



**bu bir MMO
yayıdır**

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Boru Tesisatlarında Isıl Gerilme Analizi

**Cem PARMAKSIZOĞLU
Sema AVCI**

İTÜ
Makina Fakültesi

BORU TESİSATLARINDA ISIL GERİLME ANALİZİ

Cem PARMAKSIZOĞLU
Sema AVCI

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 Ω gibi bir parçanın eklenmesidir. Bu çalışmanın ilk bölümünde körük ve Ω lar açıklanmış ve sonlu eleman yöntemi ile modellenen bir Ω örneği verilmiştir. Bu yolla Ω 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 gerilmelerinin, 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 sistemle aynı hareketi yapma zorunluluğu, kompansatörlerin uyguladığı kuvvet vs.) en önemli olanlarıdır. Isıl gerilmeler, montaj ve işletme sıcaklığı arasındaki fark sonucunda tesisattaki boru hareketini her yöne ve açısız dönmesi 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.

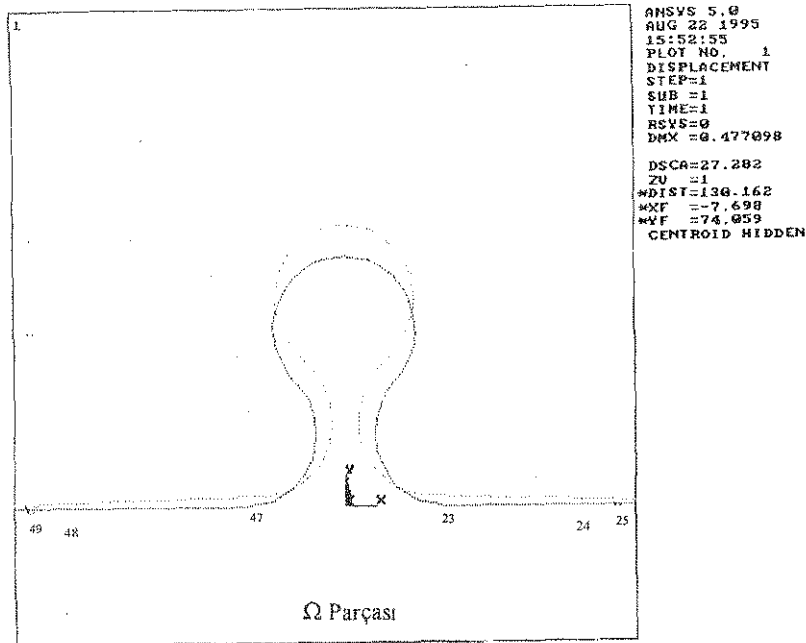
Tesisattaki ısı gerilmeleri gidermek için uygulanacak iki yol vardır. Bunlardan ilki boru sisteminin tasarımını değiştirmektir. Diğer yol ise sisteme esnekliği çok olan körük veya Ω gibi bir parçanın eklenmesidir.

TESİSATA ESNEKLİĞİ ÇOK OLAN ELEMANIN EKLENMESİ

Ω ELEMANLAR

Belli kullanılma sıcaklıkları için tasarlanmış boru elemanlardır. Düz borulardaki genişmeleri almak için kullanılır. Genelde U bükümlü ve çift bükümlü Ω olmak üzere iki türlü yapılır. Çift bükümlü, Ω şeklinde kıvrılmış bir borusunun ömrü daha uzundur. Ω 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, Ω şeklinde kıvrılmış bir borunun sıcaklık değişimi sonrası nasıl bir şekil aldığı ve genişmelerin bu parça sayesinde nasıl yutulduğu gösterilmektedir. Hesaplar ANSYS sonlu eleman yazılımı kullanılarak yapılmıştır. [3], [5],[6]



Koordinatlar ve Yerdeğistirmeler

nokta	X	Y	x	y	z	UX	UY
44	-17.55	13.34				0.304055	0.244553
45	-21.25	8.85				0.3127115	0.221569
46	-31.01	2.28				0.312858	0.179619
47	-42.5	0				0.295213	0.155017
48	-200	0	X	X		0.0	0.0
49	-2017.776	0	X	X	X	0.0	0.0

Kuvvet ve Momentler

nokta	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
24	0.1262 10 ⁷	-3193.46	0	0	0	
25	-0.1683 10 ⁷	3193.46	0	0	0	-0.18749 10 ⁷
48	-0.1262 10 ⁷	-3193.46	0	0	0	
49	0.16833 10 ⁷	3193.46	0	0	0	0.18749 10 ⁷

Gerilmeler

doğru	σ _{max} (N/mm ²)	σ _{min} (N/mm ²)	doğru	σ _{max} (N/mm ²)σ	σ _{min} (N/mm ²)
48-49	556.39	493.61	1-2	443.45	95.676
47-48	162.78	99.989	2-3	435.97	131.39
46-47	163.54	97.477	3-4	421.69	175.56
45-46	276.54	85.268	4-5	399.53	180.78
44-45	361.04	70.057	5-6	377.32	184.67
43-44	406.39	30.853	6-7	406.10	188.58
42-43	433.46	6.318	7-8	437.14	193.40

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 problemdir. 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	Sakıncaları
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Akış yönünde değişikliğe neden olmaz ◆ Gerektirdiği alan azdır. ◆ Ucuz ◆ En kolay ablaşılan çözüm ◆ Eksenel hareketi emdikten sonra, ek körüklerle küçük yanal ve açısal hareketleri de emer ◆ Yüksek olmayan basınçlarda, kompresör gibi hassas ünitelerin önüne yerleştirilebilir. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Kuvvetli klavuzlar gerektirir (klavuzlar teknik ve ekonomik sorun riskine sahip). ◆ Düz ve uzun boru hattı için çok sayıda eksenel kompensatör 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 klavuz gerekir.

EKSENEL KÖRÜKLER

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

Üstünlükleri	Sakıncaları
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Eksenel kompensatörlerden daha az klavuz gerektirir. ◆ Tek yanal kompensatörle iki boyutlu, iki yanal kompensatörle üç boyutlu hareket emilebilir. ◆ Açısal kompensatörlerden kolay anlaşılır. ◆ Yüksek basınç zorlamalı hallerde hassas ünitelerin önüne yerleştirildiğinde gerilmeden arındırılmış bağlantı sağlanır. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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 açısal kompensatör kullanılmalıdır.

AÇISAL KÖRÜKLER

Amaç: Açısal olarak hareketi emmek.

Üstünlükleri	Sakıncaları
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Boru bölümü çok uzun değilse kayar mesnetler önemli değildir ◆ İki yada üç boyutta oluşabilecek, iki yada üç boyutlu hareketin emilmesinde en uygun elemandır. ◆ Karmaşık boru hatları için çok kullanışlıdır. ◆ Konumu uygunsa her boyuttaki yanal genleşmeyi emer. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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 yada üst boğum sayısı kullanılmalıdır.

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

Ön gerdirme: Ön gerdirme yapılamaz ise izin verilen genleşme %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 heriki 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^2	
d	boru çapı	m	
E	Elastisite modülü	N/mm^2	
F	Kuvvet	N	
I	Eğlemsizlik momenti	mm^4	
M	Moment	Nmm	
T, ΔT	Sıcaklık, Sıcaklık farkı	°C	
σ	Normal gerilme	N/m^2	
α	Lineer ısıl genleşme katsayısı	$1/°C$	(İndisler i: iç d: dış)

Isıl gerilme hesaplarında kullanılan semboller:

X	Ankastre, Sabit nokta	Fixed end
	Boyuna kayar askı	Longitonal sway brace
	Enine kayar askı	Lateral sway brace
	Eksenel körük	Expansion joint Axial
	Açısal körük	Expansion joint Hinged (Two dimensional)
	Açısal körük	Expansion joint Gimbal (Tree dimensional)
	Kayar mesnet	Sliding support
	Yaylı askı	Spring hanger

Örnek: Her iki ucundan tespit edilmiş boru.



$$L=1 \text{ m}$$

Birim uzama ;

$$\alpha \Delta T = \frac{\sigma}{E} \tag{1}$$

Buhar borusunun malzeme özellikleri , $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$
Montaj sıcaklığına göre sıcaklık artışı 220°C ise,

$$12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = \frac{\sigma}{2,1 \cdot 10^5}$$

boruda oluşan gerilme $\sigma = 577,5 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunur.

DN 150 ($A= 3206,3 \text{ mm}^2$) boru için etkiyen kuvvet ,

$$F= \sigma \cdot A = 1.851 \text{ 638 N olur.}$$

Eğer borunu bir ucu serbestse, gerilme ve tepki kuvveti oluşmaz, boru

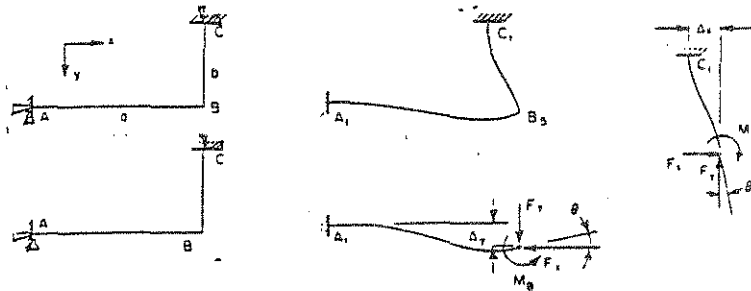
$$\Delta x= \alpha \Delta T = 2,75 \text{ mm}$$

uzar.

Bu sonuçlar, sonlu eleman yazılımı ile bulunan sonuçlarla aynıdır.

	Hesap	Program	Karşılaştırma
σ	577,5 N/mm ²	557,5 N/mm ²	1

Örnek: L şeklinde, her iki ucu tespit edilmiş konstriksiyon



Teoriden aşağıdaki beş eşitlik elde edilir.

B noktasındaki şekil değiştirmeler

$$\Delta y = \frac{1}{EI} \left[\frac{F_y a^3}{3} - \frac{M_b a^2}{2} \right] = \frac{F_y b}{EA} + \alpha b \Delta T \tag{2}$$

$$\Delta x = \frac{1}{EI} \left[\frac{F_x b^3}{3} - \frac{M_b b^2}{2} \right] = \frac{F_x a}{EA} + \alpha a \Delta T \tag{3}$$

B noktasındaki tepki kuvvetleri

$$F_x = \frac{3EI}{ab(a+b)} \frac{(4ab+a^2)\Delta x + 3b^2\Delta y}{b^2} \quad (4)$$

$$F_y = \frac{3EI}{ab(a+b)} \frac{(4ab+b^2)\Delta y + 3a^2\Delta x}{a^2} \quad (5)$$

B noktasındaki moment

$$M_B = \frac{6EI}{ab(a+b)} (a\Delta x + b\Delta y) \quad (6)$$

beş bilinmeyen Δx , Δy , F_x , F_y , M_B bu beşşitlikten çözümlerse (2), (5), boru için eğlemsizlik momenti ,

$$I = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{64} \quad (7)$$

bu değerler kullanılarak,

A noktasındaki moment

$$M_A = a F_y - M_B \quad (8)$$

C noktasındaki moment

$$M_C = b F_x - M_B \quad (9)$$

A daki gerilme

$$\sigma_a = \frac{M_A d_o}{I} \quad (10)$$

B deki gerilme

$$\sigma_b = \frac{M_C d_o}{I} \quad (11)$$

bulunur.

Sayısal örnek,

Boru DN150, $a = 10 \text{ m}$, $b = 10 \text{ m}$

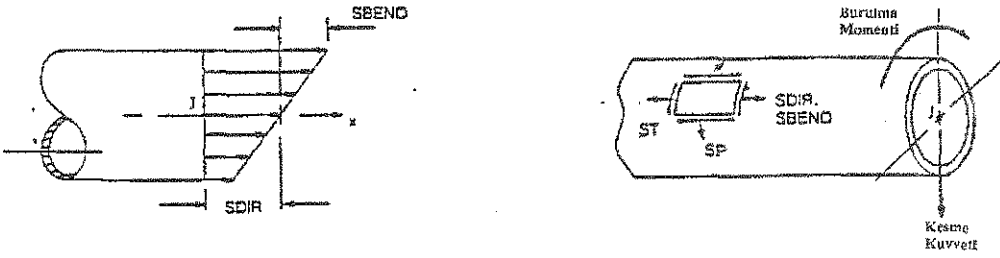
Sıcaklık farkı $\Delta T = 220^\circ\text{C}$

Çelik $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$

Yukarıdaki denklemlere ve sonlu eleman yazılımına göre bulunan sonuçlar,

	Teori	Program	Karşılaştırma
$\Delta X \rightarrow B \text{ (mm)}$	24,19	24,19	1
$\Delta y \rightarrow B \text{ (mm)}$	24,19	24,19	1
$F_x \rightarrow B \text{ (N)}$	642,16	640,85	1
$F_y \rightarrow B \text{ (N)}$	642,16	640,85	1
$M_A \rightarrow A \text{ (Nmm)}$	3210823	3204260	1
$M_B \rightarrow B \text{ (Nmm)}$	3210823		
$M_C \rightarrow C \text{ (Nmm)}$	3210823	3204260	1
$\sigma_A \text{ (N/mm}^2\text{)}$	25,64	25,79	1
$\sigma_b \text{ (N/mm}^2\text{)}$	25,64	25,79	1

Sonlu eleman yazılımı ile aşağıdaki sonuçlar da kolayca bulunabilir. [3]



SDIR	Direct eksenel gerilmesi
SBEND	Makimum burulma gerilmesi
ST	Momentten kaynaklanan kayma gerilmesi
SP	Hoop gerilmesi
SIG 1	Dış yüzdeki maksimum gerilme
SIG 3	Dış yüzdeki minimum gerilme
ST	Dış yüzdeki maksimum eşdeğer gerilme yoğunluğu
SEQV	Dış yüzdeki maksimum eşdeğer gerilme

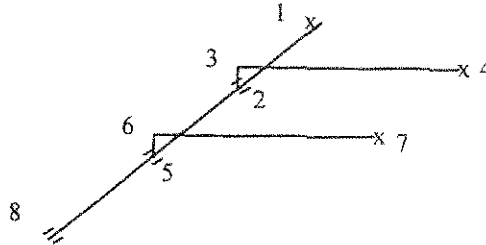
Yukarıda açıklanan temel prensipler tasarım değişikliği gerektiren boru tesisatlarına uygulanabilir.

Örnek : Ana hatta kompansatör konmuş buhar tesisatının ısı gerilme analizi.

Malzeme özellikleri [1], [3], [6] 200 °C için
 DIN St 35 Akma gerilmesi, 140 N/mm²
 Elastisite modülü, 2,1x10⁵ N/mm²
 Lineer uzama katsayısı, 12,5x10⁻⁶ 1/°C

Emniyet faktörü 2 alınarak, maksimum kabul edilebilir gerilme 140 / 2 = 70 N/mm² olarak bulunur.

Tesisat : Buhar
Bölge : AI
Gurup : 1
E = 2,1x10 ⁵ N/mm ²
α = 12,5x10 ⁻⁶ 1/°C
ΔT = 200 °C



VERİLER

Noktaların koordinatları ve boru çapları

Node	X	Y	Z	x	y	z
1	-9800	0	7800	x	x	x
2	-9800	-10150	7749	x		x
3	-9800	-10150	8147			
4	14200	-10150	8147	x	x	x
5	-9800	-33900	7631	x		x
6	-9800	-33900	8048			
7	14200	-33900	8048	x	x	x
8	-9800	-40150	7600			

X Sabit

Hat	Çap
1-2	150
2-3	15
3-4	15
2-5	150
5-6	15
6-7	15
5-8	150

ÇÖZÜM

Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler, tepki kuvvetleri ve momentler, kayar mesnet yerleri ve konstrüksiyon değişiklikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

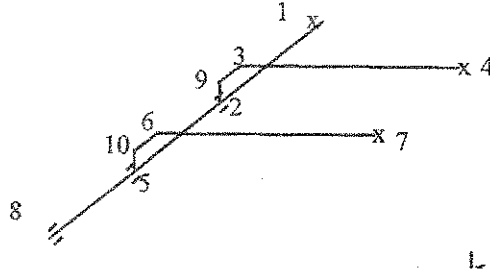
Boru	σ_{mak} N/mm ²	Boru	Δx mm	Δy mm	Δz mm	F_x N	F_y N	F_z N	M_x Nmm	M_y Nmm	M_z Nmm	Açıklama.
1-2	10	1	0	0	0	0	0	-1	8889	0.26410 ⁷	14862	
2-3	1904	2	0	-25	0	3510		4				S
3-4	91	3	-57	-25	1							
2-5	8	4	0	0	0	-3510	0	-3	0	-25860	-411	
5-6	1729	5	0	-84	0	3076		3				S
6-7	86	6	-58	-84	1							
5-8	0	7	0	0	0	-3077	0	-3	0	-24946	-1361	
		8	0	-100	0							
		Top				0	0	0	8891	0.25910 ⁷	13089	

S: Kayar mesnet

L: konstrüksiyon değişikliği

70 N/mm² yukarıdaki gerilmeler kabul edilemez. (5-6) ve (2-3) nolu branşmanlarda konstrüksiyon değişiklikleri yapılması gerektiği görülmektedir. Buralara 2 m boru ilave edilirse,

Tesisat : Buhar
Bölge : AI
Grup : 1
 $E = 2.1 \times 10^5$ N/mm²
 $\alpha = 12.5 \times 10^{-6}$ 1/°C
 $\Delta T = 200$ °C



VERİLER

Noktaların koordinatları ve boru çapları

Node	X	Y	Z	x	y	z
1	-9800	0	7800	x	x	x
2	-9800	-12150	7749	x		x
3	-9800	-10150	8147			
4	14200	-10150	8147	x	x	x
5	-9800	-35900	7631	x		x
6	-9800	-33900	8048			
7	14200	-33900	8048	x	x	x
8	-9800	-40150	7600			
9	-9800	-12150	8147			
10	-9800	-35900	8048			

Hat	Çap
1-2	150
2-9	15
3-4	15
2-5	150
5-10	15
6-7	15
5-8	150
9-3	15
10-6	15

X Sabit

ÇÖZÜM

Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler, tepki kuvvetleri ve momentler, kayar mesnet yerleri ve konstrüksiyon değişiklikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Boru	σ_{mak} N/mm ²	Boru	Δx mm	Δy mm	Δz mm	F_x N	F_y N	F_z N	M_x Nmm	M_y Nmm	M_z Nmm	Açık- lama.
1-2	0	1	0	0	0	1	1	0	6104	19711	7619	
2-9	52	2	0	-30	0	26		0				L 2m,S
3-4	12	3	-59	-25	1							
2-5	0	4	0	0	0	-25	0	0	0	-148	4189	
5-10	51	5	0	-89	0	21		0				L 2m,S
6-7	11	6	-59	-84	1							
5-8	0	7	0	0	0	-24	0	0	0	-156	3239	
9-3	58	8	0	-100	0							
10-6	57	9	0	-30	1							
		10	0	-89	1							
		Top				0	0	0	6106	19406	15041	

S: Kayar mesnet

L: konstrüksiyondeğişikliği

Isıl gerilmelerin, tesisat konstrüksiyonu değiştirilerek azaltılması ve emniyet değerinin altına düşürülmesi sayısal olarak görülmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmanın ilk bölümünde körük ve Ω lar açıklanmış ve sonlu eleman yöntemi ile modellenen bir Ω örneği verilmiştir. Bu yolla Ω 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, Ω parçaları çok yer kaplar, buhar tesisatında buharın sıkışma tehlikesi vardır, işletme ve yatırım 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 genişleme ve konstrüksiyon değişiklikleri birlikte kullanılarak daha uygun çözümler elde edilebilir. Genelde sistemin ana hatlarında Ω parçası ve körükler kullanılarak gerilmeler alınmalı, branşmanlarda 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] Sema AVCI, İTÜ makina Fakültesi, Yüksek Lisans tezi, 199*7.
- [6] DEMTA Mekanik Tesisat El Kitabı, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

İ.C. PARMAKSIZOĞLU

1975 İTÜ Makina Fakültesi, Kuvvet-Isı kolunu bitirmiştir. 1977 İTÜ Makina Fakültesi Enerji kolunda Yüksek Lisans öğrenimini tamamlamış, 1985 yılında İTÜ Makina Fakültesi'nden Doktor ünvanını 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 Asistan olarak çalışmıştır. Halen İTÜ Makina Fakültesi'nde öğretim üyesi ve CAD-CAM Merkezi Müdürlüğü görevlerini yürütmektedir. Isı Transferi ve Termik Türbo Makinalar ilgi alanıdır.

S. AVCI

1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Aynı yıl İTÜ Makina Fakültesi Enerji Programı'nda Yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 1997 yılında İTÜ Makina Fakültesi Enerji Kolu'ndaki yüksek lisans eğitimini tamamlayarak Yüksek mühendis ünvanını almıştır.