

**BORU HATLARI NDA GÜNEŞ IŞINI M ETKİSİ İLE
MEYDANA GELEN BASINÇ ARTIŞINI N DEĞİŞİK
BORU SİSTEMLERİ NDE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Volkan VARAL
(503011024)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Taner ÖZKAYNAK
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Salim ÖZÇELEBİ (İ. Ü)
Yrd. Doç. Dr. Erhan BÖKE**

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Günümüzde akışkan nakliyesinde, yüksek taşıma kapasiteleriyle boru hatları, dünya üzerinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok ekonomik ve sürekli taşıma sağlayan boru hatları bugün akışkanların kaynaklarından ihtiyaç duyulan yerlere güvenli bir biçimde taşınmasını sağlamaktadır. Belirli standart ve kodlara uygun tasarlanıp inşa edilen boru hatlarında, işletme şartları dizayn için belirleyici olmaktadır. Ancak arıza veya duruş anlarında boru hatlarının belirli bölümleri için farklı durumlar meydana gelebilmektedir. Bu çalışma yapılırken, böyle durumlardan biri incelenmiş ve sonuçları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Amaç olarak da, gerçek işletme şartlarında ortaya çıkabilecek bu durumu için, operatörlere teorisi verilmiş bir kaynak oluşturmak hedeflenmiştir.

Bu çalışmada bana sürekli yol gösteren, destekleyen tez danışmanı mProf . Dr. Taner ÖZKAYNAK'a, bilgilerini her zaman benimle paylaşan arkadaşı m Mük. Yük. Müh. Gökhan BALIK'a, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen İpek GÜNEY'e, aileme, Mük. Yük. Müh. Necati ARIKAN'a ve çalışmada yardımcı olan tüm arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim

Mayıs 2004

Volkan VARAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	5
3. BORU HATLARI TASARIMI	7
3.1 Genel Tasarım Temelleri	7
3.2 Boru Hatları Tasarımı	12
3.3 Su ve Fuel Öl Boru Hatları İçin Bazı Belirgin Tasarım Özellikleri	22
4. BORU HATLARINDA İŞLETME VE BAKIM	27
5. BORU HATLARINDA KULLANILAN BORU SİSTEMLERİ	31
5.1 Çiplak Boru Sistemleri	31
5.2 Klasik İzolasyonlu Boru Sistemleri	33
5.3 Ön-İzolasyonlu Sistemler	35
6. GÜNEŞ IŞINI Mİ YLA MEYDANA GELEN BASINÇ ARTIŞININ İNCELENMESİ	40
6.1 Problemin Tanıtılması	40
6.2 Matematiksel Modelleme ve Bilgisayar Program Kodları	41
6.3 Sonuçlar	54
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	63

KISALTMALAR

AS ME	: The American Society of Mechanical Engineers
ANSI	: American National Standards Institute
ISO	: International Standardization Organization
PE	: Polyethylene
HDPE	: High Density Polyethylene
PFD	: Process Flow Diagram
P&ID	: Piping and Instrumentation Diagram
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
PVC	: Polyvinylchloride
PUR	: Polyurethane
SN	: Sabit Nokta
SCH	: Schedule
SMYS	: Mıssade Edilen Azami Akma Sınırı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Kullanıma Göre Su Hızları	23
Tablo 3.2 Erozyona Göre Azami Su Hızları	23
Tablo 6.1 Denklemler ile Programın Bazı Notasyon Eşleşmeleri	46
Tablo 6.2 Programda Kullanılan Bazı Sabit Grdiler	47

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 Boru Hattı Proje Tasarım Kriterleri	12
Şekil 3.2 Su Taşıyan Boru Hattı	24
Şekil 3.3 Fuel Öl Boru Hattı	25
Şekil 5.1 Ön İzolasyonlu Borular	36
Şekil 5.2 Ön İzolasyonlu Sadece PUR İzolasyonlu Yer Üstü Sistem	37
Şekil 5.3 Ön İzolasyonlu PUR ve Taş Yünü İzolasyonlu Yer Üstü Sistem	38
Şekil 5.4 Ön İzolasyonlu PUR ve Taş Yünü İzolasyonlu Yer Altı Sistem	38
Şekil 5.5 Joint Montajı	39
Şekil 6.1 Modellenen Boru Hattı Bölümü(Çiplak Sistem)	42
Şekil 6.2 Modellenen Boru Hattı Bölümü(İzolasyonlu Sistem)	42
Şekil 6.3 Boru Yüzeyi Tarafından Yutulmuş Isı Akısı(Q_h)	54
Şekil 6.4 Çiplak Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Su	55
Şekil 6.5 Ön-İzolasyonlu Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Su	55
Şekil 6.6 Klasik İzolasyonlu Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Su	56
Şekil 6.7 Çiplak Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Fuel Öl	56
Şekil 6.8 Ön-İzolasyonlu Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Fuel Öl	57
Şekil 6.9 Klasik İzolasyonlu Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Fuel Öl	57
Şekil 6.10 Basınç Artışı (dP)-Su	58
Şekil 6.11 Basınç Artışı (dP)-Fuel Öl	58
Şekil 6.12 Basınç Artışı (dP)-Çiplak Boru Sistemi	59
Şekil 6.13 Basınç Artışı (dP)-Ön-İzolasyonlu Boru Sistemi	59
Şekil 6.14 Basınç Artışı (dP)-Klasik İzolasyonlu Boru Sistemi	60

SEMBOL LİSTESİ

A	: Alan
a	: Ampirik Sabit
c_A	: Akışkan Özgöl Isısı
c_B	: Boru Özgöl Isısı
CC	: Bulutlanma Gram
C_{HW}	: Hazen-Williams Katsayısı
c_s	: Ses Hızı
D	: Boru Çapı
d	: Gömülme Derinliği
D	: Tasarım Faktörü
E	: Elastisite Modülü
f	: Sürtünme Faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi
H	: Yer Altı Yer Üstü Boru Eksenleri Uzaklığı
h_1	: Boru Dışı Taşınım Katsayısı
h_2	: Boru İçi Taşınım Katsayısı
H	: Sistem Enerjisi
I_0	: Güneş Sabiti
I_h	: Yüzey Tarafından Yutulan Güneş Işınımı
k	: Isı İletim katsayısı
k_T	: Toprak Isı İletim Katsayısı
L	: Boru Uzunluğu
L_0	: Yer Altı ve Yer Üstü Toplam Boru Uzunluğu
L_1	: Yer Üstü Kısmı Uzunluğu
L_2	: Yer Altı Kısmı Uzunluğu
m	: Hava Kütlesi
n	: Yılın İçindeki günün Sayısı
P_1	: İşletme Basıncı
r_0	: Boru Yarıçapı
t	: Zaman
T_B	: Yer Üstü Boru Yüzey Sıcaklığı
t_w	: Boru Et Kalınlığı
v	: Akışkan Hızı
V_0	: Yer Üstü+Yer Altı Boru Hacmi Toplam
V_1	: Yer Üstü Kısmı Boru Hacmi
V_2	: Yer Altı Kısmı Boru Hacmi
w	: Saat Açısı
W	: Kaynak Faktörü
β	: Isıl Genleşme Katsayısı
β	: Sıkıştırılabilirlik Katsayısı
δ	: Deklinasyon Açısı
ε	: Uzunluk

μ	: Sürtünme Katsayısı
ν	: Poisson Oranı
ρ	: Yoğunluk
σ_1	: Hüp Gerilmesi
σ_2	: Eksenel Gerilme
σ_{AL}	: İzin Verilen Azami Gerilme
σ	: Sürtünme Gerilmesi
σ_T	: Isıl Gerilme
Φ	: Enlem
Δh	: Sistem Enerji Kaybı
ΔL	: Eksenel Artış
$\Delta P, dP$	: Basınç Artışı
Δr	: Radyal Artış
ΔT	: Toprak Altı Denge Sıcaklık Farkı
ΔT_A	: Akışkan Sıcaklık Farkı
ΔT_B	: Boru Sıcaklık Farkı
ΔT_f	: Sıcaklık Farkı
ΔV	: Hacim Farkı
ΔT	: Toprak Altı Denge Sıcaklığı
T_B	: Yer Üstü Akışkan Yüzey Sıcaklığı
T_A	: Yer Üstü Akışkan Sıcaklığı
T_H	: Dış Hava Sıcaklığı
T_T	: Toprak Sıcaklığı
α	: Boru Yüzeyi Yutma Katsayısı
α_e	: Isıl Genleşme Katsayısı

İNDİSLER

i	: İç
o	: Dış
c	: Çeket
I	: Isıl
B	: Boru
A	: Akışkan
İZ	: İzolasyon
TY	: Taş Yünü
PUR	: Poliüretan

BORU HATLARINDA GÜNEŞ RADYASYONU ETKİSİ İLE MEYDANA GELEN BASINÇ ARTIŞININ DEĞİŞİK BORU SİSTEMLERİNDE İNCELENMESİ

ÖZET

Boru hatları dünyanın her tarafında değişik akışkanları, güvenilir ve uzun servis avantajlarıyla, kaynaklardan kullanımlarına taşınmaktadır. Büyük miktarlarda akışkan boru hatlarıyla sürekli koşullarda uzun mesafeler boyunca taşınabilmektedir. Boru hatlarının tasarımı ve inşaatları, uluslararası standartlar ve organizasyonları tarafından belirlenmiş kod ve standartlar kullanılarak yapılmaktadır. Malzemelerin seçimi de yine bu kod ve standartlara göre yapılmaktadır.

Diyarbakır'da, işletme basıncı, sıcaklığı, akışkan özellikleri, konstrüksiyon özellikleri, çevre koşulları, coğrafi koşullar, iklim koşulları ve işletme, bakım koşulları parametreleri dikkate alınmaktadır. Bütün bu parametreler, boru malzemesini, boru sistemini ve işletmeyi etkilemektedir.

Boru hatları, iklim şartları ve akışkana bağlı olarak çıplak veya izolasyonlu boru sistemleri olarak inşa edilebilirler. Eğer boru hattı rotası yazın çok sıcak ve kışın çok soğuk olan sert iklimlerden geçiyorsa hattı, sıcaklık değişimlerinden, ısı kazancı veya kayıplarından korunmak için izolasyon uygulanması gerekebilir. İzolasyonlu sistemler ön-izolasyonlu boru sistemleri veya klasik izolasyonlu boru sistemleri şeklinde olabilir.

Boru hatlarının çoğu, yer altı ve yer üstü sistemlerinin beraber yer aldığı bölümlerden oluşmaktadır. Genelde yer üstü kısımlar, gömülü kısımlara göre uzunluk olarak daha az yer almaktadır. Normal işletme şartlarında güneş ışınımı dolayısıyla meydana gelen ısı kazancı herhangi bir problemi yaratmamaktadır. Ancak eğer hatta bir duruş veya bakım varsa akışkan iki kesme vanası arasında statik kalmaktadır. Bu durumlarda yer üstü kısımlarda güneş radyasyonu etkisi ile meydana gelen ısı kazancı, sıcaklık ve basınç artışına yol açmaktadır. Sıcaklık ve basınçtaki bu artış iletim yoluyla gömülü kısımları da etkilemektedir. Basınç artışı malzeme limitlerine ulaşabilir ve sisteme zarar verebilir.

Bu çalışmada, boru hatlarında güneş ışınımıyla ısı kazancı durumuna ilişkin teorik çözüm gerçekleştirilmiş ve sonuçlar çıplak, ön-izolasyonlu ve klasik izolasyonlu sistemler için ortaya konmuştur. İzolasyonlu ve çıplak boru sistemleri için zamana bağlı diferansiyel denklemleri çözmek için Fortran 90 ile bir program yazılmıştır. Bu programda zamana bağlı enerji denklemlerinin çözümü için sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır.

Sonuçlar, çıplak boru sisteminde, gün içinde güneş ışınımına bağlı basınç artışıının işletme basıncına bağlı olarakli mtlere ulaşabildiğini göstermektedir. Ön-izolasyonlu sistemde akışkan, yüksek izolasyon kalitesi sayesinde sıcaklık ve basınç artışından korunmaktadır. Klasik izolasyonlu sistemde, ön izolasyonlu sisteme nazaran az olmakla birlikte akışkan sıcaklık ve basınç değişimlerine karşı korunmaktadır.

INVESTIGATION OF PRESSURE INCREASE IN PIPELINES CAUSED BY SOLAR RADIATION FOR DIFFERENT PIPE SYSTEMS

SUMMARY

Pipelines carry different medias for resources to usage areas all over the world with the reliable and long service advantages. Huge amount of fluids can be transferred for long distances with pipelines in steady state conditions. Design and construction of pipelines are carried out by means of standards and codes which are specified by international standard organizations. Materials are also selected according to these standards and codes.

In the design of pipeline, some parameters are taken into consideration like operating temperature, pressure, fluid properties, construction possibilities, environmental conditions, geographical conditions, ambient conditions and operation and maintenance conditions. All these parameters affect the design of pipeline system pipe materials, piping system and operation.

Pipelines could be installed as bare or insulated piping systems according to carried media and ambient conditions. If route is passing in a hard climate which is very cold in winter and very hot in the summer it could be necessary to apply insulation to the pipeline to protect it from temperature changes and heat loss or gain. If there is no risk of operation due to heat gain and loss, it can be a bare piping system. Insulated systems can be classical insulated and pre-insulated systems.

Most of the pipelines are mixed combination of above ground and underground systems. Normally above ground sections length is less than buried sections. During the normal operating conditions solar heat gain is not a problem for the pipeline. But if there is stop in the line or maintenance work, fluid can be static between two stop valves. In this case in the above ground sections there could be temperature and pressure increase caused by solar heat gain. This increase in temperature and pressure effect buried section as well due to conduction in the system. Pressure increase in the system could reach the limits of pipe material and damage the system.

In this study, a theoretical solution has been realized for a situation of solar heat gain in pipelines and results are presented for three different types of pipes which are bare, classical insulated and pre-insulated piping systems. Fortran 90 software has been written for both bare and insulated systems to solve the time dependent differential equations. Solution has been done using finite difference technique for the time dependent energy equations in this software.

Results show that pressure increase in the bare piping system pipelines caused by solar heat gain in day time could reach the pressure limits depending on the operating pressure. In the pre-insulated piping systems fluid is protected against to change of

temperature and pressure due to high insulation quality. Classical insulation also protects the media from changes of temperature and pressure but protection is less than pre-insulated pipes.

1. GİRİŞ

Özellikle II. Dünya Savaşı'ı sonrasında önemi ve kullanımı giderek artan boru hatları, yüksek taşıma kapasitesi ve uzun mesafe dağıtım olanakları ile akışkan taşınmasında ekonomik ve güvenilir bir çözüm olarak kullanılmaktadır. Yeni dizey teknipleri ve kullanılan ürünlerin kalitesi boru hatlarının, güvenilirliği ve kesintisiz işletme şartlarını sağlamaları konusunda giderek artan bir gelişme sağlamıştır. Özellikle büyük çaplı boruların kullanılmaya başlanmasıyla, yüksek debilerde akışkanın nakline olanak doğmuş ve hatların ekonomikliği artmıştır.

Boru hatları genellikle, bir akışkanın üretim yerinden işleme tesislerine veya kullanıma hazırlanmış bir akışkanın kullanımlarına taşınmak amacıyla kullanılırlar. Örneğin ham petrolü üretim kuyusundan rafinerilere, şebeke suyunu da depolardan kullanıma maçlı olarak son kullanıcılara ulaştıracak dağıtım şebekesine nakletmek ve boru hatları sıkça uygulanan bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Taşınan ürünün cinsine, nereden nereye taşındığına, hangi amaçla taşındığına ve coğrafi şartlara göre boru sistemleri farklılıklar göstermektedir. İşletme şartları, kullanılan malzeme, dizey şartları hep bu kriterler gözönüne alınarak belirlenmektedir.

Dizey kriterleri, malzeme seçimi gibi konularda, boru hatları için çeşitli kodlar bulunmaktadır. Genellikle çevre açısından da büyük önemi taşıyan boru hatları için, ASME, ANSI, ISO standartları kullanılmaktadır. Bu standartlar taşınan akışkana göre değişim göstermektedir.

Ham petrol, su, benzin, doğal gaz, fuel oil ve daha birçok akışkan boru hatlarıyla taşınmaktadır. Bunların hepsinin statik, dinamik ve hidrolik dizeyleri farklı olsa da rota seçimi ve coğrafi koşullara göre kontrüksiyon özellikleri genelde aynıdır. Büyük debilerde nakil için büyük çaplarda taşınan bu gibi akışkanlar için nakledilme amacı işletme özelliklerinin belirlenmesi açısından belirleyici olmaktadır. Ayrıca ana veya tali hat olup olmadıkları da, basınç, sıcaklık gibi kriterler açısından önemlidir. Boru ve fitting et kalınlıkları da buna göre belirlenmektedir. İstenilen koşullarda sorunsuz

operasyon için malzeme özellikleri, kodlar gözönünde bulundurularak gerekli hesaplar yapılarak seçilmektedir.

Boru hatları, yer altı veya yer üstü sistemler olarak dizayn edilebilmektedirler. Çevre şartlarına göre belirlenen güzergahlarda genelde yer altı ve yer üstü kısımlar beraberce yer almaktadır. Toprak altında kalan kısımlarda kullanılan borular için ayrıca dış korozyona karşı önlem almak gerekmektedir. Bu genelde kaplama ve katodik koruma ile sağlanırken aynı kaplama yer üstünde de kullanılarak hattın dış etkenlere karşı dayanım artırılmaktadır. Genelde, eğer bir engel ile karşılaşılıyorsa, operasyon sırasında müdahale kolaylığı ve takip kolaylığı sağlanmasından dolayı rotayı yer üstü olarak belirlemek avantajlı olabilir. Ancak bu şekilde, boru hattı dış etkilere fazlaca açık hale gelmektedir. Hava koşulları ve dışarıdan gelebilecek darbelere karşı önlem almak gerekmektedir.

Taşıyıcı boru olarak çelik tercih edilmektedir. Bu konuda petrol ve türevleri için API veya ANSI standardında hat boruları kullanılmaktadır. Su ve benzeri akışkanlar için ise yine ANSI veya ISO standardında hat boruları, işletme basıncı doğrultusunda belirlenmiş et kalınlıkları doğrultusunda seçilmektedirler.

Taşınan akışkanın cinsine göre değişse de, genelde hattın geçtiği yerdeki iklim koşulları dikkate alınarak borulara sadece dış kaplama yapılacağı veya izolasyon gerekip gerekmediği konularına karar verilmektedir. Esas olarak, yıl içindeki sıcaklık değerleri gözününe alınarak hatta taşınan akışkanın ısı kaybı işletmede aksama yaratacak kadar kritik ise izolasyon ve dış kaplama yapılması tercih edilmektedir. Aksi takdirde, borular toprak altına dış korozyondan ve toprak üstünde dış etkilere korunması amacıyla yapılacak bir kaplama yeterli olacaktır.

İzolasyon kullanılmadığı hallerde genelde çıplak çelik boru polietilen kaplama yapılarak kullanılmaktadır. Toprağa bu şekilde direk gömülebilen bu boruların, yer üstünde giden kısımlarında, antipas boya ve saç kaplama uygulaması yapılarak da kullanımlarına devam edilebilir. Burada toprak altı kısımlarda, boruların kaynakla birleştirilmesi sonrasında yapılacak PE kaplama birleşimi dış korozyon açısından çok önemli olmaktadır. Eğer bu noktalarda sızdırmazlık sağlanamaz ise çelik borular toprak suları ve mineraller tarafından ciddi korozyon tehlikesi altında kalacaklardır.

İzolasyon gerektiren dizayn şartlarında klasik izolasyon veya ön-izolasyonlu (pre-insulated) denilen, fabrikada izolasyon ve ceket kaplanması yapılmış montaja hazır şekilde bulunan boru sistemleri kullanılmaktadır. Klasik izolasyon, taşıyıcı boru üzerine sıcaklığa göre seçilmiş cam yünü veya taş yünü izolasyon malzemesi uygulanıp galvaniz sac veya benzer bir malzeme ile kaplanması şeklinde yapılmaktadır. Taşıyıcı boru üstteki tabakalar sızdırmaz olmadığından dolayı korozyona karşı önlem olarak yine antipas boya ile boyanabilmektedir. Klasik izolasyonlu sistemleri yer altına gömülebilmesi için genelde beton kanal içinde uygulama yapılmaktadır. Kış işletme şartlarında, donması istenmeyen akışkanlar için ek olarak sıcak akışkan dolaşan refakat sistemi kullanılmaktadır.

Endüstriyel kullanıma giderek artan ön-izolasyonlu boru sistemlerinde, taşıyıcı boru üzerinde sıcaklığa göre poliüretan veya taş yünü+poliüretan izolasyon ve onun üzerinde HDPE ceket bulunan üç katmanlı yapı kullanılmaktadır. Ceket HDPE, çelik galvaniz veya alüminyum olabilir. Taşıyıcı boru da akışkana göre seçilen siyah çelik paslanmaz çelik veya plastik olabilir. İzolasyon ve ceket özel üretim teknikleriyle taşıyıcı borulara arada boşluk kalmayacak şekilde monte edilmektedir. Isı iletkenlik katsayıları son derece düşük olan bu borularda, taşıyıcı boru birleşimine imkan vermemek amacıyla iki uçtan belli uzunluklarda çıplak boru bırakılmaktadır. Taşıyıcı boru birleşimi yapıldıktan sonra da birleşim yerlerinin izolasyonu joint denilen ve prefabrik izolasyon + ceket malzemesinden meydana oluşan izolasyon kitleriyle yapılmaktadır. Bu sayede sızdırmazlığı sağlanan borular direk olarak toprağa gömülebilir. İşletmedeki kesintiler anında kış şartlarında donması istenmeyen akışkanlar için elektrikli veya sıcak akışkanlı refakat sistemi de fabrikada borulara izolasyon içinde uygulanarak montaja hazır sunulmaktadır.

Boru hatlarında genelde yer altı kısımlar, yer üstü kısımlara göre daha fazla yer alır. Sürekli çalışma şartlarında yer üstü kısımlarda genel dizayn kriterleri arasında pek dikkate alınmayan dış kaynaklı ısı kazancı, hatta bir problem dolayısıyla meydana gelebilecek bir duruşta, bakımlar esnasında veya dirençler dolayısıyla akışta kesintiler olduğu durumlarda önemli bir dış faktör konumuna gelmektedir. Kış şartları için nasıl ısı kaybı dikkate alınıp izolasyon ile çözüm aranıyorsa, yaz şartlarında böyle bir duruş meydana gelen durumlar için de bu tip bir çözüm gerekli olabilir. Tamam akışkanla dolu bir boru hattının belirli bir bölümünde statik kalan akışkan, güneş ışınları tarafından bir ısı akısına maruz kalırsa, boru ve içindeki

sıvının sıcaklığı, buna bağlı olarak da basıncı artabilir. İşletme basıncına bağlı olarak da, özellikle yüksek basınçlı sistemlerde bu basınç artışı boru malzemesi dayanımı için problem oluşturabilmektedir.

Bu çalışmada, böyle bir senaryonun gerçekleşmesi ile ilgili çözümler yapılmış ve sonuçlar ortaya konmuştur. Öncelikle güney enlemlerde, boru hatlarının sıkça kullanıldığı ve yaz kış iklimin sert geçebildiği bölgelerde bu tür durumlarla karşılaşmak daha olası olabileceğinden enlemderecesi buna uygun seçilmiştir. Boru hattının maruz kaldığı ısı akısı ne kadar yüksek olursa basınç artışı ve malzemenin zarar görme olasılığı o kadar artmaktadır. Isı akısına maruz kalan kısım yer üstü kısmı olduğu halde, bu bölümdaki boru ve sıvı sıcaklık artışı toprak altındaki kısımda da sıcaklık artışına sebep olmaktadır. Dolayısıyla hattın gömülü kısmının havai kısma oranı sıcaklık ve basınç değerlerinde etkilidir. Bu bilgiler ışığında yer altı ve yer üstü kısımlar için enerji denklemleri vasıtasıyla sıcaklık analizi yapılmıştır. Aynı şekilde boru ve akışkanın ısı kazancı etkisi ile meydana gelen hacimsel değişimleri incelenmiş ve buradan da meydana gelebilecek basınç artışı hesaplanmıştır.

Basınç artışıının çeşitli boru tipleri için nasıl ortaya çıktığı da çalışmanın önemli bir konusudur. Çiplak borular kullanıldığında ortaya çıkan sonuçlar ile izolasyonlu borular kullanıldığında ortaya çıkan sonuç açıkça farklı olmaktadır. Boru malzemesi olarak çelik hat boruları seçilmiş ve farklılık yaratılması için incelenen akışkanlar için hep aynı et kalınlığı kullanılmıştır. Akışkanlar su ve fuel oil olarak alarak belirlenmiş ve ısı kazancı etkisinde verdikleri tepkiler incelenmiştir.

2. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Boru hatları tasarımı ve işletme şartlarının incelendiği çalışmalar taranmış, bu konuyla ilgili olanlardan bu çalışmanın hazırlanmasında faydalanılmıştır. Ancak yapılan araştırmalar sonucu konuyla ilgili yazılmış birkaç makale hariçinde pek fazla çalışma bulunmamıştır.

Genel olarak boru hatlarının dizaynında kullanılan ASME B31.4 kodu, petrol türevleri ve diğer akışkanların nakilinde kullanılan boru hattı dizaynı, malzemeleri, konstrüksiyonu ve kontrolü gibi konuları tanımlayan bir kaynaktır[1]. Boru hattı dizaynı, malzemeleri ve diğer hususlar için ASME B31.4 kodundan faydalanılmıştır.

Konuyla ilgili en yakın çalışma, boru hatlarında çıplak borular için güneş etkisi ile meydana gelen basınç artışının incelenmesini kapsayan yapıldığı çalışmadır[2]. Benzin ve su için belirli boru çapları ve yer altı, yer üstü kısımlarının uzunluklarının oranlandığı bu çalışmada sonuçlar, değişik oranlar için basınç artışları verilmiş ve yorumlanmıştır.

Boru hatlarının dış yüklenmeler karşısında, akışkanın verdiği tepkileri ve boru malzeme etkileşimi de incelenmiş, iki ayrı modelle akışkan tepkileri ortaya konmuştur. Bu modeller, basıncın büyüklüğünü ve basınç dalgalanımının boru içinde nasıl yayıldığını kestirmek için kullanılmıştır[3]. Diğer bir çalışmada, boru hatlarında planlanan veya kazara oluşabilecek basınç dalgalanmalarının, hatta yarattığı gerilme ve titreşimi analiz edebilmek amacıyla, bu geçici basınç artışlarının büyüklüğü ve sıcaklığı incelenmiştir[4]. Benzer bir çalışmada, iç basınç, ısı değişimleri ve olabilecek dış yüklerin yer altı boru hatlarında radyal ve eksenel doğrultuda yarattığı gerilmeler analiz edilmiştir[5]. Başka bir çalışmada da boru hatları için tam bir gerilme analizi metodu tanımlanması yapılmış ve iç, dış yükler etkisiyle oluşan gerilmeler incelenmiştir[6].

Akışkanların taşındığı boru hatlarının çevre ile olan ısı etkileşimleri de çeşitli çalışmalarda incelenmiştir. Boru hatlarında yüksek basınçlı akışkanların çevre ile olan ısı etkileşimleri hakkında vaka çalışmaları yapılmış ve sonuçlar ortaya

konmuştur[7]. Diğer bir ısıtıl modelleme çalışmasında, akış sırasındaki ısıtıl dağılımı ele alınmış ve akış miktarı ile arasındaki ilişki, çevreye olan ısı kaybı ve ısı kazancısının akışa etkisi modellenmiştir[8].

3. BORU HATLARI TASARI M

3.1 Genel Tasarı m Te nelleri

Bir boru hattı sisteminin dizaynında, şartname gereksinimlerinin belirlenmesi, çizimlerin ortaya çıkarılması, dizayn parametrelerinin kullanılması, yük koşulları, boru hattı yerleşimi ve rota belirlenmesi gibi kriter ve bilgiler ışığında çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, kod ve standartlar, çevre koruma faktörleri gibi etkenler de kısıtlayıcı olmaktadır.

Malzeme için gerekli özellikler, gerekli özel üretim malzemeler, montaj ve işletme gereksinimleri şartnamelerde tanımlanmaktadır. Şartnamedeki bu belirlenmeler genelde akışkan cinsi ve işletme parametreleri ve standartlar dikkate alınarak yapılmaktadır. Ayrıca tasarımda ve konstrüksiyonda göz önünde bulundurulması gereken kalite şartları ve genel bir kalite yönetim sistemi gereksinimi de şartnamelerce belirlenebilmektedir.

Çizimler, boru yerleşimi ve rota planlarını, montaj ve detay resimleri varsa özel üretilecek malzemelerin detaylarını içermektedir. Bunlara, izometrik yerleşim boru hattı statik hesapları da eklenebilmektedir. Boru taşıyıcısı gerekli olduğu hallerde (yer üstünde giden boru hattı kısımları için), bunların detay çizimleri veya yer altı kısımları için açılacak kanal detayı ve kanal içi yerleşim planı da hazırlanmaktadır. Ayrıca işlemakış şemaları (PFD) ve boru ve enstrüman şemaları (P&ID) da çizim olarak belirlenmektedir. PFD de ana elemanların adlarını, yerleşimini, değişik işletme şartları için alt ve üst koşulları ortaya koymaktadır. P&ID ise boru, fitting ve vanaların yerlerini, boyutlarını, birbirlerine göre işlevlerini göstermektedir.

Mümkün olduğu kadar uzun ve ekonomik bakımdan yüksek verimsi sağlayacak bir servis ömrü için malzeme ve fiziksel parametrelerin, yük, işletme ve çevresel koşulların dizayn parametreleri olarak detaylı bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Dizayn yapılacak sahanın çevresel ve coğrafi koşulları incelemek için ziyaret

edilmesi, sıcaklık basınç ve gerekli girdilerin kullanıcılardan temin edilmesi veya istenilen özelliklerin ortaya konması başlangıç aşamasında yapılmaktadır. Ayrıca toprağa gömülecek kısımlar için toprak yapısının incelenmesi ve korozyon önlemlerinin tasarlanması gerekmektedir. Boru hatları statik ve dinamik olarak ortaya çıkabilecek her türlü şartlara uygun dizayn edilmektedir. Basınç, sıcaklık değişimleri, ısı genleşmeler ve titreşimler gibi anlık oluşabilecek durumlar göz önünde bulundurulmaktadır. Bunlar servis koşullarıdır ve bunlar azami gerilme sınırını belirlemede kullanılmaktadır.

Boru hatlarının dizaynında çeşitli organizasyonlar tarafından belirlenmiş ve tasarında uyulması gereken koşul ve kuralları tanımlayan standartlar veya referanslardan faydalanılmaktadır. Bu kod ve standartlar, proje parametrelerine göre tekrar taranıp gözden geçirilmekte ve en önemli olarak uyulması gereken kurallar belirlenmektedir. Genel olarak basınçlı boru hattı dizaynlarında ASME B 31.4 standardı kullanılmaktadır. Standartlar, tasarında dikkate alınacak kriterlerinli nitlerini ortaya koymaktadırlar. Örneğin, izin verilen gerilmeler ve bunlarınli nitleri, izin verilen yükler ve bunlarınli nitleri, kullanılması gereken malzemeler, en az et kalınlığı, azami sehim ısı genleşme standartlarda tanımlı ve uyulması gerekli formleri belirlenmiş dizayn kriterleridir.

Çevresel faktörler de, dizayn parametresi olarak önemli bir yere sahiptirler. Korozyonun en önemli faktör olarak dikkate alındığı bu etkenlere ayrıca operasyon sırasında ortaya çıkabilecek deprem yangın, buzlanma, kar yükü gibi etkenler de eklenmektedir. Sıcaklık değişiminin boru hatları için kritik bir önemi vardır. Sıcaklık değişimi ya mevsimsel olmakta ya da akışkanın sıcaklığına bağlı olmaktadır ki özellikle akışkan sıcaklığına bağlı değişim konusunda ısı genleşme hesapları yapılarak gerekli önlemler alınmaktadır. Boru içi akış sırasında meydana gelebilecek erozyon da çevresel faktörler arasında dikkate alınmaktadır.

Operasyon sırasında ortaya çıkabilecek yangın ani güç kesilmesi gibi durumlar, doğa koşullarının meydana getirdiği deprem fırtına gibi koşullar için herhangi bir referans veya kod mevcut değildir. Tasarım aşamasında bu gibi faktörler tecrübelerle kurallar harmanlanarak dikkate alınmaktadır. Akışkanların içinde barındırdıkları bazı aşındırıcı maddeler etkisiyle meydana gelen erozyon da boru et kalınlığının zamanla azalmasına yol açabilmektedir. Bu da zamanla boru içinde, erozyon sebebiyle

İncelene noktalarında basıncın da etkisi ile malzeme yapısının zarar görmesine neden olabilir. Bunu önlemek için genelde et kalınlığını gerekenden biraz fazla tutmak pratik bir çözüm olmaktadır. Ayrıca iç korozyonu önleyecek kimyasallar da kullanılabilir.

Çevresel faktörlerin dikkate alınması gibi boru hattını işletme esnasında etkileyecek yük koşullarının da belirlenmesi gerekmektedir. İşletme sırasında gelebilecek yükler yukarıda belirtilen çeşitli etkenlerin, iç basınç, boru sisteminin kendi ağırlığı, ısı genleşme dolayısıyla oluşan gerilmelerin kuvvetleri, ısı değişimleri, rüzgar, toplam olmaktadır. Genel olarak bu yükler, sürekli ve geçici yükler olarak sınıflandırılmaktadır.

Sürekli yükler zamanla değişmeyen iç ve dış basınç, boru ve akışkan ağırlıkları gibi yüklerdir. Tasarım basıncı akışkanın istenilen basınç değeri ve tasarım sıcaklığı da bu basınçtaki sıcaklıştır. Boru et kalınlığı ve malzemesi de daha önce belirtilmiş üzere bu parametreler kullanılarak seçilmekte, hesaplanmaktadır. Dizayn basıncı, normal işletme sırasında aşılmayacak şekilde belirlenmektedir ancak yine de bazı durumlarda bu basınç değeri aşılabilmektedir. Bu durumlarda kısıtlayıcı sınır standartlarında tanımlı maksimum basınç veya sıcaklık değerleri olmaktadır. Yer üstü sistemler için boru sisteminin ağırlığı, yer altı sistemler için ise boru hattı üzerindeki toprak yükü sürekli yük sınıfında değerlendirilmektedir.

Geçici yükler, boru hattını anlık olarak veya belirli bir zaman dilimi içinde etkileyebilecek yükler olarak tanımlanmaktadır. Sismik yükler, rüzgar yükü, koç darbesi, sıcaklık değişimleri etkisi ile ortaya çıkan ısı genleşmeler bunlar arasındadır.

Rüzgar ve kar yükleri yer üstü sistemler için söz konusudur ve standartlarda belirlenmiş limit ve formüllere göre değerlendirilmektedir. Sismik yükler ise her iki sistemi için de geçerlidir ve yine boru hatları için deprem yüklerini tanımlayan standartlara uygun şekilde dikkate alınmaktadır. Koç darbesi, titreşim gürültü gibi operasyon sırasında meydana gelebilecek arazılara bağlı duruş veya vanaların ani kapatılması, akışkanın gereğinden fazla hızla akması gibi durumlara bağlı olarak ortaya çıkabilecek yükler de, tasarım aşamasında emiyet valfleriyle veya dizayn hızlarının standartlarda belirlenmiş limitlerine uyularak önlenmektedir. Isı değişimlere

bağlı olarak meydana gelen genişleme veya çekme durumu için özel fittingsler kullanılarak veya hattın rotasında uygun genişleme bölümleri bırakılarak tedbir alınabilmektedir. Genelde toprak altında uzamalar kompensatör denilen, körük yapısında fittingslerle veya toprak üstünde omega çemberleri yapılarak, dirsek bölgeyi bırakılarak ısıl değişim sırasındaki gerilme etkisi ile ortaya çıkan uzamalar, hattın işleyişine statik olarak problemyaratmayacak şekle getirilebilmektedir.

Boru hattının yerleşim planları ve rota belirlenmesi, boru hattının bir noktadan diğer noktaya geçişinde, P&ID'de gösterilen boru, valf ve diğer ekipmanlarıyla birlikte tamamen boyutlandırılmış dizaynı içerir. Bu dizayn sırasında boru hattının işleyiş kriterleriyle birlikte aynı zamanda dış çevre ile olan etkileşimleri, boru hattı esnekliği, malzeme maliyetleri, işletme ve onarım, güvenlik ve montaj gereksinimleri gibi etkenler de göz önünde bulundurulmaktadır[9]. Yerleşim planları ve rota tasarlanırken, malzeme seçimi, işletme şartları, çevre şartları gibi konularda ön hazırlık yapılması gerekmektedir. Zira yerleşim planları ve rota bu bilgiler kullanılarak hazırlanmaktadır ayrıca diğer dizayn kriterlerinin aksine standartlarda rota ve boru sistemi yerleşimi tanımlanmıştır.

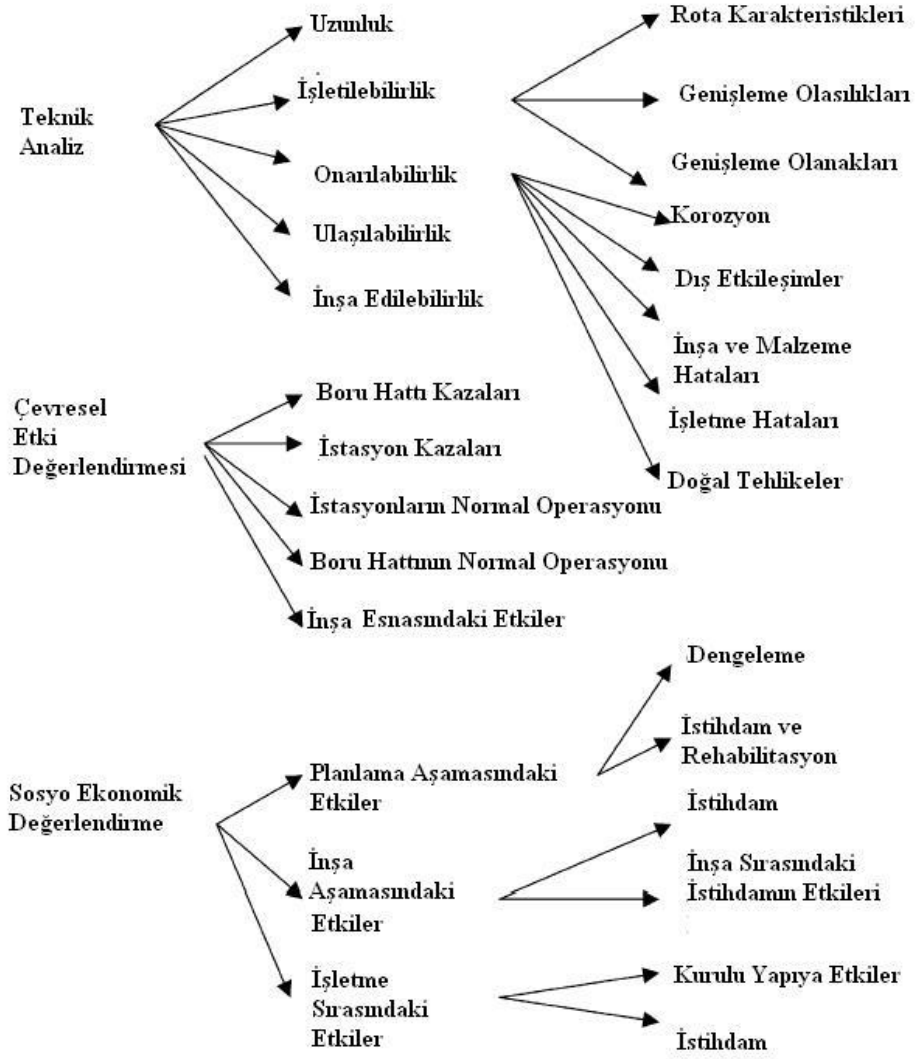
Boru sistemi yerleşim planında bilgisayar programları kullanılabilir. Özellikle karmaşık geçişlerin çiziminde ve hesaplarında kolaylık sağlayan bilgisayar programları, kalite standartlarına uygun proje dizaynında kolaylık sağlamaktadır. Yerleşim planlarında, hattın gerilme ve yüklerinin önceden hesaplanmış halleri gözönünde bulundurularak, boru güzergahında gerekli esneklikler sağlanmaktadır. Yer üstü hatlar için ısıl gerilmelere karşı gerekiyorsa, iki sabit noktasına, omega çemberleri, z çemberleri, yer altında kompensatör kullanımı ve hesapları yapılmaktadır. Buradaki amaç gerilmelerin, belirli yerlerde toplanması önlemek ve hattın geneline yayarak, standartlarda tanımlı malzeme limitlerine uygun değerlere getirilme. Boru hattının geçeceği rota üzerinde, boru taşıyıcı desteklerinin durumlarına, varsa diğer borular ile olan ilişkilerine ve izolasyon yapıyorsa, izolasyon kalınlıklarına göre yer ayarlanması gerekmektedir. Yer üstünde destekler, yer altında ise kanal bunlara uygun tasarlanmaktadır. Vanaların pozisyonları, pompa yerleşimi ve bağlantıları sistemin hidrolik dengesinde çok önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle bu ekipmanların bağlantıları, akışkan hızları ve yerleri gereksinimlere uygun tasarlanmakta, standartlar ve üretici el kitapları dikkate alınarak uygulanması ve yerleşim planındaki dizayn yapılmaktadır. Boru rotası ve

yerleşimi tasarlanırken işletme şartları da düşünülür ve herhangi bir arıza veya bakım anlamında, sistem elemanlarına çabuk ve kolay erişilmesine imkan sağlayacak şekilde yerleşimi yapılmaktadır.

Uzun metrajlı boru hatlarının rota seçimlerinde çok çeşitli faktörler gözönüne alınmaktadır. Bu tip boru hatlarında çok çeşitli coğrafi şartlardan ve çevrelerden geçiş söz konusu olabilmektedir. Bu yüzden buradaki rota belirlenirken belirli kısıtlara göre seçim yapılmaktadır. Boru hatlarının güzergah seçiminde, akışkanın taşındığı iki nokta arasındaki en kısa mesafe, bakım ve onarım mesnasında olabilecek en iyi ulaşılabilirlik, çevreye en az zarar verecek ve mümkün olduğu kadar ormanlık arazi den geçmeyecek rota olması, halk sağlığı açısından yerleşim alanlarından uzak olması, yol, tren yolu, nehir geçişlerinden mümkün olduğu kadar kaçınılması, dağlık ve tepelik arazilerden kaçınılması, enerji nakil hatlarına paralel gidişten kaçınılması, evler, göller ve diğer olabilecek engellerden kaçınılması ve varsa kontrolü açısından havadan ve yerden izlenebilecek bir güzergah olması ana rota seçim kısıtları olmaktadır[10].

Genel olarak boru hatları ile ilgili rota seçimi, sosyal etkiler ve projedeki diğer kriterlerin kullanımı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Ana dizayn kriterlerinin yanında, onlara dayanarak hesaplanan, boru hatlarının tasarımıda önemli bazı ek kriterler vardır. Burada, boru çaplarının, basınç kayıplarının belirlenmesi yapılmakta, bu yapılırken de erozyon açısından akışkan hızları ve pompa işi açısından, kullanımnoktası ihtiyacı bakımından basınç kayıpları dikkate alınmaktadır. Akışkan hızları, değişik akışkanlar için farklılıklar göstermekte ve genel olarak dizayn el kitaplarında belirtilmektedir. Bu akışkan hızlarına uygun debiler ve debiye uygun boru çapı seçimi hem akış sırasındaki ısı kayıpları için önemli olmakta, boru içi korozyonu, akış sırasındaki sesi, vibrasyonu önlemek açısından da önemli rol oynamaktadır. Boru çapı seçilirken hızlar kadar basınç düşümü de önemli olmaktadır. Boru içinde akış sırasında meydana gelen sürtünme dolayısıyla meydana gelen basınç düşüşü boru çapına ve hıza bağlı olduğundan hem kullanımnoktasındaki ihtiyacı sağlayacak hem de pompa enerji sarfiyatını fazla arttırmayacak şekilde seçilmektedir. Ayrıca basınç düşümü ve hız birbirine bağlı parametreler olduğundan bunların optimize edilmesi genel de uygun boru çapının da hesaplanmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.1 Boru Hattı Proje Tasarım Kriterleri [10]

3.2 Boru Hatları Tasarım

Boru hatlarının genel dizayn temelleri ve kriterleri aynı olmakla birlikte, taşıdığı akışkana göre de farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Malzemeler, uygulanan kodlar, basınç ve sıcaklık aralıkları, hidrolik tasarım stress limitleri ve bunları dengeleme biçimleri, çevre güvenlik gereksinimleri farklılıklar gösterebilmektedir. Bunun yanında mekanik ve montaj özellikleri, gerilme ve yük analizleri gibi konularda tüm akışkan taşıyan boru hatları için neredeyse ortak sayılabilmektedir. Petrol ve türevlerini taşıyan boru hatlarında hidrolik ve mekanik tasarımda genelde ASME ve ANSI standartları kullanılırken, malzeme standartları da API veya ANSI standartları

kullanılmaktadır. Diğer akışkanların taşındığı boru hatlarında ISO standartları da kullanılabilir.

Akışkan kaynaktan, kullanıma yerine götürecek olan boru hattının ekonomik açıdan en iyi çözümü sağlayacak şekilde optimize edilmesi kadar birbirleriyle ilişkili üç ana mühendislik konusu da önemli yer teşkil etmektedir. Bunlar, hidrolik dizayn, mekanik dizayn ve bakım-onarımlarına uygun dizayn yapma konularıdır. Bu konuların hepsi de birbirleriyle ilişkili ve birbirlerini etkileyen konulardır. Birinde verilecek karar diğerinde de değişikliklere yol açabilmektedir. Örneğin hidrolik tasarımı açısından, orta bir noktada basınçlandırma yapılması gerekli ise bu aynı zamanda mekanik tasarım, rotayı ve daha birçok şeyi değiştirebilmektedir. Dolayısıyla projede işleyiş açısından bütçe çalışmaları, hidrolik ve mekanik tasarım çalışmaları birbirinden ayrı düşünülmektedir. Hidrolik dizayn, taşıyacak akışkanın boru hattı boyunca akış sırasındaki özelliklerinin rotaya, coğrafi koşullara, basınç aralıklarına uygun olarak hesaplanmasıdır. Ayrıca iki nokta arasındaki basınç aralıklarına bağlı olarak, özellikle uzun hatlarda gerekli olabilecek pompa istasyonlarının sayısının belirlenmesi de hidrolik dizaynın bir parçasıdır. Bu tasarım yapılırken en ekonomik çözümün, yatırımı ile işletmeyi orta noktada buluşturan çözüm olacağı göz önünde bulundurulmaktadır. Mekanik dizaynda, standartlara uygun malzeme seçimi, boru çapı, basınç, boru et kalınlığı hesapları, hidrolik ve ısı değişimlerinin getirebileceği durumlara karşı hesaplamalar yapılmaktadır. Ayrıca pompa seçimi ve boyutlandırılması, havai hatlar için boru taşıyıcısı detayları, gömülü hatlar için kanal detayları gibi konularda mekanik tasarıma girilmektedir. Bakım ve onarıma uygun dizaynda da işletme ve bakım kolaylaştıracak kontrol sistemleri, çevre güvenliği ile ilgili alınması gereken tedbirlerin tasarımı yapılmaktadır.

Taşıyacak akışkanın, boru hattı boyunca belirlenen işletme şartlarına uygun olarak fiziksel özelliklerinin belirlenmesi hidrolik tasarımı aşamasında yapılmaktadır. Bu tasarımı aşamasının sonunda, boru hattında iletimi için ihtiyaç duyulacak enerji miktarı, uygun boru çapı aralığı ve gerekli olabilecek pompa istasyonlarının muhtemel yerleri gibi konular belirlenmiş olmaktadır. Boru hattının tamamının dizaynı bitirildikten sonra, hidrolik dizayna geri dönmek ve duruşlar sırasında olabilecek basınç artışlarına karşı tedbir almak, ileride olabilecek hattın genişlemelere karşı uygunluğunu düzenlemek gibi hesaplamalar yapılmaktadır.

Hidrolik dizaynın başlangıç aşamasında, taşınan malı kaynaktan kullanıma yeri ne veya bir tesisten geri ne götürecek olan boru hattı rotası belirlenmesi yapılmaktadır. Bu yapılırken ilk tercih mümkün olan en düz güzergahı kullanmak ve mümkün olduğu kadar hattın kotunun aynı kalmasını sağlayacak şekilde rota tutmak olmaktadır. Ancak bu konuda işi biraz daha karmaşık hale getiren bazı etkenler ortaya çıkmaktadır. Bunlar dağ, tepe, nehir gibi doğal engellerdir ve rota, hidrolik denge açısından kontrol noktalarını en aza indirecek, bakım onarımı için kolay erişilebilir olacak ve boru hattının korunmasına (yer üstü kısımlar için) imkân verecek şekilde düzenlenmektedir. İlk olarak güzergah seçimi için, boru hattının geçeceği bölgelere ait coğrafi haritalar, detaylı plan kotları kullanılarak ön çalışmalar hazırlanır. Bir rota belirlendikten sonra, daha sonra revize edilerek kaydıyla, hat güzergahını etkileyecek diğer etkenler göz ardı edilerek taslak rota ve kotları belirten çizim yapılmaktadır. Bu taslak çizim hidrolik dizayn için kullanılmaktadır. Eğer birden fazla rota alternatifi düşünülebiliyorsa, bunların çizimi yapılır ve herbiri için dizayn kriterleri gözönünde bulundurularak hesaplamalar yapılmaktadır. En ekonomik ve kriterlerin hepsinde optimum sonucu verecek rota en iyi rota olmaktadır.

Boru hattının hidrolik dizaynında, sistemin debisi, akışkan sıcaklığı, hava ve toprak sıcaklıkları, akışkanın viskozitesi, buhar basıncı, sıcaklık ve basınç değerleri belirlenerek hesaplamalara başlanmaktadır. Boru hattından geçecek debi hesaplanırken işletmecisi veya iş sahibinin isteklerine yakın değerler kullanmak her zaman fayda sağlamaktadır. Akışın geleceğine yönelik tahminler ve azami, asgari debilerin ilk aşamalarda belirlenmesi uygun boru çaplarının seçiminde iterasyon sayısını azaltıcı yönde etki etmektedir. Çünkü en ekonomik sonucu elde etmek amacıyla hesaplar belirli çaplar için tekrarlanıp geri dönüşler yapılmaktadır. Debi tasarlanırken ayrıca duruş ve çevre koşulları, tüketim veya ihtiyaçlar dikkate alınmaktadır. İdeal bir boru hattının kapasite kullanıma oranı %90-95 arasındadır. Kapasite kullanıma oranı, yılın her günü için debinin, işletme günlerinde geçen debiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Boru hattının geçeceği rota üzerindeki en düşük, en yüksek hava sıcaklıkları havai hatlar için ve toprak sıcaklıkları yer altı sistemleri için düşünülerek, akış sırasında problem yaratacak tedbirler alınmaktadır. Akışkan özellikleri de hidrolik sistemin tasarımında çok önemli olmaktadır. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç, viskozite, yoğunluk, buhar basıncı ve sıcaklık değerleri

sistemin ana dizayn parametreleri olmaktadır. Bunlar, taşınacak ürüne göre belirlenmektedir. Özellikle viskozite belli sıcaklık aralıklarında aldığı değerler ışığında çok önemli bir dizayn parametresi olmaktadır. Akışa direncin artması genelde düşük sıcaklıklarda olur ki bu da sistemin durması anlamına gelmektedir. Bunun olması için sistemin nakledilen ürüne bağlı işletme sıcaklık aralığı belirlenmektedir. Bu sıcaklık aralığı daha sonraki aşamada, mekanik dizayn aşamasında, aydınlatıcı bir bilgi olarak kullanılmakta ve bu sıcaklık aralığı, toprak, hava sıcaklığına göre akışa problem yaratacak şekilde korunak için tedbirler alınmaktadır.

Boru hattında akış yaratabilmek için ve dirençleri yenebilmek için sistemin enerji dengesinin kurulması ve hesaplanması gerekmektedir. Bunun için hattın toplam basınç kaybı ve sistem enerjisi, H_s , hesaplanmaktadır. Boru akışında basınç kayıplarını, yükseklik değişiminden kaynaklanan statik basınç kaybı, düz kısımlarda akış esnasında meydana gelen sürtünme basınç kaybı ve dirsek, redüksiyon gibi geometri değişimi olan yerlerde hız değişimlerinden kaynaklanan (özel dirençler) basınç kaybı olarak tanımlamak mümkündür. Bunlar aynı zamanda borularda yük kayıplarını tespit etmekte kullanılan Bernolli denkleminin birer elemanıdır. Yükseklik kayıpları genelde hatta giriş ve çıkış noktaları arasındaki yükseklik farkı olarak alınmaktadır ve genelde Bernolli denkleminden bu yük kaybını hesaplamak mümkün olmaktadır veya direk olarak aradaki yükseklik farkı da yük kaybı olarak kullanılabilir. Özel dirençler değerleri de, genel olarak boru çapı ve akışkana göre tablolarda eşit boru boyu cinsinden hesaplanmış şekilde elde edilebilir. Sürtünmeden kaynaklanan yük kaybı hesabı için çeşitli formler kullanılmaktadır. Bu formlerin en genel kullanıma sahip olanları, Darcy-Weisbach, denklem 3.1 ve Hazen-Williams, denklem 3.2, denklemleridir[11]. Bu denklemlerden ilki Reynolds sayısını, ikincisi ise ampirik bir katsayıyı kullanarak sürtünme basınç kaybını hesaplanmaktadır.

$$\Delta h = \left(\frac{fL}{D_i} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (3.1)$$

$$\Delta h = 3,022 \left(\frac{V}{C_{HW}} \right)^{1,852} \left(\frac{1}{D_i} \right)^{1,167} \quad (3.2)$$

Bu hesaplar genel olarak viskozitesi çok değişimleri göstermeyen tek fazlı akışkanlar için fazla karışık değildir. Akış hızı limitleri içinde ekonomik boru çapı aralığı belirlendikten sonra, buna uygun düşen basınç kayıpları hesaplanması yapılmaktadır. Bu aşamada taslak olarak boru et kalınlığı seçimi yapılmaktadır zira boru iç çapının belirlenmesi açısından önemli olmaktadır. Boru çapı seçimi yapılırken basınç kaybının az olması ve pompa işinin azaltılması amacıyla düşük tutulması düşünülmekte ve bu yapılırken de boru malzemesi maliyetlerini de yükseltmek amacıyla bir optimizasyona gidilmektedir.

Genelde boru çapları, basınç düşümleri ve hızları gösteren tablolar vasıtasıyla uygun boru çapı seçimi yapmak mümkün olmaktadır. Bu yapıldıktan sonra boru hattı boyunca toplam basınç düşümü hesaplanmakta ve pompa seçimi için gerekli datalar elde edilmiş olmaktadır. Bundan sonra, boru hattının her noktasındaki basıncı, sisteme pompalar tarafından sağlanan enerjiyi gösteren akış diyagramları çıkarılmaktadır. Bu diyagramlardaki eğim basınç kaybı dolayısıyla hattın başından sonuna doğru azalan bir görünüm çizmektedir. Bu diyagramın düzenlenmesiindeki amaç, sistemin son noktadaki geri basıncı kontrol etmek ve eğer ileride genişleme olursa hattın üzerindeki hidrolik dengeyi kolayca görebilmehtir. Genelde, boru hatlarında akış miktarı sabit olmasına da hesap yaparken maksimum değerlere göre hesap yapmak, işletmede çıkabilecek problemleri önlemektedir.

Standartlarda yer alan formüller kullanılarak boru hattında, et kalınlığı veya maksimum işletme basıncı hidrolik dizaynın sonraki aşamasıdır ve ASME B 31.4' de verilen denklem 3.3 ile hesaplanan basınca göre pompa sayısı, hattın basınç düşümleri kontrol edilmektedir. Burada yine hidrolik açıdan, boru maliyeti, pompa maliyeti, pompa enerji giderleri ve basınç kaybı değerleri arasında bir optimizasyon yapılmaktadır. Ancak bu aşamadaki et kalınlığı için, sadece işletme basıncı hesaba katılmakta ve diğer dış basınçlar, erozyon tedbirleri gibi diğer etkenler ihmal edilmektedir. Bu hesaplamalar daha sonraki mekanik dizayn aşamasında ele alınmaktadır.

$$P_{il} = 2 \times \sigma_{AL} \times \frac{t_w}{D_o} \quad (3.3)$$

Sistemin gerekli akışı istenilen yerde istenilen basınçta sağlayabilmesi için toplam enerji ihtiyacı, yani sürtünme kayıpları, özel direnç kayıpları ve yükseklik farkı toplamı, sistemin pompa gücü ile sağlanacak enerji ihtiyacını belirlemektedir. Pompa sayısı, belirlenen boru çapı, et kalınlığı gibi değerlere göre, sistemin toplam basınç kaybının, azami işletme basıncının yük kaybı cinsinden değerine bölünerek bulunabilmektedir. Pompa sayısından sonra, bu pompaların yer seçimleri de önemli olmaktadır. Sistemin hidrolik dengesi açısından her pompa terminalinde yaklaşık aynı basınç değerleri sağlanmaya çalışılmaktadır. Toplam enerji kaybını, pompa sayısına oranlandığında her bir pompa istasyonu aralığındaki basınç düşümü hesaplanabilmektedir. Pompa istasyonunda, pompanın emme vanası ile basma vanası arasındaki basınç farkı, pompa çıkış yükü ile yükseklik arasındaki farka eşittir. Aynı zamanda sistem enerjisi ile yükseklik arasındaki fark, pompanın gerekli net çıkış yükünü belirlemektedir. Tabii ki pompa istasyonlarının ulaşabilir ve arazinin inşaat a el verdiği bölümlerde yapılması hem baki m hem de konstrüksiyon açısından önemli olmaktadır.

Pompa istasyonlarında kullanılacak pompa seçimi, sistem enerji yükü eğrisi çıkarılıp bunun pompa karakteristikleriyle karşılaştırılması şeklinde ortaya çıkan sistem eğrileri kullanılarak yapılmaktadır. Eğer birden fazla pompa istasyonu varsa bunlar için gerekli sürtünme kayıplarının istasyonlar arası mesafeyle çarpılmasıyla, istenilen akış debisine göre basınç kayıpları bulunabilmektedir. Genel olarak belirlenen çap için üreticilerin sağladıkları pompa karakteristik verileri ışığında, istenilen debiye göre, sistem enerji ihtiyacını karşılayacak bir pompa seçimi yapılmaktadır.

Hidrolik dizaynın aşamalarında eğer akışkan sıcaklığı, boru içindeki akış dolayısıyla artış veya azalış gösteriyorsa, bunlar da hidrolik tasarım aşamasında göz önüne alınmaktadır. Özellikle hatta duruş meydana geldiği zaman, iki vana arasında servis dışı kalan bölümler için ısı değişiminin detaylı şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Mekanik tasarım boru hattının yüklere karşı mukavemetinin ve malzeme dayanışmasının belirlendiği aşamadır. Boru hattının maruz kaldığı iç ve dış basınçlar, taşıyıcı boru malzeme seçimi, malzeme çelik ise cinsi ve et kalınlığı, çapı, hava ve toprak şartlarına göre dinamik ve kalıcı yüklerin etkilerinin hesaplanması, boru hattının çeşitli koşullardaki durum ve cevapları, montaj detayları, boru askı detayları

hesaplamalarının ana konularıdır. Bunların incelenmesi ve eksenel radyal doğrultularda ne gibi gerilmelerin olduğu bu safhada belirlenmektedir. Boru hatlarındaki taşıyıcı boruların malzeme seçimi, montaj kriterlerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Genelde çelik olan taşıyıcı borularda, çelik boru cinsi, seçilen et kalınlığı ve boru çapı kaynak prosedürünü belirleyen unsurlardır. Bunlara uygun kaynak teknikleri standartlar yardımıyla belirlenir ve montaj maliyetleri de buna göre belirlenir. İşletme sırasında, yer üstü sistemlerde meydana gelebilecek yanal ve eksenel hareketleri uygun tasarımlarla dengeleme ve bunlara uygun taşıyıcılar kullanma, toprak altında ve üstünde ısı değişimleri etkisiyle meydana gelebilecek uzamaları veya kısalmaları, gerilmeler belirli noktalarda toplanmasını diye absorbe etmek için boru hattının gerekli esneklik tasarımlarını belirleme mekanik dizaynın diğer konuları olmaktadır.

Boru hatlarında genelde kullanılan çelik hat boruları, dikişsiz çelik çekme, spiral kaynaklı çelik veya boyuna kaynaklı çelik borular olarak üretilmektedir. Bu boru çeşitleri, işletme basınç ve sıcaklık değerlerine göre seçilip ekonomik analiz de yapıldıktan sonra uygulamaya alınmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınç değerleri, kaynaklı borularda gerilmelerin dağılımları açısından sorun teşkil edebileceğinden, çelik çekme borular bu tip durumlarda daha çok tercih edilmektedir. Borularda önemli faktör akma dayanımıdır. Yüksek akma dayanımına sahip çelik özellik boruların kullanımıyla, gerekli boru et kalınlığı azaltılabilir ve böylece maliyetler düşürülebilmektedir. Tabi burada yine, yüksek kaliteli ve maliyetli çelik kullanımıyla elde edilecek avantajların, et kalınlığı aynı tutacak daha düşük kalitede çelik kullanımının avantajlarından daha çok olmalıdır. Boru hattında, boru kadar, valf ve fittinglerinde aynı malzemeden yapılmış olması, işletme şartlarına uygun dayanımda olması gerekmektedir.

Boru hatlarında izin verilen maksimum gerilme ve ASME B 31.4’de verilen denklem 3.4 ile hesaplanmaktadır. Ancak genelde bu değerler, referans kitaplarında belirli malzeme ve et kalınlıkları için verilmiştir.

$$\sigma_{AL} = D_f \times SMYS \times W_f \quad (3.4)$$

Burada kullanılan tasarım faktörü değeri genelde standartlara uygun boru hattı malzemeleri için, boru et kalınlığı ve toleranslar temel alınarak standartlarda

belirlenen değerlerdir. Genelde yeni borular için bu değer 0,72 olmaktadır ancak kullanılmış borular içinde değerler, standartların ilgili kısımlarından elde edilebilmektedir. SMYS, seçilen malzeme için müsade edilen maksimum akma sınırıdır. Malzeme akma sınırı altında elastik davranış gösterir ancak bu değer üstünde kalıcı yani plastik şekil değiştirme meydana gelmektedir. Standartlarda, hiç bir durumda, izin verilen maksimum gerilmenin akma sınırını geçmesine izin verilmemektedir. Kaynak faktörü ise malzeme özelliğine bağlı olarak kaynak kalitesini ifade edenterimdir ve genelde 1 olarak alınmaktadır ancak kaynak kalitesi veya malzeme kalitesi düşük ise daha da küçük alınabilmektedir. Sıcaklık değişimi, -30 ve 120 ⁰ C arasında dikkatte alınmadan hesaplar yapılabilir. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda termal gerilmeler de gerilme limitini etkilemektedir. Kayma gerilmesi de gerilme sınırının %45'ini geçmeyecek şekilde alınabilmektedir. Eğer standartlarda belirlenmiş özel yükler boru hattına etkiyor veya işletme sırasında oluşma riski taşıyorsa, bu durumlarda tasarımcılar kendi tecrübelerinden gelen tedbirleri almaktadırlar.

Boru apı taslak olarak hidrolik dizayn aşamasında belirlendikten sonra, mekanik dizayn aşamasında da hesaplanarak nihai halini almaktadır. Buradaki amaç malzeme seçimini i ve dış yükleri hesaba katarak kontrol etmek ve malzemenin piyasadaki şartlara uygunluğunu test etmektir. Boru hattı projelerinde en yüksek maliyet kalemi boru olduğundan, boru çapının toplam maliyete ve montaj maliyetine çok fazla etkisi olmaktadır. Bundan dolayı tekrar hidrolik dizayna kadar geri dönüşler yapılıp en iyi gerisini mler belirlenmeye çalışılmaktadır.

Boru et kalınlığı, hidrolik dizaynın yapılabilmesi açısından başlangıçta taslak olarak seçildikten sonra esas olarak, boruya etkiyen i işletme basıncına ve işletme sıcaklığında hatta etkiyen ek yüklere göre kesin olarak hesaplanmaktadır. İ işletme basıncı standartlarda, boru hattının herhangi bir noktasındaki statik basınç enerjisinden veya akışı sağlayacak işetme basıncından az olmayacak basınç şeklinde tanımlanmaktadır. Standartlar, tasarım işletme basıncının olabilecek hesaba katılmamış durumlar için %10 mertabesinde aşılmasına izin vermektedir. Esas olarak işletme basıncı, statik basınç, boru boyunca meydana gelen hat basınç kaybı ve geri basınç ihtiyacının toplam olarak verilebilmektedir. İşletme sıcaklığındaki, rüzgar, toprak yükleri, dış basınç gibi yükler, ek yükler olmaktadır. Boru et kalınlığı

hesabında bunlar direk olarak dikkate alınmaktadır. Et kalınlığı, ve AS ME B 31.4’de verilen 3.5 denklemiyle hesaplanmaktadır.

$$t_w = \frac{P_{il} D_o}{2\sigma_{AL}} \quad (3.5)$$

Et kalınlığı ayrıca pratik olarak montaj ve nakliye aşamalarında, borunun zarar görmeyeceği minimum değer olarak da alınabilmektedir. Ayrıca, hidrolik dizayn dikkate alınarak, boru hattının işletme basıncı yüksek olmaları bölgelelerinde et kalınlığı azaltılabilir ancak bunun sonucunda ısı genleşmeler yönünden sorunlar çıkabileceğinden, bunun belirli limitler çerçevesinde yapılması da dikkate alınmalıdır.

Boru hattı, çevresel faktörler veya iç faktörler dolayısıyla dinamik ve statik yüklere maruz kalabilmekte, bu da bazı bölgelerde stress birikmesine, momentlere, bükülmeye veya sehimlere yol açabilmektedir. Bu amaçla boru hattına bu yük ve gerilmeleri, belirli noktalardan uzaklaştırıp sistemin tamamına yaymak üzere esneklik sağlanmaktadır. Esneklik sağlama ihtiyacı, borunun ısı genleşme veya çekmelerinden, akışkan genleşmesinden, iç basınçtan, toprak ile olan etkileşimden, dış basınçtan, boru hattı ağırlığı veya kar rüzgar gibi sebeplerden oluşacak sehimlerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Gerilmelerin birikimleri, özellikle boru hattının hareketinin sınırlandırıldığı noktalarda ortaya çıkmaktadır. Boru hattındaki gerilmelerin soğurulması, yer altı ve yerüstü sistemlerde genelde farklı şekillerde tedbirler olarak çözümlenmektedir.

Borular yer altına, dış darbelerden korumak, dış sıcaklık değişimlerinden, boru hattının gerilmeleri açısından, akışkan viskozite açısından korumak, hat boyunca doğal yastıklama (radyal ve boyuna) sağlamak ve yer üstünde güzergahı takip edebilecek sorunların önüne geçmek amacıyla gömülme yapılmaktadır. Gömülü sistemlerde boru hattının genleşme veya çekmesi, toprak ile olan sürtünmeden ve toprak yükünden dolayı doğal olarak kısıtlanmaktadır. Bu da, hesaplarda özel hesaplama teknikleri kullanılması, ne kadarlık bir kısımda uzama olmayacağını belirlemesini gerektirmektedir. Özellikle boru hatlarının yer altından üstüne çıktığı noktalarda uzamalar meydana gelmektedir. Bu noktalarda yapıya zarar gelmesini önlemek için çukuş noktasına yakın, biriken gerilmeyi karşılayabilecek sabit noktalar kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıklı sistemlerde uzamalar, hat sabit noktalarla

belirli bölümlere ayrılarak, aradaki uzamalar körük şeklinde kompensatörlerle alınmaktadır.

Yer üstü kısımlarda, boru hattının dirsek gibi kısımları kullanılarak veya omega çemberleri yaparak, hatta esneklik kazandırılıp uzamalara sebep olan gerilmeler kontrol altına alınmaktadır. Boru sisteminin aksel ve enine hareketleri, taşıyıcı destekler vasıtasıyla kontrol altına alınıp, istenilen şekilde gerilmeler belirli noktalarda biriktirmeden absorbe edilmektedir.

Eğer boru hattının montaj yapıldığı andaki ortam sıcaklığı ve işletme sıcaklığı arasında fark varsa, boru malzemesi ısı gerilmelerine maruz kalmakta ve uzamalar meydana gelmektedir. Meydana gelen bu uzamalar bahsedildiği üzere, sistemin hareketleri kontrol altına alınarak soğutulmaktadır. Sıcaklık değişimi etkisi ile meydana gelen gerilmeler ve uzamalar, denklem 3.6 ve 3.7 ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma_T = E \times \alpha_e \times \Delta T_f \quad (3.6)$$

$$\varepsilon = L \times \alpha_e \times \Delta T_f \quad (3.7)$$

Akışkan iç basıncı, boru malzemesine radyal ve boyuna doğrultuda kuvvet uygulamakta ve gerilmeler meydana gelmektedir. Hoop gerilmeleri adı verilen gerilmeler radyal yönde denklem 3.8 ve aksel doğrultuda denklem 3.9 ile hesaplanmaktadır. Eğer bu gerilmeler, müsaade edilen gerilmelerin üstünde olursa, boru et kalınlığı arttırılmaktadır. Eğer Sıcaklık artışı dolayısıyla akışkan için genleşme sözkonusu olursa, buradaki gerilmeler iç basınca ek olarak hesaba katılmaktadır[12].

$$\sigma_1 = \frac{P_{il} D_o}{2t_w} \quad (3.8)$$

$$\sigma_2 = \frac{P_{il} D_o}{4t_w} \quad (3.9)$$

Isıl gerilmeler, iç basınç ve akışkan genleşmesinin oluşturduğu gerilmelerden kaynaklanan uzamalar, gömülü sistemlerde toprak ile boru yüzeyi arasında denklem 3.10 ile verilen sürtünme gerilmesine sebep olmaktadır. Bu da bazı durumlarda hareketi kısıtlayıcı yönde etki yapmaktadır[13].

$$\sigma_f = L \times d \times \rho \times \frac{\mu}{2t_w} \quad (3.10)$$

Bu gerilmeler haricinde, dış basınçlar ve yer üstü hatları için destek sevihmhesapları, standartlarda yer alan formlerle veya bilgisayar programları kullanılarak yapılmaktadır.

Gerilme analizleri yapıldıktan sonra mekanik tasarımın son aşamasında, vanaları yerleri kontrol edilmektedir. Genelde bir çıkış, bir de giriş noktasına koyulan vanalar ayrıca branşman noktalarına ve gerektiğinde ana hattan ayrılması gereken yerlere konulmaktadır. Mekanik dizaynda bunların yerlerinin belirlenmesinde, coğrafi şartlarca uygunluğuna ve erişilebilirliklerinin kolaylıklarına bakılmaktadır[9].

3.3 Su ve Fuel Olı Boru Hatları İçin Bazı Belirgin Tasarım Özellikleri

Her boru hattında taşınan akışkanın belirlediği bazı dizayn özel kriterleri, sınırlamaları ve boru sistemi özellikleri mevcuttur. Örneğin boru çapı belirlenme yöntemleri, kullanılan malzemeler, çevre koruma faktörleri, boru içi akış sınırlamaları gibi bazı kriterler ve boru hattının çıplak boru mu yoksa izolasyonlu mu olacağı gibi sistemseçimleri taşınan akışkana bağlı olarak değişebilmektedir.

Su boru hatları, suyu kaynaktan kullanım yerlerine ulaştırmak amacıyla inşa edilmektedir. İhtiyacı karşılayabilmek de hattını işletme ve kontrol özelliklerinin en önemli konusudur[14].

Boru hattı projesinde maliyetler açısından, daha önce de belirtildiği gibi, boru çapı seçimi, enerji sarfiyatları ve dizayn sınırlamaları için optimum çözümü elde etmek gerekmektedir. Bu optimizasyonda su taşınan boru hatları için, boru içi basınç düşümleri, erozyon, gürültü ve enerji giderleri açısından bazı sınırlamalar vardır. Tablo 3.1’de genelde çap hesabında kullanılan hız değerleri, tablo 3.2’de yıllık

çalışma saatlerine göre erozyon açısından önerilen akışkan hızları verilmiştir. Genel olarak uygulamalarda, hız değerinin 4,5 m/s'yi aşmayacak şekilde hesaplar yapılmaktadır[11].

Tablo 3.1 Kullanıma Göre Su Hızları

Kullanım Şekli	Hız [m/s]
Genel Amaçlı	1, 2-3
Şehir Suyu	1-2, 1

Tablo 3.2 Erozyona Göre Azami Su Hızları

Nor mal İşletme [saat/yıl]	Hız [m/s]
1500	4, 5
2000	4, 3
3000	4, 0
4000	3, 7
6000	3, 0

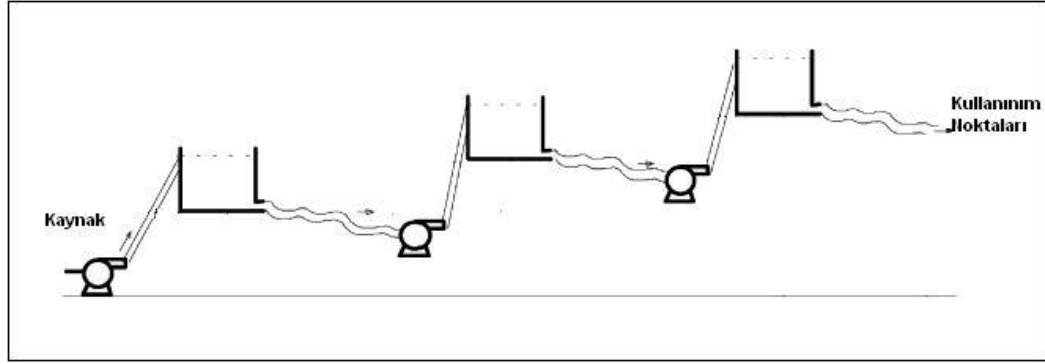
Boru çapı hesapları bu hız değerleri aşılmayacak şekilde, basınç düşümleri ve debiler hesaplanarak yapılmaktadır. Bunun için genelde el kitaplarında veya standartlarda verilen tablolar veya grafikler kullanılmaktadır. Bu tablo veya grafiklerde, belirli hız değerleri veya basınç düşümü sabit alınarak, istenilen özelliklere boyutlandırma yapılması mümkün olmaktadır. Hangi parametrenin sabit olacağı veya hangi boru malzemesine göre hesap yapılacağı konusu, tasarımcı tarafından belirlenmektedir.

Su boru hatlarında, kritik tasarım gerektiren konular, gürültü, erozyon, su darbesi ve sistemdeki havanın uzaklaştırılmasıdır. Gürültü ve erozyon genelde hız sınırlarıyla çözülebilmektedir. Sistemde havayla etkileşimde olan bölgelerden girebilen hava, çelik boru malzemesiyle reaksiyona girerek malzemeyi zayıflatmaya veya sistemde gürültü ve darbelere sebep olabilmektedir. Bu amaçla, boru hattının kotunun en yüksek olduğu noktalarda tedbir alınarak, burada toplanan hava alınmaktadır. Su darbesi genelde ani vana kapanmalarında veya enerji kesilmelerinde ortaya çıkan bir durumdur. Su, kapanan kısımın temas etmekte ve aldığı etkiye tepki vermektedir. Bu amaçla genelde su darbesine işletme esnasında dikkat edilmekte

veya tasarımı sırasında kontrol vanalarıyla tedbir alınmaktadır. Su derbesi etkisiyle meydana gelen basınç artışı denklem 3.11’de verilmektedir[11].

$$\Delta P = \rho \times c_s \times \frac{v}{g} \quad (3.11)$$

Su boru hatları, şekil 3.2’de de görülen, pasif olarak tanımlanan boru ve tanklardan, aktif olarak tanımlanan pompa ve vanaların bir sistem olarak tasarlanmasıyla meydana gelmektedir[14]. Eğer su boru hattı, donma problemiyle karşılaşılabilecek bir coğrafyadan geçiyorsa, burada hatta izolasyon gerekmektedir. Aksi takdirde çıplak borular kullanılmaktadır. Boru hattı malzemesi seçiminde ANSI veya ISO standartları kullanılabilir.

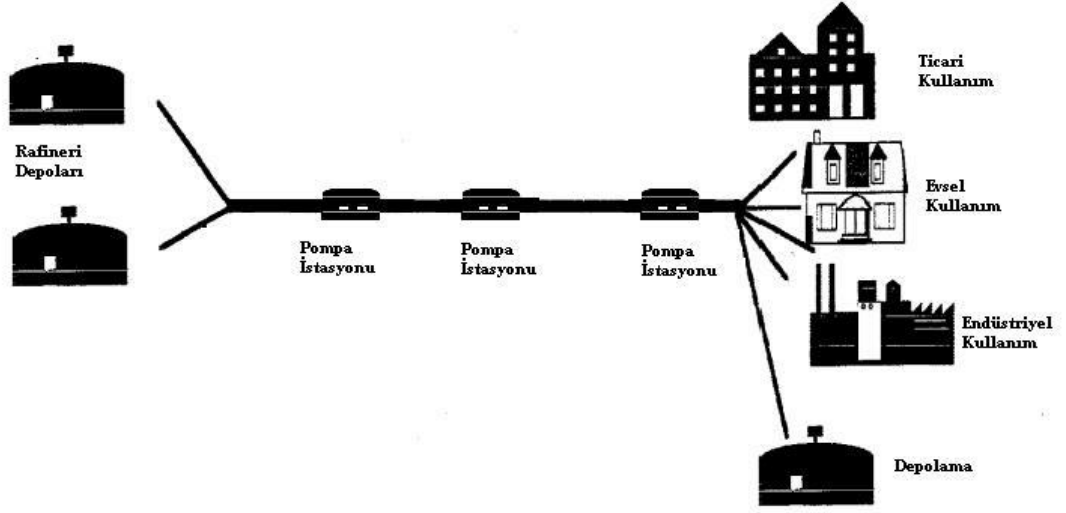


Şekil 3.2 Su Taşıyan Boru Hattı

Fuel oil boru hatları, rafinerilerde işlenmiş ham petrol ürünü olan fuel oil’i kullanım yerlerine ulaştırmak veya depolamak amacıyla, Şekil 3.3’de görülebileceği gibi, inşa edilmektedir. Genel olarak fuel oil boru hattı dizaynında akışkanın tasarımsal özellikleri sistem seçimine, hidrolik ve mekanik dizayna direkt olarak etki etmektedir.

Fuel oil boru hatlarında uzun mesafelerde iletilmesi için 35-85 bar arası yüksek işletme basınçları kullanılmaktadır. Basınç kayıplarından dolayı da belirli noktalarda pompa istasyonları konarak akış için gerekli basınçlandırma yapılmaktadır. Genelde ihtiyaç duyulan debileri sağlamak amacıyla yüksek çaplı borular kullanılır. Fuel oil hatlarında, akışkan hızları 1,2-2,1 m/s aralığında tutulmaktadır. Boru çapı hesapları, pompa giriş basınçları standartlarda tanımlı değerleri tutacak şekilde, yine standartlarda veya el kitaplarında verilen grafiklerden ve tablolardan bulunarak

hesaplanmaktadır. Basınç düşümlerine ve kotlara göre de pompa istasyonlarının yerleri belirlenmektedir.



Şekil 3.3 Fuel Oil Boru Hattı

Akışkan sıcaklık ve viskozitesi, fuel oil hatlarının sistem seçimlerinde önemli rol oynamaktadır. Tasarım aşamasına geçilmeden, taşınacak fuel oil cinsine ait fiziksel özellikler belirlenmekte ve basınç-sıcaklık ilişkileri ortaya konmaktadır. Akışkanın hangi sıcaklık değerlerinin altında viskozitesinin düştüğü ve hat işletmesine imkan tanıdığı belirlenmektedir. Buna göre basınç düşümü hesapları yapıldıktan sonra eğer coğrafi şartlar gerektiriyorsa yalnızca izolasyon veya izolasyona ek refakat sistemine karar verilmektedir. Refakat sistemi, akışkan taşıyıcı boruya monte edilmiş, içinden sürekli sıcak akışkan geçirilen veya elektrik direnci vasıtasıyla ısı sağlayan sistemlerdir. Bu şekilde fuel oil sıcaklığı sürekli kontrol edilebilmektedir. Özellikle duruşlar esnasında veya işletmeye ara verilen branşmanlar için, fiziksel özelliklerin kontrol edilebilmesi, boru hattının malzeme yapısı ve tekrar operasyona alınabilmesi açısından hayati önem taşımaktadır.

Genelde fuel oil hatlarının dizaynında ASME B34.1 ve hat boruları malzemesi için API veya ANSI standartları kullanılmaktadır. Ayrıca olabilecek kaçaqlar çevresel problemlere ve yangın tehlikesine yol açacağından çevre güvenlik ve yangın standartları da dikkate alınmaktadır.

Fuel oil boru hatlarında da, sisteme girebilecek hava mutlaka hattan alınmalıdır. Zira bu hava kesintilere ve boru malzemesinde zararlara yola açabilmektedir. Hat üstünde genel de düşük basınç düşümü karakteristiklerinden dolayı küresel vanalar tercih edilmektedir. Pompa istasyonları girişinde, pompa emiş boru çapları da kavitasyonu önlemek için standartlarda ve el kitaplarında verilen basınç düşüm değerlerine uygun seçilmektedir.

Diğer boru hatlarında da olduğu gibi, fuel oil boru hatlarında da montaj sonrası hidrostatik test uygulanmaktadır. Hidrostatik testte, azami işletme basıncının 1,5 katı değere kadar test yapılmakta ve kaynak yerleri kontrol edilmektedir. Bu testler, çevre koruma standartları gereği hattın %100 sızdırmaz olduğu emin olunması açısından son derece önemli olmaktadır.

4 BORU HATLARI NDA İŞLETME VE BAKI M

Sıvı akışkan taşıyan boru hatlarında işletme anında basınçlandırma ve ilerletme santrifüj pompalar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Pompalar hat üzerinde, dizayn, kapasite ve topoğrafik şartlara göre 30- 160 km aralıklarla yerleştirilmiş istasyonlara yerleştirilmektedir. Bu pompalar genelde dizel, elektrik motorları veya gaz türbinleri tarafından tahrik edilecek şekilde tasarlanmaktadır[15]. Genelde dizayn aşamasında işletme ve bakım şartları düşünülmektedir. Boru hatlarında işletme enasında genel olarak, koç darbeleri, duruşlar, korozyon kontrolü, sürekli ölçümler, kaçak izleme gibi konulara dikkat edilmektedir. Dizayn aşamasında tedbir alınan bu konular işletme açısından çok önemli olmaktadır. Bakım konusunda da boru hatları için erişebilirlik ve periyodik bakımlar önemli hususlardır.

Boru hatlarının dizayn aşamasından, işletme aşamalarına kadar önemli bir konu koç darbeleridir. Boru içinde akan akışkan hızı herhangi bir şekilde ani den ciddi oranda değiştirilir veya durdurulursa şok dalgaları meydana gelmektedir. Bu şok dalgaları akışkan içinde ses hızıyla hareket etmektedir.

Şok dalgalarının oluşmasına bir sebep, ana hat üzerindeki kesme vanalarının ani olarak kapatılmasıdır. Kapatılan vanadan dolayı oluşan şok dalgası pompa istasyonuna doğru geri dönüşe geçmektedir. Bu arada yükselen hat basıncından dolayı pompa stop etmekte ve pompa basma kontrol vanası kapanmaktadır. Bu vanaya gelen dalga daha da güçlenerek geriye dönmekte ve sürekli bu hareket tekrarlanmaktadır. Dalga ancak enerjisini sürtünmeden kaybeden kadar dalgalanma devam etmektedir. Burada meydana gelen basınç artışı denklem 3.11’de verilmiştir. Akışkan hareketi sırasındaki kinetik enerji, basınç enerjisine dönüşmekte ve basınç artışları sistemin herhangi bir zayıf noktasında kırılmalara yol açabilmektedir. Koç darbesinin oluşmasına diğer bir sebep de pompalarda meydana gelebilecek herhangi bir güç kesintisinden dolayı, pompa istasyonunun devre dışı kalmasıdır. Ani hız değişimi oluşmasından dolayı meydana gelen basınç dalgası, bir vana noktasından

veya dirsekte geri dönüp enerji artışı sağlarsa etkisi daha da artabilmektedir. Her bir sonraki pompa emme ve basma basınçlarını arttıran şok dalgası, domino etkisi ile kilometrelerce ve giderek büyüyerek yayılabilmektedir ve sonunda bulunduğu bir zayıf noktada hasara yol açabilmektedir.

Genelde bu tip durumlar için, reaksiyon hızı yüksek emme vanaları, tanklar, basınçlı gazı sahip membranlı kuleler kullanılmaktadır. Ayrıca otomatik kontrol sistemleri kurularak, eğer bir pompa istasyonundan doğru işletme sinyali gelmiyorsa, diğer pompa istasyonlarının herhangi bir şok dalgası oluşturmayacak şekilde basınçlarını ayarladıkları sistemler oluşturabilmektedir. Bu tip sistemler gerektiğinde, işletme esnasında da gerekli görülen bölgelere kurulmaktadır. Ayrıca dizayn aşamasında, pompalar kapanmadan kesme vanalarının kapanmasına müdahale eden otomatik kontrol sistemleri düşünülerek, hızları düşürülerek, acil durum pompalarıyla birlikte, pompa istasyonlarında birçok pompayı paralel bağlayarak su dalgaları içintedbirler alınabilmektedir.

Korozyon işletme açısından diğer önemli bir konudur. İç korozyon genelde akışkanın içinde bulunan kimyasallar dolayısıyla erozyon veya reaksiyonlar sonucunda meydana gelmektedir. Bunu önlemek için genelde işletme esnasında akışkana korozyon inhibitörleri katılmaktadır. Böyle korozif kimyasallar inaktif hale getirilmektedir. Diğer bir yöntem ise boruların içini epoksi kaplanmasıdır. Bu da genelde boru et kalınlığını ve malzemesini koruyucu yönde etki yapmaktadır. Dış korozyon boruların yer altı veya yer üstünde olsunlar işletme açısından en büyük problemlerinden biridir. Boru malzemesinde oluşan nem giderek boru çeperlerini inceltmekte ve delinmelere sebep olabilmektedir. Bundan dolayı dış kaplamalar yapılarak korozyona çareler bulunmaktadır. Çeşitli petrol türevleri veya polietilen kullanılarak yapılan dış kaplamalar, birleşim yerleri iyi kapatıldığı takdirde korozyon açısından ciddi korumalar sağlamaktadır. Yer altındaki borular için ayrıca elektro kimyasal bir yöntem olan katodik koruma ile önlenilmektedir ve boru katot haline getirilip toprakla olan etkileşimi azaltılmaktadır.

Boru hattından geçen akışkan miktarı çeşitli ölçüm metodları ve aletleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bazı ölçüm metodlarının bir kısmında akış daraltılarak hız azaltılmakta ve venturi etkisiyle basınç düşümünden debi hesaplanmaktadır. Ancak bu ölçüm şekliyle viskozite ve yoğunluk ölçümü yapılamamaktadır. Diğer bazı

yöntemlerde de, akış içinde belirli bir bölgede bir cismin yer değiştirmesini ölçerek veya çarklar konulup dönme sayıları ölçülerek de debi ölçümleri yapılabilir. Ancak bu konuda elektronik debi ölçerler kullanılabilir ve aynı zamanda basınç, sıcaklık değerleri de okunabilir.

Güvenlik açısından boru hatlarında herhangi bir kaçak olup olmadığı veya varsa nerede meydana geldiği işletme açısından hayati önem taşımaktadır. Eskiden kaçak kontrolünün, sisteme giren akışkan ile çıkan akışkanın karşılaştırılması veya pompa emiş basınçlarıyla çıkış basınçlarının karşılaştırılması yöntemleriyle yapılması olduğu bilinmektedir. Günümüzde kaçak kontrolü sistemin sürekli debi, sıcaklık, basınç gibi değerlerini takip edip monitörleyen bilgisayar donanımlı kontrol sistemleri tarafından yapılabilir. Bu değerlerdeki değişimler dolayısıyla bir kaçak olup olmadığı bu sistemler tarafından anlaşılabilir. Ayrıca kaçaklar, borularla sürekli devam eden, kimyasal ve elektriksel değişimlere tepki verebilen kablolar sayesinde de izlenebilir. Kaçak olduğu anlaşıldıktan sonra, yeri tespit edilebilir. Bunun için genel olarak basınç ve akış miktarı değişimlerinden yararlanılır. Bu değişimlerin yarattığı ses dalgaları sensörler tarafından algılanmakta ve büyüklükleri ölçülüp, olası oluşum yerleri yani kaçak noktaları tespit edilebilir.

Boru hattı sistemlerinde genelde hat içinde bırakılan ve hat boyunca ilerleyip, sıcaklık, basınç, yoğunluk, boru et kalınlığı gibi verileri toplayan küçük, içinde çipler barındıran aletlerden de yararlanılmaktadır. Bu sayede elde edilen veriler merkezde toplanıp, günlük işleyiş sürekli kontrol edilebilir.

Bütün bu işletme açısından önemli konu ve bilgiler artık SCADA sistemleriyle tek bir merkezde toplanıp canlı olarak takip edilebilmektedir. Uzun mesafeler boyunca devam eden boru hatlarında dahi, iletişim kabloları veya sinyal teknolojileri kullanılarak, hattın belirli yerlerine konulmuş ölçü aletlerinden alınan bilgiler, kaçak bilgileri ve diğer tüm bilgiler belirlenmiş kontrol merkezlerinde toplanmakta ve boru hattının işletilmesi bu merkezlerden yapılmaktadır.

Bakım boru hatlarında genelde çıkan arızalar dışında da periyodik olarak gerçekleştirilmektedir. Bakımın kolaylaşması amacıyla gerekli tedbirler dizayn aşamasında alınmaktadır. İdeal boru hattı, bir demiryolu veya devam eden yol

boyunca uzanan hat olarak tanımlanmaktadır[10]. Ancak gerçekte çok zaman boru hatları nehirler ve dağları geçmekte ve ulaşımın buralarda dahi sorunsuz sağlanmaya çalışılmaktadır.

Bakım için pompa istasyonlarına giden yollar daima açık tutulmaya çalışılmaktadır. Ayrıca sürekli hattı doluşan bakım devri yeleri, onarıma ihtiyaç duyulan yerleri kontrol etmektedir. Onarıma ihtiyaç duyan bölge var ise, burdaki akış, kesme vanalarıyla dururulmakta ve hatta gerekli bakım uygulanmaktadır.

Boru hattı izolasyonlu bir hat ise ve klasik izolasyon kullanılmışsa, izolasyonlar ve üzerindeki kaplamalar sürekli kontrol edilmektedir. Boyaya ihtiyaç duyabilecek kısımlar boyanmakta ve dış korozyona karşı tedbirler alınmaya çalışılmaktadır. Ayrıca vanaların kontrolü, yağlanması ve yılda en az bir kere açılıp kapanması da periyodik bakımın içinde gerçekleştirilmektedir.

5. BORU HATLARI NDA KULLANILAN BORU SİSTEMLERİ

Boru hatlarında taşıyıcı boru seçimi genelde taşıyıcı akışkanın cinsine ve işletme parametrelerine göre yapılırken, coğrafi şartlara, iklim koşullarına, akışkanın fiziksel özelliklerine bakılarak boru sistemi seçimi yapılmaktadır. Dizayn aşamasında yapılan bu seçim iklim şartlarının coğrafyaya bağlı olarak getirebileceği ısı kaybı ve kazancı, dış etkenler gibi akışa problemler yaratabilecek durumlar için tedbir alınması içindir. Boru sistemi olarak genelde, dış kaplamalı çıplak boru sistemleri, klasik izolasyon sistemleri ve yeni teknoloji ön izolasyonlu boru sistemleri kullanılmaktadır.

5.1 Çıplak Boru Sistemleri

Taşıyan akışkanın fiziksel şartlarının bulunduğu coğrafya ve iklim şartları açısından boru hattı işletimi, yani akış için herhangi bir duruş veya enerji kaybı tehlikesi oluşturmayacağı düşünülen sistemler genelde çelik boru ve üzerine çeşitli kaplamalar yapılarak monte edilip oluşturulurlar. Çıplak boru sistemlerinde en önemli konular, dış korozyon, dış kaplama malzemesi ve birleştirilmesi, dış etkenlere karşı dayanıklılık ve akışkanı koruyabilme gibi konulardır.

Çıplak olarak adlandırılan boru sistemleri, genelde akışın iklim şartlarından, toprak üstü veya gömülü sistem olmasa dahi, etkilenmeyeceği durumlarda tercih edilmektedir. Aksi takdirde, iklim şartları boru içinde taşıyan ürünler için, kış dönemlerinde donma ve yaz dönemlerinde güneş ışınımı veya toprak sıcaklığı etkisi ile sıcaklık, basınç artışı gibi işletmede karşılaşılabilecek durumlar meydana getirebilmektedir. Bu tip durumlara karşı çıplak boru sistemleri genelde akışkan için hiçbir koruma sağlamamaktadır. Herhangi bir izolasyon veya refakat sistemi olmadığından ısı kaybı veya kazancı ciddi boyutlarda olabilir ve operasyon açısından tehlikeler oluşabilmektedir. Ayrıca eğer taşıyan akışkanın ısı enerji herhangi bir prosesle kullanılacaksa, bu bakımdan da bir enerji kaybı meydana gelebilir.

Bu boru sistemlerinde genel de elik boru üstüne, toprak altına gömülen kısımlarda direk olarak toprağa gmlebilmeyi sağlayan ve korozyona karşı da koruma oluşturan dış kaplamalar kullanılmaktadır. Yer st kısımlarda, kaplamalı borular kullanılmaya devam edilebileceği gibi, antipas boya ve galvaniz saç giydirme yöntemleri de kullanılabilir nktedir. Genel olarak dış kaplama malzemesi olarak PVC ve HDPE kullanılmaktadır. Daha birçok dış kaplama malzemesi mevcuttur ancak ekonomikliği ve dayanıklılıkları dolayısıyla genel de bu iki malzeme ve hatta çoğunlukla toprak altındaki uzun ömrü ve koruma özellikleri dolayısıyla HDPE tercih edil nktedir. Toprak altına gömülen kısımlarda eğer dış kaplama, yani ceket birleşim yerleri sızdırmaz şekilde yapılabiliriyorsa genel de katodik koruma ihtiyacı ol nmaktadır. Ancak yine de katodik koruma uygulanabilir nktedir. Yer st kısımlarda da yağan yağmur veya kar etkisi ile boru dış çeperinde biriken nem eğer koruma yoksa korozyona neden ol nmakta ve zamanla delinmelere yol açabilmektedir.

Toprağa gömülü veya yer üstü kısımlarda uygulanan dış kaplamanın en önemli noktası birleştirme yerleridir. Eğer katodik koruma yapılmamışsa veya antipas gibi herhangi bir koruma yoksa, dış kaplamadaki kesintiler veya birleşim yerindeki aşınmalar zamanla korozyona sebep ol nmaktadır. Bu nedenle genel olarak birleşim yerlerinde, ceket malzemesinde manşonlar kullanılmakta ve sızdırmazlık sağlanmaya çalışılmaktadır.

Bu sistemlerde bahsedildiği üzere dış çevreden gelebilecek sıcaklık değişimleri, ısı kazanç veya kayıplarına karşı herhangi bir koruma sağlanmaktadır. Bu yüzden bu tip değişimlerin olmayacağı coğrafiyalarda veya akışkanın bu tip değişimlerden kolay kolay etkilenmeyeceği sistemlerde tercih edil nmektedirler. Ayrıca dıştan gelebilecek fiziksel darbeler veya etkiler de çıplak borulu sistemlerde hasara yol açabilmektedir.

Boru ve ceket malzemesi arasındaki yapışma ve çekim özellikleri ısı değişimleri etkisi ile oluşabilecek gerilmelerin yol açtığı uza ma veya çekmeler açısından çok önemlidir. Eğer aradaki yapışkanlık iyi ise boru ve kaplama beraber hareket et nmektedir. Bu da gömülü kısımlarda toprakla olan sürtünmede dolaylı bir kısımla uza mayı sınırlanmaktadır. Isıl gerilmeler için esneklik tasarımışkilleri daha önce bölüm 3.2’de bahsedilen dışayn şkilleri ile aynıdır.

5.2 Klasi k İzolasyonlu Boru Sistemleri

Boru hatlarında taşıyan akışkanın, hattın geçtiği iklim ve coğrafyaya bağlı olarak dış sıcaklık değişimlerinden, ısı kayıplarından veya kazançlarından dolayı fiziksel ve termodinamik özelliklerindeki değişimler, işletme açısından çeşitli şekillerde aksama ve problemlere yol açıyorsa, bu durumda hatta izolasyonlu sistemlerden klasik izolasyon uygulaması yapılabilir. Dizayn aşamasında belirlenen izolasyon tipi, malzemesi ve ceket kaplaması için operasyon sıcaklığına göre belirlenebilir.

Klasik izolasyonlu sistemlerde, uygulanacak izolasyon ve ceket tipini, işletme sıcaklıkları, çevresel sıcaklık ve ısı şartları, fiziksel çevre ve varsa özel durumlar belirlenmektedir [16]. Genel olarak işletme sıcaklık aralığı, yer üstü ve yer altı sıcaklık koşulları ile birlikte alınarak izolasyon malzemesi tipine ve kalınlığına karar verilmektedir. Ayrıca hattın geçtiği bölgelerde çevreden ısı kazancı olup olmadığı, bunların işletme açısından problemler oluşturup oluşturmadığı da dikkate alınmaktadır. Bu bilgiler ışığında izolasyon kalınlığı seçimi, maliyet ve enerji giderleri optimizasyonu ile belirlenmektedir. Tabii ki bu optimizasyonda ek kriterler, çevre şartlarından ve fiziksel etkilerden korunma gibi konular da olabilir.

Boru hatlarında klasik izolasyonlu sistemlerde, genelde donma veya aşırı ısı kazancı dolayısıyla yapılan izolasyon için, cam yünü, taş yünü, polistiren köpük gibi izolasyon malzemeleri kullanılmaktadır. Bu malzeme seçimiindeki önemli bir husus izolasyon malzemesinin içeriğinin hiçbir şekilde metal taşıyıcı boru ile etkileşime girmemesidir [17]. İzolasyon malzemeleri ayrıca ısıl iletkenlik katsayıları, işletme sıcaklığındaki ömür ve performansları da seçimi için göz önünde bulundurulmuş önemli kriterlerdir.

Ceket malzemesi olarak da genelde alüminyum veya galvaniz sac tercih edilmektedir. Zira bunların uygulanması kolaydır ve bakım ve onarımı için kolay erişilebilirlik sağlamaktadırlar.

Klasik izolasyonlu sistemler metal taşıyıcı boru üzerine antipas boya, onun üzerine boru tipi izolasyon malzemesi uygulaması ve en dışta ceket kaplamasından oluşmaktadır. Bu uygulama sırasındaki önemli husus ceketin izolasyon

malzemesini nem girişinden koruyabilmesidir[18]. Taşıyıcı boru izolasyon ve ceket arasında münkün olduğu kadar boşluk kalmasına dikkat edilmektedir. Zira kalan boşluk mutlaka hava tarafından doldurulmakta ve soğuk havalarda buradaki nem yoğunlaşarak izolasyon malzemesine ve çelik boruya zarar verebilmektedir.

Dış korozyona karşı tam koruma sağmayan bu sistem direk olarak toprağa gömülemediğinden, beton kanal içinde toprak altı uygulaması yapılmaktadır. Beton kanal galeri şeklinde yapılmakta ve gerektiğinde bakım ve onarım imkanı sağlanmaktadır. Yer üstüne konstrüksiyonu çıplak borulu sistem gibi yapılabilir. Boru destekler ve sabit noktalar gerekli yerlerde izolasyon kesilip metal boruya bağlanmaktadır. Bu da ısı köpüsü oluşumuna imkan sağlamaktadır.

Klasik izolasyonlu sistemlerde genelde karşılaşılan problem ceket malzemesi sızdırma olmağı içeriye giren nemdir. Hem izolasyon malzemesi için, hem de çelik boru için bu durum yapısal zararlara yol açmaktadır. Örnek olarak poliüretan izolasyon malzemesi, nem aldığı zaman ısı iletkenlik katsayısı 14-19 kat artmaktadır[19]. İzolasyonların gördüğü bu zarar hem sıvı kayıp veya kazançlarına yol açmakta, bu da işletme açısından problem oluşturabilmektedir. Ayrıca izolasyon malzemesi bakım ve onarım masrafları da ciddi ekonomik olarak işletme problemi haline gelebilir. Aynı şekilde, içeriye penetre eden nem çelik boru dış korozyonuna sebep olmakta ve zamanla boruların dıştan delinme olayı gerçekleşebilir.

Klasik izolasyonlu sistemlerde ihtiyaç duyulduğu takdirde refakat sistemleri de kullanılabilir. Genelde bakır borular içinden geçirilen kapalı devre sıcak akışkan sistemleri sayesinde hattın sürekli ısıtması gerçekleştirilmektedir. Buradaki önemli husus, refakat borusunun her noktada taşıyıcı boruya temasının sağlanabilmesidir.

Termal uzamalar karşısında klasik izolasyonlu sistemlerde, akışkan taşıyan boru izolasyon içerisinde hareket etmekte ve uzamalar veya kısalmalar için bölüm 3.2’de anlatılan dişayn tedbirleriyle çözüm uygulanmaktadır.

Klasik izolasyonlu sistemler dıştan gelebilecek yüklere karşı pek fazla dayanıklı sistemler değildirler. Yer üstü sistemlerde, herhangi bir sebeple oluşabilecek

darbeler veya kar yükleri ceket ve izolasyonları ezebilme, bu noktada kaybolan ısı koruma dolayısıyla bakım onarımlı ihtiyacı doğabil mektedir.

5.3 Ön-İzolasyonlu Sistemler

Ön izolasyonlu sistemler, izolasyon gerektiren boru hattı projelerinde, yüksek izolasyon kalitesi, mukavemet, ısı performans ve esneklik sağlayan, izolasyonu ve ceket kaplaması fabrikasyon olarak yapıp sahada tek işleme birleştirilen boru ve fittingslerden oluşan sistemlerdir. Bu sistemlerin en büyük avantajı, izolasyon ve ceket kaplamasının fabrika ortamında yapıp birleşimyeri kitleri, jointler vasıtasıyla sahada tamamen sızdırmaz bir sistem haline getirilmiş olarak, uzun ömürleri boyunca bakım maliyeti meydana getirmeyen ve özellikleri koruyarak hizmet sağlamalarıdır. Özellikle dış etkilere korunması ve ısı değişimlerinden etkilenmenin azaltması gereken boru hatlarında bu sistem güvenle kullanılabilir mektedir. Bu sistemin verimli çalışma aralığı -200°C 315°C dir.

Ön izolasyonlu borular için EN253, fittingsler için EN448, vanalar için EN488 ve jointler için EN489 standartları kullanılmaktadır. Taşıyıcı boru, izolasyon ve ceket özellikleri bu standartlarda tanımlanmakta ve hangi sıcaklık aralıklarında hangi ömürlere sahip oldukları verilmektedir. İzolasyon malzemesi poliüretan, çekirdek yoğunluğu 60 kg/m^3 için -20°C da 0.022 W/mK ve $+50^{\circ}\text{C}$ da 0.027 W/mK ısı iletkenlik katsayılarına sahiptir. Homojen poliüretan (PUR) köpük -200°C den $+140^{\circ}\text{C}$ ye kadar bütün sıcaklık aralıklarında 30 yıl süre ile emniyetle kullanıma dayanıklıdır[20].

Bu boru sisteminde borular ve fittingsler ön izolasyonludur. Özellikle yer altı bölümlerde kesinlikle izoleli dirsek ve t-fittingsler kullanılırken, yer üstünde ürüne bağlı olarak dönüşlerde esneklik sağlama açısından açığa bağlı olmaksızın joint denilen izolasyon kitleriyle izolasyon ve ceket kaplaması yapılabilir mektedir. Ceket rengi dış kullanımda ultraviyole ışınlarını geçirmeyen siyah ve gri renkte olabilir mekte ve hatta özel tekniklerle boyanabilir mektedir.

Ön izolasyonlu borular, içte akışkan taşıyıcı çelik veya iste bağlı olarak değiştirebilen taşıyıcı borular, onun üstünde -200°C $+140^{\circ}\text{C}$ arası sadece poliüretan ve $+140^{\circ}\text{C}$ 315°C arası taş yünü ve poliüretan izolasyon, en en dışta HDPE ceket

kaplamadan oluşan sandviç dizayna sahiptir. Şekil 5.1’de görülen ön izolasyonlu boru ve fittingsleri toprak altında ve üstünde oluşan gerilmeler karşı gösterdikleri tepkiler izolasyon çeşidine göre farklılıklar göstermektedir.



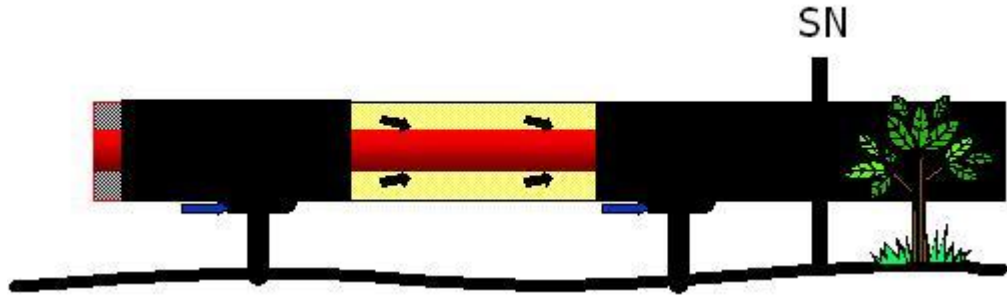
Şekil 5.1 Ön İzolasyonlu Borular [21]

Bu sistemlerdeki ısı kaybı, klasik izolasyonlu sistemlere göre yaklaşık ortalama %40 daha az olmaktadır. Ayrıca izolasyon PUR köpük taşıyıcı boruya ve ceket mekanik olarak baskı yaptığından dolayı arada hava boşlukları kalmamakta, izolasyonun dışarıdan nem alması önlenmektedir. Borular ve fittingsler dış darbelerle karşı dayanıklıdır. Ceket ve PUR köpük, dış darbeler, toprak yükü gibi çeşitli yüklere karşı dayanıklıdır. Bu sistemlerde yer üstü kısımlarda taşıyıcı mesnetler HDPE ceket üzerine monte edilmekte ve çelik boruyla herhangi bir temas olmadığından herhangi bir ısı köprüsü oluşmamaktadır. İzolasyon fabrikada yapıldığından montaj süresi çok kısa olmakta ve işletme, bakım masrafları da son derece az olmaktadır.

Ön izolasyonlu borular direk olarak toprak altına gömülebilmektedir. Aynı boru ve fittingsler yer üstünde devamederek boru hattının tamamını oluşturmaktadır. Toprak altında ve üstünde ısı gerilme ve uzamalar karşı gösterdikleri tepkiler farklı olmakta ayrıca sıcaklık aralığına göre de değişmektedir.

Sadece poliüretan izolasyon sistemler bağlı sistemler olarak bilinmektedir. Bu sistemler +140⁰ C ‘ye kadar kullanılan boru ve fittingslerden oluşmaktadır. Bunlar toprak altına soğuk montaj, ön gerilme montaj, özel ön gerilme montaj ve genişleme elemanlı montaj olarak bilinen tekniklerle gömülebilmektedir [22]. Soğuk montaj yönteminde, boru ve fittingsler hiçbir genişleme elemanı konmadan monte edilmekte ve kanal kapanmaktadır. Bağlı sistem olduğundan boru hattının belirli bir

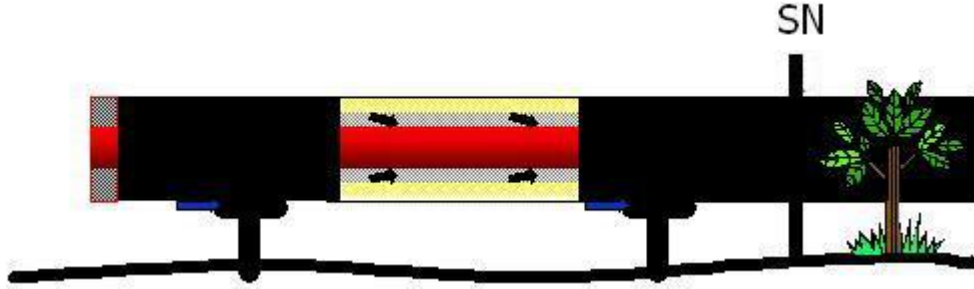
uzunlukta ki kısım, toprakla olan sürtünmeden dolayı sabit kalmakta, uzun hattın dirsek dönüşlerine belirli mesafelerde uzamalar meydana gelmektedir. Uzun bölüme nazaran çok az olan bu bölümlerin uzamaları, dirsek bölgelerinde önceden hesaplanan uzamalara göre konulan poliüretan köpüklerle absorbe edilmektedir. Bu teknik ortam ve akışkan sıcaklık farkı 130°C ye kadar olan sistemlerde kullanılabilir. Ön gerilmeli sistemde borular yine genişleme elemanları olmadan birleştirilmekte ve üstleri toprakla örtülmektedir. Yer üstü kısımlara bağlanmadan önce ön ısıtma uygulanarak serbest uçta belirli bir uzama sağlanmakta ve bu işlem tekrar edilerek serbest uçlar birleştirilmektedir. Dolayısıyla operasyon esnasındaki uzamalar ve ısıl gerilmeler azaltılmış olmaktadır. Diğer yöntemde ise bir seferlik genişleme elemanı kompensatörler kullanılmakta ve ilk operasyon sonrası bu elemanlar alınarak hattın çalışması sağlanmaktadır. En son yöntemde omega çemberleri veya kompensatörler kullanılarak hatlardaki uzamalar alınmaktadır. Yer üstündeki gerilmeler içi tedbirler aynen bölüm 3.2’de anlatılan metotlarla aynıdır. Ancak şekil 5.2’de görüldüğü gibi, taşıyıcı mesnet yüzeyi ile ceket arasındaki sürtünme dolayısıyla uzamalar, çıplak boru sistemlerine göre daha az olmaktadır.



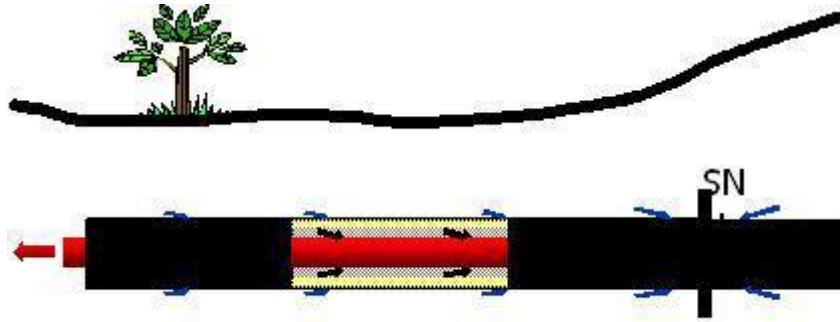
Şekil 5.2 Ön İzolasyonlu Sadece PUR İzolasyonlu Yer Üstü Sistem [21]

Daha yüksek sıcaklıklar için kullanılan taşıyıcı artı poliüretan izolasyonlu sistemlerde, boru ve fittingslerin içinde dış yüklere karşı dayanım sağlayan ve taşıyıcının PUR basıncıyla ezilmesini önleyen paslanmaz çelik merkezleme elemanları bulunmaktadır. Bu merkezleme elemanları çelik boru ile ceket arasında bulunmaktadır. Bu sistemlerin toprak altında ve üstünde ısıl genişlemeler etkisi ile uzamaları farklı olmaktadır. Yer üstünde boru ve fittingsler kaya yünü ile boru arasındaki sürtünmeler dolayısıyla şekil 5.3’te görüldüğü üzere beraber hareket etmektedir. Uzamalar omegalarla ve dirsek bölgelerinde alınan kayar mesnetli

önlemlerle alınabilmektedir. Yer altında ise ceket, toprak ile olan sürtünmeden dolayı sabit kalmakta ve taşıyıcı boru şekil 5.4 'de de görüldüğü üzere taş yünü sürtünmesi nedeniyle içeri de rahatça uzayabilmektedir. Bu nedenle toprak altında iki sabit nokta arasında kompansatörler kullanılarak uzamalar kontrol altına alınmaktadır.



Şekil 5.3 Ön İzolasyonlu PUR ve Taş Yünü İzolasyonlu Yer Üstü Sistemi [21]



Şekil 5.4 Ön İzolasyonlu PUR ve Taş Yünü İzolasyonlu Yer Altı Sistemi [21]

Bu şekilde oluşturulan boru hatlarında yer altı ve yer üstü sistemler rahatlıkla beraber kullanılabilir.

Ayrıca istenildiği takdirde izolasyon içine boru veya elektrik kabloları entegre edilerek refakat sistemi de elde edilmektedir. Burada izolasyon sıkı olduğu için refakat sisteminin taşıyıcı boruyla her noktada temas ettiği kesin olmaktadır.

Bu sistemlerde izolasyon içinden giden ve sonlanma noktalarında merkezi detektörlere bağlanan çıplak bakır tellerle oluşturulan kaçak izleme sistemleri mevcuttur. Bakır kablolar boru ve fittingsler içinde iki yanda devam etmekte ve

sonlanma noktalarında birbirlerine ve şebekeye bağlanarak düşük voltajlı elektrik devresi elde edilmektedir. Sistemi içinde herhangi bir noktada sıvı çıkış veya girişi olduğu takdirde tellerdeki elektrik direnci değişmekte ve bu değişim detektörlerce algılanmaktadır. Ayrıca izolasyon içine dalga gönderen aletler yardımıyla kaçak noktaları bulunabilmektedir.

Ön izolasyonlu sistemlerde, uzun ömür ve düşük bakım maliyetleri için en hayati nokta, kaynak yerlerinin izolasyonunda kullanılan ve joint denilen prefabrik izolasyon kitleridir. Bu kitler toprak altında sadece düz bağlantılarda ve toprak üstünde dirsek, t-fitting bağlantılarında kullanılabilir. Taşıyıcı borular birleştirildikten sonra, boru tipi izolasyon malzemesi birleşim yerine yerleştirilip ve kaçak izleme kabloları bağlantısı yapılmaktadır. Daha sonra çapraz bağlı polietilen malzeme, ısıtıldığında büzüşen filmtabakası izolasyon üzerine sarılmakta ve ısıtılarak çektilmektedir. Böylece ilk sızdırmazlık tabakası monte edilmiş olmaktadır. En son olarak da şekil 5.5’de görüldüğü gibi, kaynak işleminden önce borulara geçirilmiş yine çapraz bağlı polietilen kayar manşon bölgeye yerleştirilmekte ve ısıtılarak çektilmektedir. Çekilme tamamlandıktan sonra %100 sızdırmazlık sağlanmış olmakta ve korozyon, nem tehlikesi ortadan kalkmaktadır.



Şekil 5.5 Joint Montajı[21]

Özellikle donma problemi, ısı kaybına veya kazancına bağlı işletme sorunları yaşanan boru hatlarında bu sistem uzun yıllar özelliklerini koruyan yapıyla sorunsuzca kullanılabilir.

6. GÜNEŞ IŞINI M YLA MEYDANA GELEN BASI NÇ ARTI ŞI NIN İNCELENMESİ

6.1 Proble m in Tanıtılması

Boru hatları nın di zayn ında, önceki böl ü nlerde de belirtil di ğ i gi bi hatta dış çevreden gelebilecek yükler, ısı kazançları ve ısı kayıpları, iç ve dış basınç faktörleri hesaba katıl nakt a, mal ze me ve boru siste ni seçi ni buna göre yapı l nakt adır. Yer üst ü ve yer altı kısı m lardan oluşan bir boru hatt ında, nor mal iş let me şartları nda yer üst ü kısı m lardaki ısı kayıpları veya güneş et kisi yle meydana gelebilecek ısı kazançları hatt ını iş leyi ş i ve mal ze me yapı sı için bir sorun teşkil et me k t e d i r. Ancak herhangi bir duruş veya bakı man ında i ki vana arasında statik kalan akış kanı için güneş ış ı nı m ile meydana gelen ısı kazancı sıcaklık ve basınç artışı na sebep olabil mekte ve bu durum boru yapı sı na, siste m ba ğ l antı yerleri ne zarar verecek hale gelebil mekte d i r [2]. Bu çalış ma da, su ve fuel oil akış kanlarını taşıyan üç farklı boru siste ni ni n bu tip bir ısı kazancı durumundaki tepkileri ve karşı laşt ırıl ması yapı l nakt a, boru hatt ı iç i n tehlike oluş up oluş ma dı ğ ı ortaya kon nakt adır.

Güneş ış ı nı m na maruz kalan boru hatları nın yer üst ü kısı m ları yüzey sıcaklıkları artış göster mekte d i r. Boru yüzeyi ış ı nı myut na değeri ne ba ğ l ı olark meydan gelen ısı kazancı et kisi yle, akış kan sıcaklı ğ ı ve basıncı da art nakt adır. Bu artış yer üst ü kısı m larından yer altı kısı m lara da ilet il mekte ve akış ın durdu ğ u boru kısı m ın n ta na m ında bir et ki yarat makt adır. Yer üst ü kısı m lar da ısı et kile ş i ni havayla, yer altı kısı m lar da toprak la ol nakt adır.

İş let me basınçları boru mal ze mesini n et kalınlı ğ ı nın hesab ında ana parametre olarak kullanıl nakt adır. Genel olarak e ğ er siste mi iç erisinde basınç artışı yıllık toplam iş let me süresi nin %10' unu geç meyecek şekilde %10' dan az artış gösteriyorsa di zayn iş let me basıncı değ iş tiril mekte ancak yıllık operasyon süresi %10' dan fazla süreyle %10' dan fazla artış gösteriyorsa iş let me basıncı ve mal ze me buna göre

ayarlanmaktadır. Ancak duruş anlarında olabilecek sıcaklık ve basınç artışı %10 seviyelerinin üzerinde olabilir.

Yer üstü ve gömülü kısımların boru hattı içinde uzunluk olarak oranları, güneş radyasyonu ile meydana gelen etkilenebilirliği değiştirir. Zira yer üstü kısımların daha uzun olması, güneşe maruz kalan kısımların artırılmasına ve ısı geçişi daha fazla olmaktadır. Genelde boru hatlarına gömülü kısımlar, yer üstü kısımlara göre daha fazla yer tutmaktadır.

Yıl içi toplam güneş ışınımı değerleri düşük olan bölgelerde genel olarak yer üstü hatların maruz kaldığı güneş ışınımından dolayı herhangi bir problem oluşmaktadır. Ancak özellikle yaz mevsiminde yüksek toplamışınımı değerlerine sahip enlemlerde bu ısı kazancı boru hatlarının yüzey sıcaklıklarını arttırmakta ve bu artış dolayısıyla akışkan sıcaklık ve basıncı da artış göstermektedir. Çalışmada özellikle yazın yüksek güneş ışınımına sahip, kışın ise sert soğuklarla karşılaşılabilen Asya 38° enlemleri koşulları üzerinde durulmuştur.

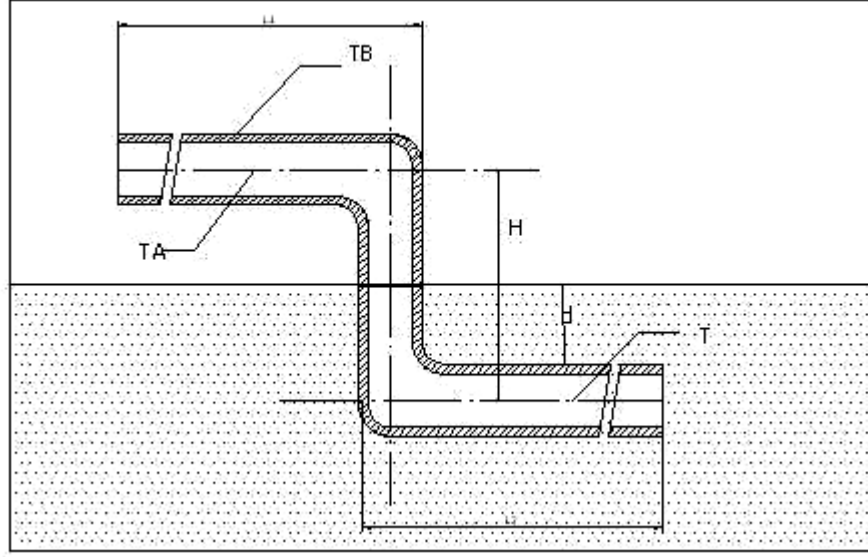
İncelemesi yapılan akışkan su, boru hatlarıyla genelde kaynak yerlerinden şehirlere veya depolar getirilmektedir. Hattın geçtiği coğrafyada toprak ve hava sıcaklıkları ılıman ise genelde sistem çıplak borulu olarak seçilmektedir. Ancak boru hattı kışın donma problemi yaratan dağlık bölgelerden veya soğuk iklimlerden geçiyorsa veya toprak sıcaklıkları kış mevsiminde ciddi olarak düşüyorsa izolasyonlu sistemler tercih edilmektedir.

Fuel oil, viskozitesi sıcaklık aralığı akışa çok fazla etki olduğundan ve genelde duruş olduğunda donma tehlikesi olduğundan izolasyonlu sistemlerle taşınmaktadır. Hatta bazı iklim şartlarına göre refakat sistemleri de boru hatlarında izolasyon içinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, taşınan fuel oil özellikleri bakımından fuel oil no: 6 olarak alınmaktadır.

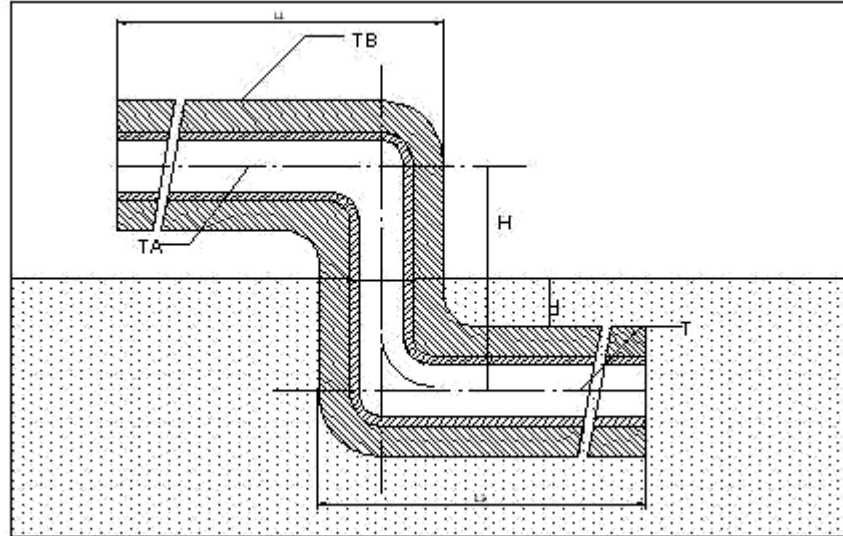
6.2 Matematiksel Modelleme ve Bilgisayar Program Kodları

Modellenecek sistem Şekil 6.1 ve 6.2’de görüldüğü gibi yer altı ve yer üstü kısımları kapsayan ve sırasıyla boru yüzey, akışkan ve toprak altı bölümünde toprak ve akışkan denge sıcaklıkları olan T_B , T_A ve T' nin termaal olarak dengede olduğu bir sistem

olarak ele alınmaktadır. Ayrıca borunun tamamen sıvı ile dolu olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 6.1 Modellenen Boru Hattı Bölümü (Çelik Sistem)



Şekil 6.2 Modellenen Boru Hattı Bölümü (İzolasyonlu Sistem)

Problemin matematiksel olarak modellenmesine, boru ve akışkanda ısı artışı dolayısıyla meydana gelen genişmeler ortaya konarak başlanmıştır. Burada boru ve

akışkan için hacimsel ısıl değişim miktarı sırasıyla denklem 6.1 ve denklem 6.2’de verilmiştir[2].

$$\Delta V_{IA} = \beta(V_1 \Delta T_A + V_2 \Delta T) \quad (6.1)$$

$$\Delta V_{IB} = 3\alpha_e(V_1 \Delta T_B + V_2 \Delta T) \quad (6.2)$$

Isıl genleşmeler dolayısıyla meydana gelen hacim değişimleri, ayrıca artan akışkan basıncı dolayısıyla da hem boru hem akışkan için meydana gelmektedir. Denklem 3.8 ve 3.9’da verilen hoop gerilmeleri yardımıyla boruda radyal ve eksenel doğrultuda meydana gelen uzamalar, sırasıyla denklem 6.3 ve 6.4 kullanılarak bulunabilmektedir[12].

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} |\sigma_1 - \nu \sigma_2| \quad (6.3)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} |\sigma_2 - \nu \sigma_1| \quad (6.4)$$

Birim uzamalar denklem 6.5 ile de hesaplanabilmektedir. Bu denklem vasıtasıyla bilinmeyenler yerlerine konarak radyal ve eksenel uzunluk değişimleri denklem 6.6 ve denklem 6.7’deki şekilleriyle elde edilmektedir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (6.5)$$

$$\Delta r = \frac{\Delta P r_0^2}{2 t_w E} (2 - \nu) \quad (6.6)$$

$$\Delta L = \frac{\Delta P r_0}{2 t_w E} L_o (1 - 2\nu) \quad (6.7)$$

Eksenel ve radyal yöndeki uzunluk değışi mleri bulunuktan sonra boruda meydana gelen hacimsel değışi mi çin, son hacim ile ilk hacim in farkı nın alınmasıyla denklem 6.8 elde edilir. Bu denklemin düzenlenmesiyle denklem 6.9 meydana gelmektedir[2].

$$\Delta V_{BB} = \pi(r_0 + \Delta r)^2(L_0 + \Delta L) - \pi r_0^2 L_0 \quad (6.8)$$

$$\Delta V_{BB} = V_0 \frac{\Delta P D_0}{4 t_w E} (5 - 4\nu) \quad (6.9)$$

Akışkan basıncı artışı dolayısıyla, akışkan hacminde meydana gelen değışi m de denklem 6.10'da verilmiştir.

$$\Delta V_{BA} = \beta' V_0 \Delta P \quad (6.10)$$

Boru ve akışkan için, ısıl değışi m ve basınç artışı dolayısıyla meydana gelen hacimsel değışi mlerin toplanması ve düzenlenmesiyle, boru içinde ısı kazancı etkisi ile meydana gelen basınç artışı na ilişkin denklem 6.11 elde edilmiştir.

$$\Delta P = \frac{(\beta \Delta T_A - 3\alpha_e \Delta T_B) V_1 + (\beta - 3\alpha_e) \Delta T V_2}{\left\{ \beta' + \left(\frac{D_0}{4 t_w E} (5 - 4\nu) \right) \right\} V_0} \quad (6.11)$$

Basınç artışı nı veren denklem elde edildikten sonra, güneş ışınımı I_h etkisi ile ısı kazanan çıplak boru sisteminin, yer üstü için zamana bağlı enerji denklemleri, denklem 6.12, 6.13 ve yer altı enerji denklemini denklem 6.14 yazılarak, zamana bağlı sıcaklık değışi mleri elde edilmiştir. Bu denklemlerde, yer altından, yer üstüne geçişte sıcaklık dağılı mının lineer olduğu kabul edilmiştir[2].

$$\rho_B C_B A_B L_1 \frac{dT_B}{dt} = I_h \pi D_0 L_1 / 2 - h_1 \pi D_0 L_1 (T_B - T_H) - h_2 \pi D_i L_1 (T_B - T_A) - k_B A_B \left(\frac{T_B - T}{H} \right) \quad (6.12)$$

$$\rho_A C_A A_A L_1 \frac{dT_A}{t} = h_2 \pi D_i L_1 (T_B - T_A) - k_A A_A \left(\frac{T_A - T}{H} \right) \quad (6.13)$$

$$\begin{aligned} (\rho_B C_B A_B + \rho_A C_A A_A) L_2 \frac{dT_B}{t} &= k_B A_B \left(\frac{T_B - T}{H} \right) + k_A A_A \left(\frac{T_A - T}{H} \right) \\ &+ \frac{2\pi L_2 k_T (T - T_T)}{\ln \left\{ \frac{4[(d + D_0/2) + 0,0685k_T]}{D_0} \right\}} \end{aligned} \quad (6.14)$$

Aynı şekilde izolasyonlu boru sistemleri için de enerji denklemleri yazılmıştır. Klasik sistemle aradaki fark, burada boru sıcaklığının izolasyonun üzerindeki ceket sıcaklığı olması ve buna göre enerji denklemlerinin yeniden düzenlenmesidir. Zira izolasyon burada akışkan koruyucu etki yapmaktadır. Enerji denklemleri yer üstü için denklem 6.15 ve 6.16'le, yer altı için denklem 6.17 ile verilmiştir.

$$\begin{aligned} \rho_B C_B A_B L_1 \frac{dT_B}{t} &= I_h \pi D_0 L_1 / 2 - h_1 \pi D_0 L_1 (T_B - T_H) - \frac{\pi L_1 (T_B - T_A)}{\frac{1}{h_2 D_i} + \frac{1}{2k_{iz}} \ln \frac{D_c}{D_i}} \\ &- k_B A_B \left(\frac{T_B - T}{H} \right) \end{aligned} \quad (6.15)$$

$$\rho_A C_A A_A L_1 \frac{dT_A}{t} = \frac{\pi L_1 (T_B - T_A)}{\frac{1}{h_2 D_i} + \frac{1}{2k_{iz}} \ln \frac{D_c}{D_i}} - k_A A_A \left(\frac{T_A - T}{H} \right) \quad (6.16)$$

$$\begin{aligned} (\rho_B C_B A_B + \rho_A C_A A_A) L_2 \frac{dT_B}{t} &= k_B A_B \left(\frac{T_B - T}{H} \right) + k_A A_A \left(\frac{T_A - T}{H} \right) \\ &+ \frac{2\pi L_2 (T - T_T)}{\frac{1}{k_T} \ln \left\{ \frac{4[(d + D_c/2) + 0,0685k_T]}{D_c} \right\} + \frac{1}{k_{iz}} \ln \frac{D_c}{D_o}} \end{aligned} \quad (6.17)$$

Bu denklemlerin ortaya konmasından sonra, enerji denklemleri içinde geçen, güneş ışınımı, denklem 6.18 vasıtasıyla hesaplanmaktadır [2].

$$I_h = \frac{\alpha}{100} \{83,02 - 3,847m - 4,407CC + 1,1013CC^2 - 0,1109CC^3\} I_0 \quad (6.18)$$

$$\times \left\{ 1 + 0,034 \cos \frac{2\pi m}{365} \right\} (0,9972 \cos \phi \cos \delta \cos w + \sin \phi \sin \delta)$$

Boru içindeki ve üstündeki (Churchill- Bernstein correlation, Eq. 7.57) ısı taşıma katsayıları da denklem 6.19 ve denklem 6.20 kullanılarak elde edilmiştir[23].

$$Nu = \frac{hD_i}{k} 0,53(Gr Pr)^{0,25} \quad (6.19)$$

$$Nu = \frac{hD_o}{k} = 0,3 + \frac{0,62 Re^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 + (0,4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (6.20)$$

Bütün bu denklemler ortaya ortaya konulduktan sonra başlangıç değerler $T_B = T_A = T_H$ ve $T = T_T$ olmak üzere, sonlu farklar yöntemi kullanılan bir Fortran 90 program yazılmış ve her sıcaklık değerinin aynı zaman dilimindeki değerleri elde edilmiştir[24]. Burada T_i yer altı kısmı için boru ve akışkanın denge sıcaklığı olmaktadır. Fortran program çıplak boru sistemi için ayrı ve izolasyonlu boru sistemi için ayrı iki program olarak yazılmıştır. Programda akışkan özellikleri, boru çapları, yer üstü yer altı bölümler uzunlukları oranları elle girilerek ve sonuçlar elde edilmiştir. Bazı terimler için programda kullanılan notasyon ile, denklemlerde kullanılan notasyon farklı olduğundan, eşleşmeler tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Denklemler ile Programın Bazı Notasyon Eşleşmeleri

Denklem	Program
Alt İndisler	
A	F
B	P
T	G
H	A
Terimler	
Δt	Delt
β	B1
β	B

Akışkanlar için sıcaklık ortalama 30°C kabul edilip, suyun ve fuel oil no:6'nın fiziksel özellikleri bu sıcaklık değerine karşılık gelen değer olarak alınmaktadır[25, 26]. Ayrıca boru yüzeyi ısıtım myutna oranı, α gri yüzeyleri için 0,75 olarak kullanılmaktadır[25]. Akışkalar için sıkıştırılabilirlik katsayısı, β da kullanılan akışkanlar için referanslardan alınarak kullanılmaktadır[27]. Yer üstünde boru üzerinden akan havanın özellikleri için ortalama sıcaklık 25°C alınmış ve fiziksel özellikleri bu sıcaklık için seçilmiştir[23]. Ayrıca kullanılan malzeme özellikleri ve bazı diğer sabit parametreler de tablo 6.2'de verilmektedir. Çalışmada ANSI/ASME çelik boruları, taşıyıcı borular olarak seçilmiştir(sch 40). İzolasyon malzemesi olarak, ön-izolasyonlu sistemi içi poliüretan ve klasik izolasyonlu sistemi için ısı iletim katsayısı $0,04\text{ W/mK}$ olan taş yünü kullanılmıştır.

Tablo 6.2 Programda Kullanılan Bazı Sabit Grdiler

ρ_B	7850 kg/m^3
C_B	4300 J/kgK
k_B	76 W/mK
H	1,7 m
k_T	$1,5\text{ W/mK}$
D	0,7 m
k_{PUR}	$0,026\text{ W/mK}$
k_{TY}	$0,04\text{ W/mK}$
Φ	37°
Δ	$21,67^{\circ}$
n	195
CC	0,75
M	1,06
α_e	$1,2\cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$
N	0,3
E	$2,1\cdot 10^{11}\text{ N/m}^2$
I_0	1353 W/m^2

Programda, çevre sıcaklığı değerleri, anlık güneş ışınımının bir fonksiyon ile bağlanmış ve iklim verilerinden alınan bu değerler, kod içinde bu fonksiyon ile ifade edilmiştir.

Çiplak borulu sistemi için yazılan Fortran 90 kodu şöyle verilmiştir (örnek için fuel oil no: 6 sıkıştırılabilirlik katsayısı kullanılmıştır):

program Tez

implicit none

Real

gp, cp, kp, gf, cf, kf, kg, B, B1, v, L1, L2, D0, D, Dc, d, V01, V02, V0, Ap, Af, h1, h2, i, delt, Tg, A
k, Bk, Ck, Dk, Ek, Fk, Gk, Hk, Kk, Lk, Mk, Nk, CB, CC, CD, CE, CG, CCC, CCB

Real, Dimension(1:110) :: Tp, Tf, Te, dP, Sa, Sb, H, Ta, t, Ih

print *, 'gf, cf, kf, v, L1, L2, D0, D, Dc yi girin'

read *, gf

read *, cf

read *, kf

read *, v

read *, L1

read *, L2

read *, D0

read *, D

read *, Dc

V01 = (3.14*(D**2))*L1/4

V02 = (3.14*(D**2))*L2/4

$$V0 = V01 + V02$$

$$A_p = 3.14 * ((D0^{**2}) - (D^{**2})) / 4$$

$$A_f = 3.14 * (D^{**2}) / 4$$

$$h1 = (0.02624 / D_c) * (0.3 + ((0.62 * ((10 * D_c / 0.00001568)^{**0.5}) * 0.891 / 1.14) * (1 + ((10 * D_c / 4.42176)^{**0.625})^{**0.8})))$$

$$h2 = (0.53 * k_f / D) * (((0.162 * (D^{**3}) / (v^{**2})) * (v * g_f * c_f / k_f))^{**0.25})$$

$$T_g = 22$$

$$\text{delt} = 450$$

$$k_g = 1.5$$

$$B1 = 0.00007$$

$$A_k = (7850 * 4300 * A_p * L1)$$

$$B_k = (3.14 * D_c * L1 / 2)$$

$$C_k = (h1 * 3.14 * D_c * L1)$$

$$D_k = (h2 * 3.14 * D * L1)$$

$$E_k = (76 * A_p / 1.7)$$

$$F_k = (g_f * c_f * A_f * L1)$$

$$G_k = (h2 * 3.14 * D * L1)$$

$$H_k = ((k_f * A_f) / 1.7)$$

$$K_k = L2 * ((7850 * 4300 * A_p) + (g_f * c_f * A_f))$$

$$L_k = (76 * A_p / 1.7)$$

$$M_k = (k_f * A_f / 1.7)$$

$$N_k = ((2 * 3.14 * L_2) / ((\log(4 * ((0.7 + (D_c / 2)) + (0.0685 * \text{kg})) / D_c) / \text{kg}) + (\log(D_c / D_0) / 0.026)))$$

$$\text{loop_1 : do } i = 1, 100$$

$$t(i) = (7 + (i * 0.125))$$

$$H(i) = (12 - (7 + (i * 0.125))) * 15$$

$$I_h(i) = 0.75 * (1031.04 * 1.033 * ((0.73 * (\cos(H(i) * 3.14 / 180))) + 0.222))$$

$$T_a(i) = (I_h(i) / 129.66) + 21.143$$

$$T_f(1) = T_a(1)$$

$$T_p(1) = T_a(1)$$

$$T_e(1) = T_g$$

$$B = (1 / (T_f(i) + 273))$$

$$T_p(i+1) = T_p(i) + ((\text{delt} / A_k) * ((I_h(i) * B_k) - (C_k * (T_p(i) - T_a(i))) - (D_k * (T_p(i) - T_f(i))) - (E_k * (T_p(i) - T_e(i)))))$$

$$T_f(i+1) = T_f(i) + ((\text{delt} / F_k) * ((G_k * (T_p(i) - T_f(i))) - (H_k * (T_f(i) - T_e(i)))))$$

$$T_e(i+1) = T_e(i) + ((\text{delt} / K_k) * ((L_k * (T_p(i) - T_e(i))) + (M_k * (T_f(i) - T_e(i))) + (N_k * (T_e(i) - T_g))))$$

$$CB = (3 * 0.000012)$$

$$CCC = B1$$

$$CCB = ((D_0 * (5 - (4 * 0.3))) / (2 * 21 * (D_0 - D))) * (10^{**}(-10))$$

$$CC = CCC + CCB$$

$$CD = (T_f(i+1) - T_f(i))$$

$$CE = (T_p(i+1) - T_p(i))$$

$$CG = (T_e(i+1) - T_e(i))$$

```
dP(i) = (( V01*(( B* CD)-(CB* CE)))+( V02* CG*( B- CB)))/( CC* V0)
```

```
print *,t(i), Tp(i), Tf(i), dp(i)
```

```
end do loop_1
```

```
end program Tez
```

İzolasyonlu boru sistemleri için yazılan Fortran 90 kodu da şu şekilde verilmiştir(örnek için poliüretan izolasyon ve fuel oil no:6 sıkıştırılabilirlik katsayısı kullanılmıştır):

```
program Tez
```

```
implicit none
```

```
Real
```

```
gp, cp, kp, gf, cf, kf, kg, B, B1, v, L1, L2, D0, D, Dc, d, V01, V02, V0, Ap, Af, h1, h2, i, delt, Tg, A  
k, Bk, Ck, Dk, Ek, Fk, Gk, Hk, Kk, Lk, Mk, Nk, CB, CC, CD, CE, CG, CCC, CCB
```

```
Real, Dimension(1:110) :: Tp, Tf, Te, dP, Sa, Sb, H, Ta, t, Ih
```

```
print *, 'gf, cf, kf, v, L1, L2, D0, D, Dc yi girin'
```

```
read *, gf
```

```
read *, cf
```

```
read *, kf
```

```
read *, v
```

```
read *, L1
```

```
read *, L2
```

```
read *, D0
```

```
read *, D
```

```
read *, Dc
```

$$V01 = (3.14 * (D^{**2})) * L1 / 4$$

$$V02 = (3.14 * (D^{**2})) * L2 / 4$$

$$V0 = V01 + V02$$

$$Ap = 3.14 * ((D0^{**2}) - (D^{**2})) / 4$$

$$Af = 3.14 * (D^{**2}) / 4$$

$$h1 = (0.02624 / Dc) * (0.3 + ((0.62 * ((10 * Dc / 0.00001568)^{**0.5}) * 0.891 / 1.14) * ((1 + ((10 * Dc / 4.42176)^{**0.625})^{**0.8})))$$

$$h2 = (0.53 * kf / D) * (((0.162 * (D^{**3}) / (v^{**2})) * (v * gf * cf / kf))^{**0.25})$$

$$Tg = 22$$

$$delt = 450$$

$$kg = 1.5$$

$$B1 = 0.00007$$

$$Ak = (7850 * 4300 * Ap * L1)$$

$$Bk = (3.14 * Dc * L1 / 2)$$

$$Ck = (h1 * 3.14 * Dc * L1)$$

$$Dk = ((3.14 * L1) / ((1 / (h2 * D)) + (\text{Log}(Dc / D) / (2 * 0.026))))$$

$$Ek = (76 * Ap / 1.7)$$

$$Fk = (gf * cf * Af * L1)$$

$$Gk = ((3.14 * L1) / ((1 / (h2 * D)) + (\text{Log}(Dc / D) / (2 * 0.026))))$$

$$Hk = ((kf * Af) / 1.7)$$

$$Kk = L2 * ((7850 * 4300 * Ap) + (gf * cf * Af))$$

$$Lk = (76 * Ap / 1.7)$$

$$M_k = (k_f * A_f / 1.7)$$

$$N_k = ((2 * 3.14 * L_2) / ((\log(4 * ((0.7 + (D_c / 2)) + (0.0685 * \text{kg})) / D_c) / \text{kg}) + (\log(D_c / D_0) / 0.026)))$$

$$\text{loop_1 : do } i = 1, 100$$

$$t(i) = (7 + (i * 0.125))$$

$$H(i) = (12 - (7 + (i * 0.125))) * 15$$

$$I_h(i) = 0.75 * (1031.04 * 1.033 * ((0.73 * (\cos(H(i) * 3.14 / 180))) + 0.222))$$

$$T_a(i) = (I_h(i) / 129.66) + 21.143$$

$$T_f(1) = T_a(1)$$

$$T_p(1) = T_a(1)$$

$$T_e(1) = T_g$$

$$B = (1 / (T_f(i) + 273))$$

$$T_p(i+1) = T_p(i) + ((\text{delt} / A_k) * ((I_h(i) * B_k) - (C_k * (T_p(i) - T_a(i))) - (D_k * (T_p(i) - T_f(i))) - (E_k * (T_p(i) - T_e(i)))))$$

$$T_f(i+1) = T_f(i) + ((\text{delt} / F_k) * ((C_k * (T_p(i) - T_f(i))) - (H_k * (T_f(i) - T_e(i)))))$$

$$T_e(i+1) = T_e(i) + ((\text{delt} / K_k) * ((L_k * (T_p(i) - T_e(i))) + (M_k * (T_f(i) - T_e(i))) + (N_k * (T_e(i) - T_g))))$$

$$CB = (3 * 0.000012)$$

$$CCC = B1$$

$$CCB = ((D_0 * (5 - (4 * 0.3))) / (2 * 21 * (D_0 - D))) * (10 * (-10))$$

$$CC = CCC + CCB$$

$$CD = (T_f(i+1) - T_f(i))$$

$$CE = (T_p(i+1) - T_p(i))$$

$$CG = (Te(i+1) - Te(i))$$

$$dP(i) = ((V01 * ((B * CD) - (CB * CE))) + (V02 * CG * (B - CB))) / (CC * V0)$$

print *,t(i), Tp(i), Tf(i), dp(i)

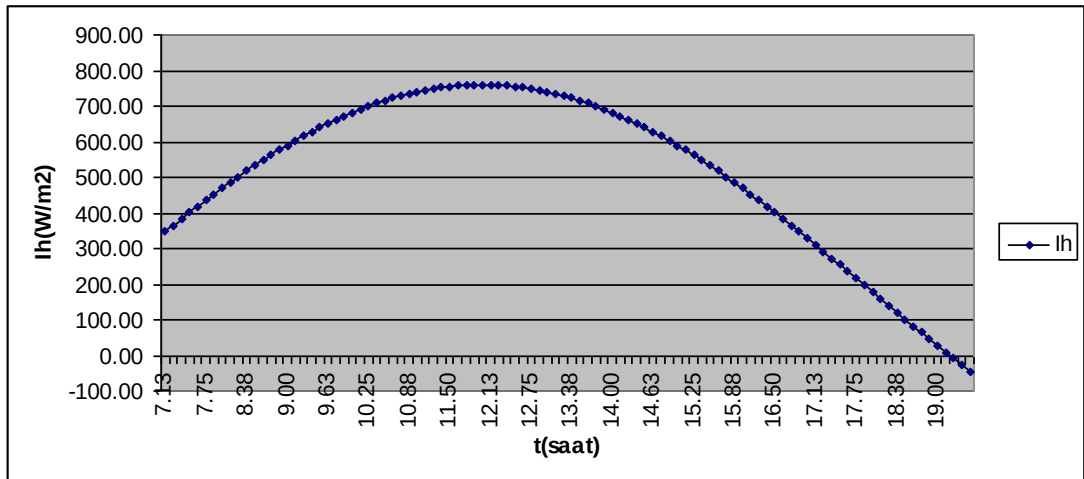
end do loop_1

end program Tez

6.3 Sonuçlar

Matematiksel modelleme sonucunda elde edilen denklemlerin, Fortran 90 programında yazılan kodlar ile çözdürülmesi sonucunda, güneş ısı kazancı etkisi ile meydana gelen sıcaklık ve basınç artışına ilişkin üç farklı boru tipi, iki farklı akışkan için çeşitli sonuçlar elde edilmiştir.

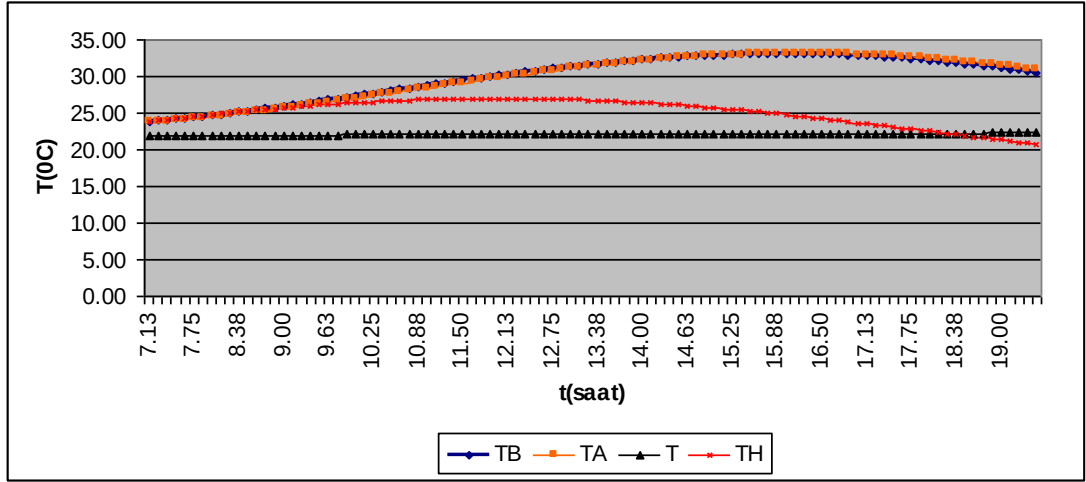
Boru yüzeyi tarafından yutulan güneş ışıının ısı akısı, şekil 6.3 'de verilmiştir.



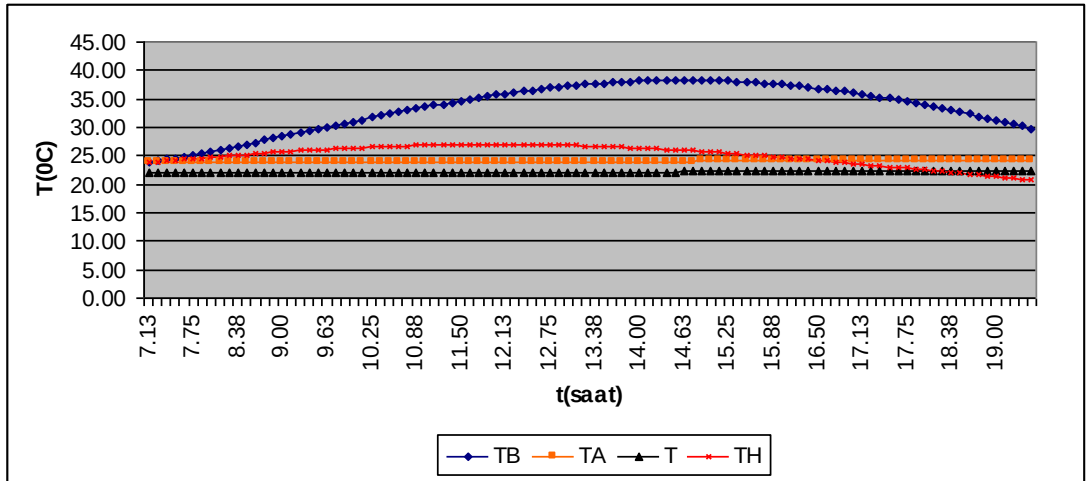
Şekil 6.3 Boru Yüzeyi Tarafından Yutulan Isı Akısı(Ih)

Güneş ışıının etkisiyle meydana gelen sıcaklık artışı, üç farklı boru tipi ve su akışkan için şekil 6.4, 6.5 ve 6.6'da verilmiştir. Burada boru sch 40 normunda 16" çelik boru, yani dış çapı 406,4 mm ve iç çapı 381 mm olarak alınmıştır. İzolasyonlu sistemler için de izolasyon ceket çapı, 560 mm olmaktadır. Sıcaklıklar,

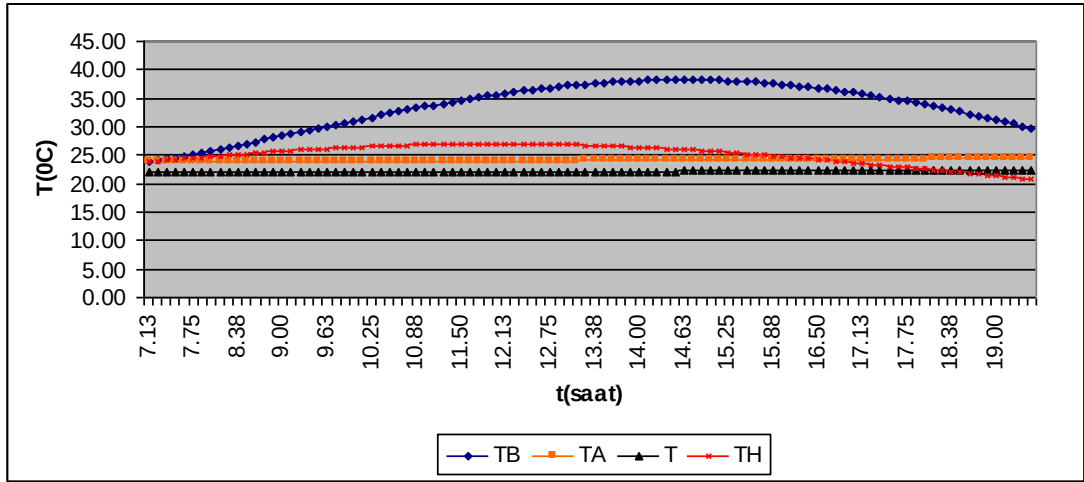
boru yüzey, akışkan, toprak altı denge ve çevre sıcaklıklarıdır. Yer altı (L_1) ve yer üstü (L_2) bölümleri uzunlukları oranı 1 olarak alınmaktadır.



Şekil 6 4 Çıplak Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Su

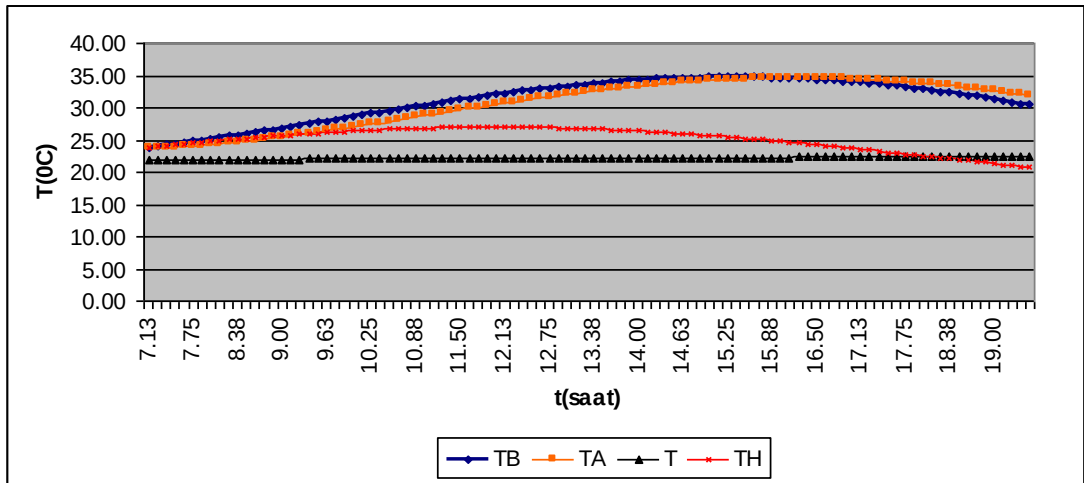


Şekil 6 5 Ön-İzolasyonlu Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Su

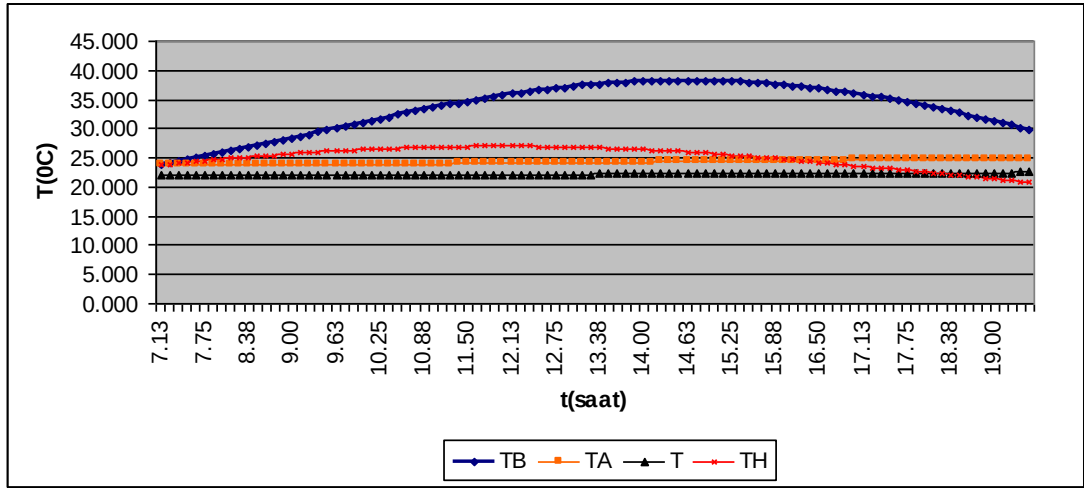


Şekil 6.6 Klasik İzolasyonlu Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Su

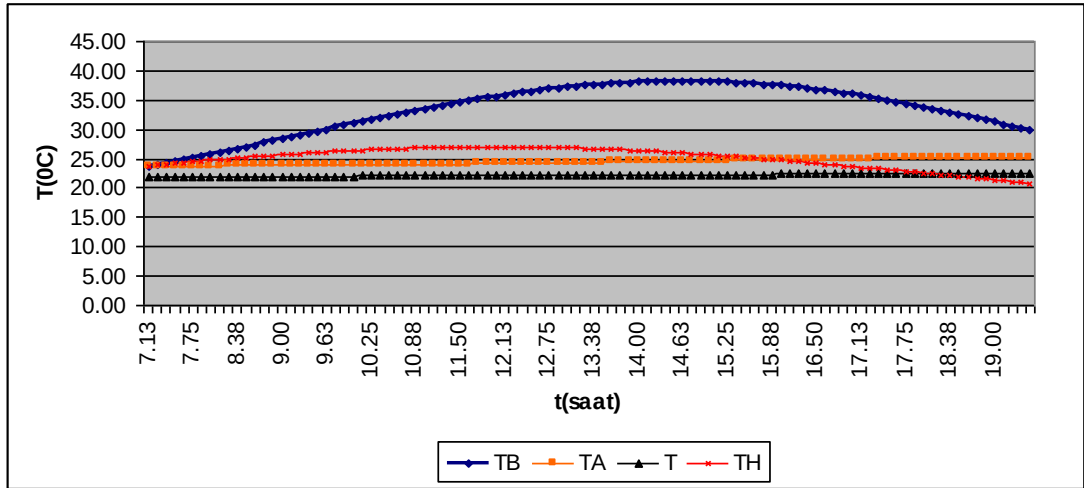
Fuel oil akışkan için bu sıcaklık değerleri, aynı boru çapı ve izolasyon için şekil 6.7, 6.8 ve 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.7 Çıplak Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Fuel Oil

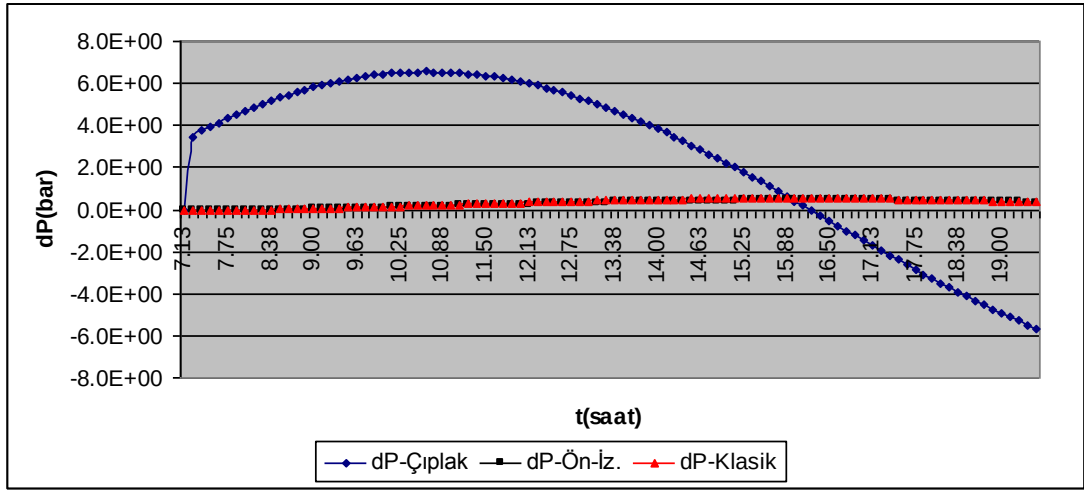


Şekil 6.8 Ön-İzolasyonlu Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Fuel Oil

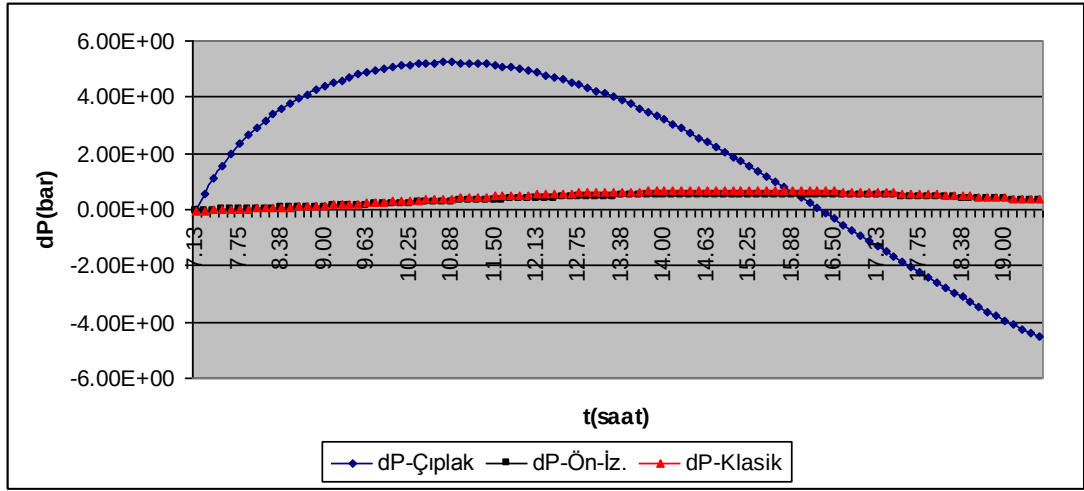


Şekil 6.9 Klasik İzolasyonlu Boru Sistemi Sıcaklık Değerleri-Fuel Oil

Bu sıcaklık artışlarının yol açtığı basınç artışı, su ve fuel oil taşıyan boru hatları için üç ayrı boru tipi için şekil 6.10, 6.11 ve 6.12’de verilmiştir. Burada yine 16” sch 40 boru ve $L_2/L_1=1$ olarak alınmaktadır.

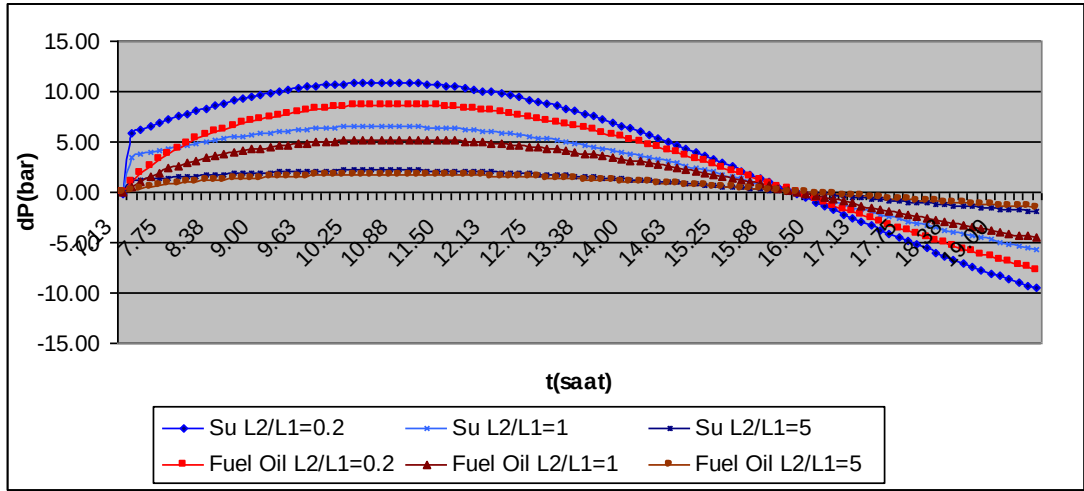


Şekil 6 10 Bası nç Artışı (dP)- Su

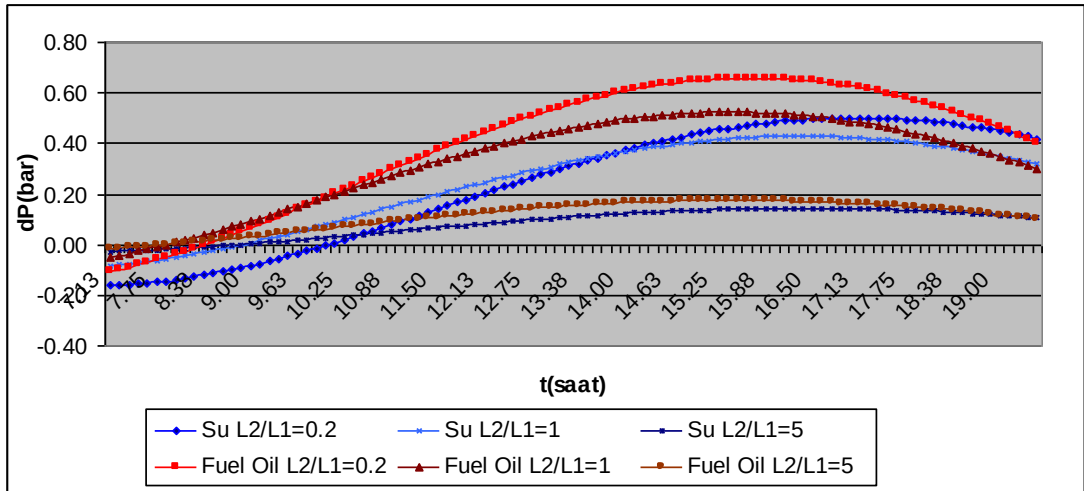


Şekil 6 11 Bası nç Artışı (dP)- Fuel Öl

Fuel Öl ve su için değişik L_2/L_1 oranlarında bası nç artışıları, yine sch 40 16'' boru için üç farklı boru tipinde elde edilmiştir. Sonuçlar şekil 6. 12, 6. 13 ve 6. 14' de ortaya konmuştur.

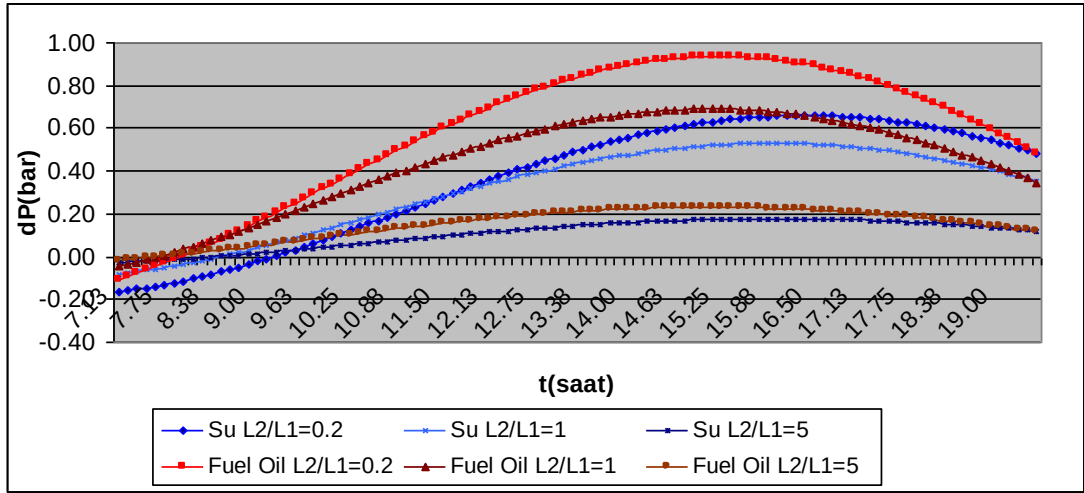


Şekil 6 12 Basınç Artışı (dP)- Ç plak Boru Sistemi



Şekil 6 13 Basınç Artışı (dP)- Ön-İzolasyonlu Boru Sistemi

Bu sonuçlara göre boru yüzey, akışkan sıcaklıklarında izolasyonun ciddi olarak boru yüzey sıcaklık artışı na rağmen akışkan sıcaklığının artmasını engelleyici rol oynadığı görülmektedir. Bu izolasyon ısı iletim katsayısı düşüklüğü dolayısıyla ön-izoleli borularda, klasik izolasyonlu borulara oranla, az da olsa daha iyi olmaktadır. Toprak denge sıcaklığı, ısı iletimini dolayısıyla bu artışlardan bir miktar etkilenmekte fakat üç boru tipi içinde fazla artış göstermemektedir.



Şekil 6.14 Basıncı Artışı (dP)- Klasik İzolasyonlu Boru Sistemi

Basıncı artışı L_2/L_1 değeri düştükçe artmaktadır. Özellikle çıplak boru sistemi ve su akışkanları için işletme basıncına bağlı olarak bu değerler boru sisteminin statik yapısına ve boru malzemesine zarar vermemeli niteliklerine yaklaşabilmektedir. Diğer boru sistemleri için basıncı artışı, sıcaklık artışına bağlı olarak ciddi bir tehlike arz etmemektedir. Basıncı artışı su akışkanında, yüksek sıkıştırılabilirlik katsayısı dolayısıyla, fuel oil'e oranla daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **AS ME B31.4**, 2002. Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids, *The American Society of Mechanical Engineers*, New York.
- [2] **Özkaynak, F.T., Tunç, M.M. and Sousa, A.C.M.**, 1984. Evaluation of Pressure Levels in Pipelines Due to Solar Heat Gains, *Appl. Math. Modelling*, **9**, 16-20.
- [3] **Dongwei, S., Jianbo, D. and Yong, Z.**, 2001. Investigation of Pressure in Pipe Subjected to Axial-Symmetric Pulse Loading, *Int. J. Q Impact Eng.*, **25**, 523-536.
- [4] **Rao, C.V.K. and Eswaran, K.**, 1999. Pressure Transient in Incompressible Fluid Pipeline, *Int. J. Q Impact Eng.*, **88**, 1-11.
- [5] **Ahamed, M. and Melchers, R.E.**, 1997. Probabilistic Analysis of Underground Pipelines Subject to Combined Stresses and Corrosion, *Eng. Struct.*, **19**, 988-994.
- [6] **Abhary, K., Nourbakhsh, A. and Loung, L.L.H.S.**, 1999. An Exact Analytical Method For Stress Analysis of Pipelines, *Int. J. Q Press. Vessels and Piping*, **76**, 561-565.
- [7] **Mazzola, A.**, 1999. Thermal Interaction Analysis in Pipeline Systems A Case Study, *J. Q Loss Prevention in the Process Ind.*, **12**, 495-505.
- [8] **Lister, C.R.B.**, 1996. Thermal Losses From Fluids Upwelling in A Conduit, and The Effect on Surface Heat Flow, *Tectonophysics*, **257**, 39-53.
- [9] **Nayyar, M.L.**, 1992. Piping Handbook, Mc-Graw-Hill, New York.
- [10] **Dey, P.K.**, 2002. An Integrated Assessment Model for Cross-Country Pipelines, *Env. Imp. Assessment. Review*, **22**, 703-721.
- [11] **ASHRAE Handbook of Fundamentals**, 1997. Fundamentals, *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, pp. 33.1-33.21, Atlanta.
- [12] **Savcı, M. and Arpacı, A.**, 1998. Çözünümlü Mukavemet Problemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.

- [13] **Vincent, J.**, 1984. Fundamentals of Pipeline Engineering, Gulf Publishing, Houston
- [14] **Eker, İ., Grimbale, M.J. and Kara, T.**, 2003. Operation and Simulation of City of Gaziantep Water Supply System in Turkey, *Renewable Energy*, **28**, 901-916.
- [15] **Trench, C.J.**, 2001. How Pipelines Make The Oil Market Work- Their Networks, Operation and Regulation, *A Memorandum Prepared for The Association of The Oil Pipe Lines and The API Pipeline Committee*, New York
- [16] **Lettich, M.**, 2004. Choosing Right Insulation, *Insulation Outlook*, **109**, Alexandria- USA
- [17] **Schmidt, R.**, 2002. Industrial Insulation, *Insulation Outlook*, **93**, Alexandria- USA
- [18] **Kalis, J.W.**, 2001. Jacketing Over Insulation, *Insulation Outlook*, **76**, Alexandria- USA
- [19] **Ming- C. C., Zeng, X and Ye, L.**, 1997. The Effect of Moisture on The Performance of Polyurethane Insulation Used on A District Heating and Cooling Pipe, *Ashrae Transactions Part 1*, Atlanta
- [20] **EN 253**, 2003. Preinsulated Bonded Pipe Systems For Underground hot Water Networks- Pipe Assembly of Steel service Pipes, Polyurethane Thermal Insulation and Outer Casing of High Density Polyethylene, *European Committee for Standardization*, Belgium
- [21] **Logstor Technical Catalog** 2003., *Logstor Industri*, Logstor- Denmark
- [22] **Randov, P.**, 1997. District Heating Handbook, Hbo Grafiske Hus, Denmark
- [23] **Kılıç, A ve Öztürk, A.**, 1984. Güneş Enerjisi, *Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemleri Semineri*, Ankara, Aralık
- [24] **Hoffman, J.D.**, 2001. Numerical Methods for Engineers and Scientists, Marcel Dekker, New York
- [25] **Öztürk, A, ve Yavuz, H.**, 1995. Uygulamalarla Isı Geçişi: Tanıtım ve İşin Çığlayan Kitabevi, Beyoğlu
- [26] Engineering Power Tools v-1.9.7, <http://www.pw-tools.com>
- [27] **Bolz, R.E, and Tuve G.L.**, 1970. Handbook of Tables for Applied Engineering Science, *The Chemical Rubber Co*, Cleveland

ÖZGEÇMİŞ

Bursa 1978 doğumlu olan Volkan Varal, 1989 yılında Atatürk İlkokulu'ndan, 1995'de Bursa Erkek Lisesi'nden mezun olmuştur. Daha sonra girdiği İTÜ Maki na Fakültesi, Maki na Mühendisli ği Böl ününü 2001 yılında bitiren Varal, aynı yıl İTÜ Maki na Fakültesi, Maki na Mühendisli ği Anabilim dalı, Enerji Programında yüksek lisansa başlamıştır.