

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEKANİK TESİSATLARDA
DEPREM GÜVENLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Makine Mühendisi Ömer Okan SEVER

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Eyüp AKARYILDIZ

İSTANBUL, 2006

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEKANİK TESİSATLARDA
DEPREM GÜVENLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Makine Mühendisi Ömer Okan SEVER

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Eyüp AKARYILDIZ

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1 GİRİŞ	1
1.1 Terimler	3
1.2 Türkiye'nin Depremselliği	6
2 TESİSATLARIN DEPREM DAVRANIŞI	8
2.1 Kuvvet – İvme İlişkisi ve Titreşim Yalıtımı	8
2.1.1 Kütle-Yay Sistemleri	9
2.1.2 Titreşim Yalıtımı ve Sismik Koruma	10
2.2 Zorlamalı Titreşimler ve Rezonans	10
2.3 Titreşim Altındaki Ekipmanlara Etkiyen Sismik Yükler	13
2.4 Tesisatlardan Kaynaklanan Hasarlar	14
2.4.1 Önlem Alınmamış Tesisatlar	15
2.4.2 Yanlış Seçilmiş Sismik Koruyucular	16
2.4.3 Bağlantı Hataları	17
2.4.3.1 Ekipman Bağlantıları	17
2.4.3.2 Yapısal Bağlantılar	18
3 TESİSATLARDA DEPREM GÜVENLİĞİ	19
3.1 Deprem Yönetmelikleri	19
3.1.1 T.C. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	21
3.1.2 Uluslararası Bina Kodu (IBC)	23
3.1.3 Diğer Yönetmelikler	27
3.1.3.1 FEMA	28
3.1.3.2 SMACNA	28
3.1.3.3 NFPA 13	29
3.2 Binaların Depreme Dayanıklılık Performans Seviyeleri	29
3.2.1 İşlevsellik Performans Seviyesi	29
3.2.2 Hemen Kullanım Performans Seviyesi	30
3.2.3 Can Güvenliği Performans Seviyesi	30
3.2.4 Riski Azaltılmış Performans Seviyesi	31
3.3 Tesisatlarda Sismik Koruma Uygulamaları	31
3.3.1 Döşemeye Oturan Ekipmanlar	31
3.3.2 Çatı Tipi Ekipmanlar	40
3.3.3 Duvara Bağlı Ekipmanlar	41
3.3.4 Tavana Asılı Ekipmanlar	42

3.3.5	Borular.....	45
3.3.6	Hava Kanalları.....	51
3.3.7	Elektrik Tavaları ve Diğer Hatlar.....	56
3.3.8	Kolon Boruları.....	58
3.3.9	Kaideler ve Atalet Şasileri.....	64
3.3.10	Bağlantı Elemanları ve Yöntemleri.....	69
4	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR.....		73
ÖZGEÇMİŞ.....		74

SİMGE LİSTESİ

a	ivme [m/s^2]
F	Kuvvet [N]
F_n	Doğal frekans [1/s]
F_d	Zorlamalı frekans [1/s]
G	Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
K	Yay Sabiti
X	Hareket Mesafesi [m]
ζ	Sönüm faktörü
T	Titreşim Yalıtımı [%]

KISALTMA LİSTESİ

FEMA	Federal Emergency Management Agency
IBC	International Building Code
ICC	International Code Council
NBC	National Building Code
NFPA	National Fire Protection Association
SMACNA	Sheet Metal And Air Conditioning Contractors' National Association
UBC	Uniform Building Code

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 ..Dünyadaki ana tektonik levhalar.....	1
Şekil 1.2 _Faylanma Teorisi.....	2
Şekil 1.3 Deprem parametreleri.....	4
Şekil 1.4 Türkiye'deki tektonik levhalar.....	6
Şekil 1.5 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.....	7
Şekil 2.1 Tesisat donanımına etkiyen deprem kuvveti.....	8
Şekil 2.2 Bir yayın serbest haldeki ve yük altındaki davranışları.....	9
Şekil 2.3 Statik çökmeye bağlı genlikler oranı olarak titreşim iletimi (sönümsüz).....	12
Şekil 2.4 Deprem koruması yapılmamış tesisat donanımlarında hasar oluşumu.....	15
Şekil 2.5 Titreşim yalıtımı yapılmış, ancak deprem koruması olmayan tesisat ekipmanlarında hasar oluşumu.....	16
Şekil 2.6 Sismik izolatörleri yanlış seçilmiş ve yanlış monte edilmiş (kaideye bağlanmamış) bir soğutma grubunda, deprem sonrası meydana gelen hasar.....	16
Şekil 2.7 Açık yaylı izolatörlerle birlikte kullanılmak üzere seçilmiş, ancak gereğinden küçük boyutlandırılmış sismik sınırlandırıcılar sebebiyle pompa şasisinde hasar oluşumu.....	17
Şekil 2.8 Soğutma grubunun boru bağlantısında meydana gelen hasar.....	18
Şekil 2.9 Sismik izolatör ile kaide arası bağlantıdan kaynaklanan hasar.....	18
Şekil 3.1 Büyük San Francisco (1906) Depremi Sonrasında Çıkan Yangınlar.....	20
Şekil 3.2 Ekipmanın kendi şasisinden döşemeye doğrudan sabitlenmesi.....	30
Şekil 3.3 Ekipmanın altına yapılan ilave şasiden döşemeye sabitlenmesi.....	30
Şekil 3.4 Ekipmanın ilave takviye ile döşemeye sabitlenmesi.....	31
Şekil 3.5 Ekipmanın köşe takviye parçalarından bağlanmasında uygulanması gereken detay.....	32
Şekil 3.6 Köşe takviye parçasının ekipmana kaynatılması.....	32
Şekil 3.7 Köşe takviye parçasının yapıya kaynatılması.....	32
Şekil 3.8 Bir tankın döşemeye doğrudan bağlanması.....	33
Şekil 3.9 Bir tankın ağırlık merkezinin üstünde bir noktadan halatlarla bağlanması.....	33
Şekil 3.10 Bir tankın ağırlık merkezinin üstünde bir noktadan kuşaklarla bağlanması.....	34
Şekil 3.11 Bir tankın çevresi boyunca ilave çelik veya ahşap kafes içinde hapsedilmesi.....	35
Şekil 3.12 Yükseltilmiş döşeme üzerinde oturan ekipmanların sismik koruması.....	35
Şekil 3.13 Açık tip titreşim izolatörleri ile birlikte sismik sınırlandırıcı kullanılması.....	36
Şekil 3.14 Sismik sınırlandırıcı bağlantı detayları.....	37
Şekil 3.15 Sismik izolatörler ile monte edilmiş ekipman.....	38
Şekil 3.16 Sismik izolatör bağlantı detayları.....	38

Şekil 3.17 Çelik çatı üzerindeki ekipmanın sismik izolatörlerle yerleştirilmesi.....	39
Şekil 3.18 Çatı üzerinde yükseltilmiş ilave şasiye elastomer contalarla bağlı ekipman.....	39
Şekil 3.19 Duvara doğrudan bağlı ekipmanda sismik koruma.....	40
Şekil 3.20 Duvara bağlı ekipmanda titreşim yalıtımı ve sismik koruma.....	40
Şekil 3.21 Titreşim yalıtımı yapılmamış asılı ekipmanda sismik halat veya çelik profil ile sismik koruma.....	41
Şekil 3.22 Titreşim yalıtımı yapılmış asılı ekipmanda titreşim askısı ve sismik halat kullanımı.....	42
Şekil 3.23 Boru hatlarında sismik bağlantı yerleşimleri için numaralandırma.....	43
Şekil 3.24 Uçlarda birer çift enlemesine sismik bağlantı yerleşimi.....	44
Şekil 3.25 İhtiyaca göre aralarda enlemesine sismik bağlantı yerleşimleri.....	44
Şekil 3.26 Her hat için bir set boylamasına sismik bağlantı yerleşimi.....	45
Şekil 3.27 Hat dönüşü köşelerinde enlemesine ve boylamasına sismik bağlantı yerleşimi.....	45
Şekil 3.28 Tek noktada enlemesine ve boylamasına sismik bağlantı yerleşimi.....	45
Şekil 3.29 Asılı boru hatlarında çelik profiller ile sismik bağlantı.....	46
Şekil 3.30 Asılı boru hatlarında sismik halatlar ile sismik bağlantı.....	47
Şekil 3.31 Trapez üzerindeki boru gruplarında sismik bağlantı.....	47
Şekil 3.32 Farklı ısı genleşme yapan boru gruplarında sismik bağlantı.....	48
Şekil 3.33 Boru hattı üzerindeki pompanın sismik koruması.....	48
Şekil 3.34 Boru hattı üzerindeki tüpün sismik koruması.....	49
Şekil 3.35 Boru hattı üzerindeki ısı değiştirgecinin sismik koruması.....	49
Şekil 3.36 Asılı hava kanallarında sismik halatlar ile sismik bağlantı.....	50
Şekil 3.37 Asılı hava kanallarında çelik profiller ile sismik bağlantı.....	51
Şekil 3.38 Titreşim yalıtımı yapılan hava kanallarında sismik halatlar ile sismik bağlantı.....	51
Şekil 3.39 Çelik profillerle asılmış hava kanalında sismik halatlar ile sismik bağlantı.....	52
Şekil 3.40 Kelepçeyle asılı dairesel kesitli hava kanalında enlemesine sismik bağlantı.....	52
Şekil 3.41 Kelepçeyle asılı dairesel kesitli hava kanalında boylamasına sismik bağlantı.....	53
Şekil 3.42 Asılı trapez üzerine monte edilmiş hava kanalında sismik halatlar ile sismik bağlantı.....	53
Şekil 3.43 Düşey hava kanallarında sismik bağlantılar.....	54
Şekil 3.44 Şaft içindeki düşey hava kanalında titreşim izolatörü kullanımı.....	54
Şekil 3.45 Elektrik tavalarında sismik halatlar ile sismik bağlantı.....	55
Şekil 3.46 Elektrik tavalarında çelik profiller ile sismik bağlantı.....	55
Şekil 3.47 Kolon borularında genleşme/büzüşme alıcı kısımlar (omega) oluşturulması.....	56
Şekil 3.48 Kolon borularında sabit nokta.....	57
Şekil 3.49 Kolon borularında titreşim yalıtımlı sabit nokta.....	57
Şekil 3.50 Kolon borularında boru kılavuzu kullanımı.....	58

Şekil 3.51 Kolon borularında genleşme/büzüşme alıcı uzama kompansatörleri kullanımı.....	58
Şekil 3.52 Kolon borularında ısı boyut değiştirmelere ve titreşime karşı yüzer sistem kullanımı	60
Şekil 3.53 Kolon borularında yüzer sistem örnek hesap formu.....	61
Şekil 3.54 Yüzer sistem uygulanmış kolon borularında sismik halat kullanımı (üstten görünüş)	61
Şekil 3.55 Çelik donatılı betonarme kaide.....	63
Şekil 3.56 Betonarme kaide donatılarının döşeme donatısıyla bağlantı yöntemleri.....	63
Şekil 3.57 Beton kaide üzerindeki ekipmanın ve bağlantı noktalarının kenar mesafeleri.....	64
Şekil 3.58 Beton kaide üzerindeki ekipmanın ve bağlantı noktalarının kenar mesafeleri.....	64
Şekil 3.59 Döşemeye bağlanmamış beton kaidede sismik tedbir amaçlı yanal sınırlandırıcılar	65
Şekil 3.60 Süreksiz döşemelerde ekipman/kaide yanal sınırlandırıcı detayı.....	65
Şekil 3.61 Çelik/beton atalet kaidelerinde titreşim izolatörü uygulaması	66
Şekil 3.62 Çelik/beton atalet kaidelerinde titreşim izolatörüyle birlikte sismik sınırlandırıcı uygulaması	66
Şekil 3.63 Çelik/beton atalet kaidelerinde sismik izolatör uygulaması.....	67
Şekil 3.64 Çeşitli bağlantı elemanları.....	68
Şekil 3.65 Betona gömülü çelik plakaya kaynatılmış sismik izolatör	69
Şekil 3.66 Betona gömülü çelik plakalarla ilgili dikkat edilmesi gereken ayrıntılar.....	69

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 .Dünyadaki ana tektonik levhalar.....	22
Tablo 3.2 Faylanma Teorisi.....	26
Tablo 3.3 Deprem parametreleri.....	26
Tablo 3.4 Türkiye’deki tektonik levhalar.....	27
Tablo 3.5 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.....	27

ÖNSÖZ

Depremlerdeki kayıpların %80'e varan payı deprem sonrası tesisatlarda oluşan hasarlar sebebiyle meydana gelmektedir. Yangın koruma sistemi, duman tahliye fanı, acil durum jeneratörü vb birçok tesisat donanımı, deprem sonrası kesinlikle çalışır durumda olmalıdır. Aksi takdirde can ve mal kaybının önüne geçilmesi olanaksızdır.

Uluslararası standartlar uyarınca tüm tesisatlarda sismik koruma yapılması bir lüks değil olmazsa olmaz bir koşuldur. Ülkemizde beklenen olası depremlere karşı alınması gereken en önemli tedbirlerden biri de hiç şüphesiz hayati derecede önem taşıyan binalarındaki tesisatların bu anlayışla sismik koruma altına alınmasıdır.

Bu tez, ülkemizde son yıllarda giderek yaygınlaşan deprem bilincine katkıda bulunmak ve depremler esnasında ve hemen sonrasında mekanik tesisatlardan kaynaklanacak can kayıplarının ve maddi hasarların en aza indirilmesini sağlayacak öneriler getirmek üzere hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında değerli görüş ve önerileriyle yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Eyüp Akaryıldız ile teknik desteklerini esirgemeyen başta Mak. Müh. Eren Kalafat'a ve diğer çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

ÖZET

Tesisatlar, bir binadaki taşıyıcı sistemden (kolonlar, kirişler, perde duvarlar vs) ve diğer yapısal bileşenlerden farklı olarak, yapısal olmayan bileşenler grubuna girerler. Deprem yükü altında hareket eden yapısal olmayan bileşenler, gerek kendilerine gerekse çevrelerinde bulunan diğer bileşenlere zarar verebilirler. Bundan dolayı tesisatların deprem güvenliğinin sağlanması, olmazsa olmaz bir koşuldur. Bu çalışmada, çeşitli tesisat ekipmanları için sismik koruma yöntemlerinden bahsedilerek, projelendirme ve uygulama esaslarına değinilmiştir.

Bir binadaki yapısal olmayan elemanların, deprem sırasında meydana gelecek kuvvetler dikkate alınarak binaya güvenli bir şekilde, doğru bağlantılar ve elemanlar ile sabitlemesi sağlanarak oluşabilecek hasarlar azaltılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta kazan, soğutma grubu, jeneratör, klima santrali, yangın söndürme boruları, elektrik kablolarının geçtiği tavalar gibi tesisat elemanlarının her birinin deprem davranışı ve bağlantının yapıldığı elemanın özelliklerine dikkat edilerek sabitlemenin yapılmasıdır.

Binaya ait ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri, yangın söndürme sistemleri, elektrik sistemleri, jeneratörler, kazanlar gibi bazı yapısal olmayan elemanların, binanın kullanımı esnasında bulunacakları yerlerin, binanın tasarımı aşamasında belirlenmelidir. Bu elemanların deprem güvenliğinin sağlanması için henüz binanın yapımı aşamasında bu bölgelerde uygulanacak sabitleme yöntemine uygun boyutlarda ve niteliklerde yapılması yararlı olacaktır. Böylece söz konusu tesisat elemanının deprem güvenliğinin sağlanması daha kolay ve doğru bir şekilde yapılmış olacaktır.

Anahtar kelimeler: Deprem, sismik koruma, titreşim, mekanik tesisat

JÜRİ:

1. Doç. Dr. Eyüp AKARYILDIZ (Danışman)

Kabul Tarihi: 05.10.2006

2. Prof. Dr. Galip TEMİR

Sayfa Sayısı : 86

3. Doç.Dr. Nurten VARDAR

ABSTRACT

Mechanical systems are categorized as non-structural components of a building structure apart from columns, beams, carrier walls etc. These components can cause damages to themselves and surrounding components under seismic loads. Hence, seismic protection and earthquake safety precautions of mechanical systems are very essential for today's structures. In this thesis, seismic restraint methods of various mechanical system equipments, project and application criteria are mentioned.

Damages that will be caused by seismic motion can be reduced by restraining and/or fixing of non-structural components in proper ways and proper elements taking predicted seismic loads into account. The crucial point in deciding seismic loads and attachment types is to be careful about which attachment type should be considered for which component. Typical behavior of those components such as boilers, chillers, power generators, air handling units, fire suppression piping, cable trays play a major role here.

It will be very effective to decide where to place any of these non-structural mechanical and/or electrical components of heating, cooling, air handling, fire protection systems during the project planning period of a building. These decisions will help the designing engineers to plan the most proper seismic safety measures while the building is being constructed. Therefore the corresponding components shall be safer against earthquakes in a simple and accurate way.

Keywords: Earthquake, seismic restraint, vibration, mechanical systems

JURY:

1. Doç. Dr. Eyüp AKARYILDIZ (Supervisor)
2. Prof. Dr. Galip TEMİR
3. Doç.Dr. Nurten VARDAR

Date : 05.10.2006

Page : 86

1. GİRİŞ

Depremiñ sözlük anlamı “Yer kabuğunun derin katmanlarının kırılıp yer değıştirmesi veya yanardağların püskürme durumuna geçmesi yüzünden oluşan sarsıntı, yer sarsıntısı, hareket, zelzele.” olarak belirtilmiştir.

Yerkabuğı içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin, dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına “DEPREM” denir. Deprem, insanın hareketsiz kabul ettiğı ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapıların da hasar görüp, can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir doğa olayıdır.

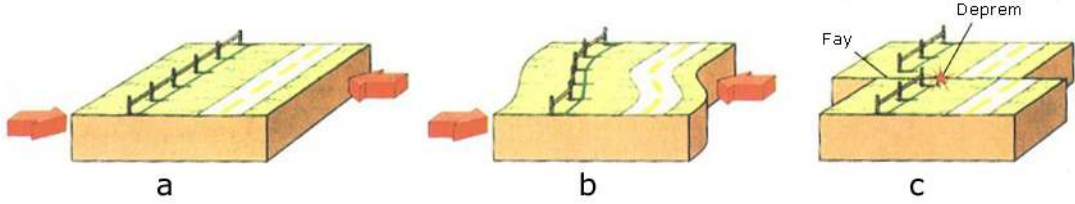
Depremlerin meydana gelmesi; yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirlerine sürtünmeleri, birbirlerini sıkıştırmaları, birbirlerinin üstüne çıkmaları veya altına girmeleri gibi jeolojik hareketlerden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla dünyada meydana gelen depremlerin hemen büyük çoğunluğunun, bu levhaların birbirlerini zorladıkları levha sınırlarında dar kuşaklar üzerinde oluştukları söylenebilir. Günümüzde dünya üzerinde varlığı bilinen ana tektonik levhalar Şekil 1.1’de görölmektedir.



Şekil 1.1 Dünyadaki ana tektonik levhalar

Birbirlerini iten veya biri diğeriñin altına giren iki levha arasında (Şekil 1.2a), harekete engel olan bir sürtünme kuvveti vardır. Bir levhanın hareket edebilmesi için bu sürtünme kuvvetinin giderilmesi gerekir. İtilmekte olan bir levha ile diğeri levha arasında sürtünme kuvveti aşıldığı zaman bir hareket oluşur (Şekil 1.2b). Bu hareket çok kısa bir zaman biriminde gerçekleşir ve

şok niteliğindedir. Sonunda çok uzaklara kadar yayılabilen deprem (sarsıntı) dalgaları ortaya çıkar. Bu dalgalar, depremin oluş yönünden uzaklaştıkça enerjileri azalmak suretiyle, geçtikleri ortamları sarsarak yayılırlar. Bu sırada yeryüzünde, bazen gözle de görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve “fay” adı verilen arazi kırıkları oluşabilir (Şekil 1.2c). Ancak bu kırıklar bazen yeryüzünde gözlenemez; tersine yüzey tabakaları ile gizlenmiş olabilir. Bazen de eski bir depremden oluşmuş ve yeryüzüne kadar çıkmış, ancak zamanla örtülmüş bir fay yeniden harekete geçebilir.



Şekil 1.2 Faylanma Teorisi

Depremler ortaya çıkış nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Dünyada olan depremlerin büyük bir bölümü yukarıda anlatılan biçimde oluşmakla birlikte az miktarda da olsa başka doğal nedenlerle olan deprem türleri bulunmaktadır. Yukarıda anlatılan levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle “tektonik” depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhaların sınırlarında oluşurlar. Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir.

İkinci tip depremler “volkanik” depremlerdir. Bunlar yanardağların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerinde bulunan ergimiş maddelerin yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bu tip depremler yanardağlarla ilgili olduklarından yereldirler ve önemli zararlara neden olmazlar. Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır.

Bir başka tip depremler de “çöküntü” depremlerdir. Bunlar yer altındaki boşlukların ve mağaraların, kömür ocaklarındaki galerilerin, tuzlu ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukların tavan bloklarının çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır; fazla zarar getirmezler.

Depremlerin nasıl ve neden oluştuklarının incelenmesi, bu kitabın yazılma amacının dışında kaldığından ötürü, burada daha fazla ayrıntıya girilmeyecektir. Depremlerle ilgili daha fazla bilgi için, kitabın sonundaki kaynaklardan yararlanılabilir.

1.1. Terimler

Depremle ilgili araştırmalarda kullanılan birçok terim bulunmakla beraber, bu bölümde sadece kitabın konusuyla ilgili olan ve kitap boyunca karşılaşılabilecek terimlerden bahsedilecektir.

Depremle ilgili terimlerin en başında “sismik” ve “sismoloji” kelimeleri gelir. Sismik kelimesi depremle ilgili anlamına gelmektedir. Buna göre; örneğin sismik yük dendiğinde depremde kaynaklanan yükler, sismik koruma dendiğinde ise depremde koruma demek istenmektedir.

Depremde nasıl oluştuğunu, deprem dalgalarının yerküre içinde ne şekilde yayıldıklarını, ölçü aletleri ve yöntemlerini, kayıtların değerlendirilmesini ve deprem ile ilgili diğer konuları inceleyen bilim dalına “sismoloji” denir.

Depremlerden bahsederken kullanılan bazı terimler deprem parametreleri olarak adlandırılırlar. Bu parametrelerden kitabımızdaki konuyla ilgili olanlar aşağıda tanımlanmıştır.

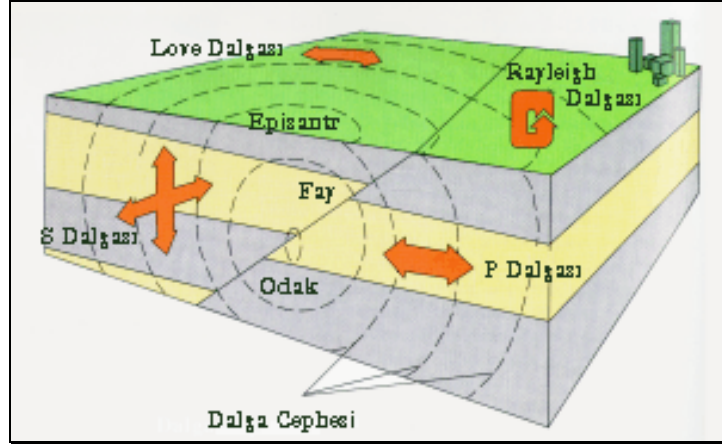
Odak Noktası (Hiposantr)

Yer kabuğunun içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktaya odak noktası veya iç merkez denir. Gerçekte enerji tek bir noktada değil bir alanda ortaya çıkmaktadır. Ancak pratikte burası bir nokta olarak kabul edilir (Şekil 1.3).

Dış Merkez (Episantr)

Yer yüzeyinde odak noktasına en yakın olan noktadır. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli hissedildiği noktadır. Gerçekte burası da tek bir noktadan çok bir alandır ve depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir.

Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometrekare olabilir. Bu nedenle “Episantr Bölgesi” ya da “Episantr Alanı” olarak tanımlama yapılması daha gerçekçi olacaktır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Deprem parametreleri

Deprem Dalgaları

Kitabın konusu açısından deprem dalgalarının önemi; deprem anında herhangi bir noktada, örneğin bir binanın belirli bir katındaki odada meydana gelen deprem yüklerinin, yalnızca yatay düzlemde değil, düşey doğrultular da dahil olmak üzere her yönde etki edeceği gerçeğini göstermesidir (Şekil 1.3).

Buna göre, bir tesisat donanımında sismik koruma yapılabilmesi için, söz konusu donanımın yatay ve düşey tüm düzlemlerde 360° boyunca her yönden etkiyebilecek deprem yüklerine karşı korunmuş olması gerekir.

Odak Derinliği

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzüne olan uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Tektonik depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Buna göre yerin 0-60 km derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelenir. Yerin 70-300 km derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km'den fazla derinliğinde olan depremlerdir.

Türkiye'de meydana gelen depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km arasındadır. Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler.

Büyükölük (Magnitude) veya Richter Ölçeği

Deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak depremin büyüklüğü (magnitude) tanımı kullanılır. Gerçekte deprem enerjisinin doğrudan doğruya ölçölmesi olanağı yoktur. Bu sebeple depremin büyüklüğü parametresi, 1935 yılında ABD'de Prof. Richter tarafından

bulunan bir yöntemle aletsel olarak belirlenen ölçümlere dayandırılmaktadır. Richter, dış merkezden 100 km uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden ölçülen azami genliğinin logaritmasını bir depremin büyüklüğü olarak tanımlamıştır.

Richter Ölçeği yardımıyla bir depremin büyüklüğünü gözlemlerden ve hasar durumlarından bağımsız olarak saptamak mümkündür. Ancak bir depremin büyüklüğü, depremde meydana gelecek hasarlar ile doğrudan orantılı değildir. Çünkü bir deprem sığ veya derin odaklı olabilir. Büyüklüğü aynı olan iki depremden sığ olanı daha çok hasar yaparken, derin olanı daha az hasar yapacaktır.

Şiddet

Herhangi bir derinlikte meydana gelen bir depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü depremin şiddeti olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti; onun doğa, yapılar ve insanlar üzerindeki hasarlı etkilerinin bir ölçüsüdür. Bu etkiler; depremin büyüklüğüne, odak derinliğine ve dış merkezden uzaklığa bağlı olarak değişiklikler gösterebilmektedir. Şiddet, depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermemekle beraber, deprem dolayısıyla oluşan hasarları yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır.

Depremin şiddeti, bugüne kadar yaşanmış depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan Şiddet Cetvelleri'ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle "Deprem Şiddet Cetvelleri" depremin etkisinde kalan canlı ve cansız her şeyin depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

Günümüzde kullanılan başlıca şiddet cetvellerinde değerler romen rakamlarıyla gösterilmektedir ve I-XII arası şiddet derecelerini kapsamaktadır. Bu cetvellere göre, şiddeti V ve daha küçük olan depremler genellikle yapılarda hasar meydana getirmezler ve insanların depremi hissetme şekillerine göre değerlendirilirler. VI-XII arasındaki şiddetler ise depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasar ve arazide oluşturduğu kırılma, yarıлма, heyelan gibi bulgulara dayanılarak değerlendirilmektedir.

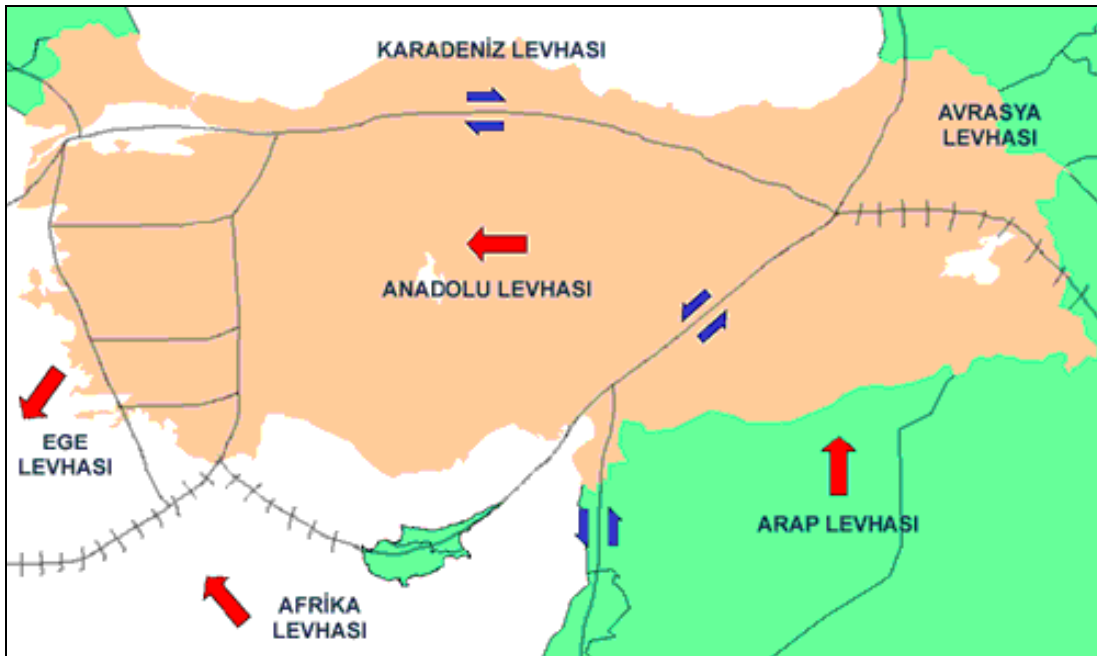
Bir deprem oluştuğunda, bu depremin herhangi bir noktadaki şiddetini belirlemek için, o bölgede meydana gelen etkiler gözlenir. Bu izlenimler Şiddet Cetveli'ndeki hangi tanıma uygunsa o şiddet derecesi olarak değerlendirilir. Örneğin bir depremin neden olduğu etkiler,

şiddet cetvelinde VIII şiddet olarak tanımlanan bulguları içeriyorsa, o deprem VIII şiddetinde bir deprem olarak tariflenir.

1.2. Türkiye'nin Depremselliği

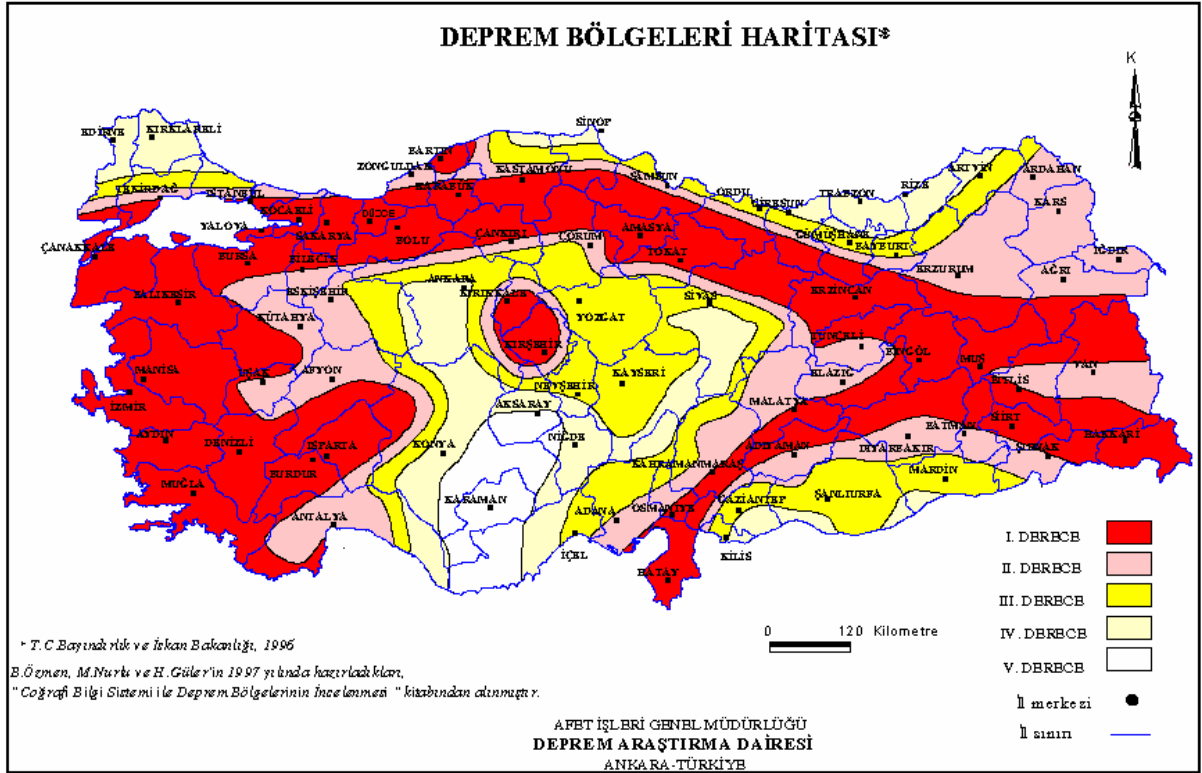
Dünyamızda en büyük ve en çok zarara yol açan depremlerin yaşandığı 2 önemli deprem kuşağından biri, Japonya'yı ve Kuzey Amerika kıtasının batısını etkileyen Pasifik Deprem Kuşağı, diğeri ise Türkiye'yi de etkileyen Akdeniz – Himalaya Deprem Kuşağı'dır.

Avrasya-Afrika-Arap ana tektonik levhaları arasında bulunan Türkiye'nin (Şekil 1.1), bu büyük levhalar arasında yer alan nispeten küçük daha fazla sayıda levhadan ötürü neredeyse tamamının deprem kuşağı içinde olduğu bir gerçektir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Türkiye'deki tektonik levhalar*

* www.deprem.gov.tr



Şekil 1.5 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası*

2. TESİSATLARIN DEPREM DAVRANIŞI

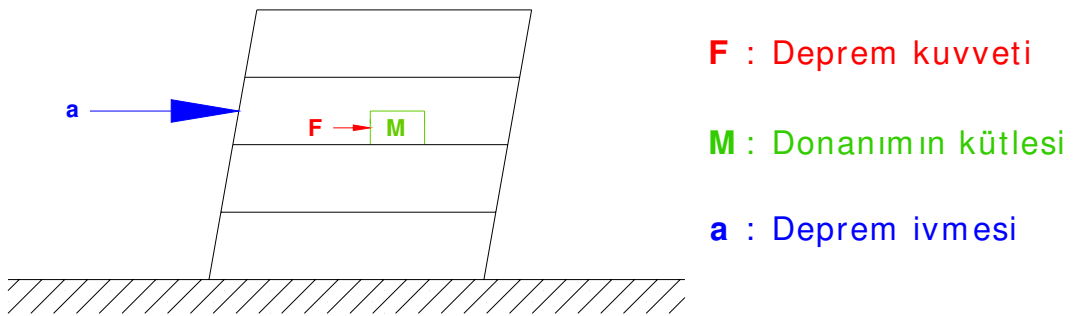
Tesisatlar, bir binadaki taşıyıcı sistemden (kolonlar, kirişler, perde duvarlar vs) ve diğer yapısal bileşenlerden farklı olarak, yapısal olmayan bileşenler grubuna girerler. Yapısal olmayan bileşenler, binanın iskeletinden ve yapısal bileşenlerinden farklı bir kütle sistemi olarak düşünülmelidir.

Deprem yükü altında hareket halindeki bir binada yer alan yapısal olmayan bileşenler, şayet bulundukları noktada binaya sabit (rijit) durumda değillerse, deprem anında farklı hareketlere maruz kalacaklardır. Böyle bir durumda bu bileşenler gerek kendilerine gerekse çevrelerinde bulunan diğer bileşenlere zarar verebilirler.

Kitabımızın konusu tesisatlar olduğundan, diğer yapısal olmayan bileşenlerin deprem davranışlarından burada bahsedilmeyecektir. Tesisatların deprem davranışı ise, ekipmanlarda titreşim yalıtımı yapıp yapılmamasına bağlı olarak farklı özellikler gösterebilir.

2.1. Kuvvet – İvme İlişkisi ve Titreşim Yalıtımı

Bir binanın herhangi bir katında yer alan bir tesisat donanımına deprem anında etkiyen kuvvet, donanımın bulunduğu noktada ortaya çıkan deprem ivmesinin bir sonucudur. Depremi sebep olduğu (a) ivmesine bağlı olarak (m) ağırlığındaki bir tesisat donanımına etkiyen deprem kuvveti (F), klasik fizikteki ($F = m \cdot a$) denklemiyle hesaplanır (Şekil 2.1). Burada belirlenmesi gereken değer (a) ivmesidir ve bu değer çeşitli uluslar arası standartlara göre farklı yöntemlerle belirlenir.



Şekil 2.1 Tesisat donanımına etkiyen deprem kuvveti

Bir tesisat ekipmanı veya boru, hava kanalı gibi bir donanım; bulunduğu noktada sabit veya hareketi sınırlandırılmış olarak yerleştirilmemişse, deprem anında donanımın ağırlığına bağlı olarak belirlenen sismik yükün etkisi altında yerinden hareket edecektir. Bu hareket yatayda olabileceği gibi düşeyde de gerçekleşebilir.

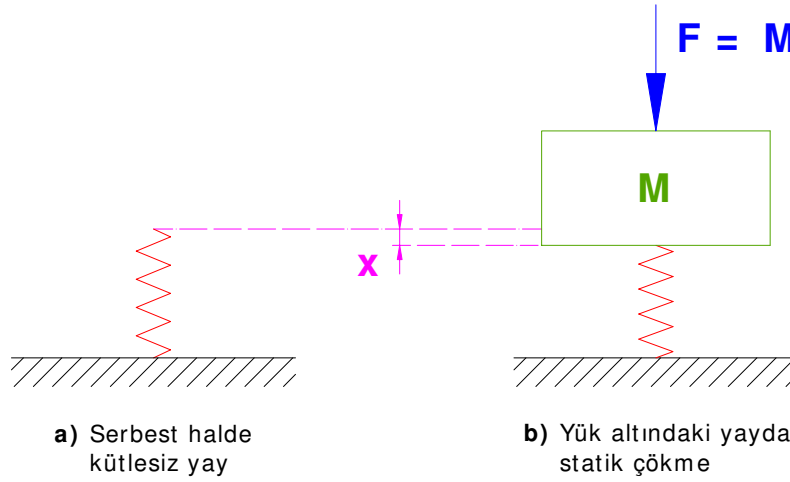
Şekil 2.2’de ağırlık merkezine etkiyen yatay sismik yükün etkisi altındaki bir kütlenin devrilme hareketi görülmektedir.

2.1.1. Kütle-Yay Sistemleri

Herhangi bir yaya bir kuvvet uygulandığında, yayın sahip olduğu mukavemet özelliklerine bağlı olarak yayda bir esneme meydana gelir. Bu esneme özelliği yayın (K) yay sabiti ile ifade edilir. Bir (F) kuvvetinin etkisi altında (x) kadar esneme yapan bir yayın (K) yay sabiti Denklem (1) ile hesaplanır.

$$K = \frac{F}{x} \quad (\text{Denklem 2.1})$$

Şekil 2.3’de bir yayın serbest haldeki ve üzerinde bir (M) kütlesi varken davranışları görülmektedir. Burada yay üzerindeki yük, (M) kütlesinin yerçekimi ivmesi (g) ile çarpımına eşit olan (F) ağırlık kuvvetidir.



Şekil 2.2. Bir yayın serbest haldeki ve yük altındaki davranışları

Kuvvet altındaki esneyen bir yay, etki eden kuvvet ortadan kalktığında belirli bir frekansta titreşim yapar. Buna cismin doğal frekansı (f_n) denir ve cismin (K) yay sabiti ile (M) kütlesinin bir fonksiyonu olarak Denklem (2.2) ile belirlenir. Gerçekte bir cismin (K) yay sabiti, (x) esneme miktarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden ötürü doğrusal bir denklem tam sonucu vermeyecektir. Ancak pratikte, özellikle çelik malzemeler için, doğrusal denklemin vereceği sonuçlar kabul edilebilir.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (\text{Denklem 2.2})$$

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi durağan bir (M) kütleinin yay üzerinde oluşturduğu yük, bu kütleinin ağırlığı anlamına gelen ($F = M \cdot g$) kuvvetidir. Denklem (2.1)’de gördüğümüz üzere (K) yay sabiti (F) kuvvetinin yaydaki (x) esnemesine bölünmesiyle elde edildiğine göre; Denklem (2.2)’de (K) yerine (F / x) ve (M) yerine de (F / g) yazarsak, Denklem (2.3) elde edilir.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{x}} \quad (\text{Denklem 2.3})$$

Denklem (2.3)’te (g) yer çekimi ivmesinin metrik birimlerle $9,81 \text{ m/s}^2$ olan yaklaşık değeri yerine konulduğunda, (fn) doğal frekansının (K) yay sabitinden ve (M) kütleinden bağımsız olarak, sadece yaydaki (x) esneme miktarının bir fonksiyonu olduğu sonucu ortaya çıkar (Denklem 2.4). Burada (x) esneme miktarı statik çökme olarak adlandırılır ve formülde metre cinsinden yer alır. Doğal frekans (fn) ise (1/saniye) olarak da ifade edilebilen Hertz (Hz) cinsinden bulunur. Doğal frekans (fn) devir/dakika cinsinden bulunmak istendiğinde sonuç 60 ile çarpılmalıdır (1 dakika = 60 saniye).

$$f_n = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{x}} \quad (\text{Denklem 2.4})$$

2.1.2. Titreşim Yalıtımı ve Sismik Koruma

Titreşim yalıtımı yapılacak ekipmanlarda deprem koruması 2 şekilde yapılabilir:

- Hareketi sınırlandırılmış sismik izolatörler kullanılarak.
- Sismik koruma özelliği olmayan titreşim izolatörleri (örneğin açık yaylı izolatörler) kullanılıyorsa, bunlarla beraber sismik sınırlandırıcılar kullanılarak.

2.2. Zorlamalı Titreşimler ve Rezonans

Dönme ve/veya öteleme şeklinde hareket yapan bir cismin, belirli bir frekansta titreşime sebep olur. Buna cismin zorlamalı frekansı (fd) denir. Örneğin bir pompanın veya kompresörün çalışma devri, bu ekipmanın yaptığı titreşimin zorlamalı frekansıdır.

Bir ekipmanın sebep olduğu titreşimin kaynağının, ekipman üzerinde dönme ve/veya öteleme hareketi yapan dengelenmemiş bir kütle veya kütleler grubudur. Bu dengelenmemiş kütleinin sebep olduğu titreşimin enerjisi, titreşimin genliğinin büyüklüğü ile orantılıdır. Bu genliğin, titreşimden kaynaklanan ve yapıya iletilen enerjiden kaynaklanan genliğe oranı titreşim iletimi (T) olarak adlandırılır. Titreşim yalıtımı verimi ise yüzdesel olarak belirlenen bu değerin tersidir ($1 - T$).

Buna göre titreşimden kaynaklanan ve yapıya iletilen enerji ne kadar az ise, titreşim iletiminin de o kadar az olduğu, bir başka deyişle titreşim yalıtımı veriminin o kadar fazla olduğu söylenebilir. Genlikler oranı olarak da ifade edilebilen titreşim iletiminin basitleştirilmiş formülü Denklem (2.5) ile verilmiştir.

$$T = \frac{100}{\left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2 - 1} [\%] \quad (\text{Denklem 2.5})$$

Yukarıda yapılan hesaplamalar neticesinde, bir yayın (f_n) doğal frekansının (K) yay sabiti ve yay üzerindeki (M) kütlesinden bağımsız olarak, sadece yaydaki (x) statik çökmesinin bir fonksiyonu olduğunu belirlemiştik. Bunun anlamı, titreşim yalıtımı yapılmak üzere izolatörlerin üzerine yerleştirilen bir ekipman için titreşimin yalıtımı hesabı yapılırken, sadece tek bir kriterin önemli olduğudur: Frekanslar oranı (f_d / f_n).

ÖRNEK SORU (1):

Titreşim yalıtımı yapılması istenen bir fan 1.000 devirde çalışmaktadır. Bu fan için 1" (2,54 cm) statik çökmeli yaylı izolatörlerle ve 0,18" (0,46 cm) statik çökmeli kauçuk levha tipi izolatörlerle yapılacak titreşim yalıtımlarının verimlerini hesaplayınız.

YANIT (1):

Fanın zorlamalı frekansı $f_d = 1.000$ d/d olarak verilmiştir. İzolatörün doğal frekansı Denklem (2.4) ile hesaplanır:

$$f_n (\text{yaylı izolatör}) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{x}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{0,0254}} = 3,137 \text{ Hz} \cong 188 \text{ d/d}$$

$$f_n (\text{kauçuk levha tipi izolatör}) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{x}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{0,0046}} = 7,372 \text{ Hz} \cong 442 \text{ d/d}$$

Her iki tip izolatör için de frekanslar oranı bilindiğine göre titreşim iletimleri Denklem (2.5) ile hesaplanır ve çıkan sonuçların tersi alınarak titreşim yalıtım verimleri bulunur:

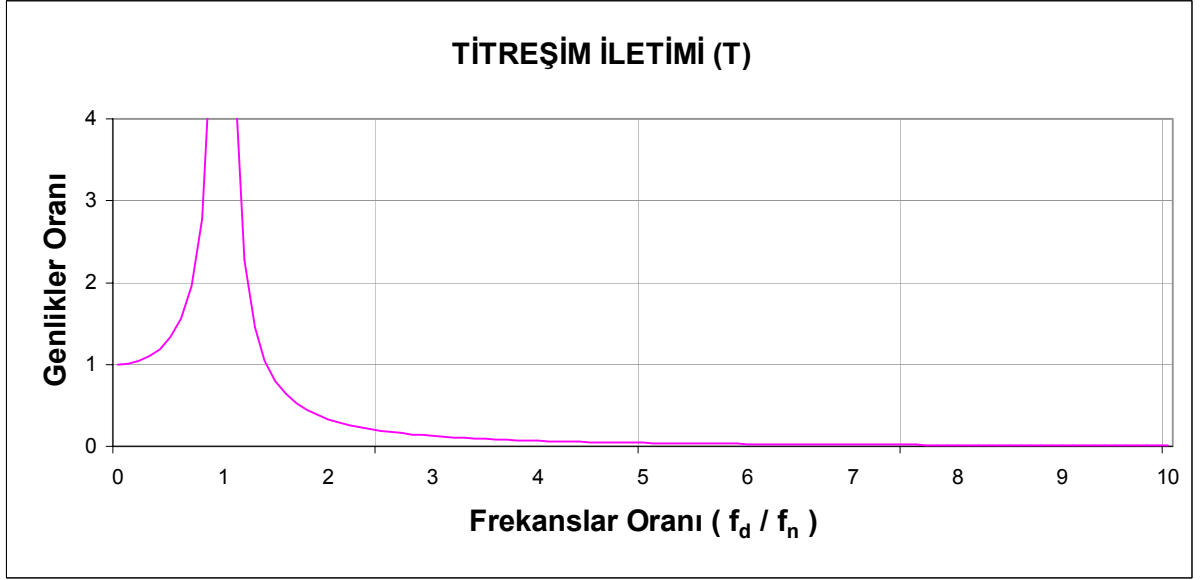
$$T_{\text{yaylı izolatör}} = \frac{100}{\left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2 - 1} = \frac{100}{\left(\frac{1.000}{188}\right)^2 - 1} = 3,7 [\%]$$

$$\text{Yaylı izolatör ile titreşim yalıtımı verimi} = 100 - 3,7 = 96,3 [\%]$$

$$T_{\text{kauçuk levha tipi izolatör}} = \frac{100}{\left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2 - 1} = \frac{100}{\left(\frac{1.000}{442}\right)^2 - 1} = 24,3 \text{ [\%]}$$

Kauçuk levha tipi izolatör ile titreşim yalıtımı verimi = $100 - 24,3 = 75,7 \text{ [\%]}$

Yukarıdaki örnekten de görüldüğü üzere, titreşim yalıtımı verimi, sadece izolatörlerdeki statik çökmenin bir fonksiyonudur. Üstelik (f_n) doğal frekansın (f_d) zorlamalı frekansa eşit olması halinde (T) titreşim iletimi sonsuza gider. Bu durum, frekansların üst üste gelmesi olarak bilinen rezonans durumudur ve titreşim yapan ekipmanların ve hatta çevrelerindeki donanımların hasar görmesi ile sonuçlanabilir.



Şekil 2.3. Statik çökmeye bağlı genlikler oranı olarak titreşim iletimi (sönümsüz)

Şu ana kadar titreşimlerin teorik olarak sönümsüz olduğunu varsaydık. Gerçekte ise her serbest titreşim sönümlenir. Zorlamalı titreşimlerde ise titreşim izolatörlerinin yalıtım etkisinin dışında bir de sönümlemenin etkisi hesaba katılmalıdır. Dolayısıyla titreşim iletimi denkleminde sönümlemenin de yeri olmalıdır. Sönüm faktörü (ζ) için titreşim iletimi Denklem (2.6) ile belirlenir.

$$T = 100 \sqrt{\frac{1 + \left(2\zeta \frac{f_d}{f_n}\right)^2}{\left(1 - \frac{f_d^2}{f_n^2}\right)^2 + \left(2\zeta \frac{f_d}{f_n}\right)^2}} [\%] \quad (\text{Denklem 2.6})$$

Burada, izolatörün kendi yapısından kaynaklanan sönümün yanı sıra, bir de titreşim yapan kütlenin iç yapısından meydana gelen sönüm önem kazanmaktadır. Çelik yayların sönüm oranı ihmal edilebilir boyutlarda kalırken, kauçuk izolatörlerde statik çökmeye bağlı olarak artan sönüm katsayısı önemli boyutlarda olabilmektedir. Şekil 10'da çeşitli sönüm oranları için titreşim iletiminin değişimi görülmektedir. Buna göre sönüm oranı arttıkça rezonans tehlikesi azalmakta, ancak bununla beraber titreşim yalıtım verimi de azalmaktadır.

2.3. Titreşim Altındaki Ekipmanlara Etkiyen Sismik Yükler

Tesisat ekipmanları, titreşim yapanlar ve titreşim yapmayanlar olarak iki gruba ayrılırlar. Pompalar, fanlar, kompresörler, soğutma grupları, soğutma kuleleri, jeneratörler vb titreşim yapanlar grubuna girerken; ısı değiştiriciler, elektrikli ısıtıcılar, susturucular, elektrik panoları vb titreşim yapmayan ekipmanlar grubuna girmektedir.

Borular ve hava kanalları, normalde titreşim yapmayan donanımlar olarak düşünülebilir. Ancak belirli büyüklüklerdeki borularda ve hava kanallarında dolaştırılan akışkanlardan kaynaklanan dinamik yükler ve türbülanslar kayda değer boyutlara ulaştığında bunlar da titreşim yapan donanımlar grubuna girerler. Ayrıca bu borular ve hava kanalları, titreşim yapan ekipmanlara bağlı olduklarında, kendiliklerinden titreşim yapmasalar da bağlı oldukları ekipmanda meydana gelen titreşimleri iletirler.

Titreşim yapan ekipmanlardaki titreşimlerin kaynağı, bu ekipmanların dönme veya öteleme şeklinde bir hareket yapıyor olmasından kaynaklanır. Örneğin bir pompanın veya fanın motorunda oluşturulan dönme hareketi, aktarma organları (miller, kavramalar vs) vasıtasıyla, dönmesi istenen bileşene iletilir. Bu bileşen bir fanın pervanesi veya bir pompanın çarkı olabilir. Öteleme hareketi yapan bir ekipmana örnek olarak ise bir pistonlu kompresör gösterilebilir.

Gerek dönme gerekse öteleme durumunda dengelenmemiş bir kütleler grubunun varlığı söz konusudur; miller, kayış-kasnaklar, pervaneler, çarklar vb... Her ne kadar ekipman üreticisi firmalar, bu bileşenlerin mümkün mertebe dinamik balanslı olmasını sağlamaya gayret etseler de, pratikte dengelenmemiş bir miktar kütle mevcut olacaktır. İşte bu kütlenin büyüklüğüne

ve dengesizliğin derecesine bağılı olarak, dönme ve/veya öteleme hareketi yapan ekipmanlar, belirli bir kuvvete ve frekansa sahip bir titreşim oluşturlar.

Tesisat ekipmanlarından kaynaklanan titreşimlerin sebep olacağı olumsuz etkileri azaltmak üzere titreşim yalıtımı yapılması, çoğu zaman bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Titreşim yalıtımı en başta insan sağlığı ve konforu, tesisatın verimli çalışması, tesisat ekipmanının kullanım ömrünün artırılması vb gibi gereksinimler açısından büyük önem taşır. Bunun için tesisat ekipmanlarının, ihtiyaca göre çeşitli tiplerde titreşim izolatörleri üzerine yerleştirilmeleri veya asılı ekipmanların titreşim askıları ile asılmaları suretiyle titreşim yalıtımı yapılır.

Titreşim yalıtımı yapılmış bir ekipmana etkiyen deprem yükleri, sabit olarak monte edilmiş bir ekipmana etkiyen yüklerden daha fazla ve daha tehlikeli olur. Takip eden bölümlerde öncelikle titreşim yalıtımının teorisi üzerine genel bilgiler verilecek, daha sonra titreşim yalıtımı yapılmış ekipmanlara etkiyen deprem yükleri anlatılacaktır. Titreşim mekaniği ile ilgili ayrıntılı bilgi için kaynaklardan yararlanılabilir.

2.4. Tesisatlardan Kaynaklanan Hasarlar

Modern binalarda tesisatların maliyeti, binanın toplam maliyeti içinde çok büyük oranlara varmaktadır. Yüksek kapasiteli ve teknoloji ağırlıklı cihazlar olan soğutma grupları, soğutma kuleleri, sıcak su kazanları, klima santralleri, pompalar, hidroforlar, jeneratörler vb tesisat ekipmanları, kendi başlarına dahi çok yüksek maliyetler getirmektedirler. Üstelik bu ekipmanların boru ve kanal tesisatlarına olan bağlantıları ile boru ve kanal hatlarının kendileri de kayda değer bedellere mal olmaktadır.

Ancak maddi kaygılardan çok daha önemlisi, insanların can güvenliğidir. Örneğin bir binadaki yangından korunma ve acil durum sistemleri, ancak tesisatlar sayesinde çalışır vaziyette olabilmektedir. Nitekim uluslar arası sigorta ve reasürans kurumlarının yaptığı araştırmalara göre, bir deprem sonrasında meydana gelen hasarların ve kayıpların %80'e varan kısmı yangınlardan kaynaklanmaktadır.

Takip eden bölümlerde, tesisatlarda deprem korumasının yapılmadığı ve/veya yanlış yapıldığı durumlarda meydana gelebilecek hasarlar anlatılacaktır. Gerçek hayattan örneklerle yapılacak bu anlatımda, mümkün olduğunca gerçek fotoğraflardan ve şematik çizimlerden yararlanılacaktır.

2.4.1. Önlem Alınmamış Tesisatlar

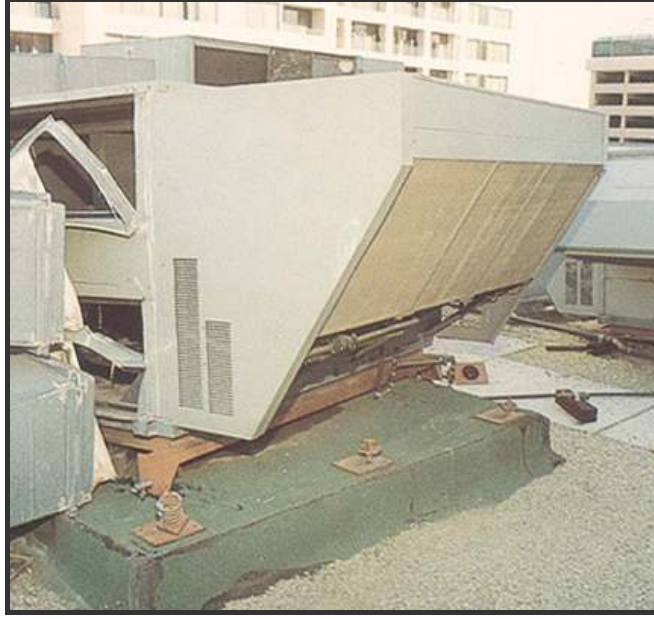
Bir tesisat ekipmanı veya boru, hava kanalı gibi bir donanımın; bulunduğu noktada sabit veya hareketi sınırlandırılmış olarak yerleştirilmemesi halinde, deprem anında donanımın ağırlığına bağlı olarak belirlenen sismik yükün etkisi altında yerinden hareket edecektir. Bu hareketler sonucunda ekipmanın veya donanımın hem kendisine hem de çevresindeki diğer donanımlara zarar vermesi kaçınılmazdır.

Şekil 2.4a'da kaidesine bağlanmamış bir soğutma kulesinin, depremden sonra devrilmiş hali görülmektedir. Şekil 2.4b'de ise duvar geçişinde tedbir alınmamış boruların depremde hem kendilerinde hem de duvarda meydana getirdikleri hasarlar görülmektedir.



Şekil 2.4. Deprem koruması yapılmamış tesisat donanımlarında hasar oluşumu

Titreşim yalıtımı yapılmak üzere açık yaylı izolatörler üzerine yerleştirilen ve fakat beraberinde sismik sınırlandırıcı kullanılmamış olan bir çatı tipi paket klima (rooftop) cihazında deprem sonrasında meydana gelen hasarlar Şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5. Titreşim yalıtımı yapılmış, ancak deprem koruması olmayan tesisat ekipmanlarında hasar oluşumu

2.4.2. Yanlış Seçilmiş Sismik Koruyucular

Tesisatlarda kullanılacak sismik izolatör ve/veya sınırlandırıcılar, uygun yöntemlerle belirlenmiş sismik hesaplara göre seçilmelidir. Genel tesisat deneyimlerine dayanarak sismik izolatör ve/veya sınırlandırıcı seçilmesi halinde meydana gelebilecek hasarlara örnek olarak Şekil 2.6'daki soğutma grubu ve Şekil 2.7'deki pompa şasisi gösterilebilir.



Şekil 2.6. Sismik izolatörleri yanlış seçilmiş ve yanlış monte edilmiş (kaideye bağlanmamış) bir soğutma grubunda, deprem sonrası meydana gelen hasar



Şekil 2.7. Açık yaylı izolatörlerle birlikte kullanılmak üzere seçilmiş, ancak gereğinden küçük boyutlandırılmış sismik sınırlandırıcılar sebebiyle pompa şasisinde hasar oluşumu

2.4.3. Bağlantı Hataları

Tesisat donanımlarının kendi başlarına sismik korumalarının yapılması tam anlamıyla yeterli olmayacaktır. Donanıma bağlanacak boru, hava kanalı vs hatların da sismik açıdan uygun olmaları şarttır. Ayrıca sismik koruma amacıyla alınan tedbirlerde, tesisat ekipmanı ve/veya sismik donanım ile yapı arasındaki bağlantıların da uygun yöntemlerle hesaplanmış sismik yüklere karşı yeterli dayanımda olduğundan emin olunması gerekmektedir. Takip eden bölümlerde ekipman bağlantılarında ve yapısal bağlantılardaki hatalar sebebiyle depremde meydana gelen hasarlara dair örnekler görülmektedir.

2.4.3.1.Ekipman Bağlantıları

Şekil 2.8’de bir soğutma grubunun boru bağlantısında sismik tedbir alınmadığından ötürü deprem esnasında kopmayla meydana gelen hasar görülmektedir. Boru, soğutma grubunun gövdesiyle birlikte koparak ayrılmıştır.

Bu hasar, özellikle mekanik odalarda ve tesisat katlarında sadece tesisat ekipmanlarında değil, ayrıca bunlara bağlanan borularda, hava kanallarında ve diğer tesisat hatlarında da sismik koruma yapılmasının ne derece önemli olduğunun bir ispatıdır.



Şekil 2.8. Soğutma grubunun boru bağlantısında meydana gelen hasar

2.4.3.2.Yapısal Bağlantılar

Şekil 2.9’da sismik izolatörler ile betonarme kaideye bağlı bir pompanın izolatörlerinin deprem esnasında kaideden koparak ayrılmasından dolayı meydana gelen bir hasar görülmektedir.

Burada yapılan hata, sismik izolatörün betonarme kaide ile bağlantısının sismik açıdan uygun olmamasından dolayı meydana gelmiştir. Sismik izolatörlerin beton kaidelere bağlantılarında dübel derinliği ve kenar mesafeleri uygun yöntemlerle hesaplanmadığı takdirde, bu gibi hasarlar kaçınılmazdır.



Şekil 2.9. Sismik izolatör ile kaide arası bağlantıdan kaynaklanan hasar

3. TESİSATLARDA DEPREM GÜVENLİĞİ

Deprem anında bir binadaki tesisat donanımlarına (yapısal olmayan bileşenlere) etkiyen yüklerin hesaplanması, farklı yönetmeliklerde farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Ancak sonuçta her yönetmelik aynı amaca hizmet etmektedir: Tesisatların depremden korunması.

Hesap yöntemleri, geçmiş deneyimlere ve yaşanmış depremlerden sonra yapılan gözlemlere dayanarak oluşturulmuş denklemler, tablolar ve çizelgeler yardımıyla belirlenmiştir. En basitinden en detaylısına kadar değişik hesap yöntemleri mevcuttur. Bunlar arasından hangisinin uygulanacağı, ilgili projenin şartnamesinde belirtilmelidir. Bunun belirtilmediği durumlarda uygulayıcı, yerel yönetmeliklere uymakla yükümlüdür.

Tesisatlarda sismik koruma uygulamaları, yönetmeliklere göre zorunlu görülen yerlerde kesinlikle yerine getirilmelidir. Ancak işveren, proje sahibi ve/veya bunların yetkili kıldığı danışman, müşavir veya kontrolün görüşlerine bağlı olarak, şartnameler yönetmeliklerde belirtilenlerden daha fazlasını gerektirebilirler.

3.1. Deprem Yönetmelikleri

Tesisatlarda sismik koruma gerekliliğinin ilk kez büyük San Francisco (1906) depreminden sonra ciddi olarak ele alınmaya başlandığı söylenebilir. Bu depremden sonra yapılan incelemelerde, deprem sonrasında meydana gelen hasarların %50-80 arası kısmının, deprem sonrası yangınlardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Şekil 3.1’de bu depremden sonra çıkan yangınlar görülmektedir. Resimlerden de görüldüğü üzere depremden sonra nispeten sağlam kalan binalar, müdahale edilemeyen yangınlar sebebiyle hasara uğramaktadır.

San Francisco’nun bu büyük depremden sonra yeniden kurulması esnasında yöneticiler deprem tehlikesini en aza indirebilmek için depreme özel inşaat standartlarının ve yönetmeliklerin yazılması sürecini başlattılar. Ancak günümüzdekilere benzer nitelikte ilk yönetmelik 1927 yılında yayınlanan Tekdüze Bina Kodu (UBC – Uniform Building Code) oldu.



Şekil 3.1. Büyük San Francisco (1906) Depremi Sonrasında Çıkan Yangınlar

Depremler unutulup 20. yüzyılın ilk yarısının sonuna yaklaşırken ABD gökdelenler ülkesi olarak adlandırılmaya başlamıştı bile. Binalarda aranan konfor şartları artmış, yapı daha bileşenlerinin hafiflemesiyle birlikte binalar yükselmiş ve genişlemiş, özellikle şehir merkezlerindeki binaların metrekare satış ve kiralama bedelleri çok yüksek seviyelere ulaşmıştı.

Bu durum, binalardaki tesisatların yoğunluğunun ve kalitesinin artmasına sebep olmaktaydı. Eskiden olduğu gibi sadece ısıtma ve sıhhi tesisata sahip binalardan ziyade, havalandırma ve klima tesisatlarına sahip, yoğun elektrik ve otomasyon tesisatlarının da yer aldığı büyük gökdelenler ve bina kompleksleri inşa edilmeye başlanmıştı. Sonuçta tesisatlardan kaynaklanan gürültü sorunlarının daha verimli çözülmesi için binalarda titreşim yalıtımı yapılması yaygınlaşmıştı.

1971 San Fernando depremi, yine büyük acıların yanı sıra yeni deneyimlerin kazanılmasıyla sonuçlandı. Titreşim yalıtımı yapılmış tesisat bileşenlerinin depremde çok daha fazla tehlikeye maruz kaldığı gerçeği, büyük bedeller ödeyerek öğrenilmişti. Yönetimlerin yanı sıra tasarımcılar, yükleniciler ve müşavirler de tesisatlarda sismik korumanın başlı başına bir uzmanlık konusu olarak ele alınmasının gerekliliğini kabul etmişlerdi.

ABD’de yaşanan bu büyük depremler, uluslararası inşaat standartlarının gelişmesiyle sonuçlanmaktaydı. Bu süreç günümüzde halen devam etmektedir. Yaşanan her yeni deprem, insanoğlunun deneyimlerini artırmakta ve kaçınılmaz olan bir sonraki deprem için alınacak önlemlere dair ipuçları vermektedir.

Benzer şekilde büyük depremlerin yaşandığı Japonya, Avustralya ve Yeni Zelanda; kısmen içe kapalı ülkeler olmalarından kısmen de ülkeler arası küresel politikalarda nispeten az yer

almalarından dolayı yaşadıkları deneyimleri Dünya'nın geri kalanı ile paylaşmaktadırlar. Küresel politikalarda büyük etkisi olan Avrupa ise büyük depremlerin yaşanmadığı bir kıta olmasından dolayı bu süreçlerde yer almamaktadır.

Sonuç olarak Türkiye'de deprem yönetmeliklerinin hazırlanmasında en çok faydası ve etkisi olan uluslar arası standart olarak karşımıza Uluslararası Bina Kodu (IBC) çıkmaktadır. Halen ülkemizde geçerli olan deprem yönetmeliğinin yanı sıra Uluslararası Bina Kodu (IBC) ve bazı diğer önemli yönetmelikler, bu bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

3.1.1. T.C. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Türkiye'de 2005 yılı itibariyle halen yürürlükte olan deprem standardı T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından ilk sürümü 1997 yılında yayınlanmış olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'tir. Bu yönetmeliğin 6.11.2 numaralı maddesi altında mekanik ve elektrik donanımına etkiyen deprem yüklerinin nasıl hesaplanacağı anlatılmıştır. Buna göre Madde 6.11.2.1 uyarınca;

“Binalardaki mekanik ve elektrik donanımların ve bunların bina taşıyıcı sistem elemanlarına bağlantılarının hesabında kullanılacak yatay deprem yükleri Denklem.3.1 ile verilmiştir. Ancak, Denklem 3.1'de w_e ile gösterilen mekanik veya elektrik donanım ağırlıklarının binanın herhangi bir i'inci katındaki toplamının $0.2 w_i$ 'den büyük olması durumunda, donanımların ağırlıklarının ve binaya bağlantılarının rijitlik özellikleri, bina taşıyıcı sisteminin deprem hesabında göz önüne alınacaktır.”

$$f_e = 0.5w_e A_o I (1 + 2H_i / H_N) \quad (\text{Denklem 3.1}) *$$

Burada (f_e) ile gösterilen yatay deprem yükünün hesaplanmasında kullanılan denklem, aşağıdaki bileşenleri içermektedir:

A_o : Deprem zemin ivmesi

I : Önem faktörü

H_i : Tesisat bileşenin bina içindeki konumunun yüksekliği

H_N : Binanın toplam yüksekliği

* T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, 1997

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
<u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kırsallar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1,4
<u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1,2
<u>4. Diğer binalar</u> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, isyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1,0

Tablo 3.1. Binanı kullanım amacına uygun Bina Önem Katsayısı (I)

Denklem 3.1’den de görüldüğü üzere, Türkiye’de yürürlükte olan yönetmelik uyarınca tesisat bileşenlerine etkiyen deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak deprem zemin ivmesi değeri ve önem faktörü, tesisat şartnamesinde belirtilmiş olmalıdır. Hangi tesisat bileşenlerine sismik koruma yapılması gerektiğine dair detaylı bilgi veren bir bölüm ve/veya madde ise yönetmelikte yer almamaktadır.

Ancak hesaplamayla ilgili olarak aşağıda belirtilmiş olan 2 madde daha yönetmelikte mevcuttur:

“6.11.2.2 - Kalorifer brülör ve kazanları, acil yedek elektrik sistemleri ve yangın söndürme sistemleri ile dolgu duvarlarına bağlanan donanımlar ve bunların bağlantılarında Denk.(6.22) ile hesaplanan deprem yükünün iki katı alınacaktır.

6.11.2.3 - Endüstri binalarında, mekanik veya elektrik donanımının bulunduğu kattaki en büyük ivmeyi tanımlayan kat ivme spektrumu’nun uygun yöntemlerle belirlenmesi durumunda, Denk.(6.22) uygulanmayabilir.”*

Madde 6.11.2.2’de bazı tesisat bileşenlerine etkiyen deprem yüklerinin hesaplanmasında

* T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, 1997

özellikle yerine getirilmesi gereken talimatlar belirtilmiş olmakla birlikte, başta titreşim yalıtımı yapılmış ekipmanlar olmak üzere birçok kritik tesisat bileşeni için yapılacak sismik hesaplarla ilgili ayrıntılı bilgi verilmemiştir.

Bir başka önemli nokta, Madde 6.11.2.3'te sözü geçen kat ivme spektrumu'nun belirlenmesi durumunda Denklem 3.1'in uygulanmayabileceği belirtilmekle beraber, bu durumda tesisat bileşenlerine etkiyen deprem yüklerinin nasıl hesaplanacağı net olarak belirtilmemiş olmasıdır.

Özetle, ülkemizde yürürlükte olan deprem yönetmeliğinin, uluslararası yönetmeliklerden faydalanarak ve ülkemizde yaşanmış depremler sonrasında elde edilen gözlemlere dayanarak daha kapsamlı ve kullanışlı hale getirilmesi gerekmektedir.

3.1.2. Uluslararası Bina Kodu (IBC)

Dünyada 2006 yılı itibariyle yürürlükte olan en geçerli deprem standardı Uluslararası Kod Konseyi (ICC – International Code Council) tarafından ilk sürümü 1997 yılında yayınlanmış olan Uluslararası Bina Kodu (International Building Code) IBC-2003'tür. Bu yönetmeliğin 6.11.2 numaralı bölümünde mekanik ve elektrik donanımına etkiyen deprem yüklerinin nasıl hesaplanacağıyla birlikte, hangi durumlarda deprem koruması yapılmasının gerektiği ve uygulanması gereken yöntemlere dair detaylı bilgiler mevcuttur. Buna göre, projeye özel şartnamede ve/veya yerel yönetmelikte aksi belirtilmedikçe, aşağıdaki durumlarda sismik koruma yapılmayabilir:

- Sabit olarak döşemeye monte edilen ve aşağıda belirtilmiş olan özelliklerin tümüne birden haiz olan tüm mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat ekipmanları sismik sınırlandırmadan istisnadır: Önem faktörü ($I_p = 1,0$) olacak, yapının işleyişi açısından kritik durumda olmayacak, 180 kg veya daha az ağırlıkta olacak, döşemeden 120 cm veya daha az bir yükseklikte monte edilmiş olacak, ilgili tüm boru ve kanalları esnek bağlantılı olacak.
- Tavana veya duvara asılı olan ekipmanlar ve sabit olarak değil titreşim izolatörleri ile monte edilmiş olan ekipmanlar bu istisnanın dışındadır.
- Tavana veya duvara asılı olan ekipmanlar ve sabit olarak değil titreşim izolatörleri ile monte edilmiş olan ekipmanlardan ağırlığı 9 kg veya altında olan, önem faktörü ($I_p = 1,0$) olan, yapının işleyişi açısından kritik durumda olmayan ve ilgili tüm boru ve kanalları esnek bağlantılı olan tüm mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat ekipmanları sismik sınırlandırmadan istisnadır.
- Bağımsız boru kelepçeleri ile asılan tek borularda, borunun üst kotu ile askı çubuğunun bağlandığı yapı bileşeni arasındaki mesafenin boru hattı boyunca 30 cm veya daha az

olduğu durumlarda ve konsollar ile asılan boru demetlerinde konsol üst kotu ile askı çubuğunun bağlandığı yapı bileşeni arasındaki mesafenin konsol hattı boyunca 30 cm veya daha az olduğu durumlarda sismik sınırlandırma yapılmayabilir. Askı çubukları eğilme momentine maruz kalmayacak şekilde tesis edilmelidir.

- Önem faktörü ($I_p = 1,5$) ve anma çapı 25 mm veya daha az olan, daha büyük çaplı diğer borular ve mekanik ekipmanlar ile birbirlerine zarar verme olasılıkları bertaraf edilmiş olan ve yüksek şekil değiştirebilme özelliğine haiz boru hatları (kaynaklı, lehimli veya dişli bağlantılı çelik, bakır ve alüminyum borular vb) için sismik sınırlandırma yapılmayabilir.
- Ancak bir konsol üzerinde demet halindeki bir boru hattının toplam ağırlığı 15 kg/m veya üzerinde ise sismik bağlantı yapılmalıdır.
- Önem faktörü ($I_p = 1,0$) olan, yüksek şekil değiştirebilme özelliğine haiz boru hatları (kaynaklı, lehimli veya dişli bağlantılı çelik, bakır ve alüminyum borular vb) ve sınırlı şekil değiştirebilme özelliğine haiz boru hatları (döküm, FRP, PVC vb) için, mekanik odaların içinde 25 mm ve daha az, mekanik odaların dışında ise 50 mm ve daha az çaplarda sismik sınırlandırma yapılmayabilir.
- PVC veya her türden plastik, fiberglas vb havalandırma boruları için sismik sınırlandırma yapılmayabilir.
- Hava kanalı üst kotu ile askı çubuğunun bağlandığı yapı bileşeni arasındaki mesafenin kanal hattı boyunca 30 cm veya daha az olduğu durumlarda, askı bağlantıları da zarar görmeyecek şekilde detaylandırılmış ise sismik sınırlandırma yapılmayabilir. Kanallar üst kenardan en fazla 50 mm aşağıda askılara vidalanmalıdır.
- Önem faktörü ($I_p = 1,5$) ve kesit alanı $0,37 \text{ m}^2$ veya daha az olan; önem faktörü ($I_p = 1,0$) ve kesit alanı $0,56 \text{ m}^2$ veya daha az olan hava kanallarında sismik sınırlandırma yapılmayabilir.
- Hava kanalına sabitlenmiş olan ve 35 kg veya daha az ağırlıkta olan ekipmanlar (fan, ısı değiştirgeci, nemlendirici vs) için sismik sınırlandırma yapılmayabilir.

Burada belirtilen önem faktörü (I_p) hangi ekipmanların sismik sınırlandırmadan istisna olabileceğinin belirlenmesinde kullanılır. Ekipman önem faktörleri aşağıda belirtilmiştir:

$I_p = 1,5$: Deprem sonrasında çalışır durumda olması gereken acil durum ekipmanları

$I_p = 1,5$: Tehlikeli ve yanıcı maddeler içeren ekipmanlar

$I_p = 1,5$: Kamu kullanımına açık ürünlerin depolandığı raflar (marketler vs)

$I_p = 1,0$: Tüm diğer ekipmanlar

Ayrıca yerel yönetim tarafından belirlenmiş, deprem sonrası zorunlu hizmete esas binalar ile büyük miktarda tehlikeli maddeler içeren binalar için:

$I_p = 1,5$: Binanın kullanımının sürdürülebilirliği açısından gerekli olan tüm ekipmanlar

Deprem esnasında ve sonrasında çalışır vaziyette olması gereken tüm ekipmanlar şartnamede belirtilmelidir. Ayrıca, projeye özel bir şartname hazırlayan mühendis, istisnasız tüm ekipmanların önem faktörünü ($I_p = 1,5$) olarak belirleyebilir.

Sismik Yüklerin Hesaplanması

IBC-2003'e göre sismik korumanın gerekli görüldüğü durumlarda, sismik yükler aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$F_p = \frac{0.4 a_p S_{DS} W_p}{\frac{R_p}{I_p}} \left(1 + 2 \frac{z}{h} \right) \quad (\text{Denklem 3.2}) *$$

Burada (F_p) ile gösterilen yatay deprem yükünün hesaplanmasında kullanılan denklem, aşağıdaki bileşenleri içermektedir:

a_p : Bileşen yükseltgeme faktörü (tesisat bileşeninin deprem yükünü artırma oranı)

S_{DS} : Ani spektral karşılık ivmesi (zemin ivmesi hesabında belirtilir)

W_p : Tesisat bileşeninin ağırlığı

z : Tesisat bileşenin bina içindeki konumunun yüksekliği

h : Binanın toplam yüksekliği

R_p : Bileşen karşılık faktörü (tesisat bileşeninin deprem yüküne karşı koyma oranı)

I_p : Bileşenin önem faktörü

Denklem 3.2'den de görüldüğü üzere, IBC-2003 yönetmeliği uyarınca tesisat bileşenlerine etkiyen deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak deprem zemin ivmesi değeri, ani spektral karşılık ivmesi (SDS) değerine bağlı olarak sismik tasarımcı tarafından belirlenir. Ayrıca (SDS) değerinin, binanın bulunduğu arazi şartlarını da içermesi sebebiyle, projeye özel çok hassas deprem yükü hesabı yapılması mümkün olmaktadır. Benzer şekilde bileşen önem faktörü (I_p) proje sahibi ve/veya tasarımcı tarafından, ihtiyaca ve beklentilere bağlı olarak belirlenebilmektedir.

* ICC (International Code Council) "IBC - International Building Code", 2000

Sismik Yük Grubu	Kullanım Yoğunluğuna Bağlı Önem Faktörü, I	Kullanım Şekli ve Yoğunluğu
Grup I	1,0	Aşağıda belirtilmeyen tüm kullanım alanları
Grup II	1,25	Grubu A'nın olduğu ve 300 ya da daha fazla insanın aynı mekanda bulunduğu durumlarda Grubu E ve 250 kişiden fazla olan durumlarda Grubu E'de bulunan ve 150 kişiden fazla yoğunluğa sahip günlük bakım merkezleri 5000 kişiden fazla insan barından tüm mahaller Sismik Yük Grubu III ve sürekli operasyon halindeki hariç, tüm güç üretim istasyonları ve kamu kuruluşları Birincil arıtma ve dezenfeksiyon yapan su arıtma tesisleri Birincil arıtma yapan atık su arıtma tesisleri
Grup III	1,5	İtfaiye, kurtarma ve polis istasyonları Hastaneler Acil durum ve cerrahi servisleri Tüm acil durum merkezleri Sismik Yük Grubu III içerisinde yer alan acil yedekleme ünitelerine sahip güç üretim tesisleri Acil durum araç garajları ve acil durum uçak hangarları İletişim merkezleri Havacılık kontrol kuleleri ve hava trafik kontrol merkezleri Yüksek oranda zehirli atık bulunduran yapılar

Tablo 3.2. Sismik Yük Grupları ve Kullanım Yoğunluğuna Bağlı Önem Faktörü (Ip)

Ani Spektral Karşılık İvmesi Dizayn Değeri	Sismik Yük Grupları		
	I	II	III
$S_{DS} < 0,167g$	A	A	A
$0,167g \leq S_{DS} < 0,33g$	B	B	C
$0,33g \leq S_{DS} < 0,50g$	C	C	D
$0,50g \leq S_{DS}$	D	D	D

Tablo 3.3. Ani Spektral Karşılık İvmesine bağlı Sismik Dizayn Kategorisi (Ip)

Mekanik ve Elektrik Ekipmanı veya Elemanı	a_p	R_p
Genel Mekanik	1,0	2,5
Kazanlar ve fırınlar	2,5	2,5
Basınçlı tanklar	2,5	2,5
Bacalar	2,5	2,5
Diğerleri	1,0	2,5
Üretim ve Proses Makine Tezgahları		
Genel	1,0	2,5
Konveyörler (insansız)	2,5	2,5
Borulama Sistemi		
Yüksek deformasyona sahip elemanlar ve bağlantılar	1,0	3,5
Sınırlı deformasyona sahip elemanlar ve bağlantılar	1,0	2,5
Düşük deformasyona sahip elemanlar ve bağlantılar	1,0	1,25
ISK Sistemi Ekipmanları		
Titreşim yalıtımlı	2,5	2,5
Titreşim yalıtımsız	1,0	2,5
Kanala bağlı tip ekipmanlar	1,0	2,5
Diğerleri	1,0	2,5
Asansör Bileşenleri	1,0	2,5
Yürüyen Merdiven Bileşenleri	1,0	2,5
Makaslı Kuleler	2,5	2,5
Genel Elektrik		
Dağıtım Sistemi (Busbar, konduit ve kablo tavaları)	2,5	5,0
Ekipmanlar	1,0	2,5
Aydınlatma Ekipmanları	1,0	1,25

Tablo 3.4. Mekanik ve Elektrik Ekipmanı Katsayısı (a_p , r_p)

Arazi Sınıfı	Kısa Periyotlardaki Haritalandırılmış Spektral Karşılık İvmesi*				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s < 0,75$	$S_s < 1,00$	$S_s \geq 1,25$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1	1	1	1	1
C	1,2	1,2	1,1	1	1
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1
E	2,5	1,7	1,2	0,9	↑
F	↑	↑	↑	↑	↑

* Not: Ara değerler için interpolasyon uygulanmalıdır.
↑ Sahada gerçekleştirilmiş jeoteknik araştırmalar sonucu bulunan değerler kullanılmalıdır.

Tablo 3.5. Arazi Sınıfına Bağlı F_a Saha Katsayısı ve Kısa Periyotlardaki Haritalandırılmış Spektral Karşılık İvmesi (S_s)

3.1.3. Diğer Yönetmelikler

2005 yılı itibarıyla halen proje şartnamelerinde karşılaşılan diğer bazı deprem standartları arasında yine ABD kökenli Tekdüze Bina Kodu (UBC – Uniform Building Code) 1997 ve BOCA 1996 ile birlikte Kanada kökenli Ulusal Bina Kodu (NBC – National Building Code) 1996 olduğu söylenebilir. Ancak IBC bunların hepsini içeren en güncel yönetmelik olarak yazılmış olduğundan dolayı, bu yönetmeliklerin yeni sürümleri çıkarılmamaktadır.

Japonya’da geçerli deprem yönetmeliği, Japon Standart Bina Yasası (The Building Standard Law of Japan) 2004’ün içinde yer almaktadır. Ancak gerek Japon yönetmeliğine gerekse diğer ülkelerin yerel yönetmeliklerine, uluslararası projelerde geçerli yönetmelik olarak pek rastlanmamaktadır.

Ulusal ve uluslararası bina kodları şeklindeki bu yönetmeliklerin dışında, hükümetler ve sektörler bazında otoriteye sahip bazı kuruluşların yönetmelikleri de mevcuttur. Bunlara aşağıda kısaca değinilecektir.

3.1.3.1. FEMA

ABD Federal Afet Yönetim Merkezi (FEMA – Federal Emergency Management Agency) inşaat sektörüne yönelik birer el kitabı şeklinde 3 adet yönetmelik yayınlanmıştır:

- FEMA 412 / Aralık 2002 : Mekanik Ekipmanlarda Sismik Sınırlandırma (Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment)
- FEMA 413 / Ocak 2004 : Elektrik Ekipmanlarında Sismik Sınırlandırma (Installing Seismic Restraints for Electrical Equipment)
- FEMA 415 / Aralık 2004 : Hava Kanalları ve Borularda Sismik Sınırlandırma (Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe)

Bu kitaplar, teorik bilgiler veya şartname bazında gereklilikler belirtmekten ziyade, pratik bilgiler içeren birer başvuru niteliğindedir.,

3.1.3.2. SMACNA

ABD kökenli olmakla birlikte, dünyanın bir çok ülkesinde inşaat ve tesisat sektörlerinde başta havalandırma kanalları olmak üzere her türlü sac işleri konusunda otorite olarak kabul edilen Sac Metal ve Klima Yüklenicileri Ulusal Birliği (SMACNA – Sheet Metal and Air Conditioning Contractors’ National Association) ilk sürümü 1976 yılında ve halen güncel olan son sürümü ise 2000 yılında olmak üzere bir başvuru kitabı niteliğinde Sismik Sınırlandırma Kılavuzu – Mekanik Sistemler için Yönergeler (Seismic Restraint Manual – Guidelines for Mechanical Systems) adlı kitabı yayınlamıştır.

Bu kitap ekipman montajı, havalandırma kanalları ve boru tesisatlarında sismik korumayla ilgili uygulama detayları içeren ayrıntılı bilgiler sunmakla birlikte, ulusal veya uluslararası bir yönetmelik niteliğinde değildir.

3.1.3.3. NFPA 13

Benzer şekilde yine ABD kökenli olmakla birlikte, dünyanın bir çok ülkesinde inşaat ve tesisat sektörlerinde yangından korunma tesisatları konusunda otorite olarak kabul edilen Ulusal Yangın Koruma Birliği (NFPA – National Fire Protection Association) otomatik yangın söndürme (sprinkler) tesisatlarıyla ilgili olarak NFPA 13 yönetmeliğini yayınlamıştır. Bu yönetmelik içinde, yangından korunma tesisatlarının depreme karşı nasıl güvence altına alınacağına dair son derece ayrıntılı yönergeler mevcuttur.

NFPA 13 uyarınca bir otomatik yangın söndürme (sprinkler) sisteminde, boruların sismik koruması için kullanılacak çelik halat tipi sınırlandırıcılar, ancak aşağıdaki şartların yerine getirilmesi durumunda kabul edilebilir:

Korozyona dayanımlı galvanizli çelikten mamul olacak.

Deprem esnasında deformasyon oluşmaması için, elastikiyeti alınmış ön gerilmeli olacak.

Sahada uygulama kolaylığı ve teftiş için renk kodlu olacak.

Üreticinin katalog bilgilerindeki, kopma dayanımı ve tüm diğer teknik veriler, uluslararası bağımsız kuruluşlarca onaylı olacak.

3.2. Binaların Depreme Dayanıklılık Performans Seviyeleri

ABD Federal Afet Yönetim Merkezi (FEMA – Federal Emergency Management Agency) 356 numaralı şartnamesinde bir deprem anında ve sonrasında binalardaki ve tesislerdeki yapısal olmayan elemanlardan (tesisatlar vb) beklenenleri derecelendirmiş ve böylelikle 4 kademeli bir performans düzeyi sıralaması oluşturmuştur. Bunların açıklaması aşağıda kısaca yapılmıştır:

3.2.1. İşlevsellik Performans Seviyesi

Yapısal olmayan elemanlarda işlevsellik performans seviyesi kısaca “yapının deprem sonrası hasar durumunda, yapısal olmayan elemanlarının (tesisatların vb) deprem öncesindeki fonksiyonlarını aynı şekilde devam ettirebilmeleri” durumu olarak tanımlanabilir.

Bu performans seviyesi; yapıdaki acil durum, yangından korunma, aydınlatma, mekanik ve elektrik tesisatları ve bilgi işlem sistemlerinin büyük bir bölümünün işlevlerini yerine getirmeye devam ettiği veya bu sistemlere yapılacak küçük tamirat işlemleri ile eski durumlarına devam etmelerinin mümkün olduğu durumdur. Bu özel yapısal olmayan performans seviyesi yapı mühendislerinin ilgi ve uzmanlık alanına girdiği için söz konusu

elemanların deprem sonrasında bu performans seviyesini göstermesi, ancak sismik koruma yapılmasıyla mümkün olacaktır.

Özellikle kuvvetli bir yer hareketi sonrası hastane, haberleşme merkezleri, elektrik üretim merkezleri gibi ilk kullanılacak yapılarda bulunan elektronik ve mekanik sistemlerin deprem güvenliği için sismik koruma yapılması hayati derecede önemlidir. Özellikle hastanelerdeki sistemlerin deprem esnasında dahi işlevlerini yerine getirebilmeleri, tam bir can güvenliğinin sağlanması için gereklidir.

3.2.2. Hemen Kullanım Performans Seviyesi

Yapısal olmayan elemanlarda hemen kullanım performans seviyesi kısaca “deprem sonrasında yapıdaki giriş-çıkış kapıları, merdivenler, asansörler, acil aydınlatma sistemleri, yangın alarm sistemleri gibi sistemlerin genel olarak işlevlerini sürdürebilmekte olduğu durum” olarak tanımlanabilir.

Söz konusu performans seviyesinde bazı camlarda küçük kırıklar ve bazı yapısal olmayan elemanlarda hafif hasar meydana gelebilir, ancak binada yapısal olarak hiçbir tehlike yoktur. Binada genel bir temizlik ve düzenleme yeterli olacaktır. Genel olarak bu performans seviyesinde, yapıdaki elektrik ve mekanik sistemler için önlemler alınmalı ve işlevlerini sürdürmeleri sağlanmalıdır. Ancak bazı sistemlerin doğrultularında ve konumlarında küçük değişimler ve sistemlerin içinde küçük hasarlar meydana gelmiş olabilir. Konut tarzı yapılarda bulunan ısıtma, su tesisatı, doğal gaz ve haberleşme sistemleri işlev dışı kalabilir, ancak yapısal olmayan elemanlardan kaynaklanabilecek can kaybı riski oldukça düşüktür.

Bu performans seviyesi özellikle hastaneler ve haberleşme merkezleri için yeterli güvenliği sağlayamayabilir. Ancak yüksek nitelikli ofis vb binalar için tercih edilebilir.

3.2.3. Can Güvenliği Performans Seviyesi

Yapısal olmayan elemanlarda can güvenliği performans seviyesi kısaca “deprem sonrasında binadaki yapısal olmayan elemanlarda hasarın meydana geldiği, ancak bu hasarın can güvenliğini tehlikeye atacak boyutta olmadığı” duruma karşılık gelmektedir.

Söz konusu performans seviyesinde, binadaki yapısal olmayan elemanlar (tesisatlar vb) oldukça hasar görmüştür ve hasarın maddi boyutu oldukça fazladır, ancak yapısal olmayan elemanlar bulundukları yerlerden çıkıp düşmemiş ve binanın içinde veya dışındakilerin can güvenliğini tehdit edecek durumda değildirler. Binadaki hafif yapısal olmayan elemanların yarattığı enkazlar çıkışları kısmen kapatabilir; havalandırma, sıhhi tesisat ve yangın sistemleri zarar görebilir ve işlevlerini yitirebilir. Bu performans seviyesinde yapısal olmayan

elemanlardan kaynaklanan yaralanmalar meydana gelebilir, ancak binada genel olarak can güvenliğini tehdit edecek riskler oldukça düşüktür. Yapıdaki yapısal olmayan elemanların yeniden işlevsel durumlarına getirilmesi zaman ve maliyet alan bir işlemdir.

Bu performans seviyesi, ancak deprem sonrasında uzun süre kullanım dışı kalmasının mahsur teşkil etmeyeceği depo vb gibi binalarda tercih edilebilir.

3.2.4. Riski Azaltılmış Performans Seviyesi

Yapısal olmayan elemanların riski azaltılmış performans seviyesi kısaca “deprem sonrası hasar gören yapısal olmayan elemanların düşme tehlikesi meydana gelebilecek durumu” olarak tanımlanabilir. Bu durumda dış ortama yüksek zarar verebilecek olan yapısal olmayan elemanların, insanların çok bulunduğu yerlere düşmelerinin engellenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Söz konusu performans seviyesinde, deprem sonrası yapısal olmayan elemanlarda oldukça ağır hasar meydana gelmektedir; ancak parapet, dış cephe panelleri, ağır kaplamalar, asma tavanlar, büyük raflar gibi düşme riski olan ve düştüklerinde insanların can güvenliğine bir tehdit olabilecek ağır elemanların düşmelerinin engellenmesi için önlem alınmalıdır.

Bu hasar seviyesinde amaç, tüm yapıdaki yapısal olmayan elemanlarda meydana gelen hasarları belirlemek değil, insanlar için tehlike oluşturabilecek yapısal olmayan elemanların belirlenmesidir.

Bu performans seviyesi, ancak hiçbir nitelik beklenmeyen en alt sınıf binalar için ve sadece deprem esnasındaki can güvenliğinin sağlanması açısından tercih edilebilir.

3.3. Tesisatlarda Sismik Koruma Uygulamaları

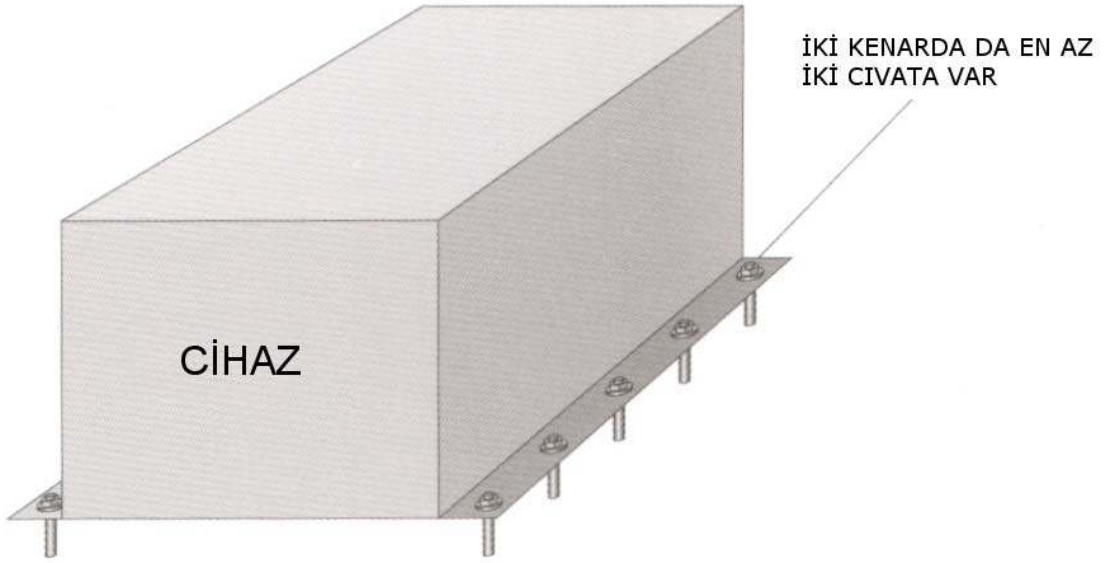
Depreme karşı korunması gereken bir tesisat bileşeni (ekipman, boru, kanal vs) için titreşim yalıtımı yapıp yapılmayacağına bağlı olarak sismik koruma uygulamasının nasıl olması gerektiği, aşağıda çeşitli başlıklar altında anlatılmıştır.

3.3.1. Döşemeye Oturan Ekipmanlar

Teraslarda, mekanik tesisat odalarında vb mekanlarda direk döşeme üstüne ya da beton veya çelik bir kaide üzerine monte ekipmanlar olarak soğutma kuleleri, soğutma grupları, kazanlar, pompalar, hidroforlar, kompresörler, klima santralleri, hücreli ve açık tip fanlar, genleşme tankları ve diğer tanklar, ısı değiştirgeçleri, elektrik panoları, kolektörler vb sayılabilir. Bunlar arasında titreşim yapan ekipmanlar için titreşim yalıtımı yapılması gerekebilir. Sismik koruma ise titreşim yalıtımı yapıp yapılmayacağına bağlı olarak farklılıklar gösterebilir.

Titreşim yalıtımı yapılmayacak bir ekipman doğrudan beton döşeme üzerine monte edilecekse sismik koruma açısından yapılması gereken tek şey, ekipmanın beton döşemeye sabit olarak bağlanmasıdır. Şayet ekipmanın kendi şasisi, hesaplanacak sismik yüklere karşı yeterli dayanımda ise, ekipmanın kendi şasisinden bağlantı yapılabilir (Şekil 3.2).

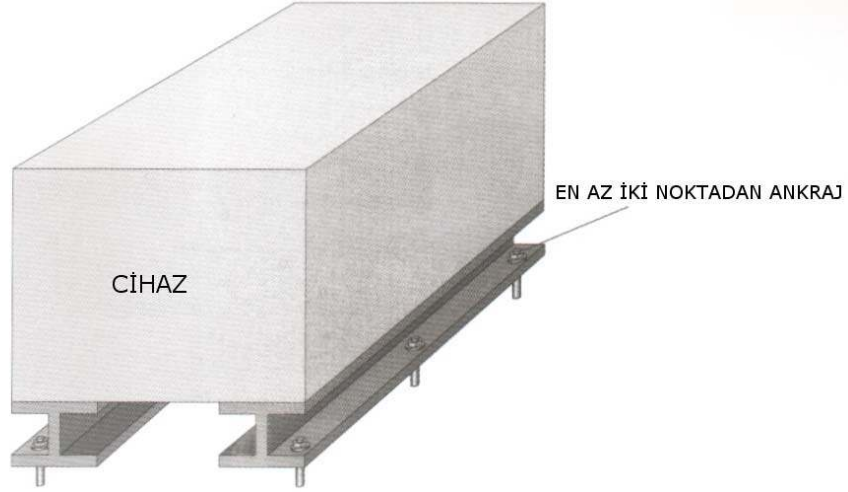
Burada önemli olan iki noktadan ilki, söz konusu ekipmana etkiyecek sismik yüklerin uygun yöntemlerle hesaplanması; ikincisi ise bu yüklere karşı yeterli dayanımı sağlayacak bağlantının yöntemi, ebatları ve benzeri bilgileri içerecek şekilde detaylı olarak projelendirilmesidir.



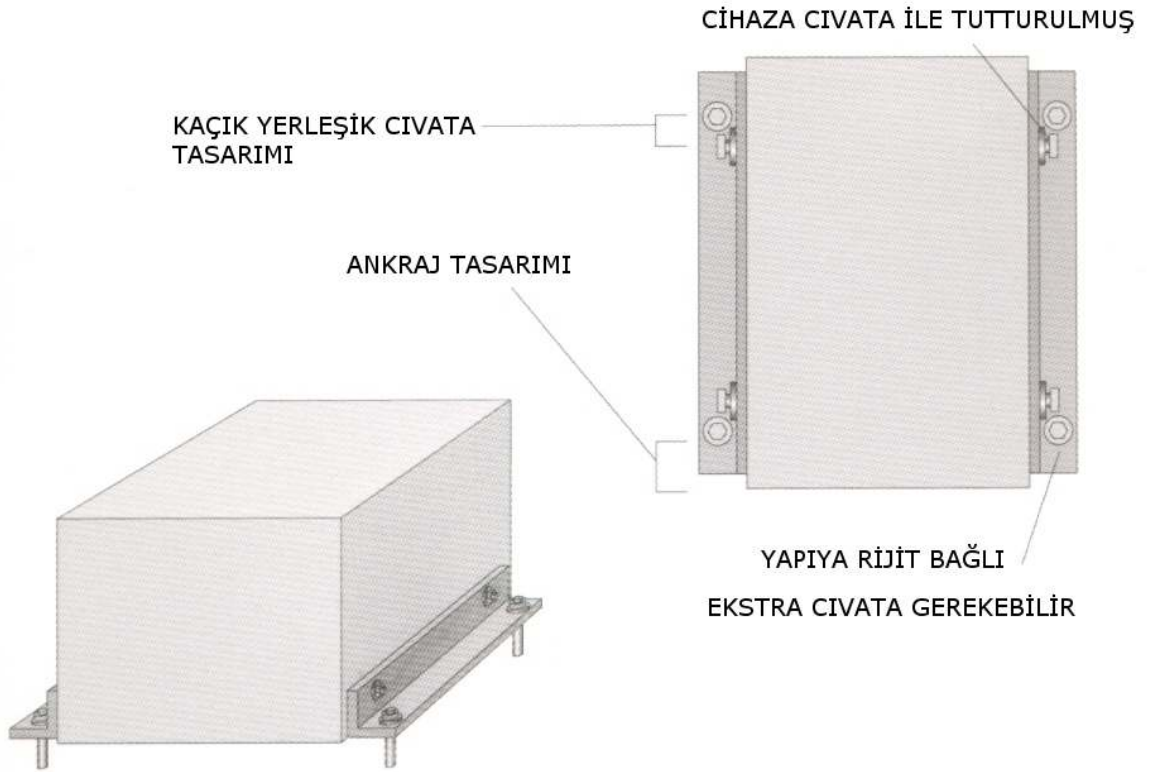
Şekil 3.2. Ekipmanın kendi şasisinden döşemeye doğrudan sabitlenmesi*

Ekipmanın kendi şasisinin, hesaplanacak sismik yüklere karşı yeterli dayanımda olmadığı durumlarda, ekipman altına ilave bir şasi yapılabilir (Şekil 3.3) veya ekipmanın etrafına çelik malzemelerden takviyeler kullanılabilir (Şekil 3.4). Her iki durumda da ekipman ile ilave şasi ve/veya takviye arasındaki bağlantının, sismik yüke karşı yeterli dayanımda olduğundan emin olunmalıdır.

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment



Şekil 3.3. Ekipmanın altına yapılan ilave şasiden döşemeye sabitlenmesi*

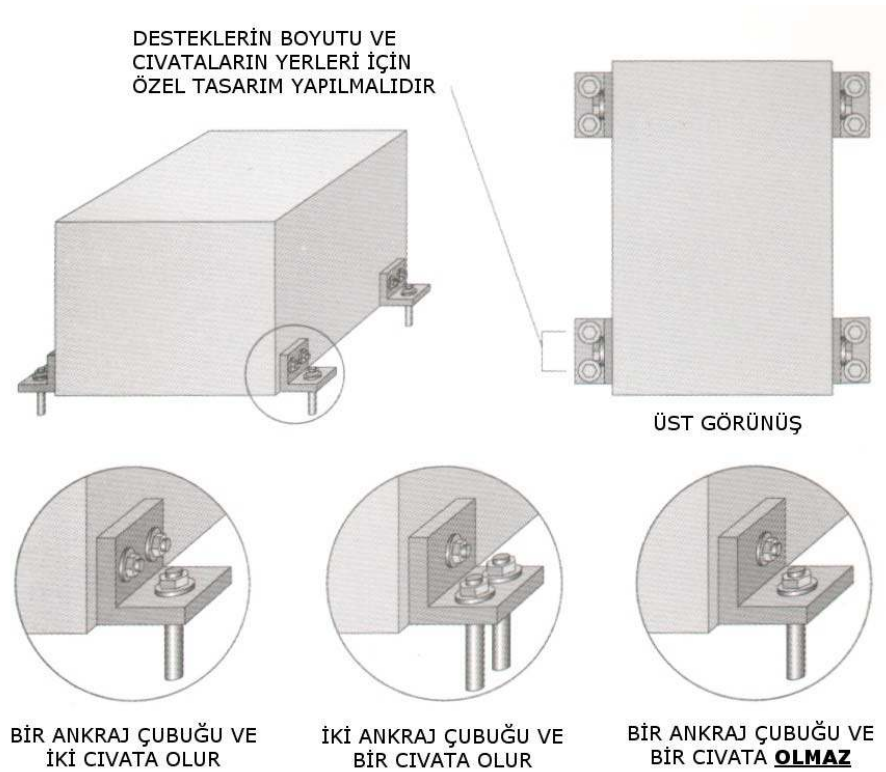


Şekil 3.4. Ekipmanın ilave takviye ile döşemeye sabitlenmesi*

Bir tesisat ekipmanın döşemeye doğrudan bağlanmasında önemli bir nokta olarak, söz konusu ekipmana etkiyecek sismik yüklere karşı yeterli dayanımı sağlayacak bağlantının yöntemi, ebatları ve benzeri bilgileri içerecek şekilde detaylı olarak projelendirilmesinin gerekliliğini belirtmiştik. Buna bir örnek olarak Şekil 3.5’de görülen detay verilebilir.

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

Burada kenarlarından boylu boyunca değil, sadece köşelerinden ilave takviyelerle desteklenerek sismik koruması yapılan bir ekipman görülmektedir. Köşe takviyelerin ekipmana ve döşemeye sadece birer cıvata ile bağlanması durumunda, herhangi bir sismik hareket esnasında bu noktalarda dönme hareketi oluşabileceğinden ötürü, takviye parçalar bir tarafta en az iki cıvata ile bağlanmalıdır. Bir başka seçenek ise takviye parçasının ekipmana (Şekil 3.6) veya yapıya (Şekil 3.7) kaynatılmasıdır.

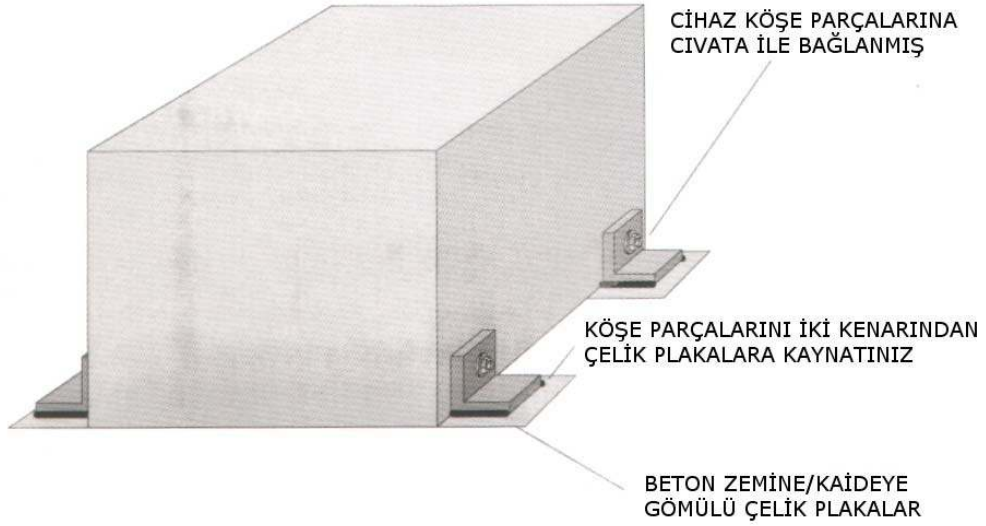


Şekil 3.5. Ekipmanın köşe takviye parçalarından bağlanmasında uygulanması gereken detay*



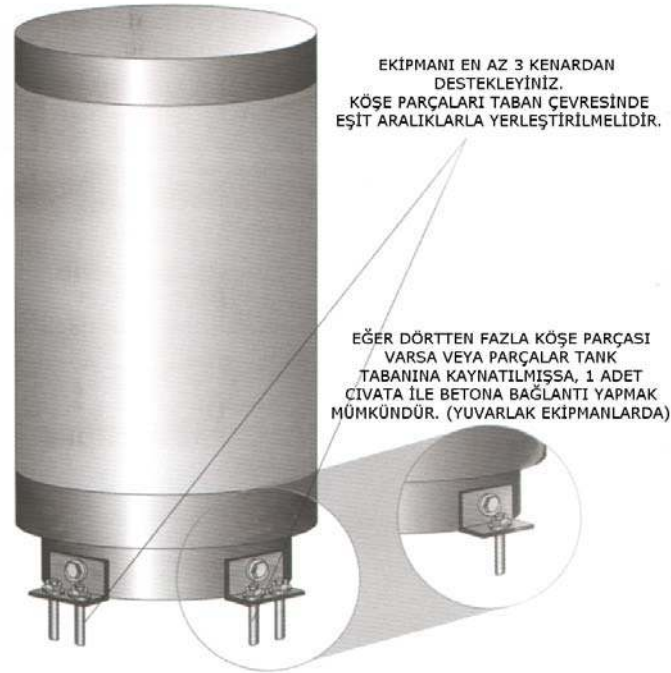
Şekil 3.6. Köşe takviye parçasının ekipmana kaynatılması*

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment”



Şekil 3.7. Köşe takviye parçasının yapıya kaynatılması*

Tankların ağırlık merkezlerinin yerden yüksekte olmasından ötürü döşemeye bağlanarak sismik korunması, ancak yapılacak hesaba göre yeterli dayanımda bağlantı parçaları kullanılabildiği taktirde mümkün olacaktır (Şekil 3.8). Aksi taktirde tankın ağırlık merkezinin üstünden halatlarla (Şekil 3.9) veya kuşaklarla (Şekil 3.10) bağlanması veya çevresi boyunca ilave bir çelik veya ahşap kafes içinde hapsedilmesi (Şekil 3.11) gerekebilir.

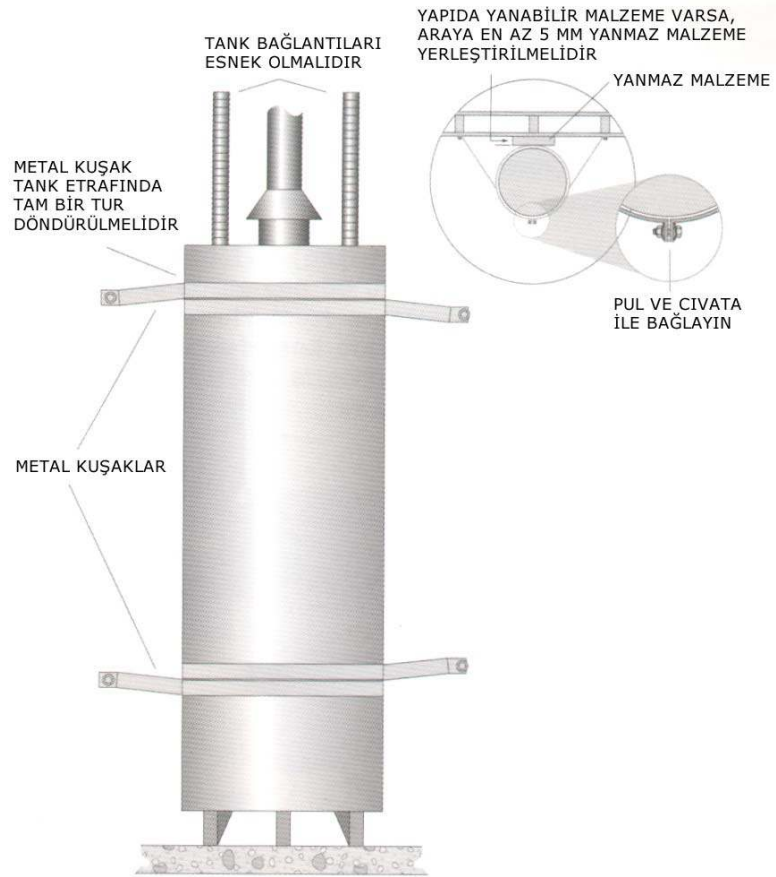


Şekil 3.8. Bir tankın döşemeye doğrudan bağlanması*

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

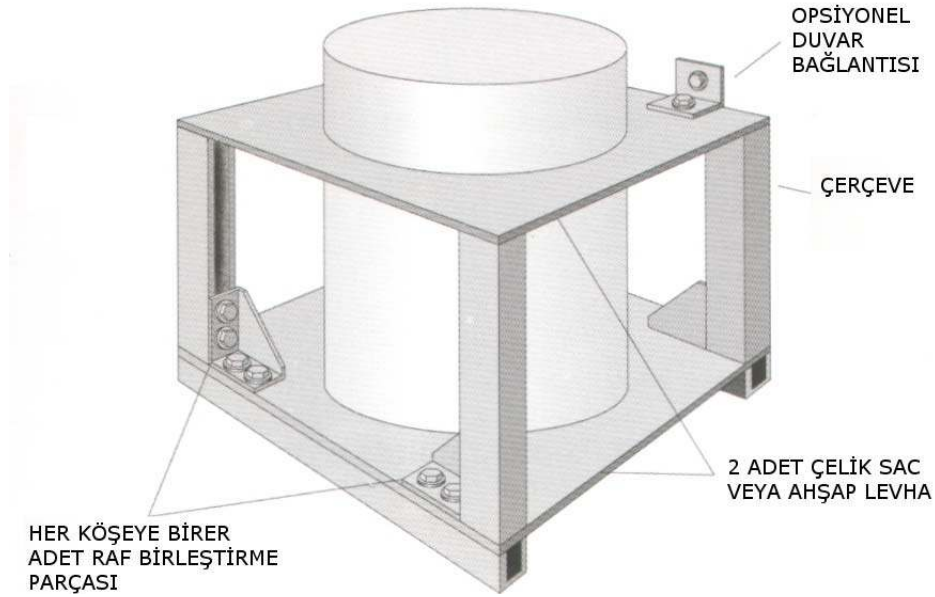


Şekil 3.9. Bir tankın ağırlık merkezinin üstünde bir noktadan halatlarla bağlanması



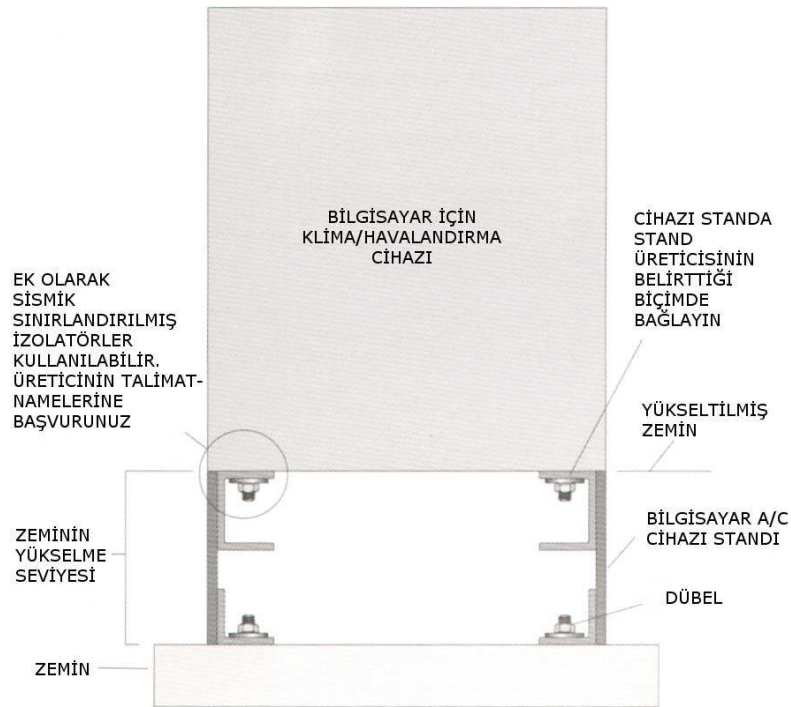
Şekil 3.10. Bir tankın ağırlık merkezinin üstünde bir noktadan kuşaklarla bağlanması*

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment



Şekil 3.11. Bir tankın çevresi boyunca ilave çelik veya ahşap kafes içinde hapsedilmesi*

Döşemeye oturan ekipmanlar için özel bir durum, yükseltilmiş döşeme uygulamalarıdır. Özellikle bilgisayara odalarındaki klima cihazları, yükseltilmiş döşeme üzerine monte edildiklerinden ötürü, bu ekipmanların beton zemine bağlı takviyelere bağlanarak sismik koruması yapılmalıdır (Şekil 3.12).



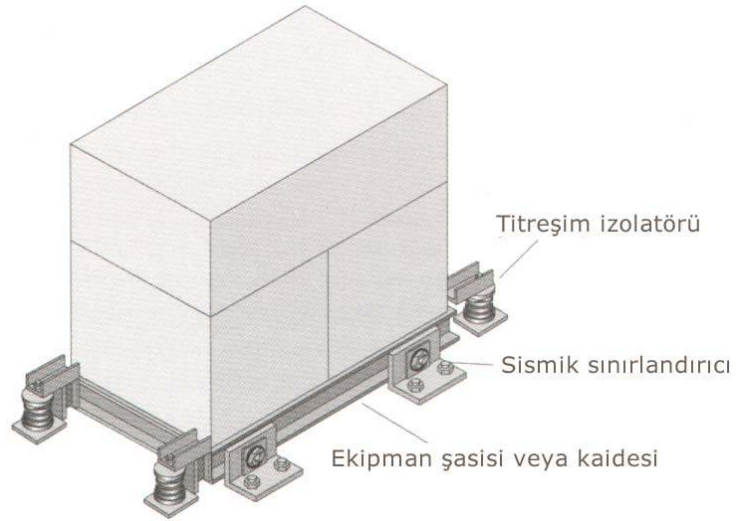
Şekil 3.12. Yükseltilmiş döşeme üzerinde oturan ekipmanların sismik koruması*

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

Titreşim yalıtımı yapılması gereken bir ekipman beton döşeme veya çelik kaide üzerine titreşim izolatörleri ile monte edilmelidir. Böyle bir durumda sismik koruma için iki seçenek vardır: Açık tip izolatörlerle birlikte sismik sınırlandırıcı kullanılması veya sismik koruma özelliğine sahip kombine izolatörler kullanılması.

Şayet ekipman açık tip izolatörler ile monte edilmişse, ilave sismik sınırlandırıcılar kullanılması gerekir (Şekil 3.13). Örneğin jeneratör vb bazı ekipmanlar, üretici firmadan titreşim izolatörleri ile birlikte temin edilebilmektedir. Benzer şekilde, önceden titreşim izolatörleri üzerine monte edilmiş bir ekipman için sonradan sismik koruma istendiği takdirde, ilave sismik sınırlandırıcılar kullanılması gerekir.

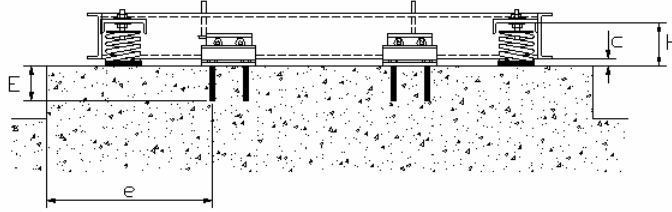
Burada önemli olan iki noktadan ilki; kullanılacak sismik sınırlandırıcının, uygun yöntemlerle hesaplanmış sismik yüklere karşı yeterli dayanımda olduğunun, bağımsız kuruluşlarca verilen sertifikalarla ispatlanması gerekliliğidir. İkinci önemli nokta ise sismik sınırlandırıcının, uzman mühendislerce belirlenmiş hesaplamalara uygun nitelikte bağlantısının yapılmasıdır. Buna göre bağlantıda kullanılacak cıvataların derinliği ve kenar mesafeleri sismik dayanıma göre projelendirilmelidir (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. Açık tip titreşim izolatörleri ile birlikte sismik sınırlandırıcı kullanılması*

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

- H: Çalışma yüksekliği
 c : Çalışma aralığı
 E: Asgari dübel derinliği
 e : Asgari kenar mesafesi (Hesaplarda belirtilmediği takdirde, asgari dübel derinliği (E)'nin en az 1,5 misli alınmalıdır.

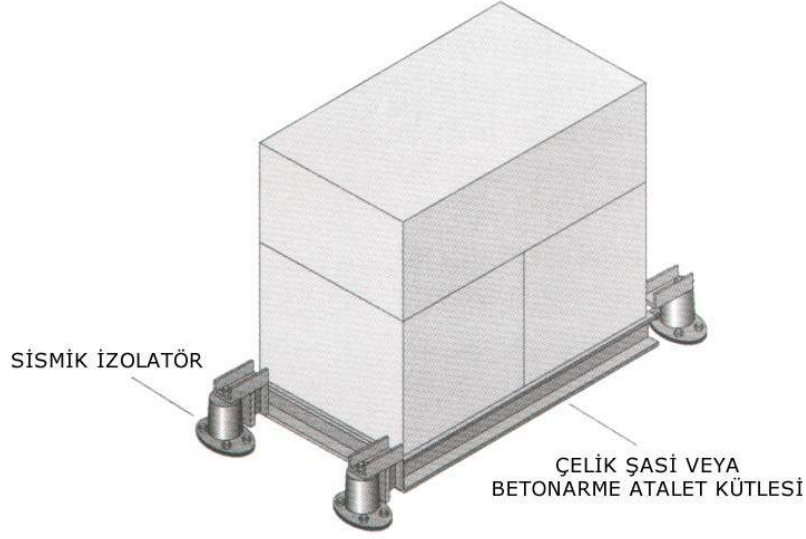


Şekil 3.14. Sismik sınırlandırıcı bağlantı detayları

Şayet ekipman monte edilmeden önce sismik projelendirme yapılacaksa, söz konusu ekipman için sismik izolatörler seçilmelidir. Soğutma kuleleri, soğutma grupları, pompalar, hidroforlar, kompresörler, fanlar vb birçok ekipman, sismik korumalı izolatörler ile yapıya bağlanabilir (Şekil 3.15).

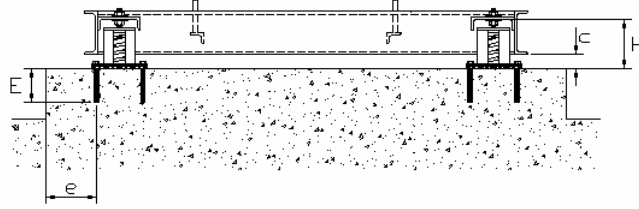
Sismik izolatörler, ekipmanın zorlamalı frekansına bağlı olarak seçilecek çökme miktarında yaylı ve/veya elastomer (kauçuk, neopren vs) esaslı titreşim alıcılar sayesinde hem ekipmanın titreşiminin yapıya geçmesini engellemekte, hem de titreşim yalıtımı amacıyla ekipmana müsaade edilen salınımı sınırlandırarak depreme karşı gerekli korumayı sağlamaktadır.

Burada önemli iki noktadan ilki; kullanılacak sismik izolatörün, uygun yöntemlerle hesaplanmış sismik yüklere karşı yeterli dayanımda olduğunun, bağımsız kuruluşlarca verilen sertifikalarla ispatlanması gerekliliğidir. İkinci önemli nokta ise sismik izolatörün, uzman mühendislerce belirlenmiş hesaplamalara uygun nitelikte bağlantısının yapılmasıdır. Buna göre bağlantıda kullanılacak civataların derinliği ve kenar mesafeleri sismik dayanıma göre projelendirilmelidir (Şekil 3.16).



Şekil 3.15. Sismik izolatörler ile monte edilmiş ekipman*

- H:** Çalışma yüksekliği
c: Çalışma aralığı
E: Asgari dübel derinliği
e: Asgari kenar mesafesi (Hesaplarda belirtilmediği takdirde, asgari dübel derinliği (E)'nin en az 1,5 misli alınmalıdır.



Şekil 3.16. Sismik izolatör bağlantı detayları

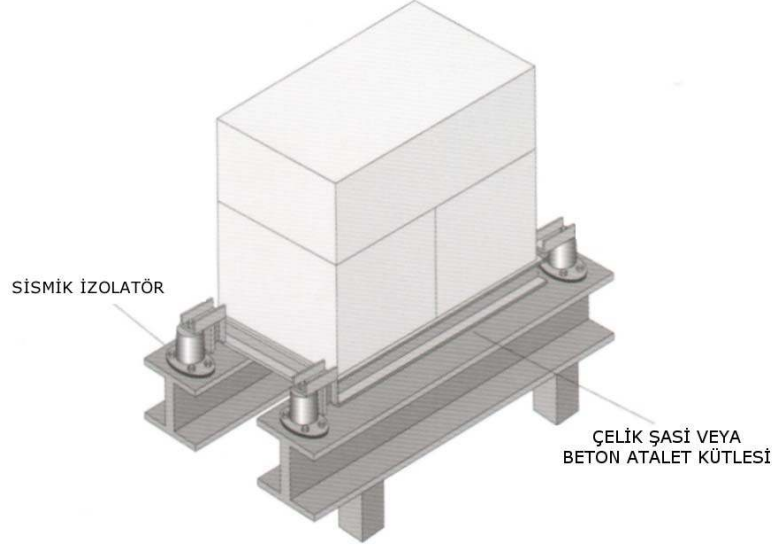
Gerek açık tip izolatörlerle, gerekse sismik izolatörlerle monte edilen ekipmanların tüm boru, kanal, kablo vb bağlantılarının esnek elemanlarla yapılması gerekmektedir. Ayrıca bu esnek bağlantılar, gerektiği takdirde sınırlandırıcı çubuklar veya çelik halatlarla bağlantıyı depreme karşı koruma altına almalıdır.

3.3.2. Çatı Tipi Ekipmanlar

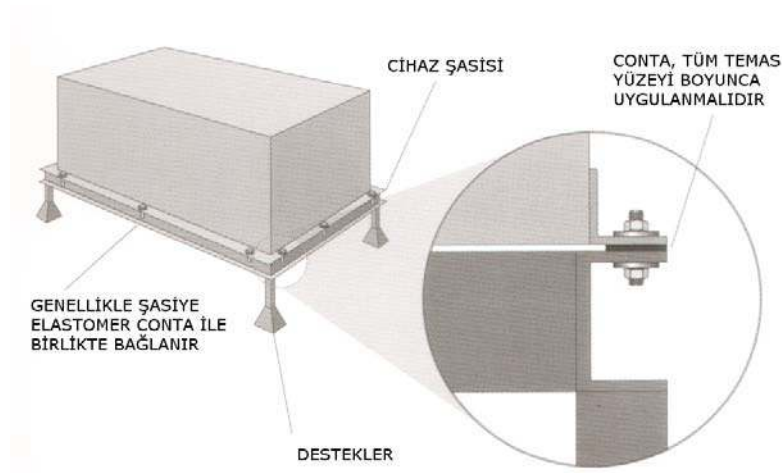
Çatı tipi ekipmanlarda öncelikle yağmur, kar, rüzgar, güneş ışınları vb gibi dış hava şartlarına dayanıklı bağlantı detaylarının uygulanması gerekmektedir. Ayrıca çatının yapısal olarak hem ekipmanların hem de şasilerin ağırlıklarını taşıyabileceğinde emin olunmalıdır.

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

Titreşim izolatörü kullanılmasını gerektiren ekipmanlar, çatılarda sismik izolatörler üzerine yerleştirilebilir (Şekil 3.17). Titreşim izolatörü gerekmeyen durumlarda ise ekipman yükseltilmiş ilave bir çelik şasi üzerine elastomer contalarla bağlanabilir (Şekil 3.18).



Şekil 3.17. Çelik çatı üzerindeki ekipmanın sismik izolatörlerle yerleştirilmesi*



Şekil 3.18. Çatı üzerinde yükseltilmiş ilave şasiye elastomer contalarla bağlı ekipman*

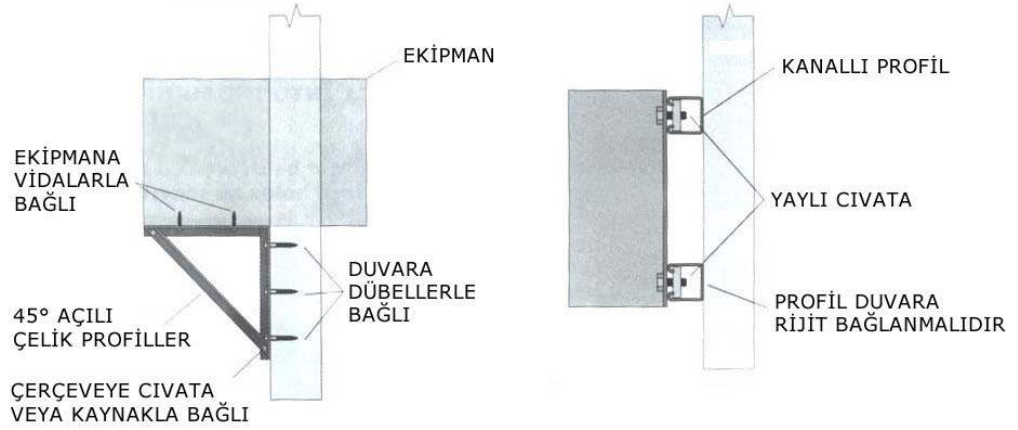
3.3.3. Duvara Bağlı Ekipmanlar

Duvara bağlı tesisat ekipmanları, titreşim yapanlar (klimalar, fanlar vs) ve yapmayanlar (elektrik panoları, yangın dolapları vs) olarak ikiye ayrılabilir. Titreşim yalıtımı yapılmayacak bir ekipman doğrudan duvara monte edilecekse, sismik koruma açısından yapılması gereken şey, ekipmanın duvara sabit olarak bağlanmasıdır (Şekil 3.19). Titreşim yalıtımı yapılacak ise ekipman duvara bağlı bir taşıyıcı çelik profile titreşim askıları ve sismik halatlar ile

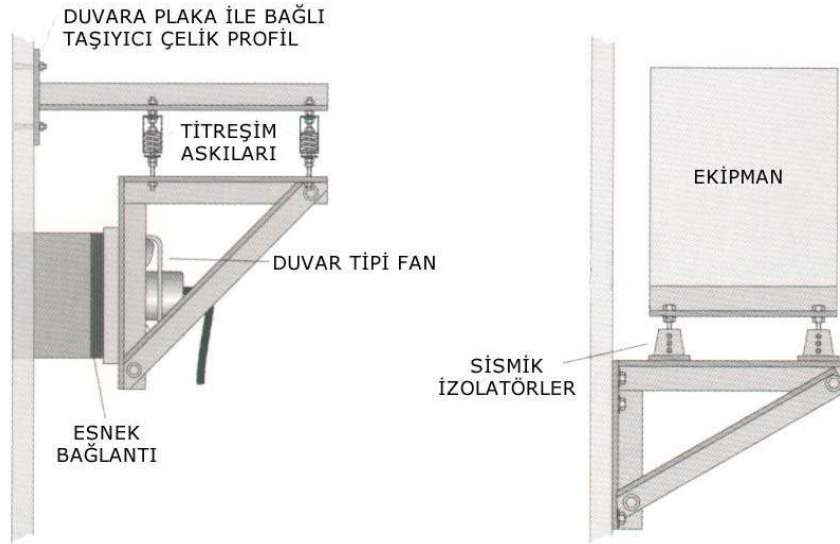
* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

bağlanabilir veya yine duvara bağlı bir taşıyıcı çelik platform üzerine sismik izolatörlerle monte edilebilir (Şekil 3.20).

Her iki durumda da önemli olan iki noktadan ilki, söz konusu ekipmana etkiyecek sismik yüklerin uygun yöntemlerle hesaplanması; ikincisi ise bu yüklere karşı yeterli dayanımı sağlayacak bağlantının yöntemi, ebatları, titreşim askısı ve sismik izolatör seçimi ve benzeri bilgileri içerecek şekilde detaylı olarak projelendirilmesidir.



Şekil 3.19. Duvara doğrudan bağlı ekipmanda sismik koruma*



Şekil 3.20. Duvara bağlı ekipmanda titreşim yalıtımı ve sismik koruma*

3.3.4. Tavana Asılı Ekipmanlar

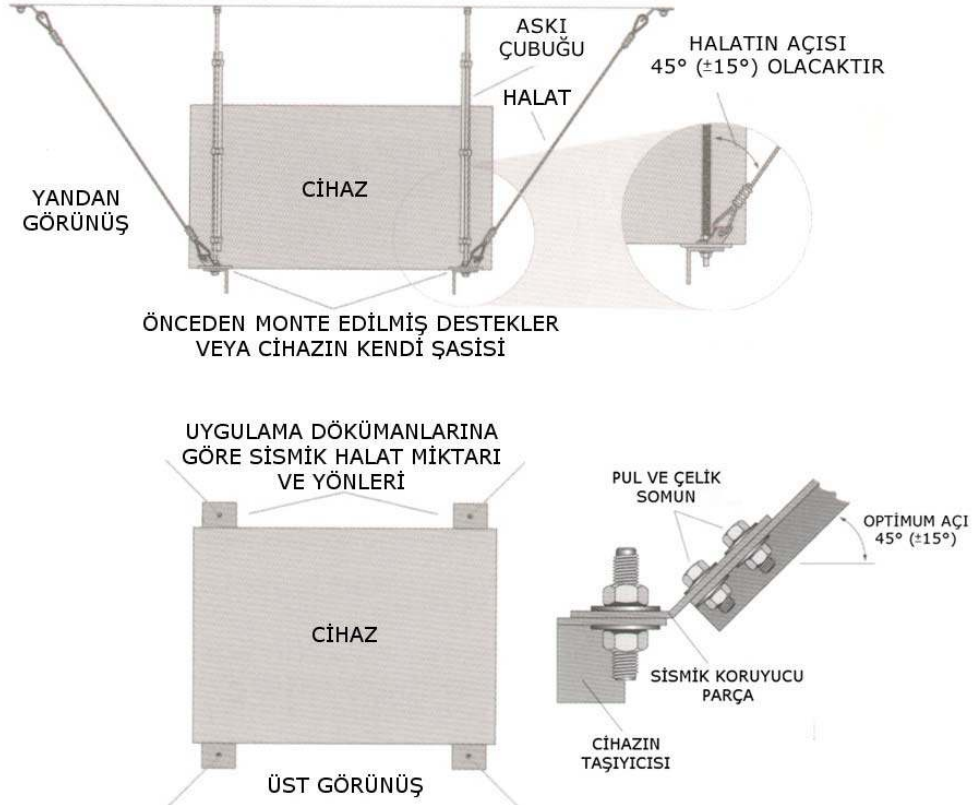
Mekanik tesisat odalarında, koridorların ve hemen her tür mahallin asma tavanlarında asılı olarak monte ekipmanlar arasında fanlı ısıtıcı/soğutucular (fan-coil), değişken debili

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

havalandırma (VAV) üniteleri, kanal tipi fanlar ve aspiratörler, elektrikli ve sulu bataryalı ısıtıcılar, susturucular ve hatta klima santralleri vb sayılabilir. Bunlar arasında titreşim yapan ekipmanlar için titreşim yalıtımı yapılması gerekebilir. Sismik koruma ise titreşim yalıtımı yapıp yapılmayacağına bağlı olarak farklılıklar gösterebilir. (NOT: Asılı boru hattına monte edilen pompa, ısı değiştirgeci, tüpler vb ekipmanlar için Borular bölümüne bakınız.)

Titreşim yalıtımı yapılmayacak bir asılı ekipman, askı çubuklarıyla veya çelik profiller ile tavana doğrudan asılacaksa, sismik koruma açısından yapılması gereken şey, ekipmana etkiyecek sismik yüklere karşı yeterli dayanımda bir sismik sınırlandırma yapılmasıdır. Bunun için, ekipmanın askı çubukları ile yatayda ve düşeyde 45° ($\pm 15^\circ$ tolerans payıyla) açı yapacak şekilde çelik profiller veya sismik halatlar kullanılmalıdır (Şekil 3.21).

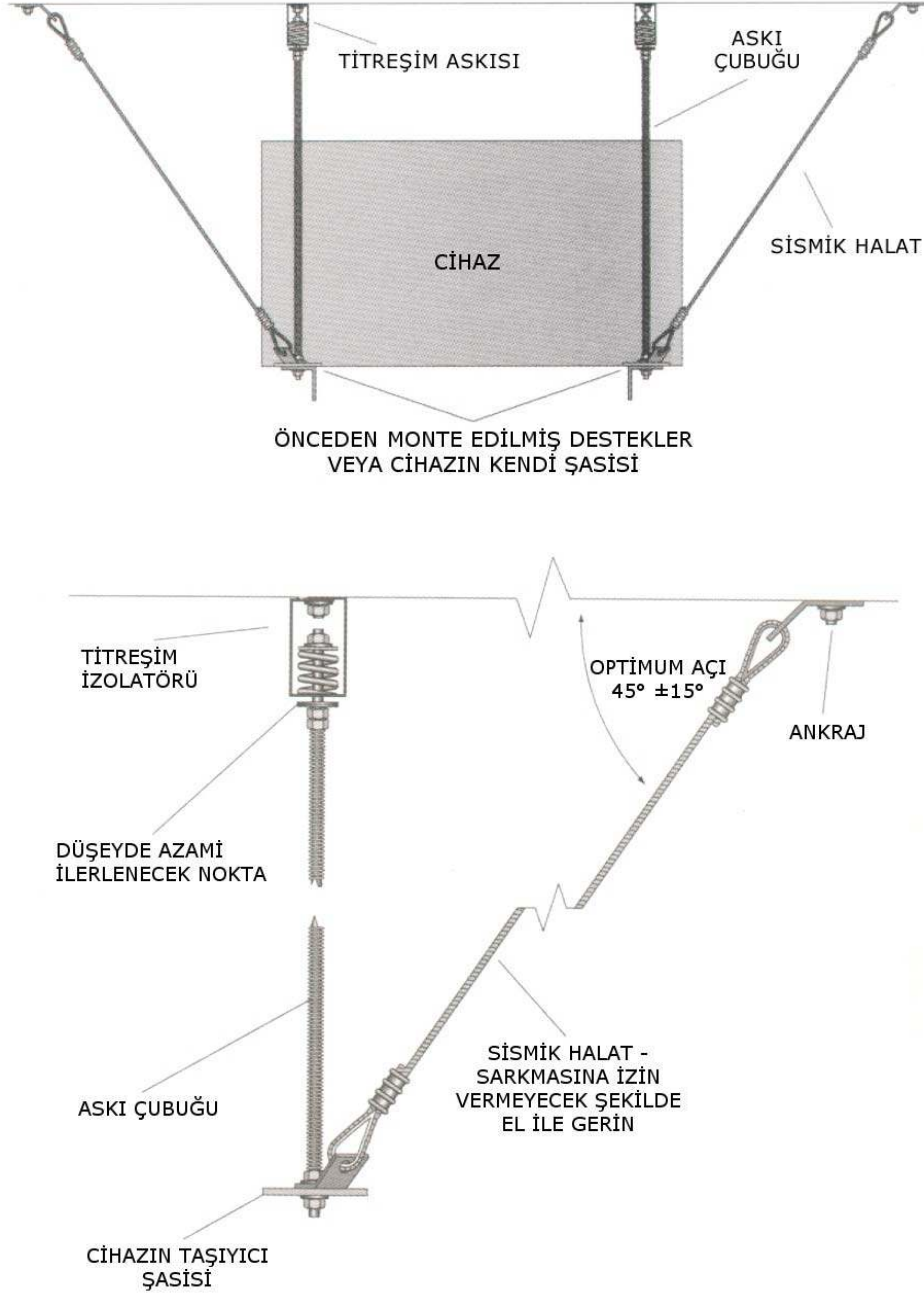
Burada önemli olan iki noktadan ilki, söz konusu ekipmana etkiyecek sismik yüklerin uygun yöntemlerle hesaplanması; ikincisi ise bu yüklere karşı yeterli dayanımı sağlayacak çelik profillerin veya sismik halatların ve bunların bağlantı şekillerinin detaylı olarak projelendirilmesidir.



Şekil 3.21. Titreşim yalıtımı yapılmamış asılı ekipmanda sismik halat veya çelik profil ile sismik koruma

* FEMA 412, December 2002 "Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

Titreşim yalıtımı yapılacak bir asılı ekipmanın, askı çubuklarıyla veya çelik profiller ile tavana asılmasında titreşim askıları kullanılmalıdır. Böyle bir durumda sismik koruma için katı çelik profillerin kullanılması mümkün değildir; aksi takdirde ekipmanın tüm titreşimi doğrudan yapıya iletilecektir. Dolayısıyla titreşim yalıtımı yapılmış asılı ekipmanların sismik koruması, ancak sismik halatlar kullanılarak yapılabilir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Titreşim yalıtımı yapılmış asılı ekipmanda titreşim askısı ve sismik halat kullanımı*

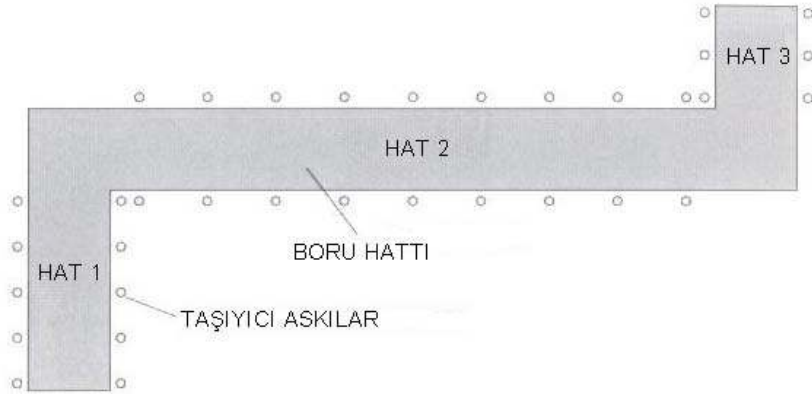
* FEMA 412, December 2002 "Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment"

3.3.5. Borular

Tesisatlarda sismik koruma açısından en kritik konulardan biri borulardır. Bunun sebebi, çok çeşitli amaçlı ve farklı malzemelerden boruların yatayda, düşeyde, tavana asılı, duvara bağlı, döşeme üzerinde ve daha başka birçok şekilde monte edilebilmesidir. Ayrıca çoğu zaman borularda da titreşim yalıtımı yapılması gerekebilmektedir. Üstelik birçok tesisat borusu, taşıdıkları akışkanın işletme esnasındaki farklı sıcaklıklarından dolayı ısıl boyut değiştirmelere maruz kalmaktadır. Tüm bu farklı özelliklerinden dolayı boruların sismik koruması, tüm detaylarıyla ele alınması gereken geniş kapsamlı bir konudur.

Tavana asılı boru hatları, deprem açısından en kritik borulardır. Bunu sebebi, deprem yüklerinin anlık olmayıp dalgalar halinde farklı büyüklüklerde ve frekanslarda arka arkaya gelmesi neticesinde boru hatlarının rezonansa girme tehlikesidir. Böyle bir durumda çok küçük sismik yükler dahi boru hatlarının kırılıp kullanılmaz hale gelmesine ve daha kötüsü çevresindeki diğer tesisatlara da zarar vermesine sebep olabilir. Üstelik yangından korunma ve benzeri can güvenliği sistemlerinin, boru hatlarının sağlamlığına bağlı olması, borularda sismik korumayı tesisatlar için en önemli konulardan biri yapmaktadır.

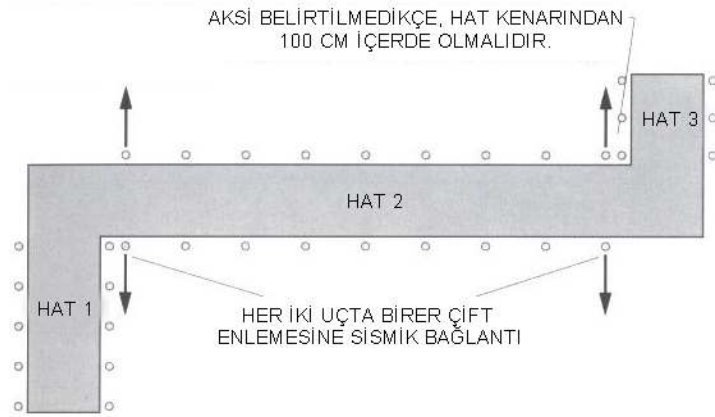
Asılı boruların sismik koruması, yapılacak sismik projelere bağlı olarak, boru hattı boyunca çeşitli noktalarda enlemesine ve boylamasına sismik sınırlamalar yapılması suretiyle gerçekleştirilir. Bu noktalarının seçimi için öncelikle boru hattına parçalar halinde numaralar verilir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Boru hatlarında sismik bağlantı yerleşimleri için numaralandırma*

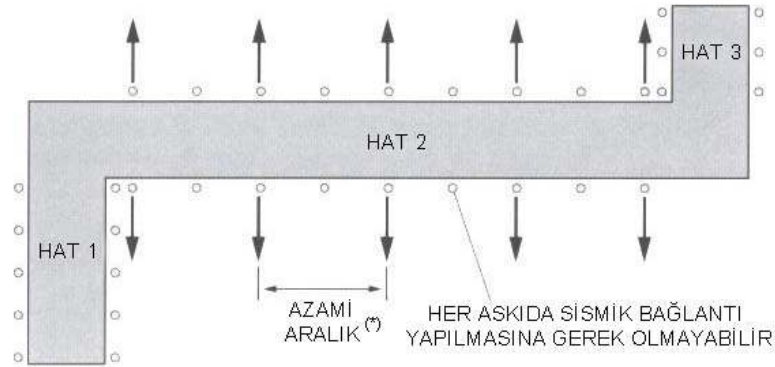
Daha sonra, numaralandırılmış her hat için, uçlarda birer çift olmak üzere asgari 2 çift enlemesine sismik bağlantı noktası seçilir (Şekil 3.24).

* FEMA 414, December 2004 “Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe”



Şekil 3.24. Uçlarda birer çift enlemesine sismik bağlantı yerleşimi*

Farklı yönetmeliklerde farklı değerler belirtilebilmekle birlikte, genellikle her 6 ila 12 metrede bir enlemesine ve her 12 ila 24 metrede bir boylamasına sismik halat bağlantısı yapılması gerekmektedir. Buna göre, bir hattın uçları arasındaki mesafe belirtilmiş olan sınırı aşıyorsa, aralarda da sismik halat bağlantıları yapılması gerekir (Şekil 3.25).

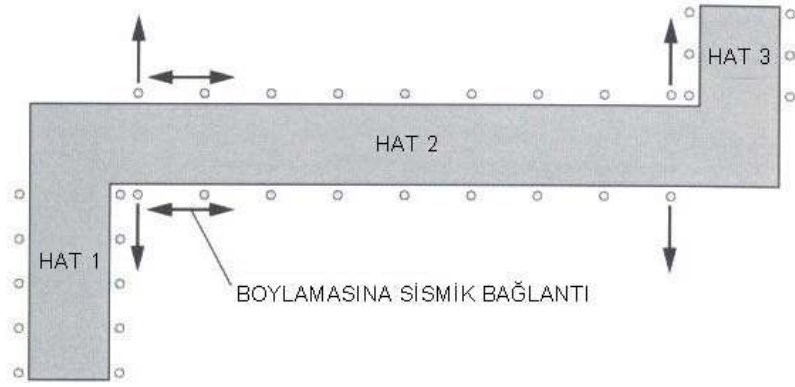


*AZAMI ARALIK İÇİN YÖNETMELİĞE VEYA ŞARTNAMEYE BAKINIZ.

Şekil 3.25. İhtiyaca göre aralarda enlemesine sismik bağlantı yerleşimleri*

Boylamasına sismik bağlantılar, her bir hat için bir set olabilir (Şekil 3.26). Ayrıca, maliyet azaltıcı bir teknik olarak, hatların dönüş yaptığı köşelerde hem enlemesine hem de boylamasına bağlantı yapılabilir (Şekil 3.27). Böylelikle bir hattın enlemesine bağlantısı, diğer hattın boylamasına bağlantısı olarak vazife görür.

* FEMA 414, December 2004 “Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe”

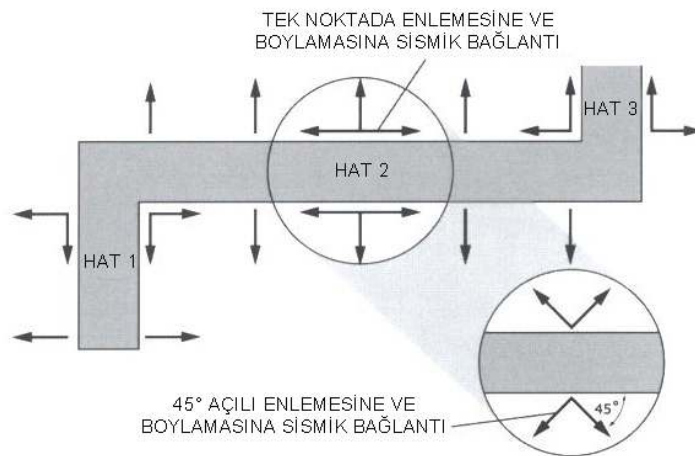


Şekil 3.26. Her hat için bir set boylamasına sismik bağlantı yerleşimi*



Şekil 3.27. Hat dönüşü köşelerinde enlemesine ve boylamasına sismik bağlantı yerleşimi*

Boru hatlarında hem enlemesine hem de boylamasına sismik bağlantı vazifesi gören 45° açılı bağlantılar yapılması durumunda maliyet ve zamandan büyük ölçüde tasarruf yapılabilir (Şekil 3.28).



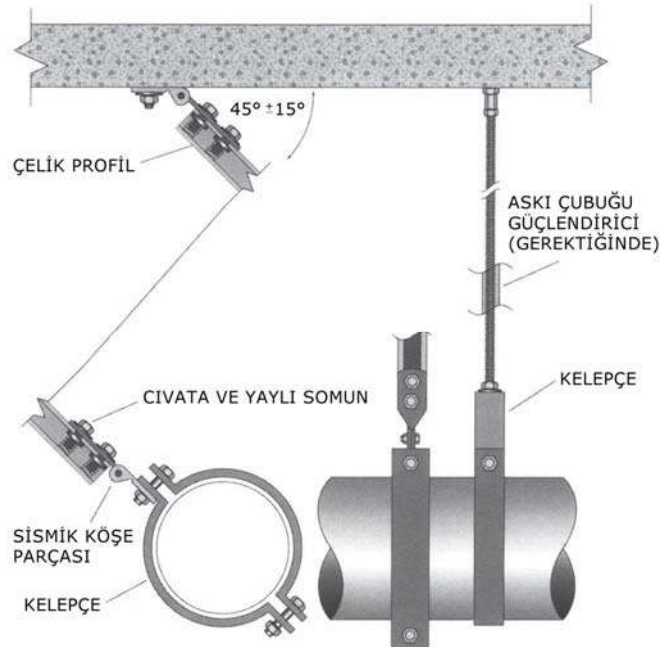
Şekil 3.28. Tek noktada enlemesine ve boylamasına sismik bağlantı yerleşimi*

* FEMA 414, December 2004 “Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe”

Borulardaki sismik bağlantılar, katı çelik profiller ile yapılabileceği gibi (Şekil 3.29) sismik çelik halatlar kullanılarak da yapılabilir (Şekil 3.30). Ancak titreşim yalıtımı yapılan ve/veya ısı genleşmelere maruz boru hatlarında katı çelik profiller kullanılamaz. Ayrıca sismik çelik halatlar gerek malzeme hafifliği gerekse uygulama kolaylığı açısından, hemen her zaman hem malzemeden hem de işçilik giderlerinden ekonomi sağlamaktadır. Üstelik sismik çelik halatların uluslararası bağımsız kuruluşlar tarafından sertifikalandırılmış olanları da mevcut olup, işverenin veya kontrol mühendisinin güvenlikle ilgili talepleri doğrudan karşılanabilir.

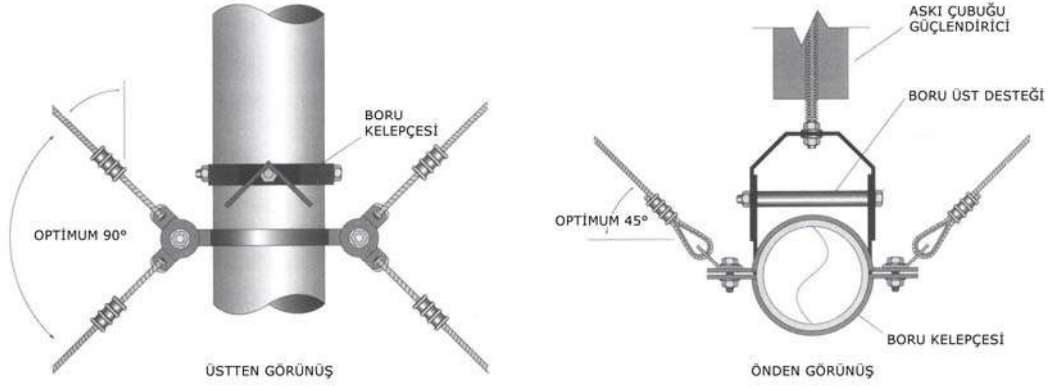
Katı profiller hem çekme hem de basma kuvvetlerine karşı gelir. Bu nedenle boru hattının sadece tek tarafında kullanılırlar ve bundan dolayı askı çubuğunun da sismik yüklere maruz kalmasına sebep olurlar. Bu durum, katı profillerle sismik koruma tasarımını daha kritik yapmaktadır. Çelik halatlar ise sadece çekme kuvvetine karşı çalıştıklarından dolayı, karşılıklı iki halat şeklinde her zaman çift olarak kullanılırlar ve askı çubuğuna sismik yük aksettirmezler.

Sismik halatların bu özellikleri, hem enlemesine hem de boylamasına bağlantının tek bir noktada yapılmasını sağlayan 45° açılı bağlantılar yapılmasına olanak vermektedir. Bu durum, asma tavan içinde yer sıkıntısı olan projeler için büyük avantajlar sağlamanın yanı sıra, özellikle işçilik maliyetlerinden de büyük oranda tasarruf edilmesini sağlamaktadır.



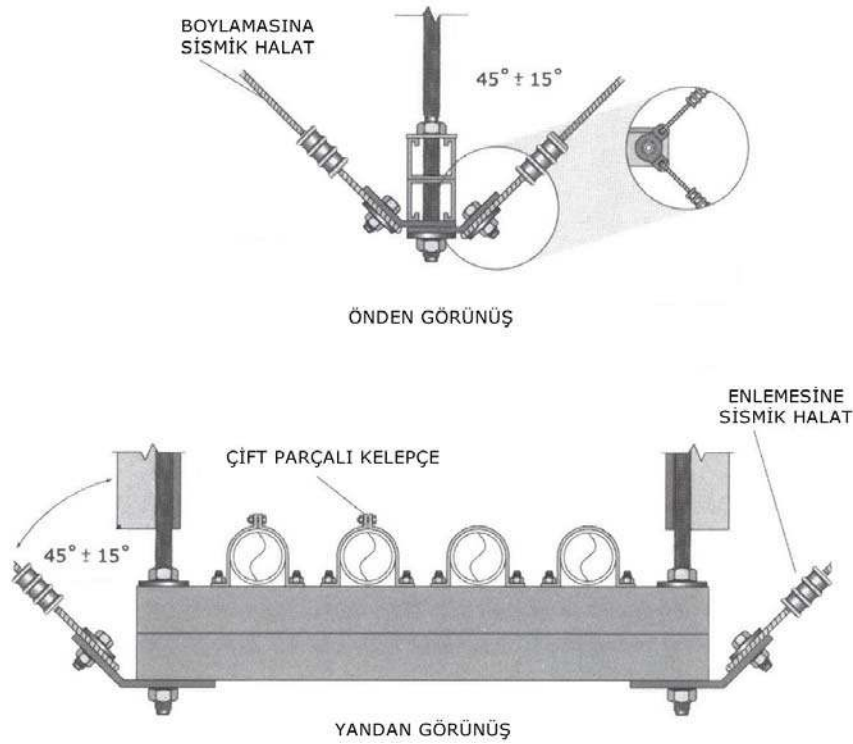
Şekil 3.29. Asılı boru hatlarında çelik profiller ile sismik bağlantı*

* FEMA 414, December 2004 “Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe”



Şekil 3.30. Asılı boru hatlarında sismik halatlar ile sismik bağlantı*

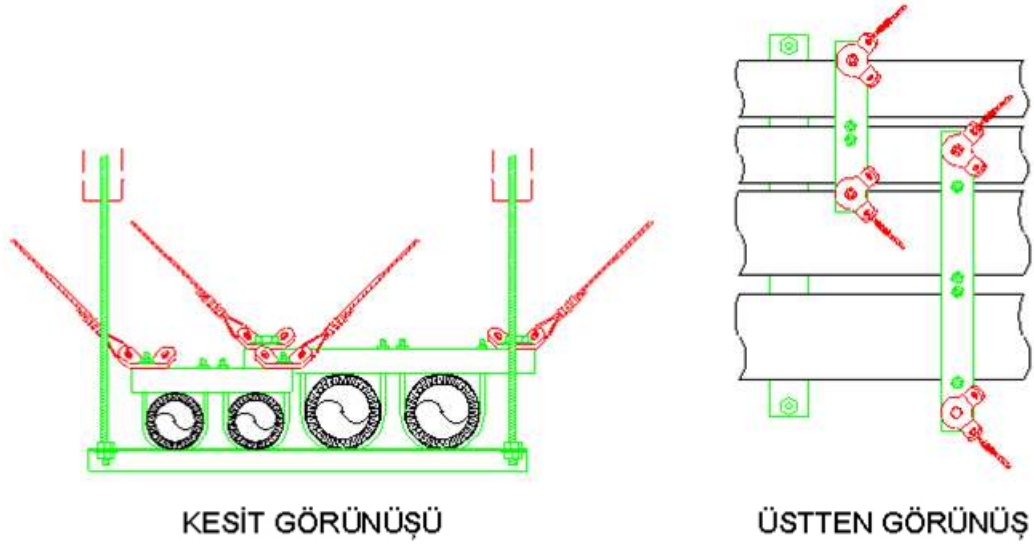
Asılı boru hatlarında birden fazla borunun tek bir trapez üzerinde taşınması durumunda, taşıyıcı trapezin sismik olarak bağlanması gerekir. Bu durumda önemli olan nokta, boruların trapez üzerinde sismik yüklere karşı dayanıklı olarak bağlanması gerekliliğidir. Bunu sağlamak üzere boruların U-kelepçeler veya benzeri tipte bağlantılarla trapeze sabitlenmesi gerekir (Şekil 3.31). Tek noktadan bağlanan klasik kelepçeler, bağlantı noktasının bir moment kolu oluşturması ve çoğu zaman bu noktanın yeterli dayanımda olmaması sebebiyle sismik açıdan uygun değildirler.



Şekil 3.31. Trapez üzerindeki boru gruplarında sismik bağlantı*

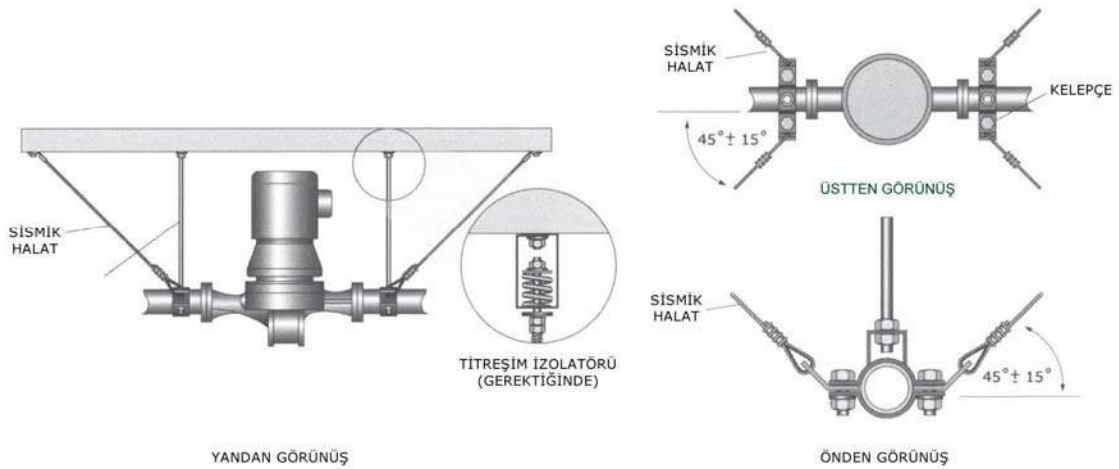
* FEMA 414, December 2004 "Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe"

Asılı boru hatlarındaki ısı genleşmeler sismik sınırlandırma açısından kritik uygulamalardır. Özellikle farklı ısı genleşmelere maruz boruların aynı trapez üzerinde olmaları durumunda, bunların sismik bağlantılarının da ayrı ayrı çözülmesi gerekir (Şekil 3.32). Ayrıca ısı genleşme yapan boru hatları, açısal sapma yapabilen titreşim askıları ile asılmadıkları takdirde, kayar mesnet kullanımı gerektirir. Kayar mesnetler ise sismik bağlantı açısından kritiktir.



Şekil 3.32. Farklı ısı genleşme yapan boru gruplarında sismik bağlantı

Asılı boru hatları üzerinde monte edilen çeşitli ekipmanlar (in-line pompalar, tüpler, ısı değiştirgeçleri vs) için ayrıca sismik bağlantı yapılması gerekebilir. Böyle durumlarda yine titreşim yalıtımı gerekip gerekmeyeceğine bağlı olarak titreşim askıları da kullanılabilir (Şekil 3.33, 34, 35).

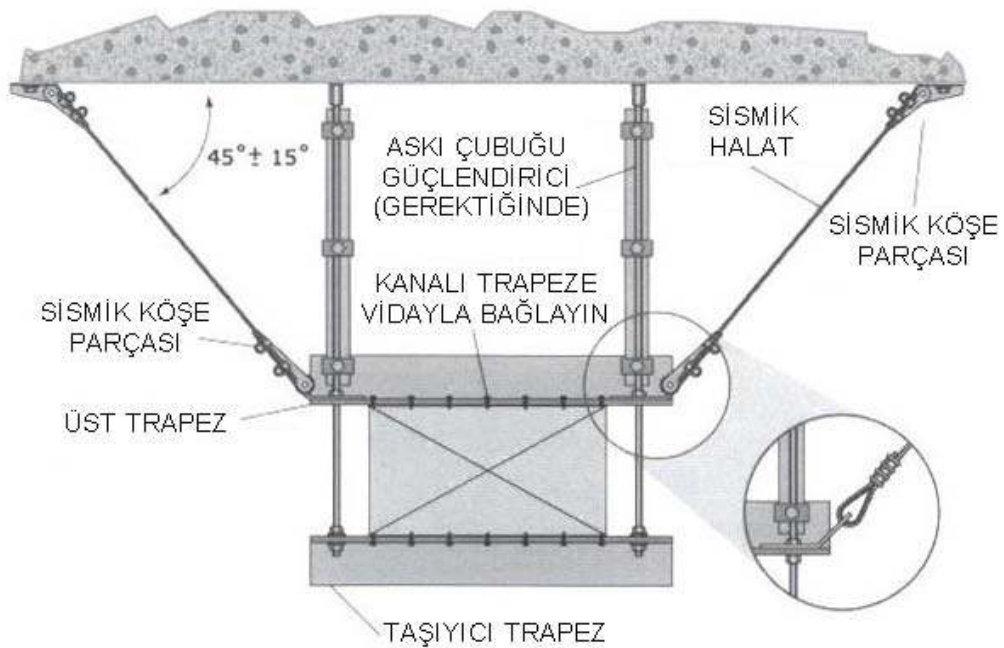


Şekil 3.33. Boru hattı üzerindeki pompanın sismik koruması*

* FEMA 414, December 2004 “Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe”

Yine borularda olduğu gibi, asılı hava kanallarının sismik koruması, yapılacak sismik projelere bağlı olarak, boru hattı boyunca çeşitli noktalarda enlemesine ve boylamasına sismik sınırlamalar yapılması suretiyle gerçekleştirilir. Bu noktalarının seçimi için öncelikle kanal hatları parçalar halinde numaralandırılır. Daha sonra enlemesine ve boylamasına sismik bağlantı noktaları belirlenir.

Hava kanallarındaki sismik bağlantılar da yine borularda olduğu gibi sismik çelik halatlar (Şekil 3.36) veya katı çelik profiller (Şekil 3.37) kullanılarak yapılabilir. Ancak titreşim yalıtımı yapılan kanallarda sadece sismik çelik halatlar kullanılabilir (Şekil 3.38).



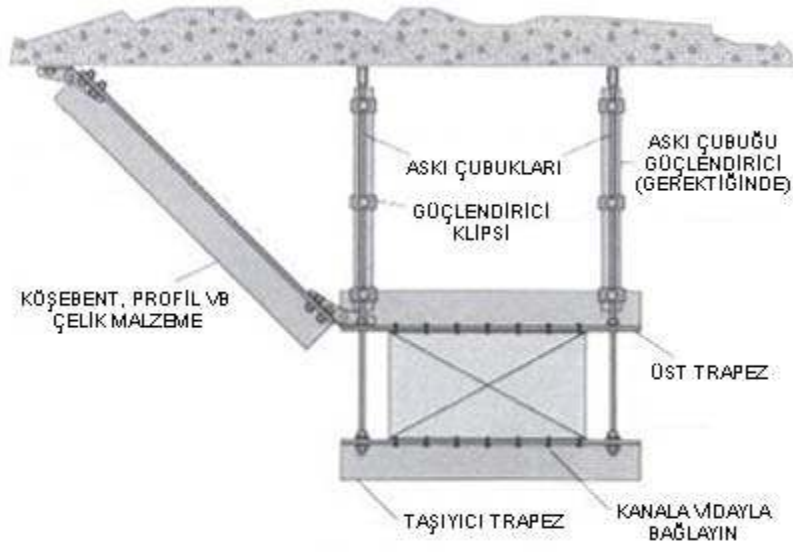
Şekil 3.36. Asılı hava kanallarında sismik halatlar ile sismik bağlantı*

Sismik çelik halatların gerek malzeme hafifliği gerekse uygulama kolaylığı açısından, hemen her zaman hem malzemeden hem de işçilik giderlerinden ekonomi sağladığını ve uluslararası bağımsız kuruluşlar tarafından sertifikalandırılmış olanlarının da mevcut olup, işverenin veya kontrol mühendisinin güvenlikle ilgili talepleri doğrudan karşılanabildiğini söylemiştik.

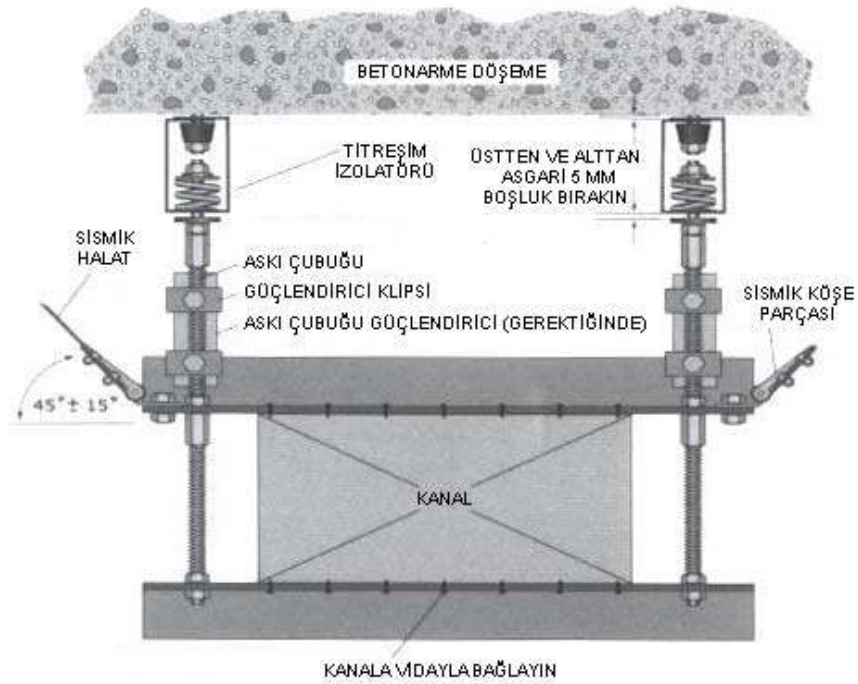
Tıpkı borularda olduğu gibi hava kanallarında da sismik bağlantı amacıyla kullanılan katı profiller hem çekme hem de basma kuvvetlerine karşı gelir. Bu nedenle kanal hattının sadece tek tarafında kullanılırlar ve bundan dolayı askı çubuğunun da sismik yüklere maruz kalmasına sebep olurlar. Bu durum, katı profillerle sismik koruma tasarımını daha kritik yapmaktadır. Çelik halatlar ise sadece çekme kuvvetine karşı çalıştıklarından dolayı, karşılıklı

* FEMA 414, December 2004 “Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe”

iki halat şeklinde her zaman çift olarak kullanılırlar ve askı çubuğuna sismik yük aksettirmezler.



Şekil 3.37. Asılı hava kanallarında çelik profiller ile sismik bağlantı*

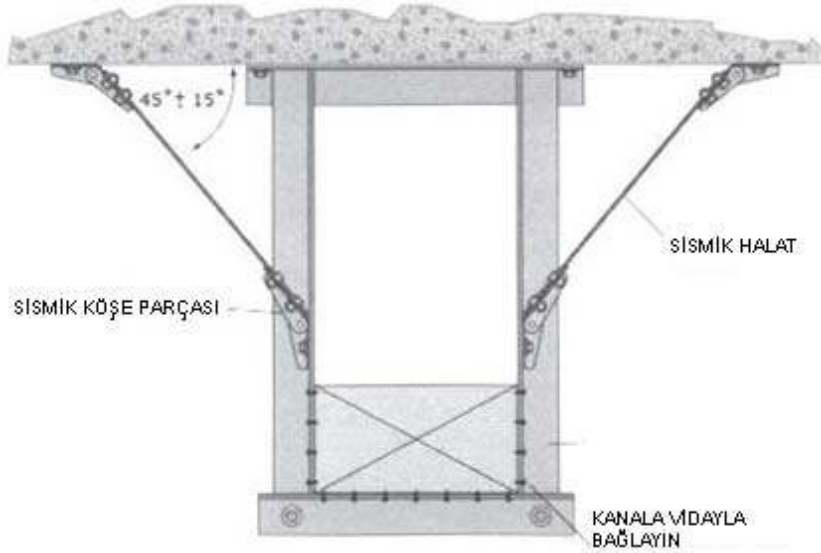


Şekil 3.38. Titreşim yalıtımı yapılan hava kanallarında sismik halatlar ile sismik bağlantı*

Bazı durumlarda hava kanalları askı çubuklarıyla değil çelik profiller ile tavana asılabilir. Böyle durumlarda, çelik profilden yapılmış taşıyıcı sistemin profil kesiti, uzunluğu, yapıya

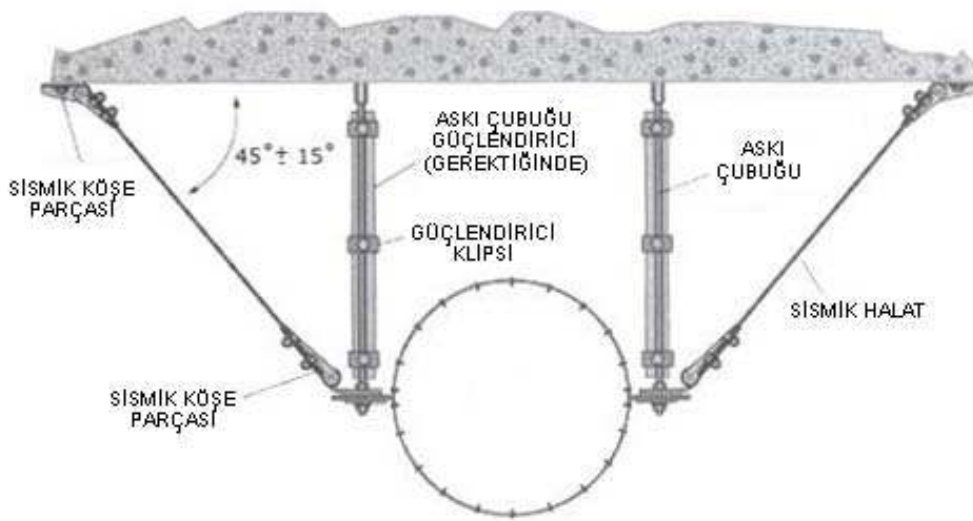
* FEMA 414, December 2004 "Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe"

bağlantı noktası detayları gibi tüm parametreleriyle birlikte, sismik yüklere dayanıklılık açısından analiz edilmesi gerekir. Şayet sistem mevcut haliyle sismik yüklere karşı yeterli dayanımda değilse, sismik bağlantılarla takviye yapılması gerekir (Şekil 3.39).



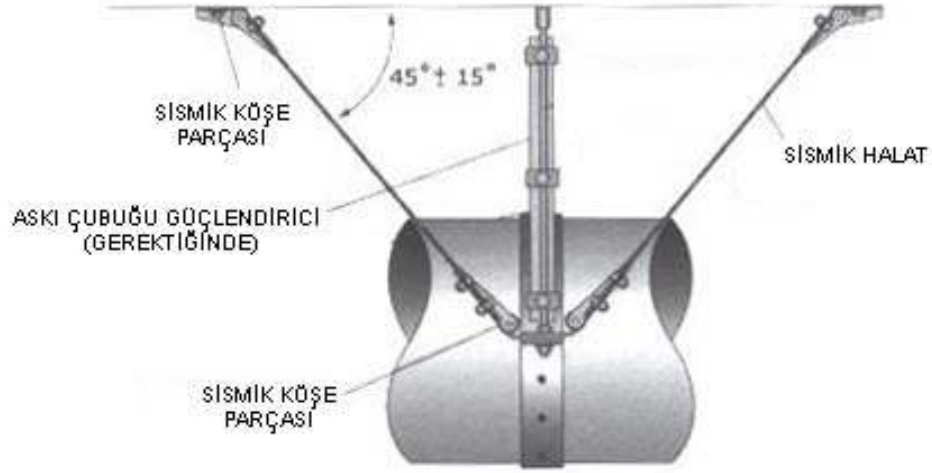
Şekil 3.39. Çelik profillerle asılmış hava kanalında sismik halatlar ile sismik bağlantı*

Dairesel kesitli hava kanalları, kelepçelerle bağlı olabileceği gibi (Şekil 40 ve 41) asılı bir trapez üzerinde de monte edilebilir. Her iki durumda da sismik halatlar ile bağlantı yapılabilir. Ancak trapez üzerindeki hava kanalının U-cıvata ile trapeze bağlı olması gerekir (Şekil 3.42).

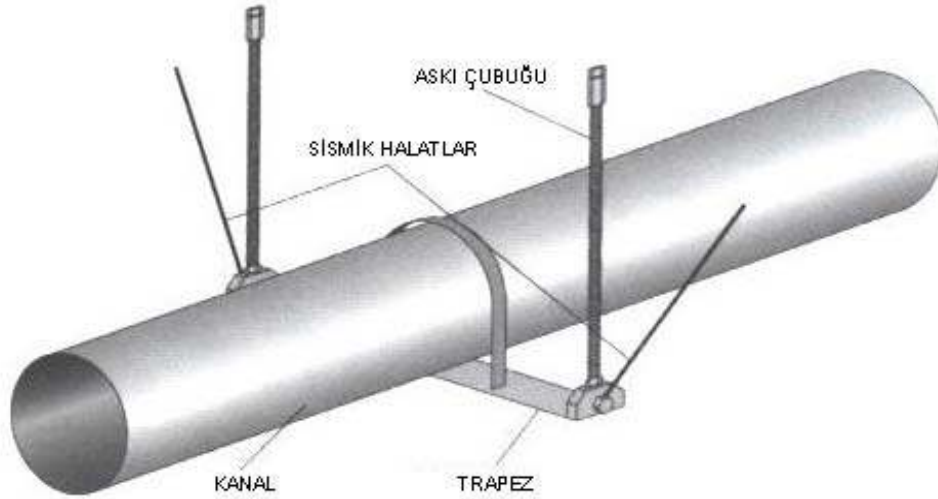


Şekil 3.40. Kelepçeyle asılı dairesel kesitli hava kanalında enlemesine sismik bağlantı*

* FEMA 414, December 2004 "Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe"



Şekil 3.41. Kelepçeyle asılı dairesel kesitli hava kanalında boylamasına sismik bağlantı*



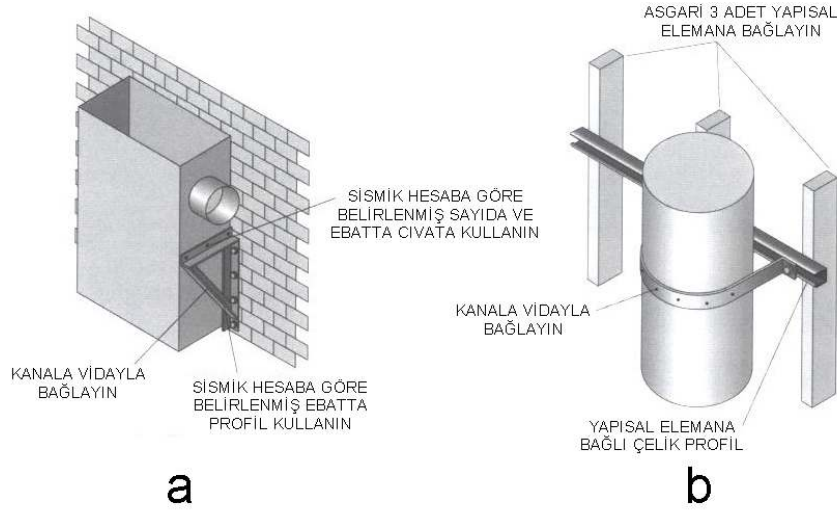
Şekil 3.42. Asılı trapez üzerine monte edilmiş hava kanalında sismik halatlar ile sismik bağlantı*

Kolonlarda ve diğer yerlerde düşey olarak monte edilen hava kanallarının sismik koruması, duvarlara veya yapısal çelik elemanlara bağlı çelik takviyelerle yapılabilir. Dikdörtgen kesitli bir düşey hava kanalının sismik koruması için, köşebentten yapılmış takviyeler (Şekil 3.43 a), dairesel kesitli bir düşey hava kanalının sismik koruması için ise, yapısal bir çelik elemana bağlı yine çelikten bir şerit kullanılabilir (Şekil 3.43 b).

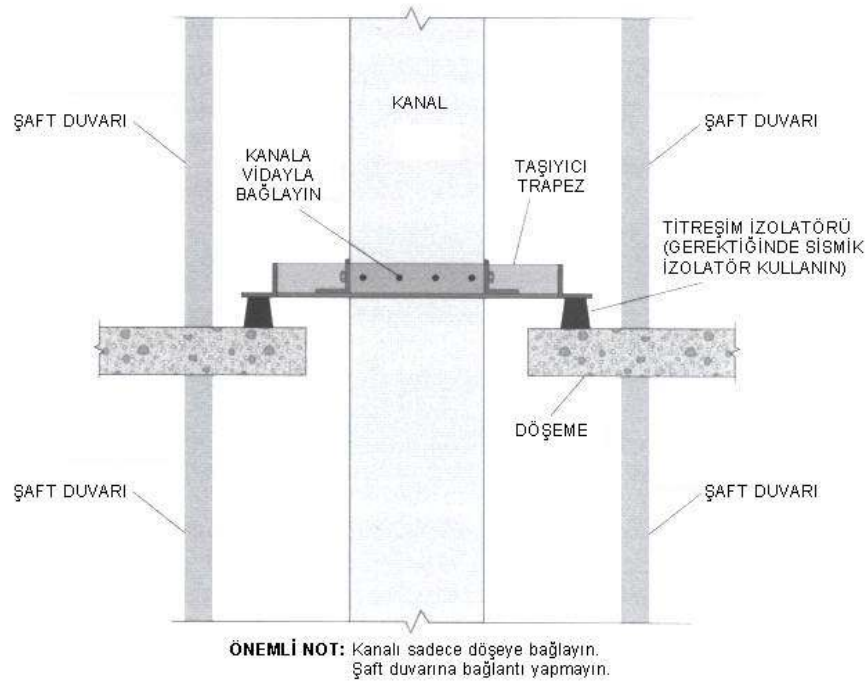
Şaft içindeki düşey hava kanallarında titreşim yalıtımı yapılması istendiğinde, kanalı taşıyan profiller titreşim izolatörleri üzerine monte edilebilir (Şekil 3.44). Ancak böyle durumlarda sismik koruma yapılması da gerekiyorsa, izolatörlerin sismik özellikte olması veya ilave

* FEMA 414, December 2004 "Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe"

olarak sismik halatlar kullanılması gerekir. (Titreşim yalıtımı yapıldığında, katı profillerle sismik bağlantı yapılmaması gerektiğini hatırlayınız.)



Şekil 3.43. Düşey hava kanallarında sismik bağlantılar*



Şekil 3.44. Şaft içindeki düşey hava kanalında titreşim izolatörü kullanımı*

3.3.7. Elektrik Tavaları ve Diğer Hatlar

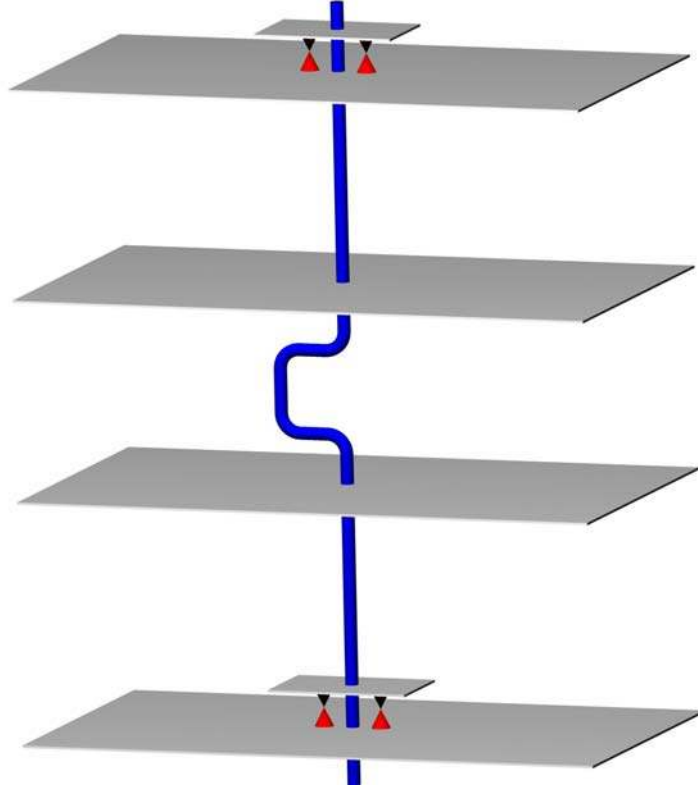
Asılı elektrik tavaları, busbar ve benzeri hatlarda da tıpkı boru ve hava kanalı trapezlerinde olduğu gibi sismik çelik halatlar (Şekil 3.45) veya katı profillerle (Şekil 3.46) sismik bağlantı

* FEMA 414, December 2004 "Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe"

3.3.8. Kolon Boruları

Kolon boruları özellikle çok katlı binalarda kritik bir konudur. Bunun sebepleri, öncelikle uzun bir boru hattının yalıtımlı ve içi dolu ağırlığının bina statığına olan etkisi ve yine uzun bir boru hattında meydana gelen ısı boyut değişimlerinin (genleşme/büzüşme) yaratacağı gerilmelerdir.

Kolon borularında oluşan ısı boyut değişimlerine karşı alınan yöntemlerden biri, boru hattının kaydırılması (off-set) veya hat üzerinde genleşme/büzüşme alıcı kısımlar (omega) oluşturulmasıdır (Şekil 3.47).

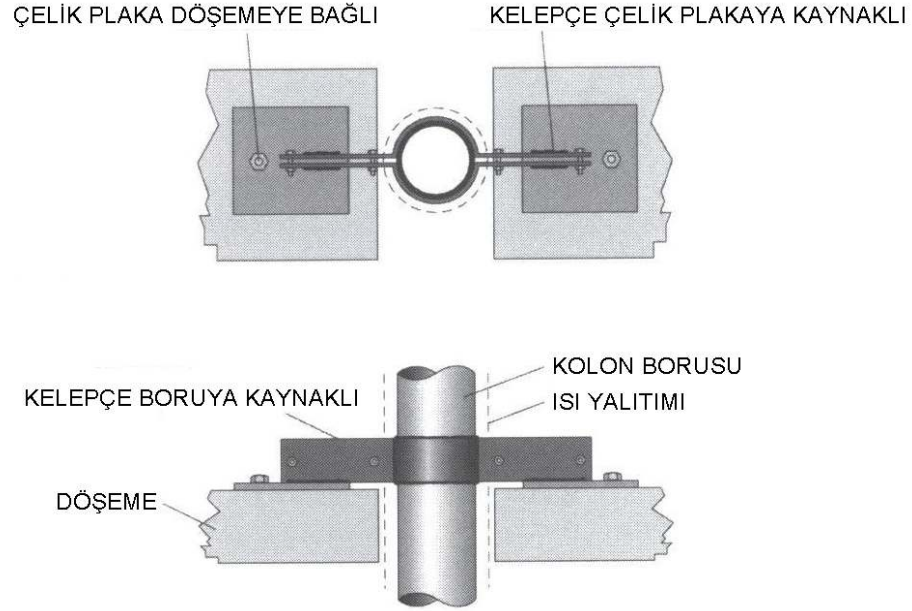


Şekil 3.47. Kolon borularında genleşme/büzüşme alıcı kısımlar (omega) oluşturulması

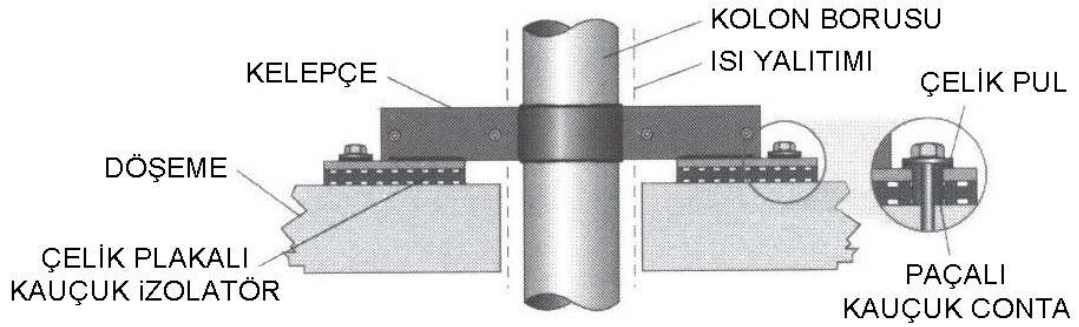
Bu yöntemde öncelikle boruda meydana gelecek ısı boyut değişimleri hesaplanmalıdır. Bundan sonra boru, binanın belirli katlarında boru sabit olarak monte edilir (Şekil 3.48). Şayet borudaki titreşimin yalıtılması isteniyorsa, boru kelepçesi elastomer yastık tipi izolatörler üzerine de monte edilebilir (Şekil 3.49).

Daha sonra yukarıya ve aşağıya doğru ısı boyut değişimlerine izin verecek şekilde boru kılavuzları oluşturulur (Şekil 3.50). Boru kelepçeleri, ısı yalıtımının altında boruya kaynaklı olmalıdır. Isı köprüsü oluşumunu önlemek amacıyla kelepçenin üzerine de ısı yalıtımı yapılması gerekir.

Bu yöntemin en büyük mahsuru, mimari projede istenmeyen yanal hacim gereksinimlerine ve dolayısıyla yer kayıplarına sebep olmasıdır. İkinci olarak birçok dirsek içermeleri sebebiyle bu kısımlar sistem basıncının ciddi şekilde artmasına sebep olurlar. Son olarak ise sabit noktadan dolayı bina statığına ciddi bir yük bindirilmesi söz konusudur.

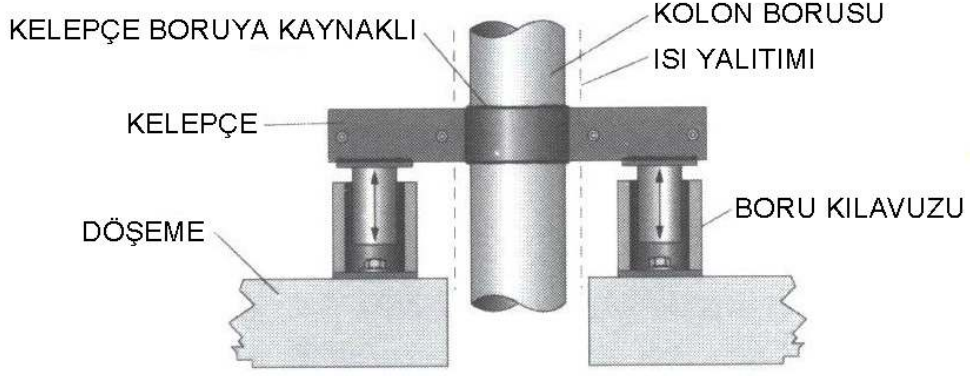


Şekil 3.48. Kolon borularında sabit nokta*



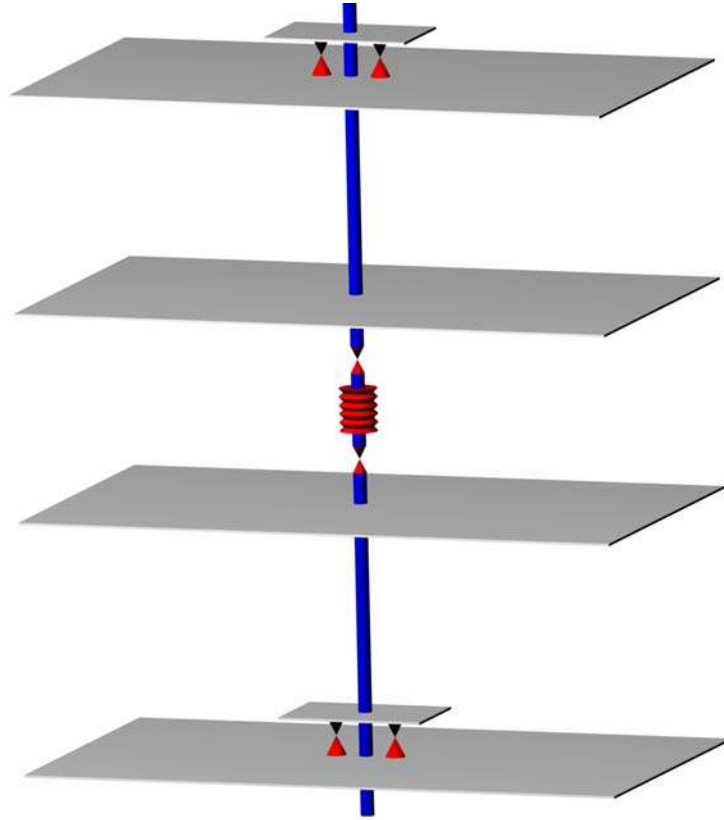
Şekil 3.49. Kolon borularında titreşim yalıtımlı sabit nokta*

* FEMA 414, December 2004 “Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe”



Şekil 3.50. Kolon borularında boru kılavuzu kullanımı*

Isıl boyut değiştirmelere karşı alınan bir başka yöntem, boru hattı üzerinde belirli noktalarda ve gerekli sayıda uzama kompensatörleri kullanılmasıdır (Şekil 3.51). Bir önceki yöntemde olduğu gibi burada da öncelikle boruda meydana gelecek ısıl boyut değiştirmeler hesaplanır, sonra boru sabit noktaya monte edilir ve daha sonra da yukarıya ve aşağıya doğru ısıl boyut değiştirmelere izin verecek şekilde boru kılavuzları oluşturulur.



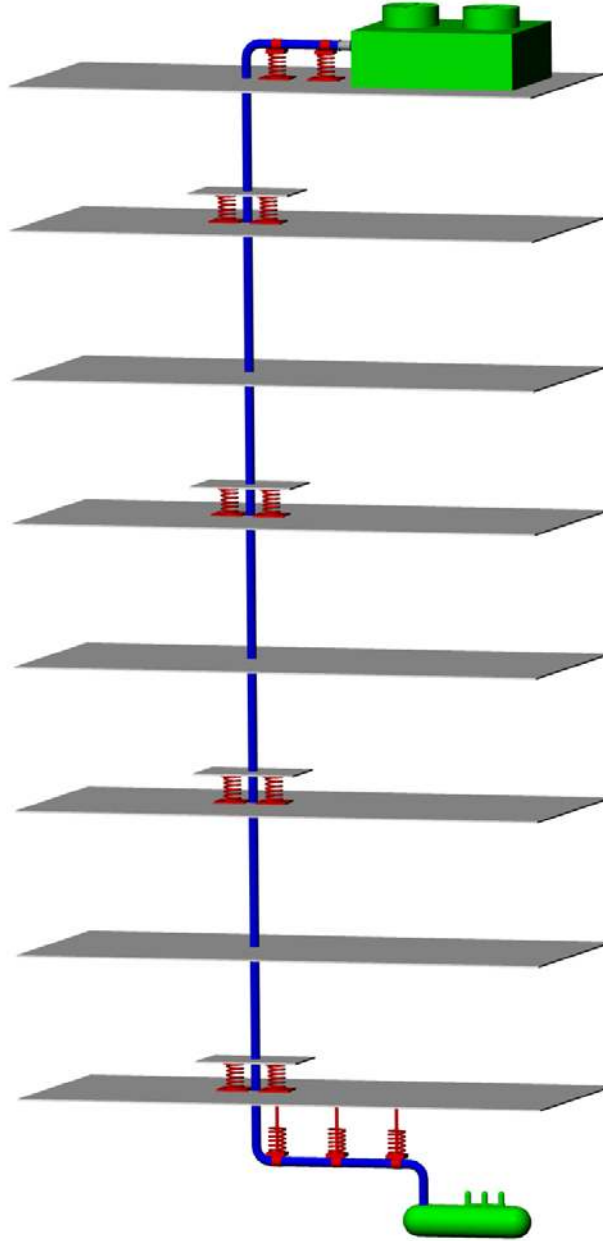
Şekil 3.51. Kolon borularında genleşme/büzüşme alıcı uzama kompensatörleri kullanımı

* FEMA 414, December 2004 “Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe”

Uzama kompensatörleri potansiyel sızıntı noktaları oluşturmaları ve bakım gerektirmeleri gibi sebeplerden ötürü sorunlara yol açabilirler. İkinci olarak, sismik dayanım açısından boru hattı üzerinde zayıf noktalar oluştururlar. Son olarak ise yine sabit noktadan dolayı bina statığıne ciddi bir yük bindirilmesi söz konusudur.

Kolon borularındaki ısıl boyut değiştirmelere karşı alınabilecek gelişmiş bir yöntem olarak, kolon borusunun yaylar üzerine monte edildiği “yüzer sistem” gösterilebilir. Bu yöntemde de ilk olarak boruda meydana gelecek ısıl boyut değiştirmeler hesaplanır ve bu ısıl boyut değiştirmeleri karşılayacak yaylar seçilerek, boru bu yaylar üzerine monte edilir (Şekil 3.52).

Yüzer sistem hesabında öncelikle boruların dolu ağırlıkları ve işletme sıcaklıkları belirlenir. Daha sonra boru çapına ve uzunluğuna bağlı olarak her 2 veya 3 katta bir borunun yerleştirileceği yaylar için bir ön seçim yapılır. Bu seçimlerle birlikte keyfi olarak belirlenmiş bir sanal sıfır noktası (ısıl genleşme olmadığı öngörülen, genelde şaft ortasına yakın seçilen bir nokta) yazılıma girilerek ısıl genleşme sonrası yaylara gelecek yükler ve çökme miktarları hesaplanır. Başlangıçta seçilmiş yayların uygun olmaması durumunda seçimler birkaç defa tekrarlanarak en uygun yaylar belirlenir.



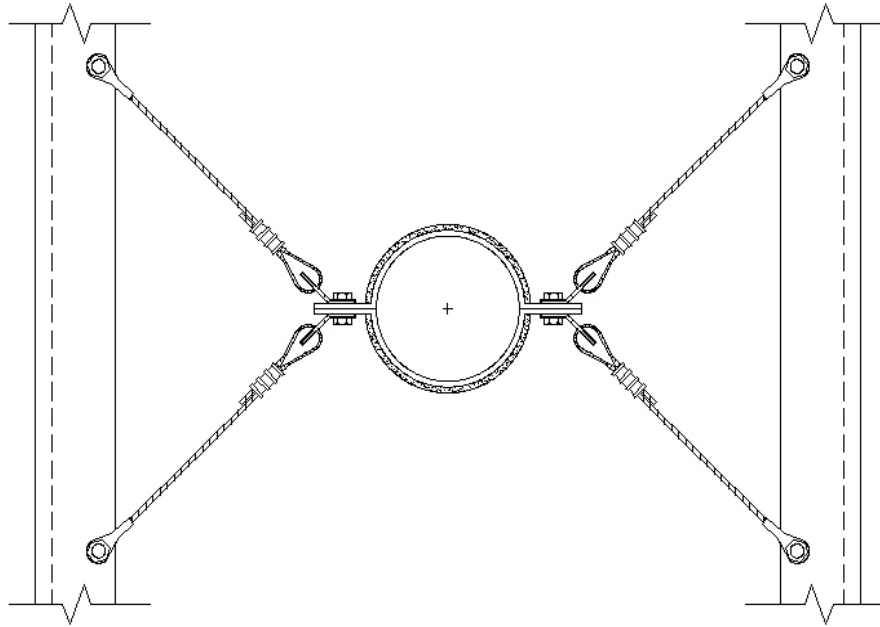
Şekil 3.52. Kolon borularında ısı boyut değıştirmelere ve titreşime karşı yüzer sistem kullanımı

Kolon boruları için yüzer sistem hesabı, hesap makinesi ile yapılması çok zahmetli olan ve zaman alıcı bir işlemdir. Bundan ötürü bu iş için özel olarak tasarlanmış bir bilgisayar yazılımı kullanılır. Bu yazılım, her deneme seçimi sonrasında arka arkaya sürekli tekrarlanan hesaplamalar (iterasyon) yaparak en uygun izolatör seçimine olanak tanır (Şekil 3.53).

KOLON ADI VE NUMARASI								
İzolatörün Bulunduğu Kat	Şematik	İzolatörler Arası Mesafe (m)	İzolatör Seçimi	Başlangıç Yüğü (kg)	Başlangıç Çökme Miktarı (mm)	Çökme Değişimi (mm)	Son Çökme (mm)	Son Yüğü (kg)
ÇATI		11	2 SWX-5-A-200	164	10,29	-2,82	7,47	119
21		9	2 SWX-3-A-200	180	7,52			26
18		9	her 2-3 katta bir	259	7,24			199
15		9		311	4,34	-1,12	3,23	231
12		9	2 SWX-1-400			-0,53	2,39	342
9		9	2 SWX-1-600			0,03	2,59	556
6		9	2 SWX-2-1000	549	3,07	0,58	3,66	655
3		0	2 SWX-3B-1500	862	4,83	1,14	5,97	1068

Şekil 3.53. Kolon borularında yüzer sistem örnek hesap formu

Yüzer sistem uygulanmış bir kolon borusunda sismik koruma gereken durumlarda, kolonun belirli noktalarında 4-yönlü sismik halat setleri kullanılır (Şekil 3.54)



Şekil 3.54. Yüzer sistem uygulanmış kolon borularında sismik halat kullanımı (üstten görünüş)

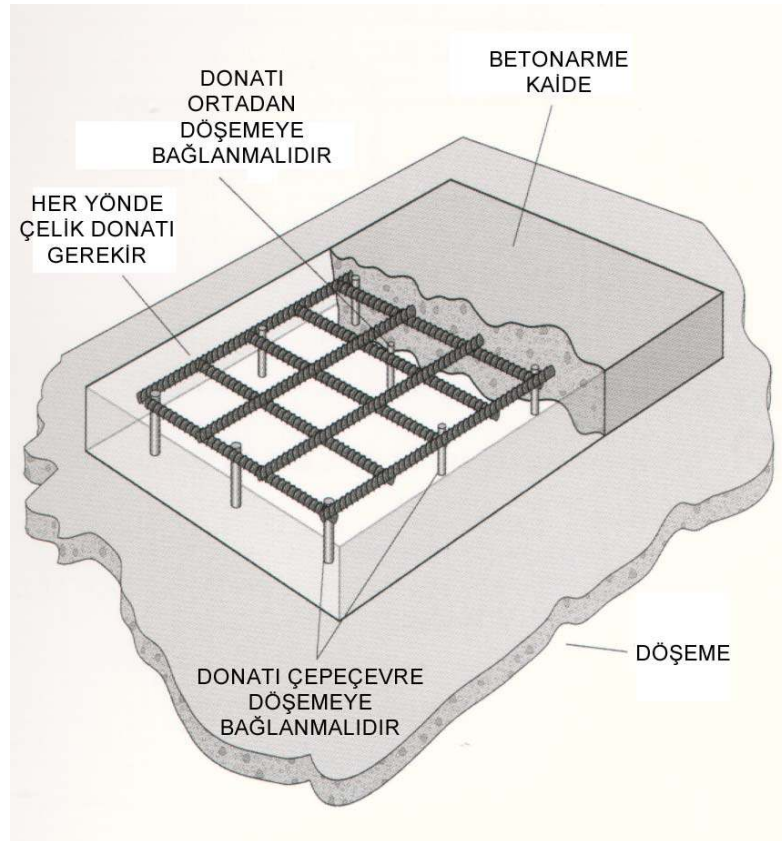
Yüzer sistem uygulamasının bir benzeri olarak, kolon borusunun ortada bir noktada sabitlenmesi, üst ve alt noktalarda ise yaylar üzerine monte edilmesi şeklinde uygulamalar da mevcuttur. Ancak bu uygulamalarda, kolon borusunun bina statığına olan olumsuz etkisi

bertaraf edilemeyeceği gibi, borulardaki titreşimlerin de tamamen ortadan kaldırılamaması gibi mahsurlar söz konusu olmaktadır.

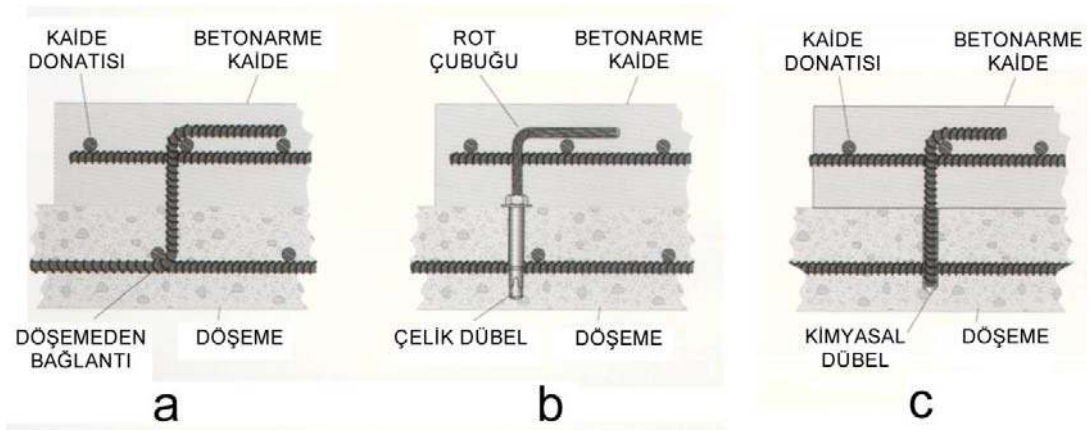
3.3.9. Kaideler ve Atalet Şasileri

Döşeme üzerine monte edilecek mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat ekipmanlarının, imalat makinelerinin ve benzeri cihazların bakım, temizlik vs amaçlarla döşemeden yüksekte olmasını temin etmek üzere betondan veya çelikten kaideler kullanılır. Bu kaidelerin deprem açısından güvenilirliğinin sağlanabilmesi için çeşitli tedbirler alınması gerekir.

Her şeyden önce beton kaideler kesinlikle çelik donatılı olmalıdır (Şekil 3.55). Ayrıca kaidenin donatısı, üzerinde bulunduğu döşemenin donatısıyla bağlantılı olmalıdır. Bunun temin edilebilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. En düşük maliyetli ve güvenilir yöntem, döşeme donatısından kaide için filizler bırakılmasıdır (Şekil 3.56a). Ancak bunun için inşaat işlerinin mekanikle çok titiz bir koordinasyon dahilinde yürütülmesi şarttır. Bunun sağlanamadığı durumlarda, döşemeye sonradan çelik dübeller çakılarak kaide donatısı bu dübellere saplı rot çubuklarına bağlanır (Şekil 3.56b). Bazı durumlarda sismik yüklere yeterli dayanımı sağlayacak çelik dübellerin çaplarının büyüklüğü ve çakma derinlikleri, uygulama açısından büyük zorluklara hatta imkansızlıklara sebep olabilir. Böyle durumlarda çelik çakma dübel yerine, küçük çapta ve dalma derinliğinde aynı dayanımı sağlayacak kimyasal dübeller kullanılabilir (Şekil 3.56c). Son olarak döşemeye özel çelik kaide dübelleri çakılarak bağlantı yapılabilir. Ancak bu dübeller maliyetleri ciddi oranda artırmaktadır.



Şekil 3.55. Çelik donatılı betonarme kaide*

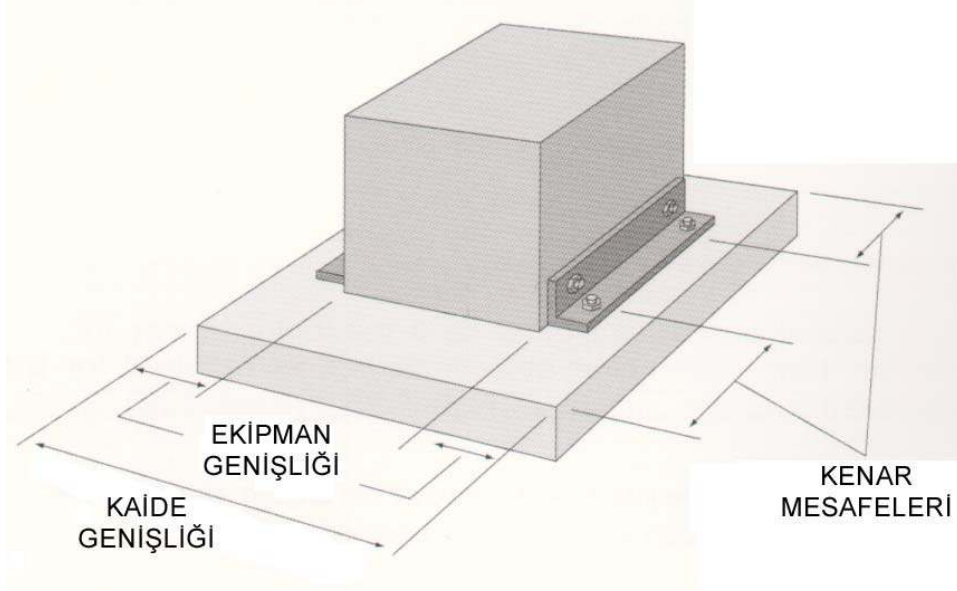


Şekil 3.56. Betonarme kaide donatılarının döşeme donatısıyla bağlantı yöntemleri*

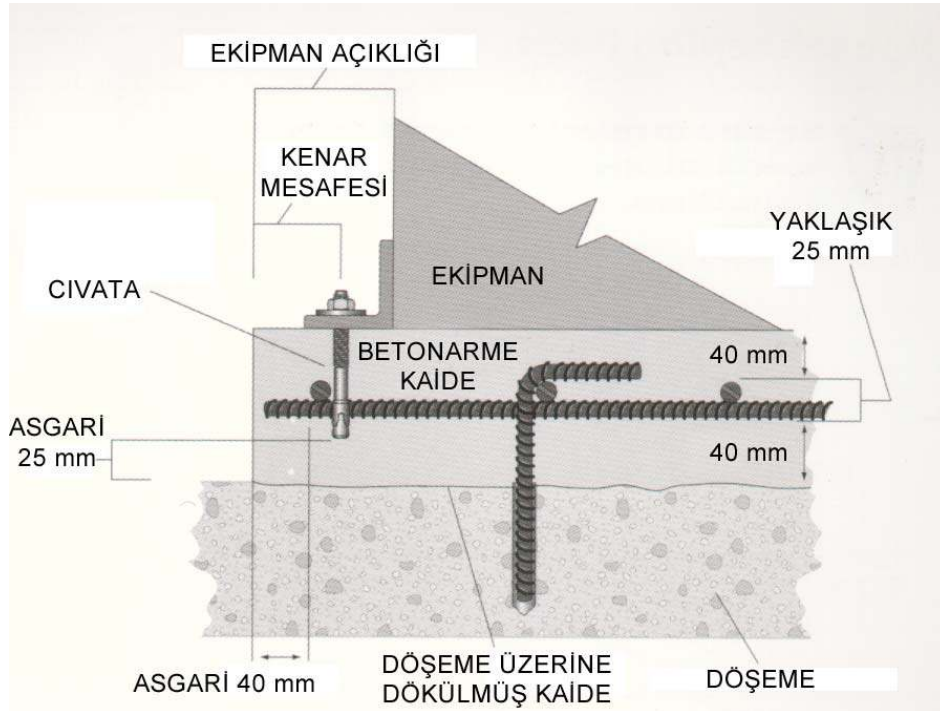
Beton kaide tasarımında çok kritik bir nokta, ekipmanın kaideye bağlantılarının, kaide kenarlarına olan mesafeleridir (Şekil 3.57). Şayet bu mesafeler gereğinden az olursa, bağlantı civatasının betonu patlatma tehlikesi ortaya çıkar (Şekil 3.2). Bu bağlantı mesafeleri, detaylı bir sismik mühendislik çalışmasıyla belirlenir. Ancak genel prensipler açısından bazı detaylar Şekil 3.58’de gösterilmiştir.

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

Önceden yapılmış ve döşeme ile bağlanmamış kaidelerin depreme karşı korunabilmeleri için Şekil 3.59'daki gibi yanal sınırlandırıcı elemanlar kullanılmalıdır. Böyle bir durumda, döşemede süreksizlik olması halinde (örneğin bina dilatasyon geçişlerinde veya Şekil 3.59'daki fotoğrafta olduğu gibi süreksiz döşemelerde) sismik bağlantı güvenli en yakın noktadan yapılmalıdır (Şekil 3.60).

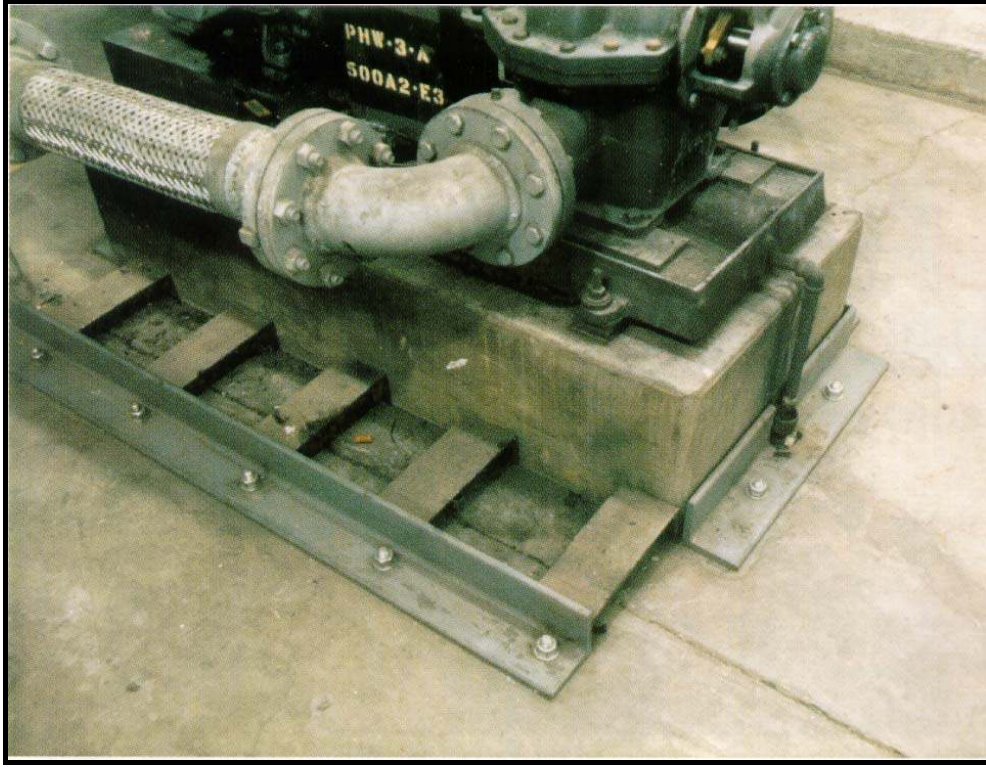


Şekil 3.57. Beton kaide üzerindeki ekipmanın ve bağlantı noktalarının kenar mesafeleri*

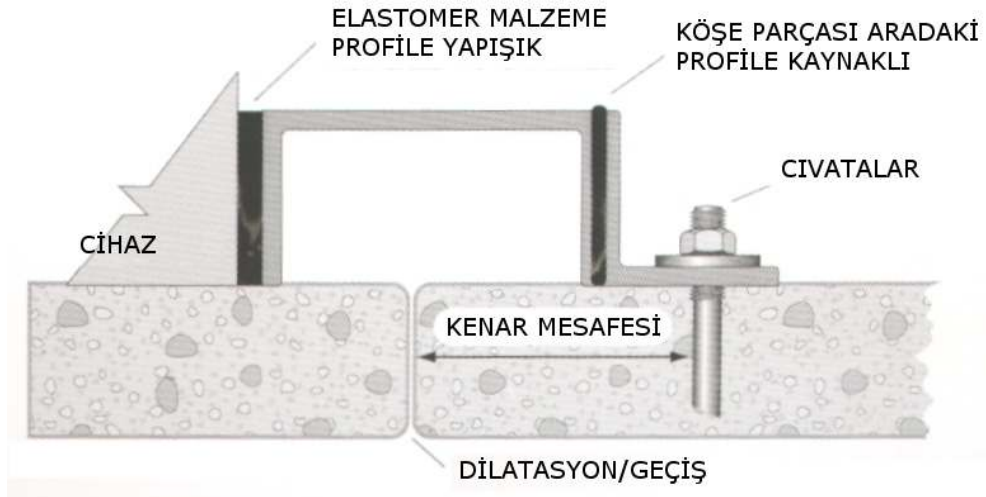


Şekil 3.58. Beton kaide üzerindeki ekipmanın ve bağlantı noktalarının kenar mesafeleri*

* FEMA 412, December 2002 "Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment"



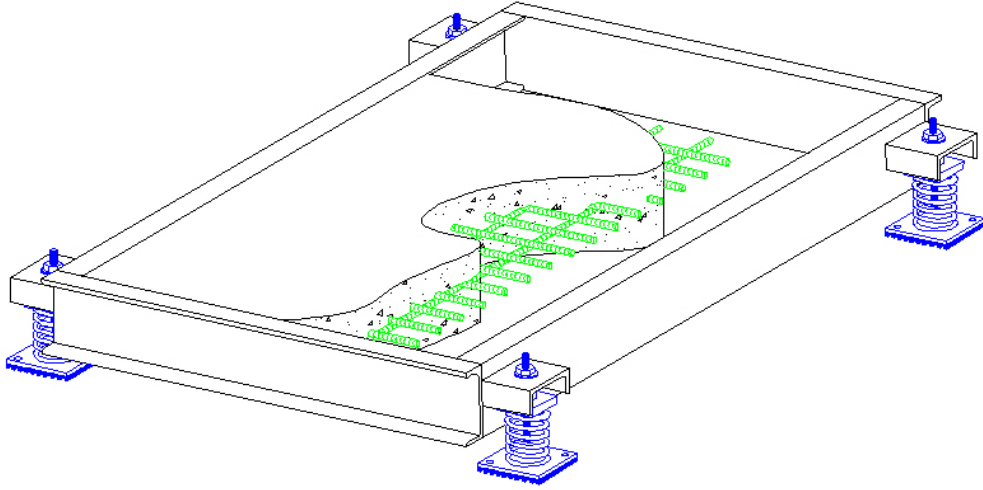
Şekil 3.59. Döşemeye bağlanmamış beton kaideye sismik tedbir amaçlı yanal sınırlandırıcılar*



Şekil 3.60. Süreksiz döşemelerde ekipman/kaide yanal sınırlandırıcı detayı*

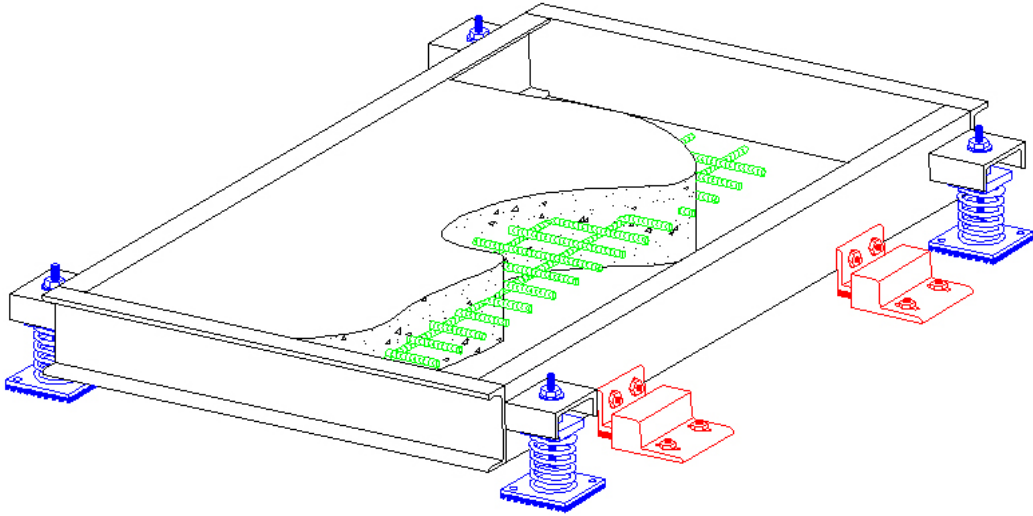
Özellikle kritik mahallerde (altında veya yanında gürültü hiç istenmeyen mekanik odalar vb) ciddi oranda titreşim yalıtımı gereken ekipmanların (büyük pompalar, kompresörler vb) döşemeden yüksekte durmasını temin etmek üzere çelik ve/veya yine donatılı beton atalet kaideleri kullanılmalıdır. Bu kaideler, sadece titreşim yalıtımı amacıyla kullanılacaklarsa, çelik yaylı titreşim izolatörleri üzerine monte edilirler (Şekil 3.61).

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

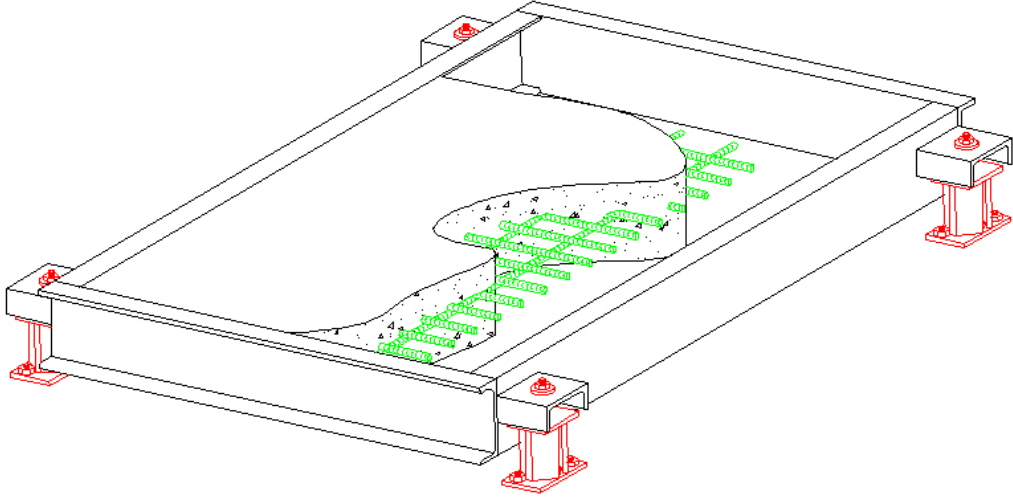


Şekil 3.61. Çelik/beton atalet kaidelerinde titreşim izolatörü uygulaması

Sismik koruma gereken durumlarda titreşim izolatörlerine ek olarak sismik sınırlandırıcılar kullanılabileceği gibi (Şekil 3.62), doğrudan sismik izolatörler kullanılarak daha az maliyetle çözüme ulaşılabılır (Şekil 3.63).



Şekil 3.62. Çelik/beton atalet kaidelerinde titreşim izolatörüyle birlikte sismik sınırlandırıcı uygulaması



Şekil 3.63. Çelik/beton atalet kaidelerinde sismik izolatör uygulaması

3.3.10. Bağlantı Elemanları ve Yöntemleri

Tesisat donanımları için yapılacak yapısal bağlantıların da hesaplanmış sismik yüklere karşı yeterli dayanımda ve uygun nitelikte olmaları gerekmektedir. Olması gerekenden daha küçük çapta seçilen bir cıvata, deprem yükü altında maruz kalacağı kesme ve kopma gerilmelerine karşı koyamayabilir. Benzer şekilde betonarme yapı bileşenine yetersiz derinlikte çakılmış bir dübelin depremde sökülmesi söz konusu olabilir. Hatta dübel deliği kenarlara fazla yakın olduğunda betonun parçalanması dahi mümkündür (Şekil 3.2).

Sismik açıdan doğru bağlantı elemanlarının seçimi ve bu elemanların hesaplanmış verilere göre bağlantılarının yapılması gerekliliği, kolaylıkla göz ardı edilebilen ama gerçekte hayati derecede önem taşıyan bir konudur. Bundan dolayı, sismik bağlantılarda kullanılacak dübel, cıvata vb elemanların da sismik mühendislik hesaplarına uygun seçilmeleri gerekmektedir.

Şekil 3.64’te çeşitli tipte bağlantı elemanları görülmektedir. Betona yapılan bağlantılarda en çok kullanılan elemanların başında klipsli (1), çekmeli (2), gömlekli (4) ve çakmalı (5) tipi dübeller gelir. Gerilmelerin çok olduğu durumlarda aşırı büyük çapta klipsli veya çekmeli dübeller yerine kimyasal dübeller de (3) sıkça tercih edilir. Boşluklu tuğla duvarlara yapılan bağlantılarda özel tuğla dübelleri (6), ahşap elemanlara yapılan bağlantılarda ise özel ahşap vidaları (8) kullanılmalıdır.

Özellikle çok yüksek çekme dayanımı gerektiren durumlarda, betona önceden yerleştirilmiş gömülü saplama tipi bağlantı elemanlarının (7) kullanılması önerilir. Benzer şekilde, asgari dübel derinliği için yeterli kalınlıkta olmayan beton elemanlarda (özellikle döşemelerde), sismik izolatörler veya sınırlandırıcıların önceden gömülmüş çelik plakalara (10) kaynatılması

gerekir. Şekil 3.65’te betona gömülü çelik plakaya kaynatılmış bir sismik izolatör uygulaması örneği görülmektedir. Şekil 3.66’da ise gömülü çelik plakalarla ilgili dikkat edilmesi gereken bazı önemli ayrıntılar belirtilmiştir.

Gömülü çelik plakaların uygulaması nispeten kolaydır; ancak özellikle beton dökülmesi aşamasında cıvata yerleştirilmesi, çok titizlikle yapılması gereken hassas bir konudur. Bunun için sismik izolatör veya sismik sınırlandırıcı bağlantı noktalarının proje üzerindeki yerleri kesin olarak belirlenmeli ve beton dökülmeden önce cıvatalar veya çelik plakalar işaretli noktalara yerleştirilmelidir.

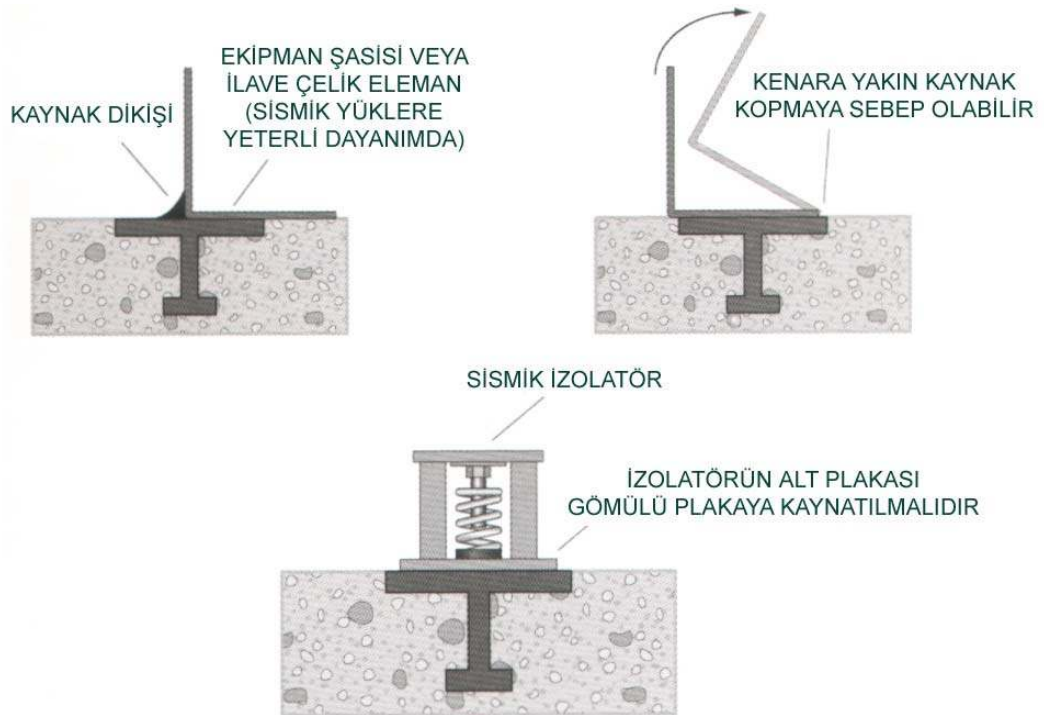
Çelik yapı elemanlarına yapılacak bağlantılarda cıvata ve somunlar kullanılır (9). Burada en önemli olan iki husus, cıvata çapının doğru seçilmesi ve çelik üzerinde delik açılırken kenar mesafelerine dikkat edilmesidir. Yetersiz bir cıvatanın kopma ve kesme tehlikesinin yanı sıra kenara fazla yakın açılmış bir deliğin de çelikte yırtılma veya deformasyona sebep olması olasıdır. Ayrıca titreşim yalıtımı gereken durumlarda çelikten çeliğe direk teması engellemek üzere paçalı elastomer contalar kullanılması gerekir.



Şekil 3.64. Çeşitli bağlantı elemanları



Şekil 3.65. Betona gömülü çelik plakaya kaynatılmış sismik izolatör



Şekil 3.66. Betona gömülü çelik plakalarla ilgili dikkat edilmesi gereken ayrıntılar*

* FEMA 412, December 2002 “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment

SONUÇ ve ÖNERİLER

Özellikle 17 Ağustos 1999 depreminden sonra ülkemizde hemen her kesimde uyanan deprem güvenliği bilinci umut vericidir. Ancak bu konuda yapılan çalışmalar genellikle somut ve amaca yönelik olmaktan uzak kalmakta, bunun yerine her kesimde konu hakkında sadece yüzeysel yorumlar yapılmaktadır.

Deprem anında ve sonrasında insan hayatının korunabilmesi ancak somut ve kalıcı önlemler almakla mümkün olabilir. Ayrıca kamu kaynakları kullanılarak yapılan yatırımların maddi olarak da güvence altına alınması, her kesim için bir sosyal sorumluluktur.

Deprem öncesinde alınacak önlemler, gerek can kaybının gerekse maddi kayıpların en az seviyeye indirilmesinde önemli rol oynayacaktır. Önerilen uygulama yöntemlerinin maliyetlerinin, söz konusu binaların yapım ve tesisat maliyetleri ile karşılaştırıldığında oldukça küçük bir paya sahip olacağı açıktır. Böylece bu uygulamaların sonucunda kamu kaynaklarının daha verimli kullanılarak milli varlıkların korunmasına yardımcı olunacaktır.

Sonuç olarak, tüm dünyada yer alan şartnameler ve yönetmelikler gereğince binaların yapısal olmayan unsurlarında yapılması zorunlu tutulan sismik koruma sistemlerinin, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 2006 yılında yayınladığı ve 2007 yılında yürürlüğe girecek olan "DEPREM BÖLGELERİNDE YAPILACAK BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK" in daha geniş kapsamlı hale getirilmesi için bir zeyil halinde ilave edilmesi ve böylelikle uluslararası standartlara yaklaştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

FEMA 302, 303, NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, and Commentary, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, 2000

FEMA 412, “Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment”, 2002

FEMA 413, “Installing Seismic Restraints for Electrical Equipment”, 2004

FEMA 414, “Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe”, 2004

ICC (International Code Council) “IBC - International Building Code”, 2000

SMACNA, “Seismic Restraint Manual – Guidelines for Mechanical Systems”, 1998

Tauby, J.R.; Lloyd, R. ; Noce, T. ; Tünnissen, J. “A Practical Guide to Seismic Restraint” ASHRAE, 1999

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, 1997

INTERNET KAYNAKLARI

[1] www.deprem.gov.tr

[2] www.fema.gov

[3] www.nehrp.gov

[4] www.nfpa.org

[5] www.iccsafe.org

[6] www.smacna.org

[7] www.berkeley.edu

[8] www.viscma.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 24.01.1977

Doğum yeri Ankara

Lise 1991-1992 TED Ankara Koleji,
1992-1994 Kadıköy Anadolu Lisesi

Lisans 1995-1999 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2000-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı kurumlar

2000-2003	Sönmez Metal End. Ve Tic. A.Ş.
2004-2004	Trane Klima Ticaret A.Ş.
2005-2006	Isımas Isı Makineleri A.Ş.
2006-Devam	Ulus Yapı Ltd. Şti.