

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



KÜTLE DÜZENSİZLİĞİ OLAN ÇELİK ÇERÇEVE
YAPILARINDA AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLER
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yaser ARJOMAND ALAMDARI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

OCAK , 2024

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KÜTLE DÜZENSİZLİĞİ OLAN ÇELİK ÇERÇEVE
YAPILARINDA AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLER
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yaser Arjomand ALAMDARI
(Y2113.090001)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hafez KEYPOUR

OCAK , 2024

ONAY FORMU

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum "KÜTLE DÜZENSİZLİĞİ OLAN ÇELİK ÇERÇEVE YAPILARINDA AYARLI KÜTLE SÖNÜLMLEYİCİLER DAVRANIŞININ İNCELENMESİ" adlı çalışmanın tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Kaynakça'da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (22/01/2024)

Yaser ARJOMAND ALAMDARİ

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında danışmanlığımı üstlenerek tez konusu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan, tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında ve oluşumunda ilgi, destek ve sabrını gösteren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hafez KEYOUR hocama, araştırma ve yazım süresince her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımını gördüğüm Dr. Soroush AZADİ' a ve hayatımın her evresinde bana desteklerinden dolayı Aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak, 2024

Yaser ARJOMAND ALAMDARİ

KÜTLE DÜZENSİLİĞİ OLAN ÇELİK ÇERÇEVE YAPILARINDA AYARLI KÜTLE SÖNÜLMLEYİCİLER DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZET

Tasarım ve güçlendirmede en etkili ve güçlü yöntemlerden biri, yapıdaki titreşim kontrol yöntemidir. Titreşim kontrol araçlarının gelişim süreci, kullanılan yöntemler ve tasarım algoritmaları 1950'li yılların ikinci yarısından itibaren geliştirilmiştir. Bu yapıların meydana gelen depremlerde uygun performans göstermesi nedeniyle araştırmacılar deprem mühendisliğinin bu dalının daha fazla araştırılması ve geliştirilmesine ilgi duymuştur. Yapısal titreşim kontrolünde en çok kullanılan yöntemlerden biri sismik sönümleyicilerin kullanılmasıdır. Sismik sönümleyiciler çoğunlukla aktif olmadığından, uygun ve optimal tasarım onlar için önemlidir. Düzenlemelerin düzensizliğe sahip yapılara yönelik kısıtlayıcı gerekliliklerinin varlığı, araştırmayı, sismik kütle sönümleyicilere sahip modellenmiş yapıları inceleyerek, söz konusu yapıların durumunun iyileştirilmesinde bu cihazın etkisinin araştırılmasına yol açmıştır. Geçmiş araştırmaların sonuçları, bu tip sönümleyicinin düzensiz yapılarda kullanılmasının yer değiştirme ve kuvvetlerin azaltılmasında büyük bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sönümleyici, Deplasman, Öteleme, Taban Kesme, TMD

INVESTIGATING THE BEHAVIOR OF TUNED MASS DAMPER IN METAL FRAME STRUCTURES WITH MASS IRREGULARITY

ABSTRACT

One of the most effective and powerful methods in design and reinforcement is the vibration control method in the structure. The development process of vibration control tools, the methods used and the design algorithms have been developed since the second half of the 1950s. Due to the appropriate performance of these structures in earthquakes, researchers have become interested in further research and development of this branch of earthquake engineering. One of the most used methods in structural vibration control is the use of seismic dampers. Since seismic dampers are mostly inactive, proper and optimal design is important for them. The existence of restrictive requirements of the regulations for structures with irregularities led the research to investigate the effect of this device in improving the condition of such structures by examining modeled structures with seismic mass dampers. The results of past research show that the use of this type of damper in irregular structures can have a great effect in reducing displacements and forces.

Keywords: Damper, Displacement, Drift, Base Shear, TMD

İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xv
I.GİRİŞ.....	1
A. Araştırmanın Amacı ve Gerekliliği	1
B. Konunun Açıklaması ve Sorunun İfade Edilmesi	4
C. Araştırmanın Amaçları	5
D. Tez Bölümlerinin Özeti	5
II. SÖNÜMLEYİCİLERİN KULLANILMASININ TEMELLERİ	7
A. Giriş	7
B. Genel İlkeler	8
C. Sönümleme Özellikleri	14
1. Sönümleme Tipleri.....	14
2. Bina Yapıları İçin Sönümleme Değerleri.....	16
D. Sönümlemenin Titreşim Sistemlerinin Dinamik Davranışına Etkisi	17
1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Serbest Titreşimi.....	17
2. Harmonik Yüklere Karşı Tek Serbestlik Dereceli Sistem Titreşimi.....	18
3. Tek Serbest Dereceli Sistemin Deprem Kuvvetine Karşı İncelenmesi.....	21
E. Pasif Enerji Tüketicileri	22
1. Ayarlı Kütle Sönümleyici	22
2. Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Tipleri (TMD) :.....	27
3. Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Bazı Çalışan Örnekleri ve Özellikleri.....	28

4. Sınırlamalar	34
5. Son Hususlar.....	34
F. Binaların Fasarımı Depreme Karşı Standardı (ASCE).....	35
1. Binaların Mimarisinde Depreme Karşı Tasarımına Yönelik Düzenlemeler	35
2. Depreme Karşı Tasarım Standardında Genel Yapısal Hususlar (ASCE).....	35
3. Binaları ASCE Standardına Göre Sınıflandırma	35
3.1. Plandaki Düzensizlik.....	35
3.2. Yükseklikte Düzensizlik.....	38
3.3. Dubleks Yapıların Düzensizliğini.....	40
3.4. Düzensiz Binaların İnşasına İlişkin Kısıtlamalar	41
4. ASCE Standardı Dan Hariç Bir Düzensizlik :.....	42
5. Asimetrik Yapılarda Araştırmanın Gerekliliği ve Önemi	42
III. MODELLEME YÖNTEMİ.....	43
A. Giriş	43
B. Yapının Geometrik Özellikleri	43
C. Malzeme Özellikleri.....	46
D. Yükleme.....	47
E. Modele Tanıtılan Çelik Profilleri	48
F. Kullanılan depremler.....	49
G. Kullanılan Ayarlı Kütle Sönümleyicinin Özellikleri.....	52
H. Yapısal Modal Analiz Sonuçları.....	53
IV. SONUÇLARIN ANALİZİ	55
A. Giriş	55
B. Kahramanmaraş Depreminden Dolayı 5 Katlı Yapının Analizleri.....	55
C. Kocaeli Depreminden Dolayı 5 Katlı Yapının Analizleri.....	57
D. Düzce Depreminden Dolayı 5 Katlı Yapının Analizleri.....	59
E. Kahramanmaraş Depreminden Dolayı 7 Katlı Yapının Analizleri	61
F. Kocaeli Depreminden Dolayı 7 Katlı Yapının Analizleri	63

G. Düzce Depreminden Dolayı 7 Katlı Yapının Analizleri	65
H. Kahramanmaraş Depreminden Dolayı 12 Katlı Yapının Analizleri	67
I. Kocaeli Depreminden Dolayı 12 Katlı Yapının Analizleri.....	69
J. Düzce Depreminden Dolayı 12 Katlı Yapının Analizleri.....	71
V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
1. Sonuç	75
2. Öneriler.....	77
VI. KAYNAKÇA.....	79

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 : Basit serbestlik derecesinin yapısı	9
Şekil 2 : Pasif enerji sönümlenme (PED) ile yapısal stimülasyon.....	10
Şekil 3 : Aktif kontrollü bir yapı	10
Şekil 4 : Bağlantılı kontrole sahip bir yapı	13
Şekil 5 : Yarı aktif kontrollü bir yapı	13
Şekil 6 : Histeresis çevrimi Yük -Yer değiştirme.....	15
Şekil 7 : Dinamik büyütme faktörü ile sönüm arasındaki β cinsinden ilişki	20
Şekil 8 : Faz farkı açısı ile sönüm arasındaki β cinsinden ilişkisi.....	20
Şekil 9 : Sönümlenme ilişkisi ve maksimum dinamik büyütme faktörü	21
Şekil 10: Harmonik uyarım etkisinde sönümsüz amortisör ve ana kütle (Frahm).....	23
Şekil 11 : Yaylı Sönümleyici	26
Şekil 12 : Pandülü Kütle Sönümleyici	27
Şekil 13 : TMD tipleri	28
Şekil 14 : Centerpoint Sidney Kulesi	28
Şekil 15 : Tayvan, Taipei 101 Külesi	30
Şekil 16 : Taipei 101 TMD (A)	30
Şekil 17 : Taipei 101 TMD (B)	30
Şekil 18 : John Hancock Merkezi	31
Şekil 19 : CitiCorp Kulesi ve Kulede uygulanan TMD	32
Şekil 20 : Chiba Liman Kulesi ve Kuledeki uygulanan sönümleyici	33
Şekil 21 : Planda düzensizlik	36
Şekil 22 : Burulma düzensizliği	36
Şekil 23 : Sayfa Dışında Düzensizlikler.....	37
Şekil 24 : Paralel olmayan sistem düzensizliği	37
Şekil 25 : Geometrik düzensizlik	38
Şekil 26 : Kütle düzensizliği	38
Şekil 27 : Yan taşıyıcı sistemin bağlantısının düzensizliği	39

Şekil 28 : Yanal direncin düzensizliği	39
Şekil 29 : Yanal sertlik düzensizliği	40
Şekil 30 : Mesafesiz dubleks bina	40
Şekil 31 : Mesafeli dubleks bina (1).....	41
Şekil 32 : Mesafeli dubleks bina (2).....	41
Şekil 33 : İncelenen yapının planı	43
Şekil 34 : 5 katlı 3D yapı modeli.....	44
Şekil 35 : 7 katlı 3D yapı modeli.....	44
Şekil 36 : 12 katlı 3D yapı model.....	45
Şekil 37 : 12 katlı binanın kat planı.....	45
Şekil 38: Çeliğin doğrusal olmayan davranışının özellikleri	46
Şekil 39 : Kullanılan betonun davranış özellikleri	47
Şekil 40 : Kahramanmaraş depremi için ivme-zaman diyagramı	50
Şekil 41 : Kocaeli depremi için ivme-zaman diyagramı	50
Şekil 42: Düzce depremi için ivme-zaman diyagramı	50
Şekil 43 : Kahramanmaraş depreminin frekans içeriği	51
Şekil 44 : Kocaeli depreminin frekans içeriği.....	51
Şekil 45 : Düzce depreminin frekans içeriği	51
Şekil 46 : Kahramanmaraş depremi için ivme spektrumu	51
Şekil 47 : Kocaeli depremi için ivme spektrumu	52
Şekil 48 : Düzce depremi için ivme spektrumu	52
Şekil 49 : Kahramanmaraş depreminde 5 katlı bir yapı için max deplasmanı.....	55
Şekil 50 : Kahramanmaraş depreminde 5 katlı bir yapı için katlararası öteleme.....	56
Şekil 51: Kahramanmaraş depreminde 5 katlı bir yapı için kat deplasmanları.....	56
Şekil 52 : Kahramanmaraş depreminde 5 katlı bir yapı için taban kesme	57
Şekil 53 : Kocaeli depreminde 5 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı.....	57
Şekil 54 : Kocaeli depreminde 5 katlı bir yapı için katlararası öteleme	58
Şekil 55 : Kocaeli depreminde 5 katlı bir yapı için kat deplasmanları	58
Şekil 56 : Kocaeli depreminde 5 katlı bir yapı için taban kesme	59
Şekil 57 : Düzce depreminde 5 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı	59
Şekil 58 : Düzce depreminde 5 katlı bir yapı için katlararası öteleme.....	60
Şekil 59 : Düzce depreminde 5 katlı bir yapı için kat deplasmanları.....	60
Şekil 60 : Düzce depreminde 5 katlı bir yapı için taban kesme	61
Şekil 61 : Kahramanmaraş depreminde 7 katlı bir yapı için max deplasmanı.....	61

Şekil 62 : Kahramanmaraş depreminde 7 katlı bir yapı için katlararası öteleme.....	62
Şekil 63 : Kocaeli depreminde 7 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı.....	63
Şekil 64: Kocaeli depreminde 7 katlı bir yapı için katlararası öteleme	64
Şekil 65 : Kocaeli depreminde 7 katlı bir yapı için kat deplasmanları	64
Şekil 66 : Kocaeli depreminde 7 katlı bir yapı için taban kesme.....	65
Şekil 67 : Düzce depreminde 7 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı.....	65
Şekil 68 : Düzce depreminde 7 katlı bir yapı için katlararası öteleme.....	66
Şekil 69 : Düzce depreminde 7 katlı bir yapı için kat deplasmanları.....	66
Şekil 70 : Düzce depreminde 7 katlı bir yapı için taban kesme	67
Şekil 71 : Kahramanmaraş depreminde 12 katlı bir yapı için max deplasmanı.....	67
Şekil 72 : Kahramanmaraş depreminde 12 katlı bir yapı için katlararası öteleme.....	68
Şekil 73 : Kahramanmaraş depreminde 12 katlı bir yapı için kat deplasmanları.....	68
Şekil 74 : Kahramanmaraş depreminde 12 katlı bir yapı için taban kesme.....	69
Şekil 75 : Kocaeli depreminde 12 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı.....	69
Şekil 76 : Kocaeli depreminde 12 katlı bir yapı için katlararası öteleme	70
Şekil 77 : Kocaeli depreminde 12 katlı bir yapı için kat deplasmanları	70
Şekil 78: Kocaeli depreminde 12 katlı bir yapı için taban kesme.....	71
Şekil 79 : Düzce depreminde 12 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı	71
Şekil 80 : Düzce depreminde 12 katlı bir yapı için katlararası öteleme.....	72
Şekil 81 : Düzce depreminde 12 katlı bir yapı için kat deplasmanları.....	72
Şekil 82: Düzce depreminde 12 katlı bir yapı için taban kesme	73

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1 : Yapısal koruma sistemleri	4
Çizelge 2 : TMD'lerin uluslararası kullanımı.....	33
Çizelge 3 : ST37 çelik özellikleri.....	46
Çizelge 4Çizelge 3.2: C30 beton özellikleri.....	46
Çizelge 5 : 5 katlı yapının çelik profilleri	48
Çizelge 6 : 7 katlı yapının çelik profilleri	48
Çizelge 7 : 12 katlı yapının çelik profilleri	48
Çizelge 8 : İncelenen depremlerin özellikleri	49
Çizelge 9 : İncelenen sönümleyicilerin özellikleri.....	52
Çizelge 10 : TMD'de optimum sönümlemeyi Warburton bağıntıları.....	53
Çizelge 11Çizelge 3.10: 5 katlı yapının modal analiz sonuçları	53
Çizelge 12 : 7 katlı yapının modal analiz sonuçları	54
Çizelge 13 : 12 katlı yapının modal analiz sonuçları	54
Çizelge 14 : Yapılardaki öteleme azalma yüzdesi	76

I. GİRİŞ

Kentsel gelişimi, dünyanın en yoğun nüfuslu bölgelerinde, çoğunlukla kazaya yatkın bölgelerde yer alan kentsel gelişimin yapının yüksekliğinde devam etmesine neden olmuştur. Araştırmacılar, yüksek yapılarda düzensizliğin varlığının kaçınılmaz olduğunu düşünerek, düzensizliğin bu yüksek yapılar üzerindeki etkilerini yanal kuvvetlerle azaltmaya çalışıyorlar.

Kütle Sönümleyiciler, 60 yıllık araştırmacıların çabalarının sonucudur. Bu sönümleyiciler, depremlerin yapılar üzerindeki yıkıcı etkilerini azaltabilir. Bu arada, düzensizliği olan yüksek yapılar üzerinde yapılan araştırmalar da olumlu sonuçlar vermiştir. Bu sayede düzensiz kütleli yapılar gibi düzensiz yapılarda kütle sönümleyicilerin birleştirilmesi depremin bu yapılardaki olumsuz etkilerini azaltabilmektedir.

Kütle sönümleyicilerin kullanımında en etkili parametrelerden biri sönümleme parametrelerinin nasıl ayarlanacağıdır. Yapılar için uygun sönümün bulunmasını sağlayan parametrelerdir. Bu parametrelerin karmaşıklığı bazen deneme yanılma yöntemlerini gerektirir. Her ne kadar yapı kompleksini etkileyen parametreler konusunda hala belirsizlikler olsa da tasarımcılara doğru bir cevap değil belki bir takım cevaplar sunmuştur ve mühendislik bakış açısı kararlarda önemli bir rol oynayabilir.

A. Araştırmanın Amacı ve Gerekliliği

Binaların tasarımında dikkate alınması gereken ana yükleridir. Bu yükler her zaman mevcuttur ve bu nedenle binanın ömrü boyunca tolere edilmesi gerekir. Genellikle bu zamanların değişimleri zamana göre çok yavaştır. Sonuç olarak statik modelleme oldukça uygundur. Ayrıca ağırlıklarına ve kullanım şekillerine göre boyutları da belirlenebilmektedir. Bu faktörlerin kombinasyonu binaların tasarımını büyük ölçüde basitleştirir. Aslında, pratik ve mantıksal ilkeler geliştirmeden önce muhteşem yapılar tasarlamamıza ve inşa etmemize izin verdi. Yapısal tasarımın basitleştirilmesi, özellikle tasarımcı malzeme ve işçilik maliyetine bağlı değilse,

tasarımda deneme yanılma sağlar. Modern çağımızda kaynaklar genellikle son derece sınırlıdır. Planlar etkili olmalıdır. Ayrıca ne statik ne de bileşen olan rüzgar, dalga ve deprem gibi çevresel güçlerden korunmayı bekleriz. Bu tür yükler için atalet etkileri önemlidir ve dinamik büyütme ve döngüsel tepkiye neden olur. Yerçekimi yükleriyle karşılaştırıldığında, bu yüklerin büyüklüğünü tahmin etmek çok daha zordur çünkü bu fenomenlerin zaman ve uzamsal ölçekleri küçüktür .

Konvansiyonel yöntemlerde bina, sertlik, süneklik¹, enerji yayılımı ve atalet kombinasyonu kullanılarak dinamik kuvvetlere (rüzgar, deprem, makinelerin titreşimi, deniz dalgaları vb.) karşı dayanıklıdır. Bu tür yapıların sönümlenme² miktarı çok düşüktür ve bu nedenle yapının elastik davranışında harcanan enerji ihmal edilebilir düzeydedir. Bu yapılar elastik aralıktan geçerek deprem gibi güçlü dinamik kuvvetlerden etkilenir ve esnek olmayan kaymaları nedeniyle stabil kalırlar. Elastik olmayan yer değiştirme, yapısal alanlarda plastisiteyi artıran ve aynı zamanda sismik enerji dağılımını artıran lokalize plastik bağlantılara yol açar. Bunun sonucunda yapının yanal dayanım sisteminde lokal hasarlar nedeniyle büyük miktarda deprem enerjisi tüketilmektedir.

Doğal eğilim, doğal faktörlerle yerçekimi yükleriyle aynı yöntemlerle başa çıkmaktır. Örnek olarak, rüzgar ve deprem kuvvetleri genellikle yapının taşıması gereken uygun büyüklükte yanal statik yükler olarak modellenir, bu görüş kullanılarak, karşılık gelen rüzgar yükleri ve küçük depremler, yapının elastik aralıkta davranması için modellenirken, yapı yıkılana kadar orta ila şiddetli depremlere izin verilir. Bu felsefe, 20. yüzyılın başlarından bu yana bir seri bina standardının temelini atmış ve kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Yanal kuvvetlerin yaklaşık olarak dikkate alınmasında bile, binanın sürekli olarak hayatta kalması kesinlikle iyileşir, ancak çevresel bozulmaların gerçek dinamik doğası dikkate alındığında önemli bir iyileşme hayal edilebilir.

Deprem sırasında yapıya büyük miktarda enerji uygulanır. Gelen enerjinin miktarı yapının periyodikliğine ve yer hareketinin baskın periyodunun oranına ve yapı elemanlarının elastik olmayan formları altında emilen Hysteresis enerjisi miktarına bağlıdır. Giriş enerjisi, yapıda bir şekilde emilmesi veya dağıtılması gereken iki kinetik

¹. Ductility

². Damping

ve potansiyel biçiminde görünür. Yapıda sönümleme yoksa, yapı süresiz olarak titreşmeye devam edecektir, ancak pratik olarak yapının özellikleri nedeniyle, yapının titreşime tepki vermesine ve yapısal tepkileri azaltmasına neden olan elemanlarda bir miktar sönümleme vardır.

Yapılardaki içsel sönümleme değerinin çok düşük olduğu düşünülürse, yapının elastik davranışı içinde yayılan enerji ihmal edilebilir düzeydedir. Güçlü depremler sırasında yapı, elastik aralıktan sonra büyük deplasmanlarla karşı karşıya kalır ve yalnızca elastik olmayan yer değiştirme kabiliyeti nedeniyle stabil kalır. Bu esnek olmayan yerler, plastik bağlantıların yapı noktasında lokalize olmasına neden olur, bu da plastisiteyi artırır ve ayrıca enerji dağılımını artırır. Sonuç olarak, yanal dirençli sistemdeki lokalize bozulma nedeniyle büyük miktarda deprem enerjisi amortismanına tabi tutulur. Dolayısıyla, yukarıdaki eğilim çoğu geleneksel bina için uygun görünmektedir, ancak daha önemli binaların veya deprem sonrası hizmet vermesi gereken binaların tasarlanması için daha güvenli bir süreç düşünülmelidir. Amortisman için yapıya giren enerjinin azaltılması veya yapıdaki enerji kaybı miktarının artırılması gerekir. Yapıya enerji girdisini azaltmak için binanın yatay yumuşaklığını arttıran sismik ayırıcı, enerji kaybı miktarını arttırmak için ise yapı elemanlarının elastik kalmasına ve yapının tahrip olmasını önlemeye yardımcı olan enerji dağıtıcılar kullanılabilir. Sonuç olarak yapıların korunmasına ilişkin yeni dinamik kavramlar açısından ilerleme kat etmiş ve ilerleme aşamasındadır.

Yapıların çoğu, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda temel ve bazen onarılamaz hasara neden olan elemanların plastisitesi yardımıyla şiddetli depremlerle başa çıkmaktadır. Sönümleyicilerin kullanılması, yapının yer değiştirmesini ve yüksek ivmesini ve dolayısıyla süneklik ihtiyacını azaltabilir. Bu amaçla dünyanın her yerinde sönümleyiciler üzerinde kapsamlı testler yapılarak mekanik özellikleri belirlenmektedir. Viskoz ve sürtünme sönümleyiciler bu cihazların en popülerleri arasındadır.

Sürtünme sönümleyiciler yapısal kontrolde geniş uygulamalara sahiptir. Kullanım kolaylığı ve nispeten düşük fiyatı bunun başlıca nedenleridir. Bu sönümleyicilerin yapılarda kullanımlarını zorlaştıracak dezavantajları bulunmaktadır. Bu sorunlardan biri, tutunmaktan boyun eğmeye ani değişim ve tam tersi, depremlerden sonra kalan artık yer değiştirmelerdir. Viskoz sönümleyicilerin

kullanımı, sürtünme sönümleyicileri ile donatılmış yapıların davranışının değiştirilmesi üzerinde etkili bir etkiye sahip olabilir.

B. Konunun Açıklaması ve Sorunun İfade Edilmesi

Enerji tüketicilerinin tartışılması onlarca yıllık bir ortaya çıkış ve kullanım geçmişine sahiptir ve binaların sismik kontrolü alanında yeni bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Bu teknoloji halen incelenmekte ve araştırılmaktadır ve zaman zaman yeni enerji emiciler ortaya çıkmaktadır. Enerji soğurma sistemleri hem yeni yapıların tasarımında hem de mevcut yapıların iyileştirilmesinde kullanılabilir. Yeni yapılarda bu elemanlar, yapının korunması ve güvenliği üzerinde çok etkili bir etkiye sahiptir. Deplasmanlarının bir sonucu olarak, deprem enerjisi amortismanına tabi tutulur ve sonuç olarak yapı elemanının kesitleri önemli ölçüde azalır.

Genel olarak yeni yapısal koruma sistemleri çizelge 1.1'e göre üç gruba ayrılabilir. Bu gruplar, enerji yönetiminde kullanılan yöntemlerin (geçici çevresel olaylarla ilgili) incelenmesiyle birbirinden ayırt edilebilir .

Çizelge 1 : Yapısal koruma sistemleri

Sismik izolasyon	Pasif enerji kaybı	Aktif ve yarı aktif kontrol
Elastometrik Mesnetler Kurşun Kauçuk Mesnetler Kayar Sürtünme Sarkacı	Ayarlı kütle sönümleme Metal sönümleme Sürtünme sönümleme Viskoelastik sönümleme Sıvı sönümleme Ayarlı sıvı sönümleme	Aktif mesnet sistemi Aktif kütle sönümleme Değişken sertlik ve sönümleme sistemleri

Pasif kontrol sistemlerinde cihaz, bağlantı noktalarının hareketini kullanarak çeşitli kontrol kuvvetleri üretir. Bu kuvvetlerin menzili ve yönü bu noktaların göreceli hareketi ile belirlenir. Yani bu sistemlerde, sönümleyici sistemine dışarıdan bir enerji uygulanmadan sönüm etkisi elde edilmekte ve bu cihazların çalışması, enerji tüketimi yönünde bir davranış gösteren depremin neden olduğu hareket ile yapılmaktadır. Pasif

enerji dağıtma ekipmanının ana uygulaması, ana yapısal elemanların enerji kaybı talebini azaltan ve yapının hasarını mümkün olduğunca en aza indiren yapıya enerji girişinin bir kısmının emilmesi ve tüketilmesidir. Yapılarda pasif enerji sönümleyici ekipmanlarla ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları yaklaşık 25 yıl öncesine dayanmaktadır .

Aktif ve yarı aktif kontrol, yapının hareketinin harici enerji kaynakları kullanılarak kontrol sisteminin çalışmasıyla kontrol edildiği ve düzeltildiği yapısal korumanın bir parçasıdır. Bu enerji binaya etki eden kuvvetin yönünün tersine dış kuvvetler oluşturacak şekilde etki edebilir . Yani bu sistemlerde hareket kontrol kuvvetlerini oluşturmak için cihaza bir kontrolör eklenmektedir. Elbette bu kuvvetlerin miktarı ve yönü birden fazla sensöre sahip olan kontrolörün giriş detaylarına göre belirlenmektedir. Bu durumda dünyada birçok araştırmacının takip ettiği karmaşık sistemlerin ve kuvvetlerin akıllı kontrolünün kullanılması gerekmektedir . Yarı aktif kontrol sistemleri birçok yönden pasif sistemlere benzer. Bu sistemler, mekanik özelliklerini düzenlemek için sadece az miktarda enerjiye ihtiyaç duyar ve aktif sistemlerin aksine, yapıya enerji eklemeyiz .

C. Araştırmanın Amaçları

Bu araştırmanın amacı, çelik yapılarda ayarlı kütle sönümleyici davranışının incelenmesi ve aşağıdaki gibi çeşitli bölümlerde gerçekleştirilmiştir:

- * Ayarlı kütle sönümleyicinin düzensiz yapılardaki davranışının araştırılması
- * Sönümleyicinin düzensiz yapıların dinamik tepkilerinin azaltılmasına etkisinin araştırılması
- * Düzensiz yapıların yüksekliğinde sönümleyicinin optimum dağılımının araştırılması

D. Tez Bölümlerinin Özeti

Birinci bölümde öncelikle araştırmanın yapılmasının önemi ve gerekliliği belirtilmiş, ardından konu açıklanarak problem belirtilmiştir. Daha sonra araştırmanın genel amaçlarından ve amaçlarından bahsedilmiş ve sonunda tezin farklı bölümlerinde sunulan materyallerin bir özetine yer verilmiştir.

İkinci bölümde yapıların sismik kontrolü alanında yapılan bazı çalışmalara odaklanılmış ve bu bağlamda çeşitli yapı kontrol sistemleri tanıtılmıştır. Bu bölümün içeriğinde bu ilginç ve gelişen teknolojinin hem teorik hem de deneysel olarak değerlendirilmesi yapılmaya çalışılacaktır. Ayrıca bu bağlamda, bazı temel konular ve bazı yapısal kontrol sistemleri türleri kullanılmış veya araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, farklı sönümleyicilerle donatılmış asimetrik yapının dinamik tepkilerinin azaltılmasına ilişkin araştırma arka planı sunulmaktadır.

Dördüncü bölümde bu çalışmada incelenen 5 katlı, 7 katlı ve 12 katlı yapıların modellenmesi, analizi ve tasarımı ele alınmıştır. Bu bağlamda, ilgili yazılımlar tanıtılmakta ve yapıların analizinde kullanılan genel modelleme, yükleme, kullanılan tüzük ve yöntemlere kısaca değinilmektedir. Ayrıca sönümleyicinin modellenme şekline ilişkin açıklamalara yer verilmiş ve yapı dinamik zaman tanım alanı analizi ve incelemesi için hazırlanmıştır.

Beşinci bölümde önceki bölümlerin sonuçları ve sönümleyicinin performans mekanizması kullanılarak bu sistemin 5 katlı, 7 katlı ve 12 katlı yapıların sismik performansını iyileştirmeye etkisi araştırılmıştır. Yapı, sönümleyicili ve sönümleyicisiz iki durumda karşılaştırılmış, daha sonra deneme yanılma yöntemi kullanılarak sistem bileşenlerinin yapı yüksekliğinde optimum dağılımı yapılmış ve sonuçlar farklı yönlerden incelenmiştir.

Altıncı bölümde, bu çalışmada yapılan çalışmaların devamında, araştırma sonuçlarının özeti ve gelecek araştırmalara yönelik önerilere yer verilmiştir.

II. SÖNÜMLEYİCİLERİN KULLANILMASININ TEMELLERİ

A. Giriş

Son yıllarda, binalarda ve köprülerde deprem ve rüzgarın etkilerinin azaltılmasına özel önem verilerek yapısal kontrol sistemlerinin araştırılması ve geliştirilmesi alanında pek çok çalışma yapılmıştır. Hem teorik hem de laboratuvar çalışmalarında, yapısal kontrol konusunu pratik bir teknoloji haline getirmek için temel araştırmalar yapılmıştır. Günümüzde, araştırma ve geliştirmenin çeşitli aşamalarında olan doğal ve insan kaynaklı tehlikelere karşı yapıların verimliliğini ve güvenilirliğini artırmak için birçok cihaz geliştirilmiştir. Bu cihazlar üç ana alana ayrılabilir:

- Taban İzolasyonu¹
- Pasif Enerji Dağılımı²
- Aktif control³

Yukarıdaki üç grup arasında taban izolasyonu, diğer ikisine kıyasla nispeten eksiksiz bir teknoloji olarak kabul edilebilir. Pasif enerji sönmleme sistemleri, yapının sönmlemesini, sertliğini ve mukavemetini artıran bir dizi malzeme ve cihazı kapsar ve hem sismik tehlikeleri azaltmak hem de ömrü uzatmak ve yapısal kusurları düzeltmek için kullanılabilir. Genel olarak bu tür sistemler, kuruldukları yapı sistemlerindeki enerji tüketimini artırma özellikleriyle birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Bu cihazlarda genellikle sürtünmeyle kayma, metallerin akması, viskoelastik⁴ katı veya sıvıların deplasmanı⁵ veya sıvıların delikten geçmesi gibi prensipler kullanılmaktadır.

¹. Base Isolation

². Passive Energy Dissipation

³. Active control

⁴. Viscoelastic

⁵. Fluid Orificing

Aktif, hibrit¹ ve yarı aktif² yapısal kontrol sistemleri, pasif kontrol teknolojisinin doğal evrimidir. Son yıllarda, sismik yüklere karşı yapısal koruma araçları olarak aktif kontrol sistemlerinin yanı sıra bazı pasif sistem kombinasyonlarının kullanımı nispeten yüksek ilgi görmüştür. Bu sistemler, yapıya yerleştirilen kontrolörler, eş zamanlı³ değerlendirme işlemcileri ve sensörler ile birlikte binanın tepkisini kontrol eden cihazlardır. Bu sistemler, tehlikeli bina titreşimleri ile eş zamanlı olarak hareket eder ve yapının hizmet seviyesini ve güvenilirliğini artırmak için yapının davranışını iyileştirir. Yukarıda belirtilen sistemler mevcut yapılara yerleştirilebilir veya gerekirse yükleme sonrasında değiştirilebilir.

Bu bölümde bu ilginç ve gelişen teknolojiyi hem teorik hem de deneysel olarak değerlendirmeye çalışacağız. Bu bölümün içeriği giriş, genel açıklamalar ve temel ilkelerden sonra iki bölüm halinde derlenmiştir. Birinci bölümde tez konusu ile pasif kontrol sistemleri arasındaki bağlantıdan dolayı bu sistemlerin çeşitleri ve sivil yapıların sismik tasarımında kullanımının avantajları ve sınırlamaları hakkında kısa bilgi verilmiştir. İkinci bölümde çeşitli sürtümlü ve viskoz sönümleyici tipleri ve davranışları ayrı ayrı incelenmiştir.

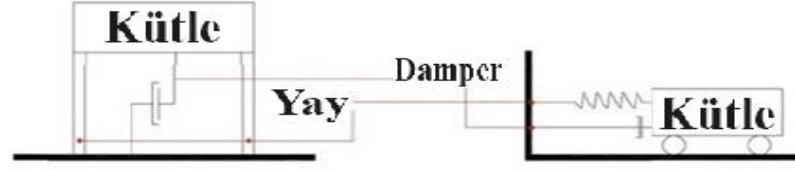
B. Genel İlkeler

Bu bölümde gelecek tartışmalarda yapının aktif ve pasif kontrolünün temel prensipleri basit bir serbestlik dereceli model kullanılarak açıklığa kavuşturulacaktır. Toplam doğrusal sertliği K 'ye eşit olan bir yay ve sönümlenme faktörü C 'ye sahip bir sönümleyici tarafından korunan, m kütesinden oluşan bir serbestlik derecesine sahip bir modelin yanal hareketini düşünün. Bu sistem şekil (1-2)'de şematik olarak gösterilmektedir.

¹. Hybrid

². Semi-Active

³. Real Time



Şekil 1 : Basit serbestlik derecesinin yapısı

Bu sistemin bir deprem yükünden etkilendiğini varsayalım, bu durumda dünyaya $x(t)$ yanal yer değiştirmesi olan uyarılmış sistem dinamik olarak tepki vermeye başlayacak, böylece sistemin dinamik hareket denklemi sağlanacaktır. Bu durumda sistemin dinamik hareket denklemi aşağıdaki gibidir:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_g \quad (2.1)$$

Burada dünyanın ivmesi $x_g(t)$ olarak ifade edilmektedir.

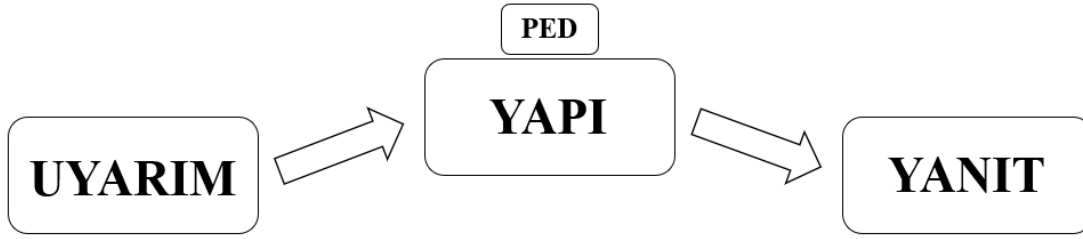
Şimdi, Şekil 2.2'de şematik olarak gösterilen, yukarıda belirtilen serbestlik derecesi ile aynı modele sahip bir pasif enerji tüketen elemanı (PED¹) eklemeyi düşünün. Bu durumda, bu model için hareket denklemi, genişletilmiş bir serbestlik derecesini aşağıdaki gibi değiştirecektir:

$$\ddot{x} + c\dot{x} + kx + \mu x = -(m + \bar{m})\ddot{x}_g \quad (2.2)$$

Bu denklemde \bar{m} , pasif enerji tüketen elemanın (PED) kütlesidir ve bu cihaza ilişkin kuvvet Γx olarak yazılır, burada Γ genel bir Diferansiyel-İntegral² operatörü olarak tanımlanır. Yapının dinamik hareket denklemi (2.2) ile analiz edilebilmesi için Γx özel formu belirlenmelidir. Bu Diferansiyel-İntegral operatörünün şekli esas olarak kullanılan enerji tüketen cihazın tipine bağlıdır. 2.2 denkleminde görülebileceği gibi, sistemin hareket denkleminde Γx 'nin eklenmesi, yapısal özellikleri yapının daha iyi bir tepki göstermesini sağlayacak şekilde değiştirir .

¹. Passive Energy Dissipation

². Integrodifferential Operator

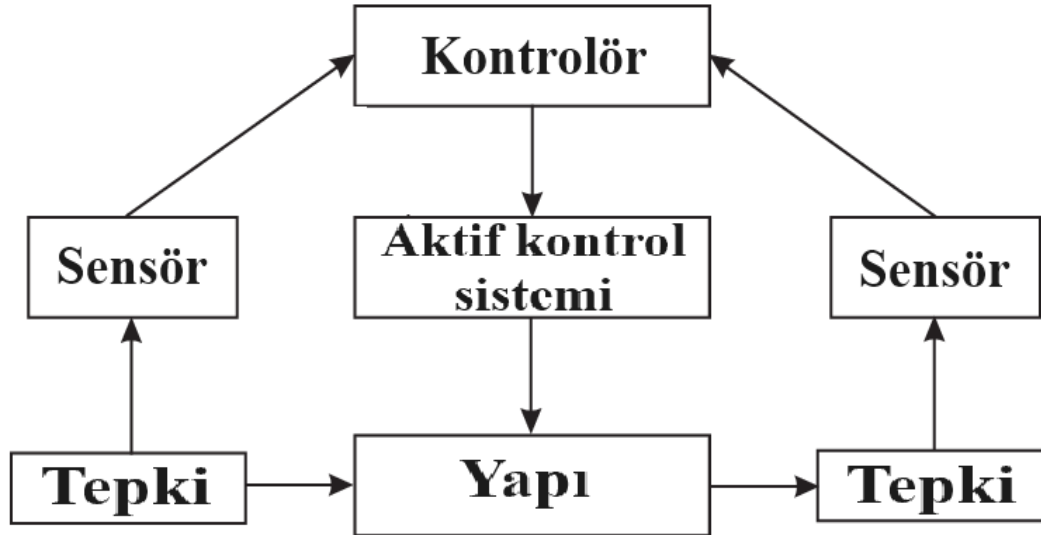


Şekil 2 : Pasif enerji sönümleme (PED) ile yapısal stimülasyon

Aktif bir yapısal kontrol sistemi genel olarak Şekil 2.3'te şematik olarak gösterilen bir konfigürasyona sahiptir . Bu sistem aşağıdaki bileşenleri içerir:

Ölçülen bilgiyi işleyen ve kontrol algoritmalarına dayanarak gerekli kontrol kuvvetlerini hesaplayan cihazlar.

Stimülatörler genellikle dış kaynaklardan beslenir ve yapının sismik kontrolü için gerekli kuvveti üretir.



Şekil 3 : Aktif kontrollü bir yapı

Yalnızca yapısal tepki değişkenleri ölçüldüğünde, sistem geri bildirim kontrolü¹ bir kombinasyonuna sahiptir; bu, yapısal tepkinin sürekli olarak ölçüldüğü ve bu bilginin uygulanan kontrol kuvvetlerini düzeltmek için sürekli olarak kullanıldığı anlamına gelir. İleri bildirim kontrolünde² ise kontrol kuvvetleri, yapıya giriş uyarımının sürekli ölçümü ile düzenlenir. Örneğin, girdi depremin neden olduğu uyarım ise, ivme yapının tabanında ölçülebilir ve daha sonra bu bilgi kontrol uyarımını düzenlemek için kullanılabilir. Bilgi hem tepki miktarları şeklinde hem de uyarılma

¹. Feedback Control

². Feedforward Control

miktarları şeklinde ve kontrol kuvvetlerinin belirlenmesinde kullanılırken, hem geri bildirim kontrolü hem de İleri bildirim kontrolünde aynı anda kullanılmaktadır .

Linear bir sisteme böyle bir kontrol eklenirse yukarıda bir serbestlik dereceli sistemin dinamik hareket denklemi olarak tanımlanan denklem (2.1) aşağıdaki şekilde değişecektir:

$$\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -mu(t) - m\ddot{x}_g \quad (2.3)$$

$mu(t)$ denkleminde kontrol sistemi tarafından uygulanan kuvvettir. Kontrol tipinin geri bildirim kontrolü olarak kabul edildiğini varsayarsak, $u(t)$ aşağıdaki gibi olacaktır:

$$u(t) = \frac{\Gamma x}{m} \quad (2.4)$$

Bu nedenle denklem (3.2) aşağıdaki şekilde basitleştirilecektir:

$$\ddot{x} + c\dot{x} + kx + \Gamma x = -m\ddot{x}_g \quad (2.5)$$

Burada aktif kontrolün yapının daha iyi performans göstermesi için yapısal özellikleri de değiştirdiği görülmektedir. Ama pasif kontrol ile karşılaştırıldığında, temel fark, aktif kontrol modunda, kontrol prensipleri kullanılarak elde edilen Γx formunun, sisteme daha iyi bir yanıt vermek için sisteme girilen stimülasyonun bir fonksiyonu olarak değiştirilebilmesidir. Aktif kontrol sistemlerini kullanmanın, bazıları aşağıda belirtilen başka avantajları da vardır:

Yapısal tepki kontrolünde verimliliğin artırılması, bu sistemlerin kullanımındaki tek sınırlama kontrol sistemlerinin kapasitesidir, yani sistem için ne kadar fazla kapasite dikkate alınırsa sistemin verimliliği o kadar iyi olacaktır.

Bu sistemlerin konum ve yer hareketine karşı göreceli duyarsızlığı.

Bu sistemlerin çoklu tehlike durumunda yapının tepkisini azaltmadaki etkinliğidir. Örnek olarak yapının hem depreme hem de rüzgara karşı tepkisini kontrol etmek için aktif bir sistem kullanılabilir.

Bu sistemler gerekli kontrol tipini seçme yeteneğine sahiptir; Örneğin, kritik olmayan zamanlarda bu sistemler, yapısal hareketin diğer yönlerinden ziyade bina sakinlerinin konforunu daha fazla vurgulayabilir, şiddetli dinamik yükler sırasında ise yapısal güvenilirliğin artırılması konusuna daha fazla vurgu yapacaktır.

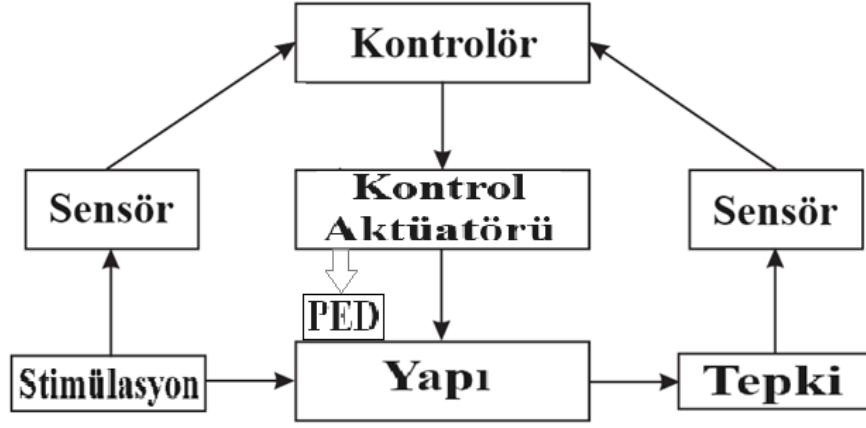
Burada açıklanan aktif kontrolün tanımı, elektronik mühendisliği, makine mühendisliği ve aerodinamik mühendisliğinde kullanılan optimal kontrol alanına girer. İnşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılan yapısal kontrol, onu genel aktif kontrol konusundan ayıran özel bir yapıya sahiptir. Bu bakımdan inşaat mühendisliği yapıları söz konusu olduğunda hem fiziksel özelliklerde hem de deprem, rüzgar gibi uyarılmalarda var olan doğrusal olmamanın yanı sıra önemli belirsizlikler de kendini göstermektedir. Bu durumda, bazıları aşağıda belirtilen başka sorunlar da vardır:

Yapıya uygulanan kuvvetlerin ölçeği çok büyük olabilir.

Şu anda, yapısal uygulamalar için kullanılacak birkaç sensör ve stimülatör bulunmaktadır.

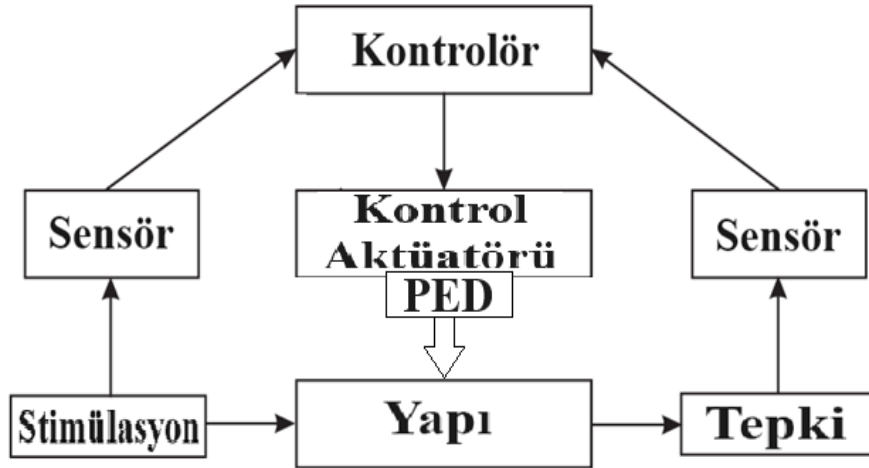
Stimülatörler genellikle boyut olarak oldukça büyüktür.

Öncelikle halihazırda kullanılan birkaç aktif kontrol sistemi türünü ayırmak ve aralarındaki farkları saymak daha iyidir. Başlık bağlantılı kontrol genellikle Şekil 2.4'te şematik olarak gösterilen aktif kontrol sistemi ve pasif kontrol kombinasyonuna atfedilir. Yapı tepki kontrol işleminin bir kısmı pasif kontrol sistemi tarafından gerçekleştirildiğinden sistemin aktif kontrol kısmı daha az aktivite gerçekleştirecek ve bunun sonucunda tüm kontrol sistemi için daha az enerjiye ihtiyaç duyulacaktır.



Şekil 4 : Bağlantılı kontrole sahip bir yapı

Şekil 2.5'te şematik olarak gösterilen yarı aktif kontrol sistemleri kullanılarak, bu tür enerji tasarrufları mümkündür. Bu sistemlerde, kontrol uyarıcıları yapıya doğrudan mekanik enerji vermez, bu nedenle giriş ve çıkış aralıklarının stabilitesi garanti edilir. Yarı aktif kontrol cihazları genellikle kontrol edilebilir pasif cihazlar olarak görülür. Hibrit veya yarı aktif kontrol sistemlerinin kullanılmasının önemli bir avantajı, bir elektrik kesintisi durumunda bile, sistemin pasif kontrol¹ bileşenlerinin, tamamen aktif bir sistemden farklı olarak, yapı için hala bir dereceye kadar korumaya sahip olmasıdır.



Şekil 5 : Yarı aktif kontrollü bir yapı

¹. Controllable Passive Device

C. Sönümlenme Özellikleri

1. Sönümlenme Tipleri

Yapıların deprem etkisi altındaki sönümü, Dış Viskoz Sönümlenme¹ , İç Viskoz Sönümlenme² , Coulomb Sönümlenme³ , Histersis Sönümlenme⁴ ve Radyasyon Sönümlenmeden⁵ oluşur.

Dış Viskoz Sönümlenme : Bir yapının etrafındaki hava ve suyun neden olduğu bir sönümlenme türüdür ve diğer sönümlenme türlerine göre çok küçüktür.

İç Viskoz Sönümlenme : Bu sönümlenme, malzemenin sönümlenmesinin bir sonucudur ve hızla orantılıdır, dolayısıyla sönümlenme oranı binanın doğal frekansıyla orantılı olarak artar. Bu tür sönümlenme genellikle başka herhangi bir sönümlenme türü sağlamak için kullanılır.

Coulomb Sönümlenme : Coulomb sönümü⁶ , bağlantılarda sürtünmenin varlığı nedeniyle meydana gelir. Hızdan veya yer değiştirme miktarından bağımsız olarak sabittir ve yer değiştirme miktarına bağlı olarak iki şekilde ele alınır. Yer değiştirmelerin miktarı küçükse, Histersis sönümü olarak kabul edilir. Çerçeveler arasındaki yapı malzemelerinin duvarlarında çatladığında fiziksel sürtünme artar ve dolayısıyla depreme karşı etkin bir direnç oluşur.

Histersis Sönümlenme : Bu sönüm, bir yapı elastik aralıkta karşılıklı yüke maruz kaldığında meydana gelir. Şekil (2.6)'da gösterildiği gibi, tek çevrimli bir Histersis dışarı doğru şişirilir. Bir çevrim sırasında çevrimin alanı kadar enerji tüketilir. Enerji dağıtımını Histersis sönümü olarak tanımlanır. Bu sönüm yapının hızından bağımsızdır ancak yer değiştirme değeriyle birlikte artar. Şekil (2.6), yer değiştirme kuvveti ilişkisi açısından tek çevrimli bir Histersis göstermektedir. D noktasından A noktasına enerji enjeksiyonu ADE alanı tarafından verilmektedir. Yapı A noktasından B noktasına hareket ettiğinde BAE seviyesinin altındaki enerji ortadan kalkar.

¹. External Viscous Damping

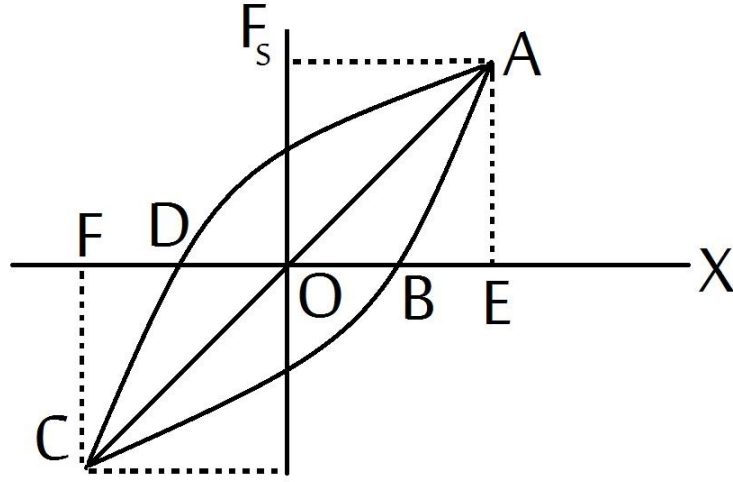
². Internal Viscous Damping

³. Body Friction Damping

⁴. Hysteresis Damping

⁵. Radiation Damping

⁶. Coulomb Damping



Şekil 6 : Histersis çevrimi Yük -Yer değiştirme

Aynı açıklama B ve C noktaları arasında ve C ve D noktaları arasında da geçerlidir. Sonuç olarak, her yükleme ve boşaltma döngüsünde ABCD seviyesi kadar enerji israf edilir. Elastik olmayan aralıktaki Histersis çevrimli bu tür birleşik sönümlenme, elastik olmayan yük-yer değiştirme davranışına sahip bir yay dikkate alınarak modellenilebilir. Genellikle böyle bir yay modeliyle analiz çok karmaşıktır. Alternatif olarak, Histersis sönümlenmenin yerini sıklıkla eşdeğer viskoz sönümlenme¹ alır ve elastik bir analiz gerçekleştirilir. Bu çözüm ilk olarak Jacobson tarafından önerildi. Prensipleri, tabanın statik sinüzoidal hareketine maruz kalan elastik olmayan bir yay sisteminin, elastik olmayan sistemle aynı temel uyarma fonksiyonuna ve aynı doğal frekansa ve enerji dağıtma kapasitesine sahip sönümlü bir elastik yay ile değiştirilmesidir. Şekil (2.6)'da gösterilen geri getirme kuvveti karakteristiğine sahip sistemi düşünün. Bu sistemde yay katsayısı kuvvete bağlıdır. Bu sisteme eşdeğer kütle sisteminde yay katsayısı AOC doğrusu tarafından sağlanır ve eşdeğer viskoz sönüm şu şekilde olacaktır:

$$\epsilon_{eq} = \frac{1}{2\pi} \frac{\text{ABCD} \text{ Çevrim alanı}}{\Delta OAE + \Delta OCF} \equiv \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta W}{W} \quad (2.6)$$

Bu denklem ABCDA alanının viskoz sönümlenme ϵ_{eq} 'ten kaynaklanan enerji kaybına eşitlenmesiyle elde edilir.

¹. Equi valent Viscous Damping

Histerezis eğrisinin doğrusal olmaması durumunda, denklem (2.6)'nın paydasındaki alanı belirlemenin farklı yolları önerilmiştir. ϵ_{eq} 'in değeri her teklife göre farklı olduğundan seçiminde dikkatli olmak gerekir.

Plastik deplasmanın neden olduğu Histerezis sönümü genellikle çok büyüktür. Mesala tamamen elastik-plastik Histerezis özelliklerine sahip bir sistem için maksimum yer değiştirme akma yer değiştirmesinden 1,5 veya 2 kat daha büyükse ϵ_{eq} sırasıyla 0,16 ve 0,21 olacaktır. Böyle bir eşdeğer sönümlenme sisteminin kullanılması, ϵ_{eq} küçük olduğu sürece yeterince doğrudur, ancak ϵ_{eq} arttıkça hata artar .

Radyasyon Sönümlenme : Bir bina yapısı titreştiğinde, elastik dalgalar binanın altındaki zeminin yarı sonsuz ortamında yayılır. Yapıya enjekte edilen enerji bu difüzyon yoluyla sönümlenir. Radyasyon sönümlenmesi olarak adlandırılan bu enerji kaybı, E elastik katsayısının, ρ yoğunluğunun ve yerin Poisson oranının bir fonksiyonudur ve aynı zamanda yapının birim alan başına kütesine, m/A ve oranına da bağlıdır. yapının kütesine göre sertlik katsayısı, k/m Yapının ıslanması ve zeminin yumuşaması ve çevre ortamın derinleşmesi, radyasyon sönümlenmesi artar ve son olarak yapısal tepki azalır. Yüksek modların titreşimi için ışınımsal sönüm daha küçük olacaktır ve bu, viskoz iç sönümlenme modunun görüntüsüdür. Veletsos & Nair'in işaret ettiği gibi, ışınımsal sönüm ve zemin Histerezis sönümü yapısal sönümlenmeye eklenemez.

2. Bina Yapıları İçin Sönümlenme Değerleri

Bina yapılarının çoğu dinamik davranış analizinde, tüm farklı sönüm kaynakları viskoz sönüm ile temsil edilir. Bu durumda histerezis sönümü, eşdeğer bir viskoz sönümlenmenin eklenmesiyle hesaba katılır. Ancak, önceki bölümde belirtildiği gibi, konumlardaki değişikliklerin miktarı yüksek olduğunda, bu basitleştirme yanlış sonuçlara yol açar. Daha ayrıntılı bir analizde, Histerezis sönümlenmesi genellikle kuvvet-yer değiştirme esnekliği karakteristiğine sahip bir sertlik olarak kabul edilir. Japon mühendislik sisteminde çelik, beton ve kompozit çelik ile betonarme¹ yüksek bina yapılarının depreme tepkisi analiz edilirken 0,02 ve 0,03 ila 0,05 sönüm oranı değerleri kullanılmaktadır. Daha yüksek modların sönüm oranının doğal frekanslarla orantılı olarak arttığı varsayılmaktadır.

D. Sönümlemenin Titreşim Sistemlerinin Dinamik Davranışına Etkisinin İncelenmesi

Katkı sönümleyiciler konusuna değinmeden ve nasıl çalıştıklarını açıklamadan önce, ikinci bölümde sönümün yapıların dinamik davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, serbest titreşim durumundaki dinamik davranış, harmonik yük altında titreşim ve deprem yükü altında titreşim incelenmiştir.

1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Serbest Titreşimi

Bir sistemin serbest titreşim durumunda olan bir serbestlik derecesi vardır. Hareket denklemi aşağıdaki gibidir :

$$\mathbf{F}_I + \mathbf{F}_D + \mathbf{F}_S = \mathbf{0} \quad (2.7)$$

$$m\ddot{v} + c\dot{v} + kv = 0 \quad (2.8)$$

Bu diferansiyel denklem çözüldükten sonra aşağıdaki çözümler elde edilir:

$$v(t) = \frac{v_0}{\omega} \sin(\omega t) + v_0 \cos(\omega t) \quad \text{when } \varepsilon = 0 \quad (2.9)$$

$$v(t) = [v_0(1 + \omega t) + tv_\theta]e^{-\omega t} \quad \text{when } \varepsilon = 1 \quad (2.10)$$

$$v(t) = \left[\frac{v_0 + \varepsilon \omega v_0}{\omega_D} \sin(\omega_D t) + v_0 \cos(\omega_D t) \right] e^{-\varepsilon \omega t} \quad \text{when } \varepsilon < 1 \quad (2.11)$$

$$v(t) = \left[\frac{v_0 + \varepsilon \omega v_0}{\omega_D} \sin(\omega_D t) + v_0 \cos(\omega_D t) \right] e^{-\varepsilon \omega t} \quad \text{when } \varepsilon < 1 \quad (2.12)$$

Bu denklemlerde:

$$\omega_D = \omega \sqrt{1 - \varepsilon^2} \quad (2.12.1)$$

$$\hat{\omega} = \omega \sqrt{\varepsilon^2 - 1} \quad (2.12.2)$$

Doğada var olan form $\epsilon < 1$ durumu veya Under Damp durumudur.

$\epsilon > 1$ ve $\epsilon = 1$ durumlarında pratik olarak dinamik bir davranış yoktur ve enerji emilimi o kadar yüksektir ki titreşimde meydana gelmez (titreşim döngüsü görülmez).

Bu tür bir enerji emilimi doğada nadirdir ve yalnızca ϵ birine yaklaştırılabilir. Yani pratik olarak zayıflama miktarı sıfırdan bire kadardır. Bir sistemin sönümlemesi sabit değildir ve uygulanan kuvvete bağlıdır ve miktarı hesaplanamaz ve sadece testlerle ve laboratuvar sonuçlarıyla belirlenebilir. Sönümlenme aynı zamanda yapının şekline ve titreşimin ortamına ve yönüne de bağlıdır. Ancak pratikte hesaplamalarda kolaylık sağlamak amacıyla sönüm varsayımları dikkate alınır. Serbest titreşim durumunda yazılan denklemlere göre ϵ değerinin artmasıyla sistemin tepkisinin azaldığı ve titreşim genliklerinin azaldığı, sistemin daha kısa sürede durağan duruma ulaştığı görülmektedir.

2. Harmonik Yüklere Karşı Tek Serbestlik Dereceli Sistem Titreşimi

Şimdi sönümün tek serbestlik dereceli sistemin sinüzoidal harmonik yüklemeye karşı davranışı üzerindeki etkisi tartışılmaktadır. Bu durumda hareket denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\ddot{v} + c\dot{v} + kv = P_0 \sin(\bar{\omega}t) \quad (2.13)$$

Bu diferansiyel denklemin çözümü aşağıdaki gibidir:

$$v(t) = e^{-\epsilon\omega t} [A \sin(\omega_D t) + B \cos(\omega_D t)] \quad (2.14)$$
$$+ \frac{P_0}{K[(1-\beta^2)^2 + (2\epsilon\beta)^2]} [(1-\beta^2)] \sin(\bar{\omega}t) - 2\epsilon\beta \cos(\bar{\omega}t)$$

Burada $\beta = \frac{\bar{\omega}}{\omega}$ ve B ve A katsayılarının değerleri başlangıç değerlerinin eklenmesiyle elde edilir. Bilindiği üzere cevap iki kısımdan oluşmakta, problemin

genel çözümünü olan birinci kısmın etkisi zamanla azalmakta ve sifıra yaklaşmaktadır , Bu nedenle dikkate alınmaz ve denklem kararlı durumda aşağıdaki şekilde çözülür:

$$v(t) = \frac{P_0}{K[(1-\beta^2)^2+(2\varepsilon\beta)^2]} [(1-\beta^2)]\sin(\bar{\omega}t) - 2\varepsilon\beta\cos(\bar{\omega}t) \quad (2.15)$$

Yukarıdaki denklemin cevabının, faz gecikmesi ve ρ genliği ile sinüzoidal bir ilişki olarak gösterilebileceği:

$$v(t) = \rho \sin(\bar{\omega}t -) \quad (2.16)$$

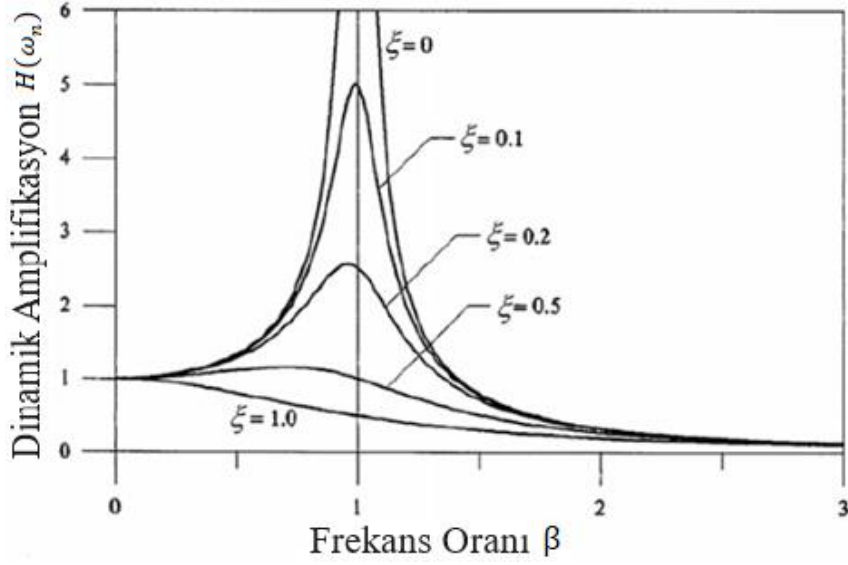
$$\rho = \frac{P_0}{K} \sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2\varepsilon\beta)^2} \quad (2.17)$$

$$\tan^{-1} \left(\frac{2\varepsilon\beta}{1-\beta^2} \right) \quad (2.18)$$

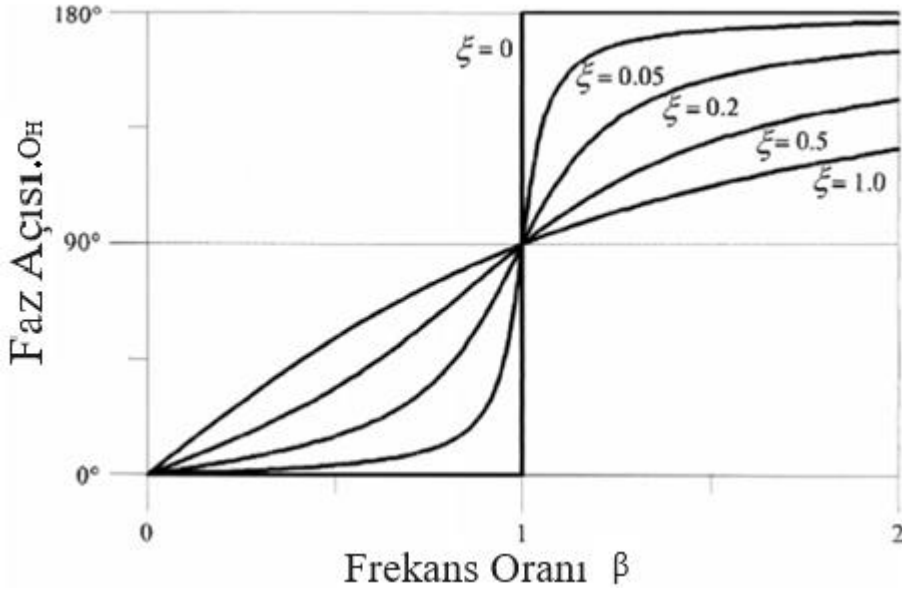
Yukarıdaki sistemin dinamik davranışını incelemek için, reaksiyon genliğinin P_0 kuvvetinin neden olduğu statik yer değiştirmeye oranına dinamik büyütme faktörü denir, Dolayısıyla:

$$D = \frac{\rho}{\rho_0/K} = \sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2\varepsilon\beta)^2} \quad (2.19)$$

Görüldüğü gibi dinamik büyütme faktörü, frekans oranı ve sönümlenme faktörü ε ile orantılıdır. Şekil (2.7)'ye göre ε sönüm katsayısının artmasıyla D miktarının azaldığı kolaylıkla görülebilmektedir. Ayrıca şekil (2.8)'e göre ε 'teki değişimler açısından değerdeki değişiklikleri yani faz farkını görmek mümkündür.



Şekil 7 : Dinamik büyütme faktörü ile sönüm arasındaki β cinsinden ilişki



Şekil 8 : Faz farkı açısı ile sönüm arasındaki β cinsinden ilişkisi

Yukarıdaki ilişkilerde gözlemlenebilir diğer durumlar, rezonans modunda amortisman faktörünün büyütme katsayısı üzerindeki etkisidir, Yani sistemin normal frekansındaki yükün frekansı 1'e eşitse, büyütme faktörü aşağıdaki değere eşittir:

$$D_{\beta=1} = \frac{1}{2\varepsilon} \quad (2.19.1)$$

Sönümün sıfır olması durumunda değeri sonsuz hale gelir ve sönüm arttıkça değeri azalır. Elbette $\beta = 1$ modunda maksimum büyütme faktörünün oluşmadığını

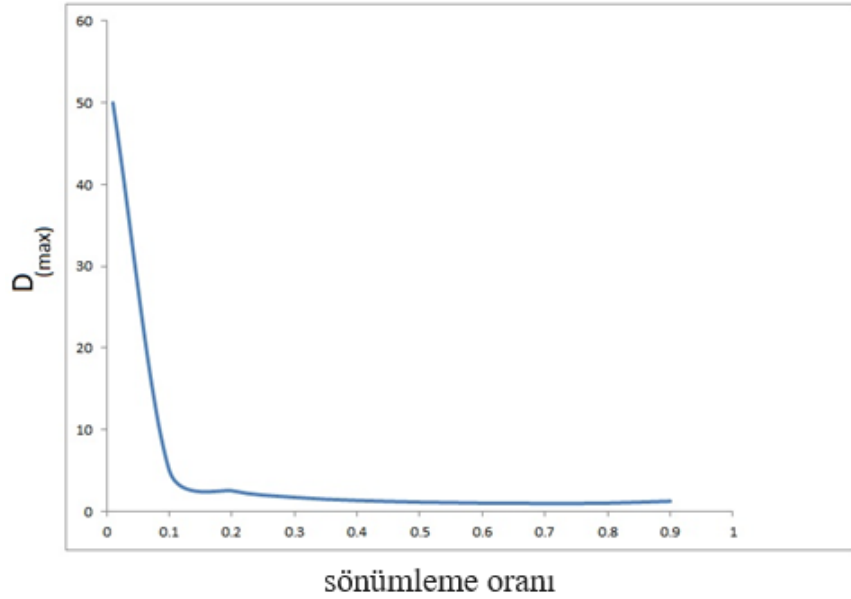
ve β değeri aşağıdaki denkleme eşit olduğunda maksimum D'nin oluştuğunu açıklamak gerekir:

$$\beta = \sqrt{1 - 2\varepsilon^2} \quad (2.19.2)$$

Bu, ilişkiden türetilerek ve sifıra eşit olarak kolayca elde edilir, bu durumda:

$$D_{Max} = \frac{1}{2\varepsilon\sqrt{1-\varepsilon^2}} \quad (2.19.3)$$

Bu ilişkiye göre dinamik büyütme faktörü üzerinde sönümlenme etkisi gözlemlenebilir. Şekil (2.9) sönümlenme katsayısı ile maksimum dinamik büyütme katsayısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 9 : Sönümlenme ilişkisi ve maksimum dinamik büyütme faktörü

3. Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Deprem Kuvvetine Karşı Davranışının İncelenmesi

Bir serbestlik dereceli bir sistemin deprem gibi harmonik olmayan ve belirsiz yükler altında tepkisini elde etmek için adım adım entegrasyon kullanılabilir. Sönüm

katsayısının etkisini araştırmak ve yapının sismik davranışı üzerindeki etkisini göstermek için en uygun yöntem, farklı yüklemeler için davranış spektrumlarının kullanılmasıdır. Bildiğimiz gibi, tepki spektrumunun tanımına göre, doğal frekans ω 'in ve sönüm katsayısı ϵ 'nin farklı değerleri karşılığında, tek serbestlik dereceli bir sistemin belirli bir yüklemeye karşı maksimum tepkileri kümesidir, ve sönüm katsayısının artmasıyla sistemin spektral tepkileri azalır.

E. Pasif Enerji Tüketicileri

Son yıllarda pasif enerji amortisman sistemleri bina inşaat sektöründe büyük ilgi görmüştür. Deprem yüklemesi etkisi altında yapının verimliliğini arttırmak amacıyla bu sistemlerin çok sayıda üretimi yapılmış ve çeşitli yapılara monte edilmiştir ve genellikle iki ana kategoriye ayrılır:

- ✓ Hareketle ilgili cihazlar
- ✓ Hıza bağlı cihazlar

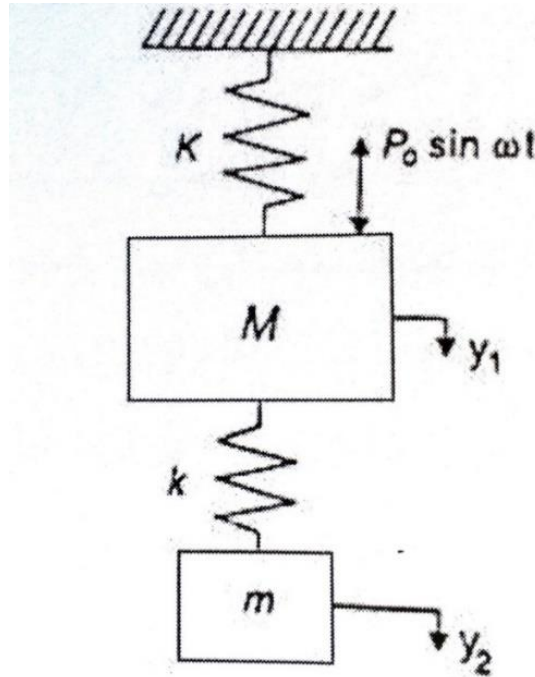
elik plaka sönümleyiciler ve sürtünme sönümleyiciler gibi yer değiştirmeye bağlı cihazlar, sönümleme bileşenlerinin veya sürtünme kaymasının teslim olması yoluyla enerjiyi emer. Sıvı viskoz sönümleyiciler ve viskoelastik sönümleyiciler gibi hıza bağlı cihazlar, enerji emiliminin viskoelastik özelliklerine bağlıdır. Hıza bağlı cihazlar, yapılarda ek sönümleme ve sertlik yaratır ve stimülasyonun tüm aşamalarında enerjiyi emmek için kullanılır. Yer değiştirmeye bağlı cihazlar yapının sağlamlığını arttırır ve enerjiyi yalnızca güçlü ve hafif uyarılmalarda emer. Aşağıdaki tartışmalarda, daha yaygın olan bazı cihazlara ve bunların pasif enerji amortisman sistemlerindeki uygulamalarına daha fazla odaklanılmıştır.

1. Ayarlı Kütle Sönümleyici

Bir yapı içinde Ayarlı kütle sönümleyici kullanmanın amacı, aynı metal sönümleyiciler ve enerji dağıtma sistemleri ile tamamen aynıdır. Bu, ana yapının elemanlarındaki enerji kaybı talebinin azalmasının dış kuvvetlerden etkilendiği anlamına gelir. Bu durumda, talep azalması, yapısal enerjinin bir kısmının ayarlı kütle

sönümleyiciye (TMD¹) aktarılmasından kaynaklanır. bir kütle sistemi, yay, amortisör, kablo demeti veya ana yapıya bağlı en basit şeklidir. Düzenlenmiş bir kütle sönümleyici, pasif enerji tüketimi araçlarından biridir. Bu cihaz dinamik yükten yapıya giren enerjinin bir kısmını absorbe ederek ana yapıdaki enerji tüketimine olan talep miktarını azaltır.

Yapısal uygulamalarda yeni ayarlı kütle sönümleyici konsepti, 1909'da Frahm tarafından araştırılan dinamik titreşimin tutuklamaları alanında bulunabilir.(Frahm,H., (1909), Den Hartog, J.P.,(1956)). Frahm amortisörünün diyagramı şekil (2.10)'te gösterilmektedir. Amortisör küçük bir m kütlesi ve yay sertliği K olan ana kütle M 'ye bağlı yay sertliği k olan bir yaydan oluşur. Basit bir harmonik yükleme altında orijinal M kütlelerinin tamamen sabit kalamayacağı gösterilebilir. Amortisörün doğal frekansı $\left[\sqrt{\frac{k}{m}} \right]$, uyarma frekansına eşit olacak şekilde seçilirse (yani ayarlanırsa).



Şekil 10: Harmonik uyarma etkisinde sönümsüz amortisör ve ana kütle (Frahm)

Ormondroyd ve Den Hartog (1928) ilk olarak ana sistemde sönümlenme olmadığına sönümsüz ve sönümlü dinamik titreşim sönümleyicileri teorisini inceledi ve çalışmalarının temel prensiplerini ve sönümleyiciye seri olarak üçüncü bir eleman

¹. Tuned Mass Damper

yani ikinci bir yay eklenirse ana sistemin menziline %30-15'lik bir azalma sağlanabileceği parametrelerinin doğru seçimine yönelik bir prosedür geliştirdi. Bishop ve Welbourn (1952) tarafından geliştirilen dinamik titreşim sönümleyicilerin analizinde ana sistemdeki sönümlenme dikkate alınmıştır. Yukarıdaki çalışmanın devamında, ana sistemdeki en düşük tepe tepkisi ve en yüksek etkili sönümün belirlenmesine yönelik optimizasyon işlemi Falcon (1967) tarafından hazırlanmıştır.

Jennige ve Frohrib, bir bina yapısında her iki burulma-eğme modunu kontrol etmek için öteleme-dönme amortisör sistemini sayısal olarak değerlendirdi. Orijinal sistemde düşük sönümlenme modunda optimal amortisör parametrelerinin düzeltme faktörleri için ampirik formüller Loi ve İkeda (1978) tarafından geliştirilmiştir. Ana sistemdeki sönümlenmenin etkisini alında bu parametrelere ilişkin tasarım çizelgeleri Randall (1981) tarafından sağlanmaktadır. Buna ek olarak, Warburton & Ayorinde, ana sistemin kütle oranı ve sönümlenme oranının özel değerleri için maksimum dinamik büyütme, frekans oranının ayarlanması ve tampon oranının en uygun değerlerini tablolastırır.

Ana sistemin maksimum dinamik tepkisini azaltmada amortisörün etkisini arttırmak amacıyla araştırmacılar, ayarın frekans aralığını genişletmek için doğrusal olmayan amortisör yayları kullandılar. Sönümlenmesiz doğrusal bir yay¹ ile dinamik bir amortisör hack içeren büyük bir sistemin dinamik tepkisi Roberson (1952) tarafından değerlendirildi. Roberson, bir bastırma bölgesini, orijinal sistemin normalleştirilmiş genliğinin üniteninkinden daha az olduğu rezonans devrilme noktaları arasındaki bir frekans bandı olarak tanımladı. Bu doğrusal olmayan amortisör için bu bölge veya bant, doğrusal bir tampon için olduğundan çok daha geniş olduğunu açıkça gösterdi, hiperbolik sinüs karakteristiğine sahip bir sertleşme yayı Pipes (1953) tarafından kabul edildi. Bu çalışmada, doğrusal olmayan etkinin, sönümleyici ve ana sistemin hareketine nispeten küçük bir genliğe sahip tek sayı harmonik bileşenleri dahil etmek amacıyla keskin ve rezonans tepe noktalarının varlığını önlemek olduğu sonucuna varılmıştır.

Frekansla orantılı bir sertliğe ve sabit bir sönümlenmeye sahip malzemelerden yapılmış dinamik bir sistem, ana sistemin titreşimini önemli ölçüde azaltabilir. Bu işlev, yay-amortisörler enerji emicilerinden daha üstün olduğunu iyi göstermektedir.

¹. Duffing Spring

Sirinivasan (1969) paralel sönümlü dinamik titreşim sönümleyicileri (veya paralel olarak eklenen ikinci bir sönümlü ayarlanmış kütle) araştırdı. Bu durumda, sönümleyici frekansı tam olarak uyarma frekansına ayarlandığında orijinal sistem kararlı kalacaktır. Ancak bu durumda bastırma bandı azalır. Üç elemanlı damper gibi diğer sönümleyiciler de Ali tarafından incelenmiş ve sönümleyici seri olarak üçüncü bir eleman yani ikinci bir yay eklenirse ana sistemin menziline %30-15'lik bir azalma sağlanabileceği gösterilmiştir. Ancak bu azalma ayar frekansına oldukça duyarlı olduğundan pratikte sönümleyicinin performansını etkileyecektir.

Aktif kütle sönümleyici sistemi, yapının dinamik tepkisini azaltmak amacıyla bir kütle, bir yay ve ona bağlanan bir sönümleyiciden oluşur. Sönümleyici frekansı belirli bir yapının frekansına göre ayarlanır, böylece bu frekans uyarıldığında sönümleyici yapının hareketine ters fazda titreşir.

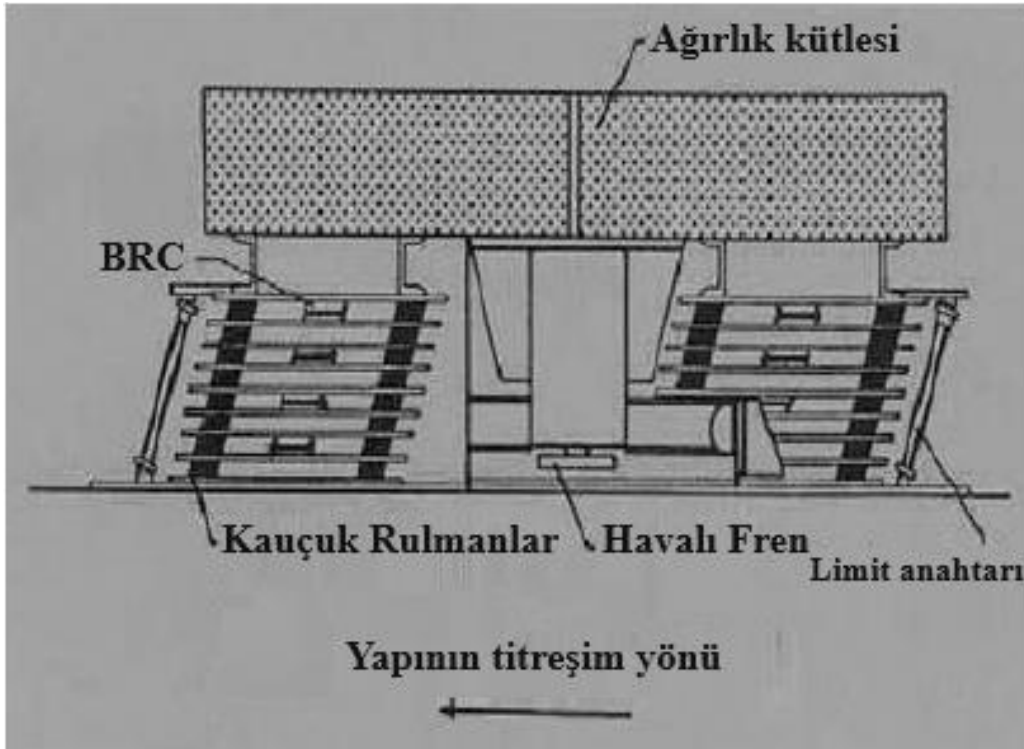
Yapıya uygulanan sönümleme atalet kuvveti nedeniyle enerji kaybı yaşanır. Bu tip sönümleyicilerde kütle hareketli mesnet üzerine yerleştirilir ve katlara göre hareket edebilir. Kütle ile sabit dikey mesnetler arasına yaylar ve sönümleyiciye seri olarak üçüncü bir eleman yani ikinci bir yay eklenirse ana sistemin menziline %30-15'lik bir azalma sağlanabilecek.

Genellikle bu tip kütle sönümleyicileri yapının üst katlarında kullanılmakta olup, yapının yüke maruz kalması durumunda sönümleyicinin tasarımına bağlı olarak belirli bir ivme tanımlanarak sistem otomatik olarak çalışmaya başlayarak deprem etkisini ortadan kaldırır. Genellikle bu sistemin malzemesi beton, kurşun veya çeliktir. Kare veya dikdörtgen şeklinde ve boyutları 5 ila 10 metre arasında tek veya grup halinde yapılıp yapının üst katlarına monte edilir. Bu tip sönümleyicinin sistemi büyük kütleyle sahiptir, çok yer kaplar, pahalıdır, karmaşık bir mekanizmaya sahiptir ve bazı durumlarda sadece tek yönde kullanılabilir. Bu durumları düzelterek daha gelişmiş tipte düzenlenmiş kütle sönümleyiciler tasarlandı.

Farklı yönlerde çalışma nedeniyle mekanik makaralar yerine kauçuk makaralar değiştirilerek ve sönümleyiciler yerine bitümlü kauçuk malzemeler kullanılarak, montaj kolaylığı ve küçük boyut avantajı ile viskoelastik sönümleyici yapabileme özelliğine de sahip olup, daha eksiksiz bir tasarım sistemi elde edilir.

Hesaplamalar için kütle sönümleyici sisteminin tasarımında, tasarlanan sönümleyici sistemin etkisinin anlaşılabilmesi için yapının toplam ağırlığına göre

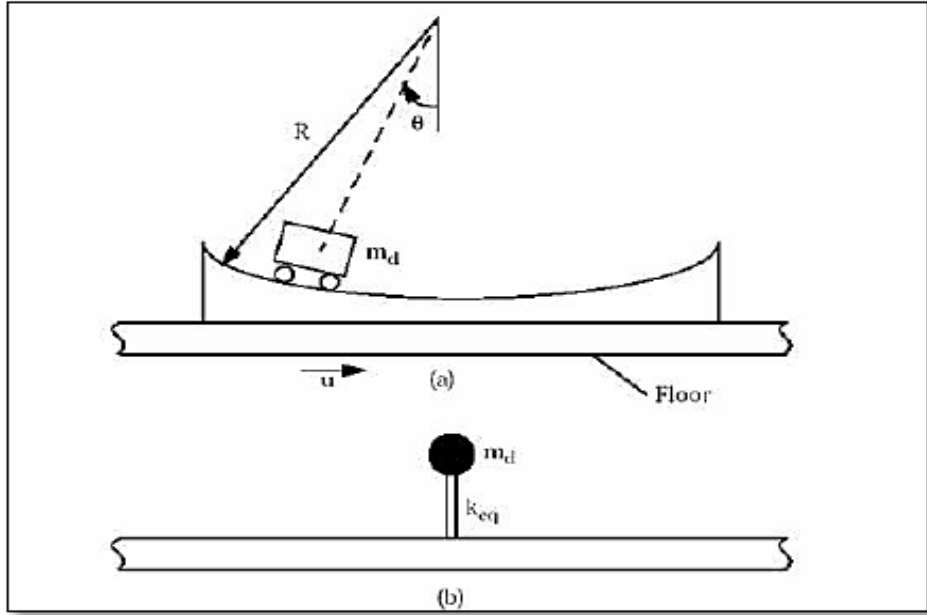
kütle, rijitlik ve sönüm katsayısı belirlenerek en uygun sönümleyici sistemin tasarlanması gerekmektedir. Yapının frekansının sönümleyici frekansı için optimal değere yakın olduğu varsayılırsa sönümleyicinin periyodu yapının baskın periyoduna eşittir. Ayarlı kütle sönümleyicinin tepkisi, ilk kütle tepkisi ile 90 derecelik bir faz farkına sahiptir. Bu faz farkı sönümleyicinin atalet kuvvetinden dolayı enerji kaybına neden olur. Kütle oranındaki bir artış sönümde bir artışa neden olur, ancak kütle arttırmanın pratik bir sınırı olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca sönüm katsayısı azaltılarak sönüm artırılabilir ve bu parametre için de bir sınır vardır. Bu iki değer kısıtlamalar uygulanarak birleşimine göre nihai tasarım yapılır. Ayrıca yapıdaki sabit mesnetteki sönümleyici ve yayın konumuna ve sistemin çift yönlü mekanizmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 11 : Yaylı Sönümleyici

Düzenlenmiş kütle sönümleyicilerde makaraların yarattığı problemlerden dolayı günümüzde yüksek yapılarda kullanılabilecek yeni bir tür kütle sönümleyici ortaya çıkmıştır, bunlar sarkaç sönümleyicilerdir. Mesnetlerin sorunu, sistemin bir sarkaç gibi davranmasını sağlayan bir kablo modeli ile kütle tutma özelliği

kullanılarak çözümler. Pandülü sönümleyicinin değiştirilmiş bir versiyonu Şekil 12'de gösterilmektedir.



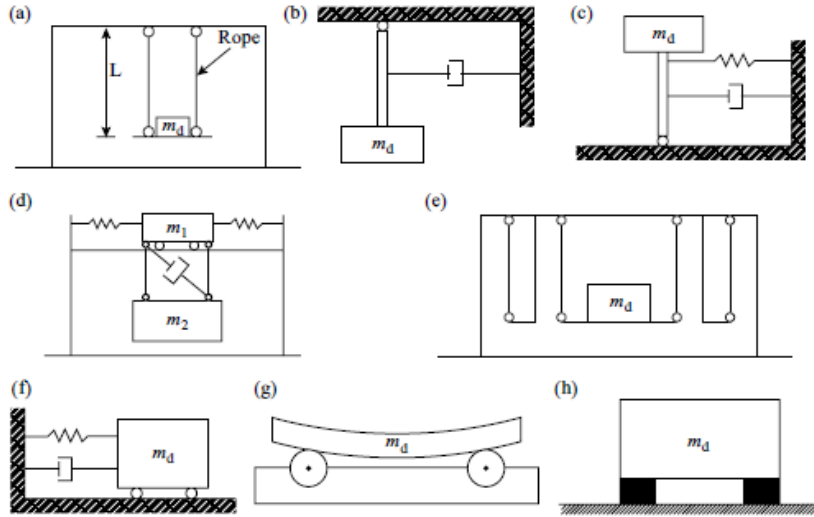
Şekil 12 : Pandülü Kütle Sönümleyici

2. Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Tipleri (TMD) :

Araştırmacıların uzun yıllar süren çalışmaları sonucunda ayarlı kütle sönümleyiciler için farklı fonksiyonel özelliklere sahip 8 tip belirlenmiştir:

- Basit pandül sistemi
- Pandülü sönümleyici sistemi
- Yaylı ve Ters Pandülü Sönümleyicili Sistemi
- Çift kütleli sönümleyici sistemi
- Çok Aşamalı sönümleyici,
- Yaylı ve sönümleyicili kayan kütle
- Döner yataklı kayar kütle sönümleyici
- Elastik mesnetlerde kütle sönümleyici

Şekil 13'da TMD olarak kullanılabilen çeşitli tasarımlar görülmektedir.



Şekil 13 : TMD tipleri (A) Basit pandül sistemi, (B) Pandülü sönümleyici sistemi, (C) Sönümleyicili ve yaylı ters pandül sistemi, (D) Çift kütleli sönümleyici sistemi, (E) Çok kademeli sönümleyici, (F) Yaylı ve sönümleyicili kayan kütle, (G) Döner yataklı kayar kütle sönümleyici, (H) Elastik mesnetlerde kütle sönümleyici

3. Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Bazı Çalışan Örnekleri ve Özellikleri

Görünüşe göre düzenlenmiş kütle sönümleyicinin kullanıldığı ilk yapı Avustralya'nın Sidney şehrindeki Centerpoint kulesi'dir. Bu yapı başlangıçta 120 tonluk bir su deposuna sahipti ve ikincil 40 tonluk bir kütle kullanılarak, birinci mod sönümleme %0,7'den %3,1'e ve ikinci mod sönümleme %0,4'ten %1,5'e yükseldi. Ölçümler, bu binanın rüzgar yükü altında ivme tepkisinin %40-50 oranında azaldığını göstermektedir.



Şekil 14 : Centerpoint Sidney Kulesi

Taipei Dünya Ticaret Merkezi olarak da bilinen Taipei 101¹ Kulesi dünyanın önde gelen gökdelenlerinden biridir. Bu bina 2004'ten 2009'a kadar dünyanın en yüksek binası olarak biliniyordu.

Kabloların sağladığı depolanan kuvvet, mesnet yüzeyinin eğriliği tarafından üretilir ve bu eğrilik, kütlenin bu yüzey üzerinde yuvarlanmasına olanak tanır. Kuvvetin dikey hareketi bir giriş enerjisi gerektirir. Bu tür kütle sönümleyiciyle tasarlanan en ünlü yapı, Tayvan'daki Taipei 101 yapısıdır ve yapının yer değiştirmesini yaklaşık %40 oranında azaltmayı başarmıştır. Bu sistemde kullanılan yaylı kütle sisteminin ağırlığı 660 tona ulaşmaktadır ve 5.5 metre boyutlarıyla yapı mühendisliğinde türünün en büyük sistemidir.



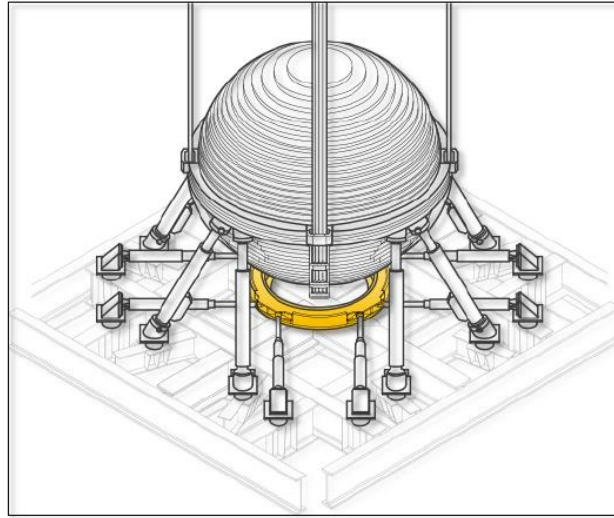
¹ Taipei 101 World Financial Center

Şekil 15 : Tayvan, Taipei 101 Kulesi

Şekil 16 Taipei 101 Kulesi'nde kullanılan ayarlı kütle sönümleyiciyi göstermektedir. Şekil 17 (B)'de ise bu sönümleyicinin şematik halini görüyoruz.



Şekil 16 : Taipei 101 TMD (A)

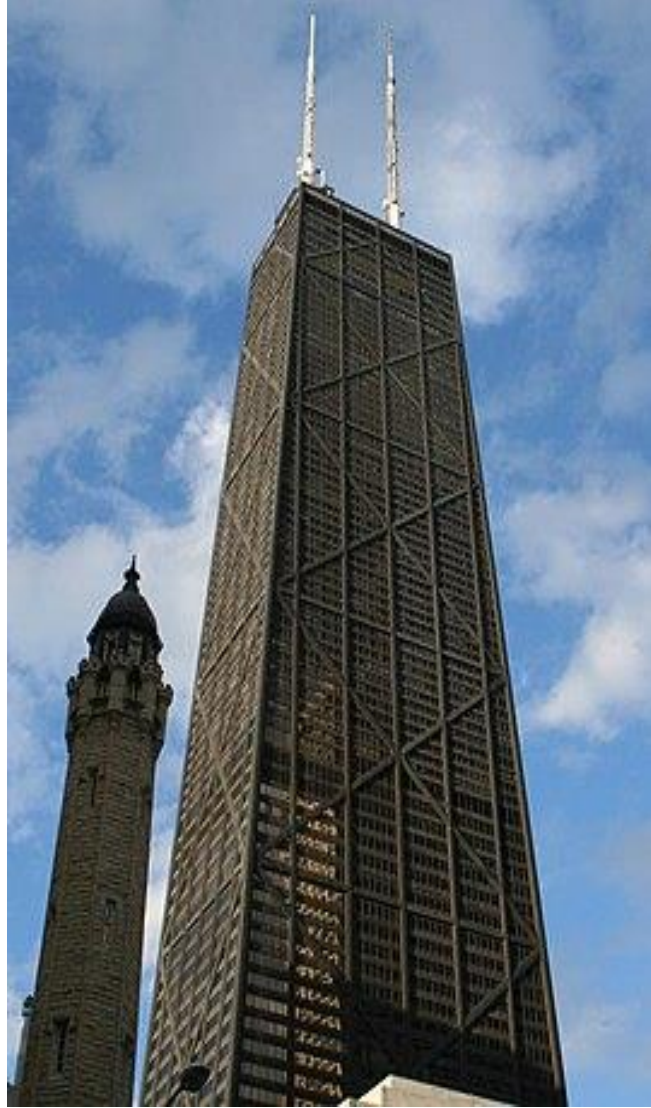


Şekil 17 : Taipei 101 TMD (B)

Boston'da bulunan 60 katlı John Hancock Kulesi'nde¹ (Şekil 18) yapıya gelen rüzgar kuvvetini azaltmak için 58. katın sonunda 67 metre arayla iki adet sönümleyici kullanılmıştır. Her bir sönümleyicinin ağırlığı 300 ton olup, 9 metre uzunluğunda metal bir plaka üzerine monte edilen, 2.5 metre x 2.5 metre ölçülerinde ve 0.9 metre derinliğinde, kurşunla doldurulmuş çelik bir kutudan oluşmaktadır. LeMessurier Association ve MTS.Corp System tarafından 3 milyon doların üzerinde bir maliyetle

¹ John Hancock Tower

inşa edilen bu sistemin, binanın yer değiştirmesini yüzde 40 ila 50 oranında azaltması bekleniyor.



Şekil 18 : John Hancock Merkezi

City Corp kulesi¹ Manhattan, New York'ta 279 metre yükseklikte yer almaktadır . Bu merkezin ayarlı kütle sönümleyicisi LeMessurier firması tarafından tasarlanıp ve üretilmiştir. Bu binanın ayarlı kütle sönümleyicisi yapının tepesinde yer alıyor ve 350 ton kütleyle sahipse, birinci modun etkin kütlelerinin yaklaşık %2'sidir (Şekil A-). Bu sönümleyiciin kullanılmasıyla yapının hareket aralığının %50 oranında azalması, yani yapının sönümlemesinin %4'e çıkması beklenmektedir. Bu sönümleyici 1,9 x 1,9 x 2,6

¹ Citigroup Center tower

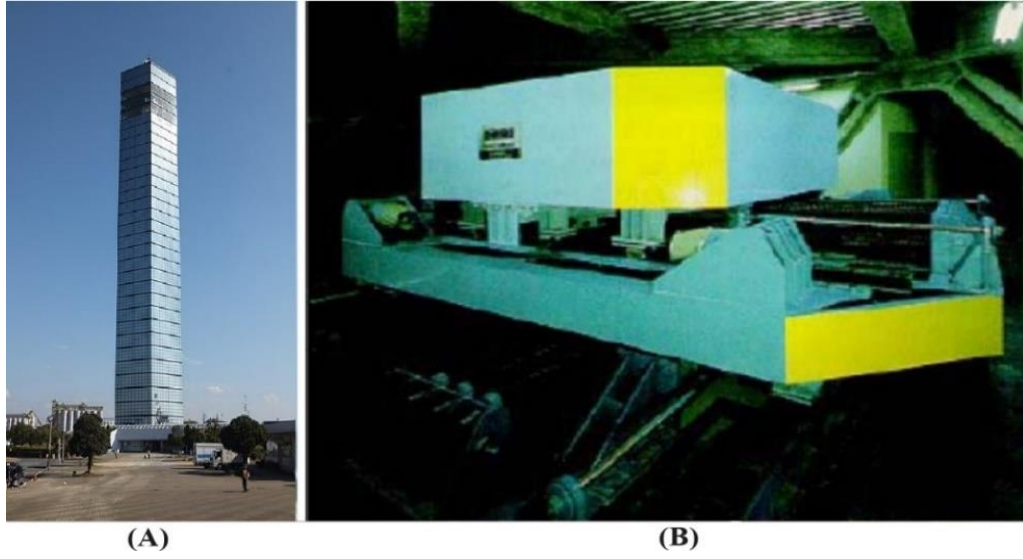
metre (uzunluk x genişlik x yükseklik) boyutlarında beton bloktan oluşmakta olup, 60 cm çapında hidrolik basınç altında 12 adet mesnet üzerine oturtulmuştur.



Şekil 19 : CitiCorp Kulesi ve Kulede uygulanan TMD

Chiba Kulesi¹, Japonya'da TMD ile donatılmış ilk kuledir. 125 metre uzunluğundaki bu kulenin yapısı 1950 ton ağırlığındaki çelik iskeletten oluşuyor. Birinci ve ikinci modun periyodu X yönünde 2.25 saniye ve 0.51 saniye, Y yönünde ise bu periyotlar sırasıyla 2.7 saniye ve 0.57 saniyedir. Ana modun sönümlemesi %0,5 olarak tahmin edilmektedir. Daha yüksek frekanslarla orantılı sönümlemenin daha fazla olduğu kabul edildi. TMD kullanmanın amacı hem X hem de Y yönleri için zayıflamayı arttırmaktır. Mitsubishi Çelik Fabrikası tarafından yapılan sönümleyici sistemi Şekil A-20-B'de gösterilmektedir. Sönümleyicinin kütesinin birinci modun kütesine X ve Y yönlerindeki oranı sırasıyla 1.120 ve 1.180, X ve Y yönlerindeki periyodu 2.24 saniye ve 2.72 saniyeye eşittir ve sönümleyicinin sönümlemesi %15 olarak kabul edilmiştir. Sönümleyici ile kule arasındaki maksimum hareketi her yönde ± 1 metredir. Sönümleyicilere rağmen üst katların yer değiştirmesi %30-40 azaltılmıştır.

¹ Chiba Port Tower



Şekil 20 : Chiba Liman Kulesi veKuledeki uygulanan sönümleyici

Çizelge 2 : TMD'lerin uluslararası kullanımı

Yapı adı	Şehir/Ülke	TMD sayısı	Doğal frekans/Etkili kütle
Kanada Ulusal Kulesi	Toronto/Kanada	1	-
John Hancock Kulesi	Boston/ABD	2	0.14Hz / 2x300ton
Ruwais bacası	Abu Dhabi/U.A.E	1	0.49Hz / 10ton
Deutsche Bundespost	Nürnberg, Almanya	1	0.67Hz / 10ton
Yanbu Cement Co	KSA	1	0,49Hz / 10ton
Chiba Port Tower	Japonya	2	0.43Hz 10 ve 15 ton
Yokohama Körfez Köprüsü	Yokohama/Japonya	1	-
Fukuoka Tower	Fukuoka, Japonya	2	0.33Hz 25 ve 30 ton
CitiCorp Tower	NewYork/ABD	1	0.16Hz / 20ton
Higashiyama Sky Tower	Nagoya, Japonya	1	0.5Hz / 20ton
Huis Ten Bosch	Chiba/Japonya	2	0.43Hz 10 ve 15 ton
Chifley tower	Fukuoka/ Japonya	2	0.75Hz / 25 ve 30 ton

4. Sınırlamalar

- TMD'lerin kullanımının sınırlamaları vardır:
- TMD'ler yalnızca bir modun tepkisini azaltmak için etkilidir ve bu, yapının sismik yüklere karşı tepkilerini kontrol etmede kullanımlarını azaltır.
- TMD'ler doğal frekansına karşı son derece hassastır.
- TMD'ler çok fazla yer kaplar.

Bu sınırlamaları ortadan kaldırmak için, özellikle endüstride 1. ve 2. durumlarda, genellikle ilgili bölümlerde değinilecek olan aktif veya karışık regüasyonlu kütle sönümleyiciler kullanılır.

5. Son Hususlar

Bu bölümde aktif ve pasif kontrolün temel kavramları ifade edilmeye ve her alandaki son gelişmeler ve yapısal uygulamalar getirilmeye çalışılmıştır. Bu kavramların binaların yapısal tasarımında ve güçlendirilmesinde uygulanmasına yönelik önemli adımlar atılmış olsa da, teknolojinin tamamının hâlâ gelişmekte olduğu vurgulanmalıdır. Ve elbette önümüzdeki yıllarda da bu gelişmeler hem yazılım ve donanım alanında hem de tasarım yöntemleri alanında önemli ölçüde devam edecek. Yapı mühendisliğinde yenilikçi sistemlerin kabul edilebilirliği, verimlilik artış parametrelerinin inşaat fiyatına ve uzun vadedeki etkilerine göre birleştirilmesine dayalı olarak ifade edilmektedir. Bu teknolojinin yapısal uygulamalarda daha geniş ve daha hızlı kullanılmasının kolaylaştırılması için gösterilen çabalar devam etmelidir. Bu hedefe ulaşmak, etkili sistemlerin toplanmasını ve bu sistemlerin verimliliğinin doğru bir şekilde belirlenebilmesini sağlayacak deneysel ve analitik tekniklerin daha da geliştirilmesini gerektirir.

Bildiğiniz gibi yapısal sistemler farklı yapısal bileşenlerin karmaşık bir birleşimidir, bu nedenle bu tür karmaşık sistemlerin içine yeni yenilikçi sistemlerin yerleştirilmesi ve verimliliklerinin gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

F. Binaların Fasarımı Depreme Karşı Standardı (ASCE¹: Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği)

1. Binaların Mimarisinde Depreme Karşı Tasarımına Yönelik Düzenlemeler

Binanın planı basit ve birbirine dik iki yönde mümkün olduğunca simetrik olmalı, çok fazla gerileme yapılmamalı ve bina yüksekliğinde planın asimetrik değişikliklerinden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.

Mümkün olduğunca 1,5 metreden büyük konsol yapmaktan kaçının.

Katların diyaframlarında birbirine bitişik büyük açıklıklar oluşturmaktan kaçının.

Katların kütlelerinde büyük değişikliklere neden olacak şekilde katların alanını azaltmak veya arttırmaktan mümkün olsa bile kaçınılmalıdır.

2. Depreme Karşı Tasarım Standardında Genel Yapısal Hususlar (ASCE)

Depremi yatay kuvvetlerine dayanıklı elemanlar, bu kuvvetlerin döşemelerde neden olduğu burulmayı en aza indirecek şekilde düşünülmelidir. Bu amaçla her bölümdeki her katın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafenin o kesitteki bina boyutunun %5'inden az olması uygundur.

3. Binaları ASCE Standardına Göre Sınıflandırma

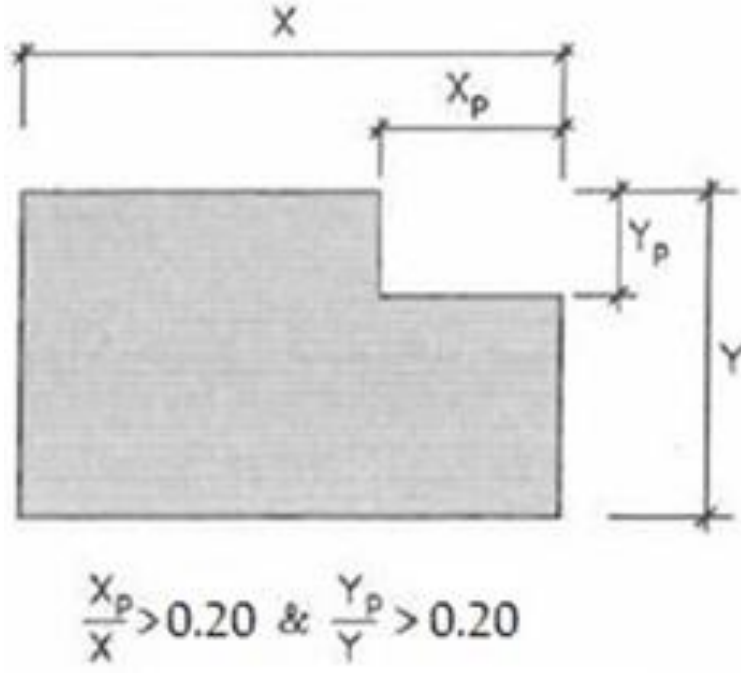
Planda ve yükseklikte kütle dağılımı ve sertlik dağılımının geometrik şekli aşağıdaki özelliklerden birine sahiptir, "düzensizdir", aksi takdirde düzenli kabul edilir.

3.1. Plandaki Düzensizlik

A- Planda Düzensizlik:

Binanın köşelerinden birinde iki yönde aynı anda çekilmenin o yöndeki plan uzunluğunun %20'sinden fazla olması durumu.

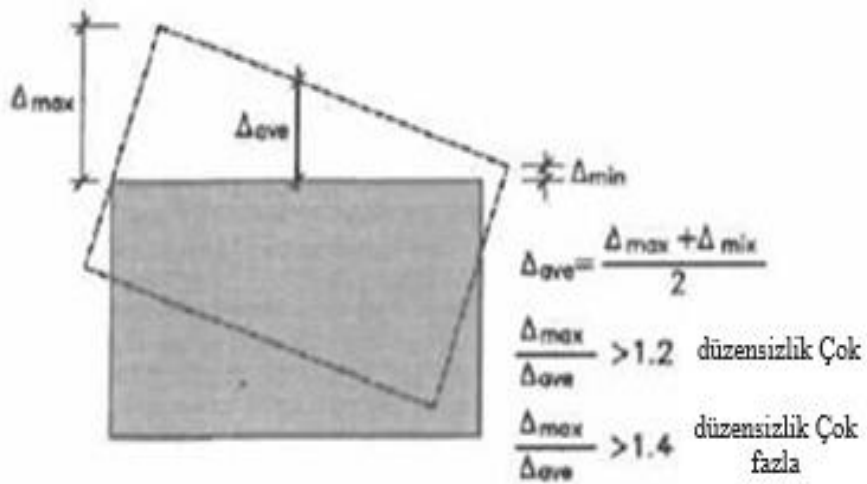
¹. The American Society of Civil Engineers



Şekil 21 : Planda düzensizlik

B- Burulma Düzensizliği:

Rastgele burulma dahil olmak üzere ve $A_j = 1$ büyütme faktörünün bire eşit olduğu dikkate alındığında, her katta binanın bir ucundaki maksimum yer değiştirmenin, o kattaki binanın her iki ucundaki ortalama yer değiştirmenin %20'sinden büyük olduğu durumlarda.



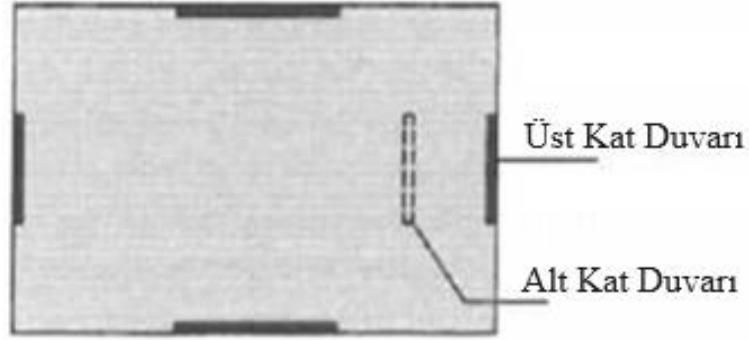
Şekil 22 : Burulma düzensizliği

C- Diyaframda Düzensizlik:

Açıklık alanında ani bir değişikliğin toplam açıklık yüzeyleri zemin yüzeyinin %50'sinden fazla olduğu durumlarda veya diyaframın sertliğinde, bitişik zeminlerin sertliğinin %50'sinden fazla ani bir değişiklik olur.

D- Sayfa Dışında Düzensizlikler:

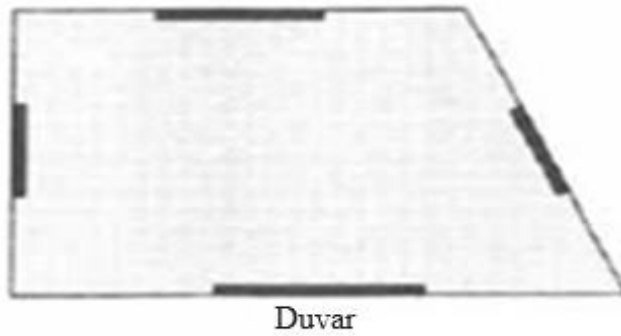
Katlardaki yan taşıyıcı bileşenlerden en az birinde plaka değişikliği gibi yanal kuvvet iletim yolunda yan taşıyıcı sistemde süreksizlik olduğu durumlarda.



Şekil 23 : Sayfa Dışında Düzensizlikler

E- Paralel Olmayan Distem Düzensizliği:

Yan taşıyıcının bazı düşey bileşenlerinin binanın ana ortogonal eksenlerine paralel olmadığı durumlarda.

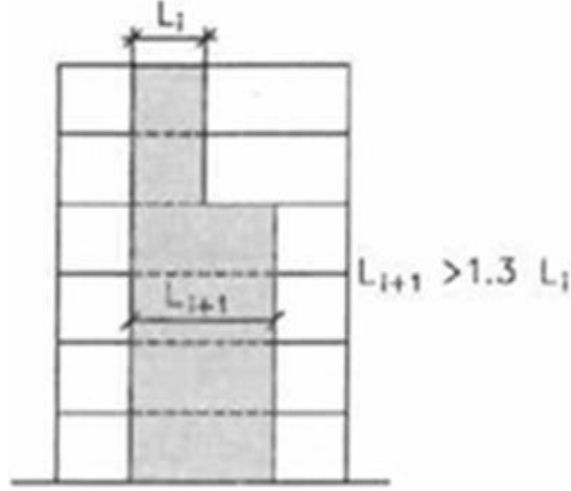


Şekil 24 : Paralel olmayan sistem düzensizliği

3.2. Yükseklikte Düzensizlik

A- Geometrik Düzensizlik:

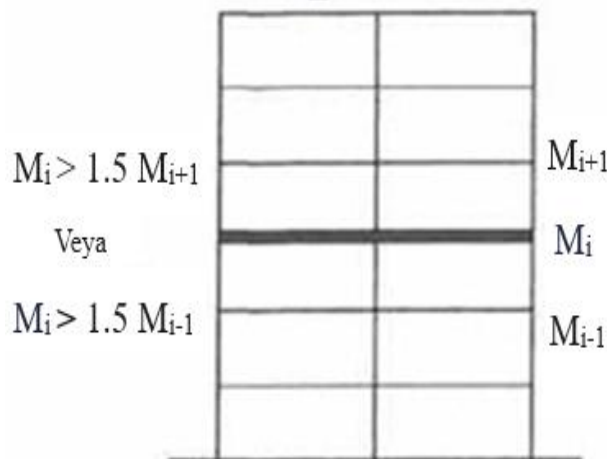
Her kattaki yan taşıyıcı sistemin yatay boyutlarının bitişik katlardakilerin %130'undan fazla olması durumunda.



Şekil 25 : Geometrik düzensizlik

B- Kütle Düzensizliği:

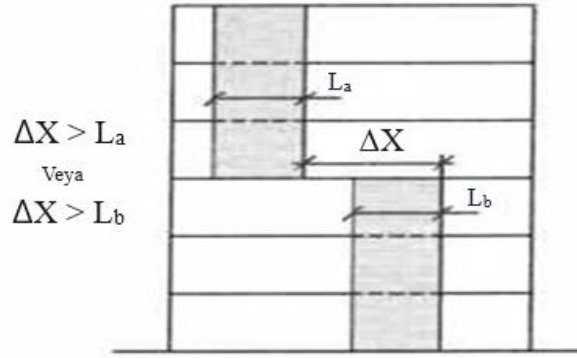
Her katın kütlesinin bitişik katların kütlelerinden %50'den fazla farklı olduğu durumlarda. Çatı ve çatı döşemeleri bu tanımın dışındadır.



Şekil 26 : Kütle düzensizliği

C- Yan Taşıyıcı Sistemin Bağlantısının Düzensizliği:

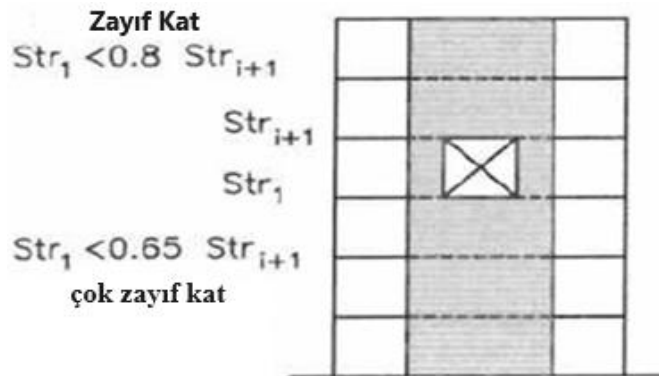
Yanal taşıyıcı sistemin bir kısmının yükseklikte kesildiği ve böylece ters dönüşün kiriş, döşeme, kolon ve duvarlar üzerindeki etkilerinin değişikliklere neden olduğu durumlarda.



Şekil 27 : Yan taşıyıcı sistemin bağlantısının düzensizliği

D- Yanal Direncin Düzensizliği:

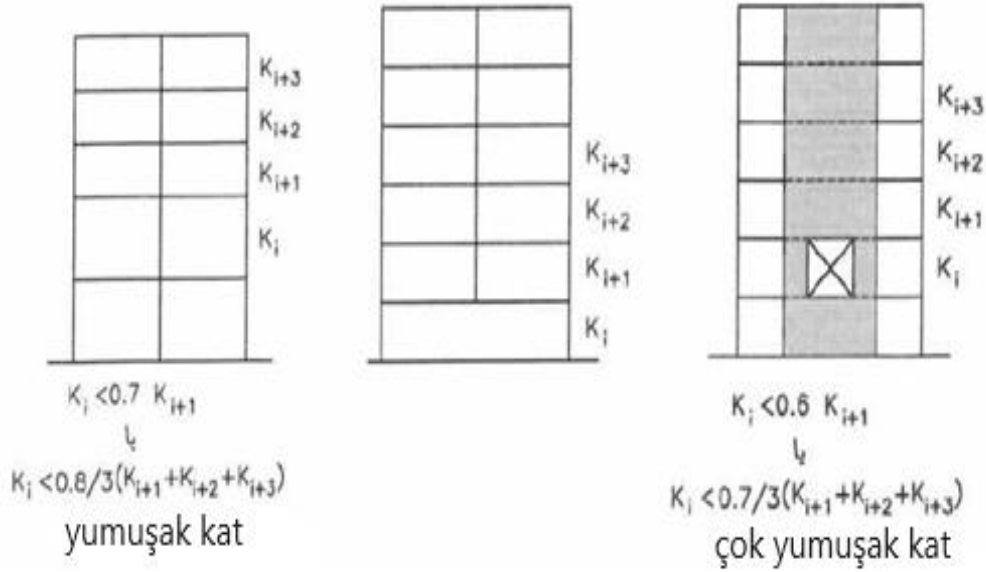
Döşemenin yanal direncinin, üstündeki döşemenin yanal direncinin %80'inden az olduğu durumlarda bu tür döşemelere zayıf kat adı verilir. Değerin % 65'e düşürüldüğü durumlarda, sözde çok zayıf kat olarak tanımlanır.



Şekil 28 : Yanal direncin düzensizliği

E- Yanal Sertlik Düzensizliği :

Her katın yanal rijitliğinin, üstündeki döşemenin yanal rijitliğinin %70'inden veya üstündeki üç katın ortalama yanal rijitliğinin %80'inden az olduğu durumlarda bu tür zeminlere yumuşak kat adı verilir. Değerlerin sırasıyla %60 ve %70'e düştüğü durumlarda çok yumuşak kat adı verilir.

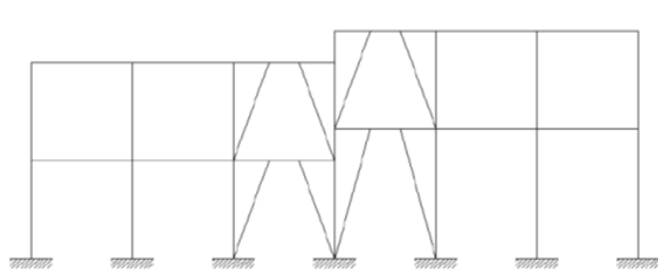


Şekil 29 : Yanal sertlik düzensizliği

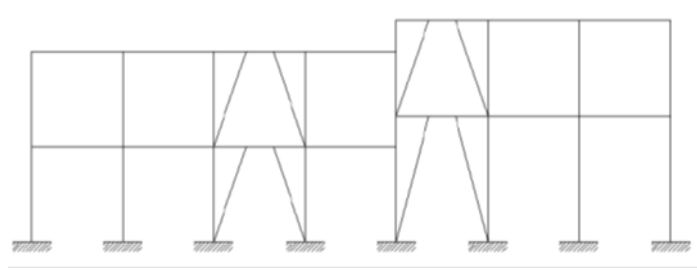
3.3. Dupleks Yapıların Düzensizliğini

Farklı seviyelerdeki binalar nelerdir?

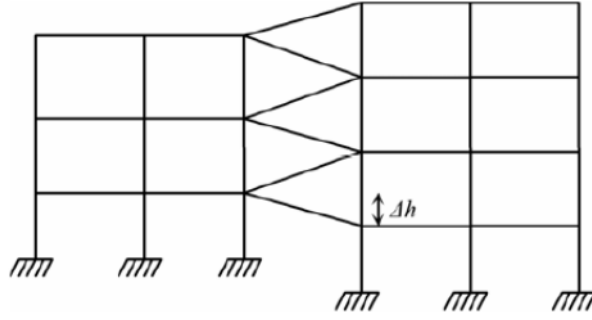
yükseklik farkı olan binalar veya dupleks binalar, kat kotları birbirinden (Yapının iki bölümünün bağlantı alanına merdiven, asansör, çatı penceresi vb. yerleştirilebilir) Δh uzaklıkta olan, boşluklu veya boşluksuz iki şekilde yan yana yerleştirilebilen binalardır. aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 30 : Mesafesiz dupleks bina



Şekil 31 : Mesafeli dubleks bina (1)



Şekil 32 : Mesafeli dubleks bina (2)

Bir deprem sırasında iki bitişik binanın faz dışı titreşimi iki bina arasında çarpışmaya neden olur. Başka bir deyişle, döşeme diyaframındaki herhangi bir düzensizlik veya süreksizlik, bir bütün olarak kolonlarla ve düşey bileşenlerle bağlantı yerinde gerilmelerin yoğunlaşmasına neden olur.

Döşemeler depremin oluşturduğu atalet kuvvetini kolonlara aktarır ve kısa kolonların rijitliği benzer kolonlara göre daha fazla olduğundan bu kuvvetlerin büyük bir kısmı döşemenin kısa kolonlarına ulaşır ve uygun tasarım yapılmadığı takdirde bu Depremde ciddi hasara uğrarlar.

Mesafesiz dubleks binalarda, bir katın düz katının bitişikteki binanın kolonunun orta bölgesine çarparak kolonda büyük bir kesik oluşturması ve bu durumun onarılamaz hasarlara yol açması mümkündür. Bu nedenle farklı kat seviyelerine sahip yapılar özel yükleme gerektirir.

3.4. Düzensiz Binaların İnşasına İlişkin Kısıtlamalar

Orta ve yüksek nispi riskli alanlarda çok zayıf katlı binalara izin verilmez ve göreceli olarak düşük riskli alanlarda üç katı veya 10 metreyi geçemezler.

Nispi riskin orta ve yüksek olduğu bölgelerde çok yumuşak kat düzensizliği ve şiddetli burkulmaya sahip binaların inşasına yalnızca tip 1, 2 ve 3 zeminlerde izin verilmektedir.

4. ASCE Standardı Dan Hariç Bir Düzensizlik :

Bildiğiniz gibi ASCE standardı başında usulsüzlük türlerine ilişkin açıklamalar var. ASCE standardı ortada bir usulsüzlük bırakması ve bu konuda hiçbir şey söylememesi ilginizi çekebilir.

ASCE standardında ele alınan ve kısaca ele aldığımız yükseklik düzensizliklerinin çeşitlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Geometrik Düzensizlik
- Kütle Düzensizliği
- Yanal Dirençte Düzensizlik
- Yanal Yük Sisteminin Bağlantısının Düzensizliği
- Yanal Sertlikte Düzensizlik

5. Asimetrik Yapılarda Araştırmanın Gerekliliği ve Önemi

Yapılarda burulmayı kontrol etmek için önerilen yöntemlerden biri, bunlar da dahil olmak üzere yapıların yüksek performans seviyesi de dahil olmak üzere birçok avantajı nedeniyle sönümleyiciler gibi enerji amortisman ekipmanlarının kullanılmasıdır. Bu amaçla, depremlerde toplam tepkiyi azaltırken, yanıtların asimetrisini en aza indirmek için yapının planında ve yüksekliğinde bu ekipmanların uygun bir dağılımının oluşturulması gerekmektedir. Bu arada viskon sönümleyiciler, oluşturdukları kuvvetlerin diğer yapı elemanlarının kuvvetlerine göre faz dışı olması nedeniyle yapıların tepkisini kontrol etmede oldukça etkilidir. Bu alanda birçok analitik çalışma yapılmıştır ancak teknik inceleme bu alanda az sayıda laboratuvar çalışmasını göstermektedir. Elbette laboratuvar çalışmaları asimetrik yapıların davranışlarının belirlenmesinde ve ilgili analitik çalışmaların doğrulanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

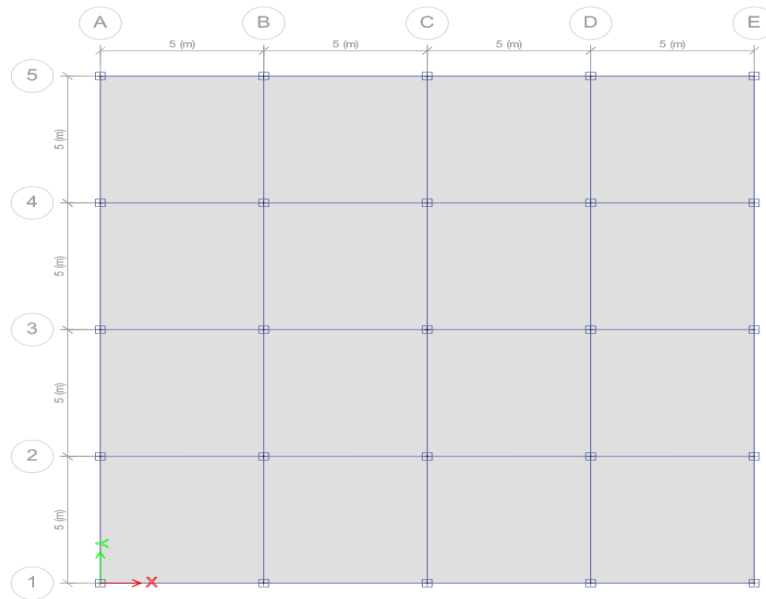
III. MODELLEME YÖNTEMİ

A. Giriş

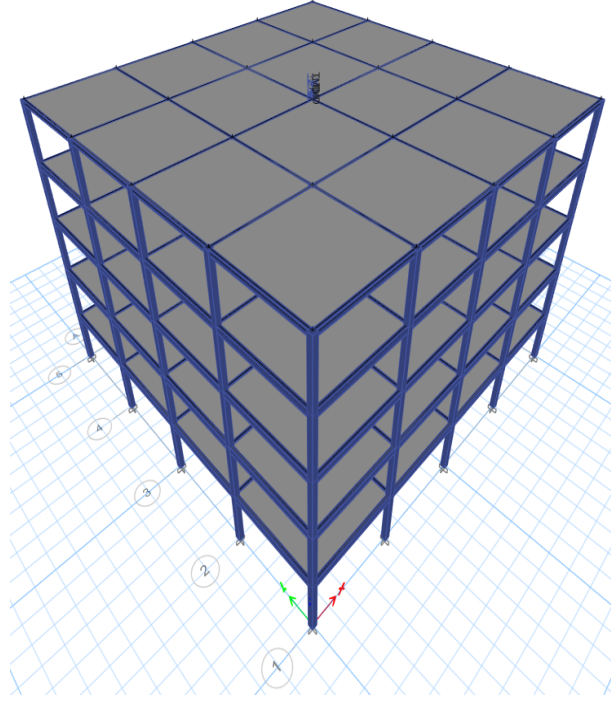
Bu bölümde, yüksekliklerinde kütle düzensizliği olan 5, 7 ve 12 kat yüksekliğindeki üç çelik model, bir kez ayarlı kütle sönümleyici olmadan ve bir kez de ayarlı kütle sönümleyici kullanılarak doğrusal dinamik analize tabi tutulmuştur. zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Dinamik analiz için Kahramanmaraş, Düzce ve Kocaeli'nin üç depremi kullanılmıştır. Bu bölümde analiz modelleri ve özellikleri tanıtılarak sonuç bölümünde analitik programın çıktıları sunulmaktadır.

B. Yapının Geometrik Özellikleri

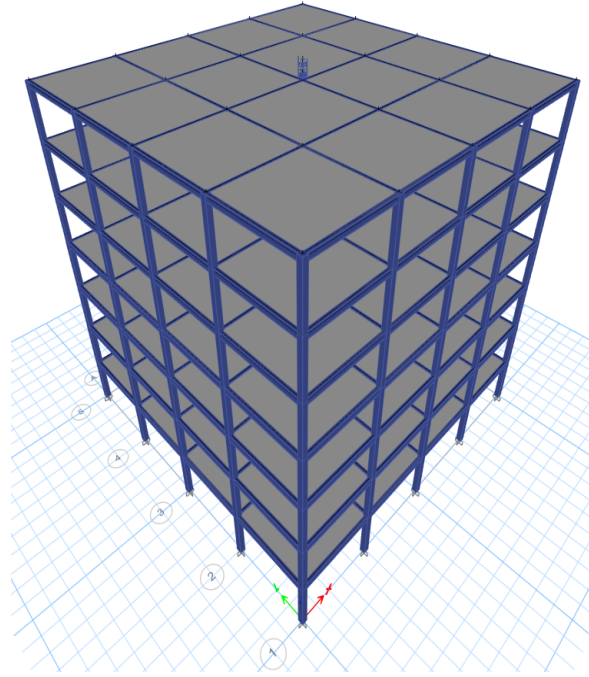
Düzenli geometrik plana sahip bir çelik yapı, 20 metreye 20 metre ölçülerinde, 5, 7 ve 12 katlı, her katın yüksekliği 3 metre olan modellenmiştir. Şekil 33 amaçlanan yapının planını göstermektedir. Şekil 34, 35 ve 36 yapıların üç boyutlu şeklini göstermektedir



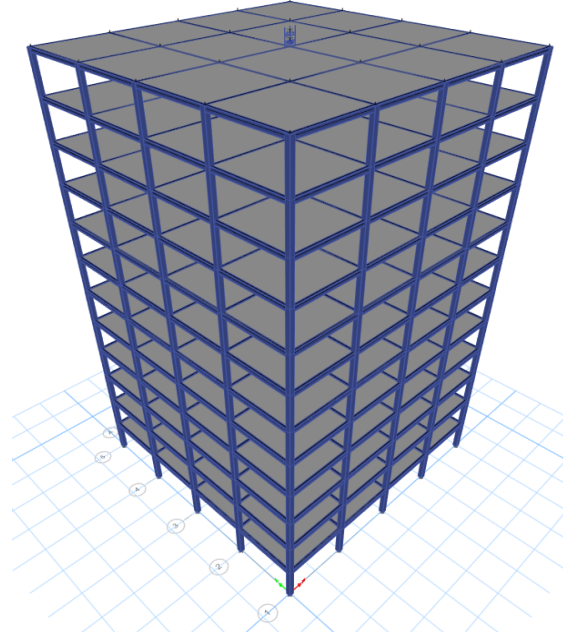
Şekil 33 : İncelenen yapının planı



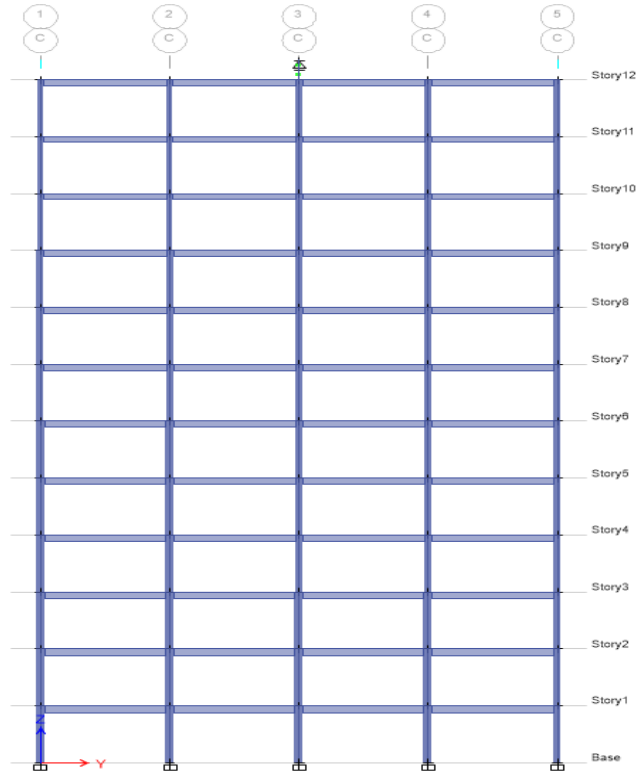
Şekil 34 : 5 katlı 3D yapı modeli



Şekil 35 : 7 katlı 3D yapı modeli



Şekil 36 : 12 katlı 3D yapı model



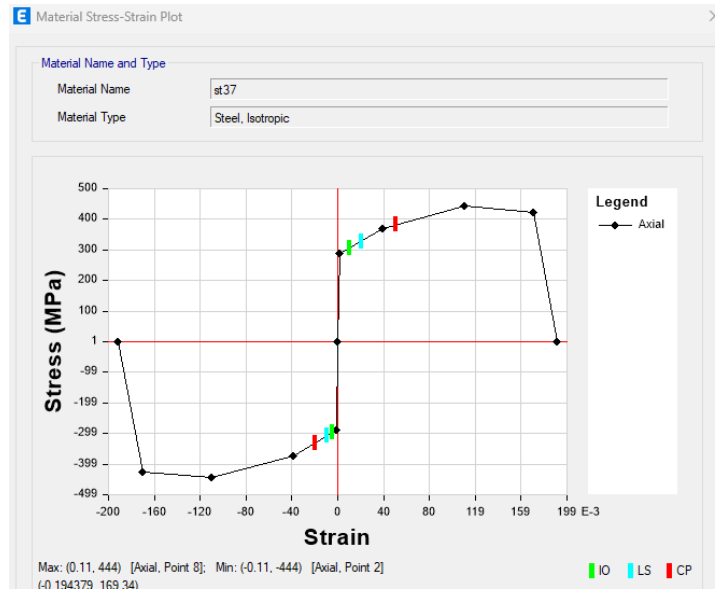
Şekil 37 : 12 katlı binanın kat planı

C. Malzeme Özellikleri

Kullanılan çelik modellerde ST37 çelik spesifikasyonu kullanılmaktadır.

Çizelge 3 : ST37 çelik özellikleri

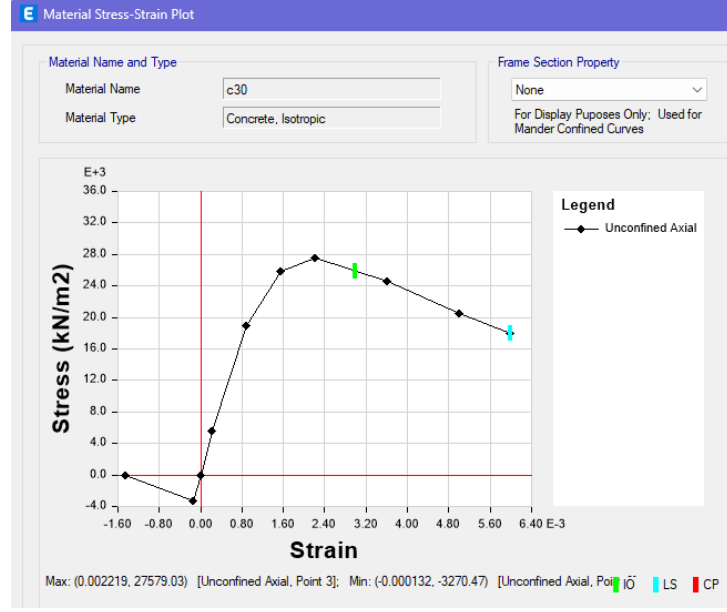
Material	Fy MPa	Fu MPa	Fye MPa	Fue MPa	SHard mm/mm	SMax mm/mm	SRup mm/mm	FinalSlope
ST37	240	370	288	444	0.015	0.11	0.17	-0.1



Şekil 38: Çeliğin doğrusal olmayan davranışının özellikleri

Çizelge 4 Çizelge 3.2: C30 beton özellikleri

Material	Fc MPa	LtWt Conc	Fr	SSCurve Opt	SSHys Type	SFc mm/mm	Scap mm/mm
C30	27.58	Yok	Yok	Mander	Concrete	0.002219	0.005



Şekil 39 : Kullanılan betonun davranış özellikleri

*Beton sadece döşemelerde kullanılmış

D. Yükleme

Modellenen çelik yapının zemini 150 mm kalınlığında beton döşemedir. Yapının kullanımı konut amaçlıdır. Kar, rüzgar ve diğer yüklerin uygulanması ihmal edilmiştir. Önceki bölümde tanımlanan kütle düzensizliği tanımlanarak çatı öncesi kat planı, yapıdaki üst ve alt kat ağırlığının 1,5 katından daha fazla bir kütle ile tanımlanır.

Çizelge 3.3 : Hareketli yük ve ölü yük özellikleri

Yük Türü	Düzensiz $\frac{KN}{m^2}$	Düzenli $\frac{KN}{m^2}$
Ölü Yük	7.5	5
Hareketli	3	2

E. Modele Tanıtılan Çelik Profilleri

Çizelge 5 : 5 katlı yapının çelik profilleri

Kat	Kiriş	Kolon
1	IPE330	TUBO260X260X16
2	IPE330	TUBO260X260X16
3	IPE300	TUBO240X240X16
4	IPE300	TUBO240X240X16
5	IPE240	TUBO240X240X16

Çizelge 6 : 7 katlı yapının çelik profilleri

Kat	Kiriş	Kolon
1	IPE330	TUBO300X300X16
2	IPE330	TUBO300X300X16
3	IPE330	TUBO280X280X16
4	IPE330	TUBO280X280X16
5	IPE300	TUBO260X260X16
6	IPE300	TUBO260X260X16
7	IPE300	TUBO260X260X16

Çizelge 7 : 12 katlı yapının çelik profilleri

Kat	Kiriş	Kolon
1	IPE360	TUBO320X320X20
2	IPE360	TUBO320X320X20
3	IPE360	TUBO320X320X20
4	IPE360	TUBO320X320X20
5	IPE330	TUBO300X300X20
6	IPE330	TUBO300X300X20

7	IPE330	TUBO280X280X20
8	IPE330	TUBO280X280X20
9	IPE300	TUBO280X280X20
10	IPE300	TUBO260X260X16
11	IPE300	TUBO260X260X16
12	IPE300	TUBO260X260X16

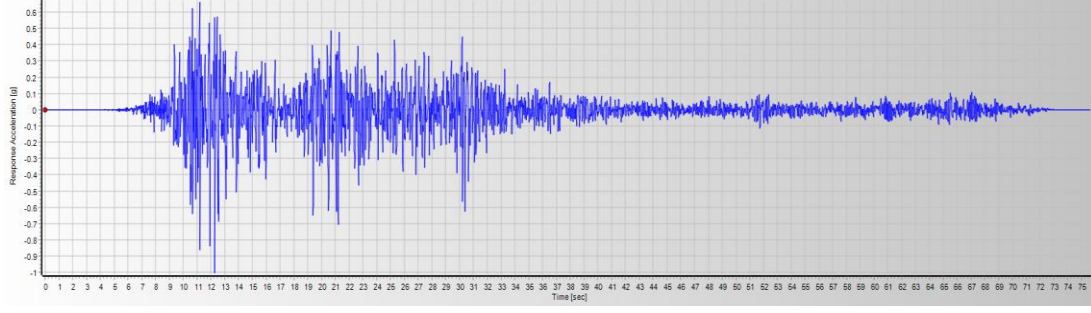
F. Kullanılan depremler

Bu analizde kullanılan analiz dinamik bir zaman geçmişi türüdür. Bu amaçla Kahramanmaraş (2023), Kocaeli/Gölcük (1999) ve Düzce (1999) numaralı şehirlerden üç deprem seçildi. Depremlerin ölçeği belirlendikten sonra modelde kullanılmıştır. Depremlerin ölçeği, rekordaki en büyük ivmenin 9,81'e eşit olan yer çekimi ivmesi değerine getirilmesine dayanmaktadır. Buna göre diğer kayıtlar da aynı oranda arttı. Aşağıdaki çizelgeler depremlerin özelliklerini göstermektedir.

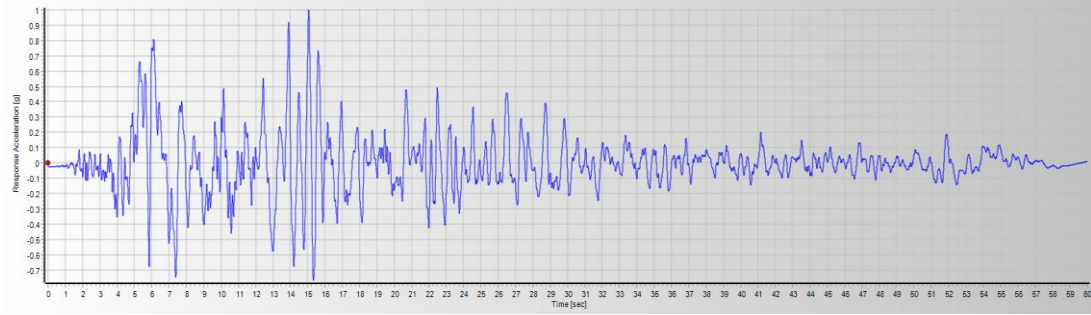
Çizelge 8 : İncelenen depremlerin özellikleri

Deprem	Zaman (Tarih)	Deprem büyüklüğü	Fayın uzaklığı(KM)	Vs30 zeminin dalga hızı(m/s)
Kahramanmaraş	2023	7.7	31.42	541
Kocaeli/Gölcük	1999	7.51	3.5	811
Düzce	1999	7.14	3.6	282

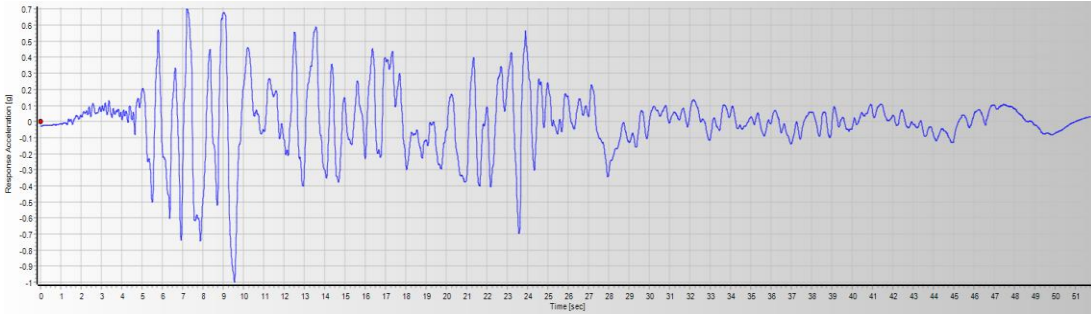
Bu üç kaydın seçiminde depremlerin lokalitesi temel alınmış olup, diğer seçim parametreleri ise kaydın oluşma zamanına, zemin tipine, fayın büyüklüğüne ve uzaklığına göre seçilmeye çalışılmıştır. modeller için olası verilerin genel alanını içerir.



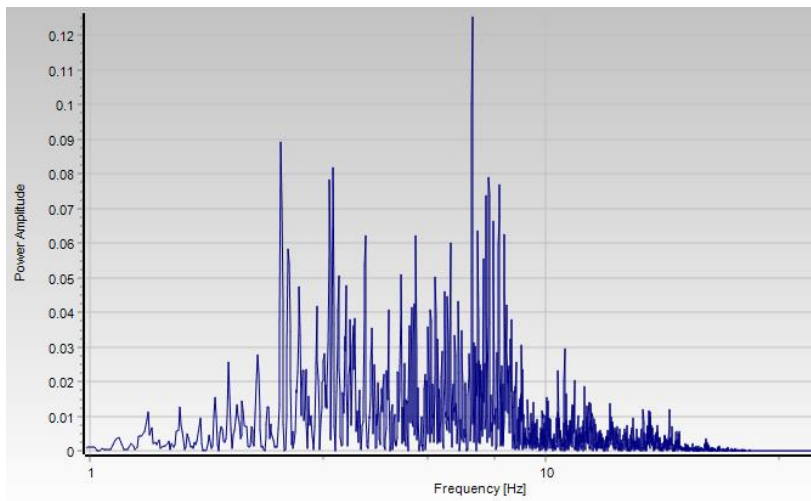
Şekil 40 : Kahramanmaraş depremi için ivme-zaman diyagramı



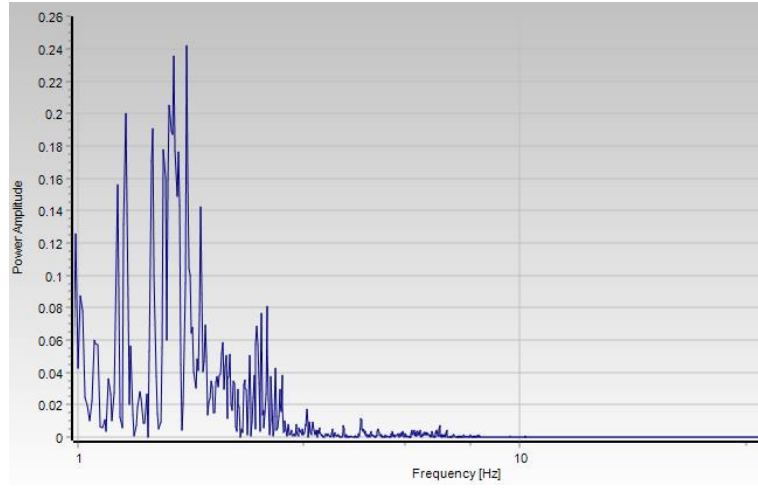
Şekil 41 : Kocaeli depremi için ivme-zaman diyagramı



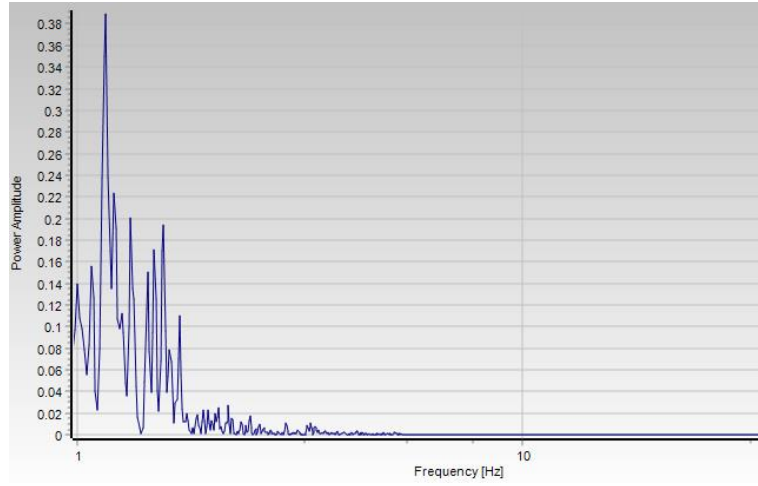
Şekil 42: Düzce depremi için ivme-zaman diyagramı



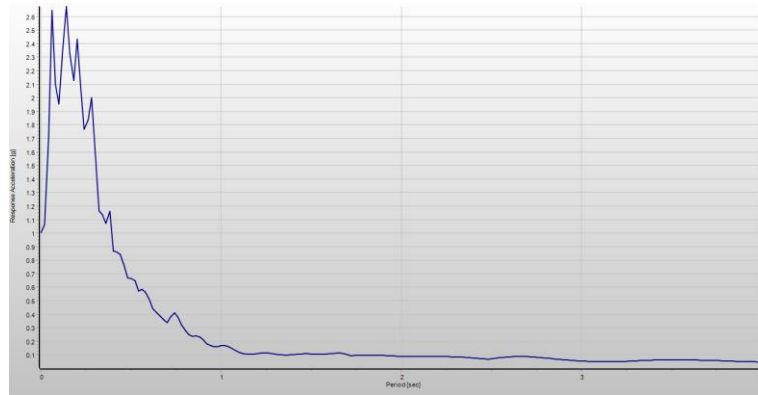
Şekil 43 : Kahramanmaraş depreminin frekans içeriği



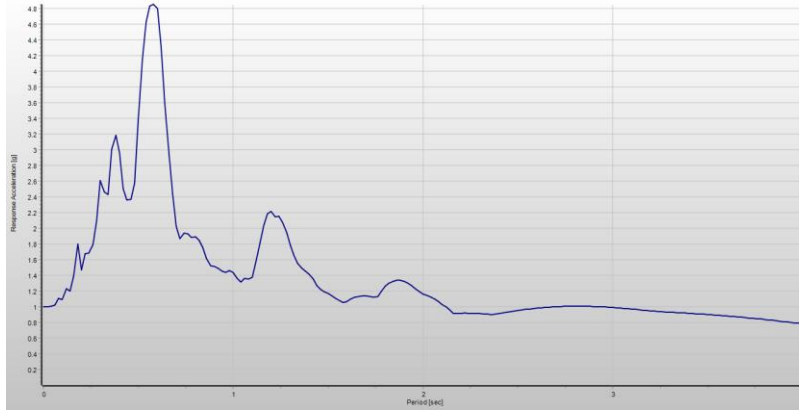
Şekil 44 : Kocaeli depreminin frekans içeriği



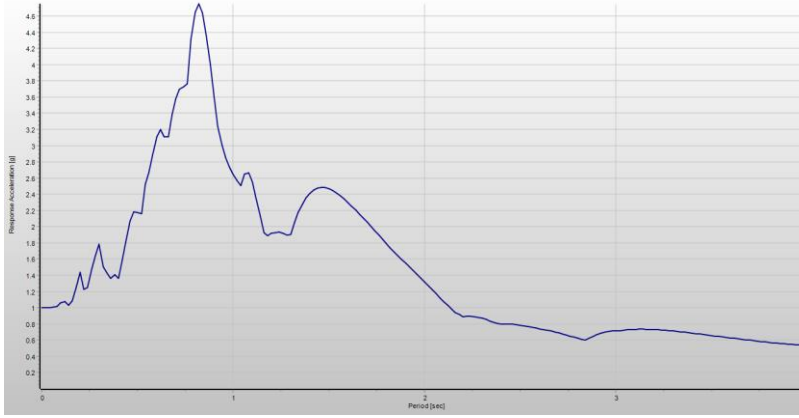
Şekil 45 : Düzce depreminin frekans içeriği



Şekil 46 : Kahramanmaraş depremi için ivme spektrumu



Şekil 47 : Kocaeli depremi için ivme spektrumu



Şekil 48 : Düzce depremi için ivme spektrumu

G. Kullanılan Ayarlı Kütle Sönümleyicinin Özellikleri

Kullanılan ayarlı kütle sönümleyici yaylı ve kütle sönümleyici tipidir. standartta ilişkiler ve deneme yanılma yöntemleri kullanılarak en iyi sonuca ulaşmak için bu tip sönümleyicinin teknik özellikleri çıkarılmış ve modelde kullanılmıştır. Yapılara ilişkin dinamik özellikler aşağıdaki çizelgede görülebilir.

Çizelge 9 : İncelenen sönümleyicilerin özellikleri

Yapı Tipi	Kütle (ton)	Etkili Sönümleme (KN-s/m)	x ve y Yönlerinde Yay Sertliği (KN/m)	Z Yönünde Yay Sertliği (KN/m)
5 Katlı	2	100	3000	1×10^7
7 Katlı	2	110	3200	1×10^7
12 Katlı	2	115	3400	1×10^7

Warburton , optimum α kuvvetleri (sönümleyicideki doğrusal olmayan katsayı) ve optimum R (büyütme katsayısı) ve deprem kuvvetleri gibi yapıya giren her türlü yük için optimum sönümlemeyi hesaplayabildi. Aşağıdaki çizelgede, sönümleyicinin özelliklerini hesaplanması için elde edilen ilişkiler sunulmaktadır. Çizelge 10 : TMD'de optimum sönümlemeyi elde etmek için Warburton bağıntıları

Uyarma Tipi		Tür	Optimal Parametr (R)	R_{opt}	α_{opt}	ξ_{opt}
Kuvvet	$P_0 e^{i\omega t}$	Yapı	$\frac{ky_1}{P_0}$	$\sqrt{1 + \frac{2}{\mu}}$	$\frac{1}{1 + \mu}$	$\sqrt{\frac{3\mu}{8(1 + \mu)}}$
İvme	$\ddot{x}_g e^{i\omega t}$	Teme l	$\frac{\ddot{x}_g + \ddot{y}_1}{x_g}$	$\sqrt{1 + \frac{2}{\mu}}$	$\frac{1}{1 + \mu}$	$\sqrt{\frac{3\mu}{8(1 + \mu)}}$
Rastgele Kuvvet	P(t)	Yapı	$\frac{\langle y_1^2 \rangle K^2}{2\pi S_0 \omega_s}$	$\sqrt{1 + \frac{3\mu}{4}} \sqrt{\frac{1}{\mu + \mu^2}}$	$\frac{\sqrt{1 + \frac{\mu}{2}}}{1 + \mu}$	$\sqrt{\frac{\mu + 0.75\mu^2}{4(1 + \mu)(1 + \frac{\mu}{2})}}$
Rastgele İvme	\ddot{x}_g	Teme l	$\frac{\langle y_1^2 \rangle \omega^2}{P_0}$	$(1 + \mu)^{1.5} \left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{4}\right)^{0.5}$	$\frac{(1 - \frac{\mu}{2})^{0.5}}{1 + \mu}$	$\sqrt{\frac{\mu - \frac{\mu^2}{4}}{4(1 + \mu)(1 - \frac{\mu}{2})}}$

H. Yapısal Modal Analiz Sonuçları

Çizelge 11 Çizelge 3.10: 5 katlı yapının modal analiz sonuçları

Modal	Periyot (Sn)	Frekans (cyc/sn)	Açısal Frekans (rad/sn)
1	1.139	0.878	5.514
2	1.139	0.878	5.514
3	0.961	1.04	6.5348
4	0.358	2.795	17.5641
5	0.358	2.795	17.5641
6	0.303	3.3	20.737
7	0.215	4.643	29.1745
8	0.215	4.643	29.1745
9	0.182	5.509	34.6139
10	0.148	6.773	42.5591
11	0.148	6.773	42.5591
12	0.123	8.119	51.0159

Çizelge 12 : 7 katlı yapının modal analiz sonuçları

Modal	Periyot (Sn)	Frekans (cyc/sn)	CircFreq (rad/sn)
1	1.306	0.766	4.8118
2	1.305	0.766	4.8133
3	1.088	0.919	5.7742
4	0.419	2.385	14.9863
5	0.419	2.385	14.9868
6	0.35	2.857	17.9526
7	0.231	4.333	27.2241
8	0.231	4.333	27.2244
9	0.192	5.205	32.7025
10	0.162	6.174	38.7904
11	0.162	6.174	38.7906
12	0.134	7.453	46.8272

Çizelge 13 : 12 katlı yapının modal analiz sonuçları

Modal	Periyot (Sn)	Frekans (cyc/sn)	Açısal Frekans (rad/sn)
1	2.003	0.499	3.137
2	2.003	0.499	3.137
3	1.656	0.604	3.7947
4	0.689	1.451	9.117
5	0.689	1.451	9.117
6	0.574	1.743	10.9486
7	0.394	2.539	15.9527
8	0.394	2.539	15.9527
9	0.329	3.043	19.1223
10	0.264	3.79	23.8119
11	0.264	3.79	23.8119
12	0.22	4.552	28.6032

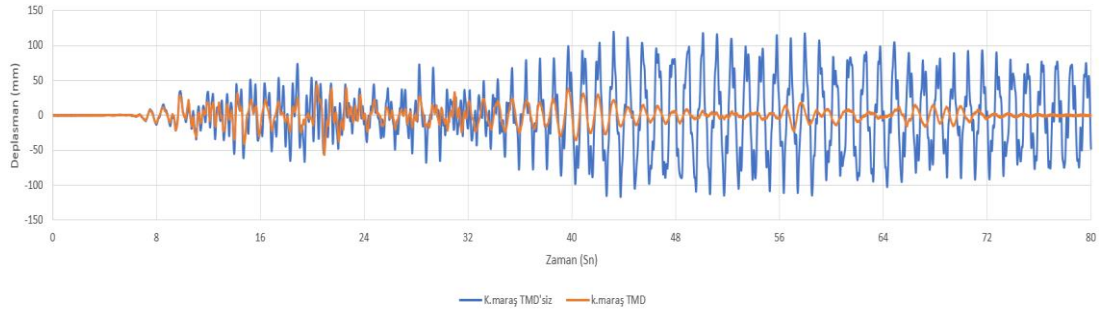
IV. SONUÇLARIN ANALİZİ

A. Giriş

Tezin bu bölümünde ayarlı kütle sönümleyicili ve ayarlı kütle sönümleyicisiz 5 katlı, 7 katlı ve 12 katlı çelik yapıların analiz sonuçları incelenmiştir. Bu tezde incelenen parametreler döşemelerin yer değiştirmesi, öteleme ve taban kesmesidir.

B. Kahramanmaraş Depreminden Dolayı 5 Katlı Yapının Analizleri

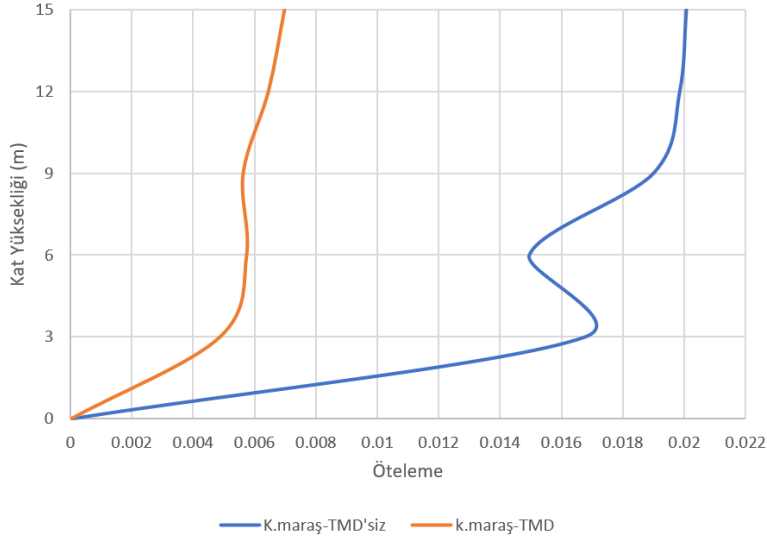
5 katlı yapının (ayarlı kütle sönümleyici yapı kontrol sistemi) en yüksek noktasındaki maksimum deplasman analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasman ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 49 : Kahramanmaraş depreminde 5 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı

Maksimum deplasman TMD'li yapı için (44 mm) rapor edilmiştir; bu, TMD'siz yapıya (120 mm) kıyasla önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu modeldeki deplasman azalması %65'tir.

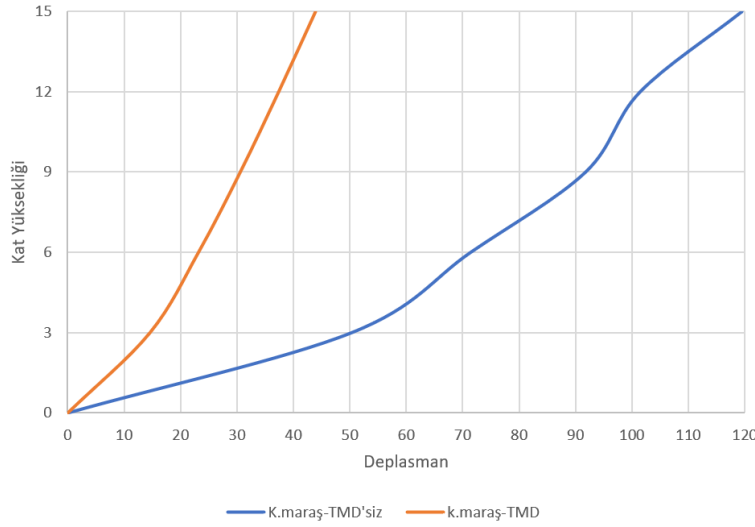
TMD sistemi ile donatılmış 5 katlı bir yapı için yapının en yüksek noktasındaki katlar arası öteleme analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 50 : Kahramanmaraş depreminde 5 katlı bir yapı için katlararası öteleme

TMD'siz yapının maksimum öteleme %2'dan %0.7'ye düştüğü görülmektedir.

Analiz sonuçlarından TMD tipi yapı kontrol sistemi ile donatılmış 5 katlı bir yapının kat deplasmanları çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan bir yapının kat deplasmanları ile karşılaştırılmıştır.

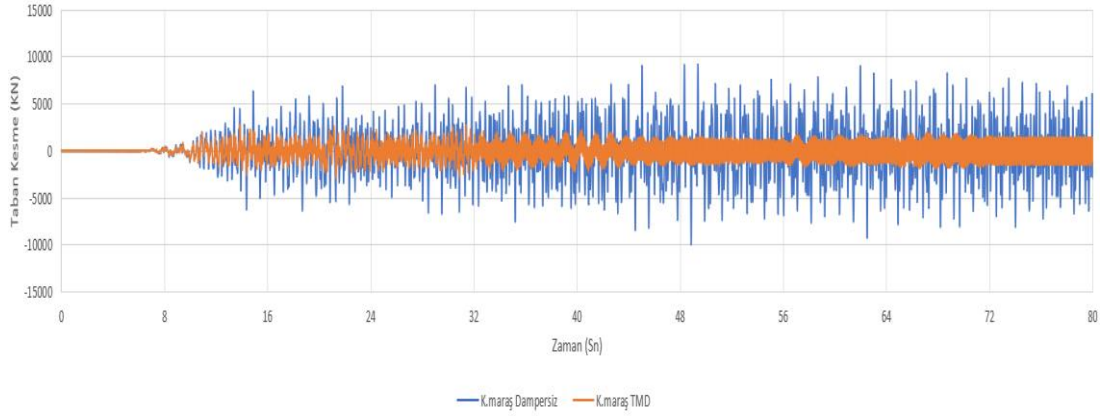


Şekil 51: Kahramanmaraş depreminde 5 katlı bir yapı için kat deplasmanları

TMD ile donatılmış yapıdaki deplasman azalması açıktır. Bu miktar azalma düzensizliğin olduğu katlarda daha çok fark edilir.

Her iki yapı için de taban kesmesi çizilmiştir. Taban kesme kuvveti yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Yapının taban kesme kuvvetinin azaltılması, yapısal elemanlar üzerindeki kuvvetlerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

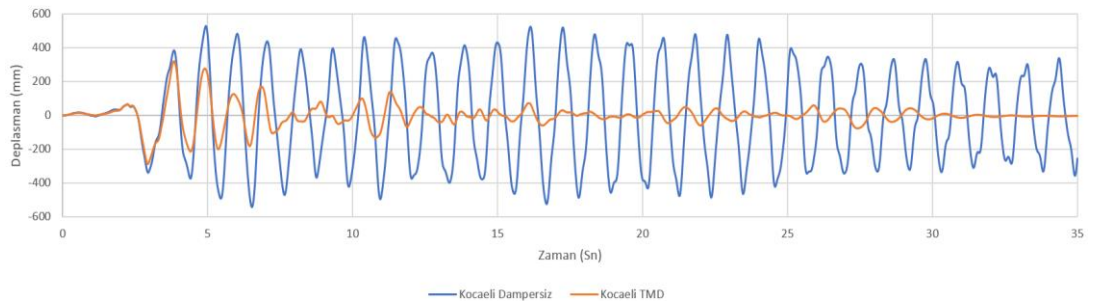
	TMD ile yapıda taban kesme (KN)	TMD'siz yapıda taban kesme (KN)
Max.	2759	9178
Min.	-2879	-9930



Şekil 52 : Kahramanmaraş depreminde 5 katlı bir yapı için taban kesme

C. Kocaeli Depreminde Dolaylı 5 Katlı Yapının Analizleri

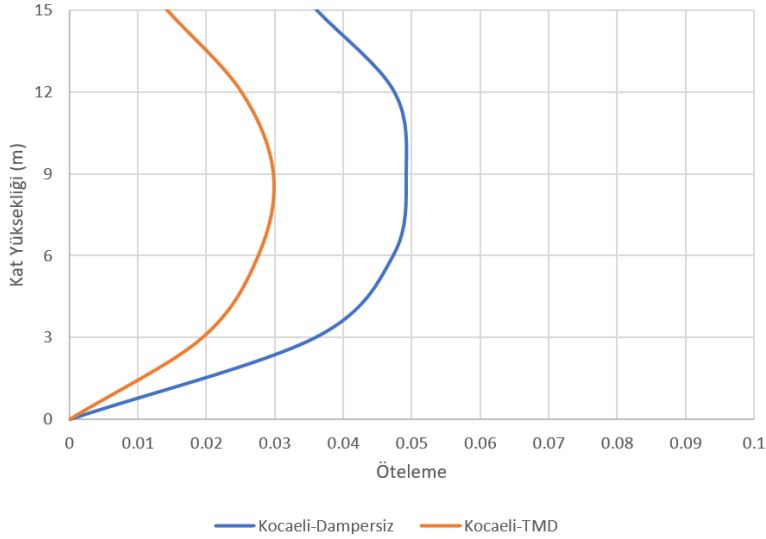
5 katlı yapının (ayarlı kütle sönümleyici yapı kontrol sistemi) en yüksek noktadaki maksimum deplasmanı analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 53 : Kocaeli depreminde 5 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı

Maksimum deplasman TMD'li yapı için (320 mm) rapor edilmiştir; bu, TMD'siz yapıya (529 mm) kıyasla önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu modeldeki deplasman azalması %14'tür.

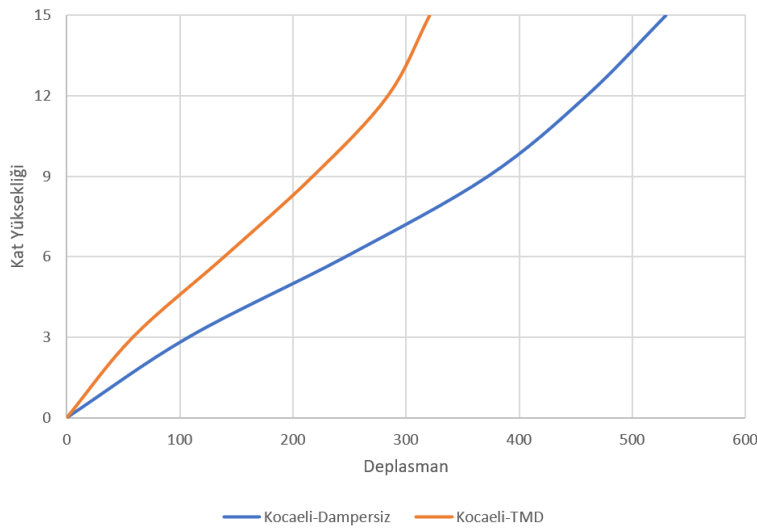
TMD sistemi ile donatılmış 5 katlı bir yapı için yapının en yüksek noktasındaki katlar arası öteleme analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 54 : Kocaeli depreminde 5 katlı bir yapı için katlararası öteleme

TMD'siz yapının maksimum öteleme %4.92dan %3'ye düştüğü görülmektedir.

Analiz sonuçlarından TMD tipi yapı kontrol sistemi ile donatılmış 5 katlı bir yapının kat deplasmanları çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan bir yapının kat deplasmanları ile karşılaştırılmıştır.

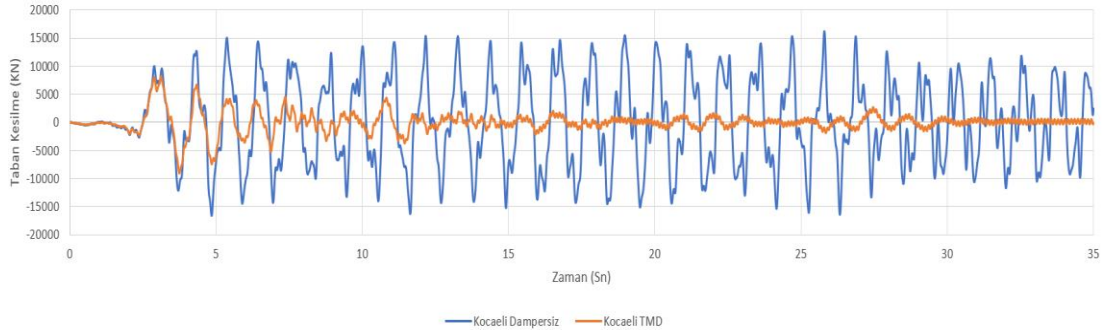


Şekil 55 : Kocaeli depreminde 5 katlı bir yapı için kat deplasmanları

TMD ile donatılmış yapıdaki deplasman azalması açıktır. Bu miktar azalma düzensizliğin olduğu katlarda daha çok fark edilir.

Her iki yapı için de taban kesmesi çizilmiştir. Taban kesme kuvveti yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Yapının taban kesme kuvvetinin azaltılması, yapısal elemanlar üzerindeki kuvvetlerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

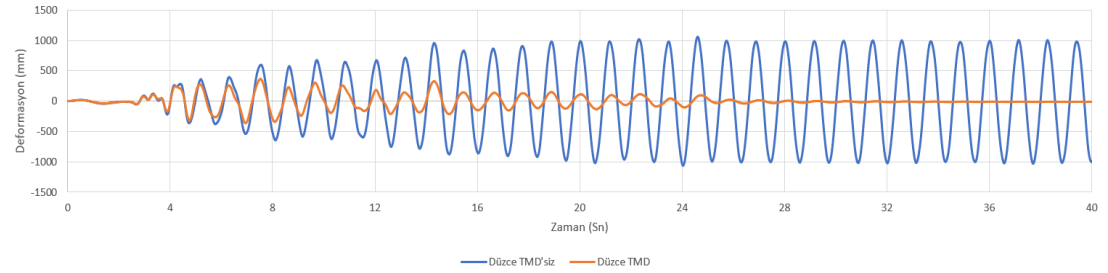
	TMD ile yapıda taban kesme (KN)	TMD'siz yapıda taban kesme (KN)
Max.	8138	16183
Min.	-9082	-16619



Şekil 56 : Kocaeli depreminde 5 katlı bir yapı için taban kesme

D. Düzce Depreminden Dolayı 5 Katlı Yapının Analizleri

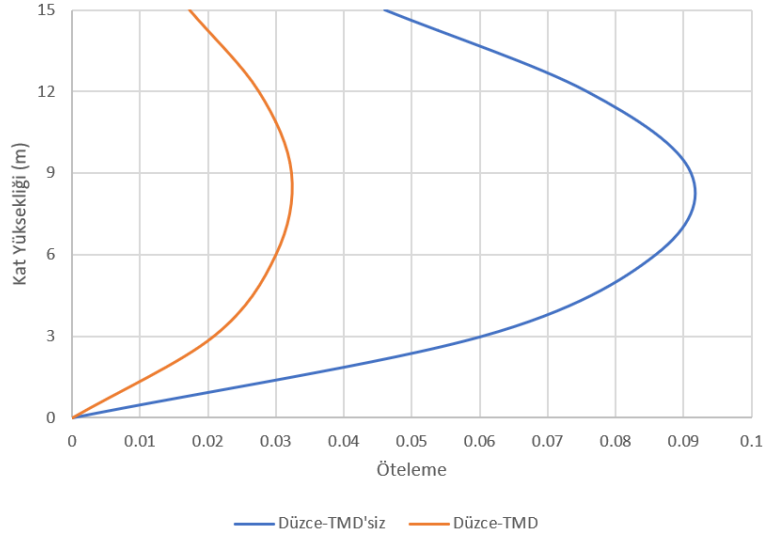
5 katlı yapının (ayarlı kütle sönümleyici yapı kontrol sistemi) en yüksek noktadaki maksimum deplasmanı analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 57 : Düzce depreminde 5 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı

Maksimum deplasman TMD'li yapı için (363 mm) rapor edilmiştir; bu, TMD'siz yapıya (1057mm) kıyasla önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu modeldeki deplasman azalması %66'dır.

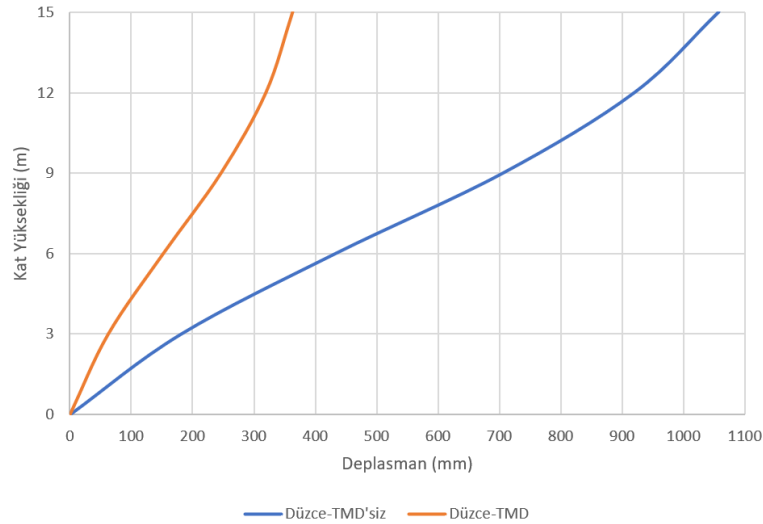
TMD sistemi ile donatılmış 5 katlı bir yapı için yapının en yüksek noktasındaki katlar arası öteleme analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 58 : Düzce depreminde 5 katlı bir yapı için katlararası öteleme

TMD'siz yapının maksimum öteleme %9.1'dan %3.2'ye düştüğü görülmektedir.

Analiz sonuçlarından TMD tipi yapı kontrol sistemi ile donatılmış 5 katlı bir yapının kat deplasmanları çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan bir yapının kat deplasmanları ile karşılaştırılmıştır.

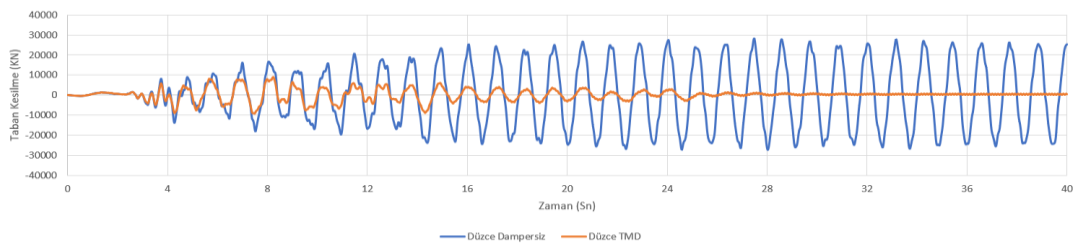


Şekil 59 : Düzce depreminde 5 katlı bir yapı için kat deplasmanları

TMD ile donatılmış yapıdaki deplasman azalması açıktır. Bu miktar azalma düzensizliği olduğu katlarda daha çok fark edilir.

Her iki yapı için de taban kesmesi çizilmiştir. Taban kesme kuvveti yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Yapının taban kesme kuvvetinin azaltılması, yapısal elemanlar üzerindeki kuvvetlerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

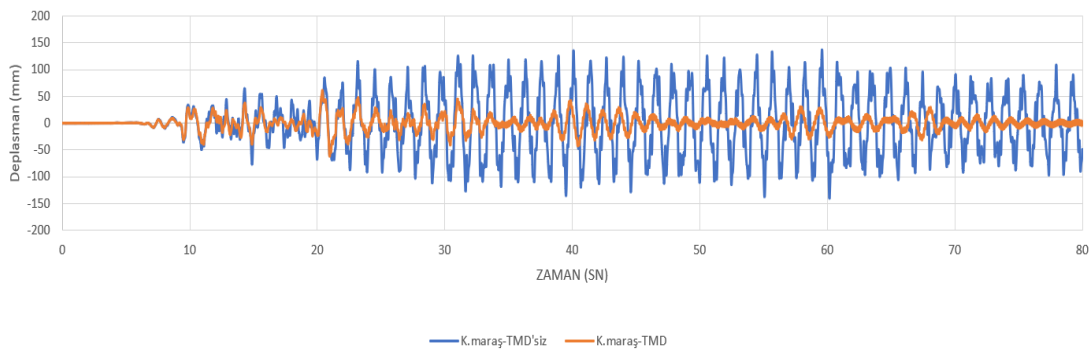
	TMD ile yapıda taban kesme (KN)	TMD'siz yapıda taban kesme (KN)
Max.	8942	28211
Min.	-9225	-27330



Şekil 60 : Düzce depreminde 5 katlı bir yapı için taban kesme

E. Kahramanmaraş Depreminden Dolayı 7 Katlı Yapının Analizleri

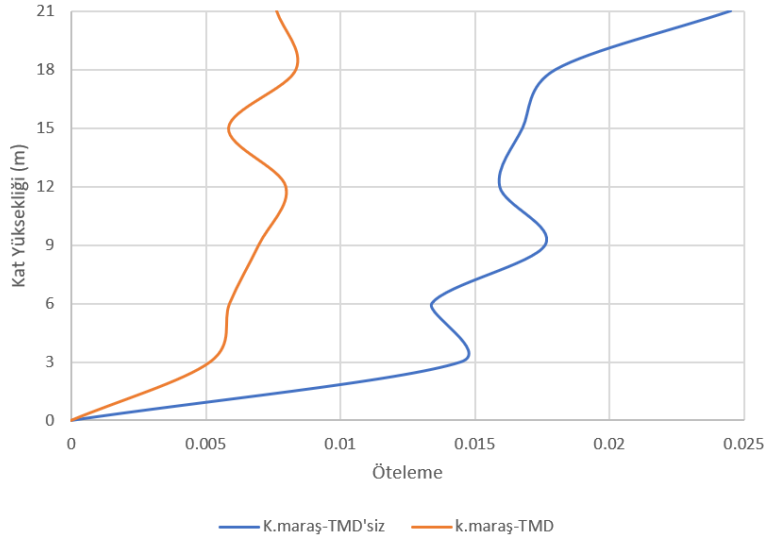
7 katlı yapının (ayarlı kütle sönümleyici yapı kontrol sistemi) en yüksek noktadaki maksimum deplasmanı analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 61 : Kahramanmaraş depreminde 7 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı

Maksimum deplasman TMD'li yapı için (61.5mm) rapor edilmiştir; bu, TMD'siz yapıya (137.3mm) kıyasla önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu modeldeki deplasman azalması %55'tir.

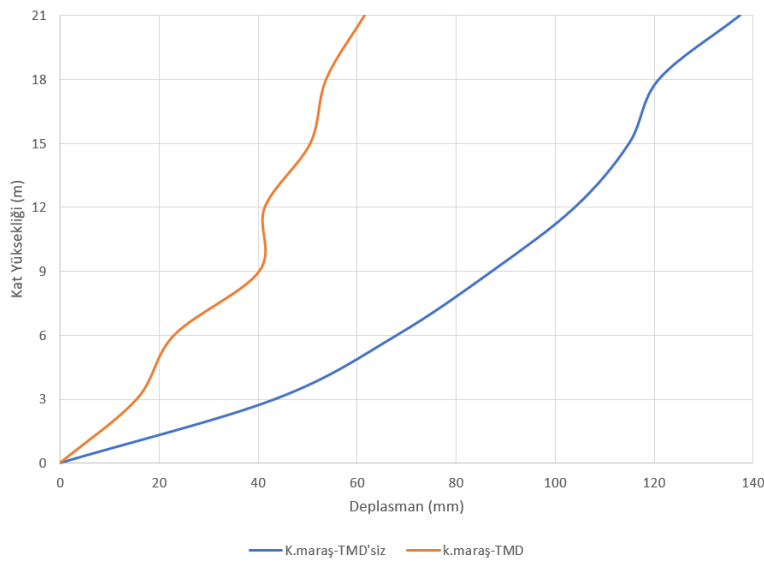
TMD sistemi ile donatılmış 5 katlı bir yapı için yapının en yüksek noktasındaki katlar arası öteleme analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 62 : Kahramanmaraş depreminde 7 katlı bir yapı için katlararası öteleme

TMD'siz yapının maksimum öteleme %1.8'dan %0.8'ye düştüğü görülmektedir.

Analiz sonuçlarından TMD tipi yapı kontrol sistemi ile donatılmış 7 katlı bir yapının kat deplasmanları çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan bir yapının kat deplasmanları ile karşılaştırılmıştır.

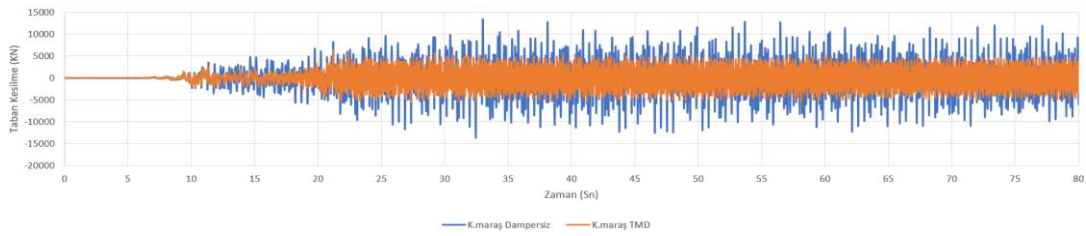


Şekil 4.15: Kahramanmaraş depreminde 7 katlı bir yapı için kat deplasmanları

TMD ile donatılmış yapıdaki deplasman azalması açıktır. Bu miktar azalma düzensizliğin olduğu katlarda daha çok fark edilir.

Her iki yapı için de taban kesmesi çizilmiştir. Taban kesme kuvveti yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Yapının taban kesme kuvvetinin azaltılması, yapısal elemanlar üzerindeki kuvvetlerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

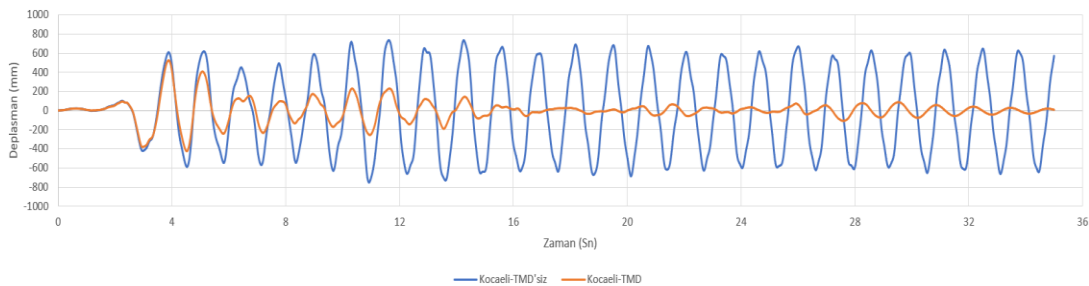
	TMD ile yapıda taban kesme (KN)	TMD'siz yapıda taban kesme (KN)
Max.	6399.5	13445
Min.	-5578.5	-13665



Şekil 4.16: Kahramanmaraş depreminde 7 katlı bir yapı için taban kesme

F. Kocaeli Depreminden Dolayı 7 Katlı Yapının Analizleri

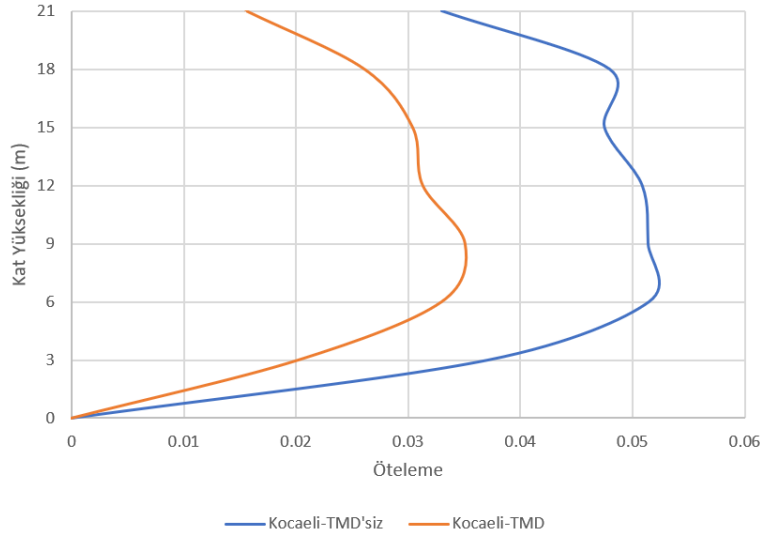
7 katlı yapının (ayarlı kütle sönümleyici yapı kontrol sistemi) en yüksek noktadaki maksimum deplasmanı analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 63 : Kocaeli depreminde 7 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı

Maksimum deplasman TMD'li yapı için (524.5 mm) rapor edilmiştir; bu, TMD'siz yapıya (735mm) kıyasla önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu modeldeki deplasman azalması %29'tür.

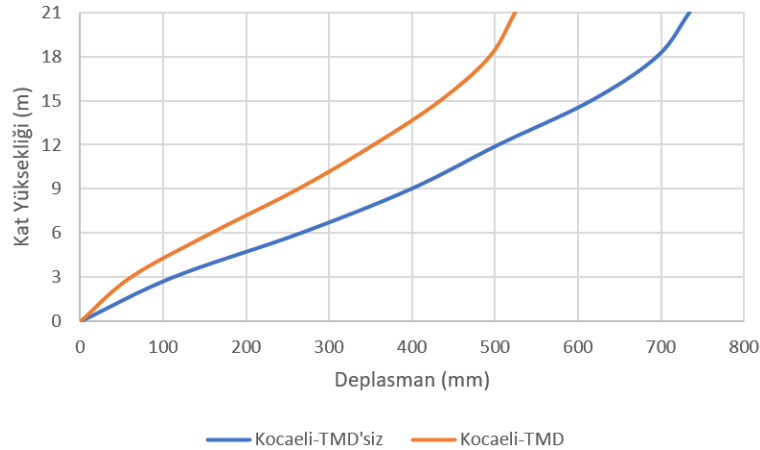
TMD sistemi ile donatılmış 7 katlı bir yapı için yapının en yüksek noktasındaki katlar arası öteleme analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 64: Kocaeli depreminde 7 katlı bir yapı için katlararası öteleme

TMD'siz yapının maksimum öteleme %5.2'dan %3.5'ye düştüğü görülmektedir.

Analiz sonuçlarından TMD tipi yapı kontrol sistemi ile donatılmış 7 katlı bir yapının kat deplasmanları çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan bir yapının kat deplasmanları ile karşılaştırılmıştır.

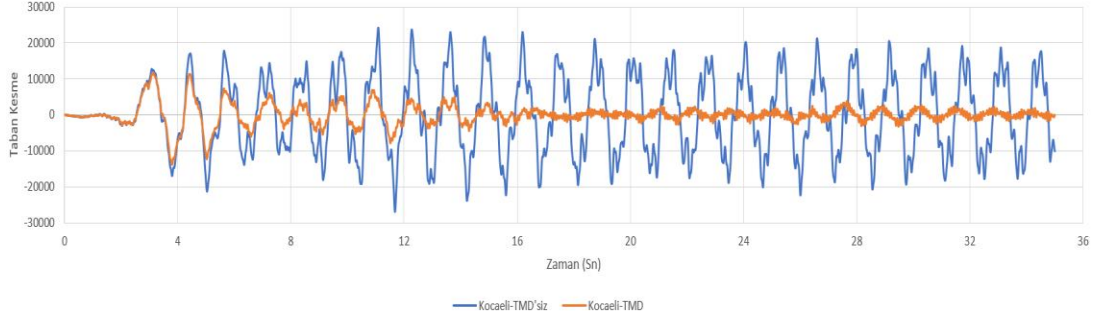


Şekil 65 : Kocaeli depreminde 7 katlı bir yapı için kat deplasmanları

TMD ile donatılmış yapıdaki deplasman azalması açıktır. Bu miktar azalma düzensizliğin olduğu katlarda daha çok fark edilir.

Her iki yapı için de taban kesmesi çizilmiştir. Taban kesme kuvveti yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Yapının taban kesme kuvvetinin azaltılması, yapısal elemanlar üzerindeki kuvvetlerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

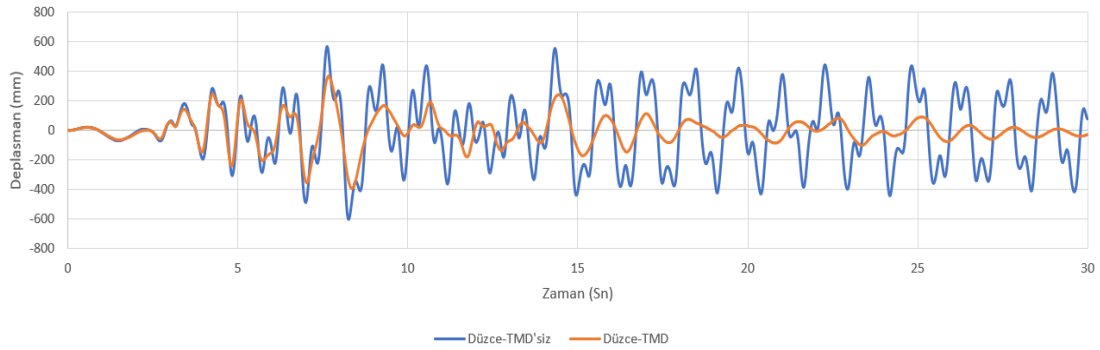
	TMD ile yapıda taban kesme (KN)	TMD'siz yapıda taban kesme (KN)
Max.	11606	24183
Min.	-13766	-26915



Şekil 66 : Kocaeli depreminde 7 katlı bir yapı için taban kesme

G. Düzce Depreminden Dolayı 7 Katlı Yapının Analizleri

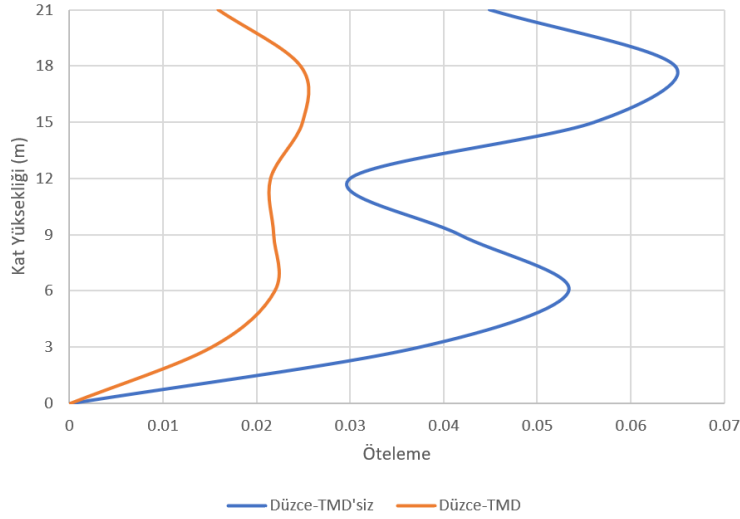
7 katlı yapının (ayarlı kütle sönümleyici yapı kontrol sistemi) en yüksek noktasındaki maksimum deplasmanı analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 67 : Düzce depreminde 7 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı

Maksimum deplasman TMD'li yapı için (367 mm) rapor edilmiştir; bu, TMD'siz yapıya (568mm) kıyasla önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu modeldeki deplasman azalması %66'dır.

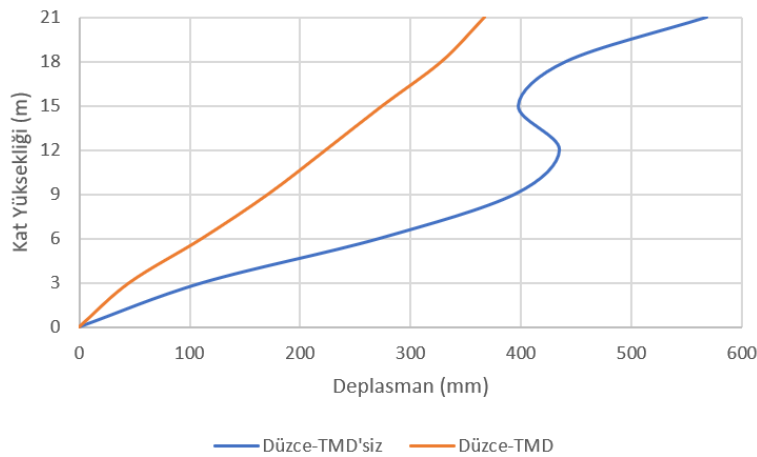
TMD sistemi ile donatılmış 7 katlı bir yapı için yapının en yüksek noktasındaki katlar arası öteleme analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 68 : Düzce depreminde 7 katlı bir yapı için katlararası öteleme

TMD'siz yapının maksimum öteleme %6.5'dan %2.5'ye düştüğü görülmektedir.

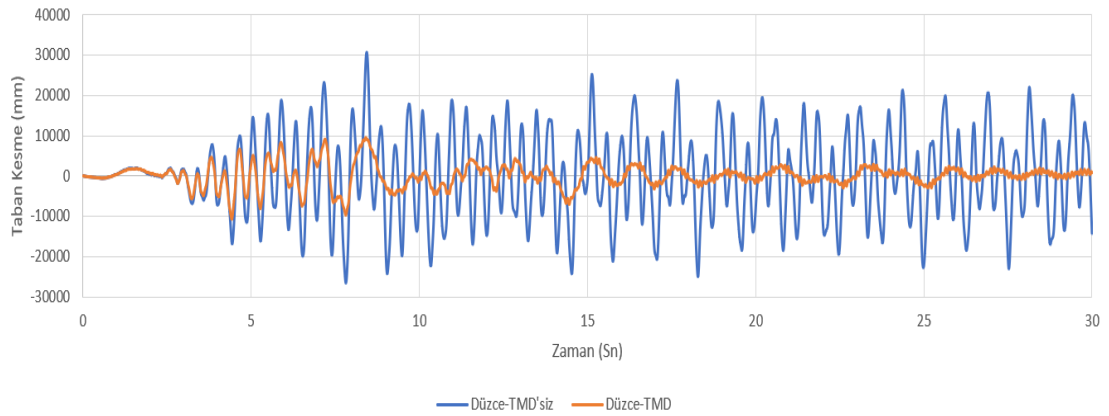
Analiz sonuçlarından TMD tipi yapı kontrol sistemi ile donatılmış 7 katlı bir yapının kat deplasmanları çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan bir yapının kat deplasmanları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 69 : Düzce depreminde 7 katlı bir yapı için kat deplasmanları

Her iki yapı için de taban kesmesi çizilmiştir. Taban kesme kuvveti yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Yapının taban kesme kuvvetinin azaltılması, yapısal elemanlar üzerindeki kuvvetlerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

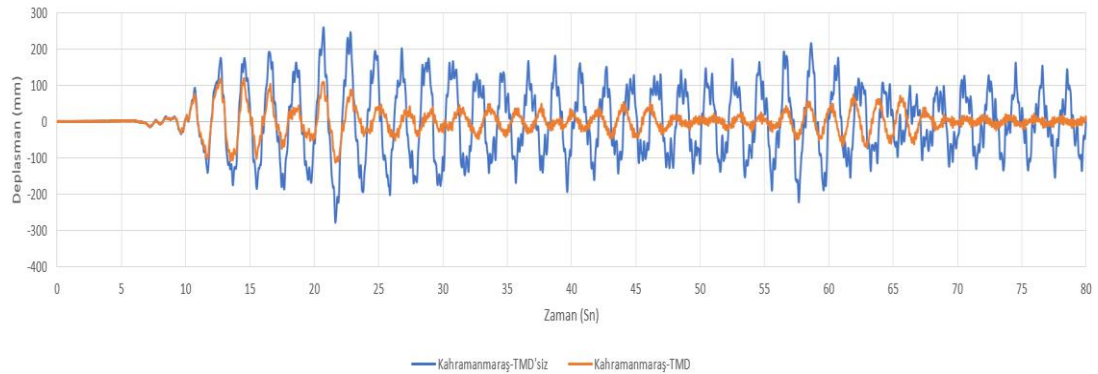
	TMD ile yapıda taban kesme (KN)	TMD'siz yapıda taban kesme (KN)
Max.	9469	30689
Min.	-10700	-26525



Şekil 70 : Düzce depreminde 7 katlı bir yapı için taban kesme

H. Kahramanmaraş Depreminden Dolayı 12 Katlı Yapının Analizleri

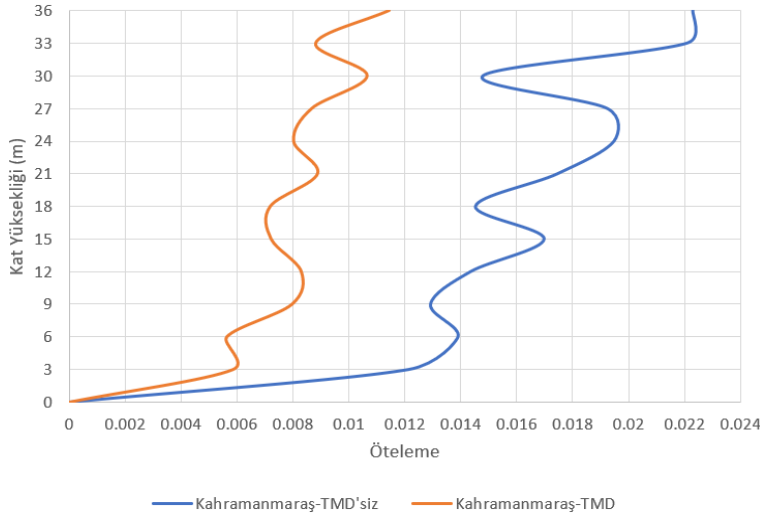
12 katlı yapının (ayarlı kütle sönümleyici yapı kontrol sistemi) en yüksek noktadaki maksimum deplasmanı analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 71 : Kahramanmaraş depreminde 12 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı

Maksimum deplasman TMD'li yapı için (118.6mm) rapor edilmiştir; bu, TMD'siz yapıya (258.4mm) kıyasla önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu modeldeki deplasman azalması %54'tir.

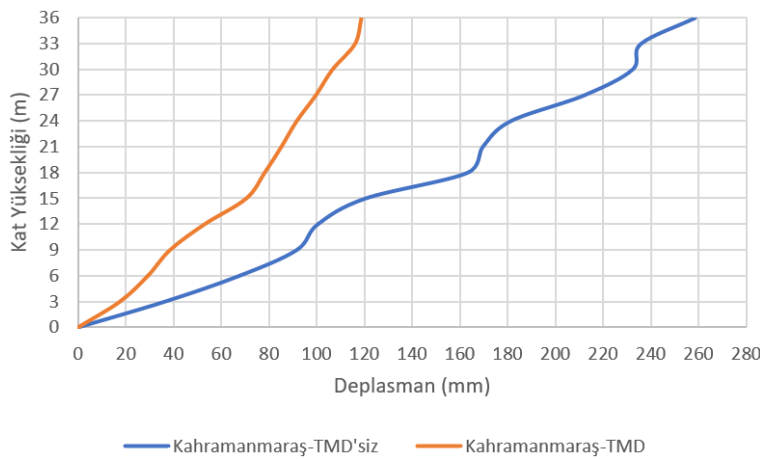
TMD sistemi ile donatılmış 12 katlı bir yapı için yapının en yüksek noktasındaki katlar arası öteleme analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 72 : Kahramanmaraş depreminde 12 katlı bir yapı için katlararası öteleme

TMD'siz yapının maksimum öteleme %2.23'dan %1.14'ye düştüğü görülmektedir.

Analiz sonuçlarından TMD tipi yapı kontrol sistemi ile donatılmış 12 katlı bir yapının kat deplasmanları çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan bir yapının kat deplasmanları ile karşılaştırılmıştır.

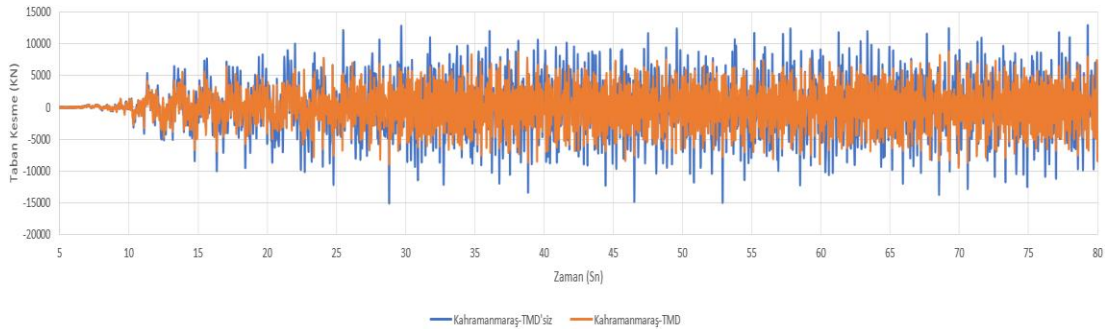


Şekil 73 : Kahramanmaraş depreminde 12 katlı bir yapı için kat deplasmanları

TMD ile donatılmış yapıdaki deplasman azalması açıktır. Bu miktar azalma düzensizliğin olduğu katlarda daha çok fark edilir.

Her iki yapı için de taban kesmesi çizilmiştir. Taban kesme kuvveti yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Yapının taban kesme kuvvetinin azaltılması, yapısal elemanlar üzerindeki kuvvetlerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

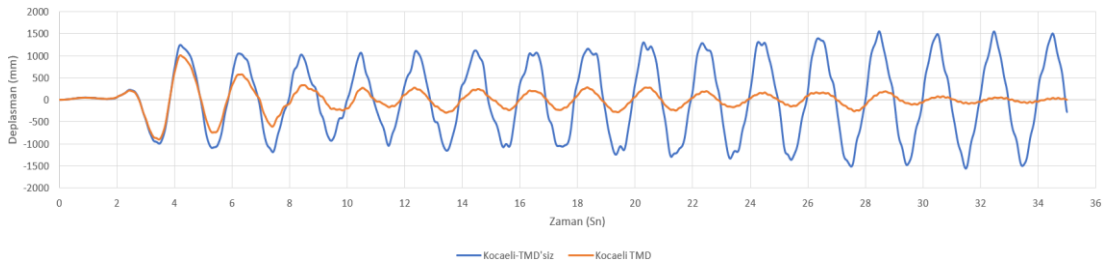
	TMD ile yapıda taban kesme (KN)	TMD'siz yapıda taban kesme (KN)
Max.	8750	12902
Min.	-9479	-15099



Şekil 74 : Kahramanmaraş depremde 12 katlı bir yapı için taban kesme

I. Kocaeli Depreminden Dolayı 12 Katlı Yapının Analizleri

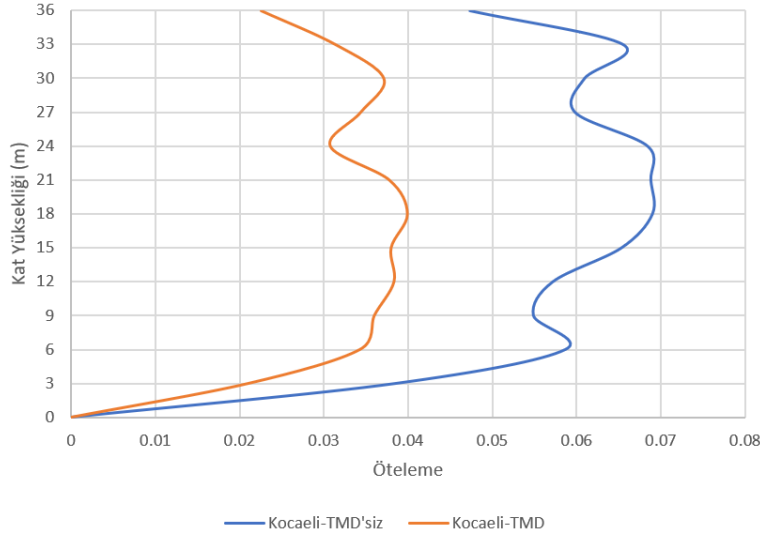
12 katlı yapının (ayarlı kütle sönümleyici yapı kontrol sistemi) en yüksek noktasındaki maksimum deplasmanı analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 75 : Kocaeli depremde 12 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı

Maksimum deplasman TMD'li yapı için (1006 mm) rapor edilmiştir; bu, TMD'siz yapıya (1551.5mm) kıyasla önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu modeldeki deplasman azalması %35'tür.

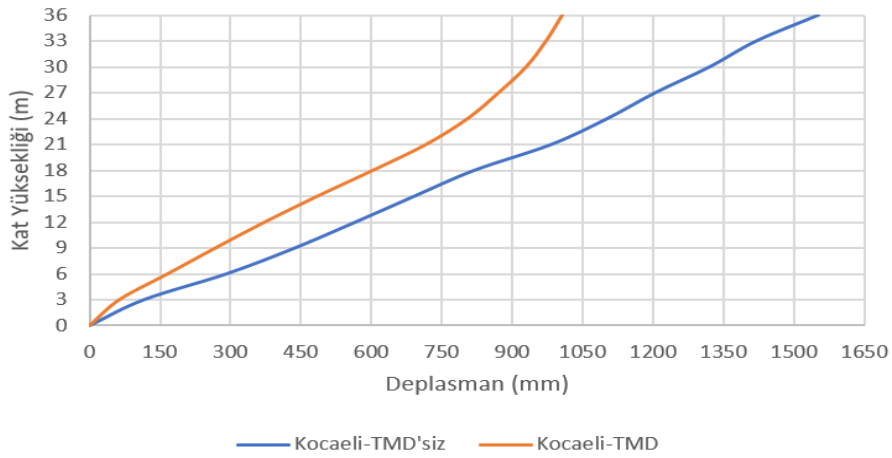
TMD sistemi ile donatılmış 12 katlı bir yapı için yapının en yüksek noktasındaki katlar arası öteleme analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 76 : Kocaeli depreminde 12 katlı bir yapı için katlararası öteleme

TMD'siz yapının maksimum öteleme %6.9'dan %4'ye düştüğü görülmektedir.

Analiz sonuçlarından TMD tipi yapı kontrol sistemi ile donatılmış 12 katlı bir yapının kat deplasmanları çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan bir yapının kat deplasmanları ile karşılaştırılmıştır.

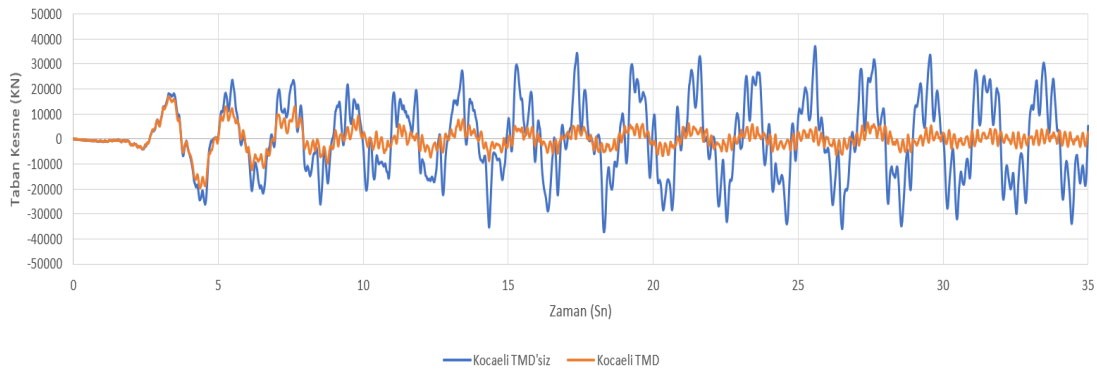


Şekil 77 : Kocaeli depreminde 12 katlı bir yapı için kat deplasmanları

TMD ile donatılmış yapıdaki deplasman azalması açıktır. Bu miktar azalma düzensizliğin olduğu katlarda daha çok fark edilir.

Her iki yapı için de taban kesmesi çizilmiştir. Taban kesme kuvveti yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Yapının taban kesme kuvvetinin azaltılması, yapısal elemanlar üzerindeki kuvvetlerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

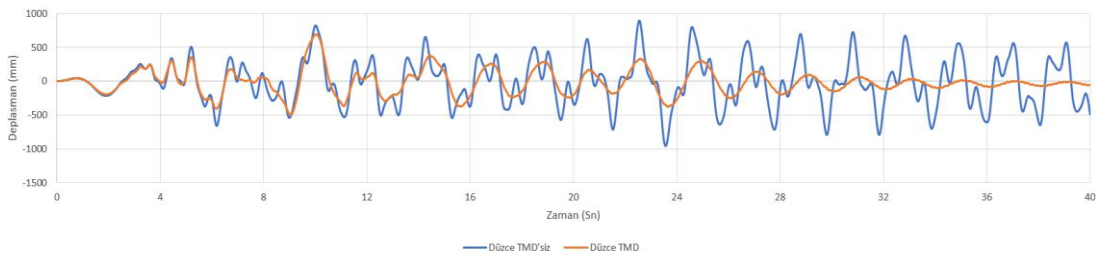
	TMD ile yapıda taban kesme (KN)	TMD'siz yapıda taban kesme (KN)
Max.	17043	37065
Min.	-19611	-37225



Şekil 78: Kocaeli depreminde 12 katlı bir yapı için taban kesme

J. Düzce Depreminden Dolayı 12 Katlı Yapının Analizleri

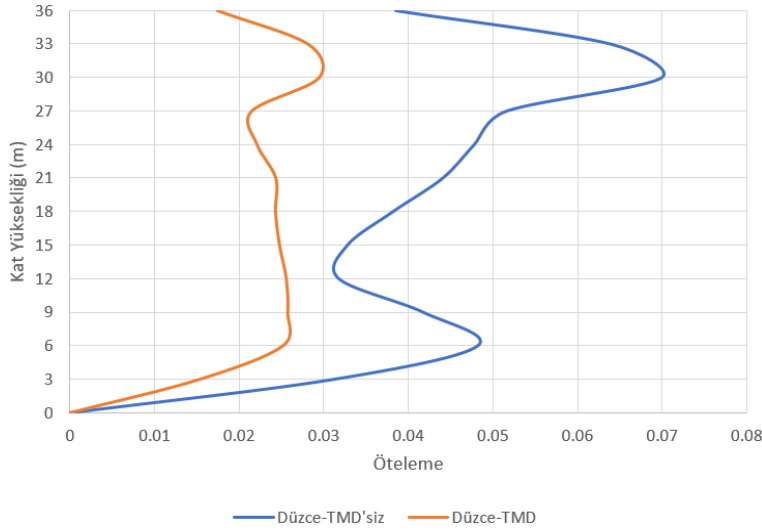
12 katlı yapının (ayarlı kütle sönümleyici yapı kontrol sistemi) en yüksek noktadaki maksimum deplasmanı analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 79 : Düzce depreminde 12 katlı bir yapı için maksimum deplasmanı

Maksimum deplasman TMD'li yapı için (692.4mm) rapor edilmiştir; bu, TMD'siz yapıya (893.7mm) kıyasla önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu modeldeki deplasman azalması %22'dir.

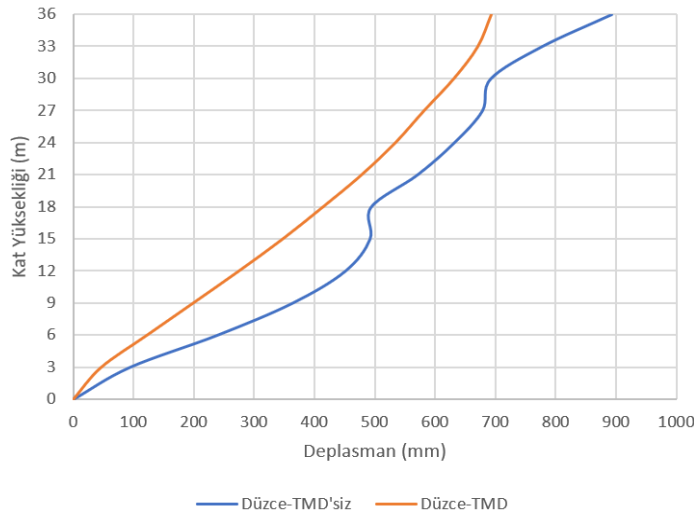
TMD sistemi ile donatılmış 12 katlı bir yapı için yapının en yüksek noktasındaki katlar arası öteleme analiz sonuçlarından çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan yapının maksimum deplasmanı ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 80 : Düzce depreminde 12 katlı bir yapı için katlararası öteleme

TMD'siz yapının maksimum öteleme %7'dan %2.95'ye düştüğü görülmektedir.

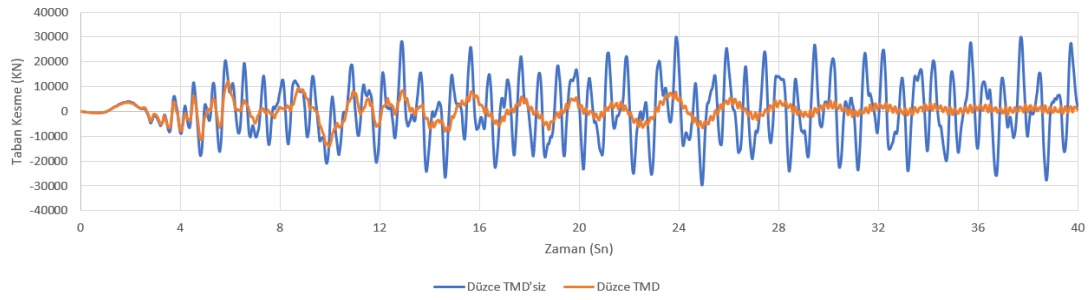
Analiz sonuçlarından TMD tipi yapı kontrol sistemi ile donatılmış 12 katlı bir yapının kat deplasmanları çıkarılmış ve kontrol sistemi olmayan bir yapının kat deplasmanları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 81 : Düzce depreminde 12 katlı bir yapı için kat deplasmanları

Her iki yapı için de taban kesmesi çizilmiştir. Taban kesme kuvveti yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Yapının taban kesme kuvvetinin azaltılması, yapısal elemanlar üzerindeki kuvvetlerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

	TMD ile yapıda taban kesme (KN)	TMD'siz yapıda taban kesme (KN)
Max.	12126	30034
Min.	-14187	-29370



Şekil 82: Düzce depreminde 12 katlı bir yapı için taban kesme

V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

A. Sonuçlar

Bu araştırmada, farklı yükseklikteki ve üç farklı depreme sahip üç yapı üzerinde gerçekleştirilen modellere göre tezde elde edilen sonuçlar şu şekilde sunulmaktadır:

Deprem seçiminin elde edilen sonuçlar üzerinde büyük etkisi vardır. Depremlerin frekans içeriği, depremin büyüklüğü ve uzaklığı benzer yapılar için birçok değişikliğe neden olan faktörlerdir. Pasif kontrol sistemleri, yerleştirildiği andan yapının uyarıldığı ana kadar sabit dinamik özelliklere sahiptir. Bu konu göz önüne alındığında, bu tip yapılarda sönümleyicilerin tasarımında lokasyona ve saha koşullarına göre yapay deprem kayıtlarının kullanılması etkili bir rol oynayabilir. Yapının mümkün olan en kritik durumunu tahmin edebilmek için yapay depremin saha spesifikasyonlarıyla uyumlu olması gerekir.

Sönümleyicili yapılarda deplasman, sönümleyicisiz yapılara göre daha azdır. Bu değer 5 katlı yapının en üst katında %66 oranında bir azalmayı göstermektedir. 7 katlı yapı için en yüksek katın maksimum yer değiştirme yüzdesi %66 oranında azaltılmıştır. 12 katlı yapıda maksimum deplasman değerinde %54'lük bir azalma gözlenmiştir.

Sönümleyicili yapılarda yapısal ötelemeler, sönümleyicisiz yapılara göre daha azdır. Orta katlardaki öteleme miktarı genel olarak yapının diğer katlarına göre daha fazladır. Sönümleyicili yapılarda sönümleyicisiz yapılara göre öteleme azalma miktarı aşağıdaki çizelgeye göre rapor edilmektedir.

Sönümleyicili yapılarda taban kesme kuvveti, sönümleyicisiz yapılara göre %60 daha azdır. Kütle sönümleyicili yapılarda yer hareketlerinden kaynaklanan dalgalanmaların miktarı da kütle sönümleyicisiz yapılara göre daha azdır.

Çizelge 14 : Yapılardaki öteleme azalma yüzdesi

Yapı	Kahamanmaraş	Kocaeli	Düzce
5 katlı	65%	40%	65%
7 katlı	55%	33%	62%
12 katlı	49%	42%	58%

Bu öteleme azalması, düzensizliklerin uygulandığı yapının üst katlarında çok belirgindir. Düzensiz kütleli yapılarda, deprem sırasındaki yapısal duraysızlık larda öteleme çok önemli bir faktördür. Bu nedenle kütle sönümleyicinin performansı bu durumda çok etkilidir.

Bu olgu, yapısal titreşimin neden olduğu yapısal hasarın azaltılmasında çok yardımcı olur.

Sönümleyicili modellerde deplasmanı, sönümleyicisiz modellere göre daha azdır. En etkili katlar yapının üst katlarıdır ve bu kısımlara düzensizlik uygulanmıştır.

Depremlerdeki farklılık bu depremlerin frekans içeriğinden kaynaklanmaktadır. Depremlerin maksimum ivme değerlerine göre ölçeklendirildiği bilindiğinden, bilgideki bu büyük fark depremlerin dinamik doğasından kaynaklanmaktadır. Düzce depremi, titreşim süresi, büyüklüğü ve frekans içeriği açısından tüm dünyada pratik deprem olarak bilinen ünlü depremlerden biridir.

Taban kesme, kütle sönümleyicileri olan tüm yapılarda bir azalma olduğunu göstermektedir. Depremi ortasında taban kesmesi azalma miktarı daha fazladır. Kütle sönümleyicinin bu davranışının nedeni sönümleyicinin atalet kuvvetleri ile ilgilidir. Çünkü hareketin başlangıcında atalet kuvvetleri deprem kuvvetini karşılayabilecek yeterli güce henüz sahip değildir.

B. Öneriler

➤ Aktif kontrollü izolatör sistemleri kullanılarak benzer makale ve araştırmaların tekrarlanması ve bu tip sönümleyicilerin yapıdaki etkisinin kontrol edilmesi önerilmektedir.

Gelecekteki sönümleyiciler için en uygun durumun yapay zeka kullanılarak seçilmesi önerilmektedir.

➤ Yapıya sönümleyici yerleştirilmesinin etkisini kontrol etmek için asimetrik planlı yapılarda sönümleyici kullanılması önerilmektedir.

➤ Beton yapılarda çaprazın ana gövdeye bağlanması mühendislik problemlerinden biridir. Bu nedenle sönümleyici kullanımının sağlanması gerekmektedir.

➤ Farklı düzensizliklere sahip yapılarda farklı tipteki kütle sönümleyicilerin kontrol edilmesi önerilmektedir. Sönümleyici seçiminin ve tipinin yapı üzerinde daha iyi etkilere sahip olması beklenmektedir.

➤ Katlarda sönümleyicilerin uygun yerinin kontrol edilmesi tavsiye edilir. Soru olarak düzensiz yer yapının alt kısmında bir noktada ise yapının tepesindeki kütle sönümleyicinin etkisi yapının alt kısmına yerleştirilen sönümleyiciden farklı mıdır ?

➤ Yapılardaki doğrusal olmayan davranış, sönümleyicilerin tasarımını etkileyebilecek bir olgudur. Özellikle deprem anında elemanların plastisitesi yapının periyodikliğini değiştirebilmektedir. Bu amaçla aktif kontrollü kütle sönümleyicilerinin kullanılması önerilmektedir.

VI. KAYNAKÇA

Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering,

Anil Chopra, third edition, Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., ©2007.

Dynamics of Structures: Second Edition CBS Publishers Distributors, New Delhi,

Ray W. Clough and Joseph Penzien (2015).

Smart Structures: Innovative Systems for Seismic Response Control: Franklin.

Cheng Hongping Jiang, Kangyu Lou, CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton, ©2008.

Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering : TTSoong,

M. Constantinou, Springer-Verlag, Wien, ©1994.

Structural Engineers Association of California (SEAOC), Recommended Lateral

Force Requirements and Commentary, 5th ed., Sacramento, CA, 1990. 17.

Structural Engineers Association of California (SEAOC), Recommended Lateral

Force Requirements and Commentary, 7th ed., Sacramento, CA, 1999.

International Conference of Building Code (ICBO), Division III—**Earthquake**

Regulations for Seismic-Isolated Structures, Appendix to Chapter 23, Uniform Building Code, 1991 Edition, Whittier, CA, 1991.

Federal Emergency Management Agency (FEMA), **NEHRP Guidelines for the**

Seismic Rehabilitation of Buildings and NEHER Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Reports no. FEMA-273 and FEMA 274, Building Seismic Safety Council, Washington, DC, 1997.

Federal Emergency Management Agency (FEMA), **Pre-standard and Commentary**

for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Report No. FEMA-356, Building Seismic Safety Council, Washington, DC, 2000.

- Federal Emergency Management Agency (FEMA), **NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures**, Parts 1 and 2, Report No. FEMA-450, Building Seismic Safety Council, Washington, DC, 2003.
- International Code Council, **International Building Code (IBC)**, Falls Creek, VI, 2006.
- Soong, T.T **Dargush Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering**, New York, Chichester, John Wiley and Sons G.F. (1997).
- Uniform Building Code (UBC), Whittier, Calif: **International Conference of Building Officials** (1988).
- Testing of Passive Energy Dissipation Systems**. Earthquake Spectra Aiken, I.D. & Kelly, J.M. (1993).
- Passive and Active Vibration Control in Civil Engineering Springer-Verlag**, Wien and New York. Soong, T.T & Constantation, M.C. 1994..
- Soong, T.T. & Spencer, B.F. 2002. **Supplemental Energy Dissipation: State of the Art and State of the Practice**. Engineering Structures, 24(3), 243-259.
- Active Structural Control: Theory and Practice**. Hohn Wiley and sons Soong, T.T. 1990..
- Jing, Bian., Xingjian, Jing., Yishen, Tian. **A X- Shaped Nonlinear Tuned Mass Damper with Multi Variable Optimization**. (2021).
- Fu, Xing., Li, Hongnan., Li, Gang., Jiang, Yao., Du, Wenlong., Zhi-Qian, Dong. **Inertial Mass Amplification Tuned Mass Damper**. (2021).
- Payam, Soltani., Arnaud, Deraemaeker. **Pendulum Tuned Mass Dampers and Tuned Mass Dampers: Analogy and Optimum Parameters for Various Combinations of Response and Excitation Parameters**. Journal of Vibration and Control, (2021).
- Chongjian, Wu. **Discrete Distributed Tuned Mass Damper**. (2021).

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Yaser ARJOMAND ALAMDARI

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, İslamic Azad Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2024, İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı