

**İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ**

**SİSMİK KUVVETLERİN MEKANİK SİSTEMLER ÜZERİNDE ETKİSİ VE DEPREM  
GÜVENLİĞİ İÇİN ALINABİLECEK ÖNLEMLER**

**Fuat ÖZBEK**

**UZMANLIK TEZİ**

**NİSAN 2017**



**İL BANK**  
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ

**İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ**

**SİSMİK KUVVETLERİN MEKANİK SİSTEMLER ÜZERİNDE ETKİSİ VE DEPREM  
GÜVENLİĞİ İÇİN ALINABİLECEK ÖNLEMLER**

**Fuat ÖZBEK**

**UZMANLIK TEZİ**

**Tez Danışmanı (Kurum)**

**Aydın Uğur ÖZTÜRK**

**Tez Danışmanı (Üniversite)**

**Doç. Dr. Yusuf USTA**

## **ETİK BEYAN**

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fuat ÖZBEK

03.04.2017

# Sismik Kuvvetlerin Mekanik Sistemler Üzerinde Etkisi ve Deprem Güvenliği İçin

## Alınabilecek Önlemler

(Uzmanlık Tezi)

Fuat ÖZBEK

### İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

Nisan 2017

## ÖZET

Tesisat bileşenleri yapı bloğu içerisinde yapısal olmayan bileşenler grubuna girmektedir. Deprem esnasında yapısal olmayan bileşenlere etkileyen deprem yükleri bu bileşenlerde hasara neden olabilmektedir. Dolayısıyla hem bileşenin kendisi hem de çevresinde bulunan diğer unsurlar zarar görebilmekte ve maalesef insan hayatına da mal olabilmektedir. Günümüzde inşaat maliyetleri içerisinde giderek artan bir orana sahip olan mekanik tesisat ekipmanlarının deprem güvenliğinin sağlanması, hem insan hayatı hem de yatırım maliyeti düşünöldüğünde olmazsa olmaz bir gerekliliktir. Bu çalışmada, doğal afetlerden biri olan depremin mekanik tesisat ile ilişkisi incelenmiştir. Öncelikle depremle ilgili temel bilgiler verilmiş ardından depremin tesisatlar üzerindeki etkileri fiziksel olarak açıklanmıştır. Daha sonra depremler için Ülkemizde ve diğer Dünya ülkelerinde yer alan konu ile alakalı mevzuatlar incelenerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Özellikle uluslararası kabul görmüş ve tüm dünya projecileri tarafından kullanılan bina kodları göz önüne alındığında Ülkemizde yer alan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” hükümlerinin bir takım eksiklikler içerdiği tespit edilmiştir. Özellikle deprem yükü hesaplamasında kullanılan eşitlikte yer alan değişkenler (ekipman ağırlığı, bulunulan deprem bölgesi, binanın önem katsayısı ve ekipmanın bina içerisinde yüksekliği) ekipmandan kaynaklanan bir takım yükseltme faktörlerini göz önüne almamaktadır. Bu durum gerçekçi sonuçlar alınmasını engellemektedir. Oysa incelenen diğer bina kodlarında yer alan deprem yükü hesaplama kriterleri mümkün olabilecek her türlü etkiyi göz önüne almaya çalışmış, dolayısıyla daha sağlıklı sonuçlar vermiştir. Güvenli ve sürdürülebilir yapıların inşa edilmesini sağlamak maksadıyla tesisatlar için depreme karşı gerçekçi önlemler almayı zorunlu kılacak yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesi konusunda çalışmalar yapmak Ülkemiz ve geleceğimiz adına hepimizin ortak sorumluluğudur.

Anahtar Kelimeler : Deprem, mekanik tesisat, bina kodu, sismik koruma  
Sayfa Adedi : 65  
Tez Danışmanı : Aydın Uğur ÖZTÜRK (Kurum)  
Doç. Dr. Yusuf USTA (Üniversite)

Effects of Seismic Forces on Mechanical Systems and Possible Precautions for Increasing  
the Safety Against an Earthquake

(Expertise Thesis)

Fuat ÖZBEK

**İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ**

April 2017

**ABSTRACT**

Installation equipment are in the group of non-structural equipment within the structures. During an earthquake the forces acting on non-structural equipment can cause damage to both equipment and the surrounding components, thus may end up with a loss of human life. It is an essential requirement when considering both human life and investment cost that, safety considerations and precautions on mechanical systems on a construction must be taken against an earthquake. In this study, the relationship between mechanical systems and earthquakes are investigated. The basics of earthquake have been given and then the effects of earthquake on installations have been explained. The regulations for earthquake in our Country and the other countries have been studied and made a comparison between them. Considering the building codes that are internationally proven and used by the designers in all over the world it has been concluded that provisions of "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" have some deficiencies. The variables in the equation used for calculating earthquake load (equipment weight, earthquake place, importance coefficient of the building and the elevation of equipment in the building) do not take into account some modification factors derived from equipment itself. This situation prevents taking realistic results. However, the criteria of calculating earthquake load in the other building codes inspected have been tried to take into account all potential effects so that they have given more reliable results. It is a responsibility for our country and our future that making studies about accomplishing legal arrangements that require to take precautions against earthquake for having safety and sustainable buildings.

Key Words : Earthquake, mechanical installation, building code,  
seismic restraint

Page Number : 65

Supervisor : Aydın Uğur ÖZTÜRK (Corporate)  
Assoc. Prof. Dr. Yusuf USTA (University)

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında değerli fikirleriyle bana ışık tutan danıőmanlarım Sayın Doç. Dr. Yusuf USTA'ya ve Sayın Aydın Uğur ÖZTÜRK'e en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
GİRİŞ.....	1
<b>1. DEPREMLER VE TÜRKİYE’NİN SİSMOTEKTONİĞİ.....</b>	<b>3</b>
1.1. Tektonik Depremler.....	3
1.2. Deprem Dalgaları.....	3
1.3. Şiddet ve Büyüklük.....	4
1.4. Türkiye’nin Sismotektoniği.....	5
<b>2. MEKANİK TESİSAT VE DEPREM.....</b>	<b>9</b>
2.1. Depremler Sonucu Mekanik Tesisatta Oluşabilecek Hasarlar.....	9
2.2. Mekanik Tesisatın Sismik Yük Altındaki Davranışının Fiziksel Olarak İncelenmesi.....	13
2.2.1. İvme etkileri.....	14
2.2.2. Yer değiştirme etkileri.....	16
2.3. Mevzuatlar.....	19
2.3.1. Türkiye’de Deprem Mevzuatı ve Mekanik Tesisat.....	19
2.3.2. Uluslararası Mevzuatlar.....	23
2.4. Deprem Yüğü Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	25
2.4.1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.....	25
2.4.2. ASCE 7.....	25
2.4.3. IBC ve NEHRP.....	29
2.4.4. 1996 BOCA ve 1997 SBCCI Kodları.....	34
2.4.5. 1997 Uniform Building Code.....	37
2.4.6. 1995 National Building Code of Canada.....	41
2.5. Örnek Ekipmanlar için Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesaplanması.....	43
2.5.1. BOCA ve SBCCI.....	43
2.5.2. Uniform Building Code.....	45
2.5.3. IBC, ASCE 7, NEHRP.....	49
2.5.4. 1995 National Building Code of Canada.....	53
2.5.5. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.....	55
2.6. Hesap Sonuçlarının İncelenmesi ve Karşılaştırılması.....	56
<b>3. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>59</b>



KAYNAKÇA.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	65

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Etkin yer ivmesi katsayısı.....	21
Çizelge 2.2. Bina önem katsayısı.....	21
Çizelge 2.3. Spektrum karakteristik periyotları.....	22
Çizelge 2.4. ASCE 7 için $a_p$ ve $R_p$ değerleri.....	26
Çizelge 2.5. IBC ve NEHRP için sismik dizayn kategorileri.....	31
Çizelge 2.6. IBC ve NEHRP için kullanım önem faktörü.....	31
Çizelge 2.7. IBC ve NEHRP için bileşen yükletme ve tepki faktörleri.....	32
Çizelge 2.8. IBC ve NEHRP için bölge katsayıları.....	33
Çizelge 2.9. BOCA ve SBCCI için sistem sismik katsayısı ve performans kriteri faktörü .....	34
Çizelge 2.10. BOCA ve SBCCI için kullanım yerine bağlı sismik tehlike sınıfları.....	36
Çizelge 2.11. BOCA ve SBCCI için ivmeye bağlı sismik tehlike sınıfları.....	36
Çizelge 2.12. BOCA ve SBCCI için bağlantı yükseltme faktörü.....	37
Çizelge 2.13. UBC için sismik önem faktörü.....	38
Çizelge 2.14. UBC için yükseltme ve değiştirme faktörleri.....	39
Çizelge 2.15. UBC için toprak profillerine göre sismik bölge faktörleri.....	40
Çizelge 2.16. UBC için sismik bölge katsayıları.....	40
Çizelge 2.17. UBC için bilinen kaynağa yakınlık kriteri.....	41
Çizelge 2.18. NBC için sismik bölgelerin hız oranları.....	42
Çizelge 2.19. NBC için $C_p$ sismik katsayısı.....	43
Çizelge 2.20. Kodlara göre deprem yükleri.....	56

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye'nin Deprem Bölgeleri Haritası.....	5

## RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Depreme dayanıksız bir bina.....	9
Resim 2.2. Kaide bağlantısı yapılmamış soğutma kulesi.....	10
Resim 2.3. Sismik koruma yapılmamış boru bağlantısı.....	11
Resim 2.4. Sismik sınırlayıcısız titreşim izolatörü kullanımı.....	11
Resim 2.5. Hatalı boyutlandırılmış sismik sınırlayıcı.....	12
Resim 2.6. Hatalı monte edilmiş sismik sınırlayıcı.....	12
Resim 2.7. Hatalı kaide boyutlandırması.....	13
Resim 2.8. Yapısal olmayan bileşenler ve doğal periyot.....	15
Resim 2.9. Yapısal olmayan elemanların ivme tepkileri.....	15
Resim 2.10. Deprem etkisi altında davranış biçimleri.....	16
Resim 2.11. Yer değiştirme etkileri.....	18

## KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
ANSI	American National Standards Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
BAF	Batı Anadolu Fay Hattı
BOCA	Building Officials and Code Administrators
DAF	Doğu Anadolu Fay Hattı
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	Federal Emergency Management Agency
IBC	International Building Code
ICC	International Code Council
KAF	Kuzey Anadolu Fay Hattı
NBCC	National Building Code of Canada
NEHRP	National Earthquake Hazard Reduction Program
NFPA	National Fire Protection Association
NSE	Non-structural Elements
SBCCI	Southern Building Code Congress International
SE	Structural Elements
SMACNA	Sheet Metal and Air Conditioning Contractors
UBC	Uniform Building Code

## GİRİŞ

Deprem Türk Dil Kurumu tarafından “yer kabuğunun derin katmanlarının kırılıp yer değiştirmesi veya yanardağların püskürme durumuna geçmesi yüzünden oluşan yer sarsıntısı, hareket, zelzele” olarak tanımlanan büyük yıkıcı güce sahip bir doğal afettir.[1]

Türkiye Dünya'nın aktif deprem kuşaklarında yer alan bir ülke olması sebebiyle depremlerin yıkıcı gücünü birçok kez yaşamış bir ülkedir. Yaşanan bu depremlerde birçok yurttaşımız hayatını kaybetmiş, birçokları yaralanmış veya maddi kayıplar yaşamıştır. Bütün bu kayıplar biz mühendisleri daha güvenli yaşam alanları inşa etme konusunda çalışmaya sevk etmiştir. Gelişen teknoloji ve elde edilen veriler ışığında, bina statiiği daha dikkatli bir şekilde hesaplanmaya başlanmış, taşıyıcı sistem güvenliği artırılmıştır. Ancak bu önlemler deprem esnasında binanın yapısal olmayan bileşenleriyle ilgili bir çözüm üretememektedir. Deprem sonunda binanın ayakta kalması çok önemli bir konu ise de ayakta kalan binada yer alan ve deprem esnasında sismik kuvvetlere maruz kalan tesisat bileşenlerinin de insanlara ve yapıya zarar vermeden ilaveten kendi işlevini de yitirmeden ayakta kalabilmesi son derece önemli bir konudur.

Depremle mücadele, yasal mekanizmaların, proje tasarlayan mühendislik ve mimarlık disiplinlerinin, projeyi uygulayan müteahhidin, işi yapan ustalardan çıraklara kadar tüm unsurların ortak bilinç ve hareket kabiliyetiyle başarılabilecek bir olgudur. Buradaki aktörlerden her biri kendi alanıyla ilgili sorumluluklarını tam ve eksiksiz bir şekilde yerine getirdiğinde depremle yaşamayı gerçek anlamda başarmış ve bu yıkıcı gücün maddi ve manevi kayıplar yaşatmasının önüne geçmiş olacağız.

Piramidin birinci basamağını oluşturan mevzuatları incelediğimizde yapısal olmayan bileşenlerin deprem esnasında davranışını açıklayan, alınacak önlemleri gösteren ve yaptırım gücü olan tatmin edici bir yasal düzenleme bulamamaktayız. Aslında bu yalnızca ülkemizin değil tüm Dünya ülkelerinin bir eksikliğidir. Her anlamda gelişme ve ilerleme hedefiyle 2023 yılına hazırlanan Cumhuriyetimizde insan hayatını ilgilendiren bu konudaki yasal eksikliklerin giderilmesi önem arz etmektedir.

Bugün literatürde yer alan yönetmelikler içerisinde en günceli uluslararası kabul görmüş IBC'dir (Uluslararası Bina Kodu- International Building Code). Bunun yanı sıra yine

kaynak olarak başvurulabilecek ASHRAE yayınları, SMACNA ve FEMA yayınları bulunmaktadır. Ülkemizde de yine mekanik tesisatın sismik etkilerden korunması konusunda yayınlanmış yüksek lisans tezleri, oda ve dernek yayınları ile makaleler bulunmaktadır ancak yasal yükümlülük sıkıntısı devam etmektedir.

Uluslararası literatürde tesisat bileşenlerin deprem yüklerinden nasıl korunması gerektiğine dair birçok araştırmanın sonucu paylaşılmıştır. Borular, havalandırma kanalları, zemine veya duvara monte edilen cihaz ve ekipmanların hangi prensiplere göre yapıya sabitlenmesi gerektiğini teknik olarak açıklayan yayınlara ulaşmak ve bu bilgileri pratik mühendislik hayatında kullanmak günümüzde tüm proje ve tesisat mühendislerinin dikkat etmesi gereken bir konudur.

Proje mühendisinin öngördüğü tedbirlerin alınması ve uygun standartlara sahip, bağımsız kuruluşlar tarafından sertifikalandırılmış cihaz ve ekipmanların kullanılması ise müteahhidin sorumluluğundadır. Estetik görünüş ve ekonomik kaygılardan daha önemli bir olgu varsa o da insan hayatıdır. Müteahhitlerin oluşturdukları yaşam alanlarında bu gerçeği göz ardı etmemeleri gerekmektedir.

## **1. DEPREMLER VE TÜRKİYE’NİN SİSMOTEKTONİĞİ**

Bir deprem basitçe yerin sarsılması olarak tanımlanabilir. Üç tip doğal deprem vardır; Yer altındaki mağara, maden veya boşlukların tavanlarının çökmesiyle oluşan depremler, volkanik faaliyetler sonucu oluşan depremler ve tektonik depremler. Burada en sık karşılaşılan tip olan tektonik tip depremler incelenecektir.

### **1.1. Tektonik Depremler**

En genel deprem biçimi tektonik depremlerdir. Tektonik levha kenarlarının bir diğer levhaya göre kaymasıyla veya hareketiyle oluşurlar. Dış dünya kabuğu katı kaya levhalardan oluşur. Bu levhalar dünyanın dış yüzeyini oluşturur. Bu levhalar kendi içlerinde göreceli olarak kararlıdır. Ancak birbirlerine temas ettikleri noktalarda kararsızdırlar. Levhalar sürekli hareket içindedir ve birbirlerine göre bir kayma hareketi yaparlar veya biri diğerinin altına doğru hareket eder. Şiddetli depremleri ancak, levhaların bu izafi hareketleri yaratabilirler. Depremlerin büyük çoğunluğu bu levhalar boyunca yer alan fay hatlarında meydana gelir.

Faylar jeolojik yapıda oluşmuş kırıklardır. Fayların bazıları aktif değildir ve binlerce yıldır bir hareket görülmemiştir. Diğer taraftan aktif faylar sürekli hareket eder ve stres (gerilme) oluştururlar ki bu stres sonunda depreme yol açar.

Birincisi normal faydır ve düşey doğrultuda bir yer değiştirmedir. Bir kenar aşağı doğru 0 ile 90 derece arasında bir açı ile kayar. İkincisi ters faydır ki burada da düşey yer değiştirme vardır. Ancak hareket bir kenarın diğerine göre yükselmesi şeklindedir. Son tip ise, kayma tipi faydır. Bunlarda esas olarak yatay düzlemde kayma vardır. Yer değiştirme sağa doğru veya sola doğru olabilir. Gerçekte ise faylar genelde bu üç karakterin hepsine birden sahiptir.

### **1.2. Deprem Dalgaları**

Farklı deprem tiplerine karşılık, hepsinin ortak noktası şok veya sismik dalga yaymalarıdır. Depremle ilişkili olarak dört temel tip dalga vardır. En hızlıları primer dalga



(P dalgası) adı verilen dalgadır. Bundan sonra sekonder dalga (S dalgası) gelir. Her iki dalga da kayalar içinde yüzeye doğru ilerler. P dalgalarının sıkışma ve genişleme zonları vardır. Buna karşılık S dalgaları ilerleme yönlerine dik olarak, strataya (yatay tortu tabakalara) kesme uygular. İlk önce P dalgaları ulaşmasına karşılık, aşağı yukarı ve yandan yana hareketleriyle binalarda en büyük tahribatı S dalgaları yaparlar. Son iki dalga yüzey dalgaları olarak bilinir, çünkü bunlar sadece yüzey yakınında görülürler. Love dalgası düşey bileşeni olmayan bir S dalgasını andırır ve binaların temelinden çıkmasına neden olan ana etkenlerden biridir. Sonuncusu Rayleigh dalgasıdır ki hareket yönünde eliptik olarak yuvarlanır. P ve S dalgaları depremin odağından ( merkezinden) kaynaklanırlar ve farklı tabakalardan geçerken yansıtılabilir veya kırılabilirler ve birçok yönde dalgalar gönderebilirler. Merkez yüzeyin altında derinde bulunur ve merkezin yüzeye projeksiyonu olan noktaya depremin episentri adı verilir.

### **1.3. Şiddet ve Büyüklük**

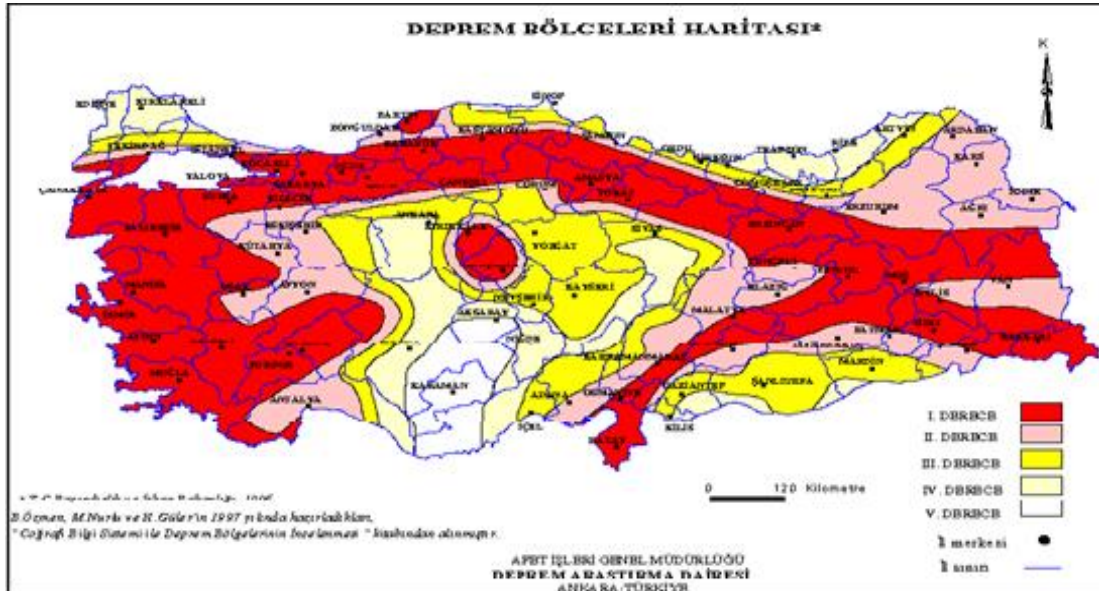
Şiddet ve büyüklük depremin tahrip düzeyini tanımlarlar. Farklı şiddet skalaları tanımlanmıştır. Günümüzde kullanılan değiştirilmiş Mercalli şiddet skalası, depremin şiddetini binalarda ve yeryüzünde meydana gelen tahribat ve hayvanların tepkilerinin gözle incelenmesiyle 12 seviyede değerlendirir. Bu yöntem çok hassas olmasına karşın, çok zaman alıcıdır ve haftalar veya aylar mertebesinde bir değerlendirme süresine gerek vardır. Deprem büyüklük olarak da değerlendirilebilir. En bilinen deprem büyüklük ölçeği Richter ölçeğidir. Sismografik okumalara dayanır ve hemen deprem ertesinde hesaplanabilir. P ve S dalgaları arasındaki zaman farkından deprem merkezine uzaklık belirlenebilir. Bu zaman farkının S dalgasının amplitüdü ile birlikte ele alınmasıyla Richter ölçüsü belirlenir. Büyüklükler, iki ilişkili fakat farklı referans ortaya koymaktadır. Bunlar yerin hareketi ve açığa çıkan enerjidir. 6 büyüklüğünde bir depremde, 5 büyüklüğündeki depreme göre 10 misli daha fazla büyüklükte yer hareketi söz konusudur. Buna karşılık fay boyunca iki deprem arasında 30 misli daha fazla açığa çıkan enerji farkı vardır. Bu demektir ki 7 büyüklüğünde bir depremde, 5 büyüklüğündeki depreme göre 100 misli daha fazla yer hareketi ve 900 misli daha fazla enerji bulunmaktadır. 5 büyüklüğündeki bir depremde bir atom bombasından 10 misli daha fazla enerji açığa çıkmaktadır. [2]

#### 1.4. Türkiye'nin Sismotektoniği

Ülkemiz faal ve zarar verme potansiyeli yüksek olan fay hatları üzerine yerleşmiş bir konumdadır. Bu hatlar; Saroz Körfezi'nden başlayıp Marmara Denizi, Sapanca Gölü, Adapazarı, Tosya ve Erzincan üzerinden Van Gölü kuzeyine kadar uzanan Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF), Hatay grabeninden başlayıp K. Maraş, Adıyaman, Malatya ve Elazığ ovalarından geçerek Bingöl'e kadar sokulan Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) ve Ege Bölgesi'nde kuzeyden güneye doğru uzanan çok sayıda fay hatlarıdır (BAF).

Bu fay hatları üzerinde yer alan şehirlerimiz yüksek deprem riski taşımakta olup özellikle buralarda inşa edilecek yapılar hassas hesaplamalar gerektirmektedir. Nitekim Cumhuriyet tarihimiz topraklarımızda meydana gelen ölümcül deprem afetleriyle doludur. 1939 yılında meydana gelen Erzincan depreminde 32700 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. Yakın tarihimizde 1999 İzmit depreminde 17118, Düzce depreminde 894, Van depreminde 601 vatandaşımız yaşamını yitirmiştir [3]. Bu verilen örnekler daha yüzlercesinin içinden sadece bir kaçıdır.

Türkiye'nin deprem bölgeleri haritası (Şekil 2.1), Bakanlar Kurulu'nun 18.4.1996 tarih ve 96/8109 sayılı kararı ile yürürlüğe girmiş bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Türkiye'nin deprem bölgeleri haritası [4]

Önceki haritalardan farklı olarak olasılık metodu hesaplarına göre çizilen eş ivme kontur haritası esas alınarak deprem bölgeleri tespit edilmiştir. Buna göre, normal bir yapı

50 yıllık ekonomik ömrü içinde %90 ihtimal ile bu ivme değerlerinden fazla bir yüklenmeye maruz kalmayacağı tahmin edilmektedir. Ekonomik ömrü daha uzun veya önemli yapılar için karşılaşılabilecekleri en büyük ivme değerlerinin ayrıca hesaplanması gerekir.

Deprem Bölgeleri Haritası ile Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik bir birini tamamlamaktadır. Bu yönetmeliğe göre deprem bölgelerinde kabul edilen hesap ivmeleri, 1.derece için 0.4g, 2.derece için 0.3g, 3.derece için 0.2g, 4.derece için 0.1g olarak alınmalıdır. 5.derece için deprem hesabı yapmak zorunlu değildir.

Türkiye Deprem Bölgeleri, ivme değerlerine göre aşağıdaki şekilde derecelendirilmiştir.

1. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.40 g 'den büyük
2. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.40 g ile 0.30 g arasında
3. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.30 g ile 0.20 g arasında
4. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.20 g ile 0.10 g arasında
5. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.10 g 'den az

g: yer çekimi( $981 \text{ cm/s}^2$ ).

Yerleşim birimlerinin hangi deprem bölgesinde yer aldığı örneklerde açıklanmıştır. Haritada yer almayan yerleşim birimleri için, bağlı olduğu il veya ilçe merkezine ait deprem bölgesi esas alınmaktadır.

Örnek 1. Adana merkezi 2. derece deprem bölgesindedir.

Örnek 2. Adana'nın, Ceyhan ilçesi merkez bucağı, Köşreli bucağı ve Sağkaya bucağı 2. derece deprem bölgesindedir. Ceyhan belediyesi de dahil olmak üzere adı yazılmayan Doruk, Kurtkulağı, Sarımazı, Mercimek, Kurtpınar, Hamdilli ve Mustafabeyli belediyeleri 2. derece deprem bölgesindedir.

Örnek 3. Adana'nın Düziçi ilçesi merkez bucağı 1. derece deprem bölgesindedir. Düziçi'ne bağlı Böcekli belediyesi 2. derece deprem bölgesi olup, adı yazılmayan Ellek belediyesi 1. derece deprem bölgesindedir.

Örnek 4. Adana'nın Osmaniye ilçesi merkez bucağı 1. derece deprem bölgesindedir. İlçeye bağlı Kaypak, Toprakkale ve Yarpuz bucakları 1. derece, Tecirli bucağı ise 2. derece deprem bölgesindedir.

Örnek 5. Adıyaman'nın merkez ilçesi merkez bucağı 2. derece deprem bölgesindedir. İlçeye bağlı Yaylakonak belediyesi 1. derece deprem bölgesindedir.

Bu harita, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğüne 92-03-03-18 nolu proje sonuç raporu olarak sunulan, Polat Gülkan, Ali Koçyiğit, M.Semih Yüccemen, Vedat Doyuran ve Nesrin Başöz (ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi) tarafından hazırlanan Ocak 1993 tarihli ve 93-01 nolu "En Son Verilere Göre Hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası" raporuna dayanmaktadır [4].

Bu bölümde açıklanan depremin genel oluşum koşulları ve Türkiye'nin deprem potansiyelini gösteren veriler bu tezin konusuyla ilintili olmakla beraber asıl odak noktamız olan mekanik tesisatın deprem karşısında davranışıyla organik bir bağı bulunmaması nedeniyle temel bilgiler olarak aktarılmış ve bölüm sonlandırılmıştır. Deprem ve Türkiye başlıklı birçok akademik tez, makale, oda ve firma yayınları bulunmaktadır.



## 2. MEKANİK TESİSAT VE DEPREM

Bu çalışmanın odak noktası olan mekanik tesisatın deprem karşısında davranışı, konuyla ilgili yasal mevzuatlar ile deprem güvenliğinin sağlanması için her tür yapısal olmayan tesisat bileşeninin yapıya ne şekilde bağlanması gerektiği konuları bu bölüm başlığı altında incelenecektir.

### 2.1. Depremler Sonucu Mekanik Tesisatta Oluşabilecek Hasarlar

Çeşitli sebeplerle yeterli önlem alınmamış binalarda, deprem sonrası yapısal olmayan bileşenler ağır hasarlar alabilmektedir. Bunun sonucunda ciddi maddi yükler, zaman ve iş gücü kaybı veya çok daha kötüsü olan yaralanma ve hatta ölümler meydana gelebilmektedir. Geçmişte yaşanmış birçok depremden elde edilen veriler ve deprem sonrası hazırlanan raporlar bu durumu gözler önüne sermektedir. Bu kısımda depremlerin mekanik tesisatı ne oranda yıprattığı fotoğraflara dayandırılarak açıklanmaya çalışılacaktır.



Resim 2.1. Depreme dayanıksız bir bina [5]

Resim 2.1’de 12 Kasım 1999 Düzce depreminde yıkılmış bir bina görülmektedir [5]. Deprem önlemleri öncelikle binanın ayakta kalması için alınmalıdır. Resim 2.1’de görülen

binada mekanik tesisat için alınması gereken önlemlerin tümü alınmış olsa bile sonuç olarak bir fayda sağlamayacağı açıktır. Dolayısıyla bu tez kapsamında binanın ayakta kalmasını sağlayacak tüm önlemlerin alındığı ve binanın deprem esnasında ve deprem sonrasında yukarıdaki resimde görüldüğü şekilde ağır hasar almadığı düşünülecektir.



Resim 2.2. Kaide bağlantısı yapılmamış soğutma kulesi [6]

Resim 2.2’de kaide bağlantısı yapılmamış bir soğutma kulesinin deprem sonrası hali görülmektedir [6].





Resim 2.3. Sismik koruma yapılmamış boru bağlantısı [6]

Resim 2.3'te soğutma grubunun boru bağlantısında sismik koruma uygulanmamış bunun neticesinde boru soğutma grubunun gövdesiyle birlikte koparak ayrılmıştır [6].



Resim 2.4. Sismik sınırlayıcı olmayan titreşim izolatörü kullanımı [6]

Resim 2.4'te sismik sınırlayıcı olmaksızın açık yaylı titreşim izolatörlerinin üzerine yerleştirilmiş paket klimanın depremde aldığı hasar görülmektedir [6].





Resim 2.5. Hatalı boyutlandırılmış sismik sınırlayıcı [6]

Resim 2.5'te sismik sınırlandırıcılar deprem yükünü karşılayacak boyutta seçilmemiş bunun neticesinde deprem yükünü kaldıramayarak kaideden kopmuştur [6].



Resim 2.6. Hatalı monte edilmiş sismik sınırlayıcı [6]

Resim 2.6'da kaideye bağlanmamış sismik sınırlayıcı titreşim izolatörleri görülmektedir. Uygun ölçülerde olmadığı ve kaideye sabitlenmediği için depremde hasar almıştır [6].



Resim 2.7. Hatalı kaide boyutlandırması [6]

Resim 2.7’de kaide boyutlandırması yanlış yapıldığı için sismik yük altındaki civata betonu kırarak sismik sınırlayıcıyı yerinden çıkarmıştır [6].

Yukarıda yer alan resimlerde de açıkça görüldüğü üzere sismik koruma yapılmamış, eksik veya yanlış yapılmış tesisat elemanlarında ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir.

Bu hasarların neden oluştuğunu anlayabilmek için deprem karşısında tesisatın davranışının kavranması gerekmektedir. Bir sonraki kısımda bu konu üzerinde durulacaktır.

## 2.2 Mekanik Tesisatın Sismik Yük Altındaki Davranışının Fiziksel Olarak İncelenmesi

Deprem esnasında bina ile beraber binaya bağlı yapısal olmayan bileşenler de sallanır. Bu sallanma yapısal olmayan bileşende ivme, hız ve yer değiştirmeye sebep olur. Sallantının şiddeti ve süresi ile yarattığı ivme, hız ve yer değiştirme miktarları depremin ve binanın karakteristiğine ek olarak yapısal olmayan bileşenin dinamik karakteristiğine bağlıdır. Aynı bileşen farklı katlarda farklı ivmeler yaratmaktadır [7]. Depremin yapısal olmayan bileşenler üzerinde etkileri iki başlık altında incelenebilir. Bunların birincisi ivme etkileri, ikincisi ise yer değiştirme etkileridir.

### 2.2.1. İvme etkileri

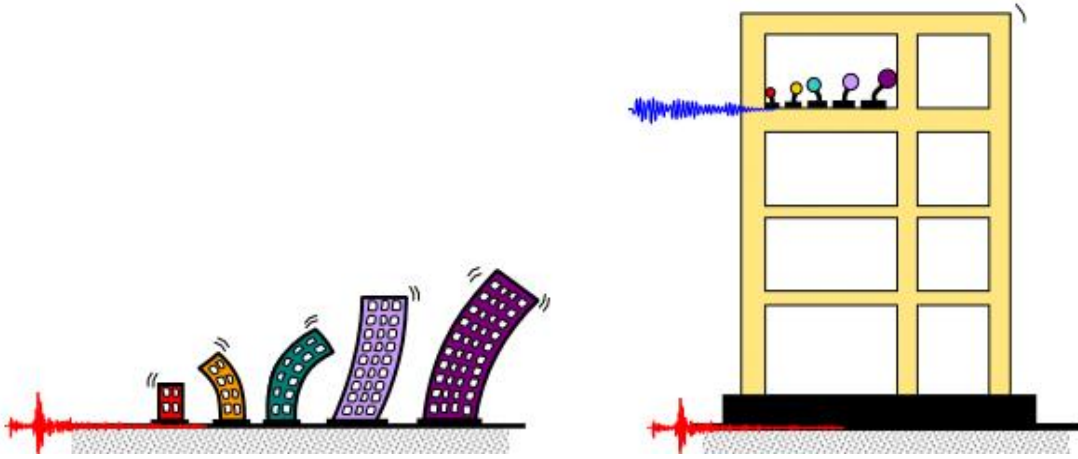
Yapısal elemanlar ile yapısal olmayan elemanlar arasındaki bağlantı, yapısal olmayan elemana etkiyen maksimum kuvvete göre tasarlanır. Bu kuvvet ise binanın deprem esnasında sallanmasından ötürü yapısal olmayan elemanın bulunduğu kattaki ivmeden kaynaklanır [7]. Yapısal olmayan elemana etkiyen kuvvet iki yolla belirlenebilir. Bunlardan birincisi elemanın kütlesi ve katın ivmesinin yol açtığı atalet kuvveti diğeri ise elemanın elastisitesi ve yer değiştirmesine bağlı olan elastik kuvvettir.

$$F=m.a \text{ ve } F=k.x \quad (2.1)$$

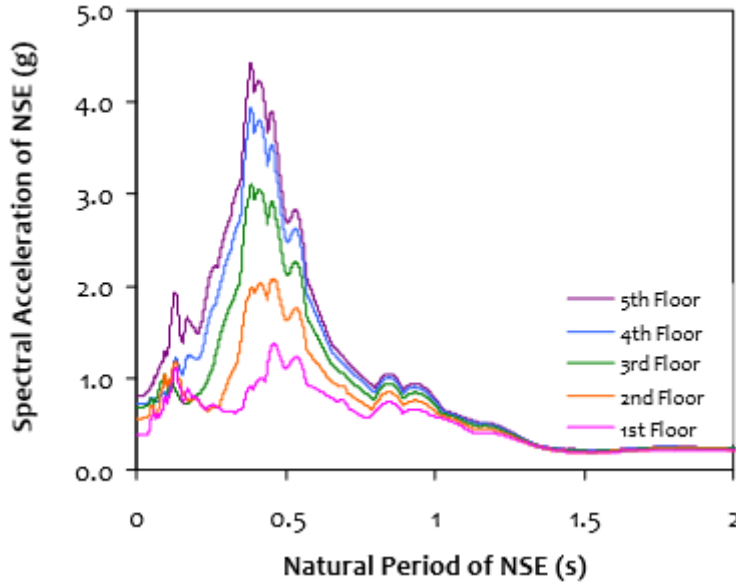
Her bir yapısal olmayan bileşeni farklı katlarda farklı ivmeler altında analiz etmek oldukça zahmetli bir iştir. Çünkü her elemanın kütlesi ve sertliği değişir. Bunun yerine elemanın aynı zemin sallanmasına maruz kaldığı durum için farklı doğal periyotlarını kullanmak yeterli olacaktır [7]. Bu yaklaşım farklı doğal periyotlara sahip farklı binaların aynı deprem altında aynı zemin hareketine maruz kalmasına benzetilebilir. (Resim 2.8)

Zemin ivme tepki spektrumu, ya da diğer bir deyişle zemin spektrumu, absisi elemanın doğal periyodu ordinatı ise elemanın ortaya koyduğu maksimum ivme olan bir grafikdir (Resim 2.9).

Resim 2.8 incelendiğinde yapısal olmayan bileşenlerin gösterdiği tepkinin doğal periyoda olan bağımlılığı anlaşılmaktadır. Buna göre aynı zemin üzerine oturan dolayısıyla aynı yer ivmesine maruz kalan aynı doğal periyoda sahip binaların verdiği tepki ile aynı katta bulunan aynı periyoda ve aynı sönümlenmeye sahip yapısal olmayan elemanların verdikleri tepkiler birbirine benzer olarak düşünülebilir.



Resim 2.8. Yapısal olmayan bileşenler ve doğal periyot [7]



Resim 2.9. Yapısal olmayan elemanların ivme tepkileri [7]

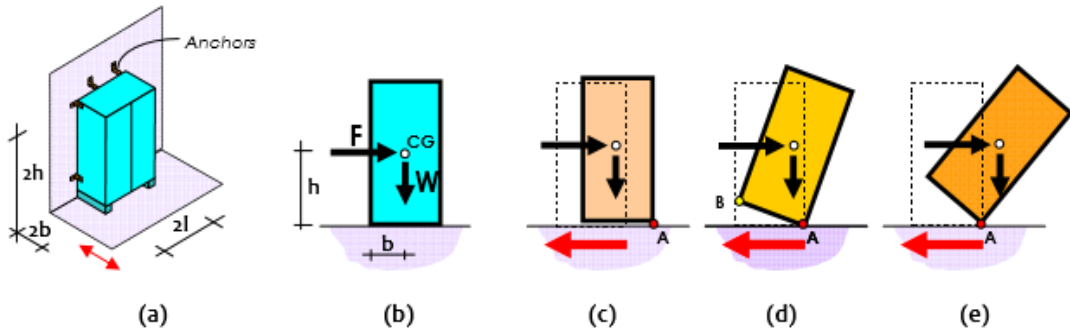
Resim 2.9 incelendiğinde ise farklı doğal periyotlarda fakat aynı kritik sönümlenmeye sahip (%5) beş katlı bir binanın her bir katında yer alan dolayısıyla farklı zemin ivmesi altındaki yapısal olmayan elemanların ivme tepkileri görülmektedir. Aynı doğal periyoda ve sönümlenmeye sahip olan (örneğin 0,5 s için) eleman 1. Katta 1,5g spektral ivmeye sahip olurken, 5. Katta 4,5g spektral ivmeye ulaşmaktadır. Aynı eleman için kat yüksekliği arttıkça spektral ivme de artmaktadır.

Zemin spektrumundan elde edilen ivme değeri ile kütle için atalet kuvvetini verir.

Yapısal olmayan elemanın atalet kuvveti, deprem sarsıntısı esnasında yatayda veya dikeyde bağlantısı yapılmamış veya bağlantısı kopmuş elemanda kayma, sallanma veya devrilme şeklinde ortaya çıkar [7].

Bu üç olayın olma şekli ise elemanın üzerine oturduğu yüzeyin sallanma şiddeti ve elemanın geometrisine bağlıdır.

Bu üç temel olaya ek olarak eleman aynı anda hem kayma hem sallanma hareketi de yapabilir.



Resim 2.10. Deprem etkisi altında davranış biçimleri [7]

Resim 2.10.a'da elemanın geometrisi, b'de elemana etkiyen kuvvetler, c'de kayma, d'de sallanma ve e'de devrilme hareketleri görülmektedir.

Zeminin sola hareket ettiği durumda atalet kuvveti elemanın ağırlık merkezinden sağa doğru yönelecek şekilde ortaya çıkar ve A noktasında moment oluşturur. Elemanın ağırlık merkezinden aşağı doğru yönelen kütle ve yerçekiminin oluşturduğu ağırlık kuvveti ise tersi yönde moment oluşturur. Her iki kuvvetin oluşturduğu momentler zıt yönlüdür. Bu momentlerin eşit olduğu durumda eleman A noktasından kalkmaz. Yatay yönde etkiyen atalet kuvveti sürtünmeleri yenersen eleman kuvvet yönünde kayar. Atalet kuvvetinin A noktasında oluşturduğu moment ağırlık kuvvetinin oluşturduğu moment geçtiği anda eleman sallanır veya devrilir.

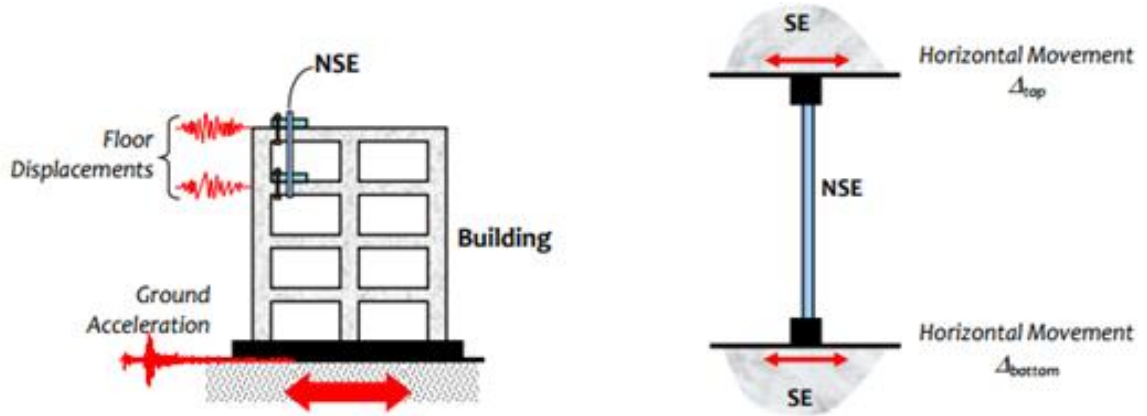
### 2.2.2. Yer değiştirme etkileri

Deprem yer değiştirme etkileri yapı ile yapısal olmayan elemanın birbirlerine arasındaki rölatif hareketten kaynaklanmaktadır [7].

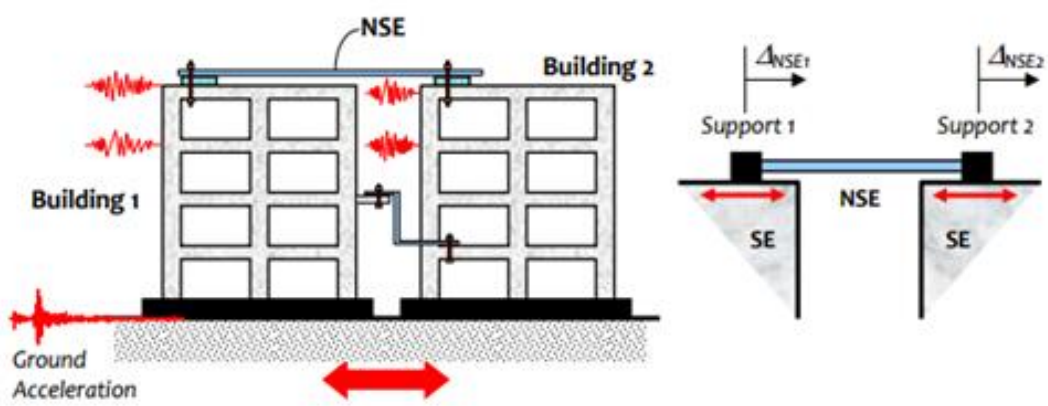
Yapısal olmayan uzun bir eleman göz önüne alındığında, bu elemanın yapıda sabitlendiği iki veya daha fazla nokta bulunması gerekir. Örneğin bir boru bir binanın farklı katlarında yapıya sabitlenmiş olabilir veya farklı binalar arasında sabitlenebilir veya bir tarafı toprakta diğer tarafı binada sabitlenmiş olabilir.

Sismik kuvvet etkisi altında bağlantı noktaları farklı miktarlarda titretebilir ve yapısal olmayan elemanda görelî yer değiştirmeye sebep olabilir.

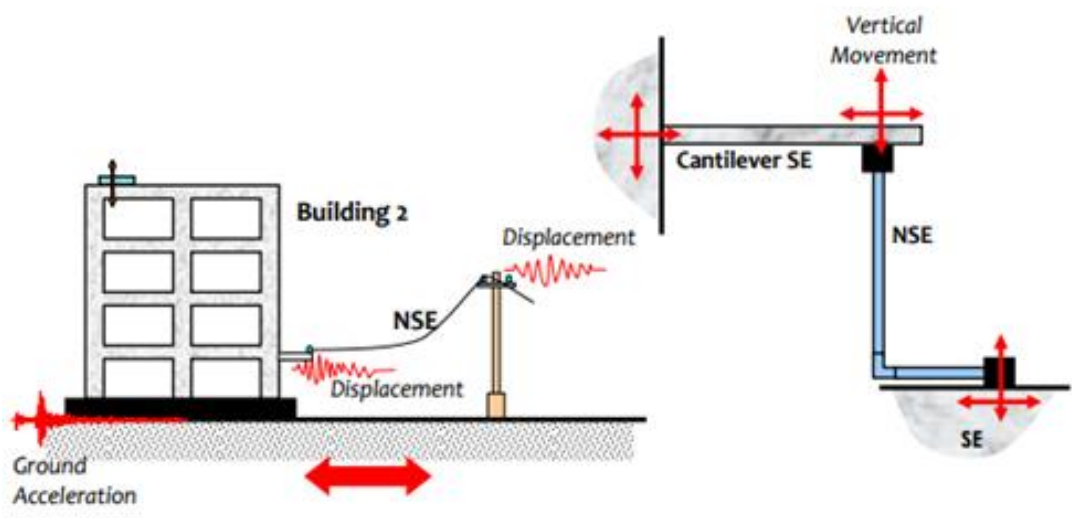
Bu durumları ifade eden görseller Resim 2.11'de verilmiştir. Resimde farklı montaj biçimleri için yapısal olmayan elemanda oluşabilecek yer değiştirme biçimleri görülmektedir. Resim 2.11-a'da aynı binanın farklı katlarında iki noktada yatay sabitlenmiş bir yapısal olmayan eleman (örneğin bir boru) –b'de farklı binaların aynı veya farklı katlarında yatay sabitlenmiş –c'de ise eleman hem dikey hem de yatay olarak aynı veya farklı binalara sabitlenmiştir.



(a)



(b)



(c)

Resim 2.11. Yer değiştirme etkileri [7]



### 2.3. Mevzuatlar

Mekanik tesisatın depremden korunması amacıyla düzenlemiş mevzuatlar iki başlık altında incelenecektir. Bunlardan birincisi Türkiye’de bulunan mevzuat diğeri ise uluslararası mevzuatlardır.

#### 2.3.1. Türkiye’de deprem mevzuatı ve mekanik tesisat

Ülkemizde konuyla ilgili mevzuatı araştırdığımızda;

- 1- 15.05.1959 tarih 7269 sayılı Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Alınacak Tedbirlerle Yapılacak Yardımlara Dair Kanun
- 2- 06.03.2007 tarih 26454 sayılı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
- 3- 14.07.2007 tarih 26582 sayılı Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik olmak üzere 3 adet yasal mevzuatla karşılaşılmaktadır.

15.05.1959 tarih ve 7269 sayılı Kanun’un 3. Maddesinin 1. Fıkrasında “İkinci maddeye göre ilan edilen afet bölgelerinde yeniden yapılacak, değiştirilecek, büyütülecek veya esaslı tamir görecektir resmi ve özel bütün yapıların tabi olacağı teknik şartlar, Bayındırlık Bakanlığının mütalaası da alınarak İmar ve İskan Bakanlığınca hazırlanacak bir yönetmelikle tespit olunur.”[8] İfadesi yer almaktadır. Bu maddeye istinaden 14.07.2007 tarih ve 26582 sayılı Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik hazırlanarak yürürlüğe girmiştir. Anılan yönetmeliğin Deprem Afetlerinden Korunma Başlıklı 7. maddesinde “7269 sayılı Kanunun 2 nci maddesine göre tesbit ve ilân olunan deprem bölgelerinde yeniden yapılacak, değiştirilecek, büyütülecek resmî ve özel bütün binaların ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı ile mevcut binaların deprem öncesi veya sonrasında performanslarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi hakkında 6/3/2007 tarihli ve 26454 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik hükümleri uygulanır.”[9] hükmü yer almaktadır.



06.03.2007 tarih ve 26454 sayılı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik ülkemizde yer alan konu ile alakalı en kapsamlı yönetmelik olma özelliğini taşımaktadır. Anılan yönetmeliğin Uygulanacak Esaslar Başlıklı 3. Maddesinde “Deprem Bölgelerinde yapılacak binalar hakkında bu yönetmeliğin ekinde yer alan esaslar uygulanır.” [10] ifadesi bulunmaktadır.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar Başlıklı Yönetmelik ekinin Genel İlkeler Başlıklı 1.2.1. maddesinde “...yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır...” [11] ifadesi yer almaktadır.

Buna göre deprem esnasında ve sonrasında depremin şiddetine göre binada ve bina içi diğer unsurlarda meydana gelecek hasarın önlenmesi, azaltılması ve can kayıplarının önüne geçecek tedbirlerin alınması hedeflenmiştir.

Bu yönetmelik ve eki olan uygulama esasları deprem yüklerinin belirlenmesi için, spektral ivme katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısını esas almıştır.

Uygulama Esaslarının 2.4’üncü maddesinde spektral ivme katsayısı tanımlanmıştır.

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan spektral ivme katsayısı,  $A(T)$ , Eş. 2.1. ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik ivme spektrumunun ordinatı olan Elastik spektral ivme,  $S_{ae}(T)$ , Spektral ivme katsayısı ile yer çekimi ivmesi  $g$ ’nin çarpımına eşittir [11].

$$\begin{aligned} A(T) &= A_0 I S(T) \\ S_{ae}(T) &= A(T) g \end{aligned} \tag{2.1}$$

Eş. 2.1’de yer alan etkin Yer ivmesi katsayısı  $A_0$  Çizelge-2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ )

Deprem Bölgesi	$A_0$
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

Eş. 2.1’de yer alan Bina Önem Katsayısı ( $I$ ) Çizelge 2.2’de tanımlanmıştır.

Çizelge 2.2. Bina önem katsayısı ( $I$ )

<i>Binanın Kullanım Amacı veya Türü</i>	<i>Bina Önem Katsayısı (<math>I</math>)</i>
<p><b><u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u></b></p> <p>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)</p> <p>b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1.5
<p><b><u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u></b></p> <p>a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>b) Müzeler</p>	1.4
<p><b><u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u></b></p> <p>Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.</p>	1.2
<p><b><u>4. Diğer binalar</u></b></p> <p>Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)</p>	1.0

Eş. 2.1’de yer alan Spektrum Katsayısı  $S(T)$ , yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu  $T$ ’ye bağlı olarak Eş. 2.2’ye göre hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\
 S(T) &= 2.5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T)
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Eş. 2.2’de bulunan Spektrum karakteristik periyotları T(A) ve T(B) yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Spektrum karakteristik periyotları

Yerel Zemin Sınıfı	T(A) (saniye)	T(B) (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Yukarıda yer alan veriler ile beraber yönetmeliğin bütünü incelendiğinde yapı statliğini oluşturan taşıyıcı elemanların deprem yüklerini karşılayacak şekilde oluşturulması için gerekli önlemlerin alındığı, ayrıntılı hesap yöntemleri ve pratik bilgilerin sunulduğu görülmektedir. Ancak ne yazık ki yapısal olmayan bileşenler açısından bakıldığında ise yönetmeliğin oldukça yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Zira yönetmeliğin yalnızca “yapısal çıkıntılara, mimari elemanlara, mekanik ve elektrik donanımına etkiyen deprem yükleri” başlıklı 2.11’inci maddesinde konumuz olan mekanik donanımına değinilmiştir. Yönetmelik 2.11.1. maddede; binalarda balkon, parapet, baca, vb. konsol olarak binanın taşıyıcı sistemine bağlı, ancak bağımsız çalışan yapısal çıkıntılar ile cephe, ara bölme panoları, vb. yapısal olmayan tüm mimari elemanlara uygulanacak; mekanik ve elektrik donanımlar ile bunların bina taşıyıcı sistem elemanlarına bağlantılarının hesabında kullanılacak eşdeğer deprem yüklerinin hesabında kullanılacak eşitliği aşağıda yer alan Eş. 2.3 ile vermektedir.

$$f_e = 0.5 A_o I w_e \left( 1 + 2 \frac{H_i}{H_N} \right) \quad (2.3)$$

Hesaplanan deprem yükü, yatay doğrultuda en elverişsiz iç kuvvetleri verecek yönde ilgili elemanın ağırlık merkezine etki ettirilecektir. Düşey konumda olmayan elemanlara, Eş. 2.3 ile hesaplanan eşdeğer deprem yükünün yarısı düşey doğrultuda etki ettirilecektir [11].

Yine aynı başlık altında yer alan 2.11.2 maddesinde Eş. 2.3’te “...w<sub>e</sub> ile gösterilen mekanik veya elektrik donanım ağırlıklarının binanın herhangi bir i’inci katındaki toplamının 0.2w<sub>i</sub>’den büyük olması durumunda, donanımların ağırlıklarının ve binaya bağlantılarının rijitlik özellikleri, bina taşıyıcı sisteminin deprem hesabında göz önüne alınacaktır” [11] ifadesi yer almaktadır.

Yangın söndürme sistemleri, acil yedek elektrik sistemleri ve dolgu duvarlara bağlanan donanımlar için ise Eş. 2.3 ile bulunan deprem yükünün iki katının uygulanması Yönetmeliğin 2.11.4'üncü maddesinde düzenlenmiştir.

Yönetmeliğin bütününde yer alan yapısal olmayan bileşenlere ait kısım yukarıda özetlendiği şekilde donanıma etkiyen deprem yükünün bulunmasından ibaret olup, bu ekipmanların ne şekilde ve hangi kurallara göre yapıya bağlanacağı açıklanmamıştır. Bu durum yürürlükte olan yönetmeliğimizin büyük bir eksikliği olarak göze çarpmaktadır.

Yönetmeliğimizdeki eksiklik, yapısal olmayan bileşenlerin deprem güvenliğinin sağlanması konusunda maliyet bazlı düşünen bazı tasarımcı ve uygulamacılar açısından rahatlık yaratabilmekte bu nedenle olası deprem yüklerine karşı dayanım sağlayacak önlemleri olmayan ve küçük bir sallantıda bile büyük olumsuz sonuçlar doğurabilecek yapıların sayısının artmasına neden olabilmektedir.

Bu durumun önüne geçmek için yönetmeliğimizin diğer uluslararası yönetmeliklerle, yerel ve uluslararası araştırmalar sonucu elde edilmiş bilimsel veriler ışığında güncellenmesi gerekmektedir.

### **2.3.2. Uluslararası mevzuatlar**

Depremler kuşkusuz bütün Dünya'da halen insanlığın sıklıkla karşılaştığı bir afettir. Ancak kuşkusuz deprem deyince ilk akla gelen ülkeler Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri olacaktır. Avrupa kıtası bu iki ülkeye göre depremlerin daha az tehdit ettiği bir kıtadır. Bu tez kapsamında Amerika'da yayınlanan standartlar yoğunluklu olarak işlenecektir.

Japonya, tarihi boyunca birçok yıkıcı deprem yaşamış ve tıpkı ülkemizde olduğu gibi milyonlarca vatandaşını bu depremlerde kaybetmiştir. 1923 yılında yaşanan Büyük Kanto depreminden sonra Japonlar depremin yıkıcılığından korunmak adına yasal düzenlemeler oluşturmaya başlamıştır. 1926 yılında sismik katsayı metodunu geliştirmişlerdir. 1981 yılından itibaren dinamik analiz metoduna göre deprem hesaplamalarını yapmışlardır [12]. Sonuç olarak ise depremlerle yaşamayı öğrenmişler ve inşa ettikleri üst düzey güvenlik önlemleri alınmış binalarla depremin bu yıkıcılığından

korunmayı başarmışlardır. Ancak Japonya yönetmelikleri Dünya genelinde kabul görmüş ve proje şartnamelerine girmiş yönetmelikler olarak karşımıza çok çıkmamaktadır.

Amerika Birleşik Devletlerinde ise yerel yasal düzenlemeler, meslek odaları şartnameleri ve çeşitli kuruluşların uzmanlarınca oluşturulmuş deprem güvenliği şartnamelerinin sayısı bir hayli fazladır ve günümüzde Dünya'nın kabul ettiği ve projelerin şartnamelerine giren düzenlemelerin çoğunu bu şartnameler oluşturmaktadır.

SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association)- Ulusal Sac Metal ve İklimlendirme Müteahhitleri Birliği- SMACNA seismic restraint adıyla yayınladığı kılavuzda yapısal olmayan bileşenler için deprem yükü hesaplarını ve bağlantı şekillerini ortaya koymuştur.

ASCE (American Society of Civil Engineers)- Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu- Seismic Design Requirements for Nonstructural Components isimli şartnamesiyle yine yapısal olmayan bileşenlerin sismik dizayn gereksinimlerini açıklamıştır.

FEMA (Federal Emergency Management Agency)- Federal Acil Durum Yönetim Kurumu yayınladığı FEMA 412 Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment (Mekanik Ekipmanlar İçin Sismik Sınırlayıcı Kurulumu) ve FEMA 414 Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe (Boru ve Kanallar için Sismik Sınırlayıcı Kurulumu) yönergeleriyle dizayn ve uygulama mühendislerine rehber olacak bilgiler paylaşmayı amaçlamıştır.

ICC (International Code Council)- Uluslararası Kod Konseyi- IBC (International Building Code)- Uluslararası Bina Kodu ile tüm Amerika'da en çok kabul gören standart olma özelliğini taşımaktadır. ICC daha önce bölgesel olarak standart hazırlayan 3 farklı kuruluşu bünyesinde toplamıştır. BOCA (Building Officials Code Administrators International), SBCCI (Southern Building Code Congress International) ve ICBO (International Conference of Building Officials ) 1994 yılında birleşerek ICC adını almış ve bölgesel kurallar koymak yerine tüm bölgeleri kapsayacak bir standart oluşturma çabasına girmişlerdir. İlk yayınları 1997 yılında daha önceki yayınların bir karması denebilecek tarzda oluşturulmuş 2000 yılında ise kendine özgü hesap metotlarını geliştirerek yayına

sunmuştur. Yayınlarında ASTM, ANSI ve NFPA gibi standartları referans olarak kullanmaktadır ve her üç yılda bir yayınlarını güncellemektedir [13].

Amerika'da yapılan bu çalışmaların öncelikli hedefi insan hayatını korumaktır. Ancak bunu sağlayacak önlemler tam ve eksiksiz olarak uygulandıktan sonra binaların kullanım amacı ve ekipmanların stratejik önemi göz önüne alınarak ayakta kalan binanın yapısal olmayan bileşenlerinin de ayakta kalması hedeflenmektedir. Yukarıda kısaca açıklamaları yapılan çalışmaların hepsi bu amacı yerine getirmeye yönelik tecrübelerle dayanılarak oluşturulmuştur.

#### **2.4. Deprem Yüğü Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

Bu kısımda Türkiye'de yürürlükte olan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" ile ABD'nin çeşitli yer ve zamanlarda kullandığı bina kodlarında deprem yükünün ne şekilde belirlendiği araştırılarak örnek bir durum için elde edilen veriler kıyaslanacaktır.

##### **2.4.1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**

Türkiye'de şuan yürürlükte olan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte" yapısal olmayan bileşenlere etkiyen eş değer deprem yükünün Eş. 2.3 ile tanımladığı açıklanmıştır. Bu bölümde diğer standartların hesap yöntemleri araştırılacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır.

##### **2.4.2. ASCE 7**

Eş. 2.3'te ekipmana etkiyen eş değer sismik yük; yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ ), bina önem katsayısı  $I$ , ekipman ağırlığı, ekipmanın binadaki konumu ve bina yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

ASCE-7 yayınladığı standardın 13. Bölümünde deprem yükünü aşağıda yer alan Eş. 2.4 ile hesaplamaktadır [14].

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W_p}{\frac{R_p}{I_p}} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \quad (2.4)$$

Eş. 2.4'te

$a_p$ ; bileşen büyütme faktörü

$S_{DS}$ ; Spektral ivme

$W_p$ ; bileşen işletme ağırlığı

$R_p$ ; bileşen tepki değiştirme faktörü

$I_p$ ; bileşen önem faktörü

$z$ ; bileşenin bina içindeki konumu (zeminde 0 alınır)

$h$ ; Zeminle ortalama çatı yüksekliği arasındaki mesafe olarak tanımlanmıştır.

Eş. 2.4'ün alabileceği en büyük değer;

$$F_p = 1.6 S_{DS} I_p W_p \quad (2.5)$$

En küçük değer;

$$F_p = 0.3 S_{DS} I_p W_p \quad (2.6)$$

Olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yine Eş. 2.4'te kullanılan  $a_p$  ve  $R_p$  değerlerinin tayini için ASCE 7 iki adet çizelge yayınlamıştır. Bunlardan biri mimari bileşenler için diğeri ise yapısal olmayan bileşenler içindir. Aşağıda yapısal olmayan bileşenler için oluşturulmuş çizelge verilmiştir.

Çizelge 2.4. Yapısal olmayan bileşenler için  $a_p$  ve  $R_p$  değerleri

<b>MEKANİK VE ELEKTRİK BİLEŞENLER</b>	$a_p$	$R_p$
Sac metal iskeletten imal edilmiş hava tarafı HVAC, fanlar, hava tutucular, hava şartlandırıcı üniteleri, kabin ısıtıcıları, hava dağıtım kutuları, ve diğer mekanik bileşenler	2.5	6.0
Yüksek şekil değiştirebilen malzemelerden imal edilmiş su tarafı HVAC, boylerler, kazanlar, atmosferik tank ve bidonlar, su soğutucular, su ısıtıcılar, ısı değiştiriciler, evaporatörler, hava ayırıcılar, imalat ve işlem ekipmanları ve diğer mekanik bileşenler	1.0	2.5

Eteğinden desteklenmemiş motorlar, türbinler, pompalar, kompresörler ve basınçlı tanklar	1.0	2.5
Eteğinden destekli basınçlı tanklar	2.5	2.5
Asansör ve yürüyen merdiven bileşenleri	1.0	2.5
Yüksek şekil değiştirebilen malzemelerden imal edilmiş jeneratörler, bataryalar, çeviriciler, elektrik motorları, trafolar ve diğer elektrik bileşenleri	1.0	2.5
Sac metal iskeletten imal edilmiş motor kontrol merkezleri, panelboardlar, şalter panoları, instrumentation kabinler ve diğer bileşenler	2.5	6.0
Haberleşme ekipmanları, bilgisayarlar, enstrümanlar ve kontroller	1.0	2.5
Ağırlık merkezinin altından yanlamasına çatıya bağlanmış bacalar, soğutma ve elektrik kuleleri	2.5	3.0
Ağırlık merkezinin üstünden yanlamasına çatıya bağlanmış bacalar, soğutma ve elektrik kuleleri	1.5	2.0
Aydınlatma aparatları	1.0	1.5
Diğer mekanik ve elektrik bileşenler	1.0	1.5
<b>TİTREŞİM İZOLELİ BİLEŞENLER VE SİSTEMLER</b>		
Neopran elemanlar veya neopran izoleli zemin veya dahili ya da ayrı elastomer kısıtlayıcı cihazlar veya esnek çeper sınırlayıcıları kullanılarak izole edilmiş bileşenler veya sistemler	2.5	2.5
Elastomer kısıtlayıcı cihazlar veya esnek çeper sınırlayıcıları kullanılarak kısıtlanmış yay izoleli bileşen ve sistemler ile titreşim izoleli zeminler	2.5	2.0
İçten izoleli bileşen ve sistemler	2.5	2.0
Aynı ekseninde boru teçhizatı içeren asılı titreşim izoleli ekipmanlar ve asılı içten izoleli bileşenler	2.5	2.5
<b>DAĞITIM SİSTEMLERİ</b>		
Kaynak veya lehim ile bağlanmış aynı ekseninde bileşenler içeren ASME B31'e göre yapılmış borulamalar	2.5	12.0
Yüksek veya sınırlı şekil değiştirebilen malzemeden imal edilmiş, vidalama, yapıştırma veya kaplin ile bağlanmış aynı ekseninde bileşenler içeren ASME B31'e göre yapılmış borulamalar	2.5	6.0
Yüksek şekil değiştirebilen malzemeden imal edilmiş, kaynak veya lehim ile bağlanmış aynı ekseninde bileşenler içeren, ASME B31'e göre yapılmamış borulamalar	2.5	9.0
Yüksek veya sınırlı şekil değiştirebilen malzemeden imal edilmiş, vidalama, yapıştırma veya kaplin ile bağlanmış aynı ekseninde bileşenler içeren ASME B31'e göre yapılmamış borulamalar	2.5	4.5
Dökme demir, cam ve sünek olmayan plastik gibi düşük şekil değiştirmeye sahip malzemelerden imal edilmiş borulamalar	2.5	3.0
Yüksek şekil değiştirebilen malzemeden imal edilmiş, kaynak veya lehim ile bağlanmış aynı ekseninde bileşenler içeren kanal sistemleri	2.5	9.0
Yüksek veya sınırlı şekil değiştirebilen malzemeden imal edilmiş, kaynak veya lehim dışında diğer yöntemler ile bağlanmış aynı ekseninde bileşenler içeren kanal sistemleri	2.5	6.0
Dökme demir, cam ve sünek olmayan plastik gibi düşük şekil değiştirmeye sahip malzemelerden imal edilmiş borulamalar	2.5	3.0



Elektrik boruları, bara tavaları, rijit bağlı kablo tavaları ve sıhhi tesisat borulamaları	1.0	2.5
Üretim veya işlem konveyörleri	2.5	3.0
Asılı kablo tavaları	2.5	6.0

Çizelge 2.4  $a_p$  ve  $R_p$  değerlerini yapısal olmayan mekanik ve elektrik elemanlar için seçme imkanı vermektedir.

Buna göre;

Havalandırma, ısıtma-soğutma sistemleri gibi sacdan mamul bileşenler için bileşen büyütme katsayısı  $a_p=1,0$ , bileşen tepki katsayısı  $R_p=2,5$  olarak alınmalıdır.

Aynı ekipmanlara titreşim yalıtımı uygulandığında ise bileşen büyütme katsayısının arttığı görülmektedir. Bu durumda  $a_p=2,5$ ,  $R_p=2,5$  alınmalıdır.

Titreşim yalıtımı tek başına uygulandığında ekipmanın büyütme katsayısını dolayısıyla üzerine aldığı deprem yükünü artırmaktadır. Bu nedenle sismik sınırlayıcı olmadan titreşim yalıtımı uygulanması sakıncalı bir durumdur.

Çizelge 2.4 ile verilen bileşen büyütme katsayılarının 1,0-2,5 değerleri arasında, bileşen tepki katsayılarının ise 1,5-12 değerleri arasında değiştiği görülmektedir.

Bileşen büyütme katsayısı detaylı dinamik analizlerle ispatlanmadığı sürece 1,0 değerinin altında alınmamalıdır. Rijit bileşenlerde veya bileşenin yapıya rijit bağlandığı durumlarda 1,0 değeri alınabilir. Esnek bileşenlerde veya bileşenin yapıya esnek bağlandığı durumlarda ise 2,5 alınması uygundur.

ASCE 7 ile Ülkemizde kullanılan eş değer deprem yükü hesaplama eşitlikleri arasındaki farklardan biri, ASCE'nin hesaplamasında bileşene göre işlem yapması, Ülkemizde kullanılan yönetmelikte ise deprem bölgesinin göz önüne alınmasıdır.

Ülkemiz 4 farklı deprem bölgesi belirleyerek bu bölgeler için etkin yer ivmelerini tespit etmiş (Çizelge 2.1) ve deprem yükü hesabında bu verileri kullanmıştır. Aslında belirlenen deprem bölgelerinin sayısı 5'tir ancak 5. Bölge için deprem yükü hesaplaması gerekmemektedir.

Diğer bir fark ise Eş. 2.3'te kullanılan I bina önem katsayısı ile Eş. 2.4'te kullanılan bileşen önem faktörü  $I_p$  arasındadır.

Ülkemizde Çizelge 2.2 ile verilen bina önem katsayısı kullanılmaktadır. Buna göre binalar 4 farklı kategoride ele alınmış ve her kategori binanın kullanım amacına göre 1,5 ile 1,0 arasında değişen bina önem katsayısına sahip olmuştur.

ASCE 7 ise binaları değil ekipmanları öneme göre kategorize etmiştir. Örneğin yangın koruma sistemleri gibi depremden sonra da görevini yerine getirmesi hayati öneme haiz ekipmanları, zehirli maddeler içeren ekipmanları ve önemli tesisler içinde bulunan ve deprem esnasında kullanımını yitirdiğinde tesisin işleyişini bozması muhtemel olan binalarda (hastane, polis merkezi veya yangın istasyonları gibi) kullanılan ekipmanları yüksek kategori olarak sınıflamış ve önem katsayısı  $I_p=1,5$  olarak kabul etmiştir. Bunların dışındaki tüm bileşenler için  $I_p=1,0$  olarak alınabilmektedir.

Önem katsayısındaki azalma eş değer deprem yükünde azalma demektir. Bu da alınacak önlemleri etkilemektedir. ASCE 7’de yapıldığı şekilde bir sınıflandırma yapılması gereksiz yere oluşan sismik sınırlama maliyetini azaltabilmektedir.

#### **2.4.3. IBC ve NEHRP**

1997 NEHRP kodu ile 2000 IBC kodu birbirleriyle eş değer kıstaslar içermektedir. NEHRP Bölüm 6 ve IBC Kısım 1621 yapısal olmayan bileşenlerin deprem karşısındaki davranışını konu almaktadır. Bütün ekipmanlar ve bağlı sistemler bu bölüm ve kısımlarda düzenlenmiştir. Ancak istisnai durumlar da ayrıca belirtilmiştir. Buna göre deprem güvenliği alınması zorunlu olmayan haller aşağıda maddeler halinde verilmiştir [15].

- a) Sismik dizayn kategori A ve B ile tanımlanmış bütün mekanik ve elektrik sistemler.
- b) Sismik dizayn kategorisi C olan ve kullanım şekline göre bileşen önem faktörü 1.0 olan bütün mekanik ve elektrik sistemler.
- c) Bütün sismik dizayn kategorilerinde, bileşen önem faktörü 1.0 olan ve bileşenler ile ilişkili olan kanal, borulama ve devrelerin esnek bağlantılar ile bağlandığı, zemin seviyesinden 1219 mm veya daha az yükseklikte bağlanmış, ağırlığı 1780 N’un altında olan ve yapının işleyişindeki sürekliliği bozmayacak öneme sahip her türlü mekanik ve elektrik sistemler.
- d) Bütün sismik dizayn kategorilerinde, bileşen önem faktörü 1.0 olan ve bileşenler ile ilişkili olan kanal, borulama ve devrelerin esnek bağlantılar ile bağlandığı ve ağırlığı 20 N’un altında olan her türlü mekanik ve elektrik sistemler.

- e) Zincirlerle desteklenmiş veya yukarıdakilere benzer şekilde bağlanmış, zarar görmeyecek ve çevresindeki bileşenlere de zarar vermeyecek şekilde yapıya bağlantı noktasında sünek bağlantılar kullanılmış ekipmanlar.
- f) Bileşen önem faktörü 1.0 olan, yapı ile kanalın üst noktası arasında 305 mm veya daha az mesafe olan, bağlantı noktasında önemli bir eğilme meydana getirmeyen veya kesit alanı  $0.557 \text{ m}^2$ 'nin altında olan asılı havalandırma kanalları.
- g) Kanallar ile aynı ekseninde bağlı, işletme ağırlığı 334 N ve altında olan fan, ısı değiştirici gibi ekipmanlar.
- h) Boru hattı boyunca kullanılan tüm askı çubuklarının boru üst noktası ile tavana bağlandığı nokta arasındaki mesafenin 305 mm veya daha az olduğu borulama sistemleri.
- i) Sismik dizayn kategorisi D,E veya F olan, bileşen önem faktörü 1.0'den büyük olan ve anma çapı 25 mm veya daha az olan yüksek deforme olabilir borulamalar.
- j) Sismik dizayn kategorisi C olan, bileşen önem faktörü 1.0'den büyük olan ve anma çapı 51 mm veya daha az olan yüksek deforme olabilir borulamalar.
- k) Sismik dizayn kategorisi D olan, bileşen önem faktörü 1.0 olan ve anma çapı 25 mm veya daha az olan yüksek deforme olabilir borulamalar.

Yüksek deforme olabilir borulamalar ile kastedilen sünek bağlantılı sünek malzemelerden oluşan borulamalardır. Örneğin kaynaklı çelik boru veya lehimli bakır boru yüksek deforme olabilir borulamalardır. Oysa göbeksiz dökme demir borulamalar bu gruba girmez.

NEHRP ve IBC bileşenlerin birbiri arasındaki ilişkiyi göz önüne alır. Böylece önemli veya önemsiz her hangi bir bileşenin zarara uğraması sistemdeki diğer bileşenlerin zarara uğramasına neden olmaz.

Sismik dizayn kategorileri A ile F harfleri arasında kodlanmıştır ve kısa periyot spektral dizayn ivmesine bağlıdır.

Çizelge 2.5 incelendiğinde farklı kullanım grupları için spektral ivmeye bağlı sismik dizayn kategorileri görülmektedir. Yukarıdaki çizelgede yer almayan E ve F harfleri için IBC ve NEHRP; 1 saniye periyot haritalarında kullanım grubu I ve II olan yapılar için 0.75 g ve üzeri beklenen maksimum deprem spektral tepki ivmesi ( $S_{MS}$ ) değerine sahip olan konumlarda sismik dizayn kategorisinin E, kullanım gurubu III olan yapılar için aynı beklenen maksimum deprem spektral tepki ivmesi değerine sahip olan konumlarda sismik dizayn kategorisinin F olmasını öngörmektedir. Yine Çizelge 2.5'te tanımlanan sismik kullanım grupları Çizelge 2.6 ile açıklanmaktadır.

Çizelge 2.5. Sismik dizayn kategorileri

Kısa Periyot Spektral Dizayn İvmesi, $S_{DS}$	Sismik Kullanım Grubu		
	I	II	III
$S_{DS} < 0.167 g$	A	A	A
$0.167 g \leq S_{DS} < 0.33 g$	B	B	C
$0.33 g \leq S_{DS} < 0.50 g$	C	C	D
$0.50 g < S_{DS}$	D	D	D

Çizelge 2.6. Kullanım önem faktörü

Sismik Kullanım Grubu	Kullanım Önem Faktörü, I	Kullanım şekli
Grup I	1.0	Aşağıdaki listede yer almayan tüm kullanımlar.
Grup II	1.25	<p>Kullanım grubu A olan içinde 300'den fazla insanın toplandığı alanlar.</p> <p>Kullanım grubu E olan ve kullanım yükü 250'den fazla olan yapılar.</p> <p>Kullanım grubu E olan kapasitesi 150'den fazla olan gündüz bakım evleri.</p> <p>Kullanım yükü 5000'den fazla olan yapılar.</p> <p>Sürekli çalışma gerektiren sismik Grup III'te yer almayan güç üretim istasyonları ve diğer kamu hizmeti tesisleri.</p> <p>İçme suyu için birincil arıtma ve dezenfeksiyon yapılan su arıtma tesisleri.</p> <p>Birincil arıtma yapılan atık su arıtma tesisleri.</p> <p>Grup III dışında kategorize edilemeyen kullanım yükü 50'den fazla olan Grup I-2 yapıları.</p> <p>Grup I-3 yapıları.</p>

Grup III	1.50	Yangın, kurtarma ve polis istasyonları. Hastaneler. Ameliyathane ve acil tedavi merkezi içeren Grup I-2 tesisleri. Acil durum hazırlık merkezleri. Acil durum işlem merkezleri. Acil durum sığınakları. Sismik kullanım grubu III olan güç üretim istasyonları ve diğer acil durum yedekleme sistemleri içeren tesisler. Acil durum araç garajları ve acil durum hava araçları hangarları. İletişim merkezleri. Havacılık kontrol kuleleri ve hava trafik kontrol merkezleri. Tanımlı miktarlarda ve tanımlı yüksek zehirli maddeleri içeren yapılar. Yangın söndürme sistemleri için su basıncı sağlayan sistemler için çalışan su arıtma tesisleri.
----------	------	--

IBC ve NEHRP toplam dizayn kuvvetini aşağıda yer alan Eş. 2.7 ile vermektedir.

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} I_p}{R_p} \left(1 + \frac{z}{\square}\right) W_p \quad (2.7)$$

$F_p$  hesaplanırken aşağıdaki iki şartın sağlanması gerekir.

- 1)  $F_p$  ;  $0.6S_{DS}I_pW_p$  değerinden büyük olamaz.
- 2)  $F_p$  ;  $0.3S_{DS}I_pW_p$  değerinden küçük olamaz.

Görüldüğü gibi IBC ve NEHRP kodları bütünüyle ASCE 7 referans alınarak hazırlanmış kodlardır ve formülasyonları arasında bir fark bulunmamaktadır.

Aşağıda yer alan Çizelge 2.7 ile mekanik bileşenler için bileşen yükseltme faktörü ( $a_p$ ) ve bileşen tepki düzeltme faktörü ( $R_p$ ) değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.7. Bileşen yükseltme ve bileşen tepki faktörleri

Mekanik Bileşen	$a_p$	$R_p$
<b>Genel Mekanik</b>		
Boylar ve fırınlar	1.0	2.5
Basıncılı tanklar	2.5	2.5
Bacalar	2.5	2.5
Dirsekli bacalar	2.5	2.5
Diğerleri	1.0	2.5
<b>Üretim ve İmalat Makineleri</b>		
Genel	1.0	2.5
Konveyörler	2.5	2.5
<b>Borulama Sistemleri</b>		
Yüksek deforme olabilir bileşen ve bağlantılar	1.0	3.5

Sınırlı deforme olabilir bileşen ve bağlantılar	1.0	2.5
Düşük deforme olabilir bileşen ve bağlantılar	1.0	1.25
<b>HVAC Sistem Ekipmanları</b>		
Titreşim izoleli	2.5	2.5
Titreşim izolesiz	1.0	2.5
Kanal hattına eş ekseninde bağlı	1.0	2.5
Diğer	1.0	2.5

Çizelge 2.7 incelendiğinde  $a_p$  değerlerinin 1.0 ve 2.5 değerlerinden birini aldığı  $R_p$  değerlerinin ise çoğunlukla 2.5 olduğu görülmektedir.

Haritalandırılmış bölgeler ve bu bölgeler için kısa periyot spektral tepki ivmesi değerlerine göre bölge katsayılarını ( $F_a$ ) gösteren Çizelge 2.8 aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 2.8. Bölge katsayıları

Bölge Sınıfı	Kısa periyot spektral tepki ivmesi				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s < 0.75$	$S_s < 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	Dinamik analiz
F	Dinamik analiz	Dinamik analiz	Dinamik analiz	Dinamik analiz	Dinamik analiz

$S_s$  değerleri IBC ve NEHRP kodlarının ekinde yer alan spektral haritalardan elde edilerek, yapının bulunduğu bölgenin ivme değerleri için projeciye fikir verir. Ara değerler için lineer interpolasyon yöntemi kullanılabilir.

Yukarıda yer alan formül ve çizelgeler ile IBC ve NEHRP kodları için dizayn yükleri bulunarak gerekli bağlantı şekilleri tespit edilebilir.

Titreşim izolasyonu yapılan sistemler için toplam dizayn kuvveti  $2F_p$  olarak alınmalıdır.

#### 2.4.4 1996 BOCA ve 1997 SBCCI kodları

Boca National Building Code, Building Officials & Code Administrators International, Inc tarafından basılmış, Standard Building Code ise Southern Building Code Congress International, Inc tarafından basılmıştır. Her iki kod da mekanik ve elektrik ekipmanların ağırlık merkezinden yanal olarak uygulanan sismik kuvvetin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

$$F_p = A_v C_c P a_c W_c \quad (2.8)$$

Eş. 2.7 ile verilen eşitlik ile elemanın ağırlık merkezinden etkiyen yanal kuvvet hesaplanır [16].

Burada;

$A_v$  = Hız ilişkili efektif ivme

$C_c$  = Mekanik ve elektrik bileşenler için sismik katsayı

$P$  = Performans kriteri faktörü

$a_c$  = Birleşim yükseltme faktörü

$W_c$  = Bileşenin işletme ağırlığı

Gerek BOCA gerekse de SBCCI yanal kuvvetin %33'ü kadar ağırlık merkezinden dikey yönde kuvvet uygulamayı öngörmektedir.

$$F_{pv} = 0.33 F_p \quad (2.9)$$

Çizelge 2.9 ile mekanik ve elektrik bileşenler için Sismik Katsayı ( $C_c$ ) ve Performans Kriteri Faktörü ( $P$ ) gösterilmektedir.

Çizelge 2.9. Sistem sismik katsayısı ve performans kriteri faktörü

Mekanik ve Elektrik Bileşen veya Sistem	Sistem Sismik Katsayısı ( $C_c$ )	Performans Kriteri Faktörü		
		Sismik Tehlike Grubu		
		I	II	III
1. Yangın koruma ekipman ve sistemleri	2.0	1.5	1.5	1.5
2. Acil durum veya yedek elektrik sistemleri	2.0	1.5	1.5	1.5
3. Asansör sürücüsü, süspansiyon sistemi ve denetleyici ankraji	1.25	1.0	1.0	1.5

4. Genel ekipmanlar A. Mekanik ekipmanlar B. Elektriksel ekipmanlar C. İletişim sistemleri D. Elektriksel dağıtım kanalları ve birincil kablo sistemleri E. Tanklar, ısı değıştirciler ve basınç tüpleri	2.0	0.5	1.0	1.5
5. Üretim ve işlem mekanizmaları	0.67	0.5	1.0	1.5
6. Borulama sistemleri Gaz ve yüksek zararlıların borulanması Yangın bastırma borulamaları Diğer borulama sistemleri	2.0 2.0 0.67	1.5 1.5 0.5	1.5 1.5 1.0	1.5 1.5 1.5
7. HVAC kanalları	0.67	0.5	1.0	1.5
8. Elektrik panel boardlar	0.67	0.5	1.0	1.5
9. Aydınlatma aparatları	0.67	0.5	1.0	1.5

Buna göre çizelge incelendiğinde, yangın koruma sistem ve ekipmanları, tehlikeli gazlar taşıyan borulama sistemlerinde sismik katsayı 2,0 alınırken havalandırma kanalları, elektrik panoları ve tehlikeli madde taşıyan borular dışında kalan borulama sistemlerinde sismik katsayının 0,67 alındığı görülmektedir. Benzer şekilde yangın koruma sistemleri için performans kriteri faktörü sismik tehlike sınıfına bakılmaksızın 1,5 alınırken, tehlikeli madde taşıyan borular dışında kalan borulama sistemleri sismik tehlike sınıfına göre değışen değerler almaktadır. Örneğin sismik tehlike sınıfı 1 için 0,5, 2 için 1,0 ve 3 için 1,5 değerini aldığı resimden görülebilmektedir.

Aydınlatma ekipmanları için sismik katsayı 0,67 olarak görülse de sarkaçlı tip aydınlatmalarda sismik katsayı 1,5 olarak alınmaktadır.

Çizelge 2.10 ile yukarıda sözü edilen sismik tehlike sınıfları gruplandırılmıştır. Buna göre Grup 2 ile 3'te tanımı yapılmamış her türlü bina grup 1 olarak kabul edilmiştir. Yangın istasyonu, polis ve kurtarma istasyonları, iletişim merkezleri, tüksek zehirli madde içeren tesisler gibi depremde zarar görmesi halinde daha büyük problemlere yol açabilecek öneme haiz tesisler grup 3, bir odada 300'den fazla insanın toplandığı veya 5000'in üzerinde oturanı olan binalar gibi insanların yoğun bulunduğu mekanlar ise grup 2 olarak sınıflandırılmıştır.



Çizelge 2.10. Sismik tehlike sınıfları

Grup Türü	Kullanım Mahiyeti
<b>Grup I</b>	Aşağıdaki listede yer almayan tüm binalar
<b>Grup II</b> Kullanımından dolayı önemli toplumsal zarara neden olabilecek binalar	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bir oda içerisinde 300'den fazla insanın toplandığı Grup A</li> <li>2. 250'den fazla kullanım yükü olan Grup E</li> <li>3. Kullanım yükü 500'den fazla olan kolej ve yetişkin eğitim yerleri Grup B</li> <li>4. Kullanım yükü 50'den fazla olan ameliyathane veya acil tedavi merkezi içermeyen sınırlayıcısız Grup I</li> <li>5. Sınırlayıcılı Grup I</li> <li>6. Grup III'de yer almayan güç üretim tesisi ve diğer kamu hizmeti tesisleri</li> <li>7. 5000'den fazla kullanım yükü olan diğer her türlü bina</li> </ol>
<b>Grup III</b> Deprem sonrası kullanımı gereken önemli tesisler	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Yangın, kurtarma ve polis istasyonları</li> <li>2. Ameliyathane veya acil tedavi merkezi Grup I</li> <li>3. Deprem acil durum hazırlık merkezleri</li> <li>4. Deprem sonrası kurtarma araçları için garajlar</li> <li>5. Güç üretim ve acil durum yedekleme tesisleri</li> <li>6. Birincil iletişim merkezleri</li> <li>7. Bina kodları tarafından tanımlanmış yüksek zehirli maddeler içeren binalar</li> </ol>

Çizelge 2.11 BOCA ve SBCCI' da kullanılan ivmeye bağlı sismik tehlike sınıflarını göstermektedir. İvmenin  $0,05 \text{ m/s}^2$ 'nin altında olduğu durumlarda her üç tehlike sınıfı için A grubu kabul edilirken ivme değeri değiştikçe tehlike sınıflarının grupları da değişmektedir.

Çizelge 2.11. Sismik tehlike grupları

Hız ilişkili Efektif İvme, $A_v$	Sismik Tehlike Grupları		
	I	II	III
$A_v < 0,05$	A	A	A
$0,05 < A_v < 0,10$	B	B	C
$0,10 < A_v < 0,15$	C	C	C
$0,15 < A_v < 0,20$	C	D	D
$0,20 < A_v$	D	D	E

Çizelge 2.12'de ekipmanın bağlantı şekline göre bağlantı yükseltme faktörü görülmektedir. Sabit bağlantılar için yükseltme faktörü 1,0 alınmaktadır. Esnek bağlantılar için ise sismik-aktif bağlantılar için 1,0 kabul edilirken elastik bağlantılar için ise bileşenin doğal frekansının binanın doğal frekansına oranının aldığı değere göre 1,0 veya 2,0 olarak değişmektedir.

Çizelge 2.12 Bağlantı yükseltme faktörü

Bileşen Bağlantı Sistemi	Bağlantı Yükseltme Faktörü ( $a_c$ )
Sabit veya direkt bağlantı	1.0
<b>Esnek Bağlantı Sistemleri:</b>	
Sismik-aktive sınırlayıcı cihaz	1.0
Elastik sınırlayıcı cihaz:	
$T_c/T < 0.6$ veya $T_c/T > 1.41$	1.0
$T_c/T > 0.6$ veya $T_c/T < 1.41$	2.0

Gerek BOCA gerekse de SBCCI önlem almanın öngörülmediği bir takım özel durumlar belirlemiştir.

- Özel askılarla borunun üst noktasından 12 inç (305 mm) veya daha az mesafeden destek yapıya asılan borular
- Destek yapıya bağlandığı nokta ile üst noktası arasında 12 inç (305 mm) veya daha az mesafe olacak şekilde asılmış kanallar
- Mekanik odalarda bulunan iç çapı 32 mm'den küçük olan borular
- Nerede olursa olsun iç çapı 65 mm'den küçük olan borular
- İç çapı 65 mm'den küçük olan kablo boruları
- Kesit alanı  $6 \text{ ft}^2$  ( $0,557 \text{ m}^2$ ) den küçük olan kanallar

Yukarıda yer alan özel durumlarda BOCA ve SBCCI'a göre sismik tedbir almaya gerek duyulmamaktadır.

#### 2.4.5. 1997 Uniform Building Code

Ekipmanlar ve bağlı sistemler için sismik gereksinimler kısım 1632'de tanımlanmıştır. [16]

UBC toplam yanal kuvveti hesaplarken aşağıdaki formülasyonu kullanmaktadır.

$$F_p = 4.0 C_a I_p W_p \quad (2.10)$$

Eş. 2.9 ile verilen eşitliğe alternatif olarak;

$$F_p = \frac{a_p C_a I_p}{R_p} \left( 1 + 3 \frac{h_x}{h_r} \right) W_p \quad (2.11)$$

Eş. 2.11 ile verilen eşitlik kullanıldığı zaman aşağıdaki iki şartın sağlanması gerekmektedir.

1)  $F_p$  ;  $0.7C_aI_pW_p$ 'den küçük olamaz.

2)  $F_p$  ;  $4C_aI_pW_p$ 'den büyük olamaz.

Bu eşitlikte;

$W_p$ =bileşenin işletme ağırlığı

$I_p$ =sismik önem faktörü

$h_x$ =bileşenin bağlı olduğu konumun yere göre yüksekliği

$h_r$ =yere göre çatı yüksekliği

$a_p$ =bileşenin yükseltme faktörü

$R_p$ =bileşen tepki değiştirme faktörü

$C_a$ =sismik katsayı

olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 2.13'te Eş. 2.10 ve Eş. 2.11 için kullanılacak önem faktörü ( $I_p$ ) değerleri görülmektedir. Buna göre binalar üç kategoriye ayrılmıştır. Birinci kategori itfaiye ve polis tesisleri gibi önem arz eden binaları, ikinci kategori zararlı, zehirli kimyasal ve patlayıcılar içeren tehlikeli binaları oluşturmaktadır. Bu kategoriler dışında kalan binalar ise önem faktörü 1,00 olan diğer binalar kategorisindedir. Ancak diğer binalar içerisinde yer alan yaşam kurtarma cihaz ve ekipmanları için önem faktörü yine 1,50 olarak alınmalıdır.

Çizelge 2.13. Sismik önem faktörü

Önem Kategorisi	Yapının Kullanım veya Fonksiyonu	Sismik Önem Faktörü, $I_p$
1. Önemli Tesisler	Ameliyathane ve acil tedavi merkezi içeren yapılar Yangın ve polis istasyonları Acil durum araç ve ucaları için garaj ve barınaklar Acil cevap gerektiren devlet iletişim merkezleri ve diğer tesisler Kategori 1 tesisleri için güç üretim yedekleme ekipmanları Kategori 1,2 ve özel kullanım yapılarının korunması için gereken yangın bastırma materyalleri veya destek su içeren depo, tank gibi yapılar	1.50

2. Tehlikeli Tesisler	Zehirli veya patlayıcı maddeler içeren yapılar Bina içerisinde yer aldığı Grup H kategori 1,2 veya 7 içerisinde olacak zehirli veya patlayıcı madde içeren bina olmayan yapılar	1.50
3. Diğer Bütün Yapılar	Yukarıda yer almayan özel, standart ve muhtelif yapılar	1.00

Çizelge 2.14 ile yükseltme ve değiştirme faktörleri verilmiştir.

Çizelge 2.14. Yükseltme ve değiştirme faktörleri

Ekipman Tipi	$a_p$	$R_p$
A.Destek sistemler içeren tank ve kaplar	1.0	3.0
B.Elektrik, mekanik ve sıhhi tesisat ekipmanları ve bağlı devre, kanal ve borulamalar	1.0	3.0
C.Ağırlık merkezinin altından yatay şekilde yapıya desteklenmiş veya tespit edilmiş esnek ekipmanlar	2.5	3.0
D.Acil durum güç kaynağı sistemleri ve önemli iletişim ekipmanlarının bağlantıları. Acil durumlar için batarya ve yakıt tanklarının tespit ve destek sistemleri	1.0	3.0
E.Alev alabilir veya tehlikeli malzemelerin geçici depoları	1.0	3.0

Yükseltme faktörü için resim incelendiğinde C grubu dışında kalan tüm ekipmanlar için 1,0 değeri alınırken C grubunda yapıya ağırlık merkezinin altında bir noktadan bağlanmış esnek ekipmanların deprem yükünü artıracığı düşünülerek 2,5 alınmıştır. Tüm gruplar için düzeltme faktörünün ise 3,0 olduğu görülmektedir.

Ancak sığ dökme saplama, sığ kimyasal dübel veya sığ tespit civatası ile yapılan bağlantılarda,  $R_p=1,5$  olarak alınmalıdır. Sığ saplama ile kastedilen gömme derinliğinin çapa oranının 8'den küçük olduğu durumdur.

Resimde verilen değerler titreşim yalıtımı yapılmamış olan cihaz ve ekipmanlar içindir. Eğer titreşim yalıtımı yapılmış ise yükseltme düzeltme faktörleri sırasıyla 2,5 ve 1,5 değerlerini almaktadır. Eş. 2.11 incelendiğinde  $a_p$  değerinin artması  $R_p$  değerinin azalması durumunda  $F_p$  deprem yükünün arttığı görülmektedir. Buradan çıkan sonuç ise yalnızca

titreşim izolesi yapılması durumunun deprem anında ekipmanı daha riskli bir konuma getirdiğidir.

C gurubunda bahsi geçen esnek elemanlarla kastedilen yanal yüklere karşı deformasyonu bitişik ekipmanlara oranla 2,5 kat daha fazla olan elemanlardır.

$C_a$  , sismik katsayı, Çizelge 2.15 ile Çizelge 2.16 kullanılarak tespit edilir. Çizelge 2.15’de  $S_A$ ’dan  $S_F$ ’ye kadar toprak türleri ile Z, sismik bölge faktörleri sınıflandırılmıştır. Amerika kıtası için 5 ayrı sismik bölge oluşturulmuştur.

Çizelge 2.15. Toprak profillerine göre sismik bölge faktörleri

Toprak Profili	Sismik Bölge Faktörü, Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.20	Z=0.30	Z=0.40
$S_A$	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_a$
$S_B$	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_a$
$S_C$	0.09	0.18	0.24	0.33	$0.40N_a$
$S_D$	0.12	0.22	0.28	0.36	$0.44N_a$
$S_E$	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.36N_a$
$S_F$					

Çizelge 2.16. Sismik bölge katsayıları

Zon	1	2A	2B	3	4
Z	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40

Örneğin Sao Paulo ve Melbourne 1. Bölge, Montreal 2A Bölgesi, Aukland 2B Bölgesi, Vancouver, Mexico City, Bogota ve Lapaz 3. Bölge, Santiago, Quito ve Los Angeles 4. Bölge olarak belirlenmiştir.

Her bölgenin sismik kaynaklara yakınlığı, toprak yapısı ve sismik bölge faktörü o bölge için sismik katsayıyı belirlemektedir.

Los Angeles’te bulunan bir yapı için toprak tipinin sert kaya olduğu düşünülürse;

Çizelge 2.16’ya göre sismik bölge faktörü 0,40 olarak tespit edilir. Çizelge 2.15 ile kullanılarak  $S_A$  toprak tipi için  $C_a$  sismik katsayısının  $0,32 N_a$  olduğu okunur.

$N_a$  ile verilen değer bilinen sismik kaynağa yakınlık değeridir ve sadece 4.Bölge için kullanılan bir parametredir.

Çizelge 2.17 ile verilen değerler dışında yer alan ara değerler için lineer interpolasyon yöntemi kullanılabilir.

Çizelge 2.17. Bilinen sismik kaynağa yakınlık kriteri

Sismik Kaynak Tipi	<2km	5 km	>10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Los Angeles örneği için Çizelge 2.17'ye göre sismik kaynağın tipinin B olduğu ve binanın kaynağa 5 km mesafede olduğu varsayılırsa  $N_a$  değeri 1,0 olarak bulunur.

0,32 $N_a$  değerinde  $N_a$  yerine 1,0 yazıldığında varsaydığımız bina için  $C_a$  sismik katsayı değeri 0,32 olarak tespit edilir.

#### 2.4.6. 1995 National Building Code of Canada

National Building Code of Canada 1995, Canada'nın tüm sismik bölgelerinde boruların, tankların, kanalların, tüm ekipman ve mekanizmaların sismik dizaynında göz önüne alınan bir koddur. Hasar ve kuvvetlerin büyüklükleri, sismik zonlama haritalarında Canada ve bağlı bölgelerinde geçmiş yıllarda meydana gelen depremlerin istatistiksel analizi ile gösterilmiştir [16].

Mekanik ve elektrik ekipmanlar ile bağlantıları yanal kuvvet faktörü  $V_p$  bulunarak dizayn edilir.

$$V_p = u I S_p W_p \quad (2.12)$$

Eş. 2.12'de;

$u$  = bölgesel hız oranı

$I$  = önem faktörü

$S_p$  = yatay kuvvet faktörü

$W_p$  = ekipmanın ağırlığı olarak tanımlanmıştır.

Bölgesel hız oranı ( $u$ ) terimi 1 Hz frekans aralığında yerin 1 m/s hıza göre aldığı maksimum hız olarak tanımlanmıştır. Bu değerler geçmiş yıllara ait yer hareketlerinin istatistiklerinden yola çıkılarak bulunmuştur. Çizelge 2.18'de sismik bölgelerin hız oranları görülmektedir.

Çizelge 2.18’de verilen hız oranlarının önümüzdeki 50 yıl içinde %10 artması beklenmektedir. Bu Çizelgede verilen değerler tahmini değerlerdir çünkü deprem doğası gereği yer hareketlerini tam ve kesin bir biçimde bilebilmek mümkün değildir. Bu nedenle gerçek bina frekansına göre tahmin edilen yer hareketini sismologlar belirleyebilmektedir. Çizelge 2.18. Sismik bölgelerin hız oranları

Sismik Bölge (Z)	Bölgesel Hız Oranı (v)
0	0.00
1	0.05
2	0.10
3	0.15
4	0.20
5	0.30
6	0.40

Önem faktörü (I) terimi National Building Code’a göre 3 kategoriyle ifade edilir. Afet sonrası kullanımın sürekli olması gereken binalarda I=1,5, okul binaları gibi insan popülasyonunun fazla olduğu belli süre kullanımlı binalarda I=1,3, bunların dışında kalan binalarda ise I=1,0 alınır.

Yatay kuvvet faktörü ( $S_p$ ) yapıdaki bileşenlerin yer hareketlerine karşı verdiği tepkiden kaynaklanan bir terimdir. Bu tepki değiştirme yükseltme, filtreleme biçimlerinde olabilir. Bu etkilerden dolayı bileşenler için hesaplanan dizayn kuvvetleri bina yapısı için hesaplanan değerlerden daha yüksek çıkabilir. Çünkü ekipmanın bağlı bulunduğu katın yüksekliği zeminden daha fazla deprem hareketi yapacaktır ayrıca ekipmanlar ve yapıya bağlandığı destekler gelen deprem kuvvetlerini artıracak yönde etkiler gösterebilir.

$$S_p = C_p A_r A_x \quad (2.13)$$

Eş. 2.13 yatay kuvvet faktörünü veren eşitliği vermektedir.

Burada;

$C_p$  = bileşen için sismik katsayı

$A_r$  = bileşen yükseltme faktörü (bağlantı şekline bağlı olarak)

$A_x$  = bileşen yükseltme faktörü (yüksekliğe bağlı olarak)

$A_r$  yükseltme faktörü ekipmanın yapıya bağlantı şekline göre 3 değer alabilir. Eğer bileşen yapıya rijit bağlanmışsa veya kolay kırılmayan boru veya kanal ise yükseltme

faktörü 1,0 alınır. Eğer ekipman zemine esnek bağlıysa 1,5 (kolay kırılmayan boru ve kanallar hariç), diğer tüm durumlar için ise 3,0 olarak alınır.

$A_x$  ise ekipmanın bulunduğu kat ile bina yüksekliği arasındaki orandır.

$$A_x = 1 + (h_x / h_n) \quad (2.14)$$

Burada  $h_x$  ekipmanın bulunduğu kat,  $h_n$  binadan bulunan toplam kat sayısıdır.

$C_p$  sismik katsayısı da yine diğer kodlarda olduğu gibi National Building Code'da da çeşitli ekipman grupları için sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.19'a göre 38°C'nin altında tutuşma sıcaklığına sahip olan, zehirli veya patlayıcı malzemeler içeren her türlü mekanizma, donatı, ekipman, boru, kanal ve tank için sismik katsayı 1,5 alınır. Bodruma veya zemine direk monteli düz taban tanklar için 0,7, bu tankların tehlikeli madde ihtiva etmesi durumlarında ise sismik katsayı 1,0 alınır. Çizelgede yer almayan durumlar için 1,0 değeri geçerlidir.

Çizelge 2.19.  $C_p$  sismik katsayısı

Kategori	Binanın Mekanik/Elektrik Kısımları	$C_p$ Değeri
1	Bu çizelgede açıkça belirtilmemiş her türlü makine, donatı, ekipman, kanal, tank ve borular.	1.0
2	Zehirli veya patlayıcı madde içeren makine makine, donatı, ekipman, kanal, tank ve borular 38 °C'nin altında tutuşma sıcaklığına sahip olan materyaller veya yangınla mücadele sıvıları	1.5
3	Zemin veya bodrumda zemine sabitlenmiş dibi düz tanklar	0.7
4	Zehirli veya patlayıcı madde içeren 38 °C'nin altında tutuşma sıcaklığına sahip olan zemin veya bodrumda zemine sabitlenmiş dibi düz tanklar	1.0

## 2.5. Örnek Ekipmanlar İçin Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesaplanması

Bu kısma kadar açıklanan kodların pratikte nasıl kullanıldığıyla ilgili sayısal işlemler örnek problemler ile gösterilmeye çalışılacaktır. Aynı problem için tüm kodlar işletilecek ve bulunan sonuçlar bir çizelgede listelenerek sonuçlar üzerinde tartışılacaktır.

### 2.5.1. BOCA ve SBCCI

İlk olarak 60m uzunluğunda  $A_v=0,3$  olacak bir bölgede bulunan bir ofis binasının zeminine rijit bir biçimde monte edilmiş 4500 kg ağırlığında bir boyler göz önüne alındığında;



$$A_v=0,3$$

$C_c=2$  (Çizelge 2.9) Boyler genel mekanik ekipmanlar sınıfındadır.

$P=0,5$  ( Resim 2.14) Ofis binası Sismik tehlike sınıflarında 1. Gruptadır.

$a_c=1,0$  (Resim 2.16) Rijit bağlantı durumu.

$$W_c=4500 \text{ kg}$$

$$F_p=A_v C_c P a_c W_c \text{ (Eş. 2.7)}$$

Yukarıda yer alan katsayılar Uluslararası Birim Sistemi ile değil İngiliz Birim Sistemi ile hesaplandığından dolayı hesaplamamızda gerekli dönüşümleri yapmamız gerekmektedir.

$$4500 \text{ kg} = 9920 \text{ lb}$$

Buradan;

$$F_p=0,3 \times 2 \times 0,5 \times 1 \times 9920 = 2976 \text{ lb} = \mathbf{13,23 \text{ kN}}$$
 olarak bulunur.

Verilen konumda bulunan bir bina içinde zemine monte edilen bir boylerin deprem esnasında maruz kalacağı kuvvet 13,23 kN olarak hesaplanmıştır.

Bu örnekte herhangi bir titreşim yalıtımı olmadığı düşünülmüştür.

Şimdi ise titreşim yalıtımı yapılmış bir pompanın bir hastane içerisinde depreme karşı oluşturacağı tepki incelenecektir.

30 m yüksekliğinde  $T_c/T=0,55$  olarak hesaplanmış,  $A_v$  değerinin 0,15 olacağı bir konumda bulunan hastanenin zeminine yaylı titreşim izolatörleriyle monte edilmiş 900 kg ağırlığında bir pompa göz önüne alındığında;

$$A_v=0,15$$

$C_c=2$  (Resim 2.14) Pompa genel mekanik ekipmanlar sınıfındadır

$P=1,5$  (Resim 2.14) Hastane sismik tehlike sınıfları içinde 3. Gruba girmektedir.

$a_c=1,0$  (Resim 2.16)  $T_c/T=0,55 < 0,60$  olduğundan dolayı;

$$F_p=A_v C_c P a_c W_c \text{ (Eş. 2.7)}$$

Gerekli birim dönüşümleri yapıldıktan sonra;

$F_p=0,15 \times 2 \times 1,5 \times 1 \times 1984,16=892.87 \text{ lb} = \mathbf{3,97 \text{ kN}}$  olarak bulunur.

Bu iki örnekte BOCA ve SBCCI kodlarına göre biri sabit diğeri titreşim yalıtımı yapılmış iki ekipmana etkiyen deprem yükleri hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplarda görüldüğü üzere ekipmanın bina içerisindeki konumu hesaplamaların hiçbir yerinde kullanılmamıştır. Yine aynı şekilde bina yüksekliği deprem yükü hesabı için bir etkide bulunmamaktadır.

### 2.5.2. Uniform Building Code

BOCA ve SBCCI için örneklendirilen ekipmanlar Uniform Building Code'a uyarlanacaktır.

Yine ilk olarak 60 m uzunluğundaki bir ofis binasının zeminine rijit olarak bağlanmış 4500 kg ağırlığındaki boyler incelenecektir. UBC'ye göre sismik zon bölgesinin 3 olduğu kabul edilecektir. Buna göre binanın örneğin Mexico City'de olduğu düşünülebilir. Toprak yapısının ise  $S_D$  tipinde olduğu varsayılacaktır. Bu verilerden yola çıkarak;

$$W_p=4500 \text{ kg}=9920 \text{ lb}$$

$I_p=1,0$  (Resim 2.16) Ofis binası standart bina kategorisine girmektedir.

$h_x=0$  Ekipman zemin katta bulunmaktadır

$h_r=60 \text{ m}= 197 \text{ ft}$  Toplam bina yüksekliği

$a_p=1$  (Resim 2.17) Boyler B tipi ekipman sınıfına girmektedir.

$R_p=3,0$  (Resim 2.17) Boyler B tipi ekipman sınıfına girmektedir.

$C_a=0,36$  (Çizelge 2.5 ve Resim 2.18) sismik zon bölgesi 3 için sismik zon faktörü Çizelge 2.5'ten 0,30 olarak okunur. Resim 2.18'den  $S_D$  toprak tipi ve  $Z=0,30$  için sismik katsayı  $C_a= 0,36$  bulunur. Buna göre;

$$F_p=4C_aI_pW_p \text{ (Eş. 2.9)}$$

$F_p=4 \times 0,36 \times 1 \times 9920=14284,8 \text{ lb} = \mathbf{63,5 \text{ kN}}$  olarak bulunur.

Alternatif olarak;

$$F_p = \frac{a_p C_a I_p}{R_p} \left( 1 + 3 \frac{h_x}{h_r} \right) W_p \quad \text{(Eş. 2.10)}$$

$$F_p = \frac{1 \times 0,36 \times 1}{3} \left( 1 + 3 \frac{0}{197} \right) 9920$$

$$F_p = 1190,4 \text{ lb} = \mathbf{5,3 \text{ kN}}$$

Uniform Building Code'a göre  $F_p$ 'nin minimum değerinin  $F_p = 0.7C_aI_pW_p$  değerinden daha düşük olamayacağı göz önüne alınır;

$$F_p = 0,7 \times 0,36 \times 1 \times 9920 = 2499,84 = \mathbf{11,12 \text{ kN}}$$

Buna göre alternatif olarak Eş. 2.10'a göre hesapladığımız 5,3 kN değeri sınır değerinin altında kalmaktadır.

Bu nedenle  $F_p$  en az **11,12 kN** olarak alınmalıdır.

Aynı boylerin aynı binanın çatısında bulunduğu durum incelenecek olursa;

$h_x = 61 \text{ m}$  olacaktır. Eş. 2.9 uygulandığında;

$$F_p = 4C_aI_pW_p = 4 \times 0,36 \times 1 \times 9920 = 14284,8 \text{ lb} = 63,5 \text{ kN} \text{ olarak bulunur.}$$

Eş. 2.10 uygulandığında;

$$F_p = \frac{a_p C_a I_p}{R_p} \left( 1 + 3 \frac{h_x}{h_r} \right) W_p$$

$$F_p = \frac{1 \times 0,36 \times 1}{3} \left( 1 + 3 \frac{197}{197} \right) 9920$$

$$F_p = 4761,6 \text{ lb} = \mathbf{21,2 \text{ kN}} \text{ olarak bulunur.}$$

Uniform Building Code'un minimum şartı kontrol edilirse;

$F_p = 0.7C_aI_pW_p = 0.7 \times 0,36 \times 1 \times 9920 = 2499,84 \text{ lb} = 11,12 \text{ kN}$  minimum değer olarak karşımıza çıkmaktadır.

Buna göre dizayn şartları için Eş. 2.9 ve Eş. 2.10 ile elde edilen değerler kullanılabilir.

Zemin ve çatı katlarında aynı ekipman için ayrı ayrı hesaplar yapılmıştır. Zemine sabitlenen ekipman için yapılan hesaptan elde edilen değer ile çatıya sabitlenen ekipman için hesaplanan değer karşılaştırıldığında aralarında büyük bir fark olduğu görülmektedir.

Uniform Building Code hesaplamalarında BOCA ve SBCCI'nin aksine ekipmanın bina içinde bulunduğu yükseklik etkisini göz önüne almaktadır.

Şimdi BOCA ve SBCCI için hesabı yapılan pompa örneği Uniform Building Code'ya uyarlanacaktır.

Titreşim izolasyonu yapılmış 900 kg ağırlığındaki bir pompa sismik zon bölgesi 2A, toprak tipi  $S_E$  olan bir bölgede yer alan 30 m yüksekliğindeki bir hastanenin zemininde beton döşeme üzerine monte edilmiştir. Buna göre;

$$W_p=900 \text{ kg}=1984,16 \text{ lb}$$

$$I_p=1,5 \text{ (Resim 2.16) Hastane önemli tesisler kategorisine girmektedir.}$$

$$h_x=0 \text{ Ekipman zemin katta bulunmaktadır}$$

$$h_r=30 \text{ m}= 98,4 \text{ ft Toplam bina yüksekliği}$$

$a_p=2,5$  Resim 2.17 dikkate alınmamalıdır çünkü Resim 2.17'de verilen  $a_p$  ve  $R_p$  değerleri titreşim yalıtımı yapılmamış ekipmanlar için verilmiştir. Bu örnekte ise titreşim yalıtımı olan bir pompa bulunmaktadır. Bu nedenle Kısım 3.2.3.5'te açıklandığı üzere  $a_p$  değeri 2,5 olarak alınmalıdır.

$$R_p=1,5$$

$C_a=0,30$  (Çizelge 2.5 ve Resim 2.18) sismik zon bölgesi 2A için sismik zon faktörü Çizelge 2.5'ten 0,15 olarak okunur. Resim 2.18'den  $S_E$  toprak tipi ve  $Z=0,15$  için sismik katsayı  $C_a=0,30$  bulunur. Buna göre Eş. 2.9 uygulandığında;

$$F_p=4C_aI_pW_p=4 \times 0,30 \times 1,5 \times 1984,16=3571,5 \text{ lb}=\mathbf{15,9 \text{ kN}}$$
 olarak hesaplanır.

Shallow concrete expansion anchor kullanıldığı durumda deprem yükü 2 kat artacağı için;

$$F_p=3571,5 \times 2=7143 \text{ lb}=\mathbf{31,8 \text{ kN}}$$
 olarak bulunur.

Alternatif olarak Eş. 2.10 uygulanırsa;

$$F_p = \frac{a_p C_a I_p}{R_p} \left( 1 + 3 \frac{h_x}{h_r} \right) W_p$$

$$F_p = \frac{2,5 \times 0,30 \times 1,5}{1,5} \left( 1 + 3 \frac{0}{30} \right) 1984,16$$

$$F_p = 1488,12 \text{ lb} = \mathbf{6,62 \text{ kN}}$$
 olarak bulunur.

Shallow concrete expansion anchor kullanıldığı durumda deprem yükü 2 kat artacağı için;

$$F_p=1488,12 \times 2=2976,24 \text{ lb} = \mathbf{13,24 \text{ kN}}$$
 olarak hesaplanır.

Uniform Building Code'un minimum şartları göz önüne alınırsa;

$$F_p = 0.7C_a I_p W_p = 0,7 \times 0,30 \times 1,5 \times 1984,16 = 625 \text{ lb} = \mathbf{2,78 \text{ kN}}$$

Shallow concrete expansion anchor kullanıldığı durumda deprem yükü 2 kat artacağı için;

$F_p=625 \times 2=1250 \text{ lb}=5,56 \text{ kN}$  değerinden az olmamalıdır. Buna göre tasarım şartları için deprem yükü  $F_p$  en az **6,62 kN** olarak değerlendirilmelidir.

Aynı pompa aynı şartlar altında aynı binanın çatısında beton döşeme üzerine yerleştirilirse;

$$W_p=900 \text{ kg}=1984,16 \text{ lb}$$

$$I_p=1,5$$

$$h_x=30 \text{ m}=98,4 \text{ ft}$$
 Ekipman çatı katta bulunmaktadır

$$h_r=30 \text{ m}= 98,4 \text{ ft}$$
 Toplam bina yüksekliği

$$a_p=2,5$$

$$R_p=1,5$$

$$C_a=0,30$$
 Buna göre Eş. 2.9 uygulandığında;

$$F_p=4C_a I_p W_p=4 \times 0,30 \times 1,5 \times 1984,16=3571,5 \text{ lb}=\mathbf{15,9 \text{ kN}}$$
 olarak hesaplanır.

Shallow concrete expansion anchor kullanıldığı durumda;

$$F_p= 3571,5 \times 2=7143 \text{ lb} = \mathbf{31,8 \text{ kN}}$$

Eş. 2.10 uygulandığında;

$$F_p = \frac{2,5 \times 0,3 \times 1,5}{1,5} \left( 1 + 3 \frac{30}{30} \right) 1984,16 = 5952,5 \text{ lb} = 26,48 \text{ kN}$$

Shallow concrete expansion anchor kullanıldığı durumda;

$$F_p= 5952,5 \times 2 =11905 \text{ lb} =\mathbf{52,96 \text{ kN}}$$
 olarak bulunur.

Shallow concrete expansion anchor kullanıldığı durumda minimum dizayn şartları;

$F_p = 2(0.7C_aI_pW_p) = 2 \times 0,7 \times 0,30 \times 1,5 \times 1984,16 = 1250 \text{ lb} = \mathbf{5,56 \text{ kN}}$  olarak hesaplanır.

Bu göre, pompanın aynı binanın çatısında olma durumunda minimum dizayn kuvveti 31,8 kN olmalıdır.

### 2.5.3. IBC, ASCE 7, NEHRP

IBC, ASCE 7 ve NEHRP aynı formül ile deprem yükünü hesaplamaktadır. Bu nedenle aynı başlık altında toplanmıştır. Bu bölümde de titreşim yalıtımı yapılmamış boyler ile titreşim yalıtımı yapılmış bir pompanın farklı katlarda deprem sonucu aldığı kuvvetler incelenecektir.

Arazi sınıfı D,  $S_s$  değeri 1,00 olan bir bölgede konumlanmış 60m uzunluğundaki ofis binasının zemin katında beton döşemeye monte edilmiş 4500 kg ağırlığında bir boyler düşünüldüğünde;

$$W_p = 4500 \text{ kg} = 9920 \text{ lb}$$

$$I_p = 1$$

$$h_x = 0 \text{ m} \text{ Ekipman zemin katta bulunmaktadır}$$

$$h_r = 60 \text{ m} = 197 \text{ ft} \text{ Toplam bina yüksekliği}$$

$$a_p = 1$$

$$R_p = 2,5$$

$$F_a = 1,1$$

$$S_{DS} = (2/3)S_{MS} = (2/3)F_a \times S_s = (2/3) \times 1,1 \times 1,0 = 0,73$$

Eş. 2.4 uygulandığında;

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

$$F_p = \frac{0.4 \times 1 \times 0,73 \times 9920}{\frac{2,5}{1}} \left(1 + 2 \frac{0}{60}\right) = 1158,66 \text{ lb} = \mathbf{5,15 \text{ kN}}$$

olarak hesaplanır.

Bağlantıda shallow expansion anchor kullanılması durumunda  $R_p=1,5$  alınması gerekir. Bu durumda;

$$F_p = 1931.1 \text{ lb} = \mathbf{8,6 \text{ kN}}$$

Eş değer deprem kuvveti için sınır şartları Eş. 2.5 ve Eş. 2.6'ya göre kontrol edilmelidir.

Maksimum  $F_p$  değeri Eş. 2.5'e göre;

$$F_p = 1,6 S_{DS} I_p W_p$$

$$F_p = 1,6 \times 0,73 \times 1 \times 9920 = 11586,56 \text{ lb} = 51,54 \text{ kN}$$

Minimum  $F_p$  değeri Eş. 2.6'ya göre ;

$$F_p = 0,3 S_{DS} I_p W_p$$

$$F_p = 0,3 \times 0,73 \times 1 \times 9920 = 2172,48 \text{ lb} = 9,66 \text{ kN}$$

Hesaplanan  $F_p$  değerlerine göre değerlendirilmesi gereken minimum  $F_p$  deprem yükü **9,66 kN** olmalıdır.

Aynı boylerin aynı binanın çatısında beton zemine monte edildiği düşünülürse;

$$W_p = 4500 \text{ kg} = 9920 \text{ lb}$$

$$I_p = 1$$

$$h_x = 60 \text{ m} = 197 \text{ ft}$$

$$h_r = 60 \text{ m} = 197 \text{ ft}$$

$$a_p = 1$$

$$R_p = 2,5$$

$$F_a = 1,1$$

$$S_{DS} = (2/3) S_{MS} = (2/3) F_a \times S_s = (2/3) \times 1,1 \times 1,0 = 0,73$$

Eş. 2.4' göre;

$$F_p = \frac{0,4 \times 1 \times 0,73 \times 9920}{\frac{2,5}{1}} \left( 1 + 2 \frac{60}{60} \right) = 3475,97 \text{ lb} = \mathbf{15,46 \text{ kN}}$$

olarak hesaplanır.

Bağlantıda shallow expansion anchor kullanılması durumunda;

$$R_p=1,5$$

$$F_p = 5793,28 \text{ lb} = \mathbf{25,77 \text{ kN}}$$
 olur.

Maksimum  $F_p$  değeri Eş. 2.5'e göre;

$$F_p = 1,6S_{DS}I_pW_p$$

$$F_p = 1,6 \times 0,73 \times 1 \times 9920 = 11586,56 \text{ lb} = 51,54 \text{ kN}$$

Minimum  $F_p$  değeri Eş. 2.6'ya göre ;

$$F_p = 0,3S_{DS}I_pW_p$$

$$F_p = 0,3 \times 0,73 \times 1 \times 9920 = 2172,48 \text{ lb} = 9,66 \text{ kN}$$
 olarak bulunur

Hesaplanan maksimum, minimum değerler ile ekipmana özel uygulanan Eş. 2.4 ile elde edilen değer karşılaştırıldığında eş değer deprem yükünün  $F_p=25,77 \text{ kN}$  olması gerektiği görülür.

Arazi sınıfı E,  $S_s$  değeri 0,50 olan bir bölgede bulunan 30m yüksekliğindeki bir hastanenin zemin katında beton zemine bağlı titreşim yalıtımı uygulanmış 900 kg ağırlığındaki bir pompa için deprem yükü hesabı yapıldığında;

$$W_p=900 \text{ kg}=1984,16 \text{ lb}$$

$$I_p=1,5$$

$$h_x=0 \text{ m}$$
 Ekipman zemin katta bulunmaktadır

$$h_r=30 \text{ m} = 98,4 \text{ ft}$$
 Toplam bina yüksekliği

$$a_p=2,5$$

$$R_p=2,5$$

$$F_a=1,7$$

$$S_{DS}=(2/3)S_{MS}=(2/3)F_a \times S_s=(2/3) \times 1,7 \times 0,5=0,57$$

Eş. 2.4 uygulanırsa;



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

$$F_p = \frac{0.4 \times 2,5 \times 0,57 \times 1984,16}{\frac{2,5}{1,5}} \left(1 + 2 \frac{0}{30}\right) = 678,58 \text{ lb} = \mathbf{3 \text{ kN}}$$

Shallow expansion anchor kullanılması durumunda  $R_p=1,5$  alınacağından;

$$F_p = \frac{0.4 \times 2,5 \times 0,57 \times 1984,16}{\frac{1,5}{1,5}} \left(1 + 2 \frac{0}{30}\right) = 1131 \text{ lb} = \mathbf{5,03 \text{ kN}}$$

Ekipmanın bağlantısında sismik izolatörler kullanıldığı için deprem yükünün 2 kat arttığı düşünülerek;

$$F_p = 5,03 \times 2 = \mathbf{10,06 \text{ kN}} \text{ olur.}$$

Sınır şartları Eş. 2.4 ve Eş. 2.5'e göre kontrol edildiğinde;

$$F_p = 2 \times (1,6 S_{DS} I_p W_p)$$

$$F_p = 2 \times (1,6 \times 0,57 \times 1,5 \times 1984,16) = 5428,66 \text{ lb} = 24,15 \text{ kN maksimum}$$

$$F_p = 2 \times (0,3 S_{DS} I_p W_p)$$

$$F_p = 2 \times (0,3 \times 0,57 \times 1,5 \times 1984,16) = 1017,87 \text{ lb} = 4,53 \text{ kN minimum değerleri aldığı görülür.}$$

Bu verilere göre pompa için dizayn yükü  $F_p = \mathbf{10,06 \text{ kN}}$  olarak alınmalıdır.

Aynı şartlar altında aynı pompanın çatı katında bulunduğu durumda;

$$W_p = 900 \text{ kg} = 1984,16 \text{ lb}$$

$$I_p = 1,5$$

$$h_x = 30 \text{ m} = 98,4 \text{ ft} \text{ Ekipman çatı katında bulunmaktadır}$$

$$h_r = 30 \text{ m} = 98,4 \text{ ft} \text{ Toplam bina yüksekliği}$$

$$a_p = 2,5$$

$$R_p = 2,5$$

$$F_a = 1,7$$

$$S_{DS} = (2/3) S_{MS} = (2/3) F_a \times S_s = (2/3) \times 1,7 \times 0,5 = 0,57$$

Eş. 2.4'te değerler yerine yazıldığında;

$$F_p = \frac{0.4 \times 2,5 \times 0,57 \times 1984,16}{\frac{2,5}{1,5}} \left( 1 + 2 \frac{30}{30} \right) = 2035,75 \text{ lb} = \mathbf{9,06 \text{ kN}}$$

Shallow expansion anchor kullanılması durumunda  $R_p=1,5$  alınacağından;

$$F_p = \frac{0.4 \times 2,5 \times 0,57 \times 1984,16}{\frac{1,5}{1,5}} \left( 1 + 2 \frac{30}{30} \right) = 3393 \text{ lb} = \mathbf{15,09 \text{ kN}}$$

Kullanılan sismik izolatörler deprem yükünü 2 kat artıracığından dolayı;

$F_p=15,09 \times 2 = \mathbf{30,18 \text{ kN}}$  olarak hesaplanır.

Eş. 2.5 ve Eş. 2.6 ile hesaplanan maksimum ve minimum deprem yükleri sırasıyla 24,15 kN ve 4,53 kN olarak bulunmuştu. Buna göre pompa için dizayn yükü  $F_p = \mathbf{24,15 \text{ kN}}$  olarak alınmalıdır.

#### 2.5.4. 1995 National Building Code of Canada

5. sismik zonda bulunan 12 katlı bir ofis binasının zemin katında çelik boru bağlantısı olan ve beton zemine rijit olarak monte edilmiş 4500 kg ağırlığındaki boyler ele alınırsa;

$$W_p = 4500 \text{ kg} = 9920 \text{ lb}$$

$$u = 0,30 \text{ (Resim 2.19)}$$

$$I = 1,0 \text{ (Ofis binası standart bina kategorisindedir.)}$$

$$C_p = 1,0 \text{ (Resim 2.20 - boyler 1. Kategoride yer almaktadır.)}$$

$$h_x = 0 \text{ (Boyerler zemin katta bulunmaktadır.)}$$

$$h_r = 12 \text{ (Bina 12 katlıdır.)}$$

$$A_r = 1,0 \text{ (Bina yapıya rijit bağlanmıştır.)}$$

Buna göre;

$$\text{Eş. 2.13'ten } A_x = 1 + (h_x/h_r) = 1 + (0/12) = 1$$

$$\text{Eş. 2.12'den } S_p = C_p A_r A_x = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$\text{Eş. 2.11'den } V_p = u I S_p W_p = 0,30 \times 1 \times 1 \times 9920 = 2976 \text{ lb} = \mathbf{13,24 \text{ kN}}$$
 olarak bulunur.

Aynı boylerin aynı binanın çatısına aynı şekilde bağlandığı düşünülürse;

$h_r=12$  olacak diğer değişkenler sabit kalacaktır. Bu durumda;

$$\text{Eş. 2.13'ten } A_x=1+(h_x/h_r)=1+(12/12)=2$$

$$\text{Eş. 2.12'den } S_p=C_p A_r A_x= 1 \times 1 \times 2=2$$

$$\text{Eş. 2.11'den } V_p= u I S_p W_p= 0,30 \times 1 \times 2 \times 9920=5952 \text{ lb}= \mathbf{16,48 \text{ kN}} \text{ olur.}$$

3. sismik zonda bulunan 6 katlı bir hastanenin zemin katında çelik boru bağlantısı olan ve beton zemine titreşim izolatörü ile monte edilmiş 900 kg ağırlığındaki bir pompanın deprem esnasında maruz kalacağı yük hesaplanacak olursa;

$$W_p= 900 \text{ kg}= 1984,16 \text{ lb}$$

$$u=0,15 \text{ (Resim 2.19)}$$

$I=1,5$  Hastane afet sonrası kullanılacak binalar kategorisindedir.

$C_p=1,0$  (Resim 2.20) pompa 1. Kategoride yer almaktadır.

$h_x=0$  Boyler zemin katta bulunmaktadır.

$h_r=6$  Bina 6 katlıdır.

$A_r=1,5$  Ekipman yapıya esnek bağlantı ile monte edilmiştir.

Buna göre;

$$\text{Eş. 2.13'ten } A_x=1+(h_x/h_r)=1+(0/6)=1$$

$$\text{Eş. 2.12'den } S_p=C_p A_r A_x= 1 \times 1,5 \times 1=1,5$$

$\text{Eş. 2.11'den } V_p= u I S_p W_p= 0,15 \times 1,5 \times 1,5 \times 1984,16= 669,65 \text{ lb}= \mathbf{2,98 \text{ kN}}$  olarak bulunur.

Aynı pompanın aynı binanın çatısına aynı şekilde monte edildiği durumda;

$h_r=6$  olacak aynı zamanda bağlantı şekline bağlı bileşen yükseltme faktörü  $A_r$  ekipman zeminden çatıya taşındığı için 3 olacak fakat diğer değişkenler sabit kalacaktır. Buna göre;

$$\text{Eş. 2.13'ten } A_x=1+(h_x/h_r)=1+(6/6)=2$$

$$\text{Eş. 2.12'den } S_p=C_p A_r A_x= 1 \times 3 \times 2=6$$

Eş. 2.11'den  $V_p = \omega S_p W_p = 0,15 \times 1,5 \times 6 \times 1984,16 = 2678,62 \text{ lb} = \mathbf{11,92 \text{ kN}}$  olarak hesaplanır.

### 2.5.5. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

3. derece deprem bölgesinde yer alan (örneğin Kayseri), 12 katlı (60 m yüksekliğinde) bir ofis binasının zemin katına rijit olarak bağlanmış 4500 kg ağırlığındaki boyler göz önüne alınırsa;

$$A_0 = 0,20 \text{ Çizelge 2.1}$$

$$I = 1,0 \text{ Çizelge 2.2}$$

$$W_e = 4500 \text{ kg}$$

$$H_i = 0$$

$$H_N = 60 \text{ m}$$

Eş. 2.3'e göre;

$$f_e = 0,5 A_0 I W_e \left( 1 + 2 \frac{H_i}{H_N} \right)$$

$$f_e = 0,5 \times 0,2 \times 1 \times 9920 \left( 1 + 2 \frac{0}{60} \right) = 992 \text{ lb} = \mathbf{4,41 \text{ kN}}$$

Aynı cihazın aynı binanın çatısına aynı şartlarda bağlandığı düşünülürse;

$$H_i = 60 \text{ m}$$

$H_N = 60 \text{ m}$  olacaktır. Bu durumda;

$$f_e = 0,5 \times 0,2 \times 1 \times 9920 \left( 1 + 2 \frac{60}{60} \right) = 2976 \text{ lb} = \mathbf{13,24 \text{ kN}}$$
 olarak hesaplanır.

2. derece deprem bölgesinde yer alan örneğin (örneğin Afyon), 6 katlı (30 m yüksekliğinde) bir hastanenin zemin katına titreşim izolatörleriyle monte edilmiş bir 900 kg ağırlığındaki bir pompa için eşdeğer deprem yükü hesaplanacak olursa;

$$A_0 = 0,30 \text{ Çizelge 2.1}$$

$$I = 1,5 \text{ Çizelge 2.2}$$

$$W_e = 900 \text{ kg}$$

$$H_i=0$$

$$H_N=60 \text{ m}$$

Eş. 2.3'e göre;

$$f_e = 0.5 A_o I w_e \left( 1 + 2 \frac{H_i}{H_N} \right)$$

$$f_e = 0,5 \times 0,3 \times 1,5 \times 1984,16 \left( 1 + 2 \frac{0}{60} \right) = 446,44 \text{ lb} = \mathbf{1,99 \text{ kN}}$$

Aynı pompanın aynı binanın çatısına aynı şekilde bağlandığı düşünülürse;

$$H_i=60 \text{ m}$$

$H_N=60 \text{ m}$  olacaktır. Bu durumda;

$$f_e = 0,5 \times 0,3 \times 1,5 \times 1984,16 \left( 1 + 2 \frac{60}{60} \right) = 1339,31 \text{ lb} = \mathbf{5,96 \text{ kN}}$$
 olarak bulunur.

## 2.6. Hesap Sonuçlarının İncelenmesi ve Karşılaştırılması

Ulusal ve Uluslararası mevzuatlarda geçen deprem yükü hesaplama metotlarına göre yapılan hesapların sonuçlarını gösterir tablo aşağıda Çizelge 2.20 ile verilmiştir.

Çizelge 2.20 Kodlara Göre Deprem Yükü Hesapları

ÖRNEK	KODLAR				
	BOCA&SBCCI	UBC	IBC,ASCE,NEHRP	NBC	DBYBHY
ZEMİNE RİJİT BAĞLI BOYLER	13,23 kN	11,12kN	9,66 kN	13,24 kN	4,41 kN
ÇATIYA RİJİT BAĞLI BOYLER	13,23 kN	21,2 kN	25,77 kN	16,48 kN	13,24 kN
ZEMİNE TİTREŞİM İZOLATÖRLERİYLE BAĞLI POMPA	3,97 kN	6,62 kN	10,06 kN	2,98 kN	1,99 kN
ÇATIYA TİTREŞİM İZOLATÖRLERİYLE BAĞLI POMPA	3,97 kN	26,48 kN	24,15 kN	11,92 kN	5,96 kN

Çizelge 2.20 incelendiğinde;

1) Zemine rijit bağlı boyler için; En düşük deprem yükünün Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik içerisinde yer alan hesap sonucu elde edildiği, en yüksek deprem yükünün ise NBC kullanılarak bulunduğu görülmektedir. Ülkemizde kullanılan yönetmelik dışında yer alan diğer yönetmeliklerin sonuçları birbirine oldukça yakındır. Ancak DBYBHY ile elde edilen sonuç diğerlerine oranla 4 kat daha düşük çıkmaktadır. Bu durumun ortaya çıkmasına sebep olan durum ise yönetmeliğimizin kullandığı eşitlikte ekipman türüne bağlı bir değişken terimin olmayışıdır. Yönetmeliğimiz hangi ekipman olursa olsun bulunduğu bölgenin deprem bölgesine ve bulunduğu binanın önem katsayısına bakmaktadır. Oysa diğer kodlarda hem ekipman hem de ekipmanın yapıya bağlantı şekli eş değer deprem yükü hesaplamasında ayrı birer değişken olarak işlem görmektedir.

2) Çatıya rijit bağlı boyler için; En düşük deprem yükünün BOCA&SBCCI ile DBYBHY ile bulunduğu, en yüksek deprem yükünün ise IBC,ASCE&NRP kodları kullanılarak elde edildiği görülmektedir. En yüksek değer ile en düşük değer arasında iki kat fark bulunmasının nedeni IBC'de yer alan bileşen tepki değiştirme faktörü  $R_p$ 'nin bağlantıda kullanılan malzemenin değişmesiyle eşitliğe etki etmesi ve eş değer deprem yükünü artırmasıdır.

3) Zemine titreşim izolatörleriyle bağlı pompa için; En düşük deprem yükü DBYBHY kullanılarak bulunduğu, en yüksek deprem yükünün ise yine IBC,ASCE&NEHRP ile elde edildiği görülmektedir. Aradaki fark ise 5 katı bulmaktadır. IBC'de yer alan bileşen büyütme faktörü  $a_p$  diğer bir değişle ekipmanın türüne bağlı olan bir çarpanın bulunması, yine ekipmanın bağlantı türünden dolayı eşitliğe etkiyen bileşen tepki değiştirme faktörünün bulunması ve sismik izolatör kullanılmasının deprem yükünü iki kat artırıcı yönde etki ettiğinin kodda yer alması bu büyük farkın oluşmasına neden olmaktadır. Yönetmeliğimiz sismik izolatör uygulaması yapılmış ekipmanların üzerine binen deprem yükünün artacağı gerçeğini göz ardı etmektedir.

4) Çatıya titreşim izolatörleriyle bağlı pompa için; En düşük deprem yükü BOCA&SBCCI kullanılarak, en büyük deprem yükü ise UBC kullanılarak elde edilmiştir. BOCA&SBCCI kodları daha önce açıklandığı üzere hesaplamalarında bileşenin bina içindeki

konumuna ve bileşenin yapıya bağlantı şekline dikkat etmemektedir. UBC ise hem bileşen türünü hem de bileşenin yapıya bağlanma biçimini ayrı değişkenler olarak düşünmektedir. Bu değişkenlerin yarattığı etki ise 8 kata yakındır. Yine ülkemizde kullanılan DBYBHY ile UBC arasında aynı sebeplerden dolayı 5 kat fark meydana gelmiştir.

5) Örneklerle incelemesi yapılan tüm kodlar için genel bir değerlendirme yapılacak olursa deprem güvenliği sağlanmak istenen bileşen için;

- a) Bulunduğu bölgenin deprem kuvvetleri altında maruz kalacağı yer ivmesi
- b) Binanın hangi amaç için kullanıldığı
- c) Ekipmanın bina içindeki önemi
- d) Ekipmanın binaya bağlantı şekli
- e) Ekipmanın bina içindeki konumu
- f) Titreşim izolasyonu yapıp yapılmadığı

hususları önem arz etmektedir. Bütün hususların dikkate alındığı kod olarak IBC karşımıza çıkmaktadır. Zaten daha önce açıklandığı üzere ICC kendinden önce kullanılmakta olan UBC, BOCA ve SBCCI kodlarını revize etmiş ve IBC adıyla yayınlamıştır. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında IBC'nin tüm faktörleri göz önüne alması sonucu optimum değerleri yakaladığı görülmektedir. DBYBHY ise IBC'ye oranla oldukça düşük sonuçlar vermektedir. Bunun en önemli nedeni ise yukarıda sunulmuş olan hususların yönetmeliğimizde dikkate alınmıyor oluşudur. Yönetmeliğimiz yalnızca binanın bulunduğu deprem bölgesini, binanın önem durumunu ve bileşenin bina içindeki konumunu dikkate almakta, titreşim izolasyonu gibi deprem yükünü iki kat artırabilecek bir değişkeni, ekipmanın bina içindeki önemini ve bileşenin bağlantı şeklini dolayısıyla bileşen yükseltme faktörlerini göz önüne almamaktadır.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeni oluşmuş bir coğrafi yapı üzerinde yer alan Ülkemizde katmanların oturma süreci devam ettiği için deprem olaylarının görülme sıklığı oldukça fazladır. Bu depremlerin vereceği en büyük zarar kuşkusuz insan hayatına yönelik olanlardır. Bu nedenle inşa edilen binaların depreme dayanıklı olması her şeyden önce can güvenliğimiz için bir zorunluluktur. Ancak depremler her zaman binanın taşıyıcı unsurlarının uygunsuz olması nedeniyle zarar vermezler. Taşıyıcı olmayan mekanik, elektrik ve mimari elemanlar da deprem yükleri altında belli bir ivme değeriyle hareket eder ve insan hayatı için tehdit oluşturabilirler. Bu nedenle binaların tasarım sürecinde taşıyıcı olmayan elemanlar için de düzenlemeler yapılması deprem güvenliğinin sağlanması konusunda oldukça önemli bir yere sahiptir.

Bu nedenle bu tez kapsamında son teknolojilerin yoğun bir şekilde kullanılmaya başlandığı binalarımızda, binanın kullanımı açısından stratejik önemi gittikçe artan mekanik tesisat elemanlarının deprem yükleri karşısındaki davranışları incelenmiştir. Çalışmanın odak noktası deprem güvenliğinin sağlanması konusunda yasal yükümlülüklerin araştırılmasıdır. Bunu temin etmek maksadıyla ulusal ve uluslararası mevzuatlar ile bina kodları incelenmiş ve elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Ülkemizde yürürlükte olan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” yapısal olmayan bileşenler için eş değer deprem yükü hesabında kullanılmak üzere Eş. 2.3 ile gösterilen eşitliği vermiştir. Bu yönetmelik tüm elektrik ve mekanik tesisat için tek norm olma özelliği taşımaktadır.

Eş. 2.3 incelendiğinde ekipmanın ağırlığı, bulunduğu deprem bölgesi, binanın önem katsayısı ve ekipmanın bina içindeki konumu faktörlerinin değişkenleri oluşturduğu görülmüştür. Ancak ekipmanın yapıya bağlantı şekli, titreşim önlemi alınıp alınmadığı, ekipmanın kendi yapısından kaynaklanan deprem yükü yükseltme faktörü, ekipmanın bina içindeki stratejik önemi gibi ekipman odaklı bir yaklaşımı olmadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle hesaplanan deprem yüklerinde, hastane gibi önemli bir bina içinde ameliyathane gibi hayati bir mahalle hitap eden titreşim yalıtımı yapılmış bir ekipman için bulunan değer ile diğer değişkenlerin aynı olması kaydıyla (aynı ağırlık, aynı kat,) hiçbir stratejik önemi



olmayan ve yapıya rijit bağı bir ekipman için bulunan değer aynı olmaktadır. Bu durum kuşkusuz gerçekçi ve sağlıklı bir yorum olmamaktadır. Çünkü yapılan hesap sonucu elde edilen bu değerlere göre alınan önlem belki standart öneme haiz bir ekipman için yeterli olacakken ameliyathane mahalline hitap eden ekipman için yetersiz kalacak ve deprem esnasında ve sonrasında kullanıma imkan vermeyecektir. Bu durum ise depremin doğrudan olmasa da dolaylı olarak insan hayatına verdiği zarar olarak kayıtlara geçecektir. Oysa bu örnekte oluşan zararın asıl kaynağı uygun olmayan bir hesaplama sonucu elde edilmiş deprem yüküne göre alınmış yetersiz önlemdir.

Alınacak önlemlerin tam ve yeterli olması ancak tam ve yeterli yasal yükümlülükler sonucu yapılmış hesaplar ile mümkündür. Bağlantılarda kullanılacak civata sayısı ve çapı, ankraj şekli, ekipmanın oturacağı kaide yapısı, sismik sınırlayıcı ve titreşim izolatörü seçimi gibi uygulamaların ekipmanı korumasına yardımcı olması için tasarım aşamasında eş değer deprem yüklerinin doğru bir şekilde hesaplanmış olması şarttır. Aksi takdirde kesme yüklerine dayanamayan civataların kopması, kaidelerin parçalanması, titreşim izolatörlerinin ve sismik sınırlayıcıların kırılması gibi durumlarla karşılaşabilmektedir.

Yasal yükümlülüklerimizi iyileştirme noktasında Bakanlıklarımızın, meslek odalarının ve sanayi temsilcilerinin ortak çalışması büyük fayda sağlayacaktır. Bu bağlamda oluşturulacak komisyonlar deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılan hesapları revize etmeli ve ekipman odaklı anlayışın fiziksel temelleri üzerinde yoğunlaşarak konuya daha gerçekçi bir yaklaşım getirmelidir.

Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı (UDSEP-2023) depremlerin yol açabileceği her türlü zarar ve kaybı önlemek veya olumsuz etkilerini azaltmak böylece depreme karşı dayanıklı, güvenli ve sürdürülebilir yaşam alanları oluşturmak maksadıyla çalışmalar yapmak üzere AFAD Başkanlığının Deprem Danışma Kurulu ve 100den fazla paydaşın katkısıyla oluşturulmuş ve 18.08.2011 tarih ve 28029 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

UDSEP-2023 çalışmaları sonucu uluslararası standartları yakalamış bir ulusal bina kodu oluşturulması, bu eylem planının amacının gerçekleştirilmesi açısından oldukça önemlidir. Bünyesinde yer alan sorumlu ve ilgili kuruluşlar her türlü teknik bilgiye haiz ve

karar vermeye yetkili kuruluşlardır. Buna dayanarak sağlıklı ve gerçekçi bir yonetmeliğin yakın zamanda oluşturularak yurrle girmesi mmkn grlmektedir.

İller Bankası olarak inşa ettiğimiz yapılarda, tesisat gvenliğini sağlamak maksadıylazel teknik şartnameler oluşturulması, gerekli olan her ekipman için yapıya bağlanma şekli de içeren projeler hazırlanması ve uygulama esnasında tam bir denetim sağlanması gerekmektedir. Bu sayedelkemizin depreme dayanıklı yapı stokunu artırmaya yardımcı olabileceğimiz, can ve mal kayıplarınınnne geçebileceğimiz dşnlmektedir.



## KAYNAKLAR

1. Internet: Türk Dil Kurumu. (2016), Web: [http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.582a2b1526cc38.87494722](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.582a2b1526cc38.87494722) 25 Nisan 2016'da alınmıştır.
2. Arısoy, A. (2001, 03-06 Ekim). *Mekanik Tesisatın Deprem Korunması*. V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresinde sunuldu, İzmir.
3. Internet: Wikipedia. (2016). Web: [https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27deki\\_depremler\\_listesi](https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27deki_depremler_listesi) 25 Nisan 2016'da alınmıştır.
4. Internet: T. C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2016). Web: <http://www.deprem.gov.tr/tr/kategori/deprem-bolgeleri-haritasi-28841> 25 Nisan 2016'da alınmıştır.
5. Internet: AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı (2016). Web: <http://www.deprem.gov.tr/galeri/6> 26 Nisan 2016'da alınmıştır.
6. Sever, Ö. O. (2006). *Mekanik Tesisatlarda Deprem Güvenliğinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
7. Murty, C. V. R., Goswami, R., Vijayanarayanan, A. R., Kumar, R. P., Mehta, V. V. (2012). *Introduction to Earthquake Protection of Non-Structural Elements in Buildings*. Gujarat: GSDMA, 33-45
8. Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Alınacak Tedbirlerle Yapılacak Yardımlara Dair Kanun (1959). Web: <http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.3.7269.pdf> 17 Mayıs 2016'da alınmıştır.
9. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (2007). Web: <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.aspx?MevzuatKod=7.5.11445&sourceXmlSearch=&MevzuatIliki=0> 25 Nisan 2016'da alınmıştır.
10. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007). Web: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/03/20070306-3.htm> 17 Mayıs 2016'da alınmıştır.
11. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar (2007). Web: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/03/20070306-3-1.pdf> 17 Mayıs 2016'da alınmıştır.
12. Çatal H. H., Yazıcı H., Tüzün C., *Deprem Yönetmeliklerinin Kıyaslanması*. Web: <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12931.pdf> 26 Mayıs 2016'da alınmıştır.
13. Internet: Wikipedia. Web: [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Building\\_Code](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Building_Code) 12 Haziran 2016'da alınmıştır.
14. Internet: ASCE 7-05, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Web: [http://www.ce.berkeley.edu/~mahin/CE227web/ASCE7\\_SeismicProvisionsForNonStructuralComponents.pdf](http://www.ce.berkeley.edu/~mahin/CE227web/ASCE7_SeismicProvisionsForNonStructuralComponents.pdf) 11 Ağustos 2016'da alınmıştır.
15. International Code Council. (2009). *2009 International Building Code*. U.S.A.: ICC, 340,343
16. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, (1999). *Practical Guide to Seismic Restraint*. U.S.A.: 3-17



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZBEK, Fuat  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 02.04.1988 ALTINDAĞ  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 312 303 32 31  
Faks : 312 341 20 17  
E-mail : fozbek@ilbank.gov.tr

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yükseklisans	Gazi Üniversitesi – Makine Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi – Makine Mühendisliği	2012
Lise	Ankara Atatürk Lisesi	2006

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-devam ediyor	İller Bankası Üstyapı Uygulama Dairesi Başkanlığı	Tek. Uzm. Yrd.

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

.....

### Hobiler

Fitness, futbol



**İL BANK**  
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ