



# OTEL SOĞUTMASINDA DENİZ SUYU KAYNAKLI SOĞUTMA SİSTEMİNİN PERFORMANSI

*The Performance of the Sea Water Source Cooling System in the Hotel Cooling*

**Onur Vahip GÜLER**  
**Ali KEÇEBAŞ**  
**Ömer SAÇKAN**

## ÖZET

Dünya'daki fosil kaynaklı enerjilerin çeşitliliğinin ve miktarının bir gün bitecek olması ve ayrıca çevreye olumsuz etkileri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından olan deniz suyu için. Deniz suyu; elektrik üretimi, ısıtma, soğutma ve damıtma proseslerinde temiz, bol, güvenli ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Şöyle ki deniz suyu çeşitli çevrimlerdeki birçok güç santralin soğutulmasında, düşük sıcaklıklı ısı pompası uygulamalarında mahal ısıtma ve soğutmasında ve deniz suyundan içme suyu eldesin de çoğunlukla kullanılmaktadır. Deniz kıyısı olan şehirlerinde mahal soğutması ve ısıtmasını başarmak için deniz suyu enerjisinin değerlendirilmesi deniz suyu kaynaklı ısı pompası sistemi tarafından gerçekleştirilen bir mükemmel teknolojidir. Böylece bu sistemler geleneksel soğutma ve ısıtmanın yerini alarak binaların enerji tüketimini ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını düşürebilecektir. Bu çalışmada Antalya'nın Alanya ilçesinde bulunan Asia Beach Resort Spa Otel'de kurulu deniz suyu kaynaklı ısı pompası sistemi incelenmiştir. Kurulu bu sistem 14.000 m<sup>2</sup>'lik kapalı alana sahip otelin mekanların ve bir yatak odanın soğutmasını tam yükte 1 saatlik işletilmiştir. Böylece sistem ekipmanlardaki performansı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğutma, Deniz suyu, Isı pompası, Termodinamik performans.

## ABSTRACT

World's fossil source diversity and the amount of energy will end one day and also due to the negative impact on the environment, interest in renewable energy sources is increasing. Especially for sea water, which is one of the renewable energy sources. Sea water; is a clean, abundant, safe and sustainable energy source in electricity generation, heating, cooling and distillation processes. Sea water is often used for cooling several power plants in various cycles, heating and cooling the space in low temperature heat pump applications and derivation drinking water from sea water. The seawater energy evaluation is an excellent technology that can be realized by the seawater source heat pump system to achieve the cooling and heating of the spaces in the coastal cities. Thus, by replacing conventional cooling and heating, these systems can reduce the energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions of buildings. In this study, an Asia Beach Resort SPA Hotel located in Alanya zone of Antalya has been installed and examined by sea water source heat pump system. This system, which has 14.000 m<sup>2</sup> of space, has been operated for 1 hour at full load, cooling the spaces of a hotel and a bedroom. Thus, the performance of the system equipment is evaluated.

**Key Words:** Cooling, Sea water, Heat pump, Thermodynamic performance.

## 1. GİRİŞ

İnsan hayatı için vazgeçilmez temel unsurların başında gelen enerji, ekonomik ve sosyal gelişmişliğin bir ölçөгüdür. Dünyadaki pek çok ülke; sonlu fosil yakıtlarda dış alımlara bağımlılık, her çeşit kirlilik, küresel ısınma, artan enerji maliyetleri ve enerjinin verimsiz kullanılması gibi çeşitli problemlerinin çözümü için yenilebilir enerjilere ve/veya mevcudun verimli kullanımı için alternatif çözümlere yönelmektedir. Ayrıca endüstriyel ve teknolojik gelişmeler hızla artarken nüfus ve enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu nedenle ülke yönetimleri yenilebilir enerji üretimlerini artırma veya mevcut enerjiji verimli kullanma ile enerji ihtiyacını karşılamaya çözüm getirmek istemektedir.

Gelişen teknoloji ve artan enerji açığı bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yeni enerji kaynakları veya mevcut enerjiji daha verimli kullanan sistemler üzerinde daha fazla yoğunlaşılmasını ve hızlı bir şekilde alternatiflerin geliştirilmesini gerekli hale getirmiştir. Yeryüzünde fosil yakıtların neden olduğu sera gazlarının küresel ısınma ve iklim değışikliklerini meydana getirmesi, diğer yandan nükleer enerji kaynaklarının sosyal, çevresel ve ekonomik açıdan oldukça maliyetli olması, ülkelerin kendi öz kaynaklarını daha etkili yöntemlerle kullanımının önemini artırmıştır. Özellikle teknolojik gelişmeye bağılı olarak ortaya çıkan çağdaş gereksinimlerden dolayı, enerji üretimi ile ilgili bilimsel araştırmalar, alternatif ve daha kullanışlı enerji kaynaklarına veya sistemlere yönelmiştir. Bu gereksinimlerden dolayı jeotermal enerji, dalga enerjisi, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, ısı pompaları gibi farklı enerji türlerine ulaşılmıştır. Bulunan sonuçlar arasında ısı pompaları, düşük enerji tüketimleri, yüksek performans katsayıları ve doğaya zarar vermemeleri gibi özellikleri ile dikkat çekmektedir. Belirli bir çevreye ait bir halde bulunan sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı işe ekserji denir. Diğer bir deyişle, bir düzeneğin verebileceği işin üst sınırını temsil eder. Ekserji kelimesi genellikle Avrupa'da kullanılmaktadır. Amerika'da daha çok kullanılabilirlik olarak ifade edilmektedir. Ekserji kavramını 1950'li yıllarda beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekserji, enerji kalitesinin bir ölçüsüdür. İş ise tamamen başka tür bir enerjiye dönüştürülebilen en kaliteli enerjidir. Termodinamikte ekserji, bir miktar enerji veya maddeyi referans çevre ile denge haline ulaştırdığımızda, o enerjiden veya maddeden elde edilebilecek en fazla teorik iştir.

Isıtma veya soğutma amaçlı, hava, su, toprak gibi çeşitli kaynaklar kullanan ve sistemin çalışması sırasında soğutma ve/veya sıcak su eldesi için kullanılan ısı pompaları için bazı çalışmalar yapılmıştır. Tahran [1], kuyu suyu, 45–150 metre derinliklerde ve kuzey ülkelerinde, yaklaşık 10°C, Güney ülkelerinde ise 16°C sıcaklıkta elde edilebilir. Yıl boyunca su sıcaklığının fazla değışmemesi büyük bir avantajdır. Bu nedenle göl, nehir ve benzeri yer üstü sularına nazaran kuyu yani yeraltı sularının kullanımından sağlanan fayda daha yüksektir. Hepbaşlı ve Akdemir [2], çalışmalarında İzmir'de 65 m<sup>2</sup> alana sahip bir odanın 3,8 kW ısıtma ve 4,2 kW soğutma yüklerini karşılaması amacıyla kurulan güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı bir ısı pompası sisteminin enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Analizlerinde Şubat ayı için sistemden aldıkları ortalama deneysel verilerden yararlanmışlar ve sistemin tüm elemanlarının ekserji yok oluşlarını elde ederek bu bilgileri Grassmann diyagramı adı verilen ekserji diyagramı ile sunmuşlardır. Shao vd. [3], soğutma amaçlı çekilen ısı ile sıcak su eldesi üzerine analizler yapmış, geleneksel sistemler ile karşılaştırıldığında enerji tüketimlerinin %31,1 azaldığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada da sisteme hava soğutmalı yoğunlaştırıcı ilavesi gerçekleştirilmiştir. İnallı ve Esen [4], toprak kaynaklı ısı pompasının sadece soğutma amaçlı kullanımını test etmiştir. Sistemin COP değerinin 2,01 değerine ulaştığı sonucuna varmışlardır. Kuang ve Wang [5], kışın ısıtma, yazın soğutma ve tüm yıl için sıcak su temini sağlayabilen çok fonksiyonlu bir direkt genleşmeli güneş enerjili ısı pompası sisteminin uzun dönem performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında inceledikleri sistemde 10,5 m<sup>2</sup> düzlemsel güneş kollektörü, değışken hızlı kompresör, 1 m<sup>3</sup> depolama tankı ve yerden ısıtma sistemi bulunmaktadır. Çalışmada sistemin farklı çalışma şartları için günlük ortalama COP değerleri, depo suyu sıcaklıkları ve sıcak su eldesi çeşitli mevsimsel koşullar başlıkları altında değerlendirilmiştir. Jiang vd. [6], mahal soğutma ile çekilen ısıdan yararlanarak sıcak su eldesi üzerinde çalışmış, yararlanılan toplam enerjinin performans katsayısının geleneksel sistemlere göre %38,6 daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Bahsedilen çalışmada, kullanılan ısı pompasının yoğunlaştırıcısı sıcak su tankının içine yerleştirilmiştir. Yani cihaz direkt genleşmeli olarak çalışmaktadır. Gerektiğinde sistem soğutma performans katsayısının düşmemesi için tasarımda hava soğutmalı yoğunlaştırıcı mevcuttur. Isı pompasında kullanılan soğutucu akışkan ise R22'dir. Dikici ve Akbulut [7], düzlemsel güneş kollektörlerine sahip güneş enerjili ısı pompası sistemini deneysel olarak incelemiş ve Ocak ayında Elazığ'da 60 m<sup>2</sup> alana sahip bir odanın ısıtılması için test etmişlerdir. Test sonuçlarında

kompresör, yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve güneş enerjili ısı değiştiricisinin ikinci kanun verimlerini sırasıyla %42,1, %83,7, %43,2 ve %9,4 olarak hesaplamışlardır. Sistem COP'sinin ise 3,08 olduğunu tespit etmişlerdir. Fatouh ve Elgendy [8], R134A soğutucu akışkan ile çalışan bir ısı pompası ile eş zamanlı mahal soğutma ve sıcak su eldesini analiz etmişler, COP'nin sadece soğutmada 1,9–3,1, sadece ısıtmada 2,9–3,3 aralığında olduğunu rapor etmiş, birleşik COP'nin ise 3,7–4,9 aralığına yükseldiği sonucuna varmışlardır. Balta [9], bir düşük ekserjili ısıtma sisteminin enerji, ekserji maliyet analizleri ile sürdürülebilirlik değerlendirmesini yapmıştır. 2366 m<sup>2</sup> alana sahip kapalı bir spor salonunun ele alındığı örnek çalışma ile kazan, yoğuşmalı kazan ve hava kaynaklı ısı pompası kullanan üç farklı ısıtma sistemini araştırmıştır. Baik vd. [10], potansiyel performansı arttırmak için simülasyon olarak deniz suyu kaynaklı ısı pompası sistemi çalıştırmışlardır. Bu çalışmada Kore'de doğu denizi yakınlarındaki Gangneung şehrinde kurulduğu varsayılan deniz suyu kaynak destekli ısı pompasının çalıştırılmasıyla potansiyel performans geliştirilmesi incelenmiştir. Simülasyon sonuçları gösterir ki, deniz suyu kaynaklı ısı pompası sisteminin bir yıllık ısı performansı, mevcut çalışan sistemlerde dikkate alınan değerler %8 veya daha fazla geliştirilmiş olmalıdır. Han vd. [11], ekserji analizini bir binanın ısı yükü ve ilgili enerji akımlarını inceleyerek bina tasarımının iyileştirilme potansiyeli ve ekserji kayıplarının belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Çin'de farklı iklim bölgelerinde yer alan beş farklı bina incelenmiştir.

Bu çalışmalardan görüldüğü üzere, çeşitli ihtiyaçları karşılamak üzere hava, su, toprak ve güneş enerjisinden faydalanan ısı pompaları için birçok parametre araştırılmıştır. Ancak bu çalışmaların birçoğunda mekan ısıtma, mekan soğutma veya sıcak su eldesi tek hedef olarak belirlenmiş sistemin ve elemanların ekserji analizleri üzerine incelemelerde bulunulmuştur.

## 2. OTEL SOĞUTMA UYGULMASI VE ANALİZ

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji sistemlerinin uygulama alanlarından olan otel gibi turizm tesislerin ısıtılıp soğutulmasında deniz suyu kaynaklı ısı pompası sisteminin ekserji analizi yapılarak iyileştirmeler yapılmasını amaçlanmaktadır. Bu amaçla Antalya'nın Alanya ilçesinde bulunan Asia Beach Resort SPA otelde deniz suyu kaynaklı ısı pompası sisteminin termodinamik performansı ve tersinmezliklerden dolayı elde edilen termodinamik değişimler incelenecektir. Şekil 1'de gösterilen uygulama oteli 32000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahip 318 adet standart oda, 2 adet engelli odası, 24 adet aile süit oda, 12 adet aile odası, 6 adet balayı odası olmak üzere 360 adet otel odasından oluşmaktadır. Uygulama oteli tek bir binadan denize sıfır, 3'ü zemin altı olmak üzere 10 katlı, açık ve kapalı park alanı olmayıp sadece açık yüzme havuzundan oluşmaktadır [12].

Otel içinde konforlu bir iç ortam sağlanabilmesi için ısıtma, soğutma klima ve havalandırma sistemleri kurulmuştur. Bu sistemler teknik ve ekonomik taleplere uygun olarak projelendirilmiştir. Bu çalışmada sadece otelin yaz çalışma koşulları düşünülmüştür. Dolayısıyla Antalya'nın Alanya ilçesinde yaz aylarında gün içerisinde güneş ışınımının yoğun olduğu zamanda soğutmaya ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 1. Uygulama oteli Asia Beach Resort SPA Hotel'in bir görüntüsü [12].

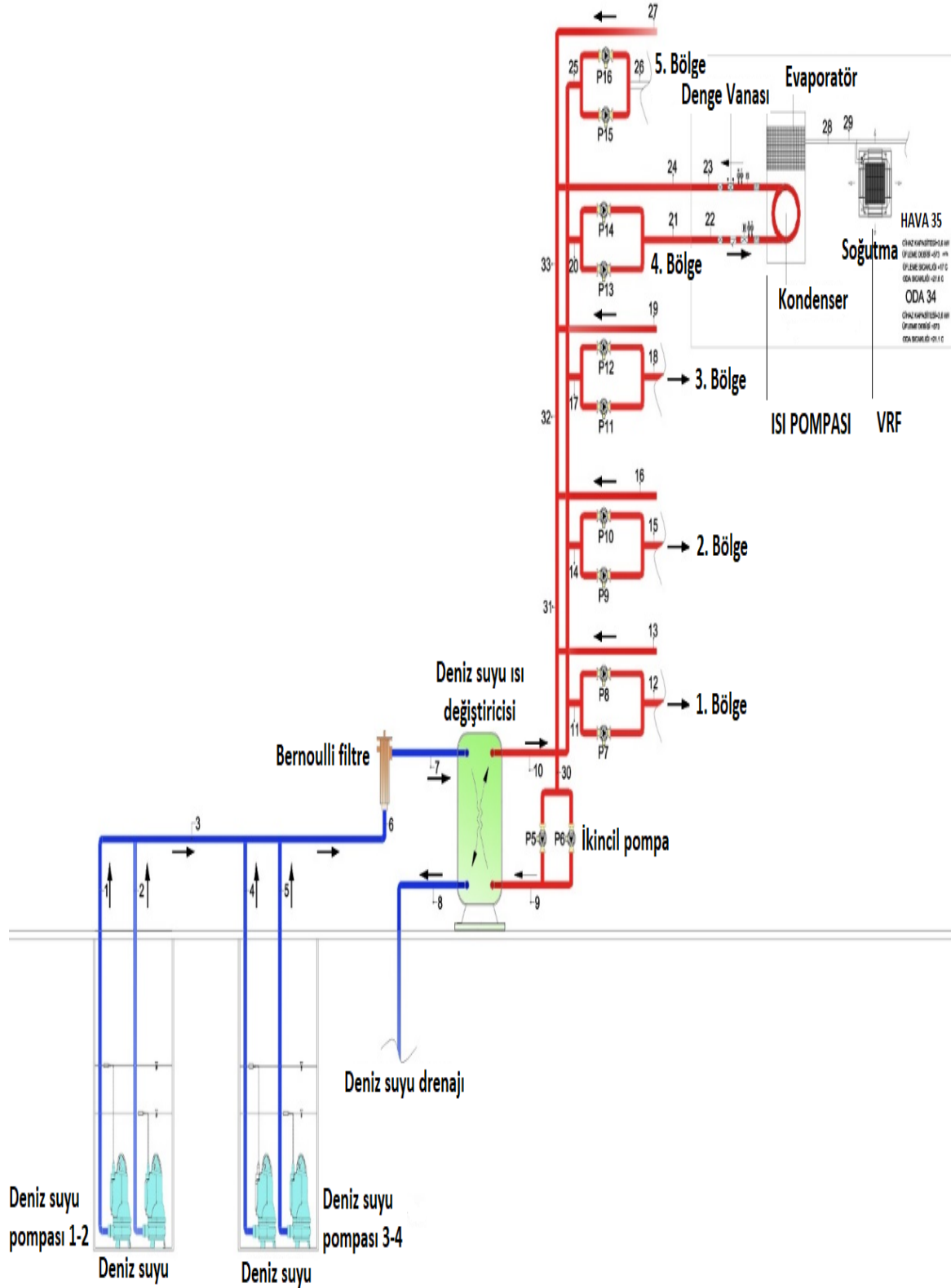
Uygulama otelinde soğutma sistemi tasarımında yapılması gereken ilk aşama binanın mimari projelerine göre ısı yükü belirlenmelidir. Dolayısıyla kış mevsiminde bina içinden, dışarıya doğru duvarlar, camlar, teras ve döşemelerden ısı kayıpları meydana gelir. Ancak yaz mevsiminde ise bahsedilen yerlerden içeri doğru ısı kazançları mevcuttur. Bu kayıp ve kazanç hesapları yapılarak mahal içine konulacak cihazların adetleri ve her birinin kapasiteleri belirlenir. Uygulama otelinin mimari projelerinde; yatak odaları, personel hacimleri, genel mekanlar (lobi, restoranlar, konferans salonu, disko, vb.), SPA gibi mekanlarında soğutma ve havalandırma işlemleri için ısı kazancı hesapları Carrier firmasına ait Hourly Analysis Program (HAP) ile hesaplanmıştır. Programda kullanılan proje dizayn kriterleri Tablo 1’de verilmiştir. Otelin soğutma işlemi için toplam ısı yükü 2200 kW (1892000 kcal/h) olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** Uygulama oteli için proje dizayn kriterleri.

Parametreler	Değerleri
Yer	Alanya, Antalya
Enlem	36° Kuzey
Rakım	6 m
Yaz Dış Ortam Dizayn Şartları	
Kuru termometre sıcaklığı	39 °C
Yaş termometre sıcaklığı	28 °C
Günlük sıcaklık değişimi	11,4 °C
Yaz Dış Ortam Dizayn Şartları	
Kuru termometre sıcaklığı	3 °C
Bağıl nem	%80
İç Ortam Dizayn Kriterleri	445
Normal mahaller (yatak odaları, lobi, vb.)	
Soğutma işlemi	24 °C
Isıtma işlemi	22 °C
Nem kontrolü (min-maks)	%30-60
Hizmet Mahalleri (mutfak, çamaşırhane, vb.)	
Soğutma işlemi	26 °C
Isıtma işlemi	20 °C
Nem Kontrolü (min-maks)	%30-60

Bu çalışmanın amacı enerji maliyetlerinin yüksek olduğu otellerde klasik soğutma sistemlerine alternatif olarak deniz suyu kaynaklı ısı pompası sistemi ve VRF ile bütünleşik kullanılan bir sistemi termodinamik olarak incelemektir. Deniz suyunun havaya göre yıllık sıcaklık değişim periyodu daha azdır. Dolayısıyla böyle bir sistemin deniz kıyısı olan tesisler (otel, AVM, hastane, vb.) için büyük bir avantaj teşkil etmektedir. Özellikle Türkiye gibi 4’te 3’ü denizlerle kaplı yerlere uygun bir sistemdir. Bu tez çalışmasında düşünülen deniz kaynaklı ısı pompası sistemi ile bir otelin soğutulması işleminin Şekil 2’de genel bir akış şeması verilmiştir. Şekil 2’den görüleceği üzere, sistem deniz suyu pompaları ( $P_1, P_2, P_3, P_4$ ), bernoulli filtre (BF), deniz suyu plakalı ısı eşanjörü (IE), sekonder pompalar ( $P_5, P_6$ ), beş bölgenin pompaları (1. bölge için  $P_7$  ve  $P_8$ , 2. bölge için  $P_9$  ve  $P_{10}$ , 3. bölge için  $P_{11}$  ve  $P_{12}$ , 4. bölge için  $P_{13}$  ve  $P_{14}$ , 5. bölge için  $P_{15}$  ve  $P_{16}$ ) ve 4. bölgenin ısı pompasından (IP) oluşmaktadır.

Sistemin deniz suyu pompaları deniz kıyısından 150 m içeride ve deniz seviyesinden 6 m derinlikte ayrı ayrı 2 adet kuyuda 4 adet bulunmaktadır. Her bir kuyudan deniz suyu pompaları ile 1,2 bar ve 26,39 kg/s debi ile bernoulli filtresine (BF) deniz suyu basılmaktadır. Filtrede yabancı maddelerden (ot, mil, midye vb.) arınan deniz suyu 105,56 kg/s debi ile ısı eşanjörüne (IE) geçer. IE’de deniz suyu, ikincil devredeki suyun ısısını alarak denize deşarj edilir. Sıcaklığı düşürülen sekonder devredeki su sekonder pompaları ile 105,56 kg/s debide soğutma bölgelerine pompalanmaktadır. 1., 2., 3., 4. ve 5. bölgelerde bulunan sirkülasyon pompaları sırasıyla 20 kg/s, 23,33 kg/s, 23,33 kg/s, 20 kg/s ve 22,23 kg/s debilerinde soğutulmuş su VRF dış ünitelerine pompalanmaktadır. Dış ünitelere gelen soğutulmuş su VRF sistemindeki soğutucu akışkan R410A’nın akışkanı ile mahalın sıcaklığı düşürülmektedir. Böylece mekan konfor şartlarında soğutulmuş olmaktadır. Antalya ili Alanya ilçesindeki Asia Beach Resort & SPA otele ait sistem 10 Haziran 2016 tarihindeki yaz şartlarında soğutma amaçlı olarak tam yükte 1 saat çalıştırılmıştır. Bu esnada Şekil 4.9’daki sistem akış şeması üzerindeki hat numaralarına ait basınç, sıcaklık ve debi parametreleri toplanmıştır. O tarihte çevre sıcaklığı, basınç ve bağıl nem değerleri sırasıyla 30,5 °C, 1 bar ve %53’tür. Ayrıca deniz suyu sıcaklığı ortalama 19,3 °C kaydedilmiştir. Sistemde toplanılan tüm veriler Denetim Kontrol Sistemi (SCADA) programından alınmıştır.



Şekil 2. Otelin soğutulması için kullanılan sistemin akış şeması.

Bu çalışmada akış ekserjisi, ekserji yok oluşu ve ekserji verimi ifadelerinin kullanılması tercih edilmiştir. Kütle, enerji ve ekserji denge denklemleri řu şekilde ifade edilebilir:



$$\Sigma \dot{m}_{giren} = \Sigma \dot{m}_{çikan} \quad (1)$$

$$\Sigma \dot{E}_{giren} = \Sigma \dot{E}_{çikan} \quad (2)$$

$$\Sigma \dot{E}x_{giren} - \Sigma \dot{E}x_{çikan} - \Sigma \dot{E}x_{yo} = 0 \quad (3)$$

Ekserji dengesi aynı zamanda,

$$\Sigma \dot{E}x_{giren} - \Sigma \dot{E}x_{çikan} = \Sigma \dot{E}x_{yo} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir ve bu denklemin sol tarafı ısı, iş veya kütle ile transfer edilen net ekserji, sağ tarafı ise ekserji yok oluşunun miktarını gösterir. Sistemin ekserji analizi yapılırken, tüm elemanların ekserji yok oluşu hesaplanmıştır. Bu bölümde hesaplamalar için ihtiyaç duyulan denklemler açıklanacaktır. Toplam ekserji ise;

$$\dot{E}x = \dot{m}(ex) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilir ki burada akış ekserjisi ise şöyledir:

$$ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (6)$$

Ekserji veya II. Kanun verimi de toplam ekserji çıktısını toplam ekserji girdisine oranı şeklinde ifade edilebilir:

$$\psi = \frac{\dot{E}x_{çikan}}{\dot{E}x_{giren}} = \frac{\dot{P}}{\dot{F}} \quad (7)$$

Burada ekserji çıktısı ürünü, faydayı veya arzu edilen değeri ifade ederken, ekserji girdisi ise verilen, arz edilen veya yakıt ekserjisini ifade etmektedir [13].

Van Goal tarafından verilen iyileştirme potansiyeli ise şu şekilde tayin edilebilmektedir [14]:

$$\dot{I}P = (1 - \psi)(\dot{E}x_{giren} - \dot{E}x_{çikan}) \quad (8)$$

Bu çalışmada enerji ve ekserji analizleri yapılırken yapılan kabuller şu şekilde sıralanabilir:

1. Potansiyel ve kinetik enerji terimlerinin ihmal edildiği herhangi bir kimyasal reaksiyonun olmadığı sürekli akışlı sürekli açık sistem kabulü tüm prosese uygulanmıştır.
2. Sisteme ısı girişi ve sistemin yaptığı iş pozitif olarak alınmıştır.
3. Isı pompası ve tüm sistemde boru bağlantılarının uzunlukları olduğu için basınç kayıpları değerlendirilmiştir.
4. VRF dış ünite Kompresörün toplam mekaniksel ve elektriksel verimi %76'dır. Bu değer kompresörün çalışması sırasında alınan akım ve voltaj ölçümlerine dayanmaktadır.

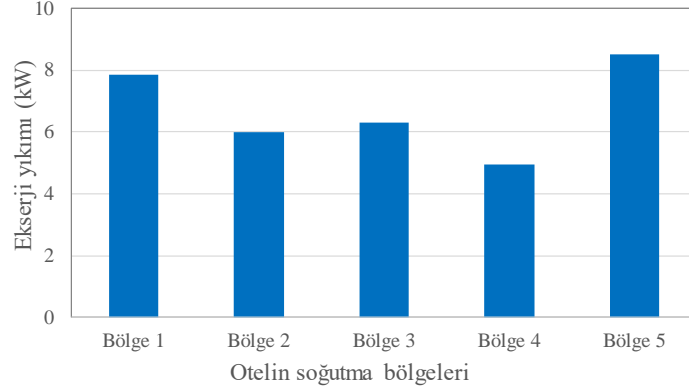
**Tablo 2.** Soğutma sisteminin teorik işletme şartlarında bir saatlik durum için belirlenen termodinamik özellikler ve ekserji miktarı.

No, i	Sıcaklık, $T_i$ (°C)	Basınç, $P_i$ (kPa)	Kütleli debi, $m_i$ (kg/s)	Entalpi, $h_i$ (kJ/kg)	Entropi, $s_i$ (kJ/kgK)	Ekserji miktarı, $\dot{E}_i$ (kW)
1	19,5	120	26,39	81,85	0,289	23,04
2	19,5	120	26,39	81,85	0,289	23,04
3	19,5	120	52,78	81,85	0,289	46,07
4	19,5	120	26,39	81,85	0,289	23,04
5	19,5	120	26,39	81,85	0,289	23,04
6	19,5	120	105,56	81,85	0,289	92,14
7	19,5	60	105,56	81,8	0,289	85,78
8	20,5	30	105,56	85,95	0,3033	66,79
9	23,615	540	105,56	99,46	0,3473	81,5
10	22,3	480	105,56	93,9	0,3288	89,93
11	22,3	400	20	93,83	0,3288	15,43
12	22,31	520	20	93,98	0,3289	17,82
13	24,3	400	20	102,2	0,357	11,37
14	22,3	400	23,33	93,83	0,3288	18
15	22,31	502	23,33	93,97	0,3289	20,36
16	24,9	400	23,33	104,7	0,3654	12,1
17	22,3	400	23,33	93,83	0,3288	15,43
18	22,31	530	20	93,99	0,3289	18,02
19	23,3	400	20	98,01	0,3429	13,26
20	22,3	400	20	93,83	0,3288	15,43
21	22,31	520	20	93,98	0,3289	17,82
22	22,4	520	2	94,36	0,3302	1,761
23	24	400	2	100,9	0,3528	1,19
24	22,8	400	20	95,92	0,3359	14,31
25	22,3	400	22,23	93,83	0,3288	17,15
26	22,31	520	22,23	93,98	0,3289	19,8
27	22,1	400	22,23	92,99	0,326	17,67
28	0	750	0,000489	282,9	1,06	0,03349
29	11	17500	0,00231	90,18	0,2932	0,2507
30	23,6	400	105,56	99,26	0,3472	66,81
31	23,6	400	85,56	99,26	0,3472	54,15
32	23,6	400	62,23	99,26	0,3472	39,39
33	23,6	400	42,23	99,26	0,3472	26,73
34	27,6	101	0,191	301,2	5,704	271,9
35	21,1	101	0,191	294,6	5,682	272,1

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

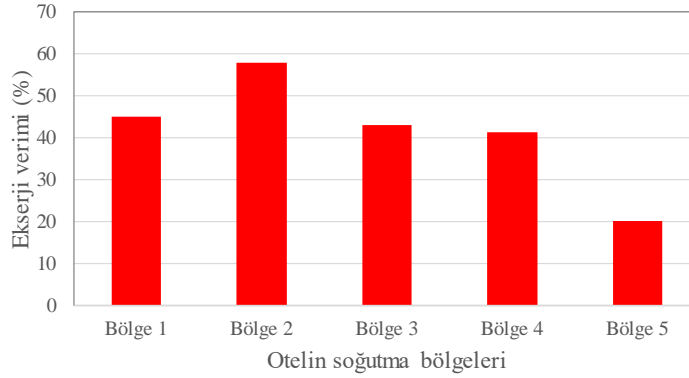
Bu çalışmada, Alanya'da Asia Beach Resort Otel'in soğutulması amacıyla kullanılan deniz suyu kaynaklı ısı pompası sisteminin termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla sisteme ekserji analizi uygulanmış ve böylece sistem ekipmanları arasındaki etkileşim ve sistem iyileştirme potansiyeli daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Bu amaçla 10 Haziran 2016 günü içerisinde seçilen bir saatte 13:00'da başlayıp 14:00'da bitmesiyle oluşan 1 saatlik zaman için sistem davranışı incelenmiştir. Sistemden alınan veriler test başlangıcında alınıp testin sonunda 1 saat sonunda tekrar alınıp elde edilen değerlerin doğrulaması yapılarak elde edilen sonuçlar Tablo 2'de listelenmiştir.

Şekil 3'te sistem soğutma bölgelerinin ekserji miktarlarının değişimi gösterilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi otelin soğutma bölgeleri arasında en yüksek ekserji yıkım miktarı 8,53 kW ile 5. bölgede meydana gelmiştir. Daha sonra sırasıyla 1., 3., 2., ve 4. bölgelerde meydana gelmiştir. Otelde en fazla ekserji yıkımının 5. bölgede olmasının sebebi ise en uzun hattı olması ve dolayısıyla yalıtım problemleri bu kadar yüksek ekserji kayıplarına sebebiyet vermiştir. Oteldeki tüm soğutma mekan/odaları tam kapasitede çalıştırılmış bir sistem tarafından soğutulması esnasında veriler toplanmıştır. Dolayısıyla 4. bölge 4,97 kW ile en düşük ekserji yıkımına sahip bölge olmuştur. Bu bölge üzerinde bir HP ve bir VRF sisteminin soğutma işlemi yaptığı bir oda seçilmiştir.



**Şekil 3.** Soğutma sistemi bölgelerinin ekserji miktarının değişimi.

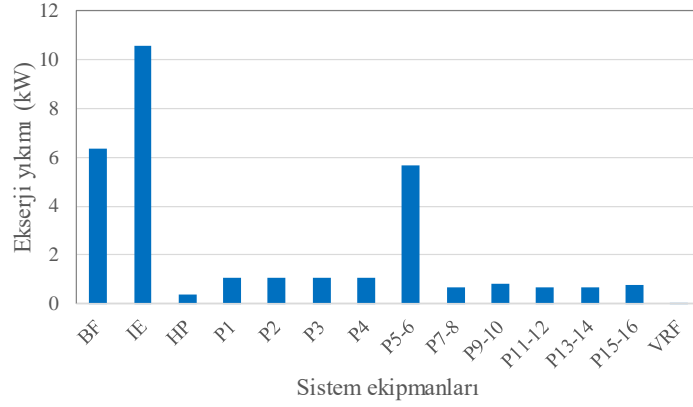
Soğutma sistemi bölgelerinin ekserji verimleri Şekil 4'te sunulmuştur. Şekilde sistem soğutma bölgelerinin en yüksek ekserji verime sahip bölge %57,9 ile 2. bölgedir. Daha sonra ise %45 ile 1. bölge ve %43 ile 3. bölge şeklinde sıralanmaktadır. 5. bölge yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı verimi en düşük olduğu görülmektedir. Bölgeler 2 ve 4'ün ekserji yıkım miktarları en az miktarda olmalarına rağmen ekserji verimleri açısından Bölge 2'nin ekserji verimi en yüksek olan bölgelerden biridir. Buna sebep ise bölgeye giren ekserjiden en fazla ekserji üretiminin olduğu bölge olmasıdır. Bu bölgede soğutma ihtiyacının en iyi şekilde sağlandığını göstermektedir. Şekil 3 ve Şekil 4'ten açıkça anlaşılabilir ki Bölge 5, bölgeler arasında iyileştirilme önceliğine sahiptir.



**Şekil 4.** Soğutma sistemi bölgelerinin ekserji verimleri.

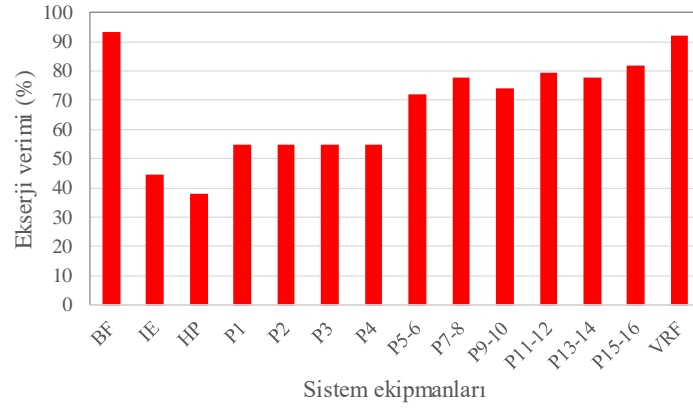
Otelin soğutulması amacıyla çalıştırılmış sistemin tüm ekipmanların ekserji yıkım miktarları Şekil 5'te gösterilmiştir. Ekipmanlar arasında en yüksek enerji yıkım miktarına sahip ekipman 10,57 kW ile deniz suyu ısı eşanjörü (IE) olarak belirlenmiştir. Daha sonra ise sırasıyla 6,36 kW ile Bernoulli filtre (BF) ve 5,67 kW ile sekonder pompalar gelmektedir. En düşük ekserji yıkım miktarına sahip ekipman 0,02 kW ile VRF görülmektedir. Ayrıca ısı pompası IP'nin 0,35 kW ile en düşük ekserji yıkıma sahiptir. Bölgeler için kullanılan sirkülasyon pompaları ortalama olarak her biri 0,73 kW'lık ekserji yıkımı olmuştur. Sistem ekipmanları arasında deniz suyu ısı eşanjörü en öncelikli iyileştirilmesi gerekli ekipmandır. Isı eşanjörü içerisinde; deniz suyu ile birlikte gelebilecek yabancı maddelerin (ot, mil, midye, vb.) tutulmasını sağlayan Bernoulli filtreden kaynaklanan problemler etkili olmuştur. Zaten BF; basınç düşüşleri sağlayarak filtreleme yaparak IE'yi korumaktadır. Dolayısıyla her iki ekipmanın en yüksek ekserji yıkımına sahip olmasına neden olmuştur. Sekonder pompalarda ise elektrik maliyetlerinin artmasına rağmen sayısının artırılması gerekmektedir.





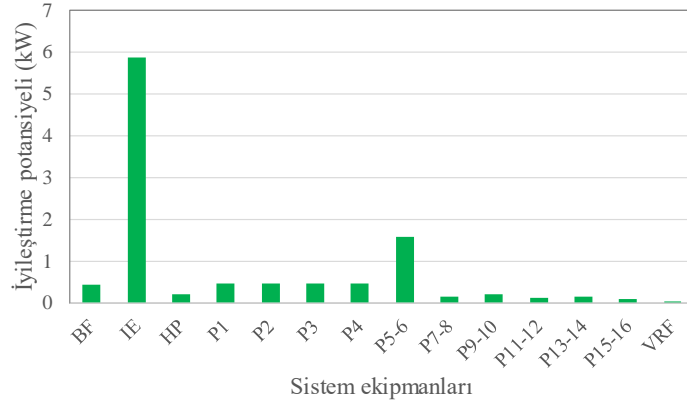
**Şekil 5.** Soğutma sistemi ekipmanlarının enerji yıkımı miktarının değişimi.

Şekil 6'da soğutma sistemi ekipmanlarının ekserji verimleri verilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi BF Bernoulli filtrenin ekserji yıkımı yüksek olmasına rağmen sistem ekipmanları arasında %93 ile en fazla ekserji verimine sahip ekipmandır. Dolayısıyla BF'ye giren ekserjiyi 6,36 kW'lık ekserji yıkımı ile en fazla ekserji üretimi sağlamıştır. BF'nin termodinamik performansı yüksek olması sebebiyle iyileştirme önceliği olmamaktadır. Diğer taraftan VRF'nin ekserji yıkımı çok küçük olmasına rağmen ekserji verimi de %92'dir. IE deniz suyu ısı eşanjörü en yüksek miktarda ekserji yıkımına sahiptir. Dolayısıyla IE'ye giren ekserjinin ancak %44'ünü üretebildiği için ekipmanlar arasında en düşük performansa sahiptir. En düşük ekserji yıkım miktarına sahip olan IP ısı pompasının ekserji verimi ise %38'dir.



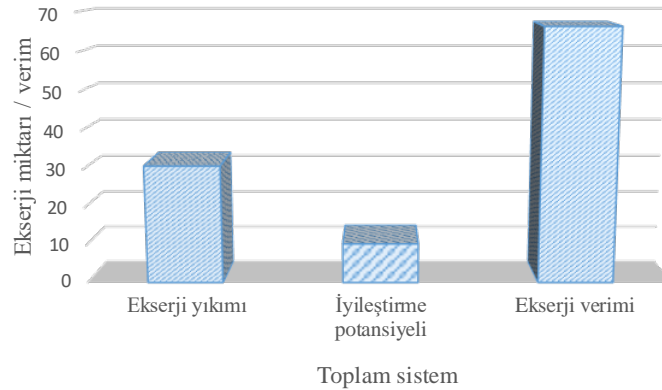
**Şekil 6.** Soğutma sistemi ekipmanlarının ekserji verimlerinin değişimi.

Otel soğutma sisteminin ekipmanlarının Van Goal tarafından verilen iyileştirme potansiyelleri Şekil 7'de sunulmuştur. Şekil 7'de görüldüğü gibi IE deniz suyu ısı eşanjörünün iyileştirme potansiyeli 5,88 kW olarak belirlenmiştir. Bu değer, bahsedilen ekipman üzerinde en fazla iyileştirme yapılabileceğini ifade etmektedir. IE'nin 10,57 kW'lık ekserji yıkım miktarının 5,88 kW'lık kısmının iyileştirme yapılabilsen ekserji verimi %44'den %75'e yükselecektir. Sonra ki iyileştirme potansiyeli olan ekipman ise 1,58 kW ile sekonder pompalardır. Dolayısıyla kullanılan pompa sayısı artırılabilir. Şekil 7'de soğutma bölgeleri pompalarına göre deniz suyu pompalarında iyileştirilme potansiyelinin daha fazla olduğu görülmektedir. En iyi işletilen ekipmanın VRF olduğu şekilden açıkça görülmektedir.



**Şekil 7.** Soğutma sistemi ekipmanlarının iyileştirme potansiyelleri.

Şekil 8’de otel soğutma sistemi üzerinde gerçekleştirilen ekserji analizi sonuçları özetlenmektedir. Sisteme giren 92,16 kW’lık ekserjinin 30,87 kW’ı ekipmanlardan kaynaklanan ekserji yıkımı oluşturmaktadır. Geri kalan ekserji ise üretilen ekserjidir. Dolayısıyla tüm sistemin ekserji verimi %66,5 olarak hesaplanmıştır. Tüm sistemin ekipmanlarından kaynaklanan 30,87 kW’lık ekserji yıkımında yapılabilecek iyileştirme stratejileri ile %34 iyileştirilerek 20,52 kW ekserji yıkımı kalabilecektir. Sonuç olarak sistemin iyileştirme potansiyeli 10,35 kW’tır. Dolayısıyla tüm sistem iyileştirme ile ekserji verimi %77,7’e yükseltilebilecektir.



**Şekil 8.** Otel toplam soğutma sisteminin ekserji analizi sonuçları.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Antalya’nın Alanya ilçesinde bulunan Asia Beach Resort Spa Otel’de kurulu deniz suyu kaynaklı ısı pompası sistemi incelenmiştir. Kurulu bu sistem 360 odalı, 14.000 m<sup>2</sup> genel mekana sahip otelin mekanların ve bir odanın soğutması 1 saatlik ele alınmıştır. Çok noktadan su sıcaklıkları, soğutucu akışkan sıcaklıkları, iç ve dış ortam sıcaklıkları ve hat üzerindeki farklı noktalardaki debi ölçümleri alınmak kaydıyla teorik olarak çıkarılan kütle, enerji ve ekserji denge denklemleri ile ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan çıkarılan sonuçlar ve sistemin iyileştirilmesine yönelik öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. Otelin soğutma bölgeleri arasında en yüksek ekserji yıkım miktarı 8,53 kW ile 5. bölgede meydana gelmiştir. 4. bölge 4,97 kW ile en düşük ekserji yıkımına sahip bölge olmuştur. Bu bölge üzerinde bir HP ve bir VRF sisteminin soğutma işlemi yaptığı bir oda seçilmiştir.

2. Sistem analizi göstermiştir ki en yüksek enerji kaybı deniz suyu eşanjörü (IE), bernoulli filtre (BF) ve ikincil devre sirkülasyon pompaları (P5, P6) şeklinde olmuştur. Onların ekserji yıkım miktarları sırasıyla 10,57 kW, 6,36 kW ve 5,68 kW'tır. Bu şekilde öncelikli iyileştirilmesi gereken ekipmanlar sıralanmış olur. Tüm sistem ekipmanlarının ekserji yıkım miktarı 30,9 kW'dır. Ekserji verimliliklerine göre sıralandığında BF, VRF ve P15-P16 şeklinde olmuştur. Onların değerleri sırasıyla %93, %92 ve %82 olarak bulunmuştur.
3. Sistemin toplam ekserji verimi %66,5 olarak belirlenmiştir. En iyi işletilen ekipman VRF'nin olduğu belirlenmiştir. İyileştirme potansiyeli en yüksek ekipman IE deniz suyu ısı eşanjörüdür. Sistem üzerinde yapılacak tüm iyileştirme stratejileri IE üzerine odaklanmalıdır.
4. Sistemdeki herhangi bir elemanın kötü performansı sistemin toplam performansı üzerine önemli derecede etken olduğu için yüksek tersinmezliklere sahip sistem elemanları öncelikli olarak iyileştirilmelidir. Isı pompasındaki tüm elemanların ekserji verimleri ürün/yakıt prensibine göre değerlendirildiğinde en fazla iyileştirme potansiyelinin VRF, sonrasında ise HP olduğu görülmektedir. Eşanjörde basınç kayıplarını azaltacak akış düzenlemeleri veya konstrüksiyon ve malzeme seçimine dayalı önlemler almak ve akış dengesizliklerini düzeltmek kaydıyla dış ünite evaporatöründeki tersinmezlikleri azaltılabilir. İç üniteler üzerinde de daha detaylı çalışmalar yapılarak tersinmezlikler düşürülebilir. Kompresörde motorlar, valfler ve yağlama üzerine iyileştirmeler sağlanarak ya da etkin bir soğutma uygulamak kaydıyla kompresör gücü azaltılabilir. Ayrıca kompresör gücü cihazın giriş ve çıkışındaki basınçtan oldukça etkilenmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] TAHRAN, R., "Güneş enerjisi kaynaklı-toprakta ısıl enerji depolaması ve ısı pompası uygulaması", Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s, Antakya, 2002.
- [2] HEPBASLI, A., AKDEMİR, O. "Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system", Energy Conversion and Management, 45, 737-753, 2004.
- [3] SHAO, S., SHI, W., LI, X., MA, J., "A new inverter heat pump operated all year round with domestic hot water", Energy Conversion and Management, 45, 2255-2268, 2004.
- [4] INALLI, M., ESEN, H., "Seasonal cooling performance of a ground-coupled heat pump system in a hot and arid climate", Renewable Energy, 30, 1411-1424, 2005.
- [5] KUANG, Y.H., WANG, R.Z., "Performance of a multi - functional direct expansion solar assisted heat pump system", Solar Energy, 80, 795-803, 2006.
- [6] JIANG, H., JIANG, Y., WANG Y., MA, Z., YAO, Y., "An experimental study on a modified air conditioner with a domestic hot water supply (ACDHWS)", Energy, 31, 1789-1803, 2006.
- [7] DIKICI, A., AKBULUT, A., "Performance characteristics and energy-exergy analysis of solar - assisted heat pump system", Building and Environment, 43: 1961-1972, 2008.
- [8] FATOUH, M., ELGENDY, E., "Experimental investigation of a vapor compression heat pump used for cooling", Energy, 36, 5, 2788-2795, 2011.
- [9] BALTA, M.T., "Exergetic cost analysis and sustainability assessment of various low exergy heating systems", Energy and Buildings, 55, 721-727, 2012.
- [10] BAIK, K., "High efficiency and clean energy research division", Korea Institute of Energy Research, Daejeon, Republic of Korea, 305-343, 2014.
- [11] HAN, T., ZHENG, Y., GONG, G., "Exergy analysis of building thermal load and related energy flows in buildings", Indoor and Built Environment, 26, 9, 1257-1273, 2015.
- [12] Asia Beach Resort Spa Otel, Teknik servis notları, [www.asiabeachresort.com](http://www.asiabeachresort.com), 2016.
- [13] GUNERHAN, H., HEPBASLI, A., "Exergetic modeling and performance evaluation of solar water heating systems for building applications", Energy and Buildings, 39, 506-516, 2007.
- [14] DINCER, I., ROSEN, A., "Exergy, Energy, Environment and Sustainable Development", Elsevier Publications, USA, 2007.



## ÖZGEÇMİŞ

### Onur Vahip GÜLER

1990 yılı Denizli doğumludur. 2015 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Yaklaşık olarak 1 yıllık sanayi deneyiminden sonra Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde 2019 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Jeotermal Enerji ve Isıtma Sistemleri konularında çalışmaktadır.

### Ali KEÇEBAŞ

1980 yılı Fethiye doğumludur. 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine eğitimini bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2005 yılında Yüksek Lisans, 2011 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliğinden 2011 yılında Doktor Unvanını almıştır. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır.

### Ömer SAÇKAN

1990 yılı Antalya doğumludur. 2012 yılında Aksaray Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde 2018 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. Tan Mühendislik LTD. ŞTİ. şirketinde makine mühendisliği olarak görev yapmaktadır. Isıtma sistemleri ve Sistem analizi konularında çalışmaktadır.