

JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNDE KONTROL STRATEJİLERİ VE OTOMASYON

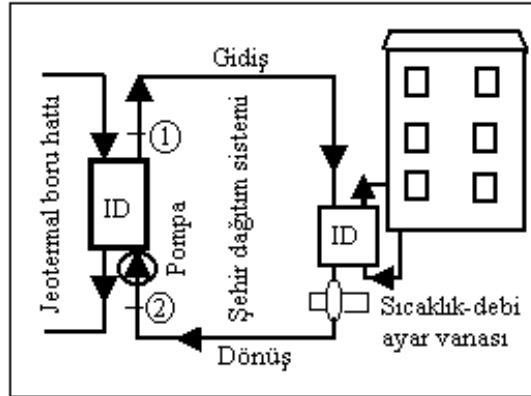
A.Caner ŞENER
Macit TOKSOY
Gülden GÖKÇEN

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. Bu çalışmada jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin elektrik tüketimini minimize eden optimum işletme stratejileri tartışılmaktadır. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde kuyu başından, kullanıcıya kadar olan safhalar incelenmiş, tasarım ve işletme sırasında yapılması gerekenler tartışılmıştır. Son olarak jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde optimum işletme şartlarını sağlayabilmek için gerekli olan minimum otomasyon gereksinimleri belirtilmiştir.

1. GİRİŞ

Jeotermal bölge ısıtma uygulamaları genel olarak geleneksel enerji kaynakları (Mazot, kömür vs.) ile yapılan ısıtmaya göre çok daha verimlidir. Ülkemizde, bu göreceli verimlilik çoğu zaman yeterli olarak algılanmakta ve jeotermal ısıtma sistemlerinin verimi üstünde durulmamaktadır. Yapılan çalışmalar [1], ülkemizde işletilmekte olan jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin çok daha verimli çalışabileceğini göstermektedir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletme hedefi, kullanıcılara ihtiyaçları olan ısı enerjisini temin ederken, sistemin elektrik tüketimini minimize etmektir. Bu sistemlerde elektrik 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. Tipik bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin basit şeması (ID= Isı değiştirgeci)

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

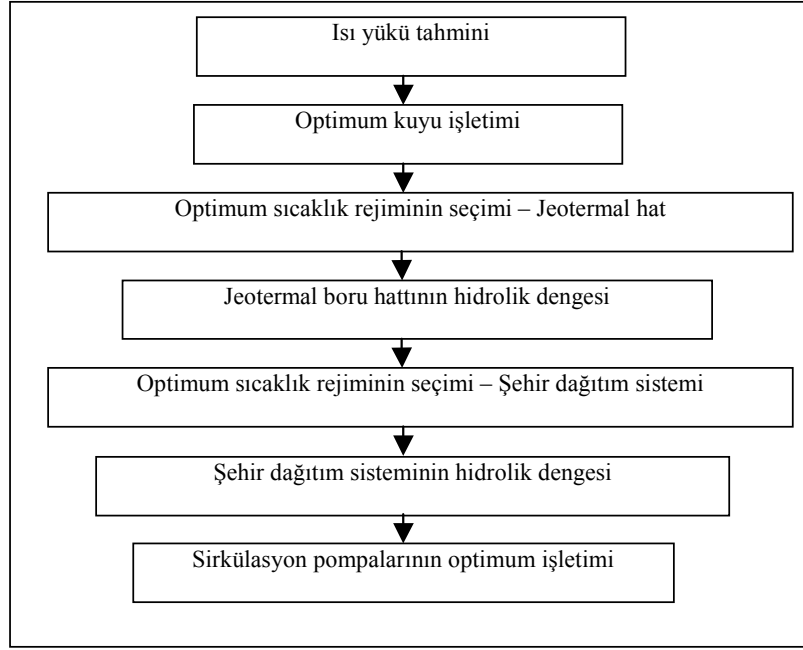
Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde genel olarak birden fazla jeotermal kuyudan üretim yapılır. Bu kuyuların maksimum üretim kapasitesi, jeotermal akışkan sıcaklıkları, statik ve dinamik seviyeleri, ve pompa karakteristikleri birbirlerinden farklılık gösterebilir. Bu durumda jeotermal enerji üretimi 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 yüküne 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 seçilmiş sıcaklık rejimlerine göre tasarlandığından, farklı sıcaklık rejimlerinde sistem verimi 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 verimli 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.

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



Şekil 2. Jeotermal bölge ısıtma sisteminin ideal işletme stratejisi [1]

Bu çalışmada, jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde enerji tüketimini minimize eden optimum kontrol stratejileri incelenecek ve sistemin optimum şekilde kontrolünü sağlayacak otomasyon gereksinimlerinden bahsedilecektir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin tasarım konseptleri, elektrik tüketimini minimize etmek için izlenecek metodları farklılaştırabilir. Örneğin, şehir dağıtım sisteminin açık devre olduğu ve jeotermal akışkanın binalara kadar dağıtıldığı bir sistemle, ikincil çevrimi olan ve şehir içi dağıtımı 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. JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNİN OPTİMUM KONTROLÜ

Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletme hedefi kullanıcıya ihtiyacı olan ısıyı sağlarken, sistem enerji tüketimini minimize etmektir. Bu sistemlerde enerjinin neredeyse tamamı pompalar tarafından tüketilir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde enerji tüketiminin düşürülmesi sistemdeki bütün pompaların birbiriyle koordineli ve en yüksek verim noktasında çalıştırılması ile mümkündür.

Bölge ısıtma sistemlerinde kontrol, zamanla değişen dış hava şartlarına (başlıca dış hava sıcaklığı) bağlı olarak değişen bina ısı yüklerini karşılamak üzere yeterli ısıyı sistem kullanıcılarına iletmek için, ısı üreten sistemlerin ve taşıyan akışkanların sırasıyla üretim ve taşıma kapasitelerini değiştirmektir. Bu değişim, sabit sıcaklık değişken debi veya değişken debi sabit sıcaklık prensiplerinden birini uygun olarak gerçekleştirilir. Jeotermal bölge ısıtma sistemleri gibi büyük sistemlerde, kuyu ve sirkülasyon pompalarının devirleri değiştirilerek, sabit sıcaklık değişken debi ile yük kontrolü yapılması literatürde tavsiye edilmektedir [9]. Özellikle değişken frekans sürücülerinin (variable frequency drivers) düşen fiyatları ve otomasyon sistemlerine kolayca adapte edilebilmeleri, değişken frekans kontrolünün jeotermal sistemlerde sık olarak kullanımına yol açmıştır. Frekans 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 ayarlayabilirler.

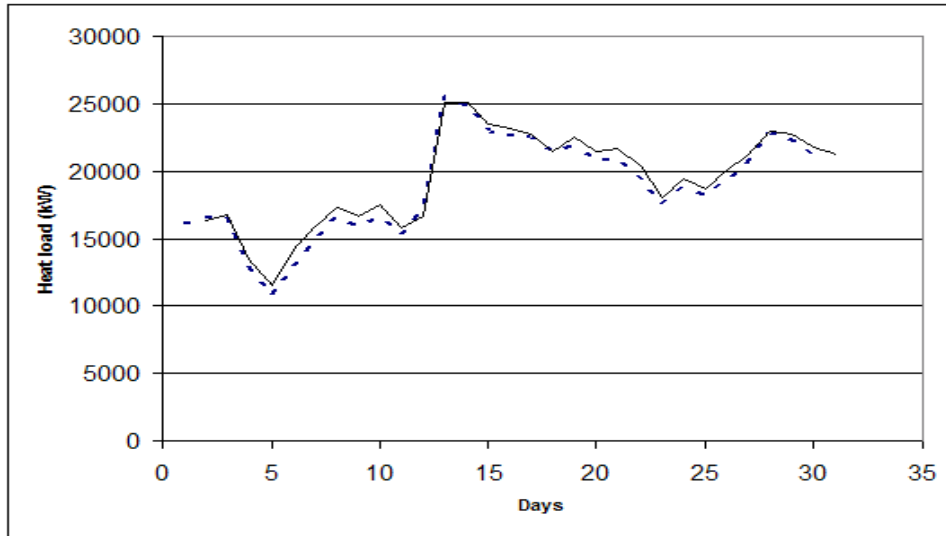
Bir operatörün frekans sürücülerinin avantajlarından tam olarak yararlanabilmesi ve sistemi sorunsuz işletebilmesi için aşağıdaki parametreleri bilmesi gerekir.

1. Ertesi günün dış hava sıcaklığı tahminini dikkate alarak hesaplanmış **bir gün sonraki sistem ısı yükünün miktarı.**
2. Sistem ısı yükünü karşılamak ve enerji tüketimini minimize etmek için **çalıştırılacak kuyular ve bunlardan ne kadar debide üretim yapılacağı.**
3. Sistemin **optimum basınç ve sıcaklık işletme değerleri.**
4. Sistemdeki **bütün boru hatlarının basınç düşüm karakteristikleri** (bütün debiler için).
5. Sistemdeki **bütün pompaların karakteristik eğrileri.**

Bu bölümde yukarıda sıralanan konular hakkında bilgi verilecek, ve Balçova-Narlidere JBIS üzerinde yapılan çalışmalar örneklenecektir.

2.1 Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Isı Yükü Tahmini

Konvansiyonel enerji kaynaklı bölge ısıtma sistemlerinde olduğu gibi, bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin optimum koşullarda işletilmesine sağlayacak kontrol stratejisi ısı yükünün gerçekçi modellenmesine gereksinim duyar. Isı yükünün modellenmesi, sisteme bağlı binaların herhangi bir andaki ısı kayıplarının hesaplanabilmesine imkan veren modelin kurulmasıdır. Balçova-Narlidere sistemine bağlı yaklaşık 900 binanın termo fiziksel özelliklerinin bilinmemesi, kompleksliğine rağmen dinamik ısı yükü hesaplama simülasyonlarının kullanımını mümkün kılmamaktadır. Sisteme bağlı binalara, kontrol sistemindeki eksiklikler nedeniyle, gereksinimin üzerinde enerji verildiğinin bilinmesine rağmen, binalara verilen toplam enerji 2001 yılından itibaren düzenli olarak, ölçülen eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıkları ile şehir şebekesi debisinden hesaplanmaktadır. Günlük olarak hesaplanan bu değerler, mevcut sisteme, ideal olmamakla beraber verilen enerjidir. 2001 yılı verileri kullanılarak elde edilen ısı yükü modeli, 2002 yılına uygulanmış ve 2002 gerçekleşen yükü ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3'te verilen bu karşılaştırma, simülasyonun yük tahminin de 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 3'te 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. [2]



Şekil 3. Balçova-Narlidere JBIS'nde gerçek ısı yükü değişiminin model sonuçları ile karşılaştırılması [3]

Bu tür modeller gelişmiş ülkelerde bulunan 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. Genel uygulama sisteme ihtiyacından bir miktar daha fazla ısı verip ısıtılan mekanların konfor sıcaklığının altına düşmesini önleme yönündedir. Bu uygulama sonucunda insanlar jeotermal bölge ısıtma sistemi kullanıcılarının yılın en soğuk zamanlarında bile pencerelerini açık bırakmaları, gözlemlenmiş bir gerçektir. Bu tür uygulamalar sistemlerin verimsiz işletmesine sebep olan en önemli etkenlerden biridir.

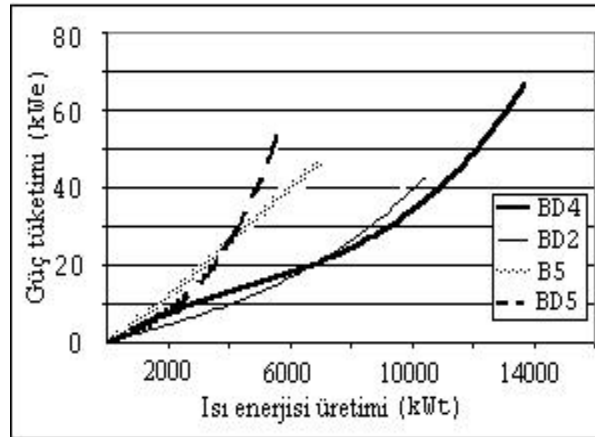
Tablo 1. Balçova-Narlidere Jeotermal Sahasındaki Üretim Kuyularının özellikleri [3]

Kuyu	Sıcaklık (°C)	Maksimum debi (kg/s)
BD2	130	50
BD3	120	40
BD4	135	45
BD5	112	22
BD7	115	22
B4	100	14
B5	100	28
B10	90	30

2.2 Jeotermal Akışkan Üretimi

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 üreten kuyu grubunun üretim parametreleri ile (devir, debi vs.) belirlenmesidir.

Jeotermal akışkan üretiminin optimum kuyu işletme prensibi ile yapılması ile ilgili bir çalışma Balçova-Narlidere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi üzerinde yapılmıştır [1]. Balçova-Narlidere jeotermal üretim sahasında, jeotermal akışkan üretimi, sıcaklıkları ve maksimum debileri farklı 8 kuyudan yapılmaktadır. Bu kuyuların Tablo 1’de verilen özelliklerine ilaveten, bu kuyuların pompa karakteristikleri birbirinden farklıdır. Bir başka deyişle bu kuyulardan üretilen jeotermal enerjiye karşılık harcanan elektrik enerjisi kuyudan kuyuya farklıdır. Örnek olarak Şekil 4’te dört kuyu için yapılan jeotermal enerji üretimine karşılık tüketilen elektrik enerjisi gösteren eğriler verilmiştir.



Şekil 4. Balçova-Narlidere JBIS’ndeki bazı üretim kuyularının enerji tüketimi karakteristikleri [4]

Şekilden görüleceği üzere, aynı miktarda enerji üretimi için tüketilecek elektrik enerjisi farklı kuyular için çok miktarda değişmektedir. Örneğin 4000 kW_t bir enerji üretimi için BD4 kuyusu pompasında 10 kW_e, diğer kuyularda 25 kW_e 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 veri tabanının oluşturulması gerekir.

Kuyulardaki üretim karakteristiklerinin yanında, kuyu pompalarının seçilen çalışma parametrelerinin jeotermal akışkan devresindeki hidrolik etkileri de, işletme stratejisini belirleme açısından önemlidir. Balçova – Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi için geliştirilen optimizasyon 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 “pipelab” programı ile simule edilerek sonuçlar gözlenmektedir. Kuyu grubunu seçilmesi ile ilgili algoritmanın ana özellikleri aşağıda açıklanmıştır. [1]

Her hangi bir kuyudan üretilen jeotermal enerji:

$$Q_{well} = m_{well} \cdot c_p \cdot (T_{well} - T_{return}) \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte T_{return} , ısı merkezlerindeki eşanjörlerdeki jeotermal akışkan çıkış sıcaklığıdır ve 60 C olarak tasarlanmıştır. Söz konusu jeotermal enerjiyi üretmek için gerekli pompa gücü aşağıdaki 2 nolu eşitlikle hesaplanır:

$$P_{pump} = \frac{m_{well} \cdot g \cdot H_{pump}}{\eta_{pump} \cdot \eta_{motor}} \quad (2)$$

1 ve 2 nolu eşitliklerden, pompa gücü ile üretilen enerji arasındaki fonksiyonel ilişkiyi kurmak mümkündür:

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

Üretim yapan tüm kuyular göz önüne alınırsa, üretim sisteminin tümü için:

$$P_{total} = f_{BD2}(Q_{BD2}) + f_{BD4}(Q_{BD4}) + f_{BD3}(Q_{BD3}) + f_{BD7}(Q_{BD7}) + f_{B4}(Q_{B4}) + f_{B5}(Q_{B5}) + f_{B10}(Q_{B10}) + f_{BD5}(Q_{BD5}) \quad (4)$$

eşitliği yazılır. Herhangi bir anda, kuyulardan üretilen toplam enerji, o andaki ısı yüküne eşit veya ondan büyük olmalıdır:

$$Q_{BD2} + Q_{BD4} + Q_{BD3} + Q_{BD7} + Q_{B4} + Q_{B5} + Q_{B10} + Q_{BD5} \geq Q_{demand} \quad (5)$$

Böylece minimum enerji kullanımını sağlayacak performans kriteri,

$$P_{total} = \min \left[\sum (f_{BD2}(Q_{BD2}) + f_{BD3}(Q_{BD3}) + f_{BD4}(Q_{BD4}) + f_{BD7}(Q_{BD7}) + f_{B4}(Q_{B4}) + f_{B5}(Q_{B5}) + f_{B10}(Q_{B10}) + f_{BD5}(Q_{BD5})) \right] \quad (6)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Hazırlanan program hem 5 nolu, hem de 6 nolu eşitliği sağlamak üzere tasarlanmıştır. Şekil 5 Balçova-Narlıdere 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 tahminine bağlı olarak ertesi günün ısı yükünü hesaplamakta daha sonra da çalıştırılacak kuyuları ve her bir kuyudan üretilen jeotermal akışkan miktarını belirlemektedir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin işletme mühendislerinin kullanımı için tasarlanmış olan program, kolayca her türlü jeotermal sisteme adapte edilebilir. Gerekli otomasyon altyapısı bulunan sistemlerde ise direkt olarak otomasyon sistemlerine (SCADA) entegre edilebilir.

Form1 - [] x

WELL OPERATOR

Enter outside temperature for yesterday °C

Enter average outside temperature for last 24 hours °C

Enter outside temperature for tomorrow °C

Enter average flowrate for Balcova city circulation loop for last 24 hours tonnes per hour

Enter average HEX outlet temperature for last 24 hours °C

Enter average HEX inlet temperature for last 24 hours °C

Click on the wells that will be run BD2 BD4 B5 B4 B10 BD5 BD7 B11

Please click on places that will be heated Balcova Narlıdere Hastahane1 Iermal Otel
 Kur Merkezi Havuzlar Hastahane2 Prensos Otel

Total static heat energy demand for tomorrow kW

Total dynamic heat energy demand for tomorrow kW

Electricity consumption of well pumps kW

Required flowrates from wells (tonnes per hour)

BD2	BD4	BD5	BD7	B4	B5	B10	B11
62.93	101.74	87.19	43.20	0.00	106.80	30.60	28.80

Şekil 5. Optimum kuyu işletme stratejisini belirleyen WELLOPT programının arayüzü

Hazırlanan optimizasyon programının örnek sonuçları, Tablo 2'de 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 yaklaşık aynı elektrik tüketimi ile sağlayan kuyu kombinasyonları birden fazladır. Bunun bir örneği Tablo 3'de verilmiştir. Yaklaşık 40.000 kW_i 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) göz önüne alarak seçebilir.

Tablo 2 . Değişik yükler için optimize edilmiş kuyu kombinasyonları. [4]

Güç Tüketimi (kW _e)	Jeotermal Enerji Üretimi (kW _t)	Toplam Debi (kg/s)	Kuyu Debileri (kg/s)							
			BD2	BD3	BD4	BD5	BD7	B4	B5	B10
317	50,000	210	36.0	29.0	45.0	16.7	17.0	14.0	28.0	23.0
261	45,000	181	36.0	18.7	45.0	16.7	12.0	7.7	28.0	22.8
209	40,000	168	36.0	18.7	32.3	16.7	12.0	7.7	28.0	15.7
164	35,000	151	36.0	8.0	32.3	11.3	12.0	7.7	20.3	15.7
130	30,000	122	36.0	8.0	32.3	11.3	7.0	4.5	12.7	0
98	25,000	106	22.0	0	32.3	11.3	12.0	4.5	12.67	0
71	20,000	88	22.0	0	32.3	0	7.0	4.5	5.0	0
47	15,000	70	22.0	0	19.7	0	7.0	4.5	0	0
31	10,000	55	8.0	0	19.7	0	7.0	0	0	0

Tablo 3. 40.000 kW_t enerji üretimi için farklı kombinasyonların sonuçları [1]

Kombinasyon Numarası	Güç Tüketimi (kW _e)	Jeotermal Enerji Üretimi (kW _t)	Kombinasyon Numarası	Güç Tüketimi (kW _e)	Jeotermal Enerji Üretimi (kW _t)
1	209	40221	40	218	40037
5	212	40129	75	221	40229
10	214	40758	100	222	40471
15	215	40475			

Tablo 4'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 örneklendirilmiştir.

Tablo 4. Örnek işletme günleri için üretilen, tüketilen enerjiler ve optimum kuyu üretim stratejisine göre yapılabilecek işletme ile elde edilebilecek enerji tasarrufu miktarı [4]

Tarih	Jeotermal Enerji Üretimi (kWh _t)	Kuyu Pompalarında Gerçekleşen Elektrik Tüketimi (kWh _e)	Kuyu Pompalarında Olması Gereken Elektrik Tüketimi (kWh _e)	Mümkün Olabilecek Elektrik Tasarrufu (kWh _e)
03.11.2002	20530.8	2671,2	1737,6	933.5
16.11.2002	20459.4	2748	1699,2	1050.3
10.01.2003	27443.4	3475,2	2724	749.9
15.01.2003	34577.8	4824	3861,6	962.0
01.02.2003	34262.1	4380	3844,8	536.6

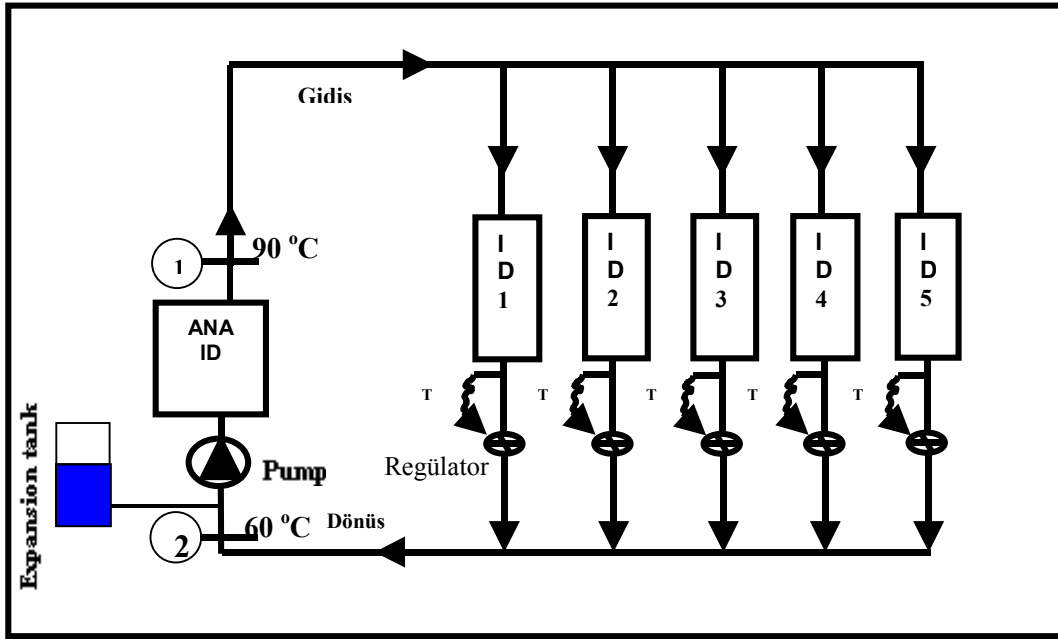
2.3 Şehir Sıcak Su Dağıtım Sisteminin Kontrolü

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

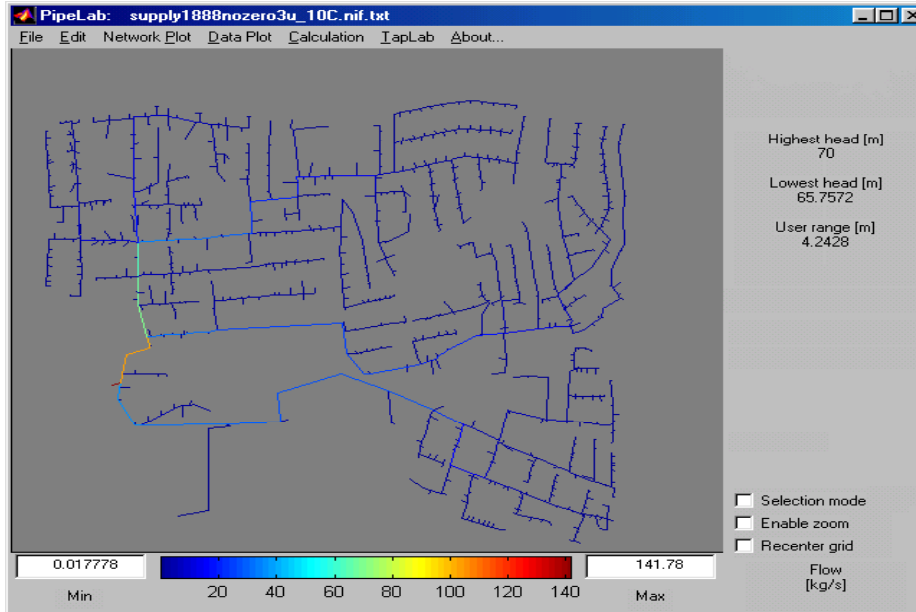
Balçova-Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi'nin şehir dağıtım sistemi basit şeması Şekil 6'da görülmektedir. Pompa istasyonunda bulunan ana ısı değiştirgecinde jeotermal akışkanın sıcaklığı şehir dağıtım sistemi suyuna transfer edilir. Kapalı devre olan şehir dağıtım sistemi yaklaşık sıcaklığı 85-90 °C olan suyu şehir içindeki bina altı ısı değiştirgeçlerine taşır. Bina altı ısı değiştirgeçlerinde, şehir dağıtım sistemi suyunun ısısı, 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 bahsedilmiş olan ısı yükü modellerinin oluşturulması ve kullanımı ile mümkündür.

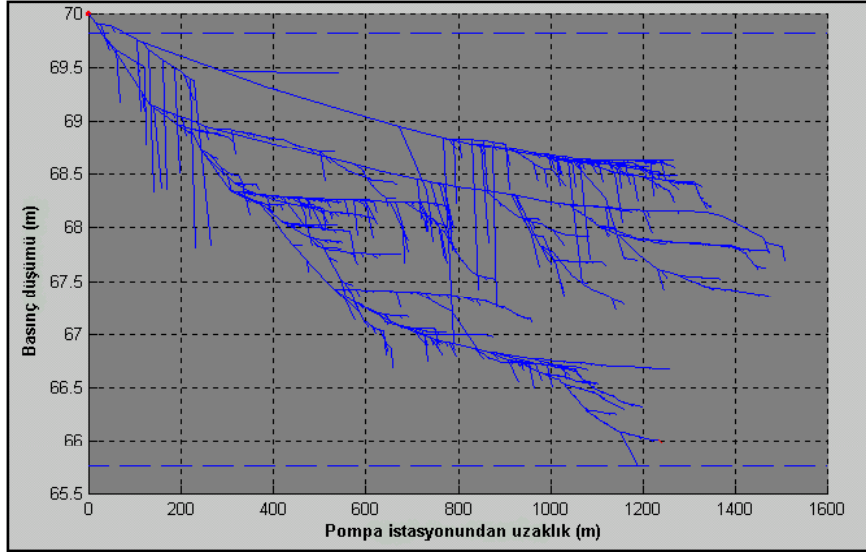
Dağıtım sistemlerinde termodinamik denge kadar hidrolik denge de önemlidir. Sistemin her noktasına ihtiyaç duyulan debide sıcak suyu göndermek ancak hidrolik analizler doğru yapılırsa mümkündür. Şekil 7'de Pipelab adlı bölge ısıtma sistemi simülasyon programında Balçova şehir dağıtım sisteminin görünümü gösterilmiştir. Şekil 8 ise aynı program tarafından hesaplanan Balçova şehir dağıtım sisteminin basınç düşüm grafiğini göstermektedir. Hidrolik modelleme programları sayesinde çıkarılabilen bu tür grafikler, sistemin hidrolik analizi ve sistem sorunlarının çözümü için önemli araçlardır.



Şekil 6. Balçova şehir dağıtım sistemi



Şekil 7. Balçova şehir dağıtım sisteminin PipeLab bölge ısıtma sistemi simülasyon programında görünümü [6]



Şekil 8. Balçova şehir dağıtım sistemi gidiş hattı için basınç düşüm grafiği [6]

Bu tür simülasyon programlarının kullanımı, operatörlere sistem üzerindeki problemleri ve potansiyel gelişme fırsatlarını görme fırsatı verir. Sistem üzerinde yapılacak değişiklikler ilk olarak bu programlarda uygulanır ve sonuçları analiz edilir. Yazarların bilgisi dahilinde ülkemizde sadece Balçova-Narlidere JBIS 'nde bu tür simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu tür programların ülkemizde yaygınlaşarak bölge ısıtma sistemi operatörlerinin elinde bir araç haline gelmesi, ülkemiz 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 kullanılmaktadırlar. Bu vanalar sıcaklık, basınç ve debi kontrolünde kullanılmaktadırlar. 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 düşünülmesi 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 kullanırsın sabit bir ücret öder. Diğer sistemde ise kullanıcının ısıtma sistemine bağlı olan debimetre kullanıcının kullandığı sıcak su miktarını saptar ve fiyatlandırma 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 aksayan 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 etkileri ez aza indirilebilir.

3. JEOTERMAL ISITMA SİSTEMLERİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

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 çarpılarak kuyulardan üretilen jeotermal enerji hesaplanmıştır. Kuyulardan söz konusu üretimi yapabilmek ve konutlara transfer edebilmek için kullanılan toplam elektrik enerjisi tüketimi de aylık elektrik faturalarından hesaplanmıştır. Optimum enerji tüketimi ise sistem optimum kontrol stratejisi ile işletildiğinde 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. [4]

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

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

Konvansiyonel enerji fazlalık katsayısı [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 pompalarının en uygun çalışma noktalarının seçimi ile harcanacak elektrik enerjisine oranıdır.

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

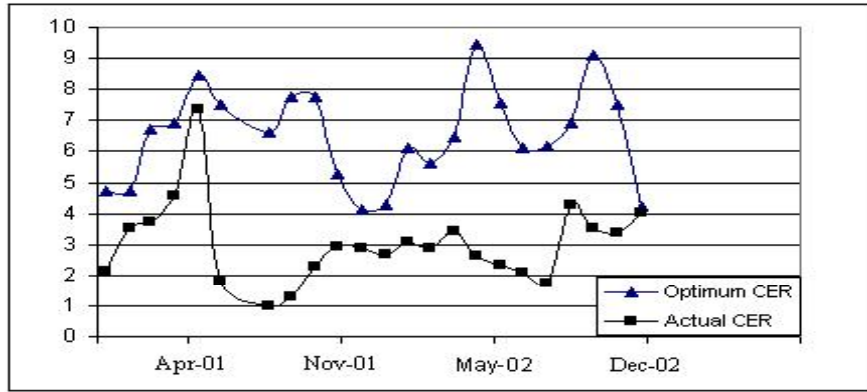
İdeal olarak, değişen dış sıcaklığa bağlı olarak sistemin ısı yükü tahmin edilebilirse, sistemin kapasitif davranışı ve kuyuların dinamik davranışları tam olarak modellenmişse, nihayet bu tahmin ve modellerle ilgili olarak kontrol sistemi oluşturulmuş ve işletiliyorsa, CEER'in değeri 1 olacaktır. Ancak, 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. Şekil 5'teki CEER değeri aynı zamanda, optimum CER_o değerinin Üretim CER değerine oranıdır:

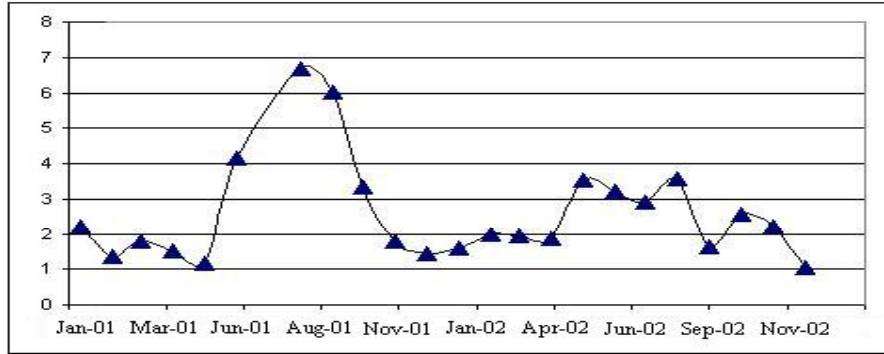
$$CEER = (CER_o) / (CER) \quad (7)$$

Sistemden sisteme CER değerleri arasında fark olabilir. Bu farklılık, sistemin projelendirilmesi ve uygulanması en ideal halde gerçekleşirse bile, jeotermal saha özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Ancak CEER değeri, işletme otomasyonundaki başarıya bağlıdır ve jeotermal sahanın karakteristiklerinden bağımsızdır.

Şekil 9'da gerçekleşen ve optimum CER değerlerinin 2001-2002 yılları için değişimini göstermektedir, Şekil 10 ise CEER değerinin aynı yıllar için değişimini göstermektedir. 1.91 ortalamayla CEER değerine bakıldığında, sistem kontrolünün optimumdan çok uzak olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. Balçova-Narlidere JBIS'nde optimum ve gerçek CER değerlerinin 2001 ve 2002 yılları için karşılaştırılması [4]



Şekil 10. Balçova-Narlidere JBIS'nde 2001 ve 2002 yılları için CEER değerinin değişimi [4]

Özellikle yaz aylarında yükselen CEER değerinin sebebi yazlık pompalarda değişken frekans kontrolünün yapılmamasıdır. Yaz aylarında terk edilen değişken debi sabit sıcaklık farkı uygulaması yerini zorunlu olarak sabit debi değişken sıcaklık farkı uygulamasına bırakmakta bu da sistemde sıcaklık farkının azalmasına sebep olmaktadır. Kış aylarında 30°C'ye varan ısı değiştirgeci 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.

4. JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNDE OTOMASYON

Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde otomasyonun iki temel işlevi vardır *gözlem/veri toplama* ve *kontrol*. Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde kuyulardan başlayarak son kullanıcıya kadar sistemin bir bütün olarak ele alınıp kontrolünün gerçekleştirilmesi gerekir. Bu jeotermal akışkanın enerjisinin optimum kullanımına ve sistemin önemli parametrelerinin sürekli gözlemlenebilmesine olanak vererek daha emniyetli ve daha ekonomik bir kullanım sağlar. Otomatik kontrol sistemi, gerekli olduğunda sisteme hızlı müdahale edilebilmesine güç kesintisi, deprem gibi acil durumlarda sistemin en emniyetli şekilde kapatılmasına olanak verir.

4.1 Gözlem ve Veri Toplama

Aşağıda sıralanan paramaterler jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde devamlı olarak gözlemlenmesi ve otomasyon sisteminin veri tabanında depolanması gereken parametrelerdir. [7]

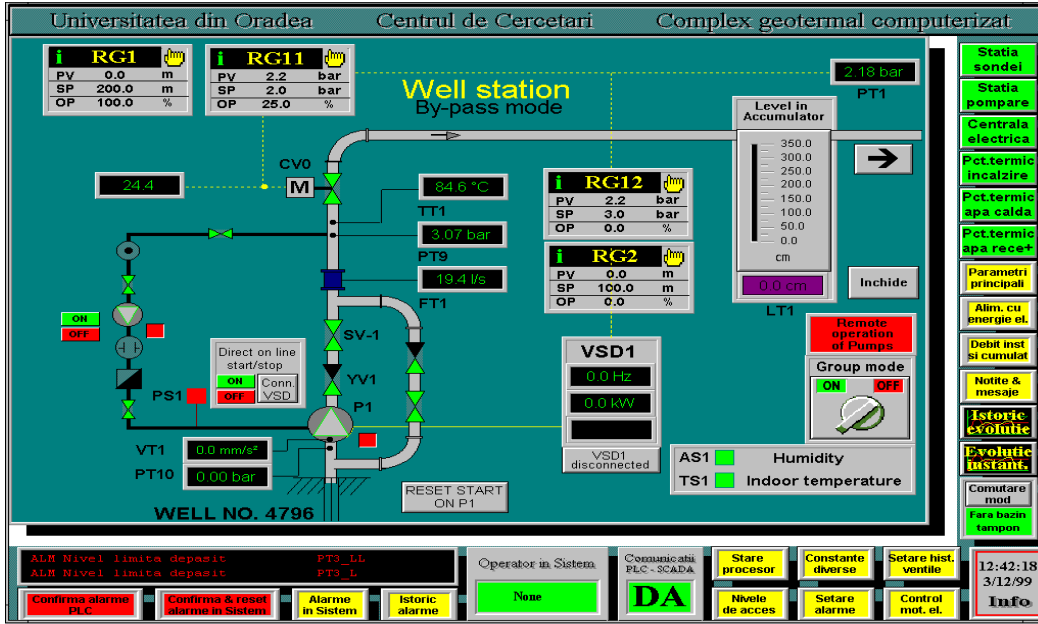
- *Rezervuar karakteristikleri(R_i):*
 1. Kuyu anlık üretim sıcaklığı.
 2. Kuyu anlık dinamik seviyeleri.
 3. Kuyu statik seviyeleri.
 4. Kuyu anlık debileri ve üretilen toplam(günlük, aylık) akışkan debileri.
 5. Kuyu pompası çıkış basıncı.
 6. Kuyu pompalarının frekans değiştiricilerinin parametreleri:
 - anlık işletme frekansı.
 - motorun çektiği güç
 - pompanın çalışma süresi
 - motorun çektiği akım
- *Bölge ısıtma sistemi işletme parametreleri(B_i):*
 1. Jeotermal akışkanın ısı merkezlerindeki eşanjörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları.
 2. Sirkülasyon pompaları çıkış basıncı.
 3. Sirkülasyon pompaları debisi.
 4. Şehir dağıtım sisteminin kritik noktalarından alınan basınç, sıcaklık ölçümleri.
 5. Sirkülasyon pompalarının frekans değiştiricilerinin parametreleri:
 - anlık işletme frekansı.
 - motorun çektiği güç
 - pompanın çalışma süresi
 - motorun çektiği akım
 6. Genleşme tankı seviye ölçümü
- *İklim verileri(C_i)*
 1. Dış hava sıcaklığı
 2. Dış hava sıcaklığı nemi
 3. Rüzgar hızı ve yönü

4.2 Kontrol

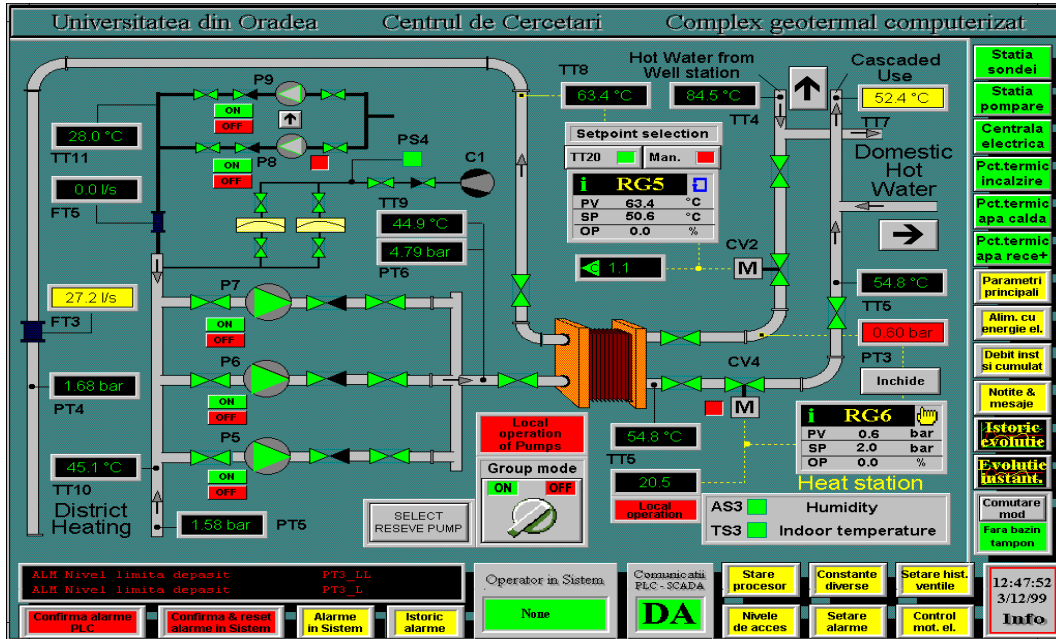
Rezervuar özelliklerine ve ısıtma yükünün zamanla değişimine göre, en uygun kuyu ve sirkülasyon pompaları işletme stratejisinin uygulanması, bir başka deyişle, sistemde kuyu pompaları dahil tüm pompaların minimum enerji kullanımı stratejisine uygun olarak çalıştırılmasının kontrolü. Kontrol algoritması geçmiş günlerdeki çalışma rejimlerine ve hava tahmin raporlarına göre bir sonraki günün pompa çalışma stratejisini belirlemelidir. Ayrıca kontrol sistemi herhangi bir güç kesintisine karşı sistemi güvenli bir şekilde devreden çıkarabilmelidir. Sistemin sağlıklı işletilmesi sistemin karlılığını

doğrudan etkileyen bir parametredir. Kullanılacak otomatik kontrol ekipmanları sistemin ilk yatırım maliyetini artırmakta fakat işletme maliyetini düşürmektedir. Sistemin kullanım süresi göz önüne alındığında belirli bir seviyede yapılmış otomasyonun ekonomik açıdan karlı olacağı açıktır. [6]

Şekil 10 ve 11'de modern bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin otomatik kontrol sisteminin kullanıcı arayüzü görülmektedir. Bu tür sistemlerde sensörler ve kontrol elemanları bir PLC'ye bağlıdır. PLC'ler ise kumanda odasındaki bilgisayara bağlıdır ve bu bilgisayarlara yüklü arayüz programları sayesinde operatörler kolaylıkla sistemi bir noktadan yönetebilmektedirler.



Şekil 10. Jeotermal kuyubaşının otomasyon merkezindeki bilgisayardan görünümü [8]



Şekil 11. Pompa istasyonunun otomasyon merkezindeki bilgisayardan görünümü [8]

5. SONUÇ

Önceki bölümlerde açıklanan kontrol ve performans izleme stratejilerinin tam olarak uygulanabilmesinin tek yolu sistemde otomasyonun bulunmasıdır. Ülkemizde otomasyonun ilk yatırım maliyetine getirdiği yük çoğunlukla otomasyon projesinin feda edilmesi veya sınırlandırılması ile hafifletilmektedir. Henüz, ülkemizdeki hiçbir uygulamada maliyet 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-Narlidere 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 sistem tasarım aşamasında hem de işletme sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır.

a) Tasarım sırasında

- 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.

b) İşletme sırasında

- Kullanıcılara ihtiyaçları kadar ısı verebilmek 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 olmamaktadır. 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 sağlamakta ve proje safhasında meydana gelen değişikliklerin zaman kaybına yol açmasını 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 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 bugünlerde, 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 iki katsayının kullanımı jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletmecilere sistem performansının artırılması yönünde yol gösterecektir.

KAYNAKLAR

- [1] ŞENER A. C. , “Optimisation of Balçova Geothermal District Heating System”, Yüksek lisans tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü, 2003.
- [2] ŞENER A. C., TOKSOY M., AKSOY N., Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Otomasyonun Primer Enerji Tüketimi Açısından Önemi: Konvansiyonel Enerji Oranı (CER) ve Konvansiyonel Enerji Fazlalık Katsayısı (CEER), İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü GEOCEN Yayınları No:007, 2003.
- [3] ŞENER A. C., Modelling of Balçova Geothermal District Heating Sytem. United Nations University Geothermal Training Program Publications pp. 233-264, 2003.
- [4] 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.
- [5] KARLSSON T., Geothermal district heating the Iceland experience, United Nations University Geothermal Training Programme Report 1982-4, 11.
- [6] VALDIMARSSON P., Pipelab 3.18 District Heating Simulation Programme, University of Iceland Mechanical Engineering Department, 1999.
- [7] 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.
- [8] ANTAL C., MAGHIAR T., Automatic Control and Data Acquisition (SCADA) for Geothermal Systems, European Summer School on Geothermal Energy Applications, pp.305-310, Ed. By M. ROSCA, April 26th – May 5th , Romania 2001.
- [9] ASHRAE Handbook, Heating, Ventilating and Air-Conditioning Applications, 1999.

SEMBOLLER VE İNDİSLER

C_p	Özgül Isı	kJ/(kg*K)
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 Isı enerjisi	kW
T	Sıcaklık	°C
gt	Jeotermal	-
pump	Pompa	-
return well	Eşanjör çıkışı Kuyu	- -
η	Verim	-

ÖZGEÇMİŞLER

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 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.

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 Üniversitesinde, 1999 senesine 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 duyarlılıkla kullanılmasına, 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 önemseydiği 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 çok, lisansüstü öğrencilerine çok teşekkür ediyor.

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.