



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

ISITMA SİSTEMLERİ İÇİN YALITIM
KALINLIĞI VE BORU ÇAPININ
TERMOEKONOMİK OPTİMİZASYONU

Dildar YILDIZ

Yüksek Lisans Tezi



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ISITMA SİSTEMLERİ İÇİN YALITIM KALINLIĞI VE BORU ÇAPININ
TERMOEKONOMİK OPTİMİZASYONU**

Dildar YILDIZ

Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TERMODİNAMİK ANABİLİM DALI

BURSA-2013

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Dildar YILDIZ tarafından hazırlanan “ISITMA SİSTEMLERİ İÇİN YALITIM KALINLIĞI VE BORU ÇAPININ TERMOEKONOMİK OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI

Başkan : Unvanı, Adı ve Soyadı : Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI İmza
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Unvanı, Adı ve Soyadı :Prof. Dr. Muhiddin CAN İmza
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Unvanı, Adı ve Soyadı : Yrd. Doç. Dr Gökhan SEVİLGEN İmza
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Unvanı, Adı ve Soyadı : İmza
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
.....Anabilim Dalı

Üye : Unvanı, Adı ve Soyadı : İmza
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
.....Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
.././....(Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/06/2013

İmza

Ad ve Soyadı

Dildar YILDIZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISITMA SİSTEMLERİ İÇİN YALITIM KALINLIĞI VE BORU ÇAPININ TERMOEKONOMİK OPTİMİZASYONU

Dildar YILDIZ

Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI

Günümüzde artan nüfus ve sanayileşme gibi etmenler enerjinin daha verimli olarak kullanılması ve maksimum enerji tasarrufu sağlanmasının gerekliliğini doğurmuştur. Türkiye’ de kullanılan enerjinin % 37’si konutlarda ısıtma için harcanmaktadır. Uygulanacak bazı enerji tasarruf yöntemleri ile enerji daha az kullanılarak enerjiden aynı fayda sağlanmaktadır.

Bu çalışmanın giriş bölümünde tezin konusu ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca tezin amacından ve kullanılacak yöntemden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde; ayrıntılı literatür çalışması yapılarak konuyla ilgili kaynak özetleri sunulmuştur. Isı yalıtımının tanımı yapılmış, önemi ve faydaları anlatılmıştır. Ayrıca tesisat yalıtımı iki başlıkta incelenip, ısıtma ve soğutma tesisatlarının yalıtım detayları verilmiştir. Son olarak ısı yalıtımı ile ilgili standart ve mevzuatlardan bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde; çalışmada kullanılacak yöntem ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu yöntemi kullanırken uygulanacak formüller verilmiş ve uygulamaya ait bir örnek hesap yapılmıştır.

Dördüncü bölümde; uygulanan yöntemin bilgisayar ortamına nasıl aktarıldığı ve nasıl sonuç elde edildiği açıklanmıştır. Ayrıca bilgisayar programından elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar yardımıyla analiz edilmiştir ve çalışmada kullanılan parametreler değiştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde; çalışmadan elde edilen sonuç verilmiş, çalışmanın enerji tasarrufu açısından önemi değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Tesisat yalıtımı, termoeconomik optimizasyon, enerji tasarrufu, boru çapı, yalıtım kalınlığı

2013, x + 68 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

THERMOECONOMIC OPTIMIZATION OF THE PIPE DIAMETER AND INSULATION THICKNESS FOR HEATING SYSTEMS

Dildar YILDIZ

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI

Nowadays, the reasons like population increases or industrialisation are bringing the necessities of thinking how to use energy more efficiently and how to save energy more. In Turkey, 37% of the total energy is used for the heating systems of houses. . By applying some energy saving methods energy providing the same benefits by using less energy.

In the introduction part of this study the general informations regarding the topic of study is given. Additionally, the purpose of the study and methods used in the thesis are explained in detail.

In second section, by making detailed review of the literature, provided summaries of relevant resources. Additionally installation isolation has been grouped into two and isolation details of both cooling and heating explained remarkably. Finally standards and legislations were mentioned with heat insulation.

In the third part, the methodology of study was explained in detail. The formulas which will be used during that methodology are given and an example calculation was also located in.

The fourth section, how to implemented method transfer to a computer and how the results were obtained were described. Additionally the results received from the computer programme analyzed according to the indicator graphics and schemes. And the results were compared with changing the parameters intentionally.

And in the fifth part, the result which could be obtained from that study explained and the importance of the study regarding the energy saving, mentioned.

Keywords: Installation isolation, thermoeconomic optimisation, energy saving, tube diameter, insulation thickness.

2013, x + 68 pages.

TEŞEKKÜR

Tez alışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, yol gösteren, sonsuz hoşgörü ve anlayışıyla bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana destek olan saygıdeğer tez danışmanım Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI'ya teőekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve bu desteği sevgileriyle birleştiren çok değerli aileme, özellikle tez çalışmalarım sırasında ve eğitim hayatımın her döneminde büyük özveri ile bana destek olan abim Doç. Dr. Ali Rıza YILDIZ'a en derin teşekkür ve Őukranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında ilgi ve anlayışıyla bana her zaman destek olan sevgili eşim Fatih GÜRSES'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Adı Soyadı

Dildar YILDIZ

24/06/2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER	4
2.1. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.2 KURAMSAL TEMELLER	7
2.2.1 Isı Yalıtımı, Önemi ve Faydaları.....	7
2.2.1.1 Isı yalıtımı	7
2.2.1.2 Isı yalıtımının önemi	11
2.2.1.3 Isı yalıtımının faydaları	12
2.2.2 Tesisat yalıtımı	15
2.2.2.1. Isıtma tesisatının yalıtımı	17
2.2.2.2. Soğutma tesisatının yalıtımı	18
2.2.3 Standartlar ve Yönetmelikler	19
3.MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1 Genetik Algoritmalar	22
3.2 Pompa İçin Gereken Enerji ve Maliyeti.....	25
3.3 Akışkan Taşıyan Borularda Isı Kaybı ve Maliyeti.....	27
3.3.1 Boru İçindeki Isı Taşınım Katsayısının Hesaplanması	27
3.3.2 Çıkış Sıcaklığı Hesabı	27
3.3.3 Cidar Sıcaklığı Hesabı.....	28
3.3.4 Toplam Isı Transfer Katsayısının Hesaplanması	29
3.3.5 Boru Dışındaki Isı Taşınım Katsayısının Hesaplanması.....	29
3.3.6 Isı Kaybı Hesabı	30
3.3.7 Isı Kaybından Dolayı Oluşan Maliyet Hesabı	30
3.4 Boru Maliyeti	31

3.4.1 Et Kalınlığı Hesabı.....	31
3.4.2 Boru Ağırlığı Hesabı.....	32
3.4.3 Boru Maliyeti Hesabı.....	32
3.5 Yalıtım Malzemesi Maliyeti	32
3.6 Optimum Boru Çapı ve Yalıtım Kalınlığı Hesabı.....	32
3.7 Uygulamaya Ait Bir Örnek	33
3.7.1 Pompa İçin Gereken Enerji ve Maliyeti.....	34
3.7.2 Akışkan Taşıyan Borularda Isı Kaybı ve Maliyeti.....	35
3.7.3 Boru Maliyeti	38
3.7.4 Yalıtım Malzemesi Maliyeti	39
3.7.5 Optimum Boru Çapı ve Yalıtım Kalınlığı Hesabı	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	40
4.1 PARAMETRE ANALİZİ	46
5- SONUÇ	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
A	Alan
A_i	Borunun iç alanı
A_0	Boru dış alanı
$A_{yüzey}$	Borunun yüzey alanı
C_{BORU}	Boru maliyeti
C_{DG}	Isı kaybından dolayı oluşan yakıt maliyeti
c_{el}	Elektriğin birim fiyatı
C_f	Doğalgazın birim maliyeti
c_p	Özgül ısı kapasitesi
C_{POMPA}	Pompalama maliyeti
C_{YAL}	Yalıtım malzemesi maliyeti
C_{TOPLAM}	Toplam maliyet
D	Boru çapı
e_{yal}	Yalıtım kalınlığı
f	Sürtünme katsayısı
h_0	Havanın ısı taşınım katsayısı
h_i	Suyun ısı taşınım katsayısı
H_u	Doğalgazın alt ısı değeri
k_{boru}	Borunun ısı iletim katsayısı
k_{yal}	Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı
L	Boru uzunluğu
\dot{m}	Debi
m_{boru}	Boru kütlesi
n	Sistemin çalışma ömrü
Pr	Prandtl sayısı
R	Isıl geçirgenlik direnci
r_0	Yalıtım kalınlıklı yarıçap
R_0	Yalıtım malzemesindeki ısı direnci
r_1	Et kalınlıklı yarıçap
R_1	Borunun ısıl dirneci
$R_{dış}$	Dış ortamdaki ısıl direnç
r_i	Et kalınlıksız yarıçap
$R_{iç}$	Boru içindeki ısıl direnç
R_{top}	Toplam ısıl direnç
Re	Reynolds sayısı
T_o	Dış ortam sıcaklığı
T_e	Suyun çıkış sıcaklığı
T_{CD}	Boru cidar sıcaklığı
T_i	Suyun boru içindeki sıcaklığı
T_{ort}	Boru içinde akışkanın ortalama sıcaklığı
T_s	Suyun giriş sıcaklığı
U	Toplam ısı transfer katsayısı
V_{su}	Suyun akış hızı

\dot{W}_P	Basınç kayıplarını yenmek için pompanın harcadığı güç
Q	Isı kaybı
Q_{yzy}	Yüzeyler arası ısı kaybı
Δt	Sıcaklık farkı
ΔP	Basınç kaybı
ρ	Suyun yoğunluğu
η	Sistemin verimi
φ_b	Pompa verimi
λ	Isı iletim katsayısı
μ	Buhar difüzyon direnç katsayısı
ν	Kinematik viskozite
ε	Yüzey pürüzlülük değeri

Kısaltmalar	Açıklama
ark.	Arkadaşları
Et kal.	Et kalınlığı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
ISO	Uluslararası Standartlar Örgütü
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü
BS	İngiliz Standartları
AB	Avrupa Birliği
VDI	Alman Mühendisler Birliği Kuralları

ŞEKİLLER DİZİNİ

sayfa

Şekil 2.1: Isı iletimi	8
Şekil 2.2 : Yalıtım malzemelerinin yoğunluğu	10
Şekil 2.3 : Sektörlere göre enerji tüketimi	12
Şekil 2.4 : Camyünü ile boru yalıtımı	18
Şekil 2.5 : Elastomerik kauçuk köpüğü levhalarda boru yalıtımı	19
Şekil 3.1: Geleneksel tasarım süreci	23
Şekil 3.2 :Optimum tasarım süreci.....	23
Şekil 3.3 :Genetik algoritmaların çalışma prensibi akış şeması	24
Şekil 3.4 : Boru parçası ve çeşitli parametreleri	27
Şekil 3.5 : Yalıtımlı boru.....	28
Şekil 3.6 : Boru çapına göre et kalınlığının değişimi.....	31
Şekil 4.1: Boru çapı ile toplam maliyetin değişimi.....	42
Şekil 4.2 : 91,3 mm yalıtım kalınlığı için maliyetlerin boru çapına göre değişimi.....	43
Şekil 4.3 : Pompalama maliyetinin boru çapına göre değişimi.....	43
Şekil 4.4 : Boru maliyetinin boru çapına göre değişimi.....	44
Şekil 4.5 :Yalıtım maliyetinin boru çapına göre değişimi	44
Şekil 4.6 : Isı kaybından dolayı oluşan maliyetin boru çapına göre değişimi.....	45
Şekil 4.7 : Yalıtım kalınlığına göre ısı kaybı maliyeti ve yalıtım malzemesi maliyetinin değişimi	45
Şekil 4.8 : Farklı boru boyları için boru çapına göre toplam maliyet değişimi	47
Şekil 4.9 : Optimum maliyetin boru boyuna göre değişimi	47
Şekil 4.10 :Optimum boru çapının boru boyuna göre değişimi	48
Şekil 4.11 : Optimum yalıtım kalınlığının boru boyuna göre değişimi	48
Şekil 4.12 : Farklı akışkan debileri için boru çapına göre toplam maliyetin değişimi....	50
Şekil 4.13 : Farklı akışkan debileri için optimum maliyetin değişimi	50
Şekil 4.14 : Farklı akışkan debileri için optimum boru çapının değişimi	51
Şekil 4.15 : Farklı akışkan debileri için optimum yalıtım kalınlığının değişimi	51
Şekil 4.16 : Farklı giriş sıcaklıkları için boru çapına göre toplam maliyet değişimi	52
Şekil 4.17 : Farklı giriş sıcaklıkları için optimum maliyet değişimi.....	53
Şekil 4.18 : Farklı giriş sıcaklıkları için optimum boru çapı değişimi.....	53
Şekil 4.19 : Farklı giriş sıcaklıkları için optimum yalıtım kalınlığı değişimi	54
Şekil 4.20 : Farklı dış ortam sıcaklıkları için boru çapına göre toplam maliyet değişimi	55
Şekil 4.21 : Farklı dış ortam sıcaklıkları için optimum maliyet değişimi	55
Şekil 4.22 : Farklı dış ortam sıcaklıkları için optimum boru çapı değişimi.....	56
Şekil 4.23 : Farklı dış ortam sıcaklıkları için optimum yalıtım kalınlığı değişimi	56
Şekil 4.24 : Farklı işletme ömrü için boru çapına göre toplam maliyet değişimi	58
Şekil 4.25 : Farklı işletme ömrü için optimum maliyet değişimi.....	58
Şekil 4.26 : Farklı işletme ömrü için optimum boru çapı değişimi.....	59
Şekil 4.27: Farklı işletme ömrü için optimum yalıtım kalınlığı değişimi	59
Şekil 4.28 : Farklı işletme süresi için boru çapına göre toplam maliyet değişimi	60
Şekil 4.29 : Farklı işletme süresi için optimum maliyet değişimi.....	61
Şekil 4.30 : Farklı işletme süresi için optimum boru çapı değişimi.....	61
Şekil 4.31 : Farklı işletme süresi için optimum yalıtım kalınlığı değişimi	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Akışkan sıcaklığına göre kullanılabilir ısı yalıtım malzemeleri	16
Çizelge 2.2 : Yalıtım malzemeleri ve maksimum dayanım sıcaklıkları	17
Çizelge 2.3 : Bazı malzemelerin su buharı difüzyon dirençleri	18
Çizelge 3.1: Çalışmada kullanılan semboller ve değerleri	33
Çizelge 4.1: Çalışmada kullanılan semboller ve değerleri	41
Çizelge 4.2 : Optimum değerler	41
Çizelge 4.3 : Boru çapına göre maliyet, ısı kaybı değişimi	42
Çizelge 4.4 : Boru boyu 300 metre için analiz	46
Çizelge 4.5 : Boru boyu 400 metre için analiz	46
Çizelge 4.6: Akışkan debisi 75 kg/s için elde edilen optimum değerler	49
Çizelge 4.7: Akışkan debisi 100 kg/s için elde edilen optimum değerler	49
Çizelge 4.8 : Akışkanın giriş sıcaklığı 375 K için elde edilen optimum değerler	51
Çizelge 4.9 : Akışkanın giriş sıcaklığı 410 K için elde edilen optimum değerler	52
Çizelge 4.10 : Dış ortam sıcaklığı 300 K için elde edilen optimum değerler	54
Çizelge 4.11 : Dış ortam sıcaklığı 260 K için elde edilen optimum değerler	54
Çizelge 4.12 : Kullanım ömrü 30 yıl için elde edilen optimum değerler	57
Çizelge 4.13 : Kullanım ömrü 10 yıl için elde edilen optimum değerler	57
Çizelge 4.14 : İşletme süresi 5000 h/yıl için elde edilen optimum değerler	59
Çizelge 4.15 : İşletme süresi 1500 h/yıl için elde edilen optimum değerler	60

1.GİRİŞ

Sosyal ve ekonomik kalkınmada enerji büyük bir öneme sahiptir. Daha konforlu yaşam standartları içinse enerji olmazsa olmaz bir değerdir. Birincil enerji kaynaklarının giderek azaldığı günümüz şartlarında, gereksiz enerji kullanımı ekonomik ve ekolojik düzenin zarar görmesine sebep olmaktadır. Buna karşılık konforlu yaşam şartlarını sağlamak istediğimizde, ihtiyaç duyulan enerji miktarı gelişen teknoloji ile birlikte büyük bir artış göstermektedir. Artan enerji ihtiyacı ve enerjiyi elde etmek için sarf edilen çabalar ve ödenen bedeller düşünüldüğünde en az enerji kullanılarak en fazla verim alınması gerekliliği sonucu ortaya çıkar. Bu durumda yapılabilecek en doğru çaba enerjinin tasarruflu kullanılmasıdır.

Konutlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmının ısıtma ve soğutma için sarf edildiği düşünülürse ısı yalıtımının enerji tasarrufundaki önemi daha açık bir şekilde anlaşılmış olur. Özellikle, enerji tüketimi giderek artan ülkemizde ısı yalıtımı daha önemli hale gelmektedir. Bunun için çeşitli standartlar ve mevzuatlar yürürlüğe girmiştir. 1998'de yürürlüğe giren ve 2000 yılından itibaren binalarda ısı yalıtım zorunluluğu getiren TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Standardı, ülkemizde ısı yalıtımına verilen önemin bir kanıtıdır.

Isı yalıtımı, genel olarak binalarda ve tesisatta kullanılmaktadır. Binanın veya tesisatın yalıtılmasının sonuçları 3 boyutuyla incelenebilir. İlki, enerji tasarrufudur. Yapılan yalıtım sonucunda ısı kaybının azalması, tasarlanan sistemde kullanılacak olan ekipmanların (radyatör, pompa, kazan gibi) daha düşük kapasitede seçilmesini sağlamakta, yani tesisattaki ilk yatırım maliyetlerini azaltmaktadır. Ayrıca, yakıt tüketimi de daha az olacağından, yakıt maliyeti de düşmektedir. İkincisi, çevre kirliliğinin azalmasını sağlayarak ekolojik dengenin daha az zarar görmesine katkıda bulunacaktır, üçüncüsü ise yaşam alanlarının daha konforlu olması sonucunda daha sağlıklı yaşam sürdürülmesine olanak sağlamaktadır.

Binalara uygulanan ısı yalıtımının amacı; kışın ısıtılan mahalden dışarıya ısı kaybını önlemek iken, yazınsa dışarıdaki sıcak havanın yaşanılan ortama geçişini engelleyerek

ısı konfor sağlamaktır. Isı kaybını önlemek, yakıttan dolayısıyla da paradan tasarruf etmek demektir. Kullanılan yakıtın büyük çoğunluğunun yurt dışından geldiği düşünülürse, ödenen paranın da büyük bir kısmının ithalat yoluyla yurt dışına gittiği dolayısıyla da yalıtım yoluyla yakıt tasarrufu, döviz tasarrufu anlamına da gelmektedir.

Binaların yalıtımında ısı kaybının en fazla olduğu yerlere daha fazla önem vererek, yalıtım önlemleri alınmalıdır. Isının daha çok kaçtığı dış ortamla temasta olan yerler çatı, pencere ve dış duvarların daha öncelikli olarak yalıtılmasında fayda vardır.

Tesisatta yapılan ısı yalıtımı ise, teknik yalıtım veya endüstriyel yalıtım olarak uygulanmaktadır. Tesisatı yalıtım olmadan düşünmek mümkün değildir. Klima tesisatı, ısıtma ve soğutma tesisatının, yalıtımı yapılmadan devreye alınması mümkün değildir. Tesisatta da yalıtım yaparken öncelikle dikkat edilmesi gereken nokta, hangi uygulamada, hangi yalıtım malzemesinin seçileceği ve bu malzemenin sisteme nasıl uygulanacağıdır. Akışkan sıcaklığına bağlı olarak uygun olmayan malzeme ve kalınlık seçimi, öncelikle yoğuşma olmak üzere birçok sorun ortaya çıkarmasına sebep olabilmektedir

Bu çalışmadaki amaç ise yukarıda bahsedilen kısıtlı enerji kaynaklarını en verimli şekilde kullanabilmek amacıyla ısıtma tesisatlarındaki boru çapının ve yalıtım malzemesi kalınlığının minimum olduğu noktayı tek aşamada bularak enerji ve yakıt tasarrufu sağlamaktır. Böylece ekonomik ve ekolojik olarak tasarruf sağlanacaktır.

Belirli bir boru çapı için sadece yalıtım kalınlığı optimize edilmek istendiğinde ısı kaybından dolayı oluşan yakıt maliyeti ve yalıtım malzemesi maliyetinin toplamından elde edilen grafiklerin minimum noktasından yalıtım kalınlığı hesabı yapılabilmektedir. Ayrıca sadece boru çapı optimize edilmek istenildiğinde ise basınç kayıplarından dolayı oluşan pompalama maliyeti ile ilk yatırım maliyeti olan boru maliyetinin toplamından elde edilen grafiklerin minimum noktasından boru çapı hesabı yapılabilir. Fakat bu işlem tek adımda yapılarak, yani hem optimum boru çapının ve hem de optimum yalıtım kalınlığının aynı anda bulunması istenildiğinde ise minimum noktayı bulmak grafik

yardımla kolay olmayabilir. Bundan dolayı bu işlemi bir yazılım aracılığıyla yapma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Planlanan bu çalışmanın gerçekleşmesi için optimizasyon metotlarından biri olan genetik algoritmalar kullanılacaktır. Genetik algoritmalar iteratif optimizasyon metodudur. Her iterasyonda tek çözümle çalışmak yerine, çözüm kümesi ile çalışır. Algoritma, tasarım değişkenlerinin (boru çapı ve yalıtım kalınlığı) verilen aralıklarda rastgele oluşturulan çözüm kümesinin bulunmasıyla başlamaktadır. Çözüm kümesindeki her bir eleman kullanılarak toplam maliyetin minimum olduğu değer hesaplanmaktadır. Böylece bu noktada ki boru çapı ve yalıtım kalınlığının minimum değeri aynı anda elde edilmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER

2.1. KAYNAK ÖZETLERİ

Isıl sistemlerin optimizasyonu ile ilgili yapılan birçok çalışma bulunmaktadır, bunlardan birçoğu binaların dış duvarları ile ilgilidir. Mekanik tesisatla ilgili olan çalışmalar ise çok kısıtlıdır.

İleri ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmada soğutma sistemlerindeki bağlantı boruları için optimum çap hesabı üzerinde durulmuştur. Bu çalışmadaki amaç ise, boruya harcanan ilk yatırım maliyeti ile soğutma sisteminin çalışma süresi boyunca toplam basınç kayıplarından dolayı oluşan enerji kaybı maliyetinin toplamının en düşük değeri bulmaktır. Optimize edilen boru çapı değerine etki eden parametreler üzerinde durulmuş ve bu parametrelerin optimum çap üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Söylemez ve ark. (1999) çalışmasında soğutma sistemleri için optimum yalıtım kalınlığı hesabı üzerinde durulmuştur. Farklı bölge şartları, yalıtım malzemesinin cinsi ve birçok ekonomik parametrenin optimum yalıtım kalınlığı üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır.

Zaki ve ark. (2000) çalışmalarında farklı yalıtım malzemeleri, farklı yalıtım kalınlıkları, farklı akışkanlar ve farklı boru hatlarında optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapmışlardır.

Li ve ark. (2004) çalışmalarında soğuk bölgelerdeki su borularını donmaya karşı korumak için boruların yalıtılması ve elektrikle ısıtılmasını maliyet ve verimlilik açısından karşılaştırmıştır. Elektrikle ısıtmanın hızlı ve etkili olmasına rağmen oldukça maliyetli olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılmıştır. Dış ortam sıcaklığı, boru çapı, işletme ömrü ve yalıtım malzemesinin cinsine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığının nasıl değiştiği incelenmiştir. Sonuç olarak, daha düşük dış ortam sıcaklığı ve daha uzun ömür süresinin daha fazla yalıtım kalınlığı gerektirdiği vurgulanmıştır.

Özdemir ve ark. (2006) ise mekanik tesisatlardaki sıcak sulu sistemlerde kullanılan borular için ekonomik yalıtım kalınlığı hesabı üzerinde durmuştur. Yalıtım kalınlığının değişimine göre olarak karlılık analizi yapılmıştır. Farklı kullanım ömrü ve akışkan sıcaklığı ele alınarak yalıtım kalınlığının maliyet analizi üzerinde durulmuştur.

Öztürk ve ark. (2006) yaptığı çalışmalarında sıcak su taşıyan boru hatlarının termoekonomik optimizasyonunu incelenmiştir. Çalışmada sıcak sulu boru hatlarında optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığı hesabı yapılmıştır. Bu çalışmada dört farklı optimizasyon yöntemi kullanılarak, karşılaştırma yapılmıştır. Birinci yöntem iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak boru maliyeti ve basınç kayıplarından dolayı oluşan pompalama maliyeti ele alınarak optimum boru çapı hesaplanmış ve daha sonra ilk aşamada bulunan boru optimum boru çapı kullanılarak ısı kaybı ve yalıtım malzemesi maliyeti hesaplanmış ve optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmış, ikinci yöntemde termodinamiğin birinci kuralı dikkate alınarak, basınç kayıplarından dolayı oluşan pompalama maliyeti, ısı kaybı, yalıtım kalınlığı ve boru maliyeti kriterleri ele alınarak değerlendirme yapılmış, üçüncü yöntemde maliyet hesabı yapmadan boru çapı ve yalıtım kalınlığı değişimleri sonucu en büyük ekserji verimliliğine göre değerlendirme yapılmış, dördüncü yöntemde ise boru çapı ve yalıtım kalınlığı maliyetinin yanında sürtünme ve ısı kaybı dikkate alınarak ekserji verimliliği hesabına bağlı optimizasyon işlemleri ele alınmıştır. Çalışmanın sonucu olarak sıcak su borularında, boru çaplarının ve yalıtım kalınlığının optimum seçilebilmesi için bu dört metodunda uygulanabileceğine değinilmiştir.

Tuncer (2007) çalışmalarında ısıtma ve soğutma sistemleri için ısı yalıtımının optimizasyonu üzerinde durmuştur. Farklı illerde farklı yalıtım malzemesi ve farklı enerji türü kullanarak optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapmıştır.

Bahadori ve ark. (2010) çalışmalarında ısı sistemlerinin ekonomik yalıtım kalınlığının hesabı için basit bir korelasyon oluşturmuşlardır. Korelasyonda boru malzemesi çelik olarak seçilmiştir. Korelasyonun, çelik borunun yüzey sıcaklığına, çapına ve yalıtım malzemesinin cinsine bağlı olduğu vurgulanmıştır. Boru çapı 0-0,5 m ve yüzey sıcaklığı

100-700 °C aralığındaki değerler için farklı yalıtım malzemeleri kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı bulunmuştur.

Soponpongpiat ve ark. (2010) çalışmalarında dairesel hava kanallarındaki optimum yalıtım kalınlığını araştırmışlardır. Çalışmada çift katlı izolasyon malzemesi (kauçuk ve camyünü) kullanmışlardır. Ayrıca kanal içerisindeki ve dışarıdaki taşınım katsayısı 6 - 22 W/ m² K arasında alınarak, ısı taşınım katsayısının optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, iç ve dış taraftaki taşınım katsayılarının optimum yalıtım kalınlığını etkilemediği ancak sağlanacak tasarrufun taşınım katsayılarıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca optimum yalıtım kalınlığı hesabında çift katlı yalıtım malzemesi kullanımı ile ilgili olarak, ana yalıtım malzemesinin fiyatı yardımcı yalıtım malzemesinin fiyatından daha pahalı olduğunda tavsiye edilmektedir fakat tek katlı yalıtım malzemesinin de yeterli olduğu önerilmiştir.

Keçebaş ve ark. (2011) çalışmalarında sıcak sulu ısıtma sistemleri için termoekonomik analiz yapmışlardır. 10 yıllık ömür, 5 farklı boru çapı ve 4 farklı akışkan için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır.

Yavuz ve ark. (2011) sıcak sulu ısıtma sistemlerinde boru çapının optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, basınç kaybından dolayı oluşan enerji maliyeti ve ısı kaybı maliyeti ve ilk yatırım maliyetinin toplamının en düşük olduğu durumdaki boru çapını bulmak amaçlanmıştır. Bu çalışma, farklı boru türleri, farklı yalıtım kalınlıkları ve yalıtımsız borulara uygulanarak farklı durumlardaki optimum boru çapı hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

2.2 KURAMSAL TEMELLER

2.2.1 Isı Yalıtımı, Önemi ve Faydaları

2.2.1.1 Isı yalıtımı

“Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasındaki ısı transferini azaltmak için yapılan işleme ısı yalıtımı denir. Bunu sağlayan malzemelere ısı yalıtım malzemesi adı verilir. Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği ısı iletim kat sayısıdır ve (λ) ile gösterilir. ISO ve EN standartlarına göre ısı iletim kat sayısı 0,065 W/mK değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanır. Diğer malzemeler yapı malzemesi olarak kabul edilir” (Megep 2008). Isı yalıtım malzemeleri, dış hacimlerden binalara veya binalardan dış hacimlere, ısıtma ve soğutma tesisatından dış ortama veya dış ortamdan tesisata olan ısı akış hızını yüksek ısı direnç özellikleri sayesinde azaltırlar (Akyol 2006).

Isı yalıtımında kullanılacak malzemelerin seçimlerinde, kullanım yerlerine göre hangi özelliklere sahip oldukları bilinmelidir. Örneğin, yalıtım malzemeleri için; hafif olmaları, sarsıntılara karşı zarar görmemeleri, rutubetli ortamlardaki çalışmalarda rutubete karşı mukavemetli olmaları ve buhar difüzyonuna müsaade etmemeleri istenir (Daşdemir 2011). Kaliteli bir yalıtım malzemesinden aşağıdaki 7 özellik beklenmelidir (<http://ensate.com.tr/teknik-bilgiler/enerji-ve-enerji-verimliliği/>, 2012).

1. Neme Karşı Duyarlılık: Sudan etkilenmemeli, ıslanınca ısı iletim katsayısı (k) yükselmemelidir.
2. Korozyon Direnci: Olabildiğince nötr olup bünyesinde halojenleri (Cl, F vb) ve NH₃, NO_x içermemeli.
3. Sağlığa Etkisi: Üretim, uygulama ve kullanım sırasında sağlığa zarar vermemelidir.
4. Basınç ve Kuvvet Dayanımı: Basınca, çekmeye, gerilmeye ve sarsıntıya karşı dayanıklı olmalıdır.
5. Mekanik Dayanım: Fiziksel ve sıcaklık değişimleri ile genişleme, büzülme özellikleri göstermemelidir.

6. Kullanılabilirlik ve kurulum kolaylığı: Boyutları taşınmaya ve uygulamaya müsait, işçiliği kolay olmalıdır.

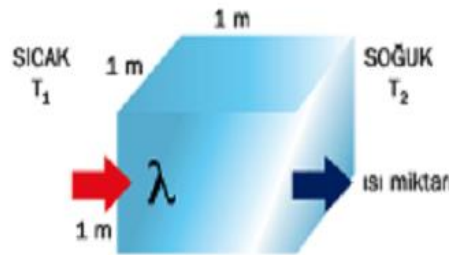
7. Sıcaklığa Dayanma ve Yanma Özelliği: Sıcaklık skalası bilinmeli, aleve ve yanmaya karşı dayanıklı olmalıdır.

Isı yalıtım malzemeleri, elektrik yalıtım malzemelerinin tersine gözenekli yapıya sahiptirler. Bu malzemelerdeki gözenekli yapı, tanelerin yığın şeklinde bulunmaları, köpüklü malzeme veya herhangi bir bileşiğin meydana getirdiği bazı kısmi elemanlarının çıkartılması ya da yakılması ile oluşur. Örneğin, yanmış olan kil, sünger taşı, tuf, cüruf, alçı gibi malzemelerden muhtelif yalıtım malzemeleri yapılabilmektedir (Daşdemir 2011).

Isı yalıtımında kullanılan önemli terimler ise aşağıdaki gibi sıralanmıştır <http://www.ode.com.tr/page.tr/yalitimsozluk.html>, 2012):

a. Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)

“Isı iletim kat sayısı bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunda, yüzeyin birim alanından (1 m) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1 m) ve 1 saatte geçen ısı miktarıdır. Malzemenin yalıtım kabiliyetini gösteren bir değerdir”. Bu değer olabildiğince sıfıra yakın olması tercih edilir. $T = 40^{\circ}\text{C}$ için $\lambda = 0,065\text{ W/mK}$ değerinin altında ısı iletkenlik kat sayısına sahip malzemeler yalıtım malzemesi olarak nitelendirilirler. Bu özellik malzemenin ısı yalıtım özelliğini gösterir. Isı iletim kat sayısı yükseldikçe malzemenin ısı yalıtım özelliği azalır (kötülebilir).



Şekil 2.1: Isı iletimi (Megep 2008)

b. Isı geçirgenlik ($W/m^2 K$)

Kalınlığı $d(m)$ olan bir malzemenin paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark $1K=1^{\circ}C$ olduğunda 1 saatte 1 m yüzeyden dik olarak geçen ısı miktarı ısı geçirgenlik olarak tanımlanır.

c. Isıl geçirgenlik direnci ($m^2 K/W$)

Isı geçirgenliğinin aritmetik olarak tersidir. R sembolü ile gösterilir.

d. Bağlı nem

Havadaki mevcut su buharı miktarının o sıcaklıktaki havanın içinde bulunabilecek en yüksek su buharı miktarına oranıdır.

e. Yoğuşma, terleme

Sıcaklık düşmesi ile birlikte havadaki su buharının su haline dönüştüğü bir sıcaklık derecesi vardır. Yoğuşma sıcaklığı adı verilen bu derece her sıcaklık ve bağlı nem yüzdesine göre değişir. Bağlı nem oranı artarsa, ortam sıcaklığı ile yoğuşma sıcaklığı arasındaki fark azalır. Fark azaldıkça yalıtım kalınlığı artar.

Dış duvarların iç yüzeyinde yoğuşma meydana gelmemesi için yüzey sıcaklığının yoğuşma noktası üzerinde olması gerekir. Bunun nedenle ya iç mekanı gereğinin çok üzerinde ısıtmak, ya da duvarda ısı yalıtımı yapılarak iç yüzey sıcaklığının artırılması gerekir.

f. Buhar difüzyon direnç katsayısı

“Su buharı, sıcaklık ve bağlı nem ile değişen kısmi buhar basıncı, yüksekten aza doğru ilerlerken bir direnç ile karşılaşır. Tüm yapı malzemelerinin 1 m lik yüzeyi, kalınlığına bağlı olarak buhar difüzyonuna direnç gösterir. Bu direncin, havanın buhar difüzyon

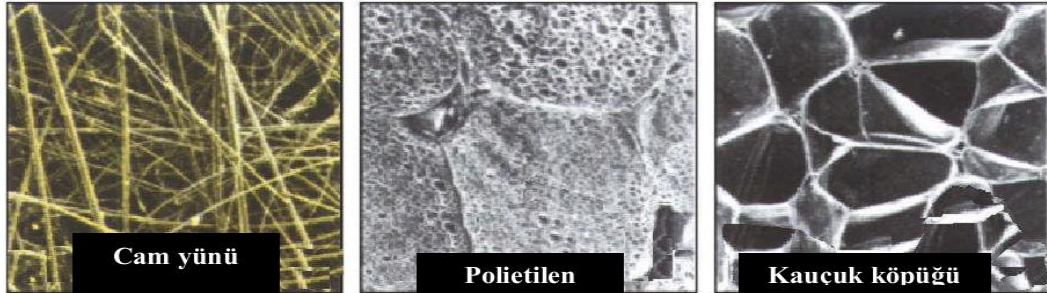
direncine oranlanmasına buhar difüzyon direnç katsayısı denir''. Isı yalıtım malzemelerinde, duruma göre değişmekle birlikte, genellikle buhar difüzyon direnci yüksek olması istenen durumdur.

Bu katsayıya etki eden faktörler :

- Malzemeye bağlı olmayan sıcaklık,
- Malzemeye bağlı olan,
- Hücre cidar kalınlığı,
- Hücre duvarlarındaki kohezyon,
- Kapalı hücre olması,
- Küçük hücre olması,
- Homojenlik,

g. Yoğunluk (kg / m³):

İdeal yoğunluk, boyutsal kararlılık ve mekanik dayanım açısından en uygun yoğunlukların seçilmesidir. Dolayısıyla malzeme seçimi yapılırken konuda uzman kişilerin fikirleri alınmalıdır.



Şekil 2.2 : Yalıtım malzemelerinin yoğunluğu (Megep 2008)

h. Yangın sınıfı (DIN 4102, BS476,TS EN 13501):

DIN 4102, BS 476 ve TS EN 13501 standartları kullanılmaktadır.

i. Sıcaklık dayanımı (°C):

Malzemenin uygulanacağı yerde hangi sıcaklık altında kalacağı önceden belirlenmeli ve bu sıcaklığa uygun malzeme seçimi yapılmalıdır.

j. Mekanik dayanım (kPa):

Isı yalıtım malzemelerinin mekanik dayanımları genellikle, malzemede %10 deformasyon oluşturan basma gerilmesi değeri hesaplanarak bu değer kabul edilir.

k. Su emme:

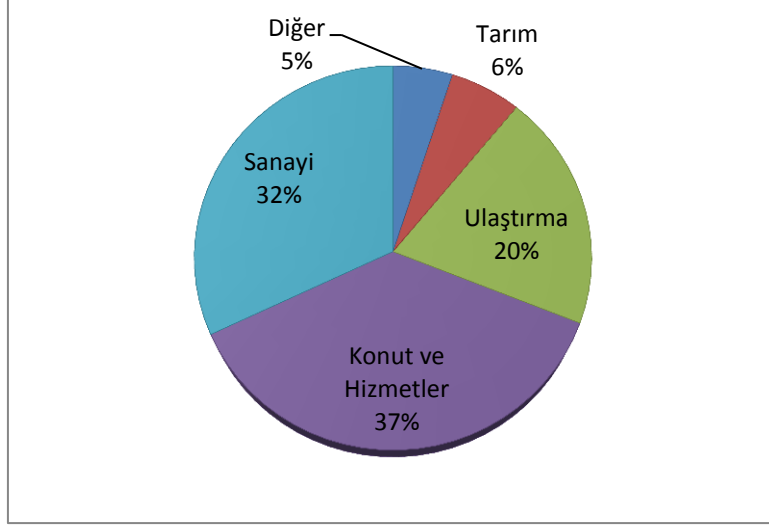
Isı yalıtım malzemelerinde su emme oranlarının sıfır veya sıfıra yakın olması istenen değerdir.

l. Boyutsal kararlılık:

Malzemelerin sıcaklık veya basınçla şekil değiştirmeleri çok az olmalı veya hiç olmamalıdır.

2.2.1.2 Isı yalıtımının önemi

Ülkemizde enerjideki dışa bağımlılık ve enerji fiyatlarındaki artış göz önünde bulundurulursa, sağlanmak istenen ısı konforunun en az enerji kullanarak elde edilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de gelişen teknoloji ve sanayileşme enerjeye olan ihtiyacı her geçen gün daha da arttırırken, enerji kaynaklarımız ve enerji üretimimiz gün geçtikçe azalmaktadır (Paralı 2009). Bu durum enerjinin en etkili ve verimli biçimde israf edilmeden kullanılması gerektiğini doğurmaktadır. Isı yalıtımının önemi ise bu noktada ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde kullanılan enerjinin sektörlere göre dağılımı aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.3 : Sektörlere göre enerji tüketimi (Anonim 2011).

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi enerji tüketiminde % 37’lik bir oranla konut ve hizmetler ilk sırayı almaktadır. Bu oranı % 32 ile sanayi izliyor. Konut ve sanayi sektörleri toplamda % 69’luk bir enerji tüketim payına sahiptir. Bu sektörlerde yapılacak ısı yalıtım tedbirlerinin ülke ekonomisine büyük miktarda katkı sağlaması beklenir.

2.2.1.3 Isı yalıtımının faydaları

Isı yalıtımının faydaları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

1 - Isı yalıtımı enerji tüketimini azaltır

Dört mevsimi de yaşadığımız ülkemizde, ısınma ihtiyacının yanında soğutma ihtiyacı da her geçen gün artıyor. Konutlarda; harcanan enerjinin büyüklüğü, ısıtma veya soğutma amacı ile tüketilen enerji miktarını belirlediğinden, enerji tasarrufu sağlamak için yaşadığımız alanın ısı kaybını en aza indirmek gerekir. Yapı bileşenleri üzerinden geçen ısı kaybını azaltmak; binaların duvarında ısı yalıtımı yapılması, yalıtımlı doğrama ve camların kullanılması ile sağlanabilir. Yapılan hesaplamalar, uygun bir ısı yalıtımı ile yapılarda ortalama yüzde 50 enerji tasarruf edilebileceğini göstermektedir (<http://www.ode.com.tr/page.tr/yalitimsozluk.html>, 2012).

2- Isı yalıtımı çevrenin korunmasına katkı sağlar

Rusya'nın Çernobil bölgesindeki nükleer santralde meydana gelen bir arızanın, nükleer enerjinin insanlar ve çevre için oldukça tehlikeli olduğunu göstermişti. Bu bölgenin ekolojik dengesi bozulmuş, sağlıklı yaşam koşulları yok olmuştur. Çernobil'den yayılan radyasyon, yalnızca santralin bulunduğu alanı etkilemekle kalmamış, hava akımlarıyla çevresindeki ülkelere ve hatta Türkiye'yi dahi etkisi altına almıştır (Şen 2006).

Ne yazık ki, insan ve çevre tehlikeli etmenler nükleer enerji ile sınırlı değildir. Dünyadaki enerji ihtiyacının yüzde 60'ından fazlasının elde edildiği fosil yakıtlar, küresel ısınmaya sebep olarak belki de nükleer enerjiden çok daha büyük bir tehlikeye davetiye çıkarmaktadır (Şen 2006).

Kömür, petrol gibi birincil enerji kaynakları bir yandan hava kirliliğine yol açarken, diğer taraftan da küresel ısınmaya dolayısıyla da iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Fosil yakıtlar yandığında, renksiz ve yanmayan ve çevreyi kirleten bir gaz olan karbondioksit açığa çıkar. Sera gazları olarak adlandırılan bu gazlar küresel ısınmaya yani atmosfer sıcaklığındaki artışa sebep olmaktadır. Enerji tüketimindeki büyük artış, küresel ısınma tehdidini de her geçen gün büyütmektedir (Şen 2006).

Enerjinin daha verimli kullanılmasına sebep olacak ısı yalıtımı önlemleri, fosil yakıt kullanımını azaltarak dolayısıyla da küresel ısınmaya yol açan sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlayacaktır. Bunun yanı sıra ısı yalıtımı, yaz aylarında soğutma için kullanılan ve ozon tabakasına zarar veren soğutucu gazlara duyulan ihtiyacı da azaltacaktır (Şen 2006).

3- Isı yalıtımı ısı konfor sağlar

Isıl konfor bir insanın sağlıklı ve üretken olabileceği ısı parametrelerin sağlanması olarak tanımlanabilir. Bir ortamdaki hava, orada bulunan insanların kendilerini iyi hissetmelerine ve çalışma kapasitelerine önemli ölçüde etki etmektedir (İşbilir 2009).

Bir odanın çevre yüzeylerinin (duvarlar, kapılar, pencereler, tavan, zemin) sıcaklıkları genelde insan vücut yüzey sıcaklığından düşük olduğunda, insanlar odayı konforsuz olarak algırlar. Konfor koşullarını en ekonomik ve en verimli şekilde oluşturmak için; ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma gibi binada enerji kullanan sistemlerin optimum koşullarda işletilmesi gerekir (İşbilir 2009).

İç yüzey sıcaklığı konfor şartlarının belirlenmesinde önemli bir faktördür. İç yüzey sıcaklığının konfor hissettiren sıcaklıklarda tutulması, yakıt tüketimini de azaltacak dolayısıyla enerji maliyetini düşürecektir. İç yüzey sıcaklıklarının düşük olması hava akımlarını artıracığından, iç ortam sıcaklığı normal düzeyde olsa bile konforsuzluk ortaya çıkaracaktır. İç yüzey sıcaklığının düşük olması genellikle duvarın ısı yalıtımının iyi olmamasından kaynaklanmaktadır. İç yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığına 2-3 °C gibi yakın sıcaklık farklarında olmasının konfor hissi yarattığı belirtilmektedir (İşbilir 2009).

Isıl konfor sağlamak için, iç yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklıkları arasındaki farkı azaltmak bunu sağlamak içinse, ısı yalıtımı gerekir. Isı yalıtımı ile mekânın her noktasında eşit dağılan bir sıcaklık sağlanır ve hava akımları engellenir. Bu durumsa hem konforlu hem de sağlıklı bir ortam oluşmasını sağlar (İşbilir 2009).

4-Isı yalıtımı sağlıklı yaşam sunar

Isı yalıtımlı yapılan duvarlarda iç yüzeylerde terleme meydana gelmez böylece küflenmeler, siyah lekelenmeler ve sıva veya boya kabarmaları önlenmiş olur. Yaşanılan ortamlar içinde hastalanmaya neden olan bölgesel sıcaklık farkları ve nem oluşmaz, dolayısıyla sağlık harcamaları azalır. Ayrıca ısı yalıtımı yapılmasıyla hava kirliliğinde azalmalar oluşacak böylece hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki olumsuz yönde etkileri de azalacaktır.

([https://dosya.sakarya.edu.tr/.../2013/.../483607152 isi yalitim sunum,2013](https://dosya.sakarya.edu.tr/.../2013/.../483607152_isi_yalitim_sunum,2013)).

5- Isı yalıtımının diğer faydaları

Uygun yalıtım malzemesini seçmekle birlikte iklimsel ve işitsel konforun yanı sıra yapılarda yangın güvenliği de sağlanabilmektedir. Ayrıca yalıtım sayesinde gürültü denetimi sağlanabilir bunun yanı sıra yapı elemanlarında ve yüzeylerde yoğuşmanın azaltılması, ısıtma, soğutma ve enerji sistemlerinin işletme verimliliğinin artırılması ve yapı elemanlarının dış etkilerden korunması mümkün olabilmektedir (Candan 2007).

Ayrıca ısı yalıtımının yapıldığı binalarda mekanik tesisat için kullanılacak malzemeler de de azalma olacaktır. Isınma ihtiyacı için daha az enerji gereksinimi olacağından, kazan kapasitesi, radyatör sayısı ve diğer malzemeler daha az kullanılacaktır. Radyatör sayısının ve büyüklüğünün azalması, odaların kullanım alanını da genişletecektir. Isı yalıtımının yaygınlaşması bu alanda yatırımları artıracak ve bu da işsizliği azaltıcı yönde bir gelişme olacaktır (Şen 2006).

2.2.2 Tesisat yalıtımı

Bir binayı ısıtmak ve soğutmak için harcanan enerjinin azaltılmasında, mekanik tesisat yalıtımı önemli derecede etkilidir. Özellikle binalarda ısıtılmasına ve soğutulmasına gerek olmayan mahallerden geçen ısıtma ve soğutma tesisatlarının, bu mahallerden geçen bölümleri ve bu bölümlerdeki vana ve armatürleri, yalıtıldıkları takdirde sağlanacak enerji tasarrufu çok önemlidir. Mekanik tesisatı oluşturan ekipmanların (boru, tank, depo, klima kanalları, vana, armatür vb.) içinden geçen akışkanın sıcaklığına göre uygun özelliklere sahip ve uygun kalınlıktaki yalıtım malzemeleri ile kaplanmalarına tesisat yalıtımı denir (Megep 2007).

Yapılacak enerji tasarrufu, sıcak veya soğuk olan yüzeyin büyüklüğüne, yalıtılacak olan yüzey ile ortam sıcaklıkları arasındaki farka ve ısı yalıtım malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle yalıtımda kullanılacak olan malzemenin özelliklerini ve bu malzemenin nerelerde kullanılabileceğini iyi bilmek gerekmektedir. Bir mekanik tesisat yalıtım malzemesinde aranması gereken temel özellikler aşağıdaki gibidir :

- Isı iletkenlik katsayısı (λ)
- Buhar difüzyon direnç katsayısı (μ)
- Yangına dayanıklılık
- Uygulama rahatlığı
- Korozyon riskinin az oluşu
- Ekonomiklik
- Dayanım sıcaklığı
- Malzemenin yangın esnasında çıkardığı zehirli gaz miktarı (Toksosite),
- Duman yoğunluğu (Opasite)

(http://www.izoder.org.tr/tr/dokumanlar/isi_yalitimi/tesisatlardaisiyalitimi.pdf, 2013)

Bu özellikler yalıtılacak olan tesisatın cinsine göre (soğuk, ılık veya sıcak oluşuna) önem kazanmaktadır. Binalardaki mekanik tesisat içinden geçen akışkanın sıcaklığına göre 3 ana gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar ve kullanılması önerilen yalıtım malzemeleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.1: Akışkan sıcaklığına göre kullanılacak ısı yalıtım malzemeleri

(http://www.izoder.org.tr/tr/dokumanlar/isi_yalitimi/tesisatlardaisiyalitimi.pdf, 2013)

Soğuk Hatlar $T \leq 6^\circ\text{C}$	Ilık Hatlar $6^\circ\text{C} < T < 100^\circ\text{C}$	Sıcak Hatlar $T \geq 100^\circ\text{C}$
Poliyeten	Poliyeten	Cam Yünü
Kauçuk Köpüğü	Kauçuk Köpüğü	Taş Yünü
Cam Yünü *	Cam Yünü *	Kauçuk Köpüğü
Taş Yünü*	Taş Yünü *	Cam Köpüğü
EPS	Cam Köpüğü	Seramik Yünü
XPS	Poliüretan	Kalsiyum Silikat
Poliüretan		
T: Akışkan veya Ortam Sıcaklığı *: Ilık hatlarda mevcut akışkan sıcaklığının, ortam sıcaklığından daha düşük olması durumunda kullanılan camyünü ısı yalıtım malzemesinin yüzeyine alüminyum folyo veya buhar kesici bir malzemeyle sürekli olarak kaplanmalıdır.		

Mekanik tesisatta yalıtım yapmak istediğimizde öncelikle tesisattan geçecek olan akışkanın maksimum sıcaklığını bilmemiz gerekmektedir. Yalıtım malzemesi seçerken akışkan sıcaklığının yanında bilinmesi gereken kriterlerde olmasına karşın bu kriter daha belirleyicidir. Örneğin, poliyeten köpük, kalorifer ve soğutma tesisatlarında ideal olmasına rağmen buhar tesisatında kullanılması halinde eriyecektir. Aşağıda tesisat

yalıtımında yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin maksimum kullanım sıcaklıkları verilmiştir (Dikmen 1999).

Çizelge 2.2 : Yalıtım malzemeleri ve maksimum dayanım sıcaklıkları (Dikmen 1999)

Isı Yalıtım Malzemesi	Maksimum Sıcaklık (°C)
Seramik Yünü	1800 °C
Kayayünü	750 °C
Cam Köpüğü	430 °C
Camyünü (Bakalitii)	250°C
Poliürethan	110 °C
Kauçuk Köpüğü Flex Malz.	116°C
Polietilen Köpüğü Flex Malz.	105°C
Expanded Polistren	75/80 °C
Extrude Polistren	75/80°C

Tesisat yalıtımının amaçları ise;

1. Emniyet ve güvenli çalışma,
2. Isı ekonomisi sağlama,
3. Çevre kirliliğini önleme,
4. Isıl konfor şartlarının sağlanması,
5. Gürültü önleme,
6. Yangın güvenliği,
7. Terleme, yoğuşma ve donmanın önlenmesi,
8. Borularda, kanallarda, depolarda sıcaklık düşüşü olarak özetlenebilir.

(Özdemir ve ark. 2006)

2.2.2.1. Isıtma tesisatının yalıtımı

Binaların ısıtma tesisatı, ılık hatlar sınıfına girmektedir. Bunlar sıcak su ve kalorifer tesisat borularıdır. Yalıtımlarında genelde kullanılan malzemeler yüksek sıcaklık dayanımına sahip malzemelerdir. Bunlar genellikle camyünü, kauçuk köpüğü, taşyünü

şilteler ve prefabrik boru yalıtım malzemeleri ile prefabrik boru polietilen, poliüretan esaslı yalıtım malzemeleridir.



Şekil 2.4 : Camyünü ile boru yalıtımı (Hikmet ve ark. 2011)

2.2.2.2. Soğutma tesisatının yalıtımı

Boruların içinden geçen soğuk sıvıların akışları nedeniyle boru yüzeyi de soğuk olur. Bu soğuk yüzeye temas eden, ortamdaki havada bulunan su buharı, temas eder etmez yoğuşarak sıvı haline geçer. Yoğuşma, korozyon, paslanma ve enerji kaybına neden olabilir. Yoğuşma ve korozyon oluşumu gibi yalıtımı olumsuz yönde etkileyen durumların oluşmasına engel olabilmek için yalıtım malzemesinin su buharı difüzyon direnç katsayısının (μ) yeterince yüksek olmasına, uygun yalıtım kalınlığının tespit edilmesine ve doğru uygulama detay seçilmesine dikkat edilmelidir. Buhar kesici gereken bu durumlarda bu malzemelere alüminyum folyo kaplanır. Soğutma tesisatı borularının yalıtımında sentetik kauçuk esaslı, prefabrik boru camyünü, poliüretan esaslı prefabrik boru ısı yalıtım malzemeleri, prefabrik boru styropor kullanılır (Hikmet ve ark. 2011).

Çizelge 2.3 : Bazı malzemelerin su buharı difüzyon dirençleri

http://www.izoder.org.tr/tr/dokumanlar/isi_yalitimi/tesisatlardaisiyalitimi.pdf, 2012)

Hava	1.0	Polietilen Köpük	3000 – 7000
Camyünü	1.1	Kauçuk Köpüğü	3000 – 7000
Poliüretan Köpük	50–100	Metal	geçirmez



Şekil 2.5 : Elastomerik kauçuk köpüğü levhalarda boru yalıtımı (Hikmet ve ark.2011)

2.2.3 Standartlar ve Yönetmelikler

Dünyada enerjinin verimsiz kullanımı önemli bir sorun teşkil etmekte ve enerjiyi etkin kullanma yöntemlerini geliştirmek adına yapılan çalışmalar çerçevesinde, yalıtım sektörü içerisinde de ilk olarak ısı yalıtım malzemelerine ait Avrupa Standartları oluşturulmuştur. Ülkemizde ise AB teknik mevzuatına uyum çalışmaları kapsamında, ısı yalıtım malzemeleri ile ilgili oluşturulan bu Avrupa Standartlarının tamamı TSE tarafından birebir tercüme edilerek Türk Standardı olarak yayımlanmıştır. Bu ürün standartları ısı yalıtım malzemelerinin karakteristik bilgilerini (test, işaretleme ve etiketleme prosedürleri vb.) tarif etmektedir. Ürün standartlarından başka tasarım aşamasında kullanılan hesaplama ve analiz prosedürlerine yönelik Türk Standartları da bulunmaktadır. Isı yalıtımı ile ilgili esasların verildiği 08 Mayıs 2000 tarihinde yayımlanan “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği”; TS 825 standardının uygulaması ve yalıtım uygulama detaylarını içeren bir diğer mevzuattır (http://www.izobedel.com/isi_yalitimi_satandart_mevduat.html, 2013) .

Isı yalıtımı ile ilgili yürürlükteki standart ve mevzuatlar şu şekildedir:

- TS 305 (03.02.1977): Odun Talaşı Levhaları
- TS 7232 (16.05. 1989): Boru Biçiminde Lifli Yalıtım Malzemesi

- TS 901 (01.11.1972): Lifli Isı ve Ses Yalıtma Malzemesi
- TS 901-1 EN 13162 (29.04.2005): Isı Yalıtım Mamulleri – Binalar İçin – Fabrikasyon Olarak İmal Edilen Mineral Yün Mamuller – Özellikler – Direktif: 89/106/EEC
- TS 7316 EN 13163 (17.04.2002): Isı Yalıtım Mamulleri – Binalar İçin – Fabrikasyon Olarak imal Edilen - Genleştirilmiş Polistiren Köpük – Özellikler – Direktif: 89/106/EEC
- TS 11989 EN 13164 (30.04.2003): Isı Yalıtım Mamulleri – Binalar İçin – Fabrikasyon Olarak Ekstrüzyonla İmal Edilen Polistiren Köpük – Özellikler – Direktif: 89/106/EEC
- TS EN 13165 (02.03.2004): Isı Yalıtım Mamulleri – Binalar İçin – Fabrikasyon Olarak imal Edilen Sert Poliüretan Köpük – Özellikler – Direktif: 89/106EEC
- TS EN 13166 (02.03.2004): Isı Yalıtım Mamulleri – Binalar İçin – Fabrikasyon Olarak İmal Edilen Fenolik Köpük – Özellikler – Direktif: 89/106/EEC
- TS EN 13167 (11.12.2002): Isı Yalıtım Ürünleri – Binalarda Kullanılan – Fabrika Yapımı Cam köpüğü Ürünleri – Özellikler – Direktif: 89/106/EEC
- TS EN 13168 (15.04.2003): Isı Yalıtım Mamulleri-Binalarda Kullanılan-Fabrika Yapımı Rende Yongası Mamulleri-Özellikler– Direktif: 89/106/EEC
- TS EN 13169 (28.01.2004): Isı Yalıtım Malzemeleri – Binalar İçin – Genleştirilmiş perlitten Fabrikada İmal Edilmiş Mamuller – Özellikler – Direktif: 89/106/EEC
- TS 304 EN 13170 (17.04.2003): Isı Yalıtım Mamulleri-Binalar İçin-Fabrika Yapımı Genleştirilmiş Meşe Mantarı Levhaları -Özellikler - Direktif: 89/106/EEC
- TS EN 13171 (15.04.2003): Isı Yalıtım Mamulleri-Binalarda Kullanılan-Fabrika Yapımı Odun Lifli Mamuller-Özellikler - Direktif: 89/106/EEC
- TS EN 13494 (14.04.2004): Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri – Yapıştırıcı ve Yalıtım Sıvasının, Isı Yalıtım Malzemesine Yapışma Mukavemetinin Tayini
- TS EN 13495 (14.04.2004): Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri – Dıştan Kompozit Isı Yalıtım Sistemlerinin Çekme – Kopma Mukavemetinin Tayini (Blok Köpük Testi)
- TS EN 13496 (27.09.2005): Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri – Cam Elyafı Sıva Filesinin Mekanik Özelliklerinin Tayini
- TS EN 13497 (27.09.2005): Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri – Dıştan Kompozit Isı Yalıtım Sistemlerinin Darbe Dayanımının Tayini

- TS EN 13498 (27.09.2005): Bina Uygulamalarında Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri – Dıştan Kompozit Isı Yalıtım Sistemlerinin Penetrasyon (Nüfuz Etme) Mukavemetinin Tayini
- TS EN 13499 (28.01.2004): Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri – Genleştirilmiş Polistiren Köpük ile Yapılan Dıştan Kompozit Isı Yalıtım Sistemleri - Özellikler
- TS EN 13500 (27.09.2005): Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri – Mineral Yünler ile Yapılan Dıştan Kompozit Isı Yalıtım Sistemleri - Özellikler]
- TS 5808 (29.04.1988): Su Bazlı (Emülsiyon Esaslı) Yapı Son Kat Boyaları
- TS 7847 (08.02.1990): Hazır Sıva – Dış Cephe İçin, Sentetik Emülsiyon Esaslı
- TS EN 1279-5 (27.12.2005): Cam - Yapılarda Kullanılan – Cam Esaslı Yalıtım Birimleri - Bölüm 5: Uygunluk Değerlendirmesi İçin
- TS EN 1096-1,2,3: Yapılarda Kullanılan Cam – Kaplamalı Cam

Isı yalıtımı ile ilgili yürürlükteki kurallar aşağıdaki gibidir.

- TS 825(29.04.1998): Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı
- TS EN ISO 13788 (27.04.2004): Bina Bileşenlerinin Ve Bina Elemanlarının Nemli Ortamda Isıl Performansı – Kritik Yüzey Nemini Ve Bina Bileşenlerinin içindeki Yoğuşmayı Önlemek için iç Yüzey Sıcaklığı – Hesaplama Metotları
- TS EN ISO 10211-1 (07.11.2000): Bina İnşaatlarında Isıl Köprüler – Isı Akışları ve Yüzey Sıcaklıkları – Bölüm 1: Genel Hesaplama Metotları
- TS EN ISO 10211-2 (29.11.2001): Bina Yapımında Isıl Köprüler – Isı Akışlarının ve Yüzey Sıcaklıklarının Hesaplanması – Bölüm 2: Doğrusal Isıl Köprüler
- TS EN ISO 14683 (21.03.2000): Bina inşaatı – Isıl Köprüler – Lineer Isıl Geçirgenlik – Basitleştirilmiş Metot ve Hatasız Değerler
- TS 8441 (14.04.1990):Isı Yalıtımı Hesaplama Metotları – Düzlem Yapı Yüzeylerinde Dikdörtgen Kesitli Isı Köprüleri
- 08 Mayıs 2000 tarih ve 24043 sayılı resmi gazetede yayımlanan “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği”

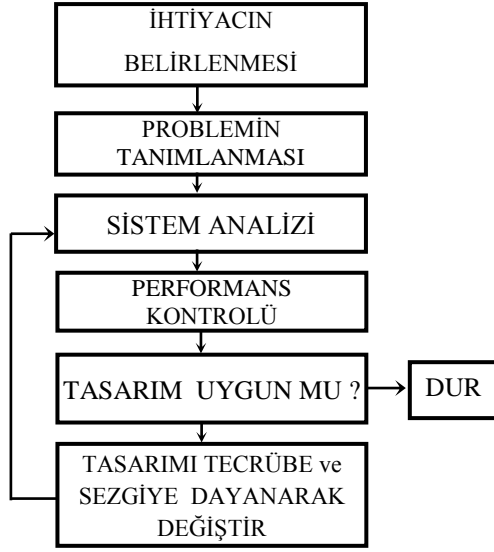
3.MATERYAL VE YÖNTEM

Sıcak sulu ısıtma sistemlerinde su boru içerisinde geçerken bazı enerji kayıplarına uğramaktadır. Bu kayıplardan ilki borunun içindeki yüzey pürüzlülüklerinden dolayı basınç kayıpları; ikincisi ise boru dış yüzeyi ile ortam sıcaklık farkından dolayı oluşan ısı kayıplarıdır. Boru çapının küçük seçilmesi sonucu çapın azalmasıyla yüzey alanının azalışı ısı kayıplarını azaltırken su akış hızı arttığı için basınç kayıpları artırmaktadır. Boru çaplarının büyük seçilmesi durumunda ise su akış hızı azaldığı için basınç kayıpları azalırken, çapın artmasıyla yüzey alanının artışı da ısı kayıplarını artırmaktadır (Yavuz ve ark. 2011).

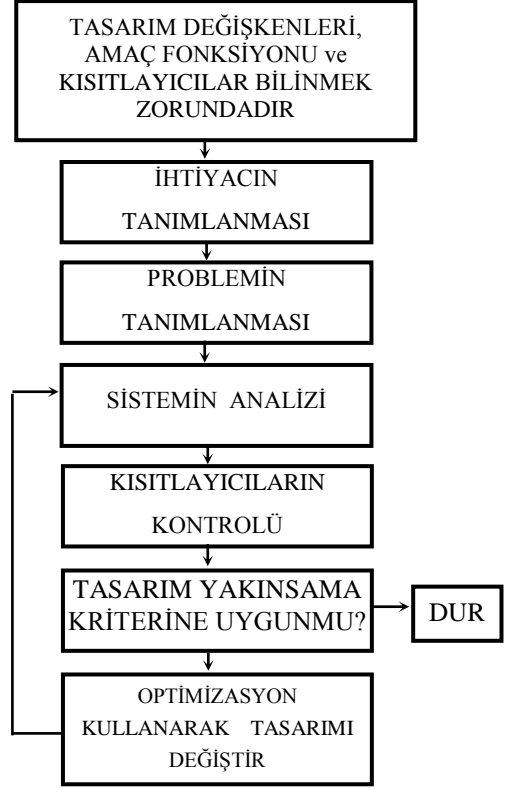
Bu çalışmada amaçlanan, pompalama, ısı kayıpları, ve ilk yatırım maliyeti olan yalıtım malzemesi maliyeti ve boru maliyeti toplamalarının en az olduğu durumdaki optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığının aynı anda bulunmasıdır. Bu optimum değeri bulmada ise bir yazılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Delphi 7 programlama dili kullanılmıştır. Ayrıca bu optimum değerlerin bulunması aşamasında genetik algoritma metodu kullanılmıştır.

3.1 GENETİK ALGORİTMALAR

Optimizasyon, kısıtlar sağlanacak şekilde amaç fonksiyonununun minimum veya maksimum değerlerini veren tasarım değişkenlerinin en ideal değerlerinin elde edilmesidir .



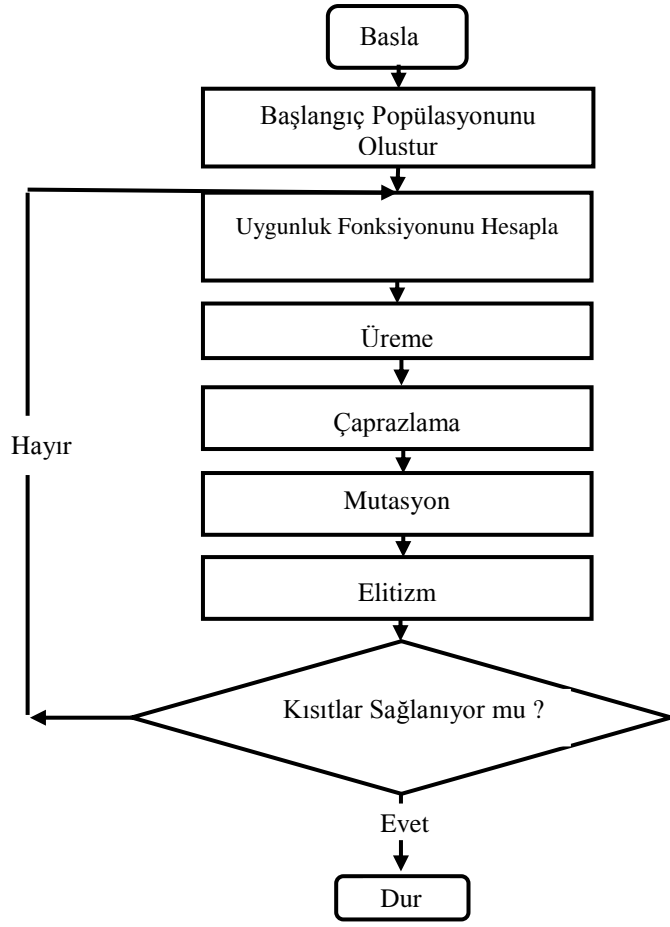
Şekil 3.1: Geleneksel tasarım süreci
(Yıldız 2006)



Şekil 3.2 : Optimum tasarım süreci
(Yıldız 2006)

Şekilde de görüldüğü gibi geleneksel tasarım süreci tasarımcının tecrübe ve sezgisine bağlıdır. Bu nedenle geleneksel tasarım süreci ekonomik olmayan tasarımlara ve aşırı zaman kaybına neden olur.

Optimum tasarım sürecinde ise tasarımcının kısıtlayıcı fonksiyonları, minimum veya maksimum yapılacak maliyet fonksiyonlarını ve tasarım değişkenlerini tanımlaması gerekir. Ve böylece problemin daha ekonomik ve hızlı çözümüne ulaşılır (Yıldız 2006). Genetik algoritmalar geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Genetik algoritmalar birçok alanda uygulanabilmektedir. Bunlardan bazıları deneysel çalışmalarda optimizasyon, pratik endüstriyel uygulamalar ve sınıflandırma sistemi olarak bilinir. Mühendislik alanında da genetik algoritmalar birçok problemde optimizasyon tekniği olarak kullanılır. Örneğin otomasyon sistemlerinde mekanizma tasarımında, görüntü işleme tekniklerinde, geleneksel kontrol problemlerinde, güç sistemlerinde, üretim hattı yerleşimi planlaması gibi optimizasyon gerektiren problemlerde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır (Atanak ve ark.).



Şekil 3.3 :Genetik algoritmaların çalışma prensibi akış şeması (Yıldız 2006)

Başlangıç Popülasyonunun Yaratılması: Bu aşamada algortmada kullanılacak bireyler oluşturulur. Burada yapılacak seçim başlangıç popülasyonunun birey sayısını oluşturur. Az sayıdaki birey algortmada kullanılan birçok değerin ele alınmadan atlanmasına neden olur. Çok sayıda birey ise algortmanın yavaşlamasına neden olur. Popülasyon sayısı belli bir değeri geçtikten sonra daha fazla arttırmak algortmanın verimliliğini azalmaktadır. Her problem tipi için en iyi çözümü veren başlangıç popülasyonu sayısı farklıdır (Altay 2007).

Uygunluk Fonksiyonunu Hesapla: İlk olarak ele alınan problem için bir rastgele n kromozomlu popülasyon oluşturulur. Daha sonra popülasyondaki her bir kromozom için $f(x)$ uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Yeni bir popülasyon oluşuncaya kadar yukarıdaki adımlar tekrar edilir (Bolat ve ark. 2004).

Üreme: Başlangıç popülasyonu fazla ise bazı iteratif adımların uygulanması gerekir. Kromozom olarak en uygun olanı hayatta kalmalı diğerleri de yok olmalıdır. Doğal seçim, algoritmanın her bir iterasyonunda meydana gelir. Burada ne kadar kromozomun elde tutulacağına karar vermek isteğe bağlıdır. Kromozomlarda gelecek nesil içerisinde yer alma mücadelesi başlamaktadır (Çunkaş).

Çaprazlama: Çaprazlama işlemi, bilgilerin karşılıklı olarak iki birey arasındaki değişiminden oluşmaktadır. Çaprazlama işleminde, üreme işleminden gelen iki yeni birey eşleştirme havuzundan seçilerek, rastgele seçilmiş çaprazlama pozisyonuna göre bireylerdeki bilgi değişimi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem, tercih edilmiş iyi dizilerin arasında daha iyi özellikleri birleştirir. Amaç popülasyonda olmayan bireyleri yaratarak bireyler arasındaki çeşitliliğin artırılmasıdır (Yıldız 2006).

Mutasyon: Mutasyon, popülasyondaki kromozomların birbirinin aynısı ya da benzerleri olması durumunda farklılığı sağlamak ve araştırmada farklı alanları incelemek için kullanılır (Daban ve ark. 2005).

Elitizm: Bu adım da iterasyon sayısına veya uygun bir çözüme ulaşıncaya kadar işleme devam edilir. İstenen hassasiyet derecesine göre de maksimum iterasyon sayısı belirlenebilmekte ve iterasyon bu sayıya ulaştığında döngü durdurulabilmektedir. Durdurma kriteri iterasyon sayısı olabileceği gibi hedeflenen uygunluk değeri de olabilmektedir (Emel ve ark. 2002).

3.2 POMPA İÇİN GEREKEN ENERJİ VE MALİYETİ

Pompa gücünün hesaplanabilmesi için ilk olarak borunun içindeki akışkanın hızının hesaplanması gerekir. Akış hızını hesaplayabilmek için boru içinden geçecek olan akışkanın debisi ve sistemde kullanılacak boru boyutlarının bilinmesi gerekir.

$$\dot{m} = \rho V_{su} A \quad (3.1)$$

Akış hızı hesabından sonra akış türü tespit edilmelidir.

$$Re = \frac{V_{su} * D}{\nu} \quad (3.2)$$

$Re < 2300$ ise akış laminar,

$Re > 2300$ ise akış türbülanslıdır.

Laminer akışlarda tüm borularda tüm akışkanlar için sürtünme katsayısı f ise aşağıdaki gibi bulunur (Yavuz 2011).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.3)$$

Türbülanslı akışta ise sürtünme katsayısı ise (Yavuz 2011) ;

$$f = \frac{1}{\left\{ 1.8 \log_{10} \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon / D}{3.7} \right)^{1.11} \right] \right\}^2} \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanır.

Sürtünmeden dolayı oluşan basınç kaybı; (Öztürk ve ark. 2006)

$$\Delta P = f * \frac{L}{D} * \rho * \frac{V_{su}^2}{2} \quad (3.5)$$

Sürtünmeye harcanan pompa gücü aşağıdaki gibidir.

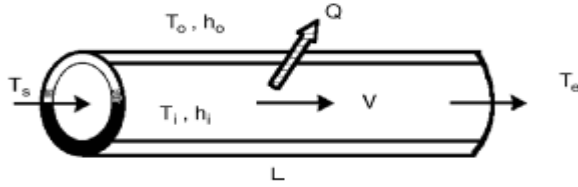
$$\dot{W}_P = \frac{\dot{m} * \Delta P}{\rho * \varphi_b} \quad (3.6)$$

Sıcak su farklı akış hızlarında boru içerisinden geçerken boruya ait iç yüzey pürüzlülüklerinden dolayı basınç kayıpları oluşmakta buda akışkanı ısıtılacak mahale ileten pompanın gereğinden fazla enerji harcamasına sebep olmaktadır. Bu harcanan enerji ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. Burada c_{el} elektriğin birim fiyatını ve n ise sistemin çalışma ömrünü göstermektedir (Öztürk ve ark. 2006).

$$C_{POMPA} = \dot{W}_P * c_{el} * n \quad (3.7)$$

3.3 AKIŞKAN TAŞIYAN BORULARDA ISI KAYBI VE MALİYETİ

Sıcak su taşıyan borularda akışkanın özellikleri ve boruyu çevreleyen havanın özellikleri ile ilgili ve parametreler şekil 3.4'de gösterilmiştir. Burada T_s suyun giriş sıcaklığını, T_e suyun çıkış sıcaklığını, T_i suyun boru içindeki sıcaklığını göstermektedir. h_i suyun ısı taşınım katsayısını ve V suyun boru içindeki akış hızını, T_0 boruyu çevreleyen havanın sıcaklığı, h_0 havanın ısı taşınım katsayısını, Q suyun ısı kaybını ve L boru boyunu ifade etmektedir.



Şekil 3.4 : Boru parçası ve çeşitli parametreleri (Öztürk ve ark. 2006)

Isı kaybı hesabı yapabilmemiz için aşağıdaki işlemleri sırasıyla yapmamız gerekir.

3.3.1 Boru İçindeki Isı Taşınım Katsayısının Hesaplanması

Boru içindeki taşınım katsayısı h_i aşağıdaki şekilde hesaplanır (Kılıç ve ark. 2004).

$$\frac{h_i * D}{k_i} = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,4} \quad (3.8)$$

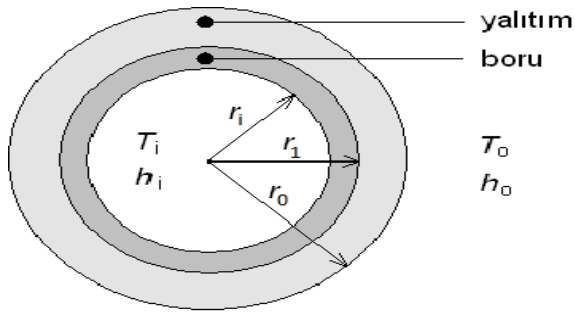
3.3.2 Çıkış Sıcaklığı Hesabı

Boru dışındaki taşınım katsayısının hesaplanması için cidar sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. Cidar sıcaklığını bulabilmek içinse öncelikle suyun borudan çıkış sıcaklığı T_e hesaplanmalıdır (Öztürk ve ark. 2006).

$$T_e - T_0 = (T_s - T_0) * e^{-a*b} \quad (3.9)$$

$$a = \frac{2*\Pi}{\left(\frac{1}{h_i*r_i} + \left(\frac{1}{k_{boru}}\right) * \ln\left(\frac{r_1}{r_i}\right) + \left(\frac{1}{k_{yal}}\right) * \ln\left(\frac{r_0}{r_1}\right) + \frac{h_0}{r_0}\right)} \quad (3.10)$$

$$b = \frac{L}{\dot{m}*C_p} \quad (3.11)$$



Şekil 3.5 : Yalıtımlı boru

3.3.3 Cidar Sıcaklığı Hesabı

Cidar sıcaklığı hesabı için öncelikle (Çengel 2003);

$$Q_{yzy} = \frac{T_{ort} - T_0}{R_{top}} \quad (3.12)$$

formülünden Q_{yzy} (yüzeyler arası ısı transferi) değeri hesaplanır. R_{top} değeri ise uygulanan problem için;

$$R_{top} = R_{iç} + R_1 + R_0 + R_{dış} \quad (3.13)$$

olarak bulunur.

$$R_{iç} = \frac{1}{h_i A_i} \quad (3.14)$$

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_{\text{boru}}} \quad (3.15)$$

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{r_0}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_{\text{yal}}} \quad (3.16)$$

$$R_{\text{dış}} = \frac{1}{h_0 A_0} \quad (3.17)$$

Cidar sıcaklığının hesabındaki diğer aşama ise ara sıcaklıklarının hesabıdır. Borunun merkezindeki sıcaklıktan başlanmak üzere adım adım cidar sıcaklığı hesabına gidilir (Çengel 2003).

$$T_i = T_s - (Q_{\text{zy}} \cdot R_{\text{iç}}) \quad (3.18)$$

$$T_1 = T_i - (Q_{\text{zy}} \cdot R_1) \quad (3.19)$$

$$T_{\text{CD}} = T_1 - (Q_{\text{zy}} \cdot R_2) \quad (3.20)$$

3.3.4 Toplam Isı Transfer Katsayısının Hesaplanması

Yalıtımlı borularda ısı kaybının hesaplanabilmesi için ısı transfer katsayısının bilinmesi gerekir (Bhatia 2011).

$$U = \frac{1}{(r_0 / h_i \cdot r_i) + (r_0 \cdot \ln(r_1 / r_i) / k_{\text{boru}}) + (r_0 \cdot \ln(r_0 / r_1) / k_{\text{yal}}) + 1 / h_0} \quad (3.21)$$

3.3.5 Boru Dışındaki Isı Taşınım Katsayısının Hesaplanması

Problemde ilk olarak h_0 (boru dışındaki ısı taşınım katsayısı) değeri kabul edilir. Ve işlemlere başlanır. Daha sonra bulunan değerler sonucunda h_0 aşağıdaki formülden hesaplanır ve kabul edilen değerle karşılaştırılır. Eğer değerler birbirinden farklıysa döngüye en son bulunan h_0 ile devam edilir. h_0 değerleri eşitlendiğinde döngü son bulur. Eğer değerler birbirine eşitse döngüye girmeden hesaplanan h_0 değeri alınır.

Laminer akışlarda DIN ISO12241 VD1 2055 standartlarına göre borlar bina içindeyse ve yatay ise ısı taşınım katsayısı (Erdem 2009);

$$h_0 = 1,25 * \left(\frac{\Delta t}{2 * r_0} \right)^{0,25} \quad (3.22)$$

$$\Delta t = T_{CD} - T_0 \text{ (Cidar sıcaklığı ile dış ortam sıcaklıklarını farkı)} \quad (3.23)$$

Türbülanslı akışlarda DIN ISO12241 VD1 2055 standartlarına göre borular bina içindeyse ve yatay ise ısı taşınım katsayısı (Erdem 2009);

$$h_0 = 1,21 * (\Delta t)^{\frac{1}{3}} \quad (3.24)$$

olarak hesaplanır.

3.3.6 Isı Kaybı Hesabı

Yalıtımlı borularda ısı kaybının (Q) hesaplanabilmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılmalıdır (engel 2003).

$$A = \Pi * D * L \quad (3.25)$$

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_s - T_0) - (T_e - T_0)}{\ln \frac{(T_s - T_0)}{(T_e - T_0)}} \quad (3.26)$$

$$Q = U * A * \Delta T_{ln} \quad (3.27)$$

3.3.7 Isı Kaybından Dolayı Oluşan Maliyet Hesabı

Kullanılan yakıtın (doğalgaz) yıllık ısıtma maliyetini hesaplamak için yakıtın alt ısı değeri (H_u), ısıtma sisteminin verimi (η), yakıt fiyatı (C_f) ve sistem yılda ne kadar çalışıyor (n) bilinmesi gerekir (zel 2008).

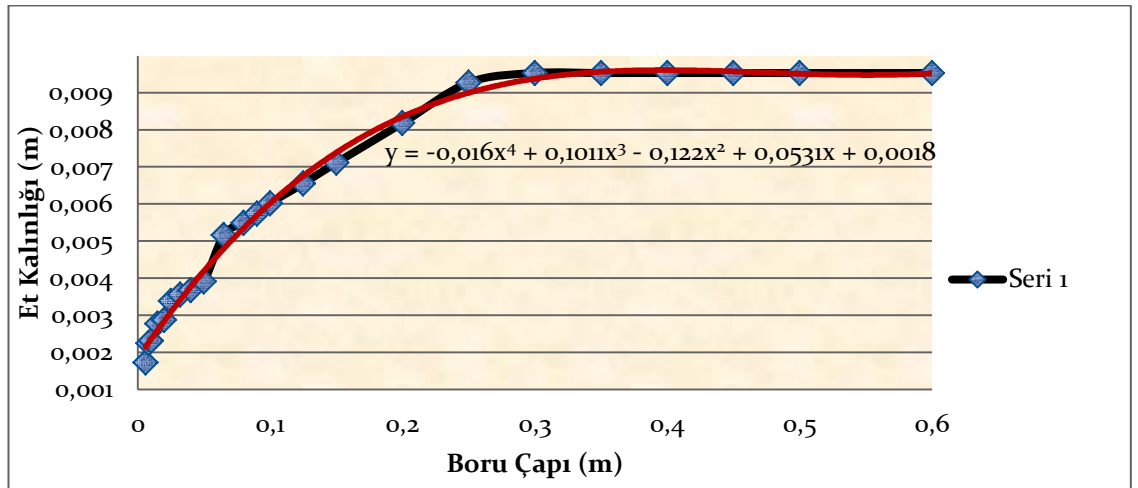
$$C_{DG} = \frac{Q * C_f * n}{H_u * \eta} \quad (3.28)$$

3.4 BORU MALİYETİ

Maliyet hesaplarında yapılan ödemenin kredi ile değil de nakit olarak yapıldığı kabul edilmiştir.

3.4.1 Et Kalınlığı Hesabı

Boru maliyeti hesabı yapabilmemiz için öncelikle piyasada kullanılan standart boruların et kalınlıkları kullanılarak problemde her çap değeri için et kalınlığını veren bir polinom oluşturulmuştur http://www.dacapo.com/filer/nominal_pipe_sizes.pdf, 2012).



Şekil 3.6 : Boru çapına göre et kalınlığının değişimi

Burada x mm cinsinden boru çapını ve y de bu boru çapına karşılık gelen et kalınlığı değerini vermektedir.

$$y = -0,016x^4 + 0,1011x^3 - 0,122x^2 + 0,0531x + 0,0018 \quad (3.29)$$

3.4.2 Boru Ağırlığı Hesabı

Boru ağırlığı hesabında çap değeri ve et kalınlığı değeri kullanılmaktadır (<http://www.akcelikboru.com/formul.html>, 2012).

$$m_{\text{boru}} = [D(\text{mm}) - Et \text{ kal.}(\text{mm})] * Et \text{ kal.}(\text{mm}) * 0,026 \quad (3.30)$$

olarak hesaplanır.

3.4.3 Boru Maliyeti Hesabı

Sistemde kullanılacak çelik boruların toplam maliyet hesabı Bayındırlık ve İskan Bakanlığının birim fiyatları baz alınarak aşağıdaki gibi oluşturulmuştur (Öztürk ve ark. 2006).

$$C_{\text{BORU}} = (1,308032 + 0,54011 * m_{\text{boru}} + 1.4933 * 10^{-5} * m_{\text{boru}}^2) * L \quad (3.31)$$

3.5 YALITIM MALZEMESİ MALİYETİ

Oluşturulmak istenen sistemde kullanılacak yalıtım malzemesi olan cam yününün toplam maliyet hesabı Bayındırlık ve İskan Bakanlığının birim fiyatları kullanılarak oluşturulmuştur. Buradaki e_{yal} kullanılacak yalıtım malzemesinin kalınlığı, $A_{\text{yüzey}}$ ise yalıtım malzemesinin çevrelediği toplam alandır (Öztürk ve ark. 2006).

$$A_{\text{yüzey}} = \Pi * D * L \quad (3.32)$$

$$C_{\text{YAL}} = (11,15648 + 299,308 e_{\text{yal}} - 471,83 e_{\text{yal}}^2) A_{\text{yüzey}} \quad (3.33)$$

3.6 OPTİMUM BORU ÇAPI VE YALITIM KALINLIĞI HESABI

Burada amaçlanan maliyetler toplamının en düşük olmasıdır. C_{TOPLAM} minimum değeri aldığındaki boru çapı ve yalıtım kalınlığı değeri aranan optimum değerlerini almış olur. Toplam maliyet (C_{TOPLAM}) pompalamada harcanan enerji maliyeti, ısı kaybından dolayı

oluşan enerji maliyeti, ilk yatırım olan boru maliyeti ve yalıtım malzemesi maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır.

$$C_{\text{TOPLAM}} = C_{\text{POMPA}} + C_{\text{DG}} + C_{\text{BORU}} + C_{\text{YAL}} \quad (3.34)$$

3.7 UYGULAMAYA AİT BİR ÖRNEK

Çizelge 3.1: Çalışmada kullanılan semboller ve değerleri

Parametre	Değer
D: Boru çapı	234 mm
e_{yal} : yalıtım kalınlığı	91,3 mm
L : Boru uzunluğu	500 m
T_s : Suyun giriş sıcaklığı	393 K
T_o : Dış ortam sıcaklığı	283 K
m : Debi	50 kg/s
n : Sistemin çalışma ömrü	20 yıl
Sistemin yıllık kullanım süresi	3200 h/yıl
k_{boru} : Borunun ısı iletim katsayısı	54 W/m K
k_{yal} : Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı	0,045 W/m K
ρ : Suyun yoğunluğu	937,2 kg/m ³
H_u : Doğalgazın alt ısıl değeri	35*10 ⁶ J / m ³
c_p : Özgül ısı kapasitesi	4180 j /kg K
Doğalgazın birim fiyatı	0,535 \$/m ³
Elektriğin birim fiyatı	0,157 \$/Kwh
η : sistemin verimi	0,9
φ_D : Pompa verimi	0,9

3.7.1 Pompa İçin Gereken Enerji ve Maliyeti

Öncelikle boru içinden geçen akışkanın akış hızı belirlenmelidir. Akış hızını hesaplamak içinse et kalınlığı hesabı yapılmalıdır. Yukarıda bulunan denklem (3.29)'dan et kalınlığı hesabı yapılır.

$$\begin{aligned}\text{Et kalınlığı} &= -0,016*r_1^4+0,01011*r_1^3- 0,122*r_1^2+ 0,053*r_1+0,0016 \\ &= -0,016*0,234^4+0,01011*0,234^3- 0,122*0,234^2+ 0,053*0,234+0,0016 \\ &= 8,769*10^{-3} \text{ m}\end{aligned}$$

Denklem (3.1)'den boru içindeki akış hızı hesaplanır.

$$\begin{aligned}V_{su} &= \frac{937,2*50}{\Pi* \frac{(0,234-(2*0,008769))^2}{4}} \\ &= 1,33 \text{ m/sn}\end{aligned}$$

Akış türü hesabında ise denklem (3.2)'den yararlanılır.

Re hesabında kullanılacak olan ν değeri tablodan $0,251*10^{-6}$ bulunur (Kılıç ve ark.2004).

$$Re = \frac{1,33*0,234}{0,251*10^{-6}} = 1,23*10^6$$

$1,23*10^6 > 2300$ olduğundan akış türbülanslıdır.

Türbülanslı akışta sürtünme katsayısı denklem (3.4)'den bulunur. ϵ (pürüz yüksekliği) değeri ise çelik borular için 0,045 olarak bulunur (Umur 2001).

$$f = \frac{1}{\{1,8\log_{10}[\frac{6,9}{1,23*10^6}+(\frac{0,045/0,234}{3,7})^{1,11}]\}^2} = 1,12*10^{-2}$$

Sürtünmeden dolayı oluşan basınç kaybı ise denklem (3.5)'ten bulunur.

$$\Delta P = 0,0112 * \frac{500}{0,234} * 937,2 * \frac{1,33^2}{2} = 20174,75 \text{ Pa}$$

Pompanın veriminin 0,9 olduğu düşünülürse, sürtünmeye harcanan pompa gücü denklem (3.6)'dan;

$$\dot{W}_P = \frac{50 * 20174,75}{937,2 * 0,9} = 1195,9 \text{ Watt}$$

bulunur.

Pompanın için harcanan enerji maliyeti denklem (3.7)'den hesaplanır. Sistemin 20 yıl çalıştığı ve yılda 3200 saat çalıştığı düşünülürse ve elektriğin birim fiyatı 0,2951 TL/kwh(http://www.epdk.gov.tr/documents/elektrik/tarife/ulusal/Elk_Tarife_Krl_4335.pdf, 2013) alınırsa;

$$C_{POMPA} = 1195,9 * 0,0415 * 10^{-6} * 3200 * 20 * 3600 = 11434,94 \$ \text{ (1\$=1,88 TL } \\ \text{www.tcmb.gov.tr, 2013).}$$

olarak hesaplanır.

3.7.2 Akışkan Taşıyan Borularda Isı Kaybı ve Maliyeti

Boru içindeki taşınım katsayısı h_i denklem (3.8)'deki gibi hesaplanır. Pr değeri tablodan 1,5 olarak okunur ve k_i değeri de tablodan 0,6 bulunur (Kılıç ve ark.2004).

$$\frac{h_i * 0,234}{0,6} = 0,023 * (1,23 * 10^6)^{0,8} * 1,5^{0,4}$$

$h_i = 379,8 \text{ W/ m}^2\text{K}$ olarak hesaplanır.

Boru dışındaki ısı taşınım katsayısı (h_0) 'ın ilk olarak kabul edilir. h_0 4,211 olsun. Akışkanın borudan çıkış sıcaklığı (3.9) formülü ile hesaplanır.

$$a = \frac{2 \cdot \Pi}{\left(\frac{1}{379,8 \cdot \frac{0,234 - 0,01752}{2}} + \left(\frac{1}{0,045} \right) \cdot \ln \left(\frac{0,117}{\frac{0,234 - 0,01744}{2}} \right) + \left(\frac{1}{54} \right) \cdot \ln \left(\frac{0,208}{0,117} \right) + \frac{4,211}{0,208} \right)}$$

$$= 0,449$$

$$b = \frac{500}{50 \cdot 4,18} = 2,39$$

$$T_e - 283 = (393 - 283) \cdot e^{-0,449 \cdot 2,39}$$

$$T_e = 320,6 \text{ bulunur.}$$

Boru içindeki ısı direnç (3.14) aracılığıyla hesaplanır.

$$R_{iç} = \frac{1}{379,8 \cdot 2 \cdot \Pi \cdot 0,117 \cdot 500} = 7,16 \cdot 10^{-6}$$

Borunun et kalınlığı kısmındaki ısı direnç R_1 (3.15) aracılığıyla bulunur.

$$R_1 = \frac{\ln(0,117/0,10824)}{2 \cdot \Pi \cdot 500 \cdot 54} = 4,59 \cdot 10^{-7}$$

Borunun yalıtımlı kısmındaki ısı direnç R_2 (3.16) 'dan

$$R_2 = \frac{\ln(0,208/0,117)}{2 \cdot \Pi \cdot 500 \cdot 0,045} = 4,08 \cdot 10^{-3}$$

bulunur.

Dış taraftaki ısı direnç ise $R_{dış}$ (3.17) 'den hesaplanır.

$$R_{dış} = \frac{1}{4,211 \cdot 2 \cdot \Pi \cdot 0,208 \cdot 500} = 3,62 \cdot 10^{-4}$$

R_{top} değerini bulmak için denklem (3.13) kullanılır.

$$R_{top} = 7,16 \cdot 10^{-6} + 4,59 \cdot 10^{-7} + 4,08 \cdot 10^{-3} + 3,62 \cdot 10^{-4} = 4,45 \cdot 10^{-3}$$

Q_{yzy} (yüzeyler arası ısı transferi) değeri denklem (3.12) ile bulunur.

$$Q_{yzy} = \frac{(320,6 + 393)/2 - 283}{4,45 \cdot 10^{-3}} = 1,65 \cdot 10^4 \text{ Watt}$$

(3.18) aracılığıyla T_i değeri hesaplanır.

$$T_i = 393 - (1,65 \cdot 10^4 \cdot 7,16 \cdot 10^{-6}) = 392,8818 \text{ K}$$

(3.19) aracılığıyla T_1 değeri hesaplanır.

$$T_1 = 392,8818 - (1,65 \cdot 10^4 \cdot 4,59 \cdot 10^{-7}) = 392,8811 \text{ K}$$

Cidar sıcaklığı ise (3.20) denklemiyle bulunur.

$$T_{CD} = 392,8811 - (1,65 \cdot 10^4 \cdot 4,08 \cdot 10^{-3}) = 325,18 \text{ K}$$

Isı transfer katsayısının bulunmasında denklem (3.21)' den yararlanılır.

$$U = \frac{1}{\frac{0,208}{379,8 \cdot 0,10824} + \frac{0,208 \cdot \ln(0,117/0,10824)}{54} + \frac{0,208 \cdot \ln\left(\frac{0,208}{0,117}\right)}{0,045} + 1/4,211}$$
$$= 0,343 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kabul ettiğimiz h_0 (boru dışındaki ısı taşınım katsayısı) değeri ile türbülanslı akışlar için verilen denklem (3.24) 'ye göre hesaplanan h_0 değeri karşılaştırılır. Eğer aradaki fark 0,001 den küçükse doğru değer atanmıştır. Eğer ardaki fark 0,001 den büyükse döngüye başlanır, aradaki fark bu kriteri sağlanana kadar devam edilir.

$$h_0 = 1,21 * (325,18-283)^{\frac{1}{3}} = 4,2119 \text{ W/mK}$$

Bu hesaplamamız için hesaplanan h_0 değeri ile kabul edilen h_0 değeri arasındaki fark $4,2119-4,211=0,0009$ olarak hesaplanır. Aradaki fark 0,001 den küçük olduğu için döngüye son verilir. Bu da kabul edilen h_0 değerinin doğru olduğunu göstermektedir.

Yalıtımlı borularda ısı kaybının (Q) hesaplanabilmesi için aşağıdaki eşitlik (3.27) kullanılır.

$$Q = 0,343 * \Pi * 0,416 * 500 * 67,8 = 15189,6 \text{ Watt}$$

Kullanılan yakıt doğalgazdır. Sistemin toplam ısıtma maliyeti ise (3.28)' den hesaplanır.

Doğalgazın birim fiyatı 1,06 TL /m³ olarak alınır.

<http://www.baskentdogalgaz.com.tr/inc/main.asp?id=tarifearsiv,2013>

$$C_{DG} = \frac{15189,6 * 0,535 * 20 * 3200 * 3600}{35 * 10^6 * 0,9} = 59439,12 \text{ \$}$$

3.7.3 Boru Maliyeti

Boru ağırlığı hesabı için denklem (3.30) kullanılmalıdır.

$$m_{\text{boru}} = [230-8,76] * 8,76 * 0,026 = 50,38 \text{ kg/m}$$

Sistemde kullanılacak çelik boruların toplam maliyet hesabı denklem (3.31) ile bulunur.

$$C_{\text{BORU}} = (1,308032 + 0,54011 * 50,16 + 1.4933 * 10^{-5} * 50,38^2) * 500 = 14542,9 \text{ \$}$$

3.7.4 Yalıtım Malzemesi Maliyeti

Yalıtım malzemesi olan cam yününün toplam maliyet hesabı (3.33)'daki denklemden bulunur.

$$C_{YAL} = (11,15648 + 299,308 * 0,091 - 471,83 * 0,091^2) * \Pi * 0,416 * 500 = 22612,06 \$$$

3.7.5 Optimum Boru Çapı ve Yalıtım Kalınlığı Hesabı

Toplam maliyet (C_{TOPLAM}) pompalamada harcanan enerji maliyeti, ısı kaybından dolayı oluşan enerji maliyeti, ilk yatırım olan boru maliyeti ve yalıtım malzemesi maliyetlerinin toplamı denklem (3.34)'den hesaplanır.

$$C_{TOPLAM} = 11434,94 + 59439,12 + 14542,9 + 22612,06 = 108029 \$$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Dış taraftaki ısı taşınım katsayısı h_0 ısı yalıtımın dış yüzey sıcaklığına ve dış ortam sıcaklığına bağlıdır. Dış yüzey sıcaklığı ise toplam ısıl direnç ve akışkanın çıkış sıcaklığına bağlı olduğundan hazırlanan matematiksel modelin kullanılabilmesi için iterasyon yapılması gerekmektedir. Tüm değerler ve denklemler Delphi programlama dili kullanılarak çözdürülmüştür. Çözüm sürecinde optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritmalar kullanılmıştır. İlk olarak tasarım değişkenleri, hesaplanması istenen aralıklarda tanımlanır. Bu çalışmada tasarım değişkenleri boru çapı ve yalıtım kalınlığıdır. Daha sonra bir h_0 değeri tahmin edilir ve buna göre akışkanın borudan çıkış sıcaklığı T_e , yalıtımın dış yüzey sıcaklığı T_{CD} , ısı transfer katsayısı U hesaplanmıştır. Son olarak yeni bir h_0 hesaplanarak başlangıçta kabul edilen h_0 ile karşılaştırılmıştır. Fark $0,001 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'den küçükse iterasyon sonlandırılmış ancak fark bu değerden büyükse yeni hesaplanan h_0 iterasyonun 2. adımının giriş verisi olarak kullanılmış ve aynı yöntem takip edilerek tekrar yeni bir h_0 hesaplanmıştır. Daha sonra pompaya harcanan enerji maliyeti, ısı kaybı maliyeti, boru maliyeti ve yalıtım malzemesi maliyeti hesaplanmıştır. Son olarak toplam maliyetin minimum olduğu nokta denklem (3.34)'ten yararlanılarak bulunmuştur. Bu değeri minimum yapan yalıtım kalınlığı ve boru çapı değerleri hesaplanması istenen optimum değerleri vermektedir.

Ayrıca çalışmada optimizasyon hesabı yaparken tasarım değişkenleri olarak boru çapı 100 mm ile 600 mm aralığında, yalıtım kalınlığı ise 0 mm ile 160 mm aralığında değerler alınmıştır.

Sistemde boru içindeki akışkan olarak su, boru dışındaki akışkan hava, boru malzemesi çelik boru, yalıtım malzemesi ise cam yünü olarak seçilmiştir.

Yukarıda verilen boru çapı, yalıtım kalınlığı değer aralıkları ve çizelge 4.1'de verilen değerler kullanılarak optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığı hesabı yapılmıştır.

Çizelge 4.1: Çalışmada kullanılan semboller ve değerleri

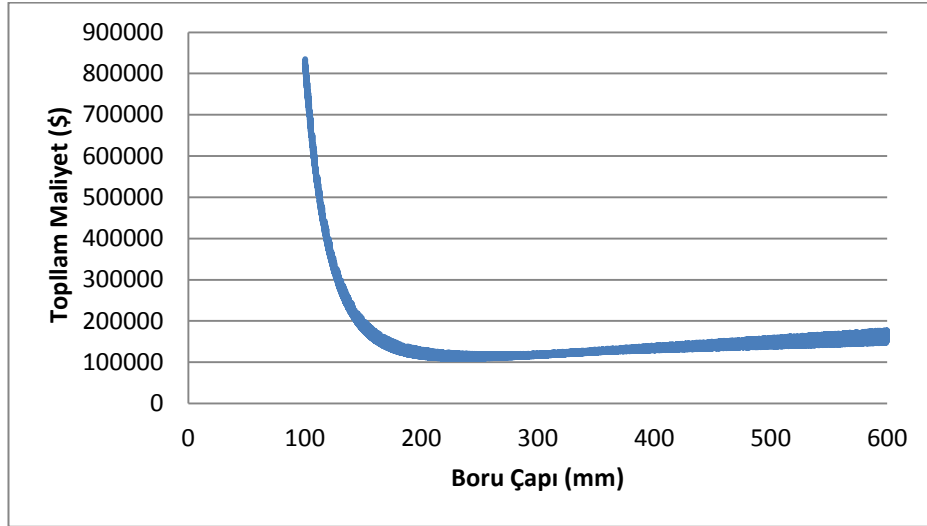
Parametre	Değer
L : Boru uzunluğu	500 m
T _s : Suyun giriş sıcaklığı	393 K
T _o : Dış ortam sıcaklığı	283 K
m : Debi	50 kg/s
n : Sistemin çalışma ömrü	20 yıl
Sistemin yıllık kullanım süresi	3200 h/yıl
k _{boru} : Borunun ısı iletim katsayısı	54 W/m K
k _{yal} : Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı	0,045 W/m K
ρ : Suyun yoğunluğu	937,2 kg/m ³
H _u : Doğalgazın alt ısıl değeri	35*10 ⁶ J / m ³
c _p : Özgül ısı kapasitesi	4180 j /kg K
Doğalgazın birim fiyatı	0,535 \$/m ³
Elektriğin birim fiyatı	0,157 \$/Kwh
η: sistemin verimi	0,9
φ _b : Pompa verimi	0,9

Eşitlik (3.34) kullanılarak optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Bu çalışmada optimum boru çapı 234,3 mm ve optimum yalıtım kalınlığı 91,3 mm elde edilmiştir. Ve bu optimum değerleri elde ettiğimiz toplam maliyetin minimum değeri ise 108029,6 \$ olarak elde edilir. Çizelge 4.2’de bu optimum noktaları veren maliyet değerleri görülmektedir. Toplam maliyet değeri en düşük değerini bu noktada almaktadır.

Çizelge 4.2 : Optimum değerler

Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
234,3	91,3	14568,3	22643,6	59459,5	11358,1	108029,6	15194,8

Toplam maliyet değerinin boru çapıyla nasıl değiştiğini Şekil 4.1 yardımıyla görebiliriz. Bu değer belirli bir noktaya kadar sürekli azalmakta bir noktada minimum değerini almakta ve daha sonra artmaktadır. Şekil 4.1’de görüleceği üzere toplam maliyet değerinde belirli çaptan sonra çok fazla değişiklik olmamaktadır.



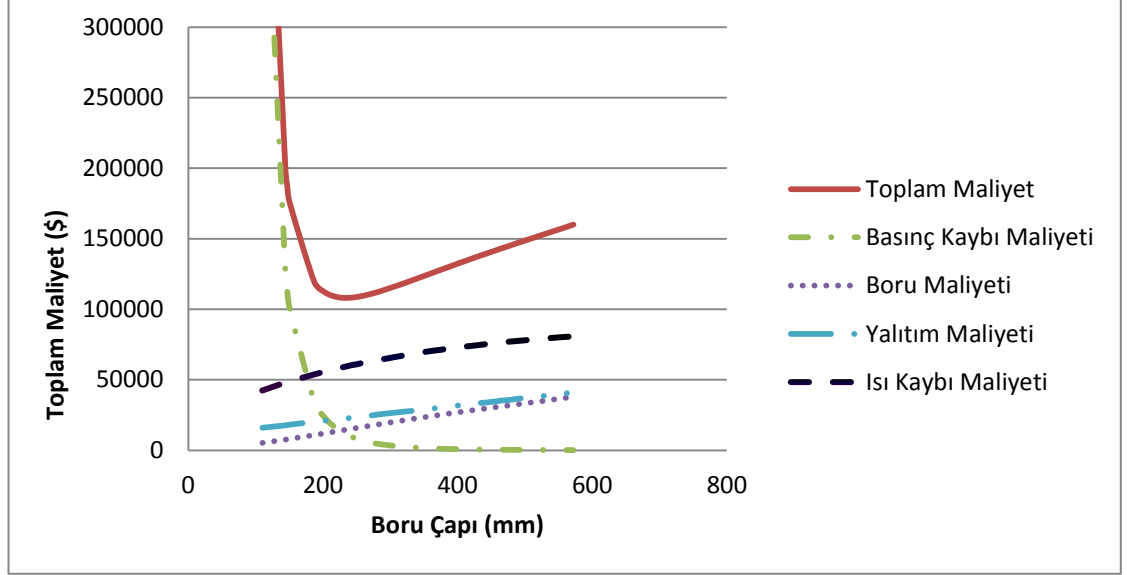
Şekil 4.1: Boru çapı ile toplam maliyetin değişimi

Çizelge 4.3 : Boru çapına göre maliyet, ısı kaybı değişimi

Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
110,1	91,3	5245,1	16005,3	42457,2	472945	536653	10849,9
150,8	91,3	8071,31	18177,1	48948	99991,7	175188	12508,6
240,2	91,3	15042,5	22889,1	60167,2	10034,4	108133	15375,7
375,3	91,3	25205,5	30368,1	71308	1114,32	127996	18222,7
460,5	91,3	30795,8	34879,3	76261,4	408,046	142345	19488,5
542,3	91,3	35966,6	39348	79791,4	183,227	155289	20390,6

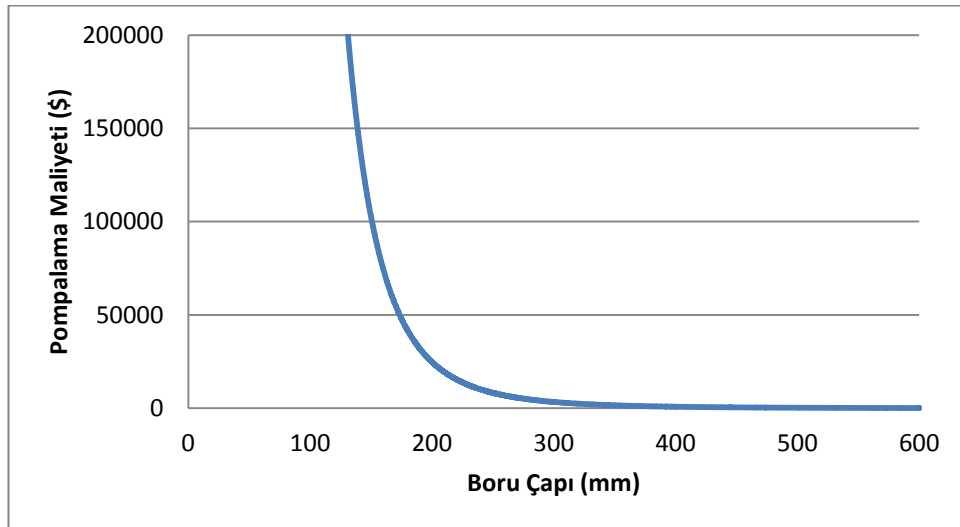
Yalıtım kalınlığını sabit tutup boru çapını değiştirdiğimizde ilk yatırım maliyeti olan boru ve yalıtım maliyetlerinin ayrıca ısı kaybından dolayı oluşan doğalgaz maliyeti ve basınç kaybından dolayı oluşan pompalama maliyetinin nasıl değiştiğini Çizelge 4.3

yardımıyla görebiliriz. Burada yalıtım kalınlığı optimum çap değeri olarak hesaplanan 91,3 mm alınmıştır.



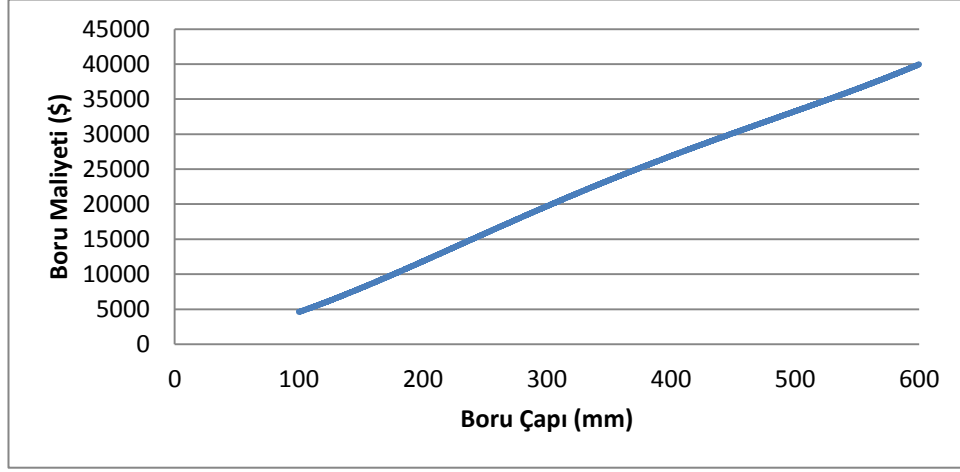
Şekil 4.2 : 91,3 mm yalıtım kalınlığı için maliyetlerin boru çapına göre değişimi

Boru çapını arttırdığımızda akış hızı azalır bu da sürtünmenin azalmasını sağlar dolayısıyla basınç kaybından dolayı oluşan enerji maliyeti azalmaktadır. Bu değişim Şekil 4.3 yardımıyla incelenebilir.



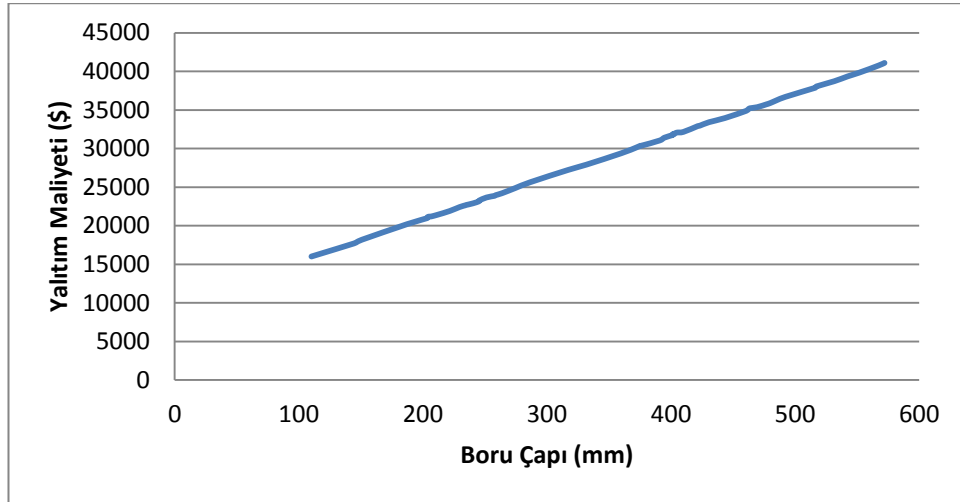
Şekil 4.3 : Pompalama maliyetinin boru çapına göre değişimi

Şekil 4.4'ten de görüleceği gibi boru maliyeti de boru çapı arttıkça artmaktadır. Bunun sebebi ise boru çapı arttığında boru kütlesinin artmasıdır.



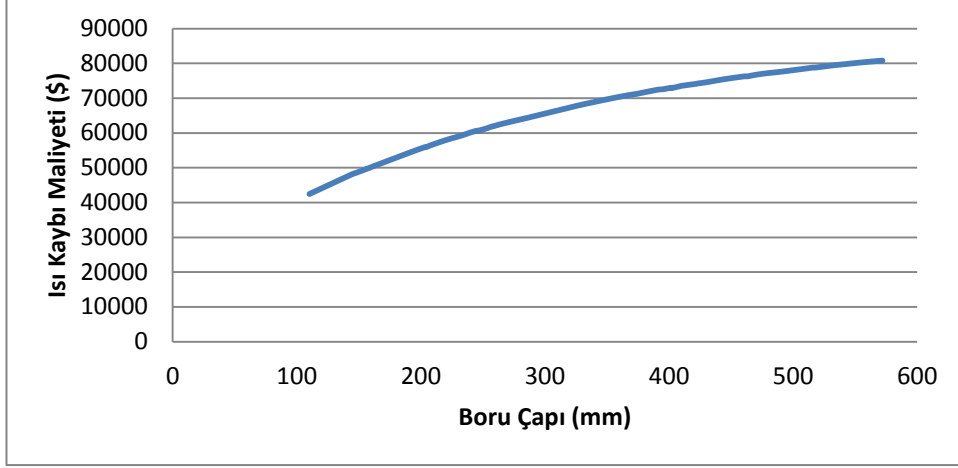
Şekil 4.4 : Boru maliyetinin boru çapına göre değişimi

Yalıtım kalınlığı sabit olduğunda, boru çapı arttığında yüzeyi çevreleyecek yalıtım malzemesi artacağından yalıtım maliyeti de artmaktadır (Şekil 4.5).



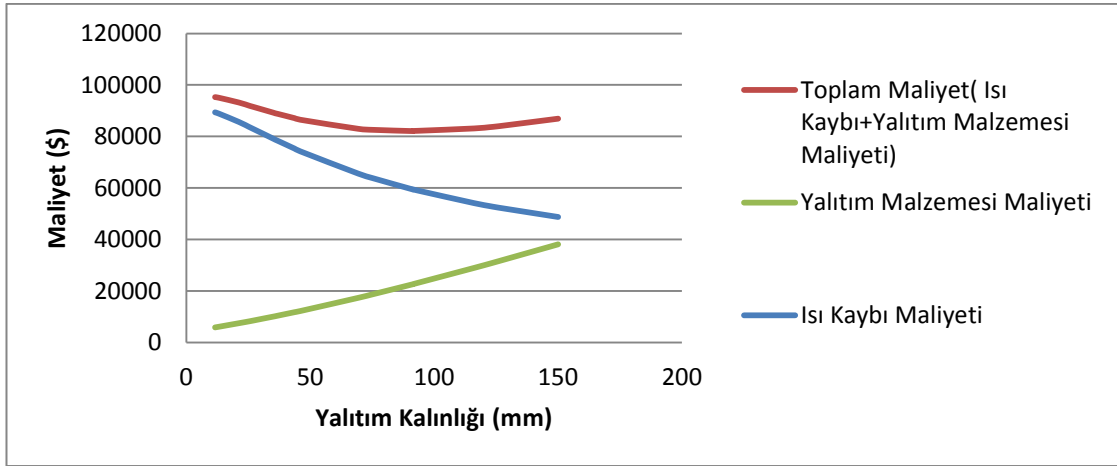
Şekil 4.5 :Yalıtım maliyetinin boru çapına göre değişimi

Ayrıca yalıtım kalınlığı sabit olduğunda boru çapının artışı yüzey alanını arttırdığından ısı kaybı maliyeti de artmaktadır (Şekil 4.6). Denklem 3.26 ile de bu değişim görülebilir.



Şekil 4.6 : Isı kaybından dolayı oluşan maliyetin boru çapına göre değişimi

Şekil 4.7’de yalıtım kalınlığının artışına göre yalıtım maliyeti ve ısı kaybı maliyeti değişimi görülmektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça yalıtıma harcanan maliyet artmaktadır. Yalıtım maliyeti lineer olarak değil de eşitlik (3.33)’ten görüldüğü üzere artmaktadır. Isı kaybı maliyeti ise azalmakta, bunun sebebi ise yalıtım arttıkça borudan olan ısı kaybı azalmasıdır. Toplam maliyet ise belirli bir yalıtım kalınlığına kadar azalırken daha sonra artmaktadır. Toplam maliyetin arttığı noktadan itibaren yalıtım kalınlığının maliyeti enerji tasarrufundan kaynaklanan enerji maliyetini karşılamamaktadır.



Şekil 4.7 : Yalıtım kalınlığına göre ısı kaybı maliyeti ve yalıtım malzemesi maliyetinin değişimi

4.1 PARAMETRE ANALİZİ

Diğer parametreler aynı kalarak sadece incelemek istediğimiz parametre değiştirilerek elde edilen sonuçlar mühendislik açısından değerlendirilir.

Boru boyu 300 m ve 400 m olarak incelenirse aşağıdaki sonuçlar ve grafikler elde edilir.

Çizelge 4.4 : Boru boyu 300 metre için analiz

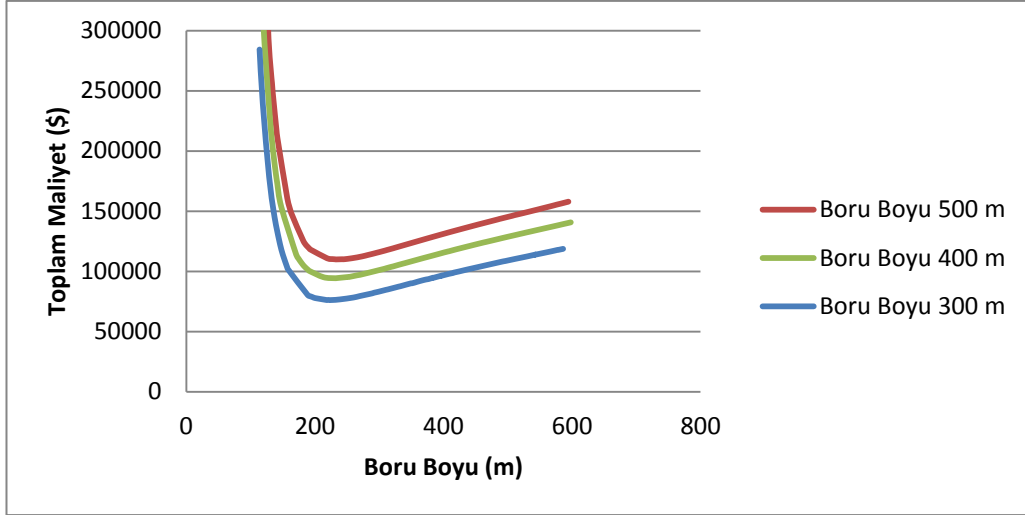
Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
225,8	118	8337,1	17370,9	36963,3	8170	70841,4	9445,9

Çizelge 4.5 : Boru boyu 400 metre için analiz

Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
229,92	102,6	11373,7	20180,7	48978,4	9979,8	90512,7	12516,3

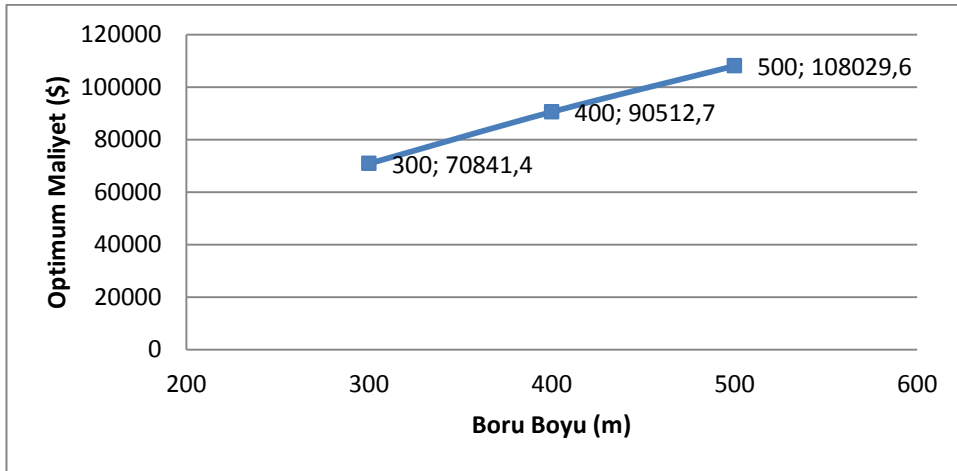
Isı kaybı hesabından da (Denklem 3.27) görülebileceği gibi boru boyunu arttırmak ısı kaybını artırır. Artan ısı kaybı doğalgaz maliyetinin artmasına yol açar. Boru boyunu arttırmak basınç kaybını da artırır (Denklem 3.5). Bu da elektrik maliyetinin artmasına sebep olur. Denklem 3.31’de anlaşılacağı gibi boru boyundaki artış boru maliyetini de arttırmaktadır. Yani artan boru boyu toplam maliyetin de artmasına sağlar.

Şekil 4.8’de 60 mm’lik yalıtım kalınlığında farklı boru boyları için boru çapındaki artışla toplam maliyetin değişimi görülebilir. Her boru boyu için toplam maliyet aynı eğilimi göstermektedir. Yani optimum değere kadar azalmakta daha sonra artmaktadır. Ayrıca görüleceği gibi boru boyundaki artış toplam maliyet değerini de arttırmaktadır.



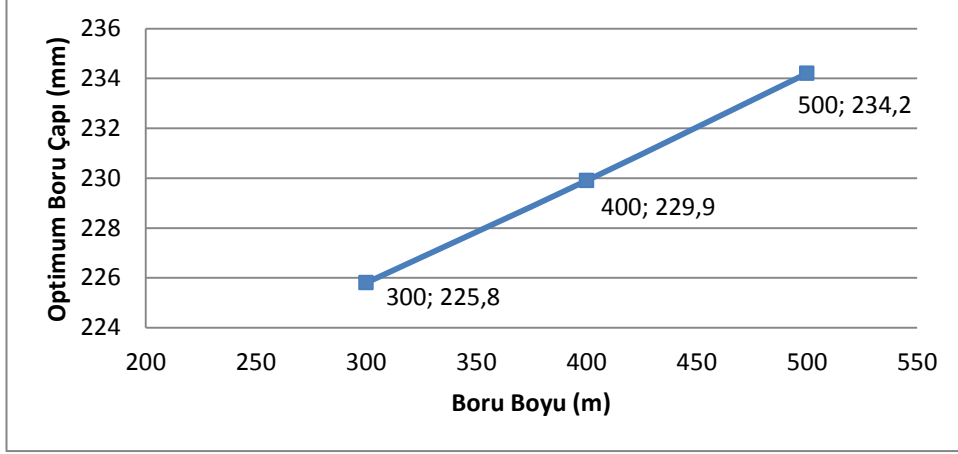
Şekil 4.8 : Farklı boru boyları için boru çapına göre toplam maliyet değişimi

Artan boru boyu elde edilen optimum maliyetinde de artmasına sebep olmaktadır. Çizelge 4.2, 4.4 ve 4.5'te verilen değerler karşılaştırıldığında bu kolayca görülebilir. Bunların değişimi ise Şekil 4.9 yardımıyla incelenebilir.



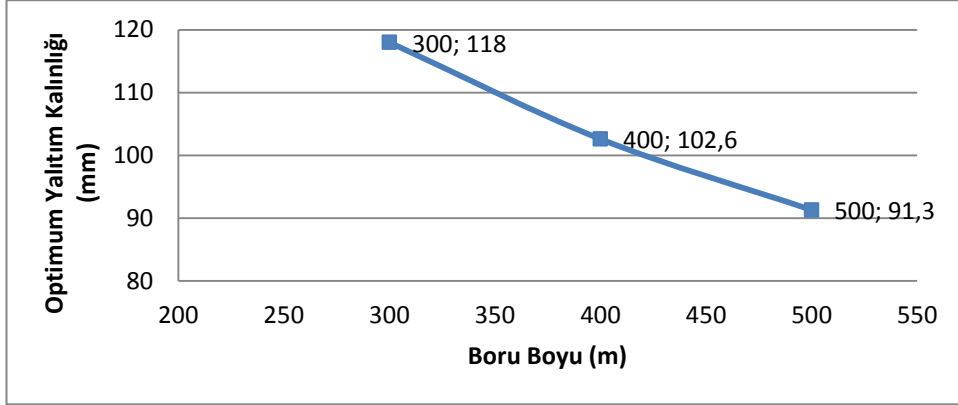
Şekil 4.9 : Optimum maliyetin boru boyuna göre değişimi

Boru boyunu artırmak basınç kaybını artıracığından optimum boru çapı değerini de artırır çünkü artan boru çapı basınç kaybının azaltılmasını sağlayacaktır. Böylece basınç kaybından dolayı meydana gelen pompalama maliyeti azalacaktır. Boru çapını artırmak boru maliyetini arttırır fakat enerji maliyetini azalttığından buradan elde edilecek kârda daha fazla olduğundan bu artış daha mantıklı olur. Şekil 4.10'da boru boyu arttıkça optimum boru çapının da arttığını gözlemlenebilir.



Şekil 4.10 :Optimum boru çapının boru boyuna göre değişimi

Boru boyunu artırınc bu sistemi çevreleyecek olan yalıtım malzemesinin miktarı ayrıca ısı kaybı da artacaktır. Yalıtım malzemesinin maliyetindeki artış ısı kaybı maliyetindeki artıştan daha fazla olacağından boru boyunu artırınc sistem daha düşük maliyetle elde edilmek istenildiğinde optimum yalıtım kalınlığını azalmak gerekir. Şekil 4.11’de boru boyundaki artışla optimum yalıtım kalınlığının azaldığı gözlemlenebilir.



Şekil 4.11 : Optimum yalıtım kalınlığının boru boyuna göre değişimi

Akışkan debisi 75 kg/s ve 100 kg/s olarak incelenirse aşağıdaki sonuçlar ve grafikler elde edilir. Çizelge 4.6’da debi 75 kg/s için, Çizelge 4.7’de ise debi 100 kg/s de bulunan optimum değerler verilmiştir.

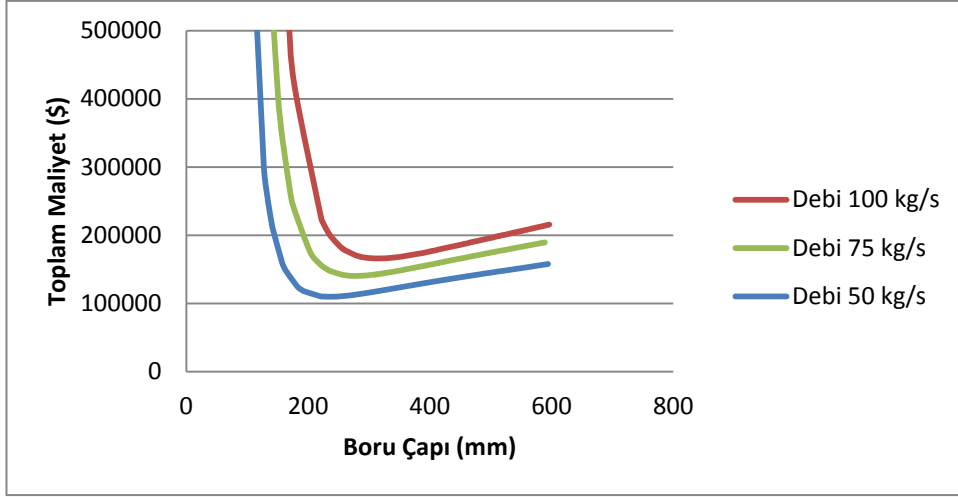
Çizelge 4.6: Akışkan debisi 75 kg/s için elde edilen optimum değerler

Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
278,2	116,2	18031,9	31741	67405,1	15378	132556	17225,3

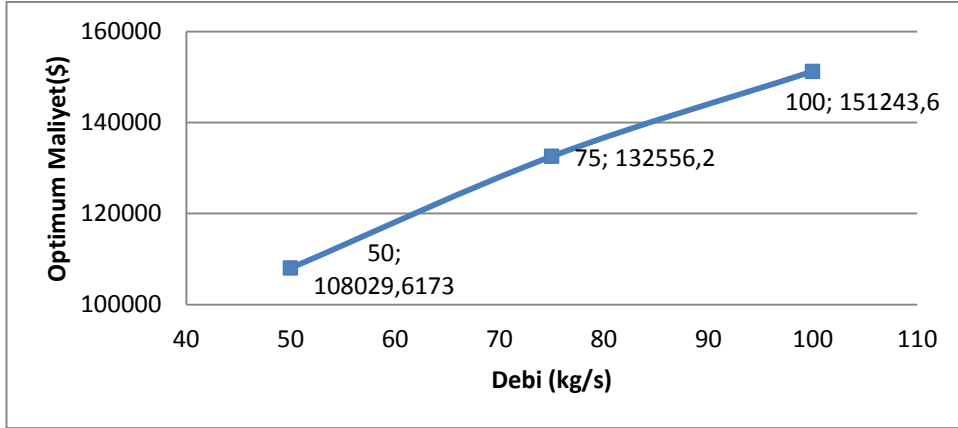
Çizelge 4.7: Akışkan debisi 100 kg/s için elde edilen optimum değerler

Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
322,3	130,1	21394,6	38554,6	74461,3	16832,9	151243,6	19028,5

Diğer parametreler aynı kalarak sadece akışkan debisi artırıldığına denklem 3.1' den de görüleceği gibi akışkanın akış hızı artmaktadır. Akış hızının artması basınç kaybının artmasına bu da elektrik maliyetinin artmasına neden olmaktadır. $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$ bu denklemden de görülebileceği gibi debiyi arttırmak ısı kaybının artmasına bu da doğalgaz maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 4.12' de farklı debiler için boru çapına göre toplam maliyet grafiği görülmektedir. Debi arttıkça harcanan enerji maliyetleri arttığı için toplam maliyetinin optimum olduğu nokta da artmaktadır. Şekil 4.13' de debi arttıkça optimum maliyet değerinin de arttığı görülebilir.

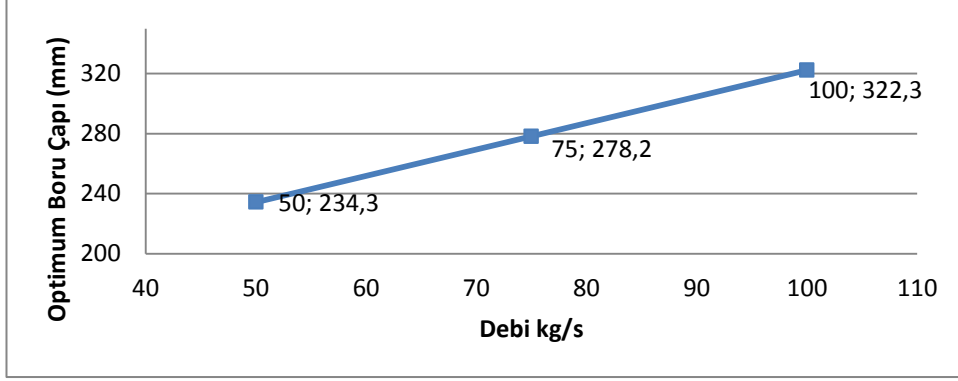


Şekil 4.12 : Farklı akışkan debileri için boru çapına göre toplam maliyetin değişimi



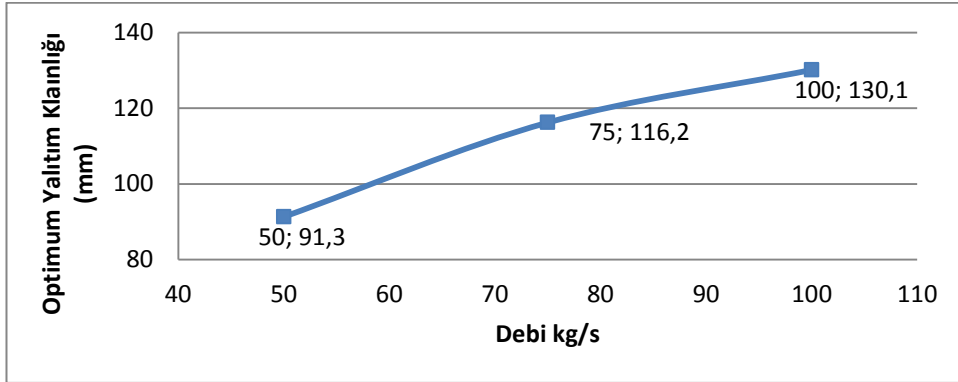
Şekil 4.13 : Farklı akışkan debileri için optimum maliyetin değişimi

Debi artırtıldığında pompalama gücü artar, pompalama maliyet değerini azaltmak içinse basınç kaybı azaltılmalıdır bu nedenle boru çapı artırılmalıdır. Boru çapı maliyetindeki artış enerji maliyetindeki artıştan daha az olduğundan boru çapını artırmak fayda sağlayacaktır. Dolayısıyla artan debi ile birlikte optimum boru çapı artmaktadır. Bu değişim Şekil 4.14 yardımıyla incelenebilir.



Şekil 4.14 : Farklı akışkan debileri için optimum boru çapının değişimi

Debi arttığında ısı kaybı artar. Artan ısı kaybı maliyeti azaltılmak istenildiğinde yalıtım kalınlığının artırılması gerekir. Burada harcanan enerji maliyeti yalıtım malzemesinin maliyetinden daha fazla olduğu için debinin artması optimum yalıtım kalınlığını artırır.



Şekil 4.15 : Farklı akışkan debileri için optimum yalıtım kalınlığının değişimi

Akışkanın giriş sıcaklığı 375 K ve 410 K olarak incelenirse aşağıdaki sonuçlar ve grafikler elde edilir:

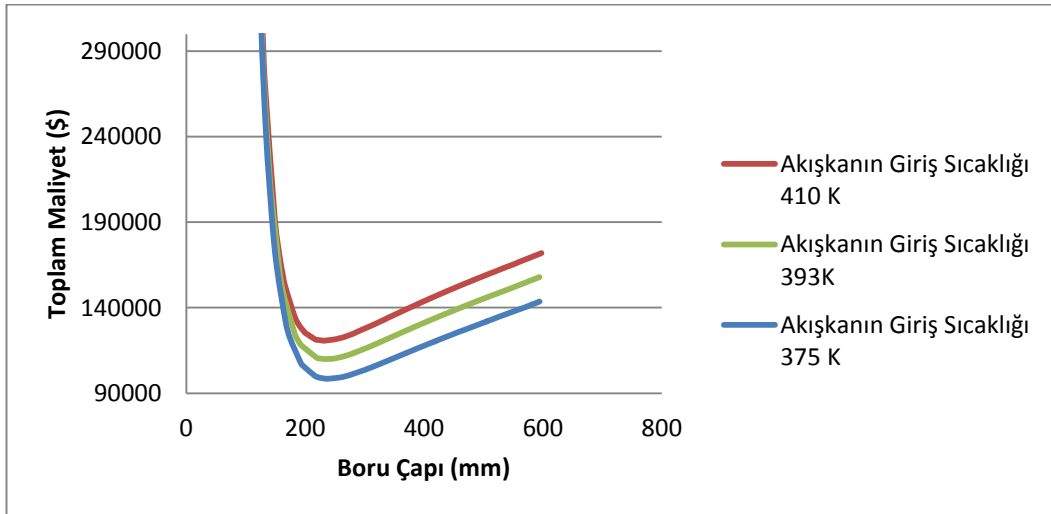
Çizelge 4.8 : Akışkanın giriş sıcaklığı 375 K için elde edilen optimum değerler

Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
237,8	78	14850,5	19730,9	52703,5	10546,7	97831,7	13468,3

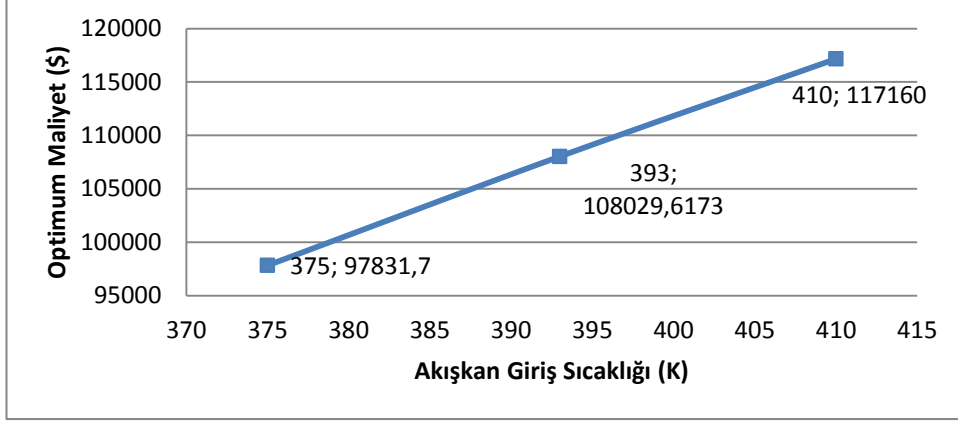
Çizelge 4.9 : Akışkanın giriş sıcaklığı 410 K için elde edilen optimum değerler

Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
231	101	14307,6	24890,4	65786,8	12175,1	117160	16811,7

Akışkan giriş sıcaklığı 375 K için hesaplanan optimum değerler Çizelge 4.8’de, 410 K içinse Çizelge 4.9’ da görülebilir. Sadece akışkanın giriş sıcaklığının artırılması denklem 3.27 den de görülebileceği gibi ısı kaybını arttırmaktadır. Bu da doğalgaz maliyetini arttırmaktadır. Şekil 4.16’ dan da görülebileceği gibi farklı akışkan sıcaklıkları için optimum maliyet değeri de farklıdır. Akışkanın giriş sıcaklığı arttıkça ısı kaybı maliyeti artar bu da optimum maliyet değerini artırır (Şekil 4.17).

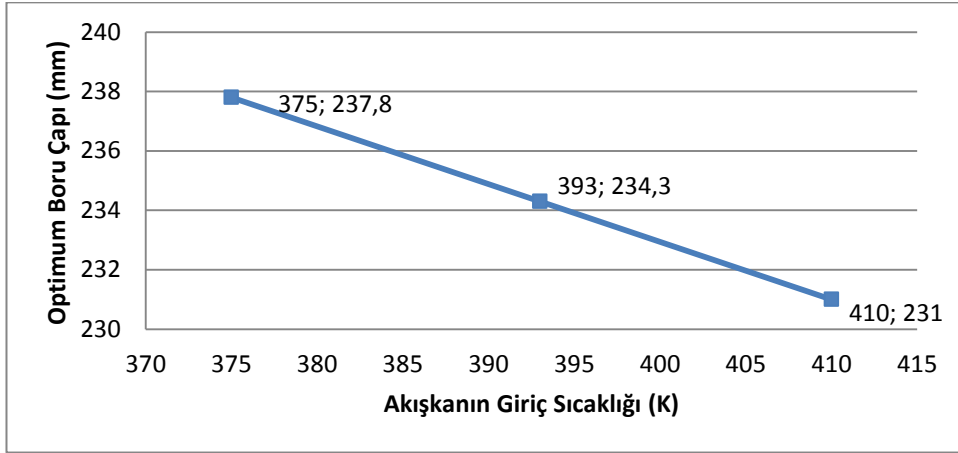


Şekil 4.16 : Farklı giriş sıcaklıkları için boru çapına göre toplam maliyet değişimi



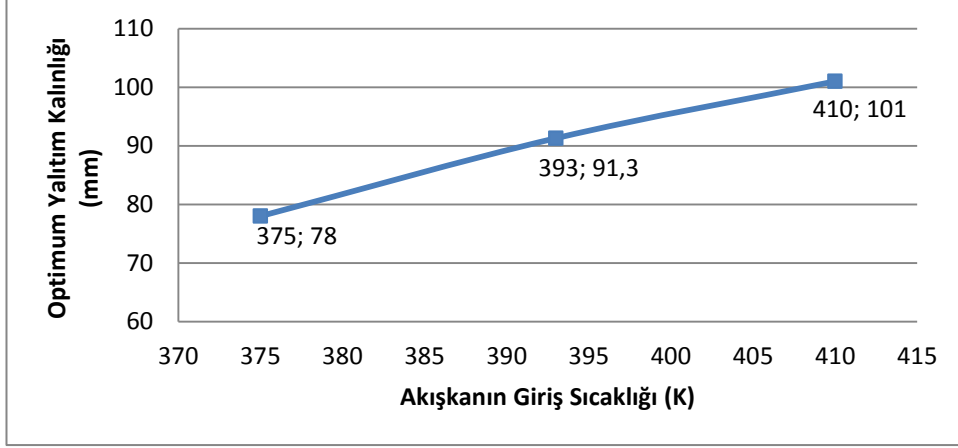
Şekil 4.17 : Farklı giriş sıcaklıkları için optimum maliyet değişimi

Suyun giriş sıcaklığının artması yoğunluğunu azalttığından basınç kaybının azalmasına neden olur buda optimum boru çapının azalmasını sağlar. Şekil 4.18'de akışkanın giriş sıcaklığındaki değişime göre optimum boru çapının değişimi görülebilir.



Şekil 4.18 : Farklı giriş sıcaklıkları için optimum boru çapı değişimi

Akışkanın giriş sıcaklığını arttırmak ısı kaybını arttırdığı için ısı kaybı maliyetindeki artışın yalıtım malzemesindeki maliyet artışından fazla olması sebebiyle akışkanın giriş sıcaklığını arttırmak optimum yalıtım kalınlığını artırır.



Şekil 4.19 : Farklı giriş sıcaklıkları için optimum yalıtım kalınlığı değişimi

Dış ortam sıcaklığı 300 K için hesaplanan optimum değerler Çizelge 4.10 ve 260 K için hesaplanan değerlerse Çizelge 4.11’de incelenebilir.

Çizelge 4.10 : Dış ortam sıcaklığı 300 K için elde edilen optimum değerler

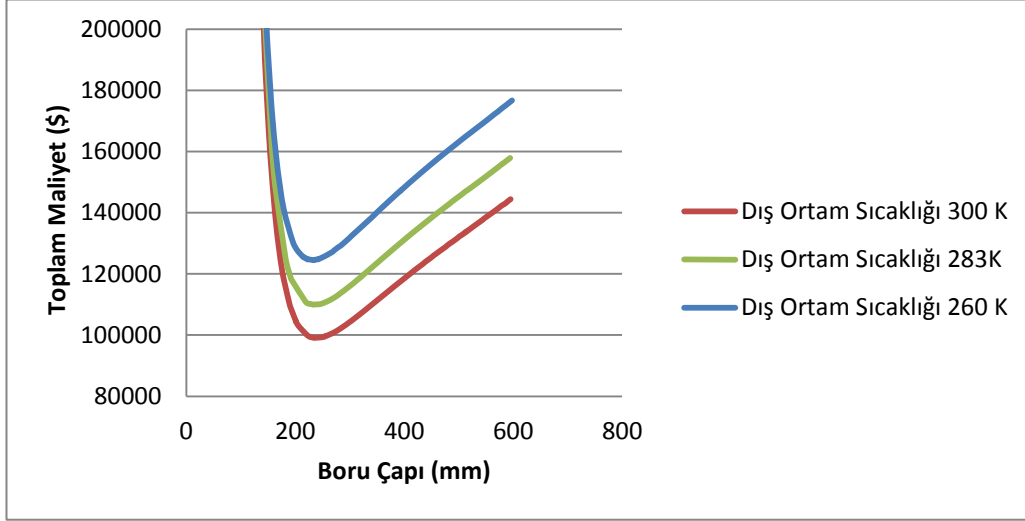
Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
237,2	78,2	14797,5	19594,6	53328,9	10693,6	98414,7	13628,1

Çizelge 4.11 : Dış ortam sıcaklığı 260 K için elde edilen optimum değerler

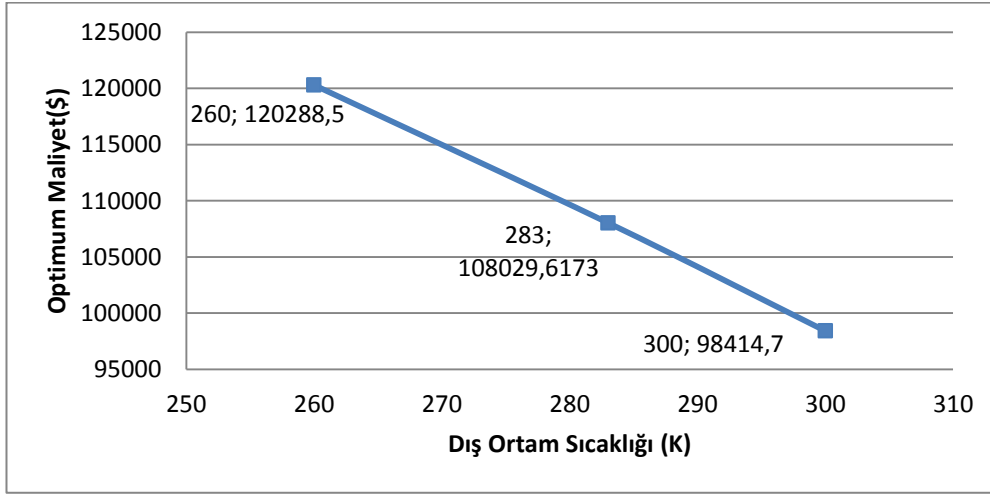
Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
229,3	105,1	14173,3	25840,6	67651,1	12623,3	120288,5	17288,1

Diğer parametreler aynı kalarak sadece dış ortam sıcaklığını değiştirdiğimizde toplam maliyetin boru çapına göre değişimini Şekil 4.20 yardımıyla görebiliriz. Dış ortam sıcaklığını arttırdığımızda toplam sıcaklık farkı azalacağından ısı kaybı azalacaktır. Bu

da enerji maliyetini azaltacaktır. Dış ortam sıcaklığı arttığında optimum maliyet değeri azalmaktadır (Şekil 4.21).

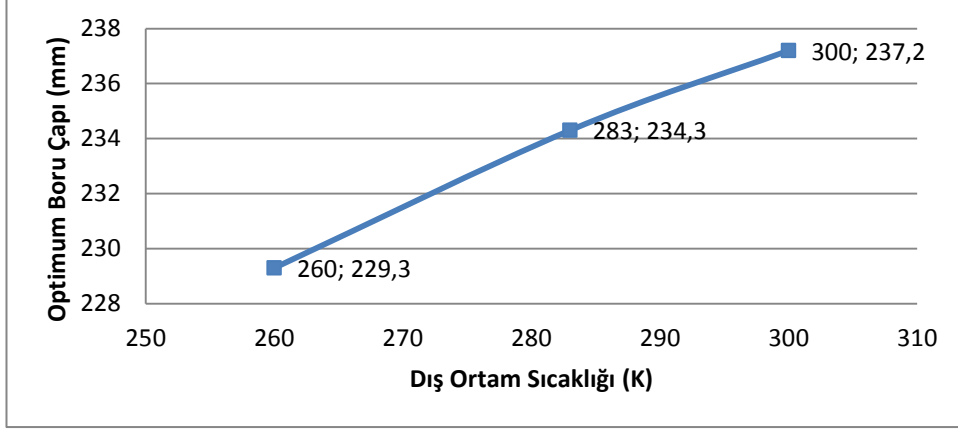


Şekil 4.20 : Farklı dış ortam sıcaklıkları için boru çapına göre toplam maliyet değişimi



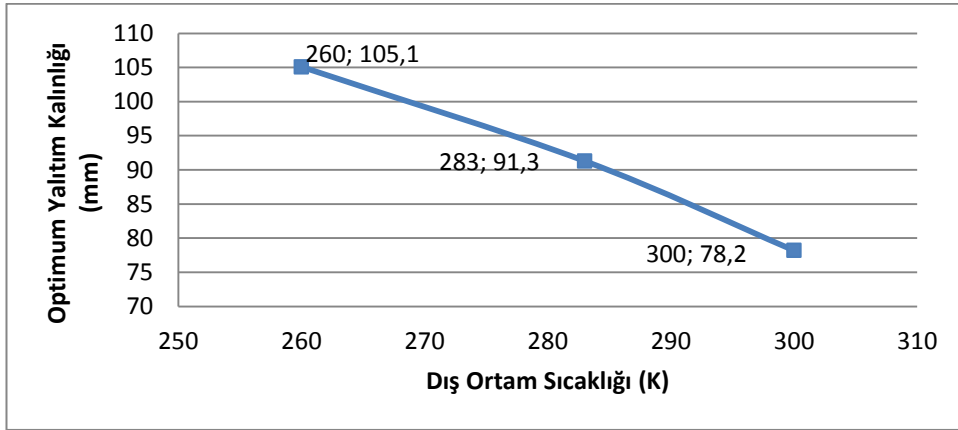
Şekil 4.21 : Farklı dış ortam sıcaklıkları için optimum maliyet değişimi

Optimum boru çapı değeri dış ortam sıcaklığı arttıkça artmaktadır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 : Farklı dış ortam sıcaklıkları için optimum boru çapı değişimi

Optimum yalıtım kalınlığı ise dış ortam sıcaklığı arttıkça azalmaktadır. Çünkü dış ortam sıcaklığı artınca ısı kaybı azalıyor dolayısıyla yalıtım ihtiyacı da azalmış oluyor (Şekil 4.25).



Şekil 4.23 : Farklı dış ortam sıcaklıkları için optimum yalıtım kalınlığı değişimi

Kullanım ömrü 30 yıl ve 10 yıl olarak incelenirse aşağıdaki sonuçlar ve grafikler elde edilir. Çizelge 4.12’de sistemin kullanım ömrü 30 yıl için hesaplanan optimum değerler, Çizelge 4.13’de ise kullanım ömrü 10 yıl için bulunan optimum değerler görülmektedir.

Çizelge 4.12 : Kullanım ömrü 30 yıl için elde edilen optimum değerler

Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
243,7	122,4	15320,4	31266,1	80928,4	14015,8	141530,8	13787,4

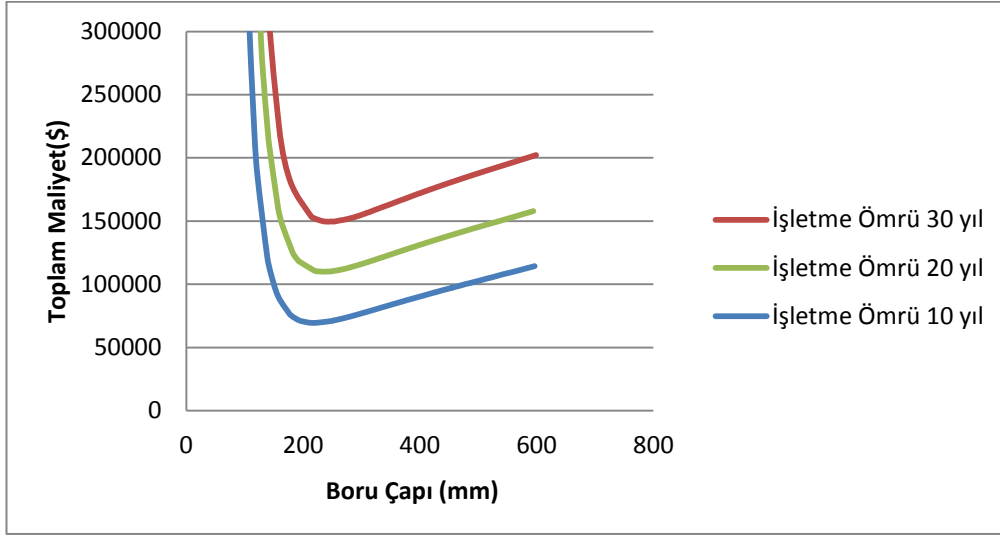
Çizelge 4.13 : Kullanım ömrü 10 yıl için elde edilen optimum değerler

Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
217	50	13189,8	12420,6	35361,9	8296,1	69268,5	18073,4

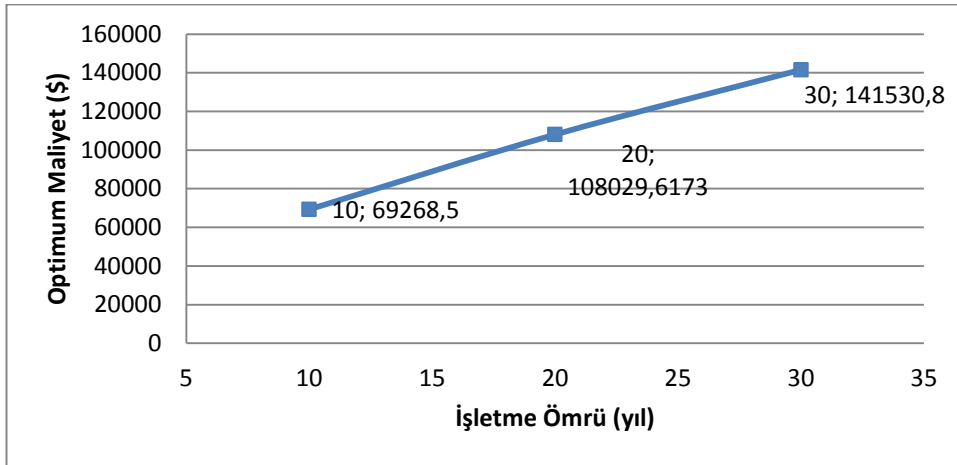
Sistemin işletme ömrünün değişmesi de uygulanacak olan optimum yalıtım kalınlığını ve optimum boru çapını etkilemektedir. Daha uzun süre kullanılacak sistemlerde yalıtım nedeniyle ekonomik fayda daha fazla olacağından optimum yalıtım kalınlığı artar (Şekil 4.27). Daha uzun kullanım süresi pompalama maliyetini artacağından buradan sağlanacak ekonomik fayda boru maliyetinden sağlanacak faydadan daha fazla olacağından optimum boru çapı da artar (Şekil 4.26). Özdemir ve ark. (2006) borular için yürüttüğü çalışmalarında işletme ömrünü 15 yıl , Keçebaş ve ark. (2011) ise 10 yıl almışlardır. İleri ve ark. (1999) soğutma sistemindeki bağlantı boruları için yaptığı çalışmalarında işletme ömrünü 20 yıl, düzlem duvarlar için yapılan optimum yalıtım kalınlığı çalışmalarında Uçar ve ark. (2009), Dombaycı ve ark. (2006), Gürel ve ark. (2011), Bolattürk ve ark. (2006) işletme ömrünü 10 yıl almışlar ve Tuncer (2007) çalışmalarında işletme ömrünü 30 yıl almıştır.

Sadece işletme ömrünü değiştirdiğimizde toplam maliyetin farklı işletme ömürlerinde boru çapına göre değişimini Şekil 4.24 aracılığıyla görebiliriz. Toplam maliyet optimum değere kadar azalırken optimum değerden sonra artmaktadır. Bu eğilim her işletme ömrü için aynı şekildedir. Optimum maliyet değeri ise işletme ömrü arttıkça

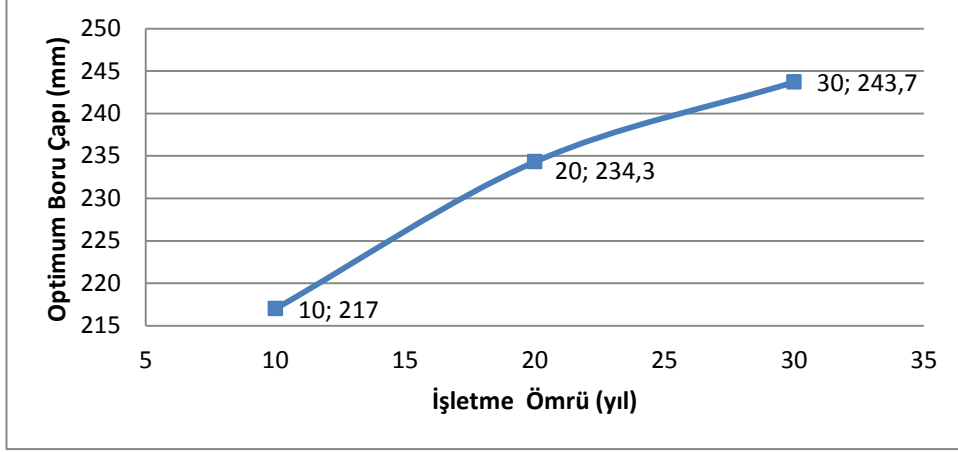
artmaktadır. Bunun sebebi ise işletme ömrü arttıkça ısı kaybı maliyeti ve basınç kaybından meydana gelen enerji maliyetinin artmasıdır. Şekil 4.25’de bu değişim görülebilmektedir.



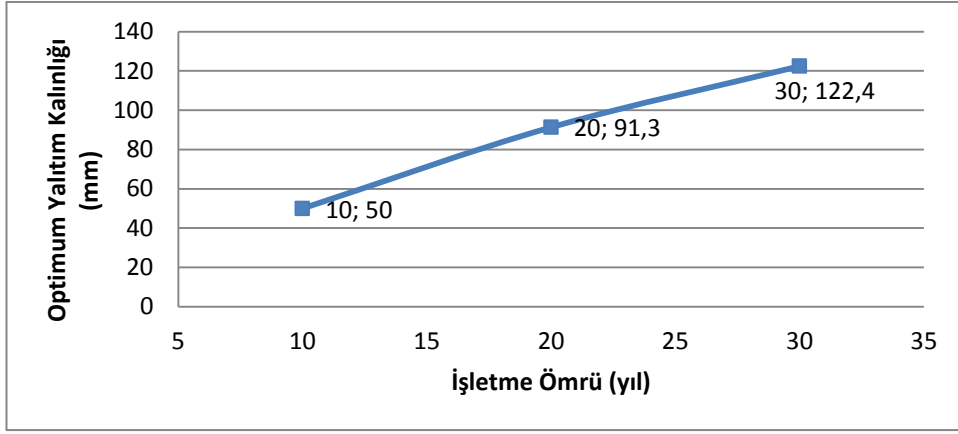
Şekil 4.24 : Farklı işletme ömrü için boru çapına göre toplam maliyet değişimi



Şekil 4.25 : Farklı işletme ömrü için optimum maliyet değişimi



Şekil 4.26 : Farklı işletme ömrü için optimum boru çapı değişimi



Şekil 4.27: Farklı işletme ömrü için optimum yalıtım kalınlığı değişimi

İşletme süresi 5000 h/yıl ve 1500 h/yıl olarak incelenirse aşağıdaki sonuçlar ve grafikler elde edilir. İşletme süresi 5000 h/yıl için elde edilen optimum değerler Çizelge 4.14 ve 1500 h/yıl içinse hesaplanan optimum değerler Çizelge 4.15 yardımıyla görülebilir.

Çizelge 4.14 : İşletme süresi 5000 h/yıl için elde edilen optimum değerler

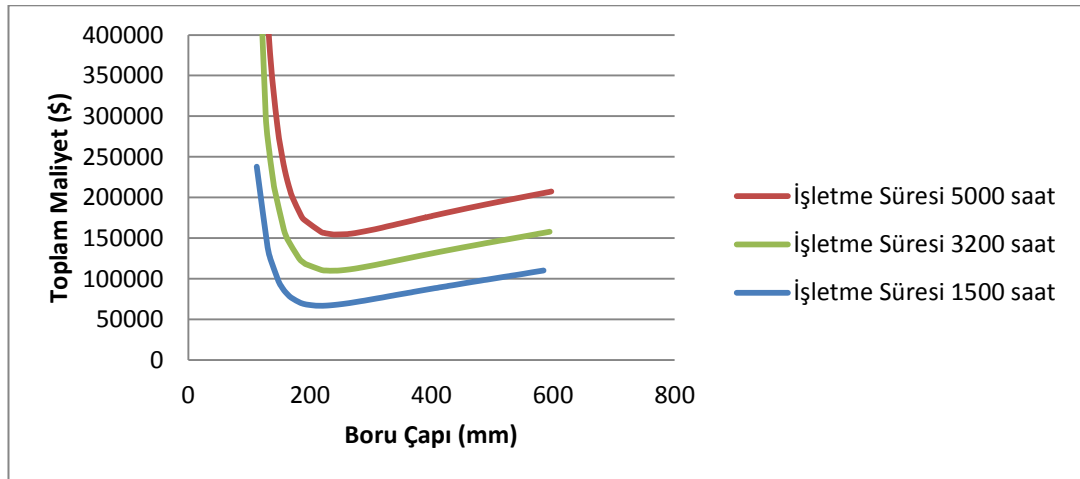
Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
244,4	122,6	15373,6	31353,4	84356,5	14403,7	145487,3	18796,6

Çizelge 4.15 : İşletme süresi 1500 h/yıl için elde edilen optimum değerler

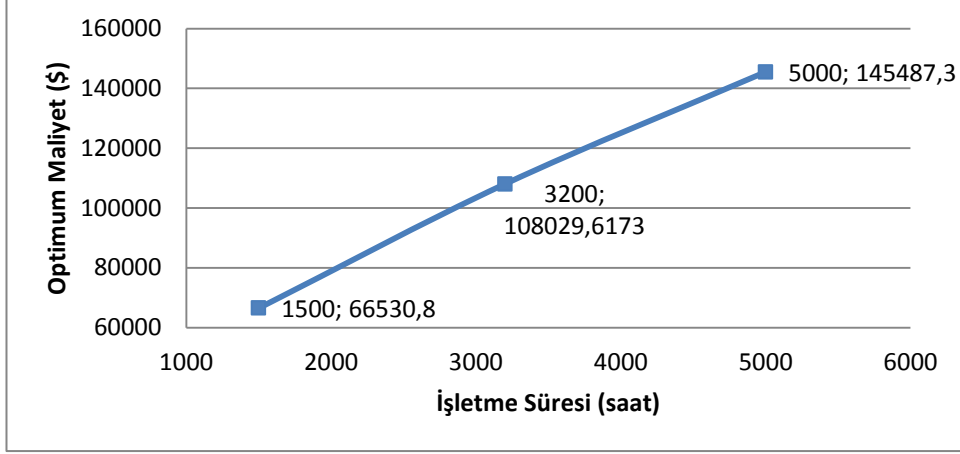
Boru Çapı (mm)	Yalıtım kalınlığı (mm)	Maliyetler (\$)					Isı kaybı (W)
		Boru	Yalıtım	Doğalgaz	Elektrik	Toplam	
218,3	49,2	13293,9	12312,3	33374,5	7550	66530,8	13194,8

Sistemin yıl içindeki çalışma süresinin optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığı hesabında etkisi vardır. Daha uzun süre işletme süresi varsa yalıtım nedeniyle ekonomik kazanç daha fazla olacağından optimum yalıtım kalınlığı daha fazla olur (Şekil 4.31). Ayrıca daha uzun işletme süresince basınç kaybından kaynaklanan pompalama maliyetinin sağlayacağı fayda boru malzemesi maliyetinden daha fazla olacağından optimum boru çapı da artmaktadır (Şekil 4.34). Özdemir ve ark. (2006) borular için yaptığı çalışmalarında işletme süresini 5040 almışlardır.

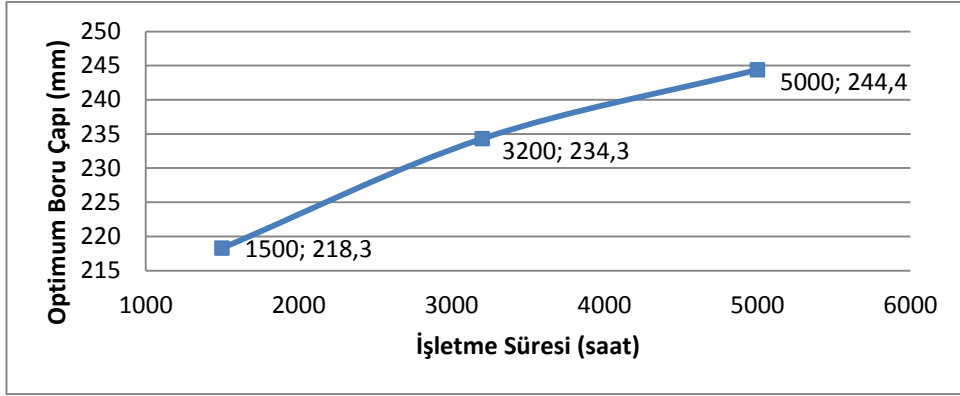
Farklı işletme süresine göre boru çapı toplam maliyet grafiği Şekil 4.28 de gösterilmiştir. Optimum maliyet değeri ise işletme süresi arttıkça artmaktadır. Bunun sebebi ise işletme süresi arttıkça ısı kaybı maliyeti ve basınç kaybından meydana gelen enerji maliyetinin artmasıdır. Şekil 4.29’da bu değişim görülebilmektedir.



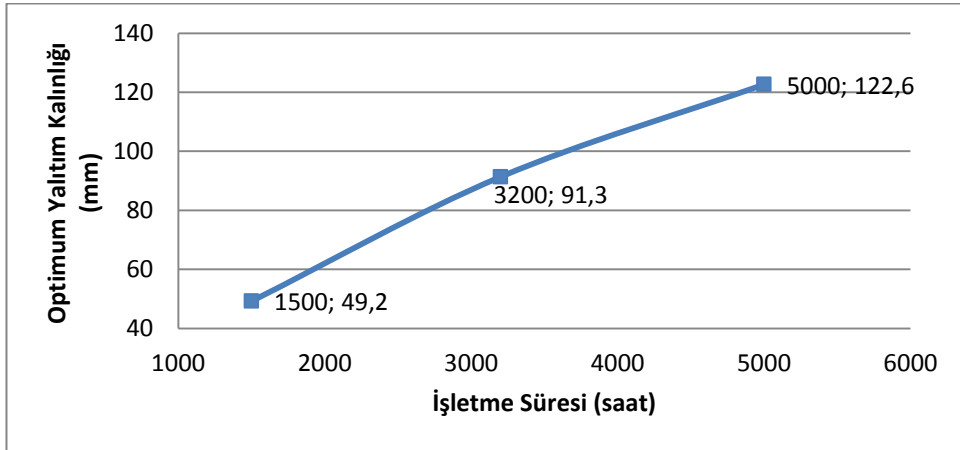
Şekil 4.28 : Farklı işletme süresi için boru çapına göre toplam maliyet değişimi



Şekil 4.29 : Farklı işletme süresi için optimum maliyet değişimi



Şekil 4.30 : Farklı işletme süresi için optimum boru çapı değişimi



Şekil 4.31 : Farklı işletme süresi için optimum yalıtım kalınlığı değişimi

5- SONUÇ

Birincil enerji kaynaklarının hızla tüketilmesi ve enerji maliyetlerinin her geçen gün artması enerjinin verimli kullanılması gerektiğini doğurmuştur. Özellikle enerjinin en fazla harcandığı konutlarda literatürde çok fazla çalışma yapılmış ve enerji tasarrufunun gerekliliği ortaya konmuştur. Borular içinse bu anlamda yeteri kadar çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada ise sıcak sulu ısıtma sistemleri için optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığı hesabı üzerinde durulmuştur. Böylece kurulacak sistem için en düşük maliyet hesabı yapılmış ve bu maliyet değerini veren boru çapı ve yalıtım kalınlığı tespit edilmiştir. Bu hesabı yapmak için genetik algoritmalar optimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

Borularda optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığı; akışkanın boruya giriş sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, işletme ömrü ve süresi, boru boyu, debi, enerji maliyeti gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Bu çalışmada bu parametreler tek tek incelenip optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığını nasıl etkiledikleri gözlenmiştir. Yalıtım kalınlığının artışı ile ısı kaybının azaldığı, boru çapının artışı ile de basınç kaybından dolayı oluşan enerji maliyetinin azaldığı incelenmiştir. Akışkanın boruya giriş sıcaklığı arttıkça optimum boru çapı azalmış ve optimum yalıtım kalınlığı artmıştır. Dış ortam sıcaklığını artırdığımızda ise sıcaklık farkı azaldığı için optimum maliyet düşmüş, optimum boru artmış ve optimum yalıtım kalınlığı azalmıştır. İşletme ömrü ve süresi de arttıkça optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığı azalmıştır. Boru boyunu artırdığımızda ise optimum boru çapı artarken optimum yalıtım kalınlığı azalmıştır. Debi artışı da optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığını artırmaktadır. Son olarak enerjinin maliyetinin artması optimum boru çapının azalmasına ve optimum yalıtım kalınlığının artmasına sebep olmuştur. Optimum yalıtım kalınlığını en fazla artıran değerler işletme süresi, debi ve işletme ömrü olmuştur. Optimum boru çapında en fazla değişikliğe neden olan parametre ise debidir. Toplam maliyet ise belirli boru çapından sonra çok az artmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışmadan; sıcak sulu ısıtma sistemi tasarlamak istediğimizde en az maliyetle nasıl tasarlarız sorusunun cevabını alabiliriz. Böylece enerji maliyetlerinin yüksek olduğu ülkemizde en uygun yalıtımla sağlanan enerji tasarrufu yatırımcıya ve ülkemize de ekonomik açıdan fayda sağlayacaktır. Optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığı hesabında akışkan sıcaklığı, işletme süresi ve ömrü, boru boyu, debi ve enerji maliyetinin dikkate alınarak hesap yapılması gerekir.

KAYNAKLAR

Anonim, 2011. İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı, Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Anonim, 2012. Yalıtım sözlüğü, <http://www.ode.com.tr/page.tr/yalitimsozluk.html>, (Erişim tarihi: 10.12.2012).

Akyol, T. 2006. Binaların ısı yalıtımında enerji ve ekserji analizi. Yüksek Lisans Tezi, BÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Altay, A. 2007. Genetik algoritma ve bir uygulama. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Atanak ve ark. Genetik algoritmalarda ders programı hazırlama otomasyon tasarımı, http://www.emo.org.tr/ekler/fb4474dd9800993_ek.pdf Erişim tarihi 10.05.2013).

Bhatia, A. 2011. Insulation Audit and the Economic Thickness of Insulation, Course No: T04-005.

Bolattürk, A. 2006. Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 26 : 1301-1309.

Bolat, B., Erol K.O., İmrak, C.E. 2004. Mühendislik uygulamalarında genetik algoritmalar ve operatörlerin işlevleri. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 22(4) : 264-271.

Bahadori, A. Vuthaluru, H.B., 2010. A Simple Correlation for Estimation of Economic Thickness of Thermal Insulation for Process Piping and Equipment, *Applied Thermal Engineering*, 30: 254-259.

Candan, N. 2007. Isı yalıtım sistemleri ve özelliklerinin karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Çengel, Y.A. 2003. Heat Transfer: A Practical Approach, McGraw-Hill, USA, 931 s.

Çunkaş, M. Genetik algoritmalar ve uygulamaları ders notları, Selçuk Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik Bilgisayar Eğitimi, Konya, 78 s.

Daşdemir, A. 2011. Isıtma ve soğutma uygulamalarında optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu ve baca gazı emisyonlarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, KÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Dikmen, V. 1999. Tesisatlarda ısı yalıtımının önemi. Yapıda yalıtım konferansı, 11-12 Şubat 1999, İstanbul. (<http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/000007DC.pdf> (Erişim tarihi: 10.11.2012)).

Daban, F., 2005. II. Elektrik elektronik bilgisayar mühendislikleri eğitimi sempozyumu bildirileri.

http://www.emo.org.tr/etkinlikler/egitim/etkinlik_bildirileri_detay.php?etkinlikkod=18&bilkod=190 (Erişim Tarihi: 15.05.2013).

Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M., Pancar, Y. 2006. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources, *Applied Energy*, 83: 921-928.

Emel, G.G., Taşkın, Ç. 2002. Genetik algoritmalar ve uygulama alanları, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, XXI(1) 129-152.

Erdem, Ö., Bayraktar, K.G., Karasu, T. 2009. Mekanik yalıtım, Pozitif matbaa ve ambalaj, Ankara, 54 s., <http://www.enertech.com>, (Erişim tarihi 05.12.2012)

Gürel, A.E., Daşdemir A. 2011. Economical and Environmental Effects of Thermal Insulation Thickness in Four Climatic Regions of Turkey, *International Journal of Renewable Energy Research*, 1: 1-10.

İleri, A., Kesim, S.C. 1999. Soğutma sistemleri için optimum boru boyutları, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Bildiriler kitapçığı: 529-543.

İşbilir, D. 2009. Binalarda ısı yalıtımı uygulamaları ve sorunlarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Karakoç, H., Turan, O., Binyıldız, E., Yıldırım E. 2011. Isı yalıtımı, Rota Yayıncılık, İstanbul, 449 s.

Kılıç, M., Yiğit, A. 2004. Isı transferi, Alfa yayıncılık, İstanbul, 464 s.

Keçebaş, A., Alkan, M.A., Bayhan, M. 2011. Thermo-economic Analysis of Pipe Insulation for District Heating Piping Systems, *Applied Thermal Engineering*, 31: 3929-3937.

Li, Y.F., Chow, W.K. 2005. Optimum insulation-thickness for thermal and freezing protection, *Applied Energy*, 80: 23-33.

Megep, 2007. Tesisat yalıtımı, İnşaat teknolojisi alanı, Ankara, <http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/insaat/moduller/TesisatYalıtimi.pdf>, (Erişim Tarihi: 19.05.2013).

Megep, 2008. Hava kanallarının yalıtımı, Tesisat teknolojisi ve iklimlendirme, Ankara, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/522EE0204.pdf, (Erişim Tarihi: 05.12.2012).

Özdemir M., Parmaksızoğlu İ.C. 2006. Mekanik Tesisatta Ekonomik Yalıtım Kalınlığı, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (91): 39-45.

Özel, M. 2008. Bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları için dinamik yaklaşım ve maliyet analizi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(4): 879-884.

Öztürk, İ.T., Karabay, H., Bilgen, E. 2006. Thermo-economic optimization of hot water piping systems:A comparison study, *Energy*, 31: 2094-2107.

Paralı, D. 2009. Bina duvarlarında uygulanan ısı yalıtım sistemlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Soponpongpipat, N., Jaruyanon, P., Nanetoe, S. 2010. The thermo-economic analysis of the optimum thickness of double-layer insulation for air conditioning duct, *Energy Research Journal*, 1(2): 146-151.

Şen, A.O. 2006. Binalarda uygulanan yalıtım sistemleri dünyada ve Türkiye’de yalıtım, Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Tuncer, M. 2007. Isıtılan ve soğutulan mahallerde ısı yalıtımının optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Uçar, A., Balo, F. 2009. Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey, *Applied Energy*, 86: 730-736.

Umur, H. 2001. Akışkanlar mekaniği. Vipaş Yayınları, Bursa, 482 s.

Yavuz, C., Atik, K. 2011. Sıcak sulu ısıtma sistemlerinde boru çaplarının termoekonomik optimizasyonu, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(4): 53-64.

Yıldız, A.R. 2006. Tasarım optimizasyon problemlerinin çözümü için çok amaçlı arama tabanlı bir sistemin geliştirilmesi, Doktora Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Zaki, G.M., Al-Turki, A.M. 2000. Optimization of Multilayer Thermal Insulation for Pipelines, *Heat Transfer Engineering*, 21: 63-70.

http://www.izobedel.com/isi_yalitimi_satandart_mevduat.html
(Erişim tarihi: 22.05.2013).

http://www.izoder.org.tr/tr/dokumanlar/isi_yalitimi/tesisatlardaisiyalitimi.pdf
(Erişim tarihi:10.12.2012).

https://dosya.sakarya.edu.tr/.../2013/.../483607152_isi_yalitim_sunum
(Erişim tarihi:08.05.2013).

(<http://ensate.com.tr/teknik-bilgiler/enerji-ve-enerji-verimliliği/>)
(Erişim tarihi:12.12.2012).

<http://www.baskentdogalgaz.com.tr/inc/main.asp?id=tarifearsiv>
(Erişim tarihi10.06.2013).

<http://www.akcelikboru.com/formul.html> (Erişim tarihi 04.05.2012).

http://www.dacapo.com/filer/nominal_pipe_sizes.pdf, (Erişim tarihi 01.05.2012).

www.tcmb.gov.tr (Erişim tarihi 11.06.2013).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Dildar YILDIZ

Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA 26.07.1987

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Turhan Tayan Anadolu Lisesi

Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Günsan Mühendislik: 26.10.2009 - 10.12.2010

İmtay Group : 10.04.2011- 04.11.2011

İletişim (e-posta) : dildar_yildiz@yahoo.com.tr