

JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNDE OPTİMUM KONTROL

Adil Caner Şener¹, Macit Toksoy¹, Gülден Gökçen¹

¹İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü - İzmir

e-mail: acanersener@yahoo.com, macittoksoy@iyte.edu.tr,, guldengokcen@iyte.edu.tr

ÖZET

Jeotermal akışkan enerjisinin yer altından yüzeye, yüzeyden de kullanıcılara ulaştırılması ancak pompa kullanımı ile mümkündür. Buna bağlı olarak, jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletme maliyetinin büyük bir kısmını pompalama enerjisi oluşturur. Ülkemizde şimdiye kadar geliştirilen ve uygulanan jeotermal bölge ısıtma sistemi projelerinde bu sistemlerin optimum kontrolü (enerji ekonomisi) üzerinde yeterli duyarlılıkta durulmamıştır. Optimum işletilen bir sistemde enerji tüketimi en aza inecek ve jeotermal enerjinin daha fazla konuta ulaştırılabilmesi mümkün olacaktır. Bu çalışma, ülkemizdeki en büyük jeotermal bölge ısıtma sistemi olan Balçova-Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi üzerinde yapılan araştırmalarda ortaya çıkan ve diğer bütün jeotermal bölge ısıtma sistemleri için genelleştirilebilecek olan *“birim elektrik tüketimi başına ne kadar jeotermal enerji üretilmektedir?”* ve *“tükenen elektrik enerjisi mümkün olan en düşük değerdedir mi?”* sorularından yola çıkmaktadır. Özellikle jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin

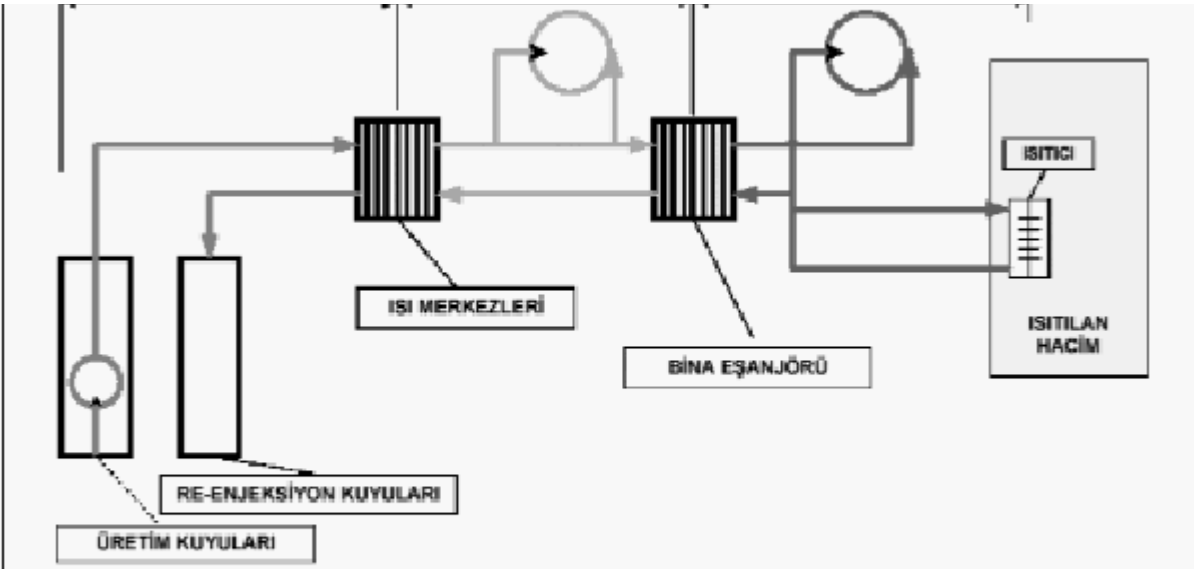
de optimum kontrol tanımlanmış daha sonra optimum kontrol uygulandığında sistemlerin performansını gözlemlemek üzere konvansiyonel enerji oranı (CER) ve konvansiyonel enerji fazlalık katsayısı (CEER) adlı iki parametre tanımlanmıştır. Son olarak çalışma Balçova-Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi üzerinde uygulanmış sonuçları ve değerlendirmeleri raporda verilmiştir.

1. Giriş

Jeotermal bölge ısıtma uygulamaları genel olarak geleneksel enerji kaynakları (Mazot, kömür vs.) ile yapılan ısıtmaya göre çok daha ekonomiktir. Ülkemizde, bu göreceli ekonomik üstünlük çoğu zaman yeterli olarak algılanmakta ve jeotermal ısıtma sistemlerinin enerji ekonomisi üstünde durulmamaktadır. Yapılan çalışmalar [1], ülkemizde işletilmekte olan jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin çok daha yüksek performanslarda çalışabileceğini göstermektedir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletme hedefi, kullanıcılara ihtiyaçları olan ısı enerjisi ni temin eden, sistemin elektrik tüketimini minimize etmektir. Bu sistemlerde elektrik

Adil Caner ŞENER

1977 İzmir doğumlu olan Şener, 2000 yılında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı yıl içinde İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde yüksek lisansa başlamıştır. 2000 yılından bu yana araştırma görevlisi olarak İYTE Makina Mühendisliği Bölümü'nde çalışan Şener, Balçova Jeotermal Bölge Isıtma Sisteminin Optimizasyonu adlı projeyi yüksek lisans tez konusu olarak çalışmıştır. 2002 yılında Birleşmiş Milletler Üniversitesi tarafından burslu olarak davet edildiği İzlanda'da jeotermal enerji sistemleri konulu 6 aylık eğitim programına katılmıştır. İzlanda'da kaldığı süre içerisinde Pipelab adlı bölge ısıtma sistemi simülasyon ve tasarım programı üzerinde çalışmalar yapmış ve bu programın geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Tez çalışması sırasında tasarladığı WELLOPT adlı program jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde optimum kuyu işletme stratejisini bulmak için kullanılmaktadır. Ana çalışma konuları: jeotermal enerji sistemleri, boru mühendisliği, bölge ısıtma sistemi modellemesi ve tasarımı, jeotermal enerji sistemlerinde kontrol ve otomasyon olarak özetlenebilir.



Şekil 1: Tipik bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin basit şeması (ID= Isı değiştirgeci)

enerjisinin neredeyse tamamının pompalar tarafından tüketildiği düşünülürse. İşletme hedefine ulaşmak için üretimden dağıtım, bütün pompaların değişen sistem ısı yüküne göre ve en verimli şekilde çalıştırılması gereği ortaya çıkar.

Şekil 1'de tipik bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin basitleştirilmiş bir şeması verilmiştir. Gerek içerdiği aşındırıcı elementler gerekse, hidrolik gereksinimler nedeniyle jeotermal akışkan sadece kuyulardan, kuyulara yakın bir

Macit TOKSOY

1949 da İlkurşun (İzmir) de doğdu. 1967'de Manisa Lisesi'ni, 1972 de İstanbul Teknik Üniversitesi'ni bitirdi. Ege Üniversitesi'nden doktora derecesini aldı. 1982 senesine kadar Ege Üniversitesi'nde, 1999 senesi ne kadar, fakültesinin üniversite değiştirmesi, nedeniyle Dokuz Eylül Üniversitesi'nde öğretim üyesi olarak çalıştı. 1999'dan bu yana da İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde öğretim üyesi olarak çalışma hayatına devam ediyor. 1999 senesinde Cumhurbaşkanlığı Genel Sekreteri, eski İzmir Valisi Sayın Kemal Nehrozoğlu'nun kurduğu, Jeotermal Enerji Yüksek Danışma Kurulu'na üye seçilmesiyle, Türkiye'deki jeotermal enerji uygulamalarını tanıma fırsatı buldu. O tarihten bu yana akademik çalışma zamanını ve gücünü, ülkemizdeki jeotermal enerji bölge ısıtma sistemlerinin çağdaş, bilimsel ve teknik ölçütlerde projelendirilmesi ve uygulanmasına, ilgili bilgi ve teknolojinin yayılması için seminer ve konferanslar düzenlenmesine, ilgili alanda araştırma yapmaya, lisansüstü tez çalışmaları yaptırmaya, bu alanda kamu kaynaklarının toplumsal düzeyde kullanılmasıyla ilgili alanda "Türkçe" yayın yapmaya ve yapılmasına katkı koymaya, yine ilgili alanda teknik standartların geliştirilmesine, İYTE bünyesinde Türkiye'nin gereksinimi olan Jeotermal Araştırma Geliştirme Test ve Eğitim Merkezi (GEOCEN)'nin kurulmasına ve nihayet çok önemsedığı ve gururunu duyduğu bir grup jeotermal enerji bölge ısıtma sistemi uzmanının yetişmesine katkı koymaya ayırdı. Yaptıklarından çok mutlu. Bu mutluluğa neden olan Sayın Nehrozoğlu'na, gece ve gündüzlerini jeotermal enerji ile geçirmesine müsaade ettikleri için ailesine, çalışmalarını destekleyen Balçova Termal ve Balçova Jeotermal Şirketi yöneticilerine, lisansüstü öğrencilerine çok teşekkür ediyor.

noktada bulunan ısı merkezine kadar taşınır. Isısı temiz suya aktarılan jeotermal akışkan daha sonra re-enjeksiyon kuyularına geri basılır. Temiz su ise kapalı devre

olan şehir dağıtım sisteminde dolaştırılır ve ısı konutlara dağıtılır. Sistemin Şekil 1'de gösterilenden farklı olarak birçok jeotermal kuyuya ve yüzlerce binaya bağlı olduğu düşünülürse, sistemin optimum kontrolünün belli bir işletme stratejisi ve otomasyon olmadan imkansız olduğu anlaşılır.

Jeotermal

bölge ısıtma sistemleri de diğer ısıtma sistemleri gibi tepe ısı yüküne göre tasarlanırlar ve ısıtma sezonunun büyük bir bölümünde kısmi yüklerde çalışırlar. Isıtma sistemlerinde ısı yükünü belirleyen bir numaralı etken dış hava sıcaklığıdır, bununla birlikte büyük bir bölge ısıtma sisteminin hava sıcaklığına göre ısı yükü de değişir. Sistem, sıcaklık re-

küne göre sıcaklık rejimleri sabit tutulurken, sıcak suyun debisi değiştirilir. Sıcaklık rejimleri, jeotermal kaynağın özellikleri, kullanılacak malzemenin özellikleri dikkate alınarak tasarım aşamasında seçilir. Sıcaklık rejimlerinin seçimi kadar, sistemde bu rejimi sağlayacak kontrol ekipmanlarının seçimi de çok önemlidir. Sistem, sıcaklık re-

çakılığı değişimlerine verdiği tepki bir çok etkene bağlıdır ve statik ısı yükü hesapları ile belirlenemez. Gelişmiş ülkelerde bulunan bölge ısıtma sistemlerinde ısı yükünün tahmini için ısı yükü tahmin modelleri kullanılmakta ve bu modeller sistem verileri ışığında devamlı olarak güncellenmektedir. Böylece bölge ısıtma sistemi aboneleri ihtiyaçları olan ısıyı doğru miktarda ve doğru zamanda alabilmektedirler. Isı yükü tahmini optimum işletme stratejisinin belirlenmesinde ilk adımı oluşturur ve diğer adımlar için en önemli veriyi oluşturur.

Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde genel olarak birden fazla jeotermal kuyudan üretim yapılır. Bu kuyuların maksimum üretim kapasitesi, jeotermal akışkan sıcaklığı, statik ve dinamik seviyeleri, ve pompa karakteristikleri birbirlerinden farklılık gösterebilir. Bu durumda jeotermal enerji üretimi için tüketilmesi gereken elektrik enerjisi miktarı her kuyu için değişir. Elektrik tüketiminin minimize edilebilmesi kısmi yüklerde verimli kuyuların çalıştırılmasına bağlıdır.

Geleneksel ısıtma sistemlerinden farklı olarak, jeotermal ısıtma sistemleri sabit sıcaklık farkı değişken debi prensibine göre işletilirler. Bu işletme prensibine göre, değişen ısı yükü

çok önemlidir. Sistemi seçilmiş sıcaklık rejimlerine göre tasarlandığından, farklı sıcaklık rejimlerinde sistem performansı düşer. Bir jeotermal bölge ısıtma sisteminde sıcaklık farklarının tasarım değerinden düşük olması durumunda, sistemin debisinin artırılması gerekir. Bu da pompalama enerjisinin artması anlamına gelir.

Jeotermal enerjinin kuyubaşından binalara dağıtımını sağlayan sirkülasyon pompaları ve yardımcı pompaların, seri ve paralel kombinasyonları en iyi şekilde incelenmeli ve bu pompalar en yüksek performansı verecek şekilde çalıştırılmalıdır.

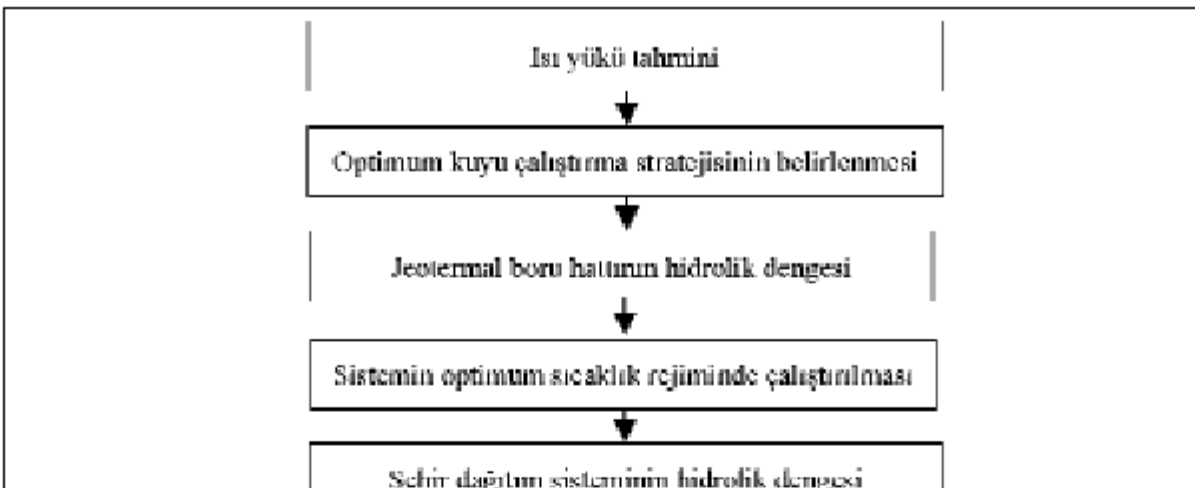
Yukarıda sıralanan işletme stratejileri, sistemde belirli bir düzeyde otomasyon yoksa uygulanamaz. Kilometrekarelerce alana yayılmış ve ısıtma sezonu boyunca çalışan bölge ısıtma sistemlerinin manuel kontrolü oldukça zor ve verimsizdir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde optimum kontrol stratejisi tasarım sırasında belirlenmeli ve kontrol ve izleme elemanları buna göre seçilmelidir.

Gülden GÖKÇEN

1968 yılı İzmir doğumludur. 1990 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1992 yılında Yüksek Mühendis, 2000 yılındada Doktor ünvanı almıştır. 1996 yılında Auckland Üniversitesi Jeotermal Enstitüsü'nde bir yıllık "Jeotermal Enerji Teknolojisi Diploma Kursu"na katılmıştır. 1997 yılında NATO A2 bursu ile ABD'de "Jeotermal Elektrik Santralleri'nde Reboiler Teknolojisi" üzerine dört aylık bir çalışma yapmıştır. 1991-2000 yılları arasında Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2000 yılından bu yana İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nde Yard.Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Jeotermal elektrik santrallerinde verim artırma yöntemleri, ısı eşanjörleri, jeotermal enerji kullanım yöntemleri ve jeotermal enerjinin çevresel etkileri konularında çalışmaktadır.

Şekil 2, bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin optimum kontrolü için izlenmesi gereken yolu gösterir.

Bu bakış altında Balçovana Narlidere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi



Şekil 2: Jeotermal bölge ısıtma sisteminin optimum kontrolü

analiz edilmiştir. Bu analizin sonucunda, jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde, işletme kontrol stratejisinin başarısının ölçütü olacaktır, farklı sistemlerin birbiriyle karşılaştırılmasına imkan sağlayacak iki katsayı, konvansiyonel enerji katsayısı [*Conventional Energy Ratio (CER)*] ve konvansiyonel enerji fazlalık katsayısı [*Conventional Energy Excess Ratio (CEER)*] tanımlanmıştır. Konvansiyonel enerji katsayısı (CER), bir jeotermal sahada birim elektrik tüketimi başına üretilen jeotermal enerji miktarı olarak tanımlanmıştır. Konvansiyonel enerji fazlalık katsayısı (CEER) ise, bir jeotermal bölge ısıtma sisteminde, ısıtma yükünü karşılamak üzere işletilen kuyu ve akışkan transfer pompalarında kullanılan elektrik enerjisinin, aynı ısıtma yükünün en uygun kuyuzininin, kuyu ve transfer pompalarının çalışma noktalarının seçimi ile harcanacak elektrik enerjisine oranıdır.

İdeal olarak, değişen dış sıcaklığa bağlı olarak sistemin ısı yükü tahmin edilebilirse, sistemin kapasitif davranışı ve kuyuların di-

namik davranışları tam olarak modellenenilmişse, nihayet bu tahmin ve modellemelere bağlı olarak kontrol sistemi oluşturulmuş ve işletiliyorsa, CEER'ın değeri 1 olacaktır. Ancak, en azından değişen dış hava sıcaklığının ve buna bağlı olarak değişen yükün tam olarak tahmin edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, binalardaki konfor koşullarının eksiksiz sağlanması amacıyla, sisteme gerektiğinden daha fazla enerjinin verilmesi söz konusudur. Böylece CEER 1'den büyük olacaktır. Balçova-Narlidere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi'nde 2001 ve 2002 yıllarına ait veriler kullanılarak hesaplanan iki yıllık ortalama CER ve CEER katsayıları sırasıyla 69 (kWh_e/kWh_e) ve 1.91 olarak bulunmuştur. Mevcut sistemde, Şekil 2'de verilen optimum kontrol stratejilerinin uygulanması ile CER değeri 131 (kWh_e/kWh_e) değerine CEER değeri de 1'e yaklaştırılabilir.

CER ve CEER değerleri bütün jeotermal ısıtma sistemlerinde kullanılabilir fakat jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin tasarım konseptleri, elektrik tüketimini minimize et-

mek için izlenecek metodları farklılaştırabilir. Örneğin, şehir dağıtım sisteminin açık devre olduğu ve jeotermal akışkanın korozif özellikler taşımadığı ve bina ısıtma sistemlerine kadar taşınabildiği bir sistemle, ikincil çevrimi olan ve şehir içi dağıtımını kapalı devre olan bir sistemin kontrol stratejisi farklıdır. Daha önce Şekil 1'de gösterilen jeotermal bölge ısıtma sistemi şeması ülkemizde bulunan tipik bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin bütün özelliklerini yansıtmaktadır. Sonraki bölümlerde daha ayrıntılı açıklanacak olan bu sistem bu çalışmada baz alınmıştır.

2. Balçova-Narlidere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi

Tablo 1: Balçova-Narlidere JBIS Üretim Kuyuları (2002-2003) [1]

Kuyu	Sıcaklık	Maks. Üretim Debisi (m ³ /h)
BD2	132	180
BD3	120	85
BD4	135	140
BD5	115	80
BD7	125	60
B4	117	55
B5	120	135
B10	105	100

Tablo 2: Balçova-Narlidere Jeotermal Boru Hattına Bağlı Isıtma Sistemleri (2002-2003) [1]

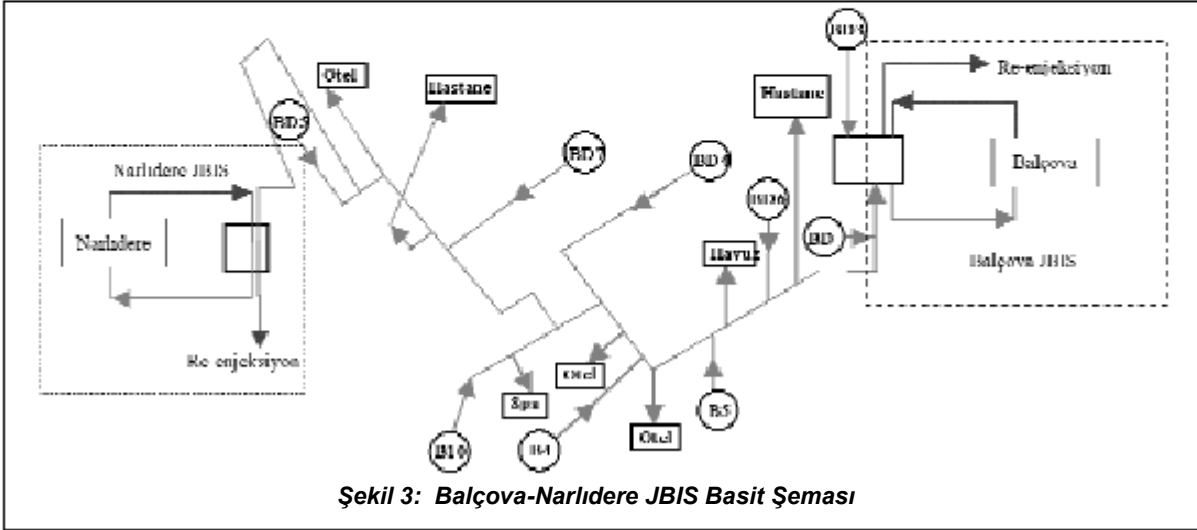
Tesis	Tepe Isı Yükü (kW)
Balçova JBIS	50364
Narlidere JBIS	5800

Balçova - Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi'nde jeotermal enerjinin üretilmesinden son kullanıcıya transferine kadar basitleştirilmiş bir şeması Şekil 3' de verilmiştir. Görüleceği üzere kuyulardan üretilen jeotermal akışkan, ısı merkezlerinde enerjisini şehir şebekesine transfer ettikten sonra, re-enjeksiyon kuyularına geri basılmaktadır. Şehir şebekesindeki akışkan enerjiyi, jeotermal akışkandan bina altı ısı eşanjörleriyle bina şebekesindeki akışkana aktarmaktadır. Bina şebekesindeki akışkan da

9 Eylül Hastane-1	14000
9 Eylül Hastane-2	1700
Havuz	1275
Tedavi Merkezi (spa)	2200
Termal Otel	1700
Prences Hotel	3200

enerjiyi ısıtıcılarla hacimlere aktarmaktadır. Yine görüleceği üzere, her üç şebekede akışkanın dolaşımı elektrikle tahrik edilen farklı özelliklerde pompalarla sağlanmaktadır

2002-2003 Isıtma sezonu itibariyle 8 üretim kuyusu, jeotermal akışkan üretimi için



Şekil 3: Balçova-Narlıdere JBIS Basit Şeması

kullanılmıştır. Bu kuyulardan elde edilen enerji 8 ısı merkezine gönderilmektedir. kuyuların ve ısı merkezlerinin genel özellikleri Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Jeotermal üretim ve enjeksiyon yapılan kuyularla, jeotermal akışkan hattına ait boru sistemi Şekil 3'de gösterilmiştir. Burada tek çizgi ile gösterilen boru hattı gidiş ve dönüş boru hatlarını birlikte temsil etmektedir. Tüm üretim kuyularından, bir derin kuyu jeotermal akışkan pompası ile üretim yapılmaktadır. Üretim debisi, frekans konverterleriyle (değişken frekans sürücüsü) sıfırdan kuyu maksimum üretim kapasitesine kadar değiştirilebilmektedir. Isı enerjisi gereksiniminin olmadığı kısa aralıklarda, teknik nedenler yüzünden, kuyu pompaları durdurulmamakta çok küçük devirlerde üretim yapılmaktadır.

Genel olarak ısı merkezlerinde 90 °C'a kadar ısıtılan akışkan bina altı ısı eşanjörlerinden geçtikten sonra yaklaşık 60 °C'de geriye dönmektedir. Her bina kendi ısı

başka deyişle, yük değişimine karşı debi değiştirilmektedir. Yaşam hacimlerinde farklı tipte ısıtıcılarla (genellikle panel radyatörler) ısı konfor sağlanmaktadır. Örnek olarak ısı merkezlerine bağlı şehir şebekelerinden Balçova bölgesine ait olanı Şekil 4'te verilmiştir. Şehir şebekesinin toplam uzunluğu yaklaşık 80 km'dir. Boru çapları da 25 mm ile 350 mm. aralığında değişmektedir. Bu şekilde de, tek çizgi gidiş ve dönüş hatlarını temsil etmektedir. Bu şebekede 4 adet sirkülasyon pompası bulunmaktadır. Değişken frekans sürücüleriyle kontrol edilen pompalardan genellikle üçü çalışmakta, biri yedek olarak durmaktadır.

3. Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinin Optimum Kontrolü

Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletme hedefi kullanıcıya ihtiyacı olan ısıyı sağlarken, sistem enerji tüketimini minimize etmektir. Bu sistemlerde enerjinin neredeyse

eşanjörüne ve akışkan debi kontrol sistemi sahiptir. şehir şebekesindeki kontrol sistemi ve elemanları sabit sıcaklık değişken debi prensibine göre seçilmiştir. Bir

- tamamı pompalar tarafından tüketilir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde enerji tüketiminin düşürülmesi sistemdeki bütün pompaların birbiriyle koordineli ve en yüksek verim



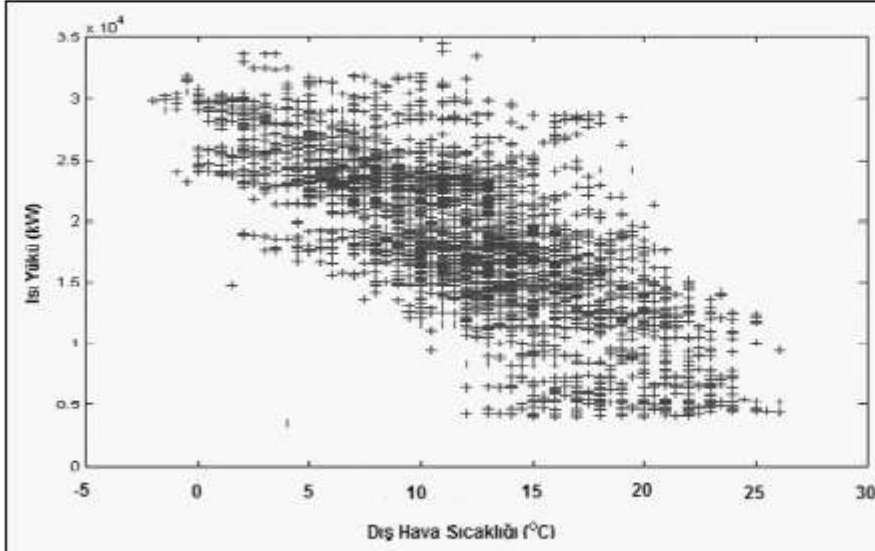
Şekil 4: Balçova Şehir Sıcak Su Dağıtım Sistemi

noktasında çalıştırılması ile mümkündür.ayarlayabilirler. Bir operatörün frekans sürü -
 Bölge ısıtma sistemlerinde kontrol, za - cülerinin avantajlarından tam olarak yararlan
 manla değişen dış hava şartlarına (başlı - nabilmesi ve sistemi sorunsuz işletebilmesi
 ca dış hava sıcaklığı) bağlı olarak değişen için aşağıdaki parametreleri bilmesi gerekir.
 bina ısı yüklerini karşılamak üzere yeterli 1. Ertesi günün dış hava sıcaklığı tahminini
 ısıyı sistem kullanıcılarına iletmek için, ısıdikkate alarak hesaplanmış **bir gün**
 üreten sistemlerin ve taşıyan akışkanların **sonraki sistem ısı yükünün miktarı.**
 sırasıyla üretim ve taşıma kapasitelerini de - Sistem ısı yükünü karşılamak ve enerji
 ğiştirmektir. Bu değişim, sabit sıcaklık de - tüketimini minimize etmek için **çalıştırıl -**
 ğişken debi veya değişken debi sabit sı - **acak kuyular ve bunlardan ne kadar**
 caklık prensiplerinden birini uygun olarak **debide üretim yapılacağı.**
 gerçekleştirilir. Jeotermal bölge ısıtma sis - **Sistem optimum basınç ve sıcaklık**
 temleri gibi büyük sistemlerde, kuyu ve sir - **işletme değerleri.**
 külasyon pompalarının devirleri değiştirile - Sistemdeki **bütün boru hatlarının ba -**
 rek, sabit sıcaklık değişken debi ile yük **sınç düşüm karakteristikleri** (bütün de -
 kontrolü yapılması literatürde tavsiye edil - biler için).
 mektedir [2]. Özellikle değişken frekans sürü - Sistemdeki **bütün pompaların karakte -**
 rücülerinin (variable frequency drivers) dü - **ristik eğrileri.**
 şen fiyatları ve otomasyon sistemlerine ko - Bu bölümde yukarıda sıralanan konular
 layca adapte edilebilmeleri, değişken fre - hakkında bilgi verilecek, ve Balçova-Narlıde
 kans kontrolünün jeotermal sistemlerde sık re JBIS üzerinde yapılan çalışmalar örnek -
 olarak kullanımına yol açmıştır. Frekans lenecektir.
 kontrollü bir pompa, belirlenen maksimum ve
 minimum debi değerleri arasında istenilen
 debide üretim yapabilir. Böylece operatörler
 değişen ısı yüküne göre jeotermal akışkan
 üretimini ve sirkülasyon suyunun debisini

3.1 Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Isı

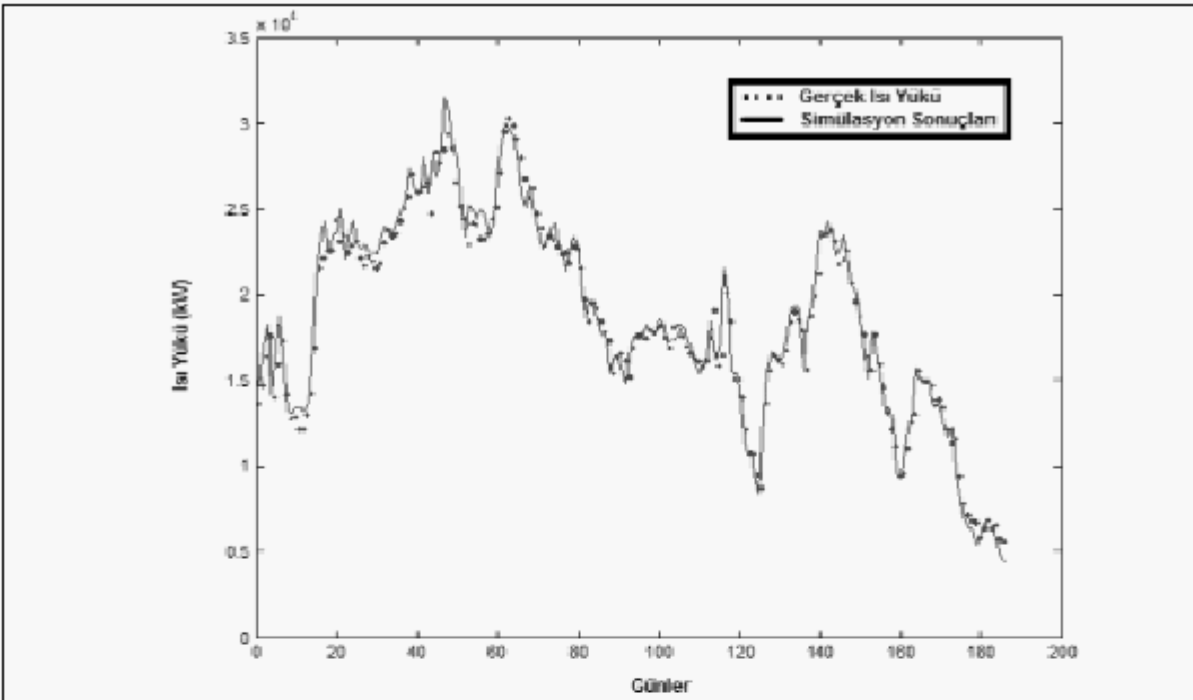
Yükü Tahmini

Konvansiyonel enerji kaynaklı bölge ısıt -

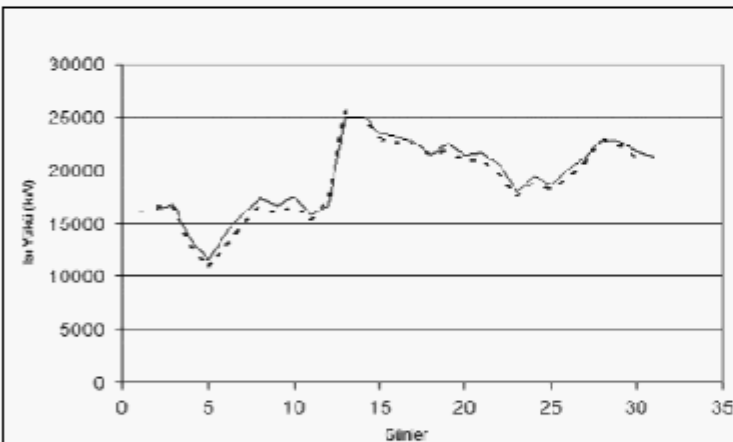


Şekil 5: Balçova JBIS Isı Yüğü – Dış Hava Sıcaklığı Değişimi (2001-2002 Isıtma Sezonu) [3]

ma sistemlerinde olduğu gibi, bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin optimum koşullarda işletilmesi ne sağlayacak kontrol stratejisi ısı yükünün modellenmesine gereksinim duyar. Isı yükünün modellenmesi, sisteme bağlı binaların herhangi bir andaki ısı kayıplarının hesaplanabilmesine imkan veren modelin kurulması



Şekil 6: Balçova JBIS ısı yükü değişiminin model sonuçları ile karşılaştırılması (2001-2002 Isıtma Sezonu) [3]



Şekil 7: Balçova JBIS'nde gerçek ısı yükü değişiminin model

Günlük olarak hesaplanan bu değerler, mevcut sisteme, ideal olmakla beraber verilen enerjidir. Şekil 5'te 2001-2002 ısıtma sezonunda Balçova ısı merkezinden saatlik olarak alınan ölçümlerden elde edilen ve dış hava sıcaklığı-sistem ısı yükü ilişkisi verilmiştir. Şekil 5'teki verilere zaman serisi analizi yöntemi uygulanmış ve Balçova JBIS'nin ısı yükü modeli çıkarılmıştır.

dır. Örnek olarak üstünde çalışılan Balçova-Narlidere sistemine bağlı yaklaşık 900 binanın termo fiziksel özelliklerinin bilinmemesi, dinamik ısı yükü hesaplama simülatörlerinin kullanımını mümkün kılmamaktadır. Sisteme bağlı binalara verilen toplam enerji 2001 yılından itibaren düzenli olarak, ölçülen eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıkları ile şehir şebekesi debisinden hesaplanmaktadır.

nabilir. [3]

$$Q_{\text{yarin}} = A \cdot Q_{\text{bugun}} + B \cdot T_{\text{yarin}} + C \cdot T_{\text{bugun}} + D \cdot T_{\text{dun}}$$

$$A = (0.8125 \pm 0.03696)$$

$$B = (-197.3 \pm 46.34)$$

$$C = (-148.9 \pm 59.85)$$

$$D = (6714 \pm 1274)$$

Elde edilen ısı yükü tahmin modeli 2001-2002 ısıtma sezonu gerçek verileri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6'da geçek değerler ile modelin karşılaştırılması verilmiştir.

2001-2002 ısıtma sezonu verileri kullanılarak elde edilen ısı yükü modeli, 2000-2001 ısıtma sezonuna uygulanmış ve 2001-2002 ısıtma sezonu gerçekleşen ısı yükü ile karşılaştırılmıştır. Şekil 7'de verilen bu karşılaştırma, simülasyonun yük tahmininde kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu tür modeller ancak gelişmiş bilgisayar programları ve büyük miktarda sistem verisinin kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Ayrıca ısı yükü tahmininde kullanılan modellerin sürekli olarak güncellemesi ve kalibrasyonu yapılmalıdır. Şekil 7'de düz çizgi gerçekleşen ısı yükünü, noktalar ise bir gün önceden model kullanılarak yapılmış ısı yükü tahminini göstermektedir. Isı yükü modeli sayesinde operatör bir gün sonrasının ısı yükünü ertesi günün dış hava sıcaklığına bağlı olarak tahmin edebilmekte ve sistemi bu tahmine göre hazırlayabilmektedir.

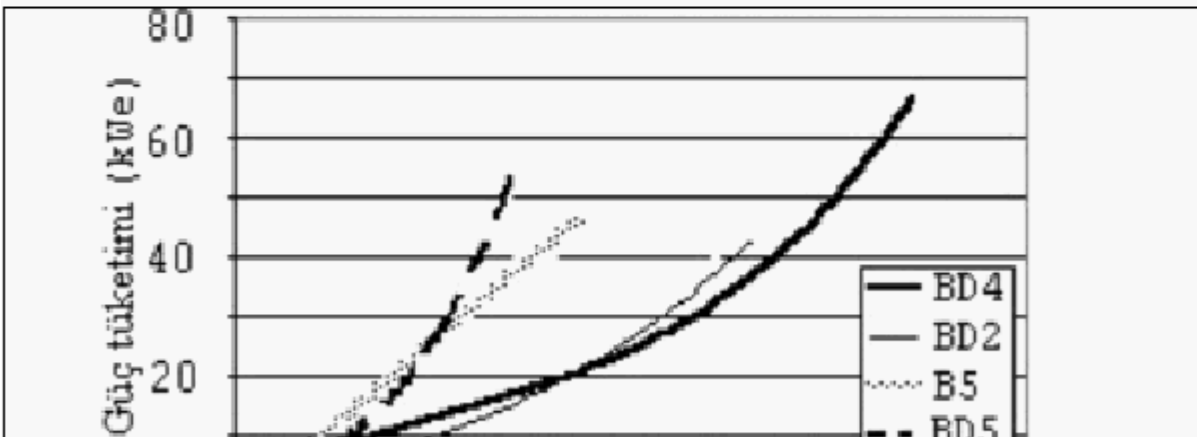
Bu tür modeller gelişmiş ülkelerde bul-

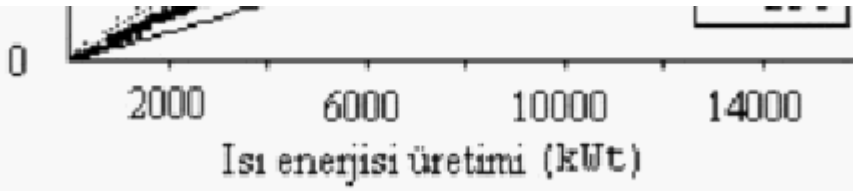
nan bölge ısıtma sistemlerinde otomasyonun bir parçası olarak kullanılmaktadır. Modellerin doğruluğu hava sıcaklığı tahminlerinin ve kullanılan verilerin doğruluğuna bağlıdır. Ülkemizde bu tür modeller halen çalışmaların devam ettiği Balçova-Narlidere JBIS sistemi dışında kullanılmamaktadır. Isı yükünün önceden doğru olarak tahmin edilebilmesi durumunda, ısı enerjisi doğru noktaya doğru zamanda ulaştırılabilecektir. Böylece kullanıcı memnuniyeti sağlanırken aynı zamanda da enerji tasarrufu yapılabilecektir.

3.2 Jeotermal Kuyuların Çalıştırma Stratejilerinin Belirlenmesi

Minimum elektrik enerjisi tüketimi ile istenilen enerjiyi taşıyan akışkanın üretilmesi, sıcaklıkları, dinamik ve statik seviyeleri birbirinden farklı ve zamanla değişen çok sayıda kuyudan en uygunlarının seçilmesini gerektirmektedir. En uygun kuyuların seçimi ise, istenilen enerjiyi taşıyan jeotermal akışkanın, minimum elektrik enerjisi ile üretilen kuyu grubunun üretim parametreleri ile (devir, debi vs.) belirlenmesidir.

Jeotermal akışkan üretiminin optimum





Şekil 8: Balçova-Narlidere JBIS'ndeki bazı üretim kuyularının enerji tüketimi karakteristikleri [3]

bu işletme prensibi ile yapılması ile ilgili bir çalışma Balçova-Narlidere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi üzerinde yapılmıştır. Balçova–Narlidere jeotermal üretim sahasında, jeotermal akışkan üretimi, sıcaklıkları ve maksimum debileri farklı 8 kuyudan yapılmaktadır. Bu kuyuların Tablo 1'de verilen özelliklerine ek olarak, bu kuyuların pompa karakteristikleri birbirinden farklıdır. Bir başka deyişle bu kuyulardan üretilen jeotermal enerjiye karşılık harcanan elektrik enerjisi kuyudan kuyuya farklıdır. Örnek olarak Şekil 8'de dört kuyu için yapılan jeotermal enerji üretimine karşılık tüketilen elektrik enerjisi gösteren eğriler verilmiştir.

Q_{well}

Şekilden görüleceği üzere, aynı miktarda enerji üretimi için tüketilecek elektrik enerjisi farklı kuyular için çok miktarda değişmektedir. Örneğin 4000 kWt enerji üretimi için BD4 kuyusu pompasında 10 kWe, diğer kuyularda 25 kWe güç kullanılmaktadır. Bu nedenle gereksinim duyulan enerjinin üretimi için, minimum elektrik enerji tüketmek üzere kuyuların ve pompa devirlerinin seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim içinde en başta, kuyuların yukarıda verilen üretim karakteristiklerini içeren

P_{pump}

veri tabanının oluşturulması gerekir. Kuyulardaki üretim karakteristiklerinin yanında, kuyu pompalarının seçilen çalışma parametrelerinin jeotermal akışkan devresindeki hidrolik etkileri de, işletme stratejisini belirleme açısından önemlidir.

Q_{BD2}

letme stratejisini belirleme açısından önemlidir.

P_{total}

programında, oluşturulan kuyu üretim karakteristikleri veri tabanını kullanan bir bilgisayar programı ile, herhangi bir andaki ısı yükünü karşılamak üzere istenilen enerjiyi üreten en uygun kuyu grubu seçilmekte, bu gruptaki kuyu pompalarının jeotermal hidrolik devre üzerindeki etkileri bilgisayar ortamında modellenmekte ve sonuçlar gözlenmektedir. Kuyu grubunu seçilmesi ile ilgili algoritmanın ana özellikleri aşağıda açıklanmıştır. [3]

Her hangi bir kuyudan üretilen jeotermal enerji:

(1)

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte T_{return} , ısı merkezlerindeki eşanjörlerdeki jeotermal akışkan çıkış sıcaklığıdır ve 60 °C olarak tasarlanmıştır. Bu sıcaklığın 60 °C olarak kabulü jeotermal sisteme bağlı kullanıcıların radyatörlerinin 60 °C'nin altı sıcaklıklarda yetersiz kalmasından dolayıdır.

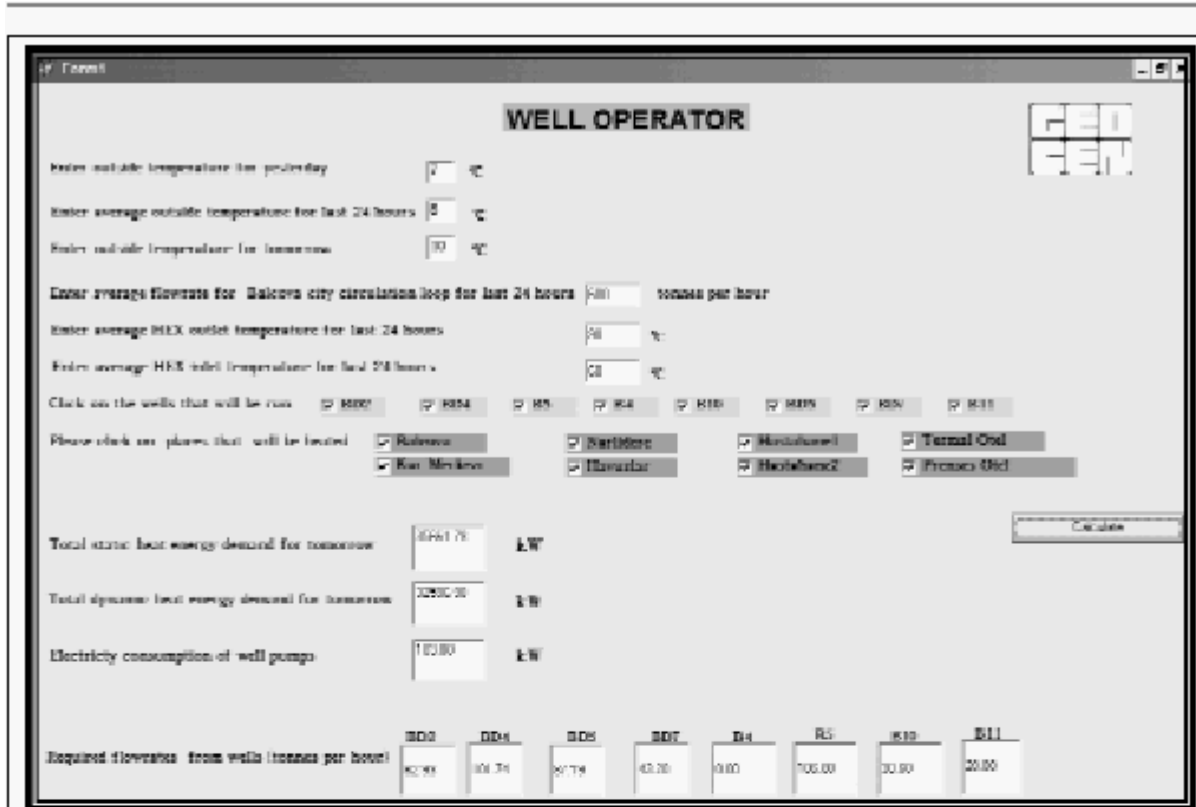
Söz konusu jeotermal enerjiyi üretmek için gerekli pompa gücü aşağıdaki 2 nolu eşitlikle hesaplanır:

(2)

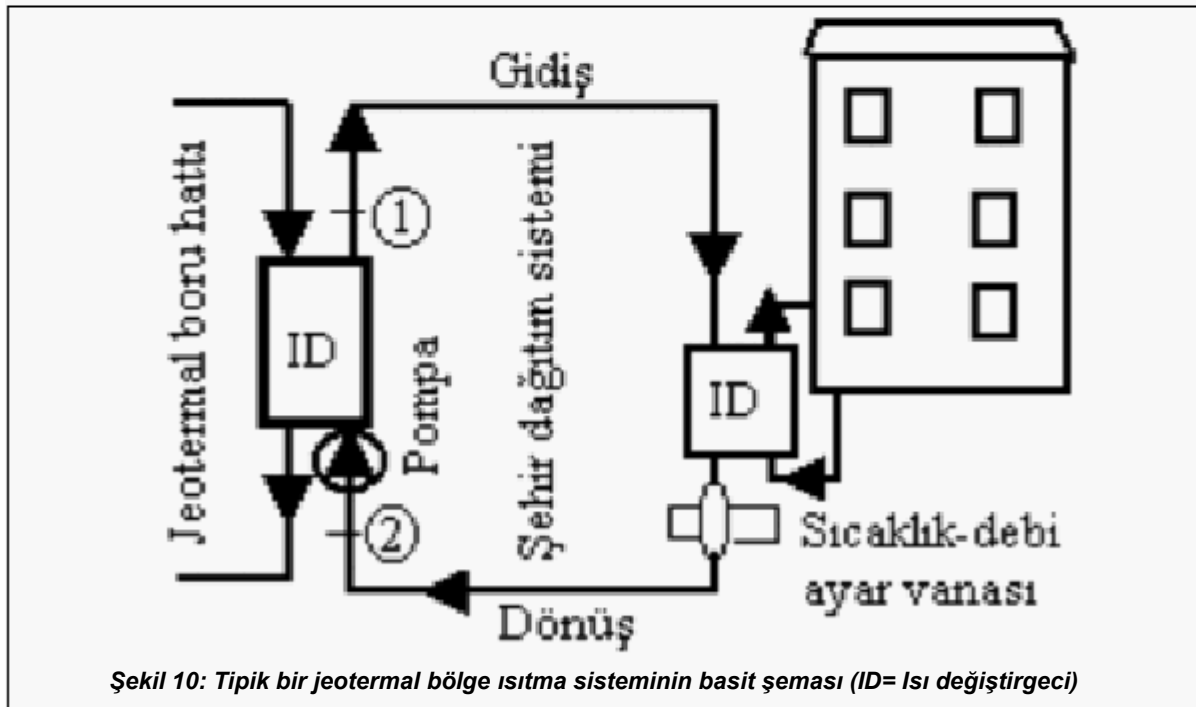
1 ve 2 no'lu eşitliklerden, pompa gücü ile üretilen enerji arasındaki fonksiyonel ilişkiyi kurmak mümkündür:

$$P_{pump} = f(Q_{well}) \quad (3)$$

Üretim yapan tüm kuyular göz önüne alınır -



Şekil 9: Optimum kuyu işletme stratejisini belirleyen WELLOPT programının arayüzü



Şekil 10: Tipik bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin basit şeması (ID= Isı değiştirgeci)

ne eşit veya ondan büyük olmalıdır:

(4)

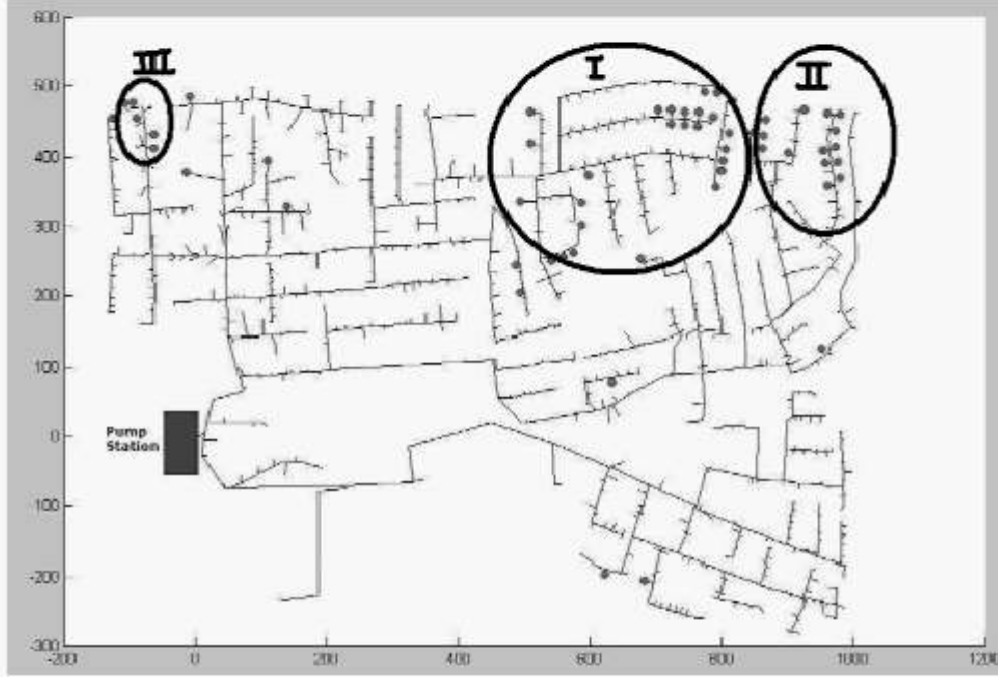
eşitliği yazılır. Herhangi bir anda, kuyular -
dan üretilen toplam enerji, o andaki ısı yükü

(5)

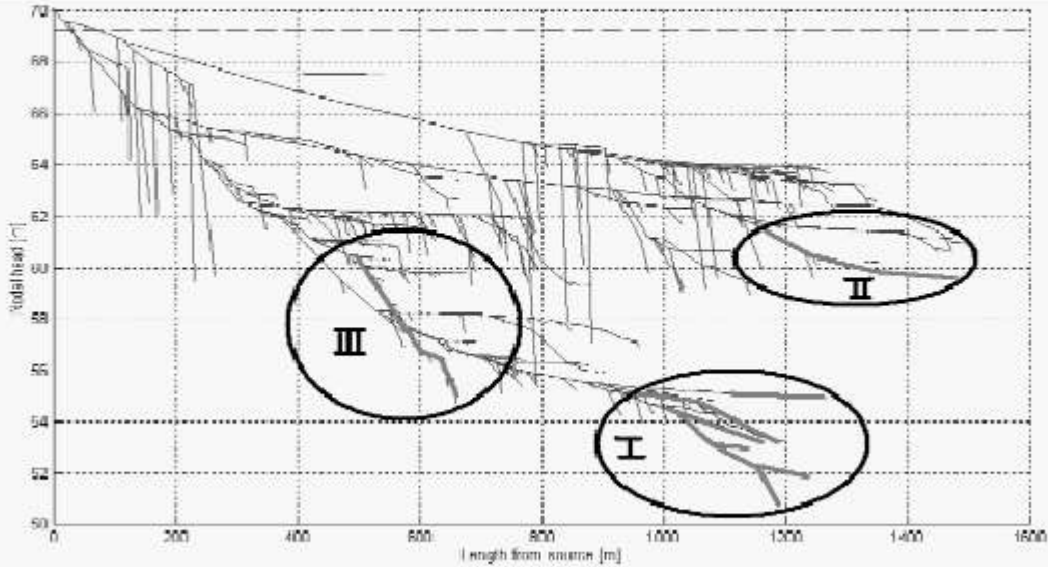
Böylece minimum enerji kullanımını sağlayacak performans kriteri, (6)

eşitliğiyle ifade edilir. Hazırlanan program hem 5 nolu, hem de 6 nolu eşitliği sağlamak

üzere tasarlanmıştır. Şekil 9 Balçova-Narlı - dere Jeotermal Bölge Isıtma sistemi'nde optimum kuyu çalıştırma stratejisini belirlemek üzere yazılmış WELLOPT adlı programın kullanıcı ara yüzünü göstermektedir. Program ilk olarak dış hava sıcaklığına tahmini ne bağlı olarak ertesi günün ısı yükünü hesaplamakta daha sonra da çalıştırılacak ku-



Şekil 11: Balçova şehir dağıtım sisteminde tepe yüklerde kronik ısıtma sorunlarının yaşandığı bölgeler. [3,4]



Şekil 12: Balçova Sıcak Su Şehir Dağıtım Sistemi Basınç Düşüm Grafiği [3, 4]

yuları ve her bir kuyudan üretilecek jeotermal akışkan miktarını belirlemektedir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin işletme mühendislerinin kullanımı için tasarlanmış

den veya ısı değiştirgecinden geçtikten sonra pompa istasyonuna geri döner, ve burada tekrar ısıtılır.

Balçova-Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma

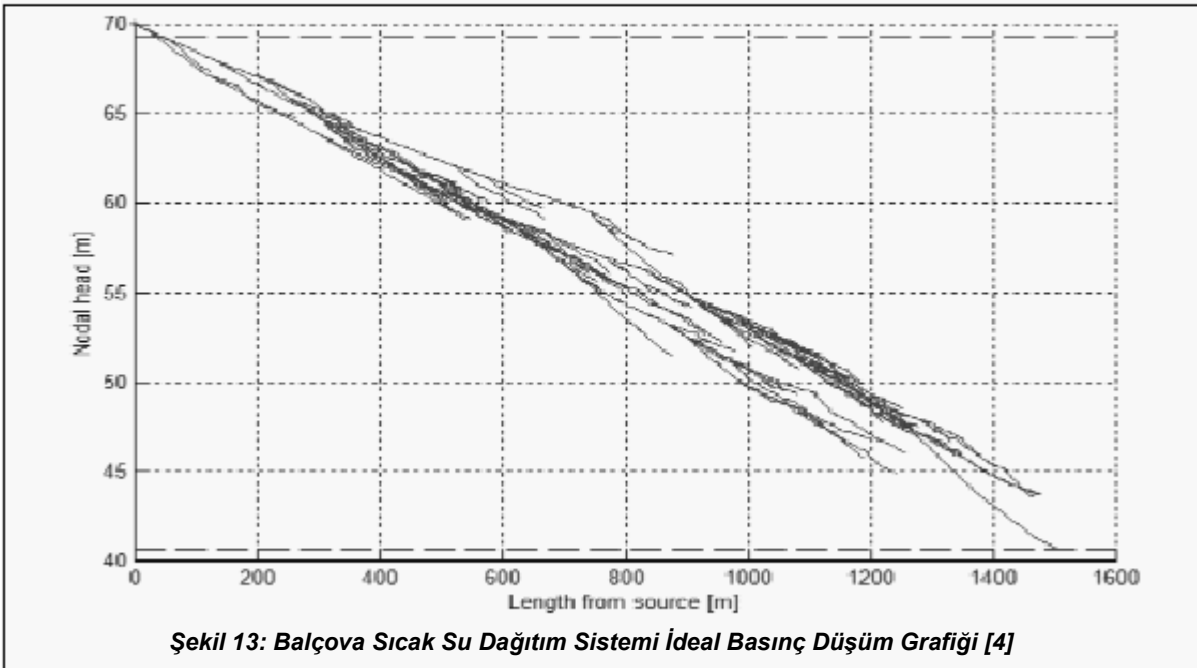
manent sisteminin kullanımını için tasarlanmış olan program, kolayca her türlü jeotermal sisteme adapte edilebilir. Gerekli otomasyon altyapısı bulunan sistemlerde ise direkt olarak otomasyon sistemlerine (SCADA) entegre edilebilir.

3.3 Şehir Sıcak Su Dağıtım Sisteminin Kontrolü

Şehir dağıtım sistemleri bir pompa istasyonundan şehirdeki binalara sıcak su taşıyan sistemlerdir. Şehir dağıtım sistemleri tasarım konsepti olarak açık devre ve kapalı devre olarak ikiye ayrılırlar. Açık devre sistemlerde su kullanıcıya ulaştırıldıktan sonra sistemden atılır (Kanalizasyon, deniz vs.), sisteme devamlı olarak yeni su girişi vardır. Bu tür sistemler su kaynağının bol miktarda bulunduğu ve kot farkının problem olmadığı yerlerde kullanılır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de şehir sıcak su dağıtım sistemleri çoğunlukla kapalı devre tasarlanmaktadır. Kapalı devre sistemlerde sıcak su radyatör-

Balçova-Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi'nin şehir dağıtım sistemi basit şeması Şekil 10'da görülmektedir. Pompa istasyonunda bulunan ana ısı değiştirgecinde jeotermal akışkanın sıcaklığı şehir dağıtım sistemi suyuna transfer edilir. Kapalı devre olan şehir dağıtım sistemi yaklaşık sıcaklığı 85-90 °C olan suyu şehir içindeki bina altı ısı değiştirgeçlerine taşır. Bina altı ısı değiştirgeçlerinde, şehir dağıtım sistemi suyunun ısı, bina içi ısıtma sistemine aktarılır. Şehir dağıtım sistemi suyu yaklaşık 60 °C'de pompa istasyonuna döner.

Şehir dağıtım sistemlerinde işletme prensibi tasarım sırasında belirlenmiş optimum sıcaklık rejimlerinin sabit tutulması üzerinedir. Isı değiştirgeci giriş ve çıkış sıcaklıklarının belirlenen değerde tutulması ısıtılan mekanlarda ısı konforu sağlamak ve enerji tasarrufu açısından hayati derecede önemlidir. Sıcaklık rejimlerinin sabit tutulabilmesi için sistemin ısı yükünün önceden bilinmesi gereklidir. Bu da ancak daha önce bah



sedilmiş olan ısı yükü modellerinin oluşturulması ve kullanımı ile mümkündür.

Dağıtım sistemlerinde termodinamik denge kadar hidrolik denge de önemlidir. Şekil 11'de Balçova şehir sıcak su dağıtım sisteminde kronik olarak ısıtma problemi yaşanan bölgeler gösterilmektedir. Şekil 12 ise Balçova şehir dağıtım sisteminin basınç düşüm grafiğini göstermektedir. Hidrolik ma-

pılacak değişiklikler ilk olarak bu programlarda uygulanır ve sonuçları analiz edilir. Yazarların bilgisi dahilinde ülkemizde sadece Balçova-Narlıdere JBIS'nde bu tür simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu tür programların ülkemizde yaygınlaşarak bölge ısıtma sistemi tasarımcılarının ve operatörlerinin elinde bir araç haline gelmesi, ülkemiz kaynaklarını daha verimli kullanabil-

şunı grafiğini göstermektedir. Hidrolik modelleme programları sayesinde çıkarılabilen bu tür grafikler, sistemin hidrolik analizi ve sistem sorunlarının çözümü için önemli araçlardır.

Şekil 12'de görüldüğü gibi sistemdeki ısınma problemlerinin %60'ından fazlasının bulunduğu Bölge I, sistemde en yüksek basınç düşümüne sahip bölgedir. Özellikle tepelerde bu bölgede yaşanan problemlerin kaynağı sıcak suyun bölgeye yeterli basınçta gönderilememesidir. Hidrolik denge sızlık yanlış sistem tasarımının bir sonucu ve işletme safhasında alınacak hiçbir tedbir, hidrolik dengesizliğe bir çözüm olmaz.

Bölge II ve Bölge III te yaşanan ısınma problemlerinin sebebi sırasıyla küçük çapta boru kullanımı ve bina altı debi kontrol vanalarından kaynaklanan problemlerdir. Şekil 13, Balçova sıcak su dağıtım sistemi için olması gereken basınç düşüm grafiğini göstermektedir. Branşmanlar arasındaki basınç farkı az dolayısı ile hidrolik dengesizlik riski çok daha düşüktür. Şekil 13'ten görüldüğü gibi ideal tasarımda sistem basınç kaybı daha büyüktür. Bunun sebebi ideal tasarımın boru maliyeti-işletme maliyeti optimizasyonuna göre yapılmasıdır.

Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin tasarımı ve işletimi sırasında hidrolik modelleme ve simülasyon programlarının kullanımı, tasarımcılara ve operatörlere sistem üzerindeki problemleri ve potansiyel gelişme fırsatlarını görme fırsatı verir. Sistem üzerinde ya-

şunı kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesi için çok önemlidir.

Şehir dağıtım sistemi işletiminde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer faktör bina altı bağlantı elemanlarıdır. Şehir dağıtım sisteminin binaya bağlandığı noktada bulunan kontrol elemanları sistemin dengeli çalışmasını sağlarlar. Ülkemizde bina bağlantılarında genel olarak kendi kendine çalışan (Self-operating) vanalar kullanılmaktadır. Bu vanalar sıcaklık, basınç ve debi kontrolünde kullanılmaktadır. En yaygın uygulama ısı değiştirgeci çıkış sıcaklığının kontrol edilmesidir. Ülkemizde bu tür vanaların kullanılmasında en çok karşılaşılan zorluk sistemdeki suyun içerdiği kum ve çamurun bu hassas vanaları tıkaması veya kilitlemesidir. Öte yandan bu vanaların ayarı her bir binanın ısı yüküne göre yapılmalı ve bütün sezon boyunca sabit tutulmalıdır, bir vananın ayarındaki en ufak bir sapma zincirleme olarak bütün bir branşmanı daha sonra da bütün sistemi etkiler. Vanalara müdahale sadece bilgili ve yetkili kişiler tarafından yapılmalı ve vanalar dış müdahalelere karşı korunaklı olmalıdırlar.

Şehir dağıtım sistemleri yüzlerce binaya bağlı büyük sistemlerdir. Herhangi bir branşmandaki hidrolik dengesizlik (kaçak, vana ayarsızlığı vs.) bütün bir sistemi etkiler. Bu sebeple şehir dağıtım sistemleri üzerinde yapılacak değişikliklerde bütün sistem bir bütün olarak düşünülmeli ve sistem operatörleri haricinde sisteme müdahale (pompa yerleştirme, vana ayarı yapma) kesinlikle

önlenmelidir.

Sistem işletme strajisini belirleyen bir diğer parametre de kullanıcıların aldıkları ısınma servisi için ödeme şekilleridir. Ülkemizdeki jeotermal ısıtma sistemlerinde uygulanan sistemde ödeme yıllık olarak dağıtıcı firma tarafından belirlenir. Her bir konut için ücretlendirme konut alanına göre yapılır. Bu sistemde kullanıcı yıl içinde ne kadar ısı kullanırsa kullansın sabit bir ücret öder. Diğer sistemde ise kullanıcının ısıtma sistemine bağlı olan debimetre kullanıcının kullandığı sıcak su miktarını saptar ve fiyatlandırma

yan noktası kontrol vanalardır. Daha önce de belirtildiği gibi bu vanalar çeşitli etkenler nedeniyle işlevlerini yerine getirememektedirler. Bu durum sistemde hidrolik dengesizliğe yol açmaktadır. Kontrol vanaları işletme koşullarına (sıcaklık, basınç, su kalitesi) çok duyarlıdır. Kontrol vanalarının (Self operating valves) kullanıldığı sistemlerde, bu tür vanaların uygun çalışma koşulları çok iyi incelenmeli ve sistem tasarımında bu koşullar sağlanmalıdır. Kontrol vanalarının işlevlerini doğru yerine getirebilmesi sabit fiyatlandırmanın sistem üzerindeki olumsuz etki-

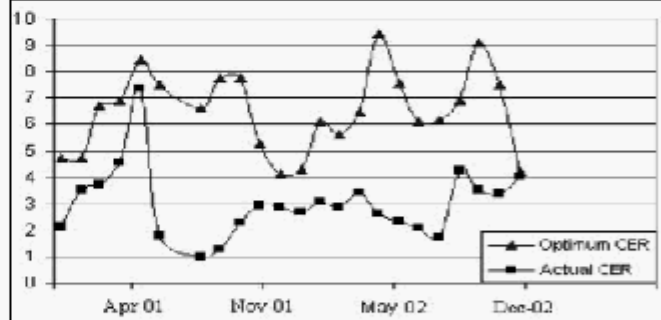
buna göre yapılır. Bu sistemin ana dezavantajı her bir bağlantı için ilk yatırım maliyetinin artması ve debimetrelerin periyodik olarak okunması ihtiyacıdır. Öte yandan debimetreli sistemde kullanıcı kullandığı suyun parasını ödediği için tasarruf yapmaya zorlanır. Sabit ücretlendirmede ise enerjinin kontrollü kullanımı sadece binaya konulan kontrol elemanına bağlıdır. Ayrıca İzlanda’da yapılan bir çalışmada [5] sabit fiyatlandırma yapılan ısıtma sistemlerde gerçekleşen tepe ısı yükünün debimetreli fiyatlandırma yapılan sistemlere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi olarak sabit fiyatlandırmada kullanıcıların ısıyı bütün gün boyunca kullanmaları öte yandan debimetre kullanılan binalarda kullanıcıların sadece evde buldukları akşam ve sabah saatlerinde enerji kullanmaları olarak belirtilmiştir.

Konutlaşma düzeninin Kuzey Avrupa ülkelerinden çok farklı olduğu Türkiye’de bireysel olarak her kullanıcıya debimetre takılması yerine bina bağlantılarına takılacak debimetreler ile apartmanlara toplam olarak ısınma faturası kesilmesi henüz düşünce aşamasında olan bir yöntemdir. Ülkemizde kullanılan sabit ücretlendirme sisteminin aksa

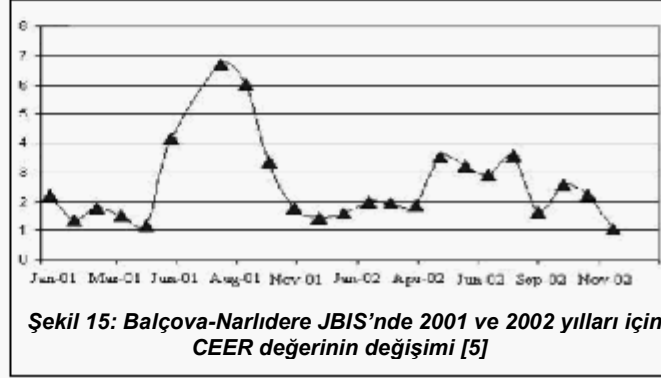
leri ez aza indirilebilir.

4. Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Elektrik Tüketimi Performansı CER ve CEER

Bu çalışmanın temel çıkış noktası, başlangıçta verildiği gibi, “birim elektrik tüketimi başına ne kadar jeotermal enerji üretilmektedir?” ve “tüketilen elektrik enerjisi



Şekil 14: Balçova-Narlidere JBIS’nde optimum ve gerçek CER değerlerinin 2001 ve 2002 yılları için karşılaştırılması [5]



Şekil 15: Balçova-Narlidere JBIS’nde 2001 ve 2002 yılları için CEER değerinin değişimi [5]

mümkün olan en düşük değerde midir?” sorularıdır. Örnek olarak ele alınan Balçova-Narlidere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi 2001 ve 2002 verileri kullanılarak bu soruların cevapları aranmıştır. Bu bölümde jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesinde kullanılacak iki faktör tanımlanmıştır. Balçova-Narlidere JBIS üzerinde yapılan iyileştirme çalışmaları sırasında, yapılan iyileştirmelerin sistem üzerine etkisini izleme amacıyla tanımlanan bu iki faktör, diğer jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde de performans izleme amacıyla kullanılabilir. Balçova-Narlidere JBIS’nin 2001 ve 2002 verileri kullanılarak yapılan çalışmada aylık olarak her kuyudan yapılan üretim debileri, kuyu üretim sıcaklığı ile re-enjeksiyon sıcaklığı arasındaki farklar çarpı-

de ortaya çıkacak elektrik tüketimi olarak hesaplanmıştır.

Konvansiyonel enerji katsayısı [Conventional Energy Ratio (CER)], bir jeotermal sahada birim elektrik tüketimi başına üretilen jeotermal enerji miktarı olarak tanımlanmıştır. [5]

$$CER = \frac{\text{Üretilen jeotermal enerji}}{\text{Tüketilen elektrik enerjisi}} \quad (\text{kWh}_g/\text{kWh}_e)$$

Gerçekleştirilen üretim için CER, jeotermal enerji üretimi miktarının, elektrik tüketimine bölünmesiyle elde edilmiştir. Elektrik tüketimini optimize eden kontrol stratejisine göre gerçekleşmesi beklenen CERo ise, jeotermal enerji üretimi miktarının optimum elektrik tüketimine oranı ile elde edilmiştir.

Konvansiyonel enerji fazlalık katsayısı

arak kuyulardan üretilen jeotermal enerji he saplanmıştır. Kuyulardan söz konusu üreti - mi yapabilmek ve konutlara tranfer ediebil - mek için kullanılan toplam elektrik enerjisi tük etimi de aylık elektrik faturalarından hesap lanmıştır. Optimum enerji tüketimi ise sis - tem optimum kontrol stratejisi ile işletildiğin -

[Conventional Energy Ratio (CEER)] ise, bir jeotermal bölge ısıtma sisteminde, ısıtma yükünü karşılamak için işletilen kuyu ve akışkan transfer pompalarında kullanılan elektrik enerjisinin, aynı ısıtma yükünün en uygun kuyu dizininin, kuyu ve transfer pomp larının en uygun çalışma noktalarının seçi -

Tablo 3: Değişik yükler için optimize edilmiş kuyu kombinasyonları [1]

Tablo 4: 40.000 kWt enerji üretimi için farklı kombinasyonların sonuçları [1]

Tablo 5: Örnek işletme günleri için üretilen, tüketilen enerjiler ve optimum kuyu üretim stratejisine göre yapılabilecek işletme ile elde edilebilecek enerji tasarrufu miktarı [1].

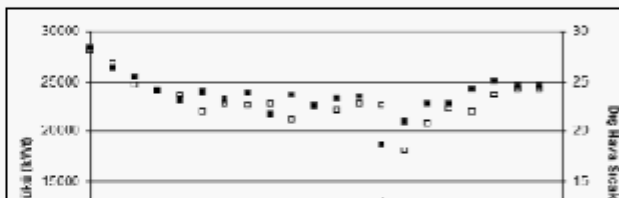
mi ile harcanacak elektrik enerjisine oranıdır. [5]

$$CEER = \frac{\text{Tüketilen elektrik enerjisi}}{\text{Optimum elektrik enerjisi tüketimi}}$$

İdeal olarak, değişen dış sıcaklığa bağlı olarak sistemin ısı yükü tahmin edilebilirse, sistemin kapasitif davranışı ve kuyuların di - namik davranışları tam olarak modellenel - bilmişse, nihayet bu tahmin ve modelleme lere bağlı olarak kontrol sistemi oluşturul - muş ve işletiliyorsa, CEER'in değeri 1 ola - caktır. Ancak, en azından değişen dış ha -

nın karakteristiklerinden bağımsızdır.

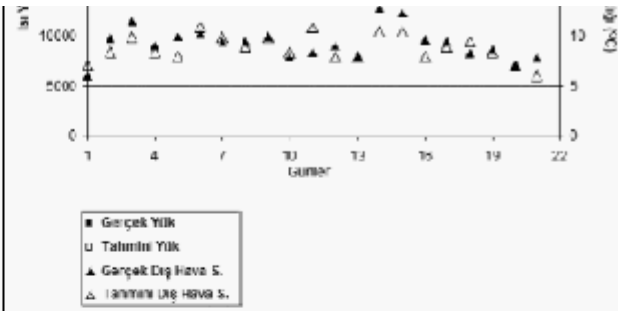
Şekil 14'te gerçekleşen ve optimum CER değerlerinin 2001-2002 yılları için de ği - şimini göstermektedir, Şekil 15 ise CEER değerinin aynı yıllar için de ğişimini göster - mektedir. 1.91 ortalama CEER değerine bakıldığında, sistem kontrolünün optimum -



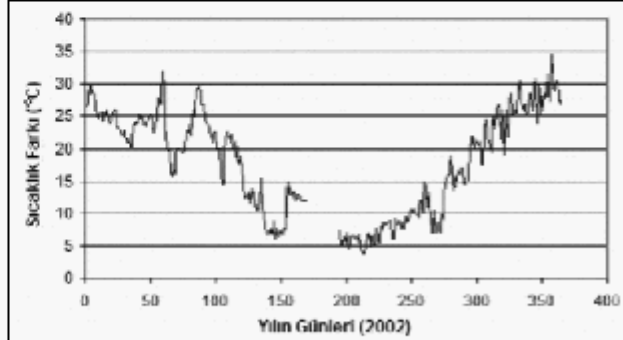
va sıcaklığının ve buna bağlı olarak değış -
şen yükün tam olarak tahmin edilmesi
mümkün değildir. Bu nedenle, binalardaki
konfor koşullarının eksiksiz sağlanması
amacıyla, sisteme gerektiğinden daha fazla
enerjinin verilmesi söz konusudur. Böylece
CEER 1'den büyük olacaktır. Şekil 5'teki
CEER değeri aynı zamanda, optimum CE-
Ro değerin Üretim CER değerine oranı -
dır:

$$CEER = (CER_{\text{opt}}) / (CER_{\text{Üretim}}) \quad (7)$$

Sistemden sisteme CER değeri ara -
sında fark olabilir. Bu farklılık, sistemin
projelendirilmesi ve uygulanması en ideal
halde gerçekleştirse bile, jeotermal saha
özelliklerine bağlı olarak değışebilir. An -
cak CEER değeri, işletme otomasyonun -
daki başarıya bağlıdır ve jeotermal saha -



Şekil 16: Gerçek Isı Yükünün Tahmin Sonuçları ile Karşılaştırılması [1]



Şekil 17: Balçova Sıcak Su Dağıtım Sistemi Gidiş-Dönüş Sıcaklık Farkı Değışimi (2002)

dan çok uzak olduğunu göstermektedir.

Özellikle yaz aylarında yükselen CEER değeri -
nin sebebi yazlık pompalarda değış -
ken frekans kontrolünün yapılmamasıdır. Yaz aylarında terkedilen değışken debi sa -
bit sıcaklık farkı uygulaması yerini zorunlu olarak sabit debi değışken sıcaklık farkı uy -
gulamasına bırakmakta bu da sistemde sıcaklık farkının azalmasına sebep olmaktadır. Kış aylarında 30°C'ye varan ısı değış -
tirgeci sıcaklık farkları yaz aylarında 10°C 'ye kadar düşmekte bu da sistemin daha fazla enerji tüketmesine sebep olmaktadır. İlk olarak 2003 yazında yazlık pompalarda frekans kontrolü uygulamasına geçilmiş ve yaz sezonu elektrik tüketimi değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenmiştir.

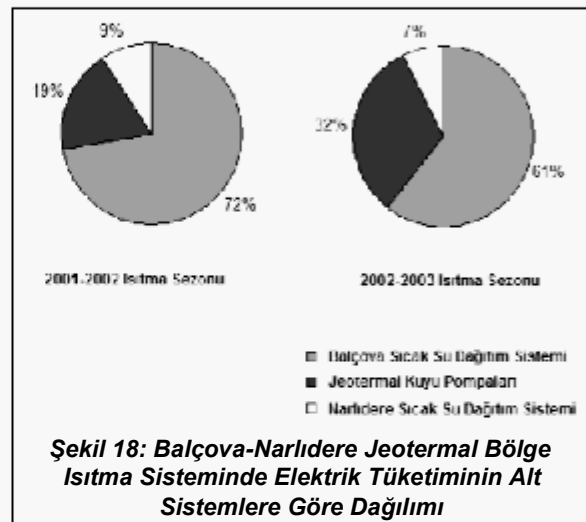
5. Balçova-Narlidere Sistemi Üzerinde Yapılan

Çalışmalar ve Sonuçları

Ana hatlarıyla Şekil 2'de gösterilen ve Bölüm 3'te açıklanan optimum kontrol uygulamalarının, Balçova-Narlidere sistemi üzerinde uygulanmasına çalışılmıştır. Sistemde herhangi bir otomasyon sisteminin olmaması ve sistemde çalışmaların uygulan -

masına engel teşkil eden ciddi miktarda su kaybı olması, çalışmanın bütün hatlarıyla sistem üzerinde uygulanmasını zorlaştırmıştır. Ayrıca çalışmanın uygulandığı 2002-2003 ısıtma sezonunda kuyubaşı ekipmanlarında meydana gelen arızalar (değışken frekans sürücüsü arızası, pompa elektrik motoru arızası) ve toplam kuyu kapasitesinin sistem tepe yükünü karşılayabilecek büyüklükte olması, belirlenen optimum kuyu çalıştırma seçeneklerinin sistem üzerinde uygulanmasını engellemiştir.

Hazırlanan optimizasyon programının ör-



Şekil 18: Balçova-Narlidere Jeotermal Bölge Isıtma Sisteminde Elektrik Tüketiminin Alt Sistemlere Göre Dağılımı

Tablo 6: 2002 Mart ve 2003 Mart Aylarına Ait Balçova Sıcak Su Dağıtım Sistemi Performans Bilgilerinin Karşılaştırılması (Jeotermal Kuyular Hariç) [1]

Tablo 7: Performans faktörlerinin mevsimlere göre değişimi [1]

nek sonuçları, Tablo 3'te verilmiştir. Bu tabloda birinci sütündeki elektrik gücü, ikinci sütunda istenilen ısı yüklerini karşılamak üzere seçilen kuyularda, belirtilen üretimler yapılmak üzere gerekli güçlerin toplamıdır. Aynı üretimi ve farklı elektrik tüketimleri ile sağlayan kuyu kombinasyonları birden fazladır. Bunun bir örneği Tablo 4'te verilmiştir. Yaklaşık 40.000 kWt bir üretim için yüzlerce kombinasyon söz konusudur. Tablo'da 1, 5, 10, 15, 40, 75 ve 100 nolu kombinasyonların sonuçları verilmiştir. Operatör programı çalıştırdıktan sonra elde ettiği bu kombinasyonlardan birini kuyuların durumunu (ekipman arızaları gibi) ve verimlilik sırasını göz önüne alarak seçebilir.

Tablo 5'te, farklı 5 işletme gününe ait gerçekleşen enerji üretimi ve buna karşılık gerçekleşen enerji tüketimlerine karşılık, optimizasyon yapıldığı takdirde tüketilecek enerji miktarları ve yapılacak günlük enerji tasarrufu miktarları örneklenmiştir.

WELLOPT programının geçmiş ısıtma sezonuna ait veriler üzerinde uygulanmasıyla, programın kullanımı durumunda Balçova-Narlıdere JBIS elektrik tüketiminde yaklaşık yıllık %5'lik (65,00 kWh) bir tasarruf sağlanacağı görülmüştür. 8 üretim kuyusu için mümkün olan bu tasarruf miktarının sistemin 12 üretim kuyusu ile çalıştırıldığı 2003-2004 ısıtma sezonunda daha çok tasarruf sağlayacağı açıktır. Geniş bir alana yayılmış kuyu adına sahip olan Balçova-Narlıde-

re çalıştırılması (Jeotermal Kuyular Hariç) [1] izlenerek çalıştırılmıştır.

-Şekil 16, Mart ayı boyunca Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün hava sıcaklığı tahminleri kullanılarak yapılan ısı yükü tahminlerinin gerçek ısı yükü ile karşılaştırılmasını gösterir. Mart ayı boyunca sistem bir sonraki günün ısı yükü tahminine göre çalıştırılmış böylece sıcaklık rejimindeki muhtemel dalgalanmalar önlenmiştir. Şekil 17'de 30 °C olması gereken Balçova şehir sıcak su dağıtım hattı gidiş-dönüş sıcaklık farkının yıllık değişimi görülmektedir. Bu sıcaklık dalgalanmalarının en önemli sebeplerinden bir tanesi sistemin bir sonraki günün ısı yükü deşilde anlık ısı yükü göz önüne alınarak çalıştırılması dolayısı ile ısı yükü değişimlerine zamanında tepki verilememesidir.

Sistemin optimum kontrol prensiplerine göre kontrol edildiği 2003 Mart dönemi ile 2002 yılının Mart dönemine ait sistem ısı yükü, ortalama elektrik tüketimi, ortalama dış hava sıcaklığı, şehir gidiş-dönüş sıcaklık farkı ve sistemde tüketilen elektrik enerjisinin sisteme verilen ısı enerjisine oranı Tablo 6'da verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, Mart 2003'te ortalama dış hava sıcaklığı bir önceki yıla göre çok daha düşüktür. Dolayısı ile 2003 Mart ayında sistemin ısı yükü bir önceki yıla göre daha fazladır. Sistemde tüketilen elektrik enerjisinin sisteme verilen ısı enerjisine oranı 2002 yılına göre

miş kuyu ağında pompalar Balçova Narlıdere JBIS'de bu programın kuyu operatörleri tarafından uygulanabilmesi ancak sistemde otomasyona geçilmesi ile mümkün olacaktır.

Optimum kontrol uygulamalarının sıcaklık rejimleri ve sirkülasyon pompaları üzerinde uygulaması ise daha sorunsuz olmuştur. 2003 yılı Mart ayı içerisinde sistem tamamen çalışmada belirtilen optimum kontrol prensipleri (Isı yükü tahmini, optimum sıcaklık rejimi, optimum sirkülasyon pompası ça-

performansları enerjiye olan 2002 yılında göre artmıştır, bu performans artışının ana sebebi şehir-gidiş dönüş sıcaklık farkının 30 °C civarında sabit tutulması olmuştur. Dolayısı Balçova sıcak su dağıtım sisteminin performansı bir önceki yıla göre 2003 yılı Mart ayında yaklaşık %45 artmış bu da sistemde sadece bir ayda 137,000 kWh elektrik tasarrufu sağlamıştır.

Şekil 18 Balçova-Narlıdere JBIS'de toplam elektrik tüketiminin alt sistemlere göre

dağılımını göstermektedir. Şekildende görüleceği üzere sıcak su sistemlerinin elektrik tüketimi içindeki payı azalırken jeotermal pompaların payı artmaktadır. Bunun sebebi sıcak su dağıtım sistemlerinde özellikle 2003 yılında yapılan optimum kontrol çalışmalarıdır. Bu çalışmaların sonucunda bu sistemlerde elektrik tüketimi düşerken kuyu pompalarının tüketimi aynı kalmış dolayısı ile genel içindeki payları yükselmiştir.

Tablo 7 sistem performans faktörlerinin mevsimlere göre değişimini göstermektedir. CEER değerinin en büyük değeri yaz aylarında almasının sebebi sistemde kullanılan yazlık sirkülasyon pompalarında değişken hız sürücüsü kontrolünün olmamasıdır. Bu yüzden sistemdeki sıcaklık rejimleri sabit tutulamamakta dolayısı ile bu eksiklik enerji kaybına yol açmaktadır. Optimum CER değerinin kış aylarında en düşük değerleri alınmasının sebebi bu aylarda sistemin tam kapasite çalışması dolayısı ile sistemdeki bütün kuyuları ve sirkülasyon pompalarının üst limitlerde ve verim noktalarından uzakta çalışmalarıdır. Gerçek CER değerleri arasında en düşük olanın yaz mevsimine ait olmasının sebebi daha öncede belirtildiği gibi sirkülasyon pompalarındaki değişken hız sürücüsü eksikliğidir. Bu eksiklik 2003 yazı itibarı ile giderilmiş ve yaz ayları için CER değeri yaklaşık 87 (kWh / kWh_e) değerine yükseltilmiştir.

6. Sonuç ve Öneriler

Önceki bölümlerde açıklanan kontrol ve performans izleme stratejilerinin tam olarak uygulanabilmesinin tek yolu sistemde otomasyonun bulunmasıdır. Ülkemizde otomas-

yet analizi gereği gibi yapılmadığından, sistemlerin daha verimli olarak nasıl çalıştırılabileceği sorusu gündeme alınmamaktadır.

Bugün ülkemizde bulunan jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin karşılaştığı en büyük sorunlardan biri verimsizliktir. Ülkemizin en büyük ısıtma sistemi olan Balçova-Narlıdere JBIS üzerinde yapılan çalışmalar sistemin şimdiki durumundan çok daha verimli işletilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu durum ülkemizdeki diğer jeotermal bölge ısıtma sistemleri için de genellenebilir. Bölge ısıtma sistemlerinin işletme maliyetini en aza indirebilmek için hem tasarım aşamasında hem de işletme sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır.

Tasarım sırasında [6]

- Boru çapları belirlenirken basınç kaybı-boru çapı optimizasyonunu işletme maliyeti faktörünü de göz önüne alarak yapmak.

Sistemde kullanılacak pompaların seçiminde pompaları yüksek verimlerde çalışacak şekilde seçmek.

Sistemde tüketilen enerjiyi gözlemleyen ve pompaları kontrol edebilen bir kontrol sisteminin tasarımını yapmak ve uygulamak.

İşletme sırasında [6]

Kullanıcılara ihtiyaçları kadar ısı vermek için, sistem ısı yükünün önceden tahmin edilmesi.

- Sistemi değişen ısı yükleri için elektrik tüketimini minimuma indiren bir işletme stratejisine göre çalıştırmak.

İşletme sırasında yapılan hatalarda geri dönüş şansı bulunmasına rağmen, tasarım hatalarından geri dönüş mümkün olmamak-

otomasyonun bulunmasıdır. Ülkemizdeki otomasyonun ilk yatırım maliyetine getirdiği yük çoğunlukla otomasyon projesinin feda edilmesi veya sınırlandırılması ile hafifletilmektedir. Henüz, ülkemizdeki hiçbir uygulamada mali-

hatalarından yeni oluşan maliyetler oluşmamaktadır. Günümüzde binlerce binaya dağılan ve bir çok branşmanı olan sistemler bilgisayar programlarında rahatça modellenebilmekte ve kolayca basınç kaybı-boru çapı

optimizasyonu yapılabilmektedir. Bu tür programların yanlış yapma riski az olduğu gibi aynı zamanda tasarımcılara esneklik sağlamak ve proje safhasında meydana gelen değişikliklerin zaman kaybına yol açmamasını önlemektedir. Bu tür programların kullanımı sadece tasarımcıya değil işletme sırasında operatöre büyük katkılar sağlamaktadır. İşletmesi ne kadar iyi olursa olsun eğer sistemde tasarım hataları varsa sistemden yüksek verim almak imkansızdır. Tasarım hatalarının en aza indirilmesi için jeotermal proje finansörlerinin bu konuda bilinçli hareket etmesi ve projenin bütün safhalarında jeotermal enerji uzmanlarından yardım alması gereklidir.

Jeotermal bölge ısıtma sisteminde çalışacak bütün elemanlar (mühendisler, sistem operatörleri, teknisyenler, kuyu operatörleri, arıza ekipleri, işçiler) işe başlamadan önce sistemin çalışma prensipleri hakkında eğitime tabii tutulmalıdırlar. Otomasyonun uygulanamamasının bir sebebi de, bu sistemleri işletecek eğitilmiş çalışanların bulunmamasıdır. Otomasyon sistemi kurulmuş bir bölge ısıtma sisteminde bu konuda eğitim almış insanlar çalıştırılmalıdır.

Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde otomasyon yurtdışında özellikle gelişmiş ülkelerde sistemin ayrılmaz bir parçası olarak düşünülmekte ve sisteme yapım aşamasında dahil edilmektedir. Ülkemizde uygulanan jeotermal bölge ısıtma projelerinde ise otomasyon ihmal edilmektedir. Ülkemizde 2003 yılı sonu itibarı ile en büyük jeotermal bölge ısıtma sistemi olan Balçova-Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi ülkemizdeki diğer bölge ısıtma sistemleri gibi manuel olarak işletilmektedir. Bu durum sistemin verimsiz çalışmasına yol açmakta ve sistemin elektrik tüketim miktarının olması gereken yaklaşıp olarak 2 kat fazla elektrik tük-

tem üzerinde yapılan çalışmalar sonunda sistemin optimum kontrol stratejisi belirlenmiş ve sistem manuel olarak da olsa kontrol stratejisi dahilinde işletilmesine çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elektrik tüketimi ciddi miktarlarda düşürülmüştür. Üretimden tüketiciye değişken bir çok parametresi olan jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin manuel olarak optimum kontrolü mümkün değildir. Dolayısı ile sistemin elektrik tüketimi azaltılmış olsa bile sistem hala optimum işletme şartlarından çok uzakta çalıştırılmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi ülkemizdeki jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde otomasyon uygulaması ihmal edilmiştir. Diğer ısıtma sistemleriyle karşılaştırıldığında jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin hem daha fazla değişkeni vardır hem de kontrol prensipleri farklıdır. Ülkemizde konvansiyonel ısıtma sistemlerinde çok başarılı otomasyon uygulamaları bulunmasına rağmen özel sektör, jeotermal bölge ısıtma sistemi otomasyonu konusunda yeterli bilgi ve tecrübeye sahip değildir. Kısaca ülkemizde jeotermal enerji otomasyonu konusunda yeterli bilgi birikimi (know-how) yoktur. Bu durum jeotermal bölge ısıtma sistemi işletmecilerini yurtdışındaki uzman firmalardan yardım almaya yöneltmektedir. Ülkemizdeki işletmecilere yurtdışından verilen fiyatlar çok yüksek gelmekte dolayısı ile otomasyon projeleri beklemeye alınmaktadır. Bu proje ülkemizde jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin kontrolü ve otomasyonu konusunda bir bilgi birikimi yaratmaya yönelik ilk adımdır. Ülkemizdeki jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin performansları ilk olarak bu çalışmada mercek altına yatırılmıştır. Tanımlanan optimum kontrol prensipleri bütün jeotermal bölge ısıtma sistemleri için geçerlidir ve kurulacak bir otomasyon sisteminin algoritmasını belirlemektedir. Yazılımın geliştirilmesi

de CER ve CEER performans parametreleri ilk olarak bu çalışmada tanımlanmış ve jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin performansını izlemek üzere kullanılmışlardır. Balçova-Narlidere JBIS için tasarlanan ve optimum kuyu çalıştırma stratejisini belirleyen WELLOPT adlı program kolaylıkla bütün jeotermal bölge ısıtma sistemlerine adapte edilebilir. Yukarıda sıralananlara ek olarak çalışmaların kısmi olarak Balçova-Narlidere JBIS üzerinde uygulanmaya başlandığı 2002 yılı başından itibaren yaklaşık 750,000 kWh_e elektrik tasarrufu sağlanmıştır.

Jeotermal enerji geleneksel enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında temiz ve ucuz bir enerji kaynağıdır. Ancak jeotermal enerji sistemlerinde primer enerji kaynaklarına ihtiyaç duydukları unutulmamalıdır. Jeotermal enerjinin verimli kullanımı daha fazla konutun jeotermal enerjiyle ısınması anlamına gelir. Ülkemizdeki mevcut sistemlerde iyileştirme çalışmalarının devam ettiği bu günlerde, gelecekteki projeler geçmişten çıkarılan dersler ışığında yapılmalıdır. Bu çalışmada tanımları yapılan CER ve CEER değerleri jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin verimliliğini tanımlayan faktörlerdir. Bu faktörler tasarım safhasından işletmeye kadar jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin performans tanımının yapılabilmesini ve performansının izlenebilmesini sağlar. Bu ikisinin kullanımı jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletmecilere sistem performansının artırılması yönünde yol gösterecektir.

REFERANSLAR

- [1] ŞENER A. C., "Optimisation of Balçova Geothermal District Heating System", Yüksek lisans tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü, 2003.
- [2] ASHRAE Handbook, Heating, Ventilating and Air-Conditioning Applications, 1999.
- [3] ŞENER A. C., Modelling of Balçova Geothermal District Heating Sytem. United Nations University

Geothermal Training Program Publications pp. 233-264, 2003.

- [4] VALDIMARSSON P., Pipelab 3.18 District Heating Simulation Programme, University of Iceland Mechanical Engineering Department, 1999.
- [5] ŞENER A. C., TOKSOY M., AKSOY N., Importance of Load Based Automatic Control in Geothermal Energy Systems, 3rd International Federation of Automatic Control Workshop DECOM-TT 225-231, 2003.
- [6] TOKSOY M., ŞENER A.C., AKSOY N., ÇANAKÇI C., İMAMOĞLU F., BAŞEĞMEZ D., GÜLŞEN E., Bergama Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü GEOCEN Yayınları No:001, 2003.
- [7] ŞENER A.C., TOKSOY M., GÖKÇEN G., Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Kontrol Stratejileri ve Otomasyon, TESKON 2003 - Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri ve Tasarımı Semineri, MMO Yayın No: MMO/2002/328-4, 2003.

SEMBOLLER ve İNDİSLER

C _p	Özgül ısı (kJ/(kgK))
g	Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
H	Basma yüksekliği (m)
m	Debi (kg/s)
P	Birim zamanda tüketilen elektrik enerjisi (KW)
Q	Birim zamanda üretilen ısı enerjisi (kW)
T	Sıcaklık (°C)
gt	Jeotermal (-)
pump	Pompa (-)
return	Eşanjör çıkışı (-)
well	Kuyu (-)
h	Verim (-)