

# Kanada'nın En Büyük Kuyu İçi Isıl Enerji Depolama Sistemi: Bir Uygulama

İbrahim DİNÇER\*  
Arif HEPBAŞLI\*\*

## Özet

Bu çalışmada, Kanada'daki University of Ontario Institute of Technology (UOIT)'de 2004 yılında işletmeye sokulan, kuyu içi ısıl enerji depolama sistemi (KIEDS) ele alınmaktadır. Başka bir deyişle, Kanada'daki en büyük ve Kuzey Amerika'daki ikinci en büyük jeotermal ısıtma/soğutma sistemiyle ilgili yürüttüğümüz çalışmalardan elde edilen birikimler, bu konuda çalışanlar ile paylaşılmaktadır. UOIT'nin merkezi tesis, KIEDS'yle büyük ölçüde tüm kampusun ısıtma ve soğutma sistemini sağlamaktadır. Bu sistem; kuyu içi ısı değiştiricileri (KIDleri), ısıtma/soğutma üniteleri ve ısı dağıtım alt sisteminden oluşmaktadır. 128x64 m<sup>2</sup>'lik sahada, her biri 190 m derinlikte konuşmuş, tek U-borulu ısı değiştiriciden oluşan 384 adet KID'ci bulunmaktadır. Isıtma/soğutma üniteleri; her biri 7 modülden oluşan, iki ısı pompası grubu ve bir soğutma grubu (chiller)ndan oluşmaktadır. Isı pompaları hem ısıtma ve soğutma modunda çalışırken, soğutma grupları sadece soğutma modunda işletilmektedir. İlave ısıtma, 4 adet yoğunlaşmalı kazanlar ile sağlanmaktadır. Isıtılan/soğutulan yapı sayısı 8 adet olup, toplam yüzey alanı 80 000 m<sup>2</sup>'dir.

Mevcut çalışmanın, ülkemizde bu gibi kampus ve benzeri yapılar için uygulama bakımından olanaklar oluştururken, bu konuda uğraşan araştırmacılara ve özellikle HVAC mühendislerimize yararlı olacağı beklenmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Isıl enerji depolama, kuyu içi ısı değiştiricisi, yer altı ısıl enerji depolama, ısı pompası, soğutma grubu

## 1. GİRİŞ

Birçok ülkede atmosfere atılan CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması için yoğun çalışmalar sürmektedir. Bu bağlamda, enerji tasarrufu teknolojilerinin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması yönünde ulusal çabaların artırılması gündeme gelmiştir. Bugüne kadar, çoğu sanayileşmiş ülkede yenilenebilir enerji kaynakları, sadece az miktarlarda enerji talebinin karşılanmasına katkı koymuştur. Bunun çeşitli nedenleri vardır: (a) Bazı yeni enerji kaynaklarının halen ekonomik olarak fosil yakıtların yanmasıyla rekabet edememesi, (b)

Uzun süreli güvenilirliğin halen kanıtlanamaması, ve (c) Halen, aşılması gereken bazı piyasa düzenlemeleri ve engelleri vardır. Bundan ötürü, bu sorunları çözmek için başka girişimlerde bulunulmalıdır. Bu, özellikle, piyasada büyük ölçekte halen yürütülemeyen birçok yeni enerji depolama teknolojileri ve görüşleri için doğrudur [1].

Isıl enerji depolama (IED), son zamanlarda, hacim ve su ısıtması, soğutma ve iklimlendirme gibi ısıl uygulamalara olan ilginin artmasıyla büyük önem kazanan ileri bir enerji teknolojisidir.

\* Prof. Dr., University of Ontario Institute of Technology'nin Faculty of Applied Engineering and Science

\*\* Prof. Dr., Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

aşağıdaki yararlar sağlanabilir [2]:

- Enerji giderleri azaltılır.
- Enerji tüketimi azaltılır.
- İç hava kalitesi iyileştirilir.
- İşletme esnekliği artırılır.
- İlk yatırım ve bakım giderleri düşürülür.
- Ekipman boyutu azaltılır.
- Ekipman daha verimli ve etkin kullanılır.
- Yakıt tasarrufu sağlanır.
- Çevreye zarar verici emisyonlar (CO<sub>2</sub> ve CFC'ler gibi)azaltılır.

IED sistemleri (IEDS'leri); çeşitli şekilde sınıflandırılabilir. Gerek bu sistemlerin sınıflandırılması gerekse de enerjetik ve ekserjetik bakış açılarından değerlendirilmesi, başka yerde geniş kapsamlı olarak ele alınmıştır [2,3]. Bu kapsamda, yeraltı IEDS'leri (YIEDS'leri veya UTES), üç grupta değerlendirilebilir: (1) Aküfer ısı enerjisi depolama (Aquifer Thermal Energy Storage: ATES veya AIED), (2) Kuyu içi ısı enerjisi depolama (KIEDS: Borehole Thermal Energy Storage: BHTES) ve (3) Yer altı mağara ısı enerjisi depolama (YMIEDS veya Cavern TES) [4].

Bu çalışmada, yer altı IEDS'leri kısaca ele alındıktan sonra, UOIT'deki BHTES; tasarım ve işletme bakış açılarından geniş kapsamlı olarak sunulacaktır.

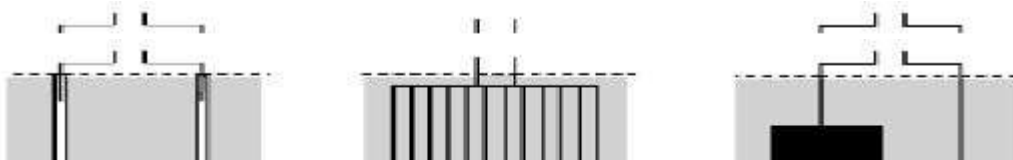
## 2. YER ALTI ISIL ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ (YIEDS'leri)

YIEDS'lerinin gelişimi, 70'li yıllarda, yenilenebilirler dahil olmak üzere, enerji tasarrufu ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması amacıyla başlamıştır. Günümüzde, Japonya, Çin, ABD, Kanada, Almanya, Belçika, Hollanda, İsveç, İsviçre, Finlandiya ve Fransa gibi değişik ülkelerde birkaç uygulama mevcuttur. Uluslararası Enerji Acentesi (IEA)'nin "Enerji Depolamasıyla Enerji Tasarrufu" anlaşmasının yürütülmesi kapsamında, Belçika, Kanada, Almanya, İsveç, Hollanda, Türkiye ve ABD'den bir uzmanlar grubu, YIEDS'lerin yürütülmesi üzerine çalışmaktadır. Ülkemizde, ilk YIEDS potansiyel çalışması, Kasım 1995'de, Çukurova Üniversitesi'nde başlatıldı. Ülkemizde, bu sistemlerin potansiyel uygulaması olarak, seralar, tarımsal ürünlerin soğuk depolanması, balık yetiştiriciliği ve özellikle narinciye meyvelerinin ve muzların donmasının önlenmesi sayılabilir [5].

YIED ile topraklar, dip kayalar ve yer altı suyu ısı enerjisinin depolama ortamı olarak kullanılır. Göreceli düşük giderler ile yer altının depolama kapasitesinden enerji verimliliği amaçları için yararlanılabilir. Faz değişimi gösteren malzemeler (örneğin; su/buz)in kullanımı da daha uzun süreler için önemli sayıda depolama tekniğidir. Bu teknolojiler, YIED'dan daha dü-

Tablo 1. Yer altı ısı enerjisi depolama sistemlerinin temel özellikleri [4].

Yer altı Isıl Enerji Depolamanın Tipi (YIED veya UTES)	Önemli özellikleri	Örnekler
Aküfer ısı enerjisi depolama (ATES)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ortadan yükseğe kadar iletkenlik ve geçirgenlik</li><li>• Yüksek porozite</li><li>• Düşük ya da hiç yer altı su akışı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toprakta, çakılda gözenekli aküferler,</li><li>• Kireçtaşı, kum, volkanik veya metamorfik kaya</li></ul>
Kuyu içi ısı enerjisi depolama (KIED veya BHTES)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek özgül ısı</li><li>• Orta ısı iletkenlik</li><li>• Hiç yer altı su akışı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kil, kireçli toprak gibi tortular;</li><li>• Kireçtaşı, kum taşı ve diğerleri uygun</li><li>• Granit gibi volkanik kayalar, baz metamorfik kayalar</li></ul>
Yer altı mağara ısı enerjisi depolama (YMIEDS)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Düşük ısı iletkenlik</li><li>• Yüksek kaya kararlılığı</li><li>• Filtre edilemeyen kaya</li></ul>	Granit, diğer volkanik kayalar, sert tortulu kayalar





Şekil 1. Yer altı ısı enerji depolama sistemlerinin şematik gösterilimi [7]

şük depolama hacimleri gerektirmekte olup, yapılarda ve araçlarda uygulanır [6].

Tablo 1’de, YIEDS’lerinin temel özellikleri ve bazı uygulamaları [4] ve Şekil 1’de bu sistemlerin şematik gösterimleri verilmiştir [7]. Aşağıda, bu üç sistem kısaca ayrıca açıklanacaktır

### 2.1. Aküfer Isıl Enerji Depolama (ATES)

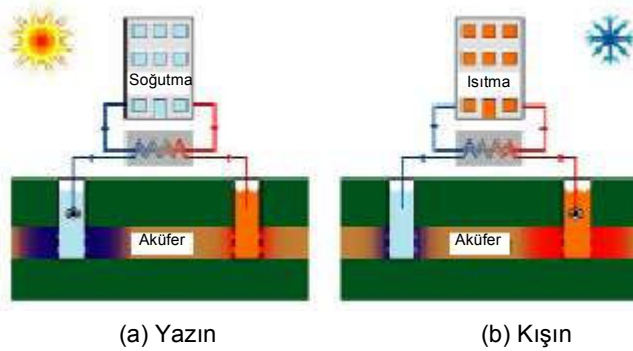
Bu, yer altından yararlanan en sık kullanılan depolama teknolojisi olup, yer altı jeotermal sistemiyle benzerdir. Ancak depolamayı içermekte olup, mevsimsel bazda ısıtmanın ve soğutmanın her ikisi sağlanmaktadır. Bu teknolojinin uygulanması için ana koşul, uygun jeolojik formasyonun kullanılabilirliğidir. Bu sistemleri Kanada’daki örnekleri olarak, Torontoda’ki Scarborough Merkezi, Ottawa’daki Carleton Üniversitesi ve Agassiz’deki Pacific Agricultural Research Centre (PARC) sayılabilir [8].

Bu teknolojiye, ısı ve soğüğün geçici depolanması için depolama ortamı olarak doğal bir yer altı tabakası (örneğin; kum, kum taşı veya kireç taşı tabakası) kullanılır (Şekil 2). Isıl ener-

jinin transferi tabakadan yer altı suyunun çekilmesiyle ve ayrı yakın yerde iyileştirilmiş bir sıcaklık düzeyinde ona tekrar enjekte edilmesiyle gerçekleştirilir [6].

### 2.2. Kuyu İçi Isıl Enerji Depolama (BHTES)

Akışkanın (çoğu durumlarda su) topraktaki ısı değiştiricileri arasından pompalandığı sistemler, bu gruba girer. Bu sistemlere aynı zamanda “kapalı” sistemler de denilir. BHTES sistemlerinin bir yararı, aküferlerden ve su kimyasından bağımsız oluşlarıdır. Bunun yanında, ATES’ler (açık sistemler)in, KID’lerine kıyasla kuyunun genellikle daha yüksek ısı transfer kapasitesi vardır. BHTES’lerde, aynı KID’leri, her zaman yükleme ve yükünü boşaltma için kullanılır. Bu sistemlerde ısı geçişi, sadece iletimle ağır bastığından dolayı, ATES’ler gibi hızlı tepki gösteremezler. Bir kuyudan elde edilen ısı güç, bir KID’den elde edilen daha fazladır [9]. Büyük ölçekli BHTES’ler, New Jersey/ABD’deki Stockton Koleji ve İsveç’te yürütülmektedir [8]. Bu depolama sistemi, daha sonraki kısımlarda uygulama olarak geniş kap-



(Ofis binalarının/endüstriyel proseslerin ısıtılması/ soğutulması)

Şekil 2. Aküfer ısı enerji depolamanın şematik gösterilimi [6].

samlı ele alınacaktır.

### 2.3. Yer Altı Mağara Isıl Enerji Depolama (YMIEDS)

Bu depolamayla, büyük miktarlarda su rezervuarları toprağın altında ısı enerji depolama sistemleri olarak iş görmek üzere oluşturulur. Bu depolama teknolojileri teknik olarak fizibil olmakla birlikte, yatırımın yüksek olması nedeniyle

halihazırda kurulmuş olan eski ısıtma sistemlerinin yüksek gidiş suyu sıcaklıklarını karşılamak üzere tasarlanmamıştır. Fan-coilleri, döşemeden ısıtmayı veya düşük sıcaklık radyatörlerini besleyen sıcak suyu sağlayan ısı pompaları, genellikle, binaların ısıtma sistemlerinde dolaşan suyu 40 °C’den 45 °C’ye (maksimum 50 °C’ye) ısıtırlar. Gidiş (besleme) suyunun sıcaklığı ne kadar yüksek ise, ısı pompala-

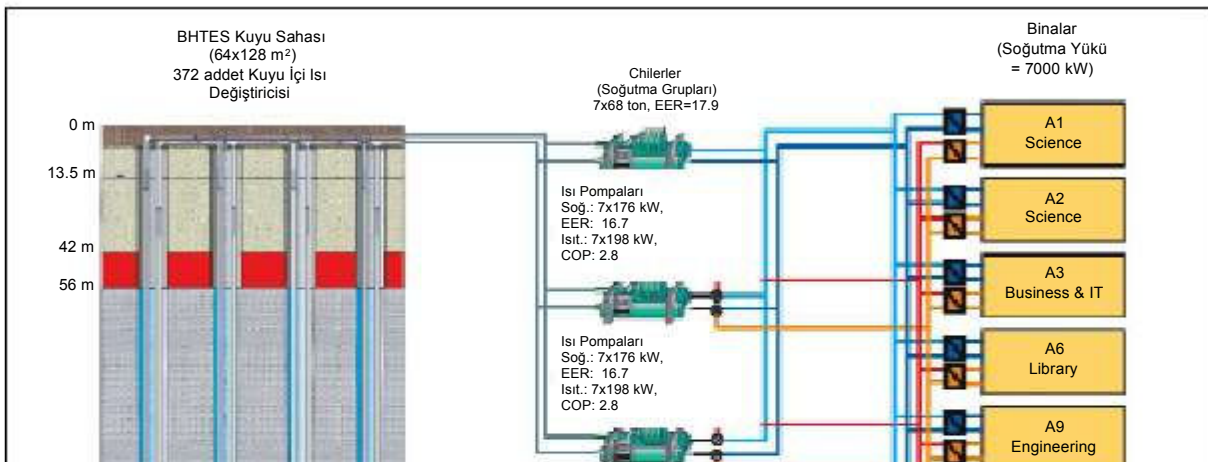
manada birlikte, yatırımın yüksek olması nedeniyle, gerçek uygulaması halen sınırlıdır [6].

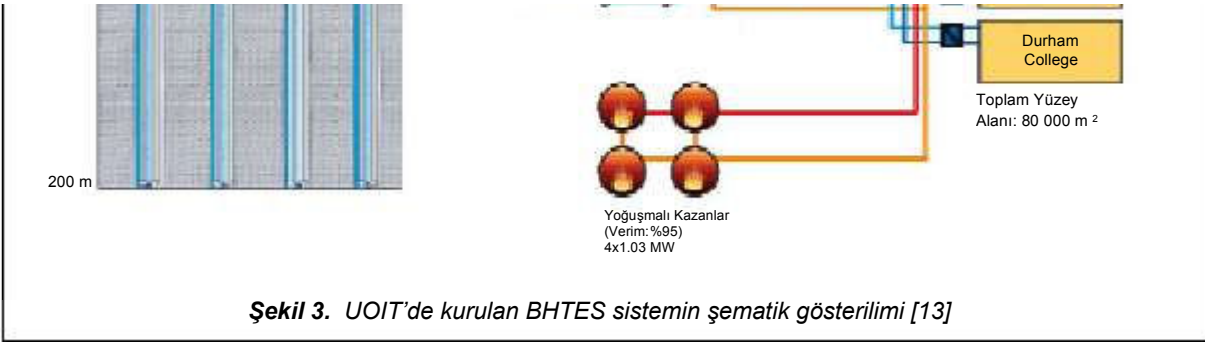
### 3. KUYU İÇİ ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ PİYASA OLANAKLARI VE ENGELLER

KID tasarımıyla karşılaşılan sorunların çoğu; debi, basınç düşüşü ve kontrol parametreleri, boru ekipmanlarının korozyonu ve kötü işçilik nedeniyle sızıntılar ve dolaşan ısı transfer akışkanı ile ilintilidir. Sistem içerisinde, jeotermal (veya toprak kaynaklı) ısı pompaları (JIP'ları) nın uzman kişilerce montajı büyük önem taşımaktadır. JIP'larının büyük miktarlarda kullanıldığı ve satıldığı bazı ülkelerde (örneğin; ABD'de ve Avrupa'da İsveç, İsviçre ve Almanya'da), teknik kurallar, montajı yapacak elemanların sertifikalandırılması, kalite ödülleri gibi önlemler, gerek sanayiye gerekse de tüketicileri kötü kalite ve uygun olmayan JIP montajına karşı korumaktadır. Mevcut JIP'larının bir özelliği, esasen yeni binalarda uygulamalarını sınırlandıran, sadece düşük sıcaklıktaki ısıtma sistemleri için uygun olmasıdır. Bunun yanı sıra, tüm Avrupa boyunca birçok mevcut yapıda

bulunmaktadır. Bu tür yapıların ısıtma sistemlerinin etki katsayısı (COP'si) o kadar düşük olacaktır. Sudan suya sistemlerdeki iç ünite tarafına giren suyun standart ve maksimum test sıcaklıkları, ISO 13256-2'ye göre, sırasıyla, 40 °C ve 50 °C ve bazı Avrupa kurallarına göre de maksimum 55 °C'dir. Bununla beraber, tüm Avrupa'da halen kurulmuş olan geleneksel ısıtma sistemleri, fosil yakıtlı bir kazan ve standart radyatörlerden, yüksek sıcaklıklı bir ısıtma sisteminden oluşmaktadır. Radyatörlü bu sistemler, 10-20 °C'lik bir sıcaklık düşüşüyle, 80-90 °C'lik sıcak suyu kullanmak üzere tasarlanmıştır. Ticari olarak bulunan ısı pompaları, 5-6 °C'lik bir sıcaklık düşüşüyle, 50 veya 60 °C'ye kadar su sağlamak üzere tasarlandıkları için, mevcut yapılara onların montajı, yüksek sıcaklık ısıtma sisteminin komple değiştirilmesini, başka bir deyişle, radyatörlerin fan-coiller veya diğer ileri sistemler ve daha büyük çaplı borular ile binaların döşenmesini gerektirmektedir. Son zamanlarda, 65 °C'lik gidiş sıcaklıkları sağlayan ısı pompalarının gelişimi İsviçre'de ol-

Tablo 2. Isı pompalarının tasarım değerleri [14].	
Toplam ısıtma/soğutma yükleri	1386/1236 kW
ISITMADA	
<u>Yük Suyu</u>	
Giriş/çıkış su sıcaklıkları	41.3/52 °C
<u>Kaynak Suyu</u>	
Giriş/çıkış su sıcaklıkları	9.3/5.6 °C
SOĞUTMADA	
<u>Yük Suyu</u>	
Giriş/çıkış su sıcaklıkları	14.4/5.5 °C
<u>Kaynak Suyu</u>	
Giriş/çıkış su sıcaklıkları	29.4/35 °C
Isıtma/Soğutma Etki Katsayısı (COP <sub>tasarım</sub> )	2.8/4.9





Şekil 3. UOIT'de kurulan BHTES sistemin şematik gösterilimi [13]

muştur. Bu, eski binalardaki iyileştirme çalışmaları için ilk adım sayılabilir [10].

#### 4. KANADA'DAKİ UOIT UYGULAMASI

##### 4.1. BHTES Sisteminin Çalışma Şekli

BHTES sistemi 2004 yılında, Oshawa-Ontario/Kanada'daki Durham College and the University of Ontario Institute of Technology (UOIT)'de (Kolej ve Üniversite entegre olmuş durumda, kampus alanı içinde yer almaktadır) işletmeye sokuldu [11]. UOIT'deki Kanada'daki en büyük ve Kuzey Amerika'daki ikinci en büyük jeotermal ısıtma/soğutma sisteminin kurulmasıyla 80 000 m<sup>2</sup>'lik toplam yüzey alanı olan yapılardan, ASHRAE 90.1 Standardından gerekenden % 30 daha aşağı enerji verimliliği amaçlanmaktadır [12]. Şekil 3'de, söz konusu BHTES sistemi şematik olarak gösterilmiştir [13].

Şekil 3'den görüleceği üzere, sistem, esas itibarıyla, kuyu sahası (BTES), soğutma grupları/ısı pompaları, yoğuşmalı kazanlar ve hava santrallerinden oluşmaktadır. Kampus binaları

nın toplam soğutma yükü 7000 kW'dır. UOIT'deki merkezi tesis, BHTES ile büyük ölçüde tüm kampus için ısıtma ve soğutmaya sağlamaktadır. Soğutulmuş su, her biri 90 ton olan 7 adet modülden oluşan soğutma grupları (chillerler)ndan ve her biri 50 ton kapasitesinde olan 7 modülden oluşan iki set ısı pompalarıyla temin edilmektedir [11]. Tablo 2' de sistemdeki ısı pompalarının tasarım değerleri verilmiştir [14].

Soğutma grupları, enerjiyi, binalardan BHTES'e pompalamak için kullanılmakta olup, sadece soğutma modunda çalıştırılmaktadır (amaçları, ana soğutmadır). Diğer ısı pompası modülleri, soğutma yüküne yardımcı olmaktadır [11]. Soğutma gruplarında, Kanada'daki yüksek verimli cihazların ilk kullanımı olan Turbocor kompresörlerden yararlanılmıştır. Bu, son derece kompakt santrifüj kompresörlerde, manyetik yataklama vardır ve dakikadaki devir sayısı 40000'i aşmaktadır [12].

% 15 glikol/su karışımından oluşan ısı transfer akışkanı, 4" çapındaki polipropilen yapı

mış 150 km'yi aşan boru hattı arasında (20 bar'da test edilmiş) dolaşmaktadır. Boru hatlarıyla, 7000 kW'lık kondens suyu jeotermal sahada dolaştırılmaktadır. Isı, yazın, jeotermal çevrimden toprağa verilmektedir. Kışın ise, ısı pompaları ters çalıştırılmakta ve ısı, kampusun çoğuna 52 °C'lik düşük sıcaklık hidronik ısıtmayı sağlamak için, topraktan çekilmektedir. Ek ısıtma, yoğuşmalı kazanlarla sağlanmaktadır [12].

% 30'luk glikol karışımı olan plakalı ısı değiştiriciler, ikincil tarafı kışın donmaya karşı korumaktadır. Isıtma ve soğutma, planlanan takvime ve çevre havası ayarlarına göre kontrol edilmektedir. Yer altında bulunan servis koridoru, jeotermal sahaya giriş vermektedir ve merkezi ta

ısıyla dış havayı ön ısıtmak için, hemen çatının dış yüzeyine yakın konulan enerji geri kazanım tekerlekleri bulunmaktadır. Laboratuarlarda ise, hava kirlenmesi ana düşüncesi çerçevesinde, atık ısıdan yararlanmak için kapalı bir sistem kullanılmaktadır. Tekrar ısıtma serpantrinleri olan VAV (değişken hacimli hava) uygulaması vardır [12].

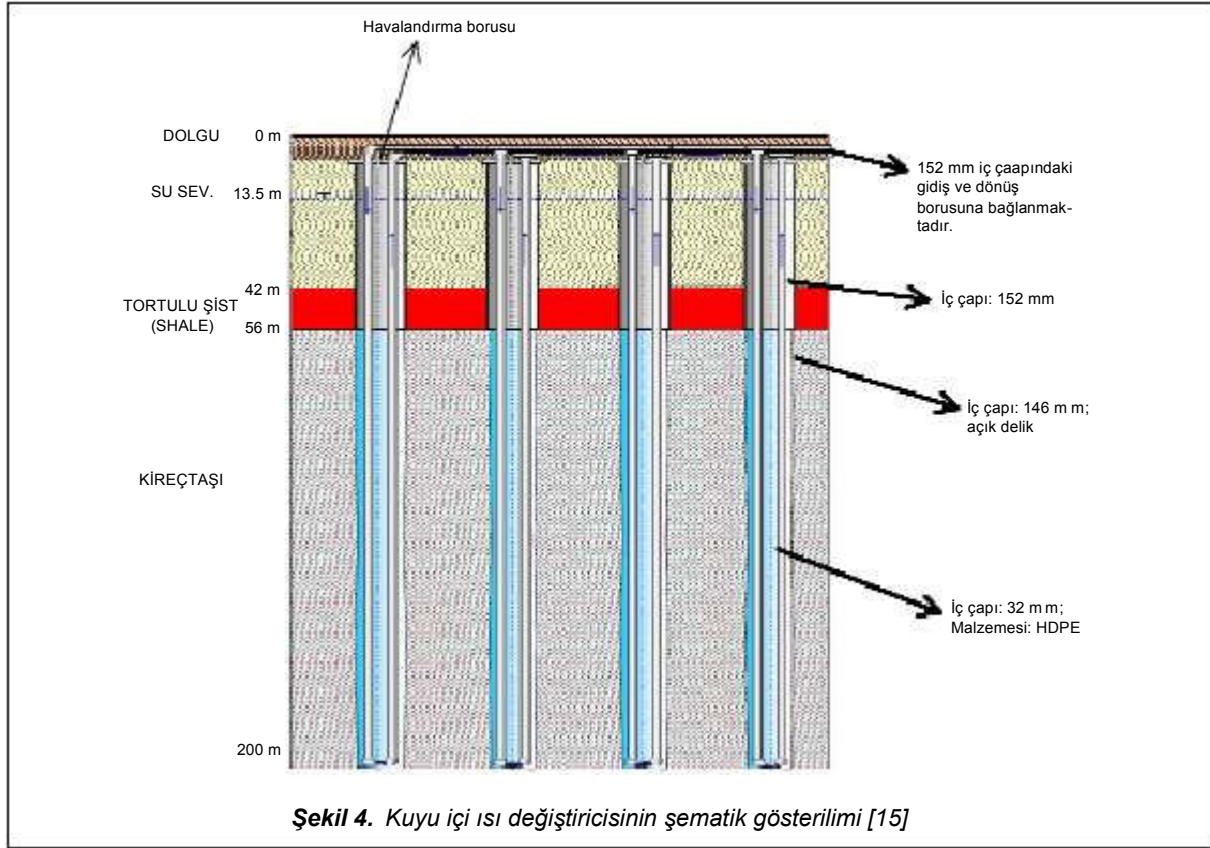
UOIT'de, mekanik sistem için sadece bir kısmını oluşturmaktadır. Isıtma ve soğutma yükleri enerji verimli yapı tasarımıyla minimize edilmiştir. Binalar çok iyi yalıtılmış olup, duvarlar R-20 ve çatılar R-30, en yüksek yalıtım seviyesindedir. Geleneksel ısıtma/soğutma sistemlerine kıyasla, yüksek verimli HVAC ekipmanının geri ödeme süresinin 2.5 katı ve kışın enerji verimliliğinin de 7.5

jeotermal sanaya ring yapmakta ve merkezi tesisi her bir binada bulunan ayrı mekanik odalara bağlamaktadır. Projenin genel mekanik dönüşüncesi, dış havalı ve dönüş hava karışımı merkezi hava ünitelerinin kullanılmasıdır. Sınıf binalarında, egzoz havasından geri kazanılan

suresinin 3-5 yılı ve kuyu sanasınının da 7.5 yıl olacağı tahmin edilmektedir [12].

#### 4.2. Kuyu İçi Isı Değiştiricileri (KID'leri)

Ocak 2003'de, UOIT'nin arazisinde pilot bir KID'si yapılmıştır. Test deliğinin derinliği 91 m



**Şekil 5.** Kuyu içi ısı değiştiricilerinin yerleşimi (Eksenler arası: 4.5 m)



**Şekil 6.** Kuyu içi ısı değiştiricilerinin gidiş ve dönüş kolektörleri bağlantısı

idi. Üst yüzeyden 42 m'ye kadar kısımda 152 mm (6") iç çapında çelik bir muhafaza konulmuştur. Test deliğinin geri kısmı, tortulu şist (shale) ve muhafazasız kireç taşı yatağından oluşmuştur. 91 m U- boru, test KID'ne konup, ısıl tepki testi yapılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar, 91 m derinlikteki kuyudaki tabakanın

ısıl özelliklerini belirlemek için kullanılmıştır. KID'lerinin toplam sayısı ve yerleşimini (KID eksenleri arası mesafe) hesaplamak için, KID sahasının ön bir modellemesi yapılmıştır. Daha sonra, 189 m uzunluğunda U-borusu yerleştirilip, ikinci bir ısıl tepki testi yapılmıştır [15].

71  
2006

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 9 3,

Isıl iletkenlik test sonuçlarına dayanarak, her biri 200 m derinlikte 370 KID'nin enerji talebini karşılamak için yeterli olabileceği belirlenmiştir. İlave olarak, 5 sıcaklık izleme deliği konulmuş ve böylece toplam 75 km'lik bir delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sığ formasyonlardaki yer altı suyuna sızdırmazlık sağlamak için, Şekil 4' de gösterildiği gibi [15], her bir borunun 56 m'lik üst kısmında çelik muhafaza kullanılmıştır [11]. Ayrıca, Şekil 5 ve 6'da, KID'lerinin yerleşiminin fotoğrafları verilmiştir.

Kayadaki yer altı suyunun yokluğu nedeniyle, KID'lerinde tasarım değişiklikleri yapılmıştır. Kuzey Amerika'nın uygulaması olan harçlı KID'leri yerine, su ile doldurulmuş İsveç uygulaması yapılmıştır. Su ile dolu KID, U-borusu montajının verimini arttırmakta ve kuyuların ömrünü uzatmaktadır. KID sahası, mevsimsel enerji depolamayı optimize etmek için, dört eşit parçaya bölünmüştür. KID'leri karesel olarak ve eksenler arası 4.5 m olacak şekilde yerleştirilmiştir. Toplam KID sahası, 7000 m<sup>2</sup>'dir. Bu, yaklaşık olarak, 1.4 milyon m<sup>3</sup> veya 1.9 milyon ton kaya ve 0.7 milyon ton, üst yüzeyden 56

## 5. BHTES İŞLETME DEĞERLERİ

### 5.1. İzleme Kuyuları İçindeki Su Sıcaklıkları

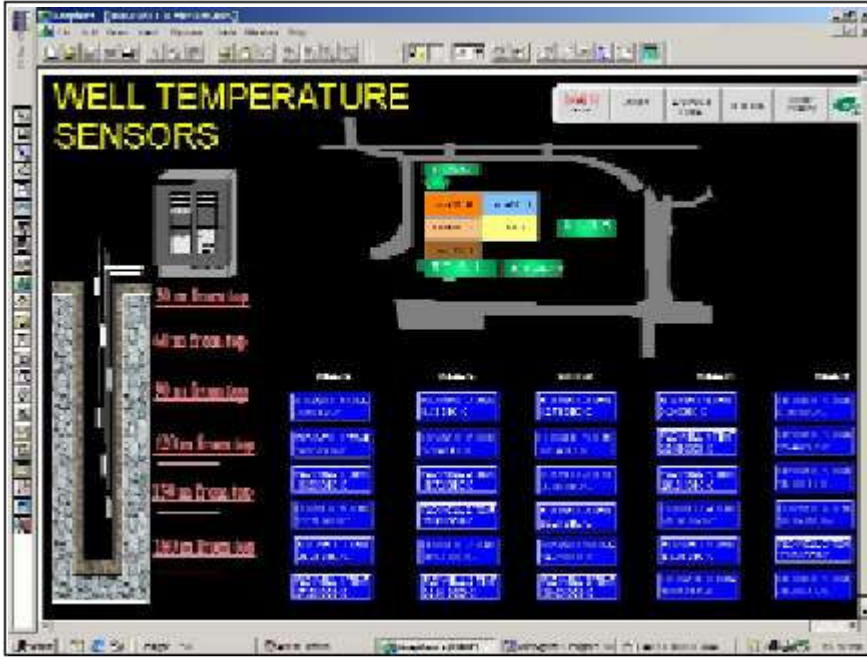
Şekil 7'de gösterildiği gibi, 5 izleme kuyusunun her birindeki sıcaklık duyar elemanlarıyla, KID sahası içindeki ve dışındaki ısıl depolamanın gelişimi izlenmektedir. Özellikle işletmenin ilk yıllarında, akışkanın ve enerji akışının izlenmesi, BHTES sisteminin uzun süreli performansının optimize edilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır [11]. 30 Haziran 2005 tarihinde kuyudan ölçülen sıcaklıkların dağılımı Tablo 3'de verilmiştir.

### 5.2. Kuyu İçi Isı Değiştiricilerindeki Gidiş/Dönüş Su Sıcaklık Debi Değerleri

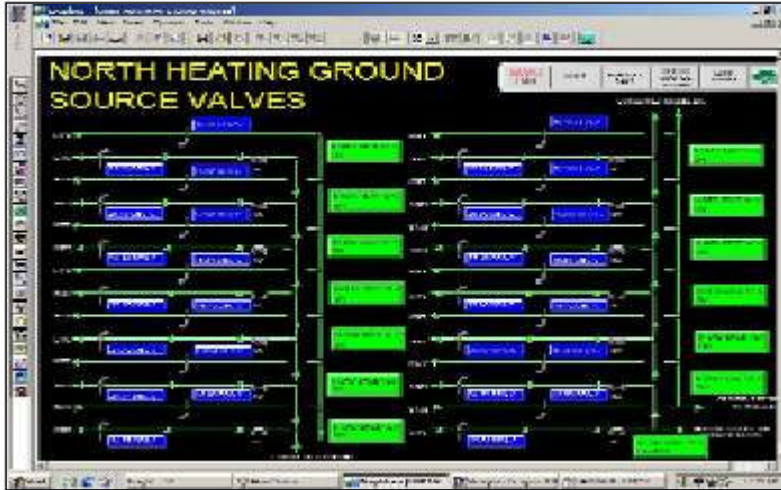
KID çevriminde bulunan kuyu içi ısı değiştiricileri, gidiş ve dönüş kolektörlerine bağlanmışlardır. Kuzey ve güney sahalardaki gidiş/dönüş su sıcaklıklarının değişimi Şekil 8'de verilmiş ve Tablo 4'de listelenmiştir. Tablo 4'den görüleceği üzere, kuzey ve güney sahalardaki su gidiş/dönüş suyu sıcaklıkları, sırasıyla, 16.72-

m'lik kısmın tabakası (overburden) demektir [11].

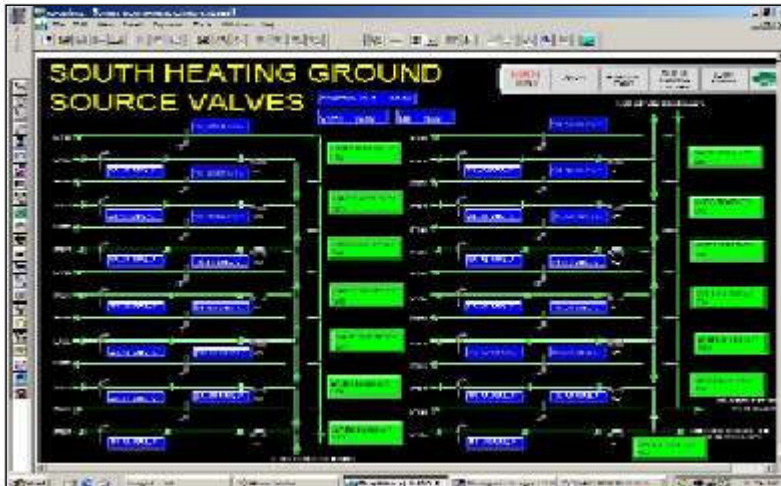
17.07 / 16.30-16.70 °C ve 24.53-25.33 / 23.15 - 23.59 °C aralıklarında değişmektedir.



Şekil 7. Kuyu sıcaklık sensörlerinin yerleşimi.



(a) Kuzey ısıtma hattı



(b) Güney ısıtma hattı

Şekil 8. Kuyu içi ısı değiştiricisi (KID) gidiş (GWS)/dönüş (GWR) su sıcaklık ölçüm noktaları



**Tablo 4.** Değişik branşmanlardaki kuyu içi ısı değiştiricisi (KID) gidiş/dönüş su sıcaklıkları (Ölçüm noktası \* Şekil 8'de gösterilmiştir)

Ölçüm Noktası*	Su gidiş sıcaklığı ( °C)		Su dönüş sıcaklığı ( °C)	
	Kuzey Isıtma Hattı	Güney Isıtma Hattı	Kuzey Isıtma Hattı	Güney Isıtma Hattı
1	25.33	23.15	16.87	16.64
2	25.19	23.41	16.87	16.50
3	24.98	23.43	17.07	16.36
4	25.05	23.48	16.84	16.67
5	24.79	23.43	16.72	16.53
6	24.77	23.17	16.84	16.70
7	24.72	23.38	16.92	16.47
8	25.28	23.43	16.95	16.55
9	25.09	23.38	16.98	16.58
10	25.40	23.59	16.92	16.55
11	25.00	23.48	16.81	16.41
12	25.07	23.52	16.72	16.24
13	24.53	23.36	16.90	16.61
14	25.02	23.45	16.72	16.30

73  
2006

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 9 3,

sağlamaktadır. Kuyuları besleyen her bir branşmanda, kontrol vanaları ile gidiş ve dönüş sıcaklık sensörleri bulunmaktadır [16].

**Tablo 3.** Değişik derinliklerde kuyu sıcaklıkları ( °C).

h*	Kuyu no				
(m)	1	2	3	4	5
30	7.61	8.13	12.78	9.24	6.20
60	14.66	12.04	22.54	20.89	13.44
90	18.00	18.72	25.89	25.21	16.20
120	21.93	20.90	30.21	28.56	19.75
150	25.24	28.13	34.73	33.08	25.04
180	27.50	32.04	39.63	36.01	28.78

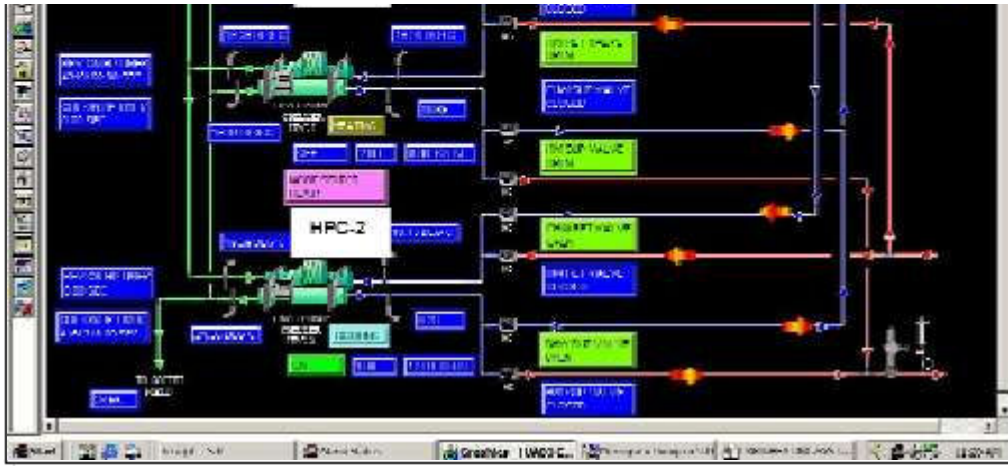
KID sistemiyle ilintili olan soğutma gruplarının sayısı gerekli, KID çevriminin debisini belirlemektedir. Soğutma grupları modüllerinde bulunan ayırma vanaları (paket soğutma grubunun bir parçası olarak kontrol edilen), KID çevriminin uygun soğutma grupları modüllerine akışını

### 5.3. Soğutma Grupları ve Isı Pompaları

Isıtma/soğutma üniteleri; her biri 7 modülden oluşan, 50 ton kapasitelerindeki iki ısı pompası grubu (ısıtma ve soğutma) ve 90 ton kapasitesindeki bir soğutma grubu (sadece soğutma modunda çalışan chiller)ndan oluşmaktadır. Soğutma grubu, pik soğutma ihtiyaçlarında ısı pompalarıyla birlikte çalışmaktadır [16]. Şekil 9'da, soğutma grubu (CH-1) ve ısı pompaları (HPC-1 ve 2)nın kumanda panosundan alınan akış resmi gösterilmektedir.

Soğutma modunda, soğutma grupları şöyle işletilmektedir: Operatör, tesisin ısıtma ya da soğutma modunda işletilip, işletilmeyeceğini seç





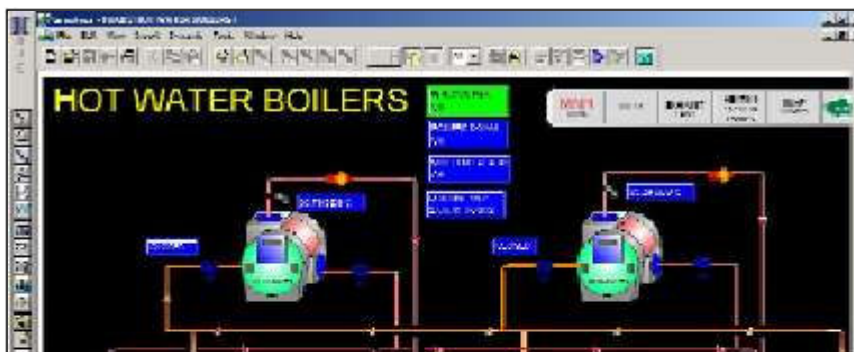
Şekil 9. Soğutma grubu ve ısı pompalarının akış şeması (CH1: Soğutma Grubu; HPC: Isı Pompası)

mektedir. Ayırma vanaları, soğutulmuş su akışına ayarlanmakta ve ısı pompaları soğutma modunda olmaktadır. Öncelikle, 90 ton'luk soğutma grupları çalışmakta, tüm 90 ton'luk soğutma grupları çalıştıktan sonra, artan soğutma yüküyle, 50 ton'luk ısı pompaları soğutma modunda işlemektedir. Soğutulmuş su gidiş sıcaklığı set değerinin sağlanması ve debiyle belirlendiği gibi, soğutma yükü artarken, soğutulmuş ve kondenser su devrelerindeki ayırma vanaların açılmasıyla, diğer soğutma grubu modülü sırayla devreye girmektedir. Soğutma yükü azalırken (debi sensörüyle belirlenmektedir), soğutma grubu modülleri, soğutma grubun devreden çıkarılması ve daha sonra soğutma ve kondenser ayırma vanalarının kapatılmasıyla, sırayla işletme dışı bırakılmaktadır.

Isıtma modunda, ısı pompaları şöyle işletilmektedir: Isı pompaları, ısıtma moduna alınmaktadır. Isı pompalarındaki ayırma vanaları, soğutulmuş su çevriminden ısıtma suyu çevrimine dönüştürülmektedir. Su sirkülasyon pompasının hızı, set noktasında (45 °C) ısı pompalarına giren gerekli ısıtma suyu sıcaklığına

ayarlanmaktadır. Düşük sıcaklık ısıtma suyu gidiş set sıcaklığını (50 °C) sağlanması ve debiyle belirlendiği gibi, düşük sıcaklık yükü artarken, diğer modül, soğutulmuş ve kondenser su devrelerindeki ayırma vanalarının açılmasıyla, sırayla devreye girmektedir. Debi sensörleriyle belirlendiği gibi, düşük sıcaklık ısıtma yükü azalırken, modüller, soğutulmuş ve kondenser su devrelerindeki ayırma vanalarının kapatılması ve ısı pompasının devreden çıkarılmasıyla, sırayla durdurulmaktadır.

Soğutma yükü arttıkça ve soğutma grubu (CH-1) tam kapasiteye ulaştığında, ısı pompası (HPC-1), ilave soğutma yükünü karşılamak için, soğutma moduna geçmektedir. Soğutma yükü artmaya devam ettikçe, operatöre, HPC-2 ısı pompasını soğutma moduna dönüştürmek için alarm verilmektedir. Böylece, tam soğutma kapasitesi sağlanmaktadır. Orta sıcaklık ısıtma su sistemi, düşük sıcaklık su ısıtma sistemi için gerekli olan ısıyı sağlamaktadır. Isı pompalarıyla, düşük sıcaklık ısıtma sisteminin talebi karşılanamazsa, gerekli su gidiş suyu sıcaklığını sağlamak üzere, ısıtma sistemi kontrol vanaları ayarlanmaktadır. Pik yaz sezonunda, ısı pom-

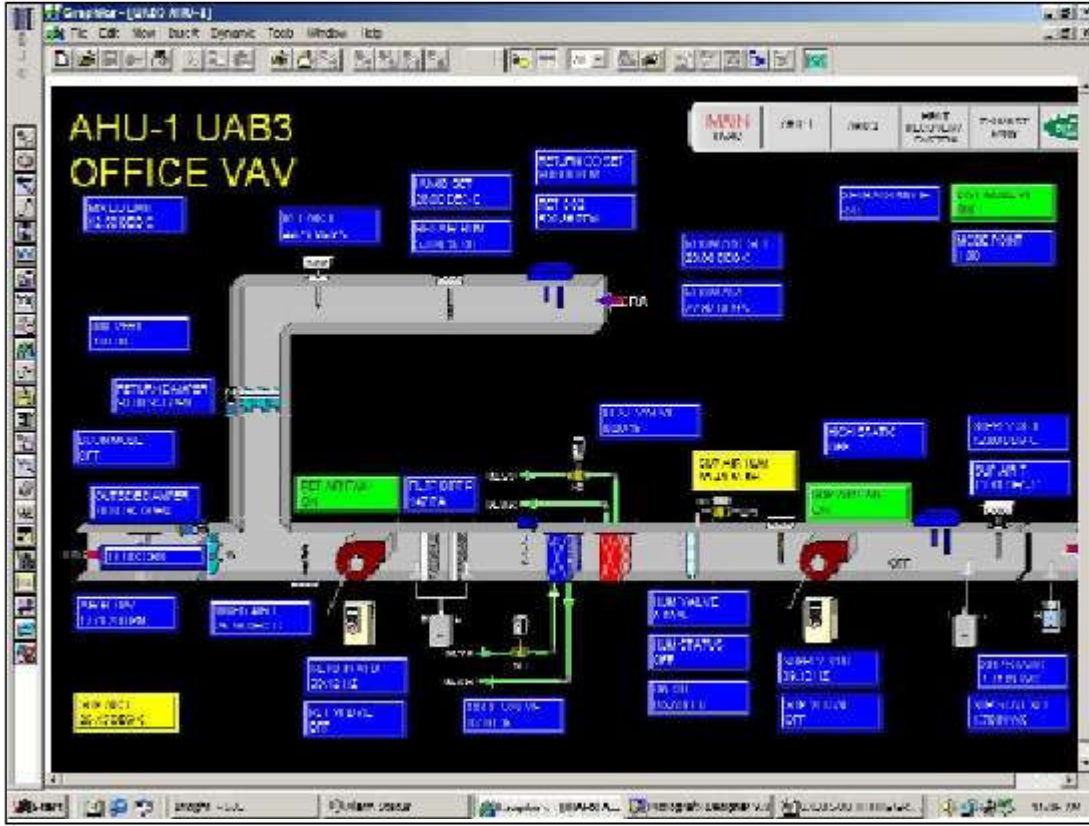




Şekil 10. Sıcak su kazanları akış şeması

75  
2006

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 9 3,



Şekil 11. Hava santrali akış şeması





Şekil 12. Hava santrallerinin görünüşü

paları, soğutma moduna alınmakta ve orta sıcaklık ısıtma sistemi, düşük sıcaklık ısıtma sistemi talebini karşılamaktadır [16].

#### 5.4. Sıcak Su Kazanları

Isıtma tesisinde, Şekil 10'da gösterildiği gibi, sıcak su kazanları bulunmaktadır.

Isıtmada, orta sıcaklık ısıtma su dağıtım pompaları çalışmaktadır. İlk kazandaki ayırma vanaları açılmaktadır. Kazanda paket halinde bulunan otomatik kontrol düzenekleriyle gerekli gidiş suyu sıcaklığı ayarlanmaktadır. Gidiş suyu debisi ve sıcaklığıyla gösterildiği gibi, ısıtma talebinin artmasında, daha sonraki kazandaki ayırma vanaları açılmakta ve kazan işletilmektedir. Düşük sıcaklık kazan gidiş pompasıyla, ana kullanma sıcak suyu tankını beslemeden önce, giren kullanma suyu ön ısıtmak için, ısı değiştiricisinden dolaştırılır. Bu ısı değiştiriciden beslenme, kazan verimini artırmak için her bir kazandaki düşük dönüş noktasına bağlanmaktadır. Dağıtım debisiyle görüldüğü gibi, ısıtma talebindeki azalmada, her bir kazan, sırayla, devre dışı kalmakta ve ilgili ayırma vana-

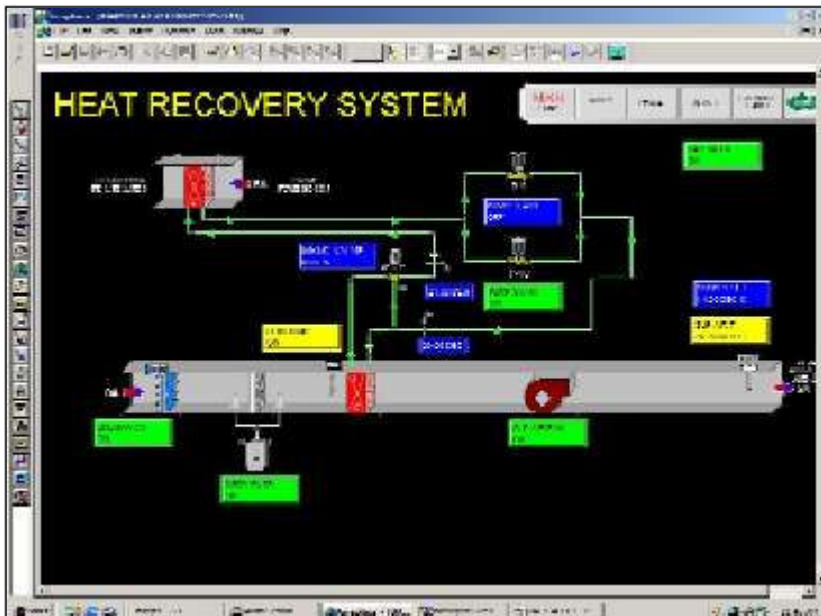
ları kapanmaktadır [16].

#### 5.5. Hava Santralleri

Tesiste, 4 tane hava santrali bulunmaktadır. Şekil 11 ve 12'de, sırasıyla, hava santrallerinden birinin akım şeması ve iki hava santralının fotoğrafı verilmiştir.

Değişken hacimli (VAV) hava santrali, dış hava ve dönüş hava damperli bir karışım odası, ön ve son filtre, soğutulmuş su soğutma serpantini, sıcak su ısıtma serpantini, değişken devirli sürücüler olan dönüş fanları ve nemlendiriciden oluşmaktadır [16].

Hava santrali, kullanıcıların bulunduğu (occupied) ve kullanıcıların bulunmadığı (unoccupied) modlarda, gün bazı süresince otomatik işletilmektedir. Sistem, kullanıcıların bulunduğu modta, hacim sıcaklığı set noktasının altında olduğu zaman, ısıtma moduna veya hacim sıcaklığı set noktasının üstünde olduğu zaman ise, soğutma moduna geçmektedir. Sistem, mod set noktası sağlanıncaya kadar, ısıtma veya soğutma modlarında kalmaktadır. Kullanıcı-



ların bulunmadığı mod da, hacim sıcaklığı 18 °C'nin altına düştüğünde, geçe ısıtması yapılabilmektedir.

### 5.6. Isı Geri Kazanım Sistemi

Şekil 13'de, ısı geri kazanım sisteminin akış şeması verilmiştir. Isı geri kazanım pompaları, çalışma zamanını dengelemek için, sırayla işletilmektedir. Pompa değişimi haftada bir olmaktadır. Egzost hava akımından geri kazanılan ısı/soğucu sağlamak ve gelen taze havaya enerjimesi transfer etmek için, ilk seçilen pompa sürekli olarak işletilmektedir. Üç yollu karışım vanası, transfer edilen enerjinin gerekli olmadığı koşullarda (örneğin; serbest soğutma koşulu), taze hava serpantinine bypass akışı yapmaktadır. Şayet pompa 4 saatten daha fazla tamamen taze hava serpantinine bypass konumunda ise, pompa enerji tasarrufu sağlamak için durdurulmaktadır. Isıtma/soğutma gerekli olduğu zaman, pompa tekrar işletilmektedir.

### 6. SONUÇ

Enerji depolama teknolojileri; enerji tasarrufu sağlama, enerji pik yükünün daha pahalı olan gündüzden geceye kaydırılabilme, enerjinin bol olduğu zamanda depolayıp olmadığı zamanda kullanabilme ve kapasite artırımına gerek olmanma gibi belli başlı yararları nedeniyle, son zamanlarda giderek artan bir şekilde uygulanmaktadır.

Mevcut çalışmadan elde edilen ana sonuçlar aşağıda çıkarılmıştır:

- 1) YIEDS'lerinin ekonomik açıdan daha fazla fizibil olabilmesi için, yatırım giderlerinin çok fazla olmaması gerekmektedir. Bu bağlamda, toprağın ısı özelliklerinin ve sistemin KID'cisinin gerçek ısı direncinin ölçümlere dayalı belirlenmesi, başka bir deyişle, ısı tepki testinin yapılması gerekmektedir. Ülkemizde kurulacak özellikle büyük kapasiteli sistemlerde, bunun yapılması gerekmektedir.
- 2) KID'cileri, sistemin kalbi olmaktadır. Bunun mühendislik bakımından optimum tasarımı büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, ta-

sarımında, günümüzde geliştirilmiş değişik yazılım programları bulunmaktadır. Bu programlardan yararlanılması önerilmekte, ancak doğru ve ülkemiz koşullarına uygun verinin kullanılmasına özen gösterilmelidir.

- 3) YIEDS'lerinin performansının değerlendirilmesinde, sadece enerji analizi yöntemini kullanmak yeterli olmamaktadır. Sistemin, ekserjetik ve eksergoekonomik (ekserji ve ekonomin bir kombinasyonu) açıdan da incelenmelidir.
  - 4) YIEDS'leri, ülkemizde henüz daha yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu konuda gerekli teşvikler sağlanmalı, kullanıcılar daha fazla bilinçlendirilmeli ve kullanımı yaygın hale getirilmelidir.
- Bu çalışmada, KIEDS'nin üniversite yapılarına uygulaması verildi. Ülkemizin, seralar bakımından önemli bir potansiyele sahip olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, seralarda yakıt fiyatlarının artması ve bu konudaki teknolojik gelişmelere paralel olarak, bu tür sistemlerin seralarda da kullanımının artacağı umulmaktadır.

### SİMGELER

#### Kısaltmalar

AIRD (ATES)	Aküfer ısı enerjisi depolama
CTES	Yer altı mağara ısı enerjisi depolama
IEDS	Isı enerjisi depolama sistemi
JIP	jeotermal ısı pompaları
KID	Kuyu içi ısı değiştiricisi
KIEDS (BHTES)	Kuyu içi ısı enerjisi depolama sistemi
UOIT	University of Ontario Institute of Technology
YIEDS (UTES)	Yer altı ısı enerjisi depolama sistemleri
YMIEDS	Yer altı mağara ısı enerjisi depolama sistemi

### KAYNAKLAR

- [1] IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, "Energy Conservation through Energy Storage", [http://www.iea-ecses.org/techniques/energy\\_storage\\_rd.html](http://www.iea-ecses.org/techniques/energy_storage_rd.html), 2005.
- [2] DINCER, I., ROSEN, M.A., "Thermal Energy Storage: Systems and Applications",

Wiley, N.Y., 2002.

- [3] ROSEN, M.A., DINCER, I., "Exergy Methods for Assessing and Comparing Thermal Storage Systems", International Journal of Energy Research, Cilt No: 27(4), Sayfa No: 415-430, 2003.
- [4] SANNER, B., "Integrated Use of Geothermal and Other Renewable Energy Sources - Heat Pumps, Solar Thermal, Combined Heat and Power", Geothermal Training Programme IGC2003, Kısa Kurs, Reykjavík, İzlanda, Sayfa No: 1-20, Eylül 2003.
- [5] PAKSOY, H., "Underground Thermal Energy Storage - A Choice for Sustainable Future", World Energy Council, <http://www.worldenergy.org>, 2005.
- [6] IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, "Energy Conservation through Energy Storage Programme", Mayıs 2002.
- [7] SANNER, B., PAKSOY, H., "International Energy Agency Energy Conservation through Energy Storage Implementing Agreement", IEA-MOST-Workshop Sunumu, Beijing, Çin, 15.5.2002.
- [8] CGEA, Canadian Geothermal Energy Association., "Underground Thermal Energy Storage (UTES) Systems", <http://www.geothermal.ca/utes.html>, 2005.
- [9] SANNER, B., PAKSOY, H., "Possibilities for Heating and Cooling through Underground Thermal Energy Storage in the Mediterranean area", International Summer School on Direct Applications of Geothermal Energy", 2002.
- [10] SANNER, B., KARYTSAS, C., MENDRINOS, D., RYBACH, L., "Current Status of Ground Source Heat Pumps and Underground Thermal Energy Storage in Europe", Geothermics, Cilt No: 32, Sayfa No: 579-588, 2003.
- [11] UOIT&DC, "Thermal Energy Storage (TES)", UOIT Sunuş Dokümanı, 2004.
- [12] BLAKE, S., "Ground Source Heating/Cooling: Passion for Energy Efficiency Sparks Canada's Largest Geothermal Project", Plumbing & HVAC Product News, Sayfa No: 14-15, [www.plumbingandhvac.ca](http://www.plumbingandhvac.ca), Mart/Nisan 2004.
- [13] DINCER, I., HEPBASLI, A., ROSEN, M.A., HINSE, P., "UOIT'deki BHTES'in Performansının Değerlendirilmesi Çalışma Grubu Dokümanları", Yayınlanmamış, 2005.
- [14] MULTISTACK, "Data Sheet", 7 Ekim 2003.
- [15] UOIT, "Draft- Borehole Thermal Energy Storage Project Construction Specifications for Borehole Heat Exchangers", Mayıs 2003.
- [16] SIEMENS, "Control Drawings", 20 Ocak 2004.

