

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNİN EKONOMİKLİK
ALANININ BELİRLENMESİ**

Makine Müh. Burak ÇOKOKSEN

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	12
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	14
3. BÖLGE ISITMA	17
3.1 ÜRETİM	18
3.1.1 Çevresel Faktörler	19
3.1.2 Yakıt	20
3.1.3 Egzoz Emisyon Kontrolü	21
3.1.4 Su Kalitesi	22
3.1.5 Gidiş ve Dönüş Sıcaklıkları	23
3.1.6 Genleşme Sistemleri	24
3.2 İLETİM ve DAĞITIM	24
3.2.1 Ön Yalıtımlı Borular	24
3.2.1.1 Konstrüksiyon, Materyel	24
3.2.1.2 Isı Kayıpları	25
3.2.1.3 Sıcaklık Değişimlerinden Kaynaklanan Lineer Genleşmeler	25
3.2.1.4 Tasarım	26
3.2.1.5 Debi	26
3.2.1.6 Pompalar	26
3.2.1.7 Basınç Kontrolü	26
3.2.1.8 Basınç Testi	28
3.3 TÜKETİM	28
3.3.1 Isı Değiştiriciler (Eşanjör)	28
3.3.2 Tüketim Noktasının Bölge Isıtma Sistemine Bağlantı Şekilleri	29
3.3.3 Elektronik Sıcaklık Kontrolü	31
3.3.4 Termostatik Sıcaklık Kontrolü	31
3.3.5 Kontrol Vanaları	32
3.3.6 Fark Basınç Kontrolü	32

3.3.7	Debi Sınırlama	33
3.3.8	Enerji Tüketiminin Ölçülmesi	33
4.	BÖLGE ISITMA SİSTEMİNİN EKONOMİK ALANININ BELİRLENMESİ ..	34
4.1	Masrafların Tanımlanması.....	34
4.1.1	İlk Yatırım Masrafları.....	37
4.1.1.1	Temel Şebeke Masrafları.....	37
4.1.1.2	Temel Pompa Masrafları	40
4.1.2	İşletme Masrafları.....	40
4.1.2.1	Isı Kaybı Masrafları.....	41
4.1.2.2	Pompa İşletme Masrafları.....	42
4.1.2.3	Bakım Masrafları	43
4.1.2.4	Üretim Masrafları	43
4.2	Örnek Sistem Hesaplaması ve Karşılaştırmalar ile Genel Değerlendirme.....	44
4.2.1	İletim Hattı İncelemesi	45
4.2.1.1	Sabit Çapta Santral Uzaklığının Değişiminin İletim Hattı Yatırımına Etkisi.....	45
4.2.1.2	Sabit Mesafede Boru Çapı Değişiminin İletim Hattı Yatırımına Etkisi.....	46
4.2.2	Tüketici Isı Satış Maliyetinin İncelenmesi	47
4.2.2.1	Akkoza Isı Yükünde Konut Yoğunluğu ve İletim Hattı Değişiminin Isı Satış Maliyetine Etkisi.....	53
4.2.2.2	Isı Yükü İki Kat Olduğunda Konut Yoğunluğu ve İletim Hattı Değişiminin Isı Satış Maliyetine Etkisi.....	54
4.2.2.3	İletim Hattı Uzunluğu Sabit Olduğu Halde Boru Çapının Değişiminin Isı Satış Maliyetine Etkisi.....	55
5.	SONUÇLAR.....	60
	KAYNAKLAR.....	62
	ÖZGEÇMİŞ.....	64

SİMGE LİSTESİ

V	Debi
Sn	Bir maliyetin n yıl sonraki gelecek değeri
C	Bir maliyetin bu günkü değeri
e	Enflasyon yada fiyat eskalasyon oranı
n	Yıl
i	İskonto oranı
a	Amortisman faktörü
aI	Geometrik seri şimdiki değer faktörü
D	Boru çapı
f	Sürtünme katsayısı
L	Boru uzunluğu
ΔP	Basınç kaybı
g	Yer çekimi ivmesi
Q	Isı yükü
ΔT	Sıcaklık farkı
ρ	Yoğunluk
Cp	Özgül ısı
v	Suyun hızı
A	Boru kesit alanı
π	Sabit sayı
$Pi\text{şl}$	İşletme basıncı
$Psta$	Statik basınç
$Pkyp$	Boruda sürtünmeden meydana gelen basınç kaybı
$Pdoy$	Suyun doyma basıncı
t	Boru et kalınlığı
S	Emniyet gerilmesi
$Fboru$	Boru birim fiyatı
$Fmontaj$	Montaj birim fiyatı
$Lboru$	Boru hattı uzunluğu
$Lboy$	Bir boy boru uzunluğu
$Akanal$	Kanal kesit alanı
$Lkanal$	Kanal uzunluğu
$Fkazı$	Birim kanal hacmi için kazı ve kapama maliyeti

H	Kanal derinliği
B	Kanal genişliği
$Q_{kayıp}$	Borudaki toplam ısı kaybı
F_a	Isı enerjisi birim fiyatı
h	İşletme süresi
Q_{boru}	1 metre boru için ısı kaybı
U	Isı kayıp katsayısı
R_s	Toprağın yalıtım direnci
R_i	Pur yalıtım direnci
R_h	İki boru arasındaki boşluğun direnci
λ_s	Toprak ısı iletim katsayısı
λ_i	Pur ısı iletim katsayısı
D_{pur}	Pur izolasyon çapı
D_c	Dış kılıf boru çapı
d_o	Boru dış çapı
Z_c	Düzeltilmiş toprak derinliği
Z	Toprak yüzeyi ile boru merkezi arası yükseklik
t_f	Gidiş suyu sıcaklığı
t_r	Dönüş suyu sıcaklığı
t_s	Z derinlikteki sıcaklığı
F_e	Elektrik enerjisi birim fiyatı
E_{ep}	Pompanın yıllık enerji gereksinimi
N_p	Pompa Gücü
L_{fp}	Pompa yük faktörü
m_s	Kütlesel debi
η_p	Pompa verimi
D_i	Boru iç çapı

KISALTMA LİSTESİ

LPG	Likit Propan Gaz
DN	Deutsche Norm
CCŞ	Temel şebeke masrafları
CCP	Temel pompa masrafları
CIK	Isı kaybı masrafları
CP	Pompalama masrafları
CB	Bakım masrafları
CÜRT	Üretim masrafları
NŞD	Net şimdiki değer
BIS	Bölge ısıtma sistemi
TMMOB	Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odası Birliği
MMO	Makine Mühendisleri Odası
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
NY	New York
DBDH	Danish Board of District Heating
DH	District Heating

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Basınç kontrolü, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]	27
Şekil 3.2 Doğrudan bağlantı, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]	29
Şekil 3.3 Eşanjörlü bağlantı, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]	30
Şekil 3.4 Termostatik sıcaklık kontrolü, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]	31
Şekil 3.5 Δp kontrolü ve devre örneği, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]	32
Şekil 4.1 Akkoza ısı yükü için iletim hattı yatırımının mesafeye göre değişimi.....	45
Şekil 4.2 Akkoza ısı yükü iki katına çıkarıldığında iletim hattı yatırımının mesafeye göre değişimi.....	45
Şekil 4.3 Akkoza ısı yükü için iletim hattı yatırımının çapa göre değişimi	46
Şekil 4.4 Konut yoğunluğu ile dağıtım hattı yatırım tutarının değişimi.....	48
Şekil 4.5 Konut yoğunluğu, ısı satış maliyeti, iletim hattı uzunluğu değişimi.....	54
Şekil 4.6 İki kat ısı yükünde konut yoğunluğu, ısı satış maliyeti, iletim hattı uzunluğu değişimi.....	55
Şekil 4.7 Hesaplanan boru çapına göre ısı satış maliyeti değişimi.....	57
Şekil 4.8 Düşük konut yoğunluğunda hesaplanan boru çapına göre ısı satış maliyeti değişimi.....	58

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Kömür yakıtlı santraller için izin verilen atık gaz oranları, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]	20
Çizelge 3.2. Avrupada bölge ısıtma ve büyük ısıtma sistemleri için uygulanan su kalitesi standart değerleri, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]	22
Çizelge 4.1 Çeşitli Bölge Isıtma Sistemlerinin Dağıtım Hatlarının İncelemesi	44
Çizelge 4.2 Çeşitli Bölge Isıtma Sistemlerinin Dağıtım Hatlarının İncelemesi	47
Çizelge 4.3 Çeşitli Bölge Isıtma Sistemlerinin Dağıtım Hatlarının İncelemesi	47
Çizelge 4.4 Akkoza dağıtım alanı yoğunluğunda 30 yıllık tüm masraflar tablosu [TL/YIL] ..	49
Çizelge 4.5 Akkoza dağıtım alanı yoğunluğunda 30 yıllık tüm masrafların bu günkü değeri [TL/YIL]	51
Çizelge 4.6 Akkoza dağıtım alanı yoğunluğunda 30 yıllık tüm masrafların yıllık eşit değeri [TL/YIL]	52
Çizelge 4.7 Akkoza dağıtım alanı yoğunluğunda 30 yıllık ısı satış maliyetleri [TL/kW _{th}] ...	52
Çizelge 4.8 Akkoza dağıtım alanı yoğunluğunda çapın değişimine göre ısı satış maliyetleri .	56
Çizelge 4.9 Yatağan dağıtım alanı yoğunluğunda çapın değişimine göre ısı satış maliyetleri	57

ÖNSÖZ

Günümüzde enerjinin ne kadar değerli olduğunu son yıllarda yaşanan gelişmelerden daha da iyi anlamaktayız. Enerjiyi verimli ve daha ucuz maliyetlere kullanmak her gelişmiş toplumun isteğidir. Bölge ısıtma sistemlerinin de bu noktada ne kadar önemli bir alternatif olduğu açıktır. Enerji verimliliği ve tasarrufu konusunda devlet tarafından yapılan çeşitli kanuni düzenlemeler de merkezi ve bölge ısıtma sistemlerini öne çıkarmaktadır.

Ülkemizde bölge ısıtma sistemleri jeotermal ısı kaynaklı sistemler ile uygulanmış ve hala daha yenileri eklenmeye devam etmektedir. Ancak ısı enerjisi kaynağının sadece jeotermal enerji olmadığı, bileşik ısı güç istemleri ve endüstri tesislerinin atık ısılarının yanı sıra merkezi kazan daireleri, bio-yakıt ve çöp yakan tesislerde bu amaçla kullanılabilir.

Ülkemizde bir enerji santralini ısı enerjisi kaynağı olarak kullanan yalnız bir tane bölge ısıtma sistemi bulunmasına rağmen, gelecek yıllarda bunun gibi değişik ısı enerjisi kaynaklarından faydalanan bölge ısıtma sistemlerinin daha da yaygınlaşacağı düşünülürse bu sistemlere yapılacak yatırımın ekonomik alanı ve ön fizibilitesinden de öte sistem ömrü boyunca ısı enerjisi satış fiyatının da öngörülebileceği bir araştırma ve yöntem çalışması ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Bu araştırma konusunu veren ve katkılarıyla çalışmayı yöneten sayın Yrd. Doç Dr. Hasan Hüseyin ERDEM'e teşekkürlerimi sunarım.

Mak. Müh.

Burak ÇOKOKSEN

Ocak 2010

ÖZET

Bu çalışmada bölge ısıtma sisteminin tanıtımı yapıldıktan sonra ekonomik alanının belirlenmesi yöntemi araştırılmıştır. Bölge ısıtma sistemleri üstüne bir literatür araştırması yapılarak tasarım yöntemleri belirlenmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda İstanbul'da halen işletilmekte olan bileşik ısı-güç santrali kaynaklı bir bölge ısıtma sistemine bağlanması planlanan toplu konut bölgesi için sistem tasarımı yapılarak değişik parametrelerin maliyete ve ısı satış maliyetine etkisi incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken de bir yöntem ortaya koyulmuştur.

Ekonomik incelemede, alternatif yakıt doğal gaz olduğundan dolayı ısı satış maliyeti için doğal gaz satış fiyatı baz alınmıştır. Isı satış maliyetinin doğal gaz satış fiyatına eşit olduğu duruma kadar bu sistemler yatırım yapmaya değerdir. Ancak bu durumu değiştiren iletim hattı mesafesi ve konut yoğunluğu gibi çevresel koşullardan başka akışkan tipi, sıcaklığı, debisi gibi tasarım parametreleri ve ısı enerjisi kaynağına bağlı olarak değişen ısı maliyeti etkenleri olduğu için kesin olarak sınır değerler verilememektedir.

Anahtar Kelimeler: Bölge ısıtma sistemi, yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri, ısı satış maliyeti.

ABSTRACT

In this study after the introduction of the district heating system, determining the methodology of economical limits of the district heating system has been investigated. For this aim a literature study has been done and the design method have been determined. Through the information obtained from literature the district heating system has been designed and the effect of several parameters on cost and heat sale price researched for a new housing development which is planned to add a still under operation combined heat and power plant sourced district heating system in İstanbul. While this investigation has been done a methodology presented.

In economical investigation because of alternative heating source is natural gas for heat sale price the natural gas price has been based. Till the heat sale price is equal to the natural gas price these systems are worthwhile for investment. But there are some parameters to change this situation of price equality. These parameters are environmental factors like the length of transmission pipe line and the density of housing. There are also design parameters which affect the price equality such as the type, temperature and flow rate of fluid. And also heating energy source like geothermal, CHP, bio-fuel etc. is an important factor to affect of district heating energy sale price. Because of all these reasons it is not possible to give exact limit values.

Keywords: District heating system, capital costs, operation costs, heat price.

1. GİRİŞ

Bir yaşam hacmini ısıtma geçmişten beri insanlığın temel ihtiyaçlarından biri olmuştur. Başlangıçta ısınma sorununun çözümleri basit idi. Bir çadır yada barakanın zemininde yakılmış bir ateş zorlu çevre koşullarına karşı ayakta durmayı mümkün kılıyordu. Medeniyet geliştikçe insanlar kasabalara ve şehirlere taşındılar daha büyük evlere ve yaşam hacimlerine sahip oldular, bu da beraberinde daha karmaşık ısınma sistemi ihtiyaçlarını doğurdu. Bu ihtiyaçlar ısınma alanında teknolojik gelişmelerin hızla meydana çıkmasına sebep olduğu gibi teknolojik gelişmelerle beraber, yakılması sonucunda çevre kirliliğine de sebep olan ve bir gün tükenecek olan fosil yakıtların kullanımı arttı.

İyi bir ısınma sisteminden beklenen, mümkün olan en iyi konforu vermesidir. Bir binanın iyi tasarlanmış ve otomasyon ile donatılmış bir ısıtma sistemi ile inşa edilmesi ısıtma ihtiyaçlarını ve çevre kirliliğini minimize edecektir. Bunun gibi şehir ve kasabaların ne şekilde ısınacağına da karar verirken mevcut bölge koşulları da dikkate alınarak en iyi ısınma sistemine karar verilmesi gerekmektedir. Minimum ısınma maliyetleri, çevreye verilecek minimum zarar ve sahip olduğumuz fosil yakıtların daha uzun ömürlü ve verimli kullanılması temel beklentiler olduğunda bölge ısıtma sistemleri en önemli alternatif çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bölge ısıtma, en büyük çaplı merkezi ısıtma sistemidir. Günümüzde merkezi ısıtma sistemlerinin başta maliyet olmak üzere en uygun ısınma yöntemi olduğunun bilimsel olarak da ispatlanmıştır. Enerji verimliliği ve çevresel faktörleri ciddiye alan politikalar izleyen devletlerde merkezi sistemleri destekleyen ve teşvik eden kanun ve düzenlemeler bulunmaktadır. Son yıllarda ülkemizde de bu yönde yapılan kanuni düzenlemeler ve yönetmelikler ile 1000 m²'nin üzerinde kapalı alana sahip konut, iş merkezi, üretim tesisi vb. binalarda merkezi ısıtma sistemi zorunlu hale getirilmiştir.

Bölge ısıtma sistemlerine birçok ülkede rastlamak mümkündür. Eski Sovyetler Birliği'nden beri süre gelen doğu bloğu ülkelerinde en eski yöntem olan galeriler içerisinden boruların yürütüldüğü, ısıtıcı akışkan olarak buharın kullanıldığı sistemler görülürken, Orta ve Kuzey Avrupa'ya doğru geldiğimizde günümüz teknolojisine göre kurulmuş toprağa direk gömülebilen boru hatlarından meydana gelen sıcak sulu sistemleri gözlemlemekteyiz. Amerika Birleşik Devletleri, Çin gibi diğer bölge ve ülkelerde ise her iki türde eski ve modern sistemleri görmek mümkündür.

Günümüzde Danimarka, bu sistemin en yaygın ve en gelişmiş olarak uygulandığı ülkelerdendir ve teknolojisinin üretimi ve geliştirilmesinde de dünyaya liderlik etmektedir.

Danimarka'da enerji kaynağı olarak bileşik ısı güç santralleri, çöp yakma tesisleri, endüstriyel tesislerin atık ısıları, talaş v.b. bitkisel yakıtlar kullanan merkezi ısıtma santralleri ve hatta güneşten faydalanılmaktadır. Tüm bu bahsettiğimiz kaynaklardan toplanan ısı enerjisi, büyük şehirlerde ve bazen birkaç şehri kapsayan bölgelerde yüksek basınç ve sıcaklıkta işletilen bir üst iletim hattında toplanmakta ve belirli bölgelerde kurulan düşürme istasyonları vasıtasıyla son tüketici binalara ulaştırılan düşük sıcaklık ve basınçla çalışan dağıtım hatlarına aktarılmaktadır. Bunun yanı sıra çeşitli küçük şehir ve kasabalarda lokal o bölgeye hizmet eden bir çöp yakma tesisi, bileşik ısı güç santrali ve bunlara entegre güneş kolektörleri ile beslenen daha küçük sistemlerde mevcuttur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Alstom Güç Sistemleri firmasında araştırma ve geliştirme departmanında çalışan kimya mühendisi Lars Vallentin Nielsen, Ön Yalıtımlı Boru Sistemlerinin Tasarımı adlı çalışmayı yapmıştır. Bu çalışmada, bölge ısıtma borularının taşıyıcı boru, yalıtım ve kılıftan oluşan bir sistem olduğu belirtilmektedir. Buradaki taşıyıcı borular ana borularda çelik olmakla beraber küçük çaplı ana borular (DN80/100) ve bransman boruları bakır ve plastik malzemeden de üretilmekte olduğu anlatılmaktadır. Bölge ısıtma sistemi işletme firmalarının boru şebekelerinin tasarımında kullanılan bu boruların seçimleri, firmaların bütçeleri, işletme koşulları ve bağlantı işçiliği gibi etkenlere bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu makalede ön yalıtımlı boru sistemi tasarımında etken parametreler basınç, sıcaklık ve coğrafi koşullar olduğuna değinilmektedir. Ayrıca Danimarka'daki sistem kurulum metotlarına değinilmekte. Bunlar; ısı ön gerilmeli, genişleme dirsekli, kompensatörlü ve yüksek aksiyal gerilimli kurulumlar olduğu anlatılmaktadır. Bundan başka makalede sistem ömrü analizine değinilmektedir.

Danimarka Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Mühendisliği Departmanında öğretim görevlisi olan Benny Bohm ve Carl Bro A/S firması enerji departmanında danışman olarak çalışan Halldor Kristjansson, Isı İletim Borularının Temel Tasarım Optimizasyonu adlı çalışmayı yapmışlardır. Bu makalede gidiş ve dönüş borularının aynı kılıf içerisinde ikiz olarak izole edilmesinin avantajlı olup olmadığı incelenmektedir. Beraber yalıtım daha yüksek dönüş sıcaklıkları sağlar mı, beraber izole edilmiş borularda akışkan taşıyıcı borular kılıf içinde nerede konumlanmalı, her iki taşıyıcı boruda eşit çaplarda mı olmalı, bu tür boruların tasarım çalışmalarının diğer bölge ısıtma borularınınkinden farklılığı olduğu soruları araştırmanın genel çerçevesini çizmiştir. Sonuçta iletim borularının, kılıf içerisinde asimetrik yerleşimleri ve farklı çaplarda gidiş dönüş borularının aynı kılıfta yalıtımlı gibi çeşitli alternatif tasarımlara sahip ikiz boruların klasik bölge ısıtma borularına göre genel bir inceleme ile %50 daha tasarruflu olduğu belirtilmiştir. Ayrıca dönüş borusunun ısınması da genel olarak problem teşkil etmeyecek düzeyde olduğu söylenmektedir. Isı yükleri sabit olarak azalırken ve aynı zamanda enerji fiyatları yükselirken elde edilen bu sonucun oldukça önemli olduğu belirtilmiştir.

Ramboll Firması Enerji Sistemleri Departmanı başkanı olarak görev yapan Jens Overgaard ve Ramboll Firması Bölge Isıtma Sistemleri Departmanında danışman olarak görev yapan Soren Knudsen, Bölge Isıtma Şebekelerinde Doğru Boru Çaplarının Seçimi adlı çalışmayı yapmıştır. Bu makalede şebeke tasarım sürecinde bir simülasyon yazılımını nasıl kullanabileceği

anlatılmaktadır. Boru çaplarını belirlemeden önce dağıtım alanı, ısı talebi, boru hattının genel bir projesi tespitlerinin yapılması gerektiği anlatılmaktadır. Geleceğe yönelik potansiyel büyüme alanlarının tespit edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Aynı şekilde üretim tesislerinin konum ve kapasite tespitlerinin de yapılması gerektiği anlatılmaktadır. Bir sonraki aşama maliyetin tanımlanmasıdır. Maliyetin belirlenmesinde bu makalede ekonomik optimizasyon yöntemi ile maliyetler tanımlanmıştır.

Milano Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak çalışan Roberto Aringhieri ve Milano Politeknik Elektrik ve Enformasyon Departmanında çalışan Federico Malucelli, Bir Kombine Isı ve Güç Santrali İle Bölge Isıtma Sistemi Şebeke Planlaması ve Optimal İşletme Yönetimi adlı çalışmayı yapmıştır. Bu çalışmada bölge ısıtmanın etkili bir servis ve aynı zamanda jeotermal kaynaklar ve atık sıcak su gibi bazı alternatif enerji kaynaklarından daha iyi faydalanmamızı sağlayan bir alternatif olduğu anlatılmaktadır. Bu da çevreye daha az bir etki ve düşük kirli emisyon atılımı sonucunu beraberinde getireceğini anlatmaktadır. Ayrıca daha iyi bir emisyon kontrolü imkanı sağlayacağı belirtilmektedir. Bölge ısıtma santrallerinden tam verim alabilmek için yaz aylarında elektrik üretiminin sisteme eklenebileceği belirtilmiştir. Karmaşık enerji tarifeleri, kaynakların yönetilmesi ve en önemlisi verimli bir sisteme sahip olmak için kantitatif yöntemler kullandığı belirtilmiştir. Bu makalede bir İtalyan firmasının günlük planlaması için bir lineer programlama modeli kullanılmıştır. Daha gerçekçi çözümler için sistem genişletilmiş ve kurulum zamanları ve maliyetleri de çıkarılmıştır. Şirket tarafından halen gerçekleştirilmekte olan sistem yönetimini mukayese eden, lineer model tarafından ortaya çıkarılan sonuçlar sunulmuştur. Bu sonuçlar, modelin isabetliliğini teyit etmiştir. Hatta elektrik üretiminin düşünülmediği basitleştirilmiş ayarda, ilgili geliştirmeleri de tanımlanmıştır.

Kopenhag Belediyesinde Enerji, Çevre ve Su Başkanı olarak çalışan Bo Asmus Kjelgaard, Isı Tedariki, Çevre ve Kopenhag Örneği adlı makaleyi yazmıştır. Bu makalede, Kopenhag'ın 1988 yılından 1998 yılına kadar karbondioksit emisyonlarını %20 düşüren dünyadaki tek başkent olduğu belirtilmiştir. Bunda en büyük payın bileşik ısı güç santralleri ile yapılan bölge ısıtmanın olduğu belirtilmektedir. 2000 yılından 2010 yılına kadarki yeni hedefin %30 olduğu belirtilmektedir. Danimarka Hükümeti'nin enerji politikaları doğrultusunda 2002 yılında Kopenhag şehrinin %90'ının bölge ısıtma ile ısınması hedeflendiği belirtilmektedir. Makalede Danimarka enerji politikasının 1970 yılındaki dünya genelinde ortaya çıkan petrol krizinden sonra şekillendiği ve ilk ulusal enerji planının 1976 da yayınlandığı anlatılmaktadır. Hükümetin, ilk olarak enerji santrallerinde petrole olan bağımlılığının dönüştürülmesi

politikası yürüttüğü ve Kuzey Denizi Sahasından çıkarılan doğalgaz ile çalışır hale getirildiği, bununla beraber santralden faydalanma oranının artırılması yoluna gidilerek aynı zamanda ısıtma yapacak şekilde yeniden düzenlenmesini yaptığı anlatılmıştır. Ayrıca atık yakma tesisleri ve endüstri tesisleri de bölge ısıtmaya dahil edildiği belirtilmiştir. Tüm bu bahsedilenlerin nasıl yapıldığı anlatılmaktadır.

Danimarka Teknik Üniversitesinin Bölge Isıtma Teknolojisi Merkezi için çalışan Benny Bohm, Toprağa Gömülü Bölge Isıtma Borularından Isı Kayıplarının Durum Değerlendirmesi adlı çalışmayı yapmıştır. Yazar çalışmasında, tüm Avrupa'da Rusya hariç toplam 110.000 km bölge ısıtma borusu bulunduğunu belirtmektedir. Çalışmada borulardan ısı kayıp miktarının öngörülmesi ve bunların değerlendirilmesi yöntemleri anlatılmaktadır.

Belgrad Üniversitesi Makine Mühendisliği Fakültesinde görevli Vladimir D. Stevanovic, Sanja Prica, Blazenka Maslovaric, Branislav Zivkovic ve JKP Beogradske Elektrane firmasında görevli Srdjan Nikodijevic bölge ısıtma sistemi hidroliği için etkili bir nümerik simülasyon metodu üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kompleks bölge ısıtma sistemi boru hatlarındaki durağan haldeki hidrolik durumunun nümerik analiz ve simülasyonu sunulmaktadır. Boru şebekesinin lup modeli üzerinde eşitlikleri çözmek için karekökler metodu kullanılmıştır. Yöntem matematiksel bir bilgisayar kodu halinde yazılarak programlaştırılmıştır. Bu yöntemin bir uygulaması gerçek kompleks bir bölge ısıtma sisteminin enerji verimliliği analizine yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar pompaların işletmesinde bir elektrik tasarrufu potansiyeli olduğunu göstermiştir. Çalışma mühendislik pratiklerinde genişçe kullanılan Hardy Cross metoduna göre bu yöntemin çok daha etkili olduğunu söylemektedir.

3. BÖLGE ISITMA

Bölge ısıtma birden fazla binanın bir yada birkaç merkezden yalıtımlı borular vasıtasıyla ısıtılmasıdır. Bina içi tesisatları ile bağlantı doğrudan yada dolaylı (arada bir eşanjör ile) olabilir. Kullanma sıcak suyu da bölge ısıtma yardımı ile üretilmektedir. Bölge ısıtma sistemlerini iki şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bunlardan birincisi ısı enerjisi kaynağına göre, diğeri kullanılan akışkana göre bölge ısıtma sistemleridir. Isı enerjisi kaynaklarına göre sınıflandırma aşağıdaki gibidir.

- Jeotermal kaynaklar.
- Merkezi kazan dairesi ısıtma santralleri.
- Bileşik ısı güç santralleri.
- Endüstriyel tesislerin atık ısıları (cam, döküm, petro-kimya tesisleri vb.)
- Atık yakma tesisleri.
- Güneş panelleri.

Burada merkezi kazan daireleri de kullandığı yakıt türüne göre sınıflandırılabilir:

- Katı yakıtlı.
 - Kömür
 - Odun
 - Çöp
 - Talaş
 - Pelet
- Sıvı Yakıtlı.
 - Motorin
 - Fuel-oil
- Gaz yakıtlı.
 - Doğal gaz
 - LPG
 - Biogaz

Kullandıkları akışkana göre is bölge ısıtma sistemleri üç gruba ayrılır:

- Sıcak sulu (100°C ye kadar)
- Kızgın sulu (100°C üzerinde, basınç altında)
- Buharlı

Bölge ısıtması yapan santraller iki tiptir. Birincisi sadece ısı enerjisi üreten tesisler, ikincisi ise bileşik ısı ve güç tesisleridir. İkinci tip tesislerin asıl amacı bir buhar türbini vasıtası ile elektrik enerjisi üretmektir. Bu tesislere bağlanmış bölge ısıtma sistemleri buhar türbininin kapasitesini artırmak için kondensi mümkün olan en düşük sıcaklığa soğutmakta

kullanıldıkları gibi doğrudan atık ısı geri kazanım kazanlarında baca gazından buhar çevrimine aktarılamayan ısı enerjisi ile çalışanlar yada buhar türbininin düşük basınçlı son kademelerindeki buharın ısı enerjisini kullanarak ısıtma yapanlarda bulunmaktadır. Birçok bölge ısıtma sisteminde birincil ısı enerjisi kaynağından başka ara ısı kaynakları yada pik yük tesisleri de bulunabilmektedir.

Kömür yakıtlı enerji santrallerinde verim %30-40 gibi düşük mertebelere sahiptir. Güç üretimine bölge ısıtma ısı enerjisi üretimini de ekleyerek santral da kullanılan yakıtın enerjisinden yararlanma oranını %90 mertebesine çekmek mümkündür.

Bir bölge ısıtma sisteminin üç kısımda incelenebilir:

- Üretim (merkezi ısı üretim tesisi)
- İletim ve dağıtım (ön izoleli ana iletim boru hatları ve binalara giden branşmanlar)
- Tüketim (bina altı istasyonlar)

Üretim tesisinde bölge ısıtma suyu istenilen sıcaklığa kadar ısıtılıp iletim hattına pompalanır. İletim hattı kullanım olan bölgeye yada müşteriye az bir kayıp ile ısı enerjisini ulaştırır. Dağıtım ana hat borusundan alınan branşmanlar vasıtası ile ısı enerjisi yüklü akışkanın tüketim noktasına ulaştırılmasıdır. Tüketim ise ısı enerjisinin binaya aktarıldığı noktadır. Tüketim doğrudan bina ısı transfer elemanlarında (radyatör, fan coil vb.) olduğu gibi, bina altı bölge ısıtma istasyonlarındaki eşanjörde de olabilmektedir. Isı kaynağının tüketim bölgesine çok yakın olması durumunda iletim hattı çok kısa olabilmekte yada doğrudan dağıtım hatları başlayabilmektedir.

3.1 ÜRETİM

Isı enerjisi genellikle bir yakıtın yanması sonrası açığa çıkmaktadır. Bunun yanı sıra güneş enerjisi ve jeotermal enerji de ısı üretiminde kullanılmaktadır. Bu çalışmada daha çok merkezi kazan daireleri ve bileşik ısı güç sistemleri ön plana çıkarılacaktır.

Isı üreten tesiste yakıtın yanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisinin iletim hattındaki suya aktarılması işi yapılmaktadır. Üretim tesisi doğrudan bölge ısıtma amaçlı kurulmuş bir ısı santrali olabileceği gibi, birincil amacı elektrik üretmek olan bileşik ısı-güç tesisleri ve endüstri tesislerinin atık ısı kaynakları da olabilmektedir.

Günümüzde kazanların verimliliği %88-90 düzeyindedir. Kombine ısı güç santrallerinde kazan kapasitesi en az 200 MW olmalıdır. Üretimin %40'ı elektrik ve %60'ı ısı enerjisidir. Bir kombine ısıtma ve güç santrali tüm yıl boyunca çalışmalıdır. Kış ayları boyunca santral

bölge ısıtma şebekesine ısı enerjisi iletir ve şebeke dönüş suyu buhar türbininden çıkan buharı soğutmakta kullanılır. Bölge ısıtma şebekesinin buharı soğutmakta yetersiz kaldığı durumda soğutma kuleleri devreye girer. Yaz sezonlarında bu ısı soğutma çevrimleri için de kullanılabilir. Bileşik ısı-güç santrallerinin yararlanma oranı %90-92 düzeyindedir.

Büyük bölge ısıtma sistemlerinde bileşik ısı-güç santrallerine ilave olarak mahalle ve semtlere hitap eden lokal merkezi kazan daireleri de bulunmaktadır. Bu kazan daireleri 50 MW'dan daha büyük olmalı ve en az 200 MW kapasiteli bir bileşik ısı güç santrali ile bağlantılı olmalıdır. 40 MW'a kadar olan lokal santraller devre dışı bırakılmalı ve bunlara bağlı sistemler doğrudan büyük santrallere bağlanmalıdır.

Bölge ısıtma sistemlerinde kısa süreli büyük talep değişimlerini karşılamak için yeni bir kazan devreye almak yerine sisteme destek üzere akümülatör tanklar da kurulabilmektedir. Akümülatör tanklar sistemin çalışma basıncında imal edilmelidir. Akümülatörün hacmini sistemin ihtiyaç duyduğu genişleme hacmi kadar arttırarak aynı zamanda kapalı genişleme tankı olarak da kullanılabilir. Akümülatör tanklar hem kazanlı ısı santrallerine hem de bileşik ısı-güç santrali ile beslenen sistemlere bağlanabilir.

Üretim tesisi kurulumu ve işletmesinde etkili faktörler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

3.1.1 Çevresel Faktörler

Küresel ısınma, atmosfere atılan zararlı emisyonlar dolayısı ile çevre kirliliğinin artması ve fosil yakıtların tükenmeye başlaması nedeni ile yakıtlar üzerindeki çevresel beklentiler her geçen gün daha da ağırlaşmaktadır. Kömür ve petrol türevi yakıtlar içindeki çevreyi kirletici maddeler son on yıl içerisinde kayda değer bir biçimde düşürülmüştür. Ayrıca iyi bir yanma sonucu oluşan küllerin toz atıklarının da miktarında bazı iyileştirmeler istenmektedir. Günümüzde birçok gelişmiş ülkede yakıtlar üzerinde iyileştirmeler istenmekte ve santrallerin çevresel etkisini belirlenen seviyelerin altına indirmesi istenmektedir. Bunlara uyulmadığında çeşitli yaptırımlar ve cezalar uygulanmaktadır.

Yanma sonucu ortaya çıkan kükürt yeryüzünde hayvan ve bitkilerin ölümüne sebep olan asitlenmeye neden olmaktadır. Azot da yine asitlenmeye yol açtığı gibi ozon tabakası üzerinde de olumsuz etkisi vardır. Bu her iki zararlı madde de çok büyük alanlara yayılmaktadır ve tedbir bunların ortaya çıktığı kaynakta alınmaya başlanmalıdır.

Aşağıda Uluslararası Enerji Ajansının kömür yakıtlı santraller için 1991 yılında yaptığı bir

araştırma sonrasında ortaya çıkan izin verilen atık gaz oranları görülmektedir.

Çizelge 3.1. Kömür yakıtlı santraller için izin verilen atık gaz oranları, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]

Partiküller mg/m³	SO₂ mg/m³	NO_x mgb/m³
50 - 100	400 - 2000	600 – 1300
Min. 40	160 - 270	80 – 540

Yukarıdaki değerler yeni santraller için geçerlidir. Birinci değer büyük santraller, ikinci değer küçük santraller için geçerlidir.

Motorlu taşıtlardan ve endüstriyel projelerden ortaya çıkan hidrokarbonlar ozon tabaksına zararlıdır. Karbondioksit, azot oksit ve metan gazlarının hepside sera etkisine sebep olmaktadır. Karbondioksit kazanlarda, enerji santrallerinde ve araç motorları v.b. meydana gelen yanmanın birçok şekliyle ortaya çıkmaktadır.

Yine ağır metaller de sürekli olarak doğada depolanmakta ve yavaş yavaş besin zincirinin en üst noktasına çıkmaktadır. İnsanlarda ve hayvanlarda ağır metaller gözlemlenmeye başlamıştır.

Nüfusun artması, sanayileşmenin de buna bağlı olarak yayılması ve artması nedeniyle elektrik enerjisi ve ısınma enerjisine olan ihtiyaç da her geçen gün artmakta ve dolayısı ile yeryüzünde zararlı atıklar da daha fazlalaşmaktadır. Bunun önüne geçebilmenin önemli yollarından biri de bölge ısıtma ve soğutma sistemlerinin yaygınlaştırılmasıdır. Günümüzde bir çok bileşik ısı güç santrallerinden bu amaçla da faydalanılabilmekte ve böylece bölge elektrik ve ısınma-soğutma enerjisi bir tesiste üretilerek ciddi bir tasarruf ve çevreye katkı sağlanmış olmaktadır. Ayrıca benzer şekilde jeotermal kaynaklar da şehir ve bölge ısıtmasında değerlendirilerek çevreye büyük katkıda bulunabilir.

3.1.2 Yakıt

Bölge ısıtma sistemleri için ısı üreten tesislerde petrol türevi yakıtlar ve kömür en fazla kullanılan yakıtlardır. Doğalgaz ve biyoyakıt kullanımı da hızla artmaktadır.

Modern teknikler ile egzoz sistemleri kurulabildiğinden beri hangi tür yakıtın kullanıldığı çok önem arz etmemektedir. Ancak daha az kirletici madde içeren yakıtları kullanan baca tesisleri tabii ki daha kolay ve ucuz işletilirler.

Santrallerde kullanılan kömür yıkanarak rafine edilebilmektedir. Böylece kül miktarı ve çevreyi kirletici partiküller azalmaktadır. Kükürt içeriği % 0,8 in altına indirilir. Üzerine kimyasallar yada su püskürtülerek nakliye ve taşımadan meydana gelen toz miktarı da azaltılabilir. Kömürü pulverize etme de yanma işleminin verimini daha da artırmaya yarar. Buna rağmen içerisindeki katı partiküller, kükürt ve azot gazı göz önünde bulundurularak egzoz gazlarının iyi bir arıtmadan geçirilmesi gerekmektedir.

Yine bölge ısıtma istemlerinde kullanılan fuel-oil maksimum %0,8 kükürt içermekte ve verimli yanma teknikleri ile yakılabilmektedir ancak yinede atık gazı kabul edilebilir seviyeye düşürmek için filtrasyona tabi tutulmalıdır.

Doğalgaz, kömür ve fuel-oile göre daha temiz yakıt olmasına rağmen yanma sonucu yinede azot açığa çıkmaktadır. Dolayısı ile baca gazı filtresi bu yakıtlar içinde gerekmektedir.

Bioyakıt daha çok 10.000 konut yada yaklaşık 700.000 m² kapalı alana kadar olan küçük sistemlerde kullanılmaktadır. Bioyakıtın kullanım süresinde yanması enasında ortaya çıkan karbondioksitin, bioyakıtın meydana gelmesinde doğal döngüde yer aldığından çevreye olumsuz etkisinin olduğu düşünülmemektedir.

Bioyakıtın elde edildiği bölgeye yakın bir yerleşim yerinde kullanılması, ekonomik ve çevresel açıdan bakıldığında mükemmeldir.

Bölge ısıtma sistemlerinde endüstriyel proseslerin atık yada artık ısısının kullanılması da söz konusudur. Enerji santrallerinin buhar çevrimindeki kondenser atık ısısı, cam üretiminde ve petrol rafinesinde ulaşılan yüksek sıcaklıklar örnek olarak gösterilebilir.

3.1.3 Egzoz Emisyon Kontrolü

Çıkan Toz ve duman miktarının çok yüksek olduğu eski zamanlarda, bacalar oldukça yüksek inşa ediliyordu. Ancak deneyimler gösterdi ki bu yöntem sadece problemi bacadan daha uzağa götürmektedir. Günümüzde egzoz gazının filtre edilmesi bir kuraldır. Kükürt, azot oksit ve partiküllerden arındırılması gerekmektedir.

Partiküller siklonların, mekanik filtrelerin yada elektro filtrelerin yardımı ile süzülebilirler.

Kükürt, kireç vb. bazı katkıları vasıtası ile ayrıştırılabilmekte ve bunun yöntemleri her geçen gün gelişmektedir. Ayrıştırma oranı %95 gibi yüksek değerlerdedir.

3.1.4 Su Kalitesi

Su kalitesi büyük önem taşır. Tüm sistemin bakım ve uzun ömürlülüğü için gereklidir.

Bölge ısıtma sisteminde; kazanları kurarken, ekipmanlarını tamamlarken, ön yalıtımlı boruları kaynatır ve döşerken ve de bina altı istasyonlarda ısı değiştiricileri monte ederken, birçok yabancı kirletici madde sisteme dahil olmaktadır. Bunlar; kaynak çapakları, demir oksitlerden kum ve çamura kadar birçok madde olabilir. Eğer bu kirletici maddeler sistem işletmeye geçtiği zaman da hala bulunurlarsa vana, pompa ve diğer bileşenlere zarar verecektir. Ayrıca ısı transferini kötü yönde etkileyecek tabakalar oluşturacaklardır. Bunun önüne geçmek için sistemin tümü suyla doldurulmadan önce yıkanmalıdır.

Korozyon sistemin içinden ve dışından etki edebilir. Harici korozyon ortamın kuru tutulması ile engellenebilir. İç korozyonu önlemek için ise korozyona neden olmayacak kalitede suya ihtiyaç vardır.

Oksijen, korozyona neden olur ve sıradan sular oksijen içermektedir. 10°C sıcaklıktaki 1 kg su, 0,1 Mpa (1 bar) basınç altında 11,5 mg oksijen barındırır.

Su 100°C sıcaklığa ısıtıldığında içerisinde hiç oksijen bulundurmaz. Bir bölge ısıtma sistemine giren her miligram oksijen, yaklaşık üç kat fazla demir kullanır. Sonuç olarak sistemde kullanmadan önce su şartlandırılmalıdır. Örneğin sisteme beslenmeden önce 100°C sıcaklığa kadar ısıtılabilir.

Su ısıtma sistemlerinde problemlere neden olabilecek başka maddeler de içermektedir. Bunlara örnek olarak kireç, çamur, klorit ve sülfat verilebilir. Klorit ve sülfatın suda fazlaca bulunması korozyonu tetikleyen iletkenliği artırmaktadır.

Çizelge 3.2. Avrupada bölge ısıtma ve büyük ısıtma sistemleri için uygulanan su kalitesi standart değerleri, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]

	<u>Dolaşan Su</u>	<u>Dolacak Su</u>
İletkenlik	< 10µs/cm	< 10µs/cm
PH	9,5 - 10	9,5 – 10
Sertlik	0,1 tH°	< 0,5
Görünüm	Temiz ve çamursuz	Temiz ve çamursuz
O2	0,0 mg/l	0,02 mg/l

Kireçli su kazan yada ısı değiştiricide ısıtıldığında, kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) yada kireç

taşı ısı transfer yüzeylerini kaplar. 1 mm kalınlığında bir tabaka ısı iletimini %10 düşürür. 2 mm kalınlığında bir tabaka %18 ve 10 mm kalınlığında bir tabaka %50 düşürür.

Kireçtaşı problemi, sudaki kireç ve magnezyum tuzlarını sodyum tuzlarıyla değiştiren yağ filtre kullanarak çözülebilir.

Modern bölge ısıtma sistemlerinde ilk kurulum ve işletme gerekli şartlara uygun yapıldığı takdirde kaçak problemi bulunmaz. Dolayısı ile sisteme su takviyesi ihtiyacı yalnızca herhangi bir bileşenin değişimi sonrasında gerekecektir. Sistemde dolaşan suyun belirli periyotlar ile kontrolleri yapılarak ve kimyasallar katılarak korozyon riskini düşürmek mümkündür.

3.1.5 Gidiş ve Dönüş Sıcaklıkları

Bölge ısıtma sistemlerinde gidiş sıcaklıkları 100°C'nin altındaki sıcaklıklardan 160-170°C' lere kadar değişik değerlerde olabilmektedir. Gidiş sıcaklıklarının ortak yanı büyük soğuma miktarlarıdır. Büyük soğuma miktarları ile ihtiyaç duyulan debi ve dolayısıyla boru çapları ve pompa boyutları da düşmektedir. Böylece daha küçük çaplı borularda daha az kayıp ve daha küçük boyutlu pompalarda daha az işletme gideri oluşacaktır. Günümüzde modern sistemlerde buhar kullanımı neredeyse kalmamıştır.

100°C'nin altındaki sıcaklıklarda sistemi normal basınçta çalıştırmak mümkündür. Ancak üzerine çıkıldığı durumlarda kaynamayı önlemek ve sıvı formunu korumak için basınçlandırmaya ihtiyaç duyulur. Dolayısı ile 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çalışan sistemler basınçlı kaplar olarak sınıflandırılır. Bu da malzeme ve işçilik kalitesi beklentisini de doğrudan yükseltmektedir.

Bölge ısıtma sistemlerinde ısınmanın yanı sıra kullanım suyu ihtiyacı da karşılanmaktadır. Dolayısı ile bu sistemler tüm yıl boyunca çalışmaktadır. Ancak yaz aylarında 60-70°C gibi sıcak su üretmeye yeterli bir ısıtıcı akışkan sıcaklığı yeterli olabilmektedir. Yaz sezonu sona erdiğinde dış hava sıcaklığına bağlı olarak talebe göre gidiş suyu sıcaklığı da arttırılmaktadır.

60°C ve altındaki primer dönüş sıcaklıkları, sadece ısı üreten tesisler veya kombine ısı güç üretimi tesislerinde istenilen sıcaklıklardır. İlk aşamada iyi verim alabilmek için düşük dönüş sıcaklıklarına ihtiyaç duyulan bir egzoz gazı kondenseri, ekonomizer vardır. İkinci aşamada güç üretimini arttırmak için soğutulması gereken bir kondens vardır. Büyük soğuma miktarları sistemde dolaşan su miktarını da düşürür. Dolayısı ile sirkülasyon pompalarının işletme maliyetleri de düşer.

3.1.6 Genleşme Sistemleri

Genleşme sisteminin amacı değişen sıcaklıklarda sistemde meydana gelen hacim değişimlerini karşılamak ve sistemin statik basınç seviyesini sağlamaktır.

Genleşme sistemleri iki şekilde tasarlanabilirler:

- Açık
- Kapalı

Açık sistemler doğrudan çevre ile temas halinde kapalılar ise değildir. Geçmiş yıllarda kısa bir süre çoğu sistemde açık genleşme vardı. Ama zamanla bu kapalı genleşme sistemlerin seçimine dönmüştür. Kapalı sistemler bölge ısıtma şebekesindeki değişimlere daha kolay adapte edilebilirler. Şebekelerde büyük kot farkları açık sistemlerle çalışmayı zorlaştırmaktadır.

3.2 İLETİM ve DAĞITIM

İletim kısmı, sirkülasyon pompaları ve ön yalıtımlı borulardan oluşmaktadır. Modern ön yalıtımlı borular ile 14-15 km gibi mesafelerdeki iletim hatları rahatlıkla tasarlanabilmektedir.

3.2.1 Ön Yalıtımlı Borular

Ön yalıtımlı boru taşıyıcı boru, yalıtım ve kılıf borudan meydana gelmektedir.

3.2.1.1 Konstrüksiyon, Materyel

Taşıyıcı borular çelikten yapılmaktadır. Küçük tüketim yapan birimlerin branşmanlarında ve düşük sıcaklıkta çalışan doğrudan bağlantılı sistemlerde düşük çaplarda, bakır veya ısıya dayanıklı plastik borular da kullanılabilirler.

Eski yıllarda boru şebekesi yer altındaki üstleri açılan, iyi bir drenaj sistemine sahip beton galeriler içerisindeydi. Döşenen çelik borular basınç testi yapıldıktan sonra izole edilmekteydi. Daha sonra galeri kapakları kapatılmaktaydı. Müdahale kapakları düzenli aralıklar ile bırakılmakta idi. Bu tip ısı dağıtım şebekelerinin en büyük problemi, betonun su geçirgenliğidir.

Günümüzdeki ısı dağıtım şebekelerini (ön yalıtımlı boru hatları) meydana getiren borular, taşıyıcı çelik boru, poliüretan yalıtım ve en dışına da su geçirmez polietilen kılıf borudan oluşan fabrikada üretilen ürünlerdir. Taşıyıcı boru polietilen kılıf borunun içerisine merkezlendikten sonra arasının poliüretan ile izole edilmesi şeklinde üretilmektedir.

Çelik borular kaynak ile birleştirilmektedir. Daha sonra polietilen kılıflar da muff denilen polietilen manşonlar ile birbirine birleştirilmektedir. Daha sonra mufflar üzerindeki doldurma deliklerinden poliüretan köpük ile doldurulmakta ve doldurma noktası kapatılmaktadır. Branşmanlar da aynı yöntemle imal edilmekte ve doğrudan toprağa gömülmektedir. Genellikle imalatlar kazılan kanal içerisinde yada kenarında yapılarak kanalın içerisinde indirilmektedir. Vanalarda toprağa gömülebilen türde yalıtımlı olarak üretilmektedir. Bu tür şebekelerde müdahale kapağı yada noktası yoktur. Bazı işletmelerde bölge kesme ve branşman vanaları doğrudan toprağa gömülü değil bir vana odası içerisinde de olabilmektedir.

3.2.1.2 Isı Kayıpları

Bir ısıtma şebekesinde ısı kayıpları eğer iyi bir yalıtım yapılmamışsa en önemli işletme maliyetlerindedir. Poliüretan ile izole edilmiş borularda kayıplar azalmaktadır.

Amaç, tüm tüketim noktalarına aynı sıcaklıktaki suyu ulaştırmaktır. Bunu başarabilmek için de iletim ve dağıtım hattındaki sıcaklık düşüşlerini en alt düzeyde tutacak yalıtım kalitesi yüksek boru kullanmak ve boru hattındaki debileri yükseltmek gerekir. Düşük tüketici yoğunluğunun olduğu bölgelerde ısı kayıpları %30'a kadar ulaşabilmektedir. Yoğun yerleşim bölgelerinde bu kayıplar %3 ve daha aşağısındadır.

100 mm (DN) nominal çapındaki ve 35 mm poliüretan ile izole edilmiş bir ön yalıtımlı boru 100°C su sıcaklığında 28,4 W/m ısı kaybı değeri vermektedir. Aynı boruya 45 mm yalıtım yapıldığında aynı koşullarında 23,8 W/m ısı kaybı değeri vermektedir. Yine DN 400 mm çapındaki bir boruda 45 ve 65 mm kalınlıktaki yalıtımlarda sırasıyla 62,3 ve 49 W/m ısı kaybı olur. Aynı boru yalıtımsız olduğu zamanda 203 W/m ısı kaybı söz konusudur.

Eski galerili sistemlerde %30'a varan ısı kayıpları vardır. Ön yalıtımlı modern borularda kayıplar %3'e kadar indirilmiştir.

3.2.1.3 Sıcaklık Değişimlerinden Kaynaklanan Lineer Genleşmeler

Ön yalıtımlı borular normal işletme sıcaklığının altında bir sıcaklıkta monte edilmektedir. Bu borular işletmeye alındığında montaj sıcaklığından 10°C sıcaklık artışında 0,12 mm/m genleşme eğilimindedirler. Ön yalıtımlı borular bir bütün olarak çalışırlar. Çelik borunun genleşmesinden kaynaklanan kuvvetler üzerindeki yalıtım vasıtası ile dış kılıf boruya taşınır.

Borulardaki bu hareketi karşılayabilmek için kompansatör kullanmalı yada Omega, Z, L, U gibi gerilimi alacak şekilde tasarımlar yapılmalıdır.

3.2.1.4 Tasarım

Ön yalıtımlı boru hatlarının boru maliyeti ve sirkülasyon pompasının işletme maliyeti açısından optimizasyonu yapılmalıdır. Düşük debiler büyük boru çapları ve düşük basınç kayıpları vermektedir. Büyük debiler ise tasarım açısından tam tersi etkidedir.

Ön yalıtımlı boru hatlarında yüksek debi birçok yönden önemlidir. Düşük çaplardan dolayı maliyetler ve ısı kayıpları da düşecektir. Belirli bir mesafede aynı sıcaklıklarda eğer debi yarıya düşürülürse su sıcaklığı düşme miktarı iki katına çıkar. Aynı zamanda devredeki direnç dörtte birine düşürülürse, pompa işletme maliyeti sekizde bire düşer.

3.2.1.5 Debi

İki yollu vanalar ile yapılan, ısı arzının ayarlanması boru hattında değişken debilere sebep olmaktadır. Bu da değişken akış direnci demektir. Direnç, debi değişiminin karesi ile değişmektedir. Eğer debi yarıya düşerse, $V = 0,5$, kayıplar dörtte bire düşer, $0,5^2 = 0,25$.

3.2.1.6 Pompalar

Bölge ısıtma sistemlerinde santrifüj pompalar kullanılmaktadır. Buralarda kullanılan pompalar düşük debilerde daha büyük basınç artışları vermektedir. Aynı zamanda basınç ihtiyacı azaldıkça direnç, debi değişiminin karesiyle azalır. Yüksek basınç farkları kontrol vanalarında ses, zayıf kontrol şeklinde problemlere neden olur. Ayrıca pompa işletmesinde istenmeyen elektrik enerjisi tüketimlerine neden olur. Direnç debi değişiminin karesi ile değişirken, elektrik tüketimi küpü ile değişir.

Primer devredeki pompalar, basınç kontrolü yapabilmek için frekans kontrollü olmalıdır. Pompalar, yüksek kottaki ısı istasyonlarında yeterli su seviyesini temin etmek için gidiş borusuna konulmalıdır.

3.2.1.7 Basınç Kontrolü

Bölge ısıtma sistemleri, buhar basıncı ve en yüksek noktadaki ısı istasyonu ile üretim noktası arasındaki yükseklik farkından meydana gelen statik basınç altında çalışmaktadır. Bu durumda pompa gidişe konulmalıdır. Eğer üretim noktası statik olarak en yüksekte olursa pompa dönüş hattına bağlanır.

Üretim noktasındaki statik basınç maksimum su sıcaklığına bağlıdır. 120°C de 100 kPa ve 130°C de 200 kPa dır. Ayrıca bu basınca kazanın yüksekliği de kilo paskala çevrilmiş olarak

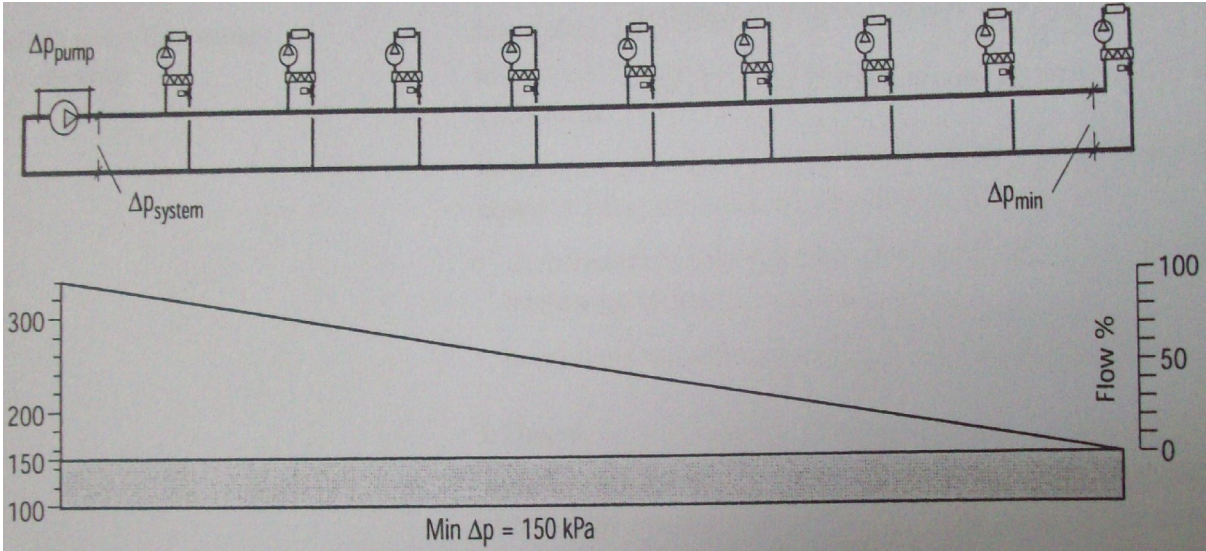
eklenir.

Eğer sirkülasyon pompası gidiş borusuna monte edilirse, emniyet marjı olarak statik basınca 10-20 kPa ilave etmek tüm sistemi su ile doldurmak için yeterlidir.

Bölge ısıtma sistemlerinde ısı dağıtım kurumu belli bir miktarda ısıyı vermek için taahhütte bulunur. Bu taahhüdü sağlayabilmek için her bir ısı tüketim noktasındaki istasyonda mümkün olan en düşük basınç olan 100-150 kPa basınç gereklidir. Primer devrede basınç farkı debiye bağlı olarak değişir. Pompa son istasyondaki basıncı tüm debilerde 150 kPa da sabit tutar. Diğer tüm istasyonlarda basınç farkı değişkendir. %100 debide maksimumdan, minimum debide yaklaşık 150 kPa a kadar bir değişkenlik gösterir. Kontrol vanaları mümkün olan en düşük debi olan 150 kPa a göre boyutlandırılmalıdır.

Isı istasyonundaki müsaade edilen basınç, pompaların dönme hızını kontrol eden frekans kontrolörlerinin sayesinde sabit tutulur. Buda aşağıdaki dört yöntem ile yapılır:

- Son tüketicide sabit basınç farkı
- Pompada sabit basınç farkı
- Proportional basınç farkı
- Boru sistemindeki dirence paralel



Şekil 3.1 Basınç kontrolü, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]

Son tüketicideki sabit basınç farkı, tüm ısı istasyonlarının ihtiyacı olan basıncı alacağını garanti eder. Tüketimin azalmasıyla daha düşük basınç farkı oluşur ve neredeyse sıfır debide düşük basınç farkı tüm sistemde yayılır. Vanalar için müsaade edilen basınç farkı minimum

debide belirlenir. Pompaya yakın vanalar maksimum debide olacaktır. Bu vanalar boyutlandırıldığından çok daha yüksek bir basınç farkına maruz kalacaktır.

Belirli işletme koşulları altında, kontrol vanalarındaki basınç çok düşebilir. Bu da kavitasyona neden olur. Bu vanalara zarar verir. Statik basınç yükselirse kavitasyon kesilir.

Pompa kontrolüne rağmen ısı istasyonundaki basınç, en yüksek debide istasyonun sisteme bağlandığı noktaya göre değişiklik gösterir. Üretim noktasına yaklaştıkça basınç da yükselir. Minimum debide sisteme ilk ve son bağlı üniteler arası basınç farkı da küçüktür. Kontrol vanaları da bu düşük basınca göre boyutlandırılmalıdır. En yüksek debiye göre seçilirse çok büyük boyutlar çıkacaktır. Bu da tüm sistemde zayıf bir kontrol, yüksek dönüş sıcaklığı ve sarkaç etkisine neden olacaktır.

3.2.1.8 Basınç Testi

Bir bölge ısıtma sistemi yada onun bazı parçaları kurulduğunda basınç testine tabi tutulmalıdır. Sistem tamamen şartlandırılmış su ile doldurulmalı ve havası alınmalıdır. Bundan sonra basıncı maksimum çalışma basıncından %30 arttırılır. Bu şekilde basınç en az 60 dakika sabit tutulmalı. Basınç testi süresince tüm ek yerleri ve bileşenler göz ile kontrol edilmeli ve basınç testinin tüm kayıtları bir süpervizör tarafından tutulmalıdır.

3.3 TÜKETİM

Tüketim noktası, binalardaki ısı istasyonlarıdır. Bunlar, kalorifer ve kullanma suyunu ısıtan eşanjörler, pompalar, otomasyon, ısı sayaçları ve diğer kazan dairesi ekipmanlarından meydana gelmektedir. Tüketim noktasını da bazı başlıklar altında incelemek mümkündür.

3.3.1 Isı Değiştiriciler (Eşanjör)

Isı değiştiricilerin bir çok türü bulunmakla beraber bölge ısıtma sistemlerindeki ısı istasyonlarında çoğunlukla plakalı tipler kullanılmaktadır.

Plakalı ısı değiştiriciler adından da anlaşılacağı üzere üzerinde sıvı akışını düzenleyecek şekilde tasarlanmış yüzeyleri bulunan yüksek ısı transfer kabiliyetli metal plakaların arka arkaya sıralanarak bir gövde haline getirilmesinden meydana gelmektedir.

Bunlardaki çalışma mantığı birincil (primer) ve ikincil (sekonder) devredir. Yani arka arkaya dizili plakaların aralarına birer plaka ara ile primer devre ısıtıcı akışkanı ve sekonder devre ısıtılacak akışkan girmektedir. Böylece her iki akışkan da birbirleri ile karışmadan

aradaki yüksek ısı transferi kabiliyeti bulunan plakalar vasıtası ile ısı alışverişi yaparlar.

Isı istasyonlarındaki eşanjörler özel yalıtım kılıfları ile ısı kaybına karşı izole edilmelidirler.

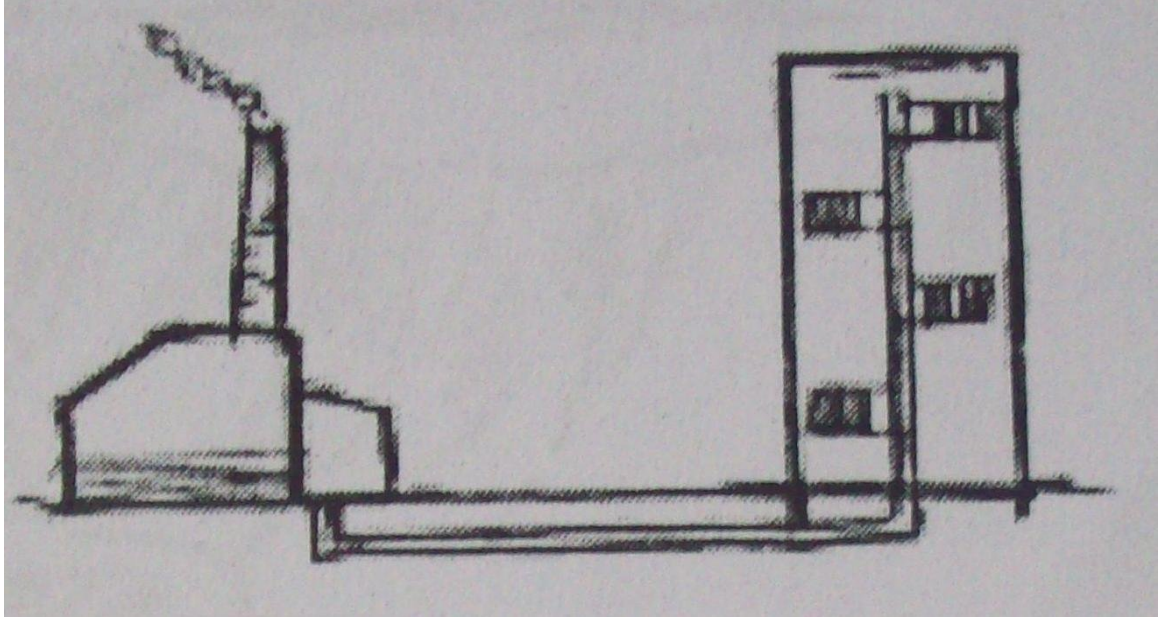
Primer ve sekonder devre akışkanlarındaki kirletici maddeler eşanjörlerin plakaları aralarında birikebilmektedirler. Çok dar olan plaka araları kolaylıkla dolarak eşanjör verimini düşürür. Dolayısı ile kullanılan su kalitesi bu noktada da önem arz etmektedir.

Eşanjör tasarımında akış dirençleri 20-50 kPa düzeyinde olmalıdır.

3.3.2 Tüketim Noktasının Bölge Isıtma Sistemine Bağlantı Şekilleri

Tüketicinin sisteme bağlantısında bir çok alternatif tasarım yapılabilmektedir. Ancak genel olarak aşağıdaki üç bağlantı şekli tercih edilmektedir.

- Doğrudan bağlantı
- Bir eşanjörlü bağlantı
- Her bir sekonder devre bölümü için ayrı bir eşanjör ile bağlantı



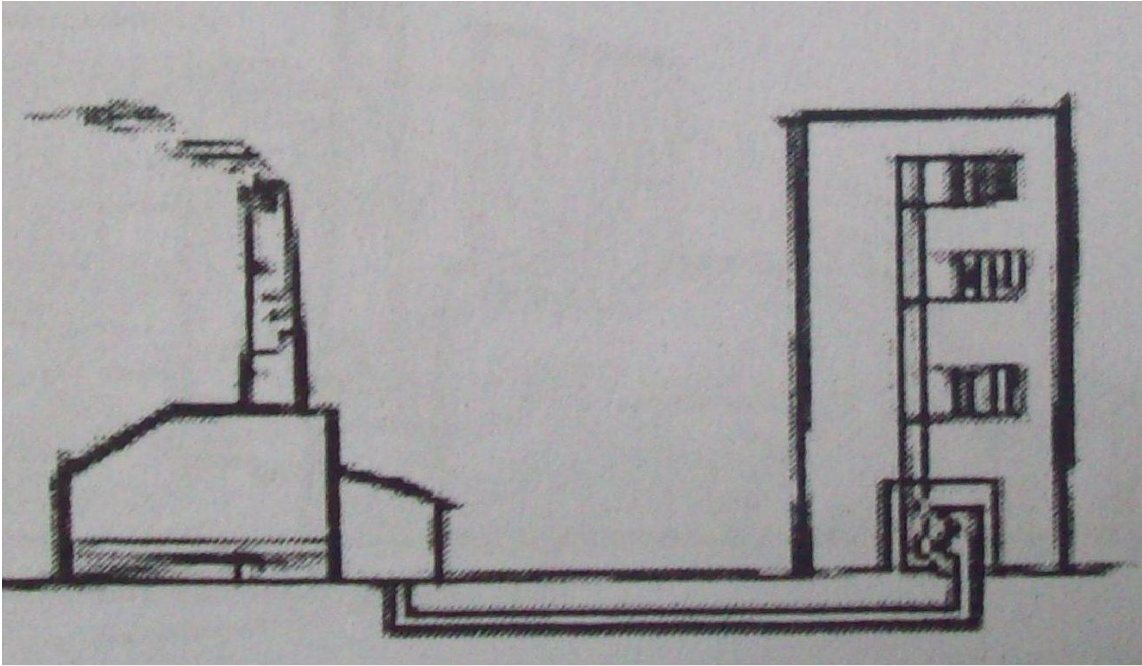
Şekil 3.2 Doğrudan bağlantı, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]

Doğrudan bağlantı düşük sıcaklıkta ($<100^{\circ}\text{C}$) işletilen bölge ısıtma sistemlerinde mümkündür. Çünkü şebekede dolaşan su doğrudan tüketim noktasındaki radyatörlere kadar ulaşmaktadır.

Doğrudan bağlantı, sistemin ilk yatırımında daha ucuzdur. Ancak uzun vadede tüm sistem daha hassas hale gelir. Tesisattaki herhangi bir noktadaki kaçak sistemdeki suyun boşalmasına neden olacaktır. Isı merkezindeki statik basınç apartmanlardaki radyatörlerin basıncını doğrudan etkileyecektir.

Diğer iki bağlantı şeklinde bina içi tesisatlar, bölge ısıtma sisteminden bir eşanjör vasıtası ile tamamen ayrılmıştır. Aynı yöntemle ön yalıtımlı boru hatları da yine bir eşanjör ile merkezi kazandan yada ısı kaynağından ayrılmaktadır. Dolayısı ile sistemin her bölümü kendine has sıcaklık ve basınçlarda işletilebilir.

Tüm bina için bir eşanjörün kullanıldığı sistemler çok büyük bir esneklik sağlamaktadır. Ayrıca düşük geri dönüş sıcaklıkları içinde iyi bir seçimdir. Bu tür sistemlerde binanın ihtiyacı olan toplam ısı miktarı bir primer devre eşanjöründe teslim edilmektedir. Daha sonra genellikle sekonder devrede radyatör, yerden ısıtma, havuz, kullanım sıcak suyu gibi sekonder devrelere pompalar vasıtası ile dağıtılmaktadır. Bu tür sistemlerde kullanım sıcak suyu hazırlanmasında serpantinli boyler yada eşanjörlü akümülayon tankları kullanılmaktadır.



Şekil 3.3 Eşanjörlü bağlantı, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]

Her bir sekonder devre için ayrı eşanjörün kullanıldığı sistemlerde tüm eşanjörler birbirine paralel olarak bağlanırlar. Sadece kullanım suyu ısıtmasında iki adımlı ısıtma olabilmektedir.

Öncelikle kullanım suyu, radyatör devresinden geri dönen primer devre suyu ile ısıtılır ve bunun yetmediği zamanlarda primer devreden ikinci bir ısıtma yapılır.

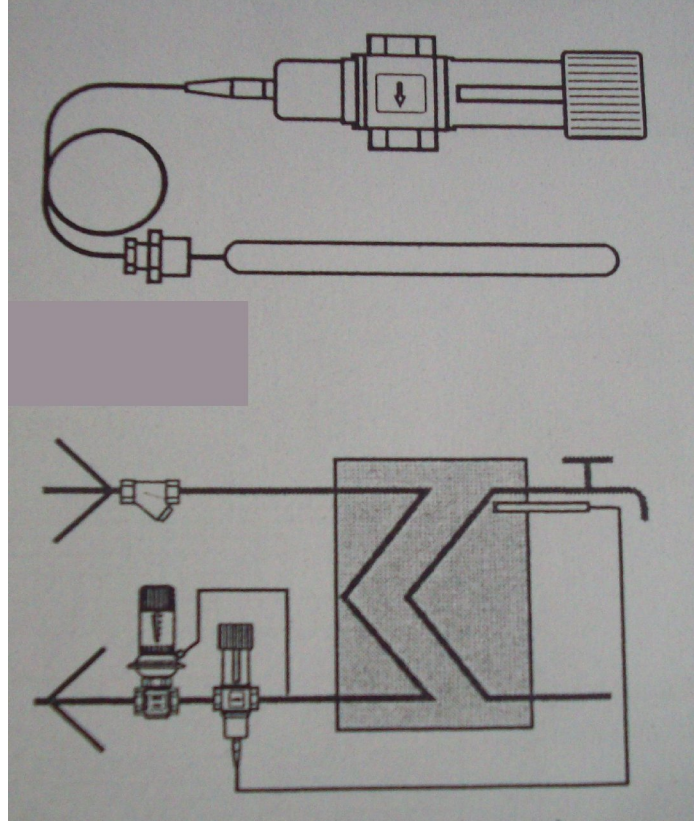
3.3.3 Elektronik Sıcaklık Kontrolü

Isıtma sistemlerinde sekonder devre suyunun sıcaklığı gerekli çeşitli sensörler ile donatılmış dış hava konpanzasyon panelleri ile kontrol edilmektedir. Kontrol vanası primer devreye konulur. Kullanım suyu sıcaklığı da yine depolandığı tanktaki yada musluklara gidiş borusundaki bir sensör vasıtası ile aynı panel tarafından kontrol edilip hazırlanabilmektedir.

Bu paneller ve sensörler aynı zamanda bir bilgisayara da bağlanabilmektedir. Dolayısı ile bir merkezi kumanda odasından ayarlanıp kontrol edilebilmektedir.

3.3.4 Termostatik Sıcaklık Kontrolü

Bu tür kontrol elemanları sıvı yada gaz sensörlü termostatik vanalardır. Sıcaklık ölçümünün yapılacağı noktaya daldırılan sensör içerisinde bulunan sıvı yada gaz bir kapiler tüp vasıtası ile kontrol vanasındaki ayar elemanına bağlıdır.



Şekil 3.4 Termostatik sıcaklık kontrolü, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]

Ölçüm yaptığı noktadaki sıcaklık değişimi ile sensör akışkanında hacmi değişmekte ve böylece vanaya hükmedilmektedir. Bu tür vanalar sadece sıcaklığı sabit tutmaktadır ve radyatörlü sistemlerin değişken sıcaklık kontrolünü yapamamaktadır. Buna rağmen kullanım suyu sıcaklığı sabit olduğu için bunu gayet iyi kontrol edebilmektedirler.

3.3.5 Kontrol Vanaları

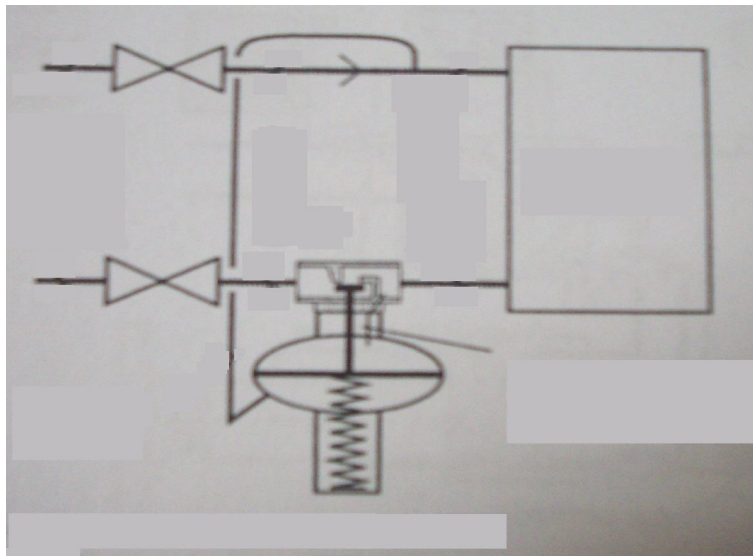
Vana kapasitesi tam açık vanadaki kvs değerine göre belirlenir. kv değeri vana üzerindeki 1 bar basınç kaybındaki gerçek debi değeridir.

İki yollu vanalar daima bölge ısıtma sistemlerinde ihtiyaçtan daha fazla suyun tüketim noktasına gitmesini engellemek için kullanılırlar. Bu da debi ve basıncın çeşitli işletme koşulları altında dikkate değer bir şekilde değişiklikler gösterebildiğine işarettir. Isı istasyonunun şebeke sirkülasyon pompasına yakın olduğu durumlarda bu değişimler daha da önemli olmaktadır. Hatta basınç kontrolü yapabilen bir pompa olsa bile.

Vana, mevcut en düşük basınca göre boyutlandırılmalıdır (100-150 kPa), bu eşanjör üzerindeki direnci de azaltır.

3.3.6 Fark Basınç Kontrolü

Bir fark basınç kontrolörü boru hattındaki iki nokta arasındaki basınç farkını hisseder ve iki impuls tüpü vasıtasıyla vana üzerindeki bir diyaframı harekete geçirerek sabit bir basınç farkını sağlayabilirler.



Şekil 3.5 Δp kontrolü ve devre örneği, [Danfoss, “8 Steps- Control Of Heating Systems”, Danfoss Firması Şirket İçi Teknik Eğitim Yayını]

Eğer bir fark basınç kontrolörü kontrol vanasından sonra akış yönüne, bir impuls tüpü kontrol vanasından önce diğeri sonra olacak şekilde yerleştirilirse; kontrol vanası üzerindeki basınç farkı, debiden bağımsız olarak sabit olacaktır. Mevcut basınçta meydana gelebilecek değişiklikler kontrol vanasını etkilemeyecektir.

Bir fark basınç kontrolörü aynı anda birçok kontrol vanasına hizmet edebilir ama sadece bir vana optimum koşullara ulaşabilir.

3.3.7 Debi Sınırlama

Her bir tüketim noktasının ısı yükü belirlendikten sonra ısı dağıtıcı tüm müşterilerinin ihtiyacına cevap verebilmek durumundadır. Dolayısı ile debi sınırlama önem kazanmaktadır. Tüketicinin ihtiyacından fazla ısı alması engellenerek şebekenin daha fazla müşteriye ulaşması sağlanabilmektedir. Debi kontrolü, fark basınç kontrolü ve debi sınırlaması işlemlerinin her biri ayrı bir vana ile yapılabildiği gibi hepsini birden yapabilen vanalarda mevcuttur. Ayarlanmış direnç üzerinden sabitlenmiş fark basınç, debi sınırlamaya yarar.

3.3.8 Enerji Tüketiminin Ölçülmesi

Herhangi bir binaya verilen ısı enerjisi miktarı ısı sayaçları (kalorimetre) vasıtası ile ölçülebilmektedir.

Isı sayaçları;

- Debimetre
- Sıcaklık Sensörleri
- Hesap Ünitesi

kısımlarından oluşmaktadır.

Isı sayaçları içerisinden geçen debi ve binaya giriş ve dönüş suyu sıcaklıklarının farkını ölçerek hesaplama yapmaktadır. Isı sayaçlarının debimetre kısımları mekanik yada ultrasonik olabilmektedir. Bölge ısıtma suyunun debisi ve soğuma miktarı değerleri ısı sayacının bilgisayarlı hesap ünitesi kısmında depolanmaktadır. Bu veriler aynı zamanda bir kablo yada modem yoluyla bir merkezi üniteye de aktarılabilmektedir.

Isı sayaçları aynı zamanda tüketicileri tasarrufa teşvik eder. Dolayısı ile sistem daha etkin hale gelir.

4. BÖLGE ISITMA SİSTEMİNİN EKONOMİK ALANININ BELİRLENMESİ

Bir bölge ısıtma sistemi kurulduğunda ve boru hatları toprağın altına gömüldüğünde oldukça önemli bir maliyet ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu tür bir yatırımın planlaması da uzun süreli bir çalışmayı beraberinde getirmektedir. Böyle bir sistemin 30 - 40 yıl hayatta kalması gerekmektedir. Aynı zamanda gelecekteki gelişmeleri de dikkate alınmalıdır. Dolayısı ile böyle bir yatırımı yapmadan önce ne mertebede maliyetler ile karşılaşılacağı bilinmeli ve bu yatırımın düşünülen bölge için uygun olup olmadığının değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu tür işletmelerde yatırım maliyeti kadar işletme maliyeti de önemlidir. Dolayısı ile yatırımı yaptıktan ve sistemi işletmeye aldıktan sonra oluşacak olan işletme maliyetleri de bilinmelidir.

Bölge ısıtma sistemlerinde en önemli bileşenler üretim tesisleri, ısı iletim ve dağıtım hatları ve tüketim noktalarıdır. Bu çalışmada üretim tesisinin planlanması ve yatırımı konusundan bahsedilmemiştir. Isı kaynağının halihazırda var olduğu durumlarda bu kaynaktan yakın çevredeki yerleşimlerin faydalanabilmesi için gerekli yatırım ve işletme maliyetleri incelenmiştir.

Bölge ısıtma sistemlerinde hem yatırım hem de işletme maliyetini en çok etkileyen ana kalem iletim ve dağıtım hatlarıdır. Boru hatlarında ise maliyeti belirleyen en önemli parametre boru çaplarıdır. Boru çaplarının seçiminde yapılabilecek çeşitli varyasyonlar ile yatırım ve işletme giderleri değişkenlik gösterecektir.

Boru çapları belirlenmeden önce kurulacak sistemin bazı değerlerinin belirlenmesi gerekir. Bunlar, dağıtım alanı, ısı talebi, boru hattının genel bir projesi ve geçeceği arazinin tespitidir. Ayrıca gelecekte olabilecek gelişmelerin de bir öngörüsü yapılmasında fayda vardır.

4.1 Masrafların Tanımlanması

Bir bölge ısıtma şebekesi tasarlandığında ilk kurulum esnasındaki yatırım masrafları en alt düzeyde tutacak şekilde yada sistemin tüm ömrü boyunca toplam yatırım ve işletme maliyetini en düşük seviyede tutacak şekilde bir optimizasyon yapılabilir. Bölge ısıtma sistemi masrafları iki başlık altında toplanabilir ve bunlarda kendi aralarında alt başlıklara ayrılırlar:

- İlk yatırım masrafları
 - Temel şebeke masrafları, CCŞ
 - Temel pompa masrafları, CCP
- İşletme masrafları

- Isı kaybı masrafları, CIK
- Pompalama masrafları, CP
- Bakım masrafları, CB
- Üretim masrafları, CÜRT

Burada ısı kaybı, pompa, pompalama ve bakım masrafları boru çapı ve uzunluğunun fonksiyonlarıdır. Üretim masrafı ve boru çapı ise toplam ısı yükü ve su sıcaklığının bir fonksiyonudur.

Çeşitli varyasyonların toplam ömür maliyetlerini birbirleri ile karşılaştırıp en uygun olanı seçebilmek için “Net Şimdiki Değer Metodu” (NŞD) kullanılır. Bu yöntemde yıllık masraflar, şebekenin kurulduğu yıldaki değerine getirilir. Bunu yapabilmek içinde sistemin ömrüne karar verilmelidir. Bu tür sistemlerde genellikle 20 – 30 yıl ömür seçilir.

Net şimdiki değer aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$N\text{ŞD} = CC\text{Ş} + CCP + \sum_{n=1}^t \frac{CIK}{(1+i)^t} (1+e_i)^t + \sum_{n=1}^t \frac{CB}{(1+i)^t} (1+e_b)^t + \sum_{n=1}^t \frac{CP}{(1+i)^t} (1+e_p)^t + \sum_{n=1}^t \frac{C\text{ÜRT}}{(1+i)^t} (1+e_ü)^t \quad (4.1)$$

t= ömür, i = iskonto oranı, e= eskalasyon oranı

Bir maliyetin herhangi bir yıldaki değerini bulmak için gelecek değer faktörü ile çarpılır;

$$S_n = C \times (1+e)^n \quad (4.2)$$

eşitliği kullanılır. Burada;

Sn= n yıl sonraki gelecek değeri

C= Bugünkü değeri

e= Enflasyon yada eskalasyon oranını ifade etmektedir.

n yılındaki bir maliyetin bu günkü değerini bulmak için;

$$C = S_n \times (1+i)^{-n} \quad (4.3)$$

eşitliği kullanılır. Burada;

i= İskonto oranı

Amortisman Faktörü;

$$a = \frac{i + (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4.4)$$

Geometrik olarak artan bir serinin şimdiki değerini bulabilmek için, geometrik seri şimdiki değer faktörü ile çarpılır;

$$a_1 = \frac{1 - (1+e)^n \times (1+i)^{-n}}{i - e} \quad (4.5)$$

Temel şebeke masrafları ve ısı kaybı masrafları boru çapı arttıkça artmaktadır. Buna karşılık temel pompa masrafları ve yıllık pompalama masrafları borulardaki direnç azalacağı için azalmaktadır. Amaç toplam net şimdiki değer en düşük olduğu çapı bulmak olmalıdır.

İletim, dağıtım ve branşman hatlarının tasarımı için birçok yöntem kullanılabilir.

İletim hatlarını tasarlarken optimum tasarımı bulmak için NŞD şebekede kısım kısım minimize edilmelidir. İletim hatlarının bazı bölümlerinde negatif basınç farkı almak mümkündür. Daha sonra boru çapı seçildiğinde gerekli basınç seviyelerini karşılayan pompa konfigürasyonu belirlenir. Bu aşamada tüketim noktasındaki ısı istasyonlarındaki eşanjörlerde negatif basınç farkı oluşmamasına dikkat etmek gerekmektedir.

Büyüklüğüne bağlı olarak çoğu iletim hattının kurulumu 10 yıllık bir süreye yayılmaktadır. Dolayısı ile farklı aşamalarda üretim ve ısı talebi açısından çeşitli değişikliklerle karşılaşmakta ve bunlar dikkate alınmak durumundadır. Yani her yeni yılda iletim hattı biraz daha ilerletilmekte ve ona çeşitli dağıtım hatları bağlanmaktadır.

Bu tür bir iletim hattı tasarımına çoklu yüklemeli durum tasarımı denmektedir. Bu tasarım şekli de temelde yukarıda bahsedilen şekilde yapılmaktadır ancak daha fazla hesaplama yapılmak durumundadır. Dolayısı ile böyle tasarımlarda simülasyon kullanmak işi kolaylaştırır.

Bir dağıtım şebekesinde tüketim noktasındaki gerekli minimum fark basınç ve şebekedeki basınç seviyesi genellikle önceden tayin edilir. Bu durumda toplam basınç kaybı bilindiği için pompa yatırım masrafı ve pompalama işletme masrafı bilinebilir.

Dolayısı ile dağıtım şebekelerinin tasarımında amaç temel yatırım maliyetlerini minimize etmektir. Dolayısı ile ısı kaybı masrafları minimize edilmiş olacaktır. Bu da şebekenin optimum tasarımına etki edecektir. Dağıtım hattının tasarımında da bir çok değişik yük varyasyonu ve geleceğe yönelik büyümeler dikkate alınmalıdır.

Bahsedilen bu tasarım yöntemlerini sınırlayan bir koşul vardır. Bu da boruların taşıyabileceği maksimum debidir. Yüksek debilerdeki ses ve dalgalar halinde gitme riski bir üst sınır getirmektedir. Bu nedenle tesisattaki dolaşım hızı aşağıdaki gibi sınırlanmıştır [4]:

- İletim hatlarında : 3-3,5 m/s
- Ana dağıtım hatlarında : 2,5-3 m/s
- Branşman hatlarında : 1,5- 2 m/s

4.1.1 İlk Yatırım Masrafları

İlk yatırım masrafları şebekenin kurulumu sırasında yapılan temel şebeke (CCŞ) ve temel pompa (CCP) masraflarıdır.

4.1.1.1 Temel Şebeke Masrafları

Temel şebeke masraflarını boru hattının imalatı için yapılan işlemler oluşturmaktadır. Bunlar:

- Boru ve ek parçalarının, aksesuarlarının satın alınması, Cboru
- Kanal kazı, kapama ve çevre düzenlemesi işleri, Ckazi
- Hattın montaj işçiliği masrafları, Cmontaj
- Hattın geçeceği arazinin kamulaştırılması masrafları, Ckamu

$$CCŞ = Cboru + Ckazi + Cmontaj + Ckamu \quad (4.6)$$

Cboru

Borunun taşıyacağı ısı yükü ve akışkan sıcaklığına göre aşağıdaki eşitlikten boru çapı hesabı yapılır:

$$D = \sqrt[5]{\frac{8 \times f \times L \times \dot{V}^2}{\Delta P \times g \times \pi^2}} \times 1000 \quad (4.7)$$

D= Boru Çapı [mm]

f= Sürtünme katsayısı

L= Boru boyu [m]

\dot{V} = Akışkan debisi [m³/s]

ΔP = Basınç kaybı [mSS]

g= Yerçekimi ivmesi [m/s²]

Akışkan debisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\dot{V} = \frac{Q}{\Delta T \times \rho \times C_p} \quad (4.8)$$

Q= Isı Yüğü [kW]

ΔT = Gidiş ve dönüş sıcaklık farkı [°K]

ρ = Yoğunluk [kg/m³]

C_p= Özgül ısı [kJ/kgK]

Burada;

$$\rho = 957 \text{ kg/m}^3$$

C_p= 4,184 kJ/kgK olarak alınır.

Ayrıca boru çapı ve debi hesapları yapıldıktan sonra o borudaki hız kontrolü yapılır. Borudaki hız aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$v = \frac{\dot{V}}{A} \quad (4.9)$$

v= Suyun hızı [m/s]

A= Boru kesit alanı [m²]

Boru kesit alanı da aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (4.10)$$

Boru çapı hesabı yapıp, tesisat hızı da kontrol edilerek çapa karar verildikten sonra borunun işletme basıncı ve buna bağlı olarak boru et kalınlığı belirlenir.

İşletme basıncı hesabı;

$$P_{i\text{şl}} = P_{st} + P_{kyp} + P_{doy} + 0,5 \quad (4.11)$$

P_{işl}= İşletme basıncı [bar]

P_{st}= Üretim noktası ile boru parçası arasındaki kot farkından gelen basınç [bar]

P_{kyp}= Borudaki sürtünmeden meydana gelen basınç kaybı [bar]

P_{doy} = İşletme sıcaklığına göre buhar tablolarından suyun doyma basıncı [bar]

Ayrıca 0,5 bar emniyet basıncı olarak toplama eklenir.

ST 37 (P195GH) çeliği için boru et kalınlığı hesabı;

$$t = \frac{P_{\text{işl}} \times D}{2 \times S \times 10} \quad (4.12)$$

eşitliği ile yapılır.

t = Boru et kalınlığı [mm]

S = Emniyet gerilmesi [MPa], akma gerilmesinin yarısı alınır

Akma gerilmesi, TS-EN 10216/2 ye göre P195GH çeliğinin akma gerilmesi değerlerinin sıcaklığa göre değişimi tespit edilerek akma gerilmesi eşitliği bulunmuş ve bu eşitlikte sıcaklığa göre akma gerilmesi hesaplanmıştır.

$$C_{\text{boru}} = \sum_{i=1}^n L_{\text{boru}_i} F_{\text{boru}_i} \quad (4.13)$$

F_{boru} = Boru birim fiyatı [TL/m]

C_{montaj}

Bu tür sistemlerde iki çeşit montaj fiyatı ile karşılaşmaktayız. Bunlardan birincisi her çapa göre değişen birim boru uzunluğu montaj fiyatıdır. Diğeri de her çapa göre değişen birim kaynak ile birleştirme ve ek yeri yalıtımı fiyatıdır. Her bir kaynak ve o kaynak noktasının yalıtımına bir “conta” adı verilirse;

$$C_{\text{montaj}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{ontamiktari}_i} F_{\text{montaj}_i} \quad (4.14)$$

F_{montaj} = Montaj birim fiyatı [TL]

$$C_{\text{ontamiktari}} = \frac{L_{\text{boru}}}{L_{\text{boy}}} \quad (4.15)$$

L_{boru} = Boru hattı uzunluğu [m]

L_{boy} = Bir boy boru uzunluğu [m]

C_{kazı}

Her çap için uygun kanal genişliği ve derinliği tespit edilir ve daha sonra kanal hacmi hesaplanır. Kazılıp yeniden doldurulacak kanal maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{kazi} = A_{kanal} \times L_{kanal} \times F_{kazi} \quad (4.16)$$

A_{kanal} = Kanal kesit alanı [m²]

L_{kanal} = Kanal uzunluğu [m]

F_{kazi} = Birim kanal hacmi için kazı ve kapama maliyeti [TL/m³]

Kanal kesit alanı ise;

$$A_{kanal} = H \times B \quad (4.17)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Burada;

H = Kanal derinliği [m]

B = Kanal genişliği [m] dir.

Ckamu

Kamulaştırma maliyeti, boru hattının geçeceği arazinin kamulaştırılması ile ilgili maliyetlerdir. Bunlar tapuya işleme, istimlak vb. tutarlardan oluşmaktadır. Bölge ve ülkelere göre değişkenlik gösterebilir. Araştırmalarda bununla ilgili genel bir bilgi verici maliyet bulma yöntemine rastlanamamıştır.

4.1.1.2 Temel Pompa Masrafları

Bu tür sistemlerde kullanılan pompalar özel proje tipi cihazlar olduğu için bunlara ait belli bir liste fiyatı bulunmamaktadır. Pompa fiyatlarının hesaplamasını endüstriyel tesisler için piyasada pompa üretenlerden alınan çeşitli kapasitelerdeki pompa fiyatları değerlendirilerek oluşturulmuştur. Buna göre;

$$CCP = (0,57 \times \dot{V} \times H) + 835,5 \quad (4.18)$$

4.1.2 İşletme Masrafları

Bölge ısıtma sistemleri işletme masrafları aşağıda sıralanmıştır :

- Isı kaybı masrafları, CIK
- Pompalama masrafları, CP
- Bakım masrafları, CB
- Üretim masrafları, CÜRT

Burada ısı kaybı, pompalama ve bakım masrafları boru çapı ve uzunluğuna bağlıdır. Üretim masrafı ise sistemin ısı yükü ve ısı kaybına bağlı olarak değişir.

4.1.2.1 Isı Kaybı Masrafları

$$CIK = \sum_{i=1}^n Q_{kayıp_i} Fa_i \times h \quad (4.19)$$

Burada;

$Q_{kayıp}$ = Borudaki toplam ısı kaybı [W]

Fa = Isı enerjisi birim fiyatı [TL/W_{th}h]

h = İşletme süresi [h]

$$Q_{kayıp} = \sum_{i=1}^n L_i Q_{boru_i} \quad (4.20)$$

Q_{boru} = 1 metre boru için ısı kaybı [W/m]

$$Q_{boru} = 2 \times (U_1 - U_2) \times \left(\frac{t_f + t_r}{2} - t_s \right) \quad (4.21)$$

$$U_1 = \frac{R_s + R_i}{(R_s + R_i)^2 - R_h^2} \quad (4.22)$$

$$U_2 = \frac{R_h}{(R_s + R_i)^2 - R_h^2} \quad (4.23)$$

U = Isı kayıp katsayısı [Watt / mK]

R_s = Toprağın yalıtım direnci [m°C / Watt]

R_i = Pur yalıtım direnci [m°C / Watt]

R_h = İki boru arasındaki boşluğun direnci [m°C / Watt]

$$R_s = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_s} \times \ln \frac{4 \times Z_c}{D_c} \quad (4.24)$$

$$R_i = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_i} \times \ln \frac{D_{pur}}{d_0} \quad (4.25)$$

$$R_h = \frac{1}{4 \times \pi \times \lambda_s} \times \ln \left(1 + \left(\frac{2 \times Z_c}{C} \right)^2 \right) \quad (4.26)$$

λ_s = Toprak ısı iletim katsayısı [Watt / mK]

λ_i = Pur ısı iletim katsayısı [Watt / mK]

D_{pur} = Pur izolasyon çapı [m]

D_c = Dış kılıf boru çapı [m]

d_0 = Boru dış çapı [m]

C = Borular eksenler arası mesafesi [m]

Z_c = Düzeltilmiş toprak derinliği [m]

$$Z_c = Z + (0,0685 \times \lambda_s) \quad (4.27)$$

Z = Toprak yüzeyi ile boru merkezi arası yükseklik [m]

Borudaki birim ısı kaybı;

t_f = Gidiş suyu sıcaklığı [°C]

t_r = Dönüş suyu sıcaklığı [°C]

t_s = Z derinlikteki sıcaklığı [°C]

4.1.2.2 Pompa İşletme Masrafları

Pompa işletme masrafları (CP) pompaların yıllık harcadıkları elektrik enerjisinin masraflarıdır. Pompanın saatlik enerji tüketimi ısıtma bölgelerinin ısı talebi ile değişeceğinden pompalar yıl boyu maksimum kapasitede de çalışmayacaklardır. Yıllık gerçek enerji tüketimini bulabilmek için pompa yük faktörü kullanılmıştır. Bu değer yıllık ısı miktarına bağlı olarak değişecektir.

$$CP = F_e \times E_{ep} \quad (4.28)$$

Burada;

F_e = Elektrik enerjisi birim fiyatı [TL/kW_eh]

E_{ep} = Pompanın yıllık enerji gereksinimi [kW_eh/yıl]

$$E_{ep} = 8760 \times N_p \times L_{fp} \quad (4.29)$$

N_p = Pompa Gücü [kW_e]

L_{fp} = Pompa yük faktörü

$$N_p = \frac{ms \times \Delta p}{\rho \times \eta_p \times 10^3} \quad (4.30)$$

ms = Kütleli debi [kg/s]

Δp = Basınç farkı [N/m²]

η_p = Pompa verimi

$$ms = \frac{\pi \times D_i^2 \times v \times \rho}{4} \quad (4.31)$$

D_i = Boru iç çapı [m]

$$\Delta p = \frac{f \times L \times v^2 \times \rho}{2 \times D_i} \quad (4.32)$$

$$v = \frac{4 \times Q_{max}}{\pi \times D_i^2 \times \rho \times Cp \times \Delta T} \quad (4.33)$$

4.1.2.3 Bakım Masrafları

Bakım masraflarını herhangi bir formülasyona bağlayabilmek mümkün değildir. Ancak dünya genelinde işletilen sistemlerin incelenmesi sonucu belirli yaklaşımlar elde edilebilmiştir. Bunlardan en gerçekçi olanı, işletilen sistemin ısı yükü üzerinden MW başına 2 USD yıllık bakım masrafı kabul edilebilmektedir.

4.1.2.4 Üretim Masrafları

Üretim masrafları ısı kaynağının tipine göre değişebilmektedir. Jeotermal kaynaklı sistemlerde yakıt maliyeti olmamakta sadece ısı enerjisinin kaynaktan çıkarılabilmesi için gerekli işletme maliyetleri vardır. Sadece ısı enerjisi üretmek üzere kurulan ısı merkezlerinde kullanılan yakıtın maliyeti ve bu santralin işletme maliyeti üretim masraflarını oluşturmaktadır. Bileşik ısı güç sistemlerinde ise yakıt ve işletme maliyetinin yanı sıra

elektrik üretim kaybından da ortaya çıkan maliyet dikkate alınmaktadır.

4.2 Örnek Sistem Hesaplaması ve Karşılaştırmalar ile Genel Değerlendirme

Yukarıda anlatılan hesaplamalar doğrultusunda Esenkent Bölge Isıtma Sistemi'ne dahil edilmesi planlanan Akkoza toplu konut alanına ait değerler hesaplanmış ve bu çalışmada kullanılmıştır. Buna göre:

Toplam Konut Eşdeğeri : 6.650 adet

İletim Hattı Uzunluğu : 250 metre dir.

Bu bilinenlere göre Esenkent'in 3 yıllık ortalama ısı tüketim değerleri hesaplanmış buna göre Akkoza için konut başı ortalama yıllık ısı tüketim değeri 13.133,55 kW_{th}h kabulü yapılmıştır. Yine Akkoza konut alanı için toplam ısı yükü inşaat firmasından elde edilmiştir:

Toplam Isı Yüğü : 68.500.000 kcal/h

Ayrıca bölge ısıtma sistemlerinin dağıtım hattı tasarımı ve hesaplamaları başlı başına bir araştırma konusu olduğundan bu hesaplamalara girilmemiş yalnızca çeşitli koşullar altında iletim hattının hesaplamaları değerlendirilmiştir.

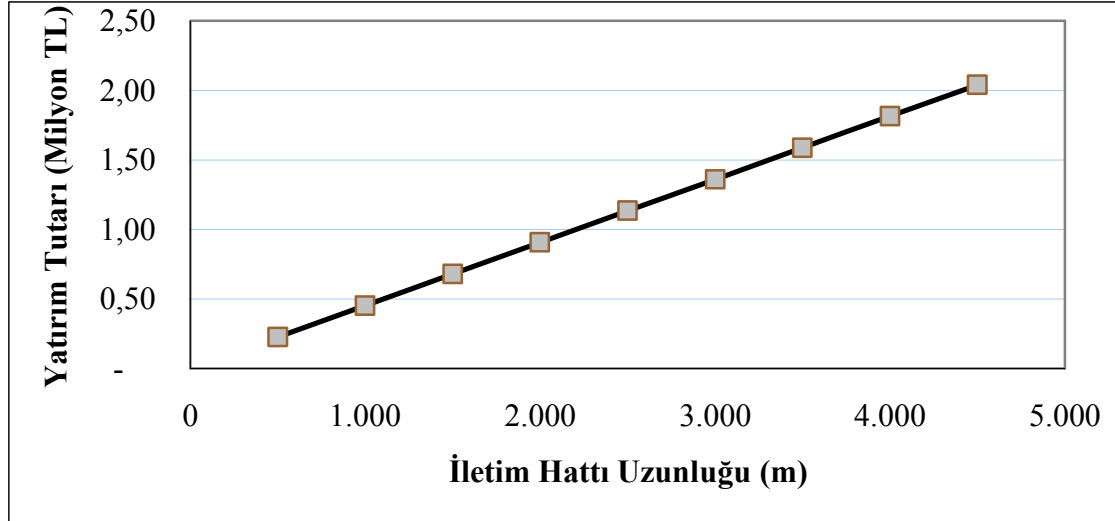
Çizelge 4.1 Çeşitli Bölge Isıtma Sistemlerinin Dağıtım Hatlarının İncelemesi

BIS	Toplam Alan (x1000m ²)	Eşdeğer Konut Sayısı	Yoğunluk (konut/m ²)	Yatırım Tutarı (x1000TL)	Konut Başı Yatırım (TL/konut)	Arazi Başı Yatırım (TL/m ²)
Akkoza	406	6.650	0,0164	3.100	466	7,64
Boğazköy	1.460	7.000	0,0048	11.500	1.643	7,88
Esenkent	1.140	10.000	0,0088	5.000	500	4,39
Yatağan	1.550	4.667	0,0030	10.700	2.293	6,90

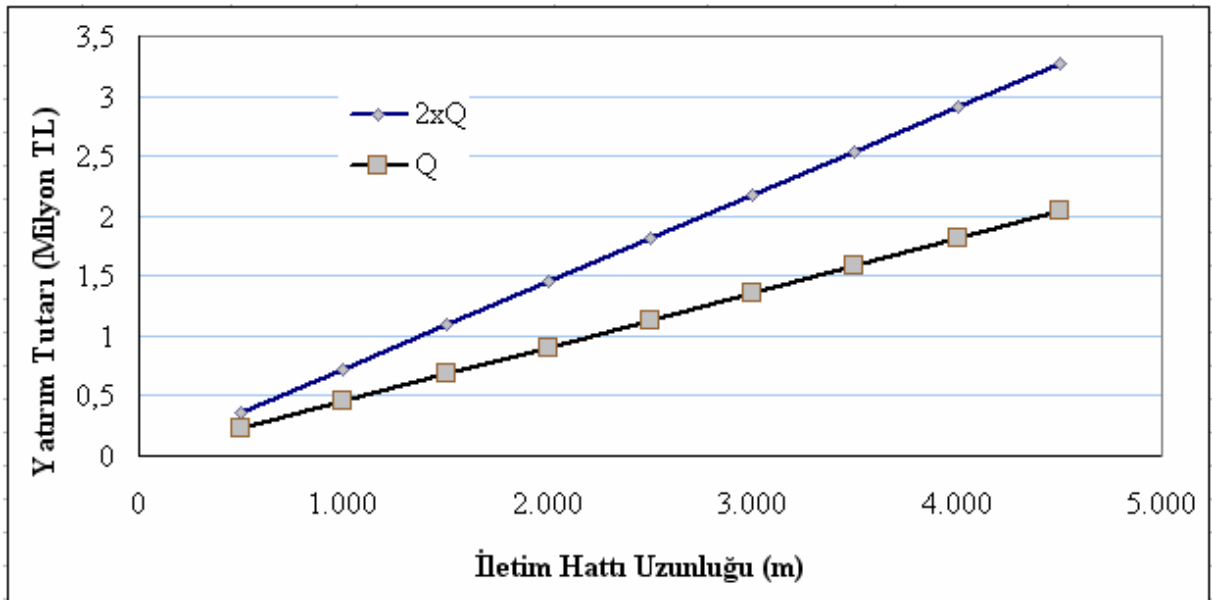
Dağıtım hattı için Türkiye'de gerçekleştirilmiş ve projelendirme aşamasında olan kızgın sulu bölge ısıtma sistemlerinin gerçek maliyetleri kullanılarak yapılan analiz çalışması sonucu Çizelge 4.1 de verilmiştir. Bu çizelgeye göre konut yoğunluğu arttıkça dağıtım hattı yatırım maliyetinin düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde konut başına düşen yatırım maliyeti de düşmektedir.

4.2.1 İletim Hattı İncelemesi

4.2.1.1 Sabit Çapta Santral Uzaklığının Değişiminin İletim Hattı Yatırımına Etkisi



Şekil 4.1 Akkoza ısı yükü için iletim hattı yatırımının mesafeye göre değişimi



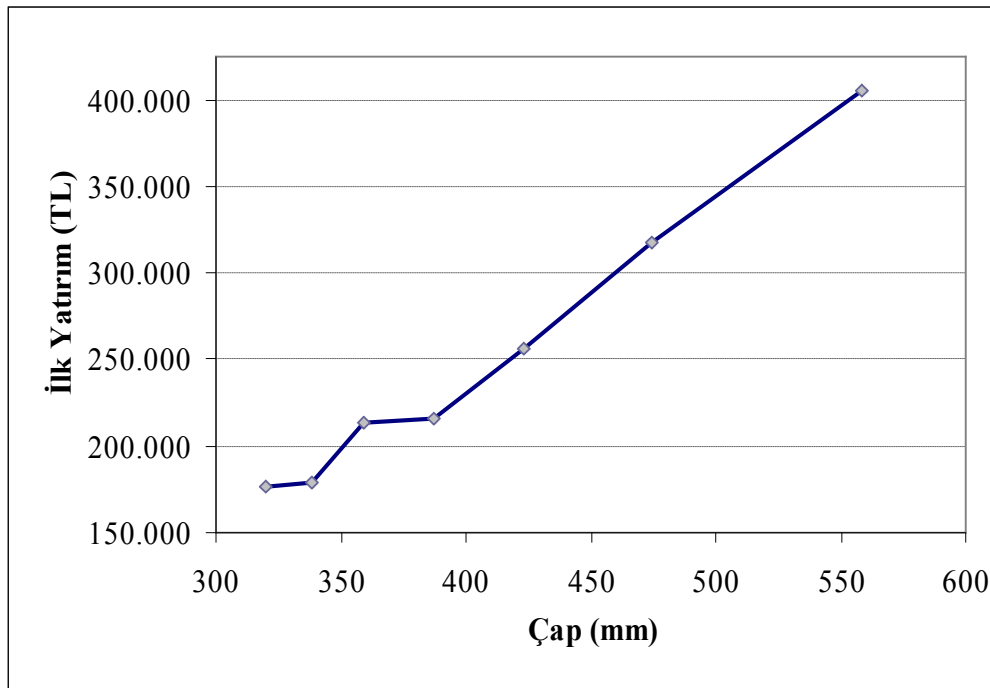
Şekil 4.2 Akkoza ısı yükü iki katına çıkarıldığında iletim hattı yatırımının mesafeye göre değişimi

Belirlenen ısı yükü için çap (DN450) sabit tutularak yalnızca ısı üretim tesisinin mesafesinin değişimi ile iletim hattı yatırım maliyetinin değişimi incelendiğinde Şekil 4.1 deki grafik elde

edilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere her 1 km'de yaklaşık 500.000 TL yatırım gerekmektedir. Lineer artmaktadır.

İletim hattı uzunluğu sabit iken bölgedeki ısı yükünün iletim hattı yatırım masraflarına etkisinin değerlendirilmesi amacı ile ısı yükü iki katına çıkarıldığında ise yatırım maliyeti değişimi Şekil 4.2 deki gibi olmaktadır. Grafiklerden de görüldüğü gibi iletim hattı uzunluğu ile yatırım tutarı doğrusal olarak değişmektedir. Ancak ısı yükü iki kat arttırıldığında yatırım tutarı da iki kat artmamaktadır. Bunun nedeni ısı yükü ile çapın doğrusal artmamasıdır. Bu nedenle iletim hattı sabit iken bölge ısıtma yükünün artması konut başına iletim hattı yatırım masraflarını düşürmektedir.

4.2.1.2 Sabit Mesafede Boru Çapı Değişiminin İletim Hattı Yatırımına Etkisi



Şekil 4.3 Akkoza ısı yükü için iletim hattı yatırımının çapa göre değişimi

Isı üretim tesisinin mesafesi Akkoza örneğindeki gerçek değeri olan 250 metre alınarak ΔT değiştirildikçe oluşan boru çapları ve yatırım maliyetleri incelendi. İletim hattı çapı değişimi ile yatırım maliyetlerinin değişimi Şekil 4.3'de verildi. Şekilden görüleceği üzere kabul edilen ΔT hesaplanan boru çapı arttıkça yatırım maliyetini de artmaktadır. Ancak hesaplanan belli çaplara karşılık üretim standartlarından dolayı aynı çapta boru karşılık gelmekte, bunlarda grafikte yatay olarak görülmektedir. Ayrıca hesaplanan diğer parametrelerin değişimini de Çizelge 4.2 de incelemek mümkündür. Çizelge 4.2 de de görüldüğü gibi ΔT arttıkça şebekede

dolaşan debi düşmekte ve buna bağlı olarak boru çapı ve yatırım maliyeti azalmaktadır.

Çizelge 4.2 Çeşitli Bölge Isıtma Sistemlerinin Dağıtım Hatlarının İncelemesi

ΔT (°K)	Debi (m ³ /s)	Hesaplanan Çap (mm)	Seçilen Çap (mm)	İletim Hattı ve Pompa Yatırımı (TL)
20	0,995	558	600	405.137
30	0,663	474	500	317.941
40	0,497	423	450	255.856
50	0,398	387	400	215.989
60	0,332	359	400	213.370
70	0,284	338	350	178.370
80	0,249	320	350	176.967

4.2.2 Tüketici Isı Satış Maliyetinin İncelenmesi

Bir bölge ısıtma sistemi kurulduğunda yapılan şebeke yatırımı sonucunda ısı enerjisinin tüketiciye hangi fiyattan satılacağını belirlemek gerekir. Isı fiyatını hesaplayabilmek için öncelikle ilk yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Bunlar; ısı kaynağı ile tüketim alanı arasındaki iletim hattı yatırımı, ısı enerjisini tüketim noktalarındaki binalara ulaştıran dağıtım hattı yatırımı ve pompa yatırımı maliyetleridir.

Çizelge 4.3 Çeşitli Bölge Isıtma Sistemlerinin Dağıtım Hatlarının İncelemesi

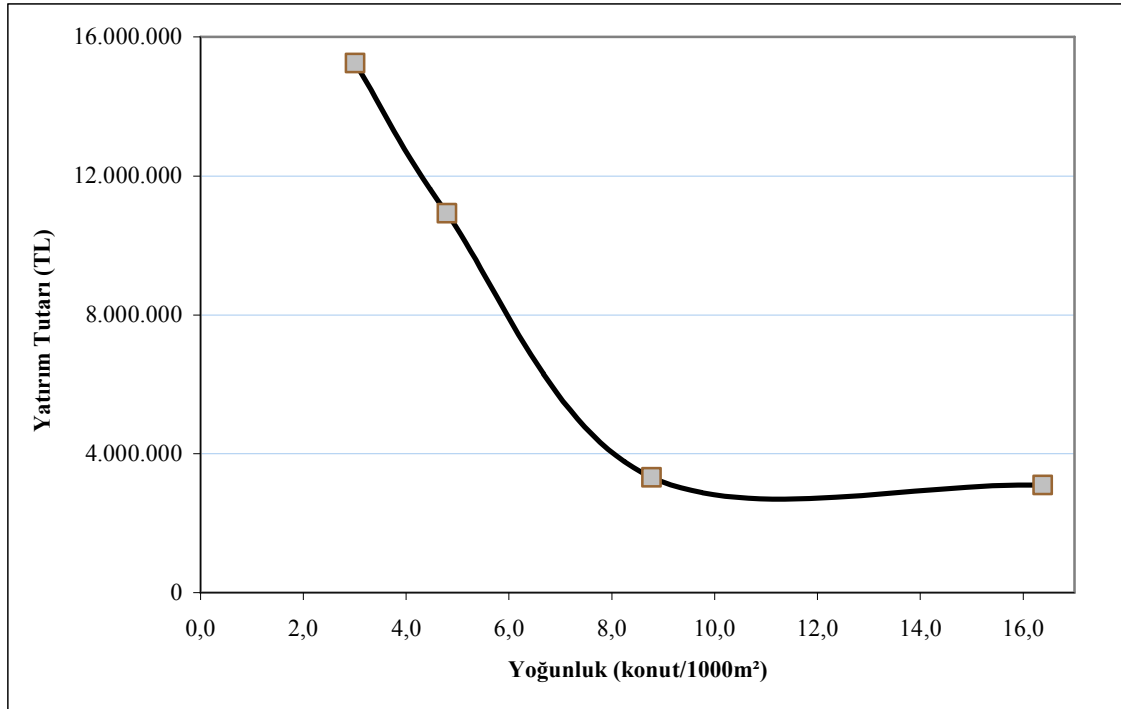
BIS	Toplam Alan (x1000m ²)	Eşdeğer Konut Sayısı	Yoğunluk (konut/m ²)	Yatırım Tutarı (x1000TL)	Konut Başı Yatırım (TL/konut)	Arazi Başı Yatırım (TL/m ²)	Yoğunluğa Göre Yatırım Tutarı (x1000TL)
Akkoza	406	6.650	0,0164	3.100	466	7,64	3.100
Boğazköy	1.460	7.000	0,0048	11.500	1.643	7,88	10.925
Esenkent	1.140	10.000	0,0088	5.000	500	4,39	3.325
Yatağan	1.550	4.667	0,0030	10.700	2.293	6,90	15.246,50

Dağıtım hattı ve yatırım tutarı hesapları başlı başına bir araştırma konusu olduğundan bu çalışmada doğrudan gerçek bölge ısıtma sistemleri yatırım bilgileri kullanılmıştır. Çizelge 4.1

de verilen bu bilgiler, karşılaştırmanın gerçekçi olabilmesi için tek bir ısı yükü ve konut projesi üzerinden yapılacak hale getirilmiştir. Yine Akkoza projesinin eşdeğer konut sayısı ve ısı yükü alınmıştır. Bu konut sayısı diğer farklı konut yoğunluğundaki sistemlerin konut başı maliyet değeri ile çarpılarak dağıtım hattı yatırım tutarı hesaplanmıştır. Hesaplar sonucu Çizelge 4.1 aşağıdaki Çizelge 4.3 haline gelmiştir.

Çizelge 4.3 den de anlaşılacağı gibi Esenkent ile Akkoza arasında yoğunluk farkı iki katı olmasına rağmen dağıtım hattı yatırım tutarı farkı aynı oranda değildir. Bu da dağıtım hattı yatırım tutarının yoğunluğa göre değişmesine rağmen doğrusal olarak değişmediğini ve hatta belli bir değerden sonra neredeyse sabitlendiğini göstermektedir. Dağıtım hattı yatırım tutarının konut yoğunluğuna göre değişiminin grafiksel halini Şekil 4.4 de verilmiştir.

Bu ilk yatırım maliyetlerinden başka yıllık işletme masrafları olan ısı üretim maliyeti, yıllık bölge ısıtma sistemi işletme giderleri (araç, personel v.b. şirket giderleri), bölge ısıtma sistemi yıllık bakım giderleri, yıllık pompa işletme masrafları, yıllık ısı kaybı masrafları da tek tek ilk yıl için hesaplanmıştır.



Şekil 4.4 Konut yoğunluğu ile dağıtım hattı yatırım tutarının değişimi

Burada ısı üretim maliyeti yine başlı başına ayrı bir araştırma konusu olacağından hali hazırda işletilmekte olan Esenkent Bölge Isıtma Sistemi'nin ısı enerjisi kaynağı olan Doğa Enerji Esenyurt Bileşik Isı Güç Santrali'nin maliyeti kullanılmıştır. Doğa Enerji'den elde edilen bu

fiyat, Akkoza için kabul edilen konut başı ortalama yıllık ısı tüketim değeri 13.133,55 kW_{th}h ve Akkoza eşdeğer konut sayısı olan 6.650 ile çarpılarak birinci yıl için yıllık ısı enerjisi tüketimi 87.338.086 kW_{th}h ve maliyeti 2.183.452 TL olarak hesaplanmıştır.

Yıllık bakım ve işletme giderleri için de yine 1998 yılından beri 12 yıldır işletmede olan Esenkent BIS'in yıllık ortalama maliyetleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.4 Akkoza dağıtım alanı yoğunluğunda 30 yıllık tüm masraflar tablosu [TL/YIL]

YIL	İletim	Dağıtım	Pompa	Isı Kaybı	Pompa İşl.	Bakım	İşletme	Isı Üretim
0	226,832	3,600,000	21,780	11,249	38,143	50,000	360,000	2,183,452
1				12,148	41,194	54,000	388,800	2,358,128
2				13,120	44,490	58,320	419,904	2,546,779
3				14,170	48,049	62,986	453,496	2,750,521
4				15,304	51,893	68,024	489,776	2,970,563
5				16,528	56,044	73,466	528,958	3,208,208
6				17,850	60,527	79,344	571,275	3,464,864
7				19,278	65,370	85,691	616,977	3,742,053
8				20,820	70,599	92,547	666,335	4,041,418
9				22,486	76,247	99,950	719,642	4,364,731
10				24,285	82,347	107,946	777,213	4,713,909
11				26,228	88,935	116,582	839,390	5,091,022
12				28,326	96,050	125,909	906,541	5,498,304
13				30,592	103,733	135,981	979,065	5,938,168
14				33,039	112,032	146,860	1,057,390	6,413,222
15			69,088	35,682	120,995	158,608	1,141,981	6,926,279
16				38,537	130,674	171,297	1,233,339	7,480,382
17				41,620	141,128	185,001	1,332,006	8,078,812
18				44,949	152,419	199,801	1,438,567	8,725,117
19				48,545	164,612	215,785	1,553,652	9,423,127
20				52,429	177,781	233,048	1,677,945	10,176,977
21				56,623	192,003	251,692	1,812,180	10,991,135
22				61,153	207,364	271,827	1,957,155	11,870,426
23				66,045	223,953	293,573	2,113,727	12,820,060
24				71,329	241,869	317,059	2,282,825	13,845,665
25				77,035	261,219	342,424	2,465,451	14,953,318
26				83,198	282,116	369,818	2,662,687	16,149,583
27				89,854	304,685	399,403	2,875,702	17,441,550
28				97,042	329,060	431,355	3,105,758	18,836,874
29				104,806	355,385	465,864	3,354,219	20,343,824
30				113,190	383,816	503,133	3,622,556	21,971,330

Yıllık pompa işletme masrafları ve ısı kaybı masrafları da bu çalışmanın önceki bölümlerinde tarif edilen hesap yöntemleri ile hesaplanmıştır. Ancak dağıtım hattı için ısı kaybı hesabı yapılmamıştır. Yapılan literatür araştırmalarında rastlanan kapalı devre boru hatlarında

pompanın verdiği enerjiye denk geldiği bilgisine göre hareket edilmiştir.

Ayrıca sistem ömrü 30 yıl olarak kabul edilmiş ve 15. yılda sirkülasyon pompalarının yenileneceği düşünülerek Eşitlik 4.2 kullanılarak o yıldaki pompa yatırım maliyeti hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4 de Akkoza dağıtım alanı yoğunluğunda 30 yıllık tüm masraflar tablosu görülmektedir. İkinci sütunda iletim hattının yatırım maliyeti vardır. İletim hattı yatırımı bir defa ve ilk yılda yapılacaktır. Bu fiyata temel şebeke maliyetleri dediğimiz boru, kazı ve kapama, montaj işçiliği ve kamulaştırma maliyetleri dahil olmaktadır. Üçüncü sütunda dağıtım hattı fiyatı vardır. Burada yine dağıtım hattı yatırımının tümü ilk yılda yapıldığı kabul edilmiştir. Ancak Akkoza gibi toplu konut alanı değil herhangi bir şehirde böyle bir sistem kurulsaydı dağıtım hattı yatırımı mutlaka birkaç yıla dağılacaktı. Yada sistem ömrü boyunca dağıtım hattına da ilaveler yapılacak büyümeye devam edecekti. Dağıtım hattı maliyeti de temel şebeke maliyetleri hesap yöntemleri ile hesaplanır. Üçüncü sütunda temel pompa maliyeti bulunmaktadır. Pompa yatırımı yine sistemin ilk kurulum yılında yapılmaktadır. Ancak 15. yılda mevcut pompa istasyonun yenileneceği ön görülerek o yıldaki pompa fiyatı da sistem ömrü maliyetine katılmıştır. Bir sonraki sütunda ısı kaybı maliyeti bulunmaktadır. Isı kaybı maliyeti sadece iletim hattı için hesaplanmıştır. Dağıtım hattı için ısı kaybı hesabı yapılmamış pompa ile sisteme verilen enerji bunu karşılayacağı kabul edilmiştir. İlk yıl için ısı kaybı maliyeti bulunduktan sonra gelecek değer hesap yöntemi ile 30 yıllık sistem ömrü boyunca her yıla ait ısı kaybı maliyeti hesaplanmıştır. Bir sonraki sütunda pompa işletme maliyeti bulunmaktadır. Pompa işletme maliyeti de ısı kaybı maliyeti gibi ilk yıl için hesaplanmış ve daha sonraki yıllardaki maliyetlerde gelecek değer metodu ile tek tek bulunmuştur. Yedinci sütunda bakım maliyetinin sistemin ilk yılındaki değeri ve ömrü boyunca gelecek değerleri bulunmaktadır. Sekizinci sütunda bölge sıtma sistemi işletmecisinin yıllık işletme giderleri ve gelecek değerleri bulunmaktadır. En son sütunda da ısı enerjisinin üretim maliyeti bulunmaktadır. İlk yıl maliyeti alındıktan sonra gelecek değerleri de tek tek hesaplanmıştır.

Daha sonra her yıla ait bu maliyetlerin Eşitlik 4.3 ile bu günkü değerleri bulunmuştur. Her yılın maliyetinin bu günkü değerleri toplanarak sistem ömrü olan 30 yıl boyunca olan toplam maliyetin bu günkü değere getirilmiş hali bulunur. Çizelge 4.5 de 30 yıllık masrafların bu günkü değerleri ve toplam maliyetin bu günkü değeri görülmektedir.

Sistem ömrü boyunca oluşacak toplam maliyetin bu günkü değeri hesaplandıktan sonra bu

toplam maliyetleri amortisman faktörü ile çarparak 30 yıla eşit olarak dağıtılır. Yani yıllık eşit değerleri bulunur. Tüm sistem ömrünce maliyetlerin yıllık eşit değerleri Çizelge 4.6 da gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Akkoza dağıtım alanı yoğunluğunda 30 yıllık tüm masrafların bu günkü değeri [TL/YIL]

YIL	İletim	Dağıtım	Pompa	Isı Kaybı	Pompa İşl.	Bakım	İşletme	Isı maliyeti
0	226,832	3,600,000	21,780	11,249	38,143	50,000	360,000	2,183,452
1				11,044	37,449	54,000	353,455	2,143,753
2				10,843	36,768	58,320	347,028	2,104,776
3				10,646	36,100	62,986	340,718	2,066,507
4				10,453	35,443	68,024	334,524	2,028,934
5				10,262	34,799	73,466	328,441	1,992,044
6				10,076	34,166	79,344	322,470	1,955,825
7				9,893	33,545	85,691	316,607	1,920,265
8				9,713	32,935	92,547	310,850	1,885,351
9				9,536	32,336	99,950	305,198	1,851,072
10				9,363	31,748	107,946	299,649	1,817,416