

# JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNDE YÜK ANALİZİ VE TEPE YÜK YARDIMCI SİSTEMLERİ

Arif HEPBAŞLI  
Cihan ÇANAKÇI

## ÖZET

Ülkemiz, jeotermal enerji potansiyeli bakımından dünyanın yedinci en zengin ülkesi konumundadır. Bu gelişmenin çoğu, direkt ısıtma, ısı tesisler ve sera ısıtması olmak üzere, 51 600 konut eşdeğer jeotermal ısıtma (493 MW<sub>t</sub>) olarak, jeotermal enerjinin direkt uygulamalarında gerçekleştirilmiştir. Şu anada jeotermal kaynak potansiyelimizin ancak % 2-3' ü değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, öncelikle, bölgesel ısıtma sistemlerine bağlanan enerji üretim istasyonları için farklı olası yerleşimlerin kritik analizi ve teknik açıklaması ele alınacaktır. Bu istasyonlar şunlardır: (a) Jeotermal suyun doğrudan kullanımı, (b) Jeotermal ve bölgesel ısıtma devreleri arasındaki birincil ısı değiştiricileri, (c) Jeotermal ve bölgesel ısıtma devrelerine ek olarak ısı pompaları ve (d) Jeotermal ve bölgesel ısıtma devrelerine yardımcı olarak pik yük kazanlarıdır. Daha sonra, çalışmanın aşamaları olarak; üretim istasyonunun yapısı için olası teknik çözümlerin incelenmesi ve seçimi, yıllık işletme süresince önerilen tasarımların davranışının simülasyonu, kritik değerlendirmesinin ve sonuçlarının verildiği, farklı tasarımların performansların kıyaslanması yapılacaktır. Son olarak, "Balçova Jeotermal Enerjili Merkezi Isıtma Sistemi"nin yük analizi verilecektir.

## 1.GİRİŞ

İnsanlar iklimsel koşullara karşı doğal savunma mekanizmalarının hayvanlar kadar gelişmemiş olmasından dolayı, ilk çağlardan beri, içinde rahat yaşayabilecekleri doğa koşullarından en az etkilenecekleri yapılar ve bu yapıları izole edecek sistemler geliştirmişlerdir.

Artan ve hassaslaşan konfor istemleri; enerji tüketimini arttırarak enerji giderlerinin yükselmesine, fosil tabanlı enerji kullanımının bir sonucu olarak atmosferik kirlenmeye ve ekolojik dengelerin tahrip olmasına neden olmuştur. Bu nedenle daha sağlıklı bir gelecek için ekonomikliğin yanı sıra çevreye zararsız, yenilenebilir enerji kaynaklarına talep gün geçtikçe artmıştır.

Jeotermal kaynaklar ile elektrik üretimi, bölgesel ısıtma-soğutma, sera ısıtması, balık çiftlikleri, termal tesisler gibi sistemler birbirlerine kolayca entegre edilebilir. Jeotermal enerji, hammadde olarak %100 yerli enerjidir. Ülkemizde bu enerjinin kullanımı için gerekli teknoloji, teknik ekipman ve deneyim son yıllarda oldukça gelişmiştir. Bu nedenlerden ötürü; jeotermal enerji, kullanılabilen en ucuz enerji türü konumuna gelmiştir [1,2].

Jeotermal enerji ile ilgili yerüstü çalışmaları sınırlı kalmış, genelde ülkemizdeki mevcut kurulu sistemlerin tanıtımı şeklinde olmuştur. Şüphesiz, bu çalışmalar da büyük önem taşımaktadır. Ancak, biz tesisat mühendislerini asıl ilgilendiren, debisi ve sıcaklığı belli olan bu enerji kaynağının, bölgesel ısıtmada o bölge iklim koşullarına bağlı olarak nasıl kullanılacağıdır. Başka bir deyişle, biz mühendislere düşen görevin; sistemin optimum tasarımının yapılarak gerçekleştirilmesidir. Aksi halde,

bir yandan sistemin yatırım maliyeti öte yandan da işletme maliyeti artacaktır. Bu bağlamda, Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi işiyle ilgili en önemli amaç; yıl içindeki enerji arz talep dengesinin kurulması ve jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin ekonomik fizibilitesine etki edebilen farklı parametrelerin etkilerini analiz etmektir.

## 2. ISI TALEBİ

Geleneksel fosil yakıtların kullanılmasında karşılaşılan sıradan durumdan jeotermal ısıtmada kullanılan ısı talebi daha karmaşıktır. Geleneksel sistemlerde ana sorun; tepe yüklerini karşılamada ısı kriterleri ve kazanların büyüklüğüdür. Bu bağlamda; karşılaşma zamanında sınır talep koşullarının bilinmesi gereklidir. Bir jeotermal proje tasarlanacağı zaman böyle sınırlı bilgi yeterli değildir. Isı sezonu boyunca talep düzeylerindeki farklılıklar hakkında daha çok detaylı bilgiye ihtiyaç vardır. Bunlarla birlikte, ana eşanjörlerinin akışı ve sıcaklıkları iyici bilinmelidir. Hacim ısıtması en önemli uygulamadır.

Bir jeotermal ısıtma sisteminin enerji gereksinimleri aşağıdaki parametrelerin tanımlanması ile belirlenir. Abone ve bina durumları, abonelerin gelişim senaryosu, kaynakların durumu ve kaynakların kullanımı esnasında karşılaşılabilecek durumlar ve yerel iklim verileridir [3].

Jeotermal bölgesel ısıtma projelerinde, tepe ısı yükünün oluşması, birbiriyle bağlantılı binalar için doğaldır. Birçok rasgele dalgalanmalar olacağı için, bireysel kullanıcı alışkanlıkları ortalamadan farklı olabilir. Bunun için; genel ısıtma trendleri sadece derece derece değişir ve bunlarla ısı talebinin merkezi tesisatları arasındaki ilişki daha iyi tanımlanır. Normal yaklaşım, basit bir talep modeli kullanmaktır. Bu modelde dış hava sıcaklığı ve birbiriyle bağlantılı kullanıcıların sayısı gibi önemli fiziksel değişimler baz alınır. Bunun gibi modellerde birçok tahminlerde bulunulur. Bu modeller, yaygın olarak jeotermal ısıtma projelerinin analizinde kullanılır ve bundan dolayı; tahminlerin ve sınırlandırmaların önemini anlaşılması gerekir. Bu konu başlığında; tek ısıtma alanının ısıtma taleplerinin doğasını göz önünde bulundurarak geliştirmek ve sonra bina gruplarının ısı taleplerini incelemek ve sınamaktır.

### 2.2. Tek Kullanıcının Isı Talebi

#### 2.2.1. Isı Talebinin Fiziksel Temeli

Binaların kendi iç sıcaklıklarını dış çevre sıcaklığının üstüne yükseltmek için, ısıtıldığında binalardan düzenli olarak ısı kaybı gerçekleşir. Sabit iç sıcaklıklarını devam ettirmek ve korumak insanların ısı konforunu sağlamak içindir. Her zaman, binalara verilen ısı akımı, binalardaki ısı kaybı akımına eşit olmalıdır.

$$P_i = P_L \quad (1)$$

Burada;

$P_i$  = Binalara giren ısı akımı (W)

$P_L$  = Binalardan kaybedilen ısı akımı (W)

Binalardaki ısı girişi ile ısı kaybının aynı olması ısı talebinin tahmini için temel oluşturur. İki temel ısı kaybı olup, bunlar Şekil 2.1 de şematik olarak gösterilmiştir.

Transmisyon ısı kaybı, aşağıda verilmiştir:

$$P_f = AU (T_i - T) \quad (2)$$

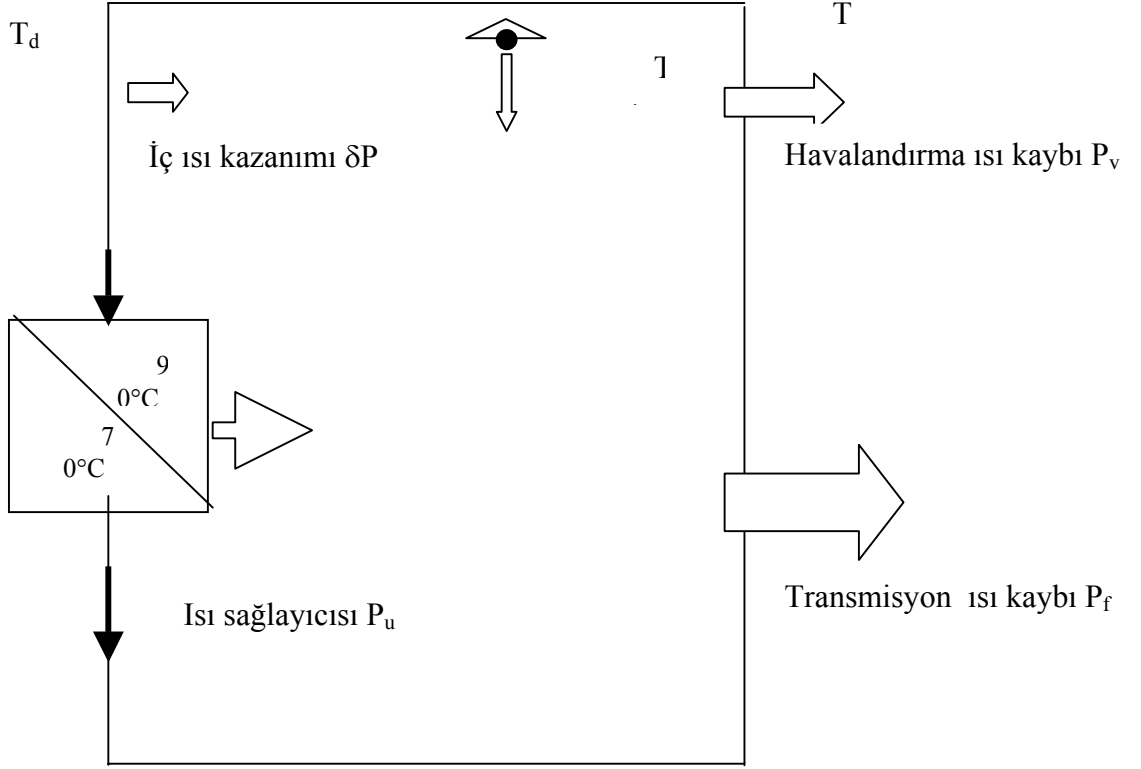
Burada;

$U$  = Ortalama ısı geçiş katsayısı ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$A$  = Yüzey alanı ( $m^2$ )

$T_i$  = Sabit iç sıcaklık ( $^\circ C$ )

$T$  = Dış sıcaklık ( $^\circ C$ )



**Şekil 2.1.** Tek mekanda ısı kaybı ve ısı sağlanması

Havalandırma ısı kaybı,  $P_v$ , binada dolaşan taze hava sıcaklığını yükseltmek için ihtiyaç olan ısıdır.

$$P_v = VM_A(T_i - T) \quad (3)$$

Burada;

$V$  = Binanın hacmi ( $m^3$ )

$M_A$  = Hava değişiminin özgül ısı kapasitesi ( $W/m^3 \cdot ^\circ C$ )

Toplam ısı kaybı,  $P_L$ ; transmisyon ve havalandırılan ısı kaybının toplamıdır.

$$P_L = P_f + P_v = (AU + VM_A)(T_i - T) \quad (4)$$

Toplam ısı kaybı katsayısı ( $VG$ );  $G$  binanın karakteristik, hacimsel ısı kaybı katsayısı ( $W/m^3 \cdot ^\circ C$ ) olmak üzere, aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır.

$$VG = AU + VM_A \quad (5)$$

Bundan dolayı;

$$P_L = VG (T_i - T) \quad (6)$$

Binalara olan ısı girişi; oda ısıtıcılarıyla sağlanan ısı ve iç ısı kazançlarından oluşur. Bu iç ısı kazançları; güneş ışınımı ve yemek pişirme ile vücut ısısının önemli olduğu yerlerdeki kullanıcı etkinliklerinden oluşur. Eğer toplam ısı (kayıbı) akımı, binalara giren toplam ısı girişi ile dengeleniyorsa;

$$P_L = P_u + \delta P \quad \text{olur.} \quad (7)$$

Burada;

$P_u$  = Isıtıcılarla verilen ısı akımı (W)

$\delta P$  = İç kaynaklarla verilen ısı akımı (W)

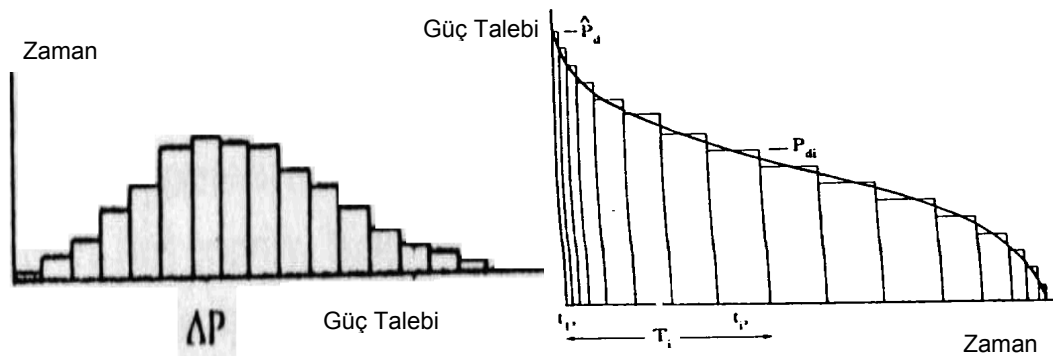
Isı talebi akımının tanımlanması olağandır. Çünkü iç ısı kazançları ayarlandıktan sonra, binalardaki ısı (kayıbı) akımı olduğu gibi kalır.

$$P_d = P_u = P_L - \delta P \quad (8)$$

Burada;  $P_d$ , ısı talebi akımı ya da ısı güç düzeyi (W) olup, oda ısıtıcılarından sağlanan ısı ile dengelenmek zorundadır.

### 2.2.2. Isı Talebi Süreleri

Gerçekte; bu tip ısı talepleri hayli değişken olmaktadır. Yıl boyunca, mevsim boyunca ve hatta günün içerisinde değişecektir. Çünkü; havada mevsimsel ve saatlik değişiklikler olmaktadır. Jeotermal ısı projelerinin analizinde kullanılan ısıtma hesaplamalarında ısıtma sezonu boyunca ısı talebi toplam miktarı kadar ısı güç taleplerinin değişimin modelini bilmek gereklidir. Bu değişimler genellikle bir yük süresi eğrisi ile gösterilir. Bu eğriler, şu genel terimler ile ifade edilirler: (a) Isıl güç talep değişiminin aralığı, eşit büyüklükteki sonlu sayıda aralıklara ( $\Delta P$ ) bölünür. (b) Gözlemlenen ısı güç düzeyleri,  $\Delta t$ , bu aralıklarda sınıflandırılır. Bu "aralık sınıfı", ısı gücünün her aralık dahilinde kaldığı periyotların sayısını verir. (c) Isıl güç talebinin her ısı güç aralığında kaldığı süreler, her ısı güç talebinin oluşunun sayılmasıyla ve  $\Delta t$  ile çarpılmasıyla, "aralık sınıfı" istatistiklerinden hesaplanır. (d) Daha sonra, genişlikleri sürelerle eşit ve yükseklikleri ısı güç düzeylerine eşit kolonlar çizilerek talep süre histogramı oluşturulur. Şekil 2.2 b de görüldüğü gibi, bu kolonlar yan yana, ısı güç düşüşüne göre düzenlenmiştir. Bunun için; tepe ısı güç talebi  $t_i$  saatleri ve  $P_{di}$  talep düzeyi de  $t_i$  saatler için sürdürülür.



Şekil 2.2. Isıtma gücü süresi eğrilerinin oluşumu

Talep süresi histogramı kullanışlı bilgi çeşidi özetlemesi için uygun yollar sağlar. Örneğin; belirli bir ısı güç düzeyinde sağlanan toplam ısı miktarı;

$$Q_{di} = P_{di} t_i \quad \text{olur.} \quad (9)$$

Burada;

$Q_{di}$  = Toplam ısı miktarı (Wh)  
 $P_{di}$  = i'inci ısı güç düzeyi (W)  
 $T_i$  = i'inci zaman aralığı (h)'dir.

Sağlanan ısı, talep süre histogramındaki i'inci kolon altındaki alana eşittir. Isıl güç süre kolonlarının yan yana ve ısı güç düzeylerinin düşüşüne göre yapılan düzenlemeden bazı sonuçlar elde edilebilir. Birincisi; histogram kümülatif ısı güç sürelerini gösterir. Örneğin; ısı güç düzeyi,  $P_{di}$ , ısıtma sezonu sırasında toplam  $T_i$  saatleri için oluşturulabilir. İkincisi; zaman sürelerinin toplamı ısı sezonunun uzunluğunu verir ve son olarak, ısı sezonu sırasındaki gerekli olan toplam ısı miktarı histogramın altındaki alana eşittir. Isıl güç alanının büyüklüğü,  $\Delta P$ , azalırken, histogramın; yük süre eğrisi olarak belirtilen sürekli bir değişim gösterdiğine dikkat edilmelidir. Örnek eğri, Şekil 2.2b' de gösterilmiştir.

### 2.2.3. Isı Talebi ve İklim

Isıl güç düzeylerinin süreleri ile buna karşı gelen dış sıcaklıkların süreleri arasında yakın bir ilişki vardır. Çünkü, ısı talebi ile dış sıcaklık arasında bir bağıntı söz konusudur. Bu bağıntı, uygulamada, tam olarak bire bir olmayabilir. Çünkü, kullanıcıların ısıtma sistemlerini kapatacakları ya da kendi iç sıcaklıklarını ayarladıkları zamanlar olacaktır. Dış hava sıcaklığı, talep düzeylerinin tanımlanmasında en önemli değişkendir ve ısı güç değişimiyle ilgili gerçek veri olmadığı zaman (bu durum genellikle olmaktadır), dış sıcaklıklarının istatistikleri yük süre eğrilerinin tanımlanmasında çoğunlukla kullanılır. Bu yaklaşım; intensif ve ekstensif terimler olarak adlandırılan ısı güç talebinin ayrımını baz almaktadır. Eşitlik (6) ve (8)'in birleştirilmesi ile aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$P_d = VG (T_i - T) - \delta P \quad (10)$$

Burada;  $VG$  bir ekstensif terim olup, binanın büyüklüğü ve yapısı ile ilgilidir.  $(T_i - T)$  intensif terimdir; genellikle dış sıcaklığa ( $T$ ) bağlı olup, iklimsel etkiler önem taşır. Aynı yerdeki bütün uygulamalar için aynı şekilde olacaktır. Terimlerin ayrımı açıkça yapılmadan önce, iki sorunun çözülmesi gerekmektedir. Birincisi; eğer iç sıcaklık ( $T_i$ ) değişken ise, iç terim iklimle tanımlanamayacaktır, fakat iç sıcaklıkta oluşan dalgalanmalara bağlı olacaktır. İkincisi; eğer iç kazanımlar,  $\delta P$ , büyük ve değişken olursa, dış sıcaklık ve termal güç talebi arasındaki ilişki zarar görecektir. Bu problemlerin üstesinden gelmek için adapte edilen genel yaklaşım, iç sıcaklığın ve iç ısı kazançlarının sabit ve küçük olduklarını farz etmektir. Daha sonra, "efektif" iç sıcaklığı tanımlamak mümkün olacaktır.

İç ısı kazançları, bina içindeki hava sıcaklığını yükseltme yönünde etki yapar ve bu yüzden ısı gereksinimlerini azaltırlar. Bunlar, aşağıda verildiği gibi, oda sıcaklıklarındaki artışla gösterilebilirler.

$$\delta P = VG \delta T \quad (11)$$

Burada;  $\delta T$  ( $^{\circ}C$ ), iç ısı kazançları nedeniyle iç sıcaklıklardaki artışı göstermektedir. Eşitlik (10)'nun düzenlenmesiyle,

$$P_d = VG (T_i - T) - VG \delta T \quad (12)$$

ya da

$$P_d = VG [(T_i - \delta T) - T] \quad (13)$$

elde edilir.

O halde, ısıtma sistemi ile sağlanması gereken "efektif" iç sıcaklık,

$$T_d = T_i - \delta T \quad (14)$$

şeklinde olur.

Burada;  $T_d$  (°C), efektif oda sıcaklığıdır.

Çoğunlukla ortalama iç sıcaklıkların ( $T_i$ ) yaklaşık olarak 20~22°C olduğu farz edilir ve iç ısı kazançlarından dolayı iç sıcaklıkta 2°C de yükselme olduğu düşünülür. Bu da, "efektif" iç sıcaklığı ya da 18°C civarında olan,  $T_d$ , "talep" sıcaklığını verir. Güneş enerjisi kazancının ve iç sıcaklıkların sabit olduğunu kabul ederek;

$$P_d = VG (T_d - T) \quad (15)$$

yazılır ve intensif terim şu şekilde olur:

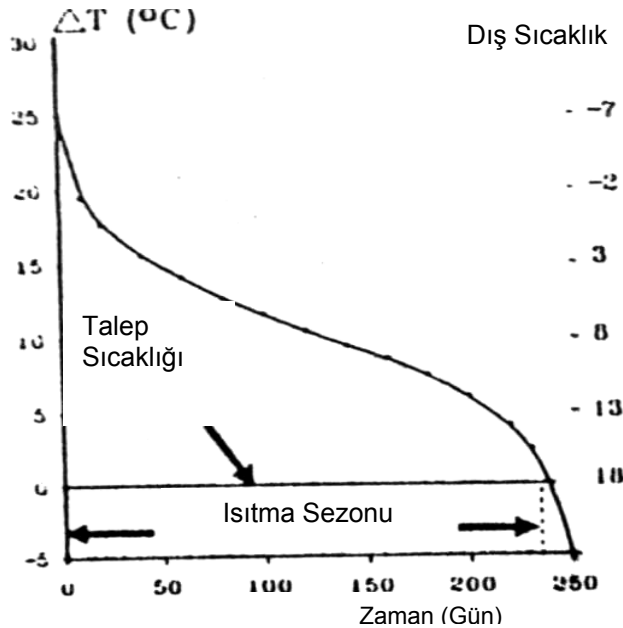
$$\Delta T = T_d - T \quad (16)$$

Burada;

$\Delta T$  = Sıcaklık farkı veya talep yoğunluğu (°C)'dur.

Talep yoğunluğu, bölgedeki iklim tipine göre de değişir ve uygulama türünden bağımsızdır. Yukarıda tanımlanan yük süre eğrilerinin belirlenmesine benzer bir şekilde bir sıcaklık süre eğrisini belirlemek mümkündür. Bu çerçevede şunlar yapılır: (a) Sıcaklık aralığı bir dizi eşit aralıklara bölünür. (b) Dış sıcaklıklar, bazı karakteristik periyot boyunca ortalama olan, aralıklara ayrılır. (c) Sıcaklığın her aralık içerisinde kaldığı süreler, her bir sıcaklığın oluşumunun sayılmasıyla bulunur. (d) Daha sonra, bir sıcaklık süre eğrisinin çizildiği bir histogram elde edilir. Şekil 2.3' de, Kuzey Fransa'nın iklimini karakterize eden örnek bir sıcaklık süre eğrisi verilmiştir.

Dış sıcaklıklar, en düşük değerde olduğu zaman ısı talebi yoğunluğu en fazla olur ve bu yüzden, azalan sıcaklıklar pozitif düşey eksende çizilir. Dış sıcaklık ( $T$ ), talep sıcaklığından ( $T_d$ ) daha az olduğu zaman, tüm bu periyotlar için ısı talepleri söz konusu olur. Talep sıcaklığı sabit olduğu zaman ise, sıcaklık süre eğrisi ise, talep yoğunluğu sürelerini veren bir eğriye kolayca dönüştürülebilir. Şekil 2.3'de gösterildiği gibi,  $T_d$ 'nin 18°C eşit olduğu farz edilir.



Şekil 2.3. Kuzey Fransa için dış sıcaklık süre eğrisi

Talep sıcaklığı, “derece gün verisi”ni belirlemek için kullanılan “baz” sıcaklık ile aynı olduğu zaman, talep yoğunluğu eğrisi altında kalan alan toplam derece gün sayısına ( $\theta$ ) eşit olur.

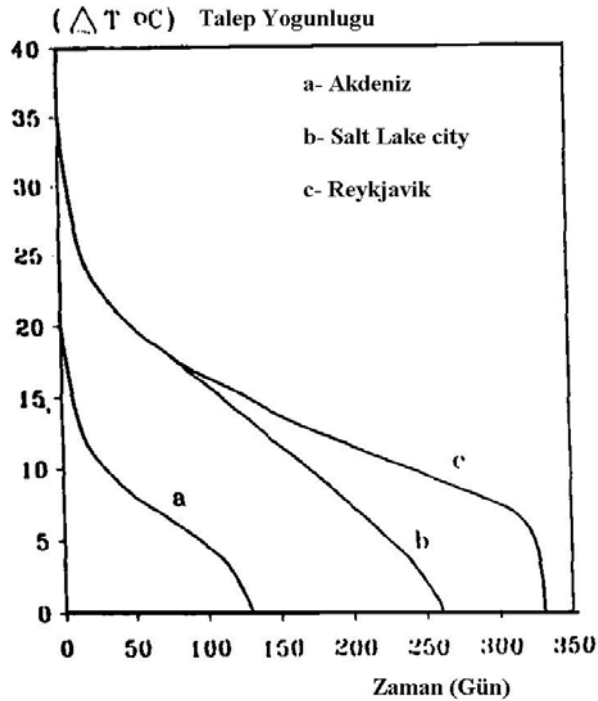
$$\theta = \int \Delta T dt \quad (17)$$

Toplam ısı yükü,  $Q_d$  (Wh) ve ısı güç düzeyleri,  $P_d$  (Wh), aşağıda verildiği gibi, bu eğriden kolayca bulunabilir.

$$Q_d = 24VG\theta \quad (18)$$

$$P_d = VG\Delta T \quad (19)$$

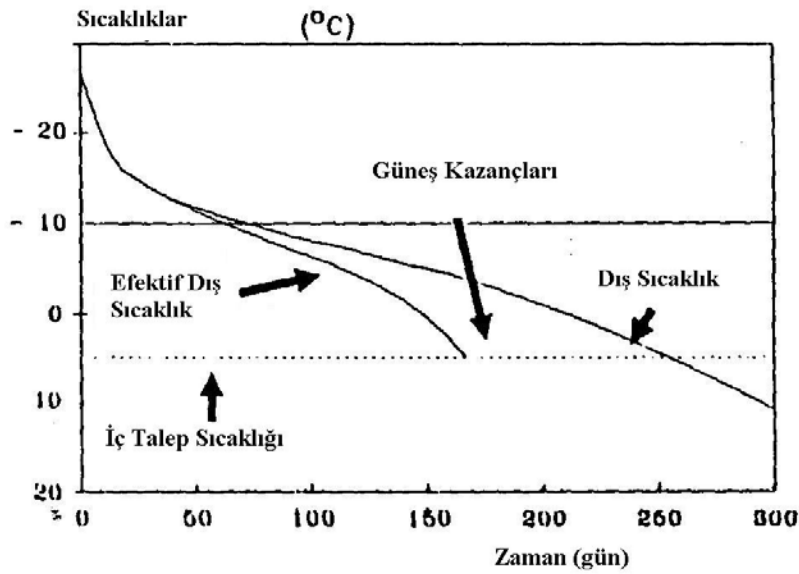
Bu koşullar altında, talep sıcaklığı sabit olduğunda ve ısıtma sistemi devamlı işletildiğinde, sıcaklık süre eğrisinin şekli, talep yoğunluk süre eğrisi ile hemen hemen aynı olur ve bu, yük süre eğrisini belirlemek için mükemmel özellik sağlar. Ayrıca, dış sıcaklıklar; jeotermal ısıtma şebekesindeki sıcaklıkları belirler ve normal koşullar altında bunlar, jeotermal güç besleme düzeylerini belirler. Bu bağlamda, sıcaklık süre eğrisi, jeotermal ısıtma projelerinin performansının analizinde büyük önem taşır. Yük süre eğrisi, sıcaklık süre eğrisi ile kesin olarak tanımlansa da tanımlanmasa da, bu eğriler arasında daima sıkı bir ilişki olacaktır. Jeotermal ısıtma projeleri, bir çok farklı iklimde ve dünya'nın bir çok bölümünde geliştirilmektedir. Şekil 2.4'de, bu yerlerin çoğuna ait talep yoğunluk süre eğrisi gösterilmiştir. Buradan, tepe talep yoğunluğunun,  $\Delta T$ , ve derece günlerinin toplam sayılarının,  $\theta$ , çok farklı olduğu görülebilir. Böylece, Reykjavik'e ait iklim koşullarında uygulanabilen bir ısıtma projesi, Akdeniz kıyısında meydana gelen daha küçük ısı yükleriyle ekonomik olmayabilir. Kuzey Fransa için sıcaklık süre eğrisi Şekil 2.3 de görülmektedir.



Şekil 2.4. Farklı iklimlerdeki ısıtma talep yoğunluğu süre eğrileri

## 2.2.4. Güneş Enerjisi Kazancının Büyük Olduğu Uygulamalar

Güneş enerjisi kazançlarının büyük ve değişken olduğu bazı durumlar vardır. Bunun, yük süre eğrisinin şekline önemli bir etkisi vardır. Sera ısıtması, bunun için en önemli örneklerden biridir. Bu durumda; güneş enerjisi kazançları, sera etkisiyle artabilir ve belirli zamanlarda kontrol edilemeyen ısıtma kaynağı olarak etki yapar. Şekil 2.5’de, güneş enerjili ısıtmanın; ısıtma taleplerini arttıran efektif dış sıcaklıkları nasıl düşürebildiği gösterilmiştir. Bu eğri, A.B.D’deki Salt Lake City yakınındaki sera ısıtması ile ilgili verilerin kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Açıkça; geceleri oluşan maksimum ısıtma talepleri güneş enerjisiyle ısıtmadan etkilenmemektedir. Bununla beraber, güneş enerjisi ile ısıtmanın etkileriyle önemli ölçüde azaltılabilen ılımlı düzeydeki günlük ısıtma taleplerinin önemli periyotları vardır. Talep edilen iç sıcaklığın düzgün olarak azaltılmasından çok, “efektif” dış sıcaklığın kullanılmasının yaklaşımı daha uygun olmaktadır.



Şekil 2.5. Güneş enerjisi kazançlarının sera ısıtma talebine olan etkileri (Salt Lake City, A.B.D.)

## 2.2.5. Geçici Isı Kaybı

*Eşitlik (2)*'de sözü geçen binadan kaybolan ısı akımı için, sıcaklık dalgalanmaları olduğunda ortaya çıkan ısıtma ve soğutma etkileri göz önüne alınmaz. Bununla birlikte, sıcaklıklar değişmediği zaman, sadece “sürekli (sabit)” rejimde veya binanın ısı kütlesinin küçük olduğu özel uygulamalarda söz konusudur. Genelde, binanın ısı kütlesinin önemli olacağı beklenmektedir ve o zaman, sıcaklıkların değiştiği geçici rejimde, anlık ısı kaybı aşağıda verilen bağıntıdan hesaplanabilir.

$$P_f(t) = UA(T_i(t) - T(t)) \quad (20)$$

Burada;  $P_f(t)$ ,  $T_i(t)$  ve  $T(t)$ , sırasıyla; ısı akışı, iç ve dış sıcaklığın eş zamanlı değerleridir.

Geçici rejimdeki ısı akışlarının analizi, bir çok kişinin çalıştığı karmaşık bir problemdir. Genel terimlerle, üç ana etkisi vardır. Kısa dönem dalgalanmaları durdurulur, daha uzun dönem dalgalanmaları genlik olarak azaltılır ve dış sıcaklık ile buna karşı gelen ısı kaybındaki azalma arasında bir zaman gecikmesiyle karşılaşılar. Bu etkilerin yaklaşık analizi için bir yöntem geliştirilebilir. Bu, bina kabuğundan ortalama bir ısı akışını tanımlar.



$$\bar{P}_f = UA \left( \bar{T}_d - \bar{T} \right) \quad (21)$$

Burada;

$\bar{P}_f$  = Bina kabuğu boyunca ortalama ısı (kayıbı) akımı (W)

$\bar{T}_d$  = Sürekli (Sabit) talep sıcaklığı (°C)

$\bar{T}$  = Ortalama günlük dış sıcaklık (°C)

O halde, herhangi bir zamandaki anlık ısı (kayıbı) akımı, aşağıdaki bağıntıyla verilen ortalama ısı akımından sapar.

$$P_f = UA(\bar{T}_d - \bar{T}) + LUA \left\{ \bar{T} - T(t') \right\} \quad (22)$$

Burada;

$T(t')$  = Bazı daha erken zamandaki dış sıcaklık (°C)

$t-t'$  = Bina kabuğuyla üretilen karakteristik zaman gecikmesi (h)

$L$  = Bina kabuğundan kaynaklanan ısı dalgalanmalarının genişliğindeki azalmayı hesaba katan bir faktör

Bina kabuğunun bir bölümünün ısı kütlesi, bölümün kütesinin özgül ısı kapasitesiyle çarpımına eşittir. Zaman gecikmesinin büyüklüğü,  $t-t'$ , ve genlik faktörü,  $L$ ' nin her ikisi de, dış sıcaklık süre istatistikleri ile talep yoğunluk süre istatistikleri arasındaki ilişkiyi etkilediği açıktır. Böylece, yük süre istatistiklerinin dış sıcaklıktan belirlenme şeklini etkiler.

**Büyük Isıl Kütle:** Isıl kütle çok büyük olduğu sınırlarda, tüm dalgalanmalar durdurulacaktır. Böylece ısı genliğindeki azalma faktörü sıfır alınabilir ve

$$P_f(t) = UA \left( \bar{T}_d - \bar{T} \right) = \bar{P}_f \quad (23)$$

şeklinde yazılabilir. Uzun bir periyotta, ısı (kayıbı) akımı, ortalama dış sıcaklıktan bulunabilir. Buna, eski taştan ya da tuğladan yapılan binalarda rastlanır. Böyle durumlarda; 24 saatlik ortalama sıcaklık verisi yük süre eğrilerinin belirlenmesinde büyük olasılıkla daha uygun olabilir.

**Sıfır Isıl Kütle:** Eğer ısı kütlesi sıfır olursa, anlık ısı kaybı için *Eşitlik* (22),

$$P_f(t) = UA \left( \bar{T}_d - T(t) \right) \quad (24)$$

şekline indirgenir.

Ne gecikmeler ne de genlik azalması vardır ve ısı (kayıbı) akımı bina kabuğundaki anlık sıcaklık farkı ile tanımlanır. Seralar gibi bina kabuğunun büyük olmadığı yerlerde uygulanır. Isıl kütle küçüktür, zaman gecikmesi ve genlik azalmasının önemsiz olduğu durumlarda aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$P_f(t) = UA \left( \bar{T}_d - \bar{T}(t) \right) \quad (25)$$

Burada;  $T(t)$ ,  $t$  zamanda saatlik ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) olup, bazı modern binalar için uygulanabilir.

**Önemli Zaman Gecikmeleri ve genlik Azalmaları:** Eşitlik (22), genel durumlar için geçerlidir. Bu bağıntı, yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki şekle dönüşür.

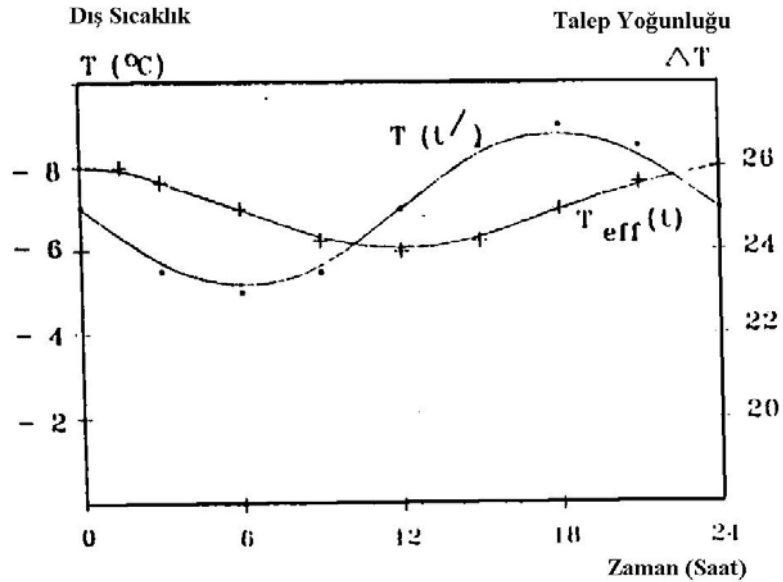
$$P_f(t) = AU \left\{ \bar{T}_d - (\tilde{T} - L(\tilde{T} - T(t'))) \right\} \quad (26)$$

Burada;  $\tilde{T} - L(\tilde{T} - T(t'))$ :  $t$  zamanda ısı akışını tanımlayan etkili dış sıcaklıktır.

$t$  zamandaki talep yoğunluğu,

$$\Delta T(t) = \left\{ \bar{T}_d - (\tilde{T} - L(\tilde{T} - T(t'))) \right\} \quad (27)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Bu bağıntıda,  $t$  zamanda meydana gelen ortalama sıcaklık dalgalanmaları;  $t'$  zamanda oluşan ortalama sıcaklığın yer değiştirilmesiyle tanımlanır. Tipik olarak, zaman gecikmesi yaklaşık olarak 6 –12 saattir ve ısıl genlikteki azalma; 0.2 – 0.5 civarındadır ve bina kabuğu detaylarına bağlıdır. Şekil 2.6'da örnek olarak verilmiştir. Burada, yaklaşık 1 saatlik periyotlarda ortalama sıcaklık verileri kullanılabilir. Sıcaklık salınımları, gidip gelmelerin ısıl genliğindeki azalmayla düşürülebilir. Ayrıca dalgalanma fazları da dikkate alınmalıdır.



**Şekil 2.6.** Bina kabuğunun ısı talep dalgalanmasına olan etkisi (Zaman gecikmesi: 6 h ve genlik azalma faktörü: 0.5)

## Dış Sıcaklıkların Yavaşça Değişimi

Reykjavik/İzlanda gibi bir yerde, kış şartlarında değişimler az olmakta ve normal olarak sıcaklıklar yavaşça değişir. Sonuç olarak,  $t$  ve  $t'$  zamanlarındaki saatlik ortalama sıcaklığı günlük ortalamaya yakın olacaktır. Genelde gün boyunca farklı zamanlardaki sıcaklıklar arasında sadece küçük farklılıklar olacaktır. Böyle durumlarda *Eşitlik (25)*'in kullanılarak transmisyonla ısı (kayıbı) akımının hesaplanmasında ve saatlik ortalamalar yerine günlük ortalamaların konmasında bir hata olmayacaktır.

### 2.2.6. Sıcaklık Verisinden Isıl Yüklerinin Hesaplanması

Yukarıdaki açıklanmalardan anlaşılacağı üzere, sıcaklık süre verisi, belirli yerlerdeki ısıtma taleplerinin yoğunluklarının nasıl değiştiğini göstermektedir. Bunlar, *Eşitlik (15)* yardımıyla ısı güç düzeylerinin hesaplanmasında kullanılabilir. Sıcaklık süre verisiyle birlikte *Eşitlik (18)* kullanılarak toplam ısı yükü bulunabilir. Kullanıcılar farklı zamanlarda farklı iç sıcaklıklara ihtiyaç duyacaklardır. Örneğin; ısıtma sistemleri geceye kadar kısılabılır. Ayrıca kullanıcılar, önemli bir zaman periyodu için ısıtma sistemlerini kapayabilirler. Dış sıcaklıkla birlikte bu modellerin kullanımı herhangi bir projenin gerçek yük süresini belirleyecektir. Kullanıcı alışkanlıkları, uygulayıcıdan uygulayıcıya göre değişecektir. Konutlar, oturanların değişik taleplerini memnun etmek için ısıtılacak, böylece bazı insanlar haftada günün sadece belli bölümünde konutlarını ısıtacak, çalışma saatleri arasında kapatacak ya da kısacaktır. Hafta sonları, sadece geceleri ısıtma sistemleri kısılabilecektir. Kamu ve ticari binalar sadece çalışma saatlerinde ısıtılacak ve ısıtma sistemleri hafta sonları ve geceleri kapatılacak ya da kısılacaktır. Okullardaki ısıtma sistemleri, okul tatillerinde uzun periyotlarla kapatılacaktır. Diğer taraftan; hastanelerde devamlı insanlar bulunmaktadır ve buradaki ısıtma sistemleri sürekli olarak çalıştırılır. Bu da farklı modellerin kullanımını gerektirmektedir.

### 2.2.7. Sıcak Kullanma Suyu

Konut için sıcak su gereksinimi, yaklaşık olarak 60°C sıcaklıkta konut başına günde 150 litre kadardır ve genellikle 5° – 10°C deki soğuk sudan elde edilir. Hacim ısıtması gerekli olmadığı zaman, yılda nispeten küçük ve sabit ısıtma talebi söz konusudur.

## 2.3. Binaların Isı Talebinin Bulunması

### 2.3.1. Genel Esaslar

Jeotermal enerji ile ilgili projelerde, ekonomik bakımdan uygulanabilen boyutta bir ısı yükünü düzenlemek için, ısı dağıtım sisteminin kullanıldığı bir grup binanın birbirine bağlanması normaldir. Bunun, tam tersi olarak, bazı merkezi besleme tesisine bağlanması da söz konusudur. Merkezi olarak karşılanabilen ısı talepleri, her bir kullanıcının taleplerinin toplamına daima eşit olması gerekmez. Her bir kullanıcının özel taleplerinin karşılanamayacağı bazı koşullar olacaktır. Çünkü, şebeke merkezi olarak kontrol edilecektir. Öncelikle, bu karmaşıklıklar ihmal edilerek, binaların toplam ısı güç talebi basitçe şöyle ifade edilir:

$$P_d(t) = \sum_{i=1}^{i=n(t)} V_i G_i (T_{di}(t) - T(t)) \quad (28)$$

Burada;

$V_i$  = i'inci binanın hacmi ( $m^3$ )

$G_i$  = i'inci binanın karakteristik hacimsel ısı kaybı ( $W/m^3 \cdot ^\circ C$ )

$T_{di}$  = t zaman aralığında i'inci binanın talep (istenen) sıcaklığı ( $^\circ C$ )

$T(t)$  = Bu zamandaki dış sıcaklık ( $^\circ C$ )

$n(t)$  = Bu zamanda ısıtılacak olan binaların toplam sayısı

Tek bir bina için *Eşitlik (15)* den görüleceği üzere, bu bağtımda ekstensif ve intensif terimler vardır. Ekstensif terimler; hacimleri ve ısı kaybı karakteristikleri ile birlikte ısıtılacak binaların sayılarıdır. Buna karşın intensif terimler; binaların talep sıcaklıkları ve dış sıcaklıklardır. Bu, jeotermal enerji ile ilgili projelerin analizinde önemlidir. Çünkü, jeotermal enerjili şebekeler kontrol edilir ve bu iki gruptaki değişken şebekenin farklı işletme şeklini belirler. Böylece, ekstensif terimler şebekenin akış miktarlarını ve intensif terimler işletme sıcaklıklarını belirler. Şebeke sıcaklıklarının ve debilerinin hesaplamaları yapılırken, ekstensif ve intensif terimler kolayca ayrılabilir diye, bazı basit kabuller yapılır.

*Eşitlik (28)* ile verilen ısı güç düzeyleri için genel ifadeye geri dönerek, üç değişken terimden söz edilebilir:

- Her hangi bir zamanda sisteme bağlanan binaların sayısı değişebilir. Kullanım modellerine bağlı olarak farklı binalara bağlanabilir veya bağlanamaz.
- İstenen oda sıcaklıkları, binadan binaya veya zamanla değişir.
- Dış sıcaklık zamanla değişecek, ama bu tüm binalar için aynı olacaktır.

Bağlanan bina sayıları ve iç sıcaklıklar rastlantısal olarak ve sistem gereği değişebilir. Dış sıcaklık düzenli, sistematik bir şekilde değişme eğilimi gösterir. Böylece; belirli bir uygulama içinde dış sıcaklık baskın olarak değişken olabileceken, kullanıcı alışkanlıklarının sebep olduğu dalgalanmaların ısıtma gücü taleplerine önemli bir etkisi olduğunu beklenilmelidir.

### 2.3.2. Yük Süre Eğrisi

Özel durumlar dışında; kullanıcıların yük süre eğrisinin her bir binanın yük süre eğrisi ile birlikte toplayarak simüle etmek genellikle mümkün olmayabilir. Çünkü, yük süre eğrilerinde ısı güç düzeylerinin meydana geldiği gerçek zaman hakkında hiç bir bilgi yoktur. Bununla birlikte; tüketilen toplam ısı miktarı her bir ısı talebinin toplanmasıyla belirlenebilir. Bununla beraber, bir grup binanın yük süre eğrisinin kolayca bulunacağı özel bir durum vardır. Bu, benzer karakteristikleri olan örnek binalar için çok fazla kullanıcıların olduğu durumdur. Kullanım modeli çok değişik olmasına rağmen, birleştirilen kullanıcıların sayısının her zaman sabit kalmasından kaynaklanır.

$$P_d = \sum_{i=1}^{i=N} V_i G_i (T_{di}(t) - T(t)) \quad (29)$$

Burada; N: eşit bağlantılı konutların sayısıdır. Buna ilaveten, eğer tüm zamanda her bir talep sıcaklığı sabit olursa;

$$P_d = (T_d - T(t)) \sum_{i=1}^{i=N} V_i G_i \quad (30)$$

yazılabilir. Burada;  $\sum_{i=1}^{i=N} V_i G_i$  sabittir.

Bu durumlar altında, kullanıcıların toplamı için yük süre eğrisi her bir bina gibi aynı şekilde sıcaklık süre eğrisinden belirlenebilir. Bu, ısı taleplerinin bulunmasında kullanılan basitleştirilmiş bir yaklaşım yöntemidir.

### 2.3.3. Grup Isıtma Taleplerinin Bulunmasının Basitleştirilmiş Yöntemi

Jeotermal enerjinin kullanıldığı grup ya da merkezi ısıtma projeleri analiz edilirken, hacim ısıtma talepleri; basit bir yöntemin kullanıldığı genelleştirilmiş şekilde bulunur.

#### *İç Sıcaklıklar, Az Kazançlar ve Talep Sıcaklıkları:*

Isıtma sisteminin yararsız by-passın kaçınıldığı ve dönüş sıcaklıklarının mümkün olduğu kadar düşük tutulduğu kabulüyle işletilir. Bunu başarmak için sağlanan sıcaklıklar düşük olur ve temel taleplerle kesişebilmek için düzenlenir. Bunun sağlanması için, gidiş sıcaklıkları düşük olur ve temel talepleri karşılamak için ayarlanır. Gereksiz hiç bir akış yoktur. Bunun sonucu, gidiş şebekesiyle sadece kullanıcıların ortalama gereksinimleri karşılanır ve her hangi bir süre binalarını aşırı ısıtmak isteyen kullanıcıları talepleri karşılanmaz. Bu yaklaşımla,  $T_i$ , iç sıcaklığının tüm konutlar için sabit kaldığını kabul etmek mantıklıdır. O halde, tek bir binanın analizini izleyerek, iç kazançların küçük, zamanla sabit ve tüm konut için aynı olduğu kabul edilir. Böylece, zamanla değişmeyen ve tüm binalar için aynı olan efektif "talep" veya "baz" sıcaklığı ( $T_d$ ) belirlemek mümkündür.

#### *Sabit (Sürekli) Durumlar:*

Dış sıcaklıkların yavaşça değiştiği ve ısı güç düzeylerinin hesaplanması amaçları için koşulların değişiminin bir dizi sürekli rejimde olduğu farz edilir. , değişen koşullar, sabit durumlar serisidir. Böylece zaman gecikmeleri ve salınımların günlüklerindeki azalmalar önemsiz olur.

#### *İntensif ve Ekstensif Terimlerin Ayrılması:*

Yukarıdaki kabulleri göz önüne alarak, binaların güç talebinin toplamı ifadesindeki intensif ve ekstensif terimleri ayrı olarak belirlemek mümkündür.

$$P_d(t) = (T_d - T(t)) \sum_{i=1}^{i=n(t)} V_i G_i \quad (31)$$

Ekstensif terim;  $\sum_{i=1}^{i=n(t)} V_i G_i$  'ye eşittir ve toplamı; t, n(t) zamanda bağlanan tüm binalardan fazladır. Bu

yüzden; tam anlamıyla, yük süre istatistiklerini formüle etmek için, bağlanacak kullanıcı sayılarının ve dış sıcaklıkların değişimiyle ilgili bilgiye ihtiyaç vardır. Daha sonra; jeotermal enerjili sistemin gidiş düzeylerini hesaplamak için aynı bilgilere ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte; kullanıcının birleştirilmesinde ve sökülmesinde detaylı bilgiler mevcut değildir ve aşağıdaki yaklaşım sıkça kullanılır.

#### *Sabit Talep Değeri:*

Bağlantıların sayılarının çok büyük olduğu düşünülür ve binalar daima birleştirilirken ve sökülürken, *Eşitlik (31)* 'deki ekstensif terimin zamanla değişmediği kabul edilir. Bu yaklaşımla; karışık özellik gösteren kullanıcılar; eşdeğer bir konut ile karakterize edilir.

$$NVG = \sum_{i=1}^{i=N} V_i G_i \quad (32)$$

Burada;

$N$  = Bağlanan eşdeğer konut sayısı

$V$  = Standart bir binadaki ısıtılan hacim ( $m^3$ )

$G$  = Standart bir binanın karakteristik hacimsel ısı kaybı katsayısı ( $W/m^3 \cdot ^\circ C$ )'dir.

Bu bağlamda, aşağıdaki şekilde sabit bir talep değerini tanımlamak yararlıdır.

$$D = NVG \quad (33)$$

Talep değerinin bu şekilde sabit kalması durumunda,

$$P_d = NVG(T_d - T) \quad (34)$$

ve

$$P_d = D\Delta T \quad (35)$$

yazılabilir. Sonuç olarak, sıcaklık süre istatistikleri, yük süre eğrisini belirlemektedir.

Standart bir konutun hiçbir universal bir teknik değeri yoktur. Fakat, Fransa'daki çalışmalarda, standart bir konutun ısıtılacak olan hacmi,  $V = 200 \text{ m}^3$  ve hacimsel ısı kaybı katsayısı,  $G = 1 \text{ W/m}^3\text{-}^\circ\text{C}$  olarak, başka bir deyişle, bina başına kombine ısı kaybı,  $VC = 200 \text{ W/}^\circ\text{C}$  olarak verilmektedir. Buna karşın, İzlanda'da bulunan binalarda yıllık enerji tüketimi  $0.06\text{-}0.1 \text{ MWh/m}^3$ 'dür. Bu değerler,  $G = 0.44 - 0.73 \text{ W/}^\circ\text{Cm}^3$  arasındaki eşdeğer hacimsel ısı kayıp katsayısına karşı gelmektedir.

Bu çerçevede, Balçova Jeotermal Isıtma Sistemi'nde yer alan binaların birim alan başına ortalama tepe yükü, ısıtma sistemi projesi mevcut 40 binanın tasarım ısı yükleri kullanılarak hesaplanmış ve ısı yüklerinin değişik parametrelere göre değişimi incelenmiştir. Göz önüne alınan 40 binaya ait verilerden  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  tasarım sıcaklık farkı için ağırlıklı ortalama birim hacim ısı yükü ise  $18.3 \text{ kcal/m}^3\text{h}$  olarak hesaplanmıştır. Bina başına kombine hacimsel ısı kaybı değeri  $0.967 \text{ W/m}^3\text{-}^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

### 3. JEOTERMAL SİSTEMLERDE ISIL HESAPLAR

#### 3.1. Hesaplara Genel Bir Bakış

##### 3.1.1. Isıl İşlemlerin Amacı

Jeotermal ısıtma sistemlerinin performansı, jeotermal akışkanın ısı beslemesine olan katkılarını bulmak için, ön fizibilite çalışmalarıyla analiz edilir. Bu, akışkan sıcaklıklarının ve debilerinin yeterince yüksek olduğu (akışkandan elde edilen ısıyla tüm ısı talebinin karşılanabildiği) özel durumlarda iyi bir uygulamadır. Bununla beraber; genelde karşılaşılan durumlarda, ısı ve/veya akışkan debisi; daha yüksek taleplerin karşılanabilmesi için çekilen ısının çok düşük olduğu görülür. Gerçekte; jeotermal enerji ile ilgili projeler, jeotermal akışkanın sadece esas yükleri karşılayacak şekilde tasarlanmasından oluşur. Bu durumlarda iki veya daha fazla farklı çalışma şekli vardır ve sağlanan jeotermal ısının miktarının belirlenmesi için farklı talep durumları altındaki güç seviyelerinin detaylı hesabı istenir. Bu, daha üst seviyede bilgiyi ve anlamayı gerektiren, en zor olan genel bir durumdur. Bu genel durumun analizini anlayabilen biri için, özel durum sadece basit bir işlemdir.

Aşağıda, bu genel durumun analizi yapılacaktır. Bu amaçla;

- Doğrudan ısı alış-verişle direkt olarak ya da ısı pompaları kullanılarak akışkandan sağlanan faydalı jeotermal ısı temini,
- Jeotermal besleme sistemlerine ilave olarak gerekli geri besleme yakıtı,
- Kuyu pompaları, sirkülasyon pompaları ve ısı pompası kompresörünü çalıştırmak için tüketilen elektrik ve diğer yakıtlar hesaplanabilecektir.

Bu enerji bileşenleri, projenin tüm enerji dengesini belirler. Bunlardan; "karşılama" düzeyi saptanabilir. Bu karşılama oranı, akışkanla karşılanabilen toplam ısı talebinin bir kesri olup, aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\text{Karşılama Oranı} = Q_g/Q_d \quad (36)$$

Burada;

$Q_g$  = Toplam beslenen jeotermal enerji (MWh)

$Q_d$  = Kullanıcıların toplam ısı talebi (MWh)

Aynı zamanda, tasarruf edilen yakıt miktarı da hesaplanabilir. Bunlar, projenin kazançlarının saptanması bakımından önemlidir. Elektrik ve yakıt tüketimi de, projenin işletme giderleri açısından önemli kavramlardır. Burada tanımlanan modelleme yaklaşımları; ön fizibilite seviyesinde yapılan için yapılan çalışmalarda büyük önem taşır. Buna ilaveten, mühendislik çalışmalarında fiziksel modeller de kullanılır.

### 3.1.2. Hesaplarda Kullanılan Yaklaşım

Isıl hesaplamalar üç ana aşamada yerine getirilir:

- Yıl boyunca kullanıcının ısı talebi tahmin edilir veya ısıtma sistem verisinden belirlenir.
- Isıtma sisteminin davranışı, sistemin değişik kısımlarındaki sıcaklıkları ve debileri belirlemek için, değişik talep koşullarında analiz edilir. Bu bilgi, verilen ısı miktarlarını ve iş düzeylerini belirlemek için, jeotermal akışkan ile ilgili bilgiyle beraber kullanılır.
- İlgili verilen ısılar ve işler, yıllık ısı ve enerji paylarını belirlemek için, işletme sezonu boyunca toplanır.

Güç düzeylerinin ve ısı ile enerji toplamalarının performansının hesabı için iki alternatif yaklaşım vardır. Bu yaklaşımlar; farklı düzeydeki bilgiyi gerekli kılıp, farklı duyarlıkta ve aritmetik olarak da farklı karmaşıklıktadır.

#### *Doğrudan Zamanlama Serileri Hesabı:*

Yıllık enerji paylarının en basit, aynı zamanda en yorucu şekli, sistemdeki farklı elemanların güç seviyelerini hesaplamaktır. Örneğin; ısı değiştiricisi, ısı pompaları gibi donanımlar saat saat tüm ısıtma sezonu boyunca sırayla hesaplanır. Detaylı hesaplama aşamaları şu şekildedir:

- Isıtılan binaların sayısı gibi iç ve dış hava sıcaklıkları ve ilgili diğer değişkenler, uygun bir zaman aralığı için tahmin edilir (genellikle saat saat bazında data kullanılır). Alternatif olarak, mevcut olabilen herhangi bir ısıtma sistemi verisinden de hesaplanabilir.
- Isıtma sistemi akışkanlarının önemli sıcaklıkları ve debileri, her bir ısıtma sistemi elemanında ve ayrı zaman aralığında saptanır.
- Güç düzeyleri olduğu gibi ve oluşacağı zaman her zaman aralığı için hesaplanır ve bunların tüm aralık boyunca sürdürüğü kabul edilir.
- Güç düzeyi ile ısıtma elemanlarının her biri için zaman aralığının çarpımı, tüm ısıtma sezonu boyunca toplanır. Bunlar; ısı taleplerini  $Q_d$ , jeotermal ısı gereksinimi  $Q_g$ , aynı zamanda pompalama enerjisi ve kompresör işi ve benzerlerini verir.

Böylece, her bir "Q" ısı besleme (temin) bileşenin enerji katkısı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir.

$$Q = \sum_{j=1}^{8760} P_j \quad (37)$$

Burada;  $P_j$  = j'inci saat süresince sağlanan ısı güç (MW) olup, *Eşitlik (34)*' e benzer şekilde yazılır ve *Eşitlik (37)*' de yerine konursa,

$$Q_d = \sum_{j=1}^{8760} N_j V G (T_{dj} - T_j) \quad (38)$$

elde edilir.

Burada;

$P_{dj}$  =  $j$ 'inci saatteki ısı güç talebi (MW)

$N_j$  =  $j$ 'inci saatte bağlanan bina sayısı

$T_{dj}$  =  $j$ 'inci saatteki kullanıcıların istediği (talep) sıcaklık (°C)

$T_j$  =  $j$ 'inci saatteki dış hava sıcaklığı (°C)

$V$  = Ortalama bina hacmi ( $m^3$ )

$G$  = Her bina için karakteristik ısı kayıp katsayısı ( $MW/m^3 \cdot ^\circ C$ )'dir.

Bağlanan binaların sayısının,  $N_j$ , iç sıcaklık talebinin,  $T_{dj}$ , ve dış hava sıcaklığının,  $T_j$ , hepsi, bağımsız şekilde zamanla değişir. Bu değişimler, şebekedeki sıcaklıkları ile debileri etkiler ve güç düzeyleri de etkilenir. Ne güç talepleri ne de jeotermal güç sağlama düzeyleri sadece ne zamanın fonksiyonları ne de tek bir talep değişkeninin fonksiyonu değildir. Bu zamana bağlı hesapların esas yararı; bu bağımsız talep değişkenlerindeki değişimlerin hesaba katılmasıdır. Özellikle, ısıtılan konut sayısındaki ve dış hava sıcaklığındaki değişimlerin her ikisine de yer verilir. Bununla beraber; bir çok sakıncası da vardır. Geniş bir talep değişkenleri aralığında meydana gelen değişimler yer almasına rağmen, bundan yararlanmak için gerekli olan bilgi genellikle mevcut değildir. Dış hava sıcaklıklarındaki değişimler herhangi bir durumda bilinebilir. Aynı zaman da bu yaklaşım aritmetik olarak da yorucudur, bir çok hesap ister, bir çoğu da tekrarlanır. Eğer saat aralıkları kullanılmışsa ,en az 8760 hesap yapılmaktadır.

#### *Sıcaklık ve Güç Süre Eğrilerinin Yararları:*

Isı talep hesaplarının matematiksel olarak kolaylaştırılmasındaki bir yol, daha önce açıklanan güç süre eğrisinin tespitidir. Bu tip eğri mevcut ısıtma projelerindeki veriler kullanarak da hesaplanabilir ya da projeyi oluşturan binaların ısı istem tiplerinin yapısına göre de hesaplanabilir. Isı talep eğrisini kullanarak toplam ısı talebinin hesabı, eğrinin altında kalan alanı hesaplayarak yapılır. Fakat hesaplanacak jeotermal sistemin güç seviyelerinin hesabı için bu yol yeterli bir bilgi sağlamaz. Çünkü, genelde ısıtma güç talebi ve jeotermal güç sağlama arasında tek bir ilişki yoktur. Yük eğrisi üstünde tek noktalar olarak temsil edilen ısıtma güç talep seviyeleri; bağımsız talep değişkenleri değerleri, kullanıcı sayıları ( $N$ ) ve dış hava sıcaklığı ( $T$ )nın farklı kombinasyonlarından oluşur. Jeotermal güç besleme (sağlama) düzeyleri, aynı talep değişkenlerine farklı bir şekilde bağlıdır. Bundan ötürü, tek bir ısı güç talebine karşı gelen talep değişkenlerinin farklı kombinasyonları, farklı türdeki jeotermal güç besleme düzeylerini verir.

Jeotermal güç besleme düzeylerini belirlemede kullanılan güç süre eğrisi yaklaşımında, talep değişkenlerinin kapsamı sınırlandırılmalıdır. Öyle ki, ısı güç talep ve ısı güç besleme düzeyleri sadece ana talep değişkeninin (yani; dış hava sıcaklığı) fonksiyonu olsun. Bu, genel bir yaklaşımdır. Bu yüzden, hesaplamaların kapsamı;  $N$  = sabit ve  $T_d$  = sabit olduğunda sınırlandırılır:

Daha sonra da görebileceğimiz gibi; ısı güç talebi ve ısı pompaları ile ısı değiştiricileriyle sağlanan jeotermal güç, sadece dış hava sıcaklığın fonksiyonudur. Bu nedenle; ısı güç talep seviyeleri ve jeotermal güç sağlama seviyeleri tamamen dış sıcaklıkla belirlenir (Şekil 3.1).

$$\Delta T = T_d - T \quad (39)$$

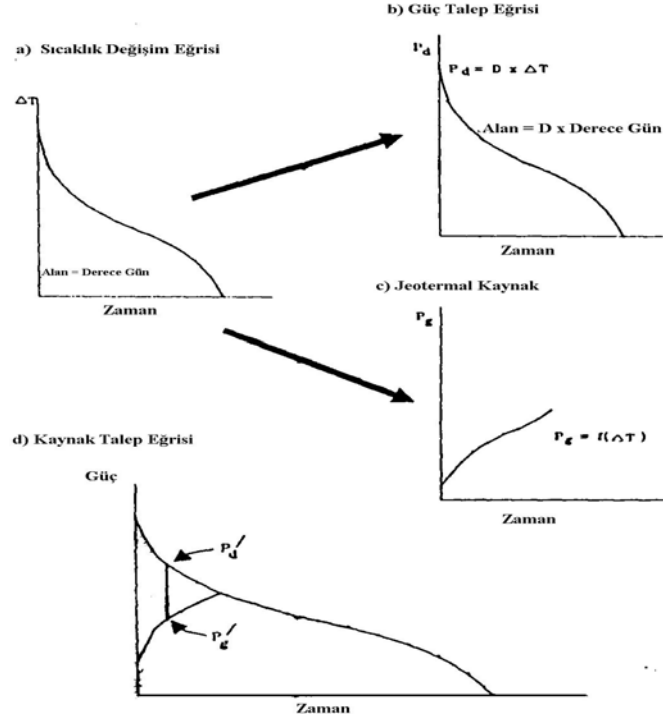
Bölüm 2'de tanımlandığı gibi;

$$D = NVG \quad (40)$$

$$P_d = D\Delta T \quad (41)$$

bağıntılarıyla yaklaşık değerler elde edilir. Şekil 3.2a ve 3.2b'de sıcaklık ve güç değişim eğrileri verilmiştir. Aynı zaman da Şekil 3.1d de kombine güç süre diyagramı verilmiştir. Burada, aynı zaman sürelerin de uygun termal güç talepleri belirtilmiştir.





**Şekil 3.1.** Jeotermal ısıtma sistemlerinde ısı güç düzeylerinin modellenmesi

Sonuç olarak; enerji payları; farklı eğrilerin altındaki alanların belirlenmesiyle hesaplanabilir.

$$Q_d = \text{Talep eğrisinin altındaki tüm alan} \quad (42)$$

$$Q_g = \text{Jeotermal enerji besleme (sağlama) eğrisinin altındaki tüm alan} \quad (43)$$

Jeotermal projeler mümkün olan farklı ısıtma sistemi yerleşimlerine bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Bu yüzden tek bir yaklaşım, tüm olası seçenekler için gerçeğe uygun olmaz. Bu en çok rastlanan faktörleri sınırlamak için gereklidir. Yukarıda belirtildiği gibi, ısı hesapları etkileyen birçok talep değişkenleri vardır. Sınırlamalar yapılmalı ve böylece matematiksel ilişkilere bağlı önemsiz değerler ihmal edilmelidir.

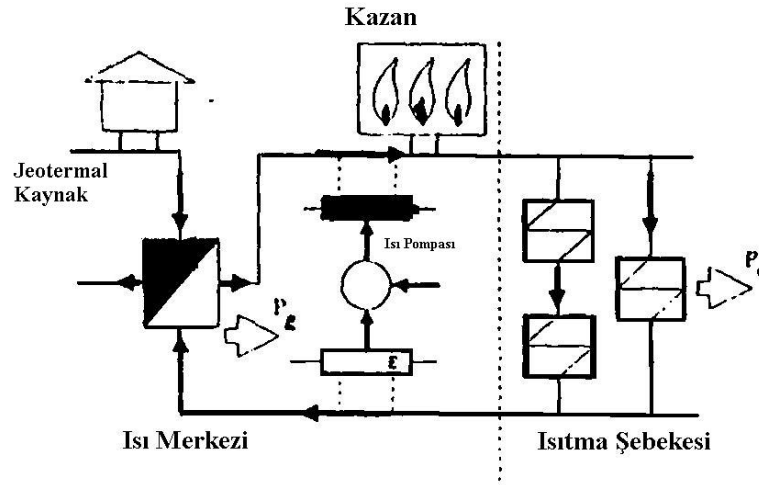
### 3.2. Sıcaklık Etkin Modeli - Tasarım ve Çalışma Sınırları

Bu model, özellikle sınırlı gruptaki yerleşim projeleriyle ilgilidir. Bu sınırlamalar, farklılığın etkisini azaltmak için gereklidir. Bundan dolayı; analizde sınırlanmış seçeneklerin hazırlanmasına ihtiyaç duyulur. Bu sistemin modelinde bir çok problemle karşılaşılan sorunların çoğu, kapsamla ilişkilidir. Kapsamın sınırlandırılması, modelleme sorunlarının kabul edilebilir düzeyde olmasını sağlamak için gereklidir.

#### 3.2.1. Basitleştirilmiş Proje Yerleşimleri

Şekil 3.2' de temel yerleşim şematik diyagramı gösterilmiştir. Bu, aşağıdakileri kapsamaktadır:

- **Besleme Tesisleri:** Bunlar merkezleştirilmiş olup, bir jeotermal ısı değiştiricisi veya direkt akışkan beslemesi ve yedek kazandan oluşur. Isı pompaları ve reküperatörler olası seçenekler olup, depolama tankları da bu jeotermal çevrimde bulunabilir.
- **Isıtma Şebekesi:** Bir dağıtıcı boru hattına bağlanan binadaki ısıtıcılardan oluşur. Farklı tipteki ısıtıcıların karışımı olabilir ve farklı talepleri karşılamak için geri besleme ve by-pass bağlantıları da kullanılabilir. Bununla beraber, şebekenin, hiçbir ilave ısı besleyicisi olmayan sadece basit ısı transfer düzeneklerinden meydana geldiği kabul edilir.
- **Besleme ve Talep Arasındaki Ara Birim:** Besleme tesisleri, basit gidiş ve dönüş hatlarıyla kullanıcı şebekesine bağlanır. Tercihen belirli ısı besleme elemanlarına bağlanan bağımsız hiçbir branşman yoktur.



Şekil 3.2. Modelde kullanılan kabullerin yerleşimin şematik diyagramı

Jeotermal ve ilave enerji, bir bütün olarak şebekesi besleyen basit bir sıvı akımına verilir. Yedek ısıtma, kullanıcı şebekesindeki jeotermal besleme elemanları ile ısıtıcılar arasına "seri" olarak yerleştirilir. Bu kullanıcıların gerekli kıldığı besleme sıcaklıkları tamamen karşılanabilir, bunun sonucu olarak ana besleme sıcaklığı jeotermal beslemeden bağımsız olarak ayarlanabilir. Bir çok durumda, ısıtma hesaplamaları amacıyla, jeotermal ısıtma projesi farklı kısımlara ayrılır: (a)  $P_d$ : Kombine toplam ısı kaybı ile binalardan oluşan ısıtma şebekesi ve (b)  $P_s$ : Kombine jeotermal ısı beslemesi veren ısı değiştiricileri, ısı pompaları, reküperatörlerden oluşan merkezi ısı besleme (temin) tesisi.

Isı besleme tesislerinin işletilmesi az sayıdaki bağımsız parametreler ile belirlenir: Bunlar;

$T_{gi}$  = Jeotermal akışkanın besleme sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$M_g$  = jeotermal akışkan kütleli debisinin ısı kapasitesi ( $\text{MW}/^{\circ}\text{C}$ )

$M_n$  = Şebeke akışkanının kütleli debisinin ısı kapasitesi ( $\text{MW}/^{\circ}\text{C}$ )

$T_{ni}$  = Şebekenin ana besleme (gidiş) sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{no}$  = Şebeke ana dönüş sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

olup, aşağıdaki tasarım parametreleri de söz konusudur.

$N$  = Primer ısı değiştiricilerinin transfer ünitelerinin sayısı

$w$  = Isı pompası kompresör gücü (MW) (eğer varsa, ayrıca ısı pompasının etkinlik katsayısı: COP değer)

### 3.2.2. Isıtma Sisteminin İşletilmesi

Kullanışlı hesaplamaların oluşturulabilmesi için, sunulabilen ısı yükünün tipine bağlı olarak, bazı kısıtlamalar ve koşullar adapte edilmelidir. Isıl yük tipine göre oluşturulan ana sınırlamalar, sadece hacim ısıtma düşüncesiyle sınırlandırılmalıdır. Bu da su ısıtması ve/veya diğer ısıtma bileşenlerinin küçük olduğu ve hesaplama amaçları için, ek hacim ısıtma yüklerinin ele alınması kabulüyle eşdeğerdir.

Hacim ısıtma talep düzeyi yıl boyunca fazlaca dalgalanır ve genelde kısmi durumlarda ya da ısı taleplerinin kısmen veya temel yükü karşılanması durumunda, sistem farklı talep yüklerinde farklı şekillerde işletilmelidir. İki işletme rejimi söz konusudur:

*Fazla Besleme Rejimi:* Daha düşük talep düzeylerinde, ısı talebi akımı; jeotermal akışkanla sağlanan ısı besleme akımından daha düşük olduğu zaman, jeotermal ısı beslemesi azaltılabilir.

*Düşük Besleme Rejimi:* Daha yüksek talep düzeylerinde, ısı talebi akımı; basit ısı değişimiyle elde edileni aşarsa, jeotermal besleme ısı pompaları ve/veya ilave ısıtma ile yapılmalıdır.

### 3.2.3. Talep Değişkenlerinde Kısıtlama

*Bölüm 3.1* de açıklandığı gibi, enerji hesaplamalarının aritmetiğini basitleştirmek için, toplam kullanıcılarının bağlantıda olduğu şebekenin her zaman sabit kaldığı ve kullanıcılarının hepsinin ihtiyaç duyduğu iç sıcaklıkların aynı olduğu ve zaman içinde sabit kaldığı düşünülür. Bu kısıtlamalar ne sistemin işleyişinin modellenmesindeki fiziksel temelleri etkiler ne de analizde kullanılan bağıntıların şeklini etkiler. Bu kısıtlamalar, bağıntılardaki değişkenlerin sayısının azalması bakımından büyük önem taşır. Kısıtlamalardan dolayı, bu model, büyük binaların ve büyük konutların analizinde belki de daha güvenilirdir. Örneğin, hastaneler veya küçük kullanıcıların oluşturduğu büyük topluluklar gibi.

## 3.3. Sıcaklık Etkin Model II – Isıl Güç Düzeylerinin Modellenmesi

Belirli dış hava sıcaklıklarına karşı gelen belirli talep koşulları için , işletme sıcaklıkları ve ısı geçişleri her bir bileşen için binanın ısı kayıplarından başlayarak devre boyunca bulunabilir (*Şekil 3.2*). gösterilmektedir.

### 3.3.1. Binadan Isı Kaybı - Isı Talebi

*Bölüm 2* de verilen analiz izlenerek, sıcaklık etkin modeldeki ısı talebi düzeylerini hesaplamak için aşağıdaki basit bağıntı kullanılabilir:

$$P_d = D (T_d - T) \quad (44)$$

Burada;

- $D$  = Talebin büyüklüğünü gösteren ısı talep katsayısı (MW/°C)
- $T_d - T$  = Talep yoğunluğu  $\Delta T$  (°C)
- $P_d$  = İç kazançlar için izin verilme sonrası net ısı akımı (MW)
- $T_d$  = İç kazançlara izin verme sonrası efektif oda sıcaklığı (°C)
- $T$  = Dış hava sıcaklığı (°C)'dir.

Isı talep katsayısı 'D' , ısıtılan toplam hacim ile yapı kabuğunun yapısından belirlenir. Bazen bu, eşdeğer konut sayısı ile ilişkili olarak verilir.

$$D = NVG \quad (45)$$

Burada;

$N$  = Eşdeğer konutların sayısı

$V$  = Standart konut büyüklüğü ( $m^3$ )

$G$  = Bu tipik konutların karakteristik ısı kaybı ( $MW/m^3-^{\circ}C$ )'dir.

Eğer talep değişkenleri sınırlandırılırsa, konut sayıları ve etkili oda sıcaklıklarının her ikisi de sabit olur. Daha sonra, ısı talep düzeyleri  $P_d$ , sadece dış hava sıcaklığının fonksiyonu olmaya başlar. O halde, ısı talebi düzeyleri  $P_d$ , sadece dış hava sıcaklıklarının fonksiyonu olur.

$$O_d = D\theta \times 24 \quad (46)$$

Burada;  $\theta$ :  $T_d$  ye eşit baz sıcaklığın kullanımı ile hesaplanan bu yerin toplam derece günü ( $^{\circ}C$  günler) olmaktadır. Bu kullanışlıdır. Çünkü, toplam ısı yük  $Q_d$  istma kayıtlarından bulunabilirse ve yerin  $\theta$  değeri biliniyorsa, talep katsayısının belirlenmesi yöntemi verilmektedir. Isıtma hesaplamalarının geri kalan kısmında, dış hava sıcaklığı  $T$  temel değişkendir. Fakat, bu bağıntılar ısı talep yoğunluğunun terimleriyle ifade edilecektir.

$$\Delta T = T_d - T \quad (47)$$

$$P_d = D\Delta T \quad (48)$$

### 3.3.2. Isıtıcı Ayarlaması

Isıtıcılar, beslemenin minimum düzeyleri talepleri yeterli şekilde sağlayacak ve dönüş suyu sıcaklığı her zaman en düşük değerde olacak şekilde ayarlanır. Radyatörlerden geçen debi sabit tutulduğu zaman, radyatörlerin verdiği ısının su giriş sıcaklıklarıyla lineer olarak arttığı kabul edilir. Binanın ısı kaybı, dış sıcaklıktaki düşüşle arttığı zaman, ısıtıcılar; şebekeye beslenen su sıcaklığının değiştirilmesiyle merkezi olarak ayarlanır.

$$T_{ui} = \overset{v}{T} + S_{ui}\Delta T \quad (49)$$

Her bir ısıtıcı, iç talep sıcaklığı sabit olacak şekilde çalıştırılır. Buradan, her bir ısıtıcı grubundan geçen debi sabittir. Isıtıcı çıkış sıcaklığının benzer şekilde lineer olarak değiştiği kabul edilir.

$$T_{uo} = \overset{v}{T}_u + S_{uo}\Delta T \quad (50)$$

Burada;  $S_{ui}$ ,  $S_{uo}$  ve  $\overset{v}{T}$  ısıtıcıların karakteristikleridir. Dış hava sıcaklığı, iç talep sıcaklığına,  $T_d$ , eşit olduğu zaman, dış hava sıcaklığı standart düzeyde ve sıfır talepte olduğu ısıtıcı giriş ve çıkış sıcaklıklarının belirlenmesiyle tanımlanır.

Böylece;

$\overset{\wedge}{T}_{ui}$  = Tasarım düzeydeki su giriş sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$\overset{\wedge}{T}_{uo}$  = Tasarım düzeydeki su çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$\overset{v}{T}_u$  = Isıtıcıdaki en düşük su sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$\overset{\wedge}{\Delta T}$  = Tasarım talep (istenen) yoğunluğu =  $T_d - \overset{v}{T}$  ( $^{\circ}C$ )

$\overset{v}{T}$  = Tasarım dış hava sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ) olur.

O halde,

$$S_{ui} = \frac{T_{ui}^{\wedge} - T_u^v}{\Delta T^{\wedge}} \quad (51)$$

$$S_{uo} = \frac{T_{uo}^{\wedge} - T_u^v}{\Delta T^{\wedge}} \quad (52)$$

Örneğin, Fransa'da uygulanan projelerde, tasarım dış hava sıcaklığı  $T^v = -7^{\circ}\text{C}$  ve talep sıcaklığı,  $T_d = 18^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman,  $90^{\circ}\text{C}$ 'lik gidiş ve  $70^{\circ}\text{C}$ 'lik dönüş suyu sıcaklığı ile çalışan yüksek sıcaklıklı radyatörler kullanılır.

O halde,  $T_u^v = 20^{\circ}\text{C}$  ise,

$$S_{ui} = \frac{90 - 20}{25} \cong 2.8 \quad (53)$$

$$S_{uo} = \frac{70 - 20}{25} = 2 \quad (54)$$

olarak hesaplanır.

### 3.3.3. Şebeke Sıcaklıkları ve Debiler

Bu basit ayarlama modeliyle, kullanıcı şebekesinin tamamı bireysel ısıtıcılara benzer şekilde davranır. Benzer paralel branşmanlardan oluşan bir basit bir şebekede, şebeke giriş ve geri dönüş sıcaklıkları,  $T_{ni}$  ve  $T_{no}$ , ısıtıcının sıcaklıkları ile aynıdır ve şebekenin debisi, tüm kullanıcı debilerinin toplamına eşittir.

Farklı tipteki ısıtıcılar ile kullanıcıların karışık düzenlemesi, tasarım sıcaklığında analiz edilebilir ve eş değer ısıtıcı yükü olarak aşağıdaki gibi karakterize edilebilir.

$T_{ni}^{\wedge}$  = Tasarım koşulları altında tüm şebekeye giren suyun sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{no}^{\wedge}$  = Tasarım koşulları altında tüm şebekeden çıkan suyun sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

Ayrıca; şebekedeki bütün ısıtıcılar aynı minimum su sıcaklığında oldukları zaman, şebekenin su sıcaklığı;

$$T_n^v = T_u^v \quad (55)$$

ve

$$T_{ni} = T_n^v + S_{ni}\Delta T \quad (56)$$

$$T_{no} = T_n^v + S_{no}\Delta T \quad (57)$$

olur.

Şebekenin toplam ısı kapasitesi aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$M_n = \frac{NVG}{S_{ni} - S_{no}} \quad (58)$$

Üsteki analiz, kayıpsız şebekeye uygulanır. Şebeke kayıpları, gidiş ve dönüş hatlarında küçük sıcaklık düşmeleri ( $\delta T$ ) farz edilerek, basitçe analiz edilebilir. O halde, ısıtma istasyonundaki şebekenin gidiş ve dönüş sıcaklıkları, aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\overset{\wedge}{T}_{ni} = \overset{\wedge}{T}_{ni} + \delta T \quad (59)$$

$$\overset{\wedge}{T}_{no} = \overset{\wedge}{T}_{no} - \delta T' \quad (60)$$

ve ayarlanmış düzenleme karakteristikleriyle,

$$S_{ni}' = S_{ni} + \frac{\delta T}{T} \quad (61)$$

$$S_{no}' = S_{no} - \frac{\delta T'}{T} \quad (62)$$

şeklinde olur. Şebeke kayıpları, merkezi ısıtma istasyonu ile karşılanması gereken ek ısı talepleridir. Bu nedenle toplam ısı talebi;

$$P_d = D' \Delta T \quad (63)$$

Olur. Burada, ayarlanmış ısı talep katsayısı,

$$D' = D + M_n \cdot \left( \frac{\delta T}{\Delta T} + \frac{\delta T'}{\Delta T} \right) \quad (64)$$

olmaktadır.

### 3.3.4. Merkezi Isı Besleme (Temini)

Şebeke ısı talepleri, kombine ısı beslemesiyle karşılanır.

$$P_d = P_s + P_b \quad (65)$$

Burada;

$P_s$  = Jeotermal ısı beslemesi (ısı verme) (MW)

$P_b$  = İlave ısı (MW)' dir.

Bir dizi kombine ısı besleme tesisleri, yukarıda farz edilen kısıtlanmış yerleşimler kapsamında mümkündür. Bunlar; ayrı olarak düşünülmesi gereken iki gruba ayrılır: (a) Sadece bir ısı değiştiricisi veya akışkanın doğrudan kullanımıyla basit ısı alış-verişi ve (b) Değişik düzenlemeler ile ısı değiştiricileri ve ısı pompalarını içeren kombine ısı alış-verişi.

### 3.3.5. Jeotermal Akışkanın Doğrudan Kullanımı

Jeotermal akışkan ısıtma şebekesinde ve ısıtıcılarda doğrudan kullanılacağı zaman, jeotermal akışkanın dönüş sıcaklığı, ana şebekedeki dönüş sıcaklığına ve jeotermal akışkanın debisi de ana şebekedeki debiye eşit olur.

O halde;

$$P_g = M_p (T_{gi} - T_{no}) \quad (66)$$

Yazılabilir.

Burada;

$P_g$  = Jeotermal akışkandan çekilen ısı güç (MW)

$M_g$  = Jeotermal akışkanın ısı kapasitesi (MW/°C)

$T_{gi}$  = Jeotermal akışkanın gidiş (besleme) sıcaklığı (°C)' dir.

*Eşitlik (57)*' deki  $T_{no}$ ' nun *Eşitlik (66)*' da yerine konmasıyla,

$$P_g = M_g(T_{gi} - T_{no}) - M_g S_{no} \Delta T \quad (67)$$

elde edilir.

### 3.3.6. Basit Isı Alış-Verişi

Bir ısı değiştiricisi çalıştırıldığı zaman, bütün şebekedeki debinin ikincil devrede dolaştığı kabul edilir. Isı değiştiricisi tarafındaki giriş sıcaklığı, basitçe şebekenin dönüş sıcaklığı,  $T_{no}$  ya eşittir. Bu sıcaklık jeotermal kuyudan çekilebilen ısı miktarını sınırlar. Böylece,

$$P_g = M_g E_x (T_{gi} - T_{no}) \quad (68)$$

yazılabilir. Burada;  $E_x$  :ısı değiştiricisinin ısıl etkenliği olmaktadır.

Jeotermal ısı transferi için bu ifadenin formüle edildiği düşünülerek, sistem; jeotermal akışkanın ısı kapasitesinin ısı değiştiricilerinden geçen şebeke debisinin ısı kapasitesinden daima daha az olacak şekilde tasarlanacaktır. Böylece, ısı alış-verişi jeotermal akışkanla sınırlandırılır.

*Eşitlik (57)*' deki  $T_{no}$ ' nun *Eşitlik (68)*' de yerine konmasıyla,

$$P_g = M_g E_x (T_{gi} - T_{no}) - M_g E S_{no} \Delta T \quad (69)$$

elde edilir.

Göz önüne alınan talep değişimlerdeki sınırlamalar nedeniyle, jeotermal ısı beslemesi sadece  $\Delta T$ 'nin fonksiyonudur.

Aslında, jeotermal ısı transferi,  $\Delta T$ 'nin lineer bir fonksiyonudur ve talep yoğunluğu düşerken yükselir. Bu durum; ısının direkt uygulandığı önceki duruma benzerdir. Isı değiştiricinin bulunması, ısı değiştiricinin etkinliğiyle jeotermal ısı geçişini düşürür.

Tek geçiş talep yoğunluğu,  $\Delta T_e$ , mevcut jeotermal beslemenin talebi tamamen karşıladığı yerde söz konudur. Bu çerçevede,

$$D\Delta T_e = M_g E_x (T_{gi} - T_n - S_{no} \Delta T_e) \quad (70)$$

olup, geçiş talep yoğunluğu

$$\Delta T_e = \frac{(T_{gi} - T_n) \cdot M_g E_x}{(D + M_g E_x S_{no})} \quad (71)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

### 3.3.7. Isı Pompası Sistemleri

Isı pompası destekli dolaylı buharlaşmalı yerleşim Şekil 3.6 da gösterilmiştir. Isı değiştiricisinden ve ısı pompalarından oluşan kombine ısı beslemesi,  $P_g$ , aşağıdaki üç bileşenden oluşur:

$$P_g = P_{gh} + w + P_z \quad (72)$$

Burada;

- $P_{gh}$  = İyileştirilmiş jeotermal ısı transferi (MW)
- $w$  = Isıya dönüşen ısı pompası kompresörü işi (MW)
- $P_z$  = Makinalardan geri kazanılan atık ısı (MW)' dir.

Çalışan ısı pompalarıyla ısı değiştiricisi boyunca iyileştirilmiş jeotermal ısı geçişi,

$$P_{gh} = M_g E_x (T_{gi} - T_{co}) \quad (73)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada;  $T_{co}$  : ısı pompası buharlaştırıcısından çıkan suyun sıcaklığı (°C)'dir. Ayrıca,

$$P_{gh} = M_g E_x (T_{gi} - T_n) - M_g E_x S_{no} \Delta T + R_c E_x C_c w \quad (74)$$

yazılabilir.

Burada;

- $C_c$  = Isı pompasının soğutma etki katsayısı (COP)
- $M_x$  = Buharlaştırıcı ve ısı değiştiricisinden geçen debinin ısı kapasitesi (MW°C)
- $R_c = M_g / M_x$  ( $M_g < M_x$ )' dir.

Soğutma etki katsayısı, ısı pompasının sıcaklık değerlerine bağlıdır. Bu, şebeke dönüş sıcaklığıyla,  $T_{no}$ , belirlenebilir ve bu yüzden, ısı talep yoğunluğunun,  $\Delta T$ , fonksiyonu olarak verilebilir.

$$C_c = \text{fonksiyon} (\Delta T) \quad (75)$$

İyileştirilmiş jeotermal ısı transferi,  $P_{gh}$ , sadece  $\Delta T$ 'nin ve böylece dış sıcaklığın,  $T$ , fonksiyonudur. Jeotermal akışkandan çekilen ısı, sadece ısı talep yoğunluğunun,  $\Delta T$ , fonksiyonudur.

### 3.3.8. Yedek Isıtma

Geri kalan ısı talebinin, ayrı bir ısı girişini veren ve bağımsız olarak kontrol edilen bir yedek ısıtma tesisi ile karşılandığı kabul edilebilir. Böylece, yedek ısı  $P_b$ ; talep ile jeotermal besleme arasındaki farktır (ısı pompalı ya da ısı pompasız).



$$P_b = P_d - P_s (\Delta T > \Delta T_e \text{ için}) \quad (76)$$

Daha önceki modelleme kabulleri çerçevesinde, bu yedek ısı; belirli  $M_n$  debisinde  $T_{ni}$ , kullanıcıya giriş sıcaklığını otomatik olarak sağlar. Yedek kazanın ısı transfer karakteristikleri tüm analizle ilişkili değildir. Ama, toplam yanma verimi yıllık yakıt tüketimleri hesaplanacağı zaman kabul edilmelidir.

### 3.4. Örnek Enerji Hesaplamaları

#### 3.4.1. Basit Yaklaşım

Fizibilite değerlendirmelerinde yapılan enerji hesaplamaları iki tiptir. En önemlisi, jeotermal besleme tesisinin tüm ısı talepleri karşıladığı oranının hesaplanmasıdır. Bu, "karşılama" hesabıdır. Buna ek olarak, eğer ısı pompaları kullanılıyor ise, kompresörlerin çalışması için kullanılan yakıt ya da elektrik tüketiminin ve kuyu pompaların çektiği elektriğin hesaplanmasıdır. Sıcaklık etkin yöntem kullanılarak, karşılama hesapları üç temel aşamada yapılır:

##### 1. Aşama: Şebeke Analizi

Bu, merkezi ısıtma istasyonundaki sıcaklıkları ve debileri belirlemek için yapılan ön hesaplama.

##### 2. Aşama: Güç Düzey Hesaplamaları:

Isı değiştiricisinin etkinliği, jeotermal debiden, şebeke debisinden ve ısı değiştiricisi transfer üniteleri sayısından hesaplanır. Böylece;

$$P_d = D \Delta T \quad (77)$$

ve basit ısı alış-verişi durumunda,

$$P_g = M_g E_x (T_{gi} - T_n) - M_g E_x S_{no} \Delta T \quad (78)$$

yazılabilir. Isı pompası güç düzeyleri, farklı talep değerleri için, uygun bağıntılardan bulunabilir.

##### 3. Aşama: Enerji Hesaplamaları

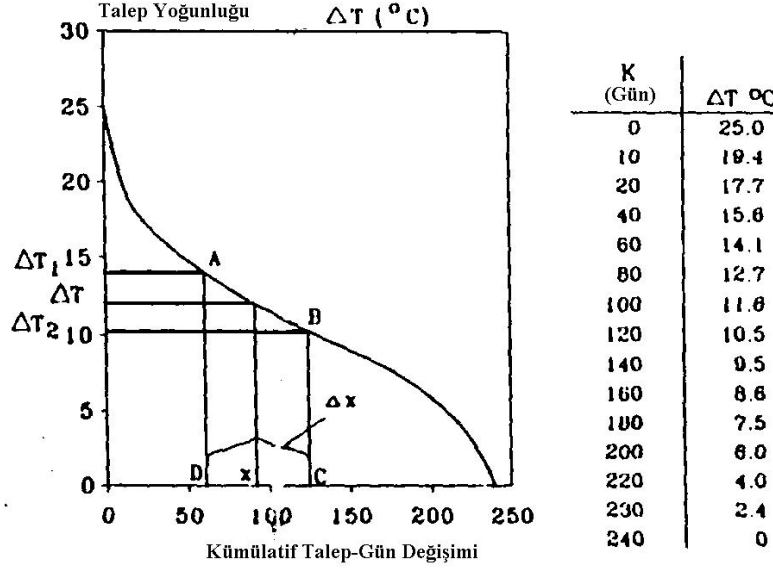
Enerji hesaplamalarının başlama noktası, Şekil 3.3 den görüldüğü gibi, sıcaklık-süre istatistiğinin çıkarılmasıdır. Bunlar, 2. Aşamada belirlenmiş olan ısı güç düzeyleri ile birlikte bu kullanılır. Son olarak, bu eğrilerin altındaki alanlar hesaplanır ve bunlar gerekli enerji paylarını verir. Şekil 3.3 de, ayrıca, rakamsal entegrasyon metodu gösterilmiştir. Burada; Kuzey Fransa'nın özelliklerine göre, sıcaklık istatistiklerinin seti için, toplam derece günleri hesaplanmaktadır.

Böylece,  $x$  günleri için talep yoğunluğu  $\Delta T$  den daha büyüktür ve  $\Delta x$  günleri periyodu boyunca talep yoğunluğu,  $\Delta T_2$  den daha büyük ve  $\Delta T_1$  den daha küçüktür.

ABCD içinde kalan alan derece günleri sayısı;

$$\text{ABCD alanı} = (\Delta T_2 + \Delta T_1) \cdot \Delta x / 2 \quad (79)$$

ile hesaplanabilir. Bütün bu alanlarının toplanmasıyla derece günlerinin toplam sayısı elde edilir.



Şekil 3.3. Örnek hesaplamalarda kullanılan sıcaklık süre istatistiksel değerleri

### 3.4.2. Kuyu Pompası ve Isı Pompasının Yakıt Tüketimlerinin Hesaplanması

Kuyu pompaları ve ısı pompası kompresörlerinin güçleri, ısı sistemi hesaplarından bağımsızca belirlenebilir. Yardımcı su deposu hesaplamalarında kuyu pompalarının güçleri tanımlanır. Isı pompası kompresör gücünün seçimine tasarım aşamasında karar verilir. Kuyu pompaları ve ısı pompası kompresörlerinin çalışma periyotları, tam yükte ya da kısmi yükte çalıştığı zaman, ısıtma hesaplamalarında belirtilir. Bu elemanların enerji tüketimi hesaplanırken şu kabuller yapılır:

Kuyu pompaları, sadece ısı değiştiricilerinin talepleri karşılayamadığı yerdeki işletme şeklinde tam yükte çalıştırılır. Isı değiştiricileri tüm talebi karşılayabildiği ve jeotermal beslemesi kuyu debilerinin azaltılmasıyla ayarlanabildiği zaman, bu kuyu pompaları ortalama olarak yarı yükte işletilir.

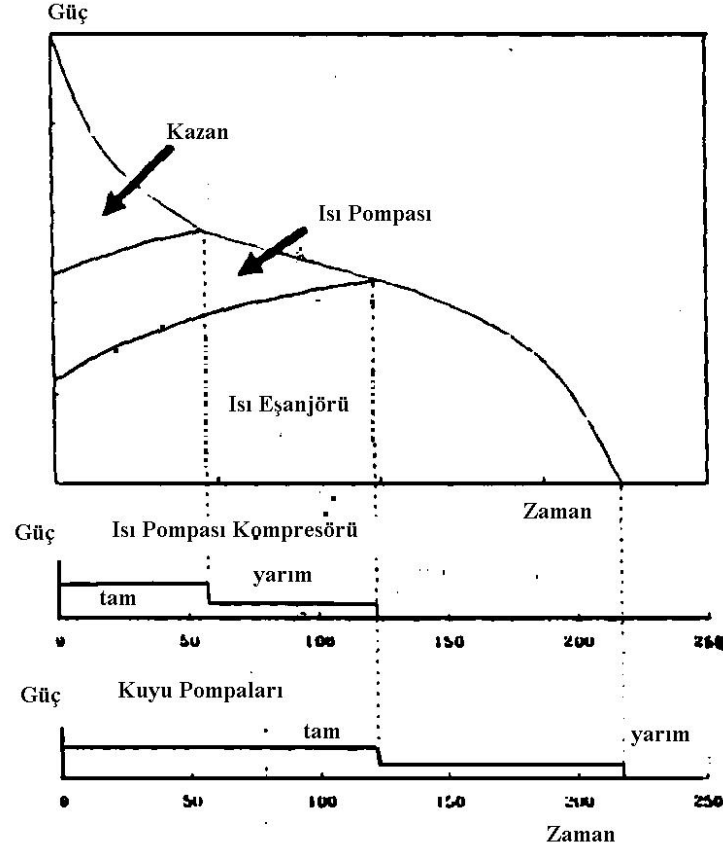
Isı pompası kompresörü; ısı değiştirici, ısı pompası ve reküperatörden (varsa) oluşan kombine ısı beslemesiyle talepler karşılanamadığı yerdeki işletme modunda, tam yükte çalıştırılırlar. Geri kalan süreçlerde, tam kapasitede çalıştırmada fazla ısı beslemesi olduğu zaman, kompresörün yarı yükte çalıştığı kabul edilir.

Bu hesaplama yöntemleri, aşağıda örneklerle gösterilecektir. Bunlar, iki gruba ayrılır.

- *Jeotermal akışkanın ve basit ısı alış-verişinin doğrudan kullanıldığı durumlar:* Eşitlik (67) ve (69)'dan bu güç düzeyleri hesaplanabilir.
- *Isı pompası durumları:* Benzer eşitliklerin kullanılmasıyla, farklı talep düzeylerinde, bu güç seviyeleri hesaplanır.

Basit ısı alış-verişi hesapları için şu örnek çözülecektir: Jeotermal akışkanın sıcaklığının 60°C ve debisinin 180m<sup>3</sup>/h olduğu, 2000 konuta bu akışkanın beslendiğini düşünelim.

Ayrıca, ısıtıcılar için  $\hat{T}_{ui} = 70^\circ\text{C}$ ,  $\hat{T}_{uo} = 50^\circ\text{C}$  olmaktadır.



**Şekil 3.4.** Kuyu pompaları ve ısı pompası kompresörleriyle tüketilen enerjinin bulunması için yaklaşık yöntem

Hesaplardaki ilk iki aşama, *Tablo 3.1* ve *3.2*'de gösterilmiştir. *Eşitlik (69)* daki ilgili değerlerin yerlerine konmasıyla, aşağıdaki jeotermal güç düzeyi elde edilir.

$$P_g = 7.95 - 0.24 \Delta T \quad (80)$$

*Şekil 3.5* de enerji hesaplaması gösterilmiştir. Karşılama oranı %57 dir. Bu durumda; sıcaklık etkin model kapsamında enerji hesaplamaları yapılacaktır. Ayrıca; kaynağın veya sistemin özelliklerini değiştirmek çok kolaydır. Örneğin;  $T_{gi}$ ,  $M_g$ ,  $S_{no}$  ya da  $M_n$  değişimi, *Eşitlik (69)* daki sabitleri kolayca değiştirir. Bu bağlamda, ısıtılan konutların kaynak etkisini belirlemek amacıyla, ısıtıcılarda;

$$\overset{\wedge}{T}_{ui} = 70^\circ\text{C}, \overset{\wedge}{T}_{uo} = 50^\circ\text{C}$$

yerine

$$\overset{\wedge}{T}_{ui} = 90^\circ\text{C}, \overset{\wedge}{T}_{uo} = 70^\circ\text{C}$$

kullanılabilir.

## Enerji Hesaplarının 1. Aşaması

**Tablo 3.1.** Basit bir uygulamanın şebeke analizi

<b>Isı talebi</b>	
Konutların sayısı	N = 2000
Her konut için özgül ısı kaybı	VG = 200x10 <sup>-6</sup> MW/°C
Isı talep katsayısı (NVG)	NVG = 0.4 MW/°C
Derece günler $\theta$	$\theta = 2590^\circ\text{C gün}$
Toplam enerji talebi	24 $\theta$ D = 24900 MWh
Güç talebi (Eşitlik 48'den)	P <sub>d</sub> = 0.4 $\Delta$ T MW bulunur.
<b>Isıtıcının Özellikleri</b>	
Dış havanın tasarım sıcaklığı	$T^v = -7^\circ\text{C}$
Talep sıcaklığı	T <sub>d</sub> = 18°C
Tasarım talep yoğunluğu	$\Delta T^\Lambda = 25^\circ\text{C}$
Gidiş tasarım sıcaklığı	$T^\Lambda_{ui} = 70^\circ\text{C}$
Dönüş tasarım sıcaklığı	$T^\Lambda_{uo} = 50^\circ\text{C}$
Baz sıcaklık	$T^v_u = 20^\circ\text{C}$
Gidiş özelliği $j$	S <sub>u</sub> = 2
Dönüş özelliği	S <sub>uo</sub> = 1.2

Şebekenin ısı kapasitesi:  $M_n = \frac{D}{S_{ui} - S_{uo}} = 0.5 \text{ MW/}^\circ\text{C}$  olur.

## Enerji Hesaplarının 2. Aşaması

**Tablo 3.2.** Basit bir uygulamanın güç düzeyi hesabı

<b>Kaynak parametreleri</b>	
Jeotermal akışkanın gidiş (besleme)	T <sub>gi</sub> = 60°C
Jeotermal akışkanın hacimsel debisi	F <sub>g</sub> = 180 m <sup>3</sup> /h
Jeotermal akışkanın yoğunluğu	$\rho_g = 1050 \text{ kg/m}^3$
Jeotermal akışkanın özgül ısı	$\gamma_g = 3900 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
Jeotermal akışkanın ısı kapasitesi	M <sub>g</sub> = 0.205 MW/°C
<b>Isı değiştiricisi</b>	
Kapasite oranı	M <sub>g</sub> / M <sub>n</sub> = 0.41
Transfer ünitelerinin sayısı	N = 5
Etkinlik	E = 0.97

Jeotermal güç düzeyleri aşağıdaki gibi bulunur.  
Jeotermal ısı beslemesi, Eşitlik (69)' dan;

$$P_g = 7.95 - 0.24 \Delta T \text{ MW}$$

olarak hesaplanır.

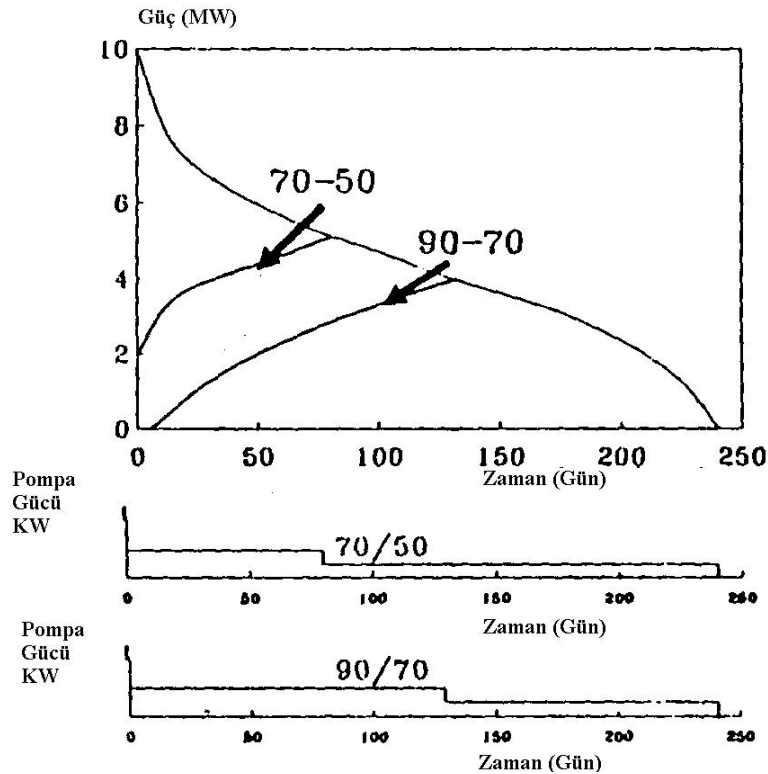
Zaman (Günler)	$\Delta T$ (°C)	$P_d$ (MW)	$P_g$ (MW)
0	25	10	1.95
10	19.4	7.76	3.3
20	17.7	7.1	3.7
40	15.6	6.24	4.2
60	14.1	5.64	4.6
80	12.7	5.1	4.9
100	11.6	4.64	5.2
120	10.5	4.2	
140	9.5	3.8	
160	8.6	3.44	
180	7.5	3	
200	6	2.4	
220	4	1.6	
230	2.4	0.96	
240	0	0	

*Eşitlik (71)*'de  $S_{no}$  değerinin değiştirilmesiyle, jeotermal güç düzeyi;

$$P_s = 7.95 - 0.4 \Delta T \text{ MW} \quad (81)$$

elde edilir.

Şekil 3.5 de, bu güç düzeyleri çizilir. Açıkça; daha yüksek sıcaklıktaki ısıtıcılar, performansı azaltır. Jeotermal ısının direkt olarak kullanıldığı durumlar, *Eşitlik (67)* ve (69) un yardımlarıyla, aynı yolla analiz edilebilir. Bu, *Eşitlik (67)* de,  $E_x$ 'in 1'e eşit olmasıyla yapılır.



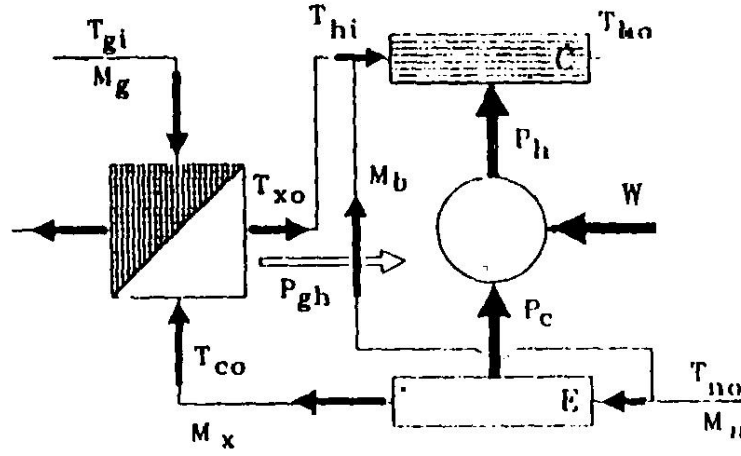
**Şekil 3.5.** Güç düzeylerinin ve enerji paylarının basit ısı-alışverişinin örnek hesabı (Enerji talebi,  $Q_d=24900$  MWh; jeotermal enerji (70/50 durumu),  $Q_g=19950$  MWh)

### 3.4.3. Isı Pompası Sistemleri İçin Enerji Hesaplamaları

İki temel ısı pompası yerleşimi örnek olarak alınacaktır. Bunlar; ısı pompalı destekli dolaylı buharlaştırıcı ve sadece ısı pompasıdır.

*Isı pompası destekli ısı alış-verişi olan basit bir örnek:*

Yukarıda düşünülen basit örnekteki ısıtma sistemi, kompresör gücü 0.6 MW olan ısı pompasının konmasıyla iyileştirilebilir. Isı pompasının performansı, bir buharlaştırıcı ısı değiştirici by-passın yapılmasıyla iyileştirilir. Ayrıca, farz edilen kaynak sıcaklığı 50°C ye düşürülür. Bu yerleşim, Şekil 3.6' da gösterilmektedir. Şebeke analizi ayındır ve detayları Tablo 3.1 de verilmiştir. Bununla beraber, 2. Aşama güç düzey hesaplamaları daha karmaşıktır. Soğutma etki katsayısının, sadece sıcaklık değişimine bağlı olduğu düşünülür (kondenser çıkışı ile buharlaştırıcı çıkışı arasındaki sıcaklık farkı gibi).



Şekil 3.6. Isı Pompası destekli ısı alışverişinin yapıldığı basit bir örnek

Tüm güç hesapları Tablo 3.3 de verilmektedir. Şebeke dönüş sıcaklığı ve talep yoğunluğu değerlerinin her seti için, benzer bağıntılar kullanılmalıdır. Etki katsayısı ile sıcaklık değişimi arasındaki lineer olmayan ilişki, bağıntının analitik olarak çözülmesini zorlaştırır. En basit yaklaşım, deneme-yanılma yönteminin uygulanmasıdır. Prosedürü şöyledir:

- Etki katsayısının başlangıç değerini seçin.
- Bağıntıları kullanarak,  $C_c$ ' yi tekrar hesaplayın.
- İterasyonla yeni değerleri bulmak için,  $C_c$  nin yeni değerini kullanın.
- % 5 içinde tutarlı olana kadar,  $C_c$  değerlerini hesaplamaya ve denemeye devam edin.

İterasyonlar yorucu olmasına rağmen, iyi deneme sonuçları deneyimler ile bulunabilir ve işlem kısaltılabilir. Bu işlem, sadece iki iterasyonun gerekli olduğu Tablo 3.3 de yapılmıştır.

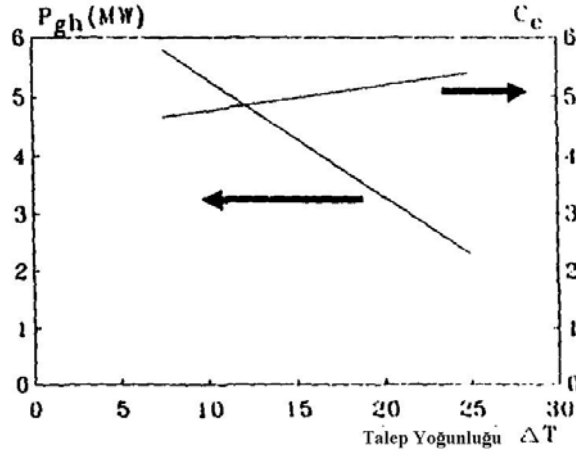
Veri

Jeotermal akışkan gidiş (besleme) sıcaklığı	$T_{gi} = 50^{\circ}\text{C}$
Jeotermal akışkan ısı kapasitesi	$M_g = 0.2 \text{ MW}/^{\circ}\text{C}$
Şebeke akışkanı ısı kapasitesi	$M_n = 0.5 \text{ MW}/^{\circ}\text{C}$
Isı değiştiricisi akışkanı ısı kapasitesi	$M_x = 0.25 \text{ MW}/^{\circ}\text{C}$
By-pass akışkanı ısı kapasitesi	$M_b = 0.25 \text{ MW}/^{\circ}\text{C}$
Isı değiştiricisi kapasite oranı	$R = M_g / M_x = 0.8$
Isı değiştiricisi etkinliği	$E = 0.9$
Kompresör gücü	$w = 0.6 \text{ MW}$
Şebeke dönüş sıcaklığı	$T_{no} = 1.2 \Delta T + 20$

**Tablo 3.3.** Isı pompası destekli güç hesapları

$\Delta T$	$T_{no}$	25		7.5	
		50	29	5	4.7
$C_c$		5	5.4	5	4.7
İterasyonlar		1	2	1	2
Evaporatör					
$P_c = C_c w$ MW		3	3.24	3	2.87
$T_{co} = T_{no} - P_c / M_x$ °C		38	37	17	17.7
Eşanjör					
$P_{gh} = M_g E (T_{gi} - T_{co})$ MW		2.16	2.3	5.94	5.8
$T_{xo} = T_{co} + P_{gh} / M_x$ °C		46.64	46.37	40.74	41
Karışım					
$T_{hi} = (M_x T_{xo} + M_h T_{no}) / M_n$ °C		48.32	48.1	34.87	35
Kondenser					
$P_h = P_c + w$ MW		3.6	3.84	3.6	3.42
$T_{ho} = T_{hi} + P_h / M_n$ °C		55.5	55.78	42.07	41.8
$\theta = T_{ho} - T_{co}$ °C		17.5	18.78	25.07	24.14
$C_c$		5.7	5.4	4.5	4.65

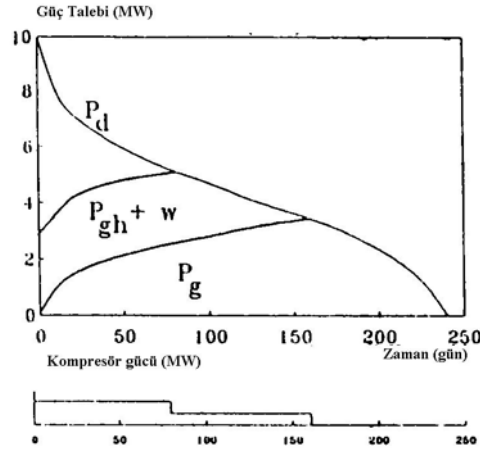
Şekil 3.7 de, talep yoğunluğuna ( $\Delta T$ ) karşı, ısı pompasının etki katsayısı ( $C_c$ ) ve sağlanan jeotermal ısının ( $P_{gh}$ ) değişimi gösterilmiştir. Çalışmalar, sıcaklık değişiminin  $\theta > 18^\circ\text{C}$  kadar ve etki katsayısının maksimum değerden daha düşük olacağını göstermektedir. Etki katsayısı, talep yoğunluğu ile lineer olarak değişmektedir. Bundan ötürü, sadece bu iki talep yoğunluğundaki bağıntıları çözmek ve diğer düzeylerdeki  $C_c$  ve  $P_{gh}$  değerleri Şekil 3.7 deki lineer grafikten elde etmek mümkündür.

**Şekil 3.7.** Basit bir ısı pompası destekli sistemde  $C_c$  ve  $P_{gh}$  değerlerinin değişimi

Bu durumda, yüksek dönüş sıcaklıkları, düşük sıcaklık değişimleri verir. Eğer, hesaplamalar sıcaklık değişiminin  $18^\circ\text{C}$  nin altına düştüğünü gösterirse, buharlaştırıcı veya kondenser by passı,  $18^\circ\text{C}$  de sağlayacak şekilde işletilir. Güç düzeyleri Tablo 3.4 de özetlenmektedir. Kısmi yükteki güç hesapları, ısı pompasının, ortalama olarak, azaltılan güç modunda yarı kapasitede işletildiği kabulüyle yapılır. Bu hesaplamaların sonuçları, Şekil 3.8 de gösterilmiştir.

Sadece ısı pompalı basit örnek:

Yukarıda göz önüne alınan örnekteki ısıtma sistemi, kompresör gücü 0.6 MW olan ısı pompasının ilavesi ile iyileştirilebilir. Ayrıca; kaynak sıcaklığın 50°C'ye düşürüldüğü farz edilir. Bu yerleşim, Şekil 3.9 da görülür. Şebeke analizinde, daha önce olduğu gibi, detayları ile birlikte Tablo 3.1 de verilmiştir. Güç düzey hesaplamaları, benzer bağıntılara kullanılarak, deneme-yanılma yöntemiyle belirlenir. Çözülmesi gereken benzer denklemlerin listesi Tablo 3.5 de verilmiştir. Bu hesaplamalarda, şebeke debisinin hepsi, talep yoğunluğu 19.4 °C ye düşünceye kadar, kondenserden geçirilir. Bu noktada,  $\theta$  sıcaklığı minimum değer olan 18°C ye ulaşır.  $\Delta T = 19.4^\circ\text{C}$ 'nin altında olduğu zaman, dönüş akışkanının bir kısmı  $\theta = 18^\circ\text{C}$ 'de tutulacak şekilde, kondensere by-pass edilir. Böylece, bu bölgedeki etki katsayısı maksimumum değeri alır ve jeotermal ısı beslemesi maksimum olur.

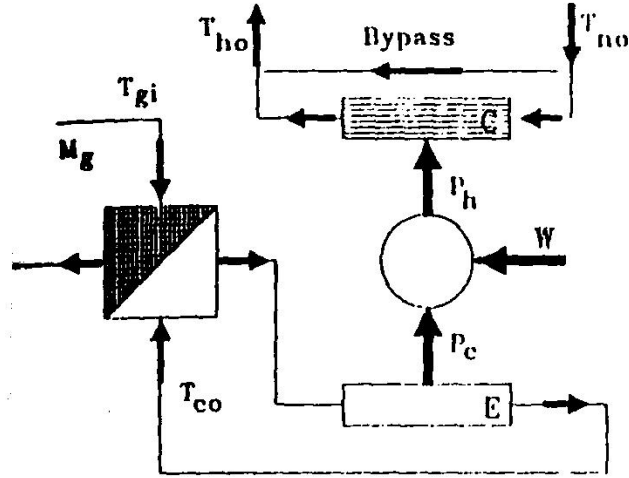


**Şekil 3.8.** Basit ısı pompası uygulamasında güç düzeylerinin ve enerji paylarının örnek hesaplamaları (Enerji Talebi,  $Q_d = 24900$  MWh; jeotermal ısı beslemesi,  $Q_{gh} = 21000$  MWh; kompresör işi,  $Q_w = 1570$  MWh)

**Tablo 3.4.** Isı pompası destekli güç düzeyleri

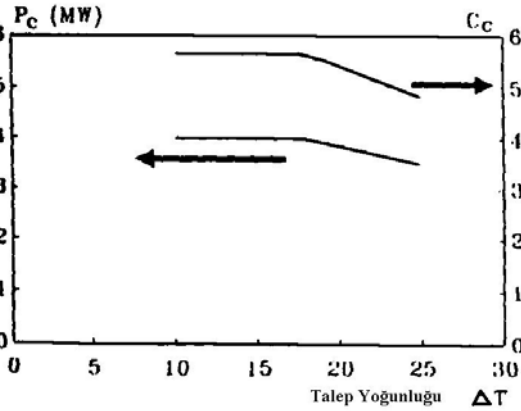
Süre (Günler)	$\Delta T$ (°C)	$P_d$ (MW)	$P_{gh}$ (MW)	$w$ (MW)	$P_{gh} + w$ (MW)
0	25	10	2.3	0.6	2.9
10	19.5	7.76	3.4	0.6	4.0
20	17.7	7.1	3.8	0.6	4.4
40	15.6	6.25	4.2	0.6	4.8
60	14.1	5.64	4.6	0.6	5.2
80	12.7	5.1	4.75	0.6	5.35
100	11.6	4.64	4.95	0.6	5.55
120	10.5	4.2	5.15	0.6	5.75
140	9.5	3.8	5.35	0.6	5.95
160	8.6	3.44	5.55	0.6	6.15
180	7.5	3			
200	6	2.4			
220	4	1.6			
230	2.4	0.96			
240	0	0			





Şekil 3.9 Basit bir ısı pompası örneği (sadece ısı pompası durumu)

Kısmi güç hesaplamalarında, daha önceki gibi, kısmi güç modunda ısı pompa kompresörünün yarı yükte çalıştığı farz edilir. Hesaplamanın sonuçları Şekil 3.10 da ve enerji hesaplamaları ise, Şekil 3.11 de verilmiştir.



Şekil 3.10. Sadece ısı pompası durumunda, etki katsayısı ( $C_c$ ) ve jeotermal ısı beslemesinin ( $P_c$ ) hesaplama sonuçları

Isı makinaları ve reküperatörleri olan ısı pompaları:

Bu hesaplamada, yukarıda analiz edilen ısı pompası destekli ısı alış-verişi; yakıtlı motorla tahrik edilen kompresörün ilavesiyle iyileştirilebilir. Burada, reküperatörler motorun ekzostuna bağlanır.

Veri

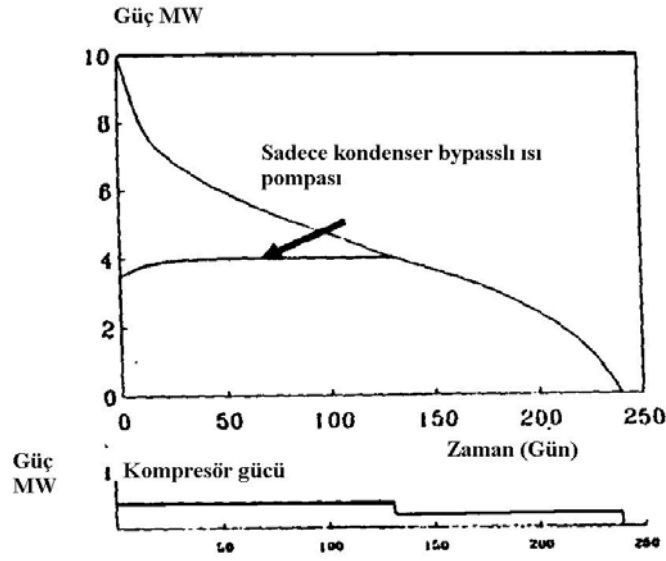
Jeotermal akışkan besleme (gidiş) sıcaklığı	$T_{gi} = 50^\circ\text{C}$
Jeotermal akışkanın ısı kapasitesi	$M_g = 0.2 \text{ MW}/^\circ\text{C}$
Isı değiştiricisi akışkanının ısı kapasitesi	$M_x = 0.25 \text{ MW}/^\circ\text{C}$
Şebeke akışkanının ısı kapasitesi	$M_n = 0.5 \text{ MW}/^\circ\text{C}$
Isı değiştiricisinin etkinliği	$E = 0.9$
Kompresörün gücü	$w = 0.6 \text{ MW}$
Şebeke akışkanının dönüş sıcaklığı	$T_{no} = 1.2\Delta T + 20^\circ\text{C}$

**Tablo 3.5.** Sadece ısı pompası durumunda güç hesapları

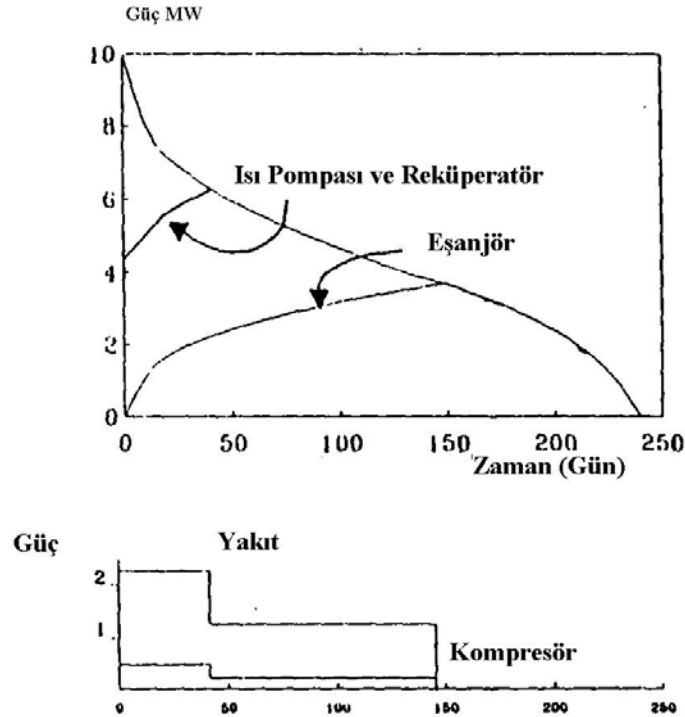
		$\Delta T$	$T_{no}$	25	50	19.5	43
$C_c$				5	4.8	5.5	
İterasyon				1	2	1	
Eşanjör	$P_g = P_c = C_c w$	MW		3	2.88	3.3	
Evaporatör	$T_{\infty} = T_{gi} - P_g / M_g E$	°C		33.3	34	31.6	
Kondenser	$P_h = C_c + w$	MW		3.6	3.48	3.9	
	$T_{ho} = T_{no} + P_h / M_n$	°C		57.2	56.96	50.8	
	$\theta = T_{ho} - T_{\infty}$	°C		23.9	22.96	19.2	
	$C_c$			4.7	4.8	5.5	

**Tablo 3.6.** Sadece ısı pompası durumunda güç düzeyleri

Süre (Günler)	$\Delta T$ (°C)	$P_d$ (MW)	$P_{gh}$ (MW)	$w$ (MW)	$P_{gh} + w$ (MW)
0	25	10	2.88	0.6	3.48
10	19.5	7.76	3.3	0.6	3.9
20	17.7	7.1	3.4	0.6	4
40	15.6	6.25	3.4	0.6	4
60	14.1	5.64	3.4	0.6	4
80	12.7	5.1	3.4	0.6	4
100	11.6	4.64	3.4	0.6	4
120	10.5	4.2	3.4	0.6	4
140	9.5	3.8	3.4	0.6	4
160	8.6	3.44	3.4	0.6	4
180	7.5	3			
200	6	2.4			
220	4	1.6			
230	2.4	0.96			
240	0	0			



**Şekil 3.11.** Sadece ısı pompası durumunda güç düzeylerinin ve enerji beslemesinin örnek hesaplaması  
(Enerji talebi,  $Q_d = 24900$  MWh; jeotermal ısı beslemesi,  $Q_{gh} = 19180$  MWh; kompresör işi,  $Q_w = 2660$  MWh)



**Şekil 3.12.** Gaz motoru ve reküperatörü olan ısı pompalı destekli durumda güç düzeylerinin ve enerji beslemesinin örnek hesaplaması  
(Enerji talebi,  $Q_d = 24900$  MWh; jeotermal ısı beslemesi ve reküperatör ısı,  $Q_{gh} + Q_r = 23090$  MWh; kompresör işi,  $Q_w = 5760$  MWh)

Motor veriminin,  $E_n = 0.25$  ve reküperatör veriminin,  $E_r = 0.8$  olduğu farz edilir. Daha sonra geri kazanılan atık ısı miktarı, aşağıdaki şekilde verilir.

$$P_r = E_r (1 - E_n) w / E_n$$

Bu durumda,  $P_r = 2.4w$  olmaktadır.

Güç talebi ve ısı pompası ısı beslemesi hesapları, *Tablo 3.3* deki rakamlar ile eş değerdedir. Sadece farklılık, reküperatörün bulunmasıdır. Isı pompasının kompresörü tam yükte çalışırken, reküperatör ısı sabit bir düzeydedir. Bundan ötürü,  $P_r$ 'nin hesaplaması bu koşullar altında kolaydır. Kısmi güç rejiminde, kompresör ve yakıtla çalışan makinenin yarı güçte çalıştığı düşünülür. Hesaplamaların sonuçları, *Şekil 3.12* de gösterilmiştir. Bu durumda gösterilen koşulların, ekonomik olarak geçerli olduğu kabul edilmemelidir. Aslında, reküperatörün çalıştırıldığı ısı pompası, bu durumda tam yükte sadece 960 h ve kısmi yükte ise, 2880 h devrede olacaktır. Ekonomik olarak geçerli olması için, tam zaman çalışma periyodu çok kısadır.

### 3.5. Sıcaklık Etkin Modelin Kritiği

Bu bölümde kullanılan modelin temel kabullerini değerlendirmek kritik derece önemlidir. Bunları analiz etmek zor konulardır. Ayrıca, kullanılabilen bağımsız deneysel kaynak sağlayan, elverişli iyi bir çalışma veri koleksiyonu olmayışı, çeşitli zorluklara yol açabilir. Bu bağlamda, sıcaklık verisinin karakteristikleri ve kullanıcı sınırlamalarının hafifletilmesi (oda sıcaklıklarının değişmesi, kullanıcı sayılarının değişimi ve gelişigüzel olarak sistemi kısma ve kapatma) tartışmağa değerlidir. Ancak, burada sadece birincisi ele alınacaktır.

#### Sıcaklık Verisinin Karakteristikleri

*Talep yoğunluğu ve  $\Delta T$* : Modelde,  $\Delta T$  değerleri aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$\Delta T(t) = T_d(t) - T(t) \quad (82)$$

Burada;

$T_d(t)$  =  $t$  zamandaki güneş enerjisi ve iç kazançlar için düzeltilmiş gerekli iç sıcaklık (°C)

$T(t)$  =  $t$  zamanda dış hava sıcaklığı (°C)

Sıcaklığın her ikisi, bazı karakteristik zaman aralıklarında,  $\delta t$ , zaman aralığında eş zamanlı olarak ölçülür. Kullanılan zaman aralıkları, sıcaklık verisinin yapısından belirlenir. Saatlik periyotlar genellikle kullanılır. Talep yoğunluğunun bu şekli, bina ısı kaybının transmisyon ve hava değişimiyle olduğu yerlerdeki uygulamalarda esasen düzeltilmelidir. Böylece, sıcaklıklar, uzun periyotlar boyunca sabit kaldığı zaman, *Eşitlik (82)* geçerli olabilir. Bununla birlikte; sıcaklıklar, bina kabuğunun ısı kütlesine olan etkiyi değiştirdiği zaman, karmaşıklıklar söz konusu olur.

Bu bağlamda, talep yoğunluğunu aşağıdaki bağıntıdan hesaplamakla, daha hassas sonuçlar edilebilir.

$$\Delta T^*(t) = T_d(t) - T(t - \phi) \quad (83)$$

Burada;  $T(t - \phi)$  :  $\delta t_f$  periyodu boyunca ortalama olan,  $(t - \theta)$  daha önceki bir zamandaki dış hava sıcaklığıdır.

Eğer karakteristik zaman periyotları,  $\delta t_f$  ve  $\delta t_r$ , yaklaşık olarak eşitse;  $\delta t_f$  boyunca ortalama sıcaklık değerlerinin toplanması,  $\delta t_r$  boyunca ortalama sıcaklıklarının toplanmasıyla hemen hemen aynı olacaktır. Buna ilaveten, eğer oda sıcaklığındaki değişimler sınırlandırılmışsa,

$$T_d(t) = \text{sabittir.} \quad (84)$$

olur.

*Güç beslemesi ve  $\Delta t$ :*

Isıtma sisteminin talep yoğunluğundaki,  $\Delta T$ , dalgalanmaları izleyebilme özelliği, şebekenin  $\delta t_f$ , hissetme ve tepki zamanının özeliğine bağlı olacaktır. Bir saatlik zaman dilimleri benzer olarak kullanılacaktır. Böylece,  $t$  zamanda ısıtma sistemini kontrol eden talep yoğunluğu şöyle verilir:

$$\Delta T(t) = T_d(t) - T'(t) \quad (85)$$

Burada;  $T'(t)$ :  $\delta t_f$  tepki zamanı boyunca ortalama dış hava sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )'dir.

Böylece; bu karakteristik tepki zamanı, bina kabuğunun karakteristik zamanı,  $\delta t_f$ , ve ölçümlerin karakteristik zaman periyodu,  $\delta t_t$  ile kıyaslanabilir. O halde talep yoğunluğu istatistiksel değerleri her durumda aynı olacaktır. Bundan ötürü, sıcaklık etkin modelde kullanılan talep-süre eğrisi, gerçek talep-süre eğrisine ve bu da güç besleme-süre eğrisine daha yakın olacaktır. Bina kabuğuyla ortaya çıkan faz gecikmesi, ısı güç talebi ile ısı besleme arasındaki bir fazı oluşturacaktır. Bu da, gerçek durumda kullanıcılarda konforsuzluğa yol açacaktır. Buradan şu sonuca varılabilir: Sıcaklık etkin model ile  $P_g$  ve  $P_{gh}$  düzeyleri hassas olarak hesaplanmalı ve bunların her birinin enerji payları da hassas olarak belirlenmelidir.

#### 4. BALÇOVA JEOTERMAL ENERJİLİ MERKEZİ ISITMA SİSTEMİ (BJEMIS) YÜK ANALİZİ

Balçova ilçesi, Ege bölgesinin batı ucunda yer alan İzmir ili merkezine bağlı, jeotermal kaynaklar bakımından zengin bir bölgedir. İlman bir iklim yapısına sahip olan Balçova'da, günümüzde yaklaşık olarak 5500 konut jeotermal merkezi ısıtma sistemi ile ısıtılmaktadır.

Balçova bölgesel ısıtma sistemine dahil olan binaların hacimsel ısı kaybı değeri  $0.967 \text{ W/}^{\circ}\text{Cm}^3$  olarak hesaplanmıştır. İzmir ili derece saat değerleri,  $18.3^{\circ}\text{C}$  için  $31\ 675^{\circ}\text{C}$  saat olarak öngörülmüştür [6].

**Tablo 4.1.** Balçova/İzmir jeotermal enerjili merkezi ısıtma sistemi verisi

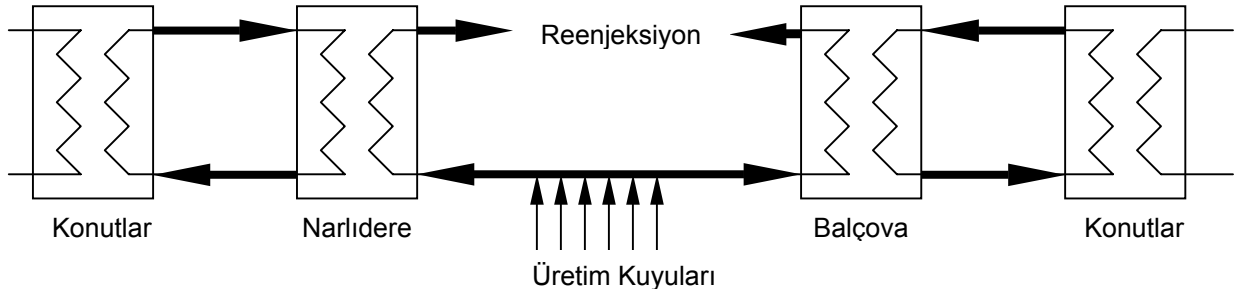
Isı talebi	
Konutların sayısı	= 5074
Her konut için özgül ısı kaybı	= $294 \times 10^{-6} \text{ MW/}^{\circ}\text{C}$
Isı talep katsayısı (NVG)	= $1.471 \text{ MW/}^{\circ}\text{C}$
Derece saatleri ( $\theta \times 24$ )	= $31\ 675^{\circ}\text{C}$ saat
Toplam enerji talebi	= 46593 MWh
Güç talebi (Eşitlik 48)	= $1.471 \Delta T \text{ MW}$

**Tablo 4.2.** Narlıdere/İzmir jeotermal enerjili merkezi ısıtma sistemi verisi

Isı talebi	
Konutların sayısı	= 635
Her konut için özgül ısı kaybı	= $294 \times 10^{-6} \text{ MW/}^{\circ}\text{C}$
Isı talep katsayısı (NVG)	= $0.186 \text{ MW/}^{\circ}\text{C}$
Derece saatleri ( $\theta \times 24$ )	= $31\ 675^{\circ}\text{C}$ saat
Toplam enerji talebi	= 5891 MWh
Güç talebi (Eşitlik 48)	= $1.471 \Delta T \text{ MW}$

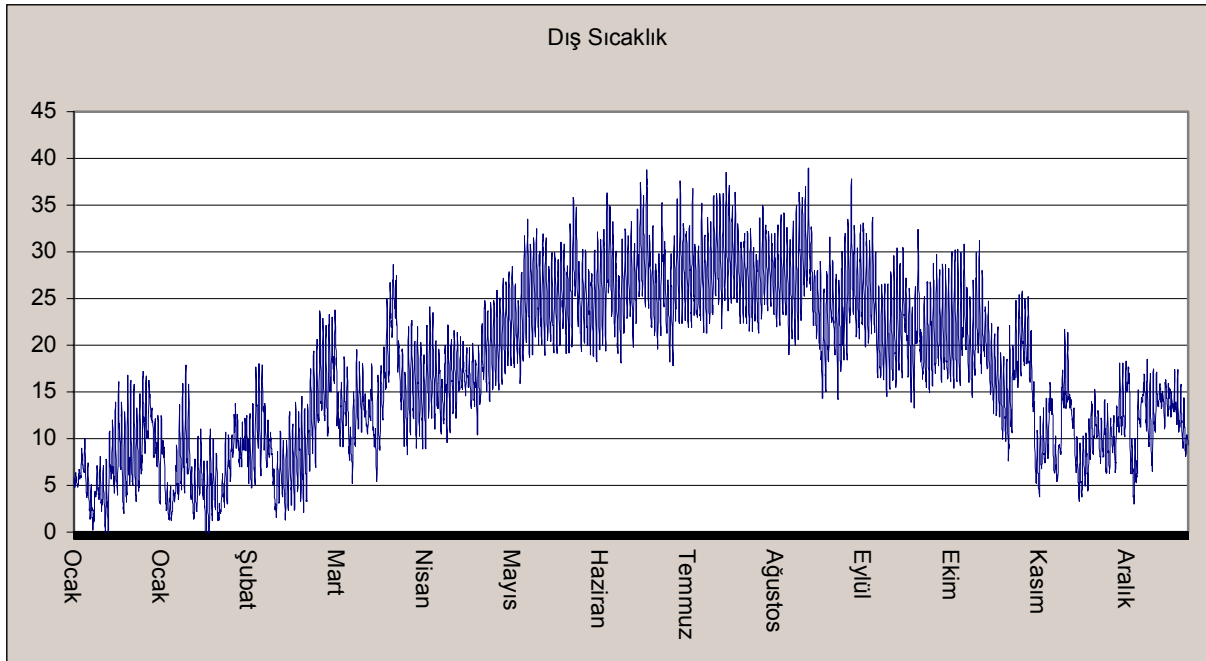
Bu bağlamda, toplam yük = 52 484 MWh olmaktadır.

Balçova Jeotermal Enerji Merkezi Isıtma Sistemi (BJEMIS)'nde 3 adet devre mevcuttur. Isıtıcı karakteristikleri ve jeotermal güç düzeyi çeşitli sayı, sıcaklık ve özellikte olan kuyular için farklı olduğundan, daha geniş incelemesi gerekmektedir. Sistemin daha karmaşık olmasından dolayı, bu çalışmada incelenmemiştir.

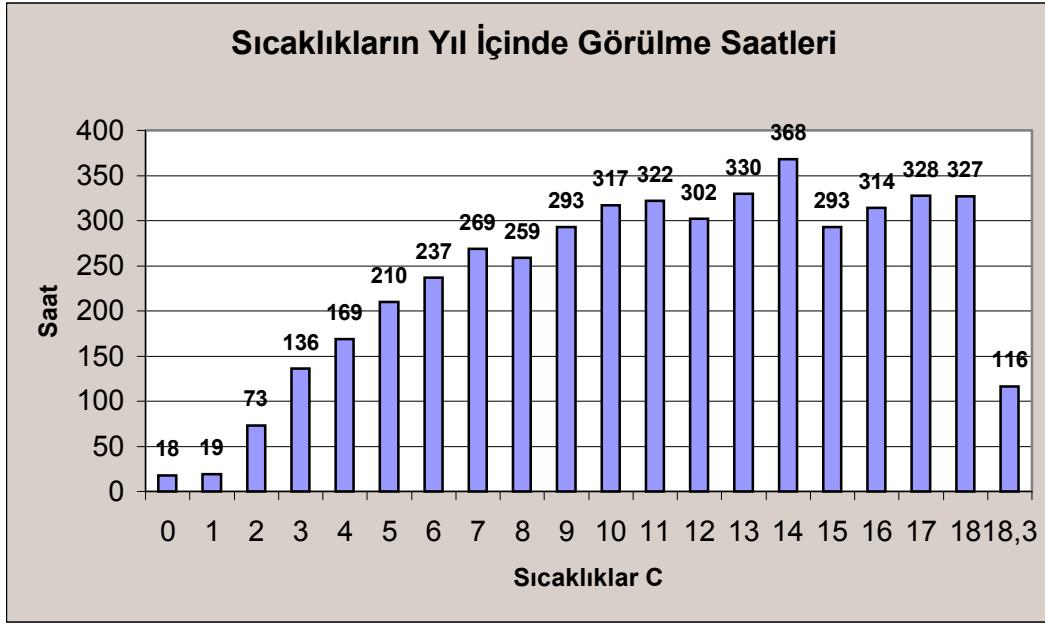


**Şekil 4.1.** Balçova-Narlıdere/İzmir jeotermal enerjili merkezi ısıtma sistemi (BJEMIS)

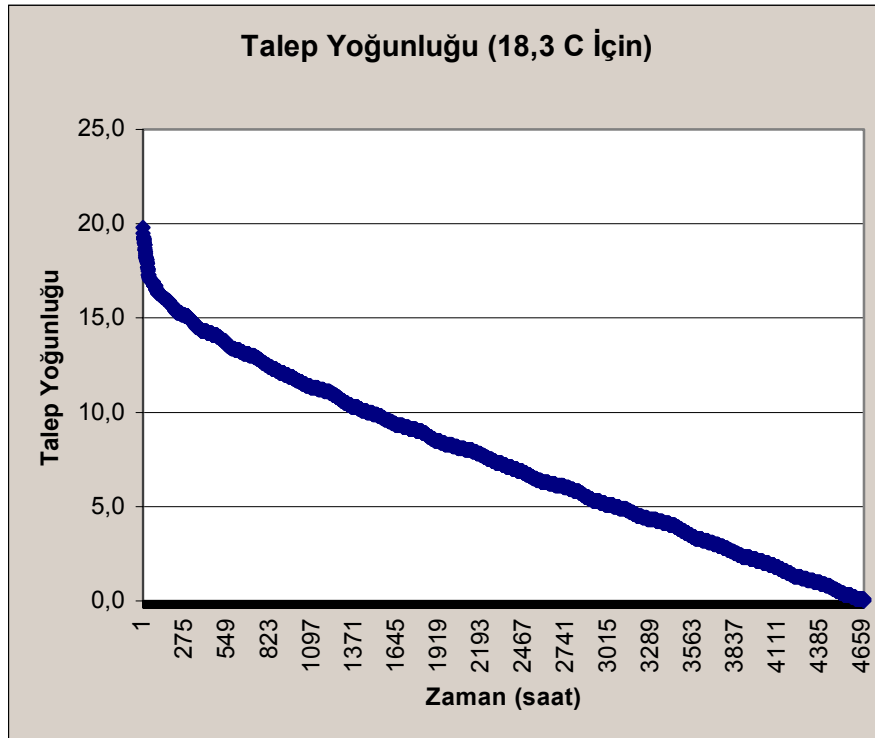
Dış hava sıcaklığı bölgesel ısıtma sisteminin ısı taleplerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Bu nedenden ötürü, bu değişimin karakteristiğinin incelenmesi faydalı olacaktır. Şekil 4.3'de, 1993 yılında sıcaklıkların görülme saatlerinin grafiği verilmiştir [7].



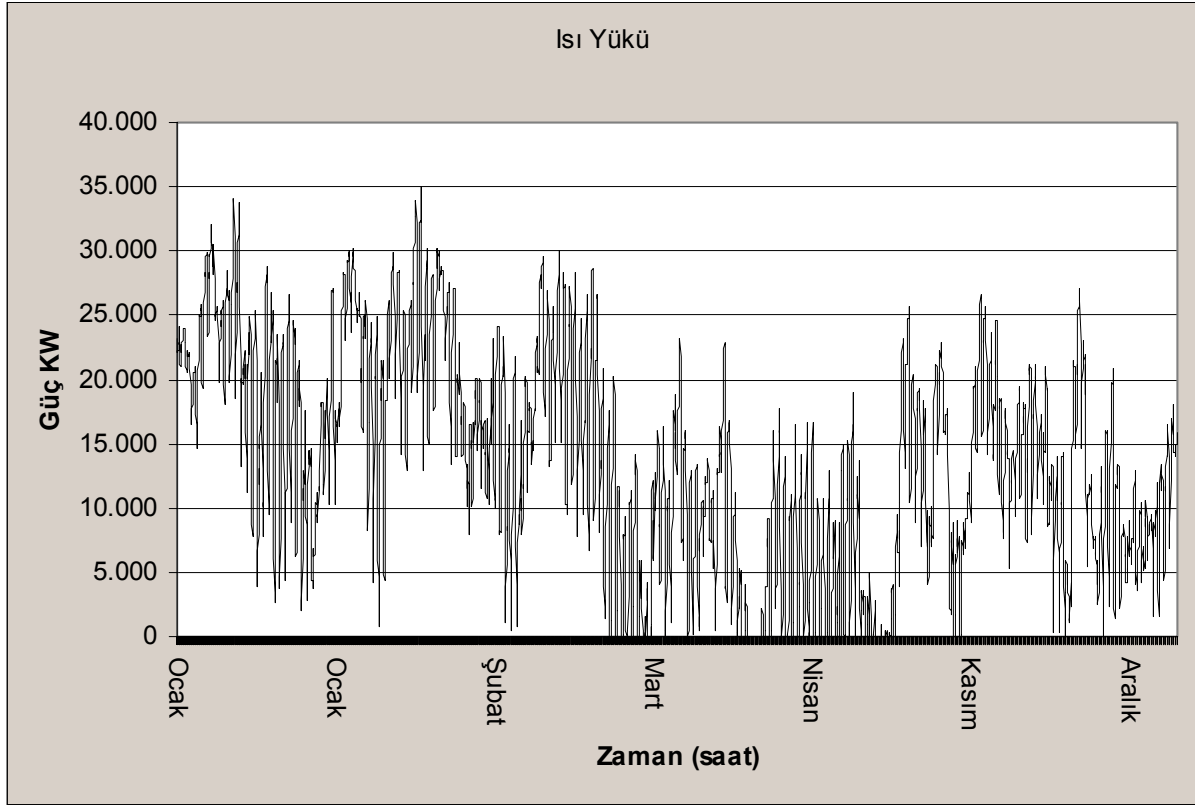
**Şekil 4.2.** İzmir ili 1993 dış sıcaklık verisi



Şekil 4.3. Dış sıcaklıkların yıl içinde görülme saatleri



Şekil 4.4. İzmir ili için talep yoğunluğu ( $T_d=18,3$  °C)



Şekil 4.5. İzmir ili güç eğrisi ( $T_d=18.3$  °C)

## 5. SONUÇ

Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin performansları, dış hava sıcaklığına bağlıdır. Bu sistemlerinin tasarımında, gelişigüzel belirlenen bir maksimum ya da minimum dış hava sıcaklığı, bir ısıtma veya soğutma sezonu göz önüne alındığında sistemin gerekenden büyük seçilmesine yol açabilir. Yılda sadece birkaç saat rastlanan bu pik durumlar için kapasiteyi büyük seçmenin hem yatırım hem de işletme maliyetlerini arttıracığı şüphesizdir.

Jeotermal bölgesel ısıtma ağları gerek büyük kapasitelerinden gerekse sistemin karmaşıklığından dolayı hesaplaması zor olan sistemlerdir. Fakat, böylesine büyük sistemlerde yapılacak olan bazı ufak hesaplamalar bile, büyük ekonomik yararlar sağlayacaktır. Bu tür karmaşık sistemlerinin ısı taleplerinin, iklim verileri ile beraber analizinin yapılması ve ısı enerjisinin kullanıldığı noktaların zaman içindeki ısı davranışlarının belirlenmesi, sistemlerin daha ucuz işletilmesine olanak sağlayacaktır. Bu da, zaten ekonomik ve çevre dostu olan bu enerji kaynağının vazgeçilmez olmasını sağlayacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] Harrison, R., Mortimer N.D., Smarason O.B., "Geothermal Heatig", Pergamon Press, 1990.
- [2] Lund J.W., Lienau P.J., Lunis B.C., "Geothermal Direct Use Engineering and Design Guidebook ", Geo-heat Center, 1998.
- [3] Serpen Ü., Toksoy M., "Jeotermal Enerji Isıtma Sistemlerinin GenelTasarım Esasları",Termodinamik, Vol Ocak 2001.
- [4] Chuansh D., "Thermal Analysis of İndirect Geothermal District Heating Systems",Geo-Heat Center, Vol 26 No:3 1997
- [5] Çanakçı C. "Balçova Jeotermal Enerjili Merkezi Isıtma Sistemi" Ege Üniversitesi Makine Müh Bölümü, Master Seminer Notları, 2001.
- [6] Satman A., Yalçınaya N., " Heating and cooling degree hour of Turkey", Energy 24 833-840, 1999
- [7] Arısoy A., "İzmir İli 1993 Sıcaklık Verileri" TTMD

## ÖZGEÇMİŞLER

### Arif HEPBAŞLI

1958 yılında İzmir'de doğan Hepbaşlı'nın yaşam felsefesi; üniversite, sanayi ve meslek kuruluşları (MMO, TTMD, ESSİAD gibi) na yönelik işlerin birlikte, dengeli olarak yürütülmesinden oluşmaktadır. İzmir Motor Teknik Lisesi'ni birincilikle bitirdikten sonra (1976), yüksek öğrenimini sırasıyla; Lisans: Selçuk Üniversitesi'nde (bölüm birincisi ve Fakülte ikincisi olarak,1980), Y.Lisans (ve Y.Dil Hazırlık Sınıfı): İTÜ (1985) ve Doktora (aynı zamanda DESA A.Ş.'de çalışarak): S.Ü (1990)'nde tamamladı. İş hayatında ise; S.Ü.'nde Araş. Gör.(1982-1996), DESA A.Ş.'de (Demir Kazan ve Makina Sanayii) Proje Başmühendisliği ile Planlama ve Kalite Sağlama Md.Yard.(1986-1992) ve AKZO-KEMİPOL A.Ş.'de (Boya Sanayii) Mühendislik ve Yatırımlar Md.Yard. (1992-1993) ve SİMPLOT ve BEŞİKÇİOĞLU A.Ş.'de (Dondurulmuş Parmak Patates Fabrikası) Bakım-Onarım Müdürü (1993-1995) görevlerinde bulundu. Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin Makine ve Gıda Mühendisliği Bölümlerinde dersler verdi (1995-1996). 1996-1999 yılları arasında, Ege Üniversitesi (E.Ü.) Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde öğretim üyesi (belirli bir süre Enstitü Md.Yard. olarak) çalıştı ve bu arada E.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü (MFMMB)'nde ısı tekniği konularında dersler verdi. 1999 yılında, Termodinamik Anabilim Dalı'nda Doçent oldu ve aynı yıldan beri, E.Ü.-MFMMB'ünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Ayrıca, 2001 yılından beri de, E.Ü.'nin sanayiye açılan kapısı olan ve bu modelde ülkemizdeki ilk uygulamalardan bir olan, EBİLTEM (Ege Üniversitesi Bilim Teknoloji-Uygulama, Araştırma Merkezi)'de Md. Yardımcılığı görevini yürütmeye çalışmaktadır. Aynı merkez bünyesindeki birimlerden biri olan EVYAB (Enerji Verimliliği ve Yönetimi Ar-Ge Birimi)'in sorumlusudur. "Sertifikalı Enerji Yöneticisi" olan Dr. Hepbaşlı'nın ilgi alanları; enerji verimliliği ve yönetimi, alternatif enerji kaynaklarının potansiyeli ve istatistiksel değerlendirilmesi, jeotermal enerji (özellikle jeotermal ısı pompaları)nin kullanımı, boru mühendisliği, makina mühendisliği eğitimi, enerji ve ekserji analizleri ile HVAC uygulamalarıdır. Evli ve bir kız babası olup, Almanca, İngilizce ve Japonca (Basic II düzeyinde) bilmektedir.

### Cihan ÇANAKÇI

29/01/1977 tarihinde Bursa'da doğdu. Ortaokul ve Lise öğrenimini 1995 yılında Bursa Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesinde tamamladı. 2000 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Halen Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Enerji Bölümünde Yüksek Lisans yapmaktadır. Kasım 2000 tarihinden bu yana MMO tarafından Balçova Jeotermal Enerji San. Ve Tic Ltd. Şti'nde kurulan çeşitli komisyonlarda görevlendirilmiştir.