

# BORU TESİSATLARINDA ISIL GERİLME ANALİZİ \*

## İ. Cem PARMAKSIZOĞLU

1975 İTÜ Makina Fak., Kuvvet-Isı kolunu bitirmiştir. 1977 İTÜ Makina Fakültesi Enerji kolunda Yüksek Lisans öğrenimini tamamlamış, 1985 yılında İTÜ Makina Fakültesi'nden Doktor unvanını almış, 1989 yılında İTÜ Makina Fakültesi'nde Doçent olmuştur. Kısa ve uzun süreli olarak Sulzer A.G. (İsviçre) firmasında araştırmacı mühendis, U.C. Lawrence Berkeley Laboratory'de Misafir Araştırmacı Asistanı olarak çalışmıştır. Halen İTÜ Makina Fakültesi'nde öğretim üyesi ve CAD-CAM Merkezi Müdürlüğü görevlerini yürütmektedir. Isı Transferi ve Termik Turbo Makinalar ilgi alanıdır.

## Sema AVCI

1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Aynı yıl İTÜ Makina Fakültesi Enerji Programı'nda Yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 1977 yılında İTÜ Makina Fakültesi, Enerji Kolu'ndaki yüksek lisans eğitimini tamamlayarak Yüksek Mühendis unvanını almıştır.

## ÖZET

Tesisattaki ısı gerilmeleri gidermek için uygulanacak iki yol vardır. Bunlardan ilki boru sisteminin tasarımını değiştirmektir. Diğer yol ise, sisteme esnekliği çok olan körük veya  $\Omega$  gibi bir parçanın eklenmesidir. Bu çalışmanın ilk bölümünde körük ve  $\Omega$  lar açıklanmış ve sonlu eleman yöntemi ile modellenen bir  $\Omega$  örneği verilmiştir. Bu yolla  $\Omega$  seçiminin pratik bir şekilde yapılabileceği gösterilmiştir. İkinci bölümde ise, tasarım değişiklikleri, temel teoriyi de kapsayacak şekilde üç örnekle açıklanmıştır. Örneklerde çözüm yöntemi olarak yine sonlu eleman yazılımı kullanılmış ve gerilmeler, yer değiştirmeler ve sabit noktalara gelen kuvvet ve momentler hesaplanmıştır. Son örnekte ısı gerilmelerin, tesisat konstrüksiyonu değiştirilerek azaltılması ve emniyet değerinin altına düşürülmesi sayısal olarak gösterilmiştir.

## GİRİŞ

Boru tesisatları çok geniş bir alanda ve çok değişik basınç ve sıcaklıklardaki gaz ve sıvı akışkanların taşınmasında kullanılır. Mühendislik malzemeleri sıcaklık değişimi, dış kuvvetler, zamana bağlı etkiler (yorulma, gevşeme), iç yapısındaki değişim, nem oranı değişimi ve olası başka sebeplerden dolayı boyut değişimine uğrarlar. Boru tesisatları göz önüne alındığında yukarıdaki sebeplerden ilk ikisi, sıcaklık ve dış kuvvetler (borunun kendi ağırlığı, borunun taşıdığı akışkanın ağırlığı, çalışma sıcaklığındaki iç ve dış basınç borunun bağlı olduğu aynı hareketi yapma zorunluluğu, kompanseörlerin uyguladığı kuvvet vs.) en önemli olanlarıdır. Isıl gerilmeler, montaj ve işletme sıcaklığı arasındaki fark sonucunda tesisattaki boru hareketini her yöne ve açısız dönmeleri engelleyen sabit noktalar (ankastre mesnetler), bir veya iki yönde engelleyen kayar mesnetler gibi elemanlar nedeni ile oluşur.

Boru tesisatları tesisatın amacına uygun, en uzun ömre, en düşük işletme ve yatırım maliyetine sahip, emniyetli çalışacak bir şekilde tasarlanmalıdır. Söz konusu en iyi çözüm, tesisatın ısı gerilme analizinin yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, ısı gerilmeler, en basit ev ısıtma tesisatından, yüksek basınç ve sıcaklıktaki buhar tesisatlarına kadar her tesisatta göz önüne alınmaktadır. Nükleer tesislerdeki tesisatlar, kullanılan sıvıların, özellikle sıvı metallerin yüksek çalışma sıcaklıkları ve daha fazla emniyet gerektirdiklerinden ısı gerilme analizinin ön plana çıktığı tesisatlardır.

Tesisattaki ısı gerilmeleri gidermek için uygulanacak iki yol vardır. Bunlardan ilki boru sisteminin tasarımını değiştirmektir. Diğer yol ise sisteme esnekliği çok olan körük veya  $\Omega$  gibi bir parçanın eklenmesidir.

## TESİSATA ESNEKLİĞİ ÇOK OLAN ELEMANIN EKLENMESİ

[3] $\Omega$  ELEMANLAR Belli kullanılma sıcaklıkları için tasarlanmış boru elemanlarıdır. Düz borulardaki genleşmeleri almak için kullanılır. Genelde U bükümlü ve çift bükümlü  $\Omega$  olmak üzere iki türlü yapılırlar. Çift bükümlü  $\Omega$  şeklinde kıvrılmış bir borusunun ömrü daha uzundur,  $\Omega$  parçası tasarlamak ve sabit noktaya gelen kuvvet ve momentleri hesaplamak için her boru

çapı için ayrı tabloların kullanılması gerekmektedir. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak tasarımı daha geniş bir alanda, güvenli ve kısa bir sürede yapmak mümkündür. Örnek: Bu örnekte,  $\Omega$  şeklinde kıvrılmış bir borunun sıcaklık değişimi sonrası nasıl bir şekil aldığı ve genleşmelerin bu parça sayesinde nasıl yutulduğu gösterilmektedir. Hesaplar ANSYS sonlu eleman yazılımı kullanılarak yapılmıştır. (3), (5), (6)

## **KÖRÜKLER (4)**

Koşulların değişmesi sonucu sistemde oluşan genleşme ve titreşimleri yutarak sistemin kesintisiz ve verimli çalışmasını körükler sağlar. Oluşan genleşmelerin yönlerinin ve boyutlarının çeşitliliği, tesisatların geometrik özelliklerinin farklılığı çeşitli amaçlara hizmet eden değişik körüklerin kullanılmasını gerekli kılar. Körüklerin doğru seçilip yerleştirilmesi en önemli problemidir.

Körüklerin çeşitleri;

a- Eksenel körükler,

b- Yanal körükler,

c- Açısal körükler,

olarak sıralanır.

Körüklerin kullanımı sırasında kayar ve tespit levhaları gibi yardımcı elemanlar gerekmektedir. Körüklerin kullanılması sırasında kullanılacak yardımcı elemanların seçimi ve yerleştirilmesi de sistemin güvenilirliği açısından çok önemlidir. Körük çeşitleri ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

## **EKSENEL KÖRÜKLER**

Amaç: Hareketi eksenel olarak emmek

### **Üstünlükleri**

- Akış yönünde değişikliğe neden olmaz
- Gerektirdiği alan azdır.
- Ucuz
- En kolay anlaşılabilir çözüm
- Eksenel hareketi emdikten sonra, ek körüklerle küçük yan ve açısal hareketleri de emer.
- Yüksek olmayan basınçlarda, kompresör gibi hassas ünitelerin önüne yerleştirilebilir.

### **Sakıncaları**

- Kuvvetli kılavuzlar gerektirir (kılavuzlar teknik ve ekonomik sorun riskine sahip)
- Düz ve uzun boru hattı için çok sayıda eksenel kompanseör gerekir.
- Yüksek basınç ve geniş çaplarda hassas ünitelerin önüne koyulduğunda gerilmeden arındırılmış bir bağlantı garanti edilemez.
- Her ara bölüm ayrı ayrı dengelenmelidir, bunun için çok sayıda dirsek ve kılavuz gerekir.

## **YANAL KÖRÜKLER**

Amaç: İki boyutlu boru hareketi için yan olarak emer, iki boyutlu bir düzlemde oluşacak uzama, ikinci boyuta yerleştirilecek körükle giderilir.

### **Üstünlükleri**

- Eksenel kompanseörlerden daha az kılavuz gerektirir.
- Tek yan kompanseörler iki boyutlu, iki yan kompanseörle üç boyutlu hareket emilebilir.
- Açısal kompanseörlerden kolay anlaşılır.

- Yüksek basınç zorlamalı hallerde hassas ünitelerin önüne yerleştirildiğinde gerilmeden arındırılmış bağlantı sağlanır.

#### **Sakıncaları**

- Boru tesisatlarında sadece dönüşlerin olduğu yerlerde kullanılır.
- Eksenel kompensatörlerden daha çok alan gerekir.
- Yanal olarak genişleyen, dolayısıyla dikey olarak kısılan kompensatör sistemi büzölmeye zorlayabilir, bu nedenle uzun hatlarda açısız kompensatör kullanılmalıdır.

#### **AÇISAL KÖRÜKLER**

Amaç: Açısız olarak hareketi emmek

#### **Üstünlükleri**

- Boru bölümü çok uzun değilse kayar mesnetler önemli değildir.
- İki ya da üç boyutta oluşabilecek, iki ya da üç boyutlu hareketin emilmesinde en uygun elemandır.
- Karmaşık boru hatları için çok kullanışlıdır.
- Konumu uygunsa her boyuttaki yanal genişlemeyi emerler.

#### **Sakıncalar**

- Eksenel kompensatörlere göre daha çok alan gerektirir.
- Boru istikametinde dönüşler gerektirir.

#### **HİZMET ÖMRÜ**

İzin verilen şartlarda çalışılması halinde 5000 devir ömre sahiptirler. Hizmet ömrü şunların fonksiyonudur.

Sıcaklık (nominal basınç = İşletme basıncı °C)

Hareket değeri: Yüksek devir sayısı isteniyorsa izin verilen hareket değeri artırılmalıdır. Bunun için bir üst basınç ya da üst boğum sayısı kullanılmalıdır.

İşletme basıncı değeri: Düşük işletme basınçlarında ömür daha uzun olur.

Ön gerdirme: Ön gerdirme yapılamaz ise izin verilen genişleme %70 azaltılmalıdır.

Basınç Şoku: Maruz kalınacak en yüksek basınç grubu seçilmelidir.

Isıl şok: Ani ve sık sıcaklık değişimi şok yaratır, çözümü gömlek geçirmektir.

#### **TASARIM DEĞİŞİKLİĞİ**

TEORİ (1), (2)

Sıcaklık değişimi olduğu zaman bir boru serbestse uzar, değilse gerilmeler ve her iki uçta tepki kuvvet ve momentleri oluşur. Temel problem tesisatta oluşan gerilme ve tepkileri bulmak ve kabul edilebilir olup olmadığına karar vermektir.

Kullanılan semboller:

A Kesit alanı m<sup>2</sup>

d Boru çapı m

E Elastisite modülü N/mm<sup>2</sup>

F Kuvvet N

I Eğlensizlik momenti mm<sup>4</sup>

M Moment Nmm

T,  $\Delta T$  Sıcaklık, Sıcaklık farkı  $^{\circ}\text{C}$   $\sigma$  Normal gerilme  $\text{N}/\text{m}^2$   $\alpha$  Lineer ısı genleşme katsayısı  $1/^{\circ}\text{C}$  (İndisler İ: İç d: dış)

**bakınız: 11**

**bakınız: 12**

**bakınız: 13**

**bakınız: 14**

**bakınız: 15**

**bakınız: 16**

## **SONUÇ**

Bu çalışmanın ilk bölümünde körük ve  $\Omega$  lar açıklanmış ve sonlu eleman yöntemi ile modellenen bir  $\Omega$  örneği verilmiştir. Bu yolla  $\Omega$  seçiminin pratik bir şekilde yapılabileceği gösterilmiştir. İkinci bölümde ise tasarım değişiklikleri, temel teoriyi de kapsayacak şekilde üç örnekle açıklanmıştır. Örneklerde çözüm yine sonlu eleman yazılımı ANSYS ile bulunmuş ve boru gerilmeleri, yer değiştirmeler ve sabit noktalara gelen kuvvet ve momentler hesaplanmıştır. Son örnekte ısı gerilmelerin, tesisat konstrüksiyonu değiştirilerek azaltılması ve emniyet değerinin altına düşürülmesi sayısal olarak gösterilmiştir.

Bu yöntemlerden ilki kullanıldığında,  $\Omega$  parçaları çok yer kaplar, buhar tesisatında buharın sıkışma tehlikesi vardır, işletme ve yalıtım maliyeti artar. Buna karşılık ilk yatırımı ucuzdur. Körüklerin ise ilk yatırımı fazladır, ömürleri sınırlıdır. Konstrüksiyon değişikliklerinde de maliyet, yer ve ısı kaybı artar. Bu nedenle genleşme ve konstrüksiyon değişiklikleri birlikte kullanılarak daha uygun çözümler elde edilebilir. Genelde sistemin ana hatlarında  $\Omega$  parçası ve körükler kullanılarak gerilmeler alınmalı, bransmanlarda ise çok sayıda körük kullanmaktan kaçınmak için tasarım değişikliğine gidilmelidir.

## **KAYNAKLAR**

(1) Piping Handbook, R.C King, S. Crocker, Mc Grow 11.11.1973

(2) Prof. DR. M. Savcı, Doç. Dr. A. Arpacı, Çözümlü Mukavemet problemleri, Birsen Kitapevi, 1994

(3) ANSYS Yayınları

(4) Hacı Ayvaz Yayınları, Hacı Ayvaz End. Mamuller San. ve Tic. A.Ş.

(5) Semra Avcı, İTÜ Makina Fakültesi, Yüksek Lisans tezi, 1997.

(6) DEMA Mekanik Tesisat El Kitabı, 1997.

\* Bu makale III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir-Kasım 1997, Bildiri Kitabı'ndan alınmıştır.