



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RÜZGAR ETKİSİ ALTINDA ÇERÇEVE YAPILARIN AYARLI KÜTLE
SONÜMLEYİCİLERİ İLE KONTROLÜ**

Mohamed CONDE

DANIŞMAN

Prof. Dr. Sinan Melih NİGDELİ

II. DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Seda Öncü DAVAS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Ocak, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Mohamed CONDE tarafından, **Prof. Dr. Sinan Melih NİGDELİ** danışmanlığında hazırlanan "**Rüzgâr Etkisi Altında Çerçeve Yapıların Ayarlı Kütle Sönümleyicileri ile Kontrolü**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **01/02/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Sinan Melih NİGDELİ	☒
	İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa	Kabul
	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ	☒
	İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa	Kabul
	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Serdar ULUSOY	☒
	Türk-Alman Üniversitesi	Kabul
	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Mohamed CONDE

(İmza)

ÖNSÖZ

İyi bir tasarım oluşturabilmek için tasarımcının deneyimi büyük öneme sahiptir. Ancak, bir tasarımcının belirli bir hedefe yönelik olarak birçok olasılığı değerlendirmesi zaman alabilir veya bazen mümkün olmayabilir. Meta sezgisel algoritmalar, birden çok seçeneği hızlı bir şekilde göz önüne alarak optimum tasarımların oluşturulmasına imkân tanır. Yapı mühendisliğinde Meta sezgisel algoritmalar kullanarak optimal tasarımı hedefleyen tez çalışmamın her aşamasında beni bilgi ve deneyimiyle yönlendiren, yardım ve desteğini hiç esirgemeyen sayın hocam ve tez danışmanım **Prof. Dr. Sinan Melih NİĞDELİ**' ye içtenlikle teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, **Dr. Öğr. Üyesi Seda ÖNCÜ DAVAS**'a tez çalışmalarına sağladığı destek ve yardımlar için teşekkür ederim.

Ocak 2024

Mohamed CONDE

BÜTÇE DESTEKLERİ

RÜZGAR ETKİSİ ALTINDA ÇERÇEVE YAPILARIN AYARLI KÜTLE SONÜMLEYİCİLERİ İLE KONTROLÜ.

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.



TEŞEKKÜR

Bu çalışmam merhum **anneme** adanmıştır. Eğitimime ve yürüttüğüm tüm çalışmalarında bana olan fedakarlığınız ve özverinizi asla ifade edemez. Kelimeler, ne kadar etkileyici olursa olsun, derin minnettarlığımı yeterince ödenemez.

Tez çalışmamın başından sonuna kadar yönlendiren, tez konusuyla ilgili araştırmalarımın gelişimine rehberlik eden değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Sinan Melih **NİĞDELİ** 'ye iç ve dış çalışmalardaki rehberliği, teşvik edici yaklaşımı ve anlayışlı tavrı için sonsuz şükranlarımı sunarım.

TRAORE Mamadi, **CAMARA** Ibrahima Kalil, **KANTE** Seidy ve **CAMARA** Fodé başta olmak üzere arkadaşlarıma derin teşekkürlerimi sunmak isterim. Sizinle hem sevinçli hem de zor anları paylaşma şansına sahip oldum. Doğrudan ve dolaylı olarak bana destek veren herkese teşekkür ediyorum.

Son olarak, yüksek lisans tez sürecinde beni motive eden, destekleyen, yönlendiren ve çalışmaya teşvik eden sayın Danışman Hocam Prof. Dr. Sinan Melih **NİĞDELİ** 'ye teşekkür ederim. **Dr. Öğr. üyesi Seda Öncü DAVAS**'a sağladığı destek ve yardımlar için teşekkür ederim.

Ayrıca, bana her zaman destek olan, beni sabırla bekleyen, ilham ve güç veren sevgili aileme minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Ocak 2024

Mohamed CONDE

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	Sayfa No..... x
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xix
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgi	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.3 Tezin Genel Yapısı	3
2 KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
2.1 Literatür Araştırması.....	4
2.2 Genel Kısımlar	8
2.2.1 Eurocode 1-4'e göre yapıların üzerindeki Rüzgâr Etkisi	8
2.2.2 Rüzgâr hesap kriterleri.....	8
2.2.3 Rüzgârın Tanımı	9
2.2.4 Rüzgâr türleri	9
2.2.5 Rüzgâr Akışını Etkileyen Faktörler	10
2.3 Rüzgâr Karakteristiği	10
2.3.1 Temel rüzgâr hızı.....	10
2.3.2 Ortalama Rüzgâr Hızı	11
2.3.3 Arazi engebелiliği	11
2.3.4 Orografi katsayılarının sayısal hesabı.....	13
2.3.5 Önemli yükseklikteki komşu yapıların etkisi	16
2.3.6 Yer değiştirme yüksekliği.....	17
2.3.7 Rüzgâr türbülansı $I_v(z)$	18
2.3.8 Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı	18
2.3.9 Yüzeylerdeki aerodinamik basınç	19
2.4 Rüzgâr kuvveti	20
2.4.1 Yapısal katsayı CsCd	21
2.5 Dikdörtgen planlı yapıların düşey duvarları	25

2.6	Çatılar- teraslar	28
2.7	Çift eğimli çatılar	30
2.8	İç Basınç Katsayısı.....	32
2.9	Yalıtımlı duvar ve parapetler	34
2.10	Yapısal kontrol sistemleri.....	35
2.10.1	Yapısal kontrol sistemlerinin sınıflandırılması.....	36
2.10.2	Aktif Yapı Kontrolü	39
2.10.3	Yarı Aktif Kontrol Sistemleri	40
2.10.4	Hibrit Kontrol:	40
2.10.5	Pasif Yapı Kontrolü	41
3	YÖNTEM.....	46
3.1	Pasif Kontrol Sistemi	46
3.1.1	Pasif Ayarlı kütle sönümleyiciler (PTMD)	46
3.1.2	Ayarlı kütle sönümleyicilerin işlevinin açıklaması	47
3.1.2.1	TMD'nin tasarımı ve İşleyişi.....	50
3.1.3	Rayleigh Sönüm Parametresi.....	54
3.1.4	2DOF için TMD'nin Özellikleri	55
3.2	OPTİMİZASYON	58
3.2.1	Jaya Algoritması	60
3.3	Sayısal Örnek	62
3.3.1	Yapısal Modelleme.....	62
3.3.2	Malzeme bilgileri ve Yapının açıklaması.....	62
3.3.3	Yapı özelliği	64
3.3.4	Yapının taşıyıcı elemanlarının boyutlandırılması ve yük kombinasyonlarının tanımlanması	64
3.3.5	Eurocode 1-4'e göre rüzgâr hesaplaması	65
3.3.6	TMD İçin En Uygun Parametre Değerlerinin Seçimi	77
3.3.6.1	Rüzgârın dinamik kuvvetinin simülasyonu	77
3.3.6.2	TMD'nin Optimum Tasarımı	84
3.3.6.3	JAYA algoritması kullanılarak titreşim kontrol cihazının (TMD) en uygun tasarım değişkenlerinin optimize edilmesi.	85
3.3.6.4	Matlab Simulink Kullanarak Sistemin Analizi	86
4	BULGULAR	88
4.1	TMD tasarımıyla ilgili parametreler ve kısıtlamalar	88

4.2	Jaya algoritması (JA) kullanarak Matlab'da Optimum TMD parametrelerinin belirlenmesi.....	90
4.3	SAP2000'deki bazı dinamik faktörlerin analizi	92
4.4	Dağıtım sistemi (TMD) olmadan yapısal analiz.....	95
-	Mod şekli periyotları ve frekansları.....	95
4.5	Dağıtım sistemi (TMD) ile yapısal analiz.....	96
4.6	TMD'nin binanın temel periyoduna etkisi	98
4.7	Kat Yer Değiştirmeleri.....	98
4.8	Tepe noktasında yapının artık yer değiştirmesi	100
4.9	Matlab ve SAP2000'de değerlendirilen TMD'nin yapı deplasmanına etkisi	100
5	TARTIŞMA	101
6	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
	KAYNAKLAR.....	106
	İNTİHAL RAPORU İLİK SAYFASI	111
	ÖZGEÇMİŞ	114

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.2.1: Arazi engebелiliğinin değerlendirilmesi	12
Şekil 1.2.2: Orografik nedeniyle artan rüzgâr hızlarının gösterimi.	13
Şekil 1.2.2.3: Tepe ve sırtlar için s katsayısı	14
Şekil 1.2.4 : 1 ve 2 numaralı iki farklı komşu yapıya, daha yüksek bir yapının etkisi.....	17
Şekil 1.2.5: Engel yüksekliği ve rüzgâr aralığı.....	17
Şekil 1.2.6: $C_0=1,0$ ve $K_1=1,0$ koşulları için maruz kalma katsayısı $C_e(z)$ 'nin grafiği.....	19
Şekil 1.2.7: Yüzeylerdeki uygulanan basınç	20
Şekil 1.2.8: Tasarım aşaması kapsamında yer alan genel şekilleri.....	23
Şekil 2.9: $1m^2$ ile $10m^2$ arasında yüklü bir alan için harici basınç katsayısı C_{pe} 'nin belirlenmesi.	24
Şekil 2.10: Çıkıntılar için geçerli olan ilgili basınçların gösterimi.....	25
Şekil 2.11: Referans yükseklik, z_e , h ve b' 'ye ve karşılık gelen dinamik basınç profiline bağlıdır.....	26
Şekil 2.12 : Dikey duvar için açıklama.....	27
Şekil 2.13: Düz çatılar için açıklamalar.....	29
Şekil 2.14: Açıklama çift eğimli çatılara yöneliktir.	30
Şekil 2.15: Eşit dağılımlı açıklıklar için geçerli iç basınç katsayıları.	33
Şekil 2.16: Yalıtılmış duvarlar ve parapetler için bölgelerin efsanesi.....	35
Şekil 2.17: Dünyada pasif ayarlı kütle sönümleyicileri ile yapıların en yüksek 10 bina. [4]...	37
Şekil 3.1: Basitleştirilmiş TMD 2-kütle modeli. [27].....	47
Şekil 3.2: : Tek katlı yapı üzerindeki ayarlanmış kütle sönümleyici. [30].....	48
Şekil 3.3: TMD'li yapıların modal analizi. [11]	49
Şekil 3.4:TMD'nin temsili diyagramı [18].	51
Şekil 3.5: Ayarlı kütle sönümleyici (TMD) ile donatılmış çok serbestlik dereceli bir birincil yapı.	52
Şekil 3.6: Jaya algoritmasının işlem akışı şeması [43].....	61

Şekil 3.7: -0,3 ile Aerodinamik Basınç Grafiği	73
Şekil 3.8: Binanın rüzgârın etkisiyle titreşen yönleri.	77
Şekil 3.9: Rüzgâr frekansı $f=0.18$ Hz. ile sinüzoidal uyarım	78
Şekil 3.10: Yüksek Yapıların Rüzgâr Altında Davranışı.	79
Şekil 3.11: İki uçlu bir yapı için Kolonun Rijitliği (Çerçeve).	80
Şekil 3.12: MDOF yapı sisteminin en üst katında bir TMD bulunan yapı [30].....	85
Şekil 3.13: Binanın modelinin Matlab Simulink kodu.	86
Şekil 3.4.11: TMD'li ve TMD'siz yer değiştirme grafiği.....	91



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1: Arazi kategori ve parametreleri.....	12
Tablo 1.2 : Etkin uzunluk değerleri Le.....	14
Tablo 1.3: Dikdörtgen planlı binaların dikey duvarları için tavsiye edilen dış basınç katsayısı değerleri.....	28
Tablo 1.4 : Düz çatılar için uygulanabilecek dış basınç katsayıları.	29
Tablo 1.5: Dış basınç katsayıları, çift eğimli çatılar için ($\theta=0^\circ$).	31
Tablo 1.6: Dış basınç katsayıları, $\theta=90^\circ$ açılı çift eğimli çatılar için.....	32
Tablo 1.7: Tavsiye edilen $C_{p,net}$ basınç katsayıları, bağlantısız duvarlar ve parapetler için.	34
Tablo 1.8: TMD'lerin dünyadaki uygulamaları [18].	49
Tablo 1.9: yapının taşıyıcı elemanlarının boyutlandırılması.	65
Tablo 2.11: Binanın dikey duvarları için dış basınç katsayıları.	68
Tablo 2.12: Binanın Çatı için dış basınç katsayıları.....	69
Tablo 2.13: Rüzgâr basınçları, çatı bölgelerinde meydana gelecektir.....	70
Tablo 2.15: çatının farklı bölgelerine etki eden rüzgârın kuvveti.	76
Tablo 2.16: Her katın toplam rüzgâr kuvveti	76
Tablo 2.17: kütle matrisinin ve rijitliğin elemanlarının özeti.....	81
Tablo 2.18: Bloğun diyagramları ve işlevleri.....	87
Tablo 2.19: TMD'nin optimizasyonu için gerekli parametreler.	89
Tablo 2.20: $\mu=5\%$ oranında optimize edilmiş değerler.....	90
Tablo 3.21: TMD'siz ilk beş modun x ve y yönünde periyotları, frekansları.....	96
Tablo 2.22: TMD' ilk beş modun x ve y yönünde periyotları, frekansları.	97
Tablo 2.23: Her iki durumda da yapıcı modların 5 periyodu.	98
Tablo 2.24: TMD'li ve TMD'siz, yapı yer değiştirmesinin Matlab ve sap2000 sonuçlarının karşılaştırılması.....	101

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

α_{opt}	: Optimum frekansı
β_1	: Dinamik büyütme katsayısı
β_2	: Dinamik büyütme katsayısı
$\mathbf{c}$	: Ana yapının sönümü
$\mathbf{C}_{matrix}$	: Sönüm matrisi
c_d	: Ayarlı kütle sönümleyici sönümü
$\mathbf{C}_{opt}$	: Optimum sönümü
$\mathbf{F}(t)$	: Dış Uyarım
$\mathbf{F}_{vek}$	: Uyarılma genlikleri
$\mathbf{k}$	: Ana yapının rijitliği
$\mathbf{K}_{matrix}$	: Rijitlik matrisi
k_d	: Ayarlı kütle sönümleyici rijitliği
k_{opt}	: Optimum rijitlik
$\mathbf{M}_{matrix}$	: Kütle matrisi
$\mathbf{M}$	: Ana yapının kütlesi
m_d	: Ayarlı kütle sönümleyici kütlesi
$\mathbf{n}$	: Kat sayısı
$\mathbf{n}_p$	: Popülasyon büyüklüğü
$\mathbf{r}$	: Kat kütleli atalet yarıçapı
$\mathbf{T}_{sim}$	: Simülasyon zamanı
T_d	: TMD'nin periyodu
$\mathbf{x}(t)$	: Yer değiştirme
$\dot{\mathbf{x}}(t)$	: Hız
$\ddot{\mathbf{x}}(t)$	: İvme
$\mathbf{x}_p$	: Popülasyon sayısı

μ	: kütle oranı
w_r	: Ana yapının frekansı
ω_d	: Ayarlı kütle sönümleyici açısal frekansı
ζ	: Sönüm Oranı
ξ	: Ana yapının sönüm oranı
ξ_d	: Ayarlı kütle sönümleyici sönüm oranı
ξ_{opt}	: Optimum sönüm oranı
$\Delta\xi_e$	: Tasarım sönüm oranı
f	: frekans

Kısaltmalar

Açıklama

ATMD	: Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyici (Active Tuned Mass Damper)
FEMA	: Quantification of Building Seismic Performance Factors
GA	: Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
JA	: Jaya Algoritması (Jaya Algorithm)
MTMD	: Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici
PTMD	: Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyici (Passive Tuned Mass Damper)
PID	: Orantı+Integral+Türev
TMD	: Ayarlı Kütle Sönümleyici (Tuned Mass Damper)
TLBO	: Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (Teaching-Learning Based
TSD	: Tek Serbestlik Dereceli
2DOF	: İki Serbestlik Dereceli
VE	: Viscoelastic Damper

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RÜZGAR ETKİSİ ALTINDA ÇERÇEVE YAPILARIN AYARLI KÜTLE SONÜMLEYİCİLERİ İLE KONTROLÜ

Mohamed CONDE

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman: Prof. Dr. Sinan Melih NİGDELİ

II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seda ÖNCÜ DAVAS

Son otuz yılda kentsel inşaat yapılarının hızlı gelişimiyle birlikte, yüksek binalar, geniş açıklıklı köprüler ve açık deniz platformları gibi birçok büyük yapı hayata geçirilmiştir. Bu tür yapılar, dinamik çevresel tehditlerin etkisi altında büyük titreşimlere duyarlıdır. İnşaat mühendisliği yapılarının sürekli değişen dinamik etkilerle başa çıkarken en iyi dinamik performansı sağlaması için önemli bir kriter, istenmeyen dış etkilerin (örneğin, rüzgâr) oluşturduğu titreşim tepkilerini sönümlemektir. Günümüz bina tasarımında, yapısal kontrol sistemleri, doğal dinamik yüklerin neden olduğu ve istenmeyen titreşim etkileriyle başa çıkmak için son derece önemli bir role sahiptir. Binalarda kullanılan pasif kontrol sistemleri arasında yer alan ayarlı kütle sönümleyicileri (TMD) sadece yeni yapıların tasarımı ve bileşenlerinde değil, aynı zamanda mevcut yapıların dinamik etkilerine karşı dayanıklılığını artırmada daha fazla kabul görmektedir. Ayarlı kütle sönümleyicileri (TMD), yapıların spesifik rezonans frekanslarını kontrol etmek amacıyla cihazın özelliklerini ayarlayarak, deprem veya rüzgâr etkisi altındaki bir yapının titreşimlerini hafifletmeyi amaçlar.

Bu tez çalışmasında, rüzgâr hareketinin neden olduğu titreşimler sırasında açığa çıkan enerjilerin pasif olarak dağıtılması amaçlanmaktadır. 30 katlı bir binanın üzerindeki rüzgâr etkisini azaltmak için Jaya algoritması (JA) dahil olmak üzere Matlab'daki meta-sezgisel algoritmalar kullanılarak parametrelerini optimize edilen ayarlı kütle sönümleyici (TMD) kullanıldı. Daha sonra SAP2000 kullanılarak yapısal analiz yapılmıştır. İlk adımda, hedef bina yapısının modal parametreleri, Robot Structural Analysis sonlu eleman modelinden elde edilmiştir. Daha sonra kütle sönümleyicisinin fiziksel özellikleri olan kütle, rijitlik ve sönüm parametreleri titreşimi en iyi şekilde azaltmak üzere optimum olarak belirlenecektir.

Optimizasyon sürecinde, Jaya algoritması gibi meta-sezgisel yöntemler kullanılarak sayısal iterasyon uygulanmıştır. Hedef bina için ayarlı kütle sönümleyici sistem bulunan ve bulunmayan durumlar altında rüzgâr etkisiyle meydana gelen yer değiştirme değerleri minimize edilerek, ayarlı kütle sönümleyici sistemlerin optimal parametreleri hesaplanmıştır. Kontrol etkinliğini değerlendirmek amacıyla, TMD'li ve TMD'siz sistem yapılarının tepkilerini karşılaştırılmıştır. 30 katlı bina modelin analiz sonuçları, önerilen ayarlı kütle sönümleyici sisteminin hem yapısal güvenliği hem de konut konforunu artırmak adına kat titreşimini azaltma ve rüzgâr uyarıları nedeniyle geçen titreşim süresini azaltma konusunda oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

MATLAB sonuçlarına göre, TMD'nin optimizasyon sonuçlarını incelediğimizde optimum yer değiştirme değeri elde edildiğinde yapıdaki yer değiştirmenin %19,2 civarında azaldığını, toplam ivme değerinin ise %55,88 oranında azaldığını gözlemliyoruz. SAP2000'de, TMD yapının en yüksek seviyesindeki yer değiştirmesi %21,40 oranında ve ivme %57,68 oranında azalma konusunda özellikle başarılı olduğunu kanıtladı.

Son olarak, bu tezde elde edilen sayısal sonuçlar, TMD sisteminin yer değiştirme azaltılmasında etkili olduğunu ve dolayısıyla rüzgâr etkisi altındaki yapıların etkili kontrolünün bir ölçüsü olarak kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Ocak 2024, 132 Sayfa.

Anahtar kelimeler: Pasif kontrol, Ayarlı kütle sönümleyici, Matlab, SAP2000, Jaya algoritması, Optimizasyon.

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

CONTROL OF FRAME STRUCTURES WITH MASS SUBMISSIONS UNDER THE IMPACT OF WIND

Mohamed CONDE

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Programme of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sinan Melih NİGDELİ

Co-Supervisor: Assoc. Dr. Öğr. Üyesi Seda ÖNCÜ DAVAS

With the rapid development of urban construction structures over the past three decades, many large structures such as high-rise buildings, long-span bridges and offshore platforms have been implemented. Such structures are susceptible to strong vibrations under the influence of dynamic environmental threats. An important criterion for civil engineering structures to provide the best dynamic performance in the face of constantly changing dynamic effects is to damp vibration responses caused by undesirable external effects (e.g. wind). In today's building design, structural control systems play an extremely important role in managing the unwanted vibration effects caused by natural dynamic loads. Tuned mass dampers (TMDs), which are part of passive control systems used in buildings, are increasingly accepted not only in the design and components of new structures, but also to increase the durability of existing structures against dynamic effects. Tuned mass dampers (TMDs) aim to attenuate the vibrations of a structure under the influence of an earthquake or wind by adjusting the characteristics of the device to control the specific resonance frequencies of the structures.

In this thesis, the aim is to passively dissipate the energies released during vibrations caused by the movement of the wind. To reduce the impact of wind on a 30-story building, a tuned mass damper (TMD) was used, the parameters of which were optimized using meta-heuristic algorithms in MATLAB, including the Jaya algorithm (JA). Then, structural analysis was carried out using SAP2000. In the first step, the modal parameters of the building structure to be studied were obtained from the finite element model of Robot Structural Analysis. Then, the physical properties of the mass damper, namely mass, stiffness, and damping parameters, will be optimally determined to best reduce vibrations.

During the optimization process, a numerical iteration was applied using meta-heuristic methods including those of the Jaya algorithm. For the target building, the optimal parameters of the tuned mass damper systems were calculated by minimizing the wind-induced displacement values under conditions with and without a tuned mass damper system. To evaluate the effectiveness of the control, the structural responses in systems with and without TMD were compared. The analysis results of the 30-story model show that the proposed tuned mass damper system is very effective in reducing ground vibration and vibration time due to wind warnings to increase both safety structural and residential comfort.

According to the MATLAB results, when we look at the optimization results of TMD, we observe that when the optimal displacement value is reached, the displacement in the structure decreases by approximately 19.2% and the total acceleration value decreases by 55.88%. In SAP2000, TMD was particularly effective in reducing displacement at the highest level of the structure by 21.40% and acceleration by 57.68%.

Finally, the numerical results obtained in this thesis conclude that the TMD system is effective in reducing displacements and can therefore be used as a measure of the effective control of structures under the influence of wind.

January 2024, 132 Pages.

Keywords: Passive control, Tuned mass damper, MATLAB, SAP2000, jaya algorithm, Optimization.

1 GİRİŞ

1.1 Genel Bilgi

Rüzgâr fırtınaları, özellikle yüksek binalarda; bina sahipleri, sigortacılar ve mühendisler için endişelere yol açan çeşitli sorunlar yaratır. Kasırga rüzgarları, deprem ve sellerden önce, doğal afetler nedeniyle ekonomik ve sigortalı kayıpların en büyük nedenlerinden biridir. Özellikle yüksek binalarda rüzgâr en çok zarar veren doğal afet türlerinden biridir.

Rüzgârı akışını gönenmemekle birlikte, akışının oldukça karmaşık ve türbülanslı bir yapıya sahip olduğu muhakkak. Rüzgârın şiddetli olduğu bir günde dışarıda yürüyüş yaptığınızı hayal edin. Hiç şüphesiz ki rüzgârın akışını deneyimlersiniz, ancak aralıklı olarak ani havanı akımları yaşarsınız. Sertlik veya türbülans olarak adlandırılan rüzgârın hızındaki bu ani değişiklik, bina salınımlarının belirlenmesinde önemli rol oynar. Elbette, tüm binalar rüzgâr fırtınaları sırasında sallanır, ancak tam yükseklikte ağır bölmelere sahip eski yüksek binalardaki hareket genellikle algılanamazdı ve kesinlikle endişe kaynağı olmadı.

Yapısal yenilikler ve hafif yapı teknolojisi, modern binaların rijitlik, kütle ve sönümleme özelliklerini azaltmıştır. Rüzgâr hareketi sorunu yaşayan binalarda nesneler titreyebilir, kapılar ve avizeler sallanabilir, resimler eğilebilir, kitaplar raflardan düşebilir. Binanın bir bükülme hareketi varsa, bina sakinleri dışarıdaki dünyanın hareket ettiği yanılsamasına kapılarak baş dönmesi ve oryantasyon bozukluğu semptomları yaratabilir. Dinamik yüklerin uygulanması sırasında yapıların önemli titreşimlerinin etkilerini, özellikle rüzgârın etkisini en aza indirmek için mühendisler, yapıların dinamik uyarımlarını (rüzgâr) kontrol etmek ve böylece etkilerini azaltmak için çeşitli sistemler sunmuş ve geliştirmişlerdir.

Bu titreşim kontrolü, temellerin izleme ve işaretleme gibi havacılık-uzay ile ilgili konulardır. Esnek uzay yapılarında teknolojinin gelişmesiyle birlikte inşaat da etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Deprem ve rüzgârlardan (fırtınalardan) kaynaklanan aşırı yüklere korunmasına karşı bina ve köprülerin inşa edilmesine ileri seviyede teknolojiye dayanılmaktadır.

Bu son zamanlarda inşaat sektöründe yüksek katlı bina sayısı her geçen gün artmaktadır. Şu an dünyada var olan; az katlı, orta katlı ve yüksek katlı binalar sayılamayacak kadar fazladır. Bu

yapıların çoğunu düşük doğal sönümlemeye sahiptir. Bu nedenle, bir yapısal sistemin sönümleme kapasitesini artırmak veya bir binanın sönümleme kapasitesini artırmak için başka mekanik araçlara ihtiyaç duyulduğunu görülmektedir ve yeni nesil yüksek ve süper yüksek binaların giderek daha yaygın hale görüyoruz. Ancak taşıyıcı sistem tasarımı yapılırken bir yapı sisteminde sönümleme kapasitesinin tasarlanması, rutin bir tasarım uygulaması olarak yapılmalıdır.

Rüzgâr veya deprem gibi yapısal titreşimlerin kontrolü, rijitlik, kütle, sönümleme veya şekil değiştirme gibi farklı yöntemlerle veya pasif/aktif karşı kuvvetler kullanarak sağlanabilir. Bazı yapısal kontrol yöntemleri şimdiye kadar başarılı bir şekilde kullanılmıştır ve önerilen yeni yöntemler, uygulama alanlarını genişletmek ve verimliliğini artırmak için potansiyel sunmaktadır.

Bir tür titreşim kontrol cihazının seçimi, verimlilik, kompaktlık ve ağırlık, sermaye maliyeti, işletme maliyeti, bakım gereksinimleri ve güvenlik gibi bir dizi faktör tarafından yönetilir. Çalışmamızı, en azından belirli bir frekansta, yapıdaki enerjiyi dağıtan veya yapıdaki kuvvetlerin iletimini filtreleyen bir aygıtın üst üste bindirilmesi için kullanılan pasif kontrolle sınırlandırıyoruz. Herhangi bir ölçüm veya harici enerji kaynağı gerektirmez.

Tamamen pasif kontrol, herhangi bir harici enerji girişi olmaksızın, aktif kontrolde olduğu gibi titreşimleri stabilize eden yapının üzerine bir sistem yerleştirilmesinden oluşur. Bu tür kontrol daha basittir ve kararsızlık sorunu yaratmaz. Öte yandan, aktif kontrol ve daha sıkı bir frekans bandında elde edilenden daha az tutarlı bir titreşim azalmasından oluşur. İnşaat mühendisliğinde en çok kullanılan sönümleyiciler arasında ayarlı kütle sönümleyicilerinden (TMD) bahsedebiliriz. Böyle bir sistemin sertliği ve kütlesi, bu şekilde oluşturulan osilatörün kontrol etmek istediği yapının maksimum enerjisini dağıtacak şekilde seçilir. Bu sistem, damperin titreşim frekansını sönümlenecek moda senkronize ederek yapının tek bir titreşim modunun titreşimini sönümlemek için kullanılır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Dünya nüfusunun hızla artması, kırsal bölgelerden şehirlere olan göç hareketi, sınırlı ve maliyetli yaşam alanlarının varlığı gibi bir dizi zorluk, artan konut talebini karşılamak için yüksek katlı ve büyük hacimli yapıların inşasını gerektirmektedir. Yüksek binalarda, rüzgâr ve deprem gibi dışsal faktörlerden kaynaklanan çeşitli titreşimler nedeniyle yapılar arasında

gerilme ve zarar oluşma riski bulunmaktadır. Bu titreşimlerin genliklerinin yapıya zarar vermemesi için mümkün olduğu kadar azaltılması istenir. Bu, yapılara ek sönümleme eklenerek elde edilebilir.

Bu tezde aranan temel amaç, ayarlı kütle sönümleyicinin (TMD) 30 katlı bir binanın rüzgâr etkisi altındaki dinamik tepkisi üzerindeki etkisini belirlemektir. Kütle, rijitlik ve sönümleme parametrelerini ve konumunu belirlerken binanın yer değiştirmesini azaltmak amaçlanır.

Bu tasarım değişkenleri Jaya algoritması kullanılarak optimize edilmiş, amaç fonksiyonu olarak tanımlanan yapının yer değiştirme değerlerini en aza indirebilecek optimum tasarım parametreleri incelenmiştir. Bu optimizasyon sürecinde, binanın yer değiştirmesi, ayarlı kütle sönümleyici (TMD) olmadan ve ardından yer değiştirmenin yüzde kaç oranında azaltıldığını anlamak için TMD ile hesaplanır. 30 katlı bir bina üzerinde, her katın aktif eforu ile yapının üst katının yer değiştirme değerindeki sınır gerilmelerin tanımlanmasından oluşan ana koşul altında analizler yapılmıştır. Bu analizlerde, üretim koşullarına bağlı olarak binanın gerçek ölçeğinde kontrol sisteminin pratik uygulamaları temsil edilmektedir. Ayrıca, Matlab ile karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmek için SAP2000 programında yapısal analiz yapılmıştır.

1.3 Tezin Genel Yapısı

Bu tez çalışması temel olarak, giriş, Genel Kısımlar, Malzeme ve Yöntemler, Bulgular ve Sonuç bölümlerinden oluşmaktadır:

Tezin ilk bölümünde, rüzgârın genel yapısı öncelikle statik bir yaklaşımla incelenmiş ve kontrol sistemleri sınıflandırılmıştır. Daha sonra çeşitli pasif kontrol sistemlerinin temel özellikleri ve genel tanımları kısaca ele alınmıştır. Bu sürecin yanı sıra, pasif kontrol sistemleriyle ilgili kapsamlı bir literatür araştırması da gerçekteştirilmiştir.

Tezin 2. Bölümü, Malzeme ve Yöntemler kısmında pasif kontrol teknikleri ele alınmıştır. Ayrıca, MDOF sistemlerin kontrolünde kullanılan meta-sezgisel algoritmalar ve örnek olarak 30 katlı bir binada uygulanarak TMD optimizasyon yöntemleri detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

Tezin 3. bölümünde, binanın tasarım değişkenleri ve TMD (ayarlı kütle sönümleyici) kullanılarak rüzgârın etkisi altında yapıya yer değiştirmesini en aza indirmeyi hedefleyen bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu tasarım değişkenleri, Matlab programında Jaya algoritması

kullanılarak optimize edilmiştir. Sönümleme (TMD) uygulanan bina SAP2000 yapısal hesap programında modellenmiş ve TMD en uygun yerine yerleştirilmiştir.

Tezin 4. bölümünde, yapılan analizlerin sonuçlarına dayanılarak TMD'lerin etkinliğini incelenmiş ve yapıda uygulanan TMD'lerin sonuçlarından hareketle ileri araştırmalar için öneriler getirilmiştir.

2 KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1 Literatür Araştırması

Yüksek binaların doğal frekansları düşük olduğundan, bu yapılar rüzgâr yüklerine karşı son derecede hassastır. Bu nedenle, bu binaların tasarımında rüzgâr etkileri önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek binalar rüzgâra maruz kaldığından, eleman kuvvetleri yer değiştirmeleri ve ivmeleri içeren salınımların ve rüzgâr yönünü yanı sıra karşı rüzgâra ve burulma yönlerinde de meydana gelir.

Bu tepki miktarları, bir binanın nihai kapasitesi ve hizmet verebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Yapı elemanlarının yük taşıma kapasiteleri ile oluşan eleman kuvvetleri arasındaki denge, bir binanın nihai kapasitesini belirlerken, hizmet verebilirlik ise ivmelerle ilişkilidir. İnsanlar, salınımları kendilerini güvensiz ve rahatsız hissedecekleri şekilde algırlar. Rüzgarla ilgili bir diğer konu ise, binaların camlı giydirme sistemleri ve çatılarının tasarımı için, rüzgâr nedeniyle oluşan yerel aşırı basınçların dikkatli bir şekilde analiz edilmesidir. [1]

Geleneksel olarak, binalara etki eden rüzgâr yükleri yalnızca rüzgâr yönünde tepkiye neden olan statik ve deterministik yanal yükler olarak kabul edilir. Ancak, gövdenin arkasında oluşan girdaplar, binanın doğal frekansı düşükse, enine (rüzgâr) yönde kuvvetlere neden olabilir. Asimetrik basınç dağılımı, bina içinde burulma tepkisi ve burulmaya neden olabilir. Bu nedenle, binanın rüzgâr yükleri altındaki davranışının daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılması için tepkinin bu üç ana bileşeni incelenmelidir. [2]

Ayarlı kütle sönümleyicileri (TMD'ler), makine mühendisliği sistemlerinde titreşim kontrolü için yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, yüksek binalarda ve diğer inşaat mühendisliği yapılarında titreşimi azaltmak için TMD teorisi benimsenmiştir.

Ayarlı kütle sönümleyicileri (TMD), yapının spesifik rezonans frekanslarını kontrol etmek için cihazın özelliklerini ayarlayarak deprem veya rüzgâr uyarımı altındaki bir yapının titreşimlerini hafifletmeyi amaçlamaktadır.

Titreşimleri azaltmanın nispeten popüler bir yöntem olan, ayarlı kütle sönümleyici (TMD) veya titreşim sönümleyici olmuştur. Titreşim enerjisi, viskoz sönümleyiciler tarafından ana sisteme bağlı bir yardımcı veya ikincil kütlenin hareketi yoluyla emilir.

Sistemin sönümleyicilerin eklenmesiyle, özellikle rüzgâr ve deprem gibi değişken frekanslı dış etkiler altında etkili bir cihaz geliştirmişti. Bu sayede yapılar, kütle sönümleyicilerini kullanma imkanına kavuşmuştur. [1'].

Tek serbestlik dereceleri ile çok serbestlik dereceli yapıların TMD ile tepkisini hesaplamak amacıyla çeşitli parametreleri göz önünde bulundurmuştur. Bu parametreler arasında kütle oranı, frekans oranı, sönümleme oranı gibi faktörler yer almaktadır. Elde edilen optimal parametrelerin, yer değiştirme ve ivme tepkisini belirgin bir şekilde azaltmada etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. [2'].

İlk olarak, altı katlı bir bina yapısına uygulanan ayarlanabilir kütle sönümleyicileri (TMD) ile gerçekleştirdikleri çalışmada, sönümleyicilerin yapılarını modal tepkileri üzerindeki etkilerini inceleyip ve sismik uygulamalarda sönümleyicilerin etkisiz olduğunu gösterdiler. Sonrasında, çok kademeli ve çok modlu ayarlanabilir kütle sönümleyicilerini tanıttılar. Meta-sezgisel akıl yürütmeye dayalı olarak çeşitli optimal konum indekslerini tanımlayarak, yapıların sismik yükler altında sönümleyicilerin pratik tasarımı ve yerleştirilmesi için bir sıralı prosedür önerdiler. [3].

TMD sistemleri Avustralya'da Sydney Tower'da, Citycorp Center, New York'ta (275 m), John Hancock Building, Boston, ABD'de (60 kat) ve Japonya'da Chiba Port Tower'da (125 m) başarıyla kurulmuştur. Bunların ilkinde ve sonunda, sistemlerin etkinliğini doğrulamak için kapsamlı tam ölçekli ölçümleri yapılmıştır. Sidney Kulesi için, Kulenin tepesine yakın bir yerde bulunan ve yangından korunmak için yasaların gerektirdiği 180 tonluk halka şeklinde bir su deposu TMD'nin tasarımına dahil edilmiştir. Tank 2,1m derinliğinde ve içten dışa yarıçapta 2,1 m'dir, yaklaşık 200 ton ağırlığındadır ve taretin üst radyal elemanlarından asılıdır. Enerji, tanka teğet olarak takılan ve taret duvarına sabitlenen 8 amortisörde dağıtılır. Özellikle ikinci titreşim modunda sönümlemeyi daha da artırmak için kulenin alt kısmına 40 tonluk ikincil bir sönümleyici monte edilmiştir [3'].

Citycorp Center'dakilere benzer TMD sistemleri, hem John Hancock Building, Boston'da hem de Chiba Port Tower'da kuruldu. İkinci yapı da ise, sistem hem rüzgâr (tayfun) hem de deprem nedeniyle oluşan titreşimleri azaltmak için kurulmuştur. İki dikey yönde raylar üzerinde kayan çerçeveler üzerinde desteklenen hareketli kütleyi sınırlamak için ayarlanabilir helezon yaylar kullanılır. Tayvan'daki Taipei 101, 508 m boyunda, 0,14 Hz. bina frekansına ayarlamak için bir uzunluğa asılmış 660 tonluk küresel çelik kütleden oluşan sarkaç tipi bir TMD'ye sahiptir. Binanın tepesindeki ivmeleri %30-40 oranında azalttığı iddia edilmektedir. TMD'lerin rüzgâr yükü altındaki yüksek binalardaki ve kulelerdeki performansı Kwok ve Samali (1995) tarafından gözden geçirilmiştir.

Pasif sönümleyici sistemlerinden pratikte yaygın olarak kullanılan ayarlanmış kütle sönümleyicisinin (TMD) bina türü yapılardaki kullanımı, özellikle burulma düzensizliği bulunan asimetrik binaların yer hareketi uyarım yükleri altındaki titreşim kontrolü için tekli ve çift ayarlı kütle sönümleyicilerinin optimal konumu ve sistem parametrelerinin sistematik olarak belirlenmesi ve titreşim kontrolü araştırılmıştır.

İlk olarak, hedef bina yapısının kontrollerini onun ETABS sonlu eleman modelinden çıkarılmıştır. Tekli ve çift ayarlı kütle sönümleyici sisteminin optimum konumu, kontrollü mod şekillerine ve hem modal katılımcı kütle oranı hem de modal yön faktörüne dayalı olarak belirlenmiştir. Daha sonra, kütle sönümleyicisinin fiziksel özellikleri olan kütle, rijitlik ve sönüm parametrelerinin yanında konumu da burulma düzensizliğinden oluşan açısız titreşimin azaltılması için optimum olarak belirlenecektir. Optimizasyonda meta-sezgisel yöntemlerden Jaya algoritması kullanılarak sayısal iterasyon süreci kullanılacaktır. Tekli ve çift ayarlı kütle sönümleyici sistemi olan ve olmayan hedef bina için deprem etkileri altında yer değiştirme değerleri minimize edilerek tekli ve çift ayarlı kütle sönümleyici sistemlerinin optimal parametreleri hesaplanmıştır. Kontrol etkinliğini değerlendirmek için, tekli ve çift ayarlı kütle sönümleyici sistemleri olan ve olmayan binanın tepkileri karşılaştırılmıştır. Tek katlı örnek model bir bina ile 10 katlı gerçek bir binadan elde edilen analiz sonuçları, önerilen çift ayarlı kütle sönümleyici sisteminin hem yapısal güvenliği hem de konut konforunu artırmak için kat titreşimini, taban kesme kuvvetini ve deprem uyarıları nedeniyle geçen titreşim sürecini azaltmada oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, çift ayarlı kütle sönümleme sisteminin kütle artışına eşdeğer olan ve böylece asimetrik yapılar için kontrol etkinliğini artıran çift ayarlı kütle sönümleme sisteminin optimum düzlemsel konumunun belirlenmesinde burulma etkisinin göz önünde bulundurulması gerektiği sonucuna varılmıştır [4].

Bir mekanik yapının çeşitli modlarıyla ilgili titreşimlerin birkaç ayarlanmış kütle sönümleyicisi kullanılarak pasif olarak sönümlenmesi sorunu, yazarın titreşimleri azaltmak için iki ayarlanmış kütle sönümleyici kullandığı [5]'te ele alınmıştır. Zeminin ilk iki öz modunun insan faaliyetinden kaynaklanır. Pasif ayarlı bir kütle damperinin performansı, birçok araştırmaya konu olan parametrelerinin ayarlarıyla yakından bağlantılıdır. Tasarımın ilk yöntemi [6] tarafından, kendi sönümü sıfır olduğunda ve bir harmonik uyarıya maruz kaldığında ana yapının yer değiştirmesinin en aza indirilmesinden oluşan bir optimizasyon kriteri uygulayan tarafından tanıtılmıştır. TMD'nin optimal parametreleri, TMD'nin kütlelerinin sönümlenecek modun modal kütlelerine oranına göre belirlenmiştir.

Ana yapının uygun sönümünü sıfır olmadığında, bu parametreler [7] tarafından ana yapının hızını en aza indirmekten oluşan bir kriter uygulanarak elde edildi. [8] tarafından detaylı bir çalışma yapılmıştır; yapı rastgele bir uyarmaya maruz kaldığında, ana yapının ivmesini en aza indirmekten oluşan bir optimizasyon kriteri uygulanarak TMD'nin optimal parametreleri verilmiştir. Öte yandan, ana yapı serbest titreşimdeyken, logaritmik azalmanın maksimizasyonundan oluşan bir optimizasyon kriteri uygulanarak TMD'nin optimal parametreleri [9] tarafından verilmiştir. Bu parametreler daha sonra [10] tarafından uygun sönüm sıfırdan farklı olduğunda elde edilmiştir. Tüm bu kriterler ve diğerleri, TMD'nin kütlelerinin, sönümlenecek modun modal kütlelerine oranına göre TMD'nin optimal parametrelerini belirlemiştir. Ancak, bu çalışmada tanıtılan aktüatör, sarkaç TMD'nin kütlelerini ve aktüatörün toplam kütlelerini içerir. Bu nedenle, bu aktüatörün tüm parametrelerini hesaba katan bir kriter getirmenin yararınadır.

Dinamik sönümleyiciler ve ayarlı kütle sönümleyiciler, yapısal titreşim kontrol uygulamaları için ayarlı sönümleyiciler ve ayarlı sönümleyicilerin gerçekleştirilmesidir. Bu cihazların atalet, esnek ve enerji tüketen elemanları şunlardır: doğrusal uygulamalar için kütle, yay ve sönümleyici (veya malzeme sönümlemesi) ve döner uygulamalardaki döner karşılıklardır. Uygulamaya bağlı olarak, bu cihazlar birkaç onstan (gram) birkaç tona kadar boyutlandırılabilir. Sarkaç emiciler/sönümleyiciler ve çalkantılı sıvı emiciler/sönümleyiciler gibi diğer konfigürasyonlar da titreşimi azaltma uygulamaları için yapılmıştır.

TMD, yapının dinamik tepkisini azaltmak için bir yapıya bağlanır. Belirli bir yapısal frekansa ayarlanmış olan sönümleyici frekans, bu yapısal frekansta uyarıldığında, sönümleyici yapısal hareketle faz açısından rezonansa girer. Kütle genellikle bir yaylı damper sistemi ile binaya bağlanır ve kütle ile yapı arasında bağlı hareket geliştikçe enerji damper aracılığıyla dağıtılır.

2.2 Genel Kısımlar

2.2.1 Eurocode 1-4'e göre yapıların üzerindeki Rüzgâr Etkisi

Bu bölümde, rüzgâr yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak şartlar, değişkenler ve hesaplama metotları özetlenmiştir. Ayrıca, Avrupa Birliği ülkelerinde yapı tasarımında sıkça başvurulanan Eurocode 1-4 standardının, doğal rüzgâr etkilerinin tespitindeki rolü de detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

2.2.2 Rüzgâr hesap kriterleri

Bu etkiler yapının tamamına uygulanabileceği gibi, yapı içindeki belirli bir alana veya ona bağlı alanlara da uygulanabilir. Dinamik davranış gereksinimleri karşılandığı sürece, bu standart, açıklıkları 200 m'den az olan binaların, diğer yapıların ve köprülerin tasarımında kullanılması gereken rüzgâr yüklerini hesaplamak için kullanılabilir. Çoğu insan yanlışlıkla rüzgârın statik bir yük olduğuna inanır, ancak gerçekte daha çok çevresine uyum sağlayan canlı, dinamik bir yük gibidir. Engelin geometrisi, titreşimlerin ve deformasyonların meydana geldiği bölge içindeki konumunu, nasıl tepki vereceğini büyük ölçüde belirler.

Rüzgârın binalar veya diğer yapı elemanları üzerindeki etkilerinin temel nedeni, çevreden gelen hava akışının engellenmesi ve aynı zamanda çevreye karşı bir baskı yaratmasıdır. Bu etkiler genellikle zamanla oluşan istikrarlı davranışlar olarak kabul edilir. Bu tür davranışlar gözenekli oldukları için, açık alanlardan veya kapalı yapıların dışından geldiğinde duvarların iç yüzeylerine dolaylı bir şekilde etki edebilirler.

Ayrıca açık yapıların iç yüzeylerine doğrudan etki edebilirler. Uzunlamasına bir rüzgâr tarafından süpürülen büyük yüzey duvarlarına teğetsel olarak önemli sürtünme kuvvetleri de gelişebilir.

Rüzgârın bir bina üzerindeki etkisi, büyüklüğüne, şekline ve dinamik özelliklerine bağlıdır. Yapıların ve elemanlarının rüzgârın hareketlerine küresel tepkisi, doğal frekanslara yakın uyarımın neden olduğu rezonans olmayan bir bileşenin ve rezonans bileşenlerinin üst üste binmesi olarak düşünülebilir.

Eurocode 1991-1-4, deformasyonu her noktada aynı işareti koruyan temel bir bükülme modunun rüzgâr yönünde de titreşimlerle rezonansa, boyuna türbülans kaynaklanan dinamik tepkiyi kapsar.

Bu durumda, rüzgârın etkileri, küresel kuvvetler (yapının tamamına veya bir elemana etki eden) şeklinde ve yerel basınçlar ve çöküntüler (yapının duvarlarına etki eden) şeklinde hesaplanacaktır. Ortalama dinamik rüzgâr basıncı, hızlı basınç dalgalanmaları oluşturularak ve binanın dinamik katsayısı dikkate alınarak artırılmıştır.

Bu yöntem, maksimum yükseklikleri ve açıklıkları 200m olan binalar ve köprüler için geçerlidir. Bu nedenle, bu tezde, türbülanslı rüzgârın kendi yönündeki aşırı etkilerine eşdeğer, binanın duvarlarına dik olarak uygulandığı varsayılan aerodinamik kuvvetler veya basınçlar (dış ve iç) şeklinde hesaplanan statik eylemleri ele alıyoruz.

2.2.3 Rüzgârın Tanımı

Dünya yüzeyinin düzensizce ısınması ve soğumasının etkisiyle ortaya çıkan kuvvetleriyle meydana gelen yatay hava hareketine "rüzgâr" adı verilir. Rüzgâr, yatay ve yaklaşık yatay bir yönde hareket eden bir hava kütesinin hareketidir. Dünyanın eğriliği, dönme eksen eğikliği ve yüzeyin heterojen yapısı nedeniyle yüzey tarafından farklı şekillerde absorbe edilen güneş enerjisi, atmosfer basıncında yatay yönde farklılıklara yol açar. Bu fark da havanın hareketine ve sonuç olarak rüzgârın oluşumuna sebep olur. Rüzgâr, yön ve şiddet olmak üzere iki faktörle ölçülen vektörel bir kuvvettir. [11]

2.2.4 Rüzgâr türleri

Bina tasarımında ilgi konusu olan rüzgarlar üç ana tipte sınıflandırılabilir: hâkim rüzgarlar, mevsimsel rüzgarlar ve yerel rüzgarlar.

Hâkim rüzgâr

"Hâkim rüzgâr" terimi, genellikle belirli bir bölgede ve belirli bir yönden esen baskın rüzgarı ifade eder.

Mevsimsel Rüzgâr, yeryüzünü kaplayan hava, aynı mevsimlerde okyanusların üzerindeki havadan yazın daha sıcak ve kışın daha soğuktur. Yaz aylarında kıtalara alçak basınç hakimdir ve okyanuslardan gelen rüzgarlar en soğuk rüzgarlara sahiptir; kışın ise yüksek basınçlı bir atmosferle okyanuslara doğru daha sıcak rüzgarlar eser. Basınç farkından dolayı oluşan rüzgarlara "mevsimsel rüzgâr" denir.

Yerel Rüzgarlar sıcaklık ve basınçtaki değişiklikler nedeniyle oluşur. Genellikle arazinin engebeli olduğu bölgelerde oluşurlar, dağlarda ve vadilerde esintilere neden olurlar.

Hâkim ve mevsimlik rüzgarlar analitik olarak birlikte incelenirken yerel rüzgarlar ayrı ayrı incelendiğine dikkat edilmelidir. Bu ayrım, mevsimsel ve hâkim rüzgarların birkaç aylık bir süre boyunca değiştiği, yerel rüzgarların ise her dakika da değişir ve rüzgârın hızındaki değişim periyoduna dayanmaktadır: birinci grubun rüzgâr hızındaki değişime "birinci grubun değişimi" denir. İkinci gruba ise "gale" denir. Diğer akışkanların aksine, rüzgârın akışı sabit değildir ve rastgele değişir; bu da rüzgâr yüklerinin statik yükler olarak dikkate alınmasını gerektirir.

2.2.5 Rüzgâr Akışını Etkileyen Faktörler

Atmosferik sınır tabakasını etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir [2]:

- Geniş çaplı basınç ve sıcaklık gradyanları
- Yüzeyler pürüzlülük parametreleri
- sınırlar katmanlı yükseklikleri
- Isı ve yatay hareket transferi

Yüzey düzensizliği ölçütleri, yüzey sürtünmesi ve momentum değişimine yol açtığı için, sınır tabakası yüksekliğinde gibi olduğu diğer başka önemli faktör de rüzgâr akışını etkileyen ve aynı zamanda sınır tabakası rüzgâr kesmesine neden olan bir etken olarak öne çıkar.

2.3 Rüzgâr Karakteristiği

2.3.1 Temel rüzgâr hızı

Temel rüzgâr hızı $V_{b,0}$, minimum engel yüksekliğinin 20 katı olan açık kırsal alanlarda, çim gibi az bitki örtüsü olan yerlerde yerden 10 metre yükseklikte karakteristik ortalama hızdır. Bu değer, yılın mevsimi ve rüzgâr yönüne bakılmaksızın elde edilir ve 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızı olarak kabul edilir.

Denklem 1.1 ile temel rüzgâr hızı hesaplanır.

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} \quad (1.1)$$

Burada,

V_b : Belirli bir mevsim için, 10 metreden yükseklikte bulunan, arazi sınıfı II'ye ait ve rüzgâr yönüne bağlı olarak belirlenen temel rüzgâr hızı, Denklem (1.1) olarak ifade edilir.

$V_{b,0}$: Rüzgâr yönü ve mevsimi göz önünde bulundurularak belirlenen temel değer, temel rüzgâr hızıdır.

C_{dir} : Rüzgâr doğrultu katsayısı,

C_{season} : Mevsim, tüm geçici ve mimari yapılar için bir mevsimsel etkendir.

Eurocode 1-4 standartına göre, C_{dir} ve C_{season} değerlerinin her ikisinin de 1 olarak kabul edilmesi önerilir.

İstanbul Atatürk Havalimanı'nda yapılan sürekli rüzgâr hızı ölçüm deneyleri sonucunda elde edilen verilerin analizi, İstanbul ve çevresi için temel rüzgâr hızının $V_b = 25$ m/s olduğunu göstermiştir.

2.3.2 Ortalama Rüzgâr Hızı

Denklem 1.2, orografik özellikler, arazi engebелiliği ve temel rüzgâr hızı V_b dikkate alınarak yerden z (m) yükseklikteki bir alandaki ortalama rüzgâr hızını hesaplamak için kullanılabilir.

$$V_m(z) = C_r(z) \cdot C_o(z) \cdot V_b \quad (1.2)$$

Burada

$C_r(z)$: Engebелilik katsayısı,

$C_o(z)$: Orografi katsayısı, Eurocode 1-4'e göre 1.0, önerilen orografik katsayı değeridir.

2.3.3 Arazi engebелiliği

Yapının konumunun, yüksekliği ve rüzgârın yönü, dikkate alınarak, ortalama rüzgâr hızının rüzgârın yönündeki değişkenliğini belirlemek için engebелilik katsayısı kullanılır. Denklem 1.3 ve 1.4, rüzgârın engebелiliği araziler yeterli bir profil oluşturacak kadar uzunsa, engebелilik katsayısını elde etmek için kullanılabilir.

$$C_r(z) = K_r \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad Z_{min} \leq Z \leq Z_{max} \quad (1.3)$$

$$C_r(z) = C_r(Z_{min}) \quad Z \leq Z_{min} \quad (1.4)$$

Burada,

Z_0 : Engebелilik uzunluğu,

K_r : Denklem 1.5'ten elde edilen arazi katsayısı, arazinin engel uzunluğuna bağlıdır.

$$K_r = 0,19 \left(\frac{Z_0}{Z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (1.5)$$

Arazi Tip N°	Arazi kategorisi	$Z_0(m)$	$Z_{min} (m)$
0	Açık deniz etkisine maruz kalan deniz ve kıyı alanları	0,003	1
I	Göller veya ihmal edilebilecek seviyede bitki örtüsü olan, engebeliliği olmayan, düz ve yatay alanlar	0,01	1
II	Çayır gibi az seviyede bitki örtüsü olan ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere (ağaç, bina vb.) sahip alanlar	0,05	2
III	Düzgün yayılı bir bitki örtüsü şekline veya binalara veya aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip alanlar (Kasaba, ormanlık alanlar vb.)	0,3	5
IV	Düzgün yayılı bir bitki örtüsü şekline veya binalara veya aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip alanlar (Kasaba, ormanlık alanlar vb.)	1,0	10

Tablo 1.1: Arazi kategorisi ve parametreleri.

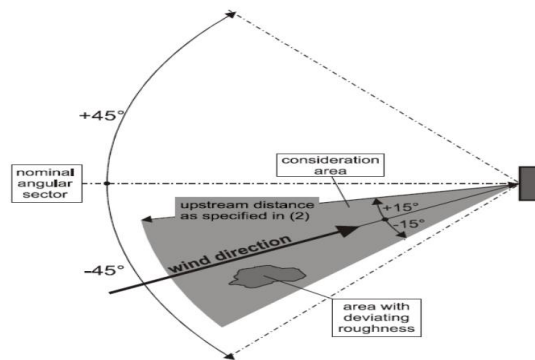
Z_{max} : Önerilen değer, 200 metre olarak belirlenmiştir.

Z_0 Ve Z_{min} : Tablo 1.1'den elde edilen değerler, arazi kategorisine göre belirlenir.

$Z_{0,II}$: Tablo 1.1'de arazi kategorisine göre bir değer belirlenmiştir ve bu değer 0,05 m olarak kabul edilir.

Rüzgâr yönü etrafındaki dairesel dilim içindeki düzgün engebeli arazinin uzunluğu ve yüzey engebeliliği, seçilen rüzgâr yönü için kullanılacak arazi engebeliliğini belirler. Şekil 1.1'de gösterildiği gibi, söz konusu arazinin %10'undan az ise çeşitli engebeli küçük alanlar olarak kabul edilir.

Dairesel kesit gösteren Şekil 1.1'de, herhangi bir 30 derecelik segmentte basınç veya kuvvet katsayısının tanımlandığı arazinin en kısa engebeliliğe sahip olması tercih edilir. Birden fazla arazi kategorisi arasında seçim yapılması gerektiğinde, verilen arazi en kısa engebelilik uzunluğuna sahip olanı seçilmelidir.



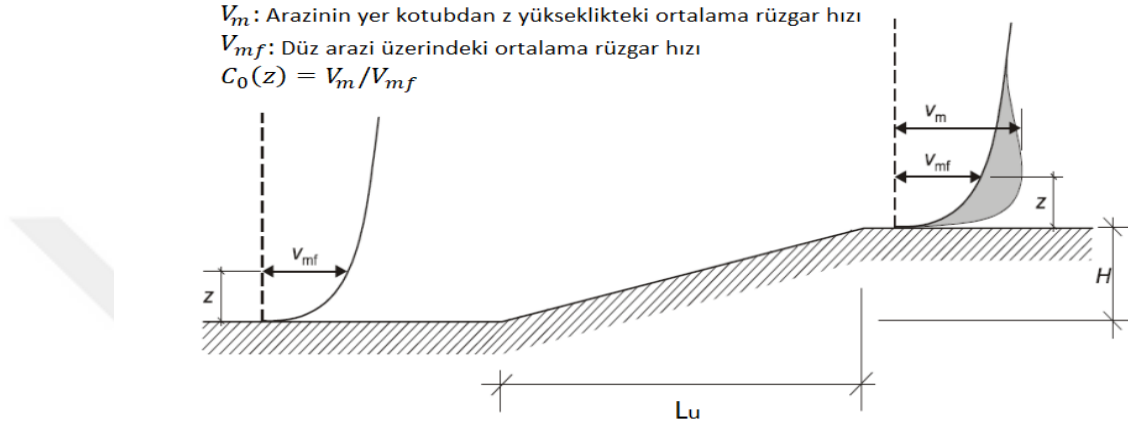
Şekil 1.2.1: Arazi engebeliliğinin değerlendirilmesi

2.3.4 Orografi katsayılarının sayısal hesabı

Rüzgâr hızlarındaki en büyük artış, yokuşun tepesine yakın bir yerde meydana gelir ve orografi katsayısı C_0 ile belirlenir, bkz. Şekil 1.2

Eğimin, türbülans standart sapması üzerinde önemli bir etkisi olmadığını söylenebilir.

Orografi katsayısı, $C_0(z)=V_m/V_{mf}$, tepeler ve kayalıklar üzerinden geçen ortalama rüzgâr hızındaki artışı hesaba katar ($\phi=H/L_u$). Tepenin veya kayalığın tabanındaki rüzgâr hızı ile ilgilidir.



Şekil 1.2.2: Orografik nedeniyle artan rüzgâr hızlarının gösterimi.

Rüzgâr hızı ile ilişkili olan Orografi katsayısı $C_0(z) = V_m/V_{mf}$, dağların birbirinden ayrılmadığı alanlar ve tepelerin/sırtların birbirinden ayrıldığı bölgeler dışında kullanılır.

Aşağıdaki durumlarda, orografinin etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

- a- Tepelerin ve tepe sıralarının rüzgâra bakan yamaçlarında bulunan (inşaat) sahaları için:

$$0,05 < \phi \leq 0,3 \text{ ve } |x| \leq \frac{L_u}{2} \text{ olduğunda}$$

- b- Tepelerin ve sıradağların rüzgâr altı yamaçlarındaki alanlar için;

$$\phi < 0,3 \text{ ve } x < \frac{L_d}{2} \text{ olduğunda}$$

$$\phi \geq 0,3 \text{ ve } x < 1,6H \text{ olduğunda}$$

- c- Yar ve Yamaçların rüzgârın estiği yönlerdeki eğimli alanda bulunan için;

$$0,05 < \phi \leq 0,3 \text{ ve } |x| \leq \frac{L_u}{2} \text{ olduğunda}$$

- d- Yar ve yamaçların rüzgârın esiş yönünün arkasında bulunan eğimli alanlarda bulunan için; $\phi < 0,3 \text{ ve } x < 1,5L_e$ olduğunda ; $\phi \geq 0,3 \text{ ve } x < 5H$ olduğunda

Orografi katsayısı şu şekilde tanımlanır:

$$\phi < 0,05 \text{ için } C_o = 1 \quad (1.6)$$

$$0,05 < \phi \leq 0,3 \text{ için } C_o = 1 + 2 * s * \phi \quad (1.7)$$

$$\phi > 0,3 \text{ için } C_o = 1 + 0,6 * s \quad (1.8)$$

Burada;

S- Şekil 1.3 veya şekil 1.4'ten elde edilen katsayıdır (uzunlukların rüzgâra doğru eğimin etkin uzunluğu L_e ile ilişkili olduğu rakamlar);

ϕ – Rüzgâr yönündeki H/L_u eğiminin eğimidir (bkz. şekil 1.2.3 ve şekil 1.2.4);

L_e - Tablo 1.2'de tanımlanan rüzgâr yönü eğiminin etkin uzunluğudur;

L_u - Tablo 1.2'de tanımlanan rüzgâr yönü eğiminin gerçek uzunluğudur;

L_d - Rüzgâr yönündeki rüzgâr altı eğiminin gerçek uzunluğudur;

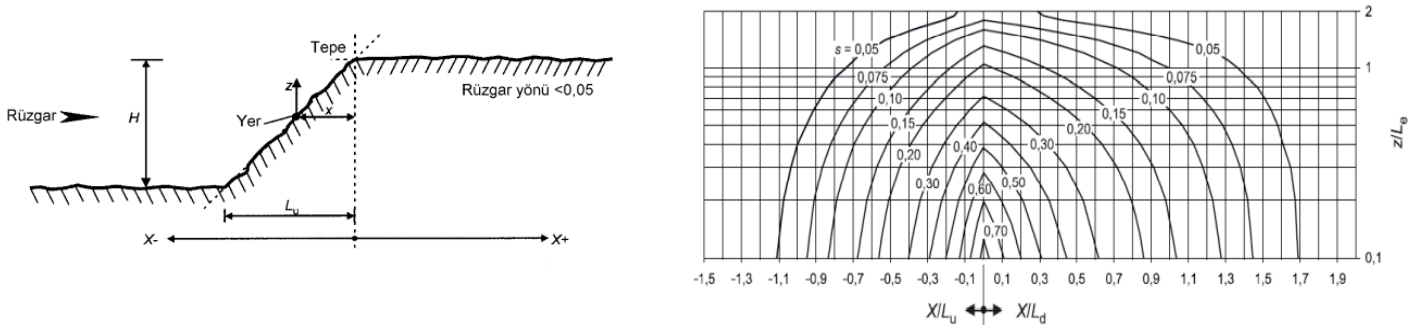
H- Engelin etkin yüksekliğidir;

x- İnşaat yerinden mahyanın tepesine kadar olan yatay mesafedir;

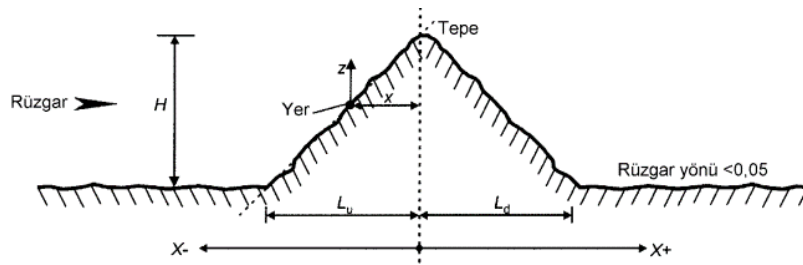
z- Dikkate alınan yerde zemin seviyesinden ölçülen düşey mesafedir;

Eğimin türü	
Orta eğim ($0,05 < \phi < 0,3$)	Güçlü eğim
$L_e = L_u$	$L_e = H/0,3$

Tablo 1.2 : Etkin uzunluk değerleri L_e .



Şekil 1.3 ve 1.4: Yarlar ve yamaç için katsayısı s.



Şekil 1.5: Tepe ve sırtlar için s katsayısı

b- Yarılar ve yamaçlar durumunda rüzgâr altı alan (Şekil 1.5)

$$-0,1 \leq \frac{X}{L_e} \leq 3,5 \text{ olduğunda } \text{ ve } 0,1 \leq \frac{Z}{L_e} \leq 2,0 \text{ alalım}$$

$$S = A * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^2 + B * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right) + C \quad (2.2)$$

Burada,

$$A = -1,3420 * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8222 * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^2 + 0,4609 * \log \left[\frac{Z}{L_e} \right] - 0,0791 \quad (2.3)$$

$$B = -1,0196 * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8910 * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^2 + 0,5343 * \log \left[\frac{Z}{L_e} \right] - 0,1156 \quad (2.4)$$

$$C = -0,8030 * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^3 - 0,4236 * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^2 - 0,5738 * \log \left[\frac{Z}{L_e} \right] - 0,1606 \quad (2.5)$$

$$0 \leq \frac{X}{L_e} \leq 0,1 \text{ olduğunda, (2.0 ifadesinde } s = A)$$

$\frac{x}{L_e} = 0$ ve $\frac{x}{L_e} = 0,1$ değerleri arasında enterpolasyon yapın.

$\frac{Z}{L_e} < 0,1$ olduğunda, $\frac{Z}{L_e} = 0,1$ için değerleri kullanın.

$\frac{Z}{L_d} > 3,5$ veya $\frac{Z}{L_e} > 2,0$ olduğunda, $s = 0$ için değerleri kullanın.

C- Tepeler ve tepe sıraları durumunda rüzgâr altı alan (Şekil 1.2.4)

$$0 \leq \frac{X}{L_d} \leq 2,0 \text{ olduğunda } \text{ ve } 0 \leq \frac{Z}{L_e} \leq 2,0 \text{ alalım}$$

$$S = A * e^{(B * \frac{X}{L_d})} \quad (2.6)$$

Burada,

$$A = 0,1552 * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^4 - 0,8575 * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^3 + 1,8133 * \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^2 - 1,0124 * \left(\frac{X}{L_e} \right) + 1,0124 \quad (2.7)$$

$$B = -0,3056 * \left(\frac{X}{L_e}\right)^2 + 1,0212 * \left(\frac{X}{L_e}\right) - 1,7637 \quad (2.8)$$

$$0 \leq \frac{X}{L_d} > 2,0 \text{ olduğunda } \text{veya } 0 \leq \frac{Z}{L_e} > 2,0 \text{ alalım}$$

$$s = 0$$

2.3.5 Önemli yükseklikteki komşu yapıların etkisi

Bir binanın yüksekliği, çevredeki yapıların ortalama yüksekliğinin (h_{ave}) iki katından fazla olduğunda, ilk yaklaşım olarak, bu komşu yapılardan herhangi birinin hesaplanması, Z_n ($Z_e=Z_n$) yüksekliğindeki tepe dinamik basınca dayandırılabilir, yerden (denklem 3.0), bkz.

$$x \leq r \quad Z_n = \frac{1}{2}r \quad (2.9)$$

$$r < x < 2r \quad Z_n = \frac{1}{2} \left[r - \left(1 - \frac{2 * h_{low}}{r} \right) * (x - r) \right] \quad (3.0)$$

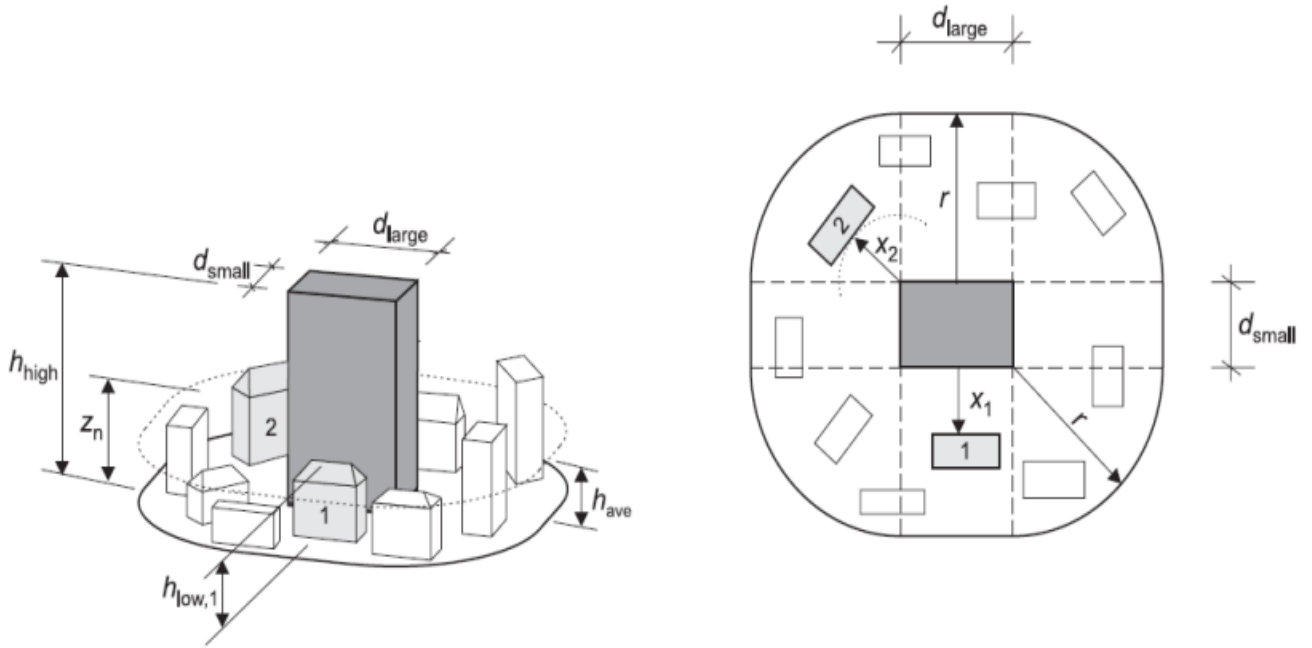
$$x \geq 2r \quad Z_n = h_{low} \quad (3.1)$$

r yarıçapının aşağıdaki olduğu gibidir,

$$r = h_{high} \text{ eğer } h_{high} \leq 2d_{large} \quad (3.2)$$

$$r = 2d_{large} \text{ eğer } h_{high} > 2d_{large} \quad (3.3)$$

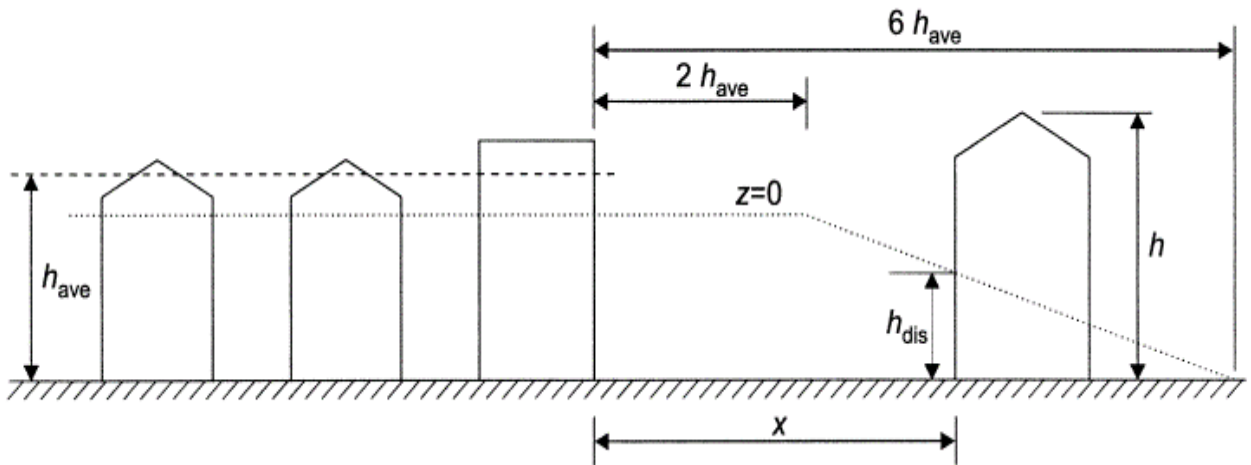
h_{low} inşaat yüksekliği, r yarıçapı, x mesafesi ve d_{small} ve d_{large} boyutları Şekil 1.6'da gösterilmektedir. h_{low} , yüksek binanın h_{high} yüksekliğinin yarısından büyük olduğunda, yani $Z_n=h_{low}$ olduğunda, rüzgar hızlarındaki artış göz ardı edilebilir.



Şekil 1.2.4 : 1 ve 2 numaralı iki farklı komşu yapıya, daha yüksek bir yapının etkisi.

2.3.6 Yer değıştirme yüksekliği

Kategori IV arazide yer alan binalar söz konusu olduğunda, yakın binalar ve diğer engeller, rüzgârın sanki yer seviyesi h_{dis} denilen yer değıştirme yüksekliğine yükseltilmiş gibi davranmasına neden olur. h_{dis} , denklem (3.4) ile belirlenebilir, bkz. şekil 1.6, yüksekliğe göre tepe dinamik basıncın profili h_{dis} yüksekliği kadar yukarı kaydırılabilir.



Şekil 1.2.5: Engel yüksekliği ve rüzgâr aralığı.

$$x \leq 2h_{ave} \quad h_{dis}, \quad 0.8h_{ave} \text{ veya } 0.6h' \text{ den küçüktür}$$

$$2h_{ave} < x < 6h_{ave} \quad h_{dis}, \quad (1.2h_{ave} - 0.2x) \text{ veya } 0.6h' \text{ den küçüktür "}$$

$$x \geq 6h_{ave} \quad h_{dis} = 0$$

Daha kesin bilgilerin yokluğunda, arazi kategorisi IV için engel yüksekliğinin $h_{ave}=15m$ 'ye eşit olduğu kabul edilebilir.

2.3.7 Rüzgâr türbülansı $I_v(z)$

Z yüksekliğindeki türbülans yoğunluğu, türbülansın standart sapması bölü ortalama rüzgâr hızı olarak tanımlanır.

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l \quad (3.4)$$

Arazi faktörü k_r için denklem (1.5)'e bakınız; referans rüzgâr hızı v_b için denkleme (1.1) bakın ve türbülans katsayısı k_l için aşağıdaki denkleme bakın

$$Z_{min} \leq Z \leq Z_{max} \text{ için } I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} \quad (3.5)$$

$$Z \leq Z_{min} \text{ için } I_v(z) = I_v(Z_{min}) \quad (3.6)$$

2.3.8 Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı

Ortalama hız ve hızdaki dalgalanmalarına neden olduğu z yüksekliğindeki tepe dinamik basıncı $q_z(z)$ belirlemek gereklidir.

$$q_z(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * V_m(z)^2 = C_e(z) * q_b \quad (3.7)$$

Burada,

ρ – Fırtınalar sırasında beklenen hava yoğunluğu, bölgedeki yükseklik, sıcaklık ve atmosferik basınca bağlıdır ve tavsiye edilen değer $1,25 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir.

$C_e(z)$ - denklem 3.7'de verilen maruz kalma faktörüdür.

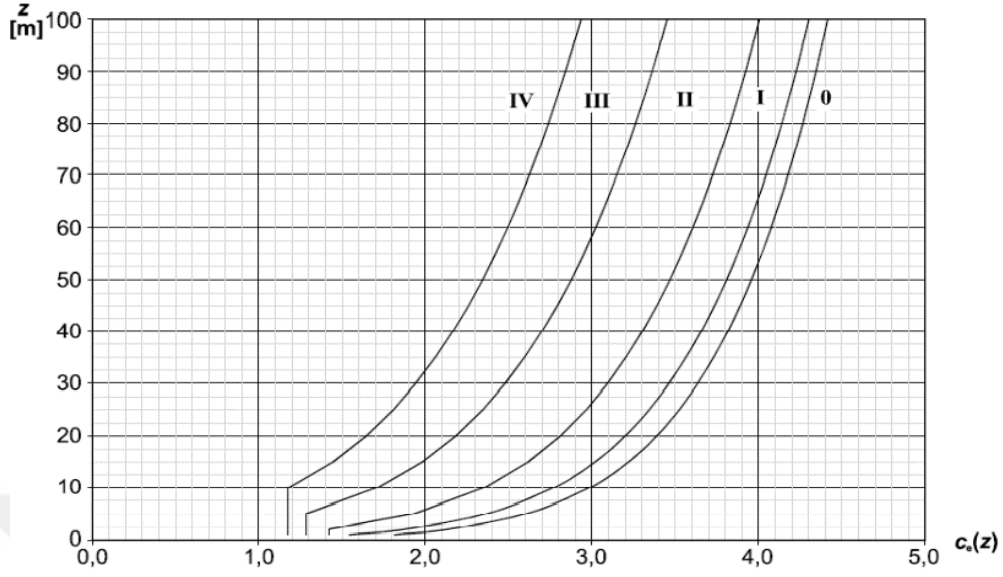
$$C_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (3.8)$$

q_b - denklem (3.8)'de verilen referans dinamik rüzgâr basıncıdır.

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * V_b^2 \quad (3.9)$$

$C_o(z)=1.0$ arazi koşullarına sahip düz bir alanda; maruz kalma katsayısı $C_e(z)$, yerden yüksekliğin ve arazi sınıfının bir fonksiyonu olarak Tablo 1.1'de Şekil 1.7'de tanımlandığı şekilde ifade edilir.

Şekil 1.2.6: $C_0=1,0$ ve $K_1=1,0$ koşulları için maruz kalma katsayısı $C_e(z)$ 'nin grafiği.



2.3.9 Yüzeylerdeki aerodinamik basınç

Dış yüzeylere etki eden aerodinamik basınç, W_e , denklem (4.0)'dan belirlenmelidir.

$$W_e = q_p(z_e) * C_{pe} \quad (4.0)$$

Burada,

$q_p(z_e)$ - tepe dinamik basınçtır ve İfade 4.1'de tanımlanır

z_e - Referans yükseklik, dış basınç için belirli bir ölçüdür.

C_{pe} - Basınç katsayısı, dış basınç için bir ölçüdür.

W_i , bir yapının alt yüzeylerine etki eden aerodinamik basınç, Denklem 4.1'den hesaplanmalıdır.

$$W_i = q_p(z_i) * C_{pi} \quad (4.1)$$

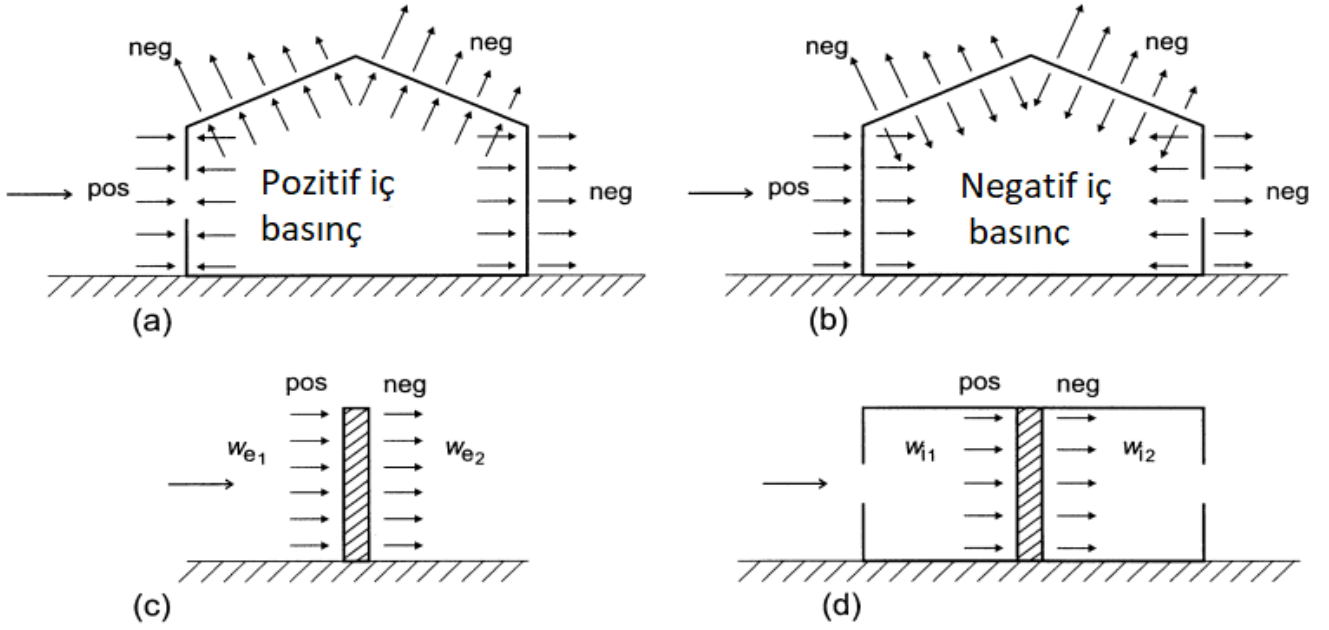
Burada,

$q_p(z_i)$ - tepe dinamik basınçtır.

z_i - iç basınç için referans yüksekliktir.

C_{pi} - iç basınç için basınç katsayısıdır.

Karşılıklı yüzeylere uygulanan basınçlar arasındaki fark olarak tanımlanan net basınç, bir duvara, çatıya veya elemana uygulanır. Yüzeye doğru uygulanan basınç pozitif olarak kabul edilirken, yüzeyden uzağa yapılan emme negatif olarak kabul edilir. Şekil 1.9'deki örnekler bunu göstermektedir.



Şekil 1.2.7: Yüzeylerdeki uygulanan basınç

2.4 Rüzgâr kuvveti

Rüzgârın tüm yapıya veya bir bileşene uyguladığı kuvvetler şu şekilde belirlenmelidir:

- Kuvvet katsayılarını kullanarak kuvvetleri hesaplayarak veya,
- Yüzey basınçlarından kuvvetleri hesaplayarak.

Bir yapıya veya bir yapı elemanına etki eden rüzgârın F_w uyguladığı kuvvet, (4.2) denklemi kullanılarak doğrudan belirlenebilir.

$$F_w = C_s C_d \cdot C_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.2)$$

Veya denklem (4.3) kullanılarak tek tek yapı elemanları üzerinden vektör toplamı ile.

$$F_w = C_s C_d \cdot \sum_{\text{elemanlar}} q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.3)$$

Burada,

$C_s C_d$ - yapısal katsayı öyle ki 4.5 ve 4.6'da

C_f - yapı veya yapı elemanına uygulanan kuvvet katsayısıdır.

$q_p(z_e)$ - ze referans yüksekliğindeki tepe dinamik basınçtır.

A_{ref} - yapı veya yapı elemanının referans alanıdır.

Bir yapıya veya bir yapı elemanına etki eden rüzgarın uyguladığı kuvvet F_w , $F_{w,e}$ kuvvetlerinin vektörel toplamı ile belirlenebilir; $F_{w,i}$ ve F_{fr} , (4.4) ve (4.5) ifadeleri

kullanılarak dış ve iç basınçlardan ve dış yüzeylere paralel rüzgar sürtünmesinden kaynaklanan sürtünme kuvvetlerinin kendileri denklem (4.6) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Dış kuvvetler:} \quad F_{w,e} = C_s C_d \cdot \sum_{\text{Alanlar}} W_e \cdot A_{ref} \quad (4.4)$$

$$\text{İç kuvvetler:} \quad F_{w,i} = C_s C_d \cdot \sum_{\text{Alanlar}} W_i \cdot A_{ref} \quad (4.5)$$

$$\text{Sürtünme Kuvvetleri:} \quad F_{w,i} = C_{fr} \cdot q_P(z_e) \cdot A_{fr} \quad (4.6)$$

$C_s C_d$ - yapısal katsayı

W_e - z_e yüksekliğinde temel yüzeye uygulanan dış basınçtır.

W_i - z_i yüksekliğinde temel yüzeye uygulanan i: basınçtır.

A_{ref} - temel yüzeyin referans alanıdır;

C_{fr} - sürtünme katsayısıdır.

A_{fr} - dış yüzeyin rüzgâra paralel alanıdır

Rüzgâra paralel (veya rüzgâr yönüne göre hafif eğimli) tüm yüzeylerin toplam alanı, toplam alanının 4 katına eşit veya daha az olduğunda rüzgâr sürtünmesinin yüzey üzerindeki etkileri ihmal edilebilir.

Aerodinamik basınçların rüzgâr yönü ve rüzgâr altı yüzleri arasındaki korelasyon eksikliği, olaya dik olan tüm dış yüzeylerin toplam alanı olabilir (rüzgâra karşı ve rüzgâr altı).

2.4.1 Yapısal katsayı $C_s C_d$

Yapısal katsayı $C_s C_d$, yapının yüzeyindeki basınç noktalarının eşzamanlı olmamasının ve diğer yandan yapının titreşimlerinin rüzgârın etkileri üzerindeki etkisini hesaba katması amaçlanır.

$C_s C_d$ 'nin belirlenmesi için,

- a- 15 metre yüksekliğin altındaki binalar için $C_s C_d$ değeri 1 olarak alınabilir;
- b- Cephe ve çatı elemanlarının doğal frekansı 5 Hz'den yüksek olduğunda, $C_s C_d$ değeri 1 olarak kabul edilir;

c- Rüzgâr yönünde ölçülen yüksekliği 100 metreden az ve genişliği yüksekliğin 4 katından daha düşük olan bölmeli karkas yapılar için $C_s C_d$ değeri 1 olarak kabul edilebilir.

$C_s C_d$ Katsayısını hesaplamak için ayrıntılı prosedür denklem 4.7'de açıklanmıştır. Bu prosedür yalnızca de belirtilen verilen koşullar sağlandığında kullanılabilir.

$$C_s C_d = \frac{1 + 2 \cdot K_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (4.6)$$

Burada,

z_s - Referans yüksekliğidir, bkz. 1.9. Şekil 1.9'in uygulanmadığı yapılar için Z_s , yapının yüksekliği olan h 'ye eşit alınabilir;

K_p - Tanımlanan tepe faktörü, yanıtın değişken bölümünün maksimum değerinin standart sapmasının oranı olarak ifade edilir.

I_v - Türbülans şiddetini;

B^2 - Yapı yüzeyindeki basıncın düzensiz korelasyonunu yansıtan yarı-statik tepki katsayısıdır.

R^2 - Türbülans tarafından üretilen titreşim modunun rezonansını temsil eden rezonans yanıt katsayısıdır.

Boyut katsayısı C_s , yapının yüzeyinde basınç tepe noktalarının eşzamanlı olmamasından dolayı rüzgârın etkisi üzerindeki azaltma etkisini hesaba katar; denklem 4.7'den elde edilebilir.

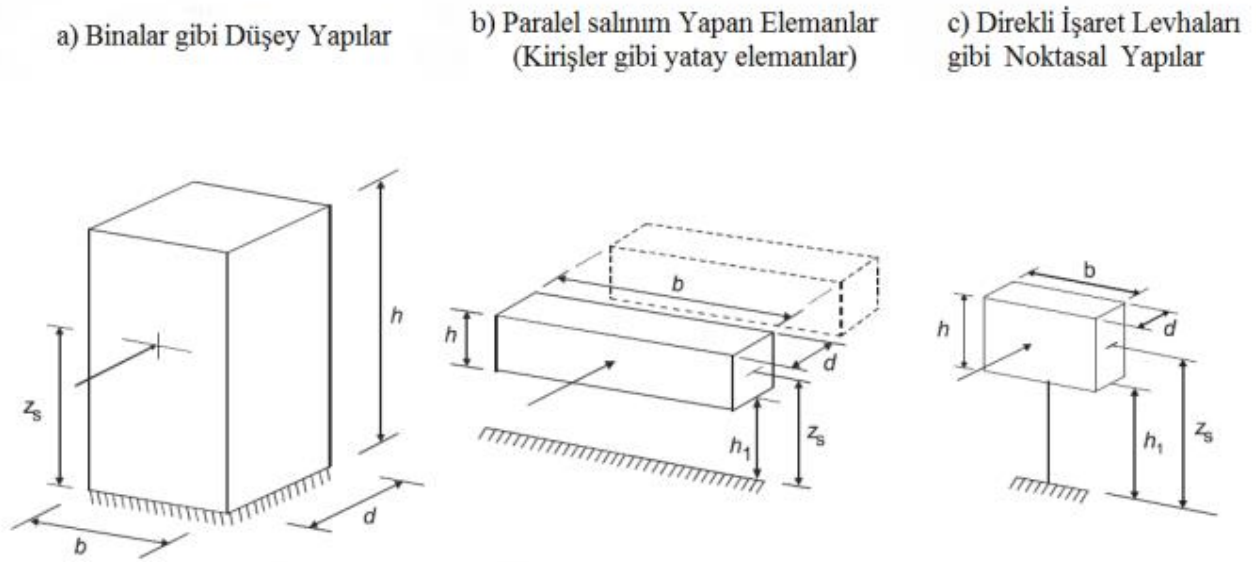
$$C_s = \frac{1 + 7 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (4.7)$$

Dinamik katsayı C_d , türbülansın yapı ile rezonans halinde ürettiği titreşimler nedeniyle artan etkiyi hesaba katar; denklem 4.8'den elde edilebilir;

$$C_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}} \quad (4.8)$$

Denklem (4.6), yalnızca aşağıdaki gereksinimlerin tümü karşılandığında kullanılmalıdır:

- a- Yapı, Şekil 1.10'de gösterilen genel formlardan birine karşılık gelir;
- b- Temel moduna göre sadece rüzgârın yönündeki titreşimler önemlidir ve bu modun deformasyonu sabit işarete sahiptir;



Şekil 1.2.8: Tasarım aşaması kapsamında yer alan genel şekilleri.

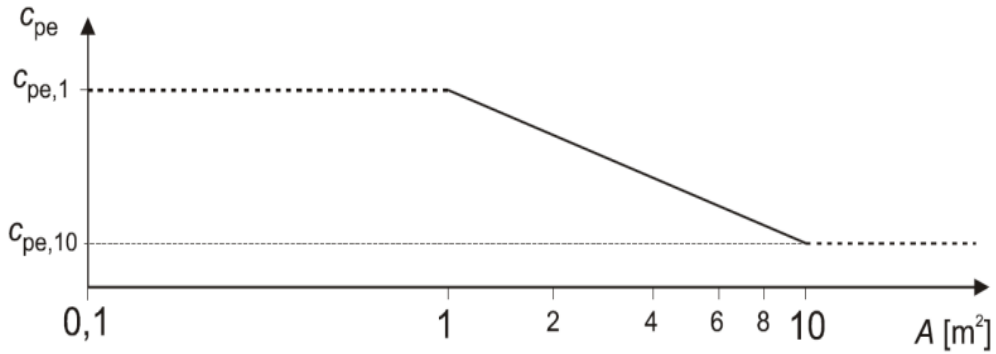
Basınç katsayıları

Dış basınç katsayıları, rüzgârın binaların dış yüzeylerindeki etkisini verir; iç basınç katsayıları, rüzgârın binaların iç yüzeylerindeki etkisini verir.

Dış basınç katsayıları genel katsayılara ve yerel katsayılara bölünmüştür. Yerel katsayılar, 1m^2 'lik alana sahip yüzeyler için basınç katsayılarını verir. Küçük elemanların ve bağlantı elemanlarının hesaplanması için kullanılabilirler. Global katsayılar, 10m^2 alanla yüklü yüzeyler için basınç katsayılarını verir. 10m^2 'den büyük alana sahip yüklü yüzeyler için kullanılabilirler.

Binalara ve bina bölümlerine uygulanabilen dış basınç katsayıları C_{pe} , hesaplanacak kesitte rüzgârın hareketini üreten yapının yüzeyi olan yüklü yüzey A'nın boyutuna bağlıdır. Dış basınç katsayıları, uygun bina konfigürasyonlarına ilişkin tablolarda 1m^2 ve 10m^2 'lik yüklü alanlar A için verilmiştir; yerel katsayılar için $C_{pe,1}$ ve genel katsayılar için $C_{pe,10}$ ile gösterilirler.

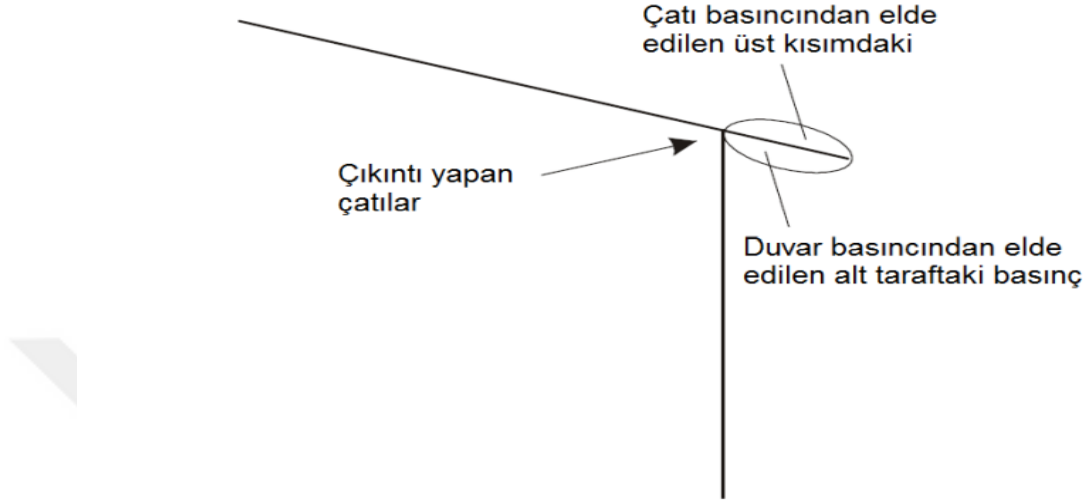
$C_{pe,1}$ değerleri, cephe ve çatı elemanları gibi alanı 1m^2 'ye eşit veya daha küçük olan gereksiz kullanım elemanların ve bunların tespitlerinin hesaplanmasına yöneliktir. Binaların genel yapılarının hesaplanmasında $C_{pe,10}$ değerleri kullanılabilir.



Şekil 2.9: 1m^2 ile 10m^2 arasında yüklü bir alan için harici basınç katsayısı C_{pe} 'nin belirlenmesi.

$$1m^2 < A < 10m^2 \text{ için } C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10})\log_{10}A$$

Saçaklar için, saçağın alt tarafına uygulanan basınç, saçağa doğrudan bağlı dikey duvarın yüküne uygulanan basınca eşittir; saçakların üst yüzüne uygulanan basınç, çatının kendisi için tanımlanan bölgenin basıncına eşittir.

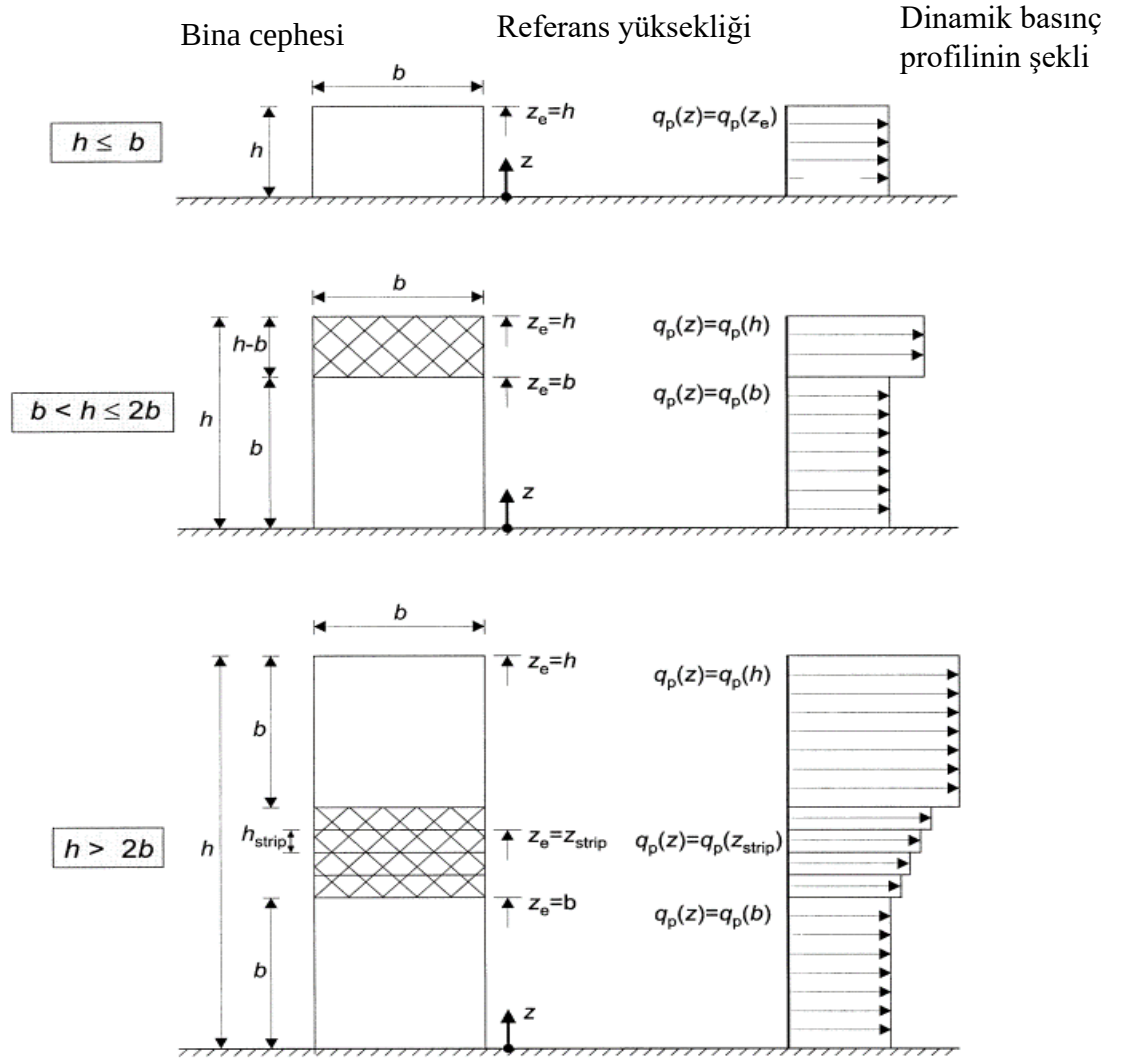


Şekil 2.10: Çıkıntılar için geçerli olan ilgili basınçların gösterimi.

2.5 Dikdörtgen planlı yapıların düşey duvarları

Dikdörtgen planlı binaların (bkz. Şekil 2.12) rüzgâra bakan duvarları için referans yükseklikleri, z_e , biçim faktörü h/b 'ye bağlıdır. Ve her zaman duvarların farklı bölümlerin üst yükseklikleridir. Aşağıdaki üç durum için Şekil 2.12'de gösterilmiştir:

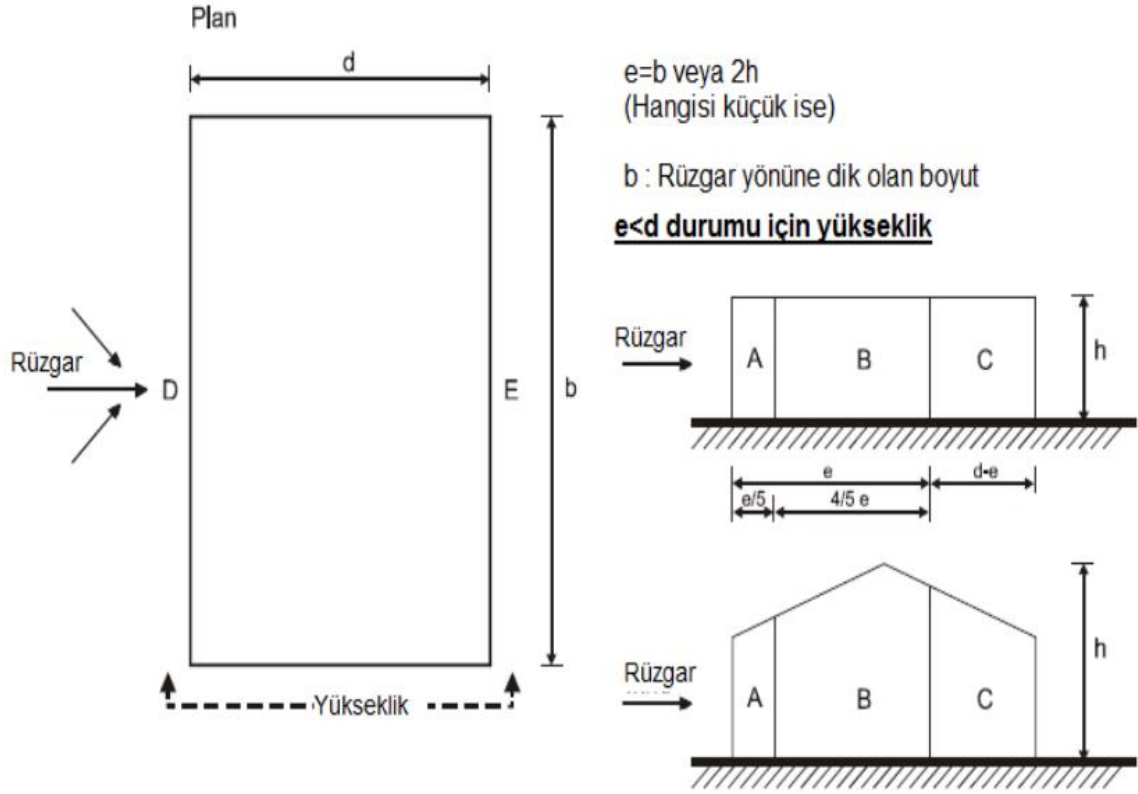
- Bir binanın yüksekliği h , b 'den büyük ve $2b$ 'den küçükse, bu bina iki bileşen olarak ele alınabilir. Bunlar; zeminden dikey olarak b 'ye kadar uzanan alt kısım ve geri kalan kısımlardan oluşan üst kısımdır;
- Bir binanın yüksekliği h , $2b$ 'den büyükse, bu bina birkaç elemandan oluşur. Bunlar; zeminden dikey olarak b 'ye kadar uzanan alt kısım, b 'ye eşit yükseklikteki üst kenardan dikey olarak uzanan üst kısım ve üst ile alt kısımlar arasında yer alan orta bölge olmak üzere üç bölüme ayrılabilir. Orta bölge, Şekil 2.12'de gösterildiği gibi yatay şeritlerle belirlenen bir h_{strip} yüksekliğine sahiptir.



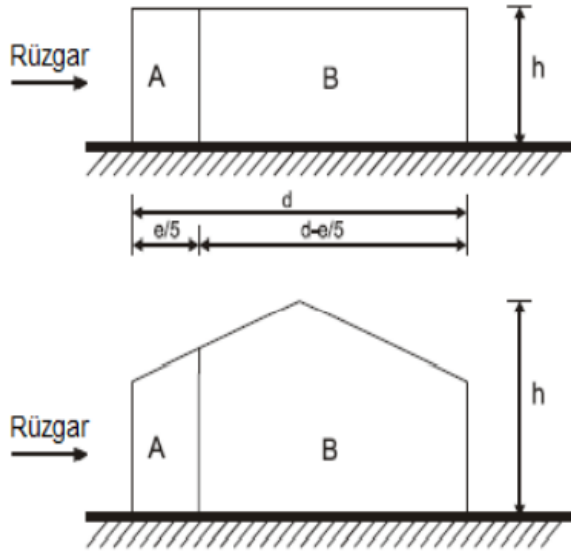
Şekil 2.11: Referans yükseklik, z_e , h ve b 'ye ve karşılık gelen dinamik basınç profiline bağlıdır.

Her bir yatay bant için hız kaynaklı rüzgâr basıncının aynı şekilde etkili olduğu varsayılmaktadır.

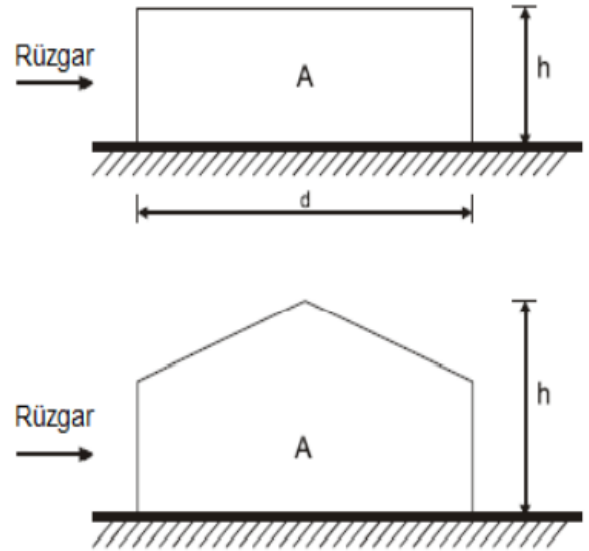
Dış basınç katsayıları $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$, Şekil 2.13'teki A, B, C, D ve E bölgeleri için verilmiştir.



$e \geq d$ durumu için yükseklik



$e \geq 5d$ durumu için yükseklik



Şekil 2.12 : Dikey duvar için açıklama

Tablo 1.3'te, h/d oranına göre önerilen $C_{pe,10}$ ve $C_{pe,1}$ değerleri belirtilmiştir. h/d 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon kullanılabilir.

Tablo 1.3'teki değerler beşik veya beşik çatılar gibi eğimli çatılı binaların duvarları için de geçerlidir.

Bölgele	A		B		C		D		E	
h/d	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
≤ 0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	

Tablo 1.3: Dikdörtgen planlı binaların dikey duvarları için tavsiye edilen dış basınç katsayısı değerleri.

Bir yapının üzerine etki eden aerodinamik kuvvetler hesaplanırken, bina üzerindeki rüzgâr etkisi, rüzgâr yönü ve rüzgâr altı yüzeylerine (D ve E bölgeleri) aynı anda C_{pe} basınç katsayıları kullanılarak değerlendirilir. Ancak bu hesaplamada, rüzgâr ve rüzgâr yönündeki aerodinamik basınçlar arasındaki ilişki eksikliği göz önünde bulundurulmalıdır.

Rüzgâr yönü ve rüzgâr altı aerodinamik basınçları arasındaki korelasyon eksikliği aşağıdaki gibi çözülebilir.

- (h/d ≥ 5) Yükseklik/genişlik oranı (h/d) 5'ten büyük olan yapılar için bileşke kuvveti 1 ile çarpılır; hatta bu oranı aşan yapılar için de geçerlidir.

-(h/d ≤ 1) Yükseklik/genişlik oranı (h/d) 1'den küçük olan yapılar için bileşke kuvveti 0,85 ile çarpılır.

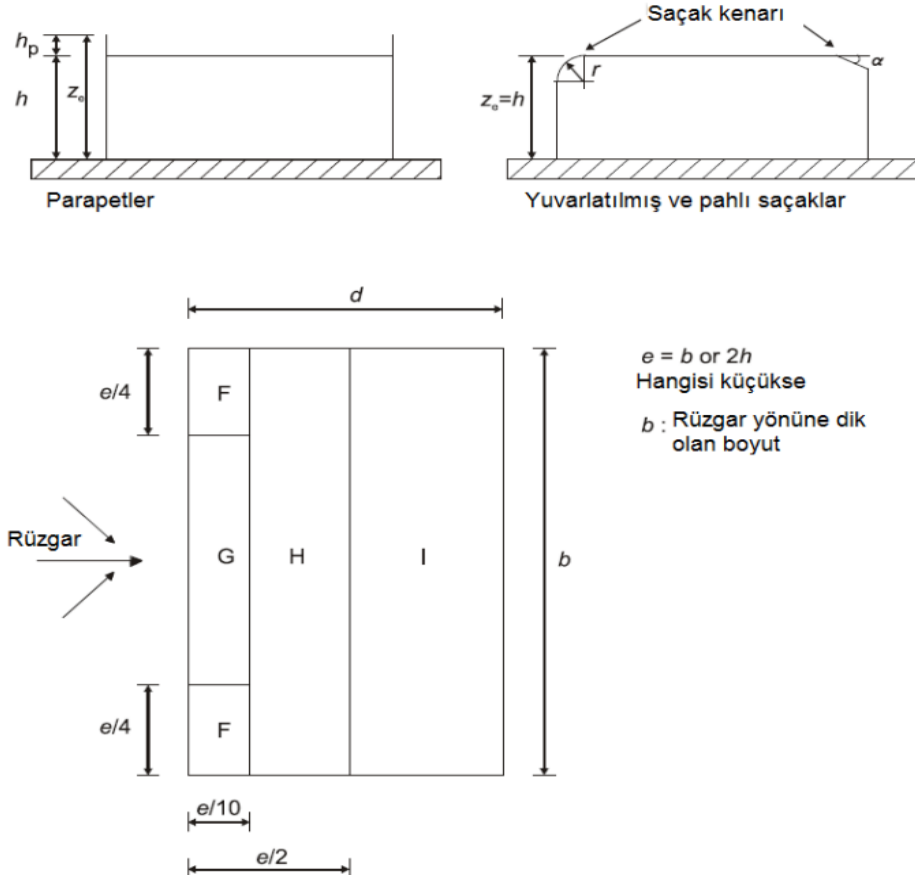
- Yükseklik/genişlik oranı (h/d) ara değerleri için doğrusal enterpolasyon uygulanmalıdır.

2.6 Çatılar- teraslar

Çatılar- teraslar – 5° < α < 5° olacak şekilde eğimli (α) olarak tanımlanır.

Çatı, Şekil 2.14'teki bölgelere göre ayrıştırılmalıdır.

Düz çatılar, yuvarlatılmış kenarlı çatılar ve mansart çatılar için, kullanılması gereken referans yükseklik h aynıdır. Şekil 2.14'te görüldüğü şekilde, düz çatılarda parapetle birlikte kullanılacak olan referans yüksekliği (h + h_p) belirlenir. Basınç katsayıları ise her bir bölge için Tablo 1.4'te açıklanmıştır.



Şekil 2.13: Düz çatılar için açıklamalar.

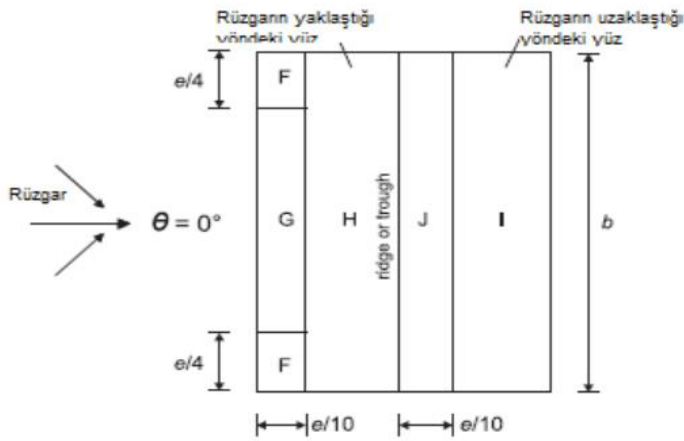
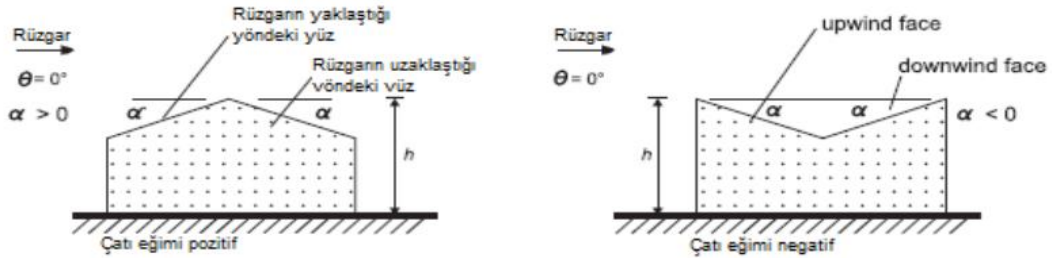
Çatı Tipi		Bölgele							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$
Keskin kenarlı saçak		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Parapetli	$\frac{h_p}{h} = 0.025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$\frac{h_p}{h} = 0.05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$\frac{h_p}{h} = 0.10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$\frac{r}{h} = 0.05$	-1,0	-1,5	-0,8	-1,4	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2
	$\frac{r}{h} = 0.10$	-0,7	-1,2	-0,5	-0,8	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2
	$\frac{r}{h} = 0.20$	-0,5	-0,8	-1,0	-1,5	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2
Kenarları yuvarlatılmış saçaklı	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4	-0,4	+0,2	-0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5	-0,5	+0,2	-0,2

Tablo 1.4 : Düz çatılar için uygulanabilecek dış basınç katsayıları.

2.7 Çift eğimli çatılar

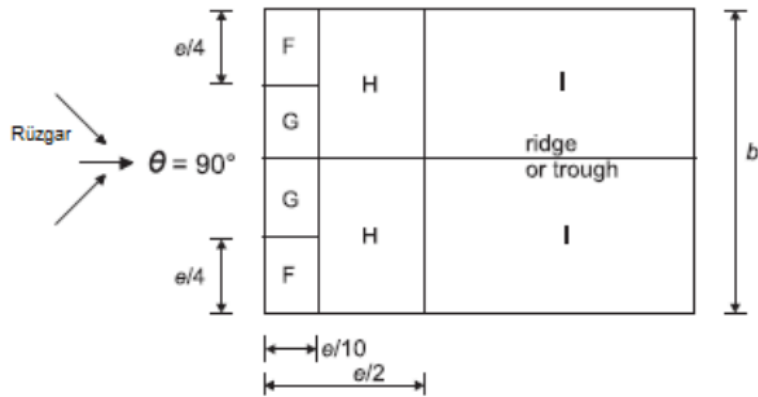
Çatı, çıkıntıları da dahil olmak üzere, Şekil 2.14'teki bölgelere göre ayrıştırılmalıdır. Kullanılması gereken referans yüksekliği Z_e , h ile eşittir.

Tablo 1.5 ila 1.6'da her bölge için, kullanılacak basınç katsayısı verilmiştir.



$e = b$ or $2h$
Hangisi küçükse

b : Rüzgar yönüne dik olan boyut



Şekil 2.14: Açıklama çift eğimli çatılara yöneliktir.

Eğim açısı α	Rüzgâr yönü bölgesi $\theta = 0^o$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45^o	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30^o	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-45^o	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5^o	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5^o	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15^o	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30^o	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45^o	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60^o	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
60^o	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Tablo 1.5: Dış basınç katsayıları, çift eğimli çatılar için ($\theta=0^\circ$).

Eğim açısı α , 0° 'dan başlayarak -5° ile $+45^\circ$ arasında değiştiğinde, basınç hızla değişir ve rüzgâr tarafındaki pozitif ve negatif değerler arasına gidip gelir. Bu nedenle, F, G ve H bölgeleri için tüm maksimum veya minimum değerler, I ve J bölgelerinin maksimum veya minimum değerleriyle birleştirilerek dört farklı durum dikkate alınmalıdır. Pozitif ve negatif değerler aynı tarafta karıştırılamaz.

Ara eğim açıları için aynı işaretin değerleri arasında doğrusal enterpolasyon kullanılabilir; ancak $\alpha = +50$ ile -50 arasında enterpolasyon yapılmaz. Enterpolasyon yapmak için 0.0° 'a eşit değerler kullanılır.

Eğim açısı α	Rüzgâr yönü bölgesi $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Tab1.6: Dış basınç katsayıları, $\theta=90^\circ$ açılı çift eğimli çatılar için

2.8 İç Basınç Katsayısı

Hem iç hem dış basınçların aynı anda etkili olduğunu göz önünde bulundurulmalı ve potansiyel boşluklar ile hava sızıntı kaynaklarının her bir birleşimi için en olumsuz dış ve iç basınç kombinasyonu hesaba katılmalıdır.

Bina kabuğundaki açıklıkların boyutu ve dağılımına bağlı olan iç basınç katsayısı, C_{pi} olarak adlandırılır. Bina en az iki yüzünde (cephe veya çatı), yüzey başına %30'u aşmayacak şekilde toplam açıklık alanı bulunduğunda, bu açıklıkların neden olduğu etkiler ve yapıya zarar vermeyecektir. Bu kurallar bu bölümde hesaplanacaktır.

Bir binanın açıklıkları, açık pencereler, açıklıklar, bacalar vb. gibi küçük boyutlu açıklıkları içerir. Kapıların, pencerelerin, teknik ekipmanların etrafındaki hava sızıntısı ve bina kabuğundan sızıntı gibi arka plan geçirgenliğinin yanı sıra, arka plan geçirgenliği genellikle yüz alanının %0,01 ila %0,1 aralığındadır.

Kapı veya pencere gibi bir dış açıklık, açık konumda baskın olduğunda ancak nihai sınır durumunda kapalı kabul edildiğinde, aşırı şiddetli rüzgarlar sırasında kapı veya pencerenin açık olduğu durum, tesadüfi bir proje durumu gibi dikkate alınmalıdır.

Kazara tasarım durumunun doğrulanması, binanın kabuğundaki açıklıkların varlığı nedeniyle duvar rüzgârın dış hareketini tam olarak desteklemesi gerektiğinde, yüksek iç duvarlar için (yüksek tehlike riski olan) önemlidir.

Bir binanın bir yüzü, söz konusu yüzdeki açıklıkların alanı, dikkate alınan binanın diğer yüzlerindeki açıklıkların ve hava kaçaklarının alanının en az iki katına eşit olduğunda genellikle baskın kabul edilir.

Baskın bir yüze sahip bir bina olması durumunda, iç basınç, baskın yüzün açıklıkları seviyesindeki dış basıncın bir kesri olarak düşünölmelidir.

Baskın yüzdeki açıklıkların alanı, diğer yüzlerdeki açıklıkların alanının iki katına eşit olduğunda.

$$C_{pi} = 0,75C_{pe} \quad (4.9)$$

Diğer yüzlerdeki açıklıkların alanı, baskın yüzdeki açıklıkların alanının en az üç katına eşit olduğunda.

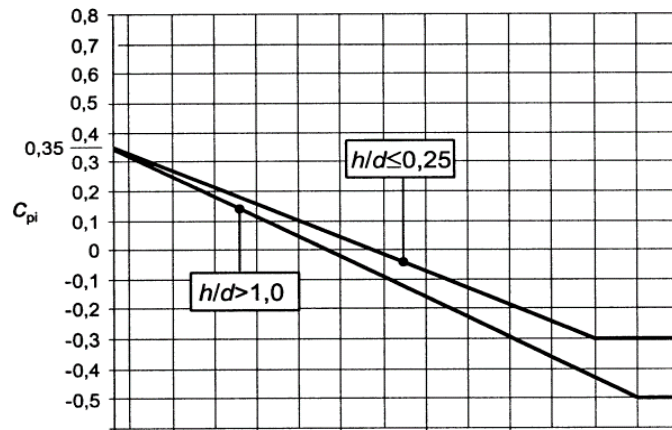
$$C_{pi} = 0,90C_{pe} \quad (4.10)$$

Burada,

C_{pe} – Baskın yüzeydeki açıklıkların seviyesindeki dış basınç katsayısı belirtilir. Bu tür açıklıklar farklı dış basınç değerlerine sahip bölgelerde bulunuyorsa, önerilen yaklaşım, alana göre ağırlıklandırılmış bir ortalama C_{pe} değeri kullanmaktır.

Baskın yüzdeki açıklıkların alanı, diğer yüzlerdeki açıklıkların alanının 2 ila 3 katı arasında olduğunda, C_{pi} hesaplamak için doğrusal enterpolasyon yöntemi kullanılabilir.

Yüzeyi belirgin olmayan binalar için iç basınç katsayısı (C_{pi}), Şekil 2.16'deki değerlere göre tespit edilmelidir, söz konusu katsayı binanın yüksekliğinin derinliğine oranının bir fonksiyonudur; h/d ve her rüzgâr yönü θ için açıklık oranı μ , denklemden (5.0) belirlenmelidir.



Şekil 2.15: Eşit dağılımlı açıklıklar için geçerli iç basınç katsayıları.

$$\mu = \frac{\sum C_{pe} \text{ değerinin negatif veya 0,0 olduğu açıklık alanı}}{\sum \text{ açıklık alanı}} \quad (5.0)$$

Bu hem iç bölümleri olan hem de olmayan binaların cepheleri ve çatıları için geçerlidir.

İmkânsız olduğu ortaya çıktığında veya belirli bir durum için μ değerini değerlendirmek doğru görülmediğinde, C_{pi} 'ye +0.2 ve -0.3 gibi daha ciddi bir değer verilmelidir.

İç basınçlar için kullanılması gereken referans yükseklik Z_i , açıklıkları yoluyla iç basıncın oluşmasına katkıda bulunan yüzlere uygulanan dış basınçlar için Z_e referans yüksekliğine eşittir. Birkaç açıklık olduğunda, Z_i 'yi belirlemek için en büyük Z_e değerini kullanılmasını önerilir.

Açık silo ve bacalara uygulanacak iç basınç katsayısı denklem (5.1) esas alınır.

$$C_{pi} = 0,60 \quad (5.1)$$

Küçük açıklıklarla havalandırılan kaplara uygulanacak iç basınç katsayısı denklem (5.2) esas alınır.

$$C_{pi} = 0,40 \quad (5.2)$$

Referans yüksekliği Z_i konstrüksiyonun yüksekliğine eşittir.

2.9 Yalıtımlı duvar ve parapetler

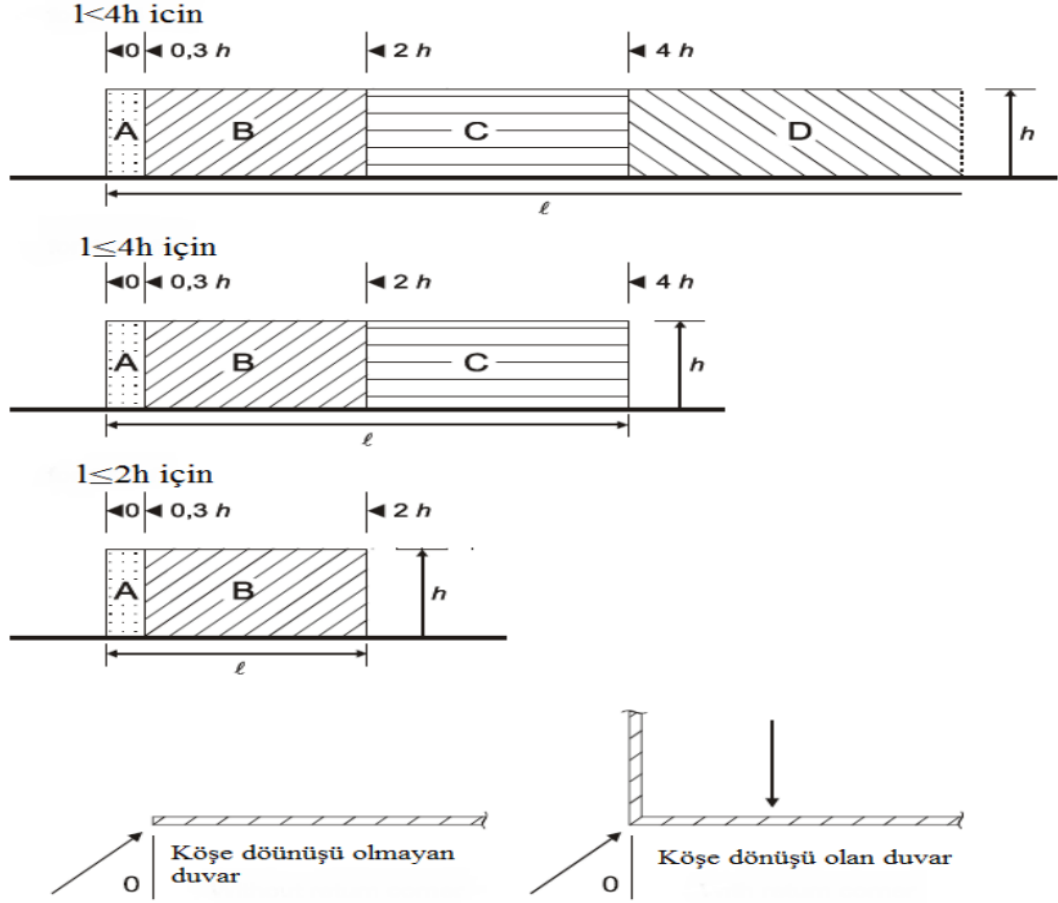
Tablo 1.6'da tanımlanan A, B, C ve D bölgeleri için yalıtımlı duvarlara ve parapetlere uygulanabilen sonuç basınç katsayıları $C_{p,net}$ belirtilmelidir.

İki doluluk oranı değeri için önerilen değerler Tablo 1.7'de verilmiştir. Bu tavsiye edilen değerler, dönüş açısı olmayan duvara göre eğik bir rüzgâr yönüne ve dönüş açısı olan duvar durumunda iki zıt yöne karşılık gelir. Referans alan her iki durumda da brüt alandır. 0,8 ile 1 arasında bir doluluk oranı için lineer enterpolasyon yapılabilir.

Doluluk	Bölge	A	B	C	D
$\varphi = 1$	Köşe dönüşü olmadan	$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2
		$l/h = 5$	2,9	1,8	1,2
		$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,2
	Uzunluk $\geq h^{(a)}$ açılı dönüşü ile		2,1	1,8	1,4
$\varphi = 0,8$					
(a) Lineer enterpolasyon, 0,0 ve h arasındaki açılı geri besleme uzunlukları için kullanılabilir.					

Tablo 1.7: Tavsiye edilen $C_{p,net}$ basınç katsayıları, bağlantısız duvarlar ve

Referans yükseklik $z=h$, yalıtımlı duvarlar için kullanılacak ve Şekil 2.7'de açıklanmaktadır. Binaların korkulukları için ise, kullanılması gereken referans yükseklik $z = (h+h_p)$ 'dir.



Şekil 2.16: Yalıtılmış duvarlar ve parapetler için bölgelerin efsanesi.

2.10 Yapısal kontrol sistemleri

Binalar, köprüler ve kuleler gibi inşaat mühendisliği işleri, rüzgâr veya depremler nedeniyle güçlü uyarımlara maruz kaldıklarında güçlü bir şekilde titreyebilir ve hatta çökebilir.

Dinamik uyarım hasarına direnecek yapılar tasarlamak inşaat mühendisleri için bir zorluk olmaya devam ediyor. Rüzgâra ve depreme dayanıklı kod tasarımı ve inşaatına yönelik yoğun çabalara rağmen, yapılar hala yüksek yoğunluklu uyarımlara karşı savunmasızdır.

Yapısal kontrol teorileri ve yöntemleri, inşaat mühendisi Yao'nun 1972'de titreşim kontrolü kavramını tanıtmıştı bu yana önemli ölçüde geliştirilmiş ve uygulamada ekonomik ve verimli olduğu kanıtlanmıştır [13] [14].

Bu teknik yapılar, deprem, rüzgâr ve kıyı dalgalarında kaynaklanan doğal olayların risklerini azaltmayı amaçlamaktadır. Çeşitli cihaz türleri, mekanizmalar ve algoritmalar kullanarak yapısal kontroller sağlanabilir. Bu kontrol cihazları, yapıların dinamiklerini değiştirerek

rüzgâr veya deprem gibi harici yükleri tolere edilebilir hale getirir. Yapısal kontrol metodolojileri, yapıların rijitliği, kütlesi, şekli veya sönümlemesi gibi özelliklerinin modifikasyonuna dayalı olarak geliştirilmiş ve kuvvetlerin etkisine maruz kalan sistemlerin yapısal tepkisinde önemli azalmalar elde edilmiştir.

Bu bölümde, bazı yapısal titreşim kontrollerinin yöntemlerini sunacağız. Bu yöntemler, yapıların kayda değer hasar almaksızın dinamik eylemlere dayanacak şekilde tasarlanmasını mümkün kılar. Bu kontrol yöntemleri arasında birkaç farklı yaklaşımı ayırt edebiliriz: pasif, aktif, hibrit vb. Yapısal kontrol sistemleri, inşaat mühendisliği yapılarının çeşitli dinamik yüklemelere verdikleri tepkileri hafifletmek için yaygın olarak kullanılmakta ve gelecekte kullanımlarının artması beklenmektedir. Literatürde Hareket Kontrol Sistemleri olarak da adlandırılan yapısal kontrol sistemleri, yapıların deprem, rüzgâr, trafik ve diğer servis yükleri gibi farklı dinamik yüklere karşı tepkilerini azaltmak için kullanılabilir [4]. Deprem veya rüzgâr yükleri, yapısal sistemlerde geçici titreşimlerin oluşmasına neden olabiliyor. Büyük hasarlara neden olabilen bu titreşimlerin etkisini en aza indirmek için yapının maruz kalabileceği olası darbe yükleri dikkate alınarak gerekli kontrol sistemleri tasarlanmalıdır. Rijitlik, kütle, sönüm gibi parametrelerin ayarlanması ve aktif veya pasif kuvvet gibi çeşitli temel yöntemler aracılığıyla, bu titreşimlerin kontrolü mümkündür. Bazı yapısal kontrol yöntemleri başarılı bir şekilde kullanılmıştır ve önerilen yeni yöntemler ve uygulamaların genişletilmesi, titreşim kontrol verimliliğini artırma potansiyeli sunar [15].

2.10.1 Yapısal kontrol sistemlerinin sınıflandırılması

Dünya nüfusunun artması, yaşanabilir alan ve arazi maliyetlerinin artması, konut talebinin artması ve diğer ihtiyaçların karşılanması için çok katlı ve büyük ölçekli yapıların artması, bir dizi soruna yol açmaktadır.

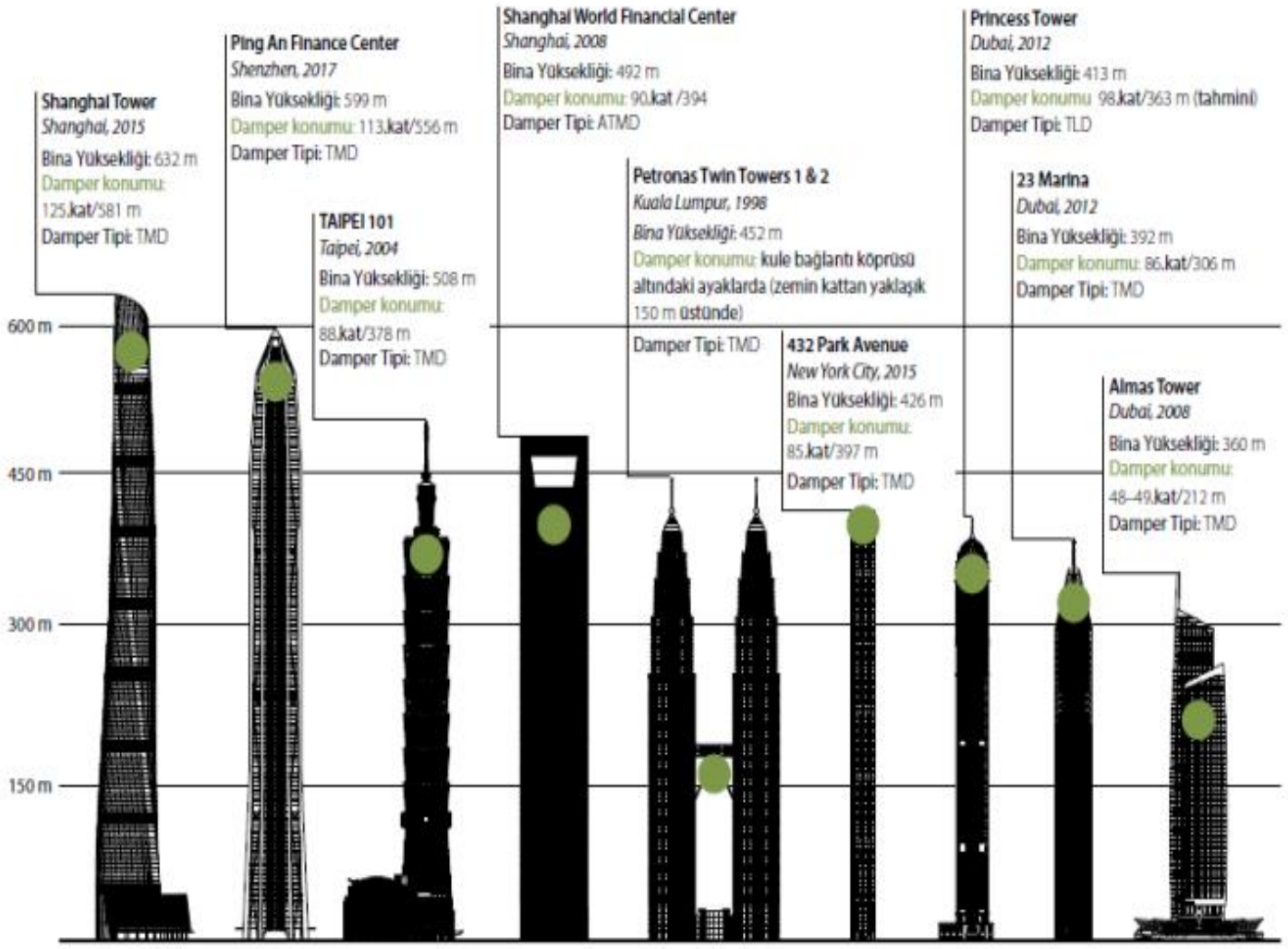
Geleneksel tasarımların farklı uyarılara dayanma konusundaki verimsizliği, yenilikçi akıllı yapı teknolojisinin inşaat mühendisliği yapılarına uygulanmasına yol açmıştır. Bu araştırma sonuçları ve pratik uygulama, bu konseptin yapıları dinamik uyarılmalardan korumanın umut verici bir yolu olduğunu göstermeye devam ettikçe, teknoloji giderek popülerlik kazanmıştır.

Akıllı yapı teknolojisi sayesinde, rüzgâr ve deprem etkilerine karşı dayanıklılık kapasitesini artırmak için yapıya cihazlar ve sistemler dahil edilmiştir. Yapı daha sonra dinamik uyarılmalara direnmek için dinamik enerjiyi dağıtmak için sadece kendi direncini değil, aynı zamanda bu cihazların direncini de devreye sokar.

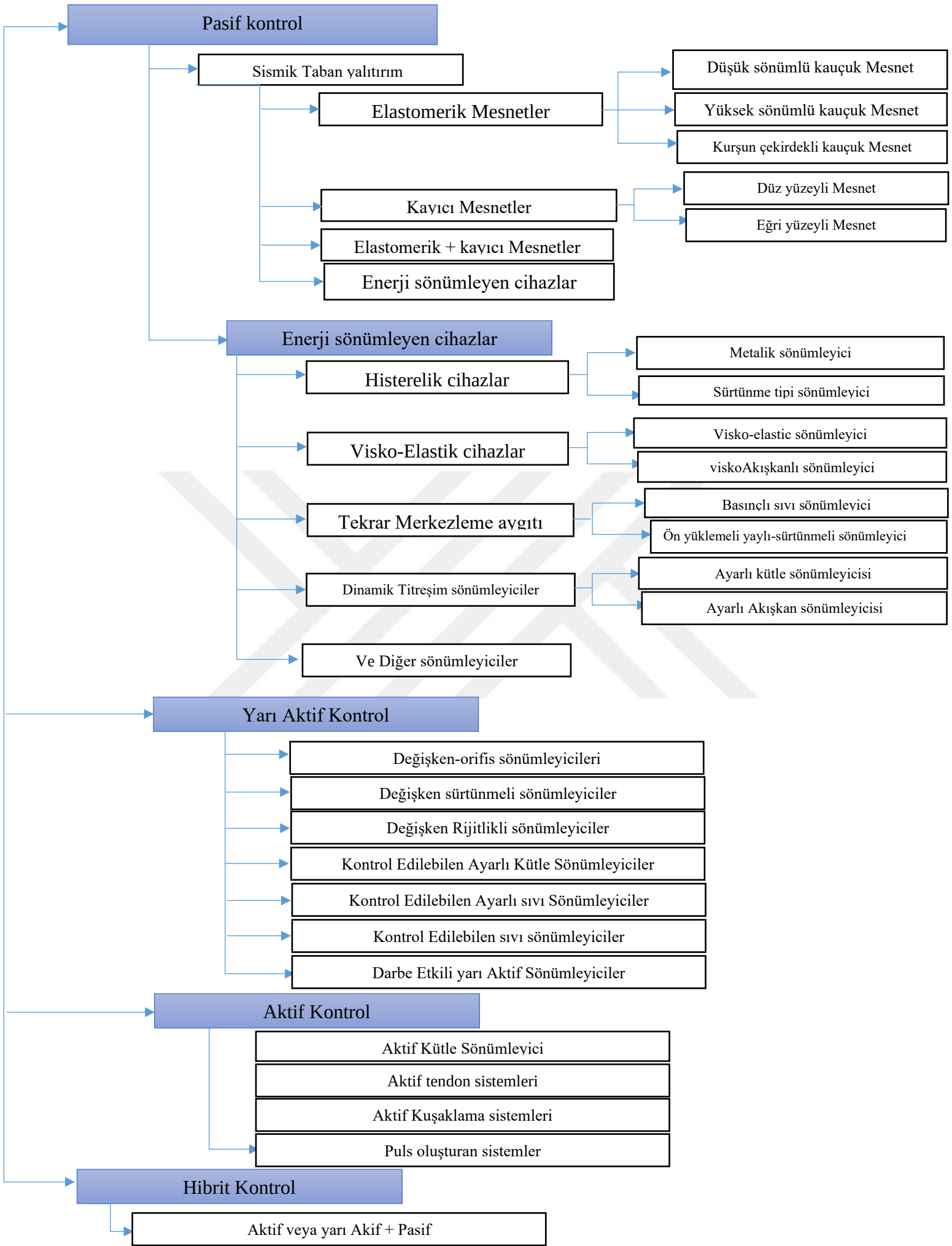
Depreme dayanıklı bir yapının temel amacı; güvenlik, hizmet ve konfor koşullarını sağlamaktır. Yapı elemanlarının neden olduğu yer hareketinden kaynaklanan enerjinin emilmesi için farklı kontrol mekanizmaları geliştirilmiştir. Bu mekanizmalar, üç temel kategoriye ayrılabilir:

1. Aktif kontrol sistemi
2. Pasif kontrol sistemi
3. Karma kontrol sistemi

Çeşitli kontrol mekanizmaları ele alınmakta ve aşağıdaki diyagramda gösterilmektedir:



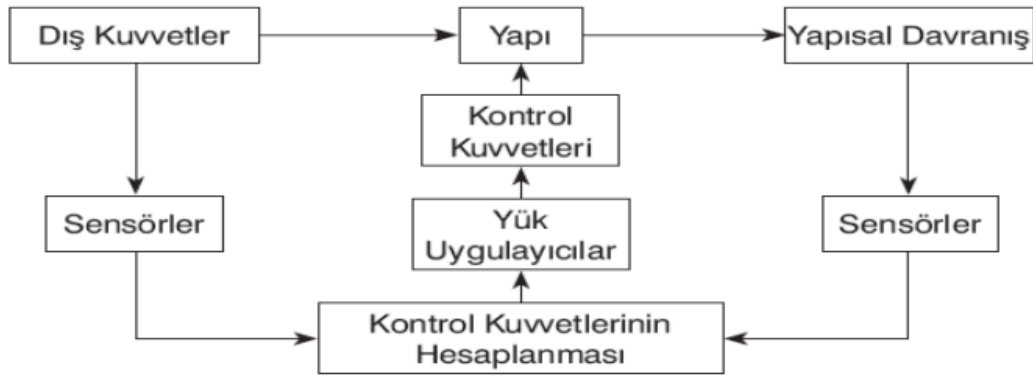
Şekil 2.17: Dünyada pasif ayarlı kütle sönümleyicileri ile yapıların en yüksek 10 bina. [4]



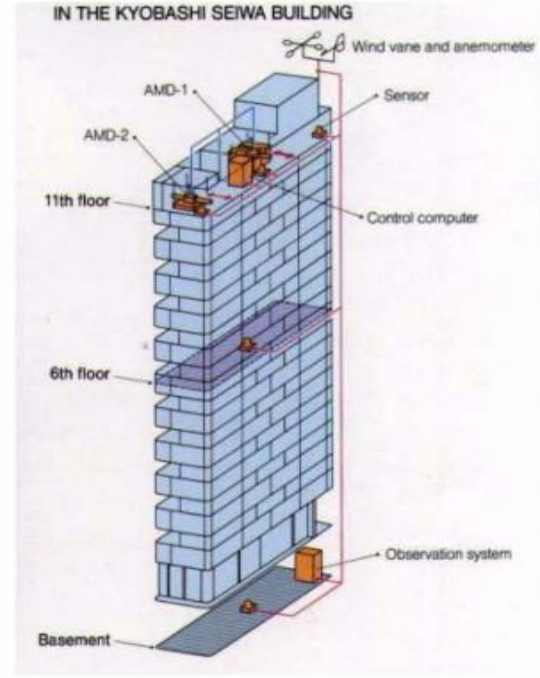
2.10.2 Aktif Yapı Kontrolü

1960'ların başlarında Eugene Freysinet, binaların stabilizasyonu için kontrol araçları olarak öngörülen tendonları kullanarak yapısal hareketi önleme konusunda ilk çalışmaları yapmıştır. 1965 yılında Zetlin, yapı çerçevelerine ve temel hidrolik krikolarına bağlı olan kablolar aracılığıyla yüksek binaların tasarlanabileceğini gösterdi. Bununla birlikte, o dönemde hem maliyet hem de teknik personel eksikliği nedeniyle bu sistemin uygulanması mümkün olmadı. 1972'de ise Yao, yapısal kontrol teorisine dayanan bir kontrol sistemi geliştirdi. Bu araştırmalar, günümüzde kullanılan aktif bina modellerinin temelini oluşturmuştur (Şekil 2.20'de bakınız).

Bilgisayar destekli aktif kontrol sistemleri, neredeyse tam anlamıyla denetlenebilen bir sistemdir. Yapı tasarımı sırasında dış etkilerin tam olarak öngörülememesi nedeniyle, bu en etkili kontrol yöntemidir. Aktif kontrol sistemleri, yapıya deprem veya rüzgâr gibi beklenmedik etkiler etkilediğinde, yapının ayakta kalmasını sağlamak için kontrol kuvvetleri uygular. Bu işlemi yaparken, yapının dış etkilere tepkisini azaltmak için geri besleme sistemlerini kullanır. Günümüzdeki örneklerden biri, Tokyo'da bulunan Kyobashi Seiwa binasıdır (Şekil 2.20'ye bakınız).



Şekil 2.20: Aktif Kontrolün Şematik Gösterimi. [17]



Şekil 2.21: Tokyo, Japonya'da bulunan Kyobashi Seiwa Binası'nda Aktif Kütle Sönümleyicilerin Kullanımı. [17]

2.10.3 Yarı Aktif Kontrol Sistemleri

Yapıların deprem ve rüzgâr gibi etkenlere karşı korunmasında, yarı aktif kontrol sistemleri, aktif ve pasif kontrol sistemlerinin bir kombinasyonunu içerir. Yarı aktif kontrol sistemi, aktif kontrol sistemiyle benzerlik gösterse de gerektirdiği dış enerji miktarı aktif kontrol sistemine göre daha azdır.

Bu düşük enerji ihtiyacı, ana güç kaynağının deprem gibi durumlarda zarar görmeme avantajı sağlar. Yapılan çalışmalar, yarı aktif kontrolün aktif kontrol sistemine performans olarak yakın olduğunu göstermektedir. Yarı aktif kontrol cihazları, yapısal sistemin stabilitesini bozma potansiyeli olmayan ve uyarlanabilirlik avantajına sahip olan aktif kontrol cihazlarından farklıdır. Yarı aktif sistemler, optimal olmayan sönüm değerleriyle çalışan pasif sistemlerin aksine ani rüzgâr veya deprem gibi durumlara hızlı tepki verir ve uyarım seviyesinden bağımsız bir sönümleme sağlar. Ayrıca, kararsızlık potansiyeli yoktur.

2.10.4 Hibrit Kontrol:

Hibrit kontrol sistemi, herhangi bir bina sisteminde aktif damperlerin teknik donanımı ile pasif damperlerin çalışma mekanizmasının birleştirilmesiyle oluşturulmuş bir sistemdir. Sistemin

Çalışma mantığı, kontrollü dirençle binadaki harekete karşı koymak ve kuvvetlerin etkisini tamamen azaltmaktır. Bu mekanizmadan tarafından üretilen yıkıcı güç tamamen kontrol edilebilir veya çok az bir kuvvetle kontrol edilebilir.

Karma kontrol sistemlerinin temel amacı, aktif kontrol sistemlerinin enerji gereksinimini minimize etmek ve olası maliyetleri azaltmaktır. Sismik hareketler sırasında ana güç kaynakları zarar görmüş olsa bile, iç pilleri gerekli enerjiyi sağlamak üzere devreye girer. Düşük enerji ihtiyaçları ve yüksek performansları sayesinde diğerkontrol sistemlerine kıyasla daha fazla tercih edilirler. Genellikle elektrik ve/veya manyetik alan duyarlılığı olan sıvıları içerirler [18].

2.10.5 Pasif Yapı Kontrolü

Pasif enerji sönümleyici, kuvvetli rüzgâr ve deprem gibi dinamik dış etkilerin yapıya kazandırdığı enerjinin özel bir eleman sayesinde kesit kuvvetlerini ve yer değıştirmelerini istenen seviyelerde kontrol etmek için kullanılan mekanik bir cihazdır.

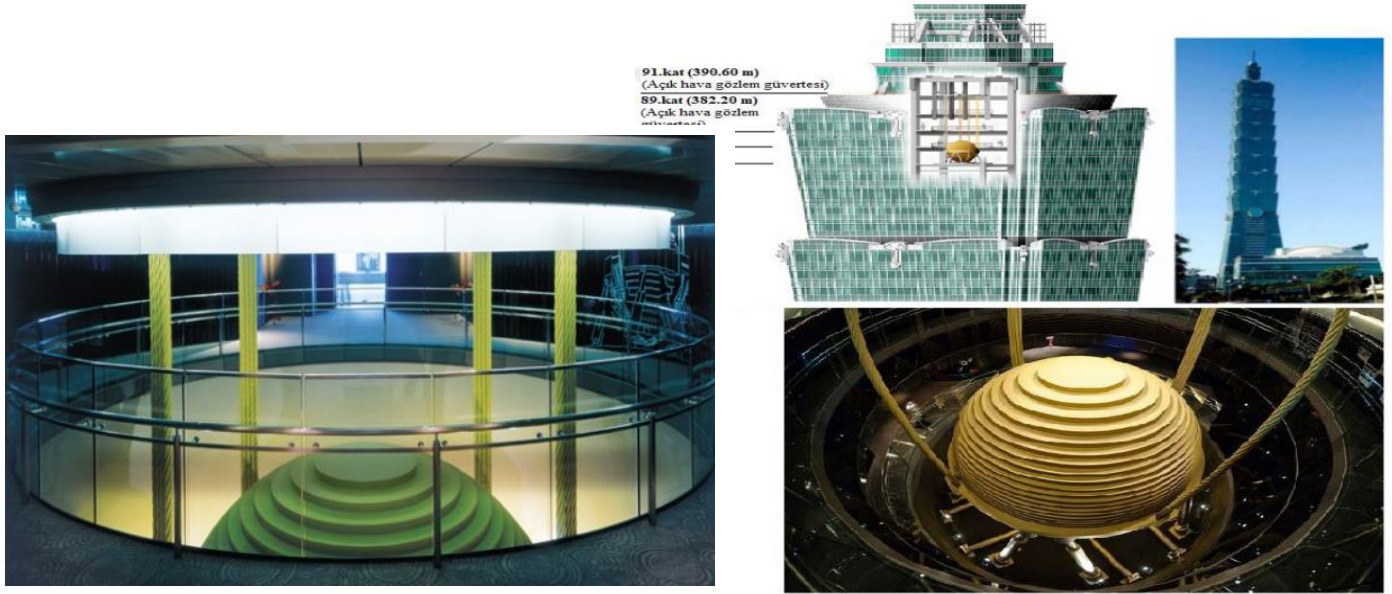
Pasif kontrol sistemlerinin hesaplanması kolay ve uygun maliyetli olduğı gibi ve harici güç kaynakları da gerektirmez. Bu nedenle deprem anında meydana gelebilecek elektrik kesintilerinden etkilenmezler ve dışarıdan enerji almadıkları için yapıda stabilite sorunu yaratmazlar. Pasif titreşim kontrolü, iyi kontrol performansı, düşük maliyet, yüksek güvenilirlik ve uygun uygulama avantajlarına sahiptir ve çeşitli mühendislik uygulamalarında da her zaman önemli bir yer tutmuştur.

Pasif kontrol sistemleri, deprem tehlikelerini azaltmak ve eski veya dengesiz yapıları onarmak için kullanılabilen, sönüm, sertlik ve dayanıklılık ekleyen çeşitli malzeme ve cihazları içerir [19] [20] [21].

Genel olarak, bu sistemler, yerleştirilmiş bina sistemlerinin enerji yayılımını artırma yetenekleri ile karakterize edilir.

Yapının ilk tasarımında dikkate alınan viskoelastik malzemeden yapılmış kütle sönümleyiciler eklenerek pasif kontrol oluşturulur. Mimari tasarımda pasif kontrol, alt katın rijitlik ve kütle değışiminin azaltılması veya temel izolasyon teknikleri kullanılarak alt katın üst kattan daha yüksek yatay rijitliğe sahip olacak şekilde tasarlanması ve böylece iletilen kuvvetin azaltılması olarak kendini gösterir.

Yapısal titreşimleri sönümlemeye yönelik pasif teknikler, sönümleme özelliklerine sahip malzemelerin entegrasyonunu veya yapının titreşimlerini pasif olarak sönümleyecek şekilde yapıya bağlı sistemlerin eklenmesini sağlar. Yani herhangi bir ek dış müdahale ve dışarıdan enerji girişi olmadan işlem yürütülür.



Şekil 2.22: Sarkaç ayarlı kütle sönümleyici (Taipei 101 Dünya Finans Merkezi). [22]



Şekil 2.23: Londra'daki Millenium Yayı Köprüsü'nün güvertesinin altına yerleştirilen dikey TMD'ler. [22].

2.10.5.1 Sismik izolasyon

Birçok teknoloji, yapıların deprem etkilerini azaltmak için geliştirilmiştir. Bunlardan biri de temel izolasyon sistemleri etkili olanlardan biridir. Bu teknolojinin başarısı, deprem sırasında yapının zeminden yüksek dikey ve düşük yanal sertliğe sahip izolatörlerle ayrılması sayesinde sağlanmaktadır. Sismik izolasyon, yapıların ivmelerini ve göreceli yer değiştirmelerini, deprem frekanslarından çok daha düşük baskın frekanslı bir sistem oluşturarak azaltabilir. Taban izolasyonu, yapının doğal periyodunu yer hareketlerinin enerjik frekanslarından uzaklaştırmak için esnek arayüzler ve izolasyon yatakları kullanarak yapılabilir. Ancak, sismik izolasyon sistemi kullanıldığında, izolasyon seviyesinde büyük yer değiştirmeler yoğunlaşabilir ve bu nedenle uygun önlemler alınarak izolatörleri (aşırı) yatay yer değişimlerinden korumak gerekir. Yüksek sönümlü cihazların taban izolasyon alt sistemine entegrasyonu veya izolatörlerde sönümlemenin artması, bu sorunun çözümü olabilir. Fakat bu durumda ana yapıda ivmeler ve katlar arası ötelenmeler artabilir.



Şekil 2.24: Bina temeli için kurşun kauçuk mesnet (Taban izolasyon) [31].

2.10.5.2 Pasif enerji sönümleyici sistemleri

Pasif enerji sönümleyicileri, yapıların dış etkilerden kaynaklanan enerjisini sönümleyerek, kesit kuvvetlerini ve yer değiştirmelerini kontrol altına almak için kullanılan mekanik cihazlardır. Bu cihazlar, kinetik enerjinin ya ısı enerjisine dönüştürülmesi ya da titreşim modlarına aktarılması yoluyla enerjiyi sönümleyebilirler.

Bu amaçla, sürtünme katsayısı, metallerin bükülmesi veya faz değişimi, viskoelastik katıların ve sıvıların deformasyonu gibi birinci yöntemler veya dinamik sarkaç eklenerek yapılan ikinci yöntemler kullanılabilir. Pasif enerji dağıtım sistemleri genellikle belirli karakteristiklere göre sınıflandırılabilir [3].

- Metal Sönümleyiciler
- Sürtünmeli Sönümleyiciler
- Viskoelastik sönümleyiciler
- Viskoz Sönümleyiciler
- Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler
- Ayarlı Kütle Sönümleyiciler

Pasif enerji dağıtımı, yapıların deprem gibi sismik tehlikelere karşı güvenli hale getirilmesi için tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem, ikincil sistemlerin kullanımıyla elde edilebilir. Örneğin, bir yapıya bağlı olan bir yay ve sönümleme elemanı ile donatılmış ikincil bir kütlenin eklenmesi, dolaylı sönümleme sağlar. Pasif cihazlar arasında en popüler olanı, sönümlü ikincil atalet sistemidir. Bu sistemler, yapıya dolaylı sönüm sağlayarak frekans tepkisini değiştirirler. Enerji kaybı, metalik enerji dağıtma cihazları veya sürtünme sönümleyicileri gibi pasif cihazlar aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Polimerik malzemeler veya viskoz akışkanlar da enerjiyi sönümlemek için kullanılabilir. Ayarlı kütle sönümleyicileri ve ayarlı sıvı sönümleyicileri de pasif enerji dağıtımı cihazları arasında yer alır. Bu pasif enerji dağıtımı yöntemi, güvenilir, etkili ve nispeten ucuzdur.

2.10.5.3 Metal sönümleyiciler

Yapılara, depremden kaynaklanan esnek olmayan deformasyonun metalik enerji dağıtıcıları kullanılarak dağıtılması için cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlar, yapının büyük bir bölümünün sismik enerjiyi absorbe etmesini sağlar. Sönümleyiciler, eğilme kirişleri, burulma kirişleri ve V-şerit enerji dağıtıcıları gibi birçok farklı türde tasarlanmıştır. Bu cihazların çoğu, üçgen veya kum saati şeklinde ve yumuşak çelik plakalar kullanarak akma malzeme boyunca güvenilir bir şekilde uzanır. Bu sönümleyiciler, çeliğin yüksek plastik deformasyon kapasitesini kullanarak tekrarlanan deformasyondan kaynaklanan histeretik enerjiyi sönümler. Bu tür sönümleyiciler, burkulma önleyici çaprazlar veya çelik kesme panelleri gibi VC sönümleyicileri olarak da kullanılabilirler ve bunun yanı sıra sönüm ve rijitliğe katkıda bulunurlar.

2.10.5.4 Viskoelastik sönümleyiciler

Viskoelastik sönümleyiciler, titreşim enerjisini kayma deformasyon yoluyla sönümleyen polimer malzemelerin ana bileşenlerinden oluşur. Bu sönümleyiciler, özellikle sürekli ve düşük seviyeli etkilere karşı koruma sağlamak için rüzgâr gibi etkilere karşı geliştirilmiştir. Genellikle çelik levhalar ve akrilik polimer tabakaları kullanılan viskoelastik sönümleyiciler, deprem etkilerinde yapıların yer değiştirmesini azaltmaya yardımcı olur. Bu sönümleyicilerin dinamik davranışı, titreşim frekansı, yer değiştirme ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık, tasarımda dikkate alınmalıdır çünkü kesme modülü üzerinde etkisi vardır. Viskoelastik sönümleyiciler, özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde elastik deformasyonların meydana geldiği tüm durumlarda kullanılabilir.

2.10.5.5 Ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD)

Bir TMD, uygun şekilde ayarlanmış bir yay ve sönümleme elemanı aracılığıyla bina konumuna maksimum hareketle (genellikle tepeye yakın) tutturulmuş bir atalet kütesidir. Genellikle viskoz ve viskoelastik amortisörler kullanılmaktadır.

TMD, hareketini azaltmak için kendisine bağlı çerçeve yapısındaki sönümlemeyi artıran frekansa bağlı bir histerezis sağlar. Sağlamlık, dinamik özellikleri, vuruşları ve kullandıkları ilave kütle miktarı ile belirlenir.

TMD tarafından sağlanan ilave sönüm ayrıca, belirli bir mod titreşiminde sönümleyici kütlesi binanın etkin kütesine oranına da bağlıdır. TMD'lerin ağırlığı, temel modda (tipik olarak yaklaşık üçte biri) binanın ağırlığının %0,25 ila %1,0'ı arasında değişir.

Bir titreşim sönümleyici aygıtının frekansı, belirli bir yapısal frekansta ayarlanmıştır. Bu frekansta uyarıldığında, titreşim sönümleyici aygıtı çerçeve hareketiyle faz açısından rezonansa geçer ve tepkisini azaltır.

Genellikle, daha iyi yanıt kontrolü için, kontrol ayar frekansı çevresinde dağıtılmış doğal frekanslara paralel olarak yerleştirilmiş birkaç sönümleyiciden oluşan çoklu sönümleyici konfigürasyonları kullanılır. Aynı toplam kütle için, çok kütleli bir sönümleyici, sisteme verilen eşdeğer sönümlemeyi önemli ölçüde artırabilir.

Şu anda, Japonya'da birkaç viskoz ve viskoelastik sönümleyici kullanılmasına rağmen, tipik olarak yağ sönümleyicileri kullanan birkaç TMD tipi kullanımdadır. Ek olarak, Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya ve Kanada'daki diğer bazı yapılar TMD'leri kullanır [2].

3 YÖNTEM

Bu tez çalışması Kapsamında hem statik hem de dinamik formda rüzgâr etkileri, ayarlı kütle sönümleyici (Tuned mass Damper) parametrelerinin Matlab'da optimizasyonu, SAP2000'de modelleme ve yapısal analizleri 30 katlı bir bina üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalarda en uygun TMD tasarım süreci olan Jaya algoritması kullanılarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Java'nın metasezgisel algoritmalarının genel süreci özetlenmiş, ardından ayrıntılı bilgiler sunulmuştur. Rüzgâr yükünün statik hesabı için Eurocode 1-4 kullanılmış ve daha sonra dinamik yüke dönüştürülmüştür.

3.1 Pasif Kontrol Sistemi

3.1.1 Pasif Ayarlı kütle sönümleyiciler (PTMD)

Ayarlı kütle sönümleyici (TMD) veya titreşim emiciler, üzerine yerleştirildikleri yapının belirli bir moduyla rezonans içinde olacak şekilde kalibre edilmiş nispeten küçük kütleli yaylı çanak çömlek sistemleridir. Genellikle binaların çatılarına kurulan bu sistemlerin, yüksek binalarda rüzgâr kaynaklı titreşimleri ve bina sakinlerinin aktivitelerinden kaynaklanan zemin titreşimlerini azaltmada etkili olduğu kanıtlanmıştır. Daha yakın zamanlarda, binaların sismik koruması için düşünülmüştür.

İlk olarak Frahm (1909) tarafından önerilen ayarlı kütle sönümleyicileri, inşaat mühendisliği yapılarını dış dinamik bozulmalara karşı korumak için çekici bir sapmayı temsil eder. Bu sistemler, bir yapının dinamik tepkisini önemli ölçüde azaltma yeteneğine sahiptir ve yapıları basittir. En basit haliyle, ayarlanmış bir kütle sönümleyici, harici bir güç kaynağına veya karmaşık bir donanıma ihtiyaç duymadan, yapının belirli bir noktasında yalnızca bir kütle, bir yay ve bir viskoz sönümleyicinin birleştirilmesini gerektirir.

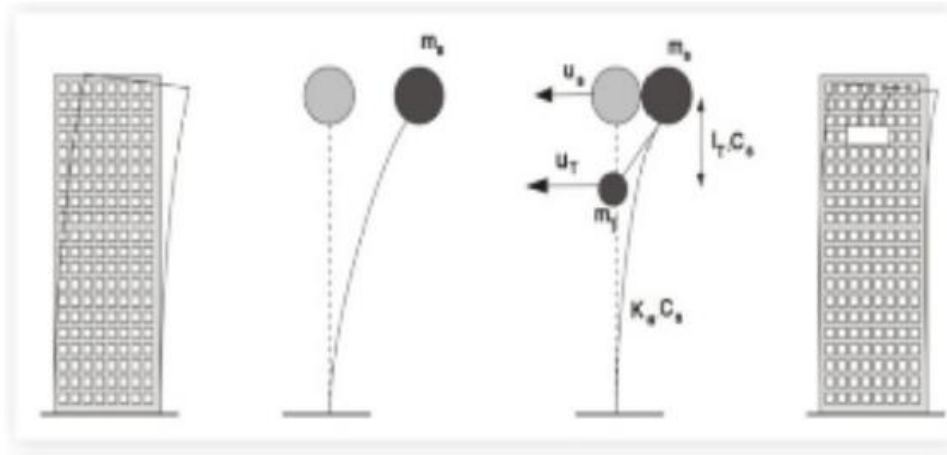
Bu sistemlerin dezavantajları da vardır. İlk olarak, genellikle yapının toplam kütlelerinin yalnızca küçük bir kısmını ve dolayısıyla kurulumları için geniş bir alanı temsil etmesine rağmen, nispeten büyük bir kütle gerektirirler. İkincisi, tasarım gereği destekleyici yapılarıyla rezonans içinde olduklarından, genellikle bağlı oldukları yapının noktalarına göre büyük yer değiştirmelere maruz kalırlar. Sonuç, bu yer değiştirmeleri karşılamak için büyük boşluklar

gereklidir. Son olarak, sürtünmeyi en aza indirmek ve serbest hareketlerini kolaylaştırmak için pürüzsüz bir yüzeye monte edilmeleri gerekir.

TMD konsepti ilk olarak 1909'da Frahm tarafından deniz dalgalarıyla karşılaştıklarında gemilerin hareketini azaltmak için uygulandı [23]. Daha sonra Ormondroyd ve Den Hartog'un [24], TMD için bir teori sundu ve ardından Den Hartog'un [25], 1940 tarihli Mechanical Vibration adlı kitabında sinüzoidal uyarıma karşı optimum ayarlar ve sönümleme hakkında ayrıntılı bir tartışma yer aldı [26].

3.1.2 Ayarlı kütle sönümleyicilerin işlevinin açıklaması

Dinamik yüklere karşı tepkiyi azaltmak amacıyla yapının belirli noktalarına monte edilen bir ağır kütle, yay ve viskoz sönümleyici içeren cihaz, ayarlı kütle sönümleyici olarak adlandırılır. Yani bir yapı için pasif bir karşı ağırlık mekanizmasıdır [26]. Yapı titreşmeye başladığında, TMD yapının hareketi ile uyulur (Şekil 3.0), kütlesi her zaman yapının hareketine karşı çıkar ve dolayısıyla yapının titreşim hareketini sönümler veya azaltır [27]. Cihazın normal frekansı her zaman titreşimli sistemin normal frekanslarından birine uyacak şekilde seçilir.



Şekil 3.1: Basitleştirilmiş TMD 2-kütle modeli. [27]

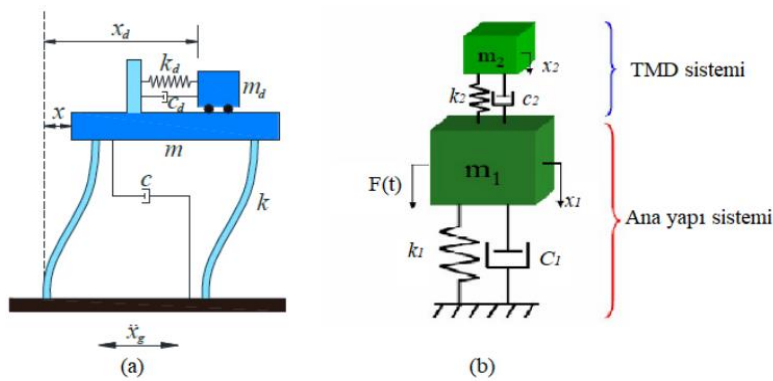
Bu sönümleyiciler, yaya, asma, askılı köprüler de kullanıldığı binalar ve esnek işler gibi farklı inşaat mühendisliği yapılarında yaygın olarak kullanılır, bu sönümleyicilerin performansı büyük ölçüde parametrelerinin ayarlarıyla ilgilidir [28].

Eğer yapı tek serbestlik dereceli sistemine indirgenirse, TMD sistemini kullanarak titreşimi azaltmak için yapı hesaplama modeli Şekil 2.10'da gösterildiği gibi basitleştirilebilir. Lin ve

ark. (1999) tarafından yapılan araştırmalar göstermiştir ki, TMD sisteminin sönümlleme etkisi sönümlleme oranı ζ ile doğru orantılıdır [27]. Ayrıca, TMD frekansının yapı frekansına oranı λ ve TMD kütesinin yapı kütesine oranı μ de TMD'li sistemin titreşim sönümlleme üzerinde bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, TMD'li sistemin tasarımında, en iyi sönümlleme etkisini elde etmek için sönüm katsayısı, kütle (veya kütle oranı) ve rijitlik (veya frekans oranı) gibi tasarım değişkenleri kapsamlı bir şekilde düşünülmelidir.

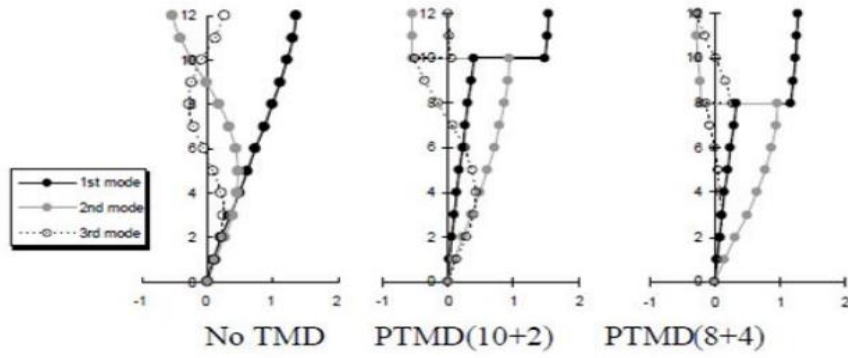
Sönümleyicinin çalışma prensibi, yapı şiddetli deprem ve rüzgâr etkileri altında titreşmeye başladığında, sönümleyicinin frekansı yapısal frekansa (genellikle ilk doğal frekansa) ayarlanarak belirlenir. Bu şekilde, sönümleyici yapısal hareketle uyumsuz rezonansa geçer ve enerji dağılımı sönümleyici kuvvetlerin etkisiyle gerçekleştirilir. TMD'nin en verimli enerji sönümlleme kapasitesini elde etmek için, TMD'nin doğal periyodunun kendi yapısının doğal periyoduna göre belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, bir TMD'nin etkisi, yapının kendi sönüm oranını artırmak için eşdeğer olarak da görülebilir [11].

TMD, mekanik olarak basit bir sistem olup herhangi bir harici enerji kaynağına ihtiyaç duymadan çalışır. Ayarlı kütle sönümleyicinin kolay bakımı ve yüksek güvenilirliği sayesinde dünya genelinde birçok uygulaması bulunmaktadır. Örneğin, John Hancock Tower (1975), Citicorp Center (1978) New York'ta, Canadian National Tower (1976) Toronto'da, Chiba Port Tower (1988) ve Crystal Tower (1990) Japonya'da, 101 katlı Taipei gökdeleni (2004), Aspire Tower (2007) Katar Doha'da, World Financial Center (2008) Çin Shang Hai'da ve Tokyo Sky Tree (2012) Japonya Tokyo'da TMD kullanılarak inşa edilmiştir.



Şekil 3.2: : Tek katlı yapı üzerindeki ayarlanmış kütle sönümleyici. [30]

Aşağıdaki şekilde 3.3 katlı bir binanın ilk üç titreşim modunu gösteriyoruz, üç örnek için modal analiz yapıldı, birincisi TMD'siz, ikincisi 10. kata yerleştirilmiş TMD ve üçüncüsü 8. Katlar [11].



Şekil 3.3: TMD'li yapıların modal analizi. [11]

TMD'li yapıların iki farklı titreşim davranışı izlediği fark edilmiştir; birinci davranış üst katlara, ikincisi ise çok daha düşük genliğe sahiptir ve alt katlara hakimdir. Bu iki titreşim davranışı, TMD'yi içeren zemindeki yalıtım tabakası tarafından ayrıştırılır ve deprem tarafından alınan enerjinin bir kısmı hapsedilir.

Kontrolsüz olan (TMD'siz) için, tüm seviyeler için yalnızca bir titreşim moduna maruz kalır, bu da TMD'nin kurulum yerinin yükleme uygulaması sırasında iyi bir davranışa sahip olmak için büyük bir verimliliğe sahip olduğunu gerçek bir şekilde gösterir.

Dünya genelindeki TMD uygulamalarına örnekler:

Yapı adı ve türü	Şehir, ülke	Sönümleyici tipi ve sayısı	Kurulum tarihi ve Kütle
John Hancock Building (244 m)	Boston, USA	Pasif ayarlı kütle sönümleyici	1977 / 2 x 300t
Chifley Tower (209 m)	Sydney, Australia	Pasif ayarlı kütle sönümleyici (sarkaç tipi)	1993 / 400 t
ORC 2000 Symbol Tower (188 m)	Osaka, Japan	2 aktif ayarlı kütle sönümleyici	1992 / 200 t
Yokohama Landmark Tower (296 m)	Yokohama, Japan	2 aktif ayarlı kütle sönümleyici	1993 / 340 t
Haneda Airport Tower (178 m)	Tokyo, Japa	Ayarlı sıvı sönümleyici (dairesel çalkalama tipi).	1993 / 21t

Tablo 1.8: TMD'lerin dünyadaki uygulamaları [18].

3.1.2.1 TMD'nin tasarımı ve İşleyişi

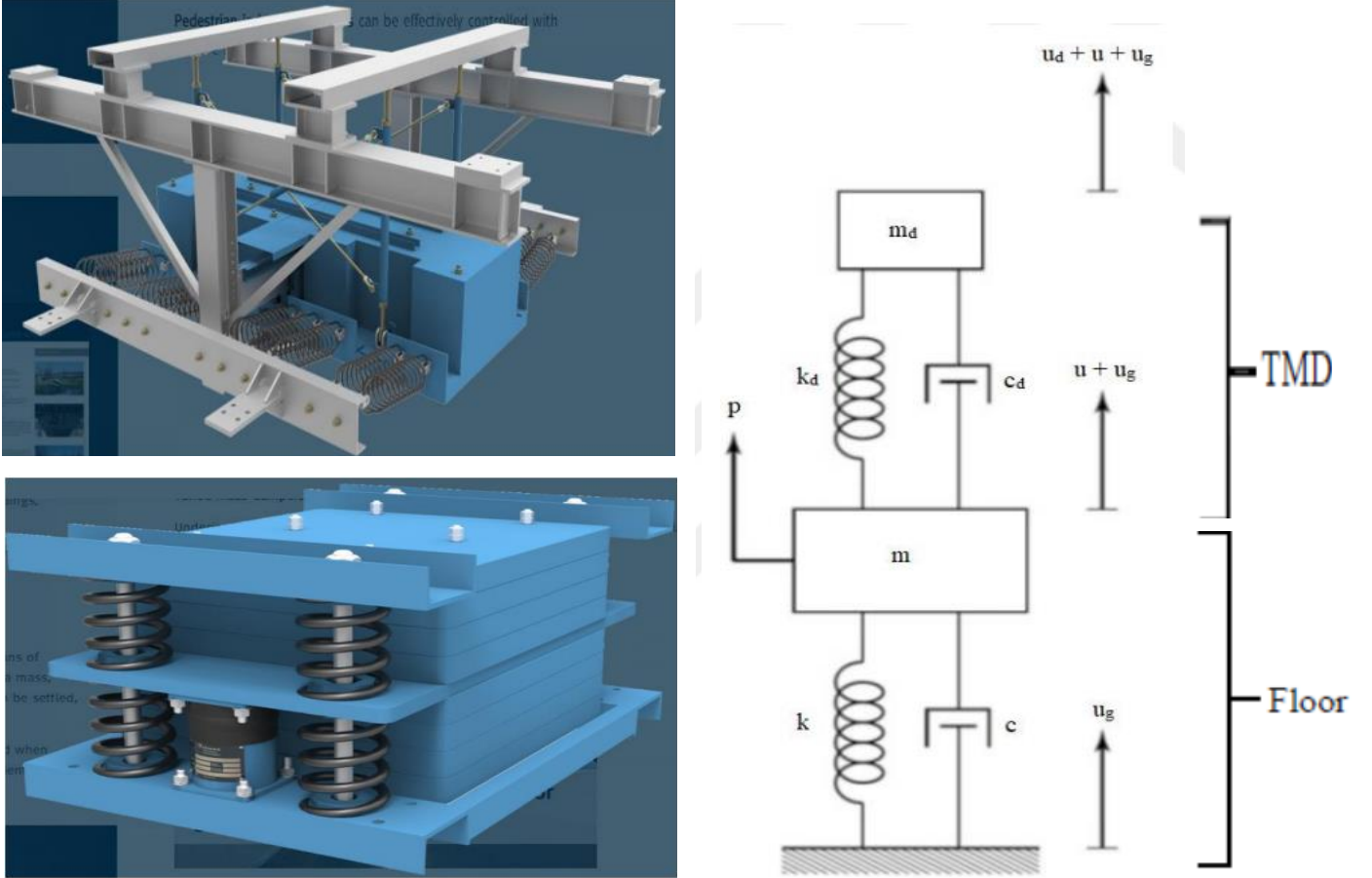
Bir TMD tasarımı gerçekleştirilirken, ana yapının yapısal özellikleri nedeniyle bir dizi tasarım kısıtlaması dikkate alınmalıdır. Bu metinde, esnek ve hafif sönümlü yapılar için TMD'nin temel ve ana tasarım prosedürü özetlenmiştir [32].

- Ana yapının dinamik yapısal özelliklerinin tanımlanması. TMD tarafından kontrol edilecek yapının doğal frekansını, titreşim kütlelerini, sönüm oranını ve özgül titreşim mod'unun belirlenmesi.
- TMD tarafından oluşturulacak tasarım sönüm oranını $\Delta\xi_e$ belirlenmesi.
- Uygun kütle oranını μ 'nin varsayımı (TMD'nin m_T kütlelerinin belirlenmesi).
- TMD tarafından oluşturulacak tasarım sönüm oranını $\Delta\xi_e$ belirlenmesi.
- Uygun kütle oranını μ 'nin varsayımı (TMD'nin m_T kütlelerinin belirlenmesi).
- Kütle oranını μ 'den α_{opt} ve ξ_{opt} hesaplanması (TMD'nin K_T rijitlik ve C_T sönüm değerlerinin belirlenmesi).
- TMD'nin maksimum yer değiştirmesi hesaplanır. Eğer değeri çok büyükse, sıra 3'e geri dönlür.
- ω_T ve ξ_T 'nin ayarlanması için yöntemler de dahil olmak üzere TMD'nin mekanik sistemi tasarlanır.
- Sallama masası veya diğer yöntemlerle TMD'nin doğrulama testleri yapılır. ω
- TMD'nin ana yapı'ya yerleştirmesi.
- Sahada TMD'nin davranışları gözlenerek ω_T ve ξ_T değerlerinin ayarlanması.

Gerekirse aşağıdaki hususlar incelenecektir:

- ✓ TMD tarafından kontrol edilecek yapının titreşim modunun buna yakın başka bir titreşim modu varsa, ana yapının 3 veya daha yüksek serbestlik modellemesi durumunda, TMD uygun değer değerleri belirlenmelidir.
- ✓ ω_T yapının titreşim süresi boyunca dağıtılan MTMD'nin ayarlama etkisinde kuvvet vardır.

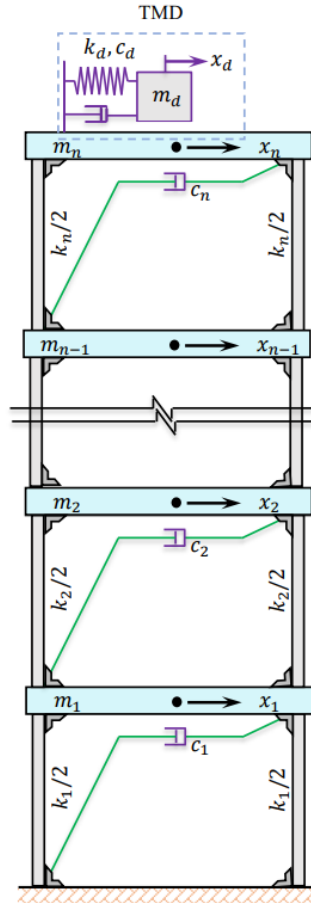
- ✓ TMD'nin yer değiştirmesi çok büyükse, daha büyük kütle veya daha yüksek sönümleme kullanımı kaçınılmaz hale gelir, bu da her zaman optimum TMD'yi vermeyebilir. TMD, şekil 3.3'te gösterildiği gibi bir kütle, bir yay ve bir sönümleyici içerir. m , k , c terimleri yapının kütlelerini, sertliğini ve sönümünü temsil eder ve m_d , k_d , c_d TMD'nin kütlelerini, yer değiştirmesini ve sönümünü ve P ise uyarma kuvvetini temsil eder. Sistem aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:



Şekil 3.4:TMD'nin temsili diyagramı [18].

Tez çalışması kapsamında, pratik uygulamalarda sıkça karşılaşılan pasif ayarlı kütle sönümleyici (TMD) sistemleri, yapısal titreşimleri azaltmak için kullanılır. Tasarımcı tarafından belirlenen kütle, rijitlik ve sönüm katsayıları sayesinde, TMD sistemleri titreşim enerjisini yapı ve sistem arasında paylaştırarak esas yapının titreşim enerjisini azaltırlar. Bu sistemler genellikle yapısal titreşimlerin en fazla olduğu üst katlarda kullanılırken, ihtiyaca bağlı olarak yapının farklı yerlerinde de uygulanabilirler. Şekil 3.5'te, TMD sisteminin kayma binası üzerindeki şematik gösterimi bulunmaktadır. Şekilde, TMD sisteminin kütle, rijitlik, sönüm ve yer değiştirme parametreleri sırasıyla m_d ,

k_d, c_d ve x_d olarak ifade edilirken, bu parametreler yapının her bir katı için m_i, k_i, c_i ve x_i ($i = [1, N]$) sembolizasyonu ile gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Ayarlı kütle sönümleyici (TMD) ile donatılmış çok serbestlik dereceli bir birincil yapı.

Yapıların dinamik tepkisi, statik veya dinamik analiz kullanılarak elde edilebilir. Böylece cevap, dış etkilerden kaynaklanan dinamik yükün, binanın uygulanan yatay bir statik yük ile değiştirildiği bir statik analiz ile elde edilebilir.

Rüzgârın etkisine maruz kalan birkaç serbestlik derecesine sahip bir yapı ve dinamik analiz için, sadece rijitlik matrisi değil, aynı zamanda kütle ve sönüm matrisleri de açıkça hareket denkleminde yer alır. Bu durumda hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = Fe^{\omega t} \quad (5.3)$$

Burada,

$[M]$ - kütle matrisi;

$[C]$ - sönüm matrisi;

$[K]$ – Rijitlik matrisi;

F- Dış uyarma kuvvetinin genliği.

Denklem (5.3)'te sunulan kütle matrisi $[M]$, sönüm matrisi $[C]$ ve Rijitlik matrisi $[K]$ aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{n-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{tmd} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} C_1 + C_2 & -C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -C_2 & C_2 + C_3 & -C_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -C_3 & C_3 + C_4 & -C_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -C_4 & \ddots & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & C_{n-1} + C_n & -C_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -C_n & C_n + C_{tmd} & -C_{tmd} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -C_{tmd} & C_{tmd} \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & \ddots & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & k_{n-1} + k_n & -k_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_n & k_n + k_{tmd} & -k_{tmd} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_{tmd} & k_{tmd} \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Titreşim sönümleyici tasarımı sırasında, ana yapının beraberinde getirdiği çeşitli tasarım kısıtlamalarıyla karşılaşılır. Eğer ana yapı hafif, esnek ve yüksek doğal sönümleme özelliğine sahip değilse, Titreşim Sönümleyici Aygıt (TMD) tasarımı yapmak amaçlandığında, ilk

adımında ana yapının kütle matrisi ve rijitlik matrisi tespit edilir. Bu matrisler üzerinden ana yapının doğal frekansı hesaplanır.

Tek serbestlik dereceli sistemlerde, doğal frekans, $m = \sqrt{\frac{K}{m}}$ formülü ile ifade edilir. Çok serbestlik dereceli sistemlerde ise her serbestlik derecesine karşılık bir doğal frekans vardır. En büyük önceliğimiz, birinci mod ile ilişkilendirilen doğal frekanstır.

İlk olarak, doğal frekans $|k - \omega^2 * m| = 0$ determinantından hesaplanır. Daha sonra, yapının birinci modun şekline karşılık gelen mod vektörü, $(k - \omega^2 * m)\Phi_1 = 0$ formülünden elde edilir. Ve tüm terimler Φ_{11} terimine bölünerek normalize edilir. Son olarak ise modal kütlesi hesaplanır.

Bir üç serbestlik derecesine sahip sistemin 1. mod vektörü örneğini şöyle tanımlanabilir:

$$\Phi_1 = \begin{bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \\ \Phi_{31} \end{bmatrix} \text{ olsun.}$$

Bu değerler, Φ_{11} terimine bölünerek normalize edilmiştir.

$$\Phi_{1n} = \begin{bmatrix} 1 \\ \Phi_{1n} \\ \Phi_{1n} \end{bmatrix}$$

Birinci moda ait modal kütle:

$$M_1 = \phi_{1n}^T * m * \phi_{1n} \text{ olarak hesaplanır.} \quad (5.7)$$

3.1.3 Rayleigh Sönüm Parametresi

En sık kullanılan sönümlleme modeli olan Rayleigh sönümlleme modeli, hareket denklemlerinin çözümünde doğrusal tepki durumunda kullanılan uygun bir basitleştirmeye neden olmuştur.

Matris tabanlı yaklaşım kullanılarak Rayleigh sönümlleme modeli kullanıldığında, sönüm matrisi iki önceden seçilmiş modal frekansta belirlenen bir sönüm oranına ulaşmak için seçilen iki sabitin, kütle ve rijitlik matrislerinin doğrusal bir bileşimi olarak kabul edilir. Bu yöntem, Rayleigh yöntemi denklemini (5.5 numaralı denklem) elde etmeyi mümkün kılar. Aşağıda belirtilen, sönüm matrisinin genel formudur:

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (5.8)$$

Eğer $[M]$ kütle matrisi ve $[K]$ rijitlik matrisi olarak belirtilirse, α kütle matris katsayısı ve rijitlik matris katsayısıdır. Bu faktörlere aynı zamanda Rayleigh katsayıları da adı verilir. Geleneksel yaklaşımlarda, α ve β değerlerini hesaplamak için iki referans titreşim modu (i ve j) seçilir. Bu hesaplama işlemi için, ölçülen veya tahmin edilen sönümleme oranları (ξ_i ve ξ_j) ve frekansları (ω_i ve ω_j), güvenilir test verileri kullanılır.

$$\begin{Bmatrix} \alpha \\ \beta \end{Bmatrix} = \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i^2 - \omega_j^2} \begin{pmatrix} \omega_j & -\omega_i \\ -\frac{1}{\omega_j} & \frac{1}{\omega_i} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \xi_i \\ \xi_j \end{Bmatrix} \quad (5.9)$$

Eğer $\xi_i = \xi_j = \xi$ koşulu sağlanıyorsa, denklem aşağıdaki gibi daha basit bir şekilde ifade edilebilir [32]:

$$\begin{Bmatrix} \alpha \\ \beta \end{Bmatrix} = \frac{2\xi}{\omega_i + \omega_j} \begin{Bmatrix} \omega_i\omega_j \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (5.10)$$

Bir sönümlü sistemin özdeğer problemi bir mod için ele alındığında, kritik sönümleme durumu aşağıda belirtildiği gibidir:

$$\xi = \frac{\alpha}{2\omega} + \frac{\beta\omega}{2} \quad (6.0)$$

3.1.4 2DOF için TMD'nin Özellikleri

İlk olarak tasarım, gerçekleştirilmeden önce TMD'nin özellikleri üzerinde parametrik bir çalışma ile başlamalı ve daha iyi bir performansa sahip olmak için TMD'nin frekans ve sönüm Katsayısının oranını belirlemelidir [11].

Villaverde [34] TMD'lerin uygulanmasına ilişkin çalışmaları, en iyi sonuçların, birleşik yapı ve sönümleyicinin ilk iki karmaşık titreşim modunun ortalamasına eşit yaklaşık olarak aynı sönümleme oranlarına sahip olduğunda elde edildiğini göstermektedir.

Aşağıdaki denklemde tanımlandığı gibi yapısal sönüm katsayıları ξ_1 ve TMD ξ_2 :

$$\xi = (\xi_1 + \xi_2)/2 \quad (6.1)$$

Bunu başarmak için Villaverde (Villaverde, 1985), TMD'nin ana yapı ile rezonans içinde olması gerektiğini ve sönüm katsayısının aşağıdaki denklemi sağlanması gerektiğini tespit etti:

$$\xi_2 = \xi_1 + \phi\sqrt{\mu} \quad (6.2)$$

Burada,

ϕ : Sistemin bulunduğu ilk modun genliği;

μ : Kütle oranı;

ϕ ve μ birim modal katılım faktörü dikkate alınarak hesaplanır.

[35]'e göre, çok katlı bir yapı için kütle oranı:

$$\mu = \frac{m_{TMD}}{\phi_1^T [M] \phi_1} \quad (6.3)$$

$[M]$ - kütle matrisi;

ϕ_1 - bir birim modal katılım faktörüne sahip olmak için normalleştirilmiş temel mod;

Sayısal sonuçlar, bu formüllerin büyük kütle oranları kullanıldığında (0,5'ten az) daha iyi yer değiştirme ve azaltma sağlamadığını göstermektedir.

Bu nedenle, büyük kütle oranları sorununu çözmek için yer değiştirmeyi azaltan bir prosedür önerdi. Onlara göre TMD sistemlerinin optimal frekans oranı $f_{2opt} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ ve optimal sönüm katsayısı ξ_{2opt} aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$f_{2opt} = \frac{1}{1+\mu} \left(1 - \xi_1 \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \right) \quad (6.4)$$

$$\xi_{p2opt} = \left(\frac{\xi_1}{1+\mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \right) \quad (6.5)$$

Ve rijitliği ve optimum sönümlemeyi (k_{2opt} , C_{2opt}) hesaplamak gerekir, bu parametreler aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$K_{2opt} = m_2 \omega_1^2 f_{2opt}^2 = m_2 \omega_1^2 \left(\frac{1}{1+\mu} \right)^2 \left(1 - \xi_1 \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \right)^2 \quad (6.6)$$

$$C_{2opt} = 2m_2 \omega_1 f_{2opt} \xi_{p2opt} = \frac{2m_2 \omega_1}{1+\mu} \left(1 - \xi_1 \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \right) \left(\frac{\xi_1}{1+\mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \right) \quad (6.7)$$

TMD'nin parametreleri ile ilgili olarak, çok serbestlik derecesine sahip bir yapı için optimal frekansın oranı ve kütle oranı $\phi\mu$ için 2 DOF'lu bir sistemin frekansına eşittir:

$$f_{p2opt}(\mu) = f_{2opt}(\phi\mu) \quad (6.8)$$

ϕ : TMD sisteminin bulunduğu birinci modun ve birim katılım faktörü için genliğidir. Optimal frekans oranı denklemi, 2 serbestlik dereceli sistem denkleminde μ yerine $\phi\mu$ getirilerek elde edilir (Sadek et al 1997).

$$f_{p2opt} = \frac{1}{1 + \phi\mu} \left(1 - \xi_1 \sqrt{\frac{\mu\phi}{1 + \phi\mu}} \right) \quad (6.9)$$

TMD'nin sönüm katsayısı, sistemin 2 DOF'taki sönümleme katsayısının ϕ ile çarpımına eşittir:

$$\xi_{p2opt} = \phi \xi_{2opt} \quad (7.0)$$

Sönüm katsayısı denklemi ξ_{p2opt} aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\xi_{p2opt} = \phi \left(\frac{\xi_1}{1 + \mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1 + \mu}} \right) \quad (7.1)$$

Birkaç serbestlik derecesine sahip yapılar için rijitlik ve sönümün optimum parametreleri bu nedenle aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$K_{2opt} = m_2 \omega_1^2 f_{p2opt}^2 = m_2 \omega_1^2 \left(\frac{1}{1 + \mu\phi} \right)^2 \left(1 - \xi_1 \sqrt{\frac{\mu\phi}{1 + \mu\phi}} \right)^2 \quad (7.2)$$

$$K_{2opt} = 2m_2 \omega_1 f_{p2opt} \xi_{p2opt} = \frac{2m_2 \omega_1}{1 + \mu\phi} \left(1 - \xi_1 \sqrt{\frac{\mu\phi}{1 + \mu\phi}} \right) \phi \left(\frac{\xi_1}{1 + \mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1 + \mu}} \right) \quad (7.3)$$

Sap2000 tarafından verilen öz modların kütle matrisine göre normalize edildiğini bilerek, başlangıçta birim mod katılım faktörü için öz modların hesaplanması gerekir. Bu öz modların hesaplanması aşağıdaki şekilde verilir:

Bir mod i için modal katılım faktörü aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\Gamma_i = \frac{L_i}{M_i} \quad (7.4)$$

$$L_i = \{\phi\}_i^T [M] \{\Delta\} \quad (7.5)$$

$$M_i = \{\phi\}_i^T [M] \{\phi\}_i \quad (7.6)$$

Γ_i : Modal katılım faktörü.

L_i : Dinamik uyarma faktörü.

M_i : Genelleştirilmiş kütle.

$[M]$: Yapının kütle matrisi.

$\{\phi\}_i$: Öz moda vektörü.

$\{\phi\}_i^T$: Öz mod aktarılmış vektör.

$\{\Delta\}$: Talep yönü vektörü.

Birim modal katılım faktörü $\Gamma_i = \frac{L_i}{M_i} = 1$ olduğunda $L_i = M_i$

Modal kütle şu şekilde tanımlanır: $m_i^* = \frac{L_i^2}{M_i}$

3.2 OPTİMİZASYON

Optimizasyon, bir problemin amaçlarına uygun olarak minimum veya maksimum değerleri elde etmek için yapılan çalışma sonucu elde edilen veriler arasından aranan parametreleri bulma işlemidir. Bir problemin çözümü genellikle birden fazla seçenek sunar. Örneğin, A'dan B'ye gitmek istediğinizde, hava, kara veya deniz yolu gibi seçenekler arasından tercih yapmanız gerekebilir. Bu seçim, gitmek istediğiniz yere ulaşma süresi, rotanızdaki duraklar veya güzergahlar gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir ve bazı değerler diğerlerinden daha uygun görünebilir.

Optimizasyon, özellikle mühendislik alanında yaygın bir şekilde kullanılan ve hayatın her türlü problemine uygulanabilen bir işlemdir. Bu işlem, en kısa süreyi, en uygun güzergahı veya en uygun mola yerlerini belirlemeyi hedefler. Özellikle kaynakların sınırlı olduğu durumlarda, yapıların en düşük maliyetle ve en güvenli şekilde inşa edilebilmesi için İnşaat Mühendisliği alanında kullanılır. Yapılar için en uygun maliyet, işçilik ve yapı güvenliği gibi tasarım kriterlerinin optimum hale getirilmesi, optimizasyon işleminin İnşaat Mühendisliği alanında bir ihtiyaç haline gelmesini sağlamıştır.

Farklı algoritmalar kullanarak problemler optimize edilebilir. Bunlardan biri özellikle son yıllarda özellikle mühendislik problemleri için sıkça kullanılan Meta-sezgisel algoritmalar. Bu algoritmalar, optimizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesinde etkili bir araçtır.

Yang (2010) [36], mühendislik optimizasyonları için Metasezgisel algoritmaların kullanımını ele alan bir kitap yazmıştır. Metasezgisel algoritmaların diğer algoritmalarından ayıran özelliği, doğadaki döngülerden ve canlıların içgüdüsel davranışlarından esinlenerek problemlere çözümler üretmesidir. Bu algoritmalar, sadece doğadaki olayları değil aynı zamanda canlıların davranışlarını da modele alarak kullanılmaktadır.

Yapay Zeka'da arama uzayında en uygun çözümün aranması, makine öğrenmesi, derin öğrenme, bilgi temsili, akıl yürütme, algılama gibi hemen hemen tüm alt alanlarda ortak

sorunlardan biridir. Geleneksel arama teknikleri, genellikle kaliteye daha az odaklanarak yaklaşık çözümler aramaya çalışan probleme bağlı buluşsal kavramlara dayanır [37]. Son zamanlarda Metasezgisel tabanlı algoritmalar, optimizasyon problemlerinin arama uzayını manipüle etmedeki etkileyici yeteneği nedeniyle yapay zekâ araştırma topluluklarının dikkatini çekmektedir [38]. Metasezgisel tabanlı bir algoritma, birçok optimizasyon problemine uyarlanabilen genel bir optimizasyon çerçevesidir. Biriken bilgiden yararlanan öğrenme mekanizmalarını kullanan ve aynı zamanda problem arama alanını keşfeden yinelemeli bir evrim stratejisine sahiptir. Genellikle eldeki optimizasyon problemi için yeterince iyi bir yaklaşım çözümü bulmak için kullanılan belirli parametreler tarafından kontrol edilir [39]. Metasezgisel tabanlı algoritmalar geleneksel olarak çeşitli şekillerde kategorize edilir [40]: Doğadan esinlenen ve doğadan bağımsız, popülasyon tabanlı ve bireysel nokta arayışı, değişken amaç fonksiyonu, farklı komşuluk yapıları ve bellek kullanımına karşı bellek-minimal yaklaşımlar bulunmaktadır. Son zamanlarda, araştırma topluluğu bu algoritmaları evrimsel algoritmalar, Yerel Arama (LSA), Sürü zekâsı, fiziksel tabanlı, kimyasal tabanlı ve insan tabanlı algoritmalar gibi Metasezgisel algoritmanın doğal ilhamlarına dayalı kategorilerde birleştirdi. [41, 42].

Kavramlarda basit ve kullanımı kolay olan Jaya algoritması, 2016 yılında Rao [43] tarafından önerildi ve etkileyici özellikleri nedeniyle çok çeşitli araştırma topluluklarından büyük ilgi gördü. İlk aramada türev bilgisi yoktur. Parametresiz bir algoritmadır. Uyarlanabilir, esnek ve sağlam ve eksiksizdir.

Bu nedenle, Jaya algoritması, Optimal Güç Akışı [44, 45], güneş pillerinin parametre çıkarımı [46], sırt çantası problemleri [47], sanal makine yerleştirme [48], atölye Tablolu [49, 50], permütasyon fow-shop Tablolu problemi [51], güvenilirlik-fazlalık tahsis problemleri [52], ekip oluşturma problemi [53], kafes yapıları [54], yüz duygu tanıma [55], özellik seçimi [56], Plate-fn ısı eşanjörü [57], Li-ion pil model parametrelerini tahmin etme [58], vb.gibi farklı alanlarda çok sayıda optimizasyon problemi için muazzam bir şekilde kullanılmıştır.

Bazı optimizasyon problemlerinin karmaşık doğası ve arama uzayındaki engebeli özellikleri nedeniyle, birçok araştırmacı yakınsama davranışlarını iyileştirmek için Jaya algoritmasını değiştirmiştir. Diğer bazı araştırmacılar, Jaya Algoritmasını diğer optimizasyon algoritmalarından ödünç alınan diğer güçlü bileşenlerle melezleştirir. Bu nedenle, Jaya algoritmasının ikili Jaya [59], Kendinden uyarlamalı Jaya algoritması [60, 61], elitizm tabanlı

Jaya [62], elitizm tabanlı kendinden uyarlamalı çok nüfuslu Jaya algoritması [63, 64], kaotik Jaya algoritması [61, 65], Sinir ağı Jaya algoritması [66, 67], evrimsel algoritmalarla hibritleşme [68, 69], sürü zekâsı algoritmalarıyla hibritleşme [70–71], fiziksel tabanlı algoritmalarla hibritleşme [52] ve diğer bileşenlerle hibritleşme [72, 73] gibi çeşitli varyantları önerilmiştir.

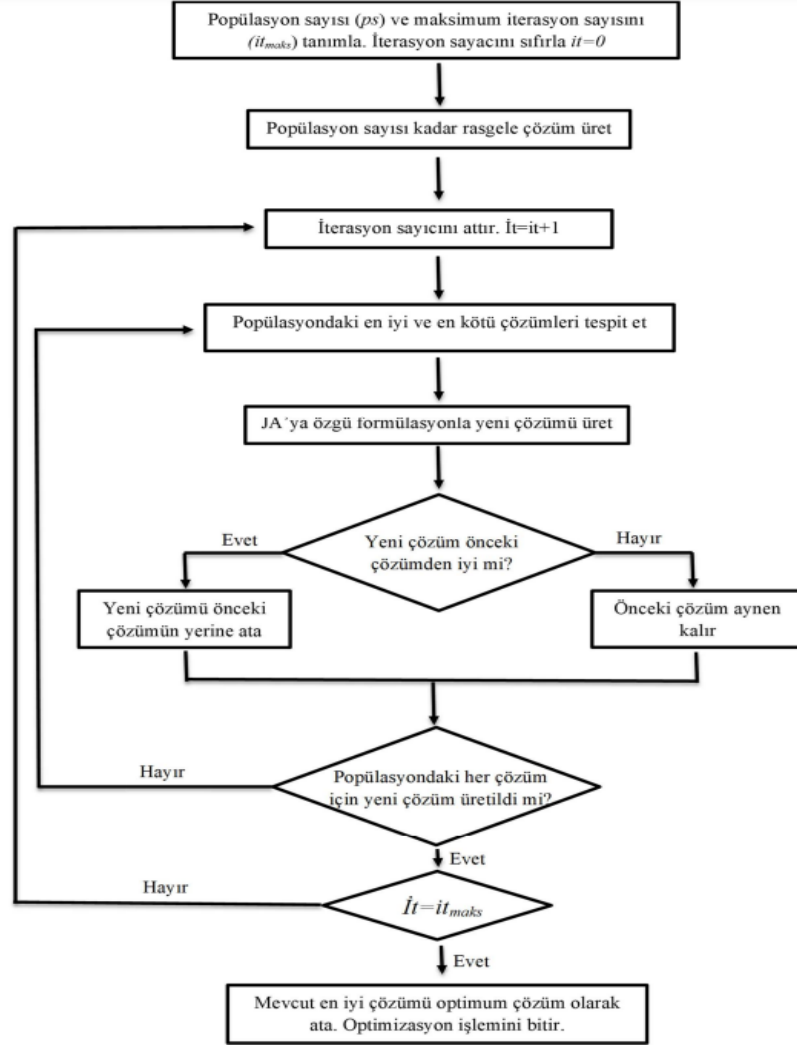
3.2.1 Jaya Algoritması

Rao (2016) tarafından önerilen Jaya algoritması (JA), "zafer" anlamına gelen Sanskritçe bir kelime olan "Jaya"dan gelir. Optimal tasarımın elde edilmesi sürecinde, JA yöntemi her adımda en iyi çözüme mümkün olduğunca yaklaşmaya ve en kötü çözümden olabildiğince uzaklaşmaya odaklanır. Diğer sezgisel optimizasyon tekniklerinden ayırtıran bir özellik olarak, JA kendi karakteristik parametrelerini içermeme özelliğine sahiptir. Bu yöntem, popülasyon büyüklüğü ve maksimum iterasyon sayısı gibi genel denetim parametreleri kullanarak işler.

Jaya Algoritması olarak bilinen JA yöntemi, genel kontrol parametreleri olarak popülasyon sayısı (ps) ve maksimum döngü sayısı (itmax) kullanır ve aşağıdaki adımlardan oluşur.

- I. JA algoritmasının başlatılma aşaması, optimizasyon popülasyonunun oluşturulması için rastgele çözümlerin üretilmesi işlemidir. Popülasyon büyüklüğü (ps) ve en fazla iterasyon sayısı (itmax) belirlendikten sonra, iterasyon sayacı (it) sıfırlanır ve algoritma yürütülmeye başlanır.
- II. İterasyon sayısını artırmak için, it değerine bir ekleyin: $it = it + 1$.
- III. Popülasyonun en iyi ve en kötü çözümlerini belirleyerek, yeni bir çözüm üretmek için JA'nın özgün formülasyonunu kullanın. Bu işlem, optimizasyon problemine bağlı olarak değişebilir.
- IV. Bir yeni çözüm üretildikten sonra, bu çözümün önceki çözümle karşılaştırın. Eğer yeni çözüm, öncekinden daha iyi durumdaysa, önceki çözümün yerine geçirin. Aksi halde önceki çözümü olduğu gibi koruyun.
- V. Her bir çözüm için adımlar III ve IV tekrarlayın.
- VI. "Eğer $it = it_{max}$ ise, VII adımına gidin, aksi takdirde II adımına gidin." şeklinde yeniden ifade edilebilir.
- VII. Optimal çözümü en iyi seçenek olarak nitelendirerek, optimizasyon sürecini tamamlayın.

Adım adım anlatılan JA algoritmasının işleyiş şeması Şekil 3.5'te görselleştirilmiştir.



Şekil 3.6: Jaya algoritmasının işlem akışı şeması [43].

Jaya algoritması oldukça kullanışlı ve kolay bir şekilde uygulanabilir. Tasarım değişkenlerini değiştirmek için tek bir denklem kullanılır. X_i, j , yeni tasarım için j'inci tasarım değişkenini ifade eder ve bu tasarım değişkeni, it'inci iterasyonda aşağıdaki şekilde güncellenir:

$$X_{i,yeni} = X_{i,j} + rand() (X_{i,geniyi} - |X_{i,j}|) - rand() (X_{i,genkötü} - |X_{i,j}|) \quad (7.7)$$

Bu denklemde, $X_{i,yeni}$: $X_{i,j}$ tasarım değişkeninin değiştirilmiş halini, $rand()_1$ ve $rand()_2$: it'inci iterasyon için ve i'inci değişken için $[0,1]$ aralığında rastgele oluşturulan gerçek sayıları ifade eder. $X_{i,geniyi}$: it'inci iterasyondaki en iyi tasarımı, i'inci tasarım değişkenini temsil eder. $X_{i,genkötü}$: it'inci iterasyondaki en kötü tasarımın i'inci tasarım değişkenini ifade eder.

$rand() (X_{i,geniyi} - |X_{i,j}|)$ terimleri, şu anki çözümün en iyi çözüme doğru yaklaşma eğilimini ifade ederken, $-rand() (X_{i,genkötü} - |X_{i,j}|)$ terimleri, şu anki çözümün en kötü çözümden uzaklaşma eğilimini ifade etmektedir. Rastgele üretilen $rand()_1$ ve $rand()_2$ gerçek sayıları, tasarım uzayının daha etkili bir şekilde keşfedilmesini kolaylaştırırken, $(|X_{i,j}|)$ ifadesinin mutlak değeri, algoritmanın arama yeteneğini daha da güçlendirmektedir [43].

3.3 Sayısal Örnek

Bu kısımda, rüzgârın etkisi altında ayarlı kütle sönümleyicisinin etkinliğinin değerlendirildiği bir inceleme sunar. İncelemede, konut amaçlı tasarlanmış 30 katlı bir betonarme bina yapısı ele alınmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemi, kolon ve kirişlerden oluşan bir çerçeveli sistem olarak modellenmiştir. Rüzgâr etkisi, statik formda Eurocode 1-4 standardına göre hesaplanmıştır.

Eurocode 1-4'e göre rüzgâr, sözde yatay yapıya uygulanan statik kuvvetlere asimile edilir. Bu kuvvetler, yapının aerodinamik özelliklerine bağlı dinamik etkiler üretebilir, ayrıca birkaç başka parametreye de bağlıdır: Bölge; site, rakım; işlerin boyutları vb.

3.3.1 Yapısal Modelleme

Araştırmanın amacı doğrultusunda, Eurocode 1-4'e göre rüzgâr davranışının tahmin edilebilir olması için, taşıyıcı sistemin mümkün olduğunca basit ve düzenli bir yapıda, simetrik olarak tasarlanması önerilir. Bu taşıyıcı sistem tasarımı, dış merkezliklerden kaynaklanabilecek kütle, rijitlik ve dayanıklılık sorunlarının önüne geçerek, rüzgâr davranışının öngörülebilir olmasını sağlar. Bu nedenle, bu prensiplere dayalı bir model tercih edilmiştir.

3.3.2 Malzeme bilgileri ve Yapının açıklaması

Bu çalışmada betonarme bir yapı modeli tasarlanmış ve beton malzemesi olarak C30 sınıfı seçilmiştir. BAEL91 standardına göre, C30 sınıfı betonun elastisite modülü $E_s=32000$ N/mm², Poisson oranı 0,2 ve ısı genleşme katsayısı $\alpha_t=10-50$ C olarak belirlenmiştir. Çelik donatı, Donatı çeliğinin elastisite modülü $E_s=2 \times 10^5$ MPa'dır ve minimum akma ve çekme dayanımları sırasıyla 420N/mm² olarak belirlenmiştir.

SAP2000'de, sönümlemeli yay-kütle sistemi kullanılarak bir TMD modeli oluşturulabilir. Yapıya bağlı bir noktası olan ve diğer noktası serbest olan doğrusal iki noktalı bir bağlantı nesnesi çizilmiş ve özellikleri atanmıştır. M, kütleyi; K, rijitliği ve C, sönümünü temsil

etmektedir. TMD'in cihazını simgelemek için doğrusal bir bağlantı oluşturulmuştur. U1, U2 ve U3 boyunca öteleme sertlikleri tanımlanmıştır. U1 boyunca doğrusal sertlik, eksenel özellikleri temsil etmektedir ve sönümleme modellerinde askının EA/L değerine dayanan 1,0*106 kN/m'dir. Ağırlık ($W = M \cdot g$), herhangi bir kendi ağırlığı yük modelinde, yerçekimi yönünde bir nokta kuvveti yükü olarak serbest ekleme (bağlantının J ucuna) atanmıştır. TMD (Ayarlı kütle Sönümleyici) genellikle, yapının etkisiz hale getirilecek yapısal periyoduna olan bir periyotta çalışması için tasarlanır.

Bu yapısal periyot, genellikle konvansiyonel bina modellerinde ilk titreşim periyodu olarak kullanılır. TMD'nin kütlesi, periyodunu etkilemez ancak TMD'nin geri kalan yapının ne kadar güçlü bir şekilde etkilendiğini belirler. Daha büyük kütleler, genellikle daha büyük bir etkiye sahiptir. TMD'nin periyodu, denklem 7.8'de belirtildiği gibi hesaplanır.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \quad (7.8)$$

Parametreler	Konut Binası	TMD
W(KN)	73132,9614	3656,6775
M(ton)	7454,94	372,75

Tablo 1.9: Kütlesi ve ağırlığı, bina ve TMD modelleri için.

Robot structural analiz kullanılarak, elemanlar ve yükler tanımlandıktan sonra, ağırlık ve kütle değerleri hesaplanmıştır. Optimum TMD kütlesi için yapılan araştırmalar, yapı kütlesinin %0,25 ile %10 arasındaki bir aralığın seçilmesi gerektiğini göstermiştir. Hem maliyet hem de kararlılık açısından ideal bir alanda kalmak için, TMD kütlesi yapı kütlesinin %2'si olarak seçilmiştir.

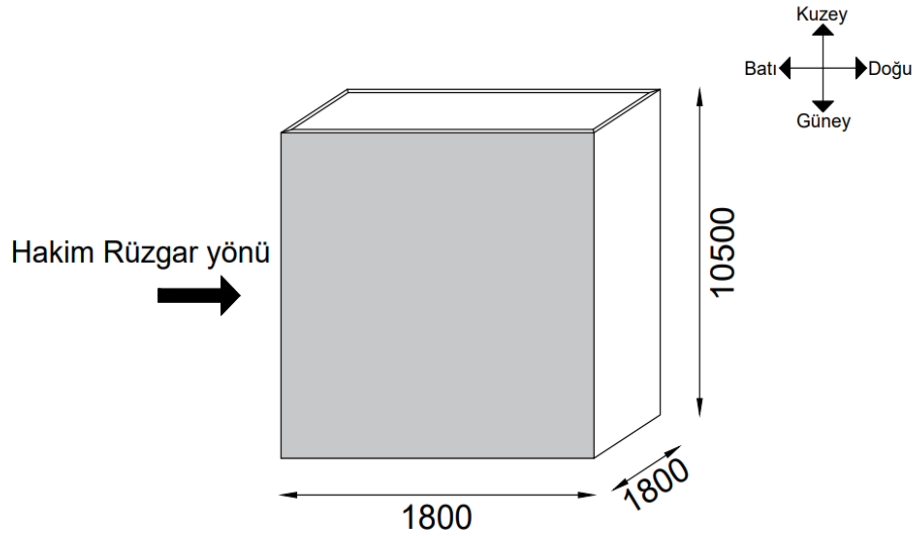
SAP2000 programı kullanılarak, doğrusal sönümleme, doğrusal bağlantı özelliğine direkt olarak dahil edilerek modellenir. Sönüm, doğrusal bir C katsayısı veya doğrusal olmayan bir C değeri artı hız teriminden bir üs olarak tanımlanabilir. Sönüm değerleri, TMD cihazının fiziksel özelliklerine göre belirlenmelidir. Bu sönümleme kaynağı TMD cihazının kendisini etkilerken, bir bütün olarak yapı için birincil enerji dağıtım mekanizması değildir. Kritik

sönümlleme (ξ) fraksiyonu için, doğrusal bir sönümleyici için TMD'ye ilişkin tahmini denklem 7.9'de verilir.

$$\xi = \frac{C}{2\sqrt{KM}} \quad (7.9)$$

3.3.3 Yapı özelliği

Yapı $18m \times 18m$ ölçülerinde, 105m yüksekliğinde ve çıkılabilir çatı terasına sahiptir. Avcılar (İstanbul) yerleşim bölgesinde, hâkim rüzgâr yönü BD (Batıdoğu) olan ve $V_{b,0}=25m/s^2$ temel hızı olan düz bir arazi üzerinde yer almaktadır. Eurocode 1-4'e göre yapı, yüzeyin en az %15'i ortalama yüksekliği 15m'den ($Z_0=1.0m$; $Z_{min}=10m$) fazla olan binalarla kaplı olan IV kategorisindedir. Şekil 3.7'de yapı özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Yapı özellikleri gösterilmektedir.

3.3.4 Yapının taşıyıcı elemanlarının boyutlandırılması ve yük kombinasyonlarının tanımlanması

Yapının kirişi, kolonu, döşemesi gibi taşıyıcı elemanları Tablo 1.9'de sunulan Structural Robot yazılımında boyutlandırılmıştır. Kirişler ve kolonlar, Robot structural modelinde çubuk sonlu elemanları şeklinde temsil edilmiştir. Döşeme kalınlığı, 16 cm betonarme olarak seçilmiştir. Betonarme döşeme, iki yönde çalıştığı için büyük boşluklar, çıkıntılar veya düzensizlikler içermez ve aynı kat yüksekliğindeki döşemelerin her bir noktasının hareket etmesi için döşemeler rijit diyafram olarak modellenmiştir.

Structural Robot yazılımında yüklemeler, sabit yük (G), hareketli yük (Q) olarak tanımlanmıştır. NF 06-004'e göre, bu mevcut çalışmanın sabit yükleri (G) ve hareketli yükleri (Q) Tablo 1.9'da sunulmaktadır. Binanın farklı katlarının hedefine göre seçildiler. BAEL 91'e göre, sabit yükün katsayıları 1,35 ve hareketli yükünün katsayıları 1,5'tir.

Kat Seviyesi	Yükler (KN/m2)	Kolonlar kesiti (cm)	Kiriş kesiti (cm)	Yükseklik (m)	Perde kalınlığı (cm)
0-4	G=2.5	35*60	30*60	14	35
	Q=3				
4-15	G=1.5	35*55		52.5	
	Q=3				
16-30	G=3	25*40		105	
	Q=2				

Tablo 1.9: Yapının taşıyıcı elemanlarının boyutlandırılması.

3.3.5 Eurocode 1-4'e göre rüzgâr hesaplaması

Referans rüzgâr hızı Denklem 8.0 kullanılarak belirlenir. Bu temel rüzgâr hızı, herhangi bir yönde 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızlarının açık arazide 10 metre yükseklikte 50 yıl süresince en az bir kez aşılma olasılığına karşılık gelir. İstanbul Atatürk Havaalanı'nda yapılan rüzgâr hızı ölçümlerinin analizi, İstanbul ve çevresi için temel rüzgâr hızını $V_{b,0} = 25$ m/s olarak belirlemiştir. Bu ölçümler 1 dakika aralıklarla sürekli olarak yapılmaktadır. Burada, doğrultu ve mevsim katsayıları ise 1 alınmıştır.

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} = 1.1.25 = 25 \text{ m/s} \quad (8.0)$$

Rüzgârın ortalama hızı $V_m(z)$, Denklem 8.1 kullanılarak hesaplanır. Bu hesaplama için orografi katsayısı $C_o(z)$ 1 kullanılır Çünkü Avcılar'da rüzgârın hızını %5'ten fazla artmadığı varsayılmaktadır. Engbelilik katsayısı $C_r(z)$ ise Denklem 8.2 kullanılarak hesaplanır.

$$V_m(z) = C_o(z) \cdot C_r(z) \cdot V_b \quad (8.1)$$

$$C_r(z) = K_r \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad Z_{min} = 10m \leq Z = 105m \leq Z_{max} = 200m \quad (8.2)$$

Arazi katsayısı, $Z_{min} = 10m$, $Z = 105m$ ve $Z_{max} = 200m$ aralığında olduğundan, Denklem 8.3'te belirtildiği gibi hesaplanır, Tablo 1.1'de $Z_{0,II}=0.05$

$$K_r = 0.19 \left(\frac{Z_0}{Z_{0,II}} \right)^{0.07} = 0.234 \quad (8.3)$$

Eğer Denklem 8.4'te arazi katsayısı K_r kullanılırsa,

$$C_r(z) = 0.234 * \ln \left(\frac{105}{1} \right) = 1.089 \quad (8.4)$$

Denklem 8.1'de elde edilen engebililik katsayısı değeri kullanılarak, ortalama rüzgâr hızı değeri hesaplanabilir.

$$V_m(z) = C_o(z) \cdot C_r(z) \cdot V_b = 1.089 * 1 * 25 = 27.226m/s \quad (8.5)$$

Denklem 8.6 kullanılarak, z metre yükseklikteki türbülans şiddeti hesaplanabilir.

$$I_v(z) = \frac{K_L}{C_o(z) \cdot \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)} \quad Z_{min} \leq Z \leq Z_{max} \quad (8.6)$$

K_L - Türbülans faktörü ve orografik katsayısı $C_o(z)$ için önerilen değerler 1,0 olarak kabul edilmiştir. Bu değerler, Denklem 8.7'ye yerleştirildiğinde kullanılır.

$$I_v(z) = \frac{K_L}{C_o(z) \cdot \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln \left(\frac{105}{1} \right)} = 0.215 \quad (8.7)$$

Eğer bu bölümde hesaplanan değerler Denklem 8.8'e yerleştirilirse, sonuç olarak tepe rüzgâr basıncı elde edilebilir.

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho V_m(z)^2 = 1348,303N/m^2 \quad (8.8)$$

3.3.5.1 Rüzgârın binaların dikey duvarlarına olan etkileri

Bu bölümde, duvarların farklı kısımlarındaki en yüksek noktalardaki hâkim rüzgâr yönündeki referans yükseklik kullanılacaktır. Bu referans yükseklik, $Z_e=105$ m'dir Rüzgâr basınçları, her rüzgârın yönü için binanın yüksekliğine göre ayrı ayrı analiz edilecektir.

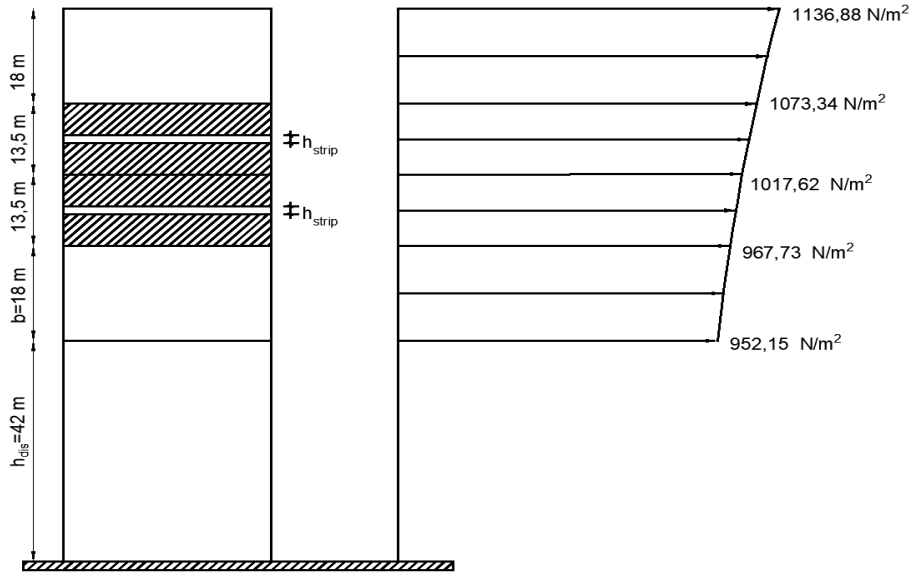
Rüzgâr yapının dış duvarlarına etkisinin hesaplanması için yapının kurulduğu ortamın yani komşu yapıların dikkate alınması gerekir.

Öncelikle, binanın iki kenarı kare olduğundan, denklem 8.9'da hesaplanan yer değiştirme yüksekliği h_{dis} dikkate alınarak rüzgâr sadece bir tarafa maruz kalmaktadır. Rüzgâr basıncı profili Şekil 3.10'de gösterildiği gibi olacaktır. Burada $h_{ave}=60m$; $x=150m$ ve $h=105m$

$$h_{dis} = \min \left\{ \frac{1.2h_{ave} - 0.2x}{0.6h} = 42m \right. \quad (8.9)$$

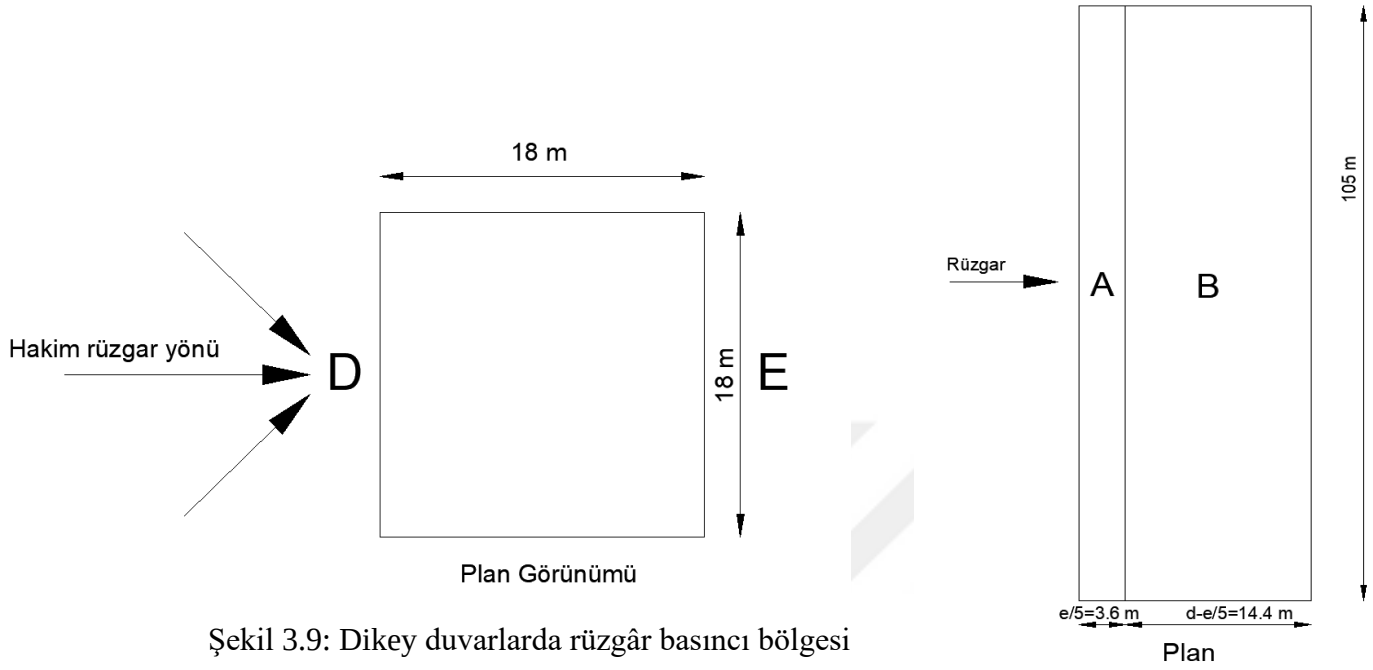
Tablo 1.9, $q_p(42 + 18)$ ve $q_p(42 + 63)$ değerleri ile bu yükseklikler arasındaki yükseklikler için hız kaynaklı rüzgâr basınçlarını hesaplamak için kullanılan Denklem 9.0'e gösterir. Bu değerler Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

$$q_p(z) = \left[1 + 7 \cdot \frac{K_L}{C_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(K_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right)^2 \quad (9.0)$$



Şekil 3.8: Tepe dinamik basınç profili.

Tablo 1.10, $h/d=106/18=5,86$ oranına göre A, B bölgeleri için basınç katsayılarını içermektedir. Şekil 3.9'de gösterildiği gibi, $b=18\text{m}$ olduğunda $e=\min(b,2h)=18\text{m}$ olur



Şekil 3.9: Dikey duvarlarda rüzgâr basıncı bölgesi

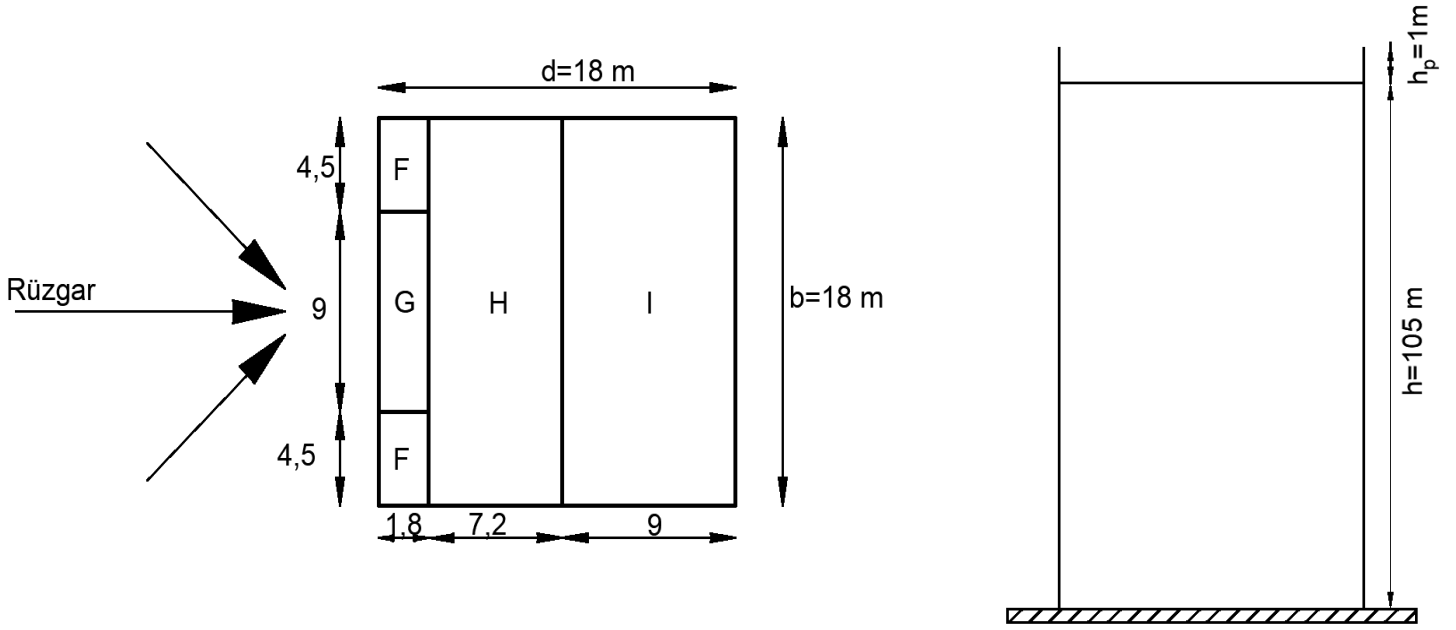
$C_{pe,10}$ değerleri h/d oranına göre bulunur ve ara değerlerin h/d oranları için lineer interpolasyon uygulanarak Tablo 1.10'de sunulur.

Bölge	A	B	D	E
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
5	-1,2	-0,8	+0,8	-0,7
3,5	-1,2	-0,8	+0,8	-0,625
1	-1,2	-0,8	+0,8	-0,7

Tablo 1.10: Binanın dikey duvarları için dış basınç katsayıları.

3.3.5.1 Basınç katsayılarının çatı için belirlenmesi.

Çatı eğimleri -5° ila 5° arasında olan yapılar düz çatı olarak sınıflandırılır. Bu örnekte çatının eğimi 0° olduğu için, bu çatı düz çatı kategorisine girer. Çatıya ilişkin basınç bölgeleri, Şekil 3.10'de rüzgârın esme yönüne göre gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Rüzgârın çatı basınç bölgeleri.

Dış basınç katsayıları, F, G, H ve I bölgelerini içeren Şekil 3.10'de, parapet yüksekliğinin bina yüksekliğinin oranına bağlı olarak Tablo 2.1'de belirtilmiştir.

$C_{pe,10}$ değerleri h_p/h oranına göre bulunur ve ara değerlerin h_p/h oranları için lineer ekstrapolasyon uygulanarak Tablo 2.1'de sunulur.

Çatı tipi		Bölge			
		F	G	H	I
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
Parapetle	$\frac{h_p}{h} = 0.016$	-1,67	-0,72	-0,7	+0,2
					-0,2
	$\frac{h_p}{h} = 0.025$	-1,67	-1,1	-0,7	+0,2
					-0,2
	$\frac{h_p}{h} = 0.05$	-1,67	-0,9	-0,7	+0,2
					-0,2

Tablo 2.1: Binanın Çatı için dış basınç katsayıları.

3.3.5.2 İç basınç katsayıları C_{pi}

Şiddetli rüzgarlarda çalışma sırasında açıklıklar kapalı, dayanıklı ve geçici bir proje de $C_{pi}=+0.2$ sonra $C_{pi}=-0.3$ değerleri dikkate alınmalıdır.

3.3.5.3 Rüzgâr basıncının hesaplanması

W_e : e yüzey elemanına uygulanan net basınç, e yüzey elemanına göre z yüksekliğinde hesaplanmıştır. Denklem 9.1, tüm yüzeyler üzerindeki rüzgâr basıncını hesaplar, Tablo 2.2'de belirtilenler çatı bölgelerindeki rüzgâr basınçlarını içermektedir.

$$W_e = q_e(z) \cdot (C_{pe} - C_{pi}) \quad (9.1)$$

Bölge	$q_p(z)$	C_{pe}	Rüzgâr Basıncı W_e	
			$C_{pi} = +0,2$	$C_{pi} = -0,3$
F	1136.88	-1,67	-2125,966	-1557,526
G	1136.88	-0,72	-1045,93	-477,4896
H	1136.88	-0,7	-1023,192	-454,752
I	1136.88	-0,2	-454,752	-113,688

Tablo 2.2: Rüzgâr basınçları, çatı bölgelerinde meydana gelecektir.

Tablo 2.2'de, rüzgârın iç basınç katsayısı $C_{pi}=+0,2$ olan 18 metrelik dikey duvarlara dik olduğu yüzey aerodinamik basınçları gösterilmektedir. Bazı kat seviyeleri, eurocode 1-4'e göre dağıtım anahtarına karşılık gelmez, bu durumlara karşılık gelen değerler için doğrusal enterpolasyon kullanılmıştır.

Bölge	Z(m) Eurocode 1-4 göre	Kat seviyesi i	Aref (m ²)	F _w / Aref (daN/KN)	F _w /kat (KN)	Bölge	Z(m) Eurocode 1-4 göre	Kat seviyesi	Aref (m ²)	F _w / Aref (daN/KN)	F _w /kat (KN)
A	105	0-12	151,2	0	0,00	B	105	0-12	604,8	0	0,00
		13	226,8	-954,9792	-0,67			13	907,2	-522,9648	-1,46
		14			-1,34			14			-2,93
		15			-2			15			-4,39
		16			-2,67			16			-5,86
		17			-3,34			17			-7,32
		18			-4,01			18			-8,79
		19			-4,68			19			-10,25
		20			-5,35			20			-11,72
		21			-6,01			21			-13,18
		22			-6,08			22			-14,64
		23			-7,35			23			-16,11
		24			-8,02			24			-17,57
		25			-8,69			25			-19,04
		26			-9,36			26			-20,50
		27			-10,03			27			-21,97
		28			-10,69			28			-23,43
		29			-11,36			29			-24,90
		30			-12,03			30			-26,36

Bölge	Z(m) Eurocode 1- 4 göre	Kat seviyesi	Aref (m ²)	F _w / Aref (daN/KN)	F _w /kat (KN)	Bölge	Z(m) Eurocode 1-4 göre	Kat seviyesi	Aref (m ²)	F _w / Aref (daN/KN)	F _w /kat (KN)
D	42+18	0-12	151,2	0	0,00	E	105	0-12	604,8	0	0,00
		13	1071	533,20	6,72			13	1134	-902,40	-3,16
		14			13,44			14			-6,32
		15			20,15			15			-9,47
		16			26,87			16			-12,63
		17			33,59			17			-15,79
	42+21	18	63	541,9288	34,14			18			-18,95
	42+24	-	63	550,30136	-			-			-
	-	19	-	-	35,03			19			-22,11
	42+27	-	63	558,34968	-			-			-
	-	20	-	-	35,46			20			-25,27
	42+30	-	63	566,104	-			-			-
	42+31,5	21	31,5	569,86776	35,90			21			-28,43
	42+33	-	31,5	573,57048	-			-			-
	-	22	-	-	36,12			22			-31,58
	42+36	-	63	580,7816	-			-			-
	-	23	63	-	36,79			23			-34,74
	42+39	-	63	587,7648	-			-			-
	42+42	24	63	594,52064	37,45			24			-37,90
	42+45	-	9	601,06872	-			-			-
	42+63=105	25	369	636,6528	37,89			25			-41,06
		26			38,34			26			-44,22
		27			38,78			27			-47,38
		28			39,22			28			-50,53
		29			39,67			29			-53,69
		30			40,11			30			-56,85

Tablo 2.3: Dikey duvarlara +0,2 ile uygulanan rüzgâr basıncı.

Tablo 2.4'te, rüzgârın iç basınç katsayısı $C_{pi}=-0,3$ olan 18 metrelik dikey duvarlara dik olduğu yüzey aerodinamik basınçları gösterilmektedir. Bazı kat seviyeleri, Eurocode 1-4'e göre dağıtım anahtarına karşılık gelmez, bu durumlarda karşılık gelen değerler için doğrusal enterpolasyon kullanılmıştır

Bölge	Z(m) Eurocode 1-4 göre	Kat seviyesi	Aref (m ²)	F _w / Aref (daN/K N)	F _w /kat (KN)	Bölge	Z(m) Eurocode 1-4 göre	Kat seviyesi	Aref (m ²)	F _w / Aref (daN/KN)	F _w /kat (KN)
A	105	0-12	151,2	0	0,00	B	105	0-12	604,8	0	0,00
		13	226,8	-1523,42	-1,07			13	907,2	-1091,40	-3,06
		14			-2,13			14			-6,11
		15			-3,2			15			-9,17
		16			-4,27			16			-12,22
		17			-5,33			17			-15,28
		18			-6,40			18			-18,34
		19			-7,47			19			-21,39
		20			-8,53			20			-24,45
		21			-9,60			21			-27,50
		22			-10,67			22			-30,56
		23			-11,73			23			-33,62
		24			-12,80			24			-36,67
		25			-13,87			25			-39,73
		26			-14,93			26			-42,79
		27			-16,00			27			-45,84
		28			-17,07			28			-48,90
		29			-18,13			29			-51,95
		30			-19,20			30			-55,01

Bölge	Z(m) Eurocode 1-4 göre	Kat seviyesi	Aref (m ²)	F _w / Aref (daN/KN)	F _w /kat (KN)	Bölge	Z(m) Eurocode 1-4 göre	Kat seviyesi	Aref (m ²)	F _w / Aref (daN/KN)	F _w /kat (KN)
D	42+18	0-12	151,2	00	00	E	105	0-12	604,8	0	0
		13	1071	1009,276	10,77			13	1134	-902,3985	-3,16
		14			21,54			14			-6,32
		15			32,31			15			-9,47
		16			43,09			16			-12,63
		17			60,05			17			-15,79
	42+21	18	63	1025,7938	64,63			18			-18,95
	42+24	-	63	1041,64	-			-			-
	-	19	-	-	65,77			19			-22,11
	42+27	-	63	1056,88	66,58			-			-
	-	20	-	-	66,89			20			-25,27
	42+30	-	63	1071,55	-			-			-
	42+31,5	21	31,5	1078,68	67,96			21			-28,43
	42+33	-	31,5	1085,69	-			-			-
	-	22	-	-	68,97			22			-31,58
	42+36	-	63	1099,34	69,26			-			-
	-	23	63	-	69,95			23			-34,74
	42+39	-	63	1112,55	-			-			-

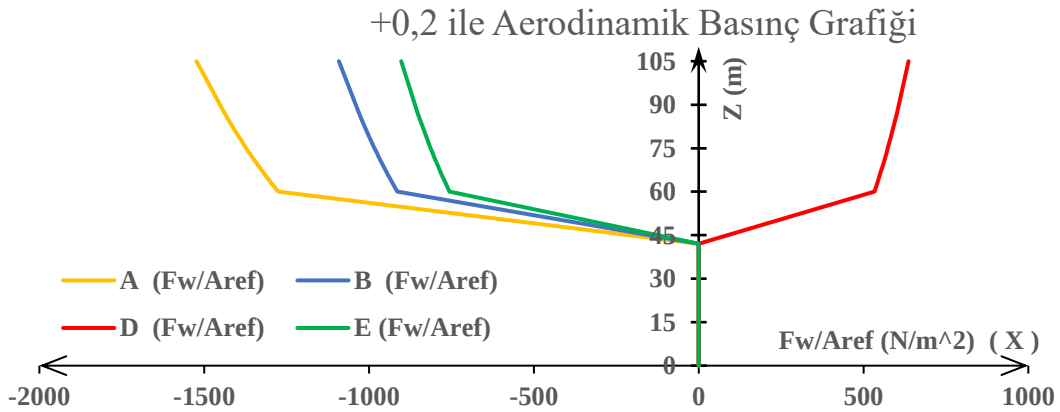
	42+42	24	63	1125,34	70,896			24			-37,9
	42+45	-	9	1137,74	-			-			-
	42+63=105	25	369	1205,0928	71,84			25			-41,06
		26			72,79			26			-44,22
		27			73,73			27			-47,38
		28			74,68			28			-50,53
		29			75,63			29			-53,69
		30			76,57			30			-56,85

Tablo 2.4: Dikey duvarlara -0,3 ile uygulanan rüzgâr basıncı.

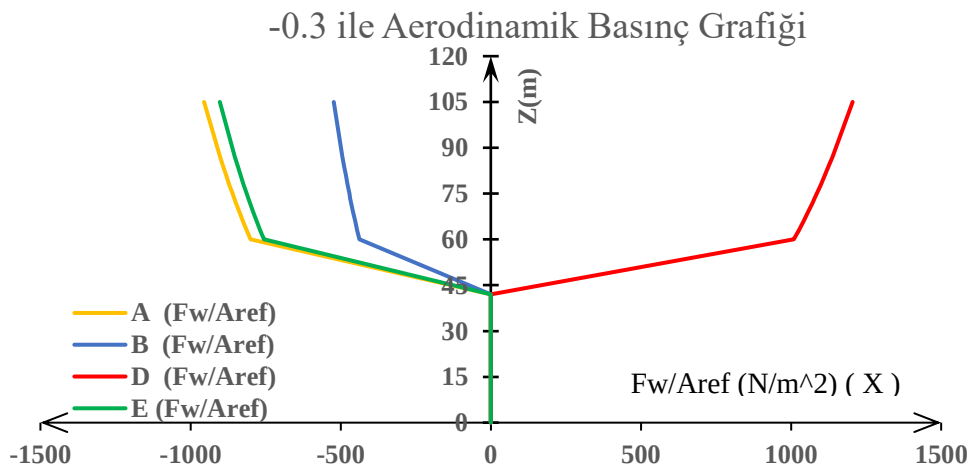
İç basınç dikkate alınarak dikey duvarlara uygulanan aerodinamik basınç $C_{pi}=+0,2$ iç aşırı basınç ve $C_{pi}=-0,3$ iç çöküntü ile değerlendirildikten sonra, kısıtlayıcı durum seçildi. Bina en çok rüzgârın etkisine maruz kalır.

Bunu yapmak için, binanın yüksekliğine göre evrimini daha iyi görselleştirmek için Şekil 3.11 ve 3.12'de bu basınçların grafiksel bir temsili yapılmıştır. Bu görselleştirme, her durumda alınan rüzgâr miktarına göre kasanın seçilmesini mümkün kıldı.

Çalışmamızda olumsuz durum aşırı basınca karşılık gelmektedir, dolayısıyla sonraki hesaplamalarda $C_{pi}=-0,3$ yerine $C_{pi}=+0,2$ dikkate alınmıştır.



Şekil 3.11: +0,2 ile Aerodinamik Basınç Grafiği.



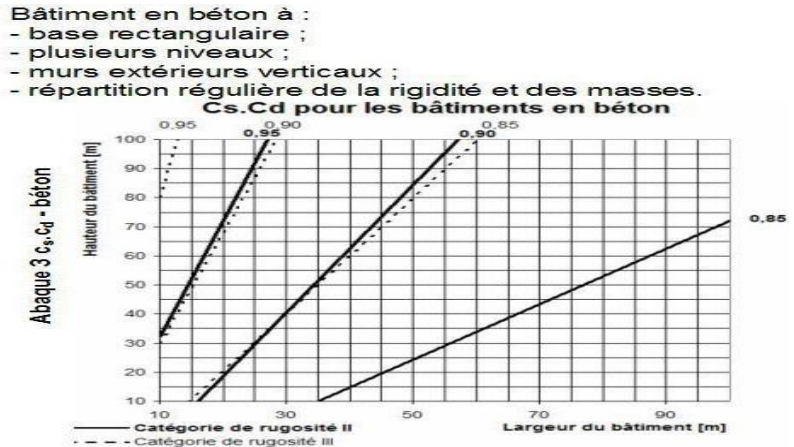
Şekil 3.7: -0,3 ile Aerodinamik Basınç Grafiği

3.3.5.4 $C_s C_d$ Yapısal katsayısının hesaplanması

$C_s C_d$ Yapısal katsayısı, duvarlara uygulanan basınçların kusurlu korelasyonundan kaynaklanan indirgeme etkilerinin yanı sıra, yapının temel salınım frekansına yakın bir frekansa sahip olan türbülans kısmından kaynaklanan amplifikasyon etkilerini dikkate alır. Ancak, Eurocode 1 bölüm 4 (§ 6.3), yapısal parametrelere bağlı olarak bu katsayının hesaplanma yöntemlerini belirtir. Dikdörtgen tabanlı, dış duvarlara sahip ve sertlik ve kütlelerin düzenli dağılımına sahip birçok katlı beton binası için, yapısal katsayının elde edilmesi için abaküs Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Binamızın yüksekliği abaküse göre [10] 105m sonra $C_s C_d=0.95$ alınır.

3.3.5.1 $C_s C_d$ Yapısal katsayısının hesaplanması

$C_s C_d$ Yapısal katsayısı, duvarlara uygulanan basınçların kusurlu korelasyonundan kaynaklanan indirgeme etkilerinin yanı sıra, yapının temel salınım frekansına yakın bir frekansa sahip olan türbülans kısmından kaynaklanan amplifikasyon etkilerini dikkate alır. Ancak, Eurocode 1 bölüm 4 (§ 6.3), yapısal parametrelere bağlı olarak bu katsayının hesaplanma yöntemlerini belirtir. Dikdörtgen tabanlı, dış duvarlara sahip ve sertlik ve kütlelerin düzenli dağılımına sahip birçok katlı beton binası için, yapısal katsayının elde edilmesi için abaküs Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Binamızın yüksekliği abaküse göre [10] 105m sonra $C_s C_d=0.95$ alınır.



Şekil 3.13: $C_s C_d$ katsayılarının abaküsü [10]

3.3.5.2 Sürtünme katsayısının C_{fr} belirlenmesi

Rüzgârın yönüne paralel olarak duvarlara uygulanan sürtünmeyi hesaba katmak için, farklı kategorilerdeki uzun yapılar için ek bir kuvvet uygulanmalıdır.

Rüzgâra paralel (veya rüzgâr yönüne göre hafif eğimli) tüm yüzeylerin, toplam alanının 4 katına eşit veya daha az olduğunda rüzgâr sürtünmesinin yüzey üzerindeki etkileri ihmal edilebilir.

$$\frac{\sum A_{A\parallel R}}{\sum A_{A\perp R}} \leq 4 \quad (9.2)$$

$$\frac{2bh}{2dh} = 1 < 4 \quad (9.3)$$

3.3.5.3 Bina üzerindeki küresel rüzgâr kuvvetinin belirlenmesi.

Rüzgâr kuvvetleri, tüm yapı ya da yapısal bileşenler için aşağıdaki yöntemler kullanılarak belirlenebilir:

Kuvvet katsayısı ile hesaplama yöntemi,

Yüzey basınçları yardımıyla hesaplama yöntemi,

Kuvvet katsayısı yöntemi kullanılarak, bir yapı veya yapı bileşenine etkileyen rüzgâr kuvveti F_w , Denklem 9.4 doğrudan kullanılarak hesaplanabilir.

$$F_w = \left[C_s C_d \sum q_p(Z_e) \cdot C_{Pe} - \sum q_p(Z_i) \cdot C_{Pi} \right] \cdot A_{ref} + C_{fr} \cdot q_p(Z_e) \cdot A_{ref} \quad (9.4)$$

Aşağıdaki parametreler burada kullanılmaktadır:

$C_s C_d$: yapısal katsayı

$q_p(Z_e)$: referans yüksekliğindeki rüzgâr dış basıncı

$q_p(Z_i)$: referans yüksekliğindeki rüzgâr iç basıncı

A_{ref} : referans alanı

C_{fr} : Sürtünme katsayısı

Dış ve iç bileşenler arasındaki kuvvet farkı, duvar ve çatı gibi yapı elemanları için rüzgâr kuvvetine denktir.

-Dış yüzeylere paralel rüzgâr bileşenleri yönünde etki eden f_r sürtünme kuvvetleri ihmal edilerek tüm binaya etkileyen rüzgâr kuvveti Denk.9.5'te verilmiştir.

Düşey duvarlara etkileyen kuvvetler Tablo 2.5'te çatıya etkileyen kuvvetler de Tablo 2.6'da gösterilmektedir.

$$F_w = [C_s C_d \sum q_p(Z_e) \cdot C_{Pe} - \sum q_p(z_i) \cdot C_{Pi}] \cdot A_{ref} \quad (9.5)$$

Tablo 2.5, çatının farklı alanlarına etki eden kuvveti göstermektedir ve her kat için rüzgâr kuvvetini belirlemek için bileşkesi hesaplanmıştır.

Bölge	A _{ref} (m ²)	F _w /A _{ref}	F _w	ΣF _w (KN)
F	16,2	-2031,04	-32,90	251,56
G	16,2	-1005,00	-16,28	
H	129,6	-983,40	-127,45	
I	169	-443,38	-74,93	

Tablo 2.10: çatının farklı bölgelerine etki eden rüzgârın kuvveti.

Tablo 2.6, her katın dikey duvarlarına etki eden kuvvetlerin vektörel toplamı ile çatıya etki eden toplam kuvvetin gerçekleştirilmesiyle elde edilen her kat için rüzgâr kuvvetini göstermektedir.

Kat seviyesi	Z kat	F _w /kat (KN)
0-12	42	0
13	45,5	251,95
14	49	253,11
15	52,5	255,04
16	56	257,72
17	59,5	261,12
18	63	263,33
19	66,5	265,85
20	70	268,45
21	73,5	271,24
22	77	274,13
23	80,5	277,39
24	84	280,83
25	87,5	284,34
26	91	288,03
27	94,5	291,87
28	98	295,86
29	101,5	299,99
30	105	304,27
Toplam		4944,50

Tablo 2.11: Her katın toplam rüzgâr kuvveti

3.3.6 TMD İçin En Uygun Parametre Değerlerinin Seçimi

Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, yapıların üzerine yerleştirilen bir kütle (m_d), rijitlik (k_d) ve sönümleme (C_d) içeren bir TMD sistemine sahip olan çok serbestlik dereceli bir sistemdir. Yapı titreşmeye başladığında, TMD, yapının hareketiyle etkileşime girer ve yapının kinetik enerjisi TMD sistemi tarafından absorbe edilir.

Bu amaçla, TMD'nin viskoz sönümleyici mekanizması kullanılır. TMD, enerji emme kapasitesini maksimize etmek için kendi doğal periyodunu, sistemin "Ayarlı Kütle Sönümleyici" olarak adlandırılan yapının doğal periyoduyla eşleştirmek için ayarlanır. TMD'nin viskoz sönümleyici ögesi, emilen enerjiyi en üst düzeye çıkarmak için optimum bir değere ayarlanmalıdır. TMD, mekanik olarak basit bir sistem olup harici enerji kaynağına ihtiyaç duymaz, bu da bakımının kolay olduğu ve yüksek güvenilirlik sağladığı anlamına gelir. Bu nedenlerle, TMD Japonya'da esnek ve hafif sönümlü kuleler, binalar ve benzeri yapılar gibi birçok yerde kullanılmaktadır. TMD'li sistemin rüzgâr altındaki hareket denklemi ise aşağıdaki gibi olacaktır:

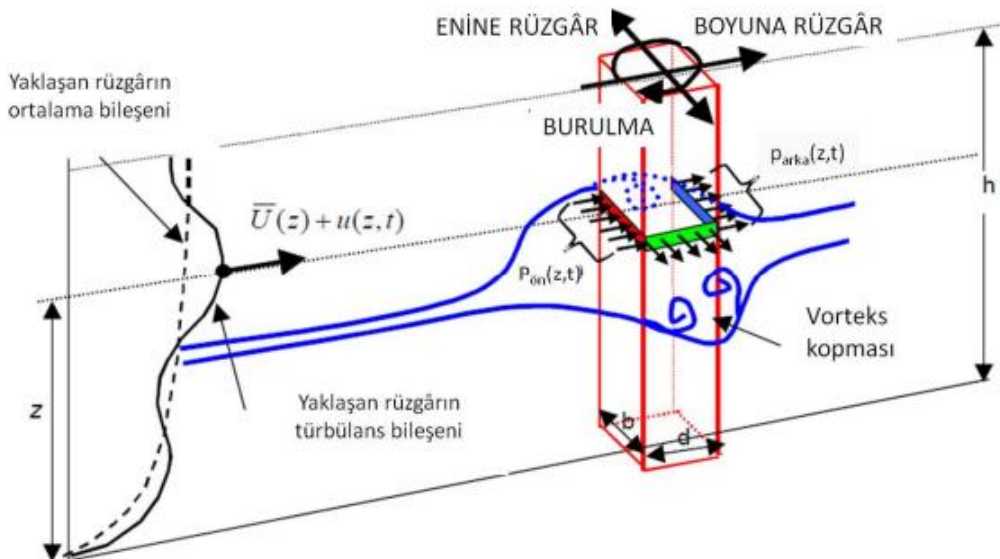
$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = F \sin(\omega t) \quad (9.6)$$

Burada $x(t)$, Yer değiştirme tepkisi vektörü, TMD'li yapı sisteminin bir ifadesidir.

3.3.6.1 Rüzgârın dinamik kuvvetinin simülasyonu

Kuledeki rüzgâr uyarımını temsil etmek için, Strouhal sayısının, ortalama rüzgâr hızının ve kulenin uzunluğunun bir fonksiyonu olarak denklem 9.7'de bulunan bir frekansla sinüzoidal bir fonksiyon oluşturulmuştur.

F genliği, elemanları kulenin her katında rüzgâr kuvveti olan bir matrise atanmıştır ve Tablo 2.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.8: Binanın rüzgârın etkisiyle titreşen yönleri.

- **Rüzgâr frekansı**

Yüksek bir binanın dinamik incelemesindeki rüzgâr frekansı, yapının titreşimlerini harekete geçirebilen şiddetli rüzgarların frekansını ifade eder. Rüzgâr hızı ve binanın şekli tarafından belirlenir ve rüzgâr yükleri karşısında stabil ve güvenli olan binaların tasarlanması için değerlendirilmesi esastır.

Rüzgâr bir binaya estiğinde, titreşimlere neden olabilecek dinamik kuvvetler üretir. Bu titreşimler, yapının stabilitesini ve güvenliğini etkileyebilecek önemli genliklere ulaşırsa problemli olabilir. Rüzgâr frekansı, rüzgâr hızı ve bina yapısının şekli ile yakından ilişkilidir. Yüksek binalar tipik olarak farklı yüksekliklerde farklı hızlarda rüzgarlara maruz kalır ve bu da frekans değişimlerine neden olur. Binanın doğal titreşim frekanslarını ve aşırı titreşime neden olabilecek kritik rüzgâr frekanslarını belirlemek için rüzgâr çalışmaları ve dinamik analizler kullanılır.

$$f = \frac{V_m(z) * S_t}{D} = 0.18 \text{ Hz} \quad (9.7)$$

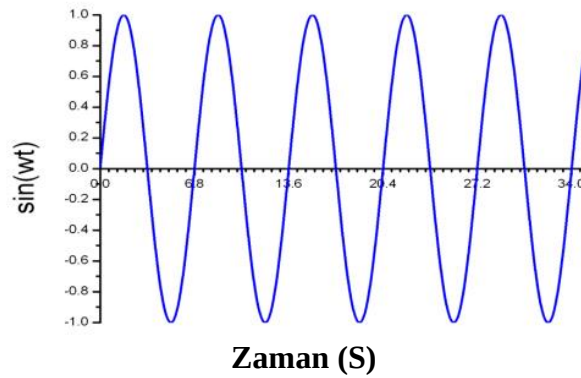
Burada,

D- Rüzgâr yönüne dik uzunluk D=18m,

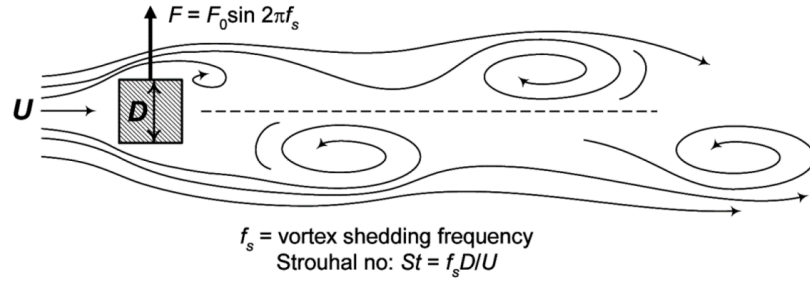
S_t - Strouhal sayısı,

Strouhal sayısı, b ve d'nin bir fonksiyonu, ardından d/b=1, eurocode 1-4 Tablo (E.1-4)'e göre; $S_t = 0.12$

$$\omega = 2\pi f = 1.1304 \text{ rad/s}$$



Şekil 3.9: Rüzgâr frekansı $f=0.18 \text{ Hz}$ ile sinüzoidal uyarım



Şekil 3.10: Yüksek Yapıların Rüzgâr Altında Davranışı.

Bir binanın her katının toplam kütlesi, onu oluşturan yapısal elemanların uygun ağırlıklarının toplamıdır ve yapının dinamik çalışması sırasında dikkate alınması gereken temel bir unsurdur.

Her biri kendi özgül kütlesini taşıyan kiriş, kolon, döşeme ve kabuk duvarlar gibi tüm elemanlar birleşerek yapının her katının toplam kütlesini oluşturur. Malzeme, form ve kuvvetlerin buluşmasının sonucu olan bu kütle, yapının dinamik çalışmasının dayandığı temelini oluşturur. Mimari topluluğun stabilitesini, direncini ve güvenliğini garanti etmek için ağırlık ve yük dağılımını anlamamanın önemini hatırlatır.

Her yapısal eleman, kendi karakteristik ağırlığı ile bir araya gelerek binanın her katının toplam kütlesini oluşturur. Bu toplam kütle, yapıdaki kütle dağılımının matematiksel bir temsili olan kütle matrisini belirlemek için gereklidir. Kütle matrisi (m_d), binanın dinamik çalışmasında kuvvetlere ve titreşimlere tepkisini analiz etmek için kullanılır, böylece stabilitesini ve güvenliğini garanti etmeye yardımcı olur.

Kütleler, her bir katın yayılı yükleri (döşemenin ağırlığı ve işletme yükü) ve her bir kata dönen kirişlerin, kolonların ve duvar yüzeylerinin ağırlıkları dikkate alınarak hesaplanacaktır. Kütlelerin her katta yoğunlaştığı varsayılacaktır. Bina taşıyıcı elemanları Robot Structural Analysis yazılımında boyutlandırıldıktan sonra, her bir taşıyıcı elemanın kendi ağırlığı hesaplanır.

$$m_i = M_{\text{döşeme}} + M_{\text{kolon}} + M_{\text{kiriş}} + M_{\text{perde}} + \%20Q \quad (9.8)$$

Burada,

Q- Hareket yükü

Her aşamanın toplam kütlesi, yük taşıyan elemanların ölü ağırlığının ve %20 artırılmış bir çalışma yükünün eklenmesinden kaynaklanan denklem (9.8) ile temsil edilir.

30 kat seviyesini ele aldığımız bu tezimizde, kütle matrisi köşegen olarak inşa edilmiş olup, köşegenin her bir elemanı bir katın toplam kütlesini temsil etmektedir. Böylece köşegenin

birinci elemanı birinci kademenin toplam kütesine, köşegenin otuzuncu elemanı ise TMD'nin toplam kütesine karşılık gelir.

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{n-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{tmd} \end{bmatrix} \quad (10.0)$$

Malzemelerin mekanik ilkelerini genellikle doğrusal elastik malzemeler için Hooke yasası gibi yasalara dayalı olarak bir kolonun sertliğini belirlemek için kullanılır. Bu yasalar, kolonun deformasyonlarını uygulanan yüklerin neden olduğu gerilmelerle ilişkilendirmeyi mümkün kılar. Malzemenin Young modülü ve Poisson oranı gibi sertliği hesaplamak için temel parametreler, laboratuvar testleriyle veya yaygın olarak kullanılan malzemeler için önceden belirlenmiş değerlerle elde edilir.

$$k_i = \frac{12EI}{L^3} \quad (N/m) \quad (10.0)$$

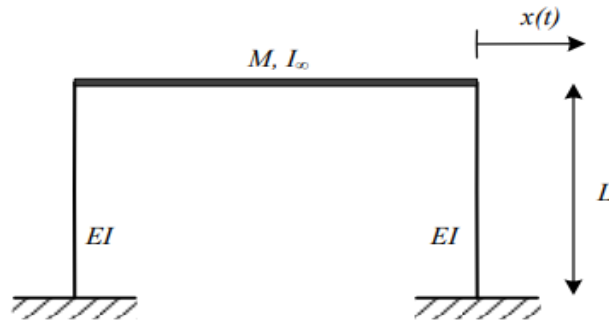
k_i - her seviyedeki her bir kolonun rijitliğidir.

E- malzemenin esneklik modülüdür (bu durumda betonarme), $E=2*10^5$ MPA'dır.

I_i - kirişin enine kesitinin ikinci dereceden momentidir (dikdörtgen bir kesit için, $I_i = \frac{b*h^3}{12}$, burada b, kesitin genişliği ve h, kesitin yüksekliğidir).

L- Kolonun uzunluğu,

Bir yapının dinamik analizinin bir parçası olarak, binanın her katına ait kolonların rijitliği ayrı ayrı belirlenir ve ardından rijitlik matrisinin elemanları olarak birleştirilir.



Şekil 3.11: İki uçlu bir yapı için Kolonun Rijitliği (Çerçeve).

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & \ddots & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & k_{n-1} + k_n & -k_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_n & k_n + k_{tmd} & -k_{tmd} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_{tmd} & k_{tmd} \end{bmatrix} \quad (10.1)$$

Kat	b _{kolon} [cm]	h _{kolon} [cm]	E [MPa]	I _{kolon} [10 ⁻³ m ⁴]	Öteleme rijitliği K _i [10 ⁶ N/m]	Kat Kütlesi [t]
1	35	60	2*10 ⁵	6,3	352,65	263,16
2	35	60	2*10 ⁵	6,3	352,65	263,16
3	35	60	2*10 ⁵	6,3	352,65	263,16
4	35	60	2*10 ⁵	6,3	352,65	263,16
5	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
6	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
7	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
8	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
9	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
10	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
11	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
12	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
13	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
14	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
15	35	55	2*10 ⁵	4,85	271,48	260,1
16	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
17	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
18	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
19	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
20	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
21	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
22	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
23	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
24	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
25	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
26	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
27	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
28	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
29	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08
30	25	40	2*10 ⁵	1,33	74.45	236,08

Tablo 2.12: kütle matrisinin ve rijitliğin elemanlarının özeti

Betonarme bir yapıdaki sönüm, yapının kendisine uygulanan titreşim veya dinamik yükler nedeniyle enerjii dağıtma yeteneğini ifade eder. Sönümleme, özellikle sismik yüklere, kuvvetli rüzgarlara veya diğer dinamik yüklere maruz kaldığında yapının dinamik tepkisinde önemli bir rol oynar.

Betonarme bir yapıya titreşimler veya dinamik yükler uygulandığında, enerji yapı elemanlarına aktarılır ve bu da deformasyonlara ve salınımlara neden olur. Sönümleme, bu enerjii kademeli olarak dağıtarak yapının dinamik tepkisini azaltmayı mümkün kılar.

Sönüm katsayısı kavramının birkaç serbestlik derecesine sahip sistemlere genelleştirilmesi, kütle ve rijitlik matrislerinin Rayleigh sönümünü çevirerek doğrusal kombinasyonu ile gerçekleştirilir. Bu tür sönümlemenin avantajlarından biri, sönümlemeyi içeren terimlerin öz modlara göre ortogonalliğini sağlaması ve böylece modal tabandaki hareket denklemlerinin ayrıştırılmasını sağlamasıdır. Ayrıca bu işlem, matrisin sönümleme terimlerine karşılık gelen montajından kaçınmayı mümkün kılar. Rayleigh sönümlemesi olarak adlandırılan bu sönüm, "genelleştirilmiş Rayleigh sönümlemesi" olarak da adlandırılan özel bir "Caughey sönümlemesi" durumudur. Genel olarak, n sayısı da modun dahil edilmesine izin verir (Sen 2009).

$$C = M \sum_{p=0}^n a_p [M^{-1}K]^p \quad (10.2)$$

n= 2 için Rayleigh sönümünü elde ederiz.

- **Rayleigh sönümlemesi**

$$\varphi^T M \varphi \ddot{y} + \varphi^T C \varphi \dot{y} + \varphi^T K \varphi y = \varphi^T F(t) \quad (10.3)$$

Ortogonal dönüşüm (10.3), yalnızca sönüm matrisi kütle ve sertlik matrisleri M ve K ile orantılı olduğunda geçerlidir. Bunun için Rayleigh, kütle matrisleri ve sertliğin doğrusal bir kombinasyonu ile tanımlanan bir sönüm matrisi C önerir.

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K] \quad (10.4)$$

Burada, α ve β orantılılık katsayılarını temsil eder ve yapının özfrekanslarına bağlıdır. Seçilen yapının iki doğal frekansı için istenen toplam sabit sönüm miktarını elde etmek için bu katsayılar kalibre edilir. Bu sönümleme, ölçülebilir fiziksel nicelikler olan yapının ilk sertliği ve kütlesi ile doğru orantılıdır. Rayleigh sönümlemesi, diğer sönümleme modellerinin aksine,

sönümlemeyi oluşturan fiziksel olaylarla ilgili değildir. Bu modele göre, her zaman zararlı olmayan, sönümün olduğundan fazla tahmin edilmesi söz konusu olsa da özellikle kullanılan yapısal yasalar histeretik etkileri modelleyemiyorsa, bu yöntem problemli olmaya devam etmektedir. Bu nedenle birçok çalışma, Rayleigh sönümünü, sismik yükleme sırasında yapıda ortaya çıkan değişiklikleri hesaba katacak şekilde değiştirmekle ilgilenmektedir.

Ortogonal dönüşümden sonra şunu elde ederiz:

$$\varphi^T M \varphi \ddot{y} + \alpha \Phi_i^T M \Phi_i + \beta \Phi_i^T K + \varphi^T K \varphi y = \varphi^T F(t) \quad (10.5)$$

$$\varphi^T M \varphi = [1] = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad ve \quad \varphi^T K \varphi = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \omega_n^2 \end{bmatrix} \quad (10.6)$$

$$C = \alpha[M] + \beta[K] = \begin{bmatrix} \alpha + \beta\omega_1^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \alpha + \beta\omega_n^2 \end{bmatrix} \quad (10.7)$$

Adımın amacı, Rayleigh tarafından önerilen lineer kombinasyonu kullanarak modal sönümlemeyi $C_I = 2\xi_i \omega_i$ aramaktır, sönümlemenin etkileri daha sonra çözümlerin modal süperpozisyonunda dikkate alınır. (10.3) tarafından verilen ayrıştırılmış sistemin modal sönümleme matrisinin formülasyonu aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır:

$$\Phi_i^T C \Phi_j = 2\omega_i \xi_i \delta_{ij} = \alpha \Phi_i^T M \Phi_i + \beta \Phi_i^T K \Phi_i \quad (10.8)$$

Burada δ_{ij} , Kronecker sembolüdür, $\delta_{ij} = 1$, $i = j$ ise ve $\delta_{ij} = 0$, $i \neq j$ ise),

Modal sönümleme matrisi şu hale gelir:

$$C = \begin{bmatrix} 2\omega_1 \xi_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 2\omega_n \xi_n \end{bmatrix} \quad (10.9)$$

α ve β katsayılarını (10.8) ve (10.7)'ye eşitleyerek belirleyebiliriz ve aşağıdaki denklem sistemini elde ederiz:

$$\begin{cases} 2\omega_1 \xi_1 = \alpha + \beta\omega_1^2 \\ 2\omega_2 \xi_2 = \alpha + \beta\omega_2^2 \\ \vdots \\ 2\omega_n \xi_n = \alpha + \beta\omega_n^2 \end{cases}$$

Her i modu için modal sönümlemeye sahip olmak için, sistemin iki denklemi (10.9) alınır ve α ve β değerleri aranır. Modal sönümlere göre α ve β orantılılık katsayılarının değerlerini, i^{eme} ve j^{eme} için titreşim modlarını elde etmeye çalışıyoruz, bunun için aşağıdaki denklem sistemini çözmemiz gerekiyor:

$$\begin{cases} 2\omega_i \xi_i = \alpha + \beta \omega_i^2 \\ 2\omega_j \xi_j = \alpha + \beta \omega_j^2 \end{cases} \quad (11.1)$$

$$\begin{cases} \xi_i = \frac{\alpha}{2\omega_i} + \frac{\beta \omega_i}{2} \\ \xi_j = \frac{\alpha}{2\omega_j} + \frac{\beta \omega_j}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = \frac{2\omega_i \omega_j (\omega_j \xi_i - \omega_i \xi_j)}{\omega_j^2 - \omega_i^2} \\ \beta = \frac{2(\omega_j \xi_j - \omega_i \xi_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2} \end{cases} \quad (11.2)$$

i^{eme} ve j^{eme} titreşim modlarını aynı sönüm oranıyla sönümlemeyi seçersek, şunu elde ederiz:

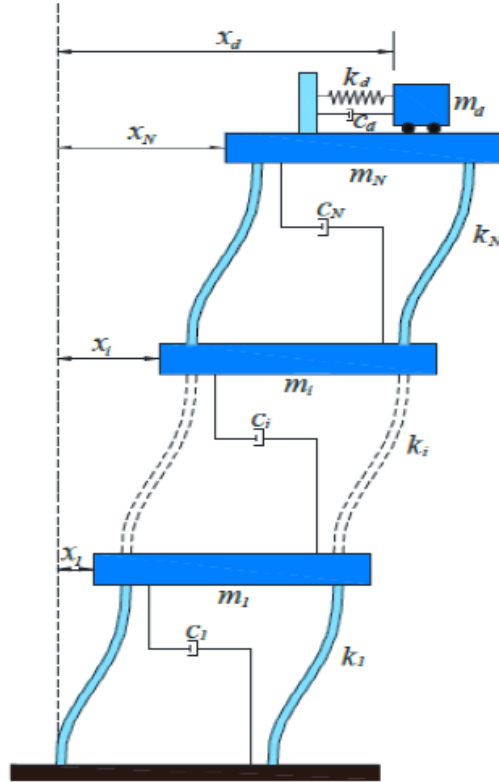
İki kontrol modunun ($i=1$ ve $i=n$) alındığı ve aynı ξ ile (Seghir 2010)'de geliştirilen örneği alırsak, (11.2) tarafından verilen denklem sistemini buluruz. İki mod için özdeş bir ξ seçiminin, diğer tüm modlar için de öyle olduğu anlamına gelmediğini belirtilmelidir. Denklem (11.1), ω 'in düşük değerleri için lineer olmayan bir şekilde azaldığını, ardından ω arttığında lineer olarak arttığını açıkça göstermektedir.

3.3.6.2 TMD'nin Optimum Tasarımı

Binalarda deprem, rüzgâr, araç trafiği, patlama gibi dinamik etkiler nedeniyle oluşabilecek hasarların önlenmesi ve bu tür dinamik koşullarda hem yapının hem de içindeki canlıların maksimum düzeyde korunabilmesi için kontrol sistemlerinin doğru ve amaca uygun şekilde tasarlanması önemlidir. Bu tasarım, kontrol sistemlerinin belli mekanik parametrelerinin doğru bir şekilde ayarlanmasıyla mümkündür. Bu bağlamda, mevcut çalışmada, en üst katta ayarlanabilir kütle sönümleyici (TMD) bulunan ve harmonik titreşimlere maruz kalan yapıların maksimum yer değiştirmesinin azaltılması hedeflenerek belirli yapısal parametrelere bağlı olarak çeşitli optimizasyon yöntemleri incelenmiştir. Bu amaçla, TMD tasarımının en uygun şekilde yapılabilmesi için yapısal tepkilerin (yatay yer değiştirme, hız ve ivme) zamanla değişen değerleri (zaman tarihçesi) dikkate alınmıştır.

3.3.6.3 JAYA algoritması kullanılarak titreşim kontrol cihazının (TMD) en uygun tasarım değişkenlerinin optimize edilmesi.

Şekil 3.18'de gösterilen binadaki N katlı çok serbestlik dereceli binanın en üst katına yerleştirilen TMD ile denklem (9.6)'de ifade edilen rüzgâr koşulları altındaki hareket denklemi verilmişti.



Şekil 3.12: MDOF yapı sisteminin en üst katında bir TMD bulunan yapı [30]

Denklem (9.6), bir sayısal entegrasyon yöntemiyle çözülebilir. Sayısal analizler sırasında, MATLAB Simulink aracılığıyla 4. derece Runge-Kutta yöntemi kullanılarak hareket denklemleri çözülmüştür. Denklem (9.6)'deki $x(t)$ olarak gösterilen kat yer değiştirmesinin çözümü, en üst kat yer değiştirmesi X_N için $X(t)$ 'nin maksimum mutlak değeri temel alınarak hedef olarak belirlenmiştir.

En kritik uyarının etkisi en katin dikkate alınmıştır. Denklem (9.6)'deki kütle (M), sönüm (C) ve rijitlik (K) matrisleri, i'inci katın kütlesi (M_i), rijitliği (K_i) ve sönüm katsayısı (C_i) gibi yapısal özelliklere bağlı olarak hesaplanır.

Optimizasyon sürecinin yapısı şu şekilde düzenlenebilir:

- i. Binanın yapısal özelliklerini, deprem yer ivmelerini, tasarım değişken aralıklarını ve nüfus sayısını (ki bu değer 10 olarak kabul edilmiştir) açıklayınız.
- ii. Sonuçları incelemek amacıyla TMD kullanılmayan yapıyı analiz ediniz.
- iii. Belirtilen aralıktaki rastgele değerleri kullanarak, popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak bir başlangıç tasarım değişkenleri seti oluşturun. Bu tasarım değişkenleri, TMD'nin x ve y yönlerindeki rijitliği, sönüm özellikleri ve TMD'nin koordinat konumlarını içerir. Söz konusu değişkenler, TMD'nin rijitliği (K_d) ve sönümü (C_d) olarak ifade edilen denklemlerde (11.3) ve (11.4) olarak verilen denklemlerde kullanılmak üzere kullanılır.

$$K_d = 4\pi^2 \frac{m_d}{T_d^2} \quad (11.3)$$

$$C_d = 2m_d \xi_d \sqrt{\frac{k_d}{m_d}} \quad (11.4)$$

Bunun yanı sıra, tüm kümelerle yönelik amacı belirleyen bir fonksiyon hesaplanır.

- iv. JA algoritması kullanılarak çözüm kümesi güncellenir. Bu aşamada tasarım değişkenleri belirtilen sınırlar içinde tutulur. Eğer güncellenen değerler bu sınırların dışında ise, en yakın sınır değeri olarak alınır.

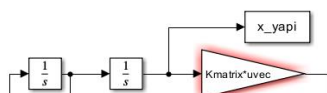
$$X_{yeni,i} = X_{eski,i} + r_1(X_{en iyi} - |X_{eski,i}|) - r_2(X_{en kotu} - |X_{eski,i}|) \quad (11.5)$$

Denklem (3.52)'de $X_{yeni,i}$, güncellenmiş çözümü temsil ederken $X_{eski,i}$, mevcut çözümü ifade eder. r_1 ve r_2 , 0 ile 1 arasında rasgele iki sayıdır. $X_{en iyi}$ ve $X_{en kotu}$, sırasıyla mevcut en iyi ve en kötü çözümleri gösterir. En iyi ve en kötü çözümler, amaç fonksiyonunun minimize edilmesine göre seçilir.

- v. iv. adımı birkaç yineleme boyunca tekrarlayın (örneğin, 200 yineleme süresince).

3.3.6.4 Matlab Simulink Kullanarak Sistemin Analizi

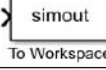
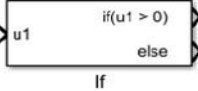
Çalışmanın tez bölümünde bulunan kinematik denklemler, Matlab Simulink aracılığıyla Runge-Kutta yöntemi kullanılarak çözümlenmiştir. Bu bağlamda oluşturulan yazılımın blok



diyagramları, çözüm adımları Şekil 3.19'de gösterilmiştir. Ayrıca diyagramdaki blok işlevlerine ait detaylar Tablo 2.18'de açıklanmıştır.

Kontrolsüz kesme binasına ait blok diyagramını göstermektedir. Denklemin çözümünden elde edilen yer değiştirme değeri ($x(t)$), blok diyagramında " $\frac{1}{s}$ " ile gösterilen integral bloğu kullanılarak integralleri alınarak sırasıyla hız ($\dot{x}(t)$) ve ivme ($a_{yapı}$) değerlerine dönüştürülür. Bu değerler, Cmatrix ve Kmatrix olarak adlandırılan yapısal sönüm ($[C]$) ve rijitlik matrisleri ($[K]$) ile çarpılır.

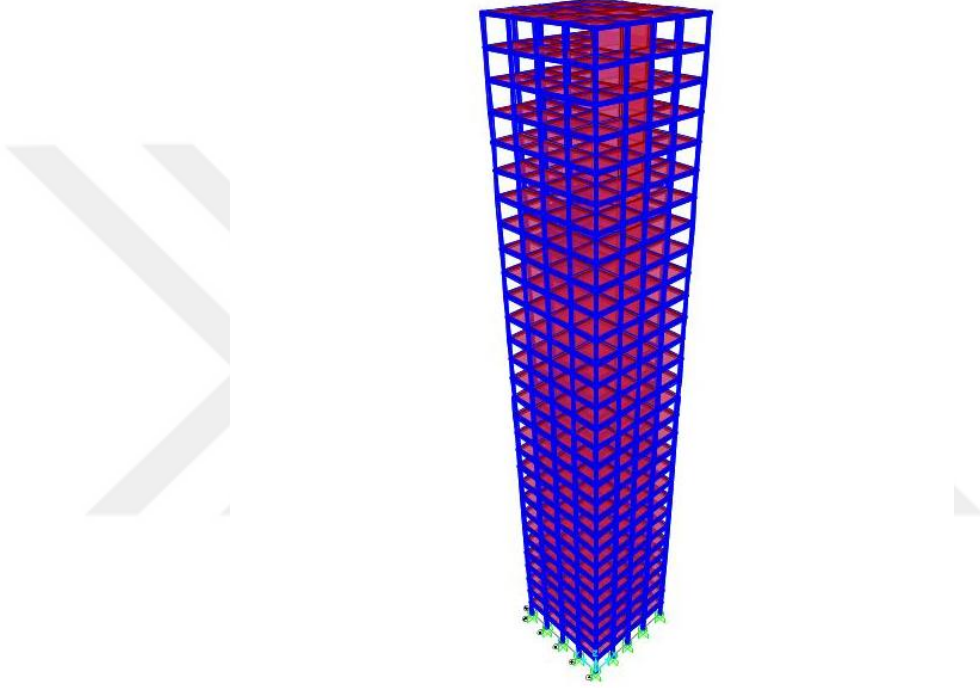
Sonrasında, bu değerler uygun işaretlere göre toplama/çıkarma bloğunu kullanarak bir araya getirilir. Bu toplama işlemi, kütle matrisinin tersi ($Mmatrix^{-1}$ olarak temsil edilen blok) ile çarpılarak yer değiştirme değerleri hesaplanır. Elde edilen bu yer değiştirme değerleri içerisinde "Selektör" bloğu kullanılarak üst kat yer değiştirmeleri seçilir ve "to workspace" bloğu kullanılarak kaydedilir. Aynı şekilde anlık hız ve ivme değerlerine de benzer bir yöntemle kaydedilir.

Blok Diyagramı	İşlevi	Blok Diyagramı	İşlevi
	Çarpma işlemi		Eleman veya vektör seçimi
	Toplama veya çıkarma işlemi		Zaman gecikmesi
	İntegral işlemi		Türev İşlemi
	Matlab çalışma alanından bilgi alımı		Matlab çalışma alanına bilgi gönderimi
	Eğer komutu		Simülasyonu durdurma

Tablo 2.13: Bloğun diyagramları ve işlevleri.

4 BULGULAR

Bu bölümde rüzgâr kuvvetlerine maruz kalan 30 katlı (Şekil 3.20) bir bina üzerinde SAP2000 ile yapılan analizlerin sonuçlarını sunup inceliyoruz. Bu analizler, TMD tasarım parametrelerinin Matlab'da optimizasyonu ve ardından optimize edilen değerlerin yapısal ve dinamik analiz için SAP2000'e uygulanmasını kullanılarak gerçekleştirildi. Kullanılan optimizasyon yöntemleri meta-sezgisel algoritmalara, özellikle de Jaya algoritmasına dayanmaktadır.



Şekil 3.20: Sap2000 modeli, H=105m, B=18m ve D=18m olan binanın tasarımını içer

4.1 TMD tasarımıyla ilgili parametreler ve kısıtlamalar

Ayarlı kütle sönümleyicilerde tasarım yaparken dikkat edilmesi gereken bir husus, sönüm, rijitlik, periyot ve kütle gibi önemli faktörlerdir. Sönüm, yapının titreşimlerini absorbe etme yeteneğini ifade eder ve aşırı titreşimleri sınırlandırarak yapıya zarar vermesini engeller. Rijitlik, yapının istikrarını sağlar ve titreşimleri kontrol altında tutar. Periyot, yapının doğal titreşim frekansını ifade eder ve doğru periyot seçimi, sönüm etkisinin optimize edilmesine yardımcı olur. Son olarak, kütle ise yapıyı dengede tutar ve titreşimlerin enerjisini dağıtarak istikrarı artırır. Bu nedenle, tasarım sürecinde bu faktörlerin dikkate alınması, ayarlı kütle sönümleyicilerin etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak için hayati bir öneme sahiptir. Etkin

TMD optimizasyonunu gerçekleştirmek için göz önünde bulundurulması gereken ana tasarım parametreleri, **Tablo (2.19)**'te sıralanmıştır.

Açıklama	Tasarım parametreleri
Kütle Matrisi	M_{matrix}
Rijitlik Matrisi	K_{matrix}
Sönüm Matrisi	C_{matrix}
Ana yapının kütlesi	M
Ana yapının Sönümü	C
Ana yapının Rijitliği	K
TMD Kütlesi	m_d
TMD Rijitliği	k_d
TMD Sönümü	c_d
Kütle Oranı	m_r
TMD Periyodu	T_d
Sönüm Oranı	ζ
Deplasman	x
İvme	$\ddot{x}$
Yapı açısıl frekansı	w_r
TMD frekansı	f_d
Simülasyon zamanı	T_{sim}
Uyarılma genlikleri	F_{vek}

Tablo 2.14: TMD'nin optimizasyonu için gerekli parametreler.

- TMD tasarım kısıtları

30 serbestlik dereceli ayarlı kütle sönümleyici sistem, 7454,94 tonluk, 1.5sn periyotlu %5 sönüme sahip bir yapının, en üst katına yerleştirilip optimum TMD parametreleri belirlenmiştir. TMD kütlesi yapının %5'i olarak belirlenmiştir. TMD periyodu, yapının periyodunun 0,5'i ile 1,5 katı arasında seçilen değerler için optimize edilmiştir. TMD'lerin tasarımını optimize etme sürecindeki bir tasarım kısıtlaması, yapının toplam kütlesi ile TMD'nin kütlesi arasındaki orandır. Bu oranın doğru bir şekilde ayarlanması, yapıyı istenen titreşim kontrolü seviyesine ulaştırmak için kritik bir öneme sahiptir. Yapının kütlesi ile TMD'nin kütlesi arasındaki dengeli bir oran, TMD'nin etkin bir şekilde çalışmasını ve yapının titreşimlerini istenilen düzeyde sönümlenmesini sağlar. Bu nedenle, TMD tasarımında bu oranın doğru bir şekilde hesaplanması ve ayarlanması büyük bir öneme sahiptir.

- TMD Amaç Fonksiyonu

Optimizasyon sürecinde amaç fonksiyonu, problem türüne bağlı olarak değişkenlik gösterir. Ayarlanabilir kütle sönümleyicilerde bu fonksiyon, yapının üst katında meydana gelebilecek maksimum deplasmanı en aza indirmeyi hedefler.

Yapıya etki eden uyarıların en fazla yer değiştirmeye yol açtığı değeri en uygun seviyeye düşürmek için TMD parametreleri, Jaya algoritması kullanılarak optimize edilir. Böylece elde edilen TMD parametreleri, yapının üst katındaki deplasmanı en aza indirmek için gereken değişkenleri belirler.

Parametreler	Birim	Optimize edilmiş değerler
TMD kütlesi (m_d)	Kg	372747
TMD Rijitliği (k_d)	N/m	845987,58
TMD Sönüm (c_d)	Ns/m	168465,248
TMD periyodu (T_d)	s	4,3416
TMD Sönüm Oranı (ξ)	%	15
Maks. Yer değiştirme	m	0,0316

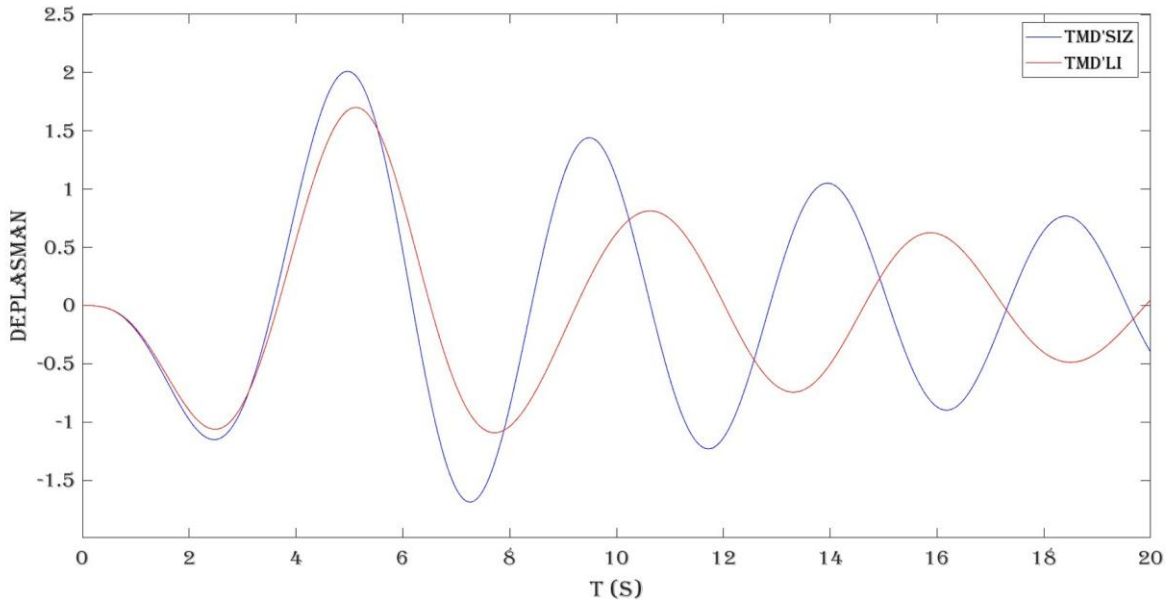
Tablo 2.15: $\mu=5\%$ oranında optimize edilmiş değerler

4.2 Jaya algoritması (JA) kullanarak Matlab'da Optimum TMD parametrelerinin belirlenmesi.

Jaya algoritması, uygulanması kolay ve sınırlı sayıda denklem içerdiği için optimizasyon işlemlerinde daha basit bir yaklaşım sunar. Bölüm 3.1.5'te verilen TMD denklemleri kullanılarak hesaplanan tasarım parametreleri, Tablo 2.20'da TMD için en iyi sonuçları gösteren optimize edilmiş değerler olarak sunulmaktadır.

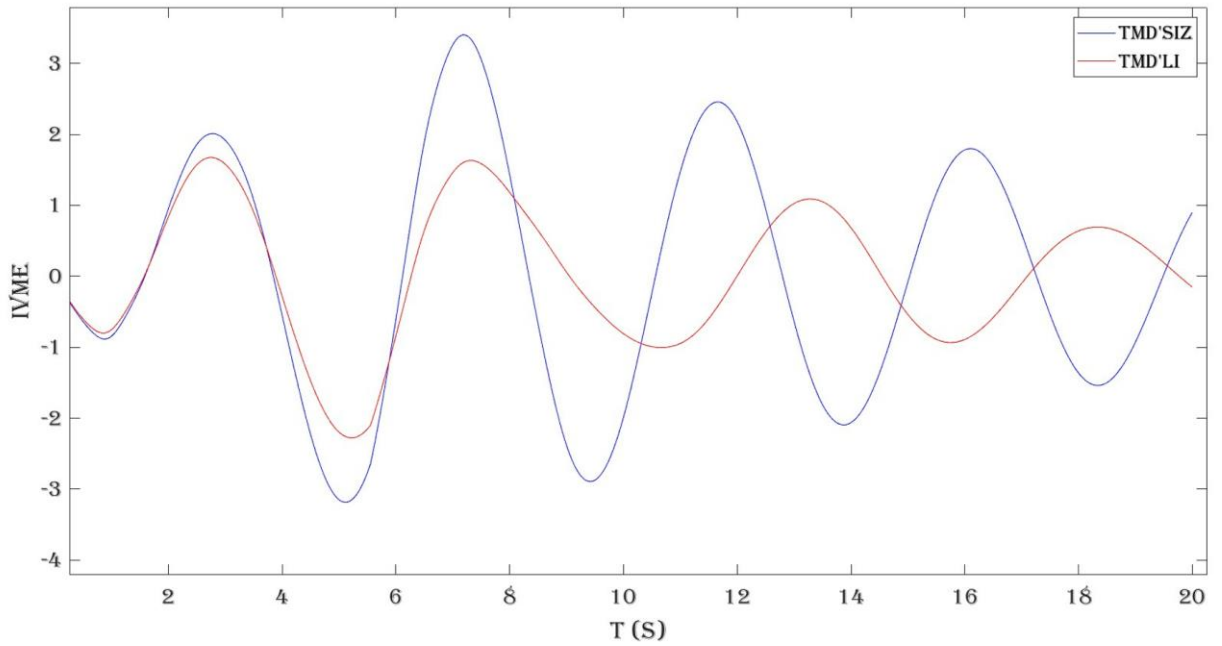
X eksenindeki rüzgâr etkisi altında TMD'siz koşullarda maksimum 39,1 mm yer değişimi yaşarken, TMD'li koşullarda bu değer 31,6 mm olarak kaydedilmiştir. Bu verilere göre, TMD'nin etkinliği %19,2 olarak hesaplanmıştır.

TMD'siz ve TMD'li en üst kattaki yer değiştirme ve ivme sırasıyla Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de gösterilmektedir.



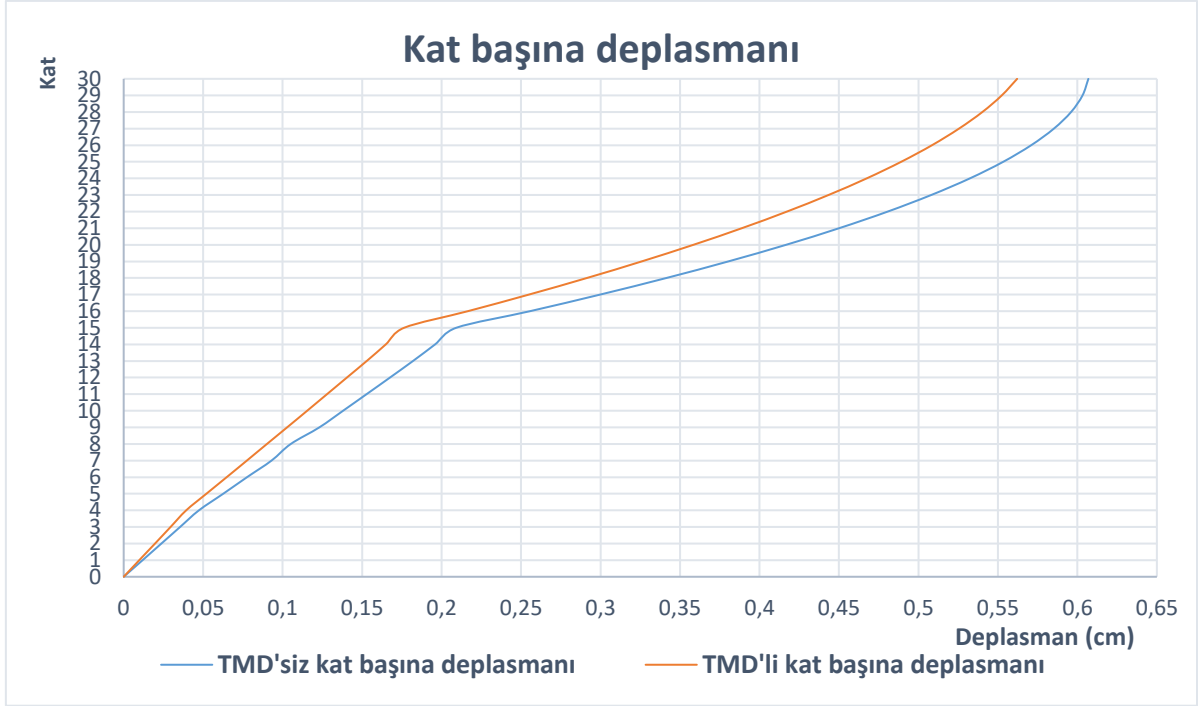
Şekil 3.4.11: TMD'li ve TMD'siz yer değiştirme grafiği

TMD'ye sahip olmayan model tarafından oluşturulan yanıtlarla karşılaştırıldığında, yer değiştirme gözlem süresiyle birlikte kademeli olarak azaldı ve sonuçta %19,2'lik bir azalmaya ulaştı.



Şekil 3.22: TMD'li ve TMD'siz ivme grafiği

TMD'siz modelin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, maksimum ivmede $3,4 \text{ m/s}^2$ 'den $1,5 \text{ m/s}^2$ 'ye kademeli bir azalma olmuştur; bu, gözlem dönemi boyunca toplam %55,88'lik bir düşüşü temsil etmektedir.



Şekil 3.23: TMD'li ve TMD'siz kat başına yer değiştirme grafiği

Şekil 3.23'ten açıkça anlaşıldığı gibi, TMD'nin kullanılması, yer değiştirmeyi azaltma konusundaki etkisini her katta artırmış ve her kat için olumlu bir etki yaratmıştır.

Sonuçlar, Jaya algoritması tarafından optimize edilen parametrelerin, gözlem süresi arttıkça yapının yer değiştirmelerini ve ivmesini azalttığını göstermektedir. Jaya algoritması (JA) kullanılarak elde edilen yer değiştirmedeki azalma önemli olmasına rağmen ortalama %19,2'e ulaşır ve bu da onu Kwok ve Kamali [74] tarafından Ayarlanmış Kütle Sönümleyicilerin Etkinliği üzerine yapılan çalışmada gözlemlenen aralığın dışına yerleştirir (TMD) yapıların dinamik tepkisinde. Sonuçları, optimal bir TMD ile yaklaşık %40 ila %50'lik bir dinamik azalmanın elde edilebileceğini göstermektedir.

Bu yüzdesel azalma stabilite açısından güven verici olsa da, yapısal stabilitenin sağlanması amacıyla SAP2000'de Matlab'da optimize edilen TMD parametreleri kullanılarak yapısal analizler yapıldı.

4.3 SAP2000'deki bazı dinamik faktörlerin analizi

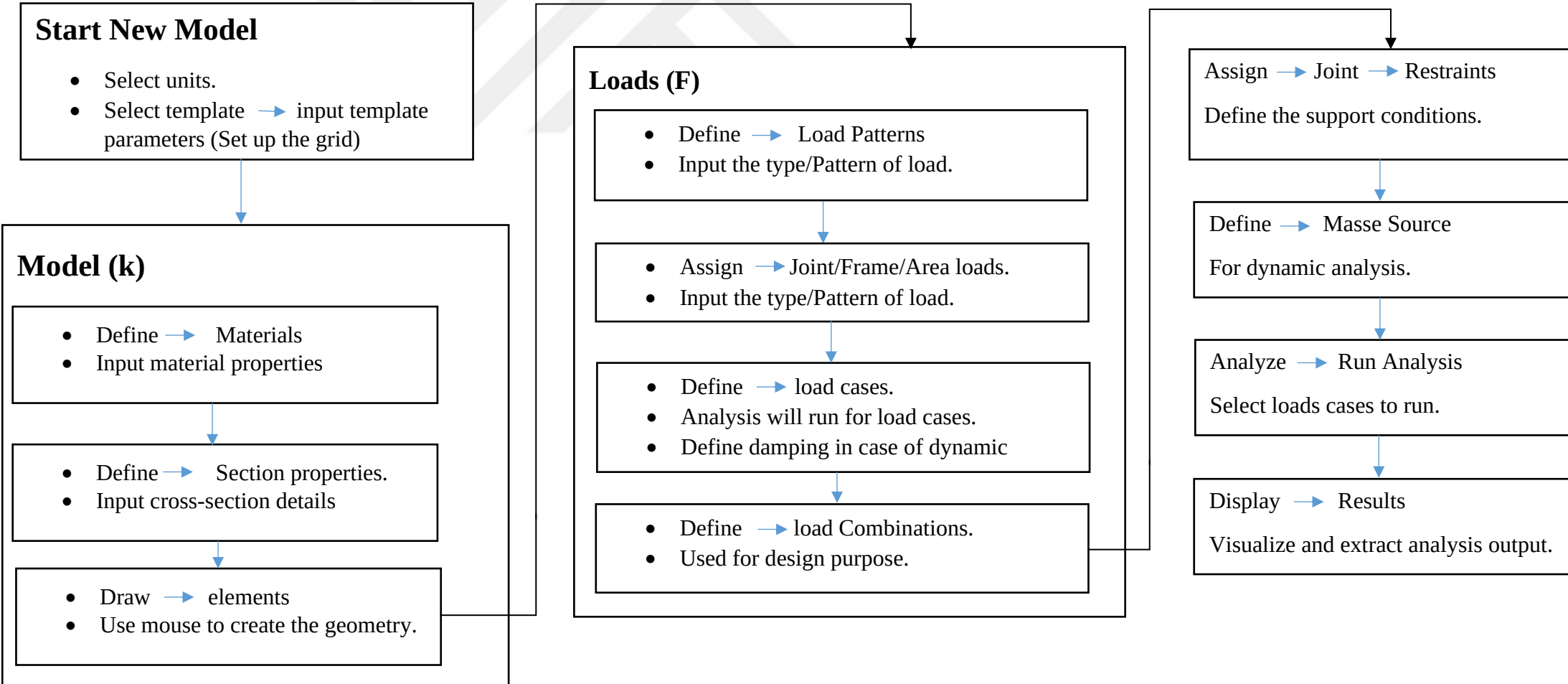
Bu Çalışma rüzgâr etkileri altında ayarlı kütle sönümleyicinin TMD'li ve TMD'siz koşullarda incelenmiştir. Modeller, yapı-zemin etkileşimini dikkate almayarak sabit destekli olarak modellenmiştir. Sabit destek, tüm serbestlik derecelerini (3 öteleme ve 3 dönme)

sınırlamaktadır. Bu çalışmada, düşünölen ayarlanabilir kütle sönümleyici, ana sistem üzerine takılan pasif bir cihaz olarak en basit şekilde tasarlanmıştır. Analiz, TMD'nin varlığına ve yokluğuna bağılı olarak yapılmıştır. Tüm sayısal simölasyonlar, SAP2000 yazılımında zaman etki alanı biçiminde gerçekleştirilmiştir.

Zaman tanım alanı analizi, yapıya etki eden dinamik (rüzgâr) yüklerin neden olduğı yapısal tepkiyi hesaplamak için en etkili analiz yöntemidir.



SAP2000'deki Tipik İş Akışı

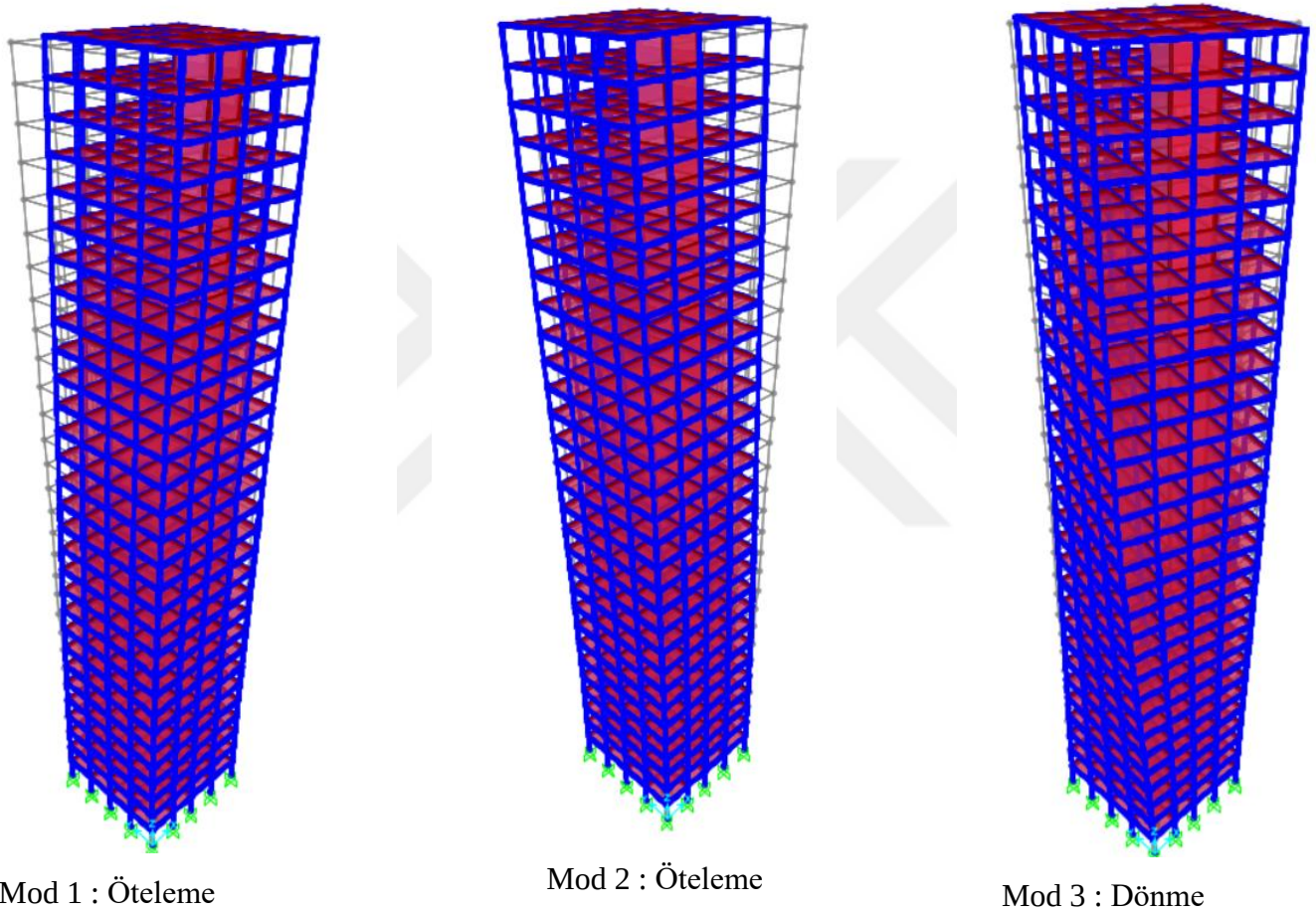


Şekil 3.24: SAP2000'de Yapısal Analiz Adımlarına İlişkin Diyagram.

4.4 Dağıtım sistemi (TMD) olmadan yapısal analiz

- Mod şekli periyotları ve frekansları

İlk 3 mod, Şekil 3.25'te görsel olarak sunulmaktadır. Ayrıca, Tablo 3.21, SAP2000'de üretilen TMD'siz ilk beş modun x ve y yönünde periyotları, frekansları, yer değiştirmeleri detaylı bir şekilde sunmaktadır.



Şekil 3.25: Dağıtım sistemi olmayan yapının ilk 3 modu.

Rüzgâr analizi kısmı, SAP2000 programında yapı modelinin analiz sonuçlarını içerir. Dinamik analiz için dikkate alınması gereken ilk husus, modelde temsil edilen yapının modal periyotlarıdır. 30 katlı sabit temelli binaların TMD'siz ilk beş modun x ve y yönünde periyotları, frekansları yer değiştirmeleri Tablo 2.21'de sunulmaktadır.

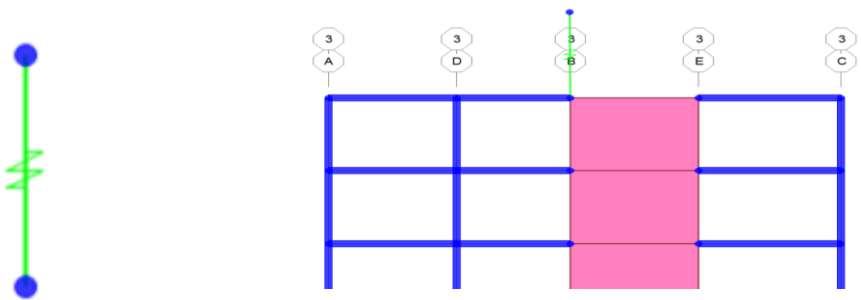
Rüzgârın oluşturduğu yer değiştirmelerde ortaya çıkan titreşim modları esas olarak yapının doğasına bağlıdır: örneğin ince, dikey bir kule binası veya bir baca için, birinci mod genellikle tepkinin çoğunluğunu temsil eder.

Mod	Periyot (saniye)	Frekans (saniye-1)	Ux (m)	Uy (m)
1	3,746	0,267	0,0563	0,0028
2	3,396	0,250	-0,003	0,0391
3	2,950	0,339	-0,0012	0,0013
4	2,765	0,362	0,063	0,005052
5	2,740	0,36	-0,0054	0,062

Tablo 2.16: TMD'siz ilk beş modun x ve y yönünde periyotları, frekansları.

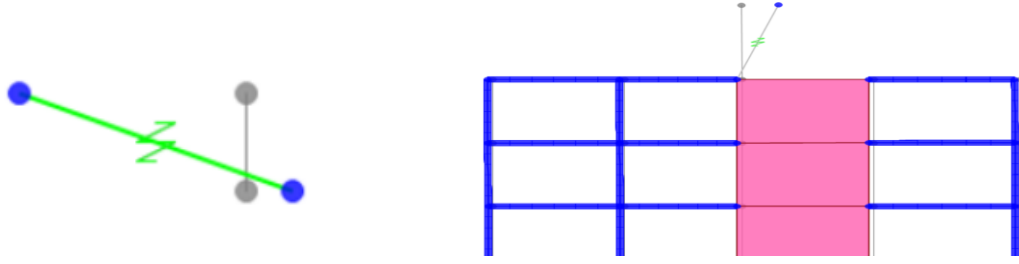
4.5 Dağıtım sistemi (TMD) ile yapısal analiz

Rüzgâr kuvvetinin yapı üzerindeki etkisini azaltmak üzere yer değiştirmeleri azaltmak için Ayarlanmış Kütle Sönümleyicisini (TMD) kullandık. Bu cihazın parametreleri Matlab'daki meta-sezgisel algoritmalar kullanılarak optimize edildi.



Şekil 3.26: SAP2000'de TMD modelleme

Yapının başlangıç konumunda olduğu gibi TMD'nin de başlangıç pozisyonu, Z yönünde dik bir şekilde durur. Bu, binanın hareketine karşı atalet kuvveti sağlayarak sönümlemeyi gerçekleştiren bir sarkaç şeklinde hareket ettiği anlamına gelir.



Şekil 3.27: TMD'nin üst katında deforme olmuş pozisyon.

Görüldüğü gibi, yukarıdaki şekilde TMD, rüzgâr kuvvetinin büyük bir bölümünü absorbe ederek yer değiştirmiştir.

Mod	Periyot (saniye)	Frekans (saniye-1)	Ux (m)	Uy (m)
1	4,194	0,238	0,03068	0,002028
2	3,396	0,282	-0,001449	0,020575
3	1,473	0,679	0,007121	0,016291
4	0,932	1,725	0,021089	0,005052
5	0,908	1,10	-0,001601	0,020707

Tablo 2.17: TMD' ilk beş modun x ve y yönünde periyotları, frekansları.

Tablo 2.22'den şunu görüyoruz: İlk mod için, TMD'siz yapının periyotları TMD'li olanlardan daha düşüktür ve bu TMD'li olanın yapı ile birleşik periyotlarına tekabül eder, çünkü TMD diğer 4 moddan farklı olarak yükleme başlangıcında aynı hareket yönünü alır.

4.6 TMD'nin binanın temel periyoduna etkisi

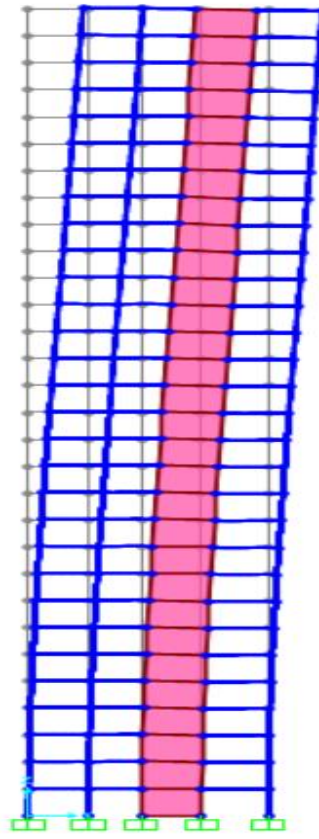
Analiz sonuçları, TMD ile binanın temel periyodunun 3,746 saniyeden 4,194 saniyeye yani yaklaşık %10,68'ye çıktığını göstermektedir. Her iki durumda da modların periyotları Tablo 2.23'te sunulmaktadır.

Mod	Periyot		Fark oranı
	TMD'siz	TMD'li	
1	3,746	4,194	10,68
2	3,546	3,146	12,69
3	1,473	2,950	100,27
4	0,932	2,765	196,67
5	0,908	2,740	183,2

Tablo 2.18: Her iki durumda da yapıcı modların 5 periyodu.

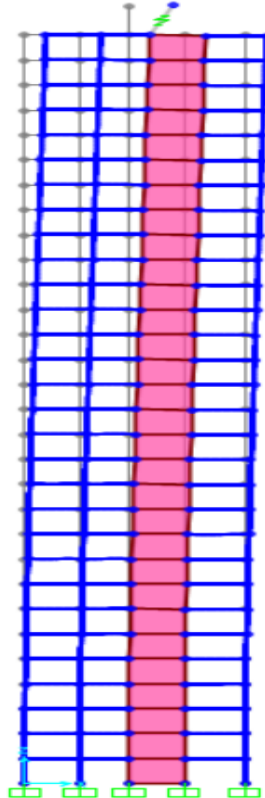
4.7 Kat Yer Değiştirmeleri

Yapısal dinamik analizi yapılırken dikkate alınması gereken temel parametrelerden biri, yapının dinamik yüklerin altındaki yer değiştirmesidir. Bina sakinlerinin can güvenliğini korumak için kat ötelemesinin kontrol altında alınması gerekli. Tasarım mühendisleri, yer değiştirmeleri kontrol etmeli ve analiz sonuçlarındaki kat ötelemelerinin dinamik yönetmelik ve şartnamelerde belirtilen sınırları aşmadığından emin olunmalıdır. Beş farklı model analiz edildikten sonra elde edilen sonuçlar yukarıdaki tablolarda raporlanmıştır. TMD'siz binaların deforme olmuş hali Şekil 3.28'de, TMD'li donatılmış binaların deforme halini ise Şekil 3.29'da gösterilmektedir.



Şekil 3.28: Katlı çerçeve taşıyıcı sisteminin TMD'siz bir binanın deforme şekli.

Görüldüğü gibi, yukarıdaki şemalarda gri çizgiler, yapının orijinal konumunu temsil etmekte olup üzerlerinde şekil değişiklikleri gösterilmiştir. Zeminde sabit ankastreler kullanıldığı için, yer değişiklikleri sıfır olarak görünmektedir. Bu ankastreler 3 öteleme ve 3 dönme hareketine karşı sabitlenmiştir.



Şekil 3.29: Katlı çerçeve taşıyıcı sisteminin TMD'li bir binanın deforme şekli

Görüldüğü gibi, Şekil 3.29'de TMD'ye sahip binalardaki yer değiştirmeler, geleneksel binalardaki yer değiştirmelerden daha azdır. Binaların en üstünde TMD'nin bulunduğu açıkça görülmektedir.

Ayarlı kütle sönümleyici ekli tasarım yaklaşımına göre, maksimum yer değiştirmenin sönümleyici seviyesinde gerçekleşmesi amaçlanır. Ayarlı kütle sönümleyicilerin diğer katlara göre daha fazla yer değiştirdiği, bu durumun Şekil 3.29 ve Tablo 2.23'te açıkça görülmektedir. Ayarlı kütle sönümleyicinin orijinal hali Şekil 3.8'de gösterilmektedir.

4.8 Tepe noktasında yapının artık yer değiştirmesi

Rüzgârın eylemini, yapının davranış etkisini anlamamıza yardımcı olan başka bir önemli faktörü de tepe yer değiştirmesidir.

TMD'siz bir binanın maksimum tepesi **15,15** saniyede yaklaşık **4,135 cm** yer değiştirmektedir. Dinamik analiz sonucunda grafik sıfır değerini göstermediğinden, artık deformasyon olduğu iddia edilebilir. Öte yandan, TMD ile donatılmış bir yapının tepesindeki maksimum yer değişikliği yaklaşık **3,25 cm**'ye **10,37** saniyede ulaşmaktadır. TMD ile donatılmış binanın kümülatif yer değişimi, TMD'siz binadan daha azdır. Ancak, dinamik sönümleme ile donatılmış yapının tasarım yaklaşımı, yapının yer değiştirmesini kontrol etmeye odaklanmıştır. Beklentilere göre, maksimum yer değişiminin yapıdaki sönüm seviyesinde meydana gelmesi beklenmektedir. Sonuçlar, bu beklentiyle uyumlu olarak elde edilmiştir. Sönümleyicinin en büyük yer değişimi yaklaşık olarak 0,885 santimetre olarak hesaplanmıştır.

4.9 Matlab ve SAP2000'de değerlendirilen TMD'nin yapı deplasmanına etkisi

Maksimum yer değiştirmenin son seviyeye ait olduğu göz önüne alındığında, TMD, yapının yer değiştirmesi üzerindeki etkisini göstermek için bu seviyeyi referans olarak aldık.

Tanım	Matlab			SAP2000			Hata (%)
	TMD'siz	TMD'li	TMD'nin etkinliği	TMD'siz	TMD'li	TMD'nin etkinliği	
Yer değiştirme (mm)	39,1	31,6	%19,2	41,35	32,50	%21,40	2,20

Tablo 2.19: TMD'li ve TMD'siz, yapı yer değiştirmesinin Matlab ve sap2000 sonuçlarının karşılaştırılması.

Elde edilen sonuçlardan SAP2000 ve MATLAB kullanılarak hesaplanan sonuçlar arasında gözle görülür bir yakınlaşma olduğu ve hata oranının düşük olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar ve iki senaryonun karşılaştırılması, parametrelerin optimizasyonunun, TMD'nin optimum titreşim sönümlemesini elde etmeyi mümkün kıldığını ve ayrıca rüzgâr gibi dinamik bir yüke maruz kalan bir yapının yer değiştirmesini azaltmada etkili olduğunu açıkça göstermektedir.

5 TARTIŞMA

Bu çalışmada, ilk olarak rüzgâr etkisi altındaki yapıların tepki kontrolüne odaklanılarak pasif ayarlı kütle sönümleyicisi (TMD) entegre edilmiş yapılar incelenmiştir. İncelemede, temel olarak rüzgârın etkisi altındaki yapıların tepki kontrolüne odaklanmış olup, TMD'nin teorik olarak arka planını ve bu alandaki araştırma gelişmelerini kapsamaktadır.

TMD'nin uygun bir referans çerçevesine yerleştirilmesi için çalışma, yapıların (özellikle rüzgâr gibi) dinamik kuvvetlere maruz kaldığı durumlarda kullanılan pasif kontrol sistemlerinin nitel bir açıklaması ve karşılaştırması ile başlamıştır. Daha sonra, TMD'nin detaylı bir literatür taraması teorik ve deneysel araştırmalara atıfta bulunularak sunulmuştur. İnceleme, özellikle dinamik davranışın açıklanmasına ve çeşitli sistemlerin ayırt edici özelliklerine odaklanmıştır. Araştırma, TMD'nin inşaat mühendisliği yapılarının dinamik davranışlarını geliştirme potansiyeline sahip olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Bir binanın yüksekliği arttıkça, dinamik rüzgâr etkilerinden korunmak giderek daha önemli bir tasarım hususu haline gelir. Bu tez, enerji dağıtım sistemleri (TMD) ile donatılmış yüksek binaların dinamik tepkisinin değerlendirilmesini konu almaktadır.

MATLAB sonuçlarına göre, TMD'nin optimizasyon sonuçlarını incelediğimizde optimum yer değıştirme değeri elde edildiğinde yapıdaki yer değıştirmenin %19,2 civarında azaldığını, toplam ivme değerinin ise %55,88 oranında azaldığını gözlemliyoruz.

SAP2000'de, TMD yapının en yüksek seviyesindeki yer değıştirmesi %21,40 oranında ve ivme %57,68 oranında azaltma konusunda özellikle başarılı olduğunu kanıtladı.

Son olarak, bu tezde elde edilen sayısal sonuçlar, TMD sisteminin yer değıştirmeyi azaltmada etkili olduğu ve dolayısıyla rüzgâr etkisi altındaki yapıların etkili kontrolünün bir ölçüsü olarak kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Her ne kadar TMD'nin rüzgâr aynı zamanda altında yüksek binaların tepkisini azalttığını kanıtlanmış olsa da bunlar çok büyük ve ağırdır ve yapının tepesinde değeri alan oluşturur.

Ayrıca, bunlar programa ekstra bir ücret teşkil etmektedir. Öte yandan viskoz sönümleyici ve yarı aktif sönümleyicileri bu sorunları çözmek için seçenekler olarak kullanılabilir. Bu cihazlar frekans değışikliğine ihtiyaç duymaz, ayrıca her uygulamanın optimal bir yüzleşme karakteristiği olmasına rağmen, elde edilen toplam sönümleme, cihazın spesifik yüzleşme karakteristiğinden büyük ölçüde etkilenmez [75].

Sonuç olarak, çoğu zaman tek bir cihazla birçok yöntemin sönümlenmesi mümkün olabilir. Hart ve Jain, rüzgâr yüklerine maruz kalan yüksek yapılarda damper kullanmanın avantajlarını ele almaktadır (2013). İki yanal yönde, bir yapı kulesinin ivmelerini ve proje yüklerini azaltmak için manyetoreolojik sönümleyiciler kullanıldı. MR sönümleyiciler, rüzgâr ve sismik yüklere maruz kalan yapılardaki titreşimleri başarılı bir şekilde bastıran bir teknik olarak ilgiyi yeniden uyandırdı. Viskoz sönümleyiciler ayrıca Mevcut çalışmada gösterildiği gibi, eşit derecede rüzgâr ve sismik aktivitenin neden olduğu çoklu tehlike yükünün altında titreşimin azaltılması için kullanılabilir.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda geliştirilen bir sönüm sisteminden biri olan ayarlı kütle sönümleyiciler, yapıları deprem ve rüzgâr gibi dinamik dış etkilerden korumak için tasarlanmıştır. Bu sönümleyicilerin optimum tasarımı genellikle, literatürde önerilen yöntemler kullanılarak yapının tepesine yerleştirilen ayarlı kütle sönümleyicisi için gerçekleştirilmelidir. Tasarım genellikle, yapıdaki birinci mod davranışının baskın olduğu ve bu modun kontrolünün önemli olduğu durumları ele alarak gerçekleştirilmektedir.

Bu tür sönümleyicilerin ana tasarım parametreleri arasında, genellikle optimum değerlere ayarlanan rijitlik ve sönüm katsayıları bulunmaktadır. Bu parametrelerin yanı sıra, tasarımcı tarafından genellikle yapı kütlelerinin belirli bir yüzdesi olarak seçilen kütle de önemli bir faktördür. Ancak, dış etkenlerin belirsiz doğası göz önüne alındığında, yapı davranışının çeşidi, tasarım parametrelerindeki kısıtlamalar ve çoklu sönümleyici kullanımı gibi faktörler, optimum tasarım problemini daha karmaşık kılmaktadır.

Jaya algoritması kullanılarak gerçekleştirilen bu tez çalışmasının sonuçları, ayarlı kütle sönümleyicilerin optimum tasarımını aşağıdaki başlıklar altında özetlemektedir:

İlk olarak, bir ayarlı kütle sönümleyicisi yapının tepesine yerleştirilmesi durumunda optimum tasarım araştırılmıştır. Bu bağlamda, amaç fonksiyonları, yapının tepe deplasmanını, mutlak ivmesini ve birinci kat rölatif deplasmanını minimize etmek amacıyla seçilmiştir. Bu fonksiyonlar, transfer fonksiyonlarına bağlı olarak incelenmiştir. Tasarım değişkenleri olarak belirlenen kütle, rijitlik ve sönüm katsayıları için alt ve üst sınır değerleri, optimizasyon problemine dahil edilmiştir.

Deplasman ve ivme temelli optimum TMD tasarımını tanımlamak için, "JA" algoritması adlı genetik algoritma tabanlı bir yöntem kullanılmıştır. Bu algoritma, doğrudan bir optimizasyon yöntemi olarak bilinir ve lineer veya lineer olmayan problemlerde etkin bir şekilde kullanılabilir. Yapılan analizler ve karşılaştırmalar, JA algoritmasının TMD optimizasyonunda da oldukça güçlü bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır.

Son yıllarda, deprem ve rüzgâr gibi dinamik dış etkiler altındaki yapıları korumak amacıyla geliştirilen ayarlı kütle sönümleyicilerin en uygun tasarımı büyük önem kazanmıştır. Bu sönüm sistemlerinden biri olarak kabul edilen ayarlı kütle sönümleyicilerin genellikle yapının tepesine yerleştirildiği durumlarda, optimum tasarım literatürde önerilen çeşitli yöntemlerle

gerçekleştirilebilmektedir. Bu metotlar genellikle bir yapıdaki birinci mod davranışının baskın olduğu durumları ele alır ve bu modun kontrolünün önemine odaklanır. Rijitlik ve sönüm katsayıları, bu tür sönümleyicilerin temel tasarım parametreleri olarak belirlenirken, genellikle kütle, tasarımcı tarafından yapı kütlelerinin belirli bir yüzdesi olarak seçilir. Dış dinamik etkilerin belirsiz doğası göz önüne alındığında, yapılan analizlerde dikkate alınan davranışın çeşidi, tasarım parametrelerindeki kısıtlar ve sönümleyicilerin çoklu kullanımı, optimum tasarım problemini daha karmaşık hale getirir.

Gelecekte yapılacak çalışmalara yönelik bazı öneriler şu şekilde ifade edilebilir ve özetlenebilir:

1- Tezde elde edilen sonuçlara dayanarak önerilen kontrol sistemi, deprem veya şiddetli rüzgâr riski bulunan ülkemizdeki önemli binalarda kullanılmaya teşvik edilmelidir. Bu nedenle, yapısal kontrol sistemleri üzerinde gerçekleştirilecek tez ve akademik çalışmaların artırılması önerilmektedir.

2- Gelecekteki çalışmalar için, binaya ayarlı kütle sönümleyicilerin uygulanması durumunda yapı elemanlarının boyutlarının azaltılması üzerine bir araştırma yapılabilir. Beklendiği gibi, yapısal elemanların boyutları, geleneksel bina modellerine göre daha küçük olabilir. Bu durum, beton ve çelik donatı gibi yapı malzemelerinin kullanımını azaltacaktır, bu da dinamik olarak güçlendirilmiş binaların proje maliyetini düşürecektir. Ek olarak, gelecekteki bir araştırma konusu, sönümleyici sistemlerin ikincil faydalarının analizini içerebilir. Eğer asıl amaç, sakinlerin can güvenliğini sağlamaksa, geleneksel sabit temelli iyi tasarlanmış bir binada, şiddetli rüzgâr sonrasında bina içindeki değerli eşyaların çoğu kullanılamaz hale gelebilir. Bu ekonomik kayıpların gelecekteki çalışmalarda öngörülmesi mümkündür. Ayrıca, TMD'nin yapısal parametrelerinin ve kullanılan adedinin değişimiyle ilgili bir çalışma, yapının dinamik performansını daha iyi anlamak için gerçekleştirilebilir. Bu öneriler üzerinde yapılan araştırmalar, özelleştirilmiş kütle sönümleyicilerin kullanımının uygulanabilirliğini daha açık bir şekilde ortaya koyabilir.

3- Bu tez kapsamında gerçekleştirilen optimizasyon işlemi oldukça uzun sürmektedir. Örneğin, 30 katlı bir bina için iki sönümleyici üzerinde yapılan optimizasyon işlemi, iter 11000 işlemci kullanılarak 5 saat sürebilmektedir. Bu uzun süreli optimizasyon işleminden kaçınmak için, çok sayıda basitleştirilmiş model üzerinde optimizasyon

gerçekleştirilip ardından elde edilen optimum veri seti, makine öğrenmesiyle desteklenerek bir yapay zekâ tahmin modeli oluşturulabilir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, kütle sönümleyici sisteminin konumunun optimize edilmesinin burulma düzensizliğini büyük ölçüde engellediği, titreşimleri önemli ölçüde azalttığı ve yapıdaki konfor ve güvenliği artırmada son derece faydalı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu tezde elde edilen sayısal sonuçlar, TMD sisteminin yer değiştirmeyi azaltmada etkili olduğu ve dolayısıyla rüzgâr etkisi altındaki yapıların etkili kontrolünün bir ölçüsü olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



KAYNAKLAR

- [1]- Mendis, P., T. Ngo, et al. (2007). "Wind Loading on Tall Buildings." *Electronic Journal of Structural Engineering*: 41-54
- [1']- Hartog, G.C., ve Wong, K., 1928, *Structural Dynamics for structural engineering*, John Wiley and Sons Inc, New York, USA
- [2]- Holmes, J.D. (2007), *Wind Loading of Structures (Second Edition)*, Taylor and Francis Group, New York.
- [2']- Frahm, H., 1997, *Device for damping vibrations of bodies*, U.S. Patent 0989958.
- [3]- Chen, G., ve Wu, J.N., 2001, *Optimal placement of multiple tune mass sönümleyicis for seismic structures*, *Journal of structural engineering*, 127, 1054-1062.
- [3']- Soong, T.T., ve Dargush, G.F., 1997, *Passive energy dissipation systems in structural engineering*, John Wiley, Chichester and New York, ISBN:0-9656682-1-5.
- [4]- Apaer MUBULI, *Bina türü yapılar için pasif sönümleyici sistemlerin optimizasyonu ve analizi*, doktora tezi, İÜC 2021.
- [5]- Setareh M. *Tuned mass dampers to control floor vibration from humans*. *Journal of Structural Engineering*, 118(3):741–761, 1992.
- [6]- Den Hartog J. P. *Mechanical Vibrations*. McGraw Hill Book Co., New York, 1947.
- [7] - Thompson A. G. *Optimum tuning and damping of a dynamic vibration absorber applied to a force excited and damped primary system*. *Journal of Sound and Vibration*, 77(3):403–415, 1981.
- [8] - Warburton G. B. *Optimal absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10:381–401, 1982.
- [9]- Rowbottom M. D. *The optimization of mechanical dampers to control self-excited galloping oscillations*. *Journal of Sound and Vibration*, 75:559–576, 1981.
- [10]- Fujino Y. and Masato A. *Design formulas for tuned mass dampers based on a perturbation technique*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 22:833– 854, 1993.
- [11]- EN 1991-1-4 (2005). *Eurocode 1: Actions on structures -Part 1-4: General actions -wind actions*.
- [12]- https://public.iutenligne.net/mecanique/mecanique-des-structures/fauqueux/EC1_Vent_web/co/module_EC1_Vent_72.html
- [13]- Bakioğlu, M., 2005 *Yapılarda Aktif Kontrol Yöntemleri Ders Notları*, İ.T.Ü., İstanbul.
- [14]- Okut, 2006. *Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Sismik Etkiler Altındaki Betonarme Yapılarda Performansının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [15]- Housner, G.W., Bergman, L.A., Caughey, T.K., Chassiakos A.G., Claus, R.O., Masri, S.F., Skelton, R.E., Soong, T.T., Spencer, B.F., ve Yao, J.T.P., 1997, Structural control: present and future, *Journal of engineering mechanics*, 123 (9), 897-97.
- [16]- Saaed, T.E., 2015, Structural control and identification of civil engineering structures, Thesis (PhD), Lulea University of Technology.
- [17]- Aldemir, U., ve Aydın, E., 2005, Depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni yaklaşımlar, *THH-türkiye mühendislik haberleri* sayı, 435, 81-89.
- [18]- Farshidianfar, A., 2013a, ABC optimization of TMD parameters for tall buildings with soil structure interaction, *Interaction and Multiscale Mechanics*, 6, 339-356.
- [19]- Soong, T.T., ve Dargush, G.F., 1997, Passive energy dissipation systems in structural engineering, John Wiley, Chichester and New York, ISBN:0-9656682-1-5
- [20]- Constantinou, M.C., Soong, T.T., ve Dargush, G.G., 1998, Passive energy dissipation systems for structural design and retrofit, Monograph1, Multidisciplinary center for earthquake engineering research, Buffalo, New York.
- [21]- Hanson, R.D., ve Soong, T.T., 2001, Seismic design with supplemental energy dissipation devices, EERI Monograph 8, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.
- [22]- Bekdaş, G. and Nigdeli, S.M., 2011, Estimating optimum parameters of tuned mass dampers using harmony search, *Engineering Structures*, 33(9), 2716-2723.
- [23]- Frahm, H., 1909. "Device for Damping Vibration of Bodies" US Patent 989958.
- [24]- Ormondroyd, J., ve Den Hartog, J.P., 1928, The theory of dynamic vibration absorber, *T. ASME*, 50, 9-22.
- [25]- Den Hartog, J.P., 1947, Mechanical vibrations, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, ISBN: 978- 1443725361.
- [26]- Bentifour A., Etude parasismique sur un batiment equipe d'un amortisseur a masse accordée (TMD) pour le contrôle des excitation sismiques, Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2013.
- [27]- Geem, Z. W., Kim, J. H., Loganathan, G. V., 2001, A new heuristic optimization algorithm: harmony search, *Simulation*, 76(2), 60-68.
- [28]- Landry K. et Winkel B., Peak-Frequency Responses and Tuned Mass Dampers Exciting Applications of Systems of Differential Equations, 2008.
- [29]- Lin C., Ueng J., Huang T., 1999, Seismic response reduction of irregular buildings using passive tuned mass sönümleyicis, *Engineering Structures*, 22, 513-524
- [30]- Bekdaş, G., ve Nigdeli, S.M., 2018, Mass ratio factor on optimum TMD design in frequency domain, *International journal of theoretical and applied mechanics*, vol.3.
- [31]- <https://www.insaatderyasi.com/belli-bir-yuksekligin-altinda-kalinca-izolator-zararli-olabilir-24526h.htm>

- [32]- Soong, T.T., ve Costantinou, M.C., 1994, Passive and active structural vibration control in civil engineering, Buffalo, New York, ISBN:978-3-211-82615-7.
- Villaverde, R., 1985, Reduction in seismic response with heavily-damped vibration absorbers, Earthquake engineering and structural dynamics, 13 (1), 33-42.
- [34]- Villaverde, R., 1985, Reduction in seismic response with heavily-damped vibration absorbers, Earthquake engineering and structural dynamics, 13 (1), 33-42.
- [35]- Sadek, F., Mohraz, B., Taylor, A.W., ve Chung, R.M., 1997, A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications, Earthquake engineering and structural dynamics, 26 (6), 617-635.
- [36]- Yang, X.S.H., ve Deb, S., 2010, Engineering optimization by cuckoo search, International journal of mathematical model numerical optimization, 1 (4), 330-343.
- [37]- Burke Edmund K, Gendreau Michel, Hyde Matthew, Kendall Graham, Ochoa Gabriela, Ozcan Ender, Rong Qu (2013) Hyper heuristics: a survey of the state of the art. J Operational Res Soc 64(12):1695–1724
- [38]- Hussain Kashif, Salleh Mohd Najib Mohd, Cheng Shi, Shi Yuhui (2019) Metaheuristic research: a comprehensive survey. Artif Intell Rev 52(4):2191–2233.
- [39]- Osman Ibrahim H, Laporte G (1996) Metaheuristics: a bibliography. Ann Oper Res 63:511–623.
- [40]- Blum Christian, Roli Andrea (2003) Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison. ACM Comput Surv (CSUR) 35(3):268–308
- [41]- Fausto Fernando, Reyna-Orta Adolfo, Cuevas Erik, Andrade Angel G, Perez-Cisneros Marco (2020) From ants to whales: metaheuristics for all tastes. Artif Intell Rev 53(1):753–810
- [42]- Meraihi Y, Ramdane-Cherif A, Acheli D, Mahseur M (2020) Dragonfly algorithm: a comprehensive review and applications. Neural. Comput. Appl. 32:16625–16646.
- [43]- Rao R (2016) Jaya: a simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. Int J Indus Eng Comput 7(1):19–34
- [44]- Warid Warid, Hizam Hashim, Mariun Norman, Abdul-Wahab Noor Izzri (2016) Optimal power flow using the jaya algorithm. Energies 9(9):678
- [45]- Warid W (2020) Optimal power flow using the amtpg-jaya algorithm. Appl Soft Comput 91:106252
- [46]- Luu The Vinh, Nguyen Ngoc Son (2020) Parameters extraction of solar cells using modified jaya algorithm. Optik 203:164034
- [47]- Congcong Wu, He Yichao (2020) Solving the set-union knapsack problem by a novel hybrid jaya algorithm. Soft Comput 24(3):1883–1902.
- [48]- Amarendhar Reddy M, Ravindranath K (2020) Virtual machine placement using jaya optimization algorithm. Appl Artif Intell 34(1):31–46

- [49]- aharana D, Kotecha P (2019) Optimization of job shop scheduling problem with grey wolf optimizer and jaya algorithm. *Smart Innovations in Communication and Computational Sciences*. Springer, New York, pp 47–58
- [50]- Li J-Q, Deng J-W, Li C-Y, Han Y-Y, Tian J, Zhang B, Wang C-G (2020) An improved jaya algorithm for solving the flexible job shop scheduling problem with transportation and setup times. *Knowl-Based Syst* 200:106032
- [51]- Mishra A, Shrivastava D (2020) A discrete jaya algorithm for permutation flow-shop scheduling problem. *Int J Indus Eng Comput* 11(3):415–428.
- [52]- Ghavidel Sahand, Azizivahed Ali, Li Li (2018) A hybrid jaya algorithm for reliability-redundancy allocation problems. *Eng Optimization* 50(4):698–715
- [53]-Walaah El-Ashmawi, AhmedF Ali, Slowik A (2020) An improved jaya algorithm with a modified swap operator for solving team formation problem. *Soft Comput* 24:16627–16641
- [54]- Degertekin SO, Lamberti L, Ugur IB (2018) Sizing, layout and topology design optimization of truss structures using the jaya algorithm. *Appl Soft Comput* 70:903–928
- [55]- Wang Shui-Hua, Phillips Preetha, Dong Zheng-Chao, Zhang Yu-Dong (2018) Intelligent facial emotion recognition based on stationary wavelet entropy and jaya algorithm. *Neurocomputing* 272:668–676
- [56]- MohammedA Awadallah, MohammedA Al-Betar, Hammouri AI, Alomari OA (2020) Binary jaya algorithm with adaptive mutation for feature selection. *Arab J Sci Eng* 45:10875–10
- [57]- More Kiran C, Rao RV (2020) Design optimization of plate-fin heat exchanger by using modified jaya algorithm. *Advanced engineering optimization through intelligent techniques*. Springer, New York, pp 165–172
- [58]- Wang Long, Zhang Zijun, Huang Chao, Tsui Kwok Leung (2018) A gpu-accelerated parallel jaya algorithm for efficiently estimating li-ion battery model parameters. *Appl Soft Comput* 65:12–20
- [59]- Aslan Murat, Gunduz Mesut, Kiran Mustafa Servet (2019) Jaya: jaya algorithm with xor operator for binary optimization. *Appl Soft Comput* 82:105576
- [60]- Rao RV, More KC (2017) Design optimization and analysis of selected thermal devices using self-adaptive jaya algorithm. *Energy Convers Manag* 140:24–35
- [61]- Ravipudi Jaya Lakshmi, Neebha Mary (2018) Synthesis of linear antenna arrays using jaya, self-adaptive jaya and chaotic jaya algorithms. *AEU-Int J Electron Commun* 92:54–63
- [62]- Raut Usharani, Mishra Sivkumar (2019) An improved elitist jaya algorithm for simultaneous network reconfiguration and dg allocation in power distribution systems. *Renew Energy Focus* 30:92–106
- [63]- Venkata Rao R, Saroj Ankit (2019) An elitism-based self-adaptive multi-population jaya algorithm and its applications. *Soft Comput* 23(12):4383–4406

- [64]- Venkata Rao R, Saroj Ankit, Bhattacharyya Souvik (2018) Design optimization of heat pipes using elitism-based self-adaptive multipopulation jaya algorithm. *J Thermophys Heat Transfer* 32(3):702–712
- [65]- Jian Xianzhong, Weng Zhiyuan (2020) A logistic chaotic jaya algorithm for parameters identification of photovoltaic cell and module models. *Optik* 203:164041
- [66]- Son Nguyen N, Chinh Tran M, Anh Ho Pham H (2020) Uncertain nonlinear system identification using jaya-based adaptive neural network. *Soft Comput* 24:17123–17132
- [67]- Ramesh S, Vydeki D (2020) Recognition and classification of paddy leaf diseases using optimized deep neural network with jaya algorithm. *Information Process Agric* 7(2):249–260
- [68]- Son Nguyen Ngoc, Van Kien Cao, Anh Ho Pham Huy (2020) Parameters identification of bouc-wen hysteresis model for piezoelectric actuators using hybrid adaptive differential evolution and jaya algorithm. *Eng Appl Artif Intell* 87:103317
- [69]- Goudos Sotirios K, Deruyck Margot, Plets David, Martens Luc, Psannis Kostas E, Sarigiannidis Panagiotis, Joseph Wout (2019) A novel design approach for 5g massive mimo and nb-iot green networks using a hybrid jaya-differential evolution algorithm. *IEEE Access* 7:105687–105700
- [70]- Ding Zhenghao, Li Jun, Hao Hong (2020) Non-probabilistic method to consider uncertainties in structural damage identification based on hybrid jaya and tree seeds algorithm. *Eng Struct* 220:110925
- [71]- Peng Yuexi, Sun Kehui, He Shaobo (2020) Synchronization for the integer-order and fractional-order chaotic maps based on parameter estimation with jaya-ipo algorithm. *Eur Phys J Plus* 135(3):331
- [72]- Luo Xiong, Cao Longpeng, Wang Long, Zhao Zihan, Huang Chao (2018) Parameter identification of the photovoltaic cell model with a hybrid jaya-nm algorithm. *Optik* 171:200–203
- [73]- Ingle Kishor Kisan, Kishor Kisan, Jatoth Ravi Kumar (2020) An efficient jaya algorithm with levy flight for non-linear channel equalization. *Expert Syst Appl* 145:112970
- [74]- K.C.S. Kwok, B. Samali, Performance of tuned mass dampers under wind loads, *Eng. Struct.* 17 (1995) 655–667.
- [75]- K.T. Tse, K.C.S. Kwok, P.A. Hitchcock, B. Samali, M.F. Huang, Vibration control of a wind-excited benchmark tall building with complex lateral-torsional modes of vibration, *Adv. Struct. Eng.* 10 (2007) 283–304.

İNTİHAL RAPORU İLİK SAYFASI

4801200118-Mohamed CONDE

ORJİNALLIK RAPORU

%**10**

BENZERLİK ENDEKSİ

%**7**

İNTERNET KAYNAKLARI

%**1**

YAYINLAR

%**5**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

Submitted to The Scientific & Technological
Research Council of Turkey (TUBITAK)

Öğrenci Ödevi

%**3**

2

polen.itu.edu.tr

İnternet Kaynağı

%**1**

3

fr.slideshare.net

İnternet Kaynağı

%**1**

4

www.scribd.com

İnternet Kaynağı

%**1**

5

acikerisim.ohu.edu.tr

İnternet Kaynağı

<%**1**

6

acikbilim.yok.gov.tr

İnternet Kaynağı

<%**1**

7

followscience.com

İnternet Kaynağı

<%**1**

8

acikerisim.ohu.edu.tr:8080

İnternet Kaynağı

<%**1**

9

www.theseus.fi

İnternet Kaynağı

<%**1**

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

- ☐ Etik Kurul izni gerekmektedir.
- ☒ Etik Kurul izni gerekmemektedir.

Mohamed CONDE
(İmza)



KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- ☐ Kurum izni gerekmektedir.
- ☒ Kurum izni gerekmemektedir.

Mohamed CONDE
(İmza)

