjisi yılda 109 milyon ton CO₂ koruması sağlayacaktır. Bu miktar Kyoto Protokolünde belirlenen miktardan % 30 daha fazladır [37].

3.5. Fotovoltaik Sistemler

Güneş pilleri diğer adıyla fotovoltaik piller (PV), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen PV'nin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır.

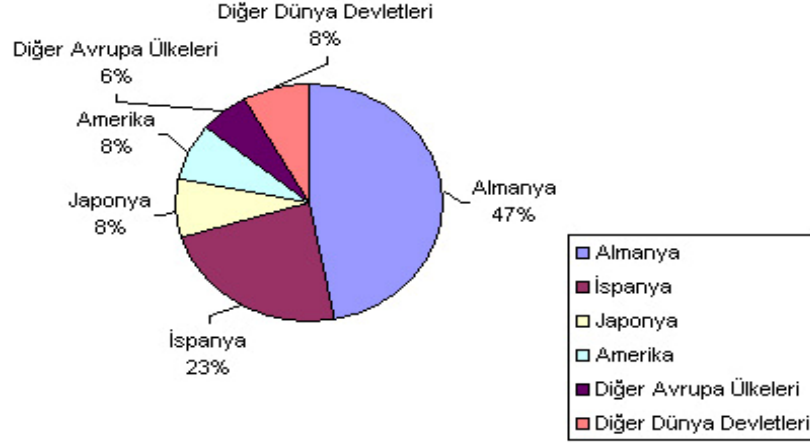
PV'yi fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. PV'nin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. PV yapısına bağlı olarak %5-20 arasında bir verimle çalışmaktadır. Sistemdeki güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya PV modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir [38]. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç W'dan MW'lara kadar sistem oluşturulur. PV sistemlerinin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları;

- a. Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri,
- b. Petrol boru hatlarının katodik koruması,
- c. Metal yapıları (köprüler, kuleler vb.) korozyondan koruması,
- d. Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları ve bina içi ya da dışı aydınlatma,
- e. Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması,
- f. Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompalanması,

- g. Orman gözetleme kuleleri, deniz fenerleri,
h. İlkyardım, alarm ve güvenlik sistemleri, deprem ve hava gözlem istasyonları vb.

Geçtiğimiz son beş yılda dünya genelinde PV üretimi yıllık bazda %30 civarında bir büyüme oranına sahip olmuştur. 2007 yılı dünya fotovoltaik pazarı 2826 MW'a ulaşmıştır. Dünyada kurulu PV'nin kullanım alanlarına göre dağılımı Şekil 3'de gösterilmiştir [39].

2007 Yılı Dünya Fotovoltaik Güneş Pili Pazarı 2826 MW



Şekil 3. Dünyada kurulu güneş pilinin kullanım alanları

4. BYES'İN GELİŞİMİ

Genel bir literatür değerlendirilmesi yapıldığında; ısıtma, soğutma ve elektrik ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak, farklı türdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının (Güneş-Toprak, Güneş-Rüzgar, Güneş-Isıl Depolama gibi) birlikte kullanıldığı ikili BYES'lerine ait birçok çalışma mevcuttur. Bu kaynakların tümünün optimum oranda kullanılarak tüm enerji ihtiyacın karşılanmasına yönelik tek bir BYES kurulumuna yönelik çalışmalara adım, adım yaklaşılmaktadır.

BYES'inin gelişimini aşağıdaki alt başlıklar altında incelemek mümkündür;

- a. İkili BYES'leri
 - GE destekli yatay tip TKIP kullanılan BYES'leri
 - GE destekli dikey tip TKIP kullanılan BYES'leri
 - GE destekli jeotermal kaynaklı IP kullanılan BYES'leri
 - GE ve RE kullanan BYES'leri
 - GE ve IEDS kullanan BYES'leri
- b. Üçlü BYES'leri
- c. Dörtlü BYES'leri

4.1. İkili BYES'leri

4.1.1. GE Destekli Yatay Tip TKIP Kullanılan BYES'leri

Bu bağlamda genel bir literatür değerlendirilmesi yapıldığında; Wijsman ve ark. [40, 41] Hollanda'nın bir kasabasında 1984'den beri çalışan, mevsimlik IED'li ısıtma sistemini incelemişlerdir. Sistemde dokuz bloktan oluşan toplam 96 güneş evi vardır. Konutlar mükemmel şekilde yalıtılmış olup tasarım şartlarındaki ısı yükü 6,3 kW ve toplam ısı yükü 1200 MWh/yıl'dır. Her bir ev için 25 m²'lik toplam yüzey alanı 2400 m² olan ısı toplayıcısı kullanılmıştır. Depolama sistemi günlük ve mevsimlik depolamadan oluşmuştur. Günlük ısı deposu, 100 m³'lük su tankı, mevsimlik ısı deposu ise 23000 m³'lük topraktır. Toprak; suya doymuş kumdur. Isı değiştiricisi toprak içerisinde düşey yerleştirilmiş olup U şeklindedir. Mevsimlik IED'li ısıtma sisteminde, tasarım için geliştirilmiş bir bilgisayar simülasyon programı kullanılmıştır. Bu programla, GE katkısının 310 kWh/m² ve toplayıcı yıllık veriminin %48 olduğu saptanmıştır. Ayrıca, simülasyon değerlerinde mevsimlik IED'nun 30-60⁰C arasında çalışacağı ve sistemin toplam elektrik tüketiminin 77 MWh (800 MWh/konut) olduğu belirlenmiştir.

Kavanaugh [42, 43] Alabama'da 150 m² alanda yapılan dikey TKIP uygulaması ile pompanın ısıtma ve soğutma sezonlarındaki çalışma karakteristikleri tespit etmiştir. Sistem, 1988'de kurulmuş olup yapının ısıtma ve soğutma yükleri, sırasıyla, 13 kW ve 10 kW'tır. Su-hava IP'da, soğutmada %10'un ve ısıtmada %15'in altında bir verime ulaşılmıştır. Bununla birlikte enerji kullanımında önemli bir azalma gözlenmiştir. Yapının 1989'daki aylık elektrik faturası en düşük 66,65 \$ ve en yüksek 98,15 \$ olarak gerçekleşmiştir. Ortalama aylık faturası ise 83 \$ olmuştur.

TKIP hakkında çok sayıda bilimsel çalışma vardır (Miles, Kavanaugh, Kavanaugh ve ark., Chaturvedi ve ark., Aziz ve ark., Healy ve ark.) [44-50]. Bunlardan bazılarının çalışma konuları şöyle sıralanabilir: Lund [51-53], Lund ve ark. [54] tarafından Amerika Birleşik Devletleri'ndeki TKIP'lerin kullanım potansiyellerini, Sanner [55] jeotermal IP'nun Almanya'daki uygulamalarını, Kılıç [56] teorik olarak RE ve hibrid IP sistemiyle hacim ısıtması soğutması ve iklimlendirilmesini, Utlu [7] İzmir koşullarında GE destekli IP ile hacim ısıtma modellemesini, Chiasson ve ark. [57] TKIP'lerinin sonlu elemanlar metodunu kullanarak tasarımı ve simülasyonunu, Hancıoğlu [6], Hepbaşlı, Hepbaşlı ve ark. [58-61] Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde pasif ısıtma ve havalandırma özelliği olan 65 m²'lik bir sınıf için uygulanan 50 m düşey sondajlı TKIP sisteminin COP, enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır.

Kıncay ve ark., Akbulut ve ark., Açıkgöz ve ark. [62-64, 14, 16] İstanbul'da yaptıkları bir uygulama ile dikey TKIP'da ısıtma sezonu için COP'nin 2,5-3,2 arasında değiştiğini göstermişlerdir. Ayrıca bir villa için hesaplanan yüklere göre de ısıtma ve soğutma amacı ile önce dikey TKIP sistemi sonra hava kaynaklı IPS için tasarımlar yaparak TKIP sistemin yıllık toplam maliyetinin %19 daha ucuz olduğu bulmuşlardır. Aynı villada sadece ısıtma amacı ile toprak ve göl kaynaklı IPS'leri ile doğalgaz ve LPG'li ısıtma sistemlerini kullanmak üzere gerekli hesaplamalar yapılmış ve tüm sistemlerin birim enerji maliyetleri çıkarılarak, eskalasyon oranının %3,2 değerinden sonra dikey tip ve %5,7 değerinden sonra da yatay tip TKIP sisteminin LPG ısıtma sistemine göre daha ekonomik olduğunu göstermişlerdir. IP sistemlerin ülkemizde işletme maliyetleri açısından konvansiyonel sistemlere göre çok daha ucuz, yatırım maliyetlerinin ise yüksek olduğunu söyleyen araştırmacılar bu sistemlerin ısıtma, pasif soğutma ve sıcak su ihtiyacının da karşılanması ile ilk yatırım maliyetin düşüceğini vurgulamışlardır. Zeng ve ark. [65] dikey toprak altı ısı değiştiricilerinin ısı transfer analizini, İnallı ve ark. [66] yatay toprak altı ısı değiştiricilerinin performanslarını incelemişlerdir. Demir [67] yatay tip TKIP kullanarak toprağın zamana bağlı sıcaklık eğrilerini çıkarmıştır. Dursun ve ark. [68] soğuk iklim bölgelerinde toprak/su kaynaklı IP'nın kullanımı konularını genel olarak incelemişlerdir.

GE destekli IP'larıyla özellikle sıcak su elde etmeye yönelik çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Yamankaradeniz ve ark. [69], Hulin ve ark. [70] GE destekli IP'nın teorik ve

deneysel olarak karakteristikleri ile IP'lı sıcak su hazırlama sistemini incelemişlerdir. Benzer bir çalışma da Axaopoulos ve ark. [71] tarafından yapılmış olup sistemin COP değeri 3 olarak bulunmuştur. Bu bağlamda Kaygusuz [72-74] tarafından Türkiye'nin Karadeniz bölgesinde evsel ısıtma için enerji depolama ile GE destekli IP'nın yeterliliği üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 75 m²'lik bir laboratuvar, 30 m² güneş toplayıcısı, hava ve su kaynaklı iki evaporatör ve bir kondenserli IPS ısıtma sezonu için incelenmiştir. Hancıoğlu [75], Ersöz [76] yaptıkları benzer çalışmalar ile ısıtma sezonu için güneş toplayıcısı etkisini, IP ve sistem COP değerlerini, depolama etkisi ile sistemin toplam enerji tüketimini hesaplamışlardır. Ayrıca ekserji verimleri ve depolama etkisi de incelenmiştir. Huang ve ark. [77, 78], Rankine çevrimi esasına dayalı olarak kurdukları sistemde, R-134 soğutucu akışkan kullanarak sıcak su elde etmişlerdir. Bu çalışmada, COP 2,5-3,7 arasında bulunmuştur.

Kuang ve ark. [79] geliştirdikleri GE destekli IPS ile sıcak su hazırlama sistemi kurmuşlar ve düzlemsel güneş toplayıcısını, evaporatör olarak çalıştırmışlardır. Bu sistemde toplayıcı verimi %40-60 iken, COP değeri 4-6 arasında değişmektedir. Benzer şekilde Huang ve ark. [80] tarafından yapılan bir çalışmada da, COP değeri 1,7-2,5 olarak elde edilmiştir. Yumrutaş ve ark. [81], GE destekli IPS'i ile mahal ısıtılmasını gerçekleştirmişler ve yerden ısıtma sistemi kullanmışlardır. Her türlü hava şartı için GE'nin sistemin COP'si üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bi ve ark. [82] teorik ve deneysel olarak GE destekli TKIP sistemi ile dikey çift sarmal borulu yersel eşanjörle sadece ısıtma sezonu için çalışma yapmışlardır. Sistemlerin tek başlarına çalışma konumunda COP değeri 2,73-2,83 aralığında bulunmuştur.

Li ve ark. tarafından [83] direkt genişlemeli GE destekli IP su ısıtıcısı deneysel kurulumu tanıtılmış ve analiz edilmiştir. Bu sistemde 4,20 m²'lik direk genişlemeli tip kollektör/evaporatör, R22 rotary-tip hermektik kompresör (0,75 kW güç girdili), 150 l su tankı (60 m bakır serpantin daldırılmış ve dış denge tipi termostatik genişleme vanası) vardır. Deneysel çalışma sonucu (tipik bir Shanghai bahar ikliminde) sistem COP'si 6,61'e ulaşabilmektedir. 150 lt'lik tankın sıcaklığı 13,4°C'den 50,5 °C'ye 94 dak'da 20,6°C ortalama hava sıcaklığına çıkarıldığından) sistem performansı, 17,1°C hava sıcaklığı ve yağmurlu bir gecede 3,11'dir. Mevsimsel olarak COP ve kollektör etkenliği 5,25 ve 1,08 ölçülmüştür. Sistem elemanlarının üzerinde yapılan ekserji analizlerinden en yüksek ekserji kaybının kollektörlerde gerçekleştiği hesaplanmıştır. Bunu kollektör / evaporatör, kondenser ve genişleme vanası sırasıyla izler. Her bir eleman için ya da tüm sistem için ısı performansın geliştirilmesi açısından bazı yöntemler önerilmiştir.

Dikici ve ark. [84] GE destekli IPS'nin performans analizi ve enerji-ekserji dengelikleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında düzlem kollektörleri olan, GE destekli IPS evsel ısıtmada kullanım için deneysel olarak incelenmiştir. Bu sistem 60 m²'lik bir alanda Fırat Üniversitesi'nde, Elazığ (38,411 N; 39,141 E) koordinatlarında kurulmuştur. Isıtma sezonunda, Ocak 2003'de veriler toplanmıştır. Sistemin COP'si 3,08 olarak bulunmuştur. Bu sıra güneş kollektörlerinde ekserji kaybı 1,92 kW'tır. Kompresör, kondenser, evaporatör ve güneş ısı değiştiricisi için ekserji verimleri sırasıyla: %42,1 - %83,7 - %43,2 ve % 9,4 olarak gerçekleşmiştir. Tüm sistemin birinci yasa verimi ve ekserji verimi % 65,6 ve % 30,8 dir. Enerji ve ekserji analizleri evaporatörde ekserji kayıpları azaldıkça COP değerinin yükseleceğini göstermektedir.

4.1.1. GE Destekli Dikey Tip TKIP Kullanılan BYES'leri

Özgener ve ark. [85-89] GE destekli, düşey TKIP ile sera ısıtmasında TKIP'nın ve BYES'nin; 10,93°C referans sıcaklığında, ekserji verimi sırasıyla; %71,8 ve %67,7 olarak elde edilmiştir. Sistemdeki en büyük tersinmezlikler, seranın fancoil ünitesi, kompresör, kondenser, kısılma vanası ve evaporatörde görünmektedir. TKIP sistemlerinin modellenmesi ve COP'lerinin değerlendirilmesinde, dikey ve yatay tip TKIP'nın COP değerleri sırasıyla; 3,64 ve 3,12 olarak bulunmuştur. GE ile birlikte çalışan dikey ve yatay tip TKIP'nın COP değeri ise 3,43 ve 2,72'dir.

Akpınar ve ark. [90], konut uygulamalarında GE destekli ve desteksiz iki TKIP sistemi için ekserji analizi yapılmış ve ekserji verimleri sırası ile 0,0144 ve 0,0383 arasında olduğu tespit edilmiştir. Her iki sistemdeki yüksek olan tersinmezliklerin; elektrik, mekanik ve izantropik verimlerindeki düşümlere bağlı olduğu görülmüştür.

Yang ve ark. [91], TKIP sisteminde toprağa gömülen serpantin boru çapları ve sisteminin çalışma süresi ile serpantin çevresindeki toprak sıcaklığının değişimi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Li ve ark. [92] simülasyon çalışması yaparak, 30 yıl boyunca topraktan çekilen ısı miktarı toprağa tekrar geri verildiğinde, GE destekli IPS'nin sürdürülebilir bir ısı çevrim düzeneği oluşturduğunu saptamışlardır. 5 yıl boyunca sadece topraktan ısı çekilirse toprak sıcaklığının 6°C'ye kadar düşebileceği, toprağa 13 yıl boyunca ısı verilirse toprak sıcaklığının 35°C'nin üzerine çıkabileceği ve bu son şekli ile hava şartlandırmanın yapılamayacağını vurgulamışlardır. Toprağı ısı kaynağı ve ısı kuyusu olarak yüksek verimlilikle sürdürülebilir olarak kullanabilmenin yolunun, topraktan aldığımız kadar ısıyı toprağa geri vermek olduğu belirterek BYES'leri önermişlerdir.

4.1.2. GE Destekli Jeotermal Kaynaklı IP Kullanılan BYES'leri

Omer [93] TKIP sistemleri ve uygulamaları hakkındaki araştırmaları bir araya toplamaya çalışmıştır. Bu araştırmada toprak ya da su kaynaklı IP'larının, mahal ısıtma-soğutmada kullanılan oldukça verimli sistemler olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bu teknolojinin toprağın derinliklerinde sıcaklığın sabit kabul edilebilmesi gerçeğine dayandığını belirterek bu sıcaklığın kışın hava sıcaklığından yüksek, yazın ise daha düşük olduğunu vurgulamıştır. Bir jeotermal IP sistemi, kışın mahalle ısı aktardığı gibi yazın mahalden ısı çekilmesini sağlamaktadır. Sıcak kaynaklar gibi özel koşullar bir jeotermal IP'nin çalışması için gerekli değildir. Jeotermal kaynaklı IP enerji tüketimini azaltmaları ve sera gazı emisyonunu azaltmaları bakımından dikkat çekmektedir. Bu teknoloji Kuzey Amerika ve Avrupa'nın bazı kesimlerinde başarıyla uygulanmakta olup İngiltere'de ise gelişme aşamasındadır. Bu çalışma jeotermal kaynaklı IP teknolojisi hakkında literatür bazlı bir derleme olup, çevrimler ve toprak altı devresi sistemleri üzerinde durularak uygulamalara ve maliyetlere özetle değinilmiştir.

Gao ve ark. [94] Çin'in Shanghai yöresinde bölgesel ısıtma ve soğutma sistemlerinde jeotermal enerjinin değerlendirilmesi için, jeotermal kaynaklı IPS üzerindeki ısı değiştiriciler hakkında bir çalışma sunmuşlardır. Değişik tiplerdeki dikey kazık temelli ısı değiştiricileri seçilerek en verimli olanın seçimi için kıyaslanmışlardır. Bu amaçla basit kazık temelli ısı değiştiricileri için bir seri performans deneyi düzenlenerek alınan veriler değerlendirilmiştir. Ayrıca ısı transfer performansı, boru hattındaki suda, beton kazıkta ve toprakta, kondüksiyon ve konveksiyon mekanizmalarını kapsayan nümerik bir metotla da analiz edilmiştir. Toprak sıcaklığındaki 5 yıllık dönemdeki değişimi araştırılmıştır. Söz konusu uygulamada jeotermal enerji potansiyelini belirlemek amacıyla birbirine göre dengesiz olan ısıtma ve soğutma yükleri sonucu oluşan nümerik sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın amacı ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılacak büyük ölçekli jeotermal kaynaklı IPS'lerinin tasarımında kullanılacak bir kılavuz oluşturmaktır.

4.1.3. GE Destekli Hava, Su Kaynaklı IP Kullanılan BYES'leri

Badescu [95] hacim ısıtılmasında, hava ısıtıcılı IP'yla %20-35'e varan enerji tasarrufu sağlamıştır. Ayrıca Badescu [96, 97] ekolojik bir binanın, güneş radyasyonundan elde edilen enerji ile model ısıtılmasını planlamıştır. IP'nin elektrik enerjisi ihtiyacının da PV'lerle sağlanmasını inceleyerek tüm sistemin enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Reyes ve ark. [98, 99], Cervantes ve ark. [100] ise içersinde R-22'nin dolaştığı 4,5 m²'lik düzlemsel güneş toplayıcısını evaporatör olarak kullanarak tüm sistemin ekserji analizini hesaplamışlardır.

Hawlader ve ark. [101] IP'lı sıcak su hazırlama sisteminin COP değerini simülasyona göre 7 ve deneysel ölçümlere göre ise 5 olarak bulmuşlardır.

Urchueguía ve ark. [102] tarafından tipik Akdeniz iklimi bölgelerinde hava kaynaklı IP ile TKIP'nin enerji performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmalarında, TKIP sistemlerinin soğutma ihtiyacının baskın olduğu karma iklimlerde kullanımının teknik ve ekonomik fizibilitesini değerlendirilmiştir. TKIP sistemiyle hava kaynaklı IP ısıtma ve soğutma COP değerleri bakımından mukayese edilmiştir. Direkt olarak yapılan karşılaştırma, sistemlerin aynı ısı yüklerine ve iklimik şartlara sahip bir binaya paralel bağlanması suretiyle gerçekleştirilmiştir.

4.1.4. GE ve RE Kullanan BYES'leri

Yenilenebilir enerji kaynaklarından GE ve RE'nin kullanımı arttırmaktadır. Önceleri sadece kırsal ve şebekeden uzak olan bölgelerde kullanılırken, günümüzde bazı bölgelerde normal şebeke gerilimine destek olarak kullanılmaktadırlar. Yakın gelecekte ise fosil yakıtlı enerji üretim santrallerine alternatif olarak kullanımlarının yaygınlaşacağı öngörülmektedir. GE'den elektrik üreten sistemler güneş ışığını foton ışınması prensibine göre doğrudan elektrik enerjisine çevirirken, RE'ni elektrik enerjisine çeviren sistemler ilk olarak rüzgâr hızlarını hareket enerjisine ve daha sonra da hareket enerjisini elektrik enerjisine çevirmektedirler. GE ve RE'den elektrik üreten sistemlerin ilk kurulum maliyetleri günümüzde hala oldukça yüksektir. Bu nedenle bu tür sistemlerin tesis edilmesinden önce ilk olarak sistemin kurulacağı bölgenin rüzgâr ve güneş potansiyelleri analiz edilmelidir. Bu analiz, bölgeye ait geçmiş yıllardaki veriler kullanılarak yapılır. Analizlerde kullanılan istatistiksel veri adeti ne kadar artarsa o kadar doğru sonuçlar elde edilir. Genellikle bir bölgenin potansiyelini belirlemek amacıyla, rüzgâr ve güneşin mevsimsel özellik gösteriyor olmalarından dolayı en az bir yıllık veriye ihtiyaç duyulur. Rüzgâr verilerinin analizinde genellikle Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılır. Yapılan birçok çalışma bir bölgedeki rüzgâr verilerinin davranışlarının bu dağılımlara uygun olduğunu göstermiştir [103-105].

Engin ve ark. [104] tarafından yapılan araştırmada güvenlik aydınlatması yapacak güneş-rüzgâr BYES'ni (hibrid enerji) boyutlandırılmıştır. Boyutlandırılan sistem kurularak bir yıl boyunca güneş verileri, rüzgâr türbini, batarya gurubu, şarj regülatörleri ve invertörün performans değerleri ölçülmüştür. Bu veriler kullanılarak üretilen enerjinin kaynaklara göre dağılımı, sistemin verimi, güvenilirliği ve tüketilen enerjinin birim maliyeti hesaplanmıştır. Yine bu verilere göre BYES'nin verimini arttırmak, ürettiği enerjinin birim maliyeti düşürmek ve güvenilirliğini yükseltmek için kurulu sistem üzerinde yapılması gereken yenilikler tartışılmıştır.

Liu ve ark. [105] tarafından GE ve RE'nin birlikte kullanımı konusunda bölgesel araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalara göre her iki sistemin birlikte kullanımının konvansiyonel enerji ihtiyacını azaltacağını belirlemişler, fakat bu durumun tamamen iklim şartlarına bağlı olarak gelişebileceğini ortaya koymuşlardır.

Hocaoğlu ve ark. [106] ise yaptıkları çalışmada, bir bölgede kurulması hedeflenen olası RE'den elektrik enerjisi üreten sistemlerin ve kurulacakları yerlerin en iyi bir biçimde seçilmelerine olanak sağlayan WasP yazılımını tanıtmışlar ve bu yazılımı kullanılarak örnek olarak ele alınan Eskişehir bölgesine ait bir aylık rüzgâr verisini analiz ederek bölgeye kurulacak olası rüzgâr türbinlerinin yerlerini tespit etmişlerdir.

4.2. Üçlü BYES'leri

4.2.1. GE, TKIP ve IEDS Kullanan BYES'leri

Wang ve ark. [107] konutlar için, yeraltı ısı deposuna (IED) sahip, GE destekli bir IPS uygulaması hakkında araştırma yaparak bir uygulama sunmuşlar ve deneysel sonuçlara

dayanılarak sistemin çalışma performansını modellemişlerdir. Sonuçlar, sistemin IED'nun performansı güneş ışıma yoğunluğu değerleri ile birlikte IED hacmi ve GE toplayıcı alanı uyumu ile yakından ilgili olduğunu göstermektedir. Güneş ışıması ile bağlantılı olarak su tankı sıcaklığı ve toprak sıcaklığı günün belirli zamanlarında artarak birkaç pik noktası oluşturmaktadır. Bu çalışmada kolektörlerden toplanan enerjinin %76'sı yeraltı IED'da toplanabilmektedir.

Gao ve ark. [108] Çin ve diğer ülkelerde TKIP'dan yeraltı IEDS'lerine doğru gelişmeler konusunda araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında; IEDS'lerinin yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımına önemli destek sağladığı ve gelecekte daha çok kullanılmalarının beklendiği vurgulamışlardır. IEDS'lerinin depolanan ısı enerjisinin kullanılmasına verdiği büyük olanaklar nedeni ile fosil yakıtların tüketilmesinde azaltıcı rol oynadıkları belirtilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları sistemlere kısa veya uzun periyotlu enerji depoları eklenmesi suretiyle daha verimli kullanılabilir. Yeraltı IEDS, Kuzey Amerika ve Avrupa'da en çok IED teknolojisidir. Aşamalı olarak TKIP ile birlikte gelişmektedir. Ancak yeraltı IEDS'leri; enerji yüklenmesi, akümüasyonu, stoklanması ve çekilmesi gibi kararsız prosesler içerir. Bu çalışmada dünyadaki yeraltı IEDS'leri ve birlikte yürütülen TKIP çalışmaları özetlenmiştir. Özellikle toprak/kaya tipi yeraltı IEDS'lerine değinilmiştir. Sonrada Çin'deki yeraltı IEDS'lerinin gelişmeleri incelenmiştir. Teorik ve pratik problemlerin çözülmesiyle birlikte Çin'de daha fazla sayıda yeraltı IEDS'lerinin tesis edilmesi umulduğu belirtilmiştir.

Benli ve ark. [109] yapmış oldukları çalışmada sera ısıtmasında gizli ısı depolama sistemi (GIDS) ile birleştirilmiş olan TKIP sisteminin çalışma performansının değerlendirilmesini incelemişlerdir. Sera ısıtmasında, kışın ve soğuk günlerde yenilenebilir enerji kullanılması fosil yakıtların kullanımında azalma sağlayacaktır. Ayrıca bu teknikle beraber yeşil bitki örtüsünün korunması, kaliteli sera ürünlerinin elde edilmesi, enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve salınan sera gazı emisyonunun azaltılması da söz konusudur. Bu çalışmada bir TKIP sistemi ile FDM içeren bir IEDS birleştirilerek kullanılmıştır. Bu BYES'de IP'nın COP değeri (COP_{IP}), tüm sistemin COP değeri (COP_{sistem}) ve FDM içeren IED'nun şarj-deşarj süreçlerindeki enerji kapasitesi tespit edilmiştir. Sekiz ay boyunca Elazığ'da yapılan ölçümlerin sonuçlarına dayanarak COP_{IP} değeri ortalamasının 2,3-3,8 ve COP_{sistem} ortalamasının 2-3,5 değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre BYES'nin sera ısıtmasında kullanılmasının uygun olduğu belirtilmiştir.

Yu ve ark. [110] toprakta soğu depolamanın yapıldığı, birleşik TKIP sistemini incelemişlerdir. Bu çalışmada, pik elektrik yükünün düşürülmesi, maximum ve minimum yük dengesinin sağlanması amacıyla toprakta soğu depolamanın yapıldığı birleşik TKIP sisteminde; nemli toprak soğu deposu, borular ve toprak altı ısı değiştiricileri ise soğu depolama ekipmanları olarak kullanılmaktadır. Soğutma sezonunda, düşük yük anında toprakta depolanan soğu enerjisi pik yük anında devreye alınmaktadır. Diğer sezonlarda ise TKIP sistemi ısıtma-soğutma amaçlı kullanılabilir. BYES ile toprakta soğu enerjisinin şarjını-deşarjını belirlemek üzere bir matematiksel model oluşturulmuştur. Ayrıca sistemin performansını simüle edecek bir yazılım hazırlanmıştır. Şarj giriş sıcaklığı, boru çapı, toprağın nem miktarı ve boruların birbirlerinden uzaklıkları gibi önemli parametrelerin değişmesi durumunda sistem performansının alacağı değerler hakkında parametrik bir çalışma yapılmıştır.

Wang ve ark. tarafından [111] konutlar için GE destekli IP ile yeraltında IED'dan oluşan BYES'nin COP değerinin analizini yapmışlardır. Deneysel çalışma sonuçları ve simülasyon programı kullanılarak parametrik etkiler değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sistemin IED'nun performansı güneş ışıma yoğunluğu değerleri ile birlikte IED hacmi ve GE toplayıcı alanı uyumu ile yakından ilgili olduğunu göstermektedir. GE ile bağlantılı olarak su tankı sıcaklığı ve toprak sıcaklığı günün belirli zamanlarında artarak birkaç pik noktası oluşturmaktadır. Tianjin iklimi şartlarında, kolektörlerden toplanan enerjinin %40-70 kadarı yeraltı IED'da toplanabilmektedir. Benzer BYES tasarımları için tank hacmi ve GE kolektör yüzey alanı arasında 20-40 l/m² arasında bir oran önerilmektedir.

4.3. Dörtlü BYES'leri

BYES uygulamalarının ikili, üçlü olarak yaygın kullanım alanlarının ve araştırmalarının olmasına rağmen, dörtlü BYES henüz yeni bir uygulama ve araştırma alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda ayrıntılı bir referans çalışması mevcut değildir. Ancak Yıldız Teknik Üniversitesi'nde yürütülen “**Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi**” projesi yenilenebilir enerji kaynaklarının dörtlü ve beşli kullanımına yönelik ilk ayrıntılı uygulama çalışma olarak değerlendirilmelidir.

Bu uygulama Kıncay ve ark. tarafından [112] ‘Temiz Enerji ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Etkin Kullanımı’ konusunda yapılan çalışmalara deneysel olarak bir katkıda bulunmak amacı ile YTÜ Davutpaşa Yerleşkesi'nde gerçekleştirilmiştir. Projede yenilenebilir enerji kaynaklarından RE, GE, dikey tip TKIP ve GIDS'den oluşan BYES düşünülmüştür. Isıtmada düşük sıcaklık rejimi ile duvardan ısıtma sistemi (DIS) uygulanarak yenilenebilir kaynakların optimum olarak kullanılması ve tesisattaki cihazların minimum kapasite ile çalıştırılması amaçlanmıştır. Bu projeden elde edilecek çıktılar ise ısı ve elektrik enerjisi olarak hedeflenmiştir. Ayrıca BYES'de binaya ait ısı yalıtım değişkenlerinin dikkate alındığı bu çalışma ülkemizin her bölgesi için optimum çözümün araştırılacağı özgün bir tasarımıdır.

BYES sisteminin kullanılması ile CO₂ emisyonuna bağlı sera etkisi ve fosil kaynakların yanması sonucu ortaya çıkan zararlı yanma ürünlerindeki azalma miktarı hesaplanabilecektir. Bununla birlikte fosil yakıt kullanımının azaltılması ve sahip olduğumuz yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin olarak değerlendirilmesi ülkemizin ekonomisi ve enerji politikaları açısından önemlidir. Diğer bir ifade ile, tasarlanan BYES'in sürdürülebilir enerji kullanımı için kalıcı çözümler sunması beklenmektedir. Şekil 4'de enerji evinin kurulum çalışmalarına ait örnekler verilmiştir.



Şekil 4. Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'nin kurulum çalışmaları

‘Rüzgar Enerjisi, Güneş Enerjisi, Toprak Kaynaklı Dikey Tip Isı Pompası, Isıl Enerji Depolama Sistem Bileşenleri ile Isıtma, Soğutma ve Aydınlatma Amaçlı Oluşturulacak Birleşik Yenilenebilir Enerji Sisteminin Modelleme ve Analizlerinin Gerçekleştirilmesi, Deneysel Olarak İncelenmesi’ isimli proje, 2007 yılında YTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne yapılan başvuru sonucu kabul edilmiş; ancak proje ekibi kendilerine Ağustos 2008'de tahsis edilen iki katlı, toplam 46 m² taban alanına sahip olan konteynerde çalışmalarına başlayabilmiş ve konteynere ‘**Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi**’ adını vermiştir. Çalışmalar halen devam etmektedir.

4. SONUÇ

Fosil yakıt kullanımının tamamen terkedilerek Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının kullanılması, sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik dengenin korunması yönünden son derece önemlidir. Özellikle düşük sıcaklık rejimi ile enerji ihtiyaçların karşılanmasında etkin olarak kullanılan Yenilenebilir Enerji Kaynakların yaygın hale getirmek için bilimsel ve teknolojik yönde araştırma, uygulama ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Ayrıca bu kaynaklardan enerji elde edilmesi ve kullanımı arasındaki zaman farkı depolama ile kapatılabilmektedir.

Bu çalışmada öncelikle Yenilenebilir Enerji Kaynakları'nın kullanıldığı BYES'ler ele alınarak kullanımlarına yönelik genel bilgiler sunulmuştur. Rüzgâr, Güneş ve Toprak **Yenilenebilir Enerji Kaynağı** olarak tek başına kullanılabilirdiği gibi, **BYES** [Hibrid Sistem] kaynak teşkil edebilir. Konuyla ilgili literatür değerlendirmesi yapılarak; ısıtma, soğutma ve elektrik ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak, farklı türdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının ikili kullanıldığı sistemler (GE destekli yatay tip TKIP, GE destekli dikey tip TKIP, GE destekli jeotermal kaynaklı IP, GE ve RE'nin birlikte kullanıldığı, GE ve ID'nin birlikte kullanıldığı) ve yenilenebilir enerji kaynaklarının üçlü kullanıldığı sistemler (GE, TKIP ve ID) incelenmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi'nde yürütülen "**Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi**" projesinin ise yenilenebilir enerji kaynaklarının dörtlü ve beşli kullanımına yönelik ilk ayrıntılı uygulama çalışması olduğu vurgulanmıştır.

Bu çalışmaların ortak sonucu olarak, yöresel iklim ve şartlar da gözeticilerle yenilenebilir enerji kaynaklarının tümünün optimum oranda kullanılarak tüm enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik tek bir **BYES** kurulumuna yönelik çalışmaların hızla devam ettiği ve sistemlerin birleşme eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Hepbaşlı, A., Utlu, Z., Evaluating the Energy Utilization Efficiency of Turkey's Renewable Energy Sources During 2001, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 3, 237-255, 2004.
- [2] Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Dair **Kyoto Protokolü**, Available from: <http://www.iklim.cevreorman.gov.tr/kyoto/tur.htm> [Erişim Tarihi Mayıs 22, 2009].
- [3] Dawoud, B., A Hybrid Solar-assisted Adsorption Cooling Unit for Vaccine Storage *Renewable Energy*, 32, 6, 947-964, 2007.
- [4] Hepbaşlı, A., Ertöz, Ö., Geleceğin Teknolojisi : Yer kaynaklı ısı pompaları, 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi, 445-492, 1999.
- [5] Hepbaşlı, A., A Key Review on Exergetic Analysis and Assessment of Renewable Energy Resources for a Sustainable Future, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 3, 593-661, 2008.
- [6] Hancıoğlu, E., YL Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
- [7] Utlu, Z., YL Tezi, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, 1999.
- [8] Güneş Pilleri, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 1992.
- [9] Zhai, H., Dai, Y.J., Wu, J.Y., Wang, R.Z., Energy and Exergy Analyses on a Novel Hybrid Solar Heating, Cooling and Power Generation System for Remote Areas, *Applied Energy*, 86, 9, 1395-1404, 2009.
- [10] Liu, L., Wang, Z., The Development and Application Practice of Wind-Solar Energy Hybrid Generation Systems in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 6, 7, 1504-1512, 2009.
- [11] Hepbaşlı, A., Kalinci, Y., A Review of Heat Pump Water Heating Systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 6, 7, 1211-1229, 2009.

- [12] Erdoğan, S., Yılmaz, M., Sahan, B., Ozyurt, O., Isı Pompası Sistemlerinin Seçimi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 92, 40-49, 2006.
- [13] Sutthivirode, K., Namprakai, P., Roonprasang, N., A New Version of a Solar Water Heating System Coupled With a Solar Water Pump., *Applied Energy*, 86, 9, 1423-1430, 2009.
- [14] Kıncay, O., Çilingir, D., Toprak Kaynaklı Isı Pompalı Sistemler ile Doğal Gaz ve LPG Sistemlerinin Ekonomik İncelenmesi, *Tesisat Dergisi*, 84, 188-195, 2002.
- [15] Ağustos, H., Açıkgöz, Ö., Akbulut, U., Kıncay, O., Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kullanımında Güneş Enerji Desteğinin Araştırılması, *Ulusal 2007, Ulusal İklimlendirme Kongresi*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Antalya Şubesi, Antalya, 395-402, 2007.
- [16] Kıncay, O., Temir, G., Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası – Bir Uygulama, *Termodinamik Dergisi*, 125, 87-92, 2003.
- [17] Available from: <http://www.gshp.org.uk/documents/CE82DomesticGroundSourceHeatPumps.pdf> [Erişim Tarihi Mayıs 25, 2009].
- [18] Kıncay, O., Akbulut, U., Ağustos, H., Açıkgöz, Ö., Çetin, Ö., Güneş Enerjisi ve Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Konvansiyonel Sistemlerle Ekonomik Olarak Karşılaştırılması, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 106, 5-12, 2008.
Available from: <http://www.mmoistanbul.org/yayin/tesisat/106/6> [Erişim Tarihi Mayıs 25, 2009].
- [19] International Energy Agency (IEA), Renewables Information 2003, France, 2003.
- [20] Utlu, Z., Hepbaşlı, A., Analysis of Energy and Exergy Use of the Turkish Residential-Commercial Sector, *Building and Environment*, 40, 5, 641-655, 2005.
- [21] Available from: <http://www.eie.gov.tr> [Erişim Tarihi Mayıs 25, 2009].
- [22] Ozgur, MA., Review of Turkey's Renewable Energy Potential, *Renewable Energy*, 33, 2345-2356, 2008.
- [23] Kıncay, O., Güneş Enerjisi Ders Notları, YTÜ, 2009.
- [24] Duffie, J., Beckman, W., Solar Engineering of Thermal Process, New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [25] Kıncay, O., Örenel, M.B., Isıl Enerji Depolama Yöntemleri ve Malzemeleri, *Termodinamik Dergisi*, 5, 92-98, 2002.
- [26] Dincer, I., Rosen, MA., Thermal Energy Storage: Systems And Applications, New York: John Wiley & Sons, 2002.
- [27] Kıncay, O., Örenel, M.B., Gizli Isı Depolama Yöntemleri ve Malzemeleri, *Tesisat Dergisi*, 93, 112-122, 2003.
- [28] Yüksel N., Avcı A., Enerji Depolama Sistemi Modellenmesi., *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 23, 66-74, 2003.
- [29] Paksoy, HÖ., Gürbüz, Z., Turgut, B., Dikici, D., Evliya, H. Aquifer Thermal Storage (ATES) for Air-Conditioning of a Supermarket in Turkey, *Renewable Energy*, 29, 1991-1996, 2004.
- [30] Available from: <http://solar.colorado.edu> [Erişim Tarihi Mayıs 25, 2009].
- [31] Özönur, Y., Mazman, M., Paksoy, H.Ö., Evliya, H., Microencapsulation of Coco Fatty Acid Mixture for Thermal Energy Storage with Phase Change Materials, *International Journal of Energy Research*, 30, 10, 741-749, 2006.
- [32] Available from: http://www.energy.wsu.edu/documents/engineering/Proc_Resources.pdf [Erişim Tarihi Mayıs 25, 2009].
- [33] Erdogdu, E., On the Wind Energy in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 6-7, 1361-1371, 2009.
- [34] Akdağ, SA., Dinler, A., A New Method to Estimate Weibull Parameters for Wind Energy Applications, *Energy Conversion and Management*, In Press, Corrected Proof, Available online 19 April 2009.

- [35] Mutlu, ÖS., Akpınar, E., Balıkcı, A., Power Quality Analysis of Wind Farm Connected to Alaçatı Substation in Turkey, *Renewable Energy*, 34, 5, 1312-1318, 2009.
- [36] Alboyacı, B., Dursun, B., Electricity Restructuring in Turkey and the Share of Wind Energy Production, *Renewable Energy*, 33, 11, 2499-2505, 2008.
- [37] Onar, OC., Uzunoglu, M., Alam, MS., Modeling, Control and Simulation of an Autonomous Wind Turbine/Photovoltaic/Fuel Cell/Ultra-Capacitor Hybrid Power System, *Journal of Power Sources*, 185, 2, 1273-1283, 2008.
- [38] Ocampo, BR., Vasquez, ER., Canseco-Sánchez, H., Cornejo-Meza, RC., Trápaga-Martínez, G., García-Rodríguez, FJ., Photovoltaic/Thermal Solar Hybrid System With Bifacial PV Module and Transparent Plane Collector, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, 20, 14, 1966-1971, 2007.
- [39] Available from: <http://www.solarbuzz.com> [Erişim Tarihi Mayıs 25, 2009].
- [40] Wijsman, A.J., Havinga, J., Groningen Project: 96 Solar Houses with Seasonal Heat Storage in the Soil, 1985.
- [41] Wijsman, A.J., Havinga, J., National Evaluation Summary of the Netherlands the Groningen CSHPSS, 1988.
- [42] Kavanaugh, S.P., Field Test of Vertical Ground Coupled Heat Pump in Alabama, *ASHRAE Trans.*, 98, 2, 607-616, 1992a.
- [43] Kavanaugh, S.P., 1992b, Using Existing Standarts to Compare Energy Consumption of Ground Source Heat Pumps with Conventional Equipment, *ASHRAE Trans.*, 98, 2, 599-606, 1992b.
- [44] Miles, L., In: *Heat Pumps: Theory and Service*, NY: Delmar Publishers Inc., 100-106, 1994.
- [45] Kavanaugh, S.P., *Ground and Water-Source Heat Pump –A Manuel for the Design and Installation of Ground Coupled, Groundwater and Lake Water Heating and Cooling Systems in Southern Climates*, The University of Alabama, Tuscaloosa, AL., 163, 1991.
- [46] Kavanaugh, S., Rafferty, K., *Ground Source Heat Pumps-Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings*, ASHRAE, Inc. Atlanta, CA, 167, 1997.
- [47] Chaturvedi, S.K., Mohieldin, T.O., Chen, D.T., Second Law Analysis os Solar Assisted Heat Pumps, *Energy*, 16, 6, 941-949, 1991.
- [48] Chaturvedi, S.K., Chen, D.T., Kheireddine, A., Thermal Performance of a Variable Capacity Direct Expansion Solar Assisted Heat Pump, *Energy Conversion and Management*, 39, 3/4, 181-191, 1997.
- [49] Aziz, W., Chaturvedi, SK., Kheireddine, A., Thermodynamic Analysis of Two Component, Two-Phase Flow in Solar Collectors With Application to a Direct-Expansion Solar Assisted Heat Pump, *Energy*, 24, 247-259, 1999.
- [50] Healy, PF., Ugursal, VI., Performance and Economic Feasibility of Ground-Source Heat Pumps in Cold Climate, *International Journal Energy Research*, 21, 857-870, 1997.
- [51] Lund, J.W., 1988, Geothermal Heat Pump Utilization in the United States, *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, 11, 1, 507, 1988.
- [52] Lund, J.W., Geothermal Heat Pumps-Trends and Comparisons,. *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, 12, 1, 1-6, 1989.
- [53] Lund, J.W., *Ground Source (Geothermal) Heat Pumps Course on Heating with Geothermal Energy : Conventional and New Schemes Convenor Paul J. Lienau, WGC 2000, Short Courses Kazuno, Thoku District, Japan 8-10 June, 209-236, 2000.*
- [54] Lund, J.W., Freeston, D.H., *World-Wide Direct Uses of Geothermal Energy 2000, Geothermics*, 30, 29-68, 2000.
- [55] Sanner, B., *Earth Heat Pumps and Underground Thermal Energy Storage in Germany*, Proceeding of the World Geothermal Congress, Florence, Italy, 3, 1167-1172, 1995.
- [56] Kilkis, B., Utilization of Wind Energy in Space Heating and Cooling with Hybrid HVAC Systems and Heat Pumps., *Energy and Buildings*, 30, 2, 147-153, 1999.

- [57] Chiasson, A.D., Spitler, J.D., Rees, S.J., Smith, M.D.A, Model Simulating The Performance of a Pavement Heating System Supplemental Heat Rejecter with Closed-Loop Ground-Source Pump Systems, *Journal of Solar Energy Engineering*, 122, 183-191, 2000.
- [58] Hepbasli, A., Comparison of Three Experimental Studies on Geothermal Heat Pumps at the Turkish Universities, Proceeding of First International Conference on Sustainable Energy Technologies, Porto, Portugal, RHP, 50-70, 2002a.
- [59] Hepbasli, A., Performance Evaluation of a Vertical Ground Source Heat Pump System in Izmir, Turkey, *International Journal Energy Research*, 26, 1121-1139, 2002b.
- [60] Hepbasli, A., Akdemir, O., Hancioglu, E., Experimental Study of a Closed Loop Vertical Ground Source Heat Pump System, *Energy Conversion and Management*, 44, 4, 527-548, 2003.
- [61] Hepbasli, A., Akdemir, O., Energy and Exergy Analysis of a Ground Source (Geothermal) Heat Pump System, *Energy Conversion and Management*, 45, 737-753, 2004.
- [62] Kincay, O., Temir, G., Toprak ve Hava Kaynaklı, Isı Pompalı Sistemlerin Ekonomik İncelenmesi', *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 68, 31-37, 2002a.
- [63] Akbulut, U., Çetin, Ö., Kincay, O., Düz ve Helezon Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Konvansiyonel Sistemlerle Ekonomik Olarak Karşılaştırılması, *Tesisat Dergisi*, 149, 98-103, 2008.
- [64] Açıkgöz, Ö., Ağustos, H., Kincay, O., Hibrid Sistem - Güneş Enerjisi ve Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası, *Tesisat Dergisi*, Sayı:150, 94-101, 2008.
- [65] Zeng, H., Diao, N., Fang, Z., Heat Transfer Analysis of Boreholes in Vertical Ground Heat Exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 4457-4418, 2003.
- [66] Inalli, M., Esen H., Experimental Thermal Performance Evaluation of a Horizontal Ground-Source Heat Pump System, *Applied Thermal Engineering*, 24, 14/15, 2219-2232, 2004.
- [67] Demir, H., Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [68] Dursun, B., Erdoğan, S., Yılmaz, M., Çomaklı, K., Soğuk İklim Bölgelerinde Toprak/Su Kaynaklı Isı Pompaları-1, *Termodinamik*, 166, 80-94, 2006.
- [69] Yamankaradeniz, R., Horuz, I., The Theoretical and Experimental Investigation of the Characteristics of Solar Assisted Heat Pump for Clear Days, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 25, 6, 885-898, 1998.
- [70] Hulin, H., Xinshi G., Yuchong, S., Theoretical Thermal Performance Analyses of Two Solar Assisted Heat-Pump Systems, *Int. J. Energy Res.*, 23, 1-6, 1999.
- [71] Axapoulos, P., Panagakis, P., Kyritsis, S., Experimental Comparison of a Solar Assisted Heat Pump Vs. A Conventional Thermosyphon Solar System, *Int. J. Energy Res.*, 22, 1107-1120, 1998.
- [72] Kaygusuz, K., Utilization of Solar Energy and Waste Heat, *Energy Sources*, 21, 595-610, 1999.
- [73] Kaygusuz, K., Calculation of Required Collector Area of a Solar Assisted Series Heat Pump for Domestic Heating, *Energy Sources*, 22, 247-256, 2000a.
- [74] Kaygusuz K., Investigation of a Combined Solar Heat Pump System for Residential Heating, Part 1: Experimental Results, *Int. J. Energy Res.*, 23, 1213-1223, 2000b.
- [75] Hancıoğlu, E., Hepbaşlı, A., Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı pompalarının Tasarımı, Testi, Fizibilitesi, V.Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi ve Sergisi, Teskon 2001.
- [76] Ersöz, İ., YL Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
- [77] Huang, B.J., Chyng, J.P., Integral-Type Solar-Assisted Heat Pump Water Heater, *Renewable Energy*, 16, 731-734, 1999.
- [78] Huang, B.J., Chyng, J.P., Performance Characteristics of Integral Type Solar Assisted Heat Pump, Solar Heat Pump, *Solar Energy*, 71(6), 403-414, 2001.

- [79] Kuang, YH., Wang, RZ., Yu, LQ., Experimental Study on Solar Assisted Heat Pump System for Heat Supply, *Energy Conversion and Management*, 44, 1089-1098, 2003.
- [80] Huang, BJ, Lee, CP., Long-Term Performance of Solar-Assisted Heat Pump, *Renewable Energy*, 29, 633-639, 2003.
- [81] Yumrutas, R., Kakska, O., Experimental Investigation of Thermal Performance of a Solar Assisted Heat Pump System with an Energy Storage, *Int. J. Energy Res.*, 28, 163-175, 2004.
- [82] Bi, Y., Guo, T., Zhang, L., Chen, L., Solar and Ground Heat-Pump System, *Applied Energy*, 78(2), 231-245, 2004.
- [83] Li, YW., Wang, RZ., Wu, JY., Xu, YX., Experimental Performance Analysis on a Direct-Expansion Solar-Assisted Heat Pump Water Heater, *Applied Thermal Engineering*, 27, 17-18, 2858-2868, 2007.
- [84] Dikici, A., Akbulut, A., Performance Characteristics and Energy-Exergy Analysis of Solar-Assisted Heat Pump System, *Building and Environment*, 43, 11, 1961-1972, 2007.
- [85] Ozgener, O., Hepbasli, A., Experimental Performance Analysis of a Solar Assisted Ground Source Heat Pump Greenhouse Heating System, *Energy and Buildings*, 37(1), 101-110, 2005a.
- [86] Ozgener, O., Hepbasli, A., Experimental Investigation of the Performance of a Solar Assisted Ground Source Heat Pump System for Greenhouse Heating, *International Journal Energy Research*, 29, 217-231, 2005b.
- [87] 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, 2005c.
- [88] Ozgener, O., Hepbasli, A., Exergoeconomic Analysis of a Solar Assisted Ground Source Heat Pump Greenhouse Heating System, *Applied Thermal Engineering*, 25, 1459-1471, 2005d.
- [89] Ozgener, O., Hepbaşlı A., Modeling and Performance Evaluation of Ground Source (Geothermal) Heat Pump Systems, *Energy and Building*, 39, 1, 66-75, 2006.
- [90] Akpınar, EK., Hepbaşlı, A., A New Comparative Study on Exergetic Assessment of Two Ground-Source (Geothermal) Heat Pump Systems for Residential Applications, *Building and Environment*, 39, 12, 1211-1217, 2007.
- [91] Yang, WB., Shi, MH., Dong, H., 2006, Numerical Simulation of the Performance of a Solar-Earth Source Heat Pump System, *Applied Thermal Engineering*, 26, 2367-2376, 2006.
- [92] Li X., Chen Z., Zhao J., Simulation and Experiment on the Thermal Performance of U-Vertical Ground Coupled Heat Exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 26, 1564-1571, 2006.
- [93] Omer, AM., Ground-Source Heat Pumps Systems and Applications, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 12, 344-371, 2008.
- [94] Gao, J., Zhang, X., Liu, J., Shan LK., Yang, J., Thermal Performance and Ground Temperature of Vertical Pile-Foundation Heat Exchangers: A Case Study, *Applied Thermal Engineering*, 28, 17-18, 2295-2304, 2008.
- [95] Badescu, V., Model of a Solar Assisted Heat-Pump System for Space Heating Integrating a Thermal Energy Storage Unit, *Energy and Buildings*, 34, 715-726, 2002.
- [96] Badescu, V., Model of a Thermal Energy Storage Device Integrated in to a Solar Assisted Heat Pump System for Space Heating, *Energy Conversion and Management*, 44, 1589-1604, 2003a.
- [97] Badescu, V., First And Second Law Analysis of a Solar Assisted Heat Pump Based Heating System, *Energy Conversion and Management*, 43, 2539-2552, 2003b.
- [98] Reyes, ET., Gortari, JC., Optimal Performance of an Irreversible Solar Assisted Heat Pump, *Exergy an International Journal*, 1(2), 107-111, 2001.

- [99] Reyes, E.T., Picon Nunez, M., Cervantes De G., Exergy Analysis and Optimization of a Solar Assisted Heat Pump, *Energy*, 23(4), 337-344, 1998.
- [100] Cervantes, G. J., Torres-Reyes, E., Experimental on a Solar-Assisted Heat Pump and an Exergy Analysis of the System, *Applied Thermal Engineering*, 22, 1289-1297, 2002.
- [101] Hawlader, MNA., Chou, SK, Jahangeer, KA., Rahman, SMA, Lau, KW., 2003, Solar Assisted Heat-Pump Dryer and Water Heater, *Applied Energy*, 74, 185-193, 2003.
- [102] Urchueguía, JF., Zacarés, M., Corberán, JM., Montero, A., Martos, J., Witte, H., Comparison Between the Energy Performance of a Ground Coupled Water to Water Heat Pump System and an Air to Water Heat Pump System for Heating and Cooling in Typical Conditions of the European Mediterranean Coast, *Energy Conversion and Management*, 49 (10), 2917-2923, 2008.
- [103] Akbulut, U., Doğan, B.T., Kincay, O., Ülkemizde Rüzgar Enerjisi Başvuruları Gerekçe, Usul ve Bazı Gerçekler, IV. Ege Enerji Sempozyumu, 43-52, Ege Üniversitesi, İzmir, 2008.
- [104] Engin, M., Çolak, M., Güneş-Rüzgar Hibrid Enerji Üretim Sisteminin İncelenmesi Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11, 2, 225-230, 2005.
- [105] Liu L., Wang, Z., The Development and Application Practice of Wind-Solar Energy Hybrid Generation Systems in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 6-7, 1504-1512, 2009.
- [106] Hoccoğlu, FO., Kurban, M., Filik, ÜB., Wasp Yazılımı ile Rüzgar Potansiyeli Analizi ve Uygulama, IV. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Gaziantep, 2007.
- [107] Wang, H., Qi, C., Wang, E., Zhao, J., A Case Study of Underground Thermal Storage in a Solar-Ground Coupled Heat Pump System for Residential Buildings, *Renewable Energy*, 34, 1, 307-314, 2009.
- [108] Gao, J., Zhang, X., Kui JL., Shan L., Yang, J., Thermal Performance and Ground Temperature of Vertical Pile-Foundation Heat Exchangers: A Case Study, Institute of HVAC&GAS Engineering, College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China, 2008.
- [109] Benli, H., Durmus, A., Evaluation of Ground-Source Heat Pump Combined Latent Heat Storage System Performance in Greenhouse Heating, *Energy and Buildings*, 41, 2, 220-228, 2009.
- [110] Yu, Y., Mab, Z., Li, X., A New Integrated System With Cooling Storage in Soil and Ground-Coupled Heat Pump, *Applied Thermal Engineering*, 28, 11-12, 1450-1462, 2008.
- [111] Wang, H., Qi, C., Performance Study of Underground Thermal Storage in a Solar-Ground Coupled Heat Pump System for Residential Buildings, *Energy and Buildings*, 40, 7, 1278-1286, 2008.
- [112] Kincay, O., Utlu, Z., Ağustos, H., Akbulut, U., Açikgöz., Ö., Rüzgar Enerjisi, Güneş Enerjisi, Toprak Kaynaklı Dikey Tip Isı Pompası, Isıl Enerji Depolama Sistem Bileşenleri ile Isıtma, Soğutma Ve Aydınlatma Amaçlı Oluşturulacak Birleşik Yenilenebilir Enerji Sisteminin Modelleme Ve Analizlerinin Gerçekleştirilmesi, Deneysel Olarak İncelenmesi, YTÜ-BAPK Projesi, 27-06-01-03, 2007.