

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME BİNALARIN DAVRANIŞINA
DOLGU DUVARLARIN SÖNÜMLEYİCİ SİSTEM OLARAK ETKİLERİ**

OĞUZHAN ÇELEBİ

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

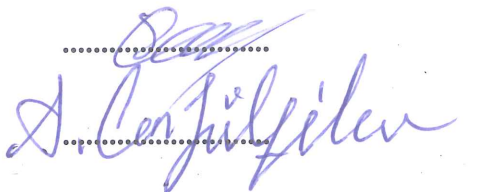
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME BİNALARIN
DAVRANIŞINA DOLGU DUVARLARIN SÖNÜMLEYİCİ
SİSTEM OLARAK ETKİLERİ

OĞUZHAN ÇELEBİ

Doç. Dr. Kemal BEYEN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Fuad OKAY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi A. Can ZÜLFİKAR
Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniversitesi


.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 12.12.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, farklı malzeme basınç dayanımlarına sahip dolgu duvarların, betonarme binada bölme eleman olarak kullanıldığında, betonarme binanın davranışının ve binanın sönüm karakteristiklerinin nasıl değiştiği, yönetmeliklerin önermiş olduğu eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi, statik itme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemiyle açıklanmaya çalışılmıştır.

Tezin hazırlanma aşamasında ve tez öncesi çalışmalarında bana araştırma geliştirme ve çalışma azmini kazandıran, bilim yolunda ilerlelemizi sağlayan ve çok şeyi borçlu olduğum tez danışmanım sayın Doç. Dr. Kemal BEYEN'e, ve bana yapı malzemeleri ve yapıdaki genel bilgileri aktaran makale yazarken bana yaptığı yardım ve yönlendirmelerden dolayı saygıdeğer hocam Doç.Dr. Salih Taner YILDIRIM'a binaların gerek statik tasarımında veya binanın performans değerlendirmesinde bilgilerini aktaran saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr Erkan AKPINAR'a ve ayrıca yüksek lisans döneminde birçok çalışmayı beraber yürüttüğümüz kıymetli arkadaşım İnşaat Mühendisi Kenan ÖZYÜREK'e teşekkürlerimi sunarım. Bunun yanı sıra Tez aşamasında desteğini esirgemeyen Makina Yüksek Mühendisi Alper ERARICI'ya teşekkürlerimi bildiririm.

Öğrencilik yaşamımda desteğini her zaman yanımda hissettiğim kıymetli aile büyüklerime, kıymetli babam Seyfullah ÇELEBİ'ye ve kıymetli amcam Prof. Dr. Selahattin ÇELEBİ'ye teşekkür ederim.

Kasım – 2018

Oğuzhan ÇELEBİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ÖZET.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	2
1.1. Dolgu Duvarların Tarihsel Gelişimi	3
1.2. Dolgu Duvarların Betonarme Binanın Davranışına Olumlu Etkileri	4
1.3. Dolgu Duvarların Betonarme Binanın Davranışına Olumsuz Etkileri.....	5
1.4. Dolgu Duvarların Modellenmesine İlişkin Esaslar.....	7
1.4.1. Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi	8
1.4.2. Bölüntüleme yüzey modeli.....	14
1.4.3. Önerilen kapsamlı model.....	16
2. SÖNÜMLEYİCİ SİSTEMLER.....	18
2.1. Titreşim Enerjisinin Sönümü	18
2.1.1. Serbest titreşim	19
2.1.2. Zorlanmış titreşim hareketi.....	20
2.2. Enerji Sönümü	21
2.2.1. Viskoz sönüm	21
2.2.2. Coulomb cisim sönümü.....	21
2.2.3. Çevrimsel (Histeresis) sönüm.....	22
2.3. Sönüm Oranlarının Belirlenmesi	23
2.4. Sönümde Plastik Deformasyonların Etkisi	24
3. BİNA BİLGİLERİ	26
3.1. Malzeme Bilgileri	26
3.2. Kat Bilgileri	26
3.3. Bina Analitik Modeli	27
3.4. Dolgu Duvar Modelleri.....	29
4. DOLGU DUVARLARIN BETONARME BİNALARIN DAVRANIŞINA TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018 KRİTERLERİNE GÖRE ETKİSİ.....	31
4.1. Deprem Hareketi Düzeyleri	31
4.1.1. Deprem yer hareketi düzeyi- 1 (DD-1)	31
4.1.2. Deprem yer hareketi düzeyi- 2 (DD- 2)	31
4.1.3. Deprem yer hareketi düzeyi- 3 (DD- 3)	31
4.2. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	32
4.3. Dolgu Duvar Kriterleri.....	33
4.4. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Hesap.....	34
4.4.1. Analiz sonuçları.....	36

4.4.1.1. Burulma düzensizliği kontrolü	36
4.4.1.2. Yumuşak kat düzensizliği	38
4.4.1.3. Göreli kat ötelemesi kontrolü	39
4.4.1.4. İkinci merteye etkileri	41
4.4.1.5. Taşıyıcı elemanlarda depremin oluşturduğu kuvvetler	42
4.4.1.6. Depremin binada oluşturduğu taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı	44
4.5. Mod Birleştirme Yöntemiyle Deprem Hesabı	46
4.5.1. Analiz sonuçları	48
4.6. Eşdeğer Deprem Yük Analizi İle Mod Birleştirme Analizinin Karşılaştırılması	52
4.7. Statik İtme Analizi	54
4.7.1. Statik itme analizi uygulaması	54
4.7.2. Depremin modal yer değiştirme talebinin doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak elde edilmesi	58
4.7.3. Kesit hasar sınırlarının belirlenmesi ve taşıyıcı elemanların performansının değerlendirilmesi	64
4.7.4. Statik itme analizi sonuçları	70
4.8. Zaman Tanım Alanında Hesap	79
4.8.1. Deprem kayıtlarının seçimi	79
4.8.2. Analiz sonuçları	82
5. FEMA356 YÖNETMELİĞİNE GÖRE DOLGU DUVARLARIN BİNA DAVRANIŞINA ETKİSİ	87
5.1. Dolgu Duvar Kriterleri	87
5.2. Linear Statik Prosedürleri	89
5.2.1. Binanın tepki spektrumunun elde edilmesi	90
5.2.2. Binada oluşan taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılması	91
5.2.3. Linear prosedüre göre binanın devrilme etkileri	91
5.2.4. Burulma düzensizliği kontrolü	92
5.2.5. Statik P-Δ etkileri kontrolü	92
5.2.6. Yumuşak kat etkisi	92
5.2.7. Analiz sonuçları	93
5.2.7.1. Binanın tepki spektrumlarının elde edilmesi	93
5.2.7.2. Taban kesme kuvvetinin bulunması	95
5.2.7.3. Talep kapasite oranı kontrolü	96
5.2.7.4. Yumuşak kat düzensizliği kontrolü	97
5.2.7.5. Burulma düzensizliği kontrolü	97
5.2.7.6. P-Δ etkileri kontrolü	98
5.2.7.7. Devrilme etkileri kontrolü	98
5.2.7.8. Taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları	98
5.2.7.9. Referans kolon iç kuvvetleri	99
5.3. Linear Dinamik Analiz Prosedürleri	99
5.3.1. Analiz sonuçları	100
5.4. Linear Olmayan Statik Analiz Prosedürleri	101
5.4.1. Binanın hedef deplasman-spektral ivme eğrisinin elde edilmesi	102
5.4.2. Binanın performans düzeyinin belirlenmesi	103

5.4.2.1. SZ02 kolonun deplasman bazlı performans düzeyinin incelenmesi	107
6. EUROCODE 8 YÖNETMELİĞİNE GÖRE DOLGU DUVARLARIN BİNA DAVRANIŞINA ETKİSİ.....	111
6.1. Dolgu Duvar Kriterleri.....	111
6.2. Hasar Sınırlaması Kriteri	112
6.3. İkinci Mertebe Etkileri	114
6.4. Bina Performans Düzeyleri.....	115
6.4.1. Kesit hasar sınırlarının belirlenmesi	115
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	120
KAYNAKLAR	123
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	128
ÖZGEÇMİŞ	129



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Tek katlı ve tek açıklıklı dolgu duvarlı betonarme çerçevenin göçme modları	4
Şekil 1.2.	Dolgu duvar çatlağı.....	5
Şekil 1.3.	Tipik yumuşak katın bulunduğu bina	6
Şekil 1.4.	Dolgu duvarların etkisiyle kısa kolon oluşumu	6
Şekil 1.5.	Eşdeğer basınç çubuğu modeli	8
Şekil 1.6.	Eşdeğer basınç çubuğunun statik şeması	9
Şekil 1.7.	Eşdeğer basınç çubuğu kesit parametreleri.....	10
Şekil 1.8.	Eşdeğer basınç çubuğu modelleri	11
Şekil 1.9.	Yatay kesme kayması oluşan dolgu duvarı modellemek için önerilen model	12
Şekil 1.10.	Farklı eşdeğer basınç çubuğu modelleri	13
Şekil 1.11.	Sonlu eleman metodu.....	15
Şekil 1.12.	Bölüntüleme yüzey modelinde kullanılan bağlantı elemanının statik şeması.....	16
Şekil 1.13.	Önerilen kapsamlı model	17
Şekil 2.1.	Sönümlü sistemin serbest titreşim hareketi	20
Şekil 2.2.	Zorlanmış titreşim hareketi	20
Şekil 2.3.	Coulomb cisim sönümü	21
Şekil 2.4.	Çevrimsel döngü	22
Şekil 2.5.	Kritik sönüm	24
Şekil 2.6.	Süneklik	25
Şekil 3.1.	Bina Analitik Modeli	27
Şekil 3.2.	Binanın mimari planı	27
Şekil 3.3.	Kolon aplikasyon planı	28
Şekil 3.4.	Kiriş detayı.....	28
Şekil 3.5.	Kolon detayı.....	29
Şekil 3.6.	Tek eşdeğer basınç çubuğu modeli	29
Şekil 3.7.	Üç eşdeğer basınç çubuğu modeli	30
Şekil 3.8.	Shell (Kabuk) eleman modeli	30
Şekil 4.1.	Çalışmada kullanılan betonarme binanın yatay elastik tasarım spektrumu.....	33
Şekil 4.2.	Eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması	35
Şekil 4.3.	Burulma düzensizliği	37
Şekil 4.4.	Burulma düzensizliği kontrolü.....	37
Şekil 4.5.	Yumuşak kat düzensizliği kontrolü	38
Şekil 4.6.	Görelî kat ötelemesi kontrolü	40
Şekil 4.7.	İkinci mertebe gösterge değerleri	42
Şekil 4.8.	Kesme kuvvetleri	42
Şekil 4.9.	Eğilme Momentleri	43
Şekil 4.10.	Eksenel Kuvvetler	43
Şekil 4.11.	Yatay elastik tasarım spektrumunun SAP2000 programında oluşturulması.....	48

Şekil 4.12.	Response spektrum yüklemesinin tanımlanması	48
Şekil 4.13.	Burulma düzensizliği	49
Şekil 4.14.	Yumuşak kat düzensizliği	49
Şekil 4.15.	Görelî kat ötelemesi	49
Şekil 4.16.	Kesme kuvvetleri	50
Şekil 4.17.	Eğilme momentleri	50
Şekil 4.18.	Eksenel kuvvetler	50
Şekil 4.19.	Farklı analitik modellerde kolonlarda oluşan kesme kuvvetlerinin eşdeğer yük yöntemi ve mod birleştirme yöntemine göre karşılaştırılması	53
Şekil 4.20.	Farklı analitik modellerde oluşan tepe deplasmanlarının eşdeğer yük yöntemi ve mod birleştirme yöntemine göre karşılaştırılması	53
Şekil 4.21.	Farklı analitik modellerde depremin oluşturduğu taban kesme kuvvetlerinin eşdeğer yük yöntemi ve mod birleştirme yöntemine göre karşılaştırılması	54
Şekil 4.22.	Binanın yatay elastik ivme ve spektral yerdeğiştirme diyagramı	55
Şekil 4.23.	Duvarsız binanın statik itme eğrisi	56
Şekil 4.24.	Duvarsız binanın modal ivme- modal yerdeğiştirme eğrisi	57
Şekil 4.25.	Eşit deplasman kuralının geçerli olduğu durum	60
Şekil 4.26a.	Eşit deplasman kuralının geçerli olmadığı durum	60
Şekil 4.26b.	Sonuçların yaklaşık olarak bulunduğu ardışık adıma son verildiği durum	60
Şekil 4.27.	Binanın taşıyıcı elemanlarına plastik mafsallara atanması	61
Şekil 4.28a.	Linear olmayan düşey yükün tanımlanması	61
Şekil 4.28b.	Statik itme yükünün tanımlanması	62
Şekil 4.29.	Duvarsız model modal kapasite diyagramı	62
Şekil 4.30.	Enbüyük modal deplasmana kadar binanın statik olarak itilmesi	63
Şekil 4.31.	Duvarsız binada sonuçların yaklaşık olarak bulunduğu ardışık adıma son verildiği durum	64
Şekil 4.32.	SZ02 kolonu moment-eğrilik diyagramı	65
Şekil 4.33.	SZ14 kolonu moment-eğrilik diyagramı	65
Şekil 4.34.	Duvarsız bina taşıyıcı elemanlarının mafsallaşması	70
Şekil 4.35.	Tek eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş duvarlı binanın elemanlarının mafsallaşması	71
Şekil 4.36.	Üç eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş duvarlı binanın elemanlarının mafsallaşması	71
Şekil 4.37.	Üç eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvarların plastik dönme moment eğrisi	72
Şekil 4.38.	Tek eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvarların plastik dönme-moment diyagramı	72
Şekil 4.39.	Duvar malzemesi basınç dayanımı 2,5 MPa olan duvarlı binaların ve duvarsız binanın statik itme eğrileri	73
Şekil 4.40.	Duvar malzemesi basınç dayanımı 3 MPa olan duvarlı binaların ve duvarsız binanın statik itme eğrileri	73
Şekil 4.41.	Üç eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı binanın ve duvarsız binanın statik itme eğrileri	73

Şekil 4.42.	Tek eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı binanın ve duvarsız binanın statik itme eğrileri.....	74
Şekil 4.43.	Duvar malzemesi basınç dayanımı 2,5 MPa olan duvarlı binaların ve duvarsız binanın sözde-ivme modal deplasman diyagramı	74
Şekil 4.44.	Duvar malzemesi basınç dayanımı 3 MPa olan duvarlı binaların ve duvarsız binanın sözde-ivme modal deplasman diyagramı	75
Şekil 4.45.	Üç eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı binanın ve duvarsız binanın sözde-ivme modal deplasman diyagramı	75
Şekil 4.46.	Tek eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı binanın ve duvarsız binanın sözde-ivme modal deplasman diyagramı	75
Şekil 4.47.	Duvar malzemesi basınç dayanımı 2,5 MPa olan dolgu duvarlı binanın SZ02 kolonunun moment eğrilik diyagramı	76
Şekil 4.48.	Duvar malzemesi basınç dayanımı 3 MPa olan dolgu duvarlı binanın SZ02 kolonunun moment eğrilik diyagramı	76
Şekil 4.49.	Duvar malzemesi basınç dayanımı 2,5 MPa olan dolgu duvarlı binanın SZ14 kolonunun moment eğrilik diyagramı	77
Şekil 4.50.	Duvar malzemesi basınç dayanımı 3 MPa olan dolgu duvarlı binanın SZ14 kolonunun moment eğrilik diyagramı	77
Şekil 4.51.	Zaman tanım alanında hesap için analitik modellerde kullanılan deprem kayıtları	81
Şekil 4.52.	Deprem genliklerinin spektrumları	82
Şekil 4.53.	Deprem verilerinin fonksiyon olarak binaya girdi olarak verilmesi.....	82
Şekil 4.54.	Zaman tanım alanında linear yük tanımlanması	83
Şekil 4.55.	Etkiyen deprem verilerine göre farklı analitik modellerin tepki spektrumları	83
Şekil 4.56.	Binaya etkiyen depremin oluşturduğu zemin kat tepkileri	84
Şekil 5.1.	FEMA356'ya göre dolgu duvarların analitik modellenmesi	88
Şekil 5.2.	FEMA356 yönetmeliğine göre duvarsız binanın yatay elastik ivme tasarım spektrumu	94
Şekil 5.3.	Duvarlı bina yatay elastik tasarım spektrumu.....	95
Şekil 5.4.	Burulma düzensizliği kontrolü.....	97
Şekil 5.5.	Stabilite katsayısı değerleri	98
Şekil 5.6.	İç kuvvetlerin mukayese edilmesi.....	99
Şekil 5.7.	Bina ivme tasarım spektrumu eğrisinin analitik modele uygulanması	100
Şekil 5.8.	Linear dinamik prosedürlere göre iç kuvvetler	100
Şekil 5.9.	İdealize edilmiş kuvvet deplasman eğrisi	101
Şekil 5.10.	FEMA 356'ya göre spektral ivme-spektral deplasman eğrisi	103
Şekil 5.11.	FEMA 356'ya göre binanın statik itme eğrileri.....	104
Şekil 5.12.	Duvarsız binanın modal ivme-modal deplasman ve spektral ivme-spektral deplasman eğrisi	105
Şekil 5.13.	Duvarlı binanın modal ivme-modal deplasman ve spektral ivme-spektral deplasman eğrisi	106
Şekil 5.14.	Duvarsız binanın performans düzeyi	106

Şekil 5.15. Duvarlı binanın performans düzeyi	107
Şekil 5.16. SZ02 kolonu moment-eğrilik diyagramı.....	109



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Taban kesme kuvveti hesabı	36
Tablo 4.2. Eşdeğer deprem yükü hesabı.....	36
Tablo 4.3. Taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları.....	44
Tablo 4.4. Hakim mod periyotları ve kütle katılım oranları.....	45
Tablo 4.5. Modal taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları	52
Tablo 4.6. Modal ivme ve modal yerdeğiştirmelerin hesaplanması.....	57
Tablo 4.7. Referans kolonlar için kesit hasar sınırları.....	68
Tablo 4.8. Statik itme analizi sonucu duvarsız binanın SZ02 kolonuna ait plastik dönme, moment ve toplam eğrilik değeri.....	69
Tablo 4.9. Duvar malzeme basınç dayanımı 2,5 MPa olan duvarlı bina ve duvarsız binanın taşıyıcı kolonlarının birim şekil değeri istemleri.....	78
Tablo 4.10. Duvar malzeme basınç dayanımı 3 MPa olan duvarlı bina ve duvarsız binanın taşıyıcı kolonlarının birim şekil değeri istemleri.....	78
Tablo 4.11. Duvar malzeme basınç dayanımı 2,5 MPa olan duvarlı bina ve duvarsız binanın taşıyıcı kolonlarının performans düzeyleri	79
Tablo 4.12. Duvar malzeme basınç dayanımı 3 MPa olan duvarlı bina ve duvarsız binanın taşıyıcı kolonlarının performans düzeyleri	79
Tablo 4.13. Binanın duvarlı ve duvarsız durumlarında taban kesme kuvvetleri ve en büyük tepe deplasmanları	85
Tablo 4.14. SZ02 kolonunun betonarme binanın dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız durumların kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri.....	86
Tablo 5.1. FEMA356'ya göre dolgu duvar kriterleri	88
Tablo 5.2. FEMA356'ya göre binanın performans düzeyleri	89
Tablo 5.3. Sönüm katsayılarının efektif viskoz sönüme göre belirlenmesi.....	90
Tablo 5.4. Duvarsız bina deprem yatay kuvvetleri.....	96
Tablo 5.5. Duvarlı bina deprem yatay kuvvetleri.....	96
Tablo 5.6. Visköz sönüm değeri.....	96
Tablo 5.7. Duvarsız bina talep kapasite oranları	97
Tablo 5.8. Duvarlı bina talep kapasite oranları	97
Tablo 5.9. Taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı	99
Tablo 5.10. Duvarlı bina durumunda SZ02 kolonu moment eğrilik değeri.....	108
Tablo 5.11. Duvarsız bina durumunda SZ02 kolonu moment eğrilik değeri.....	108
Tablo 5.12. SZ02 kolonu performans düzeyi	110
Tablo 6.1. +X yönünde yanal kat ötelemeleri	113
Tablo 6.2. +X yönünde katların ikinci mertebe göstergeleri.....	114
Tablo 6.3. Duvarsız bina kesit hasar sınır değeri	117
Tablo 6.4. Tek eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvarlı bina	118
Tablo 6.5. Üç eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvarlı bina	118
Tablo 6.6. Duvarsız bina taşıyıcı kolonlarının performans düzeyleri ve plastik deplasmanları.....	118

Tablo 6.7. Tek eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı bina taşıyıcı kolonlarının performans düzeyleri ve plastik deplasmanları	119
Tablo 6.8. Üç eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı bina taşıyıcı kolonlarının performans düzeyleri ve plastik deplasmanları	119



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$(\Delta_i^{(X)})_{\max}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X doğrultusunda ki herhangi bir katın maximum görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i^{(X)})_{\min}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X doğrultusunda ki herhangi bir katın minimum görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X doğrultusunda ki herhangi bir katın ortalama görelî kat ötelemesi
$\dot{x}$	: Yapının etkin hızı
$\ddot{x}$	: Yapının ivmesi
μ	: Sönüm katsayısı
$\mu_{\text{harç}}$	: Bölüntüleme tasarımında kullanılan harcın kalınlığı
$a_1^{(X,k)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu için k’inci itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal sözde ivmesi
A_c	: FEMA356’da tanımlanan taşıyıcı elemanların enkesit alanı
a_i	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
A_{sh}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan enine donatının alanı
a_v	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan elemanın uç kısmındaki akma mukavemetinin, elemanın malzemeden kaynaklanan kesme direnci V_R ile moment kesme kuvveti oranı L_V ’nin çarpımından büyükse 1 olarak aksi durumda 0 olarak hesaba katılan parametre
a_{y1}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan akma sözde ivmesi
b_0	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutu
B_1	: FEMA 356’da tanımlanan sönüm katsayısı
b_k	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan en dıştaki enine donatının eksenleri arasındaki uzaklık
B_s	: FEMA 356’da tanımlanan sönüm katsayısı
c	: Yapısal sönüm
C_0	: FEMA356’da tanımlanan spektral deplasmanla ilişkili modifikasyon faktörü
C_1	: FEMA 356’da tanımlanan doğrusal elastik tepki için hesaplanan deplasmanlarda beklenen en büyük yer değiştirmeleri ilişkilendiren modifikasyon faktörü
C_2	: FEMA 356’da tanımlanan C_2 sıkışmış histeresis şeklinin, rijitlik degradasyonunun ve kuvvetin bozulmasının en büyük yer değiştirme tepkisi üzerindeki etkilerini temsil eden modifikasyon faktörü
C_3	: FEMA 356’da tanımlanan dinamik P- Δ etkilerine bağlı artan deplasmanları temsil eden modifikasyon faktörü
C_{cr}	: Yapının kritik sönümü

C_e	: Eşdeğer viskoz sönüm katsayısı
C_h	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan ise taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı olarak tanımlanan bir katsayı
C_m	: FEMA 356’da tanımlanan daha yüksek mod kütle parentifikasyon etkilerini hesaba katmak için etkili kütle faktörü
C_R	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan spektral yerdeğiştirme oranı
C_{vx}	: FEMA 356’da tanımlanan taban kesme kuvvetini binanın katlarına dağıtımını sağlayan düşey dağıtım faktörü
D	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan dayanım fazlalığı katsayısı
$d_1^{(X,k)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu için k’ ıncı itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yerdeğiştirmeleri
$d_{1,max}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu için modal tek serbestlik derecesinin en büyük yer değiştirmesi
d_b	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan boyuna donatının çapı
$d-d'$	: Taşıyıcı eleman kesit kolu uzunluğu
DD-1	: Deprem yer hareketi düzeyi 1
DD-2	: Deprem yer hareketi düzeyi 2
DD-3	: Deprem yer hareketi düzeyi 3
DD-4	: Deprem yer hareketi düzeyi 4
d_e	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan göze alınan yön doğrultusunda katın en büyük deplasmanı
d_m	: Eşdeğer basınç çubuğunun uzunluğu
d_r	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan yanal kat ötelemesi
d_s	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan katların yanal deplasmanı
E_c	: Betonarme binada kullanılan betonun elastisite modülü
E_d	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan dolgu duvarların elastisite modülü
E_{dolgu}	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan dolgu duvarların elastisite modülü
E_m	: Dolgu duvarın elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
F	: Betonarme çerçevede taşıyıcı elemanların düğüm noktasına etkiyen yanal yük
$F(t)$	: Yapıya etki eden zorlanmış titreşim kuvveti
f_b	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan dolgu duvarların normalize edilmiş basınç dayanımı
f_c	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan sargısız betonun basınç dayanımı
f_{cc}	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan sargılı betonun basınç dayanımı
f_{ce}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan betonun ortalama basınç dayanımı
f_d	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan dolgu duvarların basınç dayanımı

f_{d1}	: Coulomb cisim sönümünde tanımlanan sönümleme kuvveti
$F_{ic}^{(x)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan kat döşemelerinin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda X doğrultusunda hesaplanan eşdeğer deprem yükü
$f_{ixn, max}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan verilen X deprem doğrultusu için tipik bir n'inci titreşim modunda i'inci katta etkiyen en büyük modal deprem yükü
f_k	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan dolgu duvarların karakteristik basınç dayanımı
f_m	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan duvar birleşimlerinde kullanılan harcın basınç dayanımı
F_x	: FEMA 356'da linear analiz prosedürlerine göre tanımlanan X deprem doğrultusunda ki eşdeğer deprem yükü
F_{ye}	: FEMA356'da tanımlanan taşıyıcı elemanların boyuna donatılarının akma dayanımı
f_{ywe}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan enine donatının ortalama akma dayanımı
G	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan binada malzemelerden kaynaklanan sabit yük
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan taşıyıcı elemanın enkesit yüksekliği
h_0	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutu
h_c	: Kolonun kirişe bağlı olan yerinin diğer alttaki kirişe bağlı olan yeri arasındaki yüksekliği
h_i	: FEMA 356' da tanımlanan i'nci katın yüksekliği
H_i	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan göze alınan X doğrultusunda bina katının bulunduğu konumun yerde yüksekliği
h_m	: Dolgu duvarın yüksekliği
h_z	: Betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki bağlantı uzunluğuna bağlı bir parametre
I	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan bina önem katsayısı
I_c	: Betonarme binada taşıyıcı kolonların atalet momenti
K	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan harcın genişliği ile duvarın kalınlığı arasında ki oranı gösteren katsayı
k	: Yapının eşdeğer rijitliği
K_e	: FEMA 356'da tanımlanan linear olmayan prosedürlere göre binanın efektif yanal rijitliği
K_i	: FEMA 356'da tanımlanan linear olmayan prosedürlere göre binanın elastik yanal rijitliği
k_m	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan duvarlı yapı sisteminin göçme öncesi modu ile ilişkili faktör
L	: FEMA 356'da tanımlanan taşıyıcı elemanın boyunu
L_p	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan plastik mafsalsal boyu
L_{pl}	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan plastik mafsalsal boyu
L_s	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan taşıyıcı elemanların kesme açıklığı

L_v	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan son itme adımında ki taşıyıcı elemanın eğilme momentinin kesme kuvvetine oranı
l_{yay}	: Bölüntüleme tasarımında kullanılan yayın uzunluğu
m	: Binanın kütlesi
M_{3-3}	: Taşıyıcı kolonlarda depremin oluşturduğu eğilme momenti
m_i	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan katın düşey yükler altında ki ağırlığı
M_{OT}	: FEMA 356'da linear analiz prosedürlerine göre tanımlanan sismik yüklerin oluşturduğu stabilize momenti
$M_{oxn, max}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan verilen X deprem doğrultusu için tipik bir n' inci titreşim modunda, taşıyıcı sistemin x eksenli doğrultusunda enbüyük modal taban kesme kuvvetine karşılık gelen taban devrilme momenti
M_{st}	: FEMA 356'da linear analiz prosedürlerine göre tanımlanan sabit yüklerin oluşturduğu stabilize momenti
m_t	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan, binanın düşey yüke göre toplam ağırlığı
$m_{tx1}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan X deprem doğrultusu için binanın birinci moduna ait etkin kütlesi
$m_{txn}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan verilen X deprem doğrultusu için hesaplanan modal taban kesme kuvveti etkin kütlesi
P	: Taşıyıcı kolonlarda depremin oluşturduğu eksenel kuvvet
P_i	: FEMA 356'da tanımlanan düşey yüklerin bina da oluşturduğu ağırlığın %25'nin katlara yansımış değeri
ϕ_{ixn}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan i'inci katta x eksenli doğrultusunda n'inci doğal titreşim mod şekli genliği
ϕ_t	: Taşıyıcı elemanın son itme adımında ki toplam eğriliği
P_{tot}	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan düşey yüklerin binanın katında oluşturduğu ağırlık
q	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan davranış faktörü
Q	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan binada oluşan hareketli yük
Q_{CE}	: FEMA 356'da tanımlanan taşıyıcı kolonların malzeme akma dayanımlarına ve enkesit alanlarına bağlı olarak hesaplanan kuvvet
Q_D	: FEMA 356'da tanımlanan binada ki sabit yük
Q_E	: FEMA 356'da tanımlanan depremin binada oluşturduğu kuvvet
Q_G	: FEMA 356'da tanımlanan binada ki toplam düşey yük
Q_L	: FEMA 356'da tanımlanan binada ki hareketli yük
Q_s	: FEMA 356' da tanımlanan binada ki kar yükü
q_{sx}	: EUROCODE 8' e göre tanımlanan enine donatının hacimsel oranı
Q_{UD}	: FEMA 356'da tanımlanan depremden ve yerçekiminden kaynaklanan kuvvet
R	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısı
R_{OT}	: FEMA 356'da linear analiz prosedürlerine göre tanımlanan performans düzeyi faktörü

R_y	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan akma dayanımı azaltma katsayısı
s	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan enine donatı aralığı
S_a	: FEMA 356’da tanımlanan binanın dikkate alınan yöndeki, sönüm oranına ve temel periyoda göre elde edilen tepki spektrumu ivme değeri
$S_{ae}(T)$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de göze alınan yönde tanımlanan yatay elastik tasarım ivmesi
$S_{ae}(T)$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan yatay elastik spektral ivmeler
$S_{aR}(T_p^{(X)})$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan gözönüne alınan (X) deprem doğrultusunda azaltılmış tasarım spektral ivmesi (g)
S_{D1}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de göze alınan yönde tanımlanan 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
$S_{de}(T)$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan yatay elastik spektral yerdeğiştirmeler
$S_{di}(T_1)$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1 ’e karşılık gelen spektral yerdeğiştirmesi
S_{DS}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de göze alınan yönde tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumunda kısa periyot
S_{X1}	: FEMA 356’da tanımlanan binanın bulunmuş olduğu konuma göre deprem haritalarından elde edilen ivme değeri
S_{XS}	: FEMA 356’da tanımlanan binanın bulunmuş olduğu konuma göre deprem haritalarından elde edilen ivme değeri
t	: Dolgu duvarın kalınlığı
T	: Yapının hakim doğal titreşim periyodu
t	: Yapıya etkiyen süre
T_0	: FEMA 356’da tanımlanan elastik ivme tepki spektrumu kısa periyodu
T_A	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de göze alınan yönde tanımlanan yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de göze alınan yönde tanımlanan yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_e	: FEMA 356’da tanımlanan linear olmayan prosedürlere göre hesaplanan binanın efektif periyodu
T_i	: FEMA 356’da tanımlanan linear olmayan prosedürlere göre binanın elastik periyodu
T_L	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de göze alınan yönde tanımlanan yatay elastik tasarım ivme spektrumunda geçiş periyodu
T_p	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan binanın titreşim periyodu
T_s	: FEMA 356’da tanımlanan elastik ivme tepki spektrumu karakteristik periyodu
U	: Histeresis sönümde tanımlanan enerji

$u_i^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu için binanın i’inci katında herhangi bir kolonun ve perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirme
$u_{i-1}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu için binanın i-1’inci katında herhangi bir kolonun ve perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirme
$u_{Nx, 1}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu için yatay yük artırımlarıyla statik itme yapılan binada ki tepe deplasmanı
V	: FEMA 356’da tanımlanan linear statik prosedürlere göre hesaplanan taban kesme kuvveti
V_{2-2}	: Taşıyıcı kolonlarda depremin oluşturduğu kesme kuvveti
V_i	: FEMA 356’da tanımlanan i’nci kata etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
$V_i^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu için binanın i’inci katında oluşan taban kesme kuvveti
V_{te}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan eşdeğer yük yöntemine göre göze alınan yönde hesaplanan taban kesme kuvveti
V_{tot}	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan katlarda oluşan eşdeğer deprem yükü
$V_{tx1}^{(X,k)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu için yatay yük artırımlarıyla statik itme yapılan binada ki taban kesme kuvveti
$V_{txn, max}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan verilen X deprem doğrultusu için tipik bir n’inci titreşim modunda, taşıyıcı sistemin x eksenini doğrultusunda en büyük modal taban kesme kuvveti
V_y	: FEMA356’da tanımlanan linear olmayan prosedürlere göre elde edilen statik itme eğrisinden elde edilen ve donatının akmasını sağlayan kesme kuvveti
w	: Eşdeğer basınç çubuğunun efektif genişliği
W	: FEMA 356’da tanımlanan düşey yükler altındaki binanın efektif sismik ağırlığı
w	: Yapının sönümlü açısal frekansı
W_D	: Yapının açısal doğal frekansı
w_k	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan binanın k’inci katı ağırlığı
x	: Yapının yer değiştirmesi
X_0	: Yapının başlangıç yer değiştirmesi
z	: Betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki bağlantı uzunluğu
z_0	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan taşıyıcı eleman kesit kolu uzunluğuna eşit olan parametre
α	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan yapısal olmayan elemanların türünü ve yapıya ilişkin düzenlemelerini dikkate alan faktör
α_{se}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan sargılama donatısının etkinlik katsayısı
β	: FEMA 356’da tanımlanan efektif viskoz sönüm

$\beta_{te}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan verilen X deprem doğrultusunda eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
$\Gamma_n^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu için n’inci titreşim moduna ait modal katkı çarpanı
Δ	: Binanın taşıyıcı elemanı sünekliliği
$\Delta F_{NE}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan binanın X doğrultusunda binanın N’inci katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
δ_i	: FEMA 356’da tanımlanan katların görelî kat ötelemesinin ölçüm değeri
$\delta_i^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu için binanın i’inci katında herhangi bir kolonun ve perdenin etkin görelî kat ötelemesi
$\Delta_i^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X doğrultusunda i’inci katındaki görelî kat ötelemesi
$\delta_{i,max}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X deprem doğrultusu en büyük görelî kat ötelemesi
$\Delta_{i+1}^{(X)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan X doğrultusunda i+1’inci katındaki görelî kat ötelemesi
δ_{max}	: FEMA 356’da linear analiz prosedürlerine göre tanımlanan zemin diyaframında ki herhangi bir noktada ki en büyük yer değıştirme
δ_{ort}	: FEMA 356’da linear analiz prosedürlerine göre tanımlanan zemin diyaframında ki herhangi bir noktada ki ortalama yer değıştirme
Δ_{pl}	: Binanın taşıyıcı elemanında ki en büyük plastik yer değıştirme
δ_t	: FEMA 356’da tanımlanan binanın zamana bağılı olan hedef deplasmanı
ΔU	: Histeresis sönümde tanımlanan enerji kaybı
Δ_y	: Binanın taşıyıcı elemanında ki en büyük elastik yer değıştirme
ϵ_c	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan beton birim kısılması
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan beton birim kısılması göçme öncesi performans düzeyi
$\epsilon_c^{(KH)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan beton birim kısılması kontrol edilebilir performans düzeyi
$\epsilon_c^{(SH)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan beton birim kısılması sınırlı hasar performans düzeyi
ϵ_{cu}	: EUROCODE 8’e göre tanımlanan beton birim kısılması
ϵ_s	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan donatının birim kısılması
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan donatının birim kısılması göçme öncesi performans düzeyi
$\epsilon_s^{(KH)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan donatının birim kısılması kontrol edilebilir performans düzeyi
$\epsilon_s^{(SH)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan donatının birim kısılması sınırlı hasar performans düzeyi
ϵ_{su}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de tanımlanan çekme dayanımına karşılık gelen birim uzama
ϵ_y	: Donatı çeliğinin nihai birim şekil değıştirmesi

η	: FEMA 356'da linear analiz prosedürlerine göre tanımlanan deplasman çarpanı
η_{bi}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan katın burulma düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan yumuşak kat düzensizliği katsayısı
θ	: Çapraz diyagonal basınç çubuğunun tanjant değeri
θ_0	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan ikinci mertebe etkilerini kontrol etmek için hesap edilen katların ötelenme duyarlılık katsayısı
$\theta_{II,i}^{(x)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan X deprem doğrultusu için binanın i'inci katında hesaplanan ikinci mertebe gösterge değeri
$\theta_{II,max}^{(x)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan X deprem doğrultusu enbüyük ikinci mertebe gösterge değeri
θ_i	: FEMA 356'da P-Δ etkilerini kontrol edebilebilmesi için hesaplanan stabilite katsayısı
θ_p	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan taşıyıcı elemanın dönme kapasitesi
$\theta_p^{(GÖ)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan taşıyıcı elemanın dönme kapasitesi olarak göçme öncesi performans düzeyi
$\theta_p^{(KH)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan taşıyıcı elemanın dönme kapasitesi olarak kontrol edilebilir performans düzeyi
$\theta_p^{(SH)}$	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan taşıyıcı elemanın dönme kapasitesi olarak sınırlı hasar performans düzeyi
θ_{um}	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan taşıyıcı elemanların dönme kapasitesi
θ_y	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan taşıyıcı elemanların akma anındaki dönme değeri
κ	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan binanın çelik veya betonarme olması durumunda farklı değer alan görelî kat ötelemesi katsayısı
λ	: Binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için TBDY 2018'de tanımlanan DD-3 deprem yer hareketi için hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketi için hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır.
λ_h	: Dolgu duvar ile betonarme çerçeve arasındaki rijitlik oranına bağlı olan bir parametre
ν	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan sismik etkilerin oluşturduğu düşük periyotta dikkate alınan ve hasar sınırlama ile ilişkili olan faktör
ρ	: Sönüm oranı
ρ_{sh}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan enine donatının hacimsel oranı
ρ_{yay}	: Bölüntüleme tasarımında kullanılan yay sabiti
τ_d	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan dolgu duvarların kayma dayanımı
Υ_e	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan eşdeğer taban büyütme katkı çarpanı

Y_{el}	: EUROCODE 8'e göre tanımlanan temel sismik elemanlar ve ikincil sismik elemanlar için farklı değerler alan dönme kapasitesi çarpanı
φ_u	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan göçme öncesi akma eğriliği
φ_u	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan göçme öncesi toplam eğriliği
ω_{we}	: Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan etkin sargı donatısının mekanik oranı

Kısaltmalar

AFAD	: Afet ve Acil Durum
ASCE	: Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği (American Society of Civil Engineers)
CP	: Göçme Öncesi Performans Düzeyi (Collapse Prevention)
DCR	: Talep Kapasite Oranı (Demand Capacity Ratio)
DL	: Sınırlı Hasar Düzeyi (Limit State of Damage Limitation)
EN	: Avrupa Standartları (European Standart)
EUROCODE	: Avrupa Yapısal Tasarım Yönetmeliği (European Structural Design Code)
FEMA	: Federal Acil Yönetim Ajansı (Federal Emergency Management Agency)
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
HR	: Azaltılabilir Performans Düzeyi (Limit State of Heavy Reduced)
IO	: Hemen Kullanım Düzeyi (Immediate Occupancy)
KH	: Kontrol Edilebilir Hasar Performans Düzeyi
LDP	: Doğrusal Dinamik Prosedür (Linear Dynamic Procedure)
LS	: Can Güvenliği Performans Düzeyi (Life Safety)
LSP	: Doğrusal Statik Prosedür (Linear Static Procedure)
NC	: Göçme Öncesi Performans Düzeyi (Limit State of Near Collapse)
OP	: Operasyonel Performans Düzeyi (Limit State of Operational Performance)
SAP	: Yapı Analizi Programı (Structural Analysis Program)
SD	: Önemli Hasar Düzeyi (Limit State of Significant Damage)
SEM	: Sonlu Eleman Metodu
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
STA4CAD	: Yapı Analizinde Bilgisayar Destekli Tasarım (Structural Analysis For Computer Aided Design)
TBDY	: Türk Bina Deprem Yönetmeliği
TEDBÇM	: Tek Eşdeğer Basınç Çubuğu Modeli
TS	: Türk Standartları
ÜEDBÇM	: Üç Eşdeğer Basınç Çubuğu Modeli

DEPREM ETKİSİNDEKİ BETONARME BİNALARIN DAVRANIŞINA DOLGU DUVARLARIN SÖNÜMLEYİCİ SİSTEM OLARAK ETKİLERİ

ÖZET

Dolgu duvar bir yapının ana yapısal çerçevesinin düzlemleri içine inşa edilen ve mimari fonksiyonları yerine getirmek için kullanılan panele verilen genel isimdir. Dolgu duvarların yapı davranışına büyük etkisi olmasına rağmen yapısal olmayan eleman olarak düşünülmüştür. Son yıllarda yapılan çalışmalar, dolgu duvarların yapının rijitliğini ve ağırlığını artırdığı için binanın dinamik davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bu çalışmada dolgu duvarlar bölme eleman olarak kullanıldığında betonarme binanın tepe deplasmanına, taban kesme kuvvetine, taşıyıcı elemanların eğilme momentine, görelî kat ötelemesine, yumuşak kat etkisine ve binanın plastik mafsallı davranışına nasıl etki yaptığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, Türkiye'de Erzurum İli Oltu İlçesinde deprem etkisindeki 4 katlı betonarme binanın davranışında dolgu duvarların sönümleyici katkısını açıklamak için yönetmeliklerde önerilen Eşdeğer Yanal Deprem Yük Analizi, Mod Birleştirme Analizi, Statik İtme Analizi ve Zaman Tanım Alanında Analiz gibi yöntemler kullanılmıştır. Bununla birlikte Türk Deprem Yönetmeliği 2018, EUROCODE 8, FEMA 356 yönetmeliklerindeki dolgu duvarların betonarme etkisi önerilen kriterler çerçevesinde tartışılmıştır. Bu çalışmada, geçmiş çalışmalarda deneysel çalışılarak doğruluğu gösterilmiş dolgu duvar modelleri olan tek eşdeğer basınç çubuğu yöntemi, üç eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi analiz modellerinde kullanılmıştır. Ayrıca, dolgu duvar ile betonarme çerçeve arasındaki doğrusal olmayan ilişkinin analitik olarak modellenmesi karmaşıktır. Bundan dolayı, bu çalışmada dolgu duvarlar makro ve mikro modelleme teknikleriyle analitik çalışmada göz önüne alınmıştır. Çalışmada elde edilen analiz sonuçlarına göre, dolgu duvarlar betonarme binada sönüm oranını artırdığını göstermiştir. Buna ek olarak, analitik olarak dolgu duvarları betonarme binada en iyi temsil eden yöntemin üç eşdeğer basınç çubuğu olduğu izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Binalar, Dolgu Duvarlar, Sönümleyici Sistemler.

EFFECTS OF INFILL WALLS AS DAMPING SYSTEMS ON THE REINFORCED CONCRETE BUILDINGS IN THE EARTHQUAKE EFFECT

ABSTRACT

The Infill wall is the general name given to the panels which are constructed in the frame planes of the main structural system of a building and as well as performs the architectural functionality. Although the infill walls have a great impact on the structural behaviour, they are accepted as a non-structural element. Recent studies have shown that the infill walls significantly affect the dynamic behaviour of the building in accordance with the increments in rigidity and weight as well. In this study, when the infill walls that are considered as partition walls and non-structural part in practice are if included as a structural member, it has been observed how the total building behavior changes and affects the peak displacement, base shear force, bending moment of the bearing elements, relative story displacements, soft floor effect and the plastic hinge behaviour of the building. In the town of Oltu-Erzurum in Turkey, 4 story reinforced concrete building was chosen as a study building to show the damping of contribution of the infill walls to the structural behavior by recommend of regulations are used methods such as Equivalent Lateral Load Analysis, Response Spectrum Analysis, Analysis of Static Pushover, Time Domain Analysis are strically followed in this study. In addition to the reinforced concrete effect of the infill walls in Turkish Earthquake Code 2018, EUROCODE 8, FEMA 356 codes are discussed within the framework proposed criteria. In this study, in wall modelling approach, equivalent single strut method, equivalent three- strut method and finite element method that were offered by past experimental studies. Furthermore, analytical modelling of the nonlinear relationship between the infill wall and the reinforced concrete frame is complex. Because in this study, infill walls are considered in analytical study with macro and micro modeling techniques. According to the results obtained showed that the infill walls increase the damping ratio in the reinforced concrete building. In addition, analytically the infill walls were observed to be equivalent three- strut bar, which represent the best method in the reinforced concrete building.

Keywords: Reinforced Concrete Buildings, Infill Walls, Damping Systems.

GİRİŞ

Yapılan çalışmalara ve yaşanan depremlere göre deprem etkisi altındaki binaların performans değerlendirilmesinde veya tasarımında dolgu duvarların önemli ölçüde etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Betonarme binalar dolgu duvarlı olarak inşa edilirse binada bazı olumsuz durumlar giderilebilir. Dolgu duvarlar betonarme binalarda bölme eleman olarak kullanıldığında, binanın ağırlığını ve rijitliğini artırdığı ve bundan dolayı binanın doğal hakim periyodunu azalttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra dolgu duvarın betonarme binaların davranışına bazı olumsuz katkıları da olabilir. Bu çalışmanın amacı farklı ülkelerin deprem yönetmeliğindeki kriterler esas alınarak farklı analitik yöntemlerle dolgu duvarların betonarme binaların davranışındaki etkisini ve dolgu duvarların sönümleyici özelliklerini belirlemektir.

Bu çalışmada 4 katlı betonarme binanın deprem etkisinde çeşitli analitik uygulamalarla performansı değerlendirilmiştir. Bu performans değerlendirilmesinde iki durum karşılaştırılmıştır. İlk durum betonarme binanın duvarsız modellenelerek analiz sonuçlarının değerlendirilmesiirken ikinci durum dolgu duvarlı olarak modellenen binanın analiz sonuçlarının değerlendirilmesidir. Betonarme binayı dolgu duvarlı olarak modellemek için, binada ki dolgu duvarları temsil edilmesi gerekir. Bundan dolayı dolgu duvarlar yerine, dolgu duvar ile ilgili önceki yapılan çalışmalarda önerilmiş makro ve mikro modeller kullanılmıştır. Bir sonraki bölümlerde makro ve mikro modeller detaylı olarak anlatılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

Dolgu duvarlar binanın dış kısımlarında ve iç kısımlarında kullanılır. Binanın tasarımı veya değerlendirilmesinde, dolgu duvarlar genelde yapısal olmayan eleman olarak kullanılır ve analitik modelde gözardı edilir. Çünkü dolgu duvarlar yapı tepkisinde faydası olmadığı düşünülmüştür [1]. Bu dolgu duvarlar betonarme çerçeve ile karşılaştırıldığında gevrek eleman olarak düşünülür. Matematiksel formülasyonunda bu dolgu duvarlar gözardı edildiğinde yanal rijitlikte, mukavemette ve süneklilikte önemli ölçüde yanlışlıklara yol açar. Çoğu mühendisin dolgu duvarın kompozit davranışında yetersiz bilgiye sahip olması ve dolgu duvarların modellenmesi konusunda eksikliğinden dolayı dolgu duvarların binanın deprem etkisinde ki davranışına olumsuz etkisi olduğu düşünülmüştür. Ancak, son zamanlarda yapılan çalışmalara göre dolgu duvarlı çerçeve yapıları yüksek sismik bölgelerde yanal direnci sağlamak için kullanıldı. Özellikle bu bölgelerde yüksek yapıların önemli kısmında oluşan gerçek sismik kodların gelişmesinden sonra malzeme ve ekonomik sebeplerden dolayı dolgu duvarlar betonarme binalardaki hesaplara dahil edildi. Bu tür binalarda sismik etkilere karşı binanın direncinin artması için ilk olarak bina değerlendirilmesi yapıldı. Sismik tasarım içeren bu tür model yapısı mühendisler için önemlidir.

Deney sonuçlarından açıkça gözlemliyoruz ki [1] dolgu duvarlı çerçeveli yapılar yüksek oranda doğrusal olmayan davranışlar sergiliyor. Dolgu duvarların, doğrusal olmayan davranışa katkının en önemli faktörlerinden biri malzemenin doğrusal olmamasıdır. Bu faktörlerden diğerleri ise dolgu duvarların çatlaması veya ezilmesi yoluyla rijitlik ve mukavemet aşınımıdır ve bunun yanı sıra dolgu duvar ile betonarme çerçevenin iç yüzeyinde çeşitli bağlantılarla sürtünme mekanizmasının aşınmasıdır. Bu belirtmiş olduğumuz doğrusal olmayan özelliklerine ek olarak, özellikle yapı büyük düşey deplasmanlara maruz kaldığında dolgu duvarlarda doğrusal olmayan geometrik etkiler de oluşur. Ancak, bu etkiler yapı analizlerine dahil edilmemiştir. Dolgu duvarların malzeme özellikleri doğrusal olmadığı için yapı analizlerinde tanımlamak oldukça zordur. Bundan dolayı, mukavemet ve rijitlik

aşınmasından dolayı dolgu duvarlar elasto-plastik olarak modellenemeyebilir. Dolgu duvarlı yapılar doğrusal olmayan davranış gösterdiği için deneysel verilerle desteklenmeyen modeller sistem davranışında hatalara yol açacaktır. Dolgu duvarlı yapıların modellenmesinin zor olmasının nedenleri şöyledir [2];

- Malzeme özelliklerinin doğrusal olmaması; bu nedenle gerilme ve birim şekil değiştirmenin anlık olarak değişmesi.
- Dolgu duvar panelinin betonarme çerçeve ile etkileşiminin doğrusal olmaması.
- Deprem esnasında yapıda oluşan hasarların düzenli olmaması.

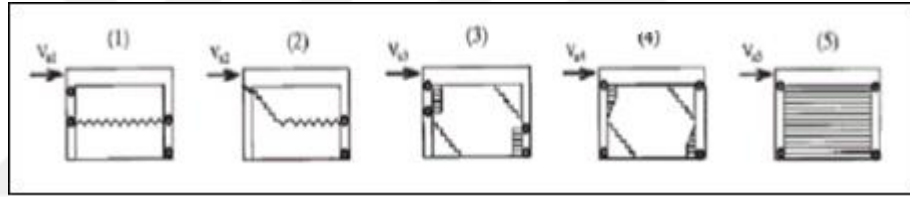
Dolgu duvarlar, yapının yanal rijitliğini ve kütlesini arttırdığı için yapının doğal periyodunu değiştirmektedir ve bu nedenle yapının dinamik karakteristiklerini değiştirir. Dolgu duvarlar yapının mimari fonksiyonlarını karşılamak için kullanılsa da, son dönemlerde ki araştırmalar dolgu duvarların yapının yanal yük dayanımını arttırdığını göstermiştir. Son dönemlerde yaşanan Erzincan, Düzce ve İzmit depremlerinde dolgu duvarların yapı dayanımına ve rijitliğine büyük ölçüde katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

1.1. Dolgu Duvarların Tarihsel Gelişimi

Dolgu duvarların analitik modellenmesiyle ilişkili son 50-60 yıldır bazı analitik ve deneysel çalışmalar yayınlandı. Tüm makaleler dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin duvarsız çerçevelere göre daha fazla rijitliğe ve mukavemete sahip olduğunu göstermiştir. Başka bir deyişle, kütle, rijitlik, dinamik karakteristikler tüm yapıda değiştiği için binanın karakteristikleri ayrıca değişir [3]. Dolgu duvarlar betonarme binanın yerel ve genel göçme modları üzerinde etkiye sahip olduğu açıklanmıştır [4].

Polyakov'un 1957 yılındaki araştırmaları, Holmes [5], analitik modelde dolgu duvarların yerine eşdeğer basınç çubuğu kullanılmasını önerdi. Bu öneride eşdeğer basınç çubuğunun genişliğinin çubuğun çapraz uzunluğunun üçte birine eşit olduğu kabul edilmiştir ve bunun yanısıra dolgu duvar ile eşdeğer basınç çubuğunun aynı malzeme özelliklerini taşıdığı varsayılmıştır. Smith [6] ve Smith ve arkadaşları [7], eşdeğer basınç çubuğunun genişliğinin dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevedeki rijitlik oranına bağlamışlardır. Mainstone [8], teorik denklemleri deneysel ilişkilerle değiştirdi. Elastik teoriler gerçek bir şekilde dolgu duvarlı betonarme çerçeveyi

temsil etmediğinden dolayı 1970'lerden beri bu yöntemleri belirtmek için plastik teoriler dikkate alınmıştır [9,10]. Sonunda Saneinejad ve Hobbs [11], bu konunun temelini günümüz araştırmacılar tarafından kabul edilen ana sonuçları içeren yeniden özet makalesi yayınladılar. Shing ve Mehrabi [12] tarafından belirlenen standart modeller kullanılarak dolgu duvarlı beton çerçevenin mukavemeti kolay bir şekilde hesaplanabildi. Tek katlı, tek açıklıklı betonarme çerçevelerde en yüksek yük taşıma kapasitelerinin herbirinin en yaygın ve farklı hata modları tanımlanmıştır (Şekil-1.1). Günümüzde yatay periyodik yüklemeye, özellikle betonarme çerçevelerde duvarların sismik hassasiyetinin incelenmesine özel önem verilmiştir. Yapısal tasarım sürecinde yazılımların gelişimi ile birçok analitik model ve sonuçlar uluslararası bilimsel literatürde yayınlanmıştır [13]. Yukarıda dolgu duvarların çelik çerçeve ile bağlantılı olan [6,14,15] ve betonarme çerçeve ile bağlantılı olan [16,17,18] tüm deney sonuçları verilmiştir.

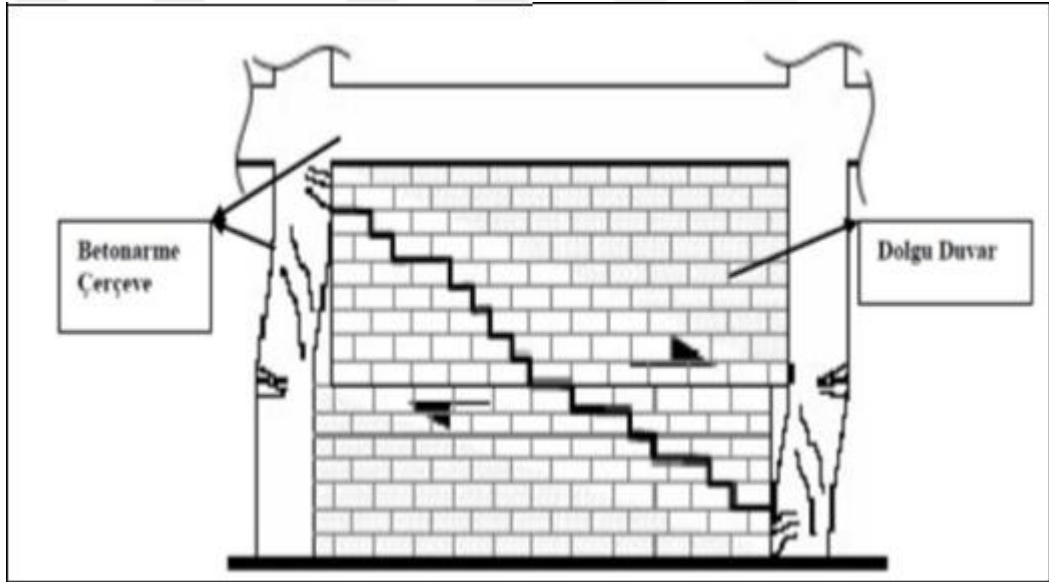


Şekil 1.1. Tek katlı ve tek açıklıklı dolgu duvarlı betonarme çerçevenin göçme modları [12]

1.2. Dolgu Duvarların Betonarme Binanın Davranışına Olumlu Etkileri

Dolgu duvarlar, yapılan çoğu çalışmada betonarme binanın tasarımında veya performansının belirlenmesinde taşıyıcı eleman olarak kullanılmamıştır ve bu durum da binanın deprem esnasında davranışını olumsuz olarak etkilemiştir. Son yapılan çalışmalarda, dolgu duvarlar betonarme binanın yapısal rijitliğini ve ağırlığını arttırdığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı dolgu duvarlar binanın doğal hakim periyodunu düşürerek binada oluşan taban kesme kuvvetini arttırmıştır ve bu da gösteriyor ki binaların performansının değerlendirilmesinde veya tasarımında dolgu duvarın bir bölme eleman olarak hesaba dahil edilmesi gerekir. Özellikle Türkiye gibi bina inşaatlarında dolgu duvarların çok kullanıldığı ülkelerde bu durum çok önemlidir. Dolgu duvarları hesaba dahil edebilmek için davranışının anlaşılması gerekmektedir. Dolgu duvarlar deprem etkisindeki betonarme binaların davranışlarında yapıya gelen deprem enerjisini önemli ölçüde sönmeler ve yapının

yükünü azaltır [19,20]. Bu etkilerinin yanısıra yapılan çalışmalar, dolgu duvarlar betonarme binalarda görelî kat ötelemelerini, binada oluşan ikinci mertbe etkilerini, kolonlarda oluşan iç kuvvetleri azalttığı gözlemlenmiştir. Yapılarda deprem esnasında yapının plastik deformasyon yapabilmesi gerekir. Yapıda hasar oluşmalı ancak yapı göçme düzeyi performans seviyesini sağlamamalıdır. Yapı plastik deformasyon yaptıkça, artan süneklilikle deprem enerjisi karşılanmaktadır. Deprem esnasında mafsallaşmanın ilk olduğu yerler dolgu duvarlar olduğu için, dolgu duvarlar yapının sünekliliğini artırır ve dolgu duvarlar sayesinde yapı göçmeden plastik deformasyon yapabilir [21]. Dolgu duvarlar binada çatlayan ilk elemanlar olduğu için, depremden gelen enerjiyi bu çatlamalar sayesinde büyük ölçüde sönümler [22].



Şekil 1.2. Dolgu duvar çatlağı [23]

1.3. Dolgu Duvarların Betonarme Binanın Davranışına Olumsuz Etkileri

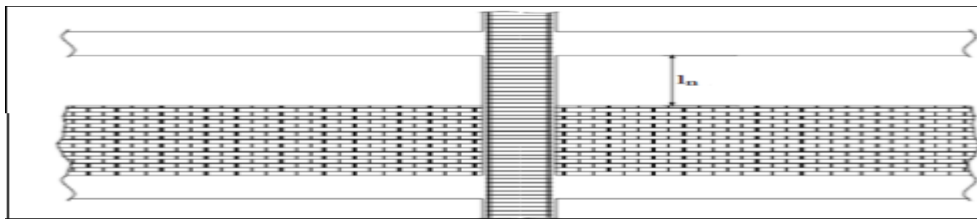
Betonarme binaların analitik modellenmesinde dolgu duvarı etki ettirmemiz için malzeme karakteristiklerini ve davranışını analitik modelde temsil edebilecek teknik elemanlar gerekmektedir. Dolgu duvarlar yüksek oranda doğrusal olmayan davranış gösterdiği için, dolgu duvarın analitik modelde tanımlamamız karmaşık bir konudur. Bundan dolayı tamamen deneysel verilerle desteklenmeyen model kullanıldığında betonarme binanın davranışında önemli ölçüde hatalar meydana gelebilir. Dolgu duvarların diğer olumsuz davranışlarından birisi de binalarda yumuşak kat etkisi

oluşturmasıdır. Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de [24] belirtilen yumuşak kat etkisi katsayısı 2’den büyük olmaması gerekirken bazı katlarda dolgu duvarların olmaması (otopark, işyeri vb) ve diğer katlarda düzenli olarak dolgu duvarların bulunması yumuşak kat etkisi katsayısını 2’den büyük yapabilir. (Şekil 1.3)



Şekil 1.3. Tipik yumuşak katın bulunduğu bina [25]

Dolgu duvarlar, betonarme binada simetrik bir şekilde yerleştirilmezse betonarme binada burulma düzensizliği oluşabilir. Simetrik olmayan yerleşim sonucunda, sistemin rijitlik merkezi kütle merkezinde olmaz ve bundan dolayı eksantrisiteler oluşur bu da binada ilaveten burulmaya neden olur. Bu durumun tasarım yapılırken mutlaka göz önünde bulundurulması gerekir aksi taktirde bina ek kuvvetlere ve gerilmelere maruz kalabilir. Türk Deprem Yönetmeliği 2018’de [24] burulma düzensizliği katsayısı 1,2 olarak işlem yapılır. Bu olumsuz davranışların yanısıra dolgu duvar bazen kapı veya pencere boşluğu gibi durumlarda kolon boyunca devam ettirilmeyecek şekilde örülür bu durumda kolonun açıklığı azalır ve kolonların üst ve alt ucunda beklenen plastik mafsallaşma kolonun farklı bir bölümünde oluşabilir, bu durumda kolonu tasarlarken hesapladığımız kuvvetlerden daha fazlasına maruz kalmasına sebep olur. Bu açıkladığımız olayın adı kısa kolon etkisidir (Şekil 1.4). Kısaca özetlemek gerekirse dolgu duvar kısa kolon etkisi, yumuşak kat ve burulma etkisi oluşturabilir.



Şekil 1.4. Dolgu duvarların etkisiyle kısa kolon oluşumu [24]

1.4. Dolgu Duvarların Modellenmesine İlişkin Esaslar

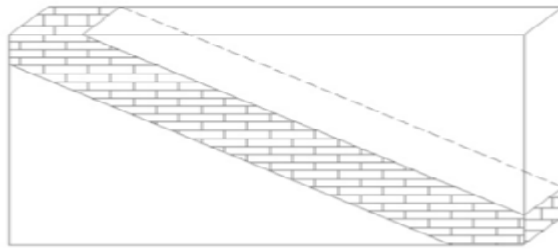
Önceki bölümlerde de belirttiğimiz gibi dolgu duvarlar bölme eleman olarak kullanıldığında binanın dinamik karakteristiklerinde önemli değişiklikler olmaktadır. Dolgu duvarın betonarme binanın davranışına katkılarını görebilmemiz için dolgu duvarları betonarme bina modeli içinde modellememiz gerekir. Dolgu duvarın modellenmesine ilişkin bu zamana kadar çok çeşitli çalışmalar yapılmış lakin analitik modellenmesi için herhangi ulusal yönetmelik yayınlanmamıştır. İlk olarak daha gerçekçi hesaplar yapılması ve dolgu duvarın karakteristiklerinin gerçeğe en yakın olarak modele etki ettirebilmek için sonlu elemanlar metodu kullanıldı. Bu model kapsamlı ve karmaşık olduğu için çok açıklıklı ve yüksek yapılı binalarda uygulanması zor olduğu için eşdeğer basınç çubuğu yöntemi geliştirildi [5,11]. Tek eşdeğer basınç çubuğu modeli ve benzer bir şekilde daha fazla eşdeğer basınç çubuğu modeli dolgu duvarları temsil etmek için uygun analitik modeli olabilir [26-29]. Dolgu duvarların analitik modellenmesiyle ilgili bilgi literatürlerinde çeşitli kaynaklar mevcutken matematiksel model seçiminde ana esaslar belli değildir. Bu çalışmada bahsetmiş olduğumuz eşdeğer basınç çubuğu modelleme teknikleri makro modeller olup, betonarme çerçevedeki dolgu duvarın davranışını fiziksel olarak anlama tabanlıdır. Eşdeğer basınç çubuğu olmak suretiyle dolgu duvar genel olarak tek bölme eleman olarak kabul edilir. Çünkü dolgu duvar panelinin etrafındaki çerçeveden nispeten daha küçük yanıl yüklerle ayrıldığı, bundan sonra çerçeve ile dolgu duvarı arasındaki temasın karşılıklı basınç köşesi ile sınırlı olduğu bulunmuştur. Dolgu duvar ve etrafındaki kompozit hareket, bunlar arasındaki temas oranına bağlıdır. Dolgu duvarların yaygın modelleme metodu eşdeğer basınç çubuğu kabul edilir [30].

Dolgu duvarların diğer modelleme tekniğı ise sonlu elemanlar metodudur. Sonlu elemanlar metodu dolgu duvarlı çerçeve yapılarını modellemek için yaygın olarak kullanıldı. Dolgu duvarlı çerçevenin kompozit karakteristiklerinden dolayı modelde farklı elemanlara gerek oldu. Sonlu eleman modelleri çatlama, ezilme ve dolgu duvarın çerçeve ile etkileşimi ile ilişkili yerel etkileri ve dolgu duvarlı çerçeveyi tanımlamak için sonlu eleman modelleri belirli avantajlar sunuyor [31]. Yapılan çalışmalara göre bu model daha gerçekçi sonuçlar sunabilir ancak çok katlı binalarda bu modeli uygulamak karmaşık bir konudur. Sonlu elemanlar yöntemi olarak shell

(kabuk) veya membran eleman kullanılabilir. 3 boyutlu elemanlar analiz için mevcut olmasına rağmen daha mantıklı sonuçlara yol açan 2 boyutlu sürekli elemanların kullanımı düşünüldü. Çoğu düzlemsel yükleme durumlarında düzlem gerilmesi durumu mantıklı kabul edildi [32]. İfade ettiğimiz bu modellere ise makro modeller denilir. Dolgu duvarların analitik modellenmesinde kullanılan makro ve mikro modellere bir sonraki bölümlerde detaylı olarak değinilmiştir. Bu çalışmada dolgu duvarın davranışını anlayabilmek için eşdeğer basınç çubuk modeli, bölüntüleme yüzey modeli ve önerilen kapsamlı model olmak üzere üç farklı dolgu duvar analitik modelleme yöntemi açıklanmıştır.

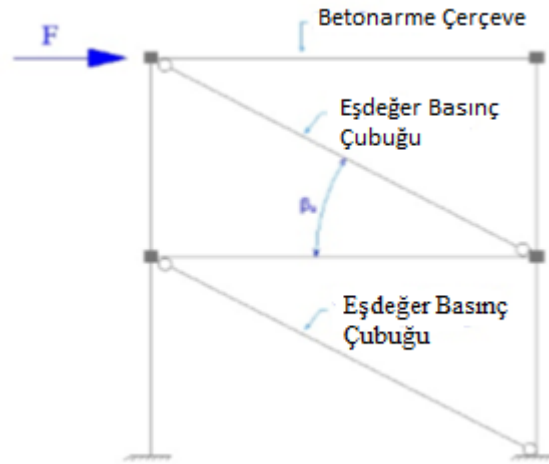
1.4.1. Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi

Eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılırken, duvarın rijitleşmesi rüzgar etkileri ve deprem gibi yatay etkiler için karakteristik olarak boyutlandırılmıştır. Eşdeğer basınç çubuğu modeli üretilirken betonarme yapılar hesaplamadaki gerçek geometrik ve malzeme özellikleriyle birlikte dikkate alınırken dolgu duvarlarda eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanımı pratik açıdan uygundur. Sonuç olarak çoğu deneysel araştırmalar dolgu duvarlı çerçeve sisteminin karakteristikleriyle bu basit model arasındaki ilişkiyi açıklamak için yönetildi. Bu özellikler farklı tür analizlere bağlı olarak basınç çubuğu modelini açıklamak için gerekli olmuştur ve bir dizi yüklemelere bağlı olarak basınç çubuğu modelini açıklamak için, linear elastik analizde basınç çubuğunun alanı, uzunluğu ve elastisite modülü gerekli oldu. Malzemenin doğrusal olmayan analizi düşünüldüğünde karmaşık eksenel kuvvet deplasman ilişkisi gerekli oldu. Çapraz elemanlarının uçları çerçevedeki kolon ve kiriş çizgilerinin çakıştığı noktayla denk geldiği kabul edilir. Şekil 1.5’ te eşdeğer basınç çubuğu modeli şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Eşdeğer basınç çubuğu modeli [6]

Yatay yükler ilgili slab seviyeleri boyunca belirtilen düğümlere indirgenir; daha sonra gerilmeler her iki uçta plastik mafsallar tarafından desteklenen çapraz basınç çubuğunda belirlenir. Modelin statik şeması Şekil 1.6’ da gösterilmiştir. Ve tabi ki bu durumda küçük yer değiştirmeler varsayılmaktadır. Eşdeğer basınç çubuğunun genişliğini hesaplamak için iki yaklaşım kullanıldı. Birinci yaklaşım dolgu duvarlı çerçeve yapılarının test ölçümlerine dayalı olmasına karşın, ikinci yaklaşım sonlu elemanlar tabanlı analitik sonuçlar kullanıldı. Eşdeğer basınç çubuğunun genişliğini hesaplamak için, Paulay ve Priestly $w = 0,25d_m$ eşitliği nihai kapasitenin %50 seviyesindeki yatay kuvvet için yorumladı [33]. Mainstone [8] ve Laiauw ve Kwan [34] sırasıyla Denklem (1.3) ve Denklem (1.4)’ü önerdiler. Eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığının hesaplanması için ilk yaklaşım eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığının diyagonal basınç çubuğunun uzunluğunun üçte biri olarak kabul eden Holmes tarafından önerildi [5].



Şekil 1.6. Eşdeğer basınç çubuğunun statik şeması [6]

Bu eşdeğer basınç çubuğunun kesit parametreleri aşağıdaki formülle hesaplandı [6,35].

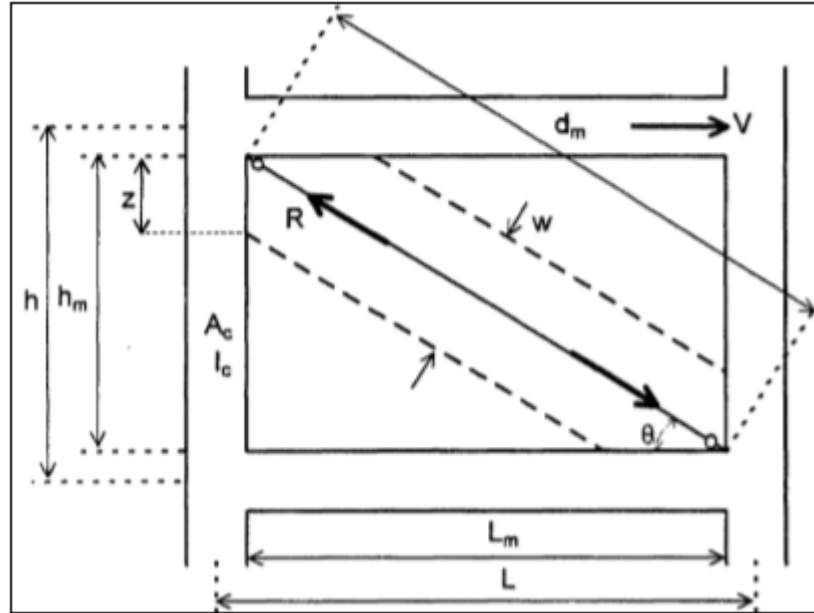
$$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_m t \sin 2\theta}{4 E_c I_{ch}}} \quad (1.1)$$

$$w = 0,175 (\lambda_h d_m)^{-0,4} d_m \quad (1.2)$$

$$w=0,16\lambda_h^{-0,3}d_m \quad (1.3)$$

$$w=\frac{0,95h_m}{\sqrt{\lambda_h}}\cos\theta \quad (1.4)$$

Eşdeğer basınç kalınlığı Şekil 1.7’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu denklemlerde E_m değeri dolgu duvarın elastisite modülü, t değeri dolgu duvarın kalınlığı, θ değeri çapraz diyagonal basınç çubuğunun tanjant değeri, E_c değeri kolonun elastisite modülü, I_c değeri kolonun atalet momenti, h_c kolonun kirişe bağlı olan yerinin diğer alttaki kirişe bağlı olan yeri arasındaki yüksekliği, λ_h değeri dolgu duvarı ile betonarme çerçeve arasındaki rijitlik oranına bağlı olan bir parametre, h_m değeri dolgu duvar yüksekliği, d_m çapraz basınç çubuğunun uzunluğu ve w ise eşdeğer basınç çubuğunun efektif genişliğidir [6,35].

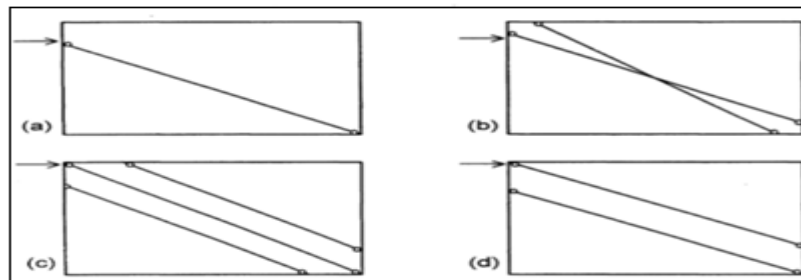


Şekil 1.7. Eşdeğer basınç çubuğu kesit parametreleri [36]

Stafford Smith betonarme çerçeve ve dolgu duvar arasındaki bağlantı uzunluğu z yi tanımladı [6,36].

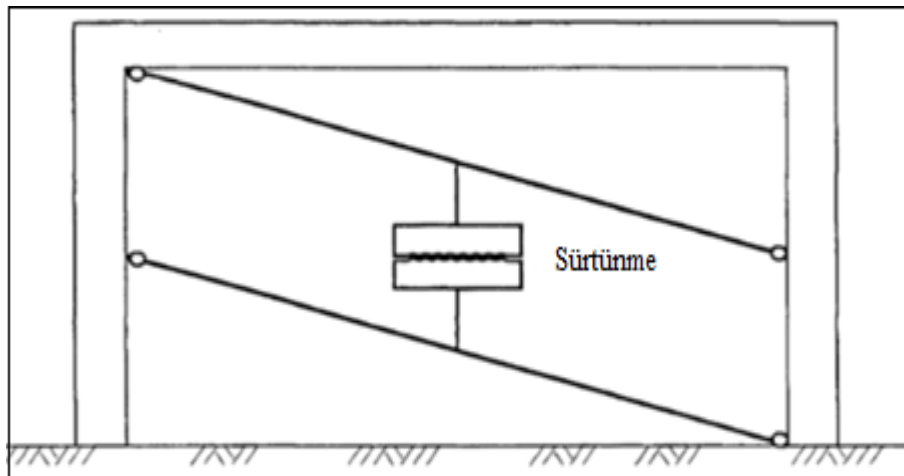
$$z=\frac{\pi}{\lambda_h}h \quad (1.5)$$

Eşdeğer basınç çubuğunun analitik modellenmesi yukarıda açıklanmıştır. Eşdeğer basınç çubuğu yöntemiyle ilgili çoğu araştırmacı ve mühendis farklı önerilerde bulundu. Polyakov elastik teori tabanlı ilk analitik çalışmalardan birini yürüttü. Onun çalışması, dolgu duvarların üzerinde çapraz basıç yüklemesi testi ile tamamlandı ve yanal yüklere maruz kalan dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde dolgu duvarın etkisinin eşdeğer basınç çubuğuna eşdeğer olabileceğini önerdi [31,37]. Sonra, Holmes eşdeğer basınç çubuğunun, dolgu duvar panelinin uzunluğunun üçte birine eşit olan bir kalınlığa sahip olmasını önerdi [5]. Stafford Smith eşdeğer basınç çubuğu kalınlığını daha iyi açıklamak için bir dizi testler yaptı [6]. Daha sonra bu testleri başka araştırmacılar devam ettirdi. Bugünlerde dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde dolgu duvarların etkisini tanımlamak için basit ve mantıksal bir yol olarak çapraz basınç çubuğu modeli yaygın bir şekilde kabul edildi. Sadece bir çapraz basınç çubuğu kullanıldı ve çekme kuvvetleri çerçevenin elemanlarında tanımlandı. Bu durumda dolgu duvarların davranışını temsil etmek için en az iki çapraz yönlü basınç çubuğu düşünülmeli. Ancak, sadece basınç elemanları yaygın olarak kullanılan bilgisayar programlarında mevcut değildir. Bu durumda Flanagan ve arkadaşları, her bir çapraz yönünde eşdeğer çubuk alanının yarısı ile çekme ve basınç çubuk elemanlarının kullanımı önerdi [38]. Eşdeğer basınç çubuğu türlerine gelince, genel algıda tek çapraz basınç modeli basittir ve dolgu duvarları temsil edebilir. Ancak bu model, dolgu duvar paneliyle betonarme çerçeve arasındaki etkileşimden kaynaklanan yerel etkileri tanımlamayabilir. Sonuç olarak, çerçeve elemanlarının eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri gerçekçi olmayabilir. Bunun yanı sıra plastik mafsallık yerleri yanlış tahmin edilebilir. Bu sebeple tek basınç çubuğu modeli farklı araştırmacılar tarafından çoklu basınç çubuğu modellerine dönüştürüldü. Şekil 1.8’de tek eşdeğer basınç çubuğunun dönüştürüldüğü modeller bulunmaktadır.



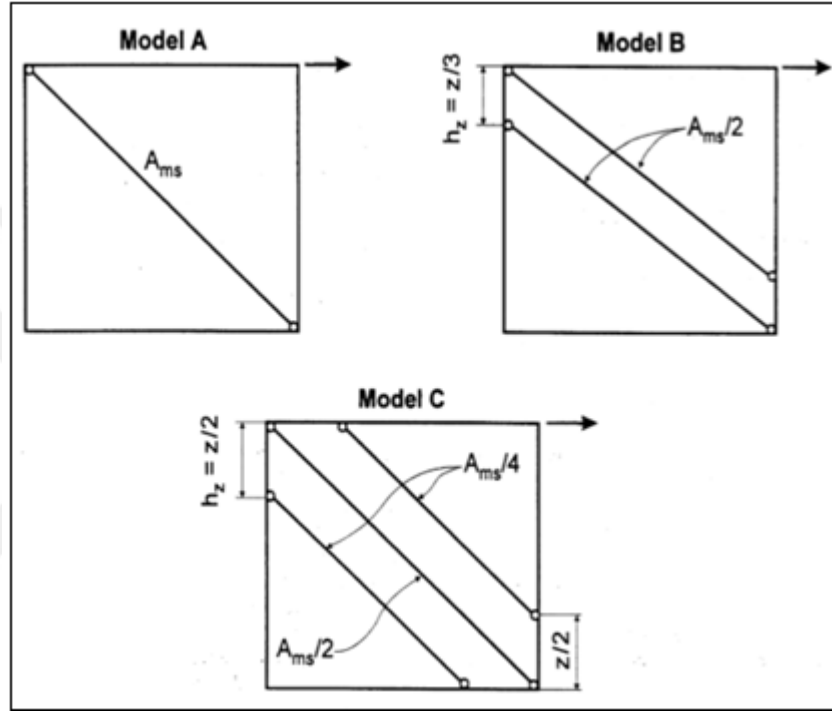
Şekil 1.8. Eşdeğer basınç çubuğu modelleri [1,32,42]

Zarnic ve Tamozevic, deney sonuçlarına dayalı olarak tek basınç çubuğu modelini önerdiler [39,40,41]. Sonuç olarak önerilen modelde, çapraz basınç çubuğunun en üst ucu kolon – kiriş birleşim noktasına bağlanmadı. Genellikle laboratuvar testlerinde izlenen mekanizmayı temsil etmemesine rağmen kolonların üst bölgelerinde kesme başarısızlığının olduğu durumlarda bu model uygulanabildi (Şekil 1.7a). Şekil 1.7b, 1.7c, 1.7d’de gösterilen çok basınç çubuklu modeller sırasıyla Schmidt [32], Chrystomou [42], ve Crisafulli [1] tarafından önerildi. Artan karmaşıklığa rağmen bu modellerin avantajı dolgu duvarların betonarme çerçevelere etkisini daha doğru olarak temsil edebilmeleridir. Syrmakesis, Vratsanou [43] ve San Bartolome [44] çubuk sayısını arttırarak, Şekil 1.7c’de açıklanan modele benzer bir şekilde analizler yaptılar. Bunlara ek olarak, Thiruvengadam tarafından dolgu duvarların dinamik analizi için kompleks model geliştirildi [26]. Model, panele uniform olarak dağıtılan dikey ve çapraz basınç çubuklarının betonarme çerçeveye eklenmesiyle anlık olarak direnç oluşur. Bu çaprazlar dolgu duvarda eksenel ve kesme rijitliğini temsil eder. Dolgu duvarlarda yatay kesme kayması oluştuğunda yukarıda sunulan basınç çubuğu modelleri, dolgu duvarlı çerçeve sisteminin tepkisini tanımlamayabilir. Bu durumda davranışı temsil etmek için Fiorata ve arkadaşları dirsek bağlantılı çerçeveyi tanımladılar [45]. Ve Leuchars, Sriverer Şekil 1.9’da ki modeli önerdiler. Çift basınç çubuğu kolonların merkez bölgesine etkiyen kesme kuvvetlerini ve eğilme momentlerini gösterebilir. Sistemin mukavemetini esasen kontrol edebilen çatlaklar boyunca gelişen sürtünme mekanizmasını düşünmek mümkündür. Araştırmacılara göre bu model sadece önerildi ama hiç uygulanmadı.



Şekil 1.9. Yatay kesme kayması oluşan dolgu duvarı modellemek için önerilen model [46].

Dolgu duvarların analizini temsil edilmesi için kullanılan mantıklı en basit yöntem olan tek basınç çubuğu modelinin sınırlarını açıklamak için temel çalışmalar yürütüldü. Ayrıca çoklu basınç çubuğu modellerinin dolgu duvarlı yapılar üzerindeki etkisi çalışıldı. Bu çalışmada üç farklı basınç çubuğu modelinin birbirleriyle sonuçları karşılaştırılarak numerik veriler elde edilmiştir [1]. Bu basınç modelleri Şekil 1.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Farklı eşdeğer basınç çubuğu modelleri [1]

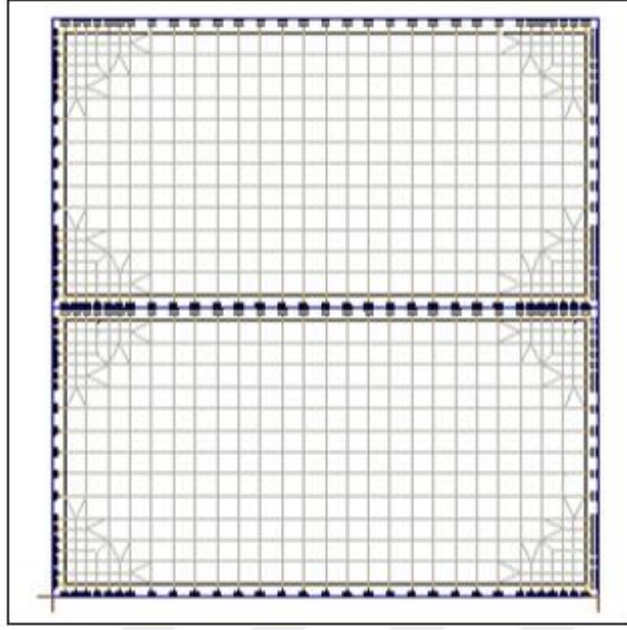
Yukarıda gösterilen eşdeğer basınç çubuklarının (Model A, B, C) alanları aynıdır. Tüm durumlarda dolgu duvarların rijitliği benzerdir. Ve buna ek olarak en yüksek eksenel kuvveti değerleri tüm modellerde eşittir. Bu modellere daha önceden elastik davranış kabul edilerek statik yanal yükler altında analiz yürütüldü [1]. Yapılan analizlerde Model C’ de dolgu duvarın rijitliğinin düşeceği gözlemlendi. Model A’ da yanal kuvvetler öncelikle bir kiriş mekanizmasıyla direk bağlantı kurduğu için dolgu duvarlar eğilme momentine direk direnç gösterir. Diğer taraftan Model B sonlu eleman modeline karşılık gelenlerden çok daha büyük iç kuvvet değerlerine yol açar. Her iki kolonun uçlarında bazı farklılıkların ortaya çıkmasına rağmen Model C daha iyi bir yaklaşımdır [1]. Bu deneyden yola çıkarak, bu çalışmada yürütülecek olan dolgu duvarların 4 katlı binanın davranışını belirlemede eşdeğer basınç çubuğu yöntemlerinden Model A ve Model C kullanılmıştır.

Dolgu duvarları modelleme tekniği olan eşdeğer basınç çubuğu yönteminin avantajlarına yukarıda değindik. Olumsuz davranışlarına gelince, belki de bu modelin en büyük olumsuz yönü, eşdeğer çapraz basınç çubuğunun doğrusal olmayan malzeme özelliklerine göre tanımlanmasına rağmen, basınç çubuğunda sadece eksenel kuvveti oluşturabilmesidir. Bu nedenle dolgu duvarda, basınç çubuğuna dik olarak gerilme incelenemez. Ayrıca betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki bağlantı hiçbir zaman tam modellenemez, yalnızca gerçek davranışa önemli ölçüde yakın olabilecek ideal bir bağlantı dikkate alınabilir.

Yukarıda çeşitli araştırma makalelerinden derlediğimiz bilgilerle mikro modelleri açıklamış olduk.

1.4.2. Bölüntüleme yüzey modeli

Bölüntüleme yüzey modeli sonlu elemanlar metodu olup, dolgu duvarı düzlemsel deformasyon durumunda düzlem gerilme membran elemanlarıyla veya küçük deformasyon varsayımıyla gerçek konumuna göre, kabuk (shell) elemanlarıyla modellenmiştir. Dolgu duvarın bölüntüleme (mesh) elemanlarıyla modellenmesinde daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için, oluşturulacak olan modelin doğrusal olmayan malzeme davranışını ve harç birleşimi etkisini de yansıtmalıdır. Ancak, harç birleşimini gösteren düzlemin kırılğan olmasından dolayı dolgu duvarın davranışı çok karmaşıktır. Bu yaklaşımlar detaylar içeren modele göre gruplandırılabilir [47,48]. Bölüntüleme yüzeyi yaklaşımı dolgu duvarları homojen malzeme olarak temsil ettiğinden çok az detaylıdır. Burada harç birleşiminin etkisi ortalama bir değer olarak düşünöldü. Bu yaklaşım detaylı gerilme analizinin olmadığı büyük dolgu duvarlı yapıların modellenmesi için uygun olabilir [48]. Bu malzeme modeli, gerilme birim şekil değıştirme ve çökme kriterleri yeterli birşekilde tanımlamak suretiyle dolgu duvarın mekanik davranışını temsil etmeli. Farklı bir yaklaşım olarak, betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki bağlantıyı modellemek için bağlantı kenarlarının yanısıra temas elemanları boyunca doğrusal davranış gösteren yaylar tanımlandı [49]. Bu yaklaşıma göre, rijitlik özelliklerinin daha kolay tanımlanması nedeniyle, bağlantı elemanları boyunca düzenli bir sonlu eleman metodu bölüntüleme dağılımının belirlenmesi tavsiye edilir. Şekil 1.11’de bölüntüleme yüzey modelinin analitik modellenmesi sunulmuştur.



Şekil 1.11. Sonlu eleman metodu [49]

Dolgu duvarlar ile betonarme çerçeve arasında model kurabilmek için bir yay ve bir bağlantı elemanı seri olarak bağlandı (Şekil 1.12). Düğümün seri olarak bağlı olması yapının rijitlik matrisinin tek olmaması için gereklidir. Bağlantı elemanı ise dolgu duvar ile betonarme çerçeve arasında bağlantı kurulabilmesi için tasarlandı [49].

Genellikle yayın davranışı yay sabiti ile özelleştirildi. Yay sabiti şu formülle hesaplanır [49];

$$\rho_{yay} = E_h \frac{t_{yay}}{\mu_{harç}} \quad (1.6)$$

Bu denklemde E_h EUROCODE 6'ya göre harcın elastisite modülüdür. Modelde kullanılan dolgu duvarın elastisite modülüne yaklaşık olarak eşittir. t_{yay} ise yayın uzunluğudur ve $\mu_{harç}$ ise harcın kalınlığıdır ve aynı zamanda yay sabiti sıfıra yakın olması gereklidir [19].

2. SÖNÜMLEYİCİ SİSTEMLER

Bu bölümde, sönümleyici sistemlerin neler olduğu ve dolgu duvarın hangi tür sönümleyici eleman olduğu yapılan önceki çalışmalara göre açıklanmaya çalışılmıştır.

2.1. Titreşim Enerjisinin Sönümü

Depremden yapıya etki eden enerji yapı içinde tüketilerek, bu etkilere karşı tepki oluşturmaktadır. Yapının plastik deformasyon yapabilmesi, donatının akma dayanımına ulaşması, betonun çatlaması, mesnet türlerine göre farklılık gösteren sürtünme ile bu deprem enerjisi tüketilebilir. Bu olaylara yapının sönümü denir [21]. Depremden yapıya gelen dinamik yüklemeleri durdurabilecek sönüme kritik sönüm denir [21]. Yapıda deprem enerjisi tüketilirken, yapının plastik deformasyon yapabilmesi gerekir. Yapıda hasar oluşmalı ama yapı göçme performans düzeyini aşmamalıdır. Yapı plastik deformasyon yaptıkça artan süneklilikle deprem etkileri karşılanabilir. Ayrıca plastik deformasyonlar ikinci mertebe etkisi olarak yapının göçmesine neden olabilir. Deprem dalgaları yapı zemininden çıkarak yapının en tepesine gider ve tepeden geri dönerek tekrardan zemine ulaşır. Deprem enerjisi olduğu gibi geri dönmez, enerjinin bir kısmı yapı içinde sönümlenir. Zeminin rijitliği azalırsa daha fazla enerji sönümlenmiş olur. Çok sıkı zeminler genelde tercih edilmez, yumuşak zemin ideal zemin grubudur. Çünkü yumuşak zeminlerde doğal periyot uzar ve yapıda çatlama oluştuğunda sönüm artabilir [21]. Yapının sönümü yapının periyodu ile orantılıdır ama yapının periyodunu artıracak işlevler yapılırsa yapıda ciddi çatlaklar oluşarak yapının göçmesine neden olunabilir. Örneğin, önceki bölümlerde belirtmiş olduğumuz gibi dolgu duvarlar yapıda çatlak oluşturabilir ancak yapının periyodunu azaltır. Bundan dolayı dolgu duvarlar sönümleyici elemanlardır. Bu çalışmada geçmiş zamanda yapılan çalışmalara göre dolgu duvarların betonarme binanın sönümleyici karakteristiklerini nümerik (smatematiksel) model oluşturularak nasıl değiştirdiğini açıklamaya çalışılmıştır.

2.1.1. Serbest titreşim

Zorlanmış titreşim kuvvetinin olmadığı titreşimdir. Bu titreşimden doğru sonuç alınabilmesi için sönüm oranının kritik sönüm oranından küçük olması gerekir. Bu şartı sağladığında genel dinamik Denklem (2.1)'de ki gibi olur. Bu denklemin genel çözümü ise Denklem (2.2)'de ki gibidir [52].

$$m\ddot{x}+c\dot{x}+kx=0 \quad (2.1)$$

$$x(t)=e^{-\rho w t}(\dot{x}_0 \cos w_D t + \frac{\dot{x}_0 + x_0 \rho w}{w_D} \sin w_D t) \quad (2.2)$$

Bu denklemlerde, m yapının kütlesi, $\ddot{x}$ yapının ivmesi, c yapının yapısal sönümü, $\dot{x}$ yapının etkin hızı, k yapının eşdeğer rijitliği ve x yapının yer değiştirmesidir. Bunun yanısıra, w yapının sönümlü açısal frekansıdır, w_D yapının açısal doğal frekansı, $\dot{x}_0$ yapının başlangıç hızı, x_0 yapının başlangıç yer değiştirmesi ve t zamandır. ρ sönüm oranı olup yapısal sönümün (c) kritik sönüme (c_{cr}) oranıdır [52].

$$\rho = \frac{c}{c_{cr}} \quad (2.3)$$

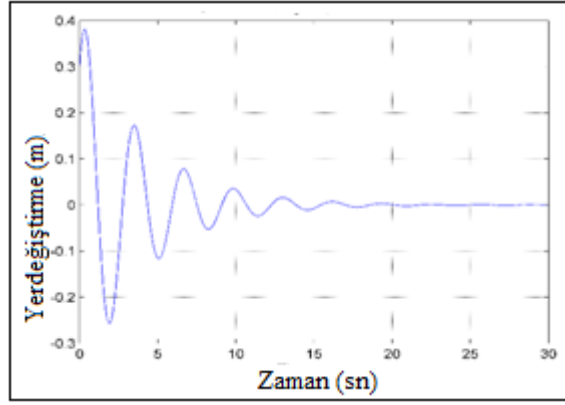
Kritik sönüm ise Denklem (2.4), yapının sönümlü açısal frekansı Denklem (2.5) ve yapının doğal frekansı Denklem 2.6'da ki gibi bulunur [52].

$$c_{cr}=2\sqrt{km} \quad (2.4)$$

$$w_D=w\sqrt{1-\rho^2} \quad (2.5)$$

$$w=\frac{2\pi}{T} \quad (2.6)$$

Sönümlü serbest titreşim hareketi Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu grafikte deprem enerjisi zamanla tüketilmektedir. Yapının şekilde görüldüğü gibi deplasmanları zamanla azalmaktadır. Bu çalışmada dolgu duvarların bölme eleman olarak kullanılması, yapıda şekilde görüldüğü gibi bir deplasman azalmasının oluşup oluşmadığı tartışılmıştır.



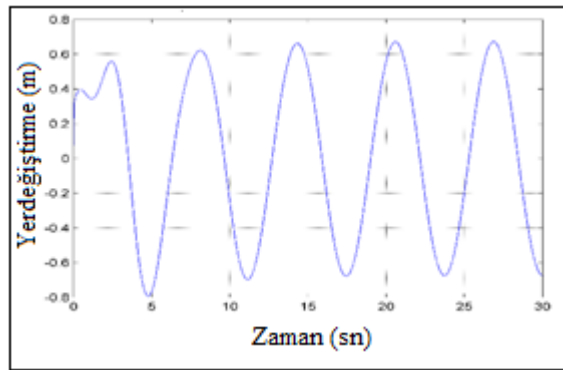
Şekil 2.1. Sönümlü sistemin serbest titreşim hareketi [22]

2.1.2. Zorlanmış titreşim hareketi

Yapı herhangi bir $F(t)$ kuvveti etkisinde titreşim yapıyorsa buna zorlanmış titreşim hareketi denir [52].

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (2.7)$$

Şekil 2.2’de zorlanmış titreşim hareketi sunulmaktadır. Burada ki zorlanmış yapı depremten gelen enerjileri sönümleyebilmesi için yapıda aktif veya pasif sönümleyici sistemler bulundurulabilir. Aktif sönümleyicilere örnek olarak dolgu duvarlar gösterilebilir.



Şekil 2.2. Zorlanmış titreşim hareketi [22]

Bu çalışmada dolgu duvarların bölme eleman olarak kullanılması, zorlanmış titreşim hareketi esnasında yapıda şekilde görüldüğü gibi bir deplasman azalmasının oluşup oluşmadığı tartışılmıştır.

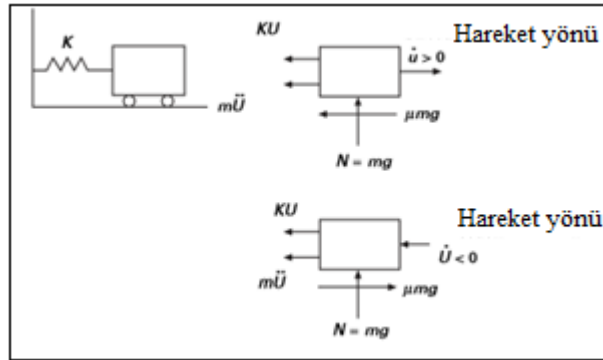
2.2. Enerji Sönümü

2.2.1. Viskoz sönüm

Yapının bulunduğu su veya hava ortamının meydana getirdiği sönüme dış viskoz sönüm denir. Yapı analizinde göz önünde alınmayabilir [21]. Yapıyı oluşturan yapı malzemelerinin sönümüne iç viskoz sönüm denir. Malzemenin hızıyla doğru orantılıdır. Yapı analizinde göz önüne alınabilir [21].

2.2.2. Coulomb cisim sönümü

Dolgu duvarlarda oluşan çatlaklar arasındaki yüzeylerde sürtünmeden dolayı sönüm meydana gelir. Bu sönüme Coulomb rijit cisim sönümü denir. Kuru sürtünme olarak da adlandırılır [21]. Geliştirilen sürtünme kuvvetleri titreşim genlik ve frekansından bağımsızdır. Bu kuvvetler kütlenin zıt yönünde hareket ederler ve büyüklüğü esasen sabittir. Ayrıca bu kuvvetler hızdan ve yer değiştirmeden bağımsızdır [21]. Coulomb sönümünün analitik modele uygulanması zor olduğundan, eşdeğer viskoz sönüme çevrilerek analitik modele yansıtılır [52].



Şekil 2.3. Coulomb cisim sönümü [52]

Coulomb cisim sönümünü modele yansıtabilmemiz için eşdeğer viskoz sönüme çevirmemiz gerekir. Bunun için sönüm katsayısı Denklem (2.8)'de ki formülasyonla hesaplanır [52].

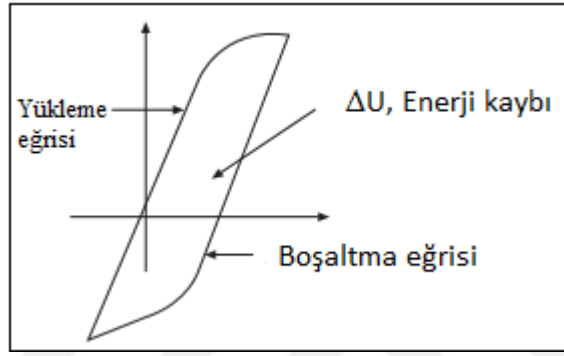
$$f_{d1} = \mu mg \quad (2.8)$$

Denklemden, f_d sönümleme kuvveti ve μ ise sönüm katsayısıdır. Yapının yönüne göre genel dinamik denklemi ise Denklem (2.9)'da gösterilmiştir [52].

$$m\ddot{x}+kx+c\dot{x}=f(t)-\mu mg \quad (2.9)$$

2.2.3. Çevrimsel (Histeresis) sönüm

Gerçek yapılar idealize edilmiş viskoz sönümlene şeklini göstermez. Taşıyıcı elemanlar çevrimsel olarak gerildiğinde, elemanların iç yüzeylerinde kaymadan ve ötelenmeden kaynaklanan iç sürtünmeye bağlı olarak enerji kendiliğinden yayılır. Bu sönüm şekli, Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, sönümlene kuvveti ile deformasyon arasında bir faz gecikmesiyle oluşur. Bu eğriye histerezis döngüsü denir [52].



Şekil 2.4. Çevrimsel döngü [52]

Bu çevrimsel sönüm katsayısı aşağıda belirtilen formülasyonlarla hesaplanabilir [52].

$$\Delta U = \pi \mu k x^2 \quad (2.10)$$

$$U = 0,5 k x^2 \quad (2.11)$$

$$\frac{\Delta U}{U} = 2\pi \mu \quad (2.12)$$

Bu denklemlerde, ΔU enerji kaybını, U depolanan enerjiyi, μ sönüm katsayısını gösterir. Çevrimsel sönümü, idealize edilmiş eşdeğer viskoz sönümüne çevirirsek Denklem 2.13'te ki gibi olur [52]. Bu denklemde c_e eşdeğer viskoz sönüm katsayısıdır. Geçmişte yapılan çalışmalara göre dolgu duvarlar doğrusal olmayan özellik gösterdiği için yükleme altında ki her zaman aralığında enerji kaybı yaşadığı izlenmiştir. Bu enerji kaybı, deprem esnasında oluşabildiği düşünülmektedir. Bu olgu dolgu duvarların yapıda, yapıya gelen dış etkilere karşı çevrimsel sönüm enerjisi oluşturduğu düşünülebilir

$$c_e = \frac{k\mu}{w} \quad (2.13)$$

2.3. Sönüm Oranlarının Belirlenmesi

İnşa edilmemiş yapıdaki titreşimlerin sönüm oranının belirlenmesi çok zordur. İnşa edilmiş yapıda sönüm oranı, binaya özel cihazlarla zorlanmış titreşim uygulanarak belirlenebilir [53]. Örneğin, sönüm oranı 0,02 olan bir yapının, sönümsüz haldeki ivmenin yaklaşık %55-60'ı kadardır. Sönüm oranı artarsa ve 0,05 olursa bu değer %35-25 olur [21]. Sönüm oranı 0,02 olan bir zemin ivmesinin $\frac{1}{4}$ 'ü viskoz sönüm, $\frac{3}{4}$ 'ü plastik deformasyonlarla tüketilir. Çünkü plastik deformasyondan oluşan sönüm oranı viskoz sönümden daha büyüktür [21]. Bu çalışmada dolgu duvarların deprem etkisinde binaya etkisini incelediğimizden daha çok coulomb rijit cisim sönümü, hysteresis sönümü (plastik deformasyon) ve kullanılan yapı malzemelerinden kaynaklanan viskoz sönümü analitik modele etki ettirilmiştir. Gerekli olan sönümleri idealize edilmiş eşdeğer viskoz sönüme çevirerek tek bir sönüm altında analiz edilmiştir.

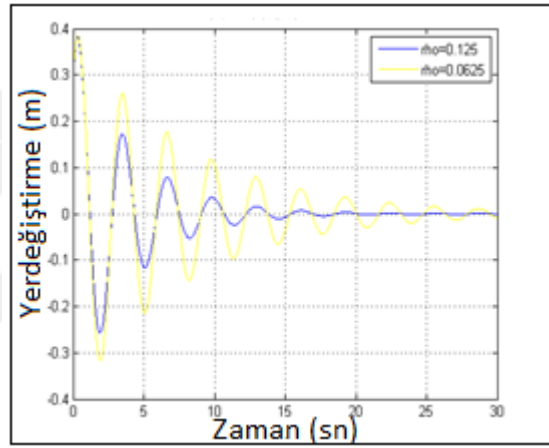
Özet olarak, yapının göçmeden plastik deformasyon yapabilmesi depremden gelen enerjiye karşı iyi bir sönüm özelliği gösterebilir. Genel olarak düşük genliklerde sönüm oranı 0,01-0,02 ve deprem gibi hareketlerde sönüm oranı 0,05-0,1 olarak değişebilir. Depreme karşı yüksek modlarda salınım artabileceğinden sönüm oranı da artabilir [53].

Denklem 2.3'te sönüm oranının nasıl bulunabileceğini önceden yapılan araştırmalara göre açıklamıştık. Bu denkleme göre bazı mühendisler aşağıdaki sönüm kriterlerini sunmuşlardır [52].

- $\rho > 1$ ise over-damping. Kritik üstü sönümdür. Hesap modeli oluşturmamızda sıkıntılar yaşanabileceğinden ve karmaşık hesaplar gerektirdiğinden dolayı istenmeyen durumdur.
- $\rho = 1$ ise critically-damping. Kritik sönümdür.
- $\rho < 1$ ise under-damping. Kritik altı sönümdür. Titreşimden doğru sonuç alınabilmesi için bu şartın sağlanması gerekir. İstenen durumdur.

Şekil 2.5'te sönüm oranı 1'den küçük ve sönüm oranı 1'den büyük yapının titreşim sönümleri yukarıdan aşağıya sırasıyla gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi sönüm oranları arttıkça yapı depremden gelen enerjiyi daha fazla sönümleme özelliğine sahip olduğu ve bu durumda yapının göçmeden plastik deformasyon

yapabildiği gözlemlenmiştir. Bu şekilde gösterilen krik altı sönüm kolayca model kurulabileceği durum olduğu için bu çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada kullandığımız betonarme binanın temelleri kuvvetli betonarme yapı olduğu için sönüm oranı 0,05 ilk başta sabit olarak kullanılmıştır. Daha sonra dolgu duvarları betonarme binaya etki ettirdiğimizde bu sönüm oranının ne kadar oranda değişebileceğini saptamaya çalışıldı. Bu çalışmada kullandığımız yapının yanısıra diğer yapıların ortalama sönüm oranlarına gelince; dolgunsuz çelik bacaların sönüm oranları 0,00-0,02, ara duvarlı, narin kolonlu, büyük açıklıklı betonarme binaların sönüm oranları 0,02-0,04 ve Temelleri kuvvetli dolgu betonarme ve çelik yapıların sönüm oranları 0,04-0,08 arasında değişebilir [21].



Şekil 2.5. Kritik sönüm

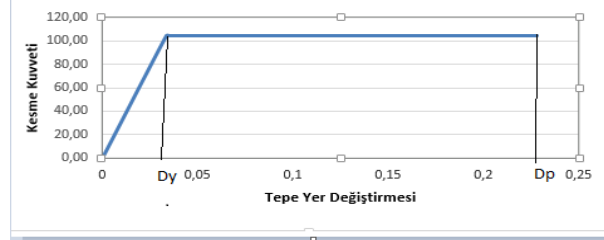
2.4. Sönümde Plastik Deformasyonların Etkisi

Süneklik bir yapının göçmeden plastik deformasyon yapabilme yeteneğidir. Süneklik yapının sönümü hakkında bilgiler verir. Süneklik oranı ne kadar fazlaysa sönüm oranında o kadar fazla olabilir. Süneklik oranı Denklem 2.14'e göre bulunabilir [21]. Tipik betonarme bir kesitin tepe deplasmanının ve taban kesme kuvvetinin idealize edilmiş eğrisi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

$$\Delta = \frac{\Delta_{pmax}}{\Delta_{ymax}} \quad (2.14)$$

Bu denklemde, Δ simgesi sünekliliği ifade eder. Buna ek olarak, Δ_{pmax} değeri maximum plastik deplasman değeri ve Δ_{ymax} ise maximum elastik deplasman

değeridir. Formülasyondan da anlaşılacağı gibi bir kesitin sünekliliği göçmeden plastik deplasman yapabilme yeteneğine bağlıdır.



Şekil 2.6. Süneklilik [22]

Plastik deformasyonların yapıya vermiş olduğu hasar ile yapının sönüm oranını önemli ölçüde artırabilir. Bu olguya dolgu duvarların betonarme binaların davranışına etkisi örnek verilebilir. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, deprem esnasında ilk çatlamanın olduğu eleman binaya simetrik olarak yerleştirilen dolgu duvarlardır. Dolgu duvarlar bu çatlamayla yapıya hasar verir ve verdiği bu hasar sayesinde deprem enerjisini önemli ölçüde sönümleyebilir. Bu da sönüm oranını arttırdığının göstergesidir. Dolgu duvarların davranışı da yapıya göçmeden plastik deformasyon yapabilme yeteneğini kazandırabilir. Dolgu duvarların yanısıra betonarme perdeler de bu işlevi görür. Sonuç olarak, Yapıdaki deplasmanlar elastik sınırı aştığında, yapıda oluşturduğu hasar, çatlak ve akmalar depremden gelen enerjiyi önemli miktarda sönümler. Bu hasarlar can ve mal kaybına neden olmamalı ve hemen kullanımı seviyesinde olmalıdır. Bu hasarları oluşturabilecek olan dolgu duvarlardır.

3. BİNA BİGİLERİ

Bu bölümde çalışmada kullanmış olduğumuz betonarme binada kullanılan malzeme bilgileri sunulmuştur. Betonarme binanın analitik modeli, binada dolgu duvarları temsilen kullandığımız eşdeğer basınç çubuğu ve shell (kabuk eleman) eleman modelleri gösterilmiştir. Bunun yanı sıra TS500'e ve TDY 2007'ye göre statik projesi hazırlanmış betonarme binanın mimari planı, kolon aplikasyon planı, kiriş detayları ve kalıp planları gösterilmiştir. Binanın statik projesi Sta4cad programı ve binanın performansının değerlendirilmesi SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır [55].

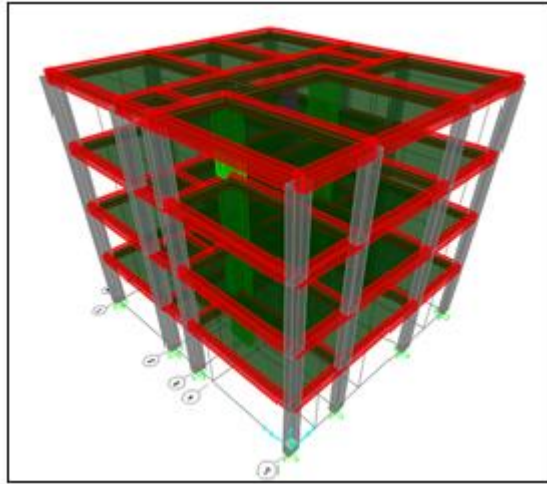
3.1. Malzeme Bilgileri

Betonarme binanın taşıyıcı elemanlarında ve döşemelerinde kullanılan beton sınıfı C35 ve donatı ise S420a'dır [54]. Binada kullanılan dış duvarların kalınlığı 20 cm, iç duvarların kalınlığı 10 cm'dir. Farklı ülkelerin yönetmeliklerine göre binada kullanılan dolgu duvar sınıfı değişkenlik gösterdiği için, çalışmamızda belirttiğimiz yönetmeliklerin kriterleri incelenirken kullanılan dolgu duvarın sınıfı açıklanmıştır. Betonarme binanın merkezi kolonları 25x115 cm, diğer kolonlar 25x50 cm ebatındadır. Kirişler ise 25x50 cm ebatındadır. Döşme kalınlığı 15 cm olup döşemelerde karo kaplama kullanılmıştır. Döşemelerde ki hareketli yük (Q) 3,5 KN/m² ve sabit yük (G) 2,1 KN/m²'dir. Kirişlere duvarların sabit yükleri verilmiştir.

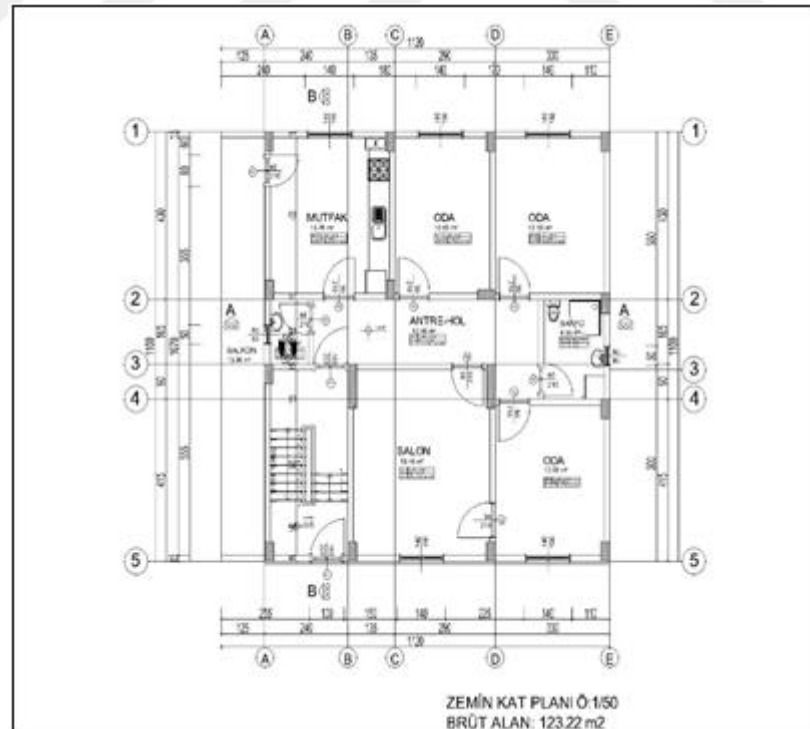
3.2. Kat Bilgileri

Çalışmada kullandığımız betonarme binanın, zemin kat ve üç normal kat olmak üzere 4 katı bulunmaktadır. Kat yüksekliği her katta 3m'dir. Betonarme bina X yönünde 3, Y yönünde 3 açıklıdır. Her kat 253 m² alana sahiptir. Binanın dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız analitik modelleri, binanın mimari planı, bina taşıyıcı kolonlarının aplikasyon planı, kiriş detayları şekillerde sunulmuştur. Bu planlara göre binanın belirtilen yönetmeliklerin önermiş olduğu yükler altında linear ve linear olmayan analizleri yapılmıştır.

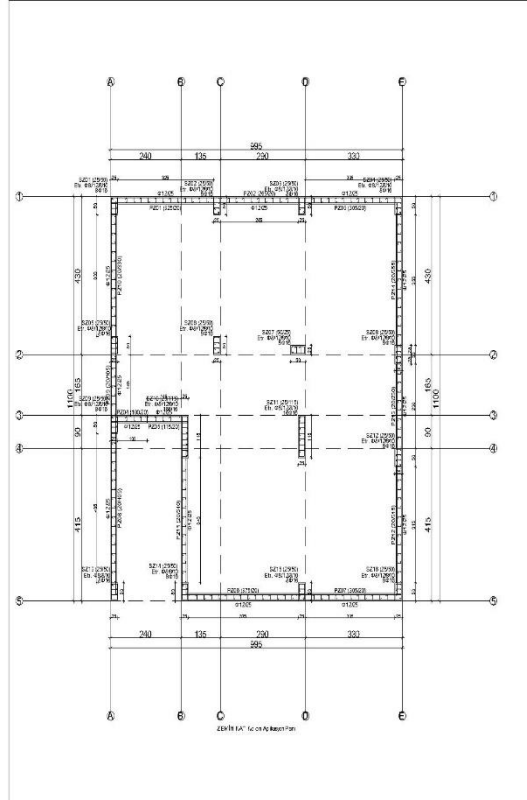
Çalışmada kullanmış olduğumuz binanın analitik modeli Şekil 3.1’de, mimari planı Şekil 3.2’de, kolon aplikasyon planı Şekil 3.3’te, giriş detayları Şekil 3.4’te ve Şekil 3.5’te kolon detayları verilmiştir.



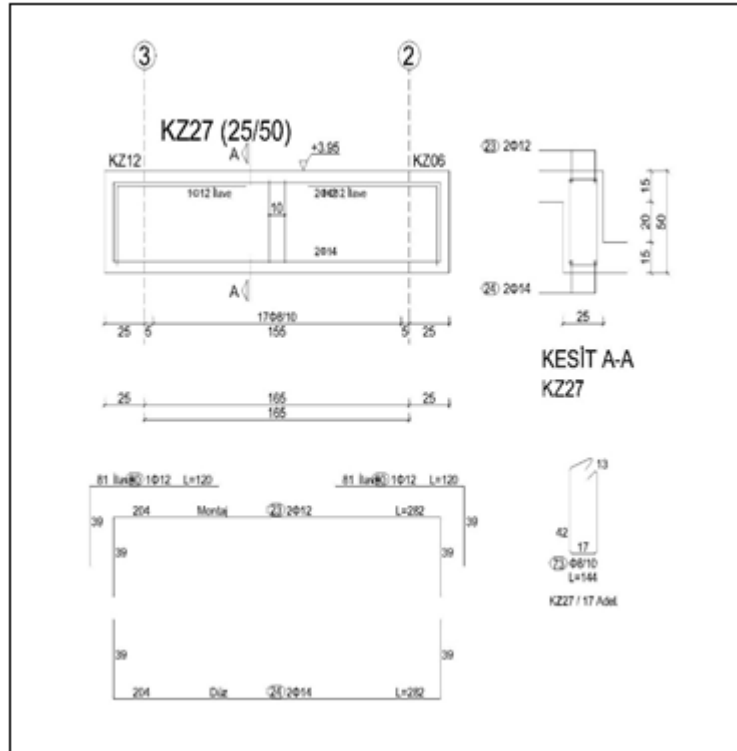
Şekil 3.1. Bina Analitik Modeli



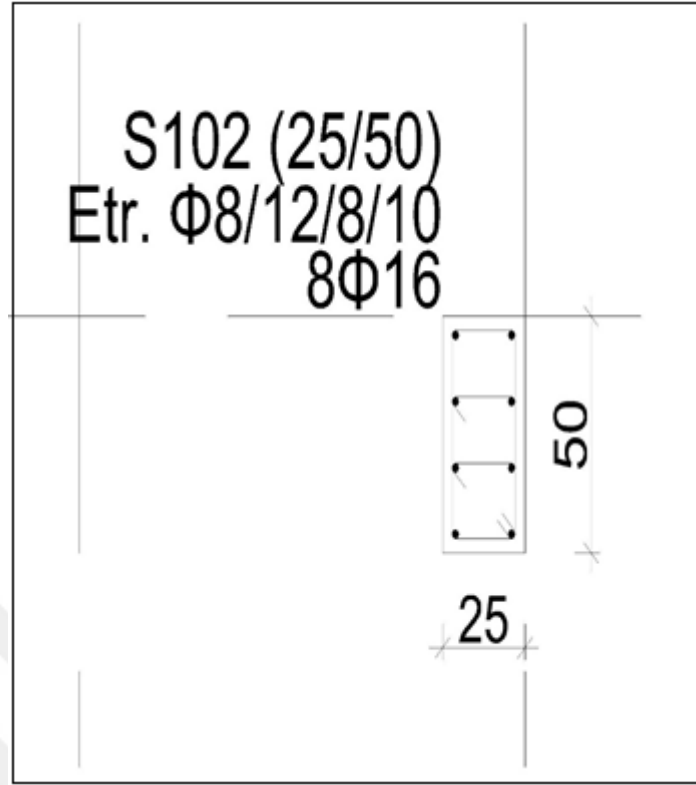
Şekil 3.2. Binanın mimari planı



Şekil 3.3. Kolon aplikasyon planı



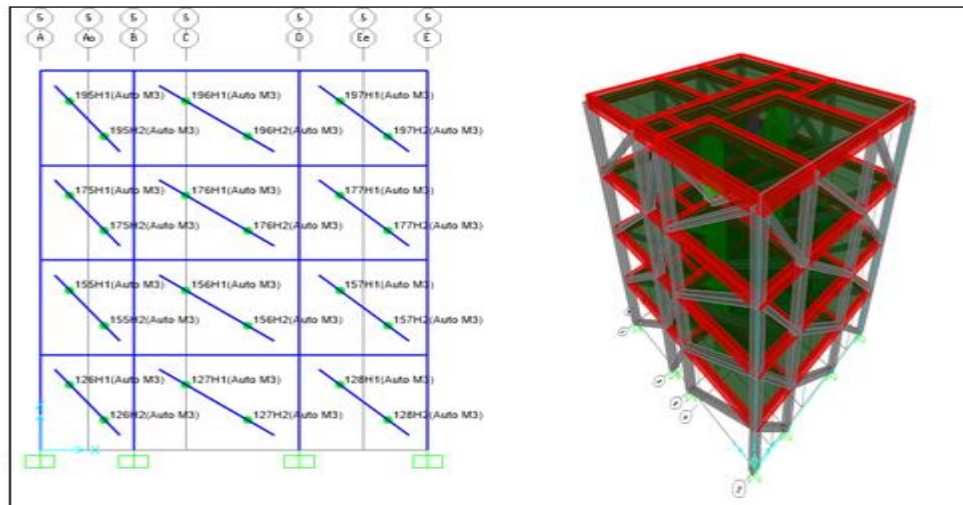
Şekil 3.4. Kiriş detayı



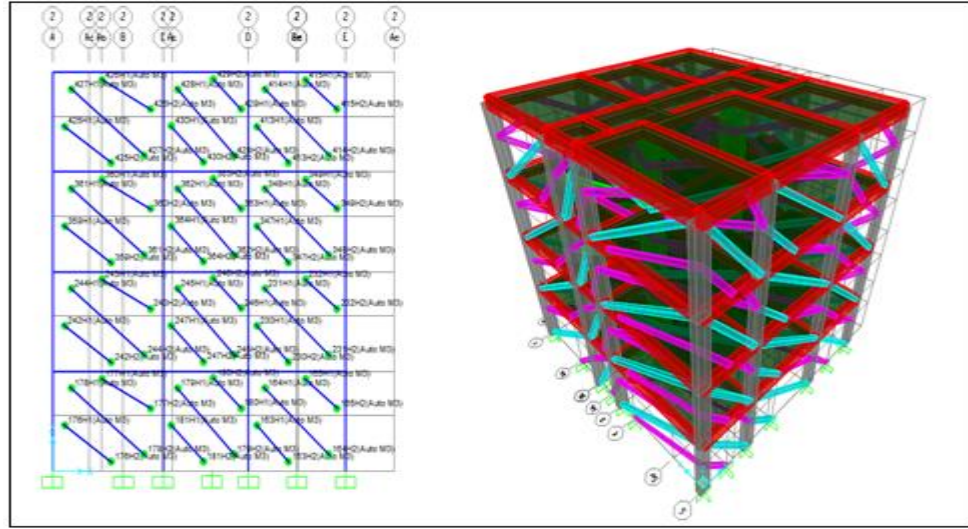
Şekil 3.5. Kolon detayı

3.4. Dolgu Duvar Modelleri

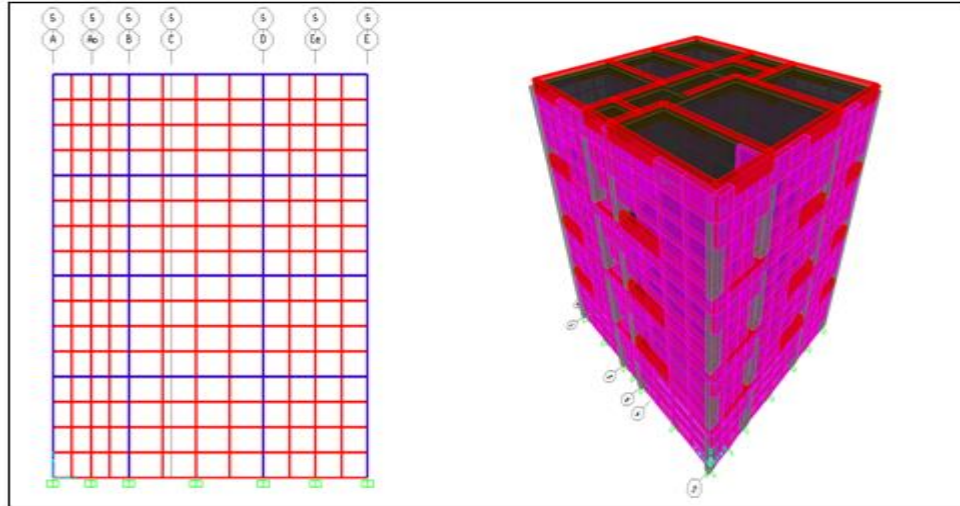
Bu çalışmada, 4 katlı betonarme binada dolgu duvarları temsil etmek için dolgu duvarların yerine aynı duvarlarla aynı özelliklere sahip tek eşdeğer basınç çubuğu modeli, üç eşdeğer basınç çubuğu modeli ve shell (kabuk) eleman modeli kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Tek eşdeğer basınç çubuğu modeli



Şekil 3.7. Üç eşdeğer basınç çubuğu modeli



Şekil 3.8. Shell (Kabuk) eleman modeli

4. DOLGU DUVARLARIN BETONARME BİNALARIN DAVRANIŞINA TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018 KRİTERLERİNE GÖRE ETKİSİ

4.1. Deprem Hareketi Düzeyleri

Türk Deprem Yönetmeliği 2018 kapsamında aşağıda belirtilen dört farklı yer hareketi yüzeyi tanımlanmıştır [24].

4.1.1. Deprem yer hareketi düzeyi- 1 (DD-1)

DD- 1 Deprem yer hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır .

4.1.2. Deprem yer hareketi düzeyi- 2 (DD- 2)

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

4.1.3. Deprem yer hareketi düzeyi- 3 (DD- 3)

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

4.1.3 Deprem yer hareketi düzeyi- 4 (DD- 4)

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl

olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

4.2. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi $[g]$ cinsinden Denklem (4.1)'de tanımlanmıştır [24].

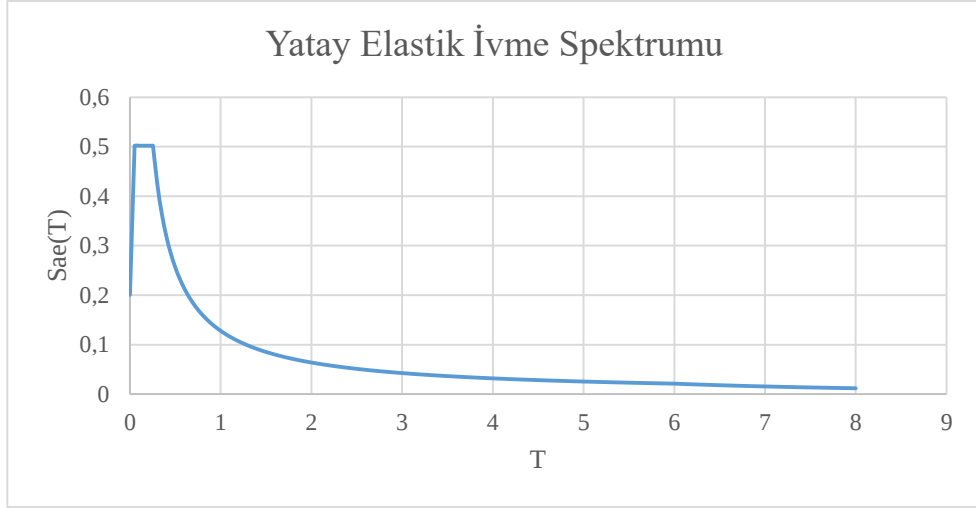
$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Bu denklemlerde, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, S_{D1} 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısıdır. Bu katsayılar boyutsuzdur. T , doğal titreşim periyodu, T_A ve T_B yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodudur. Denklem 4.2'ye göre bulunur [24].

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4.2)$$

Bu yönetmeliğe göre serbest geçiş periyodu $T_L = 6 \text{ sn}$ alınacaktır. S_{D1} ve S_{DS} parametreleri Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında tanımlanmıştır.

Bu çalışmada, kullandığımız 4 katlı betonarme binanın konumu Türkiye, Erzurum Oltu ilçesinde 40.54 enlem ve 41.98 boylam koordinatındadır. Bu koordinat bilgilerine göre binanın S_{DS} spektral ivme katsayısı 0,502 ve S_{D1} değeri 0,128 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre, Denklem (4.2) kullanılarak, köşe periyotları T_A ve T_B sırasıyla 0,0509 s ve 0,254 s olarak bulunmuştur. Buna ek olarak betonarme binada modal analiz yapılarak binanın titreşim periyodu (T) 0,51s olarak bulunmuştur. Bu köşe periyodu ve titreşim periyoduna göre binanın yatay elastik tasarım spektrumu çizilerek Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan betonarme binanın yatay elastik tasarım spektrumu

4.3. Dolgu Duvar Kriterleri

Bu yönetmeliğe göre, dolgu duvarları betonarme binada gözönünde bulundurabilmemiz için üç farklı duvar malzemesi önerilmiştir. Aşağıda bu malzeme özellikleri sunulmuştur [24]. Dolgu duvarları modelde yansıtabilmemiz için üç farklı analitik yöntem ele alınmıştır. Bu analitik yöntemlerde kullanılan eşdeğer basınç çubuğu modellerinde bulmamız gereken eşdeğer basınç çubuğu genişliği için önerilen [6] formüller bu yönetmelikte de kabul görmüştür.

Boşluklu fabrika tuğlası: $E_d=2000$ MPa; $f_d=3$ MPa; $\tau_d=0,20$ MPa

Dolu harman tuğlası: $E_d=2000$ MPa; $f_d=5$ MPa; $\tau_d=0,25$ MPa

Gazbeton blok: $E_d=1000$ MPa; $f_d=2,5$ MPa; $\tau_d=0,20$ MPa

Belirtmiş olduğumuz duvar özelliklerinde; E_d , f_d ve τ_d sırasıyla dolgu duvarın elastisite modülünü, dolgu duvarın malzeme basınç dayanımını ve malzeme kayma dayanımını ifade etmektedir. Burada dolgu duvarların elastisite modülü ve malzeme dayanımına göre eşdeğer basınç çubuğu genişlikleri hesaplanmıştır. Ayrıca kullanılan diğer analitik model olan SEM’de dolgu duvarların birebir aynı malzeme özellikleri shell (kabuk) elemanlara verilerek analizler yapılmıştır. Bu modelde, dolgu duvarların TS453’e göre özgül ağırlıkları, elastisite modülleri, duvar kalınlıkları ve malzeme dayanımları shell elemana verilmiştir. Dolgu duvarların

özgül ağırlıkları 15 KN/m³ (boşluklu fabrika tuğlası), 18 KN/m³ (dolu harman tuğlası) ve 8 KN/m³ (gazbeton blok) olarak alınmıştır. Bu belirtmiş olduğumuz parametrelere ve denklemlere göre uygulamada kullandığımız betonarme binada dolgu duvarlı bina ve dolgu duvarsız bina olarak analizler yapılmıştır.

4.4. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Hesap

Eşdeğer deprem yüğü yöntemi, bir tür statik analiz yöntemidir. Bu analiz yöntemi yapının aralarında bağlanmış yaylara sahip eşdeğer bir kitle sistemine dönüştürülmesi gerekir [57].

Türk Deprem Yönetmeliği 2018'e göre aşağıdaki bağıntılarla eşdeğer deprem yüğü hesaplanır [24].

Gözönüne alınan (X) deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti), $V_{te}^{(X)}$, Denklem (4.3)'e göre hesaplanır [24].

$$V_{te}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DSg} \quad (4.3)$$

Burada $S_{aR}(T_p^{(X)})$, gözönüne alınan (X) deprem doğrultusunda azaltılmış tasarım spektral ivmesi (g) ve Denklem 4.4'e göre hesaplanır [24]. Burada, m_t binanın toplam kütlesidir. Denklem (4.3) ile hesaplanan toplam eşdeğer deprem yüğü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak Denklem (4.5)'te verilmiştir [24]. Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yüğü $\Delta F_{NE}^{(X)}$ Denklem (4.6)'ya göre hesaplanır [24]. Toplam eşdeğer yükünün $\Delta F_{NE}^{(X)}$ dışında kalan kısmı, N' inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına Denklem (4.7)'de ki gibi aktarılır [24].

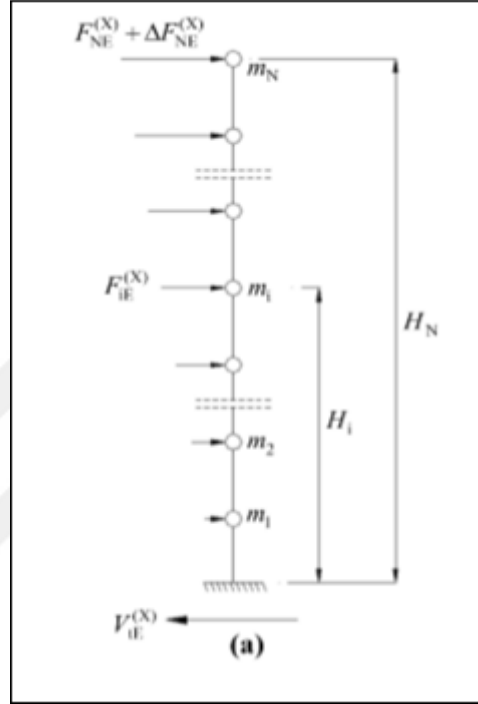
$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ac}(T)}{R_a(T)} \quad (4.4)$$

$$V_{te}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X)} \quad (4.5)$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0,0075 N V_{te}^{(X)} \quad (4.6)$$

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{te}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (4.7)$$

Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda [24]. Denklem (4.7)'de hesaplanan $F_{iE}^{(X)}$ eşdeğer deprem yükü, i'inci kattaki ana düğüm noktasına göz önüne alınan deprem doğrultusunda etki ettirilecektir. (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması [24]

Burada, TBDY 2018 2.2'de tanımlanan $S_{ae}(T)$, DD- 2 deprem yer hareketi için Denklem 4.1'e göre hesaplanır. $R_a(T)$, TDY 2018 Denklem 4.1'de tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir. Bu çalışmada Denklem (4.8) ile gösterilen ifade, binanın titreşim periyodu (T), köşe periyodundan (T_B) büyükse geçerlidir [24]. Betonarme binanın periyodu 0.51 s ve köşe periyodu 0.254 s olduğu için bu koşul sağlanmıştır. Binada performormans değerlendirmesi yaptığımız için deprem yüzkü azaltma katsayısını 1 ve yapı konut olduğu için bina önem katsayısı 1 olarak alınmıştır [24].

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad (4.8)$$

Denklem 4.3'te Yukarıda verilen denklemlere göre binanın taban kesme kuvveti hesabı Tablo 4.1'de ve Tablo 4.2'de eşdeğer deprem yük hesabı sunulmuştur.

Tablo 4.1. Taban kesme kuvveti hesabı

SD1	T (s)	S _{ae}	R _a (T)	m _t (KN)	S _{aR}	V _{te} (KN)
0,128	0,51	0,251	1	7854	0,251	1971,2

Tablo 4.2. Eşdeğer deprem yükü hesabı

KATLAR	m _i (KN)	H _i (m)	$\Delta f_{NE}^{(X)}$	h (m)	F _{IE} ^(X)
3	1963,5	12	14,78	3	782,56
2	1963,5	9	14,78	3	586,92
1	1963,5	6	14,78	3	391,28
Zemin	1963,5	3	14,78	3	195,64

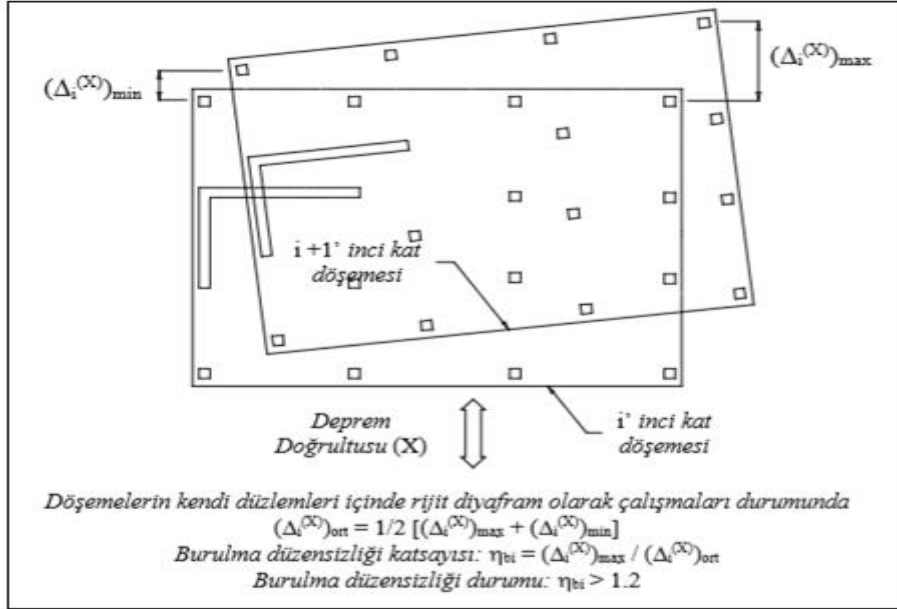
4.4.1. Analiz sonuçları

4 katlı betonarme binada dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız model kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu modellerde dolgu duvarlı binada, duvarın basınç dayanımları 2,5 MPa, 3 MPa ve 5MPa olarak hesaba katılmıştır. Bu modelleri, bu yönetmeliğin belirlemiş olduğu görelî kat ötelemesi, ikinci mertebe etkileri, yumuşak kat düzensizliği, burulma düzensizliği, depremin taşıyıcılarda oluşturduğu kesme kuvvetleri, eğilme momentleri, eksenel kuvvetleri kriterlerine göre mukayese edilmiştir. Bunun yanı sıra, farklı malzeme dayanımlarına sahip farklı duvarlı modellerin ve duvarsız modelde depremin oluşturduğu taban kesme kuvveti, hakim mod periyotları ve X yönünde kütle katılım oranları (K.K.O) mukayese edilmiştir [55].

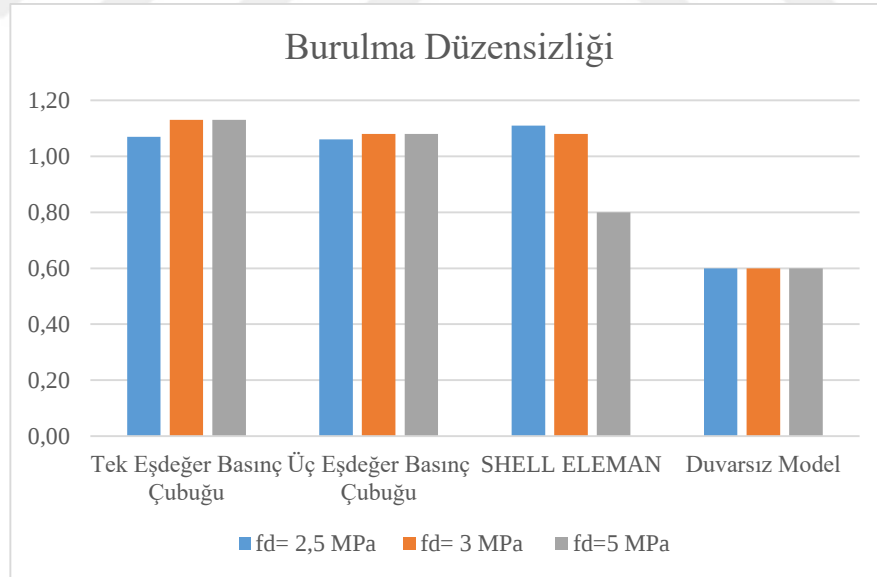
4.4.1.1. Burulma düzensizliği kontrolü

Türk Deprem Yönetmeliğinde, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1,2'den büyük olması durumunda binanın herhangi bir katında burulma düzensizliği oluşacağı belirtilmiştir (Şekil 4.3) [24]. Bu çalışmada burulma

düzensizliği hesabı yönetmeliğin belirtmiş olduğu eşdeğer deprem yük analizine göre farklı basınç dayanımına sahip shell eleman modeli, eşdeğer basınç çubuğu modeli ve duvarsız modelde ayrı ayrı hesaplanıp Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Burulma düzensizliği [24]



Şekil 4.4. Burulma düzensizliği kontrolü

Şekilde de görüldüğü gibi, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binaların hiçbirinde burulma düzensizliğinin olmadığı gözlemlenmiştir. Dolgu duvarların malzeme

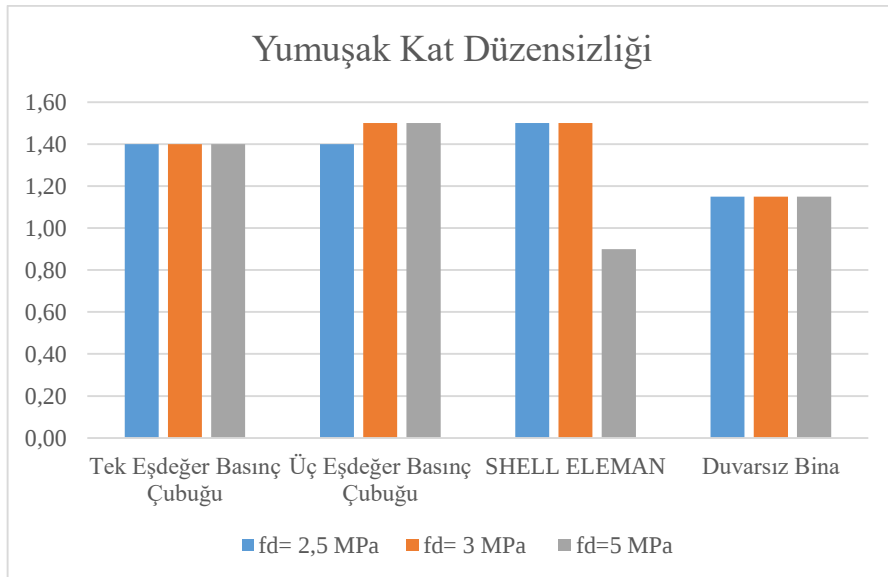
dayanımının artması, binada ki burulma etkisini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Dolgu duvarların betonarme binada burulma etkisi yaptığı düşünülerek bu olguyu en iyi şekilde açıklayan üç eşdeğer basınç çubuğu modeli olabilir. Shell eleman modelinin bu grafikte, malzeme dayanımı arttıkça bina katlarında ki burulma düzensizliğini azalttığıda gözlemlenmiştir.

4.4.1.2. Yumuşak kat düzensizliği

Türk Deprem Yönetmeliği Tablo 3.6'ya göre yumuşak kat düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısının η_{ki} 'nin 2,0'den fazla olması durumudur [24].

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)} / H_{i, \text{ort}}) / (\Delta_{i+1}^{(X)} / H_{i+1, \text{ort}}) > 2.0 \quad (4.9)$$

Bu çalışmada yumuşak kat düzensizliği hesabı yönetmeliğin belirtmiş olduğu eşdeğer deprem yük analizine göre farklı basınç dayanımına sahip shell eleman modeli, eşdeğer basınç çubuğu modeli ve duvarsız modelde ayrı ayrı hesaplanıp Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yumuşak kat düzensizliği kontrolü

Şekilde de görüldüğü gibi, dolgu duvarların binanın her katına simetrik olarak yerleştirilmesi, binada yumuşak kat etkisi oluşturmamıştır. Ancak, yine de dolgu duvarların betonarme binada bölme eleman olarak yerleştirilmesi binada zayıf kat etkisini artırdığı izlenmiştir. Duvarların betonarme binada yumuşak kat etkisi yapabileceği düşünülerek bu olguyu en iyi şekilde açıklayan üç eşdeğer basınç çubuğu modeli olabilir. Shell eleman modelinin bu grafikte yumuşak kat etkisini azalttığı gözlemlenmiştir.

4.4.1.3. Göreli kat ötelemesi kontrolü

X deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi, $\Delta_i^{(X)}$, Denklem (4.10) ile ifade edilmiştir [24].

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \quad (4.10)$$

Bu denklemde $u_i^{(X)}$ ve $u_{i-1}^{(X)}$, sırasıyla tipik X deprem doğrultusu için binanın i'inci ve (i-1)'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri göstermektedir [24]. Tipik X deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelemesi, $\delta_i^{(X)}$, Denklem (4.11) ile ifade edilmiştir [24].

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \quad (4.11)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, Denklem (4.11) ile hesaplanan $\delta_i^{(X)}$ etkin göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $\delta_{i,max}^{(X)}$ aşağıda (a) ve (b) koşullarını sağlayacaktır [24].

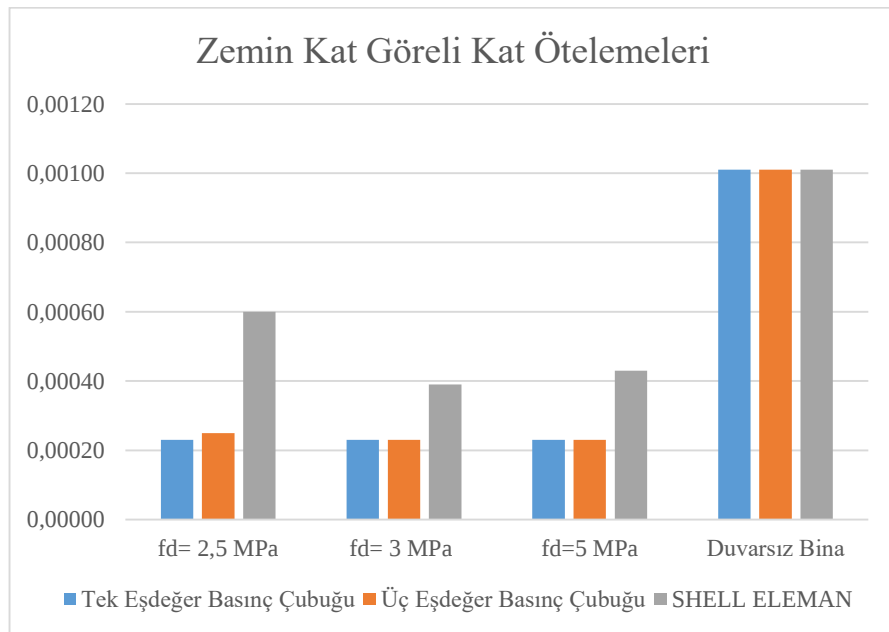
- (a) Gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çevre elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008\kappa \quad (4.12)$$

- (b) Gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,016\kappa \quad (4.13)$$

Denklem (4.12) ve Denklem (4.13)'te yer alan λ katsayısı, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için TBDY 2018 2.2'de tanımlanan DD-3 yer deprem hareketinin Denklem (4.1)'de hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır. Denklemlerde yer alan κ katsayısı ise betonarme binalarda 1, çelik binalarda 0,5 olarak alınacaktır [24]. Bu çalışmada (a) maddesindeki koşul geçerli olduğundan dolayı λ katsayısı 0,532 olarak bulunmuştur. Binamız betonarme olduğu için κ katsayısı hesaplarda 1,0 olarak alınmıştır. Hesaplanan görelî kat ötelemesi bu çalışmada 0,08 değerini aşmayacaktır. Bu çalışmada görelî kat ötelemesi hesabı yönetmeliğin belirtmiş olduğu eşdeğer deprem yük analizine göre farklı basınç dayanımına sahip shell eleman modeli, eşdeğer basınç çubuğu modeli ve duvarsız modelde ayrı ayrı hesaplanıp Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Görelî kat ötelemesi kontrolü

Dolgu duvar kullanımının binalarda görelî kat ötelemelerini azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durum tüm dolgu duvarlı modellerde geçerli olduğu şekilde sunulmuştur.

4.4.1.4. İkinci merteye etkileri

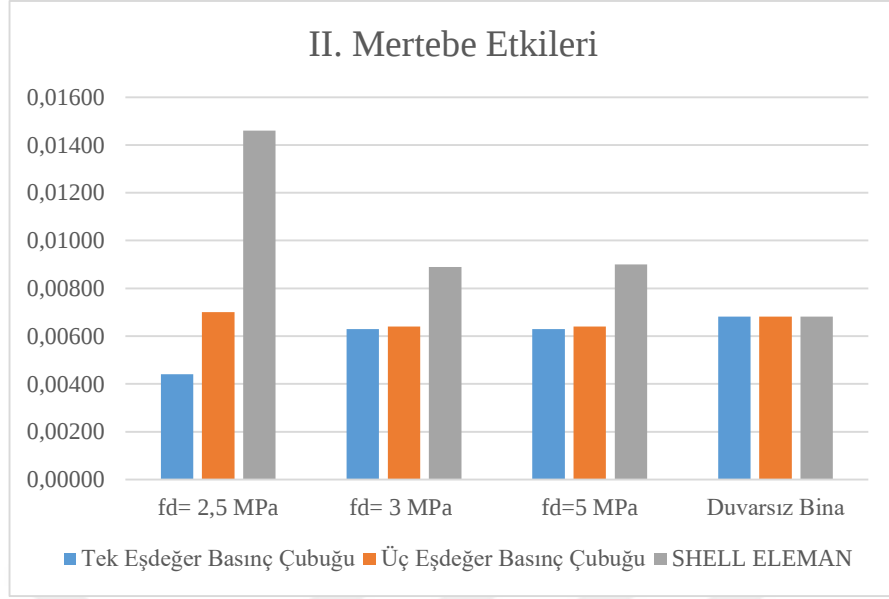
Gözönüne alınan X deprem doğrultusunda her bir i'inci katta Denklem (4.14) ile ikinci merteye gösterge değeri $\theta_{II,i}^{(X)}$ hesaplanacaktır [24].

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{ort} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i^{(X)} h_i} \quad (4.14)$$

Tüm katlar için hesaplanan $\theta_{II,i}^{(X)}$ değerlerinin maksimum değeri $\theta_{II,max}^{(X)}$, ın Denklem (4.15)'te verilen koşulun sağlaması durumunda, ikinci merteye etkilerinin tasarıma esas iç kuvvetlerin gözönüne alınması gerekli değildir [24].

$$\theta_{II,max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \quad (4.15)$$

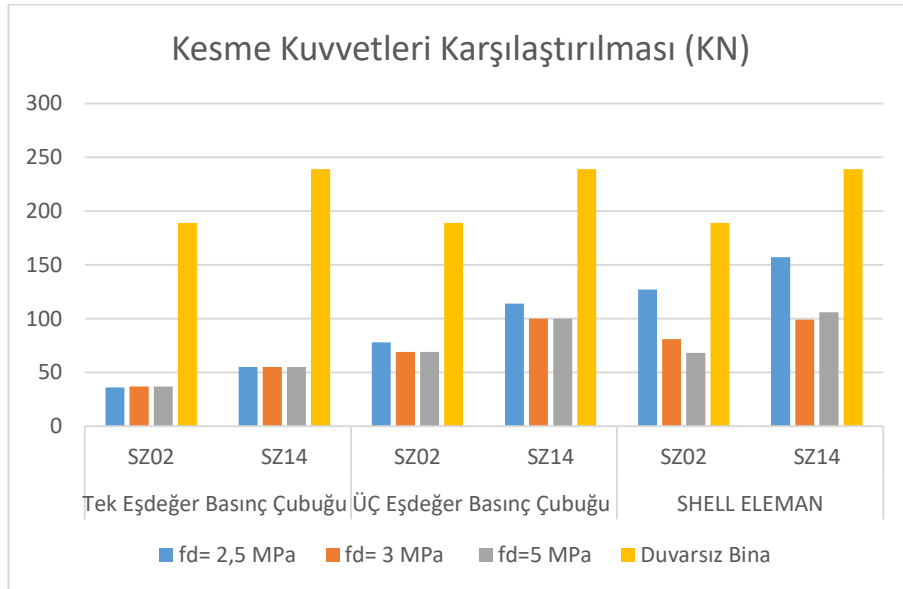
Bu durumda yerel ikinci merteye etkileri, yürürlükteki betonarme ve çelik yönetmeliklerine göre eleman tasarımında gözönüne alınabilir. Denklem (4.15)'deki R ve D parametreleri, bina taşıyıcı sistemi için Türk Deprem Yönetmeliği 2018 Tablo 4.1'de verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısını, C_h ise taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı olarak tanımlanan bir katsayıyı göstermektedir. Betonarme binalarda 0,5, çelik ve kompozit kolonlu binalarda ise 1,0 olarak alınacaktır [24]. Bu çalışmada, D değeri 3, R değeri 1 ve C_h değeri 0,5 alınarak Denklem (4.15)'e göre ikinci merteye gösterge maximum değeri 0,72 olarak hesaplanmıştır. Betonarme binanın tüm katlarında bu gösterge değeri hesaplanmış ve örnek olarak zemin kat ikinci merteye değerleri tüm modeller için Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Betonarme binada dolgu duvarı temsil etmek için kullanılan tüm makro ve mikro modellerin analizi, dolgu duvarların binadaki ikinci merteye etkilerini azalttığını göstermiştir. İkinci merteye etkileri gösterge değeri eğer 0,72 değerini aşsaydı, binanın katlarında ilave momentler ve deplasmanlar oluşabilirdi [30].



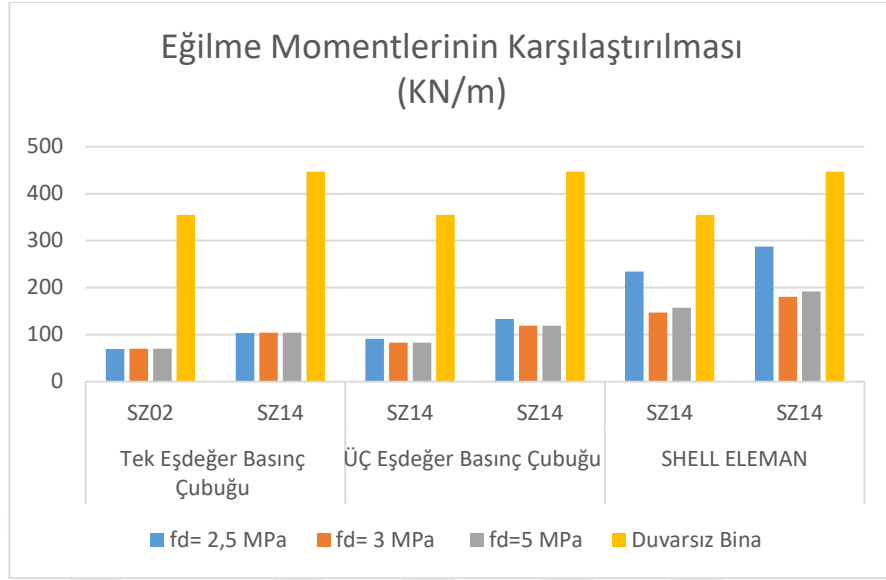
Şekil 4.7. İkinci mertebe gösterge değerleri

4.4.1.5. Taşıyıcı elemanlarda depremin oluşturduğu kuvvetler

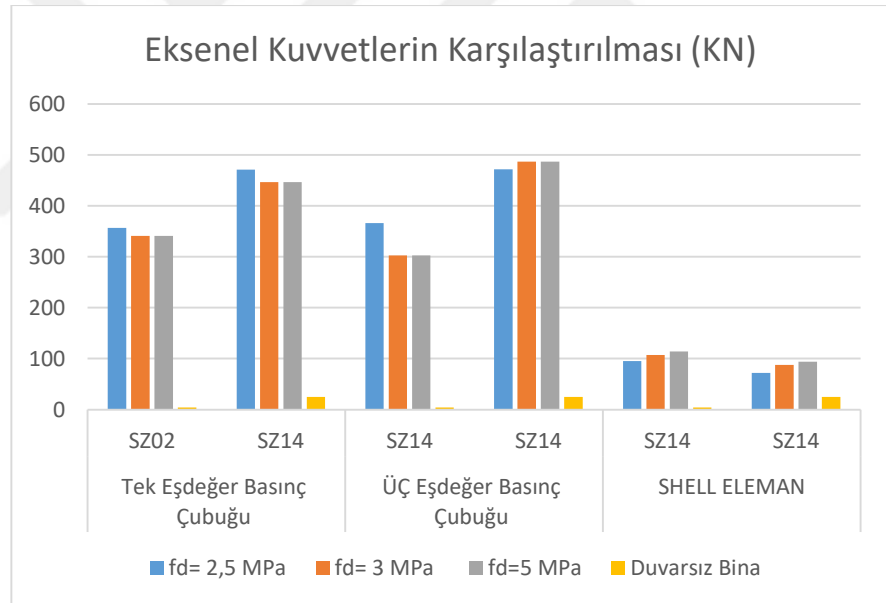
Eşdeğer yük hesabına göre hesaplanan E_x deprem yükleri altında binanın zemin katında bulunan SZ02 ve SZ14 kolonlarında, duvarsız bina olarak modellenildiğinde ve farklı malzeme basınç dayanımları altında modellenen duvarlı bina durumunda kesme kuvvetleri (Şekil 4.8), eğilme momentleri (Şekil 4.9) ve aksenal kuvvetleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kesme kuvvetleri



Şekil 4.9. Eğilme Momentleri



Şekil 4.10. Eksenel Kuvvetler

Şekillerde görüldüğü gibi, betonarme binalarda dolgu duvarın kullanımı taşıyıcı elemanlarda depremin oluşturduğu kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun dışında, dolgu duvar kullanımı kolonlarda eksenel yük taşıma kapasitesini artırdığı izlenmiştir. Dolgu duvar malzeme basınç dayanımı arttıkça tek eşdeğer basınç çubuğu modelinde kesme kuvveti ve eğilme momenti azalmasına rağmen, üç eşdeğer basınç çubuğu modelinde arttığı gözlemlenmiştir. Shell eleman modeline göre, malzeme dayanımının 2,5 MPa'dan 3 MPa'ya çıkması

kesme kuvvetini ve eğilme momentini artırmasına rağmen, malzeme dayanımı 3 MPa'dan 5 MPa'ya çıktığında kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni, SEM'in karmaşık model olması ve uygulamada yerel etkilerin gözlenmiş olmasıdır.

4.4.1.6. Deprem binada oluşturduğu taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı

Eşdeğer yük hesabına göre hesaplanan E_x deprem yükleri altında duvarsız bina olarak modellenildiğinde ve farklı malzeme basınç dayanımları altında modellenen duvarlı bina durumunda taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları değişimi Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Buna ek olarak, bu farklı modellerde yapının hakim mod periyodu ve kütle katılım oranları Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları

Analitik Modellerin Taban Kesme Kuvvetleri Ve Tepe Deplasmanları				
MODELLER		fd= 2,5 MPa	fd= 3 MPa	Duvarsız Bina
TEDBÇM	Taban Kesme Kuvveti (KN)	4592 KN	4553 KN	1971,00
	Tepe Deplasmanı (m)	0,0046	0,0048	0,03
ÜEBÇM	Taban Kesme Kuvveti (KN)	4510 KN	4476 KN	1971,00
	Tepe Deplasmanı	0,0051	0,0043	0,0291
SEM	Taban Kesme Kuvveti (KN)	5477 KN	5894 KN	1971,00
	Tepe Deplasmanı	0,0121	0,0079	0,0291

Bu tabloya göre, betonarme binalarda dolgu duvarların kullanımı binalarda depremin oluşturduğu taban kesme kuvvetini artırdığı gözlemlenmiştir. Bunun yanısıra, dolgu duvarlar betonarme binanın doğal titreşim (hakim mod) periyodunu azalttığı gözlemlenmiştir. Duvar malzeme basınç dayanımının artması oluşan taban kesme kuvvetini azalttığı gözlemlenmiştir. Ancak SEM modelinde malzeme dayanımının artması taban kesme kuvvetini arttırdığını gözlemlenmiştir. FEMA 356 yönetmeliği

dolgu duvar kriterlerine göre malzeme dayanımının artması depremin oluşturduğu taban kesme kuvvetini azalttığını belirtmiştir [30]. Bu durumda SEM modelinde oluşan bu hatanın nedeni, modelin karmaşıklığı ve uygulamada hataların oluşabildiği düşünülmektedir. Tek eşdeğer basınç çubuğu modelinde, basınç çubuğu direk yanal kuvvetlere maruz kalabileceği için en uygun model olarak üç eşdeğer basınç çubuğu modeli olabilir. Diğer iki modelin sonuçları arasında değerler alabilmesi de bunu güçlendiriyor.

Tablo 4.4. Hakim mod periyotları ve kütle katılım oranları

Analitik Modellerin X Yönlü Kütle Katılım Oranları Ve 1.Mod Periyotları				
MODELLER		fd= 2,5 MPa	fd= 3 MPa	Duvarsız Bina
TEDBÇM	1.Mod Periyodu	0,144	0,147	0,51
	1. Mod K.K.O	0,78	0,79	0,81
ÜEBÇM	1.Mod Periyodu	0,152	0,154	0,51
	1. Mod K.K.O	0,80	0,80	0,81
SEM	1.Mod Periyodu	0,232	0,19	0,51
	1. Mod K.K.O	0,86	0,86	0,81

Bu tabloda görülüyor ki, dolgu duvarların betonarme binalarda kullanımı, binanın doğal hakim periyodunu azaltmıştır. Bunun nedeni, dolgu duvarlar binanın rijitliğini arttırmasıdır. Bunun yanısıra dolgu duvarlar betonarme binanın kütle katılım oranını azalttığı gözlemlenmiştir. Ancak SEM modeli kütle katılım oranını arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalara göre dolgu duvarlar betonarme binanın kütle katılım oranını azalttığı gözlemlenmiştir [31]. Bu durumda SEM modelinde oluşan bu hatanın nedeni, modelin karmaşıklığı ve uygulamada hataların oluşabildiği düşünülmektedir. SEM modelinde bölüntüleme hataları ve modelde uygulandığında eğilme etkisinin gözardı edilememesinden dolayı bu model hatalı olabilir. Eşdeğer yük analizi yöntemiyle sonuçlar yukarıda sunulmuştur.

4.5. Mod Birleştirme Yöntemiyle Deprem Hesabı

Mod birleştirme yöntemi tipik bir dinamik analiz yöntemidir. Tepki spektrumları temel olarak, aynı hareket uyarımına tabi tutulan farklı temel doğal zaman periyotlarına sahip olan tek bir serbestlik derecesinin zaman periyoduna göre herhangi bir parametrenin çizimidir. Verilen X deprem doğrultusu için tipik bir n'inci titreşim modunda, taşıyıcı sistemin x eksenı doğrultusunda en büyük modal taban kesme kuvveti $V_{\text{txn,max}}^{(X)}$ (Denklem 4.16) ve buna karşılık gelen en büyük taban devrilme momenti $M_{\text{oxn,max}}^{(X)}$ Denklem (4.17) ile hesaplanır [24].

$$V_{\text{txn,max}}^{(X)} = \sum_{i=1}^N f_{\text{ixn,max}}^{(X)} = m_{\text{txn}}^{(X)} S_{\text{aR}}(T_n) \quad (4.16)$$

$$M_{\text{oxn,max}}^{(X)} = \sum_{i=1}^N f_{\text{ixn,max}}^{(X)} H_i = m_{\text{txn}}^{(X)} S_{\text{aR}}(T_n) \quad (4.17)$$

Bu denklemlerde $f_{\text{ixn,max}}^{(X)}$, X deprem doğrultusu için binanın x eksenı doğrultusunda n'inci doğal titreşim modunda i'inci kata etkiyen en büyük modal deprem yükü, $m_{\text{txn}}^{(X)}$ taban kesme kuvveti modal etkin kuvvetidir ve Denklem (4.18) ile bulunur [24].

$$m_{\text{txn}}^{(X)} = \Gamma_n^{(X)} \sum_{i=1}^N m_i \phi_{\text{ixn}} \quad (4.18)$$

Denklem (4.18)'de m_i , i.katın toplam ağırlığı, ϕ_{ixn} i'inci katta x eksenı doğrultusunda n'inci doğal titreşim mod şekli genliği ve $\Gamma_n^{(X)}$ ise X deprem doğrultusu için, n'inci titreşim moduna ait modal katkı çarpanıdır. $S_{\text{aR}}(T_n)$ n'inci titreşim moduna ait azaltılmış tasarım spektral ivmesidir Denklem (4.4).

Herhangi bir (X) deprem doğrultusu için $V_{\text{txn}}^{(X)} < \gamma_E V_{\text{te}}^{(X)}$ olması durumunda, modal hesap yöntemi ile elde edilen tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri, Denklem (4.19) ile verilen eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı $\beta_{\text{tE}}^{(X)}$ ile çarpılarak büyütülecektir [24].

$$\beta_{\text{tE}}^{(X)} = \frac{\gamma_E V_{\text{te}}^{(X)}}{V_{\text{txn}}^{(X)}} \quad (4.19)$$

Bu denklemlerde, V_{te} ve V_{txn} sırasıyla eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan taban kesme kuvveti ve modal taban kesme kuvvetini ifade etmektedir. γ_E çarpanı

Türk Deprem Yönetmeliği 2018'e göre tanımlanan A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerinden en az birinin binada bulunması durumunda 0,90 ve bu düzensizliklerin binada bulunmaması durumunda 0,80 olarak alınacaktır [24]. Aşağıda duvarsız binanın modal taban kesme kuvvetinin örnek hesabı gösterilmiştir.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{1}{1} = 1$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,128}{0,51} = 0,251$$

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{aR}(T)}{R_a(T)} = \frac{0,251}{1} = 0,251$$

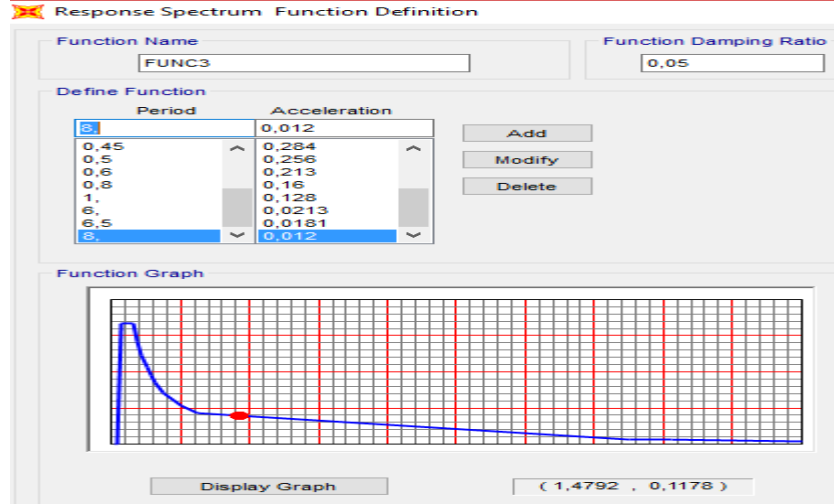
Duvarsız modelin modal analizinden elde edilen verilere göre $\Gamma_n^{(X)}$ değeri 20,04 ve ϕ_{ixn} değeri 0,0642 olduğu ve G+0,3Q yüklemesi altında binanın toplam ağırlığı m_t 7854 KN olduğu gözlemlenmiştir [55].

$$m_{txn}^{(X)} = \Gamma_n^{(X)} \phi_{xn} m_t = 20,4 \times 0,0642 \times 7854 = 10104 \text{ KN}$$

$$V_{txn,max}^{(X)} = m_{txn}^{(X)} S_{aR}(T) = 10104 \times 0,251 = 2526 \text{ KN}$$

Yukarıda yapılan işlemlere göre modal taban kesme kuvveti 2526 KN ve Tablo 4.3'e göre eşdeğer taban kesme kuvveti duvarsız bina için 1971 KN'dur. Modal taban kesme kuvveti, eşdeğer taban kesme kuvvetinden büyük olduğu için Denklem (4.19)'da ki kesme kuvveti büyütme katsayısının bulunmasına gerek kalmamıştır.

Denklem (4.1)'de ki verilere göre elde edilen yatay elastik tasarım spektrumu (Şekil 4.1), fonksiyon olarak bilgisayar tapanlı SAP 2000 programına yüklenerek mod birleştirme hesabı yapılmıştır. Tıpkı eşdeğer deprem yük analiz yöntemine benzer olarak, duvarlı ve duvarsız modeller kurularak elde edilen sonuçlar mukayese edilmiştir. Elde edilen sonuçlar analiz sonuçları kısmında sunulmuştur. Eşdeğer yanal yük yönetmiyle binada yapılan analiz sonuçlar çıktığı gözlemlenmiştir. Bu iki analiz yönteminin farkı olarak, mod birleştirme yöntemiyle depremin binada oluşturduğu modal taban kesme kuvveti eşdeğer yanal yük yöntemiyle depremin binada oluşturduğu taban kesme kuvvetinden büyük olduğu izlenmiştir



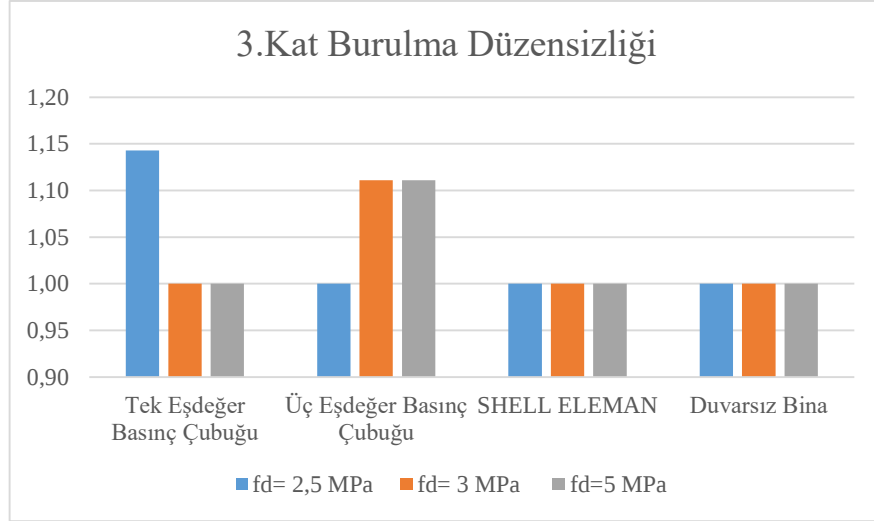
Şekil 4.11. Yatay elastik tasarım spektrumunun SAP2000 programında oluşturulması [55]

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	FUNC3	1

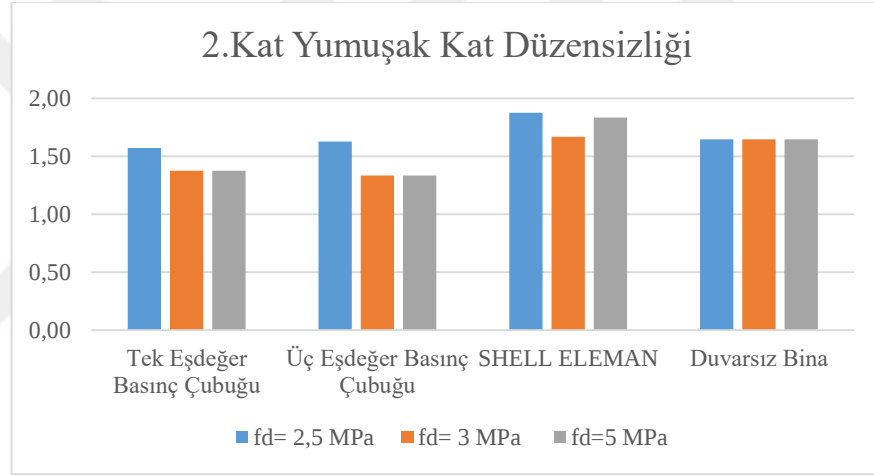
Şekil 4.12. Response spektrum yüklemesinin tanımlanması [55]

4.5.1. Analiz sonuçları

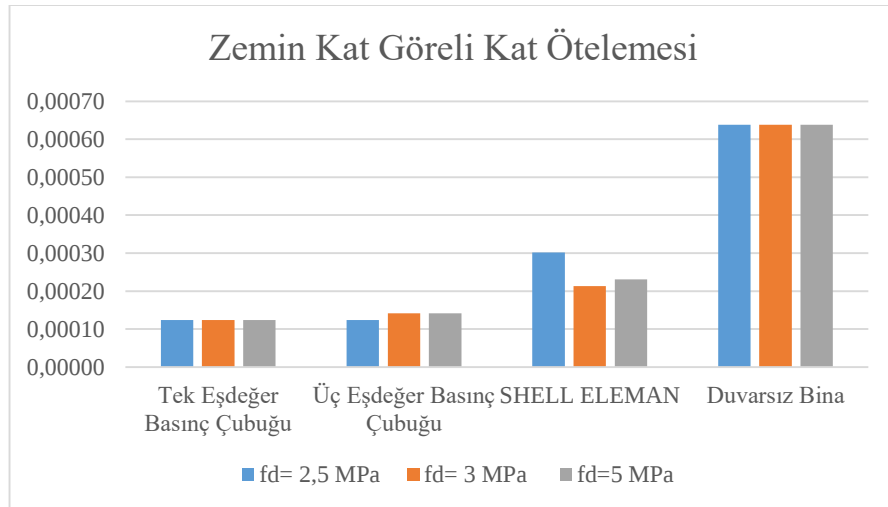
Mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan deprem kuvveti dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binalara etkettirildiğinde birtakım sonuçlar elde edilerek, bu sonuçlar birbirleriyle mukayese edilmiştir. Şekil 4.13'te burulma düzensizliği kontrolü, Şekil 4.14'te yumuşak kat düzensizliği kontrolü, Şekil 4.15'te göreceli kat ötelemesi kontrolü, Şekil 4.16'da SZ02 ve SZ03 kolonlarının kesme kuvvetleri, Şekil 4.17'de SZ02 ve SZ03 kolonlarının eğilme momentleri ve Şekil 4.18'de SZ02 ve SZ03 kolonlarının eksenel kuvvetleri sunulmuştur. Bunlara ek olarak Tablo 4.5'te modal taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları sunulmuştur [55].



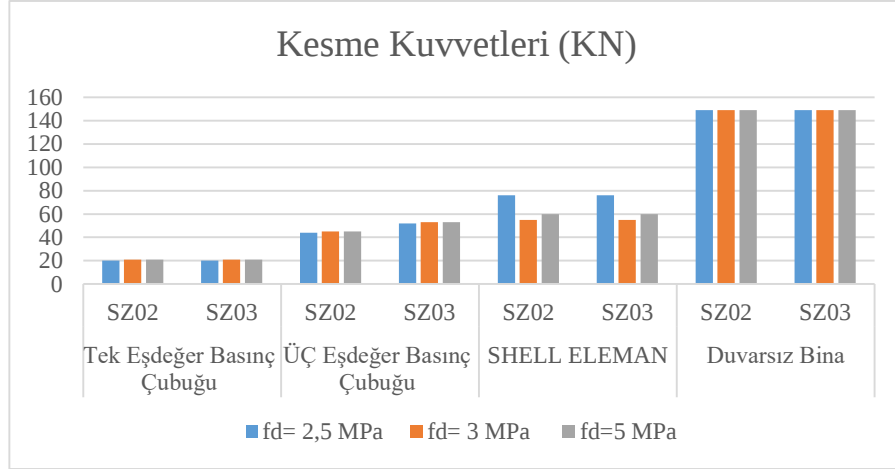
Şekil 4.13. Burulma düzensizliği



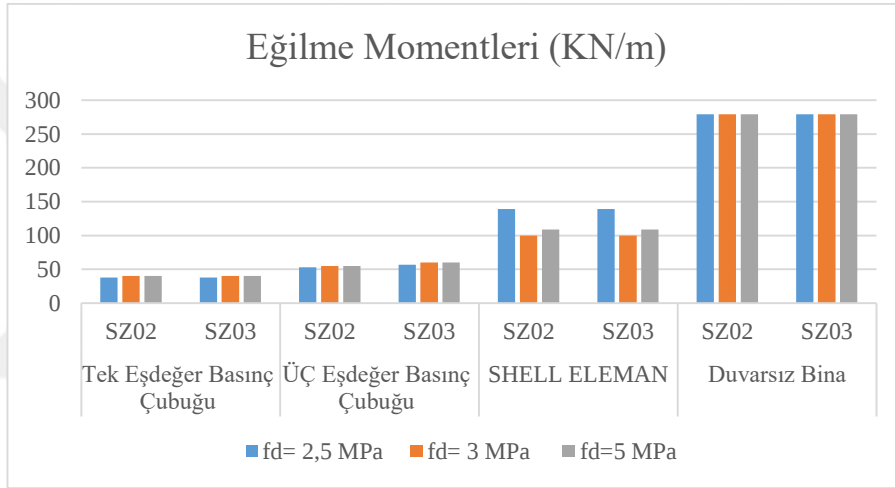
Şekil 4.14. Yumuşak kat düzensizliği



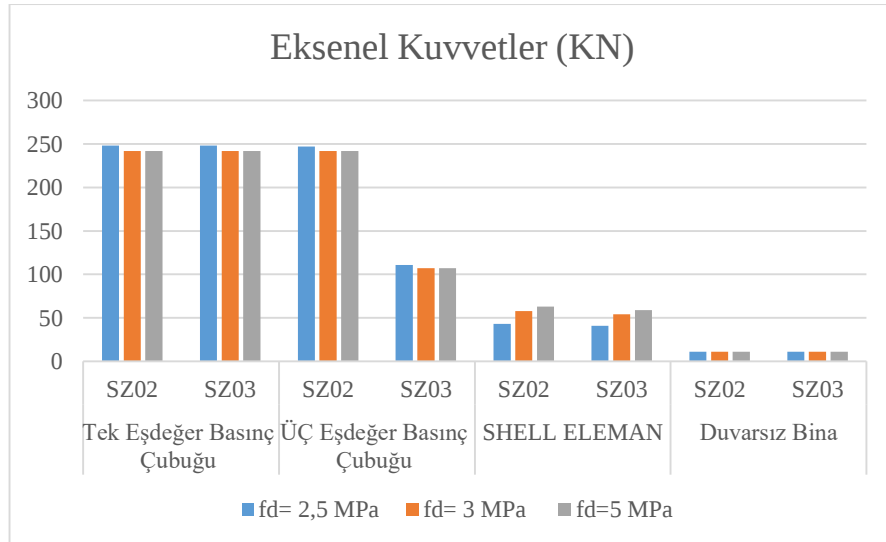
Şekil 4.15. Görelî kat ötelemesi



Şekil 4.16. Kesme kuvvetleri



Şekil 4.17. Eğilme momentleri



Şekil 4.18. Eksenel kuvvetler

Sonuçlardan görülüyor ki dolgu duvarların betonarme binalarda bölme eleman olarak kullanılması burulma düzensizliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanısıra dolgu duvar basınç dayanımının artması, tek eşdeğer basınç çubuğu modelinde burulma düzensizliğini azaltmış lakin    eşdeğer basınç çubuğu modelinde artırdığı gözlenmiştir ve ek olarak shell eleman modelinde hiçbir değişiklik yapmamıştır. Yumuşak kat düzensizliği durumuna gelince, dolgu duvarın basınç dayanımına göre değişkenlik göstermiştir. Örneğin, tek eşdeğer basınç çubuğu modelinde yumuşak kat düzensizliği katsayısı duvar malzemesi basınç dayanımı 2,5 MPa olduğuunda duvarsız modelde ki değere göre daha az olmuştur ancak malzeme dayanımının artması duvarsız modelin yumuşak kat düzensizliği katsayı değerini aştığı gözlemlenmiştir.    eşdeğer basınç çubuğu modelinde ki durumda, bu duruma benzer olduğu gözlemlenmiştir. Shell eleman modelinde 2,5 MPa malzeme dayanımından 3 MPa malzeme dayanımına çıkıldığında katsayı azalmasına rağmen 5 MPa dayanımına çıktığında tekrardan artmaktadır lakin ilk duruma nazaran daha az olduğu gözlemlenmiştir. Göreli kat ötelemeleri kontrolüne gelince, dolgu duvarın betonarme binalarda kullanılması, binadaki göreli kat ötelemelerini tüm analitik modellerde önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. şekil 4.16'da, dolgu duvarlar betonarme taşıyıcı elemanlarda depremden gelen kesme kuvvetlerini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Yapılan  nceki çalışmalara göre [30] dolgu duvarların malzeme dayanımı artarsa, taşıyıcı elemanlarda oluşan kesme kuvvetlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumda, çalışmada bu koşulu sağlayan sadece üç eşdeğer basınç çubuğu modeli olduğu gözlemlenmiştir. Shell eleman da kesme kuvvetleri malzeme dayanımının değişmesi durumuna göre çok değişkenlik göstermiştir. Eğilme momentlerindeki değişim de kesme kuvvetleri yorumuyla aynıdır. Eksenel kuvvetlere gelince, dolgu duvarların betonarme binada bölme eleman olarak kullanılması taşıyıcı elemanların eksenel kuvvetlerini artırdığı gözlemlenmiştir.

Son olarak Tablo 4.5'te bu farklı modellerin modal taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları verilmiştir. Dolgu duvarların betonarme binalarda yapı elemanı olarak kullanılması binanın modal taban kesme kuvvetini önemli ölçüde artırdığı ve tepe deplasmanlarını önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Bu tabloya göre, dolgu duvarların malzeme basınç dayanımlarının artması binanın tepe deplasman değerlerini artırdığı gözlemlenmiştir. Ancak shell eleman modelde malzeme

dayanımı 2,5 MPa'dan 3MPa'ya çıkması tepe deplasman değerini azalttığı gözlemlenmiştir. Yine de shell eleman modelinde malzeme dayanımı 3 MPa'dan 5 MPa'ya çıktığında tepe deplasman değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

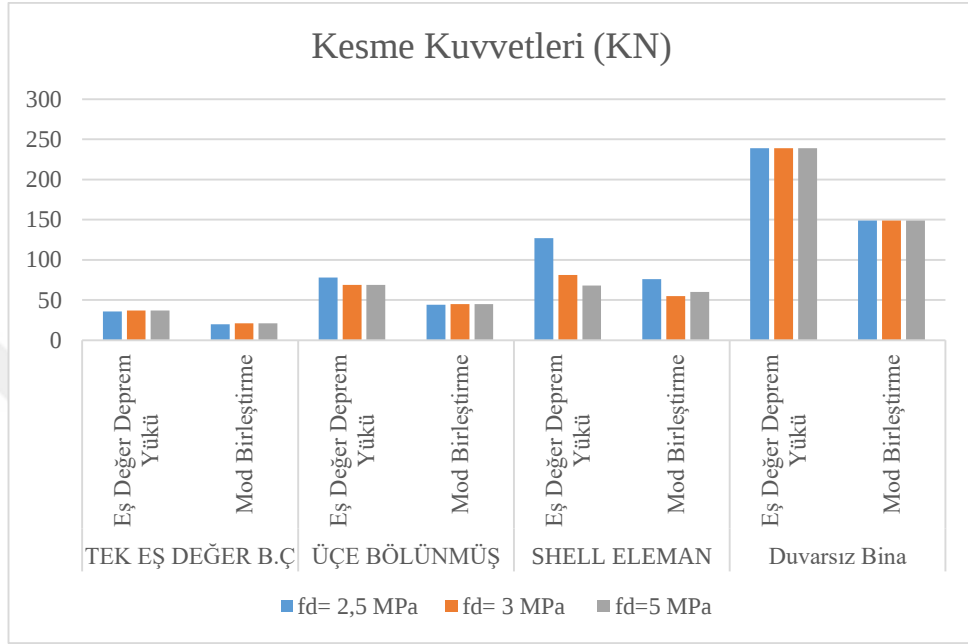
Tablo 4.5. Modal taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları

Analitik Modellerin Modal Taban Kesme Kuvvetleri Ve Tepe Deplasmanları				
MODELLER	KRİTERLER	fd= 2,5 MPa	fd= 3 MPa	fd=5 MPa
TEDBÇM	Taban Kesme Kuvveti (KN)	6466,00	5036,00	5036,00
	Tepe Deplasmanı (m)	0,0024	0,0024	0,0024
ÜEBÇM	Taban Kesme Kuvveti (KN)	5116,00	5107,00	5107,00
	Tepe Deplasmanı (m)	0,0026	0,0027	0,0027
SEM	Taban Kesme Kuvveti (KN)	7000,00	7458,00	8098,00
	Tepe Deplasmanı (m)	0,0059	0,0042	0,0045
Duvarsız Bina	Taban Kesme Kuvveti (KN)	2526,00	2526,00	2526,00
	Tepe Deplasmanı (m)	0,02	0,02	0,02

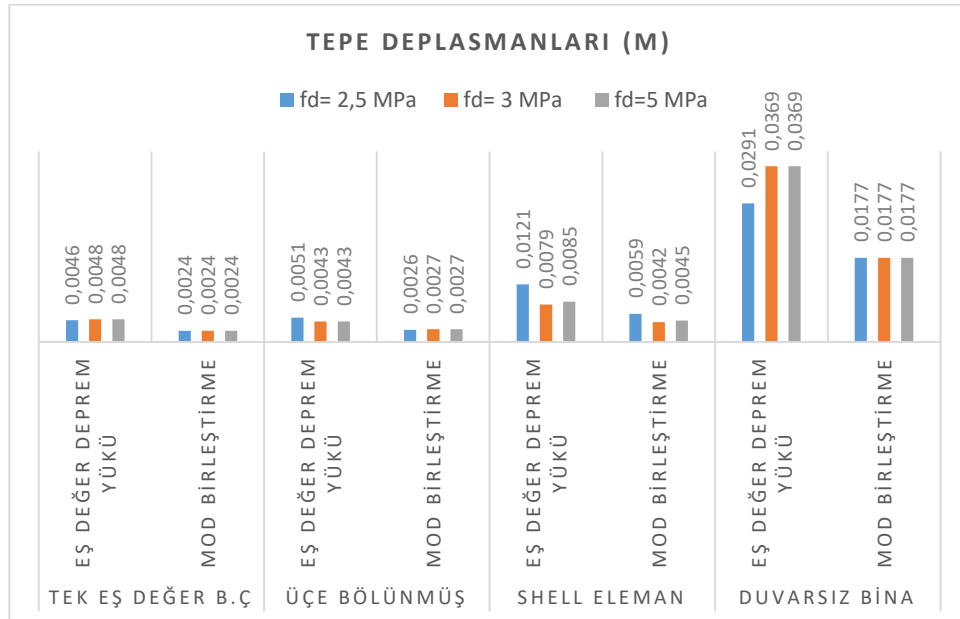
4.6. Eşdeğer Deprem Yük Analizi İle Mod Birleştirme Analizinin Karşılaştırılması

Bölüm 4.4 ve 4.5'te sırasıyla, eşdeğer yük yöntemiyle farklı modellerin analiz edilmesi ve mod birleştirme yöntemiyle farklı modellerin analiz edilmesi incelenmiştir [55]. İki durumda da dolgu duvarların bölme eleman olarak kullanılmasında, binalarda burulma etkisini ve yumuşak kat etkisini artırdığı, görece kat ötelemesini ve ikinci mertebe etkilerini azalttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra dolgu duvarlar bu iki yöntemde de binada taban kesme kuvvetini artırdığı ve tepe deplasmanlarını azalttığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, dolgu duvarların binaya düzgün simetrik yerleştirilmesi bu iki yöntemde kullanılan bütün analitik modellerde depremin kolonlarda oluşturduğu kesme kuvvetini, eğilme momentini azalttığı ve eksenel kuvveti artırdığı gözlemlenmiştir. Ancak mod birleştirme yöntemini uygularken, bina da oluşan taban kesme kuvveti, eşdeğer yük yöntemi kullanılırken binada oluşan taban kesme kuvvetinden uygulanan tüm analitik modellerde fazla olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.19). Mod birleştirme yöntemi kullanılırken, oluşan

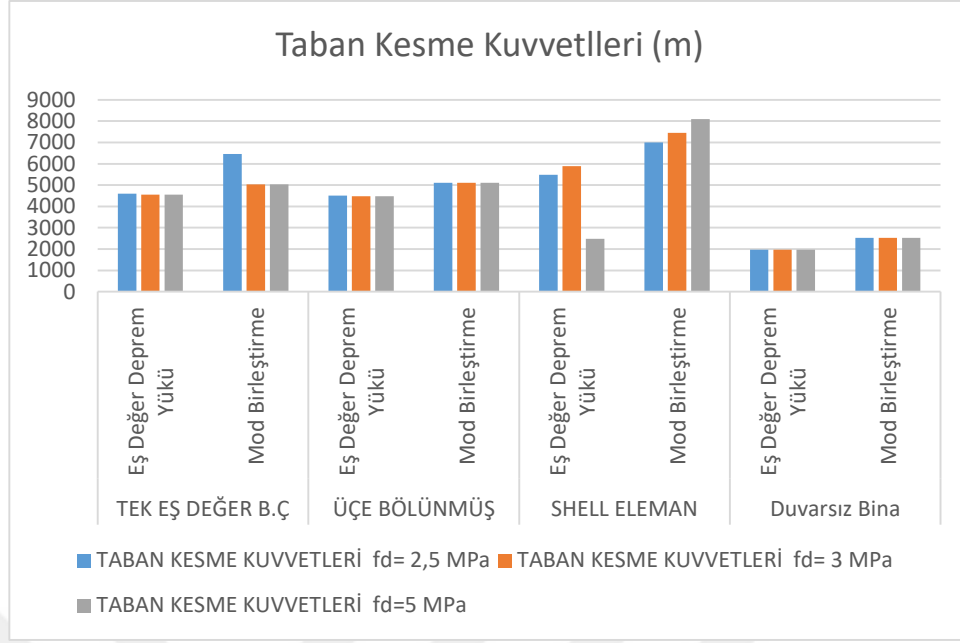
taban kesme kuvvetinin fazla olmasına rağmen binada oluşan tepe deplasmanı, eşdeğer yük yöntemi uygulanırken oluşan tepe deplasmanından daha az olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.20). Ayrıca, depremin kolonlarda oluşturduğu kesme kuvvetleri mod birleştirme yönteminde daha az olduğu izlenilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.19. Farklı analitik modellerde kolonlarda oluşan kesme kuvvetlerinin eşdeğer yük yöntemi ve mod birleştirme yöntemine göre karşılaştırılması



Şekil 4.20. Farklı analitik modellerde oluşan tepe deplasmanlarının eşdeğer yük yöntemi ve mod birleştirme yöntemine göre karşılaştırılması



Şekil 4.21. Farklı analitik modellerde depremin oluşturduğu taban kesme kuvvetlerinin eşdeğer yük yöntemi ve mod birleştirme yöntemine göre karşılaştırılması

4.7. Statik İtme Analizi

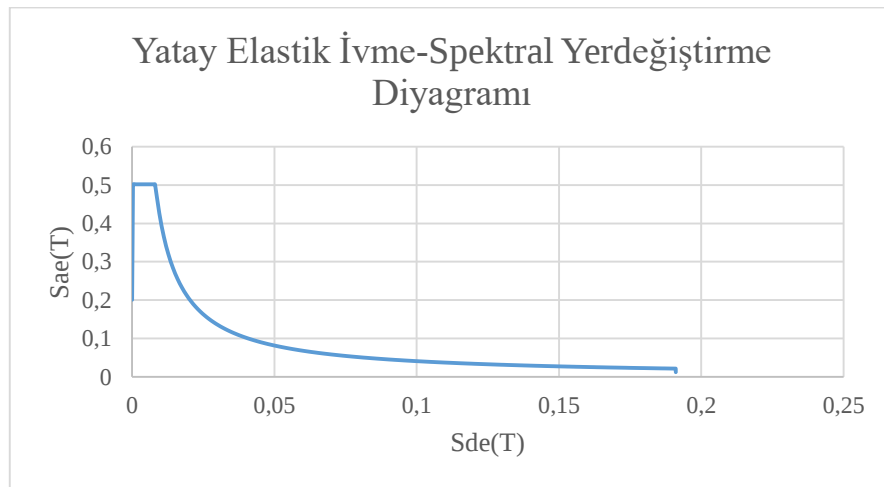
4.7.1. Statik itme analizi uygulaması

Tek modlu itme yöntemi Bölüm 4.5'te açıklanan mod birleştirme yönteminin artımsal karşılığıdır. Tek modlu itme yönteminin uygulanabilmesi için binadaki burulma düzensizliği katsayısının 1,4'ten küçük olması ve hakim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam bina kütlelerine oranının en az 0,70 olması zorunludur [24]. Bu koşullar sırasıyla Şekil 4.4 ve Tablo 4.4'te sağlanmıştır. Tek Modlu İtme Yöntemlerinde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde deprem yerdeğiştirme talebi sınırına kadar monotonik olarak adım adım uygulanan deprem yükü artımlarının etkisi altında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönme, uzama, vb) ve iç kuvvet artımları ile bunların birikimli (kümülatif) değerleri hesaplanır. Son adımda, deprem talebine karşı gelen birikimli değerler, şekildeğiştirmeye değerlendirmeye esas büyüklükler olarak elde edilir [24].

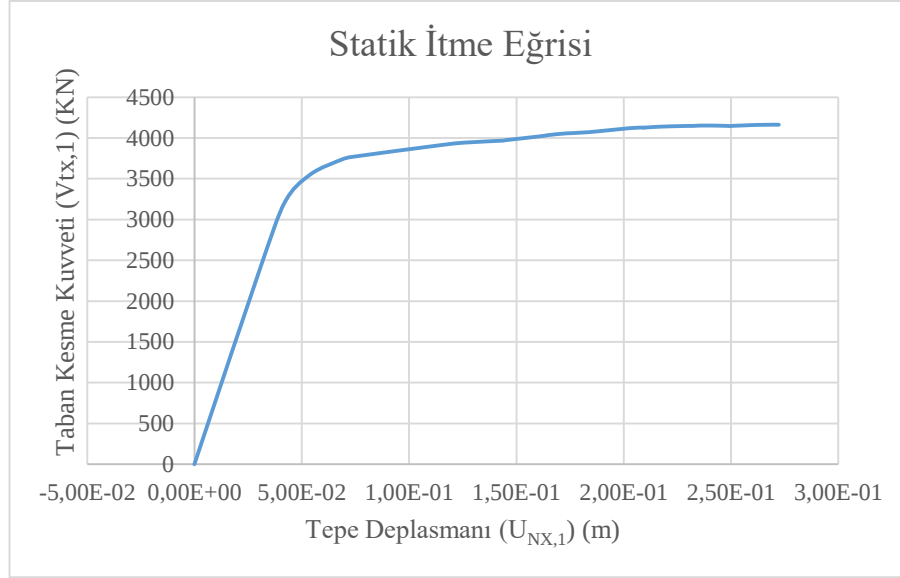
Bu yöntemi açıklamak için örnek olarak binanın duvarsız modeli kullanılmıştır. Tek modlu itme hesabında ilk olarak binamızın bulunduğu zeminin yatay elastik tasarım

ivme spektrumu ve spektral yer değiştirmeler hesaplanarak bir diyagram elde edilir. Yatay elastik ivme spektrumu Denklem (4.2) kullanılarak şekil 4.1’de ki gibi elde edilmiştir. Yatay elastik spektral yer değiştirmeleri $S_{de}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre cinsinden Denklem (4.20)’de tanımlanmıştır [24]. Bu denklem kullanılarak binanın bulunmuş olduğu zemininin elastik ivme-spektral yer değiştirmesi eğrisi elde edilmiştir (şekil 4.22). Bu eğri ile betonarme binanın yatay yük artırımları sonucu oluşan modal kapasite diyagramları bir arada uygulanarak betonarme binanın performans noktası değerleri S_{d1} ve S_{ae1} değerleri bulunmuştur. Daha sonra, yatay yük artırımlarıyla statik itme analizi yapılan binadan taban kesme kuvveti ($V_{tx1}^{(X,k)}$) ve tepe deplasmanı eğrisi ($u_{Nx,1}^{(X,k)}$) elde edilmiştir (şekil 4.23). Bu diyagramlardan elde edilen veriler kullanılarak, X deprem doğrultusu için k’ıncı itme adımımda birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal sözde-ivmesi $a_1^{(X,k)}$ [m/s²] Denklem (4.21) ile hesaplanmıştır [24]. Birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yerdeğiştirmesi $d_1^{(X,k)}$, itme hesabından herhangi bir i’inci katta x doğrultusunda elde edilen yatay yerdeğişirmeden hesaplanabilir. Geleneksel itme hesabında bu amaçla N’inci kattaki tepe yerdeğiştirmesinden yararlanılır [24]. Denklem (4.20)’de modal binanın modal yer değiştirmelerin nasıl hesaplanacağı sunulmuştur. Hesaplanan bu değerler (Tablo 4.6) ile binanın modal ivme- modal yerdeğiştirme eğrisi elde edilmiştir (şekil 4.24).

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (4.20)$$



şekil 4.22. Binanın yatay elastik ivme ve spektral yerdeğiştirme diyagramı



Şekil 4.23. Duvarsız binanın statik itme eğrisi

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}} \quad (4.21)$$

Denklem (4.21)'de m_{tx1} taban kesme kuvveti etkin kütlesidir ve Denklem (4.18)'de ifade edilmiştir. Aşağıda duvarsız bina için hesabı yapılmıştır. Hesaplanan bu etkin kütle değeri ile binanın modal ivme değerleri hesaplanmıştır.

$$m_{tx1} = m_t \Gamma_1^{(X,1)} \Phi_{Nx1}^{(1)} = 7854 \times 7,91 \times 0,161 = 10002,15 \text{ KN}$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX,1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.22)$$

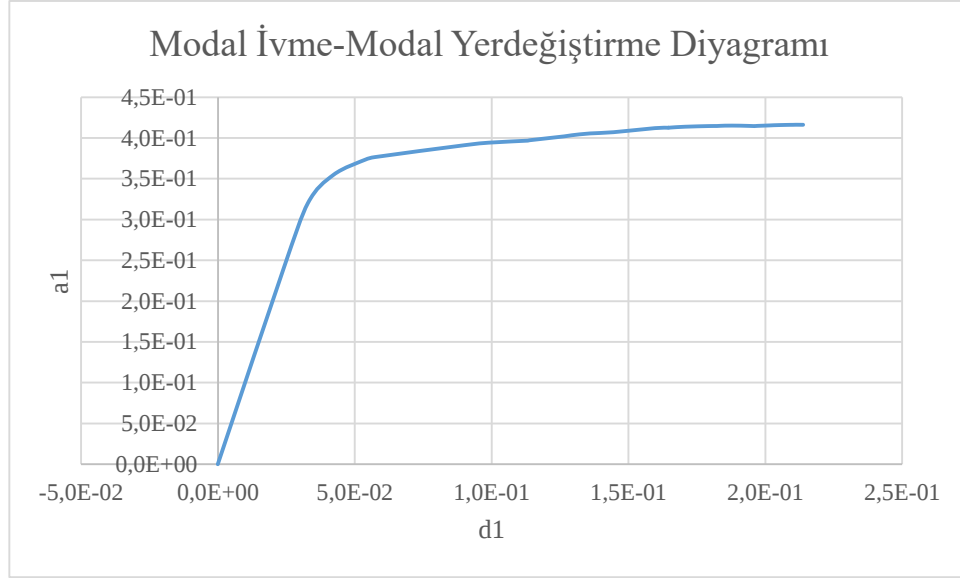
Sözde- modal ivmenin bulunuşu;

$$\text{Step (2); } a_1 = \frac{V_{tx1}}{m_{tx1}} = \frac{2400}{10002,15} = 0,24 \text{ m/s}^2$$

Modal deplasmanın bulunuşu;

$$d_1^{(X,2)} = \frac{u_{NX,1}^{(X,2)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} = \frac{0,03}{0,161 \times 7,91} = 0,024 \text{ m}$$

Yukarıda gösterilen işlemler, tüm adımlarda uygulanarak Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Bu hesaplanan modal ivme ve modal deplasmanlar kullanılarak modal kapasite diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Duvarsız binanın modal ivme- modal yerdeğiştirme eğrisi

Tablo 4.6 Modal ivme ve modal yerdeğiştirmelerin hesaplanması

$U_{NX,1}$ (m)	$V_{tx,1}$ (KN)	a_1 (m/sn ²)	d_1 (m)
-9,9E-05	0,0E+00	0,0E+00	-7,8E-05
3,0E-02	2,4E+03	2,4E-01	2,4E-02
4,2E-02	3,2E+03	3,2E-01	3,3E-02
5,4E-02	3,6E+03	3,5E-01	4,2E-02
6,9E-02	3,7E+03	3,7E-01	5,4E-02
7,3E-02	3,8E+03	3,8E-01	5,7E-02
1,1E-01	3,9E+03	3,9E-01	9,0E-02
1,3E-01	3,9E+03	3,9E-01	9,9E-02
1,4E-01	4,0E+03	4,0E-01	1,1E-01
1,4E-01	4,0E+03	4,0E-01	1,1E-01
1,6E-01	4,0E+03	4,0E-01	1,3E-01
1,6E-01	4,0E+03	4,0E-01	1,3E-01
1,7E-01	4,1E+03	4,1E-01	1,4E-01
1,8E-01	4,1E+03	4,1E-01	1,4E-01
2,0E-01	4,1E+03	4,1E-01	1,6E-01
2,1E-01	4,1E+03	4,1E-01	1,6E-01
2,1E-01	4,1E+03	4,1E-01	1,6E-01
2,1E-01	4,1E+03	4,1E-01	1,6E-01
2,1E-01	4,1E+03	4,1E-01	1,7E-01
2,2E-01	4,1E+03	4,1E-01	1,7E-01
2,3E-01	4,1E+03	4,1E-01	1,8E-01
2,3E-01	4,1E+03	4,1E-01	1,8E-01

Tablo 4.6 (Devam) Modal ivme ve modal yerdeşiştirmelerin hesaplanması

$U_{NX,1}$ (m)	$V_{tx,1}$ (KN)	a_1 (m/sn ²)	d_1 (m)
2,4E-01	4,2E+03	4,2E-01	1,9E-01
2,4E-01	4,2E+03	4,2E-01	1,9E-01
2,5E-01	4,1E+03	4,1E-01	2,0E-01
2,5E-01	4,1E+03	4,1E-01	2,0E-01
2,5E-01	4,1E+03	4,1E-01	2,0E-01
2,5E-01	4,1E+03	4,1E-01	2,0E-01
2,5E-01	4,1E+03	4,1E-01	2,0E-01
2,5E-01	4,1E+03	4,1E-01	2,0E-01
2,6E-01	4,2E+03	4,2E-01	2,0E-01
2,6E-01	4,2E+03	4,2E-01	2,0E-01
2,6E-01	4,2E+03	4,2E-01	2,1E-01
2,7E-01	4,2E+03	4,2E-01	2,1E-01
2,7E-01	4,2E+03	4,2E-01	2,1E-01
2,7E-01	4,2E+03	4,2E-01	2,1E-01
2,7E-01	4,2E+03	4,2E-01	2,1E-01

4.7.2. Depremin modal yer değiştirme talebinin doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak elde edilmesi

Depremin modal yerdeğiştirme talebinin elde edilmesi, verilen deprem etkisi altında modal kapasite diyagramı tarafından temsil edilen modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesinin hesabına karşı gelmektedir [24]. Modal tek serbestlik dereceli sistemde en büyük yer değiştirme, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme olarak tanımlanır [24].

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \quad (4.23)$$

Burada $d_{1,max}^{(X)}$ modal tek serbestlik derecesinin en büyük yer değiştirmesini, $S_{di}(T_1)$ ise taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşılık gelen ve Denklem (4.24) ile tanımlanan spektral yerdeğiştirmeyi gösterir [24].

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (4.24)$$

Burada C_R tanımlanan spektral yerdeğiştirme oranını verir ve Denklem (4.25) veya Denklem (4.26)'ya göre hesaplanır [24].

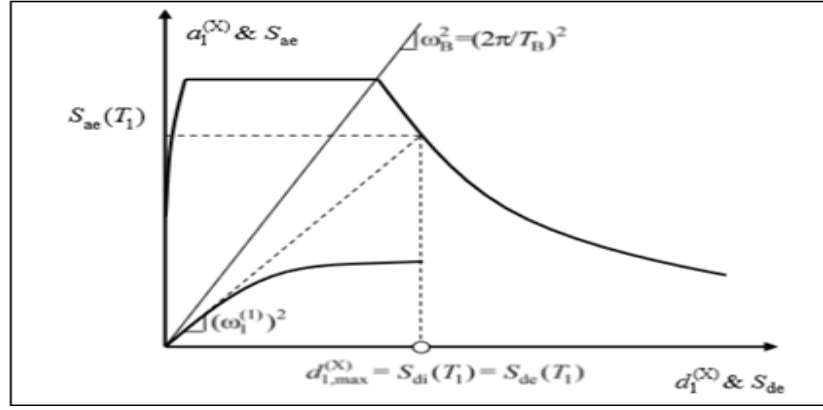
$$C_R=1 \quad (4.25)$$

$$C_R = \frac{1+(R_y-1)\frac{T_B}{T_1}}{R_y} \quad (4.26)$$

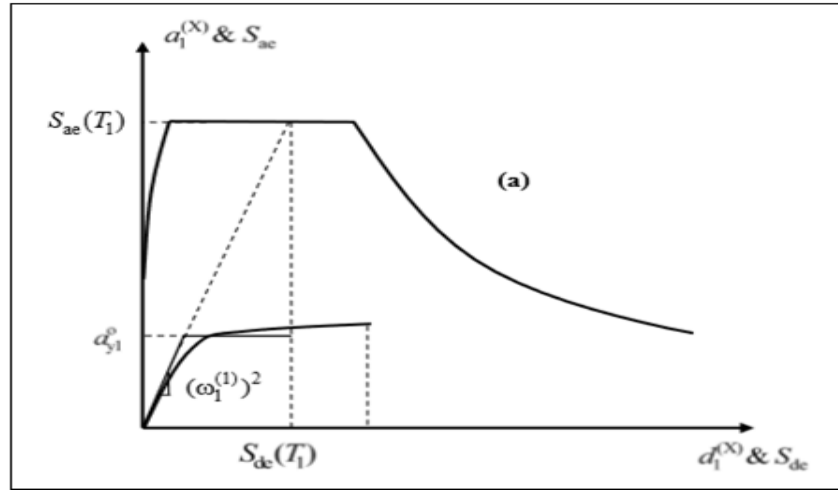
Burada R_y akma dayanımı azaltma katsayısını ifade eder ve Denklem (4.27)'ye göre hesaplanır [24].

$$R_y = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.27)$$

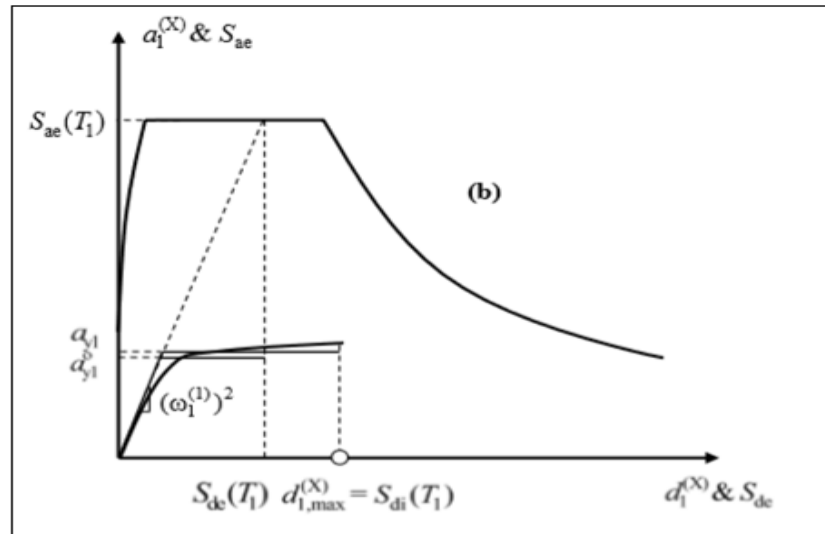
Burada $S_{ae}(T_1)$ elastik spektral ivmeyi, a_{y1} ise akma-sözde ivmesini temsil etmektedir [24]. Şekil 4.25'te ve Şekil 4.26'da birinci (hakim) titreşim moduna ait ve koordinatları modal yerdeğiştirme - modal sözde-ivme (d_1, a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları spektral yerdeğiştirme-spektral ivme (S_{de}, S_{ae}) olan doğrusal deprem spektrumu Türk Deprem Yönetmeliği 2018'den alınmıştır. Şekil 4.25'te gösterilen durum Denklem (4.24) ve Denklem (4.25)'in uygulanmasına karşılık gelmektedir. Bu durumda modal kapasite diyagramı üzerinde hiçbir işlem yapmaksızın, sadece birinci itme adımıdaki doğal titreşim periyodunun $T_1 > T_B$ veya $(w_1^1)^2 \leq w_B^2$ koşulunun sağlandığını gösterilmesi yeterlidir. Öte yandan Şekil 4.26'da gösterilen durum Denklem (4.24) ve Denklem (4.26)'nın uygulanmasına karşılık gelmektedir. Bu durumda spektral yerdeğiştirme oranı, C_R , ardışık yaklaşımla hesaplanacaktır. Bu amaçla modal kapasite diyagramı Şekil 4.26a'da gösterildiği üzere, önce $C_R=1$ alınarak iki doğrulu elasto-plastik bir diyagrama dönüştürülür. Dönüşüm işleminde diyagramların altında kalan alanların eşitliği esas alınır. Bu şekilde bulunan yaklaşık akma sözde-ivmesi $a_{y1}^{(0)}$ kullanılarak Denklem (4.27)'den R_y ve buna bağlı olarak Denklem (4.26)'dan C_R ve Denklem (4.24)'den $S_{di}(T_1)$ hesaplanır. Buna göre elasto-plastik diyagram tekrar oluşturulur (Şekil 4.26b) ve yeniden bulunan a_{y1} esas alınarak aynı işlemler tekrarlanır. Sonuçların yeterince yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir [24]. Anlatılan bu yaklaşıma göre binanın duvarlı ve duvarsız drumlarında statik itme analizi yapılarak sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.25. Eşit deplasman kuralının geçerli olduğu durum [24]



Şekil 4.26a. Eşit deplasman kuralının geçerli olmadığı durum [24]

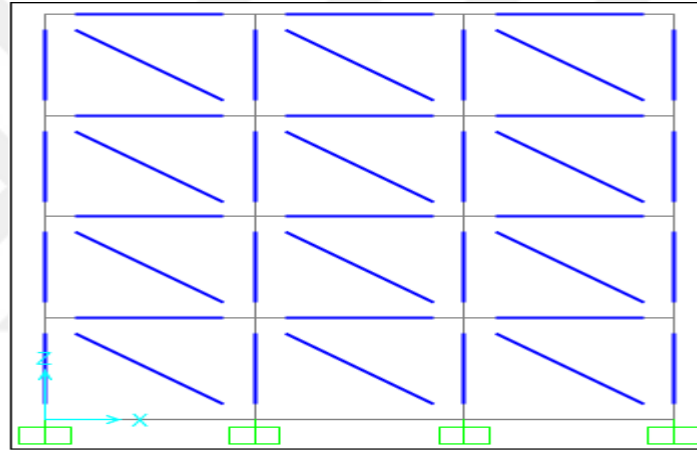


Şekil 4.26b. Sonuçların yaklaşık olarak bulunduğu ardışık adıma son verildiği durum [24]

Yukarıda sunulan bilgilere göre, bu çalışmada kullandığımız 4 katlı betonarme binanın bilgisayar tabanlı SAP2000 programında analitik modeli kurularak, taşıyıcı elemanlara plastik mafsallı atandı ve yanal artırımlı statik yükleme oluşturularak binada statik itme analizi yapıldı. Kolonların plastik mafsalları P-M2-M3 olarak ve kirişlerin plastik mafsalları M3 olarak düşünüldü. Elemanların plastik mafsallı boyu Denklem (4.28)'e göre belirlenmiştir [24].

$$L_p = 0,5h \quad (4.28)$$

Bu denklemde L_p elemanın plastik mafsallı boyu ve h ise elemanın enkesit yüksekliğidir.



Şekil 4.27. Bina taşıyıcı elemanlarına plastik mafsallı atanması [55]

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: ACASE1 [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions: ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State ☐ Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Q	0,3
Load Pattern	G	1
Load Pattern	Q	0,3

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

Load Application: [Full Load] [Modify/Show...]

Results Saved: [Final State Only] [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: [Default] [Modify/Show...]

Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear ☐ Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters: ☒ None ☐ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: [MSSSRC1]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.28a. Linear olmayan düşey yükün tanımlanması [55]

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: pushx [Set Def Name] [Modify/Show...]

Initial Conditions:

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case [ACASE1]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Egx	1

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

Load Application: [Displ Control] [Modify/Show...]

Results Saved: [Multiple States] [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: [Default] [Modify/Show...]

Load Case Type: [Static] [Design...]

Analysis Type:

☐ Linear

☒ Nonlinear

☐ Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None

☐ P-Delta

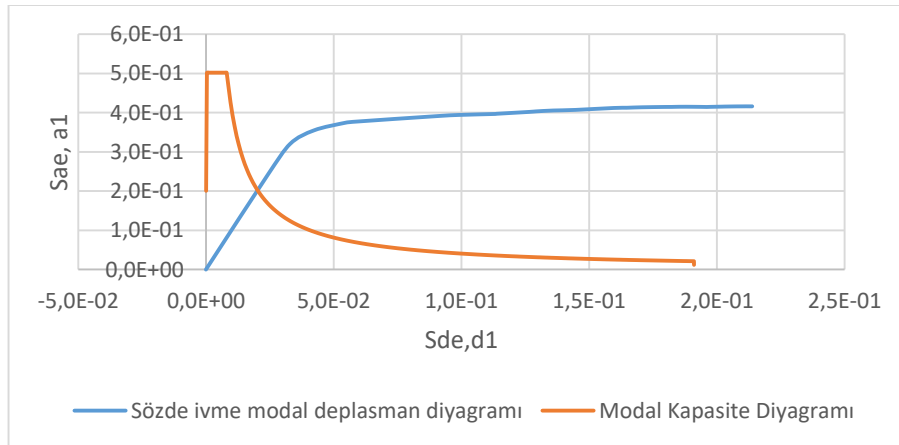
☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: [MSSSRC1]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.28b. Statik itme yükünün tanımlanması [55]

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de G, binanın döşemelerinde ve kirişlerinde ki sabit düşey yükü, Q, binanın binanın döşemelerinde ki hareketli yükü göstermektedir. Bunun yanısıra Egx binanın eşdeğer yük yöntemine göre hesaplanan katların düğüm noktalarına yanal olarak etkiyen eşdeğer deprem yüklerini temsil etmektedir. MSSSRC1 ise binanın kütle kaynağını (G+0,3Q) temsil etmektedir. Yapılan statik itme analizi sonucu duvarsız binanın statik itme eğrisi (Şekil 4.23) ve bu eğriye göre binanın sözde-ivme ve modal deplasmanları (Tablo 4.6) elde edilmiştir. Elde edilen bu verilere göre binanın modal kapasite koordinatları (S_{de}, S_{ae}) ve sözde ivme, modal deplasman koordinatları (a₁, d₁) birlikte çizdirilmiştir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Duvarsız model modal kapasite diyagramı

Bu diyagramdan S_{de1} 0,030 m ve S_{ae1} 0,2 m/s² olarak bulunmuştur. Bu diyagram eşit deplasman kuralına uymadığı için C_R değeri Denklem (4.26)’ya göre hesaplanmıştır.

$$R_y = \frac{S_{ac}(T_1)}{a_{y1}^0} = \frac{0,5}{0,2} = 2,5$$

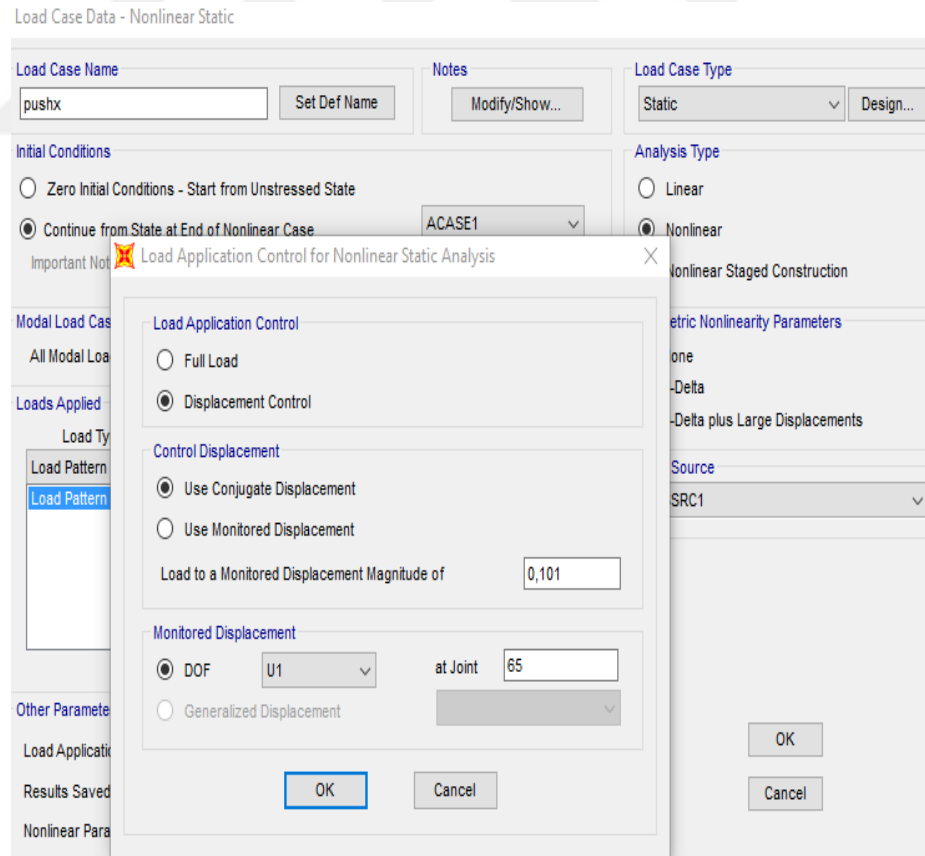
$$C_R = \frac{1+(R_y-1)\frac{T_B}{T_1}}{R_y} = \frac{1+(2,5-1)\frac{0,254}{0,0509}}{2,5} = 3,39$$

Yukarıda elde edilen verilerle Denklem (4.23) ve Denklem (4.24) kullanılarak modal tek serbestlik derecesinin en büyük yer değiştirmesi bulunmuştur.

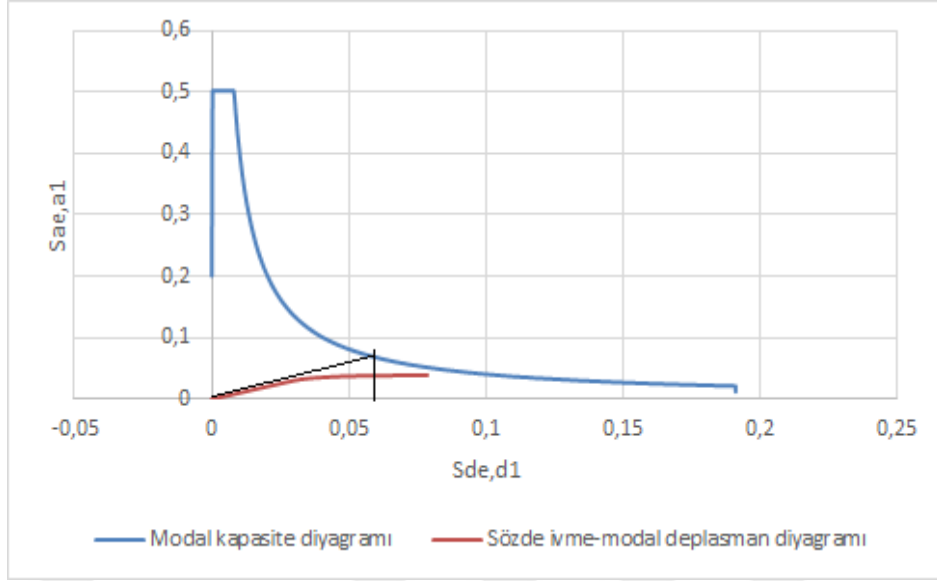
$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) = 3,39 \times 0,030 = 0,101 \text{ m}$$

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) = 0,101 \text{ m}$$

Betonarme bina 0,101 m deplasman kontrol noktasına kadar itilerek, (Şekil 4.30) sonuçların yaklaşık olarak bulunduğu ardışık adıma son verildiği durum Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Enbüyük modal deplasmana kadar binanın statik olarak itilmesi [55]



Şekil 4.31. Duvarsız binada sonuçların yaklaşık olarak bulunduğu ardışık adıma son verildiği durum

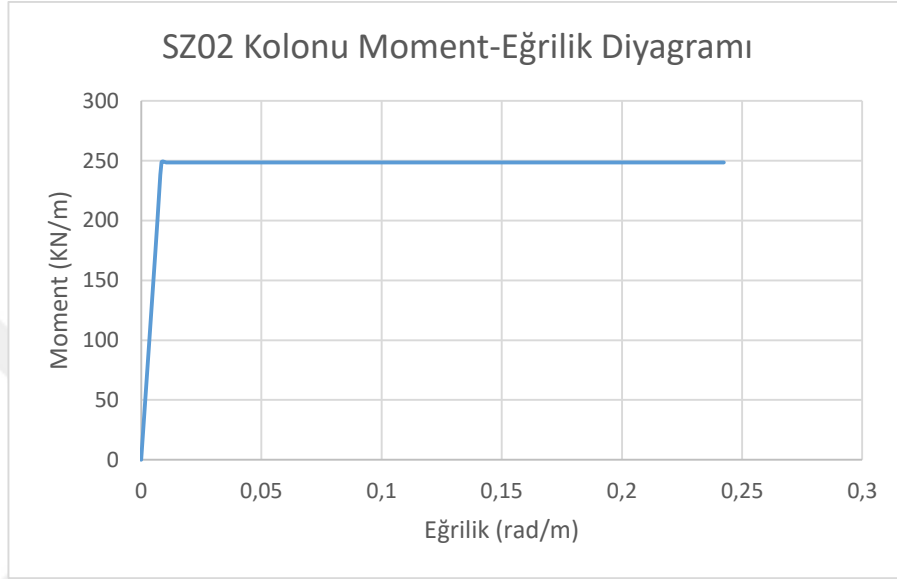
Yukarıda duvarsız bina için modal kapasite diyagramları elde edilmiştir. Tüm analitik modellerde modal kapasite diyagramları elde edilerek analiz sonuçlarında sunulmuştur.

4.7.3. Kesit hasar sınırlarının belirlenmesi ve taşıyıcı elemanların performansının değerlendirilmesi

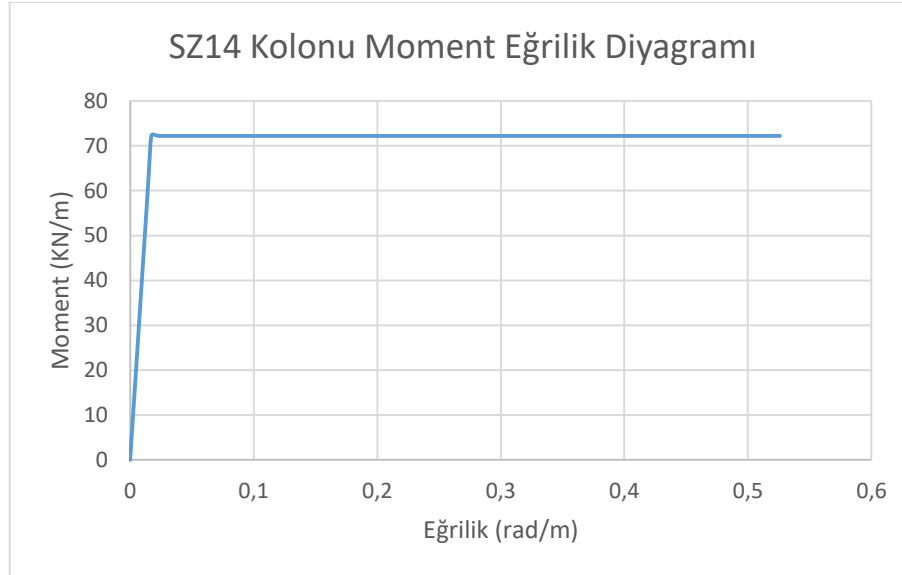
Bu bölümde referans olarak alacağımız SZ02 ve SZ14 kolonlarının duvarsız ve duvarlı durumlarda performansını belirlemek için taşıyıcı elemanlarda kullanılan betonun, donatının hasar sınırları hesap edilmiştir. Bunun yanı sıra taşıyıcı elemanın yapacağı plastik dönme içinde bazı sınır değerleri hesaplanmıştır. Bu bölümde örnek olarak bir taşıyıcı elemanın hasar sınırının nasıl belirlendiğini göstermek için SZ02 kolonu kullanılmıştır. Türk Deprem Yönetmeliği 2018 üç farklı hasar seviyesi sunmuştur. Bunlardan ilki göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi, diğeri kontrollü hasar performans düzeyi (KH) ve sonuncusu sınırlı hasar (SH) performans düzeyidir [24].

Belirlenmiş olan hasar seviyeleri ile taşıyıcı elemanların performansını değerlendirebilmek için, taşıyıcı elemanların ilk olarak moment eğrilik diyagramlarının elde edilmesi gerekmektedir. Moment eğrilik ilişkisine göre taşıyıcı elemanların birim şekil değiştirme istemleri hesaplanabilir. Hesaplanan bu istemlerle,

hasar sınır değerleri mukayese edilerek elemanların hasar seviyeleri belirlenir. Taşıyıcı elemanların moment eğrilik diyagramlarını elde etmek için Türk Deprem Yönetmeliği 2018 EK5A’da tanımlanan beton ve donatı sargılama modelleri kullanılmıştır [24]. SZ02 ve SZ14 kolonlarına ait moment-eğrilik diyagramları sırasıyla Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’te sunulmuştur.



Şekil 4.32. SZ02 kolonu moment-eğrilik diyagramı



Şekil 4.33. SZ14 kolonu moment-eğrilik diyagramı

Uygulamada kullandığımız SZ02 ve SZ14 kolonlarının boyuna donatıları sırasıyla 16 ϕ 16 ve 8 ϕ 16’dır. Bunun yanısıra bu kolonlarda kullanılan etriyeler 2 ϕ 10/100mm’dir. Bu kolonlarda kullanılan beton sınıfı ise C30’dur [54]. Yukarıda sunulan eğrilere

göre taşıyıcı kolonların yaptığı herhangi bir eğrilikte birim şekil değiştirme istemleri hesaplanmıştır.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, yeni betonarme bina elemanlarında bu bölümde verilen yayılı plastik davranış modeline göre hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekil değiştirmeleri dikdörtgen kesit bina için aşağıda gösterilmiştir [24];

Beton birim kısalması;

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0,0035 + 0,04 \sqrt{\varpi_{we}} \quad (4.29a)$$

$$\varpi_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (4.29b)$$

$$\alpha_{se} = \left[1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0} \right] \left[1 - \frac{s}{2b_0} \right] \left[1 - \frac{s}{2h_0} \right] \quad (4.29c)$$

$$\rho_{sh,min} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (4.29d)$$

Bu denklemlerde, ϖ_{we} etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını, α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, ρ_{sh} enine donatının hacimsel oranını, f_{ywe} enine donatının ortalama akma dayanımını, f_{ce} betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımını, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_0 ve h_0 sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, s enine donatı aralığını, A_{sh} enine donatının alanını ve b_k en dıştaki enine donatının eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir [24].

Donatı birim kısalması;

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0,4 \varepsilon_{su} \quad (4.30)$$

Bu denklemde ε_{su} Türk Deprem Yönetmeliği 2018 EK5A'da tanımlanan çekme dayanımına karşılık gelen birim uzamayı göstermektedir. Donatı kalitesi S420 olduğu için bu değer 0,08 olarak alınmıştır.

Türk Deprem Yönetmeliği EK5A’da verilen beton ve donatı çeliği modelleri dikkate alınarak yapılacak eğrilik analizi sonucunda plastik dönmeler için göçmenin önlenmesi performans düzeyi Denklem (4.31)’de verilmiştir [24].

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[\left(\phi_u - \phi_y \right) L_p \left(1 - 0,5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4,5 \phi_u d_b \right] \quad (4.31)$$

Burada, ϕ_u göçme öncesi toplam eğriliği, ϕ_y akma eğriliğini, L_p plastik mafsallık boyunu, L_s taşıyıcı elemanın kesme açıklığını, d_b boyuna donatı çapını göstermektedir [24].

Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi için aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır [24].

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0,75 \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \quad (4.32a)$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0,75 \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (4.32b)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0,75 \theta_p^{(G\ddot{O})} \quad (4.32c)$$

Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi için aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır [24].

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0,0025 \quad (4.33a)$$

$$\varepsilon_s^{(SH)} = 0,0075 \quad (4.33b)$$

$\theta_p^{(SH)} = 0$ olursa plastik mafsallık oluşumuna izin verilmeyecektir.

Örnek olarak SZ02 kolonunun kesit hasar sınırları aşağıda belirlenmiştir;

$$\rho_{sh,min} = \frac{A_{sh}}{b_k s} = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{b_k s} = \frac{78,5}{470 \times 100} = 0,0017$$

$$\alpha_{se} = \left[1 - \frac{12 \times 150^2}{6 \times 450 \times 450} \right] \left[1 - \frac{100}{2 \times 450} \right] \left[1 - \frac{100}{2 \times 450} \right] = 0,614$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} = 0,614 \times 0,0017 \times \frac{420}{30} = 0,0143$$

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}=0,0035+0,04\sqrt{\eta_{we}}=0,0035+0,04\sqrt{0,0143}=0,0118$$

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})}=0,4\varepsilon_{su}=0,4\times 0,08=0,032$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})}=\frac{2}{3}\left[\left(\phi_u-\phi_y\right)L_p\left(1-0,5\frac{L_p}{L_s}\right)+4,5\phi_ud_b\right]$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})}=\frac{2}{3}\left[(0,233-0,0078)0,25\left(1-0,5\frac{0,25}{3}\right)+4,5\times 0,233\times 16\right]$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})}=0,0468$$

$$\varepsilon_c^{(KH)}=0,75\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}=0,75\times 0,0118=0,0089$$

$$\varepsilon_s^{(KH)}=0,75\varepsilon_s^{(G\ddot{O})}=0,75\times 0,032=0,025$$

$$\theta_p^{(KH)}=0,75\theta_p^{(G\ddot{O})}=0,75\times 0,0468=0,0351$$

Yukarıda sadece dolgu duvarsız binada SZ02 kolonu için kesit hasar sınırları hesap edilmiştir. SZ02 ve SZ14 kolonlarının kesit hasar sınırlarını belirlemek için yukarıda ki işlemler tekrar edilmiş olup Tablo 4.7’de sunulmuştur.

Tablo 4.7. Referans kolonlar için kesit hasar sınırları

Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi			
KOLONLAR	$\varepsilon_{cg\ddot{o}}$	$\varepsilon_{sg\ddot{o}}$	$\theta_{pg\ddot{o}}$
SZ02	0,012	0,032	0,047
SZ14	0,0102	0,032	0,106

Kontrol Edilebilir Hasar Seviyesi			
KOLONLAR	ε_{ckh}	ε_{skh}	θ_{pkh}
SZ02	0,008918	0,024	0,035131
SZ14	0,00765	0,024	0,0116

Sınırlı Hasar Seviyesi			
KOLONLAR	ε_{csh}	ε_{ssh}	θ_{psh}
SZ02	0,0025	0,0075	0
SZ14	0,0025	0,0075	0

Performans değerlendirilmesine gelince, örnek olarak duvarsız binanın SZ02 taşıyıcı kolonun binada sonuçların yaklaşık olarak bulunduğu ardışık adıma son verildiği durumda ki toplam eğrilik değeri hesaplanarak, moment-eğrilik diyagramından birim

şekil değiştirme istemleri hesaplanmıştır. Kolonun toplam eğrilik değerinin nasıl hesaplandığı aşağıda sunulmuştur [24].

$$\Phi_t = \Phi_y + \Phi_p \quad (4.34a)$$

$$\Phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (4.34b)$$

Bu denklemlerde Φ_t toplam eğrilik değerini, Φ_y akma eğriliğini, Φ_p plastik eğrilik değerini, L_p plastik mafsalsal boyunu ve θ_p ise statik itme analizinden elde edeceğimiz binada sonuçların yaklaşık olarak bulunduğu ardışık adıma son verildiği durumda ki plastik dönme değeridir. L_p değerinin taşıyıcı kolonunun en kesit yüksekliğinin yarısı olduğunu önceki bölümlerde göstermiştik. Analiz sonuçlarına göre, son itme adımındaki taşıyıcı kolonun plastik dönme ve moment değerleri Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Statik itme analizi sonucu duvarsız binanın SZ02 kolonuna ait plastik dönme, moment ve toplam eğrilik değerleri

M(KNm)	θ (rad)	Φ_p	L_p (m)	Φ_y	Φ_t
-0,3899	0	0	0,25	0,0059	0,0059
127,294	0	0	0,25	0,0059	0,0059
254,978	0	0	0,25	0,0059	0,0059
382,662	0	0	0,25	0,0059	0,0059
391,341	0	0	0,25	0,0059	0,0059
486,462	0,00022	0,00086	0,25	0,0059	0,00676
491,96	0,00126	0,00504	0,25	0,0059	0,01094
494,926	0,00243	0,00972	0,25	0,0059	0,01562
499,923	0,00337	0,01346	0,25	0,0059	0,01936
501,613	0,00446	0,01784	0,25	0,0059	0,02374
497,48	0,00597	0,02388	0,25	0,0059	0,02978
501,398	0,00624	0,02494	0,25	0,0059	0,03084
508,791	0,00677	0,02706	0,25	0,0059	0,03296

Bu tabloda ki akma eğriliği değeri SZ02 kolonuna ait Şekil 4.32’de ki moment-eğrilik diyagramından 0,0059 rad/m olarak elde edilmiştir. Kolonun enkesit yüksekliği 0,5 m olduğu için plastik mafsalsal boyu 0,25 olarak elde edilmiştir.

Buna göre toplam eğrilik değerinin 13.adımda bulunması örnek olarak aşağıda gösterilmiştir;

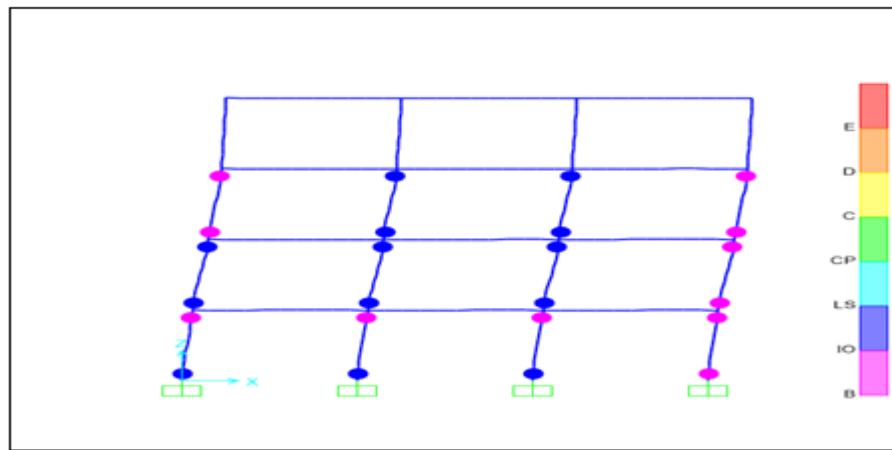
$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = \frac{0,0067}{0,25} = 0,027 \text{ rad/m}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0,0059 + 0,027 = 0,0329$$

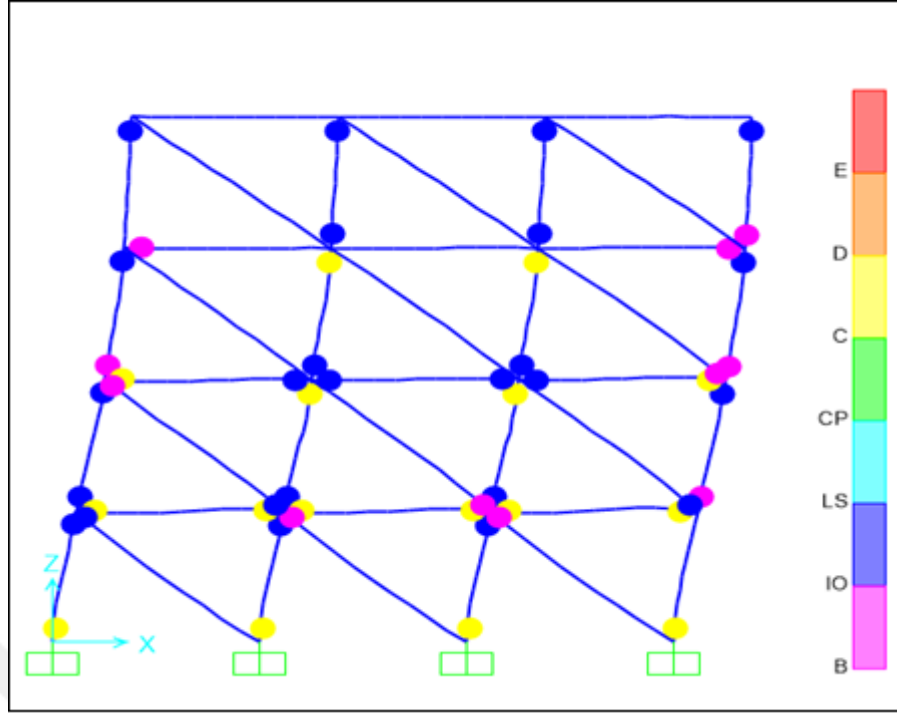
Denklemlerden elde edilen toplam eğrilik değerine ve taşıyıcı kolonun moment-eğrilik diyagramına göre birim şekil değiştirme istem değerleri hesaplanmıştır. Buna göre 0,039 rad/m eğrilik yapıldığı anda ϵ_c 0,00115, ϵ_s 0,0132 ve Tablo 4.8'e göre θ_p 0,0067 olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda kolonun birim şekil değiştirme istem değerlerine ve kesit hasar sınırlarına göre kolonun betonu, donatısı ve plastik dönmesi sınırlı hasar performans düzeyinde kaldığı izlenmiştir.

4.7.4. Statik itme analizi sonuçları

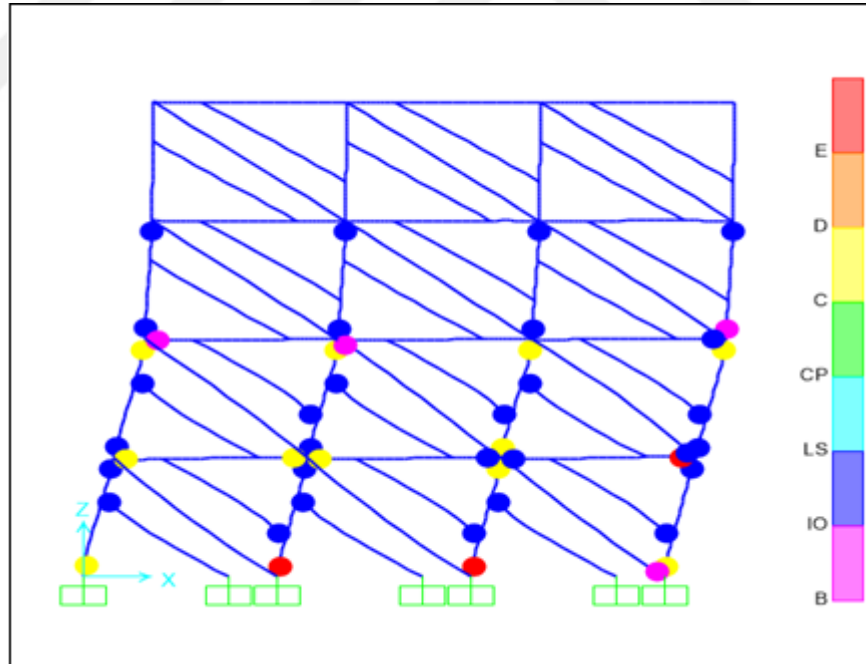
Bu çalışmada, 4 katlı betonarme binanın duvarsız durumu ve farklı duvar malzemesi basınç dayanımlı duvarlı durumları yanal artırımlı yük ile itme analizi yapılarak taşıyıcı elemanlarının bu iki durumda da performans değerlendirilmesi yapılmıştır [55]. Bu duvarlı ve duvarsız modellerin statik itme eğrileri, sözde-ivme modal deplasman eğrileri, taşıyıcı elemanların (SZ02 ve SZ14) moment eğrilik diyagramları ve performans seviyeleri mukayese edilmiştir. Bunun yanısıra dolgu duvarın moment plastik dönme eğrisi ve duvarın çatlaması gösterilmiştir.



Şekil 4.34. Duvarsız bina taşıyıcı elemanlarının mafsallaşması [55]



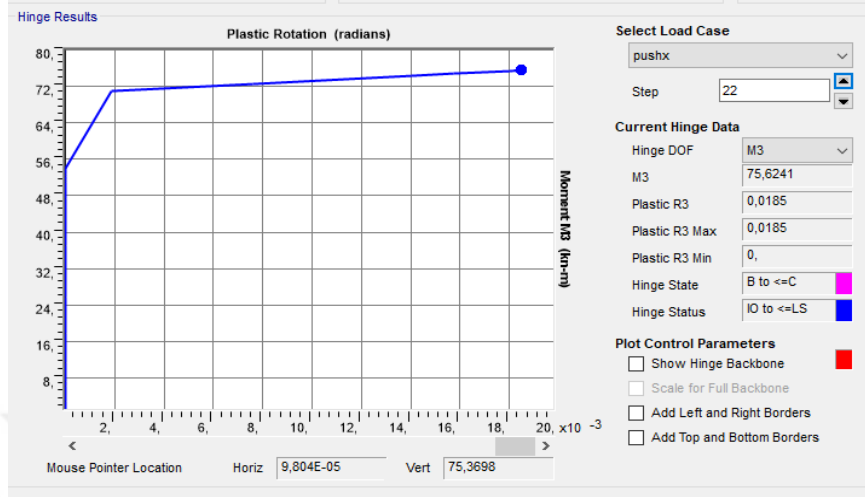
Şekil 4.35. Tek eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş duvarlı binanın elemanlarının mafsallaşması [55]



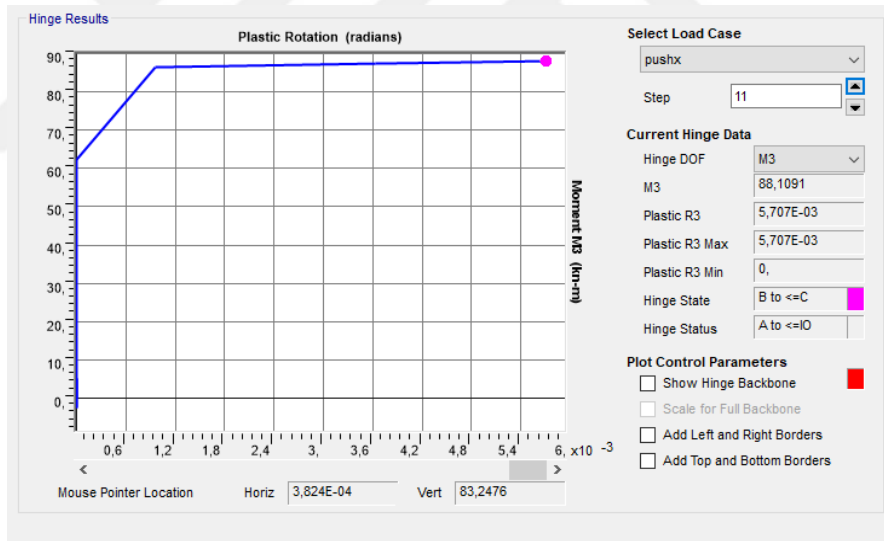
Şekil 4.36. Üç eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş duvarlı binanın elemanlarının mafsallaşması [55]

Şekillerde görüldüğü gibi duvarsız binada ilk mafsallaşma kolonlarda sonra kirişlerde oluşmaktadır. Duvarlı binalarda ise ilk mafsallaşmanın duvarlarda oluştuğu izlenmiştir. Bu şekiller binanın 0,48 m modal deplasmana kadar itme analizinin

yapıldığı şekillerdir. Dolgu duvarın mafsallaşmasına ilişkin plastik dönme-moment eğrileri Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de gösterilmiştir.

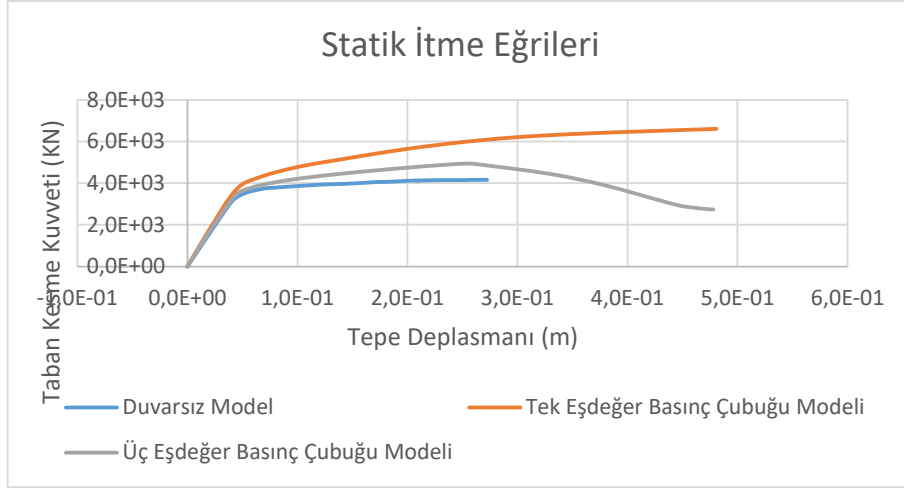


Şekil 4.37. Üç eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvarların plastik dönme moment eğrisi [55]

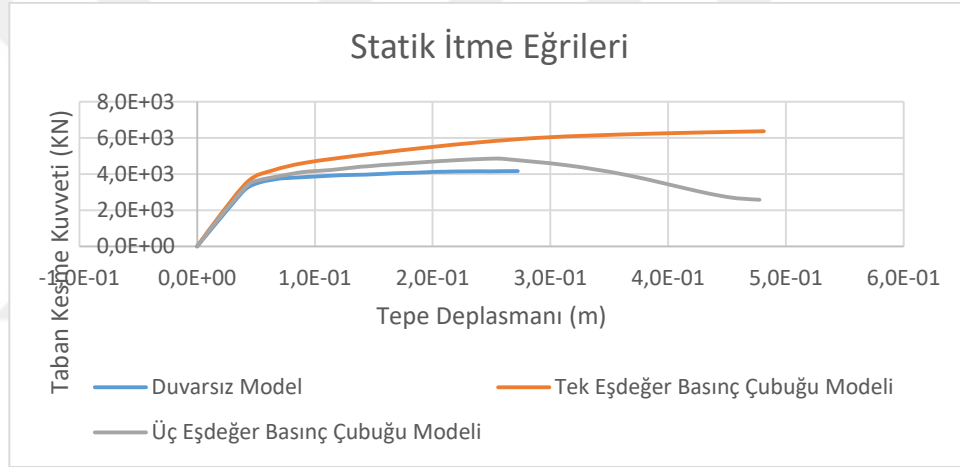


Şekil 4.38. Tek eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvarların plastik dönme-moment diyagramı [55]

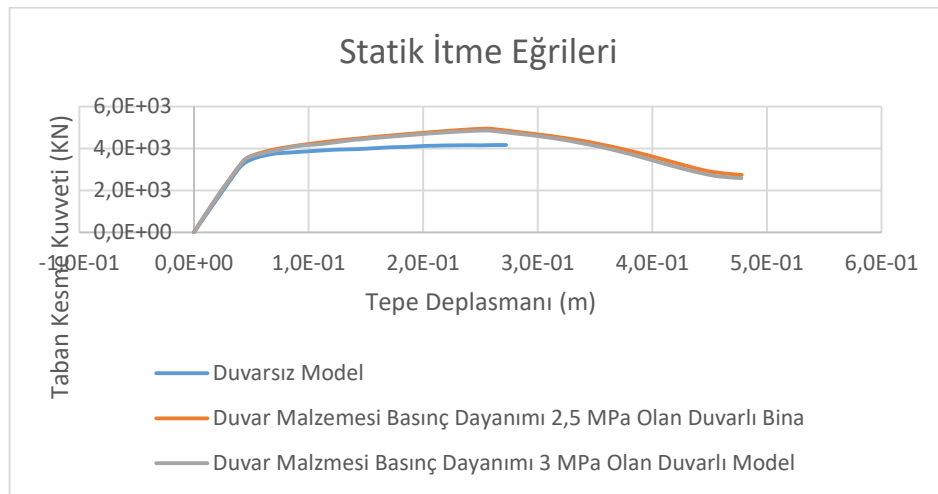
Bu şekillerde, üç eşdeğer basınç çubuğu ile modellenen dolgu duvarın daha az moment taşıyarak daha fazla eğrilik yaptığı gözlemlenmiştir. Bu da bu modelin, betonarme binanın sünek davranışına daha fazla katkı sağladığı göstermiştir. Binanın dolgu duvarlı ve duvarsız olması durumunda taşıyıcı elemanlarının mafsallaşması durumunu gösterdikten sonra, bu durumların farklı malzeme dayanımlarına göre statik itme eğrileri sunulmuştur.



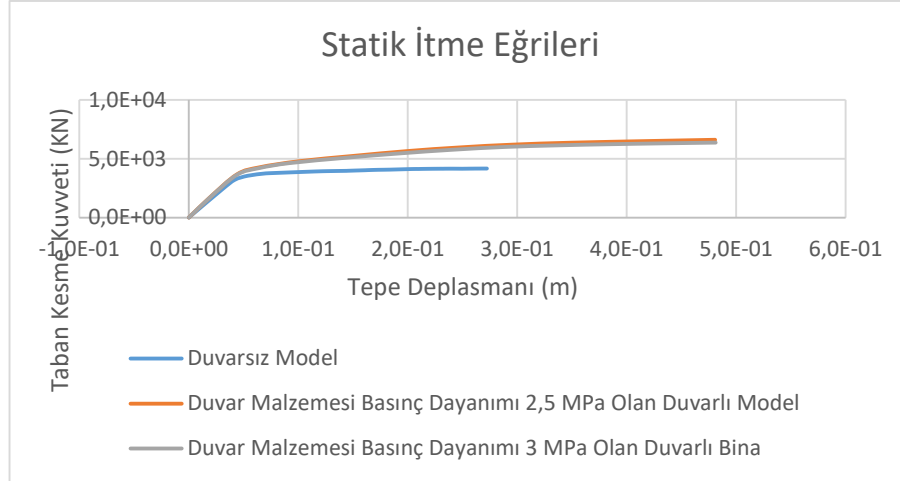
Şekil 4.39. Duvar malzemesi basınç dayanımı 2,5 MPa olan duvarlı binaların ve duvarsız binanın statik itme eğrileri



Şekil 4.40. Duvar malzemesi basınç dayanımı 3 MPa olan duvarlı binaların ve duvarsız binanın statik itme eğrileri

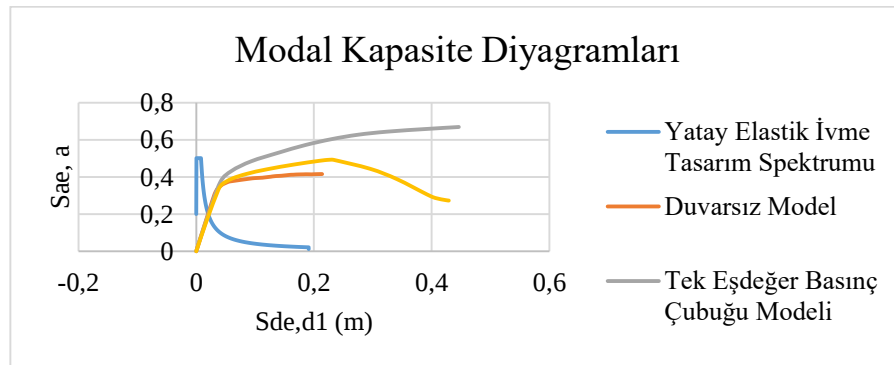


Şekil 4.41. Üç eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı binanın ve duvarsız binanın statik itme eğrileri

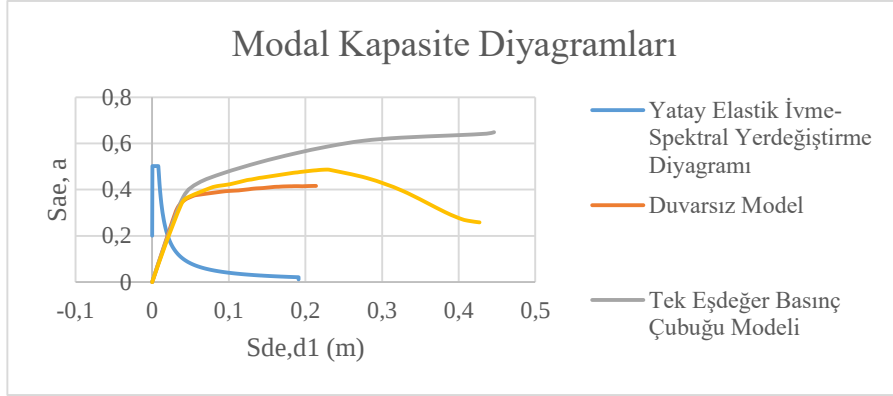


Şekil 4.42. Tek eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı binanın ve duvarsız binanın statik itme eğrileri

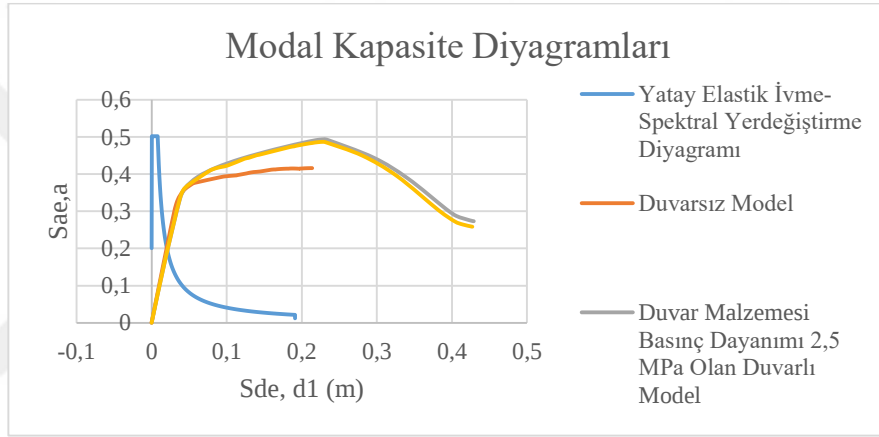
Burada, dolgu duvarların betonarme binada bölme eleman olarak kullanılması, binanın taban kesme kuvvetini ve plastik deplasman yapabilme yeteneğini önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir. Dolgu duvarın malzeme dayanımının artması binanın taban kesme kuvvetini ve plastik deplasmanını az ölçüde azalttığı izlenmiştir. Aynı malzeme özellikleri kullanılmasına rağmen tek eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvarlı binanın taban kesme kuvveti üç eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı binanın taban kesme kuvvetinden önemli ölçüde fazla olduğu tespit edilmiştir. Üç eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvarın daha fazla sünekliliğe katkı yaptığını dikkate alırsak üç eşdeğer basınç çubuğu modelin linear olmayan analizi en iyi şekilde açıklayan model olduğunu düşünebiliriz. Statik itme eğrileri yorumundan sonra, duvarlı ve duvarsız durumlarda sözde ivme- modal deplasman ile modal kapasite diyagramının birlikte çizildiği diyagramlar aşağıda sunulmuştur.



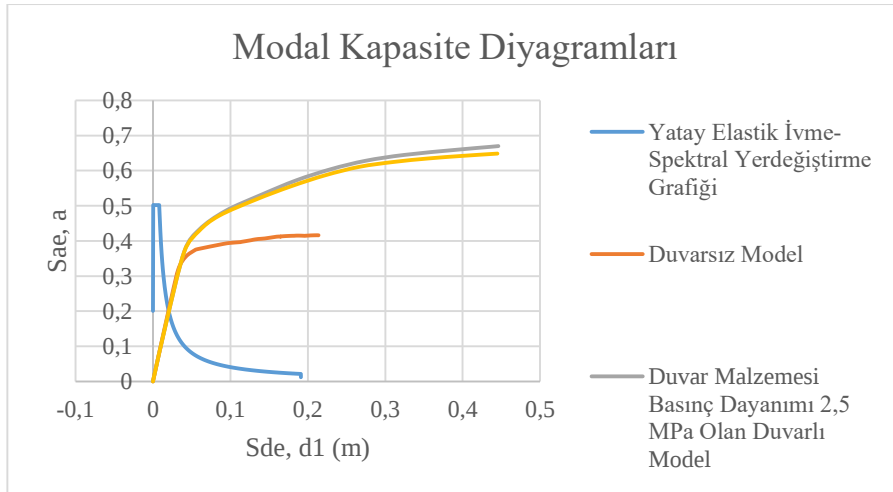
Şekil 4.43. Duvar malzemesi basınç dayanımı 2,5 MPa olan duvarlı binaların ve duvarsız binanın sözde-ivme modal deplasman diyagramı



Şekil 4.44. Duvar malzemesi basınç dayanımı 3 MPa olan duvarlı binaların ve duvarsız binanın sözde-ivme modal deplasman diyagramı

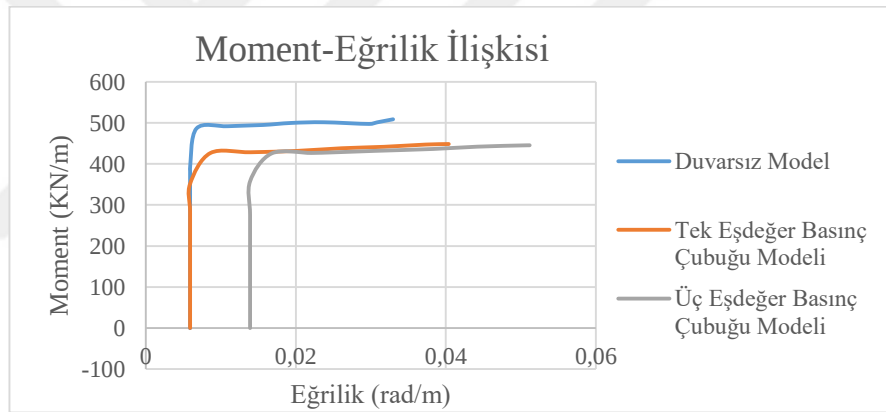


Şekil 4.45. Üç eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı binanın ve duvarsız binanın sözde-ivme modal deplasman diyagramı

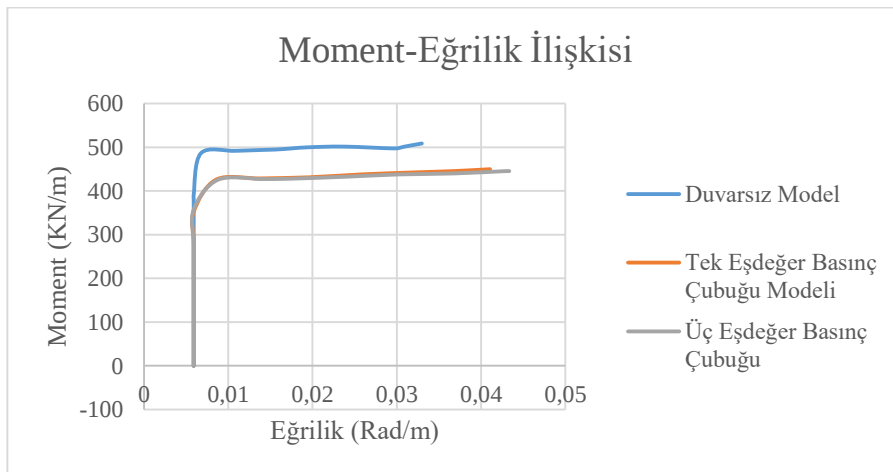


Şekil 4.46. Tek eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı binanın ve duvarsız binanın sözde-ivme modal deplasman diyagramı

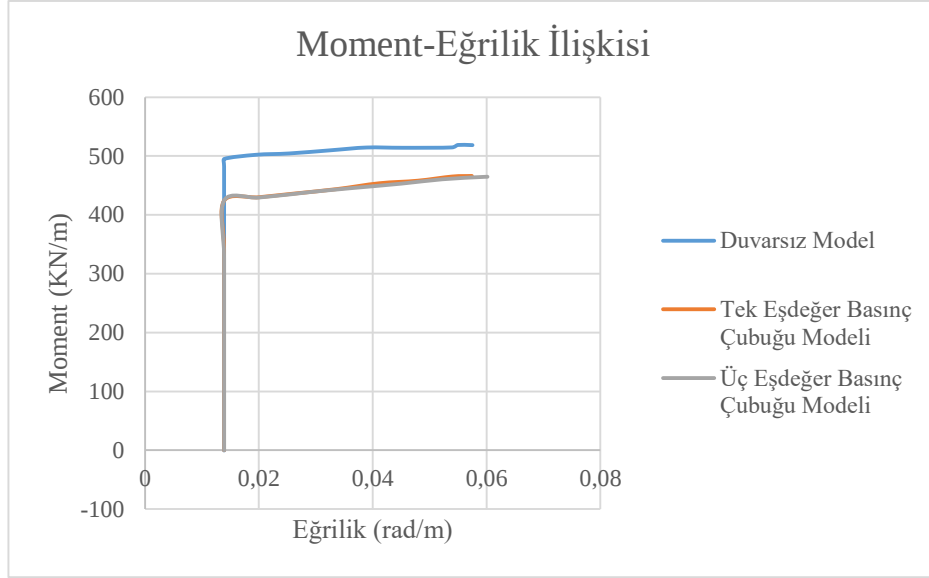
Burada, binanın duvarlı modellerinde modal kapasitenin aşıldığı gözlemlenmiştir. Dolgu duvarın betonarme binada bölme eleman olarak kullanılması binanın yapabileceği enbüyük modal deplasman değerini artırdığı gözlemlenmiştir. Bunun yanısıra, duvar malzemesi basınç dayanımı arttıkça binanın yaptığı sözde-ivme değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Tek eşdeğer basınç çubuğu ile modellenen dolgu duvarlı binalar, üç eşdeğer basınç çubuğu ile modellenen dolgu duvarlı binadan daha fazla modal ivme yapmıştır. Yapı değerlendirmesinde ne çok fazla ne de çok az ivme değeri düşünürsek, üç eşdeğer basınç çubuğu modelinin dolgu duvarı temsil etmek için uygun model olabileceği düşünülebilir. Binaların farklı analitik modellerinde statik itme analizi sonuçlarının yaklaşık olarak bulunduğu ardışık adıma son verildiği durumda ki, binanın duvarlı ya da duvarsız binaların taşıyıcı elemanlarının moment-eğrilik diyagramları aşağıda sunulmuştur.



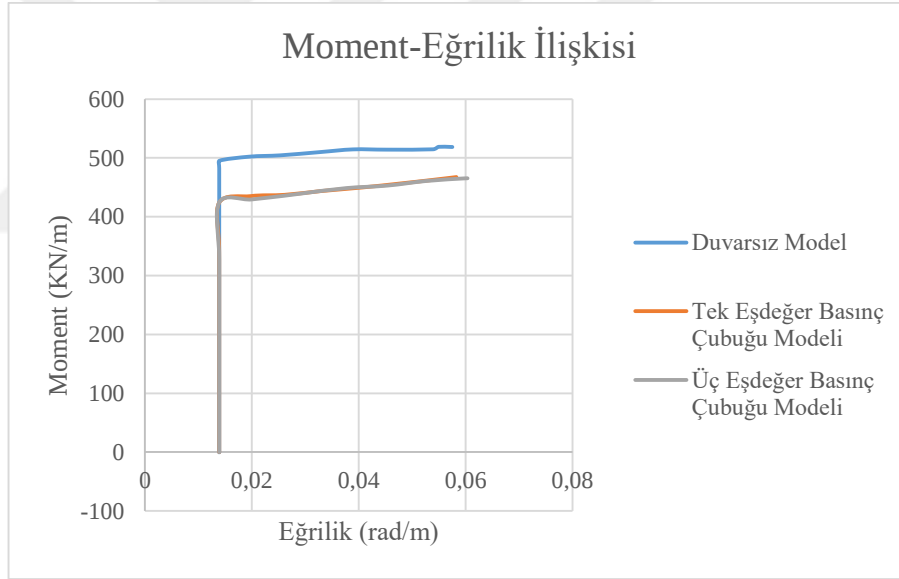
Şekil 4.47. Duvar malzemesi basınç dayanımı 2,5 MPa olan dolgu duvarlı binanın SZ02 kolonunun moment eğrilik diyagramı



Şekil 4.48. Duvar malzemesi basınç dayanımı 3 MPa olan dolgu duvarlı binanın SZ02 kolonunun moment eğrilik diyagramı



Şekil 4.49. Duvar malzemesi basınç dayanımı 2,5 MPa olan dolgu duvarlı binanın SZ14 kolonunun moment eğrilik diyagramı



Şekil 4.50. Duvar malzemesi basınç dayanımı 3 MPa olan dolgu duvarlı binanın SZ14 kolonunun moment eğrilik diyagramı

Burada, dolgu duvarın betonarme binada bölme eleman olarak kullanılırsa şekillerde görüldüğü gibi betonarme binanın plastik eğrilik değerinin arttığı izlenmiştir. Bir bina göçmeden plastik deformasyon yapabiliyorsa bu bina sünek bir binadır ve bu da depremde gelen enerjisinin önemli miktarda sönmüneceği anlamına gelir. Dolgu duvarlar binanın göçmeden plastik deformasyon yapabilmesine katkı sağladığı gözlenmiştir. Yani, dolgu duvarlar iyi sönmüleyici yapı elemanını temsil edebilir. Dolgu duvarlar belirgin derecede hasar alarak çatlıyor ve bu çatlaklar arasındaki

sürtünme depremden gelen enerjiyi sönümleyebiliyor. Ayrıca, tek eşdeğer basınç çubuğu ile modellenen dolgu duvarlı binada malzeme dayanımı arttıkça toplam plastik eğriliğin arttığı gözlemlenmesine rağmen, üç eşdeğer basınç çubuğu ile modellenen dolgu duvarlı binada azaldığı gözlemlenmiştir. Bir binanın göçmeden plastik deformasyon yapabilmesi gerekir, eğer yapı çok fazla plastik eğrilik yaparsa bina göçebilir. Burada iyi malzeme kullanıldığında binanın göçmemesi için eğriliğin belli ölçüde azalması gerekebilir. Duvarsız modele göre daha fazla plastik eğrilik yapılabilir lakin bu kontrol edilebilir hasar düzeyinde olmalıdır. Unutulmamalıdır ki, depremden gelen enerji sönümlenmesi yapının hasar alıp göçmemesi ile ilişkili bir durumdur. Kriterlerimizin bu kısmında da dolgu duvarları analitik modelde temsil edilebilmesi için, aynı malzeme ve davranışa sahip üç eşdeğer çubuk modelinin daha uygun olduğunu gözlemlemiş olduk.

Taşıyıcı elemanların performans değerlendirilmesine gelince, ilk olarak kolonların duvarlı veya duvarsız bina durumlarına ve farklı duvar malzeme dayanımlarına göre birim şekil değiştirme istemleri Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da, taşıyıcı kolonların bu farklı analitik modellerde statik itme analizi sonucu performans düzeyleri Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'de sunulmuştur.

Tablo 4.9. Duvar malzeme basınç dayanımı 2,5 MPa olan duvarlı bina ve duvarsız binanın taşıyıcı kolonlarının birim şekil değiştirme istemleri

MODELLER	KOLONLAR	ε_c	ε_s	θ_p
DUVARSIZ MODEL	SZ02	0,00115	0,0132	0,0067
	SZ14	0,00068	0,0109	0,0109
TEDBÇM	SZ02	0,0048	0,0162	0,0086
	SZ14	0,000678	0,00971	0,0108
ÜEDBÇM	SZ02	0,00131	0,0176	0,0093
	SZ14	0,000701	0,0104	0,0115

Tablo 4.10. Duvar malzeme basınç dayanımı 3 MPa olan duvarlı bina ve duvarsız binanın taşıyıcı kolonlarının birim şekil değiştirme istemleri

MODELLER	KOLONLAR	ε_c	ε_s	θ_p
DUVARSIZ MODEL	SZ02	0,00115	0,0132	0,0067
	SZ14	0,00068	0,0109	0,0109
TEDBÇM	SZ02	0,00131	0,0169	0,0087
	SZ14	0,00165	0,0239	0,011
ÜEDBÇM	SZ02	0,00135	0,0179	0,0093
	SZ14	0,000703	0,0108	0,0116

Tablo 4.11. Duvar malzeme basınç dayanımı 2,5 MPa olan duvarlı bina ve duvarsız binanın taşıyıcı kolonlarının performans düzeyleri

MODELLER	KOLONLAR	ε_c	ε_s	θ_p
DUVARSIZ MODEL	SZ02	SH	KH	KH
	SZ14	SH	KH	KH
TEDBÇM	SZ02	SH	KH	KH
	SZ14	SH	KH	KH
ÜEDBÇM	SZ02	SH	KH	KH
	SZ14	SH	KH	KH

Tablo 4.12. Duvar malzeme basınç dayanımı 3 MPa olan duvarlı bina ve duvarsız binanın taşıyıcı kolonlarının performans düzeyleri

MODELLER	KOLONLAR	ε_c	ε_s	θ_p
DUVARSIZ MODEL	SZ02	SH	KH	KH
	SZ14	SH	KH	KH
TEDBÇM	SZ02	SH	KH	KH
	SZ14	SH	KH	KH
ÜEDBÇM	SZ02	SH	KH	KH
	SZ14	SH	KH	KH

Burada, dolgu duvarın betonarme binada bölme elemanı olarak kullanılması kolonları aynı hasar seviyede tutarak, kolonların duvarsız modele göre daha fazla plastik deformasyon yapabilmesini sağladığı izlenilmiştir. Dolgu duvarların betonarme bina taşıyıcılarının da birim şekildeğiştirme istemlerini de artırdığı gözlemlenmiştir.

4.8. Zaman Tanım Alanında Hesap

4.8.1. Deprem kayıtlarının seçimi

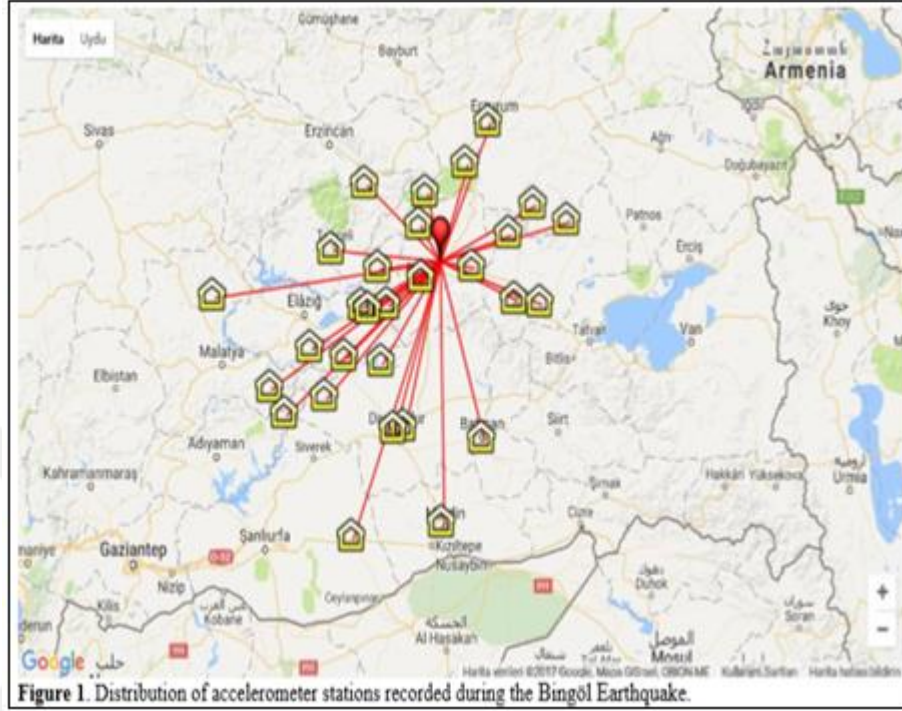
Bu bölümde, çalışmada kullandığımız betonarme binanın davranışına dolgu duvarların etkisini belirlemek için zaman tanım alanında Türk Deprem Yönetmeliği 2018 kurallarına göre 11 farklı deprem kaydı binanın tabanından binaya girdi olarak verilmiştir. Bu deprem kayıtlarının seçiminde binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi yüzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılacaktır [24]. Seçilen deprem kayıtlarının sahaya özel deprem yer hareketi spektrumlarının ordinatları hiçbir zaman binanın yatay elastik ivme spektrumu ordinatlarının %90'ından küçük olmayacaktır [24]. Bu 11 deprem kaydı, bu kurala uygun olarak seçilmiştir. Deprem kayıtlarının

seçiminde bir, iki veya üç boyutlu hesaba göre TBDY 2018 aşağıda sunulan kriterleri belirlemiştir [24];

- a. Bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun (S_{ae} , T) aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir.
- b. Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir.

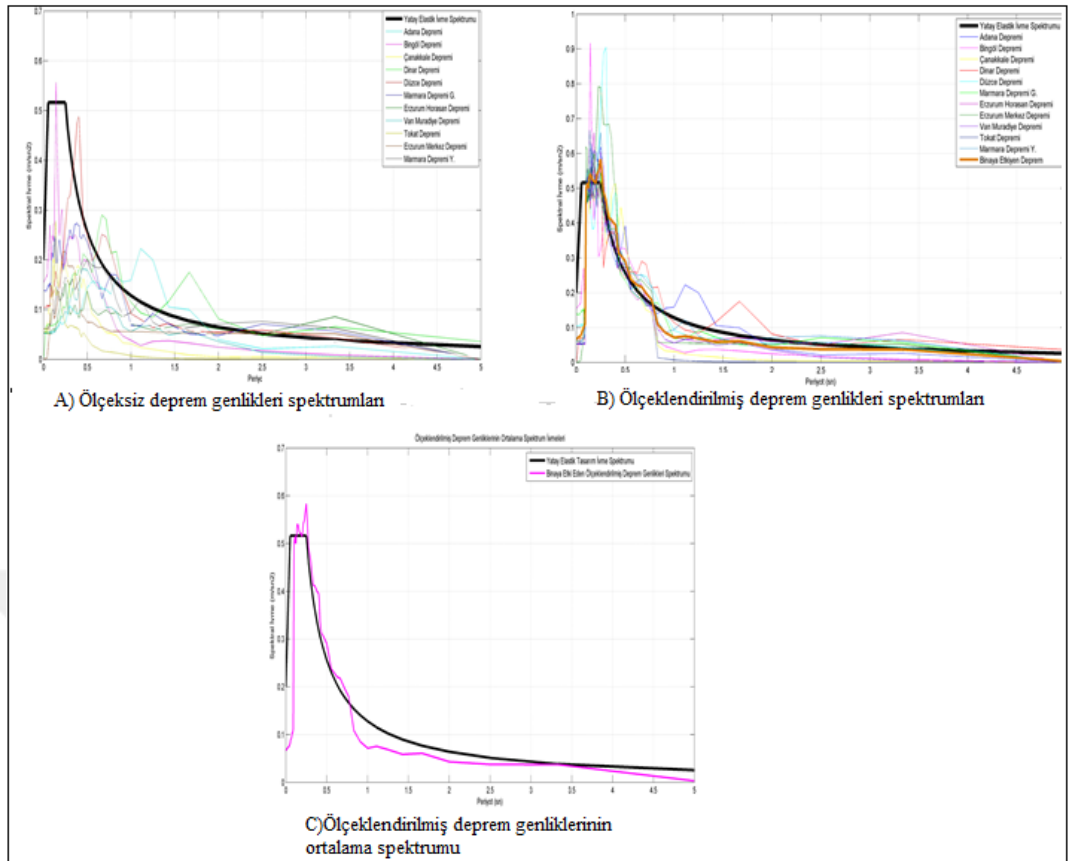
Zaman tanım alanında hesap yapmak için seçmiş olduğumuz 11 farklı deprem kaydı, yukarıda ki kriterleri tek veya iki boyutlu hesap için sağlamaktadır. Betonarme binanın hakim titreşim periyodu 0,51 s olduğu için 0,1 s ile 0,75 s aralarındaki genliklerin , aynı aralıktaki tasarım spektrumu eğrilerinden daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Bu bölümde iki boyutlu hesap yapılmıştır. Bu alışmada, 27 Haziran 1998 Adana Ceyhan Depremi Adana Ceyhan Tarım İlçe Müdürlüğü İstasyon kaydı, 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Bingöl Merkez Bayındırlık, 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi Depremi Çanakale Gökçeada Meteoroloji Müdürlüğü İstasyon Kaydı, 1 Ekim 1995 Afyon Dinar Depremi Dinar Meteoroloji Müdürlüğü İstasyon Kaydı, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Düzce Merkez Meteoroloji Müdürlüğü İstasyon Kaydı, 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Erzurum Merkez Meteoroloji Müdürlüğü İstasyon Kaydı (Erzurum Merkezde hissedilen deprem), 30 Ekim 1983 Erzurum Depremi Erzurum Merkez Meteoroloji Müdürlüğü İstasyon Kaydı, 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Kocaeli Gebze Tubitak Marmara Araştırma Merkezi İstasyon Kaydı, 23 Ekim 2011 Van Depremi Muradiye Meteoroloji Müdürlüğü İstasyon Kaydı, 09 Ekim 2015 Yoldere- Erbaa Tokat Depremi Erbaa Belediye Seracılık İstasyon Kaydı ve 17 Ağustos Marmara Depremi Yarımca Petrokimya Tesisleri İstasyon Kayıtları kullanılmıştır. Bu kayıt değerleri,

AFAD Veritabanından elde edilmiştir. Örnek olarak, çalışmada kullanılan Bingöl Depremi Deprem Yer Haritasında sunulmuştur. (Şekil 4.51). Belirtmiş olduğumuz ivmelerin birimi m/s^2 'dir.



Şekil 4.51. Zaman tanım alanında hesap için analitik modellerde kullanılan deprem kayıtları

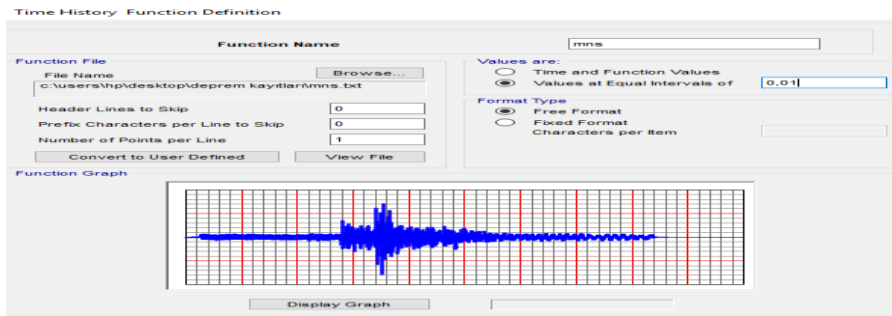
Haritada belirtmiş olduğumuz depremleri kullanmamızın nedeni ise hem yönetmeliğin önerdiği bina tasarım spektrumlarıyla yer uyumlu olmasıdır. Binanın zaman tanım alanında hesabı için kullanılan deprem kayıtlarının spektrumlarıyla binanın yatay elastik tasarım spektrumu birlikte çizdirilmiştir (Şekil 4.52). Şekilde de görüldüğü gibi deprem genliklerinin 0,1 s ve 0,75 s aralarındaki değerleri tasarım spektrumu değerlerinin altında kalmıştır. Bunun yanı sıra Seçilen deprem kayıtlarının sahaya özel deprem yer hareketi spektrumlarının ordinatlarının binanın yatay elastik ivme spektrumu ordinatlarının %90'ından küçük olduğu tespit edilmiştir. Bu genliklere gerekli ölçeklendirmeler yapılarak bu şart sağlanılmıştır. Ölçeklendirilmiş deprem genlikleri zaman tanım alanında binaya fonksiyon olarak verilerek farklı zaman ve frekans aralıklarında bu depremlere karşı binanın duvarlı ve duvarsız durumlarındaki tepki spektrumları ve bu durumlardaki binanın zemin katın depreme karşı oluşturduğu tepkiler elde edilmiştir.



Şekil 4.52. Deprem genliklerinin spektrumları

4.8.2. Analiz sonuçları

Zaman tanım alanında hesap yapmak için farklı analitik modellere deprem genlikleri tabandan girdi olarak verilmiştir. Ve ayrıca deprem genlikleri zaman tanım alanında yük olarak binaya verilmiştir. Şekil 4.53'te deprem verilerinin betonarme binaya fonksiyon olarak nasıl aktarıldığı ve Şekil 4.54'te zaman tanım alanında yükün nasıl oluşturulduğu gösterilmiştir.



Şekil 4.53. Deprem verilerinin fonksiyon olarak binaya girdi olarak verilmesi [55]

Load Case Data - Linear Modal History

Load Case Name: mns [Set Def Name] [Modify/Show...]

Initial Conditions: ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☐ Continue from State at End of Modal History

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	mns	1
Accel	U1	mns	1

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data: Number of Output Time Steps: 8901
Output Time Step Size: 0.01

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Analysis Type: ☒ Linear
☐ Nonlinear

Solution Type: ☒ Modal
☐ Direct Integration

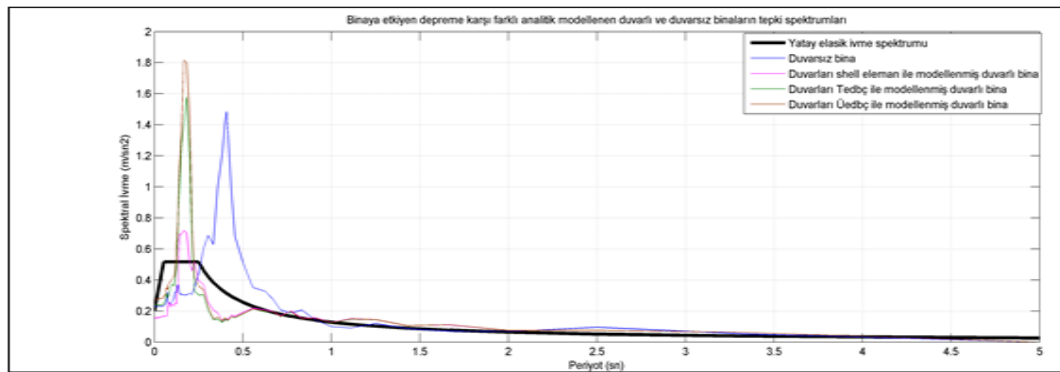
History Type: ☒ Transient
☐ Periodic

Mass Source: Previous (MSSSRC1)

[OK] [Cancel]

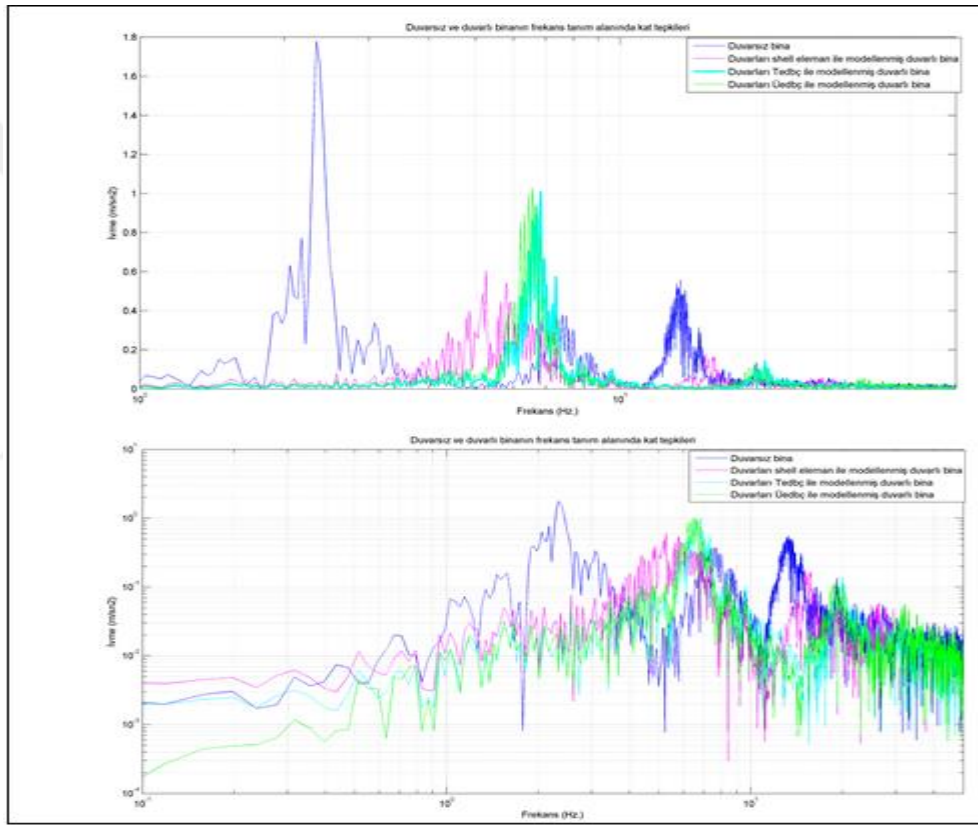
Şekil 4.54. Zaman tanım alanında linear yük tanımlanması [55]

Şekil 4.52’de gösterilen deprem genliklerini binaya tabandan girdi olarak verilerek, binanın dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız durumlardaki kat tepkileri, binanın depreme karşı salınımları, taban kesme kuvvetleri, tepe deplasmanları, devrilme momentleri ve sönüm karakteristikleri tartışılmıştır. Bu girdi olarak verilen deprem kayıtlarının aynı veri uzunluğunda ortalaması alınarak tek bir etkiyen deprem haline getirilerek sonuçlar gösterilmiştir. Binanın bu 11 farklı depreme karşı vermiş oldukları tepkiler tek tek sonuç olarak alınarak aynı veri uzunluğunda ortalaması alınmıştır ve bu nedenle sonuçlar tek bir etkiyen deprem verisi altında incelenmiştir. Binanın duvarlı ve duvarsız durumlarında tepki spektrumları sönüm oranı 0,05 olduğu varsayılarak Şekil 4.55’te gösterilmiştir. Bunun yanı sıra, binanın kritik katı olan zemin katın bu depremlere karşı tepkilerinin sonuçlarının ortalaması alınarak tek zemin kat tepkisi olarak farklı analitik modeller için Şekil 4.56’da gösterilmiştir.



Şekil 4.55. Etkiyen deprem verilerine göre farklı analitik modellerin tepki spektrumları

Burada, dolgu duvarların betonarme binalarda bölme elemanı olarak kullanılması binanın modal ivme değerlerini artırmıştır. Modal ivme değerlerinin artışı, deprem esnasında deprem enerjilerine karşı daha fazla aktif dinamik davranış sergileyerek bu enerjileri belirli ölçüde sönümlediği anlamına gelebilir. Bu durumda bu çalışmada dolgu duvarları analitik modelde en iyi temsil eden üç eşdeğer basınç çubuğu modeli olduğu gözlemlenmiştir. Duvarsız bina deprem hareketine karşı uygun dinamik davranışı gösteremediğinden modal ivme değerlerinin oldukça küçük olduğu izlenmiştir.



Şekil 4.56. Binaya etkiyen depremin oluşturduğu zemin kat tepkileri

Burada, binanın duvarlı ve duvarsız durumlarında etkiyen depremin zemin katta oluşturduğu ivmeleri ve bu etkiyen depreme karşı zemin katın farklı analitik modellerde yapmış olduğu salınımlar gösterilmektedir. Bina duvarsız durumdayken katta oluşan en büyük ivme $1,7 \text{ m/s}^2$ olmasına karşın bu değer duvarlı bina durumlarında azaldığı gözlemlenmiştir. Dolgu duvarların betonarme binada kullanılması, bina katlarında depremin oluşturduğu aynı frekans seviyesinde ivmeleri azalttığı gözlemlenmiştir. Dolgu duvarlar binanın katlarında oluşan iç kuvvetleri ve

deplasmanları azalttığı gözönünde bulundurularak dolgu duvarların burada shell eleman ile modellenmesinin yanlış sonuçlar oluşturacağı izlenmiştir. Örneğin, tek eşdeğer basınç çubuğu ile modellenen dolgu duvarlı binanın zemin katında etkileyen depremin oluşturduğu enbüyük ivme 0,96'dır. Bu değer üç eşdeğer basınç çubuğu modelinde 1,06 olmuştur. Bu değerler duvarsız binanın en büyük ivme değerine oranlandığında binanın sönüm oranlarının sırasıyla 0,022 ve 0,011 olarak arttığı kabul edilebilir. En olumsuz durum olarak, dolgu duvarların bu binada bölme olarak kullanıldığında sönüm oranında 0,011 oranında artış olduğu varsayılabilir. Bunun yanısıra binanın frekans değerinin artması belirli bir ölçüde sönüm oranını artırdığını önceki bölümlerde açıklanmıştı. Bu şekilde dolgu duvarların kullanılması binanın frekansını artırdığı dolayısıyla yapının periyodunu azalttığı izlenmiştir. Ayrıca dolgu duvarın bu binada bölme elemanı olarak kullanılması, binanın frekansını artırmıştır. Bu da dolgu duvarın binanın hem sönüm oranını hem de rijitliğini artırdığını göstermiştir [58].

Yukarıda binanın duvarlı ve duvarsız durumunda, tabandan etki edilen deprem genlikleri kullanılarak binanın dinamik davranışına değinildi. Bunun yanısıra zaman tanım alanında duvarlı ve duvarsız binalarda oluşan en büyük tepe deplasmanları ve taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Önce ki yöntemleri açıklamada referans alınan SZ02 kolonunun duvarlı ve duvarsız durumlarda en büyük iç kuvvetleri hesaplanarak sunulmuştur.

Tablo 4.13. Binanın duvarlı ve duvarsız durumlarında taban kesme kuvvetleri ve en büyük tepe deplasmanları

Analitik Modeller	İstemler	Adana Ceyhan Depremi	Bingöl Depremi	Çanakkale Depremi	Dinar Depremi	Düzce Depremi	Erzurum Merkez Depremi	Horasan Depremi	Marmara Depremi G.	Van Muradiye Depremi	Tokat Depremi	Marmara Depremi Y.	Etkiyen Deprem
Duvarsız Bina	ux (m)	0,0167	0,0412	0,0131	0,0214	0,0311	0,0218	0,0114	0,0201	0,0136	0,0208	0,0176	0,0208
	Vb (KN)	1329	3277	1038	1705	2470	1736	910	1602	1080	1651	1396	1654
	M0 (KN/m)	11258	27758	8790	14445	20922	14702	7711	13571	9150	13982	11823	14010
TEDBÇ Modeli	ux (m)	0,00217	0,00535	0,00169	0,00278	0,00403	0,00283	0,00149	0,00262	0,00176	0,00269	0,00228	0,0027
	Vb (KN)	2098	5173	1638	2692	3899	2740	1437	2529	1705	2606	2203	2611
	M0 (KN/m)	18409	45392	14374	23621	34212	24041	12609	22192	14963	22864	19334	22910
ÜEDBÇ Modeli	ux (m)	0,00273	0,00674	0,00213	0,00351	0,00508	0,00357	0,00187	0,00329	0,00222	0,00339	0,00287	0,0034
	Vb (KN)	2380	5869	1858	3054	4423	3108	1630	2869	1934	2956	2500	2962
	M0 (KN/m)	20972	51712	16376	26910	38976	27388	14365	25282	17046	26048	22026	26100
Shell Eleman Modeli	ux (m)	0,00233	0,00575	0,00182	0,00299	0,00433	0,00304	0,00160	0,00281	0,00189	0,00289	0,00245	0,0029
	Vb (KN)	1714	4226	1338	2199	3185	2238	1174	2066	1393	2129	1800	2133
	M0 (KN/m)	12342	30433	9637	15836	22938	16118	8454	14878	10032	15329	12962	15360

Burada, dolgu duvarların binada bölme elemanı olarak kullanılması önceki yöntemlerde olduğu taban kesme kuvvetini artırdığını ve tepe deplasmanını azalttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanısıra, dolgu duvarlar betonarme binanın taşıyıcı kolonlarında depremin oluşturduğu kesme kuvvetlerini ve eğilme momentlerini azalttığı izlenmiştir.

Tablo 4.14. SZ02 kolonunun betonarme binanın dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız durumların kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri

Analitik Modeller	İç Kuvvetler	Adana Ceyhan Depremi	Bingöl Depremi	Çanakkale Depremi	Dinar Depremi	Düzce Depremi	Erzurum Merkez Depremi	Horasan Depremi	Marmara Depremi G.	Van Muradiye Depremi	Tokat Depremi	Marmara Depremi Y.	Etkiyen Deprem
Duvarsız Bina	V2-2 (KN)	93,13	229,64	72,72	119,50	173,08	121,62	63,79	112,27	75,69	115,67	97,81	115,90
	M3-3 (KN/m)	198,02	488,26	154,61	254,07	368,00	258,60	135,63	238,70	160,94	245,94	207,96	246,43
TEDBÇ Modeli	V2-2 (KN)	19,72	48,62	15,40	25,30	36,65	25,75	13,51	23,77	16,03	24,49	20,71	24,54
	M3-3 (KN/m)	37,25	91,85	29,09	47,80	69,23	48,65	25,52	44,91	30,28	46,27	39,12	46,36
ÜEDBÇ Modeli	V2-2 (KN)	46,63	114,98	36,41	59,83	86,66	60,89	31,94	56,21	37,90	57,91	48,97	58,03
	M3-3 (KN/m)	56,67	139,74	44,25	72,72	105,32	74,01	38,82	68,32	46,06	70,39	59,52	70,53
Shell Eleman Modeli	V2-2 (KN)	32,49	80,12	25,37	41,69	60,39	42,44	22,26	39,17	26,41	40,36	34,13	40,44
	M3-3 (KN/m)	58,61	144,52	45,76	75,20	108,92	76,54	40,14	70,65	47,64	72,79	61,55	72,94

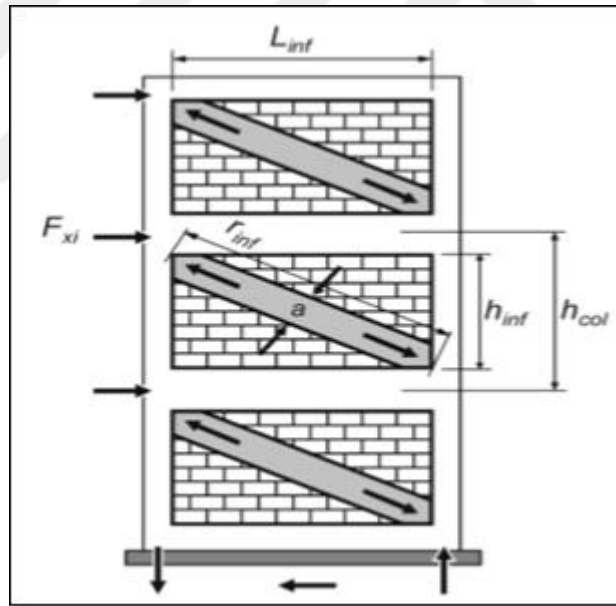
5. FEMA356 YÖNETMELİĞİNE GÖRE DOLGU DUVARLARIN BİNA DAVRANIŞINA ETKİSİ

FEMA 356 Yönetmeliği, Federal acil yönetim ajansı (FEMA) ve Amerikan İnşaat Mühendisleri (ASCE) tarafından hazırlanmıştır. FEMA356 Yönetmeliğinin dolgu duvarların betonarme binada bölme elemanı olarak kullanılması için bazı kriterler sunmuştur. Dolgu duvarların bu kriterlerini ele alarak, yine bu yönetmeliğin önerdiği Linear Statik Prosedürleri, Linear Dinamik Prosedürleri, Linear Olmayan Statik Prosedürleri ve Zaman Tanım Alanı Prosedürleri ile binanın farklı analizleri yapılmıştır. Dolgu duvarlı bina ve dolgu duvarsız bina olarak elde edilen sonuçlar mukayese edilmiştir. Bu bölümde dolgu duvar kriterleri, Linear Statik Prosedürleri, Linear Dinamik Prosedürleri, Linear Olmayan Statik Prosedürleri ve Zaman Tanım Alanı Prosedürleri farklı analitik modellerle açıklanmıştır. Bu çalışmada dolgu duvarlı binanın ve dolgu duvarsız binanın performans düzeylerini belirlemek için, FEMA356 yönetmeliğinin önermiş olduğu performans düzeyleri kullanılmıştır. Yönetmeliğin önermiş olduğu performans düzeyleri, operasyonel performans düzeyi (OP), hemen kullanım düzeyi (IO), can güvenliği performans düzeyi (LS), azaltılabilir hasar performans düzeyi (HR) ve göçme öncesi performans düzeyi (CP) olarak belirtilmiştir [30]. Bu performans düzeyleri bu yönetmeliğe göre kuvvet bazlı ve deplasman bazlı olarak elde edilmiştir.

5.1. Dolgu Duvar Kriterleri

Dolgu duvarlı betonarme binanın analitik modeli, kirişleri, kolonları, kiriş-kolon birleşim bölgelerini, dolgu duvarların ve tüm bağlantı bileşenlerinin mukavemetini, rijitliğini ve deformasyon kapasitesini temsil etmesi gereklidir [30]. Bu analitik modelin taşıyıcı elemanlarında herhangi eğilme, kesme, donatı sıyrılması, ezilme, burkulmada patansiyel başarısızlık gözönüne alınacaktır. Eğer yanal yüklere maruz kalan dolgu duvarlar çatlamazsa, dolgu duvarlı betonarme çerçeve analitik modeli lineer olarak kalır. Ancak yanal yüklere maruz kalan dolgu duvarlar çatlırsa, dolgu duvarları analitik modelde temsil etmek için eşdeğer basınç çubuğu kullanılır. Bu

yönetmeliğe göre mevcut dolgu duvar durumu, bu standartta tanımladığı şekilde iyi, orta veya kötü olarak veya hasarın veya bozulmanın niteliğini ve kapsamını göz önünde bulunduran diğer onaylanmış prosedürlere göre sınıflandırılmıştır (Tablo 5.1). Dolgu duvarların bu kriterleri ele alınarak, dolgu duvarları analitik modelde yansıtabilmek için dolgu duvarların efektif genişliği Denklem 1.1'e göre hesaplanmıştır. Dolgu duvarların bu yönetmeliğe göre analitik olarak modellenmesi Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Bu malzeme dayanımları ve Şekil 5.1'de belirtilen analitik model kullanılarak dolgu duvarlı binaların performans düzeyleri Tablo 5.2'de sunulmuştur. Bu tabloda ki hasar sınır değerleri, kolonların tamamen sargılı ve duvarların basınç çubuğu ile modellenmesi durumuna göre sunulmuştur [30]. Bu tablodaki değerler ve dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binaların taşıyıcı kolonlarının toplam birim şekil değiştirme değerleri kullanılarak betonarme binanın performans düzeyleri elde edilmiştir.



Şekil 5.1. FEMA356'ya göre dolgu duvarların analitik modellenmesi [30]

Tablo 5.1. FEMA356'ya göre dolgu duvar kriterleri [30]

Özellikler	Dolgu Duvar Durumları		
	İyi	Orta	Kötü
Basınç Dayanımı (f_m)	6,2 MPa	4,2 MPa	2,1 MPa
Dolgu Duvar Elastisite Modülü (E_m)	550 f_m	550 f_m	550 f_m
Eğilme Çekme Dayanımı	0,14 MPa	0,07 MPa	0

Tablo 5.2. FEMA356'ya göre binanın performans düzeyleri [30]

Dolgu Duvarsız Bina		Dolgu Duvarlı Bina				
Toplam Birim Şekil değiştirme		Toplam Birim Şekil değiştirme				
İlk Performans Düzeyi			İlk Performans Düzeyi		İkincil Performans Düzeyi	
OP	CP	IO	LS	CP	LS	CP
0,02	0,04	0,003	0,015	0,02	0,03	0,04
0,003	0,01	0,002	0,002	0,003	0,01	0,01

5.2. Linear Statik Prosedürleri

Yapının sismik analizi için doğrusal statik prosedür (LSP) seçilirse, tasarım sismik kuvvetleri, binanın yüksekliğine göre dağılımı ve buna karşılık gelen sistem yerdeğiştirmeleri, uygun şekilde doğrusal elastik, statik analiz kullanılarak belirlenir [30]. Bu yöntemde bina, uygun donatı akma seviyelerinde, sabit eşdeğer viskoz sönümle ve elastik rijitlik ile modellenmelidir. Bina yatay yönünde, yatay taban kesme kuvvetinin belirlenmesi Denklem 5.1'e göre yapılır [30].

$$V=C_1C_2C_3C_mS_aW \quad (5.1)$$

Bu denklemde, V sözde yanal yük, C_1 doğrusal elastik tepki için hesaplanan deplasmanlarda beklenen en büyük yer değiştirmeleri ilişkilendiren modifikasyon faktörüdür. C_1 değeri, eğer binanın temel titreşim periyodu $T < 0,10$ ise 1,5 olarak, eğer binanın titreşim periyodu, bina tepki spektrumunun karakteristik periyodu (T_s)'den küçükse 1 olarak alınır. C_2 sıkışmış histeresis şeklinin, rijitlik degradasyonunun ve kuvvet bozulmasının en büyük yer değiştirme tepkisi üzerindeki etkilerini temsil eden modifikasyon faktörüdür. Linear prosedürler için C_2 , 1,0 olarak alınır. C_3 dinamik P- Δ etkilerine bağlı artan deplasmanları temsil eden modifikasyon faktörü. C_3 linear prosedürlerde 1,0 olarak hesaba katılır. C_m değeri ise FEMA356 Tablo 3.1'den elde edilen daha yüksek mod kütle parentifikasyon etkilerini hesaba katmak için etkili kütle faktörüdür. Bina titreşim periyodu 1,0'dan büyükse 1,0 olarak alınır. Bu çalışmada C_m değeri, bina 4 katlı moment aktaran çerçeve olduğu için 0,9 olarak hesaba katılmıştır. Bu denklemde ki diğer parametre S_a binanın dikkate aldığımız yöndeki, sönüm oranına ve temel periyoda göre elde edilen tepki spektrumu ivme değeridir. Bunun yanı sıra W , bu yönetmeliğe göre tanımlanan düşey

yükler altındaki binanın efektif sismik ağırlığıdır. Bu çalışmada binanın düşey yükü Denklem 5.2' ye göre belirlenmiştir [30].

$$Q_G=1,1(Q_D+Q_L+Q_S) \quad (5.2)$$

Bu denklemde Q_D ölü yük, Q_L hareketli yük ve Q_S efektif kar yüküdür. Bu yükleri betonarme binada analitik modelde uygulayarak binanın ağırlığı hesaplanmıştır.

5.2.1. Binanın tepki spektrumunun elde edilmesi

Binanın yatay elastik tasarım spektrumu aşağıda belirtilen denklemlere göre elde edilir [30].

$$S_a=S_{XS} \left[\left(\frac{5}{B_s} - 2 \right) \frac{T}{T_s} + 0,4 \right] \quad 0 < T < T_0 \quad (5.3)$$

$$S_a = \frac{S_{XS}}{B_s} \quad T < T_s \quad (5.4)$$

$$S_a = \frac{S_{X1}}{B_1 T} \quad T > T_s \quad (5.5)$$

Bu denklemlerdeki T_0 (kısa periyot) ve T_s periyotları sırasıyla Denklem (5.6)'ya göre hesaplanır [30].

$$T_s=(S_{X1}B_s)/(S_{XS}B_1), T_0=0,2T_s \quad (5.6)$$

Bu denklemlerde ki B_s ve B_1 değerleri sönüm katsayılarıdır ve Tablo (5.3)'te belirtilen efektif sönümlere göre belirlenir [30]. S_{XS} ve S_{X1} , binanın bulunmuş olduğu konuma göre deprem haritalarından elde edilen ivme değerleridir.

Tablo 5.3. Sönüm katsayılarının efektif viskoz sönüme göre belirlenmesi [30]

Efektif Viskoz Sönüm (β)	B_s	B_1
≤ 2	0,8	0,8
5	1	1
10	1,3	1,2
20	1,8	1,5
30	2,3	1,7
40	2,7	1,9
> 50	3	2

Bu tabloda gösterilen viskoz sönümün belirlenmesi için bu yönetmelik, yapıda dış kaplama olmadan eşdeğer viskoz sönümü, yapının kritik sönümünün %2'si olarak kabul görmektedir [30].

5.2.2. Binada oluşan taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılması

Gözönüne alınan X yönünde ki taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılması aşağıda ki denklemlere göre yapılır [30].

$$F_x = C_{vx} V \quad (5.7)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (5.8)$$

Bu denklemlerde C_{vx} dikey dağıtım faktörü, k linear enterpolasyon değeridir ve binanın titerişim periyoduna göre $T \leq 0,5$ olduğunda 1,0 ve $T \geq 2,5$ olduğunda 2,0 olarak hesaba katılır. Diğer ifadeler olan w ve h sırasıyla katın ağırlığı ve katın bulunduğu noktanın tabana olan yüksekliğidir [30].

5.2.3. Linear prosedüre göre binanın devrilme etkileri

Doğrusal prosedürler kullanıldığında, tek başına hareket eden ölü yüklerin ya da yapısal bileşenlerin, göz önünde bulundurulmuş seviyenin altındaki eleman veya bileşenlere pozitif bağlantı ile kombinasyon halinde stabilize edici etkisi ile devrilme etkileri karşılanacaktır. Devrilme etkisine direnmek için tek başına ölü yükler kullanıldığında Denklem (5.9) yerine getirilmelidir [30].

$$0,9M_{st} > M_{OT} / (C_1 C_2 C_3 R_{OT}) \quad (5.9)$$

Bu denklemde, R_{OT} devrilme etkilerini tanımlamak için belirtilen bir katsayıdır, M_{OT} sismik kuvvetler tarafından oluşturulan devrilme momenti ve M_{ST} ölü yükler tarafından üretilen stabilize momentidir. R_{OT} değeri 10 ise göçme öncesi performans düzeyi, 8 ise can güvenliği performans seviyesi ve 4 ise hemen kullanım performans seviyesinde olduğu belirtilmiştir [30].

5.2.4. Burulma düzensizliği kontrolü

Bu yönetmeliğe göre, burulma etkisinin kontrolü için artan deplasmanlar ve kuvvetler binanın tüm katları için hesaplanmalıdır. Deplasman çarpanı, η , her katta, zemin diyaframındaki herhangi bir noktada maksimum yer değiştirmenin ortalama yer değiştirmeye oranı olarak hesaplanacaktır ($\delta_{\max}/\delta_{\text{ort}}$). Bu deplasmanlar binaya etkileyen yükler altında hesaplanmalı. Hesaplanan bu değerin her katta 1,2'den az olması öngörülmektedir [30].

5.2.5. Statik P-Δ etkileri kontrolü

Stabilite katkısı binanın herbir yönü ve katı için Denklem 5.10'a göre hesaplanacaktır [30]. Stabilite katsayısı eğer 0,1'den küçükse linear prosedürlerde P-Δ etkileri dikkate alınmaz. Ancak 0,1 ile 0,33 arasında olursa, binanın her katında ki deplasmanlar $1/(1 - \theta_i)$ kadar artırılır. Stabilite katsayısı eğer 0,33 değerini aşarsa bina katları stabilitesini kaybeder [30].

$$\theta_i = \frac{P_i \delta_i}{V_i h_i} \quad (5.10)$$

Bu denklemde, P_i ölü, hareketli yüklerin %25'nin katlardaki kolon ve taşıyıcı duvarlara etki eden yapının toplam ağırlığı. δ_i katlarda ölçülen görelî kat ötelemesini, V_i linear analiz prosedürlerine göre göze alınan doğrultusunda depremin binada oluşturduğu taban kesme kuvvetinin katlara etkittirdiği kuvveti, h_i ise kat yüksekliğini göstermektedir [30].

5.2.6. Yumuşak kat etkisi

Yumuşak kat düzensizliğini belirlemek için bu yönetmelik talep kapasite oranı (DCR) adında bir katsayı önermiştir. Mevcut ve eklenmiş birincil elemanlar ve bileşenler için esnek olmayan taleplerin büyüklüğü ve dağılımı, talep-kapasite oranları (DCR) ile tanımlanacaktır. DCR oranı Denklem 5.11 ile hesaplanacaktır [30]. Yumuşak kat etkisi belirlenmiş olan DCR katsayısına göre gözlemlenmiştir.

$$\text{DCR} = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} \quad (5.11)$$

Bu denklemde, Q_{UD} depremden ve yerçekiminden kaynaklanan kuvvettir ve Denklem 5.12'ye göre hesaplanacaktır. Q_{CE} ise taşıyıcı kolonların malzeme akma dayanımlarına ve enkesit alanlarına bağlı olarak Denklem 5.13'e göre hesaplanacaktır [30]

$$Q_{UD}=Q_G+Q_E \quad (5.12)$$

Burada Q_G binanın yerçekiminden kaynaklanan yüküdür. Denklem 5.2'de tanımlanmıştır. Q_E ise depremin binada oluşturduğu kuvvettir [30].

$$Q_{CE}=F_{ye}A_c \quad (5.13)$$

Burada F_{ye} kolonun boyuna donatısının akma dayanımı ve A_c kolonun enkesit alanıdır [30]. Bu yönetmelik DCR katsayısı ile ilgili bazı yaklaşımlar önermiştir. Eğer $DCR \leq 2,0$ olursa linear prosedürler uygulanabilir. Ve aynı zamanda $DCR \geq 2,0$ olursa ve binada mevcut olan düzensizlikler yoksa yine linear prosedürler uygulanabilir. Ancak bu durumda binada ki düzensizliklerin herhangi birisi varsa, linear prosedürler geçerli olmayacaktır [30]. Herhangi bir katın ortalama kesme DCR oranının aynı yönde bitişik bir katın DCR oranına oranı %125'i geçerse, binanın herhangi bir yönünde ciddi bir zayıf kat düzensizliği olduğu düşünülmelidir [30]. Ortalama DCR değeri Denklem 5.14'te ifade edilmiştir.

$$DCR_{ort} = \frac{\sum_1^n DCR_i V_i}{\sum_1^n V_i} \quad (5.14)$$

5.2.7. Analiz sonuçları

Yukarıda anlatılan linear analiz prosedürlerine göre 4 katlı betonarme binanın analitik modeli kurularak dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız bina durumlarına göre sonuçlar elde edilmiştir. Duvarları betonarme binada temsil etmek için üç eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılmıştır.

5.2.7.1. Binanın tepki spektrumlarının elde edilmesi

Binanın tepki spektrumlarının elde edilmesi için gerekli olan parametreler S_{XS} ve S_{X1} ivme değerleri Türkiye Deprem Haritalarından alınmış olup, sırasıyla 0,502 ve

0,128'dir. Viskoz sönümüne bağlı olarak B_s ve B_1 sönüm katsayıları aşağıda ki gibi hesaplanmıştır.

Binanın kritik sönümü ;

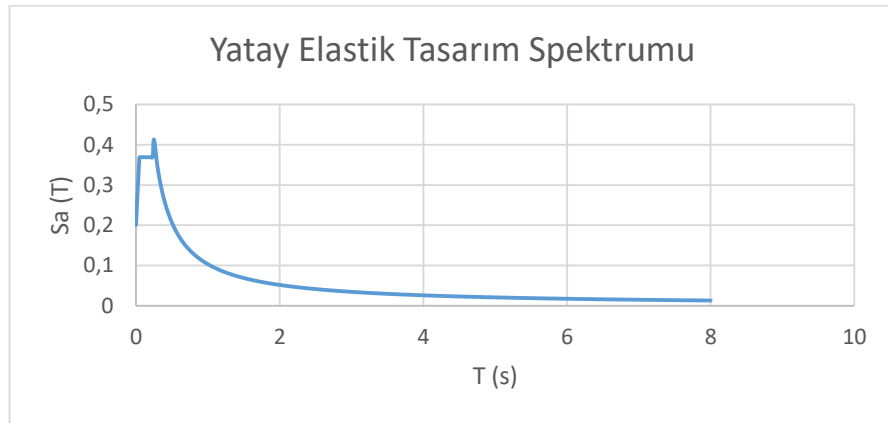
$$C_{cr}=2\sqrt{km}=568,58$$

Kritik sönümün %2'si viskoz sönüm olarak kabul edilir. Duvarsız bina durumunda, viskoz sönüm değeri $\beta=11,36$ olarak elde edilmiştir. Bu viskoz sönüm değerine kadar Tablo 5.3'ten B_s ve B_1 değerleri sırasıyla 1,36 ve 1,24 olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerlere göre, tepki spektrumu karakteristik periyodu 0,232 s ve T_s periyoduna bağlı olarak, kısa periyot (T_0) 0,046 s olarak elde edilmiştir.

$$T_s = \frac{S_{X1}B_s}{S_{XS}B_1} = \frac{0,128 \times 1,36}{0,502 \times 1,24} = 0,232 \text{ s}$$

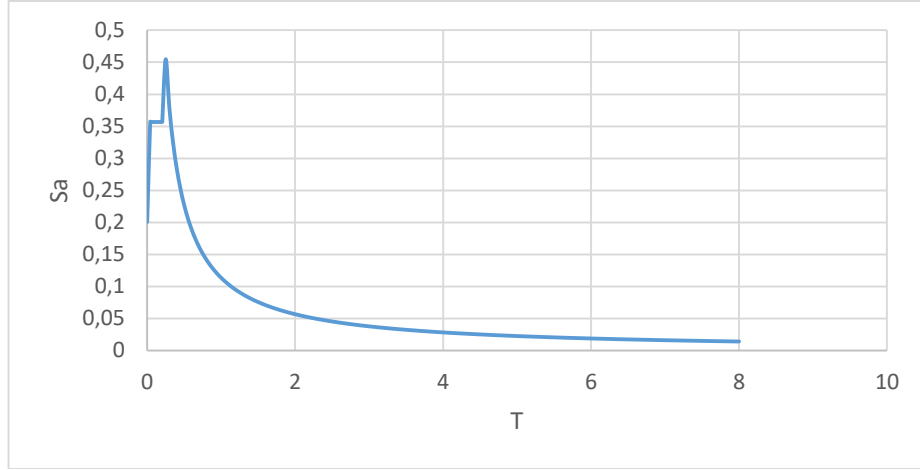
$$T_0 = 0,2T_s = 0,046 \text{ s}$$

Yukarıda bulunan periyot ve ivme değerleri ile Denklem (5.3), Denklem (5.4) ve Denklem (5.5) kullanılarak binanın yatay elastik tasarım spektrumu elde edilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. FEMA356 yönetmeliğine göre duvarsız binanın yatay elastik ivme tasarım spektrumu

Tepki spektrumu eğrisini elde etmek için yapılan işlemlerin aynıları duvarlı bina içinde yapılmıştır. Duvarlı binanın yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 5.3'te sunulmuştur.



Şekil 5.3. Duvarlı bina yatay elastik tasarım spektrumu

5.2.7.2. Taban kesme kuvvetinin bulunması

Modal analiz sonucu binanın doğal hakim periyodu duvarsız modelde 0,404 s ve duvarlı modelde 0,17 s olarak elde edilmiştir. Bu periyotlara göre binanın bu periyotlardaki spektral ivmesi duvarsız binada 0,256 m/s² ve duvarlı binada 0,359 m/s² olarak bulunmuştur. Duvarlı binada spektral ivmenin artmasının nedeni, dolgu duvarların binanın rijitliğini artırması ve buna bağlı olarak binanın taban kesme kuvvetini artırmasıdır.

$$S_a = \frac{S_{X1}}{B_1 T}, = \frac{0,128}{1,36 \times 0,404} = 0,256 \text{ m/s}^2 \quad (\text{duvarsız bina})$$

$$S_a = \frac{S_{XS}}{B_S}, = \frac{0,502}{1,26} = 0,398 \text{ m/s}^2 \quad (\text{duvarlı bina})$$

Binaların sismik ağırlıklarına gelince duvarsız binanın ağırlığı 10580 KN ve duvarlı binanın ağırlığı 11963 KN olduğu 1,1(Q_D+Q_L) yüklemesi altında elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetlerinin hesabı için gerekli olan modifikasyon faktörü değerleri C₁ 1, C₂ 1, C₃ 1 ve C_m 0,9 olarak alınmıştır [30].

Duvarsız bina için taban kesme kuvveti;

$$V = C_1 C_2 C_3 C_m S_a W = 1 \times 1 \times 1 \times 0,9 \times 0,256 \times 10580 = 2432 \text{ KN}$$

Duvarlı bina için taban kesme kuvveti;

$$V = C_1 C_2 C_3 C_m S_a W = 1 \times 1 \times 1 \times 0,9 \times 0,359 \times 11963 = 3860 \text{ KN}$$

Bu taban kesme kuvvetlerinin katlara dağıtımı Tablo 5.4 ve Tablo 5.5’de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Duvarsız bina deprem yatay kuvvetleri

KATLAR	Wi (KN)	Hi (m)	h(m)	Cvx	Fx (KN)
3	2645	12	3	0,4	973,1843
2	2645	9	3	0,3	729,8882
1	2645	6	3	0,2	486,5921
Zemin	2645	3	3	0,1	243,2961

Tablo 5.5. Duvarlı bina deprem yatay kuvvetleri

KATLAR	Wi (KN)	Hi (m)	h(m)	Cvx	Fx (KN)
3	2990	12	3	0,452174	1745
2	2990	9	3	0,33913	1309
1	2990	6	3	0,226087	872
Zemin	2990	3	3	0,113043	436

Tablolara göre tıpkı TBDY 2018’de de olduğu gibi, FEMA 356 yönetmeliğinin önermiş olduğu statik analiz prosedürlerine göre hesaplanan taban kesme kuvveti katlara dağıtılarak dolgu duvarların depremin katlarda oluşturduğu kat kesme kuvvetlerini önemli ölçüde artırdığı izlenmiştir.

Dolgu duvarlı binanın ve dolgu duvarsız binanın ivme spektrumu eğrilerinin farklı çıkmasının sebebi, dolgu duvarların betonarme binanın sönüm oranlarını artırmasıdır. Dolayısıyla S_a değerini hesaplamada kullandığımız sönüm katsayılarının (B_s ve B_1) artması, spektrum eğrisini değiştirdiği izlenmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binanın eşdeğer viskoz sönüm değerleri ve sönüm katsayıları Tablo 5.6’da gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Viskoz sönüm değerleri

Analitik Model	Eşdeğer viskoz sönüm	B_s	B_1
Duvarsız Bina	11,36	1,36	1,24
Duvarlı Bina	12,14	1,4	1,26

5.2.7.3. Talep kapasite oranı kontrolü

Duvarlı ve duvarsız bina durumlarında talep kapasite oranı DCR değerleri Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de gösterilmiştir. Tablolara göre dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binalarda linear prosedürleri uygulanabilir olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5.7. Duvarsız bina talep kapasite oranları

KATLAR	Acort	Fye	QCE	QG	QE	QUD	DCR
3.KAT	0,1875	420	78750	2645	973,1843	3618,184	0,045945
2.KAT	0,1875	420	78750	2645	729,8882	3374,888	0,042856
1.KAT	0,1875	420	78750	2645	486,5921	3131,592	0,039766
ZEMİN KAT	0,1875	420	78750	2645	243,2961	2888,296	0,036677

Tablo 5.8. Duvarlı bina talep kapasite oranları

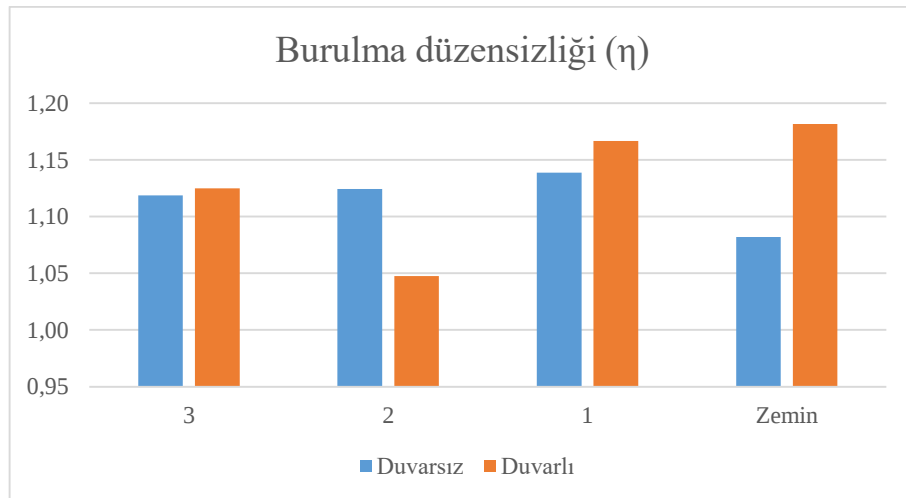
KATLAR	Acort	Fye	QCE	QG	QE	QUD	DCR
3.KAT	0,1875	420	78750	2990	1745,677	4735,6766	0,060136
2.KAT	0,1875	420	78750	2990	1309,257	4299,2575	0,054594
1.KAT	0,1875	420	78750	2990	872,8383	3862,8383	0,049052
ZEMİN KAT	0,1875	420	78750	2990	436,4192	3426,4192	0,04351

5.2.7.4. Yumuşak kat düzensizliği kontrolü

Bu yönetmeliğe göre, yumuşak kat düzensizliğini kontrol etmek için ortalama DCR değeri hesaplanmıştır. Duvarsız binada ve duvarlı binalarda ortalama DCR oranları sırasıyla 0,042 ve 0,054 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre her iki durumda da yumuşak kat düzensizliği gözlenmemiştir.

5.2.7.5. Burulma düzensizliği kontrolü

X yönünde yatay deprem kuvvetleri altında analiz yapılarak, burulma düzensizliği dolgu duvarlı bina ve dolgu duvarsız bina için Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

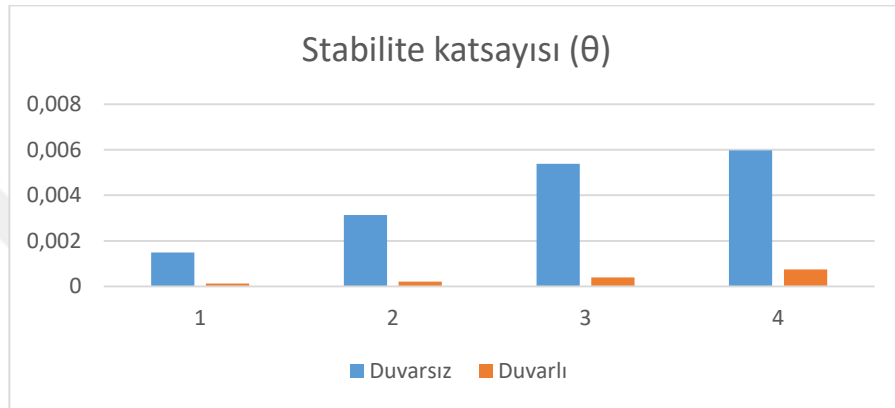


Şekil 5.4. Burulma düzensizliği kontrolü

Dolgu duvarların betonarme binada bölme elemanı olarak kullanılması binada burulma etkisini artırdığı gözlemlenmiştir. Ancak her iki durumdaki binalarda herhangi bir burulma düzensizliği gözlemlenmemiştir.

5.2.7.6. P-Δ etkileri kontrolü

Linear prosedürlerde P-Δ etkilerini kontrol etmek için binanın her katında stabilite katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Stabilite katsayısı değerleri

Stabilite katsayısı değerleri her iki durumda da 0,10 değerinin altında kaldığı için betonarme binanın linear analizinde P-Δ etkileri dikkate alınmamıştır. Stabilite değerlerine göre, dolgu duvarların binanın daha stabil olmasını sağladığı gözlemlenmiştir.

5.2.7.7. Devrilme etkileri kontrolü

Devrilme momentlerine karşı binanın hemen kullanım düzeyinde davranış gösterdiğini anlamak için R_{OT} değeri duvarsız binada 0,38 duvarlı binada 0,46 olarak hesaplanmıştır. Her iki durumda da devrilmelere karşı bina hemen kullanım düzeyinde olduğu gözlemlenmiştir.

5.2.7.8. Taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları

X yönünde yapılan linear analize göre depremin binada oluşturduğu taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı dolgu duvarlı bina ve dolgu duvarsız bina için Tablo 5.9'da gösterilmiştir. Dolgu duvarların betonarme binada bölme elemanı olarak

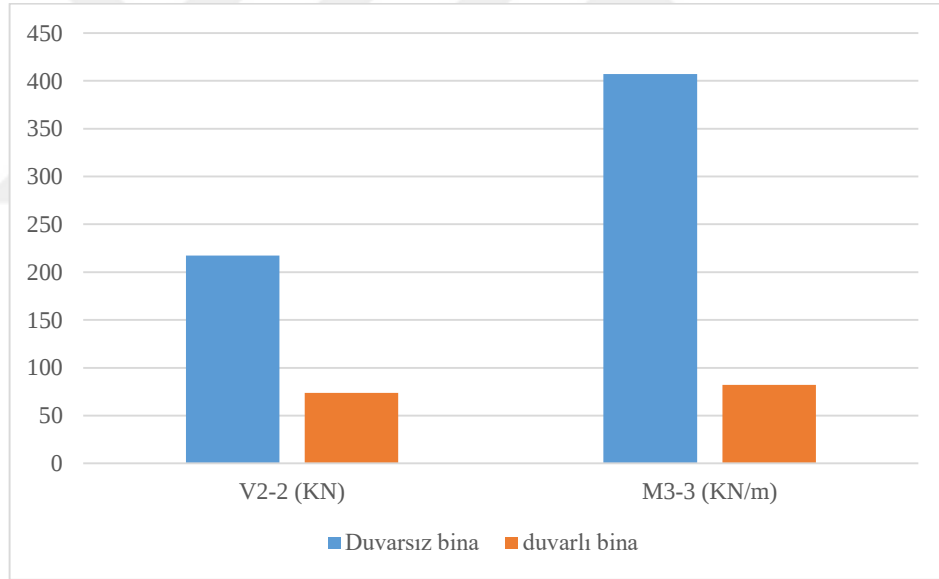
kullanılması taban kesme kuvvetini artırdığı ve binanın tepe deplasmanını azalttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5.9. Taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı

Analitik Modeller	V _{taban} (KN)	Tepe Deplasmanı (m)
Duvarlı Bina	3860	0,0047
Duvarsız Bina	2432	0,0355

5.2.7.9. Referans kolon iç kuvvetleri

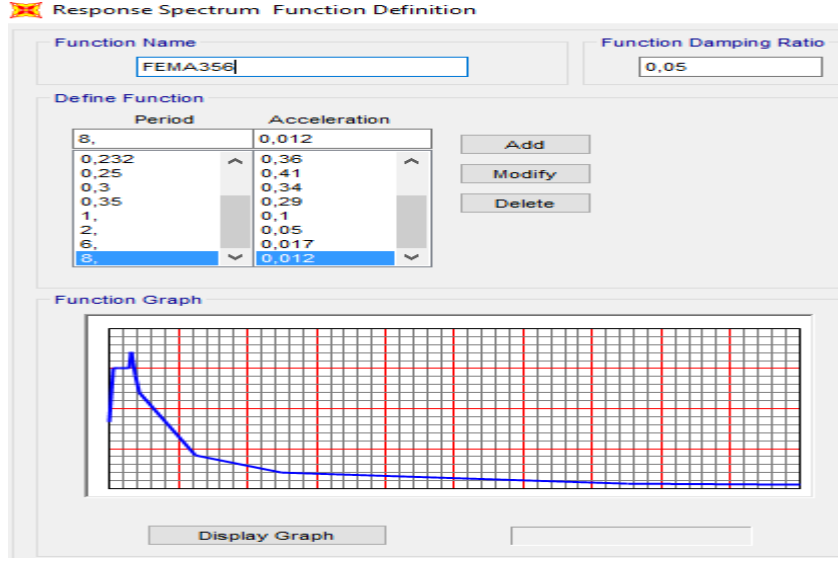
X yönünde yapılan linear analiz sonucu, depremin Zemin kat SZ02 kolonunda oluşturduğu iç kuvvetler dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız bina için Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Dolgu duvarın, depremin betonarme binaların taşıyıcı kolonlarında oluşturduğu iç kuvvetleri önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.6. İç kuvvetlerin mukayese edilmesi

5.3. Linear Dinamik Analiz Prosedürleri

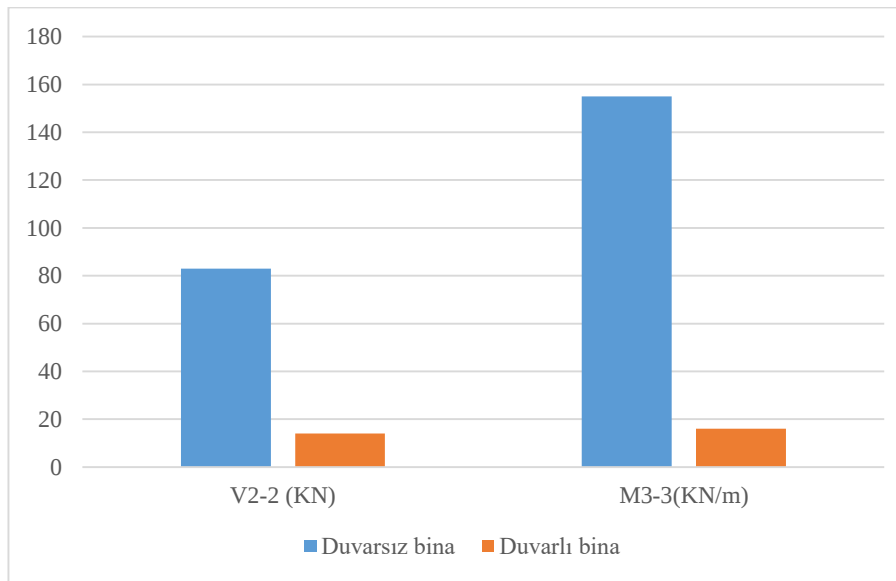
Bu bölümde, binaların sismik analizi için seçilen linear dinamik prosedürü (LDP), sismik tasarım kuvvetleri, onların kat yüksekliklerine göre dağıtılması ve bunlara karşılık gelen iç kuvvetler ve sistem deplasmanları linear elastik olarak dinamik analizle belirlenmesi gerekir [30]. Bölüm 5.2.1'de tanımlanan tepki spektrumu ivmeleri kullanılarak dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binalarda dinamik analizler yapılmıştır.



Şekil 5.7. Bina ivme tasarım spektrumu eğrisinin analitik modele uygulanması [55]

5.3.1. Analiz sonuçları

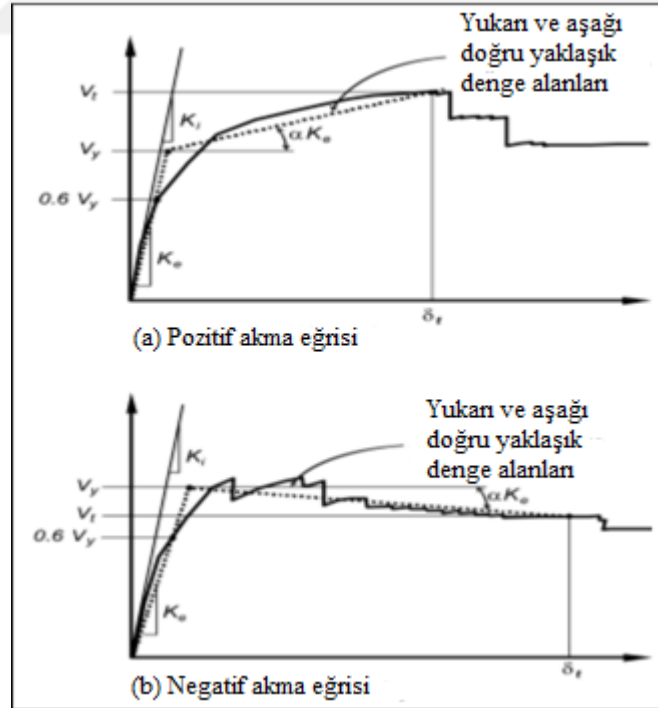
X yönünde duvarlı ve duvarsız binalarda yapılan linear dinamik analizler sonucu olarak, depremin referans kolonda oluşturduğu iç kuvvetler Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Depremin binada oluşturduğu tepe deplasmanları duvarsız bina ve duvarlı binada 0,0101 m olduğu Bunun nedeni dolgu duvarlı bina ile dolgu duvarsız binanın ivme tasarım spektrumlarının farklı olmasından kaynaklanabilir. Bu durum farklı analitik modeller incelendiğinde değişebilir.



Şekil 5.8. Linear dinamik prosedürlere göre iç kuvvetler

5.4. Linear Olmayan Statik Analiz Prosedürleri

Binanın sismik analizi için doğrusal olmayan statik prosedür seçilirse, binanın tek tek bileşenlerinin ve elemanlarının doğrusal olmayan yük- deformasyon özelliklerini doğrudan birleştiren bir matematiksel model, bir depremde atalet kuvvetlerini temsil eden bir yanal yükü tek bir hedefe kadar maruz bırakacaktır. Bu analiz yönteminde göze alınan yönde kütle katılım oranları %75'i aştığı anda geçerli olacaktır [30]. Bu analiz yönteminde bir kuvvet-deplasman eğrisi (statik itme eğrisi) oluşturularak, bu eğriden modal ivme ve modal deplasman eğrisi elde edilecektir. Elde edilen bu eğri binanın yatay elastik ivme-spektral deplasman eğrisiyle birlikte çizdirilerek binanın performans noktası belirlenecektir. Belirlenen performans deplasman noktasına kadar bina artırımlı yatay yüklerle itilerek binanın bu noktadaki toplam birim şekil değiştirme istem değerleri hesaplanacaktır. Hesaplanan bu değerler ile Tablo 5.2'de ki hasar sınır değerleri mukayese edilerek, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binanın performans düzeyleri belirlenecektir. Bu hesapları yapabilmemiz için FEMA 356 yönetmeliği idealize edilmiş kuvvet deplasman eğrisi önermiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. İdealize edilmiş kuvvet deplasman eğrisi [30]

5.4.1. Binanın hedef deplasman-spektral ivme eğrisinin elde edilmesi

Hedef deplasman, δ_t , Denklem 5.15'e göre hesaplanır [30].

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (5.15)$$

Bu denklemde, C_0 spektral deplasmanla ilişkili modifikasyon faktörüdür ve FEMA356 yönetmeliği Tablo 3.2'ye göre hesaba katılır. Binamızda yükler üniform olarak yayıldığından ve binamız 4 katlı olduğu için bu çalışmada bu değer 1,2 olarak alınmıştır. C_1 doğrusal elastik tepki için hesaplanan deplasmanlarda beklenen en büyük plastik yerdeğiştirmelerle ilişkilendiren modifikasyon faktörüdür. C_1 değeri aşağıdaki kriterlere göre hesaplanır [30];

$$T_e \geq T_s \text{ ise } C_1 = 1,0 \quad (5.16)$$

$$T_e < T_s \text{ ise } C_1 = \left[1 + \frac{(R-1)T_s}{T_e} \right] / R \quad (5.17)$$

Elastik mukavemet oranı R , Denklem (5.18) ile hesaplanacaktır [30].

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (5.18)$$

Bu denklemde V_y değeri linear olmayan prosedürlere göre elde edilen statik itme eğrisinden elde edilen ve donatının akmasını sağlayan kesme kuvvetidir [30].

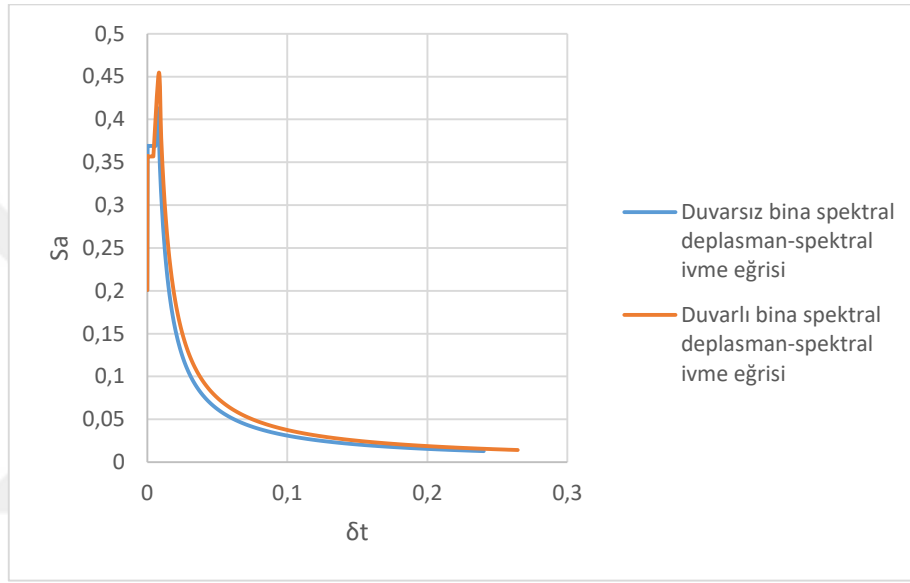
Sonuç olarak, Denklem (5.15)'te ki C_1 değeri, binanın efektif periyodunun spektrum karakteristik periyodundan büyük olduğu için 1 olarak alınmıştır. Binanın efektif periyodunun hesaplanması Denklem 5.19'a göre yapılacaktır [30].

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (5.19)$$

Bu denklemde T_i binanın elastik temel periyodu, K_i binanın elastik yanal rijitliği ve K_e binanın efektif yanal rijitliğidir (Şekil 5.9).

Denklem 5.15'te gösterilen C_2 değeri sıkışmış histeresis şeklin rijitlik bozulumunun ve mukavemetin bozulmasının maximum yer değiştirme tepkisi üzerindeki etkisini gösteren modifikasyon faktörüdür. FEMA 356 yönetmeliği Tablo 3.3'te tanımlanan

farklı çerçeve türleri ve performans düzeyleri için bu değer hesaba katılacaktır. Linear olmayan prosedürler için bu değer 1,0 olarak alınmıştır [30]. Diğer parametre olan C_3 , dinamik P- Δ etkilerinden kaynaklanan deplasmanları temsil eden modifikasyon faktörüdür. Pozitif akma rijitliğine sahip binalar için bu katsayı 1,0 olarak alınır [30]. Son olarak g , yerçekimi ivmesidir. İfade edilen tüm parametrelere göre binanın dolgu duvarlı ve dolgu duvarlı spektral deplasman-spektral ivme eğrileri birlikte çizdirilmiştir (Şekil 5.10).

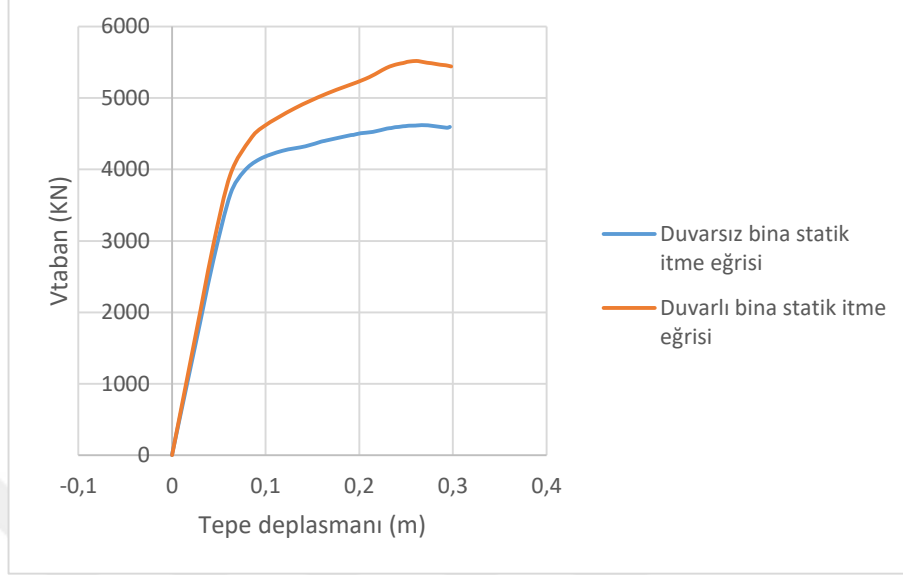


Şekil 5.10. FEMA 356'ya göre spektral ivme-spektral deplasman eğrisi

5.4.2. Binanın performans düzeyinin belirlenmesi

Binanın performans düzeyinin belirlenmesi için ilk olarak dolgu duvarlı ve duvarlı binaların statik itme eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 5.11). Daha sonra statik itme eğrileri (F-d), modal ivme ve modal deplasman eğrilerine dönüştürülerek, bu eğriler spektral deplasman- spektral ivme ile birlikte çizdirilmiştir. Duvarlı binanın ve duvarlı binaya ait bu eğrilerin gösterimi sırasıyla Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te sunulmuştur. Daha sonra bu eğrilere göre dolgu duvarlı ve dolgu duvarlı binanın performans noktaları belirlenerek, bina bu performans noktasına kadar statik olarak itilmiştir. Son itme adımında ki toplam eğrilik değerleri hesaplanarak, referans kolonun moment eğrilik diyagramından toplam birim şekil değiştirme istemleri hesaplanmıştır. Bu birim şekil değiştirme istem değerlerine göre duvarlı binanın

performans düzeyi Şekil 5.14'te ve duvarlı binanın performans düzeyi Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.11. FEMA 356'ya göre binanın statik itme eğrileri

Burada, dolgu duvarın bölme elemanı olarak kullanılması, binanın taban kesme kuvveti ve enbüyük plastik tepe deplasmanını artırdığı gözlemlendi. Plastik deformasyonu artırması, binanın sünekliliğine katkı sunduğu anlamına gelebilir. Bu statik itme eğrilerine göre binanın efektif periyotları duvarsız bina ve duvarlı bina için sırasıyla 2,19 s ve 1,80 s olarak bulunmuştur.

Dolgu duvarlı binanın efektif periyodu;

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

$$K_i = \frac{V_y - 0,6V_y}{\Delta_{ph} - \Delta_y} = \frac{1461}{0,0622 - 0,05} = 119754 \text{ KN/m}$$

$$K_e = \frac{V_t - V_y}{\Delta_{pu} - \Delta_{ph}} = \frac{4596 - 3654}{0,233} = 4042 \text{ KN/m}$$

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0,404 \times \sqrt{\frac{119754}{4042}} = 2,19 \text{ s}$$

Dolgu duvarsız binanın efektif periyodu;

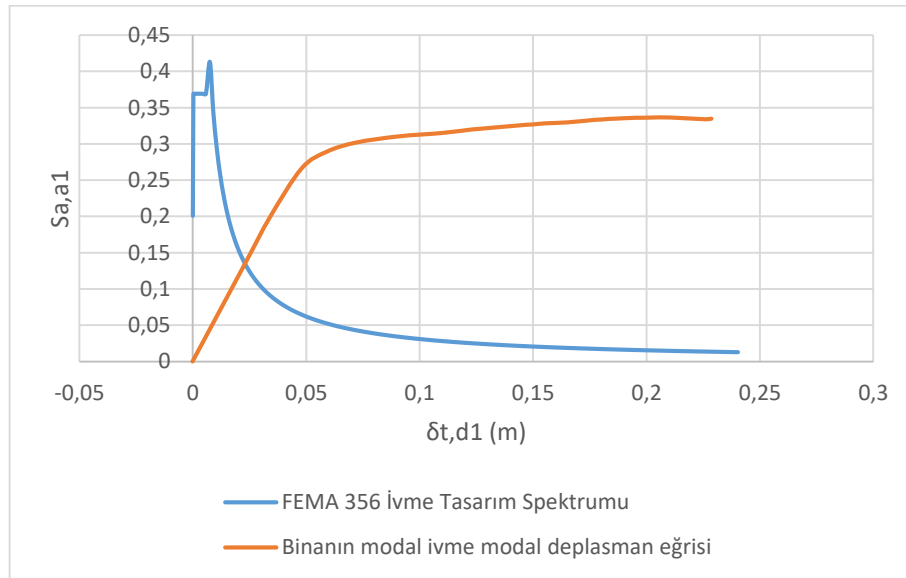
$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

$$K_i = \frac{V_y - 0,6V_y}{\Delta_{ph} - \Delta_y} = \frac{0,4 \times 3928}{0,0623 - 0,05} = 127739 \text{ KN/m}$$

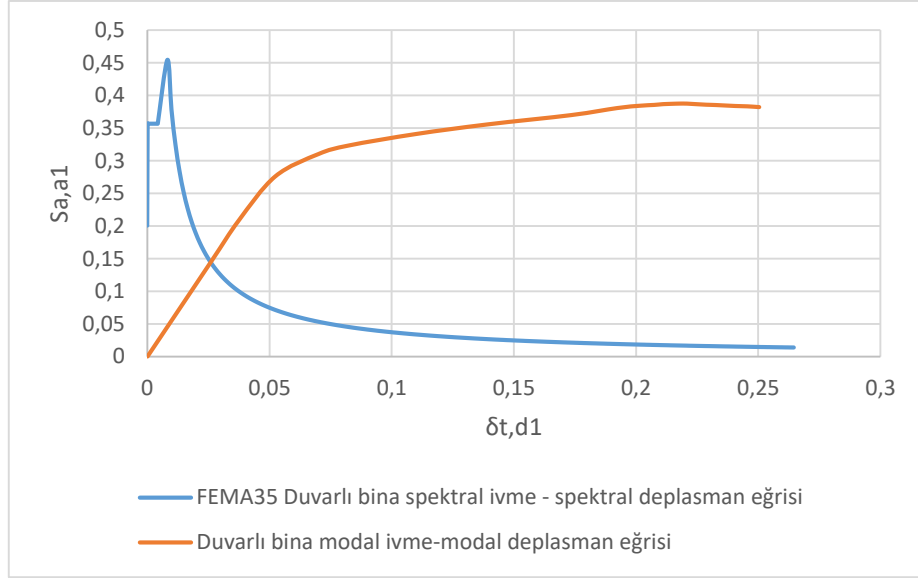
$$K_e = \frac{V_t - V_y}{\Delta_{pu} - \Delta_{ph}} = \frac{5442 - 3928}{0,298 - 0,0623} = 6423 \text{ KN/m}$$

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0,404 \times \sqrt{\frac{127739}{6423}} = 1,80 \text{ s}$$

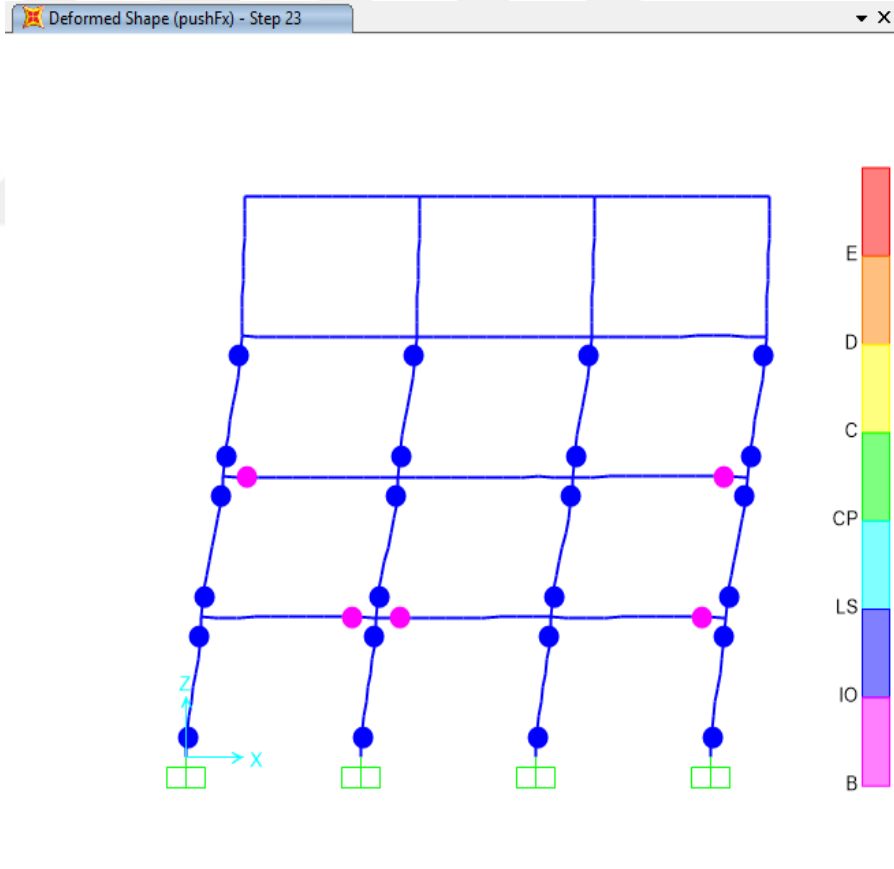
Yukarıda yapılan işlemler, dolgu duvarlar betonarme binanın efektif yanal rijitliğini artırdığını ve efektif periyodunu azalttığını göstermiştir. Bu diyagramlara göre duvarsız binanın ve duvarlı binanın hedef deplasmanı sırasıyla 0,023 ve 0,025 olarak belirlenmiştir. Binalar bu hedef performans değerlerine göre statik olarak itilerek performans düzeyleri belirlenmiştir.



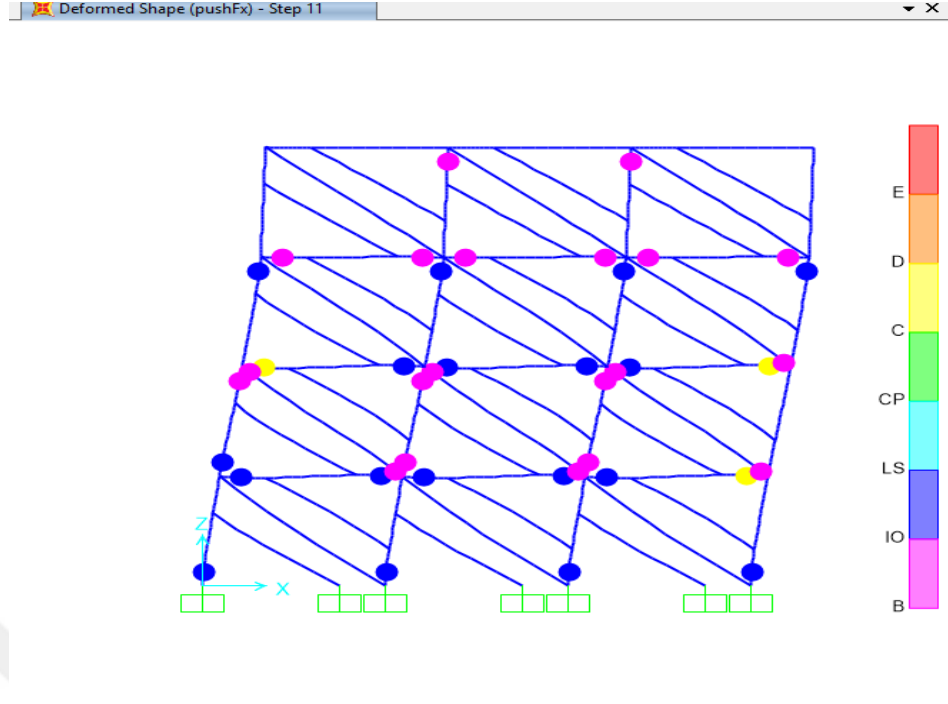
Şekil 5.12. Duvarsız binanın modal ivme-modal deplasman ve spektral ivme-spektral deplasman eğrisi



Şekil 5.13. Duvarlı binanın modal ivme-modal deplasman ve spektral ivme-spektral deplasman eğrisi



Şekil 5.14. Duvarsız binanın performans düzeyi [55]



Şekil 5.15. Duvarlı binanın performans düzeyi [55]

Burada, duvarsız binada ilk olarak kolonlar sonra kirişler mafsallaşmıştır. Zemin kat ve 1. Kat kirişleri hemen kullanım düzeyinde hasar almıştır. 2. ve 3. Kat kirişlerinde mafsallaşma oluşmamıştır. Bunun yanısıra zemin kat, 1.Kat ve 2. Kat kolonlar can güvenliği performans düzeyinde kalırken 3.Kat kolonları mafsallaşmamıştır. Dolgu duvarlı binaya gelince, 3. Kat kirişler hariç bütün taşıyıcı elemanlar mafsallaşmıştır. Bu binada mafsallaşma ilk olarak duvarda başladığı izlenmiştir. Dolgu duvar kullanımı betonarme binaya belirgin hasar vererek betonarme binanın deprem enerjisini bu hasarlarla sönmemesini sağlamıştır. Ayrıca dolgu duvarların kullanımı, 1. Kat kolonlarının performans düzeylerini can güvenliği performans seviyesinden, hemen kullanım seviyesine gelmesini sağladığı izlenmiştir.

5.4.2.1. SZ02 kolonun deplasman bazlı performans düzeyinin incelenmesi

SZ02 kolonun ilk olarak plastik mafsal boyu Denklem 5.20' ye göre hesaplanarak analitik modelde tanımlanmıştır [57]. SZ02 kolonu için hesaplanan plastik mafsal boyu formülasyonu tüm bina elemanları için uygulanarak analitik modele etki edilmiştir. Duvarlı bina durumunda ki son itme adımından elde edilen toplam eğrilik ve moment değerleri Tablo 5.10' da gösterilmiştir [57]. Bunun yanısıra dolgu

duvarsız bina durumunda da toplam eğrilik ve moment değerleri statik analiz sonucu elde edilmiştir (Tablo 5.11).

$$L_p = 0,08L + 0,022F_{ye}d_b \geq 0,044F_{ye}d_b \quad (5.20)$$

Bu denklemde, L_p plastik mafsallık boyunu, L eleman boyu, F_{ye} boyuna donatının akma dayanımı ve d_b boyuna donatının çapını göstermektedir. Kolonlar için plastik mafsallık boyu 0,387 ve X-Z yönündeki kirişler için plastik mafsallık boyu 0,467, Y-Z yönündeki kirişlerin plastik mafsallık boyu 0,547 olarak hesaplanmıştır.

$$L_p = 0,08 \times 3000 + 0,022 \times 420 \times 16 = 0,387 \text{ m}$$

Tablo 5.10. Duvarlı bina durumunda SZ02 kolonu moment eğrilik değerleri

M (KN/m)	θ (rad)	L_p (m)	ϕ_p (rad/m)	ϕ_y (rad/m)	ϕ_t (rad/m)
-1,1015	0	0,387	0	0,0059	0,0059
240,7876	0	0,387	0	0,0059	0,0059
418,2598	0	0,387	0	0,0059	0,0059
568,6347	0,000285	0,387	0,000736	0,0059	0,006636
583,011	0,001885	0,387	0,004871	0,0059	0,010771
578,7864	0,003551	0,387	0,009176	0,0059	0,015076
564,0213	0,006456	0,387	0,016682	0,0059	0,022582
585,2142	0,009229	0,387	0,023848	0,0059	0,029748
591,7596	0,012482	0,387	0,032253	0,0059	0,038153
582,5167	0,015091	0,387	0,038995	0,0059	0,044895
602,127	0,01741	0,387	0,044987	0,0059	0,050887
610,2098	0,019736	0,387	0,050997	0,0059	0,056897

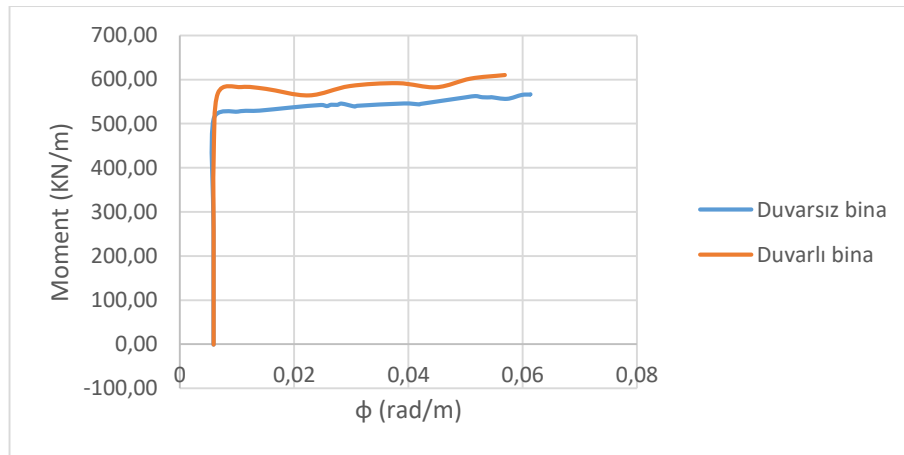
Tablo 5.11. Duvarsız bina durumunda SZ02 kolonu moment eğrilik değerleri

M (KN/m)	θ (rad)	L_p (m)	ϕ_p (rad/m)	ϕ_y (rad/m)	ϕ_t (rad/m)
-0,58	0	0,387	0	0,0059	0,0059
261,44	0	0,387	0	0,0059	0,0059
509,26	0	0,387	0	0,0059	0,0059
527,41	0,0017	0,387	0,0043	0,0059	0,0102
529,54	0,0031	0,387	0,0080	0,0059	0,0139
536,47	0,0052	0,387	0,0134	0,0059	0,0193
542,40	0,0073	0,387	0,0188	0,0059	0,0247
539,86	0,0077	0,387	0,0198	0,0059	0,0257
542,91	0,0080	0,387	0,0206	0,0059	0,0265
542,65	0,0084	0,387	0,0217	0,0059	0,0276
545,45	0,0087	0,387	0,0224	0,0059	0,0283
538,76	0,0096	0,387	0,0247	0,0059	0,0306

Tablo 5.11. (Devam) Duvarsız bina durumunda SZ02 kolonu moment eğrilik değerleri

M (KN/m)	θ (rad)	L _p (m)	ϕ_p (rad/m)	ϕ_y (rad/m)	ϕ_t (rad/m)
540,50	0,0097	0,387	0,0251	0,0059	0,0310
545,80	0,0129	0,387	0,0333	0,0059	0,0392
543,67	0,0139	0,387	0,0360	0,0059	0,0419
544,79	0,0140	0,387	0,0362	0,0059	0,0421
559,39	0,0170	0,387	0,0439	0,0059	0,0498
562,53	0,0177	0,387	0,0458	0,0059	0,0517
559,86	0,0182	0,387	0,0470	0,0059	0,0529
559,73	0,0188	0,387	0,0485	0,0059	0,0544
560,11	0,0188	0,387	0,0486	0,0059	0,0545
556,26	0,0199	0,387	0,0513	0,0059	0,0572
565,07	0,0209	0,387	0,0539	0,0059	0,0598
565,96	0,0214	0,387	0,0553	0,0059	0,0612
565,99	0,0214	0,387	0,0553	0,0059	0,0612
565,99	0,0214	0,387	0,0553	0,0059	0,0612
566,03	0,0214	0,387	0,0553	0,0059	0,0612
566,58	0,0215	0,387	0,0554	0,0059	0,0613

SZ02 kolonun duvarlı ve duvarsız bina durumlarında ki moment eğrilik değerlerine göre, moment eğrilik diyagramı Şekil 5.16’da gösterilmiştir. Bu diyagramda dolgu duvarlı bina yaklaşık olarak duvarsız binayla aynı derecede eğrilik yaparak hem yapının sünekliliğini korumuş hem de binaya duvarsız duruma göre daha az hasar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bu tabloda ki toplam eğriliğe göre binanın her iki durumda ki toplam birim şekil değiştirme istem değerleri hesaplanmıştır. Bu istem değerleri Tablo 5.12’de sunulmuştur.



Şekil 5.16. SZ02 kolonu moment-eğrilik diyagramı

Tablo 5.12. SZ02 kolonu performans düzeyi

Analitik Model	ϵ_t	PD
Duvarlı Bina	0,024	İkincil LS
Duvarsız Bina	0,026	IO

Burada, dolgu duvarlar bölme elemanı olarak kullanılırsa, deprem anında ilk hasarı dolgu duvar alacağı gözlemlenmiştir. Dolgu duvarlar deprem esnasında can güvenliği performans düzeyi sağlayarak duvarsız bina ile yaklaşık olarak aynı eğriliği yaptığı gözlemlenmiştir. Dolgu duvarın binanın taşıyıcı kolonuna aldırıldığı hasar belirli düzeyde olduğu için, dolgu duvar burada binanın göçmeden plastik deformasyon yapabilme yeteneğine katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

6. EUROCODE 8 YÖNETMELİĞİNE GÖRE DOLGU DUVARLARIN BİNA DAVRANIŞINA ETKİSİ

Bu bölümde, EUROCODE 8 standartlarına göre, betonarme binalarda kullanılan dolgu duvarların özellikleri ve dolgu duvarların yapı davranışına etkisi incelenmiştir. Bölüm 4'te Türk Deprem Yönetmeliği 2018'e göre elde edilen analiz sonuçları, Eurocode 8 kriterleriyle mukayese edilerek sonuçlar tartışılmıştır. Bu yönetmeliğe göre, yanal kat ötelenmesi kontrolü, ikinci mertebe etkileri kontrolü ve binanın davranışını belirlemede referans alınan kolonların hasar sınır değerleri tespit edilerek dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binaların performans düzeyleri belirlenmiştir.

6.1. Dolgu Duvar Kriterleri

Dolgu duvarların tasarımı ve binanın analitik modelinde kullanılmak üzere seçilen duvarın malzeme özellikleri EN1996 Standartlarına göre belirlenmiştir. Bu yönetmelikte dolgu duvarlar betonsuz, betonlu, ön gerilmeli ve sargılı duvar olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, dolgu duvarları analitik modele yansıtabilmek için, duvarları beton duvar gibi düşünülerek modellenmiştir (Eşdeğer basınç çubuğu modeli). Dolgu duvarların limit tasarım durumları bu yönetmelikte nihai ve hemen kullanım düzeyi olarak sunulmuştur [19]. Duvarların hemen kullanım düzeyinde deplasman ve ezilme yapmasına izin verilmektedir. Eğer duvar göçme, denge kaybı, burulma ve stabilite kaybı yaşıyorsa nihai limit aşaması düzeyindedir [19]. Bu yönetmelikte dolgu duvarların analitik modellenmesi için duvarın harç birleşimleri tanımlanmıştır. Ayrıca duvar birleşimlerinde kullanılan harçların özellikleri sınıflandırılmıştır. Dolgu duvarın, farklı duvar birleşimlerine göre malzeme basınç dayanımı değişmektedir. Bu duvar birleşimleri, kil duvar birleşimleri, kalsiyum slika birleşimleri, gri agrega beton üniteleri, taşlanmış betonarme birleşimleri, imal edilmiş taş birleşimler ve büyük doğal taş birleşimleri olarak sınıflandırılmıştır [19]. Bu birleşimlerde kullanılan harçlar ise genel amaçlı harç, hafif ağırlıklı harç ve ince tabakalı harç olarak sınıflandırılmıştır. Bahsedilen bu birleşimlere göre dolgu duvar malzeme dayanımı, genel amaçlı harç ile duvar birleşimi ise Denklem 6.1'e göre,

ince tabakalı harç ile kalsiyum slika ve taşlanmış beton duvar birleşimleri varsa Denklem 6.2'ye göre ve ince tabakalı harç ile kil duvar blokları kullanılırsa Denklem 6.3'e göre hesaplanır [19].

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} \quad (6.1)$$

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} \quad (6.2)$$

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \quad (6.3)$$

Bu denklemlerde, f_b dolgu duvarın normalize edilmiş basınç dayanımı, f_m duvar birleşimlerinde kullanılan harcın basınç dayanımı, K harcın genişliği ile duvarın kalınlığı arasında ki oranı gösteren katsayı ve f_k ise analitik modelde kullanılan dolgu duvarın karakteristik basınç dayanımıdır. Bunun yanısıra dolgu duvarın elastisite modülü Denklem 6.4' e göre hesaplanır. Bu denklemlerde, f_b ve f_m basınç dayanımları kullanılan birleşim özelliklerine göre EN1052 Standartlarında sunulmuştur [19].

$$E_{\text{dolgu}} = 600f_k \quad (6.4)$$

Yönetmeliğin sunmuş olduğu malzeme birleşimlerinin yanısıra, dolgu duvarların efektif yüksekliği ve efektif kalınlığı bazı formülasyonlara göre sunulmuştur. Ancak bu formülasyonlar bu çalışmanın kapsamında olmadığı için, analitik modellerde dikkate alınmamıştır. Türk deprem yönetmeliği 2018'de tanımlanan duvar kriterlerine göre, malzeme basınç dayanımı 3 MPa olan bir duvarın efektif eşdeğer kalınlığı 41,5 cm ve aynı geometrik parametrelere sahip duvarın Eurocode 8' de aynı malzeme dayanımının eşdeğer basınç çubuğu kalınlığı 41,9 cm olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de tanımlanan analitik modellerin sonuçları ele alınarak EUROCODE 8'in önermiş olduğu kriterlerle mukayese edilmiştir.

6.2. Hasar Sınırlaması Kriteri

Bu bölümde, hasar sınırlama koşulu yanal kat ötelemesine bağlı olarak sunulmuştur [56]. Denklem 6.5'te yanal kat ötelenmesinin hesabı gösterilmiştir.

$$\frac{d_r}{h} \leq \frac{\alpha}{v} \quad (6.5)$$

Bu denklemde, d_r yanal kat ötelenmesini, h kat yüksekliğini, α yapısal olmayan elemanların türünü ve yapıya ilişkin düzenlemelerini dikkate alan faktörü ve v ise sismik etkilerin oluşturduğu düşük periyotta dikkate alınan ve hasar sınırlama ile ilişkili olan faktörünü göstermektedir. Binada yapısal olmayan elemanlar olduğu için α ve v değerleri sırasıyla 0,005 ve 0,5 olarak hesaba katılır [56]. Burada yanal kat ötelemesi, ardışık iki katın yanal deplasmanlarının arasındaki fark olarak nitelendirilir [56]. Binada ki yanal deplasmanlar d_s Denklem 6.6'ya göre hesaplanır [56].

$$d_s = q d_e \quad (6.6)$$

Bu denklemde, d_e göze alınan yön doğrultusunda katın en büyük deplasmanı ve q ise davranış faktörüdür. Burada q değeri, duvarlı yapı sisteminin göçme öncesi modu ile ilişkili faktör olan k_m ile davranış faktörü q_0 değerinin çarpımıdır. Bu değerler sırasıyla 1 ve 3 olarak işleme alınmıştır [56]. +X yönünde eşdeğer yük yönetmiyle elde edilen deplasmanlar ile yanal kat ötelemeleri hesaplanmıştır. Duvarsız binanın, tek eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş duvarlı binanın, üç eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş duvarlı binanın ve shell eleman ile modellenmiş dolgu duvarlı binanın yanal kat ötelemeleri Tablo 6.1'de gösterilmiştir. Binanın Y yönündeki deplasmanları X yönünde ki deplasmanlarından küçük olduğu için bu yön dikkate alınmamıştır. Bu tablolardaki sonuçlar dolgu duvar malzeme dayanımları 3 MPa olarak hesaplanmıştır. Burada dolgu duvarların kullanımı betonarme binanın katlarında yanal kat ötelemelerini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız tüm analitik modellerde yanal kat ötelemesi koşulu sağlanmıştır.

Tablo 6.2. +X yönünde yanal kat ötelemesi

II.Mertebe	Duvarsız Bina	TEDBÇ Duvarlı Bina	ÜEDBÇ Duvarlı Bina	Shell Eleman Duvarlı Bina	Koşul
Katlar	d_r/h	d_r/h	d_r/h	d_r/h	α/v
3.Kat	0,0052	0,0009	0,0007	0,0013	0,01
2.Kat	0,0085	0,0012	0,001	0,002	0,01
1.Kat	0,0097	0,0014	0,0013	0,0024	0,01
Zemin Kat	0,0057	0,0013	0,0013	0,0022	0,01

6.3. İkinci Mertebe Etkileri

İkinci mertebe etkisini dikkate almak için kullanılan kriter Denklem 6.7’de gösterilmiştir [56]. İkinci mertebe etkisi bu yönetmeliğe göre katların ötelenme duyarlılık katsayısına, θ_0 , dayanmaktadır [56]. Eğer bu değer 0,10 değerini aşıyorsa binanın katlarında ek momentler ve deplasmanlar oluşacaktır. Bu da binanın sismik etkilere karşı performans düzeyinin değişmesine neden olacaktır.

$$\theta_0 = \frac{P_{tot} d_r}{V_{tot} h} \quad (6.7)$$

Bu denklemde P_{tot} düşey (G+0,3Q) yüklemesi altında kata gelen yüküdür. V_{tot} ise eşdeğer yük yöntemine göre hesaplanan taban kesme kuvvetinden katlara dağıtılan yüküdür. +X yönünde eşdeğer yük yönetmiyle elde edilen deplasmanlar ile yanal kat ötelemeleri hesaplanmıştır. Duvarsız binanın, tek eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş duvarlı binanın, üç eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş duvarlı binanın ve shell eleman ile modellenmiş dolgu duvarlı binanın ikinci merbe göstergeleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.

Tablo 6.2. +X yönünde katların ikinci mertebe göstergeleri

II.Mertebe	Duvarsız Bina	TEDBÇ Duvarlı Bina	ÜEDBÇ Duvarlı Bina	Shell Eleman Duvarlı Bina	Koşul
Katlar	θ	θ	θ	θ	θ_{max}
3.Kat	0,0130	0,0011	0,0013	0,0016	0,10
2.Kat	0,0284	0,0020	0,0017	0,0033	0,10
1.Kat	0,0487	0,0035	0,0033	0,0060	0,10
Zemin Kat	0,0572	0,0065	0,0065	0,0110	0,10

Tablo 6.2. +X yönünde katların ikinci mertebe göstergeleri

II.Mertebe	Duvarsız Bina	TEDBÇ Duvarlı Bina	ÜEDBÇ Duvarlı Bina	Shell Eleman Duvarlı Bina	Koşul
Katlar	θ	θ	θ	θ	θ_{max}
3.Kat	0,0130	0,0011	0,0013	0,0016	0,10
2.Kat	0,0284	0,0020	0,0017	0,0033	0,10
1.Kat	0,0487	0,0035	0,0033	0,0060	0,10
Zemin Kat	0,0572	0,0065	0,0065	0,0110	0,10

Burada dolgu duvarların kullanımı betonarme binanın katlarında ikinci mertebe etkilerini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız tüm analitik modellerde ikinci mertebe etki kriterleri sağlanmıştır.

6.4. Bina Performans Düzeyleri

Bu yönetmelikte, bina taşıyıcı elemanlarının performans düzeylerini belirlemek için üç farklı performans düzeyi tanımlanmıştır. Göçme öncesi performans düzeyinde (NC), yapı çökmeye yakın, muhtemelen başka bir depremde hayatta kalamayacaktır. Bu performans düzeyinde düşey elemanlar hala düşey yükleri taşımaya devam etmesine rağmen yapı yanal mukavemet ve rijitlikte ağır hasar görmüştür ve çoğu yapısal olmayan eleman çökmüştür. Önemli hasar düzeyinde (SD), Yapı, bazı kalıcı yanal mukavemet ve rijitlikte önemli ölçüde hasarlıdır ve düşey elemanlar düşey yükleri taşıyabilmektedir. Bölmeler ve dolgu duvarlar düzlem dışı kalmamış olsa da yapısal olmayan bileşenler zarar görür. Orta kalıcı ötelenmeler mevcut yapı orta şiddetli şiddetli şoklardan sonra devam edebilir. Yapının onarımı ekonomik olmayan bir olasılıktır. Sınırlı hasar düzeyinde (DL), Yapı, sadece hafifçe hasarlıdır, yapısal elemanlar, önemli akma, mukavemet ve rijitlik özelliklerinin korunmasını engeller. Bölmeler ve dolgular gibi yapısal olmayan bileşenler dağıtılmış çatlamayı gösterebilir, ancak hasar ekonomik olarak onarılabilir. Kalıcı sapmalar ihmal edilebilir. Yapının herhangi bir onarım önlemine ihtiyacı yoktur [56].

6.4.1. Kesit hasar sınırlarının belirlenmesi

Bu bölümde EUROCODE 8 kriterlerine göre bu çalışmada referans olarak kullandığımız SZ02 ve SZ14 kolonlarının beton birim kısılması, donatı birim uzaması ve dönme kapasitesi sınır değerleri hesaplanmıştır [56]. Hesaplanan bu sınır değerleriyle, binanın dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız durumlarında ki bu kolonlarının birim şekil değiştirme istem değerleri mukayese edilerek, taşıyıcı kolonların performans düzeyleri belirlenmiştir. Hesaplanmış olan birim şekil değiştirme istem değerleri, Tablo 4.9' dan alınmıştır.

Göçme öncesi performans düzeyi (NC);

Dönme kapasitesi;

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} (\theta_y + (\Phi_u - \Phi_y) L_{pl} (1 - \frac{0,5L_{pl}}{L_v})) \quad (6.8)$$

Bu denklemde, γ_{el} temel sismik elemanlarda 1,15 ve ikincil sismik elemanlarda 1 olarak alınır. Bu denklemde, θ_y akma anındaki dönmeyi (Denklem (6.9)), ϕ_u nihai eğrilik, ϕ_y akma anındaki eğriliği, L_{pl} plastik mafsallı boyunu (Denklem(6.10)) , L_v son itme adımında ki taşıyıcı elemanın eğilme momentinin kesme kuvvetine oranını göstermektedir [56].

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + a_v z_0}{3} + 0,0014 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_v} \right) + \frac{\epsilon_y}{d-d'} \frac{d_b F_{ye}}{6 \sqrt{f_c}} \quad (6.9)$$

$$L_{pl} = 0,1 L_v + 0,17 h + 0,24 \frac{d_b F_{ye}}{\sqrt{f_c}} \quad (6.10)$$

Bu denklemlerde h taşıyıcı elemanın en kesit yüksekliğini, d_b boyuna donatının çapını, F_{ye} boyuna donatının akma dayanımını, f_c sargısız betonun mukavemetini, ϵ_y donatının birim uzamasını, $d-d'$ taşıyıcı elemanın en kesit kolunun uzunluğunu göstermektedir. Burada z_0 , $d-d'$ uzunluğuna eşit olduğu kabul edilir. Diğer parametre a_v 'ye gelince, elemanın uç kısmındaki akma mukavemetinin, elemanın malzemedan kaynaklanan kesme direnci V_R ile moment kesme kuvveti oranı L_v 'nin çarpımından büyükse 1 olarak alınır aksi durumda 0 olarak hesaba katılır [56]. a_v değeri bu çalışmada 0 olarak hesaba katılmıştır. Çünkü tüm analitik modellerin taşıyıcı elemanlarında V_R kesme direnci akma momentinden büyük olduğu gözlemlenmiştir.

$$\epsilon_y = \frac{F_{ye}}{E_s} \quad (6.11)$$

E_s donatı çeliğinin elastisite modülünü göstermektedir. S420a donatı çeliğinin elastisite modülü 200000 N/mm^2 'dir [45].

Beton birim kısalması [56];

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + 0,5 \frac{\alpha_{se} \rho_{sx} f_{ywe}}{f_{cc}} \quad (6.12)$$

Bu denklemde ϵ_{cu} beton birim kısalmasını, α boyuna donatılar arasındaki uzaklığını gösterir. Denklem 4.29c'ye göre hesaplanır. ρ_{sx} enine donatının hacimsel oranını ifade eder Denklem 4.29d'ye göre hesaplanır. Burada f_{cc} ise sargılı betonun dayanımını ifade eder ve Denklem (6.13)'e göre hesaplanır [56].

$$f_{cc}=f_c \left[1+3,7 \left(\frac{\alpha_{sx} f_{ywe}}{f_c} \right)^{0,86} \right] \quad (6.13)$$

Donatı birim kısalması;

$$\varepsilon_s=0,4\varepsilon_{su} \quad (6.14)$$

Bu denklemde, ε_{su} donatının birim nihai birim uzama kapasitesini gösterir. EUROCODE 8'e göre 0,08 olarak hesaba katılmıştır [56].

Yukarıda göçme öncesi performans düzeyleri tanımlanmıştır. Bu birim şekildeğiştirmelerin 0,75 katı önemli hasar seviyesini oluşturmaktadır. Sınırlı hasar seviyesine gelince, burada kesit hasar sınır değerleri akma anında ki birim şekildeğiştirme değerlerine göre alınacaktır [56].

Yukarıda belirtilen performans düzeylerinin yanısıra, referans kolonların dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binalarda yapmış olduğu plastik deplasmanlarda hesaplanarak mukayese edilmiştir. Plastik deplasman Denklem 6.15'e göre hesaplanır [56].

$$\Delta_{pl}=(\phi_t-\phi_y)L_{pl}\left(L-\frac{L_p}{2}\right) \quad (6.15)$$

Yukarıda gösterilen parametrelere göre kolonların kesit hasar sınır değerleri hesaplanarak aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Duvarsız bina kesit hasar sınır değerleri

Kolonlar	Birim Şekil Değiştirmeler	NC	SD	DL
SZ02	ε_s	0,0320	0,0240	0,0032
	ε_{cu}	0,0107	0,0080	0,0006
	θ_{um}	0,0505	0,0379	0,0095
SZ14	ε_s	0,0320	0,0240	0,0032
	ε_{cu}	0,0129	0,0096	0,0006
	θ_{um}	0,1108	0,0831	0,0095

Tablo 6.4. Tek eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvarlı bina

Kolonlar	Birim Şekil Değişiklikleri	NC	SD	DL
SZ02	ϵ_s	0,0320	0,0240	0,0032
	ϵ_{cu}	0,0107	0,0080	0,0006
	θ_{um}	0,0505	0,0379	0,0095
SZ14	ϵ_s	0,0320	0,0240	0,0031
	ϵ_{cu}	0,0129	0,0096	0,0005
	θ_{um}	0,1103	0,0827	0,0136

Tablo 6.5. Üç eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvarlı bina

Kolonlar	Birim Şekil Değişiklikleri	NC	SD	DL
SZ02	ϵ_s	0,0320	0,0240	0,0032
	ϵ_{cu}	0,0107	0,0080	0,0006
	θ_{um}	0,0503	0,0377	0,0095
SZ14	ϵ_s	0,0320	0,0240	0,0031
	ϵ_{cu}	0,0129	0,0096	0,0005
	θ_{um}	0,1102	0,0826	0,0136

Tablolarda sunulan, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız bina durumlarındaki kesit hasar sınır değerleriyle mukayese etmek üzere taşıyıcı elemanların bu bina durumlarında, son statik itme adımı birim şekil değiştirme istemleri hesaplanmıştır. Bu istem değerlerine göre binanın taşıyıcı referans kolonlarının dolgu duvarlı ve duvarsız durumlarında performans düzeyleri ve yapmış olduğu plastik deplasmanlar belirlenmiştir.

Tablo 6.6. Duvarsız bina taşıyıcı kolonlarının performans düzeyleri ve plastik deplasmanları

Kolonlar	Birim Şekil Değişiklik İstemleri	Değerleri	Performans Düzeyi	Plastik Deplasman (m)
SZ02	ϵ_s	0,0132	SD	0,0194
	ϵ_{cu}	0,00115	SD	
	θ_{um}	0,0067	DL	
SZ14	ϵ_s	0,0109	SD	0,0313
	ϵ_{cu}	0,00068	SD	
	θ_{um}	0,0109	SD	

Tablo 6.7. Tek eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı bina taşıyıcı kolonlarının performans düzeyleri ve plastik deplasmanları

Kolonlar	Birim Şekil Değiştirme İstemleri	Değerleri	Performans Düzeyi	Plastik Deplasman (m)
SZ02	ϵ_s	0,0169	SD	0,0246
	ϵ_{cu}	0,00131	SD	
	θ_{um}	0,0087	DL	
SZ14	ϵ_s	0,0239	SD	0,0318
	ϵ_{cu}	0,00165	SD	
	θ_{um}	0,011	DL	

Tablo 6.8. Üç eşdeğer basınç çubuğuyla modellenmiş dolgu duvarlı bina taşıyıcı kolonlarının performans düzeyleri ve plastik deplasmanları

Kolonlar	Birim Şekil Değiştirme İstemleri	Değerleri	Performans Düzeyi	Plastik Deplasman (m)
SZ02	ϵ_s	0,0179	SD	0,0269
	ϵ_{cu}	0,00135	SD	
	θ_{um}	0,0093	SD	
SZ14	ϵ_s	0,0108	SD	0,0334
	ϵ_{cu}	0,000703	SD	
	θ_{um}	0,0116	DL	

Performans düzeyi tabloları, dolgu duvarın betonarme binalarda kullanımı binanın göçmeden plastik deformasyon yapabilme yeteneğine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Dolgu duvar kullanımı taşıyıcı kolonların hasar seviyelerini duvarsız binaya göre aynı seviyede tutarak plastik deplasmanını artırdığı izlenmiştir. Belirgin hasar seviyesinde kalarak, bir binanın plastik deplasmanının artması, depremden binaya gelen enerjiyi önemli ölçüde sönmlediğini göstermektedir.

EUROCODE 8 kriterlerine göre dolgu duvarların betonarme bina davranışına etkileri yukarıda tartışılmıştır. Bunun yanısıra, zaman tanım alanında bu yönetmeliğe göre eğer binanın taşıyıcı elemanlarının depreme karşı tepki spektrumu ivme değerlerinin yükselmesi binanın sönm oranının arttığı önerilmiştir. Zaman tanım alanında yapılan analizlere göre dolgu duvarlar bina taşıyıcı elemanlarının depreme karşı tepki spektrum ivmelerini artırdığı gözlemlenmiştir. Bu da dolgu duvarlar betonarme binanın sönmleyici karakteristiklerini önemli ölçüde değiştirdiği düşünülebilir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 4 katlı betonarme binada farklı analitik modellerle modellenen dolgu duvarların betonarme binanın davranışına etkileri TBDY 2018, FEMA 356 ve EUROCODE 8 yönetmeliklerinin kriterleri esas alınarak belirlenmiştir. Dolgu duvarların betonarme binanın analitik modelinde temsil edilebilmesi için, dolgu duvarlar tek eşdeğer basınç çubuğu, üç eşdeğer basınç çubuğu ve shell (kabuk) eleman olarak modellenmiştir. Bu üç farklı duvar modelleme tekniğinde, dolgu duvarların farklı malzeme basınç dayanımları kullanılarak, dolgu duvarların betonarme binanın davranışına etkileri açıklanmaya çalışılmıştır. Farklı analitik modellerle kurulan duvarlı ve duvarsız binanın tepe deplasmanlarını, depremin binada oluşturduğu taban kesme kuvvetlerini, binada oluşan düzensizlikleri, binanın katlarında oluşan kat ötelemeleri kontrolünü, binanın katlarında ki ikinci mertebe etkileri kontrolünü, binanın taşıyıcı elemanlarında oluşan iç kuvvetlerini, binanın taşıyıcı elemanlarının plastik deformasyonlarını, binanın modal ivme kapasite diyagramlarını, performans düzeylerini ve sönüm karakteristiklerini açıklayabilmek için, yönetmeliklerin tanımlamış olduğu eşdeğer yük yöntemi, mod birleştirme yöntemi, statik itme analizi yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılmıştır. Belirtmiş olduğumuz deprem yönetmelikleri ve analiz yöntemleri ve bu çalışmayla ilgili daha önceden yapılmış çalışmalara göre dolgu duvarların betonarme binanın davranışına etkileri aşağıda özetlenmiştir.

Yapılan linear analizlere göre, dolgu duvarın betonarme binalarda bölme eleman olarak kullanılması depremin binanın taşıyıcı kolonlarında oluşturduğu kesme kuvvetini, eğilme momentini önemli ölçüde azalttığı izlenmiştir. Bunun yanı sıra, dolgu duvarların binanın yanal rijitliğini artırdığını ve bundan dolayı depremin binada oluşturduğu taban kesme kuvvetini artırdığını, binanın tepe deplasmanını azalttığı ve binanın doğal titreşim periyodunu azalttığı izlenmiştir. Bunlara ek olarak dolgu duvarlar, binanın katlarında ikinci mertebe etkilerini ve görelî kat ötelemelerini azaltmıştır.

Dolgu duvarların betonarme binanın tüm katlarında bulunması ve binanın tüm katlarına simetrik olarak yerleştirilmesi binada burulma düzensizliği katsayısını ve yumuşak kat etkisi katsayısını artırmasına rağmen yönetmeliğin belirtmiş olduğu olumsuz durumu ortaya çıkartmamıştır.

Yapılan zaman tanım alanında hesaba göre, dolgu duvarların betonarme binada bölme eleman olarak kullanılması depreme karşı binanın salınımı artırmıştır. Deprem etkisinde bulunan binanın deprem enerjilerine karşı daha fazla spektrum ivmesi yaptığı gözlemlenmiştir. Eurocode 8 kriterlerine göre, bina göçmeden deprem enerjilerine karşı daha fazla spektrum ivmesi üretiyorsa, bu durum binanın sönüm oranının arttığını göstermiştir. Yani dolgu duvarlar betonarme binanın deprem enerjilerinin birazını sönümlediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, zaman tanım alanındaki eğriler frekans tanım alanına dönüştürülerek dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binanın yapmış olduğu farklı frekanslarda ki ivme değerleri elde edilmiştir. Bu eğriye göre, duvarsız bina önemli ölçüde hasar almışken, dolgu duvarlı binanın belirgin hasar düzeyinde kaldığı görülmüştür. Dolgu duvarların zaman tanım alanında hesaba göre taban kesme kuvvetlerini artırdığı ve tepe deplasmanlarını azalttığı gözlemlenmiştir.

FEMA 356 yönetmeliğinin linear analiz prosedürlerine göre, tepki spektrumu eğrisini elde edebilmek için, belirli sönüm katsayıları öneriliyor. Bu sönüm katsayıları yapının eşdeğer viskoz sönümüne göre bulunmaktadır. FEMA 356 yapının viskoz sönümünün, yapının kütle ve rijitliğine göre elde edilen kritik sönümünün %2 olduğunu kabul etmiştir. Dolgu duvarın betonarme binada kullanılması, yapının eşdeğer viskoz sönümünü artırdığı gözlemlenmiştir.

Yapılan doğrusal olmayan analizlere göre, dolgu duvarların betonarme bina taşıyıcı kolonlarının performans düzeylerini duvarsız binanın taşıyıcı kolonlarıyla aynı seviyede tutarken, taşıyıcı kolonların plastik deformasyonlarını artırmıştır. Bu taşıyıcı kolonların göçmeden veya belirgin hasar seviyesinde kalarak plastik deformasyon yapabilmesini artırdığını göstermiştir. Yani dolgu duvarlar, betonarme binanın sünekliğini artırmıştır. Bunun yanı sıra, dolgu duvarlar bazı taşıyıcı elemanların hasar seviyelerini de azalttığı gözlemlenmiştir. Doğrusal olmayan analizlere göre, dolgu duvarlı binada ilk mafsallaşan dolgu duvarların olduğu gözlemlenmiştir.

Dolgu duvarlar mafsallaşarak, sürtünme enerjisi oluşturur ve sürtünme enerjisiyle depremden gelen enerjileri sönümleme özelliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. FEMA 356' ya göre, dolgu duvarlar aynı zamanda binanın elastik olmayan rijitliğini artırdığı ve efektif periyodunu azalttığı izlenmiştir. Son olarak, dolgu duvarlar binanın modal ivme kapasitesini artırmıştır.

Yukarıda ifade edilen sonuçlarını yanısıra, binanın davranışı farklı yönetmeliklerin kriterlerine göre mukayese edildiğinde sonuçların birbirine benzer olduğu gözlemlenmiştir. Dolgu duvarların, farklı yönetmeliklerin kriterlerine göre incelendiğinde binanın davranışına benzer etkileri yaptığı gözlemlenmiştir.

Dolgu duvarları analtik modelde temsil edebilmek için, kullanılan modelleme tekniklerinden üç eşdeğer basınç çubuğu modelinin diğer modellere göre daha gerçekçi sonuçlar ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir. Shell eleman modeli linear analiz sonuçlarına göre daha gerçekçi olsada, doğrusal olmayan analizlerde, shell elemanın mafsallaşması izlenemediğinden dolayı bu yöntem doğrusal olmayan yük yöntemlerinde kullanılmayabilir. Üç eşdeğer basınç çubuğu modelinde, duvarın mafsallaşması ve taşıyıcı kolonların performans düzeyleri daha iyi açıklandığı için bu yöntem daha uygun olabilir. Tek eşdeğer basınç çubuğuyla modellenen dolgu duvarlı binada kolon iç kuvvetleri öngörüldüğünden daha çok küçüldüğü için, bu yöntem dolgu duvarları temsil etmek için her zaman uygun olmayabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Crisafulli F. J., Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills, PhD Thesis, University of Canterbury, Department of Civil Engineering, Christchurch, 1997, 10092.
- [2] Penelis G. G., Kappos, A. J., Earthquake Resistant Concrete Structure, E & FN Spon, An imprint of Chapman & Hall, London, 1997.
- [3] Magenes G., Pampanin S., Seismic Response of Gravity-Load Design Frames with Masonry Infills, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver B.C., Canada, June August 1, 2004.
- [4] Shing P. B., Mehrabi A. B., Behaviour and Analysis of Masonry-infilled Frames, *Progress in Structural Engineering and Materials* 4, DOI 10.1002/pse.122.
- [5] Holmes M., *Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling*, Proceedings of Institute of Civil Engineers, 1961.
- [6] Smith S. B., Lateral Stiffness of Infilled Frames, *Journal of the Structural Division*, ASCE88, 183–199, 1962.
- [7] Stafford Smith B., Carter C., A Method of Analysis of Infilled Frames, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 1969, **44**(1), 31-48.
- [8] Mainstone R. J., Summary of paper 7360, On the stiffness and strengths of infilled frames, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, DOI: 10.1680/iicep.1971.6267
- [9] Dawe J. L, Seah C. K, Behaviour of Masonry Infilled Steel Frames, *Canadian Journal of Civil Engineerings* 16, DOI 10.1139/l89129.
- [10] Wood R. H, Plastic Composite Action and Collapse Design of Unreinforced Shear Wall Panels in Frames, *Proceedings of Institution. of Civil Engineers.*, DOI 10.1680/iicep.1978.2952.
- [11] Saneinejad A., Hobbs, B., Inelastic Design of Infilled Frames, *Journal of Structural Engineering*, 1995, **121**(4), 634-650.
- [12] Shing P. B., Mehrabi A. B., Behaviour and Analysis of Masonry-Infilled Frames, *Progress in Structural Engineering and Materials*, DOI 10.1002/pse.122.

- [13] Lourenço P. B., Alvaregna R. C., Silva R. M., Validation of a Simplified Model for the Design of Masonry Infilled Frames, *Masonry International*, 2006, **19**(1), 15–26.
- [14] May I. M., Determination of collapse loads for unreinforced panels with and without openings, *Proceedings of Institution. of Civil Engineers.*, DOI 10.1680/icep.1981.2149.
- [15] Seah C. K., Universal Approach for the Analysis and Design of Masonry infilled Frame Structures, PhD. Thesis, University of New Brunswick, Canada, 1998, 46301.
- [16] Bell D. K., Davidson B. J., Evaluation of Earthquake Risk Buildings with Masonry Infill Panels, *New Zealand Society for Earthquake Engineering Inc.*, 2001, pp. Paper No. 4.02.01.
- [17] Braz-Cesar M. T., Oliveira D., Barros R. C, Comparison of Cyclic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames with Experimental Results, *14th World Conference on Earthquake Engineering* Beijing, China, October 12, 2008.
- [18] Murty C. V. R., Jain S. K., Beneficial İnfluence of Masonry Infill Walls on Seismic Performance of RC Frame Buildings, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, January 30, 2000.
- [19] EUROCODE 6 EN 1996-1-1, Design of Masonry Structures, European Standard, Brussel, 2009.
- [20] Hamid A. A., Drysdale R. G., Concrete Masonry under Combined Shear and Compression Along the Mortar Joints, *ACI Journal*, 1980, **77**(5), 314– 320.
- [21] Mertol A.ve Mertol, H.C., *Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, Kozan Ofset, Antalya, Türkiye, 2002.
- [22] Çelebi O., Beyen K., Betonarme Binaların Depreme Karşı Davranışlarında Dolgu Duvarların ve Sönümleyici Sistemlerin Etkisi, *Afet ve Risk Dergisi*, **1**(1), 9-25, Ankara, 2018.
- [23] Bayülke N., Betonarme Yapının Dolgu Duvarı, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426, 2003.
- [24] TBDY 2018, Türk Deprem Yönetmeliği, *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri*, Ankara, 2018.
- [25] EERI, Annotated Images From the Bhuj, India Earthquake of January 26, 2001 (CD), Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.
- [26] Thiruvengadam V., On the Natural Frequencies of Infilled Frames, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1985, **13**(3), 401-419.

- [27] Moghaddam H. A., Dowling P. J., The State of the Art in Infilled Frames, *Imperial College of Science and Technology*, ESEE Research Report No. 87-2, 1987.
- [28] Abrams D. P., Proceedings from the NCEER Workshop on Seismic Response of Masonry Infills, *National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York*, Technical Report No. NCEER-94-0004, February 4-5, 1994.
- [29] El-Dakhkhni W. W., Elgaaly M., Hamid A. A., Three-Strut Model for Concrete Masonry-Infilled Steel Frames, *Journal of Structural Engineering*, 2003, **129**(2), 177–185.
- [30] FEMA 356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, CA, USA, 2000.
- [31] Mallick D. V., Severn R. T., The Behaviour of Infilled Frames under Static Loading , *Proceedings of the Institution of Civil Engineering*, 1967, **38**(4), 639- 656.
- [32] König G., The State of the Art in Earthquake Engineering Research, Editors: . Donea J., Jones P.M., *Experimental and Numerical Methods in Earthquake Engineering*, 2nd ed., Hardcover, Ispira, Italy, 1-22, 1991.
- [33] Paulay T., Priestley M. J. N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. Wiley Interscience, New York, 1992.
- [34] Liauw T.C., Kwan, K.H., *Nonlinear Behaviour of Non-Integral Infilled Frames*, *Computers and Structures*, **18**(3), 1984, 551-560.
- [35] Smith S. B, Carter C., A Method of Analysis For Infilled Frames, *Proceedings of Institution. of Civil Engineers.*, DOI 10.1680/iicep.1969.7290
- [36] Stafford S. B., Behaviour of square Infilled Frames, *Journal of Structural Division*, 1966, **92**(1), 381-403.
- [37] Klinger R.E., Bertero V. V., Infilled Frames in Earthquake-Resistant Construction, University of California, Berkeley, EERC-76/32, 273-507, December, 1976.
- [38] Flanagan, R. D., and Bennett, R. M., Bidirectional behaviour of structural clay tile infilled frames, *Journal of Structural Engineering*, 1999, **125**(3), 236-244.
- [39] Zarnic R., Tomazevic, M., Study of the Behaviour of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames Subjected to Seismic Loading, *Proceedings of Seventh International Brick Masonry Conferance*, Melbourne, Australia, 1985.

- [40] Zarnic R., Tomazevic M., An Experimentally Obtained Method For Evaluation of the Behaviour of Masonry Infilled R/C frames, *Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, Ljubljana, Yugoslavia, 1988.
- [41] Zarnic R., Tomazevic M., The Behaviour of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames Subjected to Cyclic Lateral Loading, *Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco, USA, 1984.
- [42] Chrysostomou C.Z., Effects of Degrading Infill Walls on the Nonlinear Seismic Response of Two-Dimensional Steel Frames, Ph. D. Thesis, Cornell University, Bucharest, 1991, 020396.
- [43] Syrmakizis C.A., Vratsanou V. Y., Influence of infill walls to R.C. frames Response, *Proceedings of the Eighth European Conference on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey, 1986.
- [44] San Bartolome A., *Coleccion del Ingenierio Civil*, Libro No. 4, Colegio de Ingenieros del Peru, 1990, 115p.
- [45] Fiorato A. E., Sozen M. A., Gamble, W.L., An Investigation of the Interaction of Reinforced Frames with Masonry Filler Walls, University of Illinois Urbana, Illinois, November, 1970.
- [46] Leuchars J.M., Scrivener J. C., Masonry Infill Panels to Cyclic in Plane Loading, *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 1976, **9**(2), 122-131.
- [47] Lotfi H. R., Shing P. B., Interface Model Applied to Fracture of Masonry Structures, *Proceedings of the American Society of Civil Engineers Journal of Structural Engineering*, 1994, **120**(1), 63-80.
- [48] Page A. W., Modelling the In-Plane Behaviour of Solid Masonry Under Static Loading, *Proceedings of the International Workshop on Unreinforced Hollow Clay Tile*, 1992, pp. 2-5.
- [49] Haris I., Hortobágyi Zs., Modelling cast-in-situ reinforced concrete frame Stiffened by Masonry Wall Using FEM Software, *Central European Congresson Concrete Engineering Visegrád*, Hungary, Unknown Month, 2007
- [50] Ali S. S., Page, A. W., Finite Element Model for Masonry Subjected to Concentrated Load, *Proceedings of the American Society of Civil Engineers Journal of Structural Engineering*, 1987, **114** (8), 1761-1784.
- [51] Lafuente M., Genatios C., Propuestas Para el Analisis de Muros de Mamposteria Confinada, *Boletin Tecnico del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales Facultad de Ingenieria Universidad Central de Venezuela*, 1994, **32**(2), 43-66.

- [52] Rajasekaran S., Structural Dynamics of Earthquake Engineering: Theory and Application Using MATHEMATICA and MATLAB, 1st ed, Abington Hall, Cambridge, 2009.
- [53] Beyen K., Hasar Tanılama Analizlerinde Frekans-Zaman Çözümlemesi, 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir, Türkiye, 14-16 Ekim, 2015.
- [54] TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2000.
- [55] SAP 2000,. Structural Analysis Program, *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, California, 2005.
- [56] EN 1998, EUROCODE 8: Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, *European Committee for Standardization (CEN)*, Brussels, Belgium, 2005
- [57] ATC 40., Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, Washington DC., USA, 1996.
- [58] Aras F. Betonarme Binalarda Bölme Duvar Etkilerinin Tam Ölçekli Deneylerle Araştırılması, *Teknik Dergi*, Ankara, DOI: 10.18400/tekderg.317218.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Çelebi, O.**, Beyen, K., Betonarme Binaların Depreme Karşı Davranışında Dolgu Duvarların ve Sönümleyici Sistemlerin Etkisi, *Afet ve Risk Dergisi*, Ankara Üniversitesi, Ankara, 05 Mayıs 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Erzurum İli Oltu İlçesi Tutmaç mahallesinde doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Erzurum Tutmaç İlköğretim okulunda tamamladım. Lise öğrenimimi Erzurum Tevfik İleri Anadolu Lisesinde tamamladım. 2011 yılında girdiğim Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldum. 2015-2017 yılları arasında Altuğ Çelik Konstrüksiyonda ve 2017-2018 yılları arasında Emiroğlu İnşaat'ta İnşaat Mühendisi olarak çalıştım. 2016-2018 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimimi tamamladım. Özel sektörde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya devam etmekteyim.

