



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

BORU DESTEK SİSTEMLERİ TASARIMI

**M EMRE ÇAM
İNKA FİXİNG**

BORU DESTEK SİSTEMLERİ TASARIMI

Pipeline Support Systems Design

M Emre ÇAM

ÖZET

Boru hatlarının malzeme ve montaj giderleri, termik santraller, rafineriler, yiyecek ve içecek endüstrisi gibi birçok sektörde tesislerin önemli kısmını oluşturur. Boru hatlarının payı, toplam tesis giderlerinin %30'u üzerindedir. Bu yüzden, boyutların seçiminin özenle yapılması ve tesislerin düzgün bir şekilde çalışmasını sağlayabilmek için tesisatı yapıya sabitleyen elemanların doğru şekilde tasarlanması gerekmektedir. Boru stres analizi terimi statik ve dinamik yüklere maruz kalan boru tesisatında oluşacak gerilmelerin belirlenmesi için yapılan tüm hesaplamaları kapsar. Bu çalışmada, boru stres analizi ve boru hatları için askı ve destek sistemleri tasarımı ilişkisi genel hatlarıyla ele alınacaktır. Boru stres analizi yapılmadan tasarlanan boru hatlarında ortaya çıkması muhtemel hasar ve arızaların örnekleri verilerek, boru hattı tasarımcısına yardımcı olmaya çalışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Boru destekleri, Boru stres analizi.

ABSTRACT

Pipeline material and assembly costs constitute an important part of the plant in many sectors such as thermal power plants, refineries, food and beverage industry. The share of pipelines is over 30% of total plant costs. Because of this, in order to make the selection of dimensions careful and to ensure that the installations work properly, the fixing and supporting elements between installation and structure must be designed correctly. Pipe stress analysis covers all calculations for determining stresses to occur in pipe installations exposed to static and dynamic loads. In this work, pipe stress analysis and design of suspension and support systems for pipelines will be discussed in general terms. This work will try to help the pipeline designer by giving examples of possible damage and failures in pipelines designed without pipeline stress analysis.

Key Words: Pipe supports, Pipe stress analysis

1. GİRİŞ

Borular, herhangi bir proses tesisindeki en hassas bileşenlerdir. Ayrıca en yoğun iş gören elemanlardır. Kasıtlı veya kasıtsız neredeyse her türlü yüke maruz kalırlar. Bir proses tesisinin ömrü boyunca diğer aşamalarında olduğu kadar, operasyon sırasında da boru hattı sisteminin karşılaştacağı tüm potansiyel yükleri göz önüne almak çok önemlidir. Bu yüklerden herhangi birinin, tasarım aşamasında, montaj sırasında, test ve devreye almada ya da normal işletme veya bakım çalışmaları esnasında görmezden gelinmesi sistemin yetersiz ve yanlış tasarlanmasına yol açabilir. Sistem, bu gözden kaçan yükün ilk ortaya çıkışında hasar görerek işlevini kaybedebilir. Boru tesisatının arızalanması Domino etkisini tetikleyebilir ve büyük bir felakete neden olabilir. Bu çerçevede, mühendisler, boru hatlarıyla uğraşırken, üç önemli soruna çözüm bulmaya çalışır. Bunlar; optimum boru çapının belirlenmesi, optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve gerilmelerin en ekonomik biçimde alınmasıdır

Gerilme analizi ve güvenli tasarım normal olarak birkaç ilgili kavramın değerlendirilmesini gerektirir. Katılabilecek adımların yaklaşık bir listesi aşağıdaki gibidir [1].

1. Boru hattı veya boru hattı sisteminde servis ömrü boyunca oluşacak potansiyel yüklerin belirlenmesi,
2. Bu yüklerin sonucunda, boru malzemesi içyapısında oluşacak gerilmelerin belirlenmesi
3. Boru malzemesinin güvenli olarak dayanabileceği en kötü üç boyutlu stres durumuna karar verilmesi,
4. Göz önüne alınan boru hattı sisteminde 3 boyutlu stres senaryosundaki tüm potansiyel ve gerçek yüklerin kümülatif etkisinin hesaplanması,
5. Stres modelinin arıza sınırları içinde olmasını sağlamak için boru sistemi tasarımını değiştirilmesi,

Boru gerilmelerinin tayini ve analizinin amacı, yukarıdaki adımları takip ederek güvenli tasarımın oluşturulmasıdır. Güvenli olan birkaç tasarım olabilir. Boru hattı mühendisinin görevi bu alternatiflerden en ekonomik veya en uygun vb. olanını seçmek olacaktır. İyi bir boru sistemi tasarımı her zaman temel bilgi ve yaratıcılığın bir karışımıdır[1].

2. AMAÇ VE KAPSAM

Borularda, diğer yapılarda olduğu gibi, gerilme analizi değişken bir hassasiyette yapılabilir. Üç boyutlu boru güzergahları için grafik çözümleri ve boru desteklerinin adet ve yerlerinin belirlenmesi için uzun ve sıkıcı hesaplamalar ve yüksek maliyetler içeren kabul görmüş kuralları uygulayarak el hesabı dediğimiz konvansiyonel hesaplamalar basit sistemlerin analizi için uygun olabilir . Fakat bu yöntemlerin kapsamı ve değeri, doğrulukları ve güvenilirlikleri, kullanıcının deneyimine ve becerisine bağlı olduğu için, çok dikkatli ele alınmalıdır. Öte yandan bu sıkıcı ve uzun süren el hesabı yöntemine alternatif olarak analizi sayısal çözümler ile daha kısa zaman ve daha güvenilir olarak geliştirilmiş pek çok bilgisayar programı ve uygulaması bulunmaktadır. [2]:

Boru gerilme analizinin amacı iki geniş kategoriye ayrılabilir:

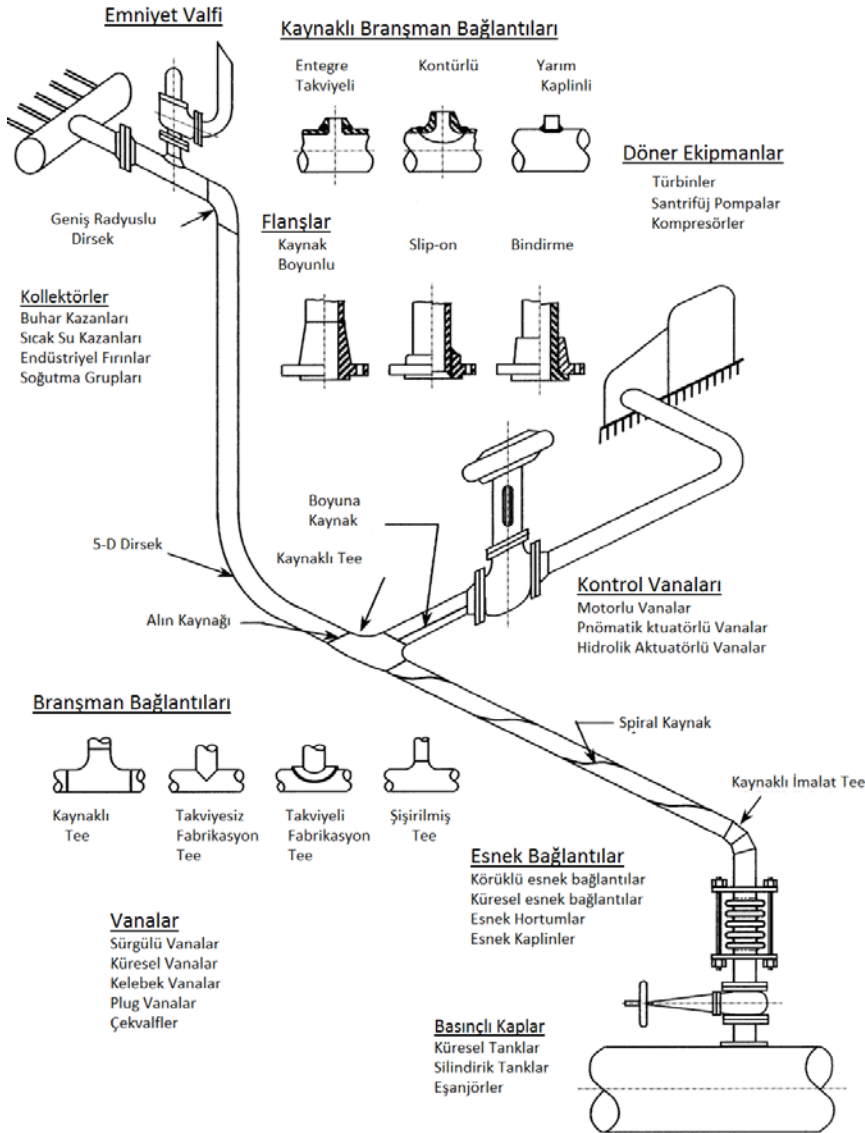
1. Yapısal bütünlüğün sağlanması
2. Sürekli ve düzenli çalışacak bir sistemin oluşturulması

Başka bir deyişle

- Boru hatları ve üzerindeki armatürlerin güvenliği
- Boru hatları üzerindeki ekipmanların ve askı , konsol sistemlerinin güvenliği
- Boru hatlarında oluşacak sehim ve yer değiştirme miktarlarının belirlenen sınırlar içinde kalması

SİSTEM BİLEŞENLERİ

Aşağıdaki şekilde bir boru hattı üzerinde yer alması muhtemel bileşenler görülmektedir.



Şekil 1. Boru hatlarında sistem bileşenleri [2].

HASAR TIPLERİ

Boru sistemini etkileyebilecek çeşitli hasar tipleri vardır. Boru mühendisleri, mevcut standartlar ve boru kodlarına göre gerilme analizi yaparak bu hasar tiplerinin bazılarını karşı koruma sağlayabilir. Bunlar :

- **Malzemenin akması sonucunda ortaya çıkan hasarlar:** Hasar, aşırı plastik deformasyondan kaynaklanmaktadır. Bu tür hasarlar iki şekilde ortaya çıkar :
 - Düşük sıcaklıkta meydana gelen plastik deformasyon : Malzeme taneciklerinin kayma etkisi altında plastik deformasyona uğrar.
 - Yüksek sıcaklık altında meydana gelen plastik deformasyon: Kayma sonrasında malzeme yeniden kristallenir ve dolayısıyla yük artmasa dahi kayma devam eder. Bu fenomen sürünme olarak bilinir.

- Kırılma sonucunda meydana gelen hasarlar :Malzeme akma olmadan hasara uğruyordur .
 - Gevrek kırılma: Kırılgan malzemelerde oluşur.
 - Yorulma: Dinamik yüklere bağlı olarak her döngüden sonra büyüyen ve ani hasarla sonuçlanan küçük bir çatlak gelişir.



Şekil 2. Boru hatlarında oluşan örnek hasar [2].

BORU DESTEK SİSTEMLERİ TASARIMI

Boru askı ve destek sistemlerinin tasarımında genel amaç aşağıdaki maddelerde sayılan durumlardan kaçınmaktır:

- Tesisatta koda izin verilen miktarın üzerinde gerilim oluşması .
- Yanlış monte edilmiş flanşlar nedeniyle bağlantı noktalarında sızıntı
- Tesisata bağlı ekipmanlarda (pompalar ve türbinler gibi).aşırı yük ve moment binmesi
- Destekleyici (veya kısıtlayıcı) elemanlarda aşırı gerilimler.
- Basılan akışkanla tetiklenen titreşimlerle rezonans.
- Borulama sisteminde termal genişleme ve/ veya daralma ile aşırı derecede gerilim birikmesi, .
- Boruların desteklerinden istenmeden ayrılması
- Eğim gerektiren drenaj sistemlerinde akışı bozacak şekilde sarkma olması

BORU DESTEK SİSTEMLERİ STANDARTLARI

Boru destek sistemleri tasarımı ile ilgili standartlar şunlardır:

- 1) ANSI31.1 &31.3 Power Piping & Process Piping
- 2) MSS –SP 58 Pipe Hangers and Support : Materials, Design & Manufacturers
- 3) MSS –SP 69 Pipe Hangers and Support : Selection & Application.
- 4) MSS –SP 77 Guidelines for Pipe Support Contractual Relationships.
- 5) MSS –SP 89 Pipe Hangers and Supports: Fabrication & Installation Practices.
- 6) MSS –SP 90 Guidelines on Terminology of Pipe Hangers & Supports.

Boru askıları ve desteklerinin seçimi, boru sistemlerinin genel tasarım konseptine ve şartname için istenecek herhangi bir özel gerekliliğe dayanmalıdır. Destek sistemi, bağlantılı olduğu ekipmanın hareketi de dâhil olmak üzere, boruların serbest ya da amaçlanan hareketine müsaade edecek ve kontrol edecektir. Her bir askı noktasında kullanılacak destek türünü seçmeden önce çevreleyen yapı ve bitişik boru donanımı ve boru düzeni ile ilgili dikkatli bir çalışma yapılmalıdır. Askılar, destekler,



sabit noktalar ve sınırlayıcılar, boru tesisatının ve bağlantılı ekipmanın tabi tutulabileceği yüklemenin tüm statik ve belirlenmiş dinamik koşullarına dayanacak şekilde seçilmelidir.

BORU DESTEKLERİ ELEMANLARI

Armatürler

- Askı rodları
- Yaylı askılar
- Ayar tokaları
- Zincirler
- Sabit noktalar
- Braketler
- Kayar mesnetler
- Boru semerleri

Yapısal elemanlar:

- Kısaçlar
- Boru kulakları
- U-boltlar
- Boru kemerleri

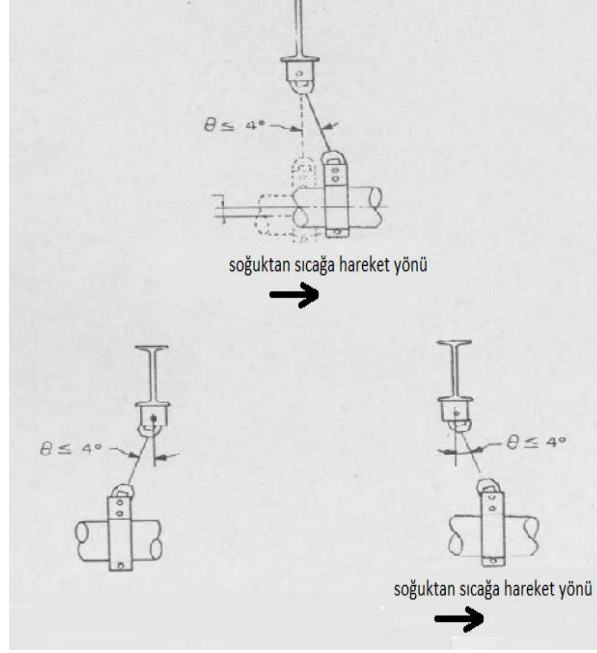
BORU DESTEKLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Boru destekleri işlevlerine göre 4 e ayrılır:

- 1) Ağırılık destekleri ya da rijit destekler: Askı rodları, kayar mesnetler gibi boruların ağırlığı ile oluşan yükleri taşıyan desteklerdir.
- 2) Rijit sınırlayıcılar ya da sabit noktalar: Tesisatın o kısmına etki eden yükleri taşıdığı gibi yer değiştirmeleri de engelleyen desteklerdir.
- 3) Sınırlayıcılar: Tesisatın, olağandışı dinamik yüklere maruz kalması durumunda hareket etmesini sınırlayan desteklerdir.
- 4) Salınma Destekleri: Tesisatın titreşimini kontrol eden, şok yükleri absorbe eden ve tesisatın termal genleşmelerden dolayı oluşan hareketlerini sınırlayan ya da yönlendiren desteklerdir.

RİJİT TİP BORU DESTEKLERİ

- Tüm kayar tip mesnetler ve tesisatı alttan destekleyen tip mesnetler bu sınıfa girer . Kelepçeli veya kelepçesiz kayar mesnetler, boru pabuçları, köşe kolon destekleri vb. Bu tip destekler basma gerilmesine maruz kalır.
- Askı rodları (yaysız) ve tesisatı üstten asma yoluyla tutan destekler de bu sınıfa girer. Bu tip destekler çekme gerilmesine maruz kalır. Askı rodları kritik olmayan destekler için kullanılır.



Şekil 3. Askı rodlarında öteleme [2]

Askı rodları ile bağlantılı olarak halkalı somunlar, ayar tokaları, rodlar altı köşeli somunlar ve civata kelepçeleri gibi farklı ekler kullanılır.

Askı Rodlarının Öteleme Sınırlaması

- Eksenel yönde hareketli boru
- Soğuk boru konumlandırma
 - Soğuk öteleme
 - İşletme pozisyonu

Sıcak borularda askı rodları için izin verilen yatay hareket, $+ 4^\circ$ 'yi geçmemelidir.

SABİT NOKTALAR VE KAYAR MESNETLER

Sabit noktalar ve kayar mesnetler, boruların 3 boyutlu ortamda hareketlerinin herhangi birini veya hepsini sınırlandırmak için kullanılır. Boru hareketlerini sınırlamak, yönlendirmek veya absorbe etmek için kullanılabilirler. İç basınç ve termal genişleme / daralmadan kaynaklanan, elemanlardaki kuvvet / momentleri hesaba katarak tasarlanırlar.

Tamamlayıcı Çelik Konstrüksiyon

Yukarıda bahsedilen çeşitli destek türleriyle boruyu taşımak için, boruyu mevcut yapıyla bağlamamız gerekir. Bunu sağlamak için, yapısal elemanlar, destek elemanları ya da destek braketleri mevcut yapı üzerine kaynakla ya da uygun bağlantı elemanları ile bağlanır.

DEĞİŞKEN VE SABİT YAYLI DESTEKLER

Değişken Yaylı Destekler

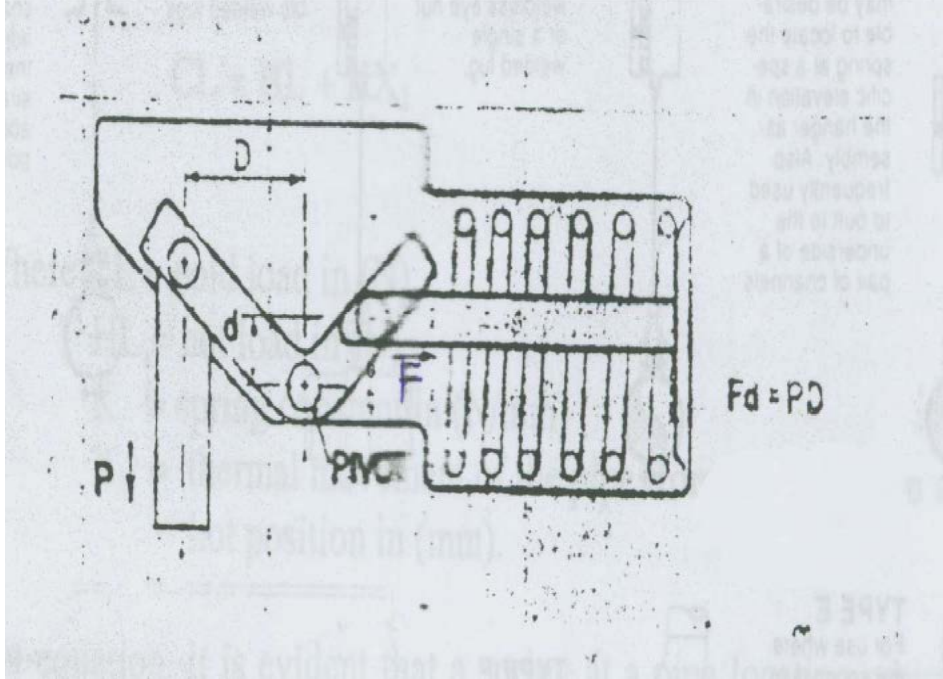
Değişken yaylı destekler boru kısalma veya uzama nedeniyle dikey hareket ederken değişken destek kuvvetleri sağlarlar. Maksimum yük değişimi % 25'tir.

Sabit Yaylı Destekler

Sabit yaylı destekler, termik hareketlerin çok büyük olduğu durumlarda kullanılır (50 mm'den fazla ve maksimum % 6 yük değişimine izin verilir). Bu yay destekleri, boru tesisat sistemlerinde kritik ekipman nozullarında oluşan yükleri sınırlamak için kullanılır.

DEĞİŞKEN VE SABİT YAYLI DESTEKLERİN SEÇİMİ

Sabit yaylı askılar mutlaka gerekli ise soğuktan sıcağa yükteki yüzde değişimi $\pm\%$ 6'dan düşük olduğunda, kritik boru hatları için en düşük yük değişimini sağlamak için seçilir. Bu sabit yaylı askıların geometrisi ve kinematiği, teorik ve sabit destek kuvvetinin tüm genişleme ve daralma boyunca elde edilebileceği şekildedir.



Şekil 4. Sabit yaylı destek [2]

Değişken yaylı askı elemanları, sabit yaylı desteklerin gerekli olmadığı kritik olmayan boru sistemleri üzerinde genel kullanım için önerilir. Değişken bir yayın doğal özelliği, destek kuvvetinin, yay sapması ve yay ölçüsü ile değişmesidir. Borulardaki düşey genişleme yayda buna karşılık gelen bir kısalma veya uzamaya neden olur ve gerçek destek kuvvetinde dikey genişleme ve yay ölçüsü miktarına eşit miktarda bir değişiklik olmasına neden olur.

Tablo 1. Değişken ve sabit yaylı destekler seçim kriterleri [2]

	Değişken Yaylı Destekler	Sabit Yaylı Destekler
Dizayn	Helis Yay ile basit dizayn	Yay & Dirsekli Manivela ile sofistike dizayn
Uygulama	Kritik olmayan uygulamalar: Örn. Isı Eşanjörü , Kazan , Basit Boru Tesisatı vs.	Kritik olan uygulamalar: Örn. Buhar Turbini için buhar boru tesisatı, Buhar kolektörü, Buhar Kazanı vs.
Hareket	Düşük termal hareketlere uygulanabilir (50 mm'nin altında)	Yüksek termal hareketlere uygulanabilir (50 mm'nin üstünde)
Alan	Montaj için daha kısıtlı alan	Montaj için geniş alan
Maliyet	Düşük Maliyet	Yüksek Maliyet

SINIRLAYICILAR

Boru, aşağıdaki gibi yüklere dayanamayacak yapıda olduğunda rijit destekler genellikle gereklidir:

- Deprem
- Kuvvetli rüzgâr
- Su darbesi gibi diğer dinamik yükler.

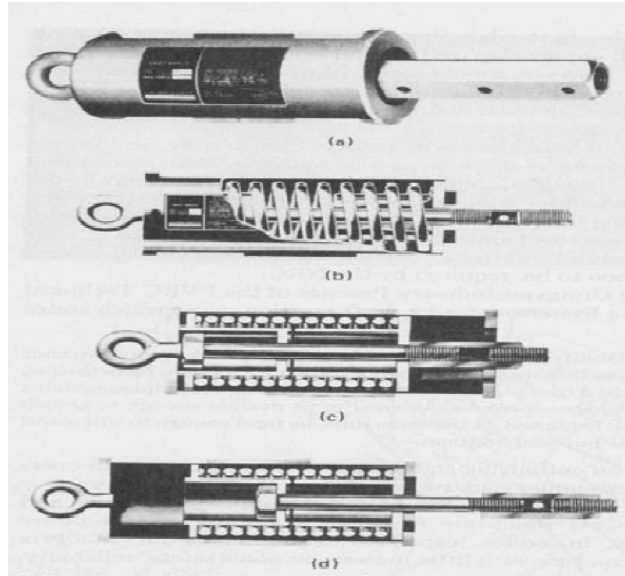
Ancak, bu rijit destekler , yüksek sıcaklık borulamasında kullanıldığında, bazı yerlerde yüksek stres seviyeleri gelişebilir. Bu gibi durumlarda Sınırlayıcılar kullanılır.



Şekil 5. Sınırlayıcı [2].

SALINMA DESTEKLERİ

Boru titreşiminin etkisini sınırlamak için salınma destekleri kullanılır. Bunlar, yatay düzlemde hareket eden değişken yaylı desteklerden daha farklıdır. Salınma desteği takıldığında, boru işletme konumundayken yay önyüklemesi sıfır olacak şekilde ayarlanır. Değişken yaylı destekler gibi salınım destekleri de, boruya bazı genleşme gerilmeleri katarlar.



Şekil 6. Salınım Destekleri [2].

BORU DESTEKLERİNİN KONUMLANDIRILMASI

Boru destekleri eğilme gerilmesini minimum seviyede tutmak için vanalar, flanşlar gibi konsantre yüklere olabildiğince yakın yerleştirilmelidir.

Yatay düzlemde yön değişikliği söz konusu olduğunda meydana geldiğinde, sistemin dengesinin korunması ve eksantrik yüklemeleri azaltmak için destekler arası mesafenin standart tablolarında verilen değerlerin% 75'i ile sınırlı olması önerilir.



Boru destekleri arasında tavsiye edilen standart mesafe, dikey kolon borularına uygulanmaz çünkü yerçekimi yükü nedeniyle hiçbir moment ve gerilme oluşmaz. Borunun kendi ağırlığı altında devrilmesini önlemek için destek kolonun üst yarısında bulunmalıdır.

Destekleyici çelik kullanımını en aza indirmek için mevcut yapı çelik konstrüksiyonunun yakınında konum seçilmelidir

SABİT YÜK BORU DESTEKLERİNİN KONUMLANDIRILMASI

Sabit yük (ağırlık) destekleri arasındaki mesafe için, kodda önerilen mesafeyi kullanılmalıdır. (B31 vb.).

Mevcut destek noktalarını göz önüne alınmalıdır.

Ekipmanlara yakın bölgelerde destekler arası mesafeyi yarıya indirmek tavsiye edilir.

Konsantre yükler için destekler arası mesafeyi azaltmak gereklidir.

Konsantre yükler desteklenmelidir.

Öteleme yükleri desteklenmelidir.

İzolasyon ve kaplama için destekler arası mesafenin azaltılması tavsiye edilir.

Desteklerin, yön değiştirmelerinin olduğu yerlere yakın yerleştirilmesi uygun olur. (Üstten asılı köşeler, üstten veya alttan desteklenmiş kolonlar hariç)

Termal genişleme analizine dayalı olarak tip (rijit, yay veya sabit destek) seçilmelidir.

MEVCUT YAPIYA BAĞLANTI NOKTALARI

Boru hatlarını mevcut yapıya bağlamak için tercih edilmesi gereken bağlantı noktaları:

Eğilme etkilerini en aza indirmek için ana eleman kesişimlerinin yakınındaki kolonlara ve kirişlere yükler uygulanması tavsiye edilir.

Gereksiz torsiyon veya yanal bükülme etkilerinin ortaya çıkartan tasarımlardan kaçınılması gerekir.

Özellikle stabiliteye göre hesap yapılan basıya çalışan parçalarda ve rüzgâr destekleri gibi ince parçalarda hareket veya enine yüklemelerden kaçınılması tavsiye edilir.

Çelik konstrüksiyonlar, binalar vb. titreşimli akışa veya iletilen mekanik titreşime maruz kalan boru hatlarıyla uğraşırken, binaların vb. rezonant olmayan frekansta yeterli sağlamlık ve yeterli mukavemete sahip olduğunu ve personelin genel konfor seviyesine göre sınırlar içinde kaldığını ispatlayan dikkatli ve kapsamlı bir analiz olmadığı müddetçe, bağımsız bir yapıya veya bir temele bağlantıların sınırlandırılması tavsiye edilir.

İletimi azaltarak etkiyi izole etmek için mekanik titreşimleri oluşturan makinelere sabit noktalar ve son derece esnek ve rezonant olmayan titreşim yutucular (ör. kompansatörler) yerleştirilmesi tavsiye edilir.

BORU HATTINA BAĞLANTI NOKTALARI

Vana, bağlantı parçaları veya genişleme parçaları gibi boru bileşenleri yerine bir boru üzerinde bağlantı yapılması tercih edilir. Çok lokalize yükleme esnasında, flanşlı veya dişli bağlantılar sızıntı yapabilir ve valf gövdeleri sonuçta oluşan kaçaqlardan veya fazla yük binmesinden dolayı bozulabilir. Bununla birlikte, ağır armatürlere olan destekler, etkinin uygun şekilde sağlandığı durumlarda kabul edilebilir.

Zaten yerel etkilerinin üst üste bindireceği yüksek oranda lokalize gerilmelere maruz kaldıklarından keskin yarıçaplı veya kaynaklı dirsekler yerine, düz hatlara destek yerleştirilmesi tercih edilir. Ayrıca, kavisli boru üzerinde kavisin uzunluğu veya çevresi boyunca uzanan destekler, parçanın esnekliğini ciddi şekilde değiştirecektir.

Temizlik ve bakım çalışmaları için sık sık çıkarılmayı gerektirmeyen boru hatları üzerine destek yerleştirilmesi tercih edilir.

Dikey hatlar, branşmanlar, motorlu veya başka türlü ağır valfler ve ayırıcılar, pislik tutucular, vb. küçük ekipmanlar gibi ağır yük konsantrasyonlarına mümkün olduğunca yakın destek yerleştirilmesi tercih edilir.

SONUÇ

Boru hatları ve üzerindeki armatür ve ekipmanları taşıyan boru destekleri incelenmiş;

Sistemlerde kullanılacak boru desteklerinin tipinin, yerleşiminin, boyutlandırılması ve tasarımının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için, boru hatlarının maruz kaldığı tüm yüklerin ve bu yükler altında oluşacak sehim ve yer değiştirmelerin hesaplanmış olması gereği ortaya çıkmıştır. Bütün boru hattı boyunca nokta bazında yükler ve yer değiştirmeler ancak boru stres analizi sayesinde hesaplanabilir. Özellikle yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında çalışan, yanıcı, parlayıcı vb. tehlikeli akışkanların transferinde kullanılan boru hatlarının askı ve destek sistemlerinin tasarımında, boru stres analizi ile ortaya çıkan sonuçlara göre tasarım yapılması gereklidir. Çağımızda bu hesaplamaların bilgisayar destekli analiz programları ile çok kısa zamanda ve çok daha kapsamlı ve sağlıklı yapılabildiğini düşünürsek, endüstriyel tesislerin ve binaların hizmet ömürlerini uzatmak ve düşük bir işletme maliyeti için boru hatlarında meydana gelebilecek hasarlardan kaçınmak için boru stres analizi yapılması ve boru hatlarının, askı ve destek sistemlerinin bu analiz sonuçlarına göre tasarlanması önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] JOSHI, A. , CHERIAN T. , RAO R. , “PIPING STRESS ANALYSIS”, Mumbai Univercity Pub. , 2001.
- [2] IVANCIC Z. , “Pipe Stress and Support Design”, Numikon Technical Bulletin , 2014.
- [3] MSS –SP 69, “Pipe Hangers and Support: Selection & Application”, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Emre ÇAM

1969 yılı Kocaeli doğumludur. 1990 yılında İTÜ. Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1991-2017 yılları arasında yurt içi ve yurt dışı çeşitli şantiyelerde şantiye şefi, proje müdürü olarak çalışmış, Halen INKA Yapı Bağlantı Elemanları A.Ş. de Proje Yöneticisi Olarak görev yapmaktadır. Mekanik Tesisat Boru Askı ve Destek Sistemleri konularında çalışmaktadır.