



**BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
YAPILARIN PERFORMANS ANALİZİ**

Hilal YAYLA

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İlker KAZAZ**

2023

Her hakkı saklıdır.



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPILARIN
PERFORMANS ANALİZİ**

Hilal YAYLA

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İlker KAZAZ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2023

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

21 / 07 / 2023

İmzası

Hilal YAYLA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPILARIN PERFORMANS ANALİZİ

Hilal YAYLA

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlker KAZAZ

Ülkemiz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunur. Geçmişte yaşanmış birçok deprem mevcut betonarme yapı stokunun depremlerde yetersiz olduğunu göstermiştir. Günümüzde ise meydana gelebilecek herhangi bir deprem durumunda performansı yetersiz olan yapılar için güçlendirme veya onarım yoluna gidilmiştir. Güçlendirme yöntemlerinin kullanılması hem yapı performansını artırır hem de yapının yıkılıp yeniden inşa edilmesinden daha az maliyetlidir. Bu tez kapsamında betonarme perdelerle güçlendirilen okul binasının mevcut durumu ve betonarme perdelerle güçlendirilmiş durumunun SAP2000 Programıyla (Structural Analysis Program) modellenmesi yapılmıştır. Mevcut ve güçlendirilmiş yapının modellenmesi üzerinden nonlineer analizler yapılmış, farklı deprem yer hareket düzeylerine göre binanın performansı hakkında çıkarımlar yapılmıştır. Çerçeve (frame) elemanları ile modellenen kolon, perde ve kirişlerin uçlarında doğrusal olmayan davranışı karakterize eden yığılı plastik mafsalların tanımı ve özelliklerinin belirlenmesiyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Ancak, perdelerin kabuk (shell) elemanlar ile modellenmesi durumunda perde davranışının doğru bir şekilde elde edilmesi, malzeme tanımı, sonlu eleman ağ yoğunluğu ve eleman özellikleri gibi değişkenlere bağlı olup bu konuda yeterli çalışma bulunmamaktadır. Tez kapsamında yapılan parametrik çalışma ile, sonlu eleman ağının betonarme perde davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma içerisinde 3 katlı tipik betonarme perdenin yatay yük etkisinde davranışı; sonlu eleman ağ yoğunluğu temel alınarak, farklı beton dayanımları ve eksenel yük oranları için modelleme yapılmıştır. SAP2000 kabuk elemanı ile elde edilen sonuçlar daha önce birçok çalışmada doğrusal olmayan perde davranışını modellemekte güvenilir değerler veren ANSYS yazılımının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar ışığında kabuk (Shell) elemanlarla modellenen betonarme perde elemanları için uygun ağ yoğunluğu belirlenmiştir.

2023, 199 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güçlendirme, ankraj, SAP2000, betonarme perde duvar, performans analizi, TBDY-2018, ACI-318

ABSTRACT

MS. Thesis

BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPILARIN PERFORMANS ANALİZİ

Hilal YAYLA

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İlker KAZAZ

Our country is located on an earthquake prone country in the world. Many earthquakes experienced in the past shown that the existing reinforced concrete building stocks is insufficient in earthquakes. Today in the event of an earthquake that may occur reinforcement or repair has been made for the structures in sufficient performance. The use of reinforcement methods both increases the performance of the building and is less costly than demolishing and rebuilding the structure. Within the scope this dissertation, the existing state of reinforced concrete shear walls and the reinforced concrete shear wall are modeled with the SAP2000 program (Structural Analysis Program). Nonlinear analyzes were made on the modeling of the existing and reinforced structure, and inferences were made about the performance of the building according to different earthquake ground motion levels. There are many studies related to properties and definition of stached plastic hinge that characterize nonlinear behavior at the ends of columns, shear wall and beams modeled with frame elements. However, in case the shear walls are modeled with Shell elements, obtaining the shear wall behavior correctly depends on variables such as material definition, finite element mesh density and element properties, and there aren't enough studies on this subject. With the parametric study carried out within the scope of thesis, the effect of the finite element mesh on the reinforced concrete shear wall was investigated. Behavior of typical 3-storey reinforced concrete shear wall under horizontal load in the study; based on the finite element mesh density, modeling was performed for different concrete strengths and axial load ratios. The results obtained with the SAP2000 shell element have been compared with the results of the ANSYS software, which gives reliable values in modeling the nonlinear concrete reinforced shear wall behavior in many studies. In the light of these results, the appropriate mesh density was determined for the reinforced concrete shear wall elements modeled with Shell elements.

2023, 199 page

Keywords: Strengthening, anchorage, SAP2000, concrete shear wall, performance analysis, TBDY2018, ACI-318

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bütün bilgi, birikim ve tecrübeleriyle her zaman bana yol gösteren, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, her koşulda ulaşabildiğim saygı değer hocam Prof. Dr. İLKER KAZAZ 'a bütün emek ve uğraşlarından dolayı sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Eğitim hayatım boyunca benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman varlıklarını yanımda hissettiğim, bugünlere gelmeme vesile olan, başta canım annem KAMİLE YAYLA ve canım babam MURAT YAYLA olmak üzere tüm aileme en içten sevgilerimi ve sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Hilal YAYLA
Temmuz 2023

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. BETONARME YAPI ELEMANLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ	25
3.1. Betonarme Perde ile Güçlendirme	25
3.1.1. Betonarme perde ile güçlendirmede ilkeler	27
3.1.2. Betonarme perdelerle güçlendirmede kuvvet aktarımı	29
3.2. Betonarme Kolonların Betonarme Sargı ile Güçlendirilmesi	29
3.2.1. Mantolama ile Kolon Güçlendirmesi Üzerine Öneriler	32
4. TBDY 2018'E GÖRE BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN YERİNDE DÖKME BETONARME PERDELER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ	33
4.1. Çerçeve Düzlem İçine Betonarme Perde Eklenmesi	33
4.2. Sürtünme Kesmesi	33
4.3. Perde Uç Bölgelerinde Donatı Koşulları.....	35
4.4. Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği	37
4.5. Kolonlarda Sarılma Bölgesi	39
4.6. Kolonların Eğilme Kapasitesinin Artırılması.....	42
5. ANKRAJLAR	43
5.1. Kimyasal Ankrajlar	43
5.2. Kimyasal Ankrajlarda Yük Aktarımı	43
5.3. Kimyasal Ankraj Davranışını Etkileyen Parametreler	44
5.4. Kimyasal Ankrajlarda Çekme Etkisi Altında Oluşan Göçme Tipleri	45
5.5. Kesme Kuvvetinde Kimyasal Ankraj Göçme Tipleri	47
5.6. TS500'e Göre Ankraj Tasarım Hesabı.....	48
5.7. ACI-318'E Göre Ankraj Tasarım Hesabı	49
5.7.1. Ankrajda çekme kuvveti için tasarım gereksinimleri.....	49

5.7.2. Ankrajda kesme kuvveti yüklemesi için tasarım gereksinimleri	54
6. MEVCUT YAPININ DURUMU	59
6.1. Yapı için Yerde Yapılan İncelemeler ve Hasar Tespiti	60
6.1.1. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi	61
6.1.2. Kesit hasar durumları.....	64
6.1.3. Yapı Performans Seviyeleri	64
6.1.4. Deprem Yer Hareket Düzeyleri	66
6.2. Malzeme Testleri ve Zemin Çalışmaları	67
6.2.1. Beton kalitesinin tespiti	67
6.2.2. Donatı durumu	68
6.2.3. Zemin araştırmaları ve temel durumu.....	69
7. MEVCUT YAPININ MODELLENMESİ	71
7.1. Mevcut Yapı Malzemelerinin Tanımlanması.....	71
7.1.1. Beton için elastisite modülünün hesabı	71
7.1.2. Beton malzemesinin tanımlanması	73
7.1.3. Donatının tanımlanması.....	76
7.2. Mevcut Yapı İçin Taşıyıcı Elemanların Modellenmesi	77
7.2.1. Taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlik çarpanları	78
7.2.2. Çerçeve (çubuk) elemanların mevcut donatılarının tanımlanması.....	79
7.2.3. Katmanlı kabuk elemanın modellenmesi	81
7.2.4. Döşemelerin modellenmesi.....	112
7.3. Yapıdaki Deprem Yüklerinin Tanımlanması Esasları	116
7.4. Mevcut Binaya Rijit Diyafram Atanması	119
7.5. Mevcut Yapıya Plastik Mafsal Tanımlanması	121
7.6. Statik İtme Analizi (Pushover Analizi)	125
7.7. İtme Analiz Sonuçları ve Mevcut Yapının Mod Şekilleri	127
8. YATAY ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMUNUN OLUŞTURULMASI	131
8.1. DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde.....	131
8.1.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	131
8.1.2. Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri	138
8.2. DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde.....	150
8.2.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	150
8.2.2. Depremin modal yer değiştirme talebinin doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak elde edilmesi	152

9.BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ MODELLENMESİ.....	159
9.1. Güçlendirilmiş yapı malzemelerinin tanımlanması	159
9.2. Güçlendirilmiş Yapı İçin Taşıyıcı Elemanların Modellenmesi	161
9.2.1. Güçlendirilmiş Kolon ve Perdelerin Mevcut Proje Donatı Düzenine Göre Modellenmesi	164
9.3. İtme Analiz Sonuçları ve Mevcut Yapının Titreşim Periyotları	169
9.4. Sabit Tek Modlu İtme Yöntemiyle Modal Kapasite Diyagramının Elde Edilmesi	172
9.2.2. Depremin modal yer değiştirme talebinin doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak elde edilmesi (DD1 deprem yer hareket düzeyi için)	174
10. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	179
10.1. Güçlendirilmiş ve Mevcut Yapının Performans Durumlarının Karşılaştırılması	179
10.2.Güçlendirilmiş ve Mevcut Yapı için Betonarme Perdelerde Birim Şekil Değiştirmeler	181
10.3. Güçlendirilmiş ve Mevcut Yapılarda Plastik Mafsallık Durumları	185
11. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	190
KAYNAKLAR.....	194

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\sum A_w$	Her yön için ayrı ayrı perde duvar alan toplamı
$\sum A_{pi}$	Bina katları toplam alanı
f_{ck}	Betonun karakteristik beton basınç dayanımı
$a_1^{(X,k)}$	Birikimli modal sözde ivme alanı
A_{Nc}	Bir ankraj grubunun toplam beton kopma alanı izdüşümü
A_{Nco}	Tek bir ankrajın kopartacağı beton piramidin beton yüzeydeki izdüşüm alanı
A_{pt}	Bina taban alanı
$A_{se,N}$	Çekme kuvvetine maruz kalan ankrajın en kesit alanı
A_w	Perdenin Alanı
A_{wf}	Kesme-sürtünme donatısı kesit alanı
C_{a1}	Ankraj ile serbest yüz arasındaki uzaklık
C_R	Spektral yer değiştirme oranı
$d_1^{(X,k)}$	Birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesi
d_a	Ankraj çapı
f_y	Akma dayanımı
f_{ya}	Ankraj donatısının akma gerilmesi veya akma dayanımı
f_{yd}	Boyuna donatı tasarım akma dayanımı
h_{ef}	Ankrajın gömülme derinliği katsayı
k_c	Çekme kuvvetinde temel beton kopma mukavemeti katsayısı
l_p	Plastik mafsalların boyu
P	Düşey Yük
R_y	Akma dayanımı azaltma katsayısı
S_1	1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri
$S_{de}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri
S_{DS} / S_{D1}	Tasarım spektral ivme katsayıları
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T_L	Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu

V_r	Tasarım kesme kuvveti
λ	Aynı basınç kuvvetinin normal ağırlıklı betona göre hafif betonun azaltılmış mekanik özelliklerini yansıtmak için kullanılan değişiklik faktörü
λ_a	Değişiklik faktörü
α_f	Kesme sürtünme donatısının kesme düzlemiyle yaptığı açı
μ	Kesme-sürtünme katsayısı
ϕ	Betondaki ankrajlar için mukavemet azaltma faktörü
$\psi_{c,v}$	Donatının ankraj yapıldığı beton ortamının çatlak durumuna bağlı katsayı
$\psi_{ec,N}$	Eksantrik gerilimde yüklenen ankraj grupları için değişiklik faktörü
$\Gamma_1^{(X,1)}$	Modal katkı çarpanı
$\Phi_{Nx1}^{(1)}$	Yapının birinci moddaki periyot değeri
ℓ_e	Kesme kuvveti için ankrajın yük taşıma uzunluğu

Kısaltmalar

Açıklama

ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI-318	Building Code Requirements for Structural Concrete
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD-1	Deprem Yer Hareket Düzeyi
GÖ	Göçmenin Önlenmesi
KH	Kontrollü Hasar
KK	Kesintisiz Kullanım
RTYTEİE	Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar
SH	Sınırlı Hasar
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS498	Türk Standartı 498
TS500	Türk Standartı 500

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye deprem tehlike haritası.	1
Şekil 2.1. Betonarme perde ilavesi için donatı ekimi.	6
Şekil 2.2. Yapı dışına eklenen betonarme perdenin plandaki konumu.....	7
Şekil 2.3. İ.Ü.Mühendislik Fakültesi binası dış perde ile güçlendirme uygulaması.....	7
Şekil 2.4. (a) Mevcut durumunun hesap modeli (b) Güçlendirme alternatifi 1'e ait hesap modeli (c) Güçlendirme alternatifi 2'ye ait hesap modeli.	8
Şekil 2.5. Farklı alternatiflerde yapılan güçlendirme önerileri.	9
Şekil 2.6. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş çerçeveler.	12
Şekil 2.7. (a) Birinci güçlendirme önerisi (b) İkinci güçlendirme önerisi (c) Üçüncü güçlendirme önerisi için kalıp planı.....	13
Şekil 2.8. Güçlendirilmiş numunelerin boyut ve donatı detayları.	17
Şekil 3.1. Betonarme perde ilavesiyle ile güçlendirme.....	26
Şekil 3.2. Betonarme perde ilavesi ve kolon mantolama.....	26
Şekil 3.3. Betonarme perde ilavesi ve kolon mantolamada mevcut elemanlarla birleşim detayı.	26
Şekil 3.4. Betonarme kolonlarda mantolamada donatı detayları.	30
Şekil 3.5. Betonarme kolonlarda mantolama.	30
Şekil 3.6. Mevcut donatı ile ilave edilen donatının birleşim detayı.....	31
Şekil 3.7. Betonarme kolon mantolama uygulaması.	31
Şekil 4.1. Perde uç bölgesinde donatı koşulları.	36
Şekil 4.2. Etriyeli kolonlarda sarılma bölgeleri	41
Şekil 5.1. Kimyasal ankraj bileşenleri.	43
Şekil 5.2. Ankraj derinliği boyunca oluşan gerilmeler.	43
Şekil 5.3. Ankraj donatısının kopması.	45
Şekil 5.4. Ankraj donatısının sıyırılması.....	46
Şekil 5.5. Betonun konik kopması	46
Şekil 5.6. Betonun konik kopması ile donatının sıyırılmasının birlikte olması.....	47
Şekil 5.7. Betonun yarılmaları.....	47
Şekil 5.8. (a)Ara bölgede beton kırılması (b)Kenarda beton kırılması (c)Çelik donatı hasarı	48
Şekil 5.9. A_{NCO} 'ın hesaplanması, grup ankrajlar için A_{NC} ' nin hesaplanması.	51

Şekil 5.10. Ankraj grupları için e'_N 'nin tanımlanması.....	52
Şekil 5.11. A_{VCO} 'ın hesaplanması.....	55
Şekil 5.12. Tek ve grup ankrajlar için A_{Vc} 'nin hesaplanması.....	56
Şekil 5.13. (a) Bir kenara paralel kesme kuvveti (b) Köşeye yakın kesme kuvveti	56
Şekil 6.1. Mevcut okul binası.	59
Şekil 6.2. Kesit hasar seviyeleri.....	64
Şekil 6.3. Bina performans düzeyleri.....	65
Şekil 6.4. Bolu ilinin Türkiye deprem tehlike haritası üzerindeki konumu.....	70
Şekil 7.1. Mevcut yapı kalıp planı (39 m x 18 m).	71
Şekil 7.2. Betonun elastisite modülünün tanımlanması.....	73
Şekil 7.3. Betonun tanımlanması.	73
Şekil 7.4. Kolon ve kirişler için sargılı beton modeli tanımlanması.....	74
Şekil 7.5. Beton modeli için veri kaydı.....	74
Şekil 7.6. Kolon ve kiriş kesitleri için sargılı beton modelinin gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	75
Şekil 7.7. Perdeler için sargısız beton tanımlanması.	75
Şekil 7.8. Perdeler için tanımlanan sargısız beton gerilme-şekil değiştirme eğrisi.	76
Şekil 7.9. Donatının tanımlanması.....	76
Şekil 7.10. S220 donatısı için karakteristik özelliklerin tanımlanması.....	77
Şekil 7.11. S220 donatısı için gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	77
Şekil 7.12. (a) Kabuk elemanlarda düzlem dışı rijitliklerin gösterimi (b) Kabuk elemanlarda düzlem içi rijitliklerin gösterimi.	79
Şekil 7.13. (a) Kirişlerin etkin kesit rijitlik katsayıları (b) Kolonların etkin kesit rijitlik katsayıları (c) Perdelerin etkin kesit rijitlik katsayıları.	79
Şekil 7.14. Kiriş donatı oranları.....	80
Şekil 7.15. (a) 30x50 ebatındaki kolon donatı oranları (b) 50x30 ebatındaki kolon donatı oranları	80
Şekil 7.16. Kabuk elemanı lokal koordinat sistemi ve malzeme açısı tanımı.....	82
Şekil 7.17. (a) Referans yüzeyini, katmanların adlarını ve “C” katmanının uzaklığını ve kalınlığını gösteren dört katmanlı kabuk, (b) düşey eleman için lokal ve global koordinatlar	82
Şekil 7.18. Mevcut yapıda perde için nonlinear layer shell'de beton ve donatının tanımlanması	83

Şekil 7.19. Perde için nonlinear layer shell'de beton ve donatı için tanımlanması gereken özellikler.....	83
Şekil 7.20. Mevcut Perde Gövde Boyuna Donatı Yerleşimi.	85
Şekil 7.21. Mevcut perde uç bölgesi donatıları (30 cm kalınlığındaki uç bölgesi için).	85
Şekil 7.22. Nonlinear layer shell'de mevcut perde uç bölgesi tanımlanması (30 cm kalınlığındaki uç bölge için).....	86
Şekil 7.23. Mevcut perde uç bölgesi donatıları (20 cm kalınlığındaki uç bölgesi için).	86
Şekil 7.24. Nonlinear layer shell'de mevcut perde uç bölgesi tanımlanması (20 cm kalınlığındaki uç bölge için).....	87
Şekil 7.25. (a) Model ve Yükleme; Her katta (b) 1x1, (c) 2x2, (d) 3x5, (e) 6x10 ve (f) 9x15 (Düşey X Yatay) bölümlü sonlu eleman ağırları.....	89
Şekil 7.26. (a) G (düşey yük) (b) F (yatay yük) tanımlanması.	92
Şekil 7.27. Perde için nonlinear layer shell'de c12/15 beton ve s220 donatının tanımlanması.	93
Şekil 7.28. Bölümsüz perdede $p/p_o=0,05$ ve c12/15 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.....	94
Şekil 7.29. 2x2 Bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.....	95
Şekil 7.30. 3x5 bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.....	96
Şekil 7.31. 6x10 Bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.....	97
Şekil 7.32. 9x15 Bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.....	98
Şekil 7.33. Tüm perdelerde $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için itme eğrileri.....	98
Şekil 7.34. Tüm perdelerde $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için SAP2000 ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri.	99
Şekil 7.35. (a) $P/P_o=0,05$ (b) $P/P_o=0,1$ (c) $P/P_o=0,2$ eksenel yük oranlarında kabuk (shell) elemanlarında birim şekil değiştirmeler.....	100
Şekil 7.36. 3x5 bölümlü perde modeli için farklı P/P_o oranları için itme eğrileri.....	101
Şekil 7.37. 3x5 bölümlü perde modeli için farklı P/P_o oranları için SAP2000 ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri.....	101
Şekil 7.38. Perde için nonlinear layer shell'de C30/37 beton ve S420 donatının tanımlanması.	104

Şekil 7.39. Bölümsüz perdede $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için (a) Birim şekil değiştirme (b) itme eğrisi.....	105
Şekil 7.40. 2x2 Bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için (a) Birim şekil değiştirme (b) itme eğrisi.....	106
Şekil 7.41. 3x5 Bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için (a) Birim şekil değiştirme (b) itme eğrisi.....	106
Şekil 7.42. 6x10 Bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için (a) Birim şekil değiştirme (b) itme eğrisi.....	107
Şekil 7.43. 9x15 Bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için (a) Birim şekil değiştirme (b) itme eğrisi.....	108
Şekil 7.44. Tüm perdelerde $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için itme eğrileri.....	109
Şekil 7.45. Tüm perdelerde $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için SAP2000 ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri	109
Şekil 7.46. (a) $P/P_o=0,05$ (b) $P/P_o=0,1$ (c) $P/P_o=0,2$ eksenel yük oranlarında shell elemanlarında birim şekil değiştirmeler.....	110
Şekil 7.47. 3x5 bölümlü perde modeli için farklı P/P_o oranları için itme eğrileri.....	111
Şekil 7.48. 3x5 bölümlü perde modeli için farklı P/P_o oranları için SAP2000 ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri.....	111
Şekil 7.49. Döşeme yüklerinin Tanımlanması.....	112
Şekil 7.50. G (sabit yük) tanımlanması.....	113
Şekil 7.51. Q (hareketli yük) tanımlanması	113
Şekil 7.52. Perde uçlarına tanımlanan eleman ve modellenmesi.....	114
Şekil 7.53. Perdeler ve uç bölgelerin modellenmesi.....	115
Şekil 7.54. Mevcut yapıdaki tüm perde elemanları.	115
Şekil 7.55. Kirişlere duvar yükünün tanımlanması.....	116
Şekil 7.56. DD1 deprem yer hareketi düzeyi için Ex deprem yüklerinin tanımlanması	117
Şekil 7.57. DD1 deprem yer hareketi düzeyi için Ey deprem yüklerinin tanımlanması.	117
Şekil 7.58. DD2 deprem yer hareketi düzeyi için Ex deprem yüklerinin tanımlanması.	118
Şekil 7.59. DD2 deprem yer hareketi düzeyi için Ey deprem yüklerinin tanımlanması.	118
Şekil 7.60. Kombinasyon yükleri.....	118

Şekil 7.61. Deprem katılım yükünün tanımlanması.....	119
Şekil 7.62. Her kata rijit diyafram tanımlanması.....	120
Şekil 7.63. Mevcut yapı 3 boyutlu model.....	121
Şekil 7.64. Plastik mafsallık özelliklerinin tanımlandığı parametreler.....	123
Şekil 7.65. Kirişlere plastik mafsalların tanımlanması	124
Şekil 7.66. Kolonlara plastik mafsalların tanımlanması.....	124
Şekil 7.67. Hesap doğrultuları.....	125
Şekil 7.68. İtme-x kuvvetinin tanımlanması	126
Şekil 7.69. İtme-x yönü için U1 tanımlanması.....	126
Şekil 7.70. İtme-y kuvvetinin tanımlanması	126
Şekil 7.71. İtme-y yönü için U2 tanımlanması	127
Şekil 7.72. Mevcut yapı burulma mod şekli	128
Şekil 7.73. Mevcut yapı X periyodunda mod şekli.....	128
Şekil 7.74. Mevcut yapı Y periyodunda mod şekli.....	128
Şekil 7.75. Mevcut yapı için X ve Y yönünde itme eğrileri.....	129
Şekil 8.1. Mevcut yapının DD-2 deprem yer hareketine göre harita spektral ivme ve spektral ivme katsayıları.....	131
Şekil 8.2. TBDY 2018'e göre yatay elastik tasarım spektrumu eğrisi.....	134
Şekil 8.3. Mevcut yapı için oluşturulmuş yatay elastik tasarım spektrumu eğrisi.....	136
Şekil 8.4. TBDY 2018'e göre yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi.....	137
Şekil 8.5. Mevcut yapı için oluşturulmuş yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi.....	138
Şekil 8.6. TBDY 2018'e göre sabit tek modlu itme yöntemiyle modal kapasite diyagramı	139
Şekil 8.7. (a) İtme-x eğrisi (b) Modal kapasite diyagramı.....	143
Şekil 8.8. (a) İtme-y eğrisi (b) Modal kapasite diyagram.....	143
Şekil 8.9. (a) İtme-x eğrisi için modal kapasite eğrisinin iki doğrulu diyagramı (b) İtme-y eğrisi için modal kapasite eğrisinin iki doğrulu diyagramı.....	145
Şekil 8.10. $T_1 \geq T_B$ durumu için elastik spektrum eğrisi ile kapasite eğrisinin kesiştirilmesi (durum 1).....	147
Şekil 8.11. Modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu grafikleri (durum 2).....	147
Şekil 8.12. $T_1 \leq T_B$ durumu için elastik spektrum eğrisi ile kapasite eğrisinin kesiştirilmesi (durum 3).....	147

Şekil 8.13. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için itme-x eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.	148
Şekil 8.14. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için itme-y eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.	149
Şekil 8.15. Mevcut yapının DD-1 deprem yer hareketine göre harita spektral ivme ve spektral ivme katsayıları.....	150
Şekil 8.16. DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre mevcut yapı için oluşturulmuş yatay elastik tasarım spektrumu eğrisi.	151
Şekil 8.17. DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre mevcut yapı için oluşturulmuş yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi	152
Şekil 8.18. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için itme-x eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.	154
Şekil 8.19. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için itme-y eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.	155
Şekil 8.20. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde itme-x eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.	156
Şekil 8.21. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde itme-y eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.	157
Şekil 9.1. Güçlendirilmiş yapı kalıp planı	159
Şekil 9.2. C30/37 beton için gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	160
Şekil 9.3. S420 donatısı için karakteristik özelliklerin tanımlanması.....	160
Şekil 9.4. S420 Donatısı için gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	161
Şekil 9.5. Her katta döşemeyle perdenin birleşim noktalarına tanımlanan eleman.....	162
Şekil 9.6. Güçlendirilmiş perde ve uç bölgelerinin modellenmesi.	162
Şekil 9.7. Mevcut yapıya ilave edilen betonarme perdeler ve mantolanmış kolonlar. .	163
Şekil 9.8. Güçlendirilmiş bina 3 boyutlu model.	163
Şekil 9.9. İlave edilen betonarme perdeler için donatı detayı.....	164
Şekil 9.10. Mantolanmış 80*60 kolonları için donatı detayı.....	165
Şekil 9.11. Mantolanmış 45*80 kolonları için donatı detayı.....	165
Şekil 9.12. İlave edilen betonarme perde gövde donatısı tanımlanması.....	166
Şekil 9.13. Perde uç bölgesindeki mantolanmış kolon için donatı tanımlanması (60 cm kalınlığındaki uç bölge için).....	167

Şekil 9.14. Perde uç bölgesindeki mantolanmış kolon için donatı tanımlanması (80 cm kalınlığındaki uç bölge için).....	168
Şekil 9.15. Perde uç bölgesindeki mantolanmış kolon için donatı tanımlanması (45 cm kalınlığındaki uç bölge için).....	169
Şekil 9.16. Güçlendirilmiş yapı burulma mod şekli.	170
Şekil 9.17. Güçlendirilmiş yapı x periyodunda mod şekli.....	170
Şekil 9.18. Güçlendirilmiş yapı y periyodunda mod şekli.....	170
Şekil 9.19. Güçlendirilmiş yapı itme eğrileri.....	171
Şekil 9.20. Güçlendirilmiş yapı için (a) itme-x eğrisi (b) modal kapasite diyagramı...	174
Şekil 9.21. Güçlendirilmiş yapı için (a) itme-y eğrisi (b) modal kapasite diyagramı...	174
Şekil 9.22. Güçlendirilmiş yapı için; (a) itme-x eğrisi için modal kapasite eğrisinin iki doğrulu diyagramı (b) itme- y eğrisi için modal kapasite eğrisinin iki doğrulu diyagramı.....	175
Şekil 9.23. Güçlendirilmiş yapıda DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde itme-x eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu	177
Şekil 9.24. Güçlendirilmiş yapıda DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde itme-y eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu	178
Şekil 10.1. Güçlendirilmiş ve mevcut yapının x yönünde modal kapasite diyagramları	179
Şekil 10.2. Güçlendirilmiş ve mevcut yapının y yönünde modal kapasite diyagramları.	180
Şekil 10.3. Mevcut yapıdaki betonarme perdelerde x yönündeki birim şekil değiştirme.	181
Şekil 10.4. Mevcut yapıdaki y yönündeki betonarme perdelerde birim şekil değiştirme.	182
Şekil 10.5. Güçlendirilmiş yapıdaki 1. aksda x yönündeki betonarme perdelerde birim şekil değiştirme	183
Şekil 10.6. Güçlendirilmiş yapıdaki 2. aksda x yönündeki betonarme perdelerde birim şekil değiştirme	183
Şekil 10.7. Güçlendirilmiş yapıdaki y yönündeki betonarme perdelerde birim şekil değiştirme	184
Şekil 10.8. Mevcut yapıdaki betonarme perdelerde x yönündeki plastik mafsalların oluşumu.	185

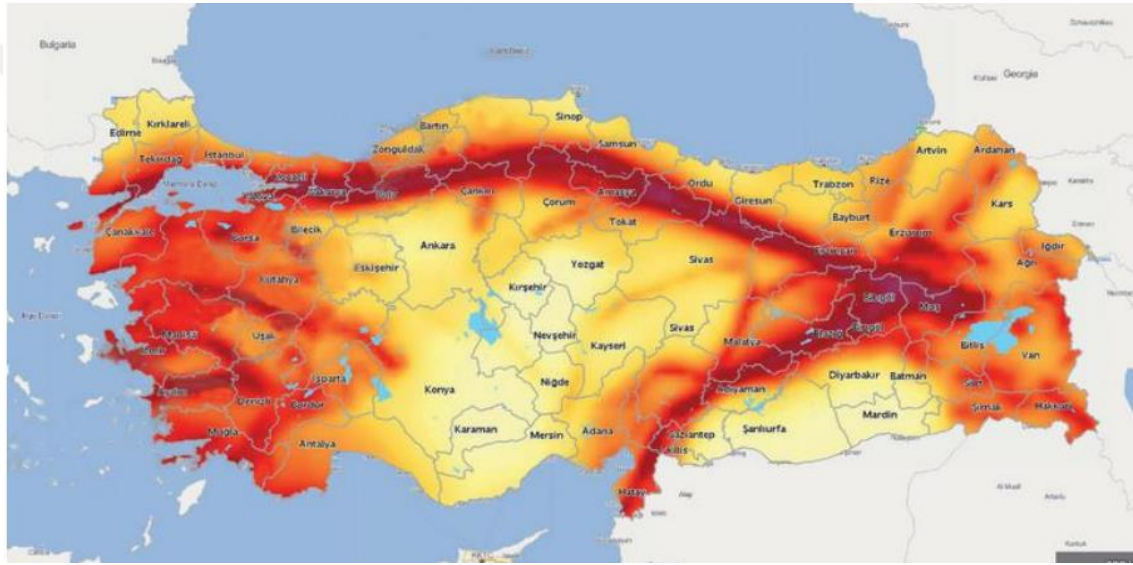
Şekil 10.9. Mevcut yapıdaki betonarme perdelerde y yönündeki plastik mafsalların oluşumu.	185
Şekil 10.10. Güçlendirilmiş yapıdaki betonarme perdelerde x plastik mafsalların oluşumu.	185
Şekil 10.11. Güçlendirilmiş yapıdaki betonarme perdelerde y plastik mafsalların oluşumu.	186
Şekil 10.12. Mevcut yapıdaki x yönündeki betonarme perdelerde yük-deplasman ilişkisi	187
Şekil 10.12. Mevcut yapıdaki y yönündeki betonarme perdelerde yük-deplasman ilişkisi	187
Şekil 10.14. Güçlendirilmiş yapıdaki x yönündeki betonarme perdelerde yük-deplasman ilişkisi.	188
Şekil 10.14. Güçlendirilmiş yapıdaki y yönündeki betonarme perdelerde yük-deplasman ilişkisi.	189

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Değişik durumlar için kesme-sürtünme katsayısı.....	34
Çizelge 6.1. Bina önem katsayıları.	60
Çizelge 6.2. Binalar için bilgi düzeyi katsayısı.....	61
Çizelge 6.3. Deprem tasarım sınıfları (DTS).	63
Çizelge 6.4. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları.....	63
Çizelge 6.5. Deprem yer hareketi düzeyleri.....	66
Çizelge 6.6. Mevcut elemanların karot değerlendirmesi	68
Çizelge 7.1. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları.	78
Çizelge 7.2. Hareketli yük (Q) hesap değeri.....	114
Çizelge 7.3. TBDY 2018'e göre hareketli yük kütle katılım katsayısı.....	119
Çizelge 7.4. Mevcut yapı için titreşim periyodu değerleri.....	129
Çizelge 8.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları.....	132
Çizelge 8.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları.	132
Çizelge 8.3. Yerel zemin sınıfları.	133
Çizelge 8.4. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu değerleri.....	134
Çizelge 8.5. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım spektrumu için elde edilen veriler	135
Çizelge 8.6. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi için veriler.....	137
Çizelge 8.7. İtme-x eğrisi ve modal kapasite diyagramı veriler.	141
Çizelge 8.8. İtme-y eğrisi ve modal kapasite diyagramı veriler.	142
Çizelge 8.9. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu değerleri.....	151
Çizelge 9.1. Güçlendirilmiş yapı için titreşim periyodu değerleri.....	171
Çizelge 9.2. Güçlendirilmiş yapı itme-x eğrisi ve modal kapasite diyagramı verileri.	172
Çizelge 9.3. Güçlendirilmiş yapı itme-y eğrisi ve modal kapasite diyagramı verileri.	173

1. GİRİŞ

Yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır (Şekil 1.1). Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız akıldan çıkarılmamalıdır. Deprem Bölgeleri Haritasına göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir (Anonim 2020).



Şekil 1.1. Türkiye deprem tehlike haritası (Anonim 2020)

Ülkemizin böylesi bir deprem tehlikesi altında bulunduğu durumda, betonarme yapı stoklarının bu deprem tehlikesine karşı yeterli performansı gösteremediği geçmişte yaşanan birçok depremle birlikte görülmüştür. Günümüzdeki mevcut yapı stoklarının da gelecekte yaşanan herhangi bir depreme karşı yeterli performansı gösteremeyeceği bilinmektedir. Günümüzde bulunan yapıların birçoğunun yetersiz beton dayanımı, yetersiz donatı kalitesi, etriyelerin kancasız imalatları, kalitesiz işçilik gibi birçok yanlış uygulamadan dolayı yaşanacak bir depremle yıkılması kaçınılmazdır.

Yapıların artık günümüz şartlarında yıkılıp yapılmasından ziyade, betonarme taşıyıcı sistemde gerekli güçlendirme işlemleriyle birlikte istenilen performans düzeylerine ulaştırılabilir (Sargın 2020).

Betonarme yapıların güçlendirilmesi, kamu yapılarının yeniden inşa edilmesinden daha az maliyetli olmasının yanı sıra; çevreye de olumlu etkileri bulunmaktadır. Binaların yıkımları esnasında ortaya çıkacak moloz yığınlarının büyük şehirlerde depolanması oldukça zordur. Yıkım esnasında ortaya çıkacak inşaat atıklarının depolandığı alanlarda çevreyi etkileyen birçok olumsuz durum meydana gelmektedir. Yıkımlar sonucu ortaya çıkan inşaat atıklarının bir kısmı geri dönüştürülebilir olsa bile bu oran çok azdır. Bu sebeple hem çevreye olan olumsuz etkilerinden hem maliyetlerinden dolayı büyük şehirlerde bulunan yapı stoklarının birçoğu güçlendirilmeyle gerekli performansı sağlaması durumunda, yapının yıkımı tercih edilmemektedir.

Mevcut yapıların deprem güvenliğinin artırılmasında; taşıyıcı elemanların kesitlerinin büyütülmesi ve taşıyıcı sisteme betonarme perdelerin eklenmesi ile yapılan güçlendirmelerde; yapı boyunca sürekliliğinin sağlanması, bu elemanların mevcut elemanlarla birlikte çalışmasına ve aldıkları yükleri güvenle temel yapılarına aktarmasına bağlıdır. Yükler etkisi altında; güçlendirme elemanlarının mevcut elemanlarla birlikte çalışması, eski ve yeni elemanların ara yüzünde oluşacak kuvvetleri karşılayan mekanizmalarla sağlanmaktadır. Betonarme mantolar ve yapıya ilave edilen betonarme perde elemanlar; temel elemanları ile olan birleşimlerinde oluşan çekme kuvvetlerinin karşılanması ile süreklilik kazanırlar. Bu çekme kuvvetleri mevcut elemanlara yeni donatıların ekilmesi ile yapılan donatı ankrajları ile karşılanmaktadır. Güçlendirilmiş yapılarda taşıyıcı sistemin sürekliliğinin sağlanmasına ilişkin bu önemli detayın başarısı; oluşturulan ankrajların davranışının bütün yönleriyle iyi anlaşılmasına, davranış ve malzeme karakteristiklerine ve kullanılan ankraj tasarımına bağlı olacaktır (Kaya 2007). SAP2000 yazılımı mevcut binaların doğrusal olmayan performans değerlendirmesinde sıklıkla kullanılır. Çerçeve (frame) elemanları ile modellenen kolon, perde ve kirişlerin uçlarında doğrusal olmayan davranışı karakterize eden yığılı plastik mafsalların tanımı ve özelliklerinin belirlenmesiyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Ancak, perdelerin kabuk (shell) elemanlar ile modellenmesi durumunda perde davranışının doğru bir şekilde elde edilmesi, malzeme tanımı, sonlu eleman ağ yoğunluğu ve eleman özellikleri gibi değişkenlere bağlı olup bu konuda yeterli çalışma bulunmamaktadır.

Bu tez kapsamında betonarme perdelerle güçlendirilmiş bir okul binasının modellenmesi yapılmıştır. Modellemede betonarme yapıya ilave edilen betonarme

perdeler ve mantolanan betonarme kolonlar kabuk (Shell) elemanlarla modellenmiştir. Modellemede farklı deprem yer hareketi düzeyleri (DD1 ve DD2) için analizler yapılmış ve bu deprem yer hareketi düzeylerine göre yapının deprem talebini karşılayıp karşılamadığı incelenmiş, yapının güçlendirme sonrasında performansındaki değişim irdelenmiştir.

Tez kapsamı içerisinde mevcut ve güçlendirilmiş yapıda, kabuk (Shell) elemanlarla modellenen perdelerin sonlu eleman ağ yoğunluğundaki değişime göre analiz sonuçlarının değişimini incelemek için parametrik bir çalışma yapılmıştır.

Tasarım amaçlı birçok yazılımda dikkate alınan kabuk elemanı, her düğümde altı serbestlik derecesine ve düzlem içi dönme serbestlik derecesine sahiptir, bu da onu üç boyutlu çerçeve tipi sonlu elemanlarla uyumlu hale getirir. Kabuk elemanları kullanmanın avantajı, üç boyutlu model içerisinde çok uzun, etkileşimli ve karmaşık perde duvarlarının modellenebilmesidir. Dörtgen elemanların yer değiştirme alanını tanımlamak için ikinci derece şekil fonksiyonlarını kullanılır. Bu nedenle, perde duvar modellemesinde gerçekçi davranış elde etmek için bir ağ ayırıklaştırması gerekir. SAP2000 yazılımında kabuk elemanların doğrusal olmayan malzemesi, yönlü malzeme modeli ile katmanlı kabuk (layered shell) eleman kullanılarak modellenabilir (SAP2000). Yapılan parametrik çalışmada, malzemenin çevrimsel davranışının düzgün bir şekilde simüle edilebilmesi için, perde elemanlarının içindeki beton ve donatı, perde kalınlığı yönünde sırasıyla farklı katmanlarda modellenmiştir.

Tez içerisinde yapılan parametrik çalışmada, SAP2000 yazılımında mevcut kabuk elemanının doğrusal olmayan perde davranışını modellemek için kullanılması durumunda dikkat edilmesi gereken hususlar araştırılmıştır. Parametrik çalışmayla sonlu eleman ağının perde davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. SAP2000 kabuk elemanı ile elde edilen sonuçlar daha önce birçok çalışmada doğrusal olmayan perde davranışını modellemekte güvenilir değerler veren ANSYS yazılımının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma kapsamı içerisinde 3 katlı tipik betonarme perdenin yatay yük etkisinde davranışı sonlu eleman ağ yoğunluğu temel alınarak, farklı beton dayanımları ve eksenel yük oranları için SAP2000 ve ANSYS yazılımlarıyla

1. GİRİŞ

hesaplanmıştır. Her iki analiz sonuçları doğrultusunda yapının sonlu eleman ağ yoğunluğu belirlenip modellemeler bu doğrultuda yapılmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Batmacı (2011) tez kapsamında depremde hasar gören bir yapının güçlendirme ve onarımı yapılmıştır. Tez kapsamındaki analizlerde 6.53 versiyonu İdecad kullanılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle kesme kuvvetini sağlamayan yapıdaki kolonlar analiz edilmiş ve mantolanmıştır. Yapı, kolon mantolanmasının sonucunda yeterli performans seviyesine ulaşmıştır. Yapılan analizler, perdelerin çoğunun kesme güvenliğini sağlamadığını göstermiştir. Yapının dayanımını artırmak amacıyla betonarme perdeler eklenmiştir. Eklenen betonarme perdelerin sayısı ve konumu değiştirilerek yapı üzerinde analizler yapılmış ve yeterli performans seviyesine ulaşması sağlanmıştır. Tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda, depreme karşı en etkili güçlendirme elemanının perde olduğu sonucuna varılmıştır.

Şirin (2006) yaptıkları çalışma kapsamında, hasar gören yapıların onarım ve güçlendirilme süreçleri üzerinde durulmuştur. STA-4 CAD V12 programı kullanılarak yapıdaki hasar durumu tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, yapı kesme mukavemeti güçlendirilmiş durumda yaklaşık olarak 2,5-3 kat artmıştır. Eklenen perdeler ve mantolanan kolonlardaki birleşimlerin dikkatlice gerçekleştirilmesi gerekmekte olup, yapıda düşey doğrultuda ani rijitlik ve mukavemet değişikliklerinin meydana gelmemesi için önlem alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Beyli (2002) tez çalışması kapsamında, TBDY2018 kriterlerine göre tasarlanmış 10 katlı bir binanın deprem güvenliğini incelemeyi amaçlamıştır. Deprem yönetmeliğine uygun olmayan taşıyıcı sistemine sahip binaya betonarme perdeler eklenerek güçlendirme yapılmıştır. İlave edilen perdelerin yüksekliklerine bağlı olarak periyotların, kolon kesit etkilerinin ve perde tabanında oluşan kuvvetlerin değişimleri incelenmiştir. Perdeler, kolonların dört kenarından uç bölgelerine doğru 15 cm genişletilerek eklenmiştir. Betonarme yapının modellenmesi SAP2000 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eklenen perdeler, 20 cm kalınlığında kabuk elemanları ile temsil edilmiştir. Araştırmada, perdelerin bina yüksekliğinde sürekli olmayan bir yapıya sahip olması senaryosu da göz önünde bulundurularak farklı perde yüksekliklerinde analizler yapılmıştır. Yapılan çalışmada, perdelerin yüksekliğinin artmasıyla periyotların azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle sekizinci kattan sonra eklenen perdenin periyodu artırdığı

gözlenmiştir. Yapının güçlendirilmesi için ilave edilen perdelerin, mevcut kiriş ve kolonların kesit etkilerinde gözle görünür düşüslere neden olduğu görülmüştür. İlave perdelerin yüksekliği arttıkça moment karşılama oranlarının arttığı gözlenmiştir. Betonarme perdelerin katlar arasında devam etmemesi durumunda, perde üzerinde kalan kolonlara daha fazla moment etkisi olduğu gözlenmiştir. Perdelerin katlar arasında devam etmemesinin, yapı rijitliğini olumsuz etkileyebileceği belirtilmiştir.

Kavşut (2012) tez çalışması kapsamında kolonların betonarme mantolamayla ve yapıya betonarme perde eklenmesiyle güçlendirilmesi konuları üzerinde durulmuştur. Yapının analizinde doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kullanılmıştır.



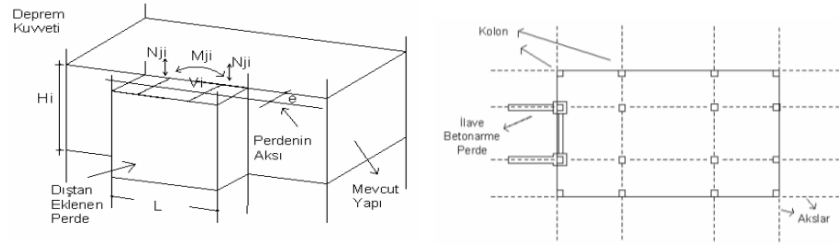
Şekil 2.1. Betonarme perde ilavesi için donatı ekimi (Kavşut 2012)

Kavşut (2012)'un çalışmasında yeterli kapasiteye sahip olmayan kolonlarda betonarme mantolama uygulanmıştır. Ancak kesitleri yetersiz olan taşıyıcı sistem elemanlarının mantolanarak güçlendirilmesinin yapı için yeterli olmadığı dile getirilmiştir. Asıl olanın yapının şiddetli depremde yeterli dayanıma ulaşmasını sağlamak olduğu belirtilmiştir. Bunun için x ve y yönünde deprem kuvvetlerinin %70'ini alabilecek yeni perde eklenmesinin en uygun durum olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 2.1). Yapıya eklenen perdelerle ötelenmeler engellenerek mevcut yapı elemanlarının depremden etkilenmemesi sağlanmıştır.

Ören (2010) tez çalışması kapsamında, bir okul binasının dış perdelerle güçlendirilmesi konusuna odaklanmıştır. Bu çalışmada, perde duvarların bağlanacakları

2. KAYNAK ÖZETLERİ

kolon ve kirişler içinde olacak şekilde tasarlanması ve diğer katlarda sürekliliğin sağlanması gerektiği vurgulanmıştır. Bu yaklaşım sayesinde yatay kuvvet iletimi daha etkili hale getirilmiş ve perde donatısının sürekliliği korunmuştur. Yapı üzerine uygulanan perdelerin deprem yükünü artırdığı ve mevcut temelin yetersiz kaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, güçlendirme perdelerinin zayıf temele doğrudan oturmasının riskli olduğu ifade edilmiştir. Temelin altına müdahale edilmemesi gerektiği vurgulanmış ve bu nedenle mantolanan kolonları da içeren dış perde duvar sistemi için en uygun çözümün, dışarıya doğru ilave bir radye temel inşa edilmesi olduğu açıklanmıştır (Şekil 2.2-Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Yapı dışına eklenen betonarme perdenin plandaki konumu (Ören 2010)

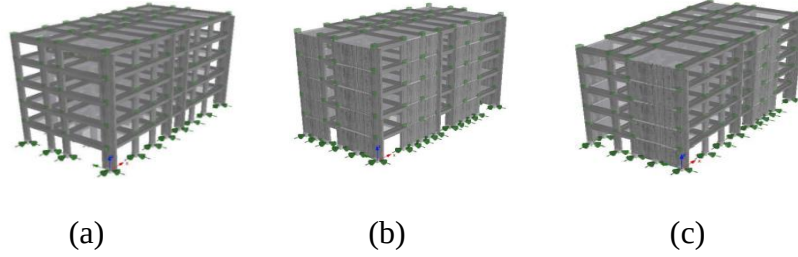


Şekil 2.3. İ.Ü. Mühendislik Fakültesi binası dış perde ile güçlendirme uygulaması (Ören 2010).

Ören (2010) çalışması sonucunda kolon ve kirişler tamamen ilave perdeler içerisinde kaldığı için zemin gerilmeleri epoksi ile çakılan filizlere dahi gerek kalmadan yapıya aktarılabilirdiği gözlenmiştir. Bina temeli ve bina oturma alanı artırıldığı için deprem esnasında zemin gerilmelerinin orijinal hesap değerlerine kıyasla büyük ölçüde azaldığı gözlenmiştir.

Afzali (2018) tez çalışması kapsamında bir okul yapısında, güçlendirmenin göreceli kat ötelemesi ve hasar olasılığı gibi durumlara olan etkisinin belirlenmesi ve

güçlendirmenin doğruluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Analizlerde SEISMOSTRUCT kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında 2 farklı güçlendirme modeli kullanılmıştır (Şekil 2.4). Güçlendirme modellerinde yapıya eklenen perdelerin kesit alanlarının kat alanına oranlarının farklı olduğu belirtilmiştir.



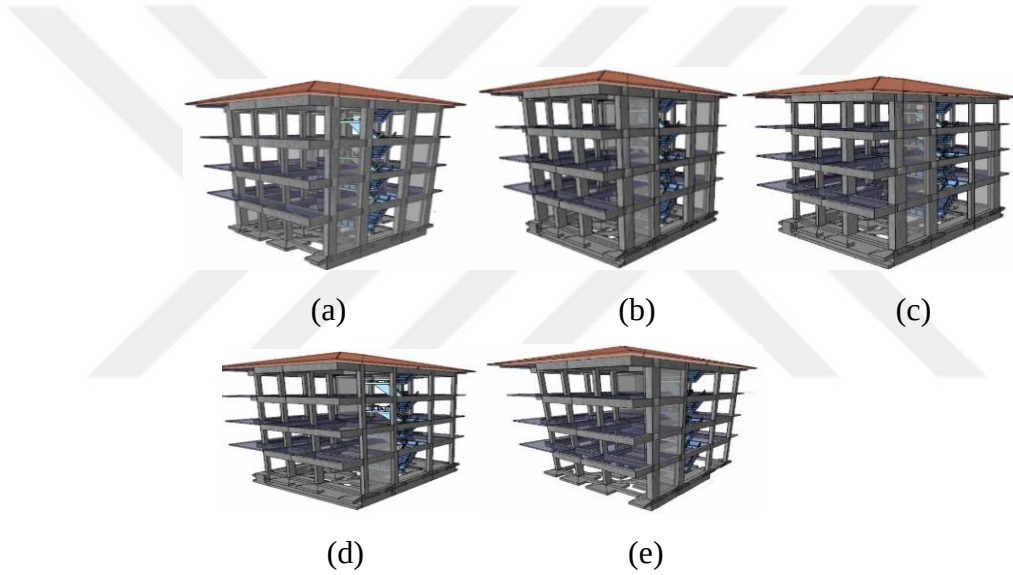
Şekil 2.4. (a) Mevcut durumunun hesap modeli (b) Güçlendirme alternatifi 1'e ait hesap modeli (c) Güçlendirme alternatifi 2'ye ait hesap modeli (Afzali 2018).

Afzali (2018) tez çalışması sonucunda; kat ötelenmeleri güçlendirmeden sonra (alternatif 2 ve alternatif 1) belirgin seviyede düştüğü görülmüştür. 14 deprem kaydının ortalama taban kesme kuvvetleri incelendiğinde, yapının taban kesme kuvvetinin güçlendirmeden sonra önemli oranda arttığı görülmüştür. 14 deprem kaydının ortalama görelî kat ötelemesi incelendiğinde, görelî kat ötelemesi değerleri güçlendirmeden sonra belirgin şekilde düştüğü görülmüştür.

Büyüktuncer (2005) yaptığı çalışması kapsamında bir yapının mevcut taşıyıcı sisteminin analizi SAP 2000 programı ile yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında güçlendirilmiş yapıdaki kolonların normal kuvvete göre karşılaştırmasında tüm kolonların kesitlerinin iyi olduğu görülmüştür. Yapılan incelemeler sonucunda güçlendirilmiş yapı kolonlarının hiçbirinde oluşan kolon kesme kuvvetinin kesme kuvveti kapasitesini aşmadığı gözlenmiştir. Güçlendirilmiş yapıdaki kolonların, moment kapasitelerinin x ve y yönü moment kapasitelerini aşmadığı görülmüştür. Güçlendirme için binaya eklenen perdeler, taşıyıcı sistemin yatay rijitliğini yükselterek, katlar arası deplasmanları azaldıkları belirtilmiştir. Kolon ve kirişlerin kesit tesirlerinde gözle görünür düşüşlere neden olduğu belirtilmiştir.

Soydan (2019) yaptığı çalışması kapsamında 4 katlı bir yapı incelenmiştir. Bu yapı üzerinde 5 değişik güçlendirme durumu incelenmiş ve incelenen durumlar arasında kıyaslama yapılmıştır (Şekil 2.5). Çalışma kapsamında ilk incelemede mevcut bina ilk

durumunun statik hesapları el ile yapılarak projenin 1975 ‘Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’ e uygun olup olmadığı incelenmiştir. İncelemeler sonucunda mevcut statik hesapların yönetmeliğe göre hazırlandığı anlaşılmıştır. Ardından statik uygulama projesine göre mevcut bina ilk durumunun 2007 deprem yönetmeliği şartlarına göre performans analizi yapılmıştır. İkinci gözlemde mevcut güçlendirilmiş yapı durumunun statik hesap modeli oluşturulmuş ve 2007 deprem yönetmeliği kriterlerine göre performans analizi yapılmıştır. Üçüncü gözlemde binanın depremden önceki ilk durumdaki 2007 deprem yönetmeliği şartlarına göre yeni güçlendirme tavsiyeleri hazırlanmış ve 2007 deprem yönetmeliği şartlarına uygun performans analizleri yapılmıştır. Güçlendirme tavsiyeleri kendi içerisinde karşılaştırılarak en iyi sonuç alınan güçlendirme durumu belirlenmiştir.



Şekil 2.5. Farklı alternatiflerde yapılan güçlendirme önerileri (Soydan 2019)

Soydan (2019)’ın tez çalışması kapsamında yapıda düzensizliğin oluşmamasına, katlardaki kesme kuvvetlerinin çoğunluğunun güçlendirme perdeleriyle karşılanmasına, güçlendirilmiş yapı ağırlığının mevcut yapı ağırlığına oranla önemli oranda değişmemesine, amaçlanan performans seviyesinin karşılanmasına ve kullanılacak en asgari seviyedeki yapı elemanlarıyla en iyi performansa ulaşılması için çalışılmıştır. Elde edilen verilere göre istenen koşulları en iyi düzeyde yerine getiren güçlendirme önerisinin Şekil 2.5(e) önerisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Yıldırım (2008) yaptığı çalışma kapsamında 8 katlı mevcut bir betonarme yapının DBYBHY’07’de verilen doğrusal elastik yöntemlerden ‘eşdeğer deprem yükü yöntemi’

kullanılarak performans analizi yapılmıştır. Mevcut yapının performans düzeyinin belirlenmesi amacıyla, yapının 3 boyutlu modeli SAP2000 programında yapılmıştır. Öneri güçlendirme çalışması, Sta4Cad programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda, yapıda x deprem yönünde istenilen performans seviyesinin elde edildiği, y deprem yönünde ise 2. kattan sonra kolon hasarlarının gözleendiği ve DBYBHY'07'de "Can Güvenliğı" performans seviyesinin karşılanmadığı görülmüştür. Bunun sebebinin, yapının 2. katından sonra kolon ebatlarındaki küçülmeler ve perdeli-çerçeve sistemi yapısal özelliğı olduğu belirtilmiştir.

Yıldızlar (2004) tarafından yapılan çalışma kapsamında güçlendirme şekli olarak yapıda bulunan kolonların mantolanması ve yapıya betonarme perde duvar eklenmesi seçilmiştir. Yapının hali hazırdaki durumu incelenirken, zeminin ankastre olması ve döşemelerin sonsuz rijit olması gibi bazı esasların, sonucu hangi seviyede etkileyebileceğinin incelenmesi için farklı modeller yapılmıştır. Yapıya ait temel, bir modelde rijit olarak modellenmiş, bir diğer modeldeyse doğrusal elastik yay elemanları kullanılarak tasarlanmıştır. Yapılan diğer modellerde ise döşemelerin sonsuz rijit olması durumunda yapının davranışının nasıl etkilenebileceğı incelenmiştir. Modelleme yapılırken ankastre temelle yapılmış analizlerde, zemin – yapı etkileşiminin göz önüne alınmadığı görülmüştür. Zeminin sonsuz rijit ve elastik olması durumunda, iki durum arasında büyük farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Depremde, yapıdaki deplasmanların, rijit temele oranla yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir. Güçlendirilmiş yapıda deplasmanlar mevcut yapıya göre her iki doğrultuda yaklaşık %80 seviyesinde azalmıştır. Mantolanan kolonların rijitliğinin arttığı gözlenmiştir.

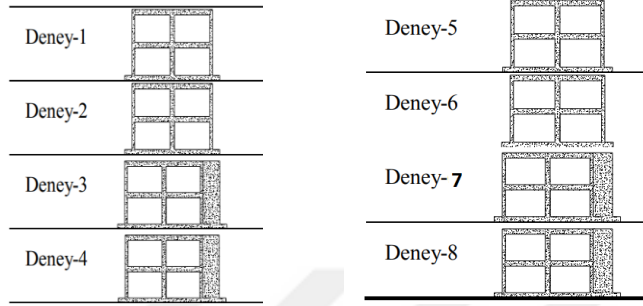
Altın (1990) yaptığı çalışma kapsamında dolgulu çerçevelerin davranışlarını deprem kuvvetleri altında incelenmiştir. Bu amaçla iki kat dolgulu çerçevelerin deprem etkilerini temsil eden tersinen, tekrarlanan yükler altında incelenmiştir. Dolgulu çerçeve numunelerin katlar arası yer değiştirme değerleri, aynı pik yanal yükler altındaki betonarme perdesiz çerçeveninkinden çok daha az olduğu görülmüştür. Dolgu panel takviyesinin, katlar arası yer değiştirmeyi önemli oranda etkilemediğı görülmüştür. Kolonlarda eksenel yüklerin varlığı nedeniyle her iki kat için katlar arası yer değiştirmelerin düştüğü görülmüştür.

Ahıskalı (2021) tarafından yapılan çalışma kapsamında TBDY (2018)'e göre mevcut bir yapının performansı incelenmiş ve yapının deprem performansı farklı yollar kullanılarak arttırılmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında yapının SAP2000 ile modellenmesi yapılmıştır. Mevcut yapı periyodunda, perde eklenerek güçlendirilmesi sonrasında X ve Y yönünde azalma olduğunu; yapının optimum kat yer değiştirmesinin, perde eklenmesi sonrasında X ve Y yönünde azalma olduğunu; yapının maksimum taban kesme kuvvetinin, perde eklenmesi sonrasında X ve Y yönünde artma olduğunu; yapının hedef performans noktasının, perde ilave sonrasında X ve Y yönünde azaldığını, analizler sonucunda gözlemiştir.

Gala et al. (2013, 2014) yaptığı çalışma kapsamında binaların yanal kapasitesi üzerine betonarme perdelerin etkisi incelenmiştir. Binanın performansı zaman periyodu, yanal yer değiştirme, temel kesme kuvveti ve katlar arası ötelenme gibi parametreler kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada perde duvar sistemleri sadece yanal rijitliklerini ve güçlendirme kapasitelerini değil ayrıca yapının yer değiştirme kapasitesini de geliştirdiği gözlenmiştir. Çerçevenin sismik performansının ayrıca çerçevenin simetrisi ve perde duvarların konumuna da bağlı olduğu gözlenmiştir. Bu yüzden mevcut binalara perde duvar ilavesinin diğer güçlendirme metotları gibi etkili bir araç olduğu belirtilmiştir. Çalışmasında 10 katlı betonarme bir yapının SAP2000 programında modellenmesi yapılmış ve yapının davranışının anlaşılabilmesi için Pushover Analizleri kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, perde duvarlardan dolayı temelde doğal zaman periyodunun arttığı gözlenmiştir. Yapı betonarme perdelerle güçlendirildiğinde yer değiştirme ve kat ötelenmesi azaldığı, taban kesme kuvvetinin arttığı gözlenmiştir. Betonarme perde duvar simetrik olarak yerleştirildiğinde yer değiştirmenin azaldığı gözlenmiştir. Betonarme perdelerin merkezi konumunun yanal ötelenmeleri en iyi şekilde azalttığı gözlenmiştir. Betonarme perde duvarların genişliği ve kalınlığı arttıkça, yer değiştirme ve kat ötelenmelerinin azaldığı ve taban kesme kuvvetinin arttığı gözlenmiştir. Betonarme perde duvarlar köşeye yerleştirildiğinde gerilmelerin azaldığı gözlenmiştir. Ve perde duvarların asimetric yerleşiminin gerilmeye sebep olduğu belirtilmiştir. İki perde duvar birbirine kenetlendiğinde perde duvarın performansının önemli ölçüde arttığı, bunun da binanın rijitliğini arttırdığı belirtilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

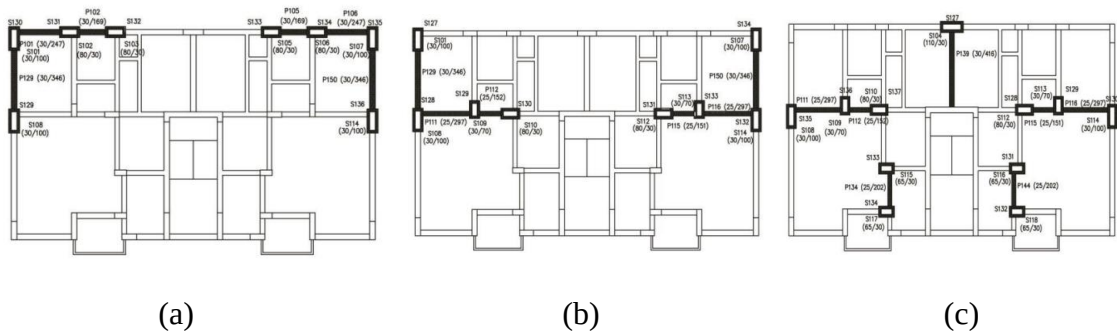
Yılmaz vd (2010) yaptıkları çalışmada binaya, kullanımı engellemeyecek şekilde dış perde eklenmiştir. Bu amaçla; toplam 8 adet betonarme çerçeve üretilmiş ve 4 adedi güçlendirilmeden, 4 adedi ise betonarme dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilerek, deprem yüklerini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında incelenmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş çerçeveler (Yılmaz vd 2010)

Yılmaz vd (2010) yapmış oldukları çalışma kapsamı sonucunda, yapıların dış perde duvar ile dıştan ve tek taraftan güçlendirilmesi ile oluşan sistem, zayıf sistemin yatay yük mukavemetinin ve rijitliğinin 3,04 ile 4,04 kat arasında artırdığı görülmüştür. Tüm deneylerde yapılan incelemelere göre; dış perde duvar ile güçlendirilmiş olan çerçevelerin diğer elemanlarında, sistemin akma yükü seviyesinde, bazı kılcal çatlaklar oluştuğu; önemli çatlaklar ve hasarlar oluşmadığı gözlenmiştir.

Değertekin vd (2015) tarafından yapılan çalışma kapsamında deprem güvenliği yetersiz betonarme bir bina için Sta4CAD V.13.1 programı yardımıyla 2007 deprem yönetmeliği dikkate alınarak statik ve dinamik analizi gerçekleştirilmiş ve farklı güçlendirme önerileri sunulmuştur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. (a) Birinci güçlendirme önerisi (b) İkinci güçlendirme önerisi (c) Üçüncü Güçlendirme önerisi için kalıp planı (Değertekin vd 2015).

Değertekin vd (2015)'in yapmış oldukları çalışma kapsamı sonucunda, görelî kat ötelenme oranı açısından 1. önerinin en iyi olduğu, burulma etkisi açısından, perde oranı yüksek olduğundan ve eklenen elemanların simetriğe yakın düzeninden dolayı 3. çözümün en iyi olduğu, maliyet açısından ise 1. çözüm önerisinin en ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. Güçlendirme önerilerinde burulma düzensizliğı bulunmamakta, simetriğe yakın düzenlenmesinden dolayı 3. güçlendirmenin burulma etkisi açısından en iyi güçlendirme önerisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Sivri vd (2013) konulu çalışmada kısmi betonarme perde eklenmesiyle, ANSYS ve STA4-CAD programıyla analizler yapılmıştır. İki katlı ve iki açıklıklı çerçevenin mevcut ve güçlendirilmiş hali için doğrusal elastik olmayan analizleri hem ANSYS hem de STA4-CAD ile yapılmıştır. ANSYS analizinden ve deneylerden elde edilen, yük-tepe yer değıştirmesi ilişkileri, birbirleriyle karşılaştırılmış ve eğilmeye çalışan çerçeve ve kısmi betonarme perde sistemlerde çözüm verilerinin deneylere yakın olduğu görölmüştür. Kesme davranışı olan perde güçlendirme sistemlerinde (perde yüksekliğı/perde genişliğı oranı ikiye yakın) ANSYS sonuçları deney sonuçlarından daha yüksek hesaplanmakta ve plastik davranış yakınsama hatalarından dolayı çoğu zaman çözüm elde edilemediğı belirtilmiştir.

Gürol (2007) tarafından yapılan çalışma kapsamında belirlenen bir güçlendirme yöntemiyle doğrusal olmayan statik artımsal itme analiziyle güçlendirilmiş yapı sistemine ait kapasiteler elde edilmiştir. Bulunan kapasite eğrileri Deplasman Katsayıları Yöntemi kullanılarak binanın performans düzeyi kriterlerine göre incelenmiştir. Yapının performansının elde edilmesi için FEMA 356 ve ABYYHY-2006' kullanılmıştır. Betonarme manto ile güçlendirilmiş yapılarda, eleman kapasitesi ve enerji yutma kapasitesi önemli oranda artmıştır.

Ünal vd (2013) tarafından yapılan çalışma kapsamında, 3 adet eleman depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında incelenmiştir. Güçlendirme perdesinde bulunan boşluklar, dayanımda azalmaya sebep olmakla birlikte, referans numuneye perde duvar ilavesiyle referans numunenin deprem mukavemetinde, yanal rijitliğinde ve enerji yutma kapasitelerinde yükselişler görölmüştür. Elde edilen verilere

göre, düzlem dışı perde duvar ilavesi ile güçlendirme yapılması, dayanım, rijitlik ve enerji yutma kapasiteleri açısından yapılabilir olduğu dile getirilmiştir.

Atay (2010) tarafından yapılan tez çalışması kapsamında depremde hasar almış binaların güçlendirilmesinde uygulanacak mevcut güçlendirmeler ve güçlendirmede kullanılan malzemeler incelenmiş. Yapının güçlendirme yöntemleri sistem ve elaman düzeyinde incelenebilir. Yapının yeni eleman ilavesiyle güçlendirilmesi düşünülüyorsa, güçlendirilmiş yapının mevcut kolon ve kirişlere denk gelen uç momentlerinin, düşük dayanımlı taşıyıcı elemanlar tarafından karşılanabileceğinin gösterilebilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Demirkan (2014) tez çalışması kapsamında mevcut yapı modeli, planda belirlenen yerlere perde ilave edilmesiyle güçlendirilmesi, yapıda bulunan tüm kolonların mantolanması ile güçlendirme ve planda belirlenen konumlara perde ilave edilmesi ile kolon mantolanmasıyla güçlendirme modelleri olmak üzere 4 farklı model üzerinde çalışma yapılmıştır. Yapılar Sta4Cad programıyla modellenmiştir. Perde ilave edilmesi yöntemiyle güçlendirilmeye çalışılmış ve bu güçlendirme yöntemiyle binanın dayanımının arttığı ve can güvenliğin sağlandığı gözlenmiştir. Farklı bir güçlendirme yaklaşımı olarak binadaki tüm kolonlar mantolanarak yapı dayanımı artırılmıştır. Son güçlendirmede planda belirlenen konumlara perde ilave edilmesi ve kolon mantolaması yapılmasında ise yapı dayanımı artırılmış ve can güvenliği sağlanmıştır. Sonuçta mevcut yapı ve tüm kolonların mantolanması dışındaki diğer güçlendirmelerde binanın istenilen düzeyde dayanıma ulaştığı görülmüştür.

Altun vd (2002) çalışması kapsamında inşaat sonrası çatlakların başladığı yapı için hazırlanmış olan güçlendirme proje süreçleri yer almıştır. Çözümde Sta4cad kullanılmıştır. Hasar gören kirişlerde kiriş mantolaması, 35/50 kesitler 35/70'e artırılacak şekilde yapılmıştır. Bu güçlendirmeyle kirişlerdeki kesme ve eğilme çatlağı dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Hasarlı kolonlar için kolon mantolaması 15 cm olacak şekilde yapılmıştır. Bu şekilde hasarlı kolonların kesme kuvveti ve eğilme momenti kesit tesiri değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Seçilmiş olan perdeler hasarsız olan üst kat rijitliklerini artırmak için çatı katı döşemesine kadar süreklilik arz etmiş ve perde ilavesiyle istenilen performansın elde edildiği görülmüştür.

Ergün vd (2012) çalışma kapsamında binanın mevcut durumunun DBYBHY 07 doğrusal elastik hesap yöntemlerine göre incelenmesi yapılmış, elemanlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranlarına bağlı performans düzeyleri tespit edilerek, ilgili binanın güvenlik düzeyi bulunmuştur. STA4-CAD programı kullanılarak modellemeler yapılmıştır. Yatay yükler altında yetersizliğinin giderilmesi ve olası depremden sonra hemen kullanılabilmesi için taşıyıcı sistemin tamamını içine alacak şekilde güçlendirme yapılmasının çözüm olduğu bulunmuştur. Bu kapsamda, yapılan analizler sonucunda yapının kullanım fonksiyonunu bozmayacak şekilde çerçeveye betonarme perde ilavesi yapılmasının etkin ve uygulanabilir bir çözüm olduğu gözlenmiştir. Bloklar bazında değişik olmak üzere kat alanlarına bağlı şekilde %0,4 - 0,8 oranlarında perde ilave edilmesi yapının performansının yeterli seviyeye gelmesi için yeterli olduğu görülmüştür.

Altun vd (2003) çalışma kapsamında genel olarak betonarme karkas binanın onarımını ve depreme karşı direncinin artırılmasını hedefleyen statik proje çalışmasını ele almaktadır. Güçlendirme çalışmasında yapı için yatay kuvvetlerin oluşturduğu ötelemeler kolon mantolama ve perdeleme yöntemiyle yapı rijitliği artırılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre, kolonların bütünlüğünü yeniden sağlayan ve dikey yük taşıma kapasitesini artıran mantolama işleminde, eğilme dayanımının da arttığı gözlenmiştir.

Zolmaz (2019) çalışma kapsamında mevcut betonarme bir binanın perdelerle güçlendirilmesi ve güçlendirilmiş binanın performans yeterliliği, TBDY2018 esaslarına göre incelenmiştir. Yapının mevcut durumu doğrusal elastik değerlendirme sonucu göçme çıkan yapının perdelerle güçlendirilmiş halinin modelini Etabs 16.2.0 versiyonu kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçları hem X hem de Y yönlerinde maksimum taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi için en yüksek değerlerin İzmit deprem kaydına göre belirlendiği belirtilmiştir. Yapılan değerlendirmede, yapıda X yönündeki tepe yer değiştirmesinin Y yönündekine göre daha küçük olmasının nedeni, X yönüne daha fazla betonarme perde eklenmesiyle bu yönde daha fazla rijitlik kazanılmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Kabuk eleman olarak modellenmiş perdeler, X yönündeki tüm yükleme durumlarında doğrusal elastik davranış sergiledikleri şeklinde gözlenmiştir. Y yönündeki yükleme durumlarında ise zemin katın bazı perdelerinde meydana gelen

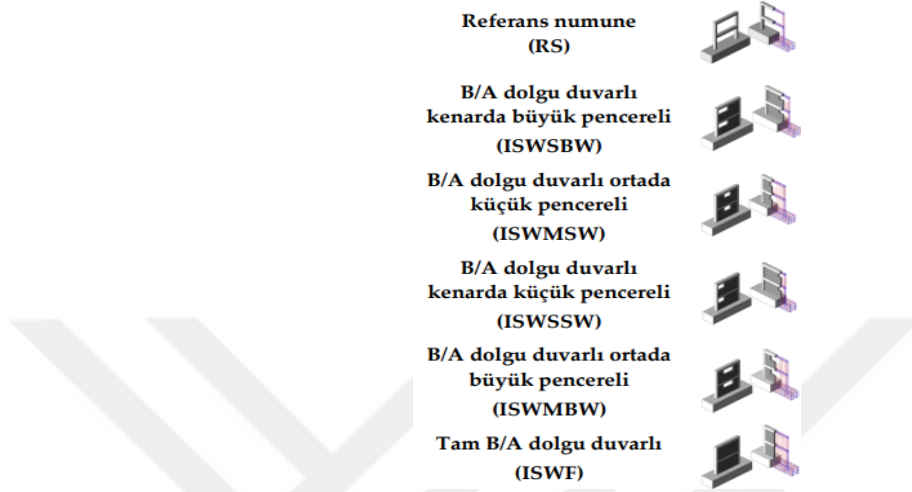
gerilmelerin, betonun gerilme sınır basınç değerini hafifçe aştığı tespit edilmiştir. Betonarme perde elemanlarının eklenmesiyle yapının yatay rijitliğinin arttığı, izin verilen yer değiştirme sınırları içerisinde kaldığı, taban kesme kuvvetinin büyük bir kısmının perdeler tarafından dengelediği ve kolon ile kirişlerin daha az yüklere maruz kaldığı, bu sayede kesitlerinin daha az zarar gördüğü gözlenmiştir. Perde ilave edilmesi sonucunda yapının performans seviyesinin yükseldiği ve hasar düzeylerinin azaldığı gözlenmiştir.

Uçar vd (2014) çalışmalarında yedi katlı binaya farklı güçlendirme önerilerinde betonarme perde ilavesi yapılmıştır. Yapının modellenmesi ve analizleri SAP200 programıyla yapılmıştır. Yapıya ilave edilecek perdelerin katlar boyunca sürekli olması ve perdelerin mevcut çerçeveye ankrajlarla bağlanması gerektiği dile getirilmiştir. Güçlendirme sonucunda yapının birincil titreşim periyotlarının azaldığı gözlenmiştir. Güçlendirme amacıyla yapıya ilave edilen perdelerin yapıda deplasmanları azalttığı görülmüştür.

Yüzbaşı vd (2018) çalışmaları kapsamında 1975 Deprem Yönetmeliğine göre projelendirilmiş ve inşa edilmiş olan okul binasının performans analizleri incelenmiştir. İlk olarak güçlendirilmemiş yapının 3 boyutlu modellenmesi yapılmış daha sonra orta ve düşük ölçekli bir deprem kuvvetine maruz bırakılarak yapının deprem kuvvetleri altındaki performansı irdelenmiştir. Daha yapıya sonra betonarme perde ilavesi yapılmış ve güçlendirilmiş yapının orta ve düşük ölçekli bir depremdeki performans durumunun nasıl değiştiği gözlenmiştir. Orta ve büyük ölçekli deprem kuvvetleri etkisinde bırakılmış güçlendirilmiş yapıdaki, kolon ve kirişlerdeki hasar oranlarının azaldığı görülmüştür.

Alyamaç vd (2005) çalışma kapsamında güçlendirme projesi olmaksızın veya projesi olduğu halde uyulmayan güçlendirme uygulamaları incelenmiştir. Kolonların mantolanmasıyla yapılan güçlendirme uygulamasında yük kapasitesi yetersiz olan bir kolonun kapasitesi, kolonun ebatında büyütme yapılarak ve yeni donatılar ilave edilerek artırılacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca kesme kuvveti dayanımı ve sünekliğin de enine donatıların sıklaştırılarak arttırıldığı dile getirilmiştir. Yapıya ilave edilen betonarme perdelerin yapının kapasitesini arttırdığı ve yanal ötelenmeleri azalttığı gözlenmiştir.

Balık vd (2018) deneysel çalışma kapsamında 6 adet betonarme çerçeve üretilmiş ve pencere boşluklu veya boşluksuz dolgu duvar ile güçlendirilerek davranışları incelenmiştir (Şekil 2.8). Yapılan deneylerin sonuçlarında betonarme dolgu duvarların, dayanım, rijitlik ve enerji tüketme üzerindeki etkileri incelenmiştir.



Şekil 2.8. Güçlendirilmiş numunelerin boyut ve donatı detayları (Balık vd 2018)

Balık vd (2018)'nin yapmış olduğu çalışma kapsamı sonucunda; pencere boşluksuz tam B/A dolgu duvarla güçlendirilmiş numunenin en fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir. Deneyleri yapılan numuneler arasında, en fazla ilk yanal rijitlik değerine sahip olan numune, pencere boşluksuz tam B/A dolgu duvarla güçlendirilmiş numune olduğu görülmüştür. Güçlendirme yapılan numuneler, referans numunesine göre 1,55-5,56 kat daha fazla enerji tükettikleri görülmüştür. Deneylerde göçme konumuna kadar en fazla enerji tüketim değerine sahip numuneler, itme çevriminde tam B/A dolgu duvarla güçlendirilmiş numune, çekme çevriminde ise B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli numunelerin olduğu belirtilmiştir.

Çırak (2011) çalışması kapsamında ankraj davranışları mevcut ve güçlendirilmiş yapılarda incelenmiştir. Modelleme için SAP2000 yazılımı kullanılmıştır. Doğrusal olmayan ankraj kayma davranışı, SAP2000'deki bağlantı elemanları (NLLink) kullanılarak tanımlanmıştır. Çoklu regresyon yöntemi kullanılarak deneysel ankraj kapasite eğrilerinden 15 adet ankraj kayma modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda ankraj kesme kapasitesinin beton basınç dayanımını etkilediği, ayrıca ankraj gömme derinliğinin ve ankraj çapının kesme davranışını önemli ölçüde etkilediği

gözlenmiştir. Önerilen kayma modeli geliştirilirken kenara mesafesi fazla olan ankrajlara ait deney verileri kullanılmıştır. Bu deneylerde, ankrajların tamamının donatı hasarı ile kapasiteye ulaştığı tespit edilmiştir. Ankrajların kenara yakın bölgelerde bulunması veya ekildiği bölgelerde beton kusurlarının bulunması durumunda, ankrajların betonun kırılması veya kopması sonucu kapasiteye ulaştığı sonucuna varılmıştır.

Çalışkan (2010) düşük ve normal beton dayanımına sahip çerçevelere konulu tez çalışması kapsamında farklı ankraj düzenleriyle güçlendirme perdeleri bağlanmıştır. Gerekli ankraj miktarları çerçevenin kolon ve kirişlerine farklı oranlarda azaltılarak ankrajlar ekilmiştir. Bu deney elemanları tekrarlı-tersinir yatay yükler altında test edilmiştir. Sonuçta; numunelerde beklenen ankraj kapasiteleri TS500 ve ACI318 formüllerine göre hesaplanmıştır. ACI318’de betona sonradan ekilen ankrajlar için ayrı bir azaltma katsayısı da kullanıldığından ACI318 tasarım kuvvetlerinin TS500 tasarım kuvvetlerine göre daha küçük kaldığı ifade edilmektedir. %40’ın altındaki kolon ve kirişlerdeki ankraj oranı, hem ACI-318 hem de TS500 sürtünme kesmesi ile hesaplanan kirişlere ekilmiş ankrajların kesme kapasitelerini aştığı, ancak bir döküm perdenin kesme kapasitesine ulaşamadıkları tespit edilmiştir. Ankraj miktarları benzer oranda azaltılan kolon ve kirişlerde, ACI318 ve TS500 kapasitelerinin aşıldığı gözlenmiş, ankraj miktarı yeterli olan elemanlarda ise döküm dayanımının sağlanabileceği görülmüştür. Üst kat kiriş ankrajlarının %25 seviyesinde artırıldığı elemanlarda, kolon ankrajlarının gereken miktarının %70’ine düşürülmesi durumunda bile yeterli dayanıma ulaşılabileceği saptanmıştır.

Yılmaz (2007) konulu çalışma, betonarme yapıların dışına ilave edilen betonarme perde duvarlarla güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesine odaklanmıştır. Deneysel çalışmalarla güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş modellerin davranışları karşılaştırılmıştır. Modelleme süreci SAP2000 programı kullanılarak gerçekleştirilmiş, analizler de bu program aracılığıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında, kirişlere yapılan ankrajların kesme kuvvetlerini perde elemanlarına ilettiği, eğilme etkilerinin ise sadece kolona yapılacak ankrajlarla karşılandığı varsayılmıştır. Deneysel çalışmanın sonuçlarına göre, dış perde duvarlarla güçlendirme yöntemi yapıya dayanım ve rijitlik kazandırmıştır. Maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin, referans yapısı ile karşılaştırıldığında onarılmış güçlendirilmiş yapılarda sırasıyla ortalama 2,27 katına ve hasarsızken

güçlendirilmiş yapılarda 3,06 katına çıktığı gözlenmiştir. Onarılacak güçlendirilen yapının rijitliğinin, referans yapısına göre 7,2 kat arttığı, hasarsızken güçlendirilen yapıda bu artışın 12,5 olduğu belirlenmiştir. Referans yapısı %1,7 ötelenme seviyesine kadar itilmiş ve çekilmiş, ancak bu deplasman seviyesine kadar ciddi bir kapasite kaybı yaşanmamıştır. Onarılacak güçlendirilen ve hasarsızken güçlendirilen yapıların sırasıyla %1,3 ve %1,2 ötelenme seviyelerinde kapasite kaybı gösterdiği görülmüştür. Deneylerde kullanılan 3 numunenin farklı davranış alternatifleri gözetilerek SAP2000 programı ile oluşturulan doğrusal olmayan yapı modelleri statik itme analizine tabi tutulmuştur. Perde duvar bulunmayan referans yapısına ait modelin analiz sonuçları deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Kayma davranışının modellenmesi durumunda, yapı kapasitesi ve davranışı açısından deney sonuçları ile daha uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Kaya (2007) onarım ve güçlendirme uygulamalarında sıkça kullanılan kimyasal ankrajların tez çalışması kapsamında; eksenel çekme ve statik yükleme altındaki davranışları, farklı yüzey temizliği ve yüzey tozluluğu durumları için incelenmiştir. İnceleme, üç farklı deney grubu şeklinde gerçekleştirilmiştir. Çoğul etkilerden kaçınmak amacıyla ankraj geometrisine bağlı olarak, delik çapı ve ankraj donatısı çapı tüm numunelerde sabit tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda, artan derinliklerde, düzgün yayılı olduğu varsayılan ortalama yapışma dayanımının azaldığı gözlenmiştir. Tam bağlı ankraj numunelerinin tamamında, ankraj derinliğine bağlı olarak konik göçme veya derin ankraj durumunda konik göçme ve ardışık boyda sıyrılma şeklinde davranışlar sergilediği gözlenmiştir. Sıyrılmaların, yapı kimyasalı ile beton ara kesitinde meydana geldiği belirtilmiştir. Kısmi bağlı ankraj numunelerinde ise, tüm numunelerin sıyrılma ile göçtüğü görülmüştür. Kimi numunelerde çekme çatlaklarının oluşumu tespit edilmiş, ancak bu çatlakların numunenin davranışına önemli bir etki yapmadığı görülmüştür. Derin ankrajlar büyük ölçüde sertleştikten sonra ani göçme ile göçmüş; ankraj derinliği azaldıkça yük yer değiştirme eğrilerindeki farklılıkların azaldığı gözlenmiştir. Kısmi bağlı olarak tasarlanmış ankraj numunelerinin tamamında, aynı özelliklere sahip referans yapışma dayanımının %90'ına ulaşıldığı gözlenmiştir. Kısmi bağlı ankrajlar aynı bağlama derinliğinde; tam bağlı ankrajlara oranla çok yüksek göçme dayanımlarına ulaştıkları belirtilmiştir.

Çelik (2018) yığma binaların kesme performanslarını belirleyebilmek amacıyla, mevcut üç farklı yığma binada 21 adet kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yığma binaların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan epoksili donatı ankrajların çapı ve gömme derinliği değişken tutularak 12 adet tam sıyırılmalı çekme ve 24 adet levhalı kısmi sıyırılmalı çekme deneyi yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre; ankraj derinliğindeki artışın kesme kuvveti artışlarını daha büyük ve sünek hale getirdiği, ankraj derinliğindeki artışın çaptaki artışa oranla kesme kuvvetini daha fazla artırdığı gözlenmiştir. Tam sıyırılmalı çekme ve levhalı kısmi sıyırılmalı çekme deneylerinin sonuçları karşılaştırıldığında; tam sıyırılmalı çekme deneylerinin levhalı kısmi sıyırılmalı çekme deneylerine göre daha yüksek çekme kuvveti karşıladığı, ankraj derinliğindeki artışın çaptaki artışa oranla çekme kuvvetini daha fazla artırdığı görülmüştür. Bu deneyler sonucunda, donatı çapının artmasıyla kesme kuvvetlerinin ihmal edilebilecek kadar az arttığı, ankraj derinliğinin artmasıyla ise kesme ve çekme kuvvetlerinde azalan eğrilikte parabolik artışlar görülmüştür. Ankraj derinliği artışına bağlı olarak kesme kuvvetinin, azalan eğilimde parabolik bir artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Sancak (2019) çalışma kapsamında taze betona yerleştirilen çeliğin eksenel çekme etkisi altındaki davranışının en yaygın kullanılan kimyasal ankraj ile incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, ankraj çapının artması ankraj dayanımını yaklaşık olarak %14 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Kimyasal yapıştırıcı (epoksi) kullanılarak sonradan eklenen ankrajların dayanımı, taze betona yerleştirilen ankraj dayanımına göre yaklaşık olarak %35 daha düşük olduğu gözlenmiştir. Sonradan epoksi ile ankraj ekmek, ankraj dayanımını azalttığı sonucuna varılmıştır.

Aydoğan (2015) çalışma kapsamında, epoksi bazlı kimyasal yapıştırıcı kullanılarak ortalama 27 MPa beton basınç dayanımına sahip beton temellere S420 donatıdan oluşan 80 adet ankraj ekilerek çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bu ankrajlar, çapın 5, 10, 15 ve 20 katı derinliklere ve çapın 5, 7.5, 10, 15 ve 20 katı kenardan uzaklığa ekilmiştir. Deneyler sırasında yük ve deplasman değerleri ölçülerek numunelere ait yük-deplasman grafikleri çizilmiş ve göçme modları belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, çapın artmasıyla çekme kuvvetinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, ankraj çapının büyüdükçe güvenlik katsayısının azaldığı görülmüştür. Ankraj derinliklerinin değişmesine bağlı olarak 15Ø derinliğe kadar çekme kuvvetinin arttığı,

ancak daha sonra çekme kuvvetinde azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Kenar mesafelerinin değişimine göre, kenar mesafesinin 15Ø'ye kadar çekme kuvvetinde artışa neden olduğu, sonrasında ise bu artışın çok olmadığı gözlenmiştir.

Topçu vd (2015) literatürdeki çalışmaların derlenerek incelendiği bu araştırmada, deneysel çalışmalarla ankraj donatı çapının, ankraj delik çapının ve ankraj derinliğinin göçme yükü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre; donatı çaplarının artırılmasıyla birlikte beton içinden sıyrılması gereken yük miktarının arttığı tespit edilmiştir. Örneğin, çapı 10 kat ve 12 kat gömülen donatılarda çapın 14 mm'den 18 mm'ye çıkmasıyla gerekli yük miktarının sırasıyla %85 ve %67 oranında arttığı görülmüştür. Ankraj ekiminde donatı çapının 14 mm'den 18 mm'ye çıkmasıyla, sıyrılma yükünün 10 ve 12 kat açılan derinlikler için ortalama %47 oranında arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Donatı çapı ve delik çapının artmasıyla sıyrılma yükünün de arttığı gözlenmiştir. Delik çapı 6 mm ve 8 mm kadar fazla açılan donatılarda da çapın 14 mm'den 18 mm'ye çıkmasıyla gerekli yük miktarının sırasıyla %85 ve %67 oranında arttığı belirlenmiştir. Eklenen her donatı grubunda ise ankraj çapının D+6 mm'den D+8 mm'ye artırılmasıyla 14, 16 ve 18 mm'lik donatılar için sırasıyla %10, %9 ve %8 oranlarında artış elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Çalışkan (2020) farklı kenar mesafesi ve derinliklerdeki kimyasal ankrajların çekme dayanımlarının incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Eklenen çubuklara eksenel çekme testi uygulanmış ve elde edilen yük-deplasman eğrileri temelinde başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji yutma kapasitesi değerleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, farklı göçme modları incelendiğinde, kenara ekilen çubuklarda beton yarılmaları şeklinde göçmenin meydana geldiği görülmüştür. Ancak diğer mesafelere eklenen ankrajların koni göçmesi ve sıyrılma durumlarının birlikte gözlemlendiği tespit edilmiştir. Eksenel çekme yükleri altında yapılan analizler, çapın 15 katı derinliğe kadar eklenen ankrajların çekme kuvvetinin arttığını göstermiştir. Kenar mesafesi arttıkça çekme kuvvetinin değerinin de arttığı saptanmıştır. Aderans gerilmeleri incelendiğinde, gömme derinliğinin artmasıyla gerilme değerlerinin düştüğü görülmüştür. Enerji yutma kapasiteleri, gömme derinliği ve kenar mesafesi arttıkça artış göstermiştir.

Gürbüz vd (2007) çalışmanın konusu, farklı dayanımlara sahip iki tip beton blok içine farklı kimyasal yapıştırıcılar kullanarak ankre edilen donatı çubuklarının üzerinde incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, M1 malzemesinden üretilen 6Ø derinliğindeki ankrajlar durumunda betonun konik olarak göçtüğü gözlenmiştir. Daha derin ankrajlar ise beton konisi ile birlikte ankraj sıyrılmasının meydana geldiği görülmüştür. M2 malzemesi ile üretilen tüm ankrajların daha düşük çekme kuvvetlerinde sıyrılarak dayanımlarını kaybettikleri gözlenmiştir. Ankraj derinliklerinin (6Ø, 8Ø, 10Ø ve 12Ø) eksenel çekme kapasiteleri hem M1 hem de M2 malzemeleri için artan derinliklerle doğrusal bir şekilde arttığı görülmüştür. Öte yandan, eşdeğer düzgün yayılı yapışma dayanımlarında artan derinlik ile belirgin bir değişiklik görülmemiştir. Genel olarak, M1 kimyasal yapıştırıcı kullanılan ankrajlar için yapışma dayanımlarının 9-10 MPa düzeylerinde olduğu, M2 kimyasal yapıştırıcı kullanılan ankrajlarda ise 4-5 MPa düzeylerinde olduğu tespit edildi. Bu durum, kimyasal yapıştırıcıların ankraj performansını büyük ölçüde etkileyebileceğini göstermiştir. Ankrajların dayanımlarını kaybetmesinin genellikle ankraj donatısının akma gerilmesine ulaşmadan meydana geldiği gözlenmiştir.

Bayülke (2006) çalışma kapsamında betonarme yapıların güçlendirilmesi amacıyla perde duvar eklemesi yapıldığı durumunda karşılaşılan uygulama sorunlarını analiz etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiş ve bu sorunlara çözüm önerileri sunulmuştur. Çalışma çerçevesinde, çerçevesel bir betonarme yapının perde duvar eklenmesinin, kolonlara etkiyen toplam kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri üzerindeki etkisi örnek bir yapının hesaplamaları ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, perde eklenmesi durumunda bu tür yapılarda depremden kaynaklanan yatay kesme kuvvetinin ve eğilme momentlerinin büyük bir kısmının perdeler tarafından taşındığı ve dolayısıyla kolonlara etkiyen kesme kuvvetlerinin ve eğilme momentlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde, perde duvarın güçlendirme açıklığına yerleştirilmesi esnasında perde, kolonlar ve kirişler arasındaki ankraj konfigürasyonunun da hesaba katıldığı bir model ile deprem yüklerinin dağılımı incelenmiştir. Bu amaçla ankrajlar doğrusal “LINK” elemanları olarak modellenmiştir. Bu durumu dikkate alan bir SAP2000 modeli geliştirilmiştir. Ankrajların LINK eleman olarak modellendiği çalışmada, ankraj sayısı artırılınca perdenin toplam yatay yükten aldığı payın arttığı gözlenmiştir. LINK elemanları, perdeye ankrajların kuvvet aktarımını sağlamak için kullanılmıştır. Kolon eksenel yüklerinde ve düşey yüklerde perde güçlendirmesi

sonucunda önemli bir azalmanın olmadığı belirtilmiştir. Deprem kaynaklı kesme kuvvetlerinin azalmasına karşılık, düşey yüklerden kaynaklanan eksenel yüklerde sınırlı bir azalmanın olduğu analiz edilmiştir.

Seyhan (2006) çalışması kapsamında Türkiye’deki mevcut yapıları temsil etmek amacıyla seçilen düşük dayanımlı bir beton içerisine farklı tiplerde kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak, ankraj çapın, ankraj derinliği, donatı çapı ve ankraj deliği hazırlama yöntemlerinin değişken olarak bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; ankraj deliği çapının artmasının sürtünme yüzey alanının artmasıyla ankraj dayanımını arttırdığı belirtilmiştir. Aynı şekilde, ankraj derinliğinin artmasıyla yapışma yüzeyinin de arttığı ve bu durumunun mekanik sürtünme dayanımını arttırdığı belirtilmiştir. Ankraj derinliğinin artması, ankraj dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Sığ ankrajlar (ankraj derinliği: 6Ø) konik kopması tipikle göçme gösterirken, ankraj derinliği arttıkça betonun hem konik kopma hem de sıyrılma şeklinde birleşik tip göçme sergilediği gözlenmiştir. Hızlı sertleşen ve kuru kıvamlı olan yapıştırıcıların, beton ve çelik yüzeyleri yeteri kadar ıslatamayarak ve gerekli kenetlenmeyi sağlayamadığı gözlenmiştir. Öte yandan yavaş sertleşen ve daha akışkan kıvamdaki yapıştırıcıların, beton yüzeylerini daha uzun süre ıslatılabildiği ve yüzeylere daha iyi kenetlenme sağlandığı tespit edilmiştir.

Özdemir (2013) tez çalışması kapsamında kimyasal ankrajların betonarme elemanlara sonradan uygulanmış durumunun, kesme etkileri altındaki mekanik özelliklerinin analizleri yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre; beton mukavemeti, donatı çapı ve donatı ankraj derinliği arttıkça donatıların kayma ve betonun ezilmesine neden olan T_{max} kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. Donatıların sıyrılması ve kopması ile sonuçlanabilecek göçme durumuna yol açabilecek T_{max} kuvvetleri, 40 Ø ankraj çubuklarının beton dökümü sırasında yeterli kenetlenme boyuna sahip olmaları durumunda, donatının 12 mm’den 16 mm’ye çıkmasıyla ortalama olarak %25 artış gösterdiği görülmüştür. Kimyasal ankrajlarda ise donatı çapının 12 mm’den 16 mm çıkması durumunda, 10Ø ve 15Ø ankraj boylarında %45 oranında artış olduğu gözlenmiştir. Ankraj boylarının 10Ø ‘den 15Ø ‘ye çıkması durumunda boyut artışının %50 olduğu, ancak kesme kuvveti taşıma kapasitelerindeki artışın %15-20 arasında olduğu gözlenmiştir.

Mazılıgüney et al. (2007) çalışma kapsamında İstanbul Tuzla’da bulunan betonarme bir konut binasında kolonlar üzerine ankraj yapılarak farklı durumların ankarajın performansını nasıl etkilediği incelenmiştir. Çalışma kapsamında her ankraj çapı, gömme derinliği ve beton dayanım değişimi için 5 deney yapmıştır. Test için iki farklı ankraj çapı (16 mm ve 20 mm) 3 farklı gömme derinliği (10Ø, 15Ø ve 20Ø) ve 2 grup beton dayanımı (düşük dayanım ve orta dayanım) seçilmiştir. Ankrajlar arasındaki mesafeler, betonun yarıлма kırılmasını önlemek için en az gömme derinliğine eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışması sonucunda; yapı elemanlarının basınç dayanımı, test edilen her iki ankraj çapı için de kırılma yükünü etkilemediği görülmüştür. Yapı elemanının ankraj derinliği ve kırılma yükü arasında doğrudan bir ilişki bulunamamıştır. Fakat ankraj derinliğinin yapı elemanındaki kırılma yükü üzerine etkisi betonun basınç dayanımından daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Ankraj çapının, düşük mukavemetli betonlarda kimyasal takviyeli olarak bağlanmış sonradan takılan ankrajların çekme davranışı için en etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

3. BETONARME YAPI ELEMANLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ

Yapı ve yapı elemanında hasar yapan etkinin boyutu aynı biçimde sürmekte ise, deprem gibi yapının ekonomik ömrü içinde aynı boyutta depremlerin yine olması bekleniyorsa, hasarın önlenmesi, durdurulması ve yinelenmemesi için yapının eski durumundan daha güçlü bir konuma getirilmesi gerekir (Batmacı 2011).

Betonarme yapıların yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirilmesinde gerekli ilkeler, detaylar ve öneriler Bölüm 3.1’de detaylıca irdelenmiştir.

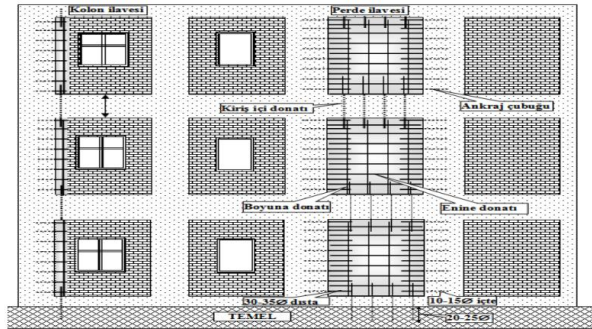
3.1. Betonarme Perde ile Güçlendirme

Perdeler, deprem yüklerinin karşılanmasında rijitlik ve dayanım bakımından taşıyıcı sistemin önemli elemanlarıdır. Hasar görmeleri durumunda, onarım ve güçlendirilmeleri özenle yapılmalıdır. Deprem yükü taşımak üzere düzenlenen betonarme perdelerde hasarlar, kayma ve eğilme taşıma gücünün yetersizliğinden veya büyük boşluklu perdelerde bağ kirişlerinin yetersizliğinden kaynaklanabilir. Perdede beton ezilmesi veya donatı burkulması varsa, kolonlarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemi burada da uygun düşer. Bu işlemten önce çatlakların epoksi enjeksiyonunun yapılması ve yüzeyin temizlenmesi önemlidir (Batmacı 2011).

Perdeler planda binanın iç kısımlarında bulunurlar. Bunlar genellikle iki uçtaki kolonu mantolayarak onlarla bütünleşirler. Bu durum perdenin mevcut sistemle bütünleşmesini sağlayacağı gibi, perdenin uçlarında meydana gelecek çekme kuvvetinin kolon basınç kuvvetini göz önüne alarak azaltılmasını da sağlar (Batmacı 2011). Şekil 3.1-3.2-3.3’ de yapıya betonarme perde ilavesi ve kolon mantolama uygulamalarına ait görsellere yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Betonarme perde ilavesiyle ile güçlendirme (Kan 2020)



Şekil 3.2. Betonarme perde ilavesi ve kolon mantolama (Atmaca 2013)



Şekil 3.3. Betonarme perde ilavesi ve kolon mantolamada mevcut elemanlarla birleşim detayı (Atmaca 2013).

Betonarme perdelerle güçlendirmede Denklem (3.1) sağlanmalıdır.

$$\sum A_w \geq 0,0025 \sum A_{pi} \geq 0,01 A_{pt} \quad (3.1)$$

$\sum A_w$ = Her yön için ayrı ayrı perde duvar alan toplamı

$\sum A_{pi}$ = Bina katları toplam alanı

A_{pt} = Bina taban alanı

A_w = Perde kalınlığı x kolon dışından kolon dışına olan uzaklık (Canbay 2022).

3.1.1. Betonarme perde ile güçlendirmede ilkeler

- Betonarme dolgu duvarlar her iki doğrultuda simetriyi olabildiğince bozmayacak bir biçimde yerleştirilmelidir. Yer seçimi gerektiği gibi yapılmazsa, rijitlik merkezi kayarak depremde büyük kat burulma momentleri oluşmasına neden olur.
- Oluşturulan betonarme dolgulu çerçeveler binanın periyodunu azaltır ve rijitliğini büyük ölçüde artırır. Dayanımdaki artışın, rijitlik nedeniyle dayanım istemindeki artıştan büyük olduğu gösterilmelidir.
- Betonarme dolgu duvar, çerçeveden ayrılmamalı ve çerçeveye bir bütün olarak davranmalıdır.
- Filizler:
 - Nervürlü Donatı
 - Çerçeveye 10-15Ø
 - Perde içine 35Ø
 - Delik çapı filiz çapından 5 mm büyük
 - Minimum Ø16
- Kolon ve kirişe yerleştirilen filizlerin toplam kesit alanı, o yöndeki perde donatısı toplam kesit alanından az olmamalı.

3. BETONARME YAPI ELEMANLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ

- Ankraj aralığı 400 mm'yi geçmemelidir. Ankraj aralığı kat kesme kuvvetine göre hesaplanmalıdır. Ankraj çubukları uygun bir epoksi bazlı yapıştırıcıyla açılan deliklere yerleştirilmelidir.
- Katlar arası sürekliliğin daha iyi sağlanması amacıyla kiriş, yüksekliği boyunca delinerek ankraj çubuğunun her iki katta sürekli bir şekilde yer alması sağlanmalıdır.
- Oluşturulacak perdelerin her iki yüzüne yatay ve düşey yönde iki sıra donatı yerleştirilmeli ve donatı oranı deprem yönetmeliğinde sünnek perdeler ön görülen den az olmamalıdır.
- Dolgu betonu dökülürken üstte 10-15 cm boşluk bırakılmalı ve bu boşluk büzülme (rötre) yapmayan harçlarla kapatılmalıdır.
- Genellikle mevcut kolon bindirme ekleri yetersiz boya sahip olduğundan betonarme dolgu perdelerin uçlarında büyük çaplı en az dört donatı çubuğu yerleştirilerek bir anlamda dolgu içinde gizli kolon oluşturulmalıdır.
- Perde mutlaka bir temele bağlanmalıdır. Sürekli temel varsa, 20Ø derinliğinde filizlerle perde mevcut temele bağlanmalıdır.
- Perdeye gelen kesme kuvveti Denklem (3.2)'de hesaplanacak kesme kuvveti değerini geçmemelidir (Canbay 2022).

$$V_{duvar} = \frac{1}{3} \sqrt{f_{ck}} A_w \quad (3.2)$$

- Perdenin iki kolon arasında kalması tercih edilmelidir. Bazı hallerde bir taraftan bir kolona birleşmesi düşünülebilir. Bu durumda diğer tarafta perde ucu düzenlenmelidir (Kan 2020).
- Yeni perdeler, mevcut çerçeveler içine ve en az bir kolona komşu olacak şekilde yerleştirilmelidir. Mevcut beton dayanımlarının yeterli görülmesi halinde (>C16)

mevcut kolon ile yeni perdenin bütünleşmesi dikiş donatıları ile sağlanarak, kolon donatısı perde başlık donatısına dâhil edilebilir. Aksi halde perdeye komşu kolonun mantolanması gerekir (Kan 2020).

3.1.2. Betonarme perdelerle güçlendirmede kuvvet aktarımı

Güçlendirme perdelerinin uç donatılarının ve mantolanan kolonların ana donatılarının katlar arası sürekliliği mutlaka sağlanmalıdır. Taşıyıcı sistemin mevcut elemanları ile eklenen yeni elemanlar arasında kuvvet aktarımı sağlanmalıdır. Bunun için aşağıdaki yöntemlerden biri ya da birkaçı kullanılabilir.

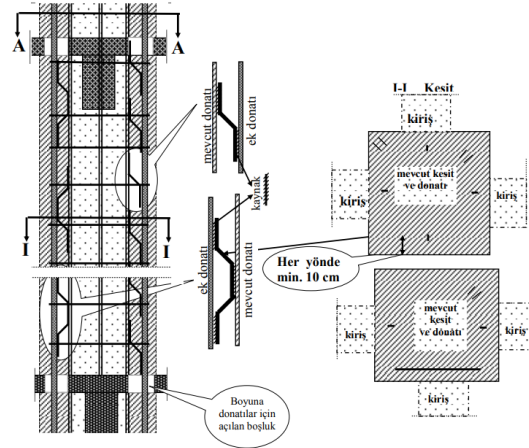
- Mevcut beton ile yeni beton ara yüzeyinde bütünleşmeyi sağlayan özel kimyasal malzeme kullanılması,
- Mevcut ve eklenen elemana ait donatıların birbirlerine kaynak, kanca ve başka yöntemlerle bağlanması (esnek ve rijit bağlantı V donatıları) gerekir (Kan 2020).

Betonarme taşıyıcı sistemlerin yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirilmesinin deprem yönetmeliğine göre esasları Bölüm 3.3'te detaylıca irdelenmiştir.

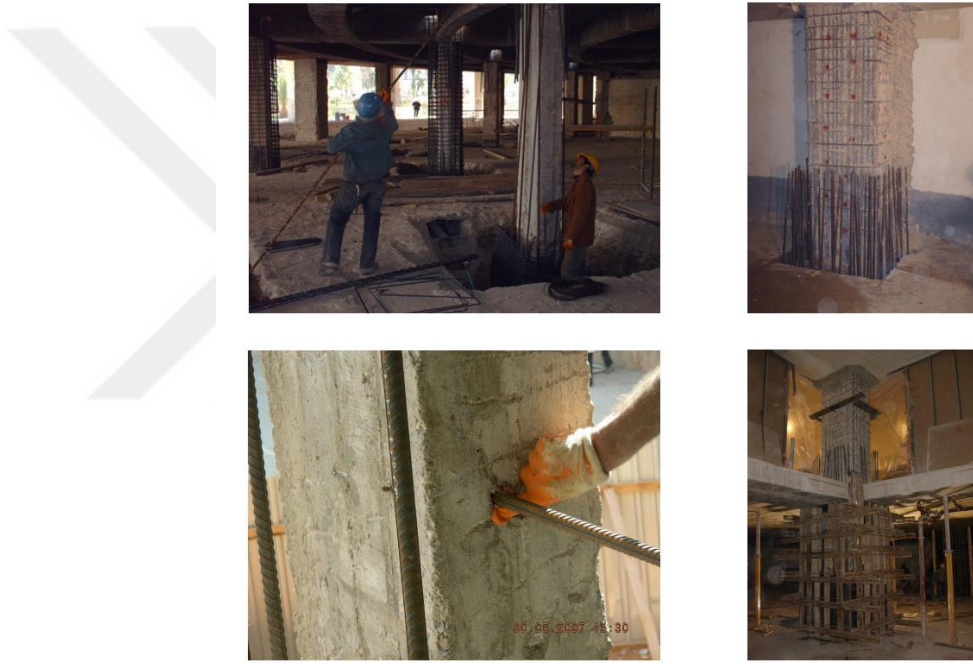
3.2. Betonarme Kolonların Betonarme Sargı ile Güçlendirilmesi

Betonarme kolonun betonarme elemanlarla onarımı ya da güçlendirilmesi kolonun kesit ve donatılarının artırılmasıdır. Donatı miktar olarak artırılır ancak yüzde olarak aynı kalabilir ya da artırılabilir. Mantolamada üzerinde durulacak ayrıntılar eski ve yeni betonun kaynaştırılması, yeni boyuna donatı ile eski boyuna donatının ankrajı olarak sıralanabilir. Güçlendirmede en önemli nokta kolona eklenen bölüme eski var olan bölümden yük aktarılmasıdır (Anonim 2020).

Kolon güçlendirmesinde kolonun üzerindeki hasarlı bölümler etriyeler ve boyuna donatı ile belirlenen kolon "çekirdek" bölümüne kadar kazılmalıdır. Var olan beton, varsa basınçlı su ile yıkanarak toz ve gevşek malzemeden temizlenmelidir. Böylece kolonun



Şekil 3.6. Mevcut donatı ile ilave edilen donatının birleşim detayı (Atmaca 2013)



Şekil 3.7. Betonarme kolon mantolama uygulaması (Gürbüz 2007)

Kolonların eğilme kapasitesini arttırmak için kolon kesitleri büyütülebilir. Bu işlem aynı zamanda kolonun kesme ve basınç kuvveti kapasitelerini de arttırır (Anonim 2020).

Kolon güçlendirmesinin bir başka ayrıntısı da kolon boyuna donatılarının ankrajıdır. Güçlendirme için yeniden eklenen bölümlerde enine donatıların bağlanması ve beton ile boyuna donatıları sıkıca sarması gerekir. Bilindiği gibi etriyelerin, boyuna donatıların burkulmalarını önlemek, kesme gerilmelerini taşımak, betonu sararak yanal destek sağlayarak basınç dayanımını artırmak gibi görevleri vardır. Bunun için yeniden

sarılan etriyelerde bir gevşeklik olmaması gerekir. Bu amaçla konulacak etriyelerin uçlarında bindirmeli kanca yerine kaynak ya da bulonla sıkıştırırmalı bağlantı yapmak çok daha etkili olacaktır (Anonim 2020).

3.2.1. Mantolama ile Kolon Güçlendirmesi Üzerine Öneriler

- Kolonların betonarme mantolama ile güçlendirilmesinde boyuna donatı yüzdesi %1'den az olamayacağı gibi, %1'in çok üzerine de çıkılmamalıdır. Çünkü donatı yüzdesi %1 olan kolonların sünek davranan en ekonomik donatı yüzdeli kolonlar olduğu deneysel olarak çıkarılmıştır (Anonim 2020).
- En az paspayı (20 mm), en az etriye çapı (Ø8) ve en az boyuna donatı çapı (Ø14) için gerekli kalınlığın 42 mm olabileceği hesaplanırsa et kalınlığının 100 mm'den az olamayacağı aşikârdır (Anonim 2020).

4. TBDY 2018'E GÖRE BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN YERİNDE DÖKME BETONARME PERDELER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1. Çerçeve Düzlem İçine Betonarme Perde Eklenmesi

Yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemler, yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirilebilir. Betonarme perdeler mevcut çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olarak düzenlenebilir (TBDY 2018).

Betonarme sisteme eklenecek perdeler çerçeve ekseninin içinde düzenlenecek, temelden başlayarak perde üst seviyesine kadar sürekli olacaktır. Bu amaçla, perde uç bölgesindeki boyuna donatıların ve gereği durumunda perde gövdesindeki boyuna donatıların perde yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanacaktır. Perdeler, içinde bulundukları çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacaktır. Ankraj çubukları, mevcut çerçeve elemanları ile eklenen betonarme perde elemanı arasındaki ara yüzlerde deprem kuvvetleri altında oluşan kayma gerilmelerini karşılamak için yeterli dayanıma sahip olacaklardır. Ara yüzlerdeki kayma gerilmelerinin çerçeve elemanları boyunca dağılımı bilinen mekanik prensiplerine uygun olarak hesaplanacaktır. Ankraj çubuklarının tasarımında TS 500'deki sürtünme kesmesi esasları kullanılacaktır (TBDY 2018).

4.2. Sürtünme Kesmesi

İki ayrı malzemenin birleştiği düzlemlerde veya ayrı zamanlarda dökülmüş iki beton yüzeyinin birleştiği düzlemlerde, kesme hesabı ve donatı detaylandırması bu bölümdeki kural ve ilkelere göre yapılır. Sürtünme kesmesi için hesap yapılan düzlemde, önce bir çatlak oluştuğu varsayılır. Sürtünme kesmesi için Denklem 4.1'deki koşul sağlanmalıdır (TS 500).

Kesme güvenliği için aşağıdaki koşul sağlanmalıdır:

$$V_r \geq V_d \quad (4.1)$$

4. TBDY 2018'E GÖRE BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN YERİNDE DÖKME BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

V_r = Kesitin Kesme Dayanımı

V_d = Tasarım Kesme Kuvveti

Bu denklemdeki V_r Denklem 4.2'deki gibi hesaplanmalıdır:

$$V_r = A_{wf} f_{yd} \mu \quad (4.2)$$

A_{wf} = Kesme-Sürtünme Donatısı Kesit Alanı

f_{yd} = Boyuna Donatı Tasarım Akma Dayanımı

μ = Kesme-Sürtünme Katsayısı

Denklemde, kesme-sürtünme donatısı kesit alanı olarak (A_{wf}) yalnızca birleşme düzlemine dik doğrultuda düzenlenmiş donatı çubuklarının toplam alanı kullanılmalıdır. Denklem 4.2'de, μ ile gösterilen kesme sürtünme katsayısının değerleri, çeşitli durumlar için Çizelge 4.1'de verilmiştir (TS 500).

Çizelge 4.1. Değişik durumlar için kesme-sürtünme katsayısı (TS 500)

Bir döküm beton (monolitik)	$\mu=1,4$
Sertleşmiş beton ile yeni betonun birleştiği yüzeylerde	$\mu = 1,0$
pürüzlendirilmiş yüzey ($\text{pürüz} \geq 5 \text{ mm}$)	$\mu = 0,6$
pürüzlendirilmemiş yüzey	
Çelik profil ve betonun birleştiği yüzeylerde	$\mu = 0,7$

Kesme sürtünme donatısının kesme düzlemine eğik olduğu durumlarda, kesme kuvveti donatıda çekme oluşturuyorsa, V_r Denklem 4.3'deki gibi hesaplanacaktır (TS 500).

$$V_r = A_{wf} f_{yd} (\mu \sin \alpha_f + \cos \alpha_f) \quad (4.3)$$

Kesme kuvvetinin donatıda basınç oluşturduğu durumlarda, bu donatı etkili değildir. Deprem durumunda, donatı çatlak düzlemine dik olarak düzenlenmelidir.

4. TBDY 2018'E GÖRE BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN YERİNDE DÖKME BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Denklem 4.3'deki α_f açısı, kesme sürtünme donatısının kesme düzlemi ile yaptığı dar açıdır (TS 500).

Sürtünme kesmesinin aşağıdaki sınırı geçmesine izin verilmez ve bu sınır hesaplanırken beton tasarım basınç dayanımı f_{cd} , 25 MPa'dan büyük alınamaz (TS 500).

$$V_d \leq 0,2 f_{cd} A_c \quad (4.4)$$

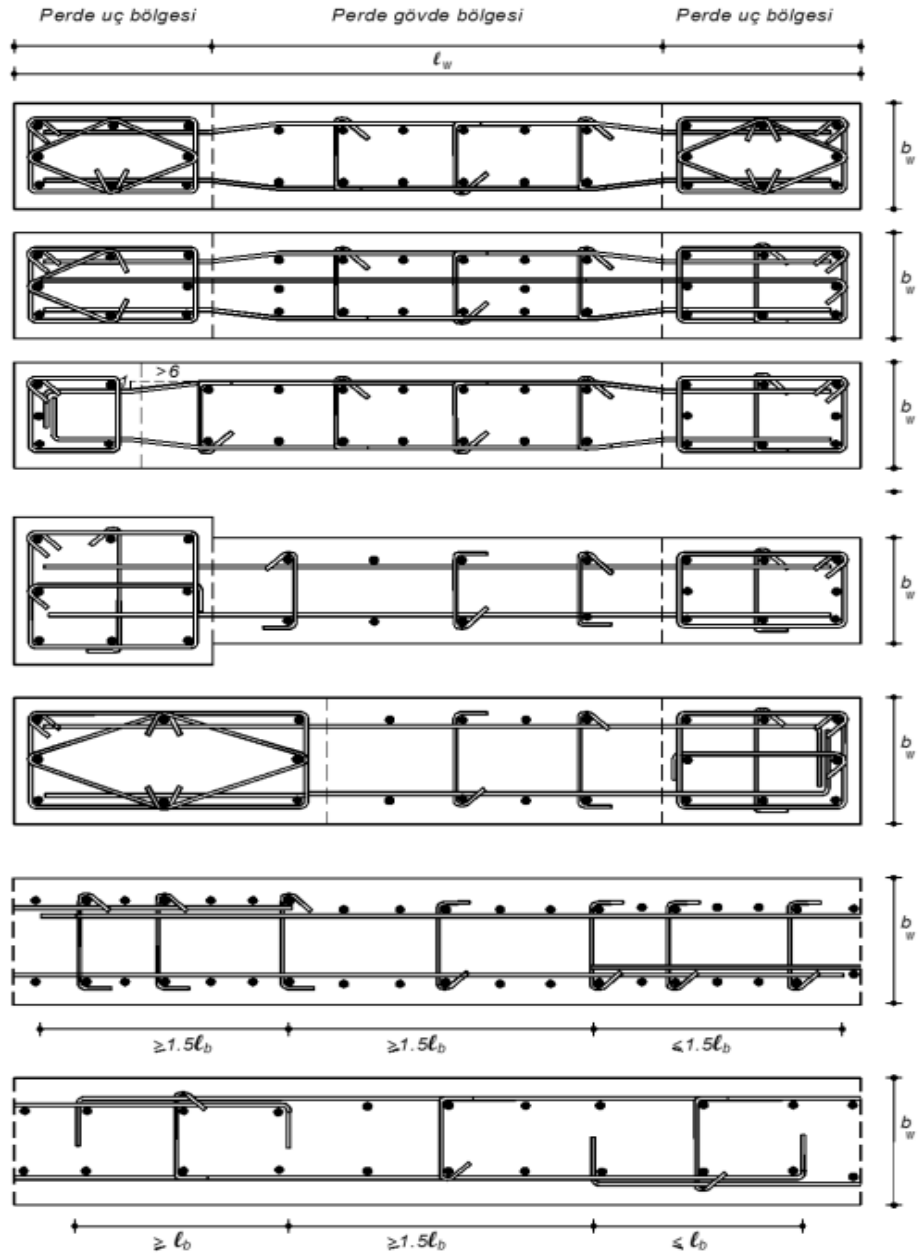
Kesme düzlemindeki doğrudan etkili çekme kuvvetleri varsa, her iki yandan yeterince kenetlenmiş ek donatı ile karşılanmalıdır. Bu düzlemde doğrudan etkili olan kalıcı basınç kuvvetinin en düşük değeri göz önüne alınarak kesme-sürtünme donatısı azaltılabilir (TS 500).

En küçük ankraj çubuğu çapı 16 mm, en az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 400 mm olmalıdır. Perde ucunda mevcut kolon bulunmaması durumunda Bölüm 4.3'e göre perde uç bölgesi oluşturulacaktır. Perde ucunda mevcut kolon bulunması durumunda mevcut kolondan uç bölgesi olarak yararlanılabilir (TBDY 2018).

4.3. Perde Uç Bölgelerinde Donatı Koşulları

Bölüm 4.4'te tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerinin her birinde toplam düşey donatı alanının perde brüt en kesit alanına oranı en az 0,002 olacaktır. Bu yüksekliğin dışında bu oran 0,001'den daha az olmayacaktır. Perde uç bölgesinin geometrisinde ve donatısındaki geçiş, üç kat boyunca kademeli olarak yapılacaktır. Ayrıca, perde uç bölgelerinin her birinde boyuna donatı miktarı 4Ø14 'ten az olmayacaktır. Perde uç bölgelerinde boyuna donatı oranı 0,03'ü (bindirme bölgesinde 0,06) geçmeyecektir (Şekil 4.1) (TBDY 2018).

4. TBDY 2018'E GÖRE BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN YERİNDE DÖKME BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ



Şekil 4.1. (Devam)

4.4. Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği

Temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20'den daha fazla küçüldüğü seviyeden itibaren kritik perde yüksekliği, $2l_w$ değerini aşmamak üzere, Denklem 4.5'de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak biçimde belirlenecektir (TBDY 2018).

$$2l_w \geq H_{cr} \geq \max [l_w; H_w/6] \quad (4.5)$$

4. TBDY 2018'E GÖRE BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN YERİNDE DÖKME BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Burada H_w , temel üstünden veya perdenin brüt kesit eğilme rijitliğinin yarıya indiği (plandaki uzunluğunun %20'den daha fazla küçülmesi veya kesit genişliğinin yarıdan daha fazla küçülmesi) seviyeden itibaren ölçülen perde yüksekliğidir. Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, H_w ve H_{cr} büyüklükleri zemin kat döşemesinden itibaren yukarıya doğru göz önüne alınacaktır. Bu tür binalarda kritik perde bölgesi, en az zemin katın altındaki ilk bodrum katın yüksekliği boyunca aşağıya doğru ayrıca uzatılacaktır (TBDY 2018).

Perde uç bölgelerindeki düşey donatılar, aşağıda (a), (b) ve (c)'deki kurallara uyularak, kolonlarda olduğu gibi etriyeler ve/veya çirozlardan oluşan enine donatılarla sarılacaktır (TBDY 2018).

- a. Uç bölgelerinde kullanılacak enine donatının çapı 8 mm'den küçük alınmayacaktır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay mesafe, a, etriye ve çiroz çapının 25 katından daha fazla olmayacaktır.
- b. Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için Bölüm 4.5'de Denklem 4.7'nin ikinci koşulu ile belirlenen enine donatının en az 2/3'ü konulacaktır. Düşey doğrultuda etriye ve/veya çiroz aralığı 150 mm'den daha büyük, 50 mm'den daha küçük alınmayacaktır (Şekil 4.1). Bu aralık boyuna donatı çapının 6 katı ve perde kalınlığının 1/3'ünden fazla olmayacaktır. Perde uç bölgesindeki enine donatılar temelin içinde, 300 mm'den ve perde kalınlığından küçük olmayan bir yükseklik boyunca devam ettirilecektir.
- c. Kritik perde yüksekliğinin dışında kalan perde uç bölgelerinde düşey doğrultudaki etriye ve/veya çiroz aralığı, perde kalınlığından ve 200 mm'den daha büyük alınmayacaktır (Şekil 4.1).

4.5. Kolonlarda Sarılma Bölgesi

Her bir kolonun alt ve üst uçlarında özel sarılma bölgeleri oluşturulacaktır. Sarılma bölgelerinin her birinin uzunluğu, döşeme üst kotundan yukarıya doğru veya kolona bağlanan yüksekliği en büyük kirişin alt yüzünden başlayarak aşağıya doğru ölçülmek üzere, kolon serbest yüksekliğinin 1/6'sından, kolon en büyük kesit boyutunun 1. katından ve 500 mm'den, daha küçük olmayacaktır. Konsol kolonlarda sarılma bölgesi kolon alt ucunda oluşturulacak ve uzunluğu kolon büyük boyutunun iki katından daha küçük alınmayacaktır. Sarılma bölgelerinde kullanılacak enine donatıya ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir. Bu donatılar temelin içinde kolonun minimum boyutundan küçük olmayan bir yükseklik boyunca devam ettirilecektir. Ancak, çanak temellere mesnetlenen kolonlarda, sarılma bölgesindeki enine donatı çanak yüksekliği boyunca devam ettirilecektir.

a. Sarılma bölgelerinde Ø8'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacaktır. Bu bölgede, boyuna doğrultudaki etriye ve çiroz aralığı en küçük kesit boyutunun 1/3'ünden, 150 mm'den daha büyük, boyuna donatı çapının altı katından daha büyük, 50 mm'den daha küçük olmayacaktır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay mesafe, a , etriye çapının 25 katından daha büyük alınmayacaktır. Sürekli dairesel spirallerin adımı, göbek çapının 1/5'inden ve 80 mm'den daha büyük olmayacaktır. Dairesel kolonlarda tüm sargı donatısı çevreye yerleştirilen çembersel enine donatı ile sağlanacaktır.

b. Etriyeli kolonlarda;

$$N_d > 0,20 A_c f_{ck} \text{ (basınç)} \quad (4.6)$$

olması durumunda sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı, Denklem (4.7)'de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak şekilde hesaplanacaktır. Bu hesapta kolonun çekirdek boyutu b_k , her iki doğrultu için ayrı ayrı göz önüne alınacaktır (Şekil 4.2) (TBDY 2018).

4. TBDY 2018'E GÖRE BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN YERİNDE DÖKME BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

$$A_{sh} \geq 0,3 s b_k [(A_c / A_{ck}) - 1] (f_{ck} / f_{ywk}) \quad (4.7)$$

$$A_{sh} \geq 0,075 s b_k (f_{ck} / f_{ywk})$$

- c. Dairesel donatılı kolonlarda $N_d > 0,20 A_c f_{ck}$ (basınç) olması durumunda sarılma bölgelerindeki enine donatının minimum hacimsel oranı, Denklem 4.8'deki koşulların elverişsiz olanını sağlayacak şekilde hesaplanacaktır.

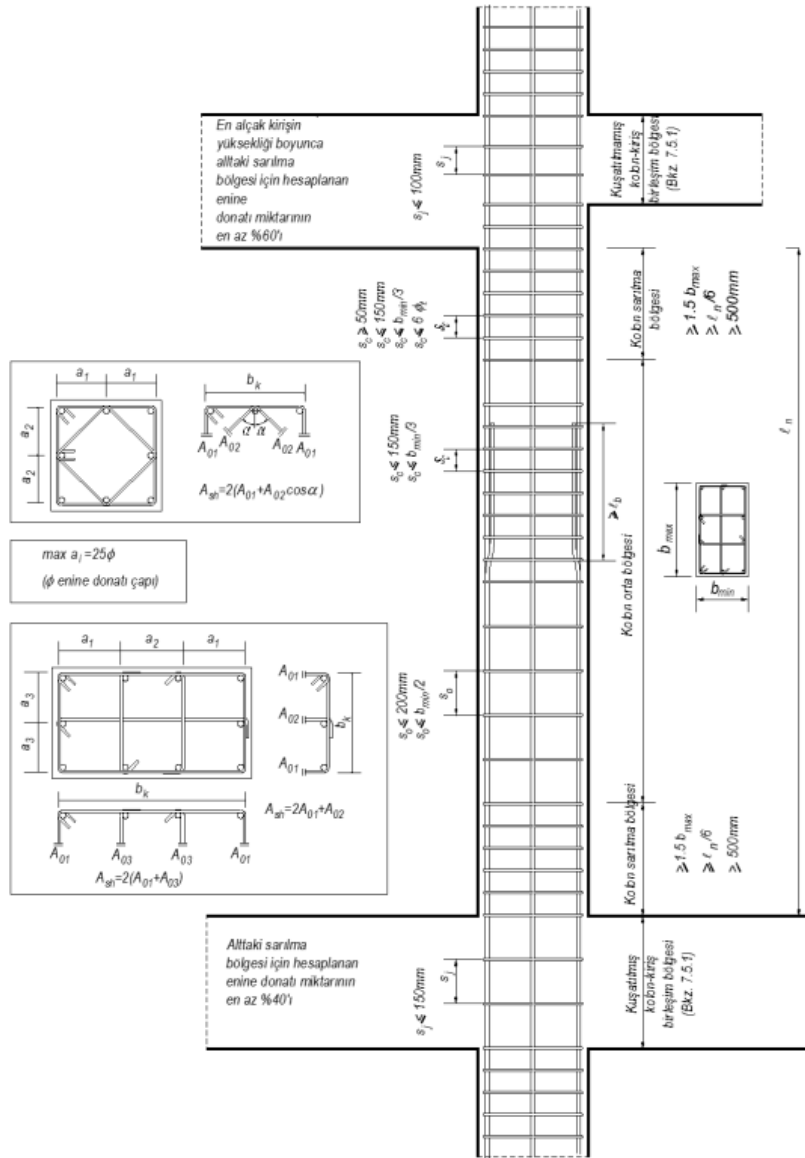
$$\rho_s \geq 0,45 [(A_c / A_{ck}) - 1] (f_{ck} / f_{ywk}) \quad (4.8)$$

$$\rho_s \geq 0,12 (f_{ck} / f_{ywk})$$

- d. $N_d \leq 0,20 A_c f_{ck}$ olması durumunda, kolon sarılma bölgelerinde Denklem 4.7 ve Denklem 4.8 ile verilen enine donatıların en az 2/3'ü, minimum enine donatı olarak kullanılacaktır.

Kolon orta bölgesi, kolonun alt ve üst uçlarında tanımlanan sarılma bölgeleri arasında kalan bölgedir (Şekil 4.2). Kolon orta bölgesinde Ø8'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacaktır. Kolon boyunca etriye, çiroz veya spiral aralığı, en küçük enkesit boyutunun yarısından ve 200 mm'den daha büyük alınmayacaktır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay mesafe, a, etriye çapının 25 katından daha fazla olmayacaktır.

4. TBDY 2018'E GÖRE BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN YERİNDE DÖKME BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ



Şekil 4.2. Etriyeli kolonlarda sarılma bölgeleri (TBDY 2018)

Perde ucunda mevcut kolon bulunması durumunda mevcut kolondan uç bölgesi olarak yararlanılabilir. Gerekli durumlarda mevcut kolon Bölüm 4.6'ya göre büyütülerek veya mevcut kolona bitişik perde içinde kolon düzenlenerek perde uç bölgesi oluşturulacaktır. Her iki durumda da perde uç bölgesine eklenecek düşey donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanacaktır (TBDY 2018).

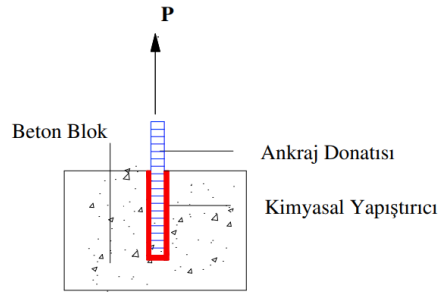
4.6. Kolonların Eğilme Kapasitesinin Artırılması

Kolonların eğilme kapasitesini arttırmak için kolon kesitleri büyütülebilir. Bu işlem aynı zamanda kolonun kesme ve basınç kuvveti kapasitelerini de artırır. Büyütülen kolona eklenen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanacaktır. Boyuna donatılar kat döşemelerinde açılan deliklerden geçirilecektir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kirişler delinerek veya kirişlere ankraj yapılarak gerekli enine donatı konulacaktır. Kolonun büyütülen kesiti Bölüm 4.5'e göre enine donatı ile sarılacaktır. Büyütülen kolon kesitinin beton örtüsü, eklenen düşey ve yatay donatıyı örtmek için yeterli kalınlıkta olacaktır. Yeni ve eski betonun aderansının sağlanması için mevcut kolonun yüzeyindeki sıva tabakası sıyrılacak ve beton yüzeyleri pürüzlendirilecektir. Büyütülmüş kolon kesitinin eğilme, kesme, basınç dayanımının ve eğilme rijitliğinin hesabında brüt kesit boyutları ve eklenen kesit betonunun tasarım özellikleri esas alınacak, ancak elde edilen rijitlik ve dayanımlar 0,9 ile çarpılarak azaltılacaktır.

5. ANKRAJLAR

5.1. Kimyasal Ankrajlar

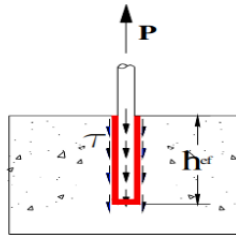
Betonarme binaların güçlendirilmesinde uygulanan kimyasal ankrajlar; ankraj donatısı, taban betonu ve kimyasal yapıştırıcı olmak üzere üç temel bileşenden meydana gelirler (Şekil 5.1). Kimyasal ankrajlarda; sertleşmiş mevcut betona delici uçlu alet yardımıyla açılan deliğe doldurulan kimyasalın ara yüzde oluşturduğu yapışma yardımıyla ankraj donatısının beton ile birlikte çalışması sağlanır (Gürbüz 2007).



Şekil 5.1. Kimyasal ankraj bileşenleri (Gürbüz 2007)

5.2. Kimyasal Ankrajlarda Yük Aktarımı

Kimyasal ankrajlarda donatı ile betonun arayüzünde bulunan kimyasal yapıştırıcı donatının betona tutunmasını sağlamaktadır. Ankrajlar üzerlerindeki çekme yüklerini monte edildikleri betona ankrajın bağlı derinliği boyunca oluşan aderans gerilmeleri vasıtasıyla aktarırlar (Şekil 5.2). Kimyasal ankrajlarda, donatı-epoksi arayüzündeki veya beton-epoksi ara yüzündeki tutunmayı sağlayan kayma gerilmelerine aderans denir (Gürbüz 2007).



Şekil 5.2. Ankraj derinliği boyunca oluşan gerilmeler (Gürbüz 2007)

5.3. Kimyasal Ankraj Davranışını Etkileyen Parametreler

Ankrajlarla ilgili yapılan incelemeler sonucu ankraj dayanımını etkileyen diğer faktörler şunlardır;

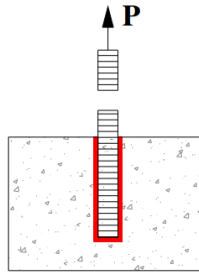
- Ankraj çubuğunun dayanımı (çekme dayanımı): Kimyasal ankraj çekme kapasitesine ankraj çubuğunun kopması veya akması nedeniyle ulaşıyorsa ankraj çubuğunun çekme dayanımı ankraj kapasitesini etkilemektedir.
- Taban betonu basınç dayanımı: Ankrajlardaki betonun dayanımındaki artış oluşan bağ kuvvetini artırır.
- Taban betonunun çekme dayanımı: Kimyasal ankraj çekme kapasitesine betonda oluşan göçme nedeniyle ulaşıyorsa betonun çekme dayanımı ankraj kapasitesini etkilemektedir.
- Kimyasal yapıştırıcının türü ve özellikleri: Kimyasal ankrajlarda oluşan yapışma dayanımı kullanılan kimyasala bağlıdır. Her kimyasalın farklı yapışma dayanımı vardır (vinylester, epoksi). Kullanılan yapıştırıcının betona yapışma dayanımı, çeliğe yapışma dayanımı ve mekanik özellikleri (çekme ve basınç dayanımları) ankraj performansını etkilemektedir.
- Ankraj derinliği: Ankraj derinliği arttıkça ankrajın kapasitesi artmaktadır
- Ankraj çubuğu çapı: Ankraj çapının artması aderans gerilmelerinin olduğu yüzey alanının artmasını veya azalmasını sağlayarak, ankraj kapasitesini etkilemektedir.
- Ankraj delik çapı: Kimyasal yapıştırıcı ile beton ara yüzeyinin genişlemesini sağlar ve bu yüzeyde oluşan bağ gerilmelerini ve ankraj kapasitesini etkiler.
- Ankrajın serbest kenardan olan uzaklığı: Ankraj serbest kenara yakın ise taban betonunun çatlayarak yarılması nedeniyle göçme oluşabilir.

- Ankraj arası mesafe: Ankraj eksenel çekme altında betonda oluşan göçme nedeniyle kapasitesine erişiyorsa betonda oluşan çatlaklar yanındaki komşu ankrajların kapasitelerini de etkileyecektir.
- Yükleme tipi ve hızı: Ankrajların kapasiteleri çekme, kesme ve eğilme etkileri altında farklıdır. Yüklemenin statik veya dinamik olması da kapasiteleri değiştirmektedir (Gürbüz 2007).

5.4. Kimyasal Ankrajlarda Çekme Etkisi Altında Oluşan Göçme Tipleri

Beton sınıfına, kullanılan kimyasal tipine, ankraj geometrisine ve ankraj donatısı dayanımına bağlı olarak ankraj çekip çıkarma deneylerinde farklı göçme modlarına rastlanmaktadır. Ankrajların eksenel çekme etkisinde davranışları incelendiğinde 5 farklı göçme tipi gözlemlenmektedir;

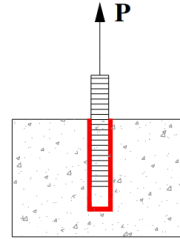
1. Ankraj Çubuğunun Akması, Kopması: Bu tür göçmeye beton ve kimyasal yapıştırıcı kalitesi yüksek olan derin ankrajlarda rastlanmaktadır. Ankraj donatısının kopması şeklinde oluşan göçme tipi ise yapılan ankrajın taşıyabileceği maksimum yüke karşılık gelir. Bu tip göçmenin oluşabilmesi için ankraj donatısının çekme dayanımı ankrajın bağlı bulunduğu ankraj derinliği boyunca oluşan aderans dayanımından küçük olmalıdır. Bu göçme tipi ile kapasitesine erişen ankrajlar oldukça sünek davranış gösterirler (Şekil 5.3) (Gürbüz 2007).



Şekil 5.3. Ankraj donatısının kopması (Gürbüz 2007)

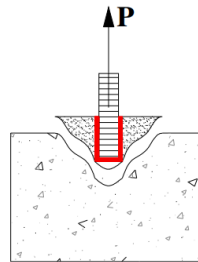
2. Ankraj Çubuğunun Sıyrılması: Ankraj donatısının ankraj deliğinden sıyrılarak çıkmasıdır. Kimyasal ankrajlar, ankraj derinliğinde oluşan yapışma dayanımının sona

ermesi ile sıyrılmaya başlarlar. Bu göçme tipi yapışma dayanımı düşük olan kimyasalların kullanılması ya da ankraj uygulaması esnasında yapılan hatalar (yüzey temizliğinin yapılmaması, eksik kür uygulanması) sonucu kimyasalın yapışma dayanımını tam olarak kazanamamasından kaynaklanabilir (Şekil 5.4) (Gürbüz 2007).



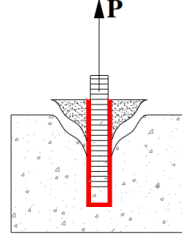
Şekil 5.4. Ankraj donatısının sıyrılmaya başlaması (Gürbüz 2007)

3. Betonun Konik Kopması: Eksenel çekim esnasında betonda oluşan çekme gerilmelerinin beton çekme dayanımını aşması sonucu ankraj betonun konik olarak kırılmasına yol açar. Tam konik göçme modu yeterince sık ankraj derinliklerinde oluşur (yaklaşık olarak derinliği 75 mm'den az olan ankrajlarda). Daha önce yapılan çalışmalarda oluşan koni hacminin betonun çekme dayanımıyla ilişkisi ortaya konulmuştur. Beton dayanımı düştükçe koni derinliği artmakta, ankraj dayanımı azalmaktadır (Şekil 5.5) (Gürbüz 2007).



Şekil 5.5. Betonun konik kopması (Gürbüz 2007)

4. Koni ile Sıyrılmaya Birlikte Oluşması: Cook yaptığı çalışmada ankraj derinliği 50-75 mm'den derin olan ankrajlarda beton konisi ile sıyrılmaya birlikte oluştuğunu göstermiştir (Şekil 5.6) (Gürbüz 2007).



Şekil 5.6. Betonun konik kopması ile donatının sıyrılmasının birlikte olması (Gürbüz 2007).

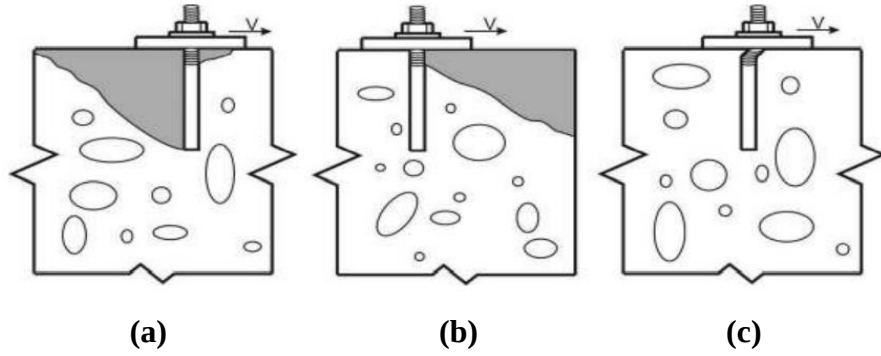
5. Betonun Yarılması: Beton yarılması taban elemanının derinliğinin sığ olduğu durumlarda ve serbest kenara yakın ekilen ankrajlarda meydana gelir. Bu göçme tipinde uygulanan aksenal yük altında taban betonunda kılcal çatlaklar oluşmaya başlar. Uygulanan yük arttıkça yükleme düzeneğinin taban betonuna bastığı iki yüzey arasındaki kılcal çatlakların genişleyerek serbest kenara doğru ilerlemesi sonucu yarılma oluşur (Şekil 5.7) (Gürbüz 2007).



Şekil 5.7. Betonun yarılması (Gürbüz 2007)

5.5. Kesme Kuvvetinde Kimyasal Ankraj Göçme Tipleri

Ankraj kesme kapasitesine erişildiği nihai durum için 3 farklı göçme modu tanımlamaktadır: kenar bölgede beton kırılması, ara bölgelerde beton kırılması ve çelik hasarı şeklinde. Bu göçme modları Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Ankraj donatısının kenara yakın olduğu durumlarda veya beton dayanımının düşük ve ankraj çapının büyük olduğu durumlarda, beton kırılmasına ait kapasitelerin ankraj dayanımını belirlediği, kenara uzak ankrajlarda ise donatının dayanım üzerinde etkili olduğu genel olarak ifade edilebilir (Çalışkan 2010).



Şekil 5.8. (a) Ara bölgede beton kırılması (b) Kenarda beton kırılması (c) Çelik donatı hasarı (Çalışkan 2010).

Bölüm 5.6’da ankraj tasarım hesabı için TS500 ve ACI-318’e göre hesap detaylarıyla ilgili bilgi verilmiştir.

5.6. TS500’e Göre Ankraj Tasarım Hesabı

TS500’e göre ankraj kesme dayanımının belirlenmesi durumunda sadece donatının göçme şeklini dikkate alan bir formülasyon görülmektedir. Tekil ankrajın kesme kapasitesinin (V_r) belirlenmesi için TS500 formülü Denklem 5.1’de verilmiştir (Çalışkan 2010).

$$V_r = A_s f_{yd} \mu \quad (5.1)$$

μ değeri sürtünme yüzeyinin pürüzlülük durumuna göre değişen bir katsayı, A_s kesmeye çalışan donatı alanı (mm^2) f_{yd} donatıların akma dayanımı (N/mm^2) ifade etmektedir (Çalışkan 2010).

Burada sürtünme katsayısının alabileceği en küçük değer 0,6 olarak verilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada $\mu=0,6$ kullanılarak TS500’e göre ankraj kapasiteleri belirlenmiştir. Malzeme katsayıları kullanılarak belirlenen bu dayanım değeri tasarım dayanımına karşılık gelmektedir (Çalışkan 2010).

5.7. ACI-318'E Göre Ankraj Tasarım Hesabı

Betonarme yapıların güçlendirilmesinde en çok uygulanan yöntem betonarme çerçeve aralıklarına betonarme perde duvar yerleştirilmesidir. Bu yöntemin bir gereksinimi perde duvar ile mevcut çerçeve arasında kuvvet aktarımıdır. Perde duvardan çerçeveye ya da mevcut yapının diğer bölümlerinden perde duvara kesme kuvveti aktarılmasıdır. Bu işlem ankrajla yapılmaktadır. Ankraj epoksi özel malzemelerle dayanımı ne kadar olursa olsun, betona tam olarak yapışmaktadır. Mevcut betonun bir parçası olmaktadır. Ankraj kesme kuvveti aktarmaktadır ve yeterli kesme kuvveti taşıma gücünde olmalıdır. Ankrajların “yeterli kesme kuvveti taşıma gücünün” en çok perde duvarın kesme kuvveti taşıma gücü kadar olması gerekir. Bu perdenin verimli olması için gereklidir. Ankraj tasarımını belirleyen iki durum vardır (Bayülke 2006).

- Ankraj donatısı kesmeden kopabilir. Beton basınç dayanımı yeterli bir düzeydedir. Donatı betonun içine yeterli bir derinlikte gömülmüştür. Bu koşullarda donatının kopma dayanımı ankrajın taşıma gücünü belirler (Bayülke 2006).
- Eğer mevcut yapı elemanlarının beton dayanımı “çok düşük” ise donatı betonun içine “çok” derin de gömülmüş olsa da ankrajın taşıyabileceği kesme kuvvetini belirleyen betonun kesmeden kırılma taşıma gücüdür (Bayülke 2006).

5.7.1. Ankrajda çekme kuvveti için tasarım gereksinimleri

5.7.1.1. Ankrajın kopması

Ankraj çekme taşıma gücüne donatının kopmasıyla ulaşılacaksa;

$$N_{sa} = A_{se,N} f_{uta} \quad (5.2)$$

$A_{se,N}$ = Çekme kuvvetine maruz kalan ankrajın en kesit alanı

$f_{uta} = 1,9f_{ya}$ olacak şekilde belirlenmiştir. Bu seçim bazı tür yüksek dayanımlı donatılarda belirgin bir akma noktası olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu koşulda normal inşaat demirinden yapılan ankrajlarda DBYBHY (2007) madde 3.2.5.3 uyarınca $1,15 f_y$ (donatının izin verilen kopma dayanımı) kullanılması ACI hesap yaklaşımına uygun düşmektedir (Bayülke 2006). f_{ya} = Ankraj donatısının akma gerilmesi veya akma dayanımıdır.

5.7.1.2. Betonun kopması

Çekme kuvveti altında ankrajın taşıma gücünü belirleyen betonun kopması ile dayanım;

Bir grup ankraj için;

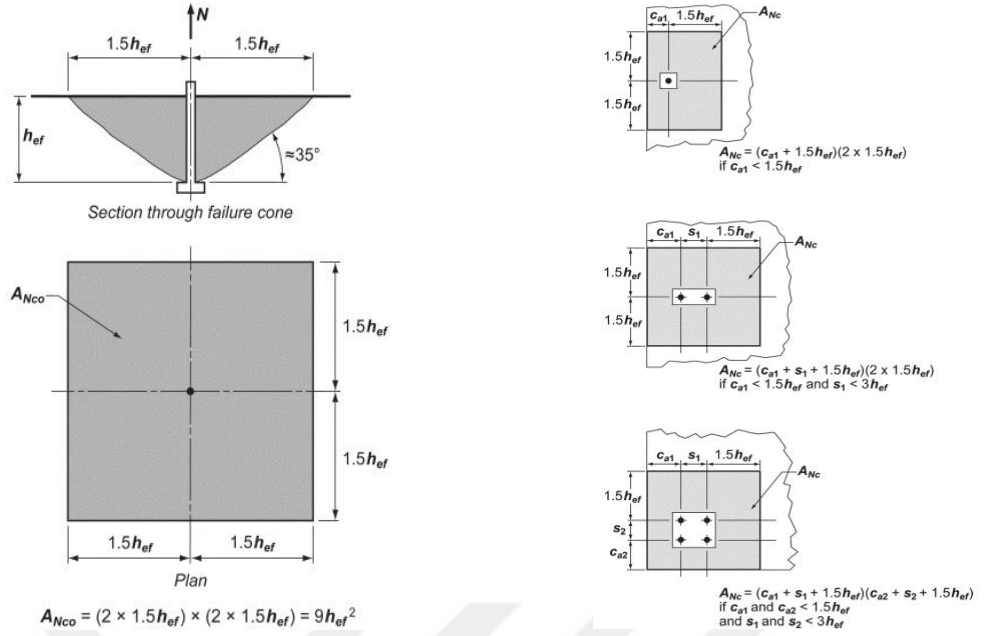
$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (5.3)$$

A_{Nco} = Tek bir ankrajın kopartacağı beton piramidin beton yüzeydeki izdüşüm alanı

$$A_{Nco} = 9.h_{ef}^2 \quad (5.4)$$

h_{ef} = Ankrajın gömülme derinliği

A_{Nc} = Bir ankraj grubunun toplam beton kopma alanı izdüşümü



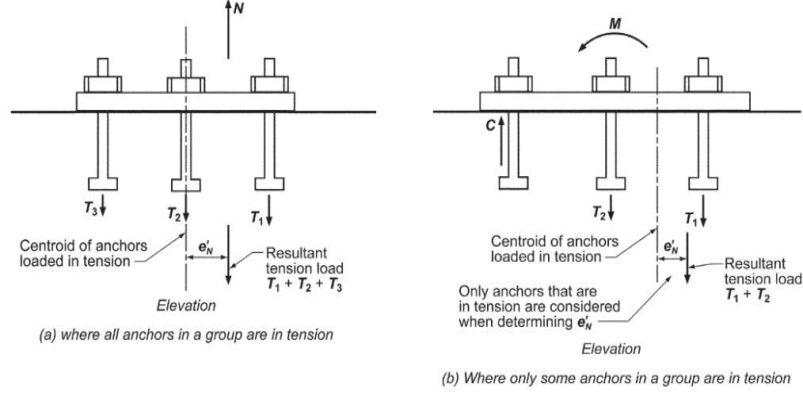
Şekil 5.9. A_{NCO} 'ın hesaplanması, grup ankrajlar için A_{NC} 'nin hesaplanması (ACI-318)

Başlı saplamlar, başlı cıvatalar, geniş ankrajlar ve alttan kesme ankrajlar için kenara olan kritik mesafe $1,5h_{ef}$ 'dir (Şekil 5.9).

Eksantrik gerilimde yüklenen ankraj grupları için değişiklik faktörü $\psi_{ec,N}$ aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{e'_N}{3h_{ef}}\right)} \quad (5.5)$$

$\psi_{ec,N} = 1$ alınacaktır. Bir ankraj grubunun yüklenmesi durumunda sadece bazı ankrajlar gerilme altındaysa ve yükleme sonucunda eksantrite oluşuyorsa; sadece gerilme altında olan ankrajların kullanımı için Denklem 5.5'deki e'_N eksantriklik belirlenirken dikkate alınır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Ankraj grupları için e'_N 'nin tanımlanması (ACI-318)

Çekme altındaki ankrajların betonun serbest yüzüne yakınlığına bağlı değişiklik faktörü $\psi_{ed,N}$;

$$C_{a,min} \geq 1,5 h_{ef} \text{ olursa } \psi_{ed,N} = 1 \quad (5.6)$$

$$C_{a,min} < 1,5 h_{ef} \text{ olursa } \psi_{ed,N} = 0,7 + 0,3 \frac{C_{a,min}}{1,5 h_{ef}} \quad (5.7)$$

Tam bir koparma prizması için yeterli alan geliştirilebilsin diye ankraj bir kenara çok yakın konumlandırılırsa ankrajın gücü A_{No}/A_{Nco} 'da yansıyandan daha da azalır. En küçük kenar mesafesi $1,5h_{ef}$ 'e eşit veya daha büyükse tam bir prizma oluşabilir ve azalma yoktur ($\psi_{ed,N} = 1$). Eğer kenar mesafesi $1,5h_{ef}$ 'den daha küçükse $\psi_{ed,N}$ faktörünün kenar etkileri için ayarlanması gerekir.

$\psi_{c,N}$ donatının ankraj yapıldığı beton ortamının çatlak durumuna bağlıdır. Analiz servis yükü seviyesinde çatlama olmadığını gösteren bir beton bölgesindeki ankrajlar için, aşağıdaki değişiklik faktörlerine izin verilecektir.

$$\psi_{c,N} = 1,25 \text{ (Dökme ankrajlar için)}$$

$$\psi_{c,N} = 1,4 \text{ (Sonradan monte edilen ankrajlar için)}$$

$\psi_{c,N}$ faktörü beton çatlamadığında uygulanır (dökme ankrajlar için 1,25 ve sonradan monte edilen ankrajlar için 1,4). Analiz servis yükü seviyelerinde çatlama

5. ANKRAJLAR

görüldüğünden, $\psi_{c,N}$ hem dökme hem de sonradan monte edilen ankrajlar için 1 alınacaktır.

$\psi_{cp,N}$ kritik mesafe c_{ac} kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$c_{a,min} \geq c_{ac} \text{ olursa } \psi_{cp,N} = 1 \quad (5.8)$$

$$c_{a,min} \leq c_{ac} \text{ olursa } \psi_{cp,N} = \frac{c_{a,min}}{c_{ac}} \quad (5.9)$$

Kritik kenar mesafesi c_{ac} aşağıdaki durumlardan daha az alınmayacaktır.

Yapışkan ankraj	$2xh_{ef}$
Alttan kesilmiş ankraj	$2,5xh_{ef}$

Ankrajların çekme taşıma gücü N_b ;

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f_c'} h_{ef}^{1,5} \quad (5.10)$$

Alternatif olarak h_{ef} 'in 11 inç (28 cm) olduğu durumlarda $h_{ef}^{1,5}$ değerinin çok fazla olacağı test sonuçlarıyla görülmüştür. Bu yüzden $h_{ef}^{5/3}$ 'ün uygun sonuçlar verdiği ve N_b formülünün bu şekilde düzenlenmesinin uygun olacağı belirtilmiştir (ACI-318).

$$N_b = 16 \lambda_a \sqrt{f_c'} h_{ef}^{5/3} \quad (5.11)$$

k_c = Çekme kuvvetinde temel beton kopma mukavemeti için katsayı.

k_c = Dökme ankrajlar için 24, sonradan monte edilenler için 17'dir.

λ_a = Değişiklik faktörü

Hafif beton için değişiklik faktörü (λ_a);

- Dökme ankraj ve alttan kesme ankraj beton kopması = 1 λ
- Genişlemiş ve yapıştırma ankraj beton kopması = 0,8 λ

şeklinde tanımlanır.

Değişiklik faktörü λ ise normal betonlar için 1 alınır.

λ = Aynı basınç kuvvetinin normal ağırlıklı betona göre hafif betonun azaltılmış mekanik özelliklerini yansıtmak için kullanılan değişiklik faktörü

λ_a = Belli beton ankraj uygulamalarında hafif betonun azaltılmış mekanik özelliklerini yansıtmak için kullanılan değişiklik faktörü

ϕ = Betondaki ankrajlar için mukavemet azaltma faktörüdür. Tüm durumlar için yapılan deney sonuçlarına göre $\phi=0,7$ alınır.

5.7.2. Ankrajda kesme kuvveti yükleme için tasarım gereksinimleri

5.7.2.1. Kesme kuvvetinde ankrajın çelik dayanımı

Ankraj donatısının kesme kuvveti taşıma gücü;

(a) Dökme başlı saplama ankraj için;

$$V_{sa} = A_{se,V} f_{uta} \quad (5.12)$$

$A_{se,V}$ = Kesme kuvvetinde bir ankrajın etkili kesit alanı

$$f_{uta} = 1,9 f_{ya} \quad (5.13)$$

(b) Dökme başlı ve kancalı cıvata ankrajları ve sonradan takılan ankrajlar için;

$$V_{sa} = 0,6 A_{se,V} f_{uta} \quad (5.14)$$

Elde edilen V_{sa} ankraj donatısının kesme kuvveti taşıma gücü değerinde $\phi=0,7$ ile çarpılarak azalmaya gidilir ve formül şu şekilde düzenlenir.

$$V_{sa} = 0,42 A_{se,V} f_{uta} \quad (5.15)$$

5.7.2.2. Kesme kuvvetinde ankrajın beton kopma mukavemeti

Eğer ankrajın yapıldığı betonun dayanımı düşük ve beton çatlaklı ise kesme etkisi altında ankraj demirinin kesilmesinden önce, ankrajın çevresindeki betonun kırılması kopması ya da ezilmesi ile ankrajın kesme kuvveti taşıma gücüne ulaşılabilir (Bayülke 2006).

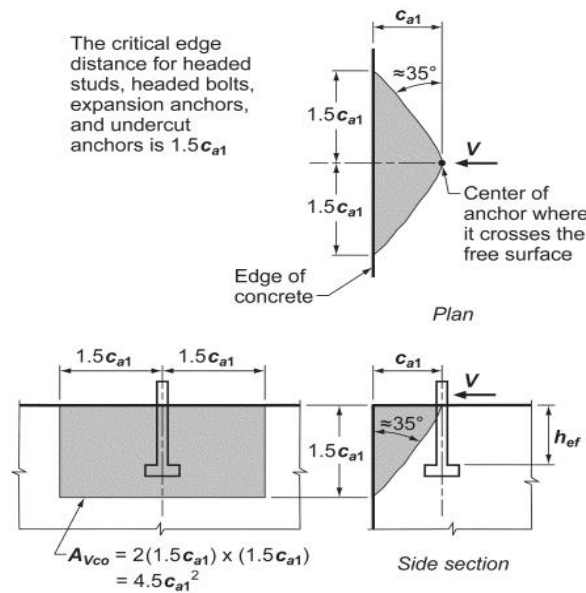
Betonda kesme kırılmasına bağlı kesme kuvveti taşıma gücü;

$$V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \psi_{ec,V} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} \psi_{h,V} V_b \quad (5.16)$$

$$A_{Vco} = 4,5 (c_{a1})^2 \quad (5.17)$$

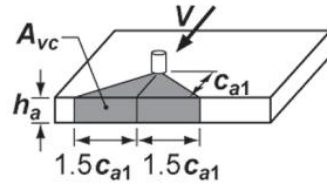
A_{Vc} = Kırılma yüzeyinin betonarme elemanın kesme kuvvetinin etkidiği dış yüzüne izdüşümü (Şekil 5.12).

A_{Vco} = Kırılma yüzeyinin betonarme elemanın kesme kuvvetinin etkidiği yöne dik yüzüne izdüşümü (Şekil 5.11).

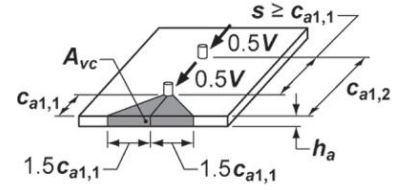


Şekil 5.11. A_{Vco} 'ın hesaplanması

If $h_a < 1.5c_{a1}$



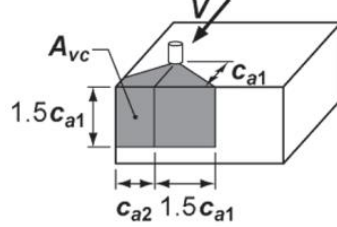
$$A_{vc} = 2(1.5c_{a1})h_a$$



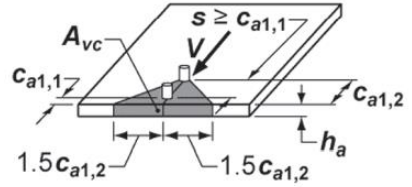
$$A_{vc} = 2(1.5c_{a1,1})h_a$$

If $h_a < 1.5c_{a1}$

If $c_{a2} < 1.5c_{a1}$



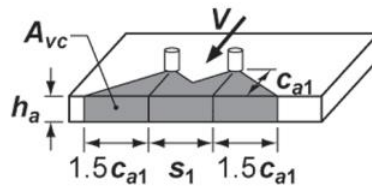
$$A_{vc} = 1.5c_{a1}(1.5c_{a1} + c_{a2})$$



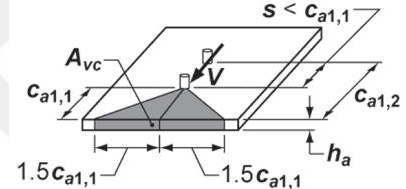
$$A_{vc} = 2(1.5c_{a1,2})h_a$$

If $h_a < 1.5c_{a1}$

If $h_a < 1.5c_{a1}$ and $s_1 < 3c_{a1}$



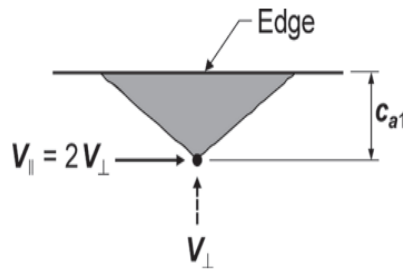
$$A_{vc} = [2(1.5c_{a1}) + s_1]h_a$$



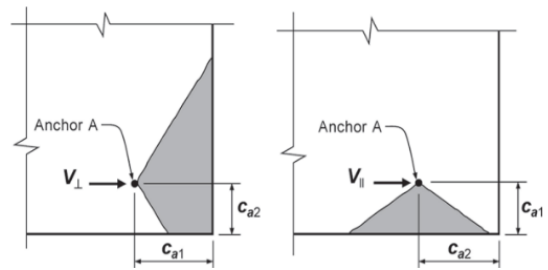
$$A_{vc} = 2(1.5c_{a1,1})h_a$$

If $h_a < 1.5c_{a1}$

Şekil 5.12. Tek ve grup ankrajlar için A_{vc} 'nin hesaplanması



(a)



(b)

Şekil 5.13. (a) Bir kenara paralel kesme kuvveti (b) Köşeye yakın kesme kuvveti

Eksantrik gerilimde yüklenen ankraj grupları için değişiklik faktörü $\psi_{ec,V}$ aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{\left(1 + \frac{e'_N}{3h_{ef}}\right)} \quad (5.18)$$

$\psi_{ec,V} = 1$ alınacaktır. Bir ankraj grubunun yüklenmesi durumunda sadece bazı ankrajlar gerilme altındaysa ve yükleme sonucunda eksantrite oluşuyorsa; sadece gerilme altında olan ankrajların kullanımı için Denklem 5.18 'deki e'_N eksantriklik belirlenirken dikkate alınır.

Çekme altındaki ankrajların betonun serbest yüzüne yakınlığına bağlı değişiklik faktörü $\psi_{ed,V}$;

$$C_{a,min} \geq 1,5 h_{ef} \text{ olursa } \psi_{ed,V} = 1 \quad (5.19)$$

$$C_{a,min} < 1,5 h_{ef} \text{ olursa } \psi_{ed,V} = 0,7 + 0,3 \frac{C_{a,min}}{1,5 h_{ef}} \quad (5.20)$$

Tam bir koparma prizması için yeterli alan geliştirilebilsin diye ankraj bir kenara çok yakın konumlandırılırsa ankrajın gücü A_{No}/A_{Nco} 'da yansıyandan daha da azalır. En küçük kenar mesafesi $1,5h_{ef}$ 'e eşit veya daha büyükse tam bir prizma oluşabilir ve azalma yoktur ($\psi_{ed,V} = 1$). Eğer kenar mesafesi $1,5h_{ef}$ 'den daha küçükse $\psi_{ed,V}$ faktörünün kenar etkileri için ayarlanması gerekir.

$\psi_{c,V}$ donatının ankraj yapıldığı beton ortamının çatlak durumuna bağlı bir katsayıdır. Eğer çatlak yoksa bu katsayı 1,4 olmaktadır. Güçlendirilecek yapıda kirişin alt yüzeyindeki eğilme momenti etkisi altında çekme bölgesindeki beton çok büyük bir olasılıkla çatlaklıdır. Ancak burada kesme etkisi ile kırılacak beton parçasını kesen enine ve boyuna donatılar varsa, $\psi_{c,V}$,bu durum göz önüne alınarak seçilmektedir. Bu durumda da ψ 7; 1,0 ile 1,4 arasında değişmektedir (Bayülke 2006).

- $\psi_{c,V} = 1$ betonun çatlaklı olduğu ve ek donatının olmadığı ya da kenar donatılarının çapının 12 mm den az olduğu durumlarda
- $\psi_{c,V} = 1,2$ betonun çatlaklı olduğu ek donatının bulunduğu ya da kenar donatı çapının 12 mm den büyük olduğu durumlarda

- $\psi_{c,V} = 1,4$ bir önceki koşula ek olarak 10 cm ara ile etriyelerin bulunduğu çatlaklı kesitlerde geçerlidir. Türkiye’deki betonarme yapıların kiriş beton dayanımı (çatlaklı kesit) ve donatı ayrıntıları (çok seyrek aralıklı etriyeler ve Ø12 mm çapında kiriş boyuna donatıları) göz önünde tutulursa güçlendirilecek yapılarda $\psi_{c,V} = 1,0$ alınması daha gerçekçi ve güvenli tarafta olacaktır.

Türkiye’deki betonarme yapıların kiriş beton dayanımı (çatlaklı kesit) ve donatı ayrıntıları (çok seyrek aralıklı etriyeler ve Ø12 mm çapında kiriş boyuna donatıları) göz önünde tutulursa güçlendirilecek yapılarda $\psi_{c,V} = 1,0$ alınması daha gerçekçi ve güvenli tarafta olacaktır (Bayülke 2006).

Çatlaklı betonda tek bir ankrajın kesmede temel beton kopma mukavemeti V_b ;

$$V_b = 7 \left(\left(\frac{\ell_e}{d_a} \right)^{0,2} \sqrt{d_a} \right) \kappa_a \sqrt{d_a} \sqrt{f'_c} (c_{a1})^{1,5} \quad (5.21)$$

ℓ_e = Kesme kuvveti için ankrajın yük taşıma uzunluğu

c_{a1} = Ankraj ile serbest yüz arasındaki uzaklık

$\ell_e = 2d_a$ olur ve tüm durumlarda $\ell_e \leq 8d_a$ olur.

f'_c = Beton basınç dayanımı. Betonun kesme dayanımı basınç dayanımının karekökü kadar olmaktadır.

d_a = Ankraj çapı

$\psi_{h,V} = 1$ olarak alınır.

6. MEVCUT YAPININ DURUMU

60. Yıl İlkokulu (Yeni Bina) ana bina ve mevcut yangın merdiveni olmak üzere bitişik nizam 1 dilatasyon 2 bloklu Zemin + 2 normal kat olmak üzere toplamda 3 kattan oluşan betonarme karkas yapıda deprem perdeleri bulunmaktadır. Yapıların döşeme sistemi 12 cm kalınlığında betonarme kirişli döşemeden teşkil edilmiştir. Yapının temel sisteminin sürekli temellerden teşkil edildiği gözlenmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Mevcut okul binası

Yapıda röleve, hasar tespit çalışmaları, hasarlı ve hasarsız donatı tespitleri, sondajlı jeolojik zemin etüt çalışması, beton basınç dayanımının belirlenmesi için karot numuneleri alınarak laboratuvar ortamında beton basınç dayanımları tespit edilmiştir.

Mevcut yapının statik kalıp planları ve mimari röleve planları çıkartılmıştır. İncelenen 60. Yıl İlkokulu (Yeni Bina) binası inşaat alanı yaklaşık 1.954,39 m²'dir. Binanın Türk Standartlarının öngördüğü şekilde mimari projelerdeki kullanım alanları dikkate alınarak ölü yük, hareketli yük ve deprem yükleri altında, taşıyıcı sistemlerinin mevcut durumu göz önüne alınarak bilgisayar modelleri tasarlanmıştır. Mevcut yapının taşıyıcı sistemi, elde edilen analiz sonuçları ve mevcut eleman donatıları ve dayanımları ve mevcut zemin etüt parametreleri dikkate alınarak incelenmiştir.

5.1. Yapı için Yerinde Yapılan İncelemeler ve Hasar Tespiti

Deprem etkisi altında mevcut bina sistemlerinin değerlendirilmesi için ‘*Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY18) Bölüm 15*’ esas alınmıştır.

Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak *TBDY 2018 15.2.12’de* belirtilen bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmıştır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı ve kapsamlı olarak sınıflandırılmıştır. Edinilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Sınırlı Bilgi Düzeyi’nde taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenmiştir. Sınırlı bilgi düzeyi sadece Çizelge 6.2’de tanımlanan Diğer Binalar (BKS=3) için uygulanmıştır. *Kapsamlı Bilgi Düzeyi’nde* sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Binalar için bilgi düzeyi katsayısı değerleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

TBDY 2018’de binalar için bilgi düzeyleri ve Çizelge 6.2 uyarınca incelenen binalardan edinilen bilgi düzeylerine göre eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları yapımızın bina kullanım sınıfı (BKS=1) okul binaları kapsamında olup ‘*Kapsamlı bilgi düzeyi*’ dikkate alınarak saha çalışmaları yapılmıştır.

Çizelge 6.1. Binalar için bilgi düzeyi katsayısı

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

Çizelge 6.2. Bina önem katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar A alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

6.1.1. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi

Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcut ise yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projelere uygunluğu kontrol edilir. Projeler ölçümler ile önemli farklılıklar gösteriyor ise proje yok sayılır. Proje yoksa, saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem rölevesi elde edilecektir.

Eleman Detayları: Binanın betonarme detay projeleri mevcut ise betonarme elemanlardaki donatı miktarı ve detaylarının binanın yapıldığı tarihteki minimum donatı koşullarının sağlandığı varsayılır. Bu varsayımın doğrulanması veya hangi oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi için her katta en az birer adet olmak üzere perde ve kolonların %5'inin beton örtüsü sıyrılarak donatı tespiti yapılacaktır. Donatı tespiti amacıyla her kattan bir adet kirişin beton örtüsü sıyrılacaktır. Ayrıca beton örtüsü sıyrılmayan perde ve kolonların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı perdeler, kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Betonarme projeler veya inşaat (uygulama) çizimleri mevcut değil ise, her katta en az ikişer adet olmak üzere kolonların ve perdelerin %10'unun beton örtüsü sıyrılarak donatı tespiti yapılacaktır. Sıyrılan yüzeyler daha sonra yüksek

dayanımlı tamir harcı ile kapatılacaktır. Ayrıca beton örtüsü sıyrılmayan kolon ve perdelerin %30'unda ve kirişlerin %15'inde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Kolonlardan veya perdelerden TS EN 12504-1'de belirtilen koşullara uygun şekilde zemin katta üç, diğer katlarda iki adetten az olmamak üzere ve binada toplam dokuz adetten az olmamak üzere, her 400 m² 'den bir adet beton örneği alınarak deney yapılacaktır. Uzunluğu ve anma çapı birbirine eşit ve 100 mm olan karotların deneye tabi tutulmasıyla bulunan dayanım değerleri, herhangi bir katsayı uygulanmaksızın mevcut beton dayanımının tayininde kullanılabilir. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında, örneklerden elde edilen ortalama eksi standart sapma değeri ile 0,85 çarpı ortalama değeri arasından büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır.

Kapsamlı bilgi düzeyine göre yapı mevcut özellikleri belirlenmiş; yapı, mevcut yapı özellikleri ile modellenmiş ve *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)*'e göre aşağıdaki esaslar üzerinden deprem yükleri hesaplanmıştır.

Deprem etkisinin tanımında deprem yer hareket düzeyleri için, yatay elastik tasarım spektrumu kullanılacaktır. Deprem hesabında bina önem katsayısı uygulanmayacaktır. (I=1,5) (TBDY 2018).

TBDY 2018'de tanımlanan Bina Kullanım Sınıfları'na ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı'na bağlı olarak, bu Yönetmelik'te deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), Çizelge 6.3'e göre belirlenecektir.

Çizelge 6.3. Deprem tasarım sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Deprem etkisi altında tasarımda binalar yükseklikleri bakımından sekiz Bina Yükseklik Sınıfı'na (BYS) ayrılmıştır. Bu sınıflara giren binalar için tanımlanan yükseklik aralıkları, deprem tasarım sınıflarına bağlı olarak Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları.

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

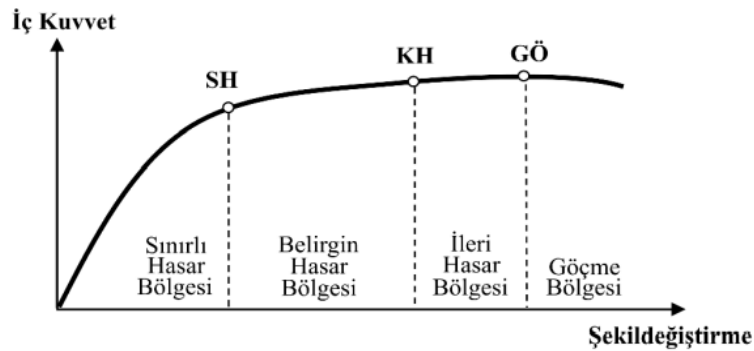
Tüm bilgiler ve toplanan veriler ışığında tasarımı yapılacak bina için yapı tipi süneklik düzeyi normal için $R=1,0$ (Mevcut eleman hesaplarında) $R=4,0$ (Güç. Yapı hesaplarında), Bina Önem Katsayısı $BKS=1$, Deprem tasarım sınıfı $DTS=1a$, Bina yükseklik sınıfı $BYS=7$ ve Bina bilgi düzeyi katsayısı ise kapsamlı bilgi düzeyi için 1,00 olarak alınmıştır.

Yapının performans durumun yorumlanması için TBDY 2018’de detaylıca açıklanan kesit hasar durumları ve yapı performans seviyeleri sonraki bölümde detaylıca açıklanmıştır.

6.1.2. Kesit hasar durumları

TBDY 2018’de kesit hasarları beklenen davranışın sünek (eğilme) ve gevrek (kesme, eksenel yük, burulma vs.) olmasına göre ayrılmaktadır. Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir. Sınırlı hasar, ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir (TBDY 2018).

Kritik kesitlerinin hasarı SH’ya ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi’nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, GÖ’yü aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde yer alırlar (TBDY 2018) (Şekil 6.2).



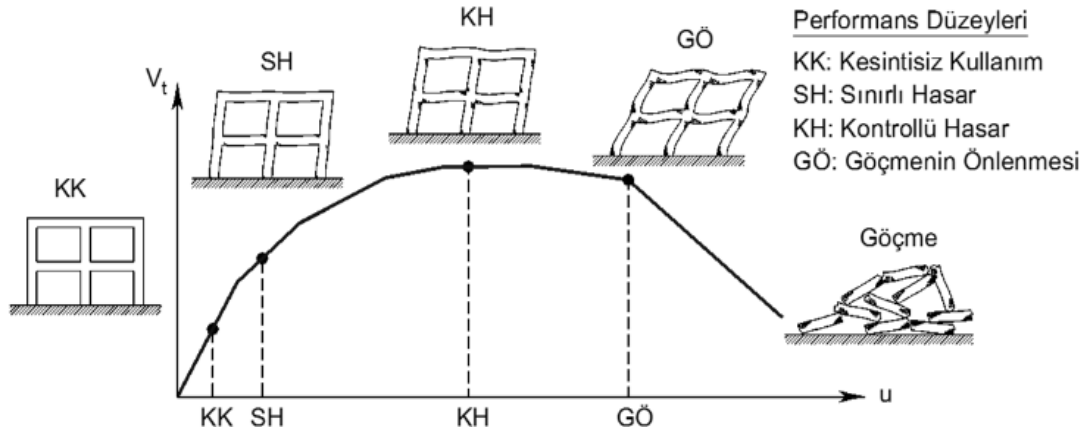
Şekil 6.2. Kesit hasar seviyeleri (TBDY 2018)

6.1.3. Yapı Performans Seviyeleri

Bir yapının kabul edilebilir hasar limiti, beklenen performans düzeyi ve deprem şiddeti ile belirlenir. Bina performans düzeyleri açılımları deprem etkisi altında bina

taşıyıcı sistemleri için tespit edilmiş olan Bina Performans Düzeyleri aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

- **Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi;** bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasar oluşmadığı veya oluşan hasarın ihmal edilebilir düzeyde olduğu durumu ifade etmektedir.
- **Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi;** hasar oluşumunun bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı oranda gözlemlendiği, başka bir deyişle sınırlı düzeyde doğrusal olmayan davranışın görüldüğü hasar düzeyidir.
- **Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi;** binanın taşıyıcı sistem elemanlarında, can güvenliği sağlamak üzere, çok ağır olmayan ve genellikle onarılabilir düzeyde olan kontrollü hasar düzeyini ifade etmektedir.
- **Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi;** bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde hasar oluşumunun gözlemlendiği göçme öncesi durum olarak tanımlanmaktadır. Binanın kısmen veya tamamen göçmesinin önlenildiği performans düzeyidir (Asfuroğlu 2018).



Şekil 6.3. Bina performans düzeyleri (Anonim 2019)

6.1.4. Deprem Yer Hareket Düzeyleri

50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremde (DD1) okul binalarında da aranan performans seviyesi olan “kontrollü hasar” performans seviyesini sağlamadığı ve 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremde (DD3) okul binalarında da aranan performans seviyesi olan “sınırlı hasar” performans seviyesini sağladığı tespit edilmiş olup ileri performans hedefi doğrultusunda her iki deprem yer hareket düzeyi içinde gerekli koşulu sağlamadığı için yapının güçlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Deprem Yer Hareket Düzeylerine ait bilgilere Çizelge 6.5’de yer verilmiştir.

Çizelge 6.5. Deprem yer hareketi düzeyleri (TBDY 2018)

(c) Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar
(Yüksek Binalar dışında – $BYS \geq 2$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

(1) $BYS > 3$ olan binalarda uygulanacaktır.

(2) $BYS = 2,3$ olan binalarda uygulanacaktır.

(3) Ön tasarım olarak yapılacaktır.

(4) $I = 1,5$ alınarak uygulanacaktır.

- **Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1) :** DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir.
- **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.
- **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. (TBDY 2018)

- **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. (TBDY 2018)

Yapı için DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketleri düzeylerinde performans analizleri yapılmış ve mevcut yapının durumu belirlenmiştir.

Merkez 60. Yıl İlkokulu (Yeni Bina) binası taşıyıcı sistem beton sınıfı tespiti amacıyla laboratuvar tarafından yapılan çalışma kapsamında ana binadan her kattan 3 adet toplamda 9 adet kolondan karot numunesi alınarak yapısal sistemin beton basınç dayanımı tespit edilmiş olup bu veriler TBDY 2018 kapsamında yapılan revize çalışmasında kullanılmıştır.

Statik hesaplarda kullanılmak üzere beton basınç dayanımı alınan karot değerleri esas alınmış fakat değerlendirmesi TBDY 2018 uyarınca yapılmıştır.

6.2. Malzeme Testleri ve Zemin Çalışmaları

Yapılan etüt çalışmaları, hasar tespitleri ve malzeme testleri değerlendirilerek binanın TS-500 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)'e göre düşey yük ve deprem kombinasyonları göz önüne alınarak analizi ve emniyet tahkikleri yapılmıştır. Bu analiz ve tahkikler neticesinde yapının deprem güvenliği belirlenmiştir.

6.2.1. Beton kalitesinin tespiti

Merkez 60. Yıl İlkokulu (Yeni Bina) binası yapılan çalışma kapsamında beton dayanımının tespiti amacıyla ana binadan her kattan 3 adet toplamda 9 adet kolondan karot numunesi alınmıştır. Çizelge 6.6'da yapıdan alınan karot numuneleri sonucu elde edilen beton basınç dayanım değerleri yer almaktadır.

Çizelge 6.6. Mevcut elemanların karot değerlendirilmesi

BOLU 60. YIL İLKOKULU (YENİ BİNA)		
MEVCUT ELEMANLAR KAROT DEĞERLENDİRMESİ		
Karot Adı	Karot Yeri	Karot Değeri (MPa)
ZK-1	Zemin kat	12,49
ZK-2	Zemin kat	12,26
ZK-3	1. kat	12,63
1NK-1	1. kat	20,51
1NK-2	1. kat	21,03
1NK-3	1. kat	18,34
2NK-1	2. kat	11,85
2NK-2	2. kat	20,25
2NK-3	2. kat	12,06
Aritmetik Ortalama		15,71
Standart Sapma		4,17
Ortalama-Standart Sapma		11,54
Ortalama * 0,85		13,35

“Alınan numune sayısının 3’ten fazla olması sebebi ile “*Bölüm 5.1.1’de Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi’nde Malzeme Özellikleri*” uyarınca karot numunelerinden elde edilen (ortalama – standart sapma) değeri ile (ortalama * 0,85) değeri arasından büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Bir grup beton örneğine ait deney sonuçları arasında en küçük değer ile geriye kalan sonuçların ortalaması arasındaki farkın değerlendirilmesi ile en küçük değer in istatistiki olarak sapan bir sonuç olmadığı kontrol edilecektir. Bu amaçla gruptaki sonuçların değerlendirilmesinde, en düşük tek değer, geriye kalan diğer sonuçların ortalamasının %75’inden daha düşük ise bu numune değerlendirmeye alınmaz” denilmekte statik hesaplar da mevcut beton dayanımı için 13,35 MPa olarak dikkate alınmıştır.

6.2.2. Donatı durumu

Yapıda taşıyıcı sistemdeki donatı tespitleri hasarlı ve hasarsız yöntemlerle yapılmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)’e göre de yapılması gereken etriye sıklaştırmalarının mevcut elemanlarda yapılmadığı ortalama 20 cm arayla atıldığı tespit edilmiştir. Betonarme yapıda kullanılan donatının St-I nervürlü donatı olduğu saptanmıştır. Taşıyıcı elemanlar donatı oranı binaların yapıldığı yıldaki minimum donatı oranı olan (%0,6) mertebesinde atanmış olup hesaplar bu donatı oranı dikkate

6. MEVCUT YAPININ DURUMU

alınarak yapılmıştır. Yapıya ait analizlerde donatı çeliği mevcut elemanlarda St-I ($f_y = 2.200 \text{ kg/cm}^2$), etriyeler için de St-I ($f_y = 2.200 \text{ kg/cm}^2$) olarak alınmıştır.

6.2.3. Zemin araştırmaları ve temel durumu

Yapının oturduğu zemin yapısının tespiti amacıyla sondajlı jeolojik ve jeofizik zemin etüt çalışması yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar neticesinde elde edilen verilerle güçlendirme yapılmıştır.

Enlem	: 40.731604
Boylam	: 31.625066
Zemin Grubu	: ZD
Zemin Yatak Katsayısı	: 1300 t/m^3
Zemin Taşıma Gücü	: $23,2 \text{ t/m}^2$ olduğu tespit edilmiştir.

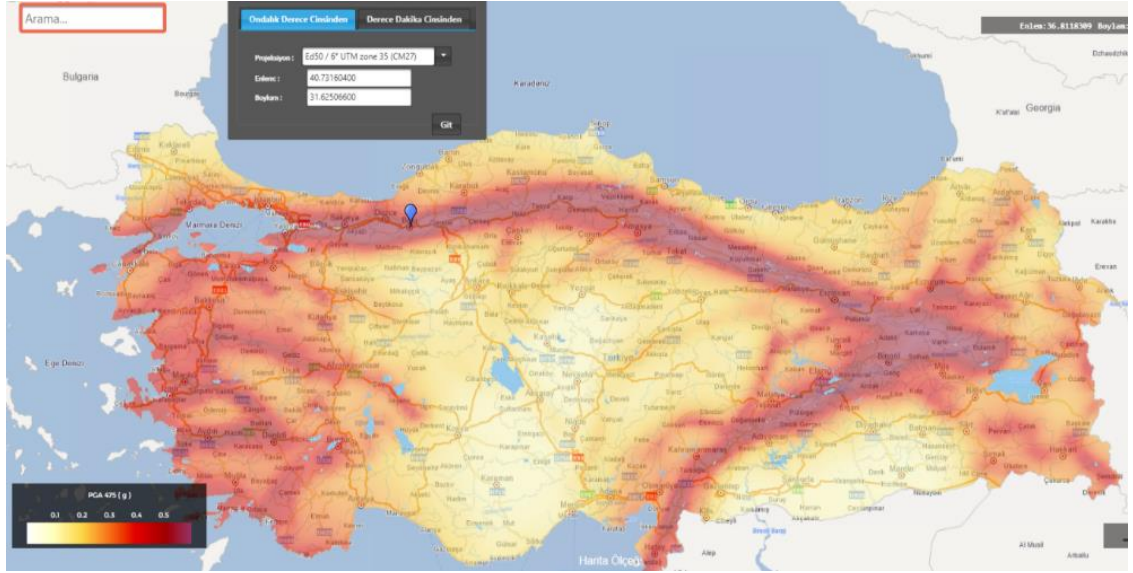
DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için veriler:

S_s	: 1,498
S_1	: 0,422
SD_s	: 1,498
SD_1	: 0,793

DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için veriler:

S_s	: 2,684
S_1	: 0,797
SD_s	: 2,684
SD_1	: 1,355

6. MEVCUT YAPININ DURUMU



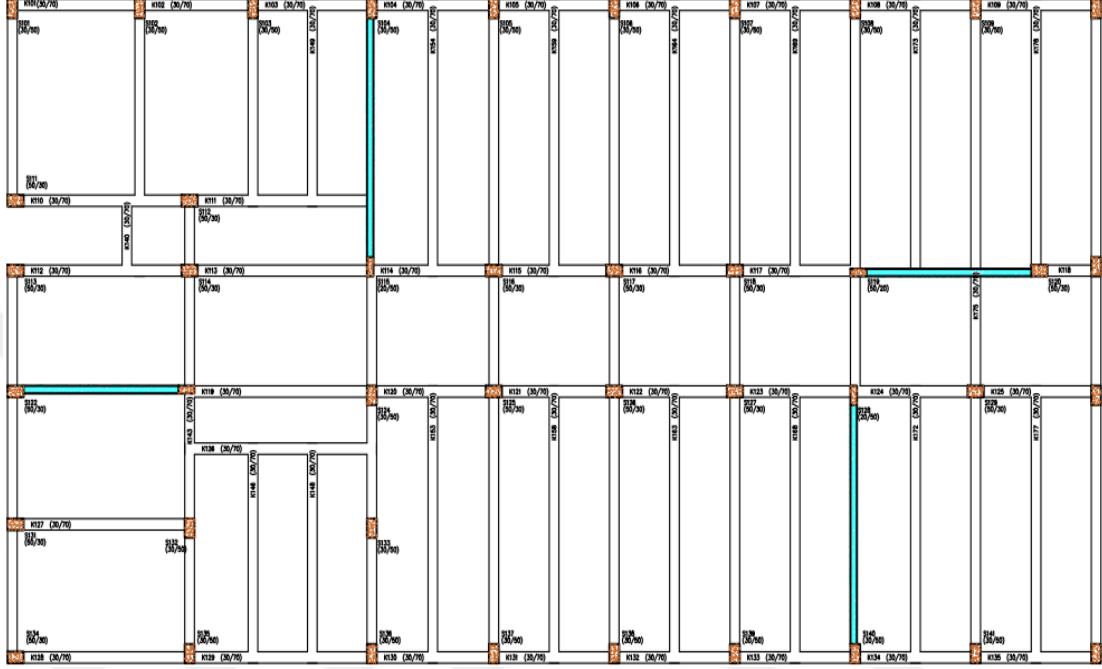
Şekil 6.4. Bolu ilinin Türkiye deprem tehlike haritası üzerindeki konumu

Okul binasının bulunduğu Bolu ilinin enlem ve boylamına göre Türkiye Deprem Haritası üzerindeki konumu Şekil 6.4’de görülmektedir.

Yapı hakkında toplanan tüm veriler ışığında mevcut yapının SAP2000 programıyla modellenmesi yapılmıştır. Modellemede yapı için kullanılan parametreler ve analiz sonuçlarıyla ilgili yapılan çıkarımlara Bölüm 7’de detaylıca yer verilmiştir.

7. MEVCUT YAPININ MODELLENMESİ

Mevcut yapının kalıp planına göre SAP2000 programıyla modellemesi yapılmıştır. Mevcut yapının kalıp planı Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Mevcut yapı kalıp planı (39 m x 18 m)

6.3. Mevcut Yapı Malzemelerinin Tanımlanması

Modelleme yapılırken öncelikle mevcut yapının beton basınç dayanım sınıfına göre C12/15 beton malzemesi tanımlanmıştır. Mevcut yapının beton dayanım sınıfı alınan karot numuneleriyle belirlenmiştir. Daha sonra boyuna donatı ve etriyeler için S220 donatı tanımlanmıştır. Düşük dayanımlı olan beton malzemesi için elastisite modülü hesaplanmış ve programa tanımlanmıştır. Betonun elastisite modülünün hesaplanmasına ait detaylar Bölüm 7.1.1.’de detaylıca açıklanmıştır.

6.3.1. Beton için elastisite modülünün hesabı

Tanımlanan beton sınıfı C12/15 için elastisite modülü hesabı yapılmıştır. Düşük dayanımlı betonlar için elastisite modülü hesabında literatürde birçok farklı formül geliştirilmiştir.

TS500'e göre elastisite modülü hesabı:

$$E = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000 \quad (7.1)$$

Eurocode'a göre elastisite modülü hesabı:

$$E = 22000 (f_{cm} / 10)^{0,3} \quad (7.2)$$

ACI-318'e göre elastisite modülü hesabı:

$$E = 4700 \sqrt{f_{cc}} \quad (7.3)$$

RTYTEIE'ye göre elastisite modülü hesabı:

$$E_{cm} = 5000 \sqrt{f_{cm}} \quad (7.4)$$

Duran vd (2017)'nin bu formüllere göre geliştirdikleri elastisite modülü hesabı:

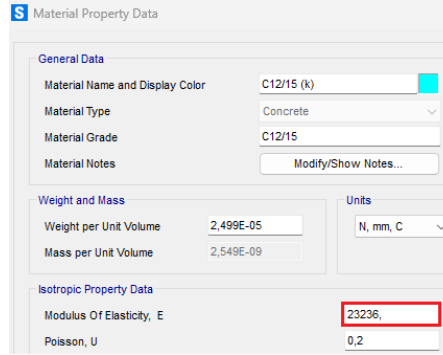
$$E_c = 6000 \sqrt{f_c} + 3580 \quad (f_c \text{ ve } E_c \text{ MPa}) \quad (7.5)$$

Mevcut şartnamelerde elastisite modülü, beton basınç dayanımının karekökü ile ilişkilendirildiğinden, Duran vd'de yaptıkları çalışma kapsamında da benzer bir yol izlenmiştir. Diğer taraftan mevcut şartnamelerde tanımlanan elastisite modülü formülleri bir grubu temsil etmek üzere ortalama ya da karakteristik beton dayanımları cinsinden tanımlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada çok dar bir banttaki beton dayanımları (çoğunlukla 8-12 MPa aralığı) ele alındığından, gruplama yerine her bir numune sonucu regresyon analizinde dikkate alınmıştır (Duran vd 2017).

Bu tez kapsamında ise elastisite modülü hesabı için Eurocode formülü Denklem 7.2 kullanıldı. Tanımlanan C12/15 beton dayanımı için elastisite modülü hesabı:

$$E = 22.000 (12 / 10)^{0,3} = 23.236 \text{ MPa} = 23.236 \text{ N/mm}^2$$

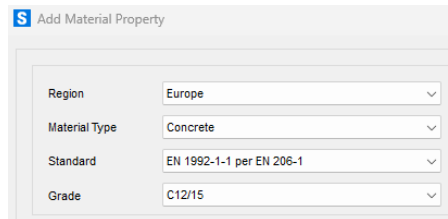
şeklinde yapılmış ve beton için bu elastisite modülü değeri programa tanımlanmıştır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2. Betonun elastisite modülünün tanımlanması

6.3.2. Beton malzemesinin tanımlanması

Beton malzemesinin tanımlanmasında; mevcut yapı için yapılan incelemeler sonucundaki gözlemlere göre kolon ve kirişler için sargılı beton modeli, perdeler için sargısız beton modeli tanımlanmıştır. Beton tanımlanırken *'define – material - ad new material'* komutlarıyla gelen komut penceresinden Şekil 7.3'teki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 7.3. Betonun tanımlanması

'Uniaxial nonlinear data' komutuyla gelen pencereden *'paramedic-mander-show stress/strain plot- modify/show mander data'* komutlarıyla betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi sargılı (confined) olacak şekilde tanımlanmıştır.

7. MEVCUT YAPININ MODELLENMESİ

S Mander Concrete Stress-Strain Data

Material Name: C12/15 (k)

Material Type: Concrete

Symmetry Type: Isotropic

Units: KN, m, C

Mander Type:
☐ Unconfined
☒ Confined, Rectangular Core
☐ Confined, Circular Core; Hoop Confinement Steel
☐ Confined, Circular Core; Spiral Confinement Steel

Mander Data Source:
☒ Frame Section Property: S50*30
☐ User Defined

General Confinement Bar Data:
☒ Confinement Bar Property: S220
☐ Confinement Bar Yield Stress
Tie Longitudinal Spacing (CL to CL): 0.2

Rectangular Core Confinement Bar Data:
☒ Confinement Bar Size: 8d
☐ Confinement Bar Area

Rectangular Core X-Direction Confinement Bar Data:
Number of X-Direction Tie Legs: 2
CL to CL Distance Between X-Direction Perimeter Tie Legs: 0.442

Rectangular Core Y-Direction Confinement Bar Data:
Number of Y-Direction Tie Legs: 2
CL to CL Distance Between Y-Direction Perimeter Hoop Legs: 0.242

Update Plot

Şekil 7.4. Kolon ve kirişler için sargılı beton modeli tanımlanması

Şekil 7.4'te gösterildiği üzere programda confined seçimi yapıлып sargılı beton tanımlanmıştır. '*Mander data source (Mander Eğrisi Veri Kaynağı)*' seçimindeyse modellenmiş olan kolon veya kiriş kesitlerinden birinin seçiminin yapıлып betonun Gerilme-Şekil Değiştirme eğrisi modellenmiş bu kesit ve donatı düzenlerine göre eğrinin çizilmesi sağlanmıştır. Tüm bunlar yapıldıktan sonra yapılan değişikliklerin kaydedilmesi için '*update plot*' komutu kullanılmıştır. Ardından '*convert to user defined*' komutu uygulanıp bütün işlemler kaydedilmiştir (Şekil 7.5).

S Uniaxial Nonlinear Material Data

Edit

Material Name: C12/15 (k)

Material Type: Concrete

Hysteresis Type: Takeda

Drucker-Prager Parameters:
Friction Angle: 0
Dilatational Angle: 0

Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options:
☐ Parametric
☒ User Defined

Convert To User Defined

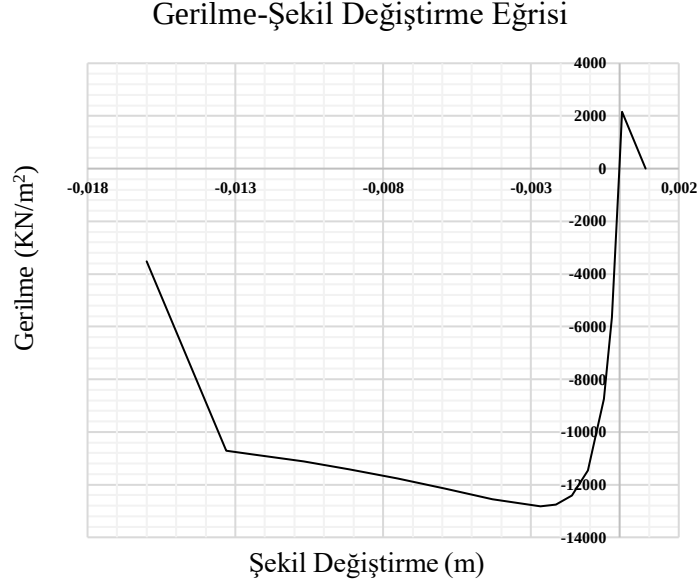
User Stress-Strain Curve Data
Number of Points in Stress-Strain Curve: 17

	Strain	Stress	Point ID
1	-0.016	-3512.32	
2	-0.0133	-10716.08	-E
3	-0.0124	-10859.04	
4	-0.0107	-11122.95	
5	-9.133E-03	-11422.47	
6	-7.522E-03	-11763.92	
7	-5.910E-03	-12149.74	
8	-4.290E-03	-12558.16	
9	-2.680E-03	-12823.59	-C
10	-2.146E-03	-12761.17	
11	-1.612E-03	-12421.97	
12	-1.075E-03	-11468.62	

Order Rows
Show Plot...

Şekil 7.5. Beton modeli için veri kaydı

Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi verileri Excel dosyasına aktarılıp kolon ve kiriş kesitleri için tanımlanan sargılı beton modelinin Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi çizdirilmiştir (Şekil 7.6).



Şekil 7.6. Kolon ve kiriş kesitleri için sargılı beton modelinin gerilme-şekil değiştirme eğrisi.

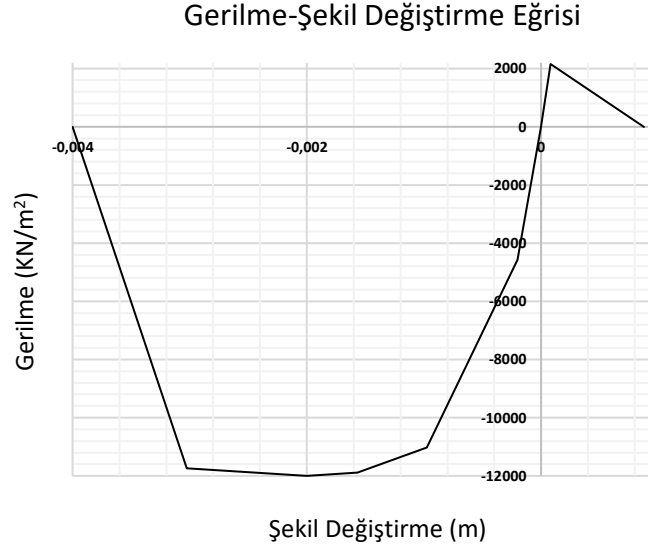
Kolon ve kiriş kesitleri için tanımlanan betondan farklı olarak perdeler için tanımlanan beton '*unconfined (sargısız)*' olarak tanımlanmıştır (Şekil 7.7).

S Mander Concrete Stress-Strain Data

Material Name	Material Type
C12/15 (P)	Concrete
Mander Type	
☒ Unconfined ☐ Confined; Rectangular Core ☐ Confined; Circular Core; Hoop Confinement Steel ☐ Confined; Circular Core; Spiral Confinement Steel	

Şekil 7.7. Perdeler için sargısız beton tanımlanması

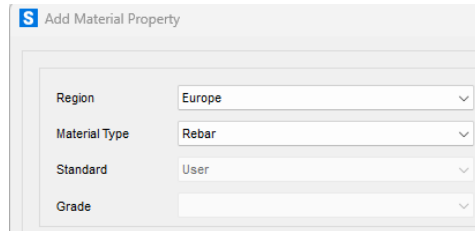
Perdeler için tanımlanan sargısız betonun Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisinin verileri Excel'e aktarılarak grafiği çizdirilmiştir (Şekil 7.8).



Şekil 7.8. Perdeler için tanımlanan sargısız betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi

6.3.3. Donatının tanımlanması

Taşıyıcı elemanlar için beton malzemesi tanımlandıktan sonra donatı malzemesi tanımlanmıştır. Mevcut okul binasının bütün taşıyıcı sistemlerinde etriye ve boyuna donatılarda nervürlü S220 donatı kullanıldığı yapılan incelemelerde görülmüştür. Modelleme yapılırken taşıyıcı sistemlerin etriye ve boyuna donatıları için S220 donatısı tanımlanmıştır.



Şekil 7.9. Donatının tanımlanması

Donatı tanımlanırken '*rebar*' şeklinde tanımlanmıştır (Şekil 7.9). S220 nervürlü donatı için;

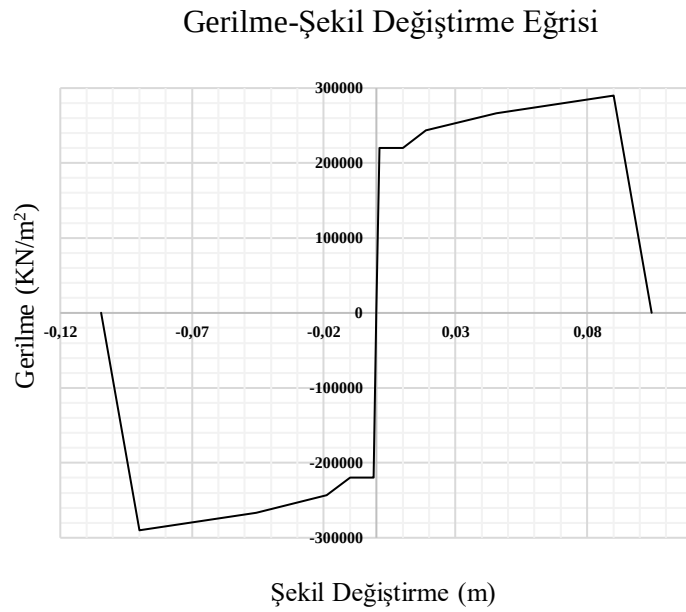
Akma dayanımı (f_y) = 220 N/mm²

Çekme Dayanımı (f_u) = 290 N/mm²

olacak şekilde programa tanımlanmıştır (Şekil 7.10).

Şekil 7.10. S220 donatısı için karakteristik özelliklerin tanımlanması

S220 donatısı için Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi verileri programdan Excel'e aktarılarak grafik çizdirilmiştir (Şekil 7.11).



Şekil 7.11. S220 donatısı için gerilme-şekil değiştirme eğrisi

6.4. Mevcut Yapı İçin Taşıyıcı Elemanların Modellenmesi

Öncelikle kalıp planına göre taşıyıcı eleman kesitleri (kolon, kiriş ve perde) programda mevcut kesit boyutları için tanımlanmıştır. Kolon ve kirişler çerçeve (çubuk) eleman, perdeler kabuk (Shell) eleman olarak modellenmiştir. Taşıyıcı elemanlar tanımlanırken TBDY2018'e göre etkin kesit rijitlik çarpanları kolon, kiriş ve perdeler için tanımlanmıştır.

7.2.1. Taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlik çarpanları

Taşıyıcı elemanların yatay ve düşey kuvvetler altında yapılan analizden elde edilen sonuçları, kesit rijitliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemlerde eğilme rijitliği diğer taşıyıcı sistemlere göre hem yer değiştirmelerin belirlenmesinde hem de iç kuvvetlerin dağılımında etkili olmaktadır. Kesit boyutlarına, malzeme elastisite modüllerine ve donatı oranına bağlı olarak eğilme rijitliği değişmektedir. Moment-eğrilik ilişkisi ile kesit davranışı incelenirken momentin küçük olduğu ve kesitte herhangi bir çatlak oluşmadığı durumlarda eğilme rijitliği, malzeme elastisite modülüne ve kesit atalet momentine bağlı olarak maksimum değere sahiptir. Momentin büyük değerlere ulaşması ve çatlakların oluşmasıyla birlikte eğilme rijitliği azalır, etkin kesit rijitliği etkili olur (Çağatay 2021).

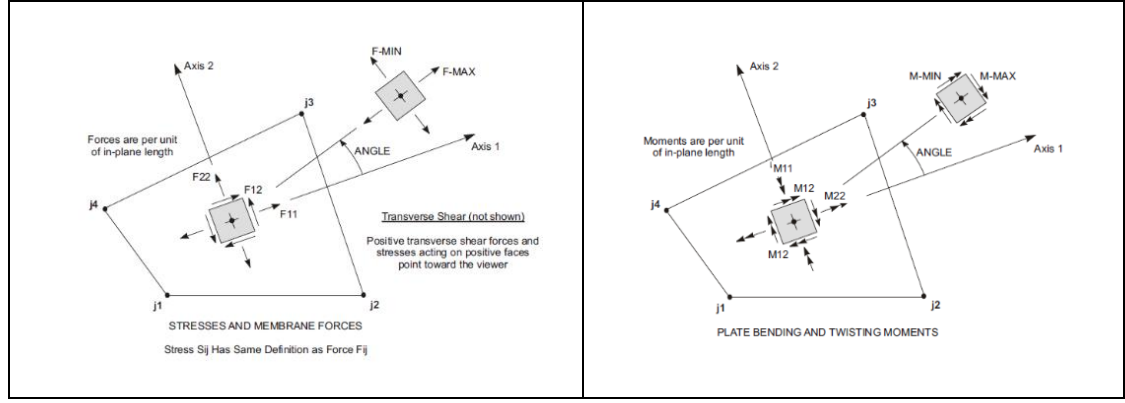
Çizelge 7.1’de TBDY 2018’den alınan betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitlik çarpan değerlerine detaylıca yer verilmiştir.

Çizelge 7.1. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları (TBDY2018).

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği çarpanı	
Perde- Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Perde	0,50	0,50
Bodrum Perdesi	0,80	0,50
Döşeme	0,25	0,25
Perde- Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0,25	1,00
Bodrum Perdesi	0,50	1,00
Döşeme	0,25	1,00
Çubuk Eleman	Eğilme	Kesme
Bağ Kirişi	0,15	1,00
Çerçeve Kirişi	0,35	1,00
Çerçeve Kolonu	0,70	1,00
Perde (Eşdeğer Çubuk)	0,50	0,50

Kabuk elemanının iki tür rijitliği vardır. Düzlem içi rijitlik F11, F22 ve F12’yi ifade eder ve düzlem dışı rijitlik M11, M22 ve M12’yi ifade eder. Yerel eksenlerin yönünü ve bunlara karşılık gelen rijitlikleri Şekil 7.12’de gösterilmiştir (Anonim 2020).

7. MEVCUT YAPININ MODELLENMESİ



(a)

(b)

Şekil 7.12. (a) Kabuk elemanlarda düzlem dışı rijitliklerin gösterimi (b) Kabuk elemanlarda düzlem içi rijitliklerin gösterimi (Anonim 2020).

Çizelge 7.1'e göre programa taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlik çarpanları tanımlanmıştır. Etkin kesit rijitlik çarpanları kiriş, kolon ve perdeler için sırasıyla Şekil 7.13'de, TBDY 2018'de verilen değerler doğrultusunda programa tanımlanmıştır.

Figure 7.13 shows three screenshots of the software interface for defining property/stiffness modification factors.

(a) **Frame Property/Stiffness Modification Factors**: This window shows the following input fields:

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	Value
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,35
Moment of Inertia about 3 axis	0,35
Mass	1
Weight	1

(b) **Frame Property/Stiffness Modification Factors**: This window shows the following input fields:

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	Value
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,7
Moment of Inertia about 3 axis	0,7
Mass	1
Weight	1

(c) **Property/Stiffness Modification Factors**: This window shows the following input fields:

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	Value
Membrane f11 Modifier	0,5
Membrane f22 Modifier	0,5
Membrane f12 Modifier	0,5
Bending m11 Modifier	0,25
Bending m22 Modifier	0,25
Bending m12 Modifier	1
Shear v13 Modifier	1
Shear v23 Modifier	1
Mass Modifier	1
Weight Modifier	1

(a)

(b)

(c)

Şekil 7.13. (a) Kirişlerin etkin kesit rijitlik katsayıları (b) Kolonların etkin kesit rijitlik katsayıları (c) Perdelerin etkin kesit rijitlik katsayıları.

7.2.2. Çerçeve (çubuk) elemanların mevcut donatılarının tanımlanması

Tanımlanan taşıyıcı elemanlar için yapılan incelemeler sonucunda gözlemlenen donatı düzenleri, donatı aralıkları ve donatı çapları her taşıyıcı eleman için tanımlanmıştır.

Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: + S220

Confinement Bars (Ties): + S220

Design Type

☐ Column (P-M2-M3 Design)

☒ Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center

Top: 40,

Bottom: 40,

Reinforcement Overrides for Ductile Beams

	Left	Right
Top	402,	402,
Bottom	402,	402,

Şekil 7.14. Kiriş donatı oranları

Kirişler çerçeve (çubuk) sonlu eleman olarak tanımlanmıştır. Kirişler için M3 mafsalı tanımlanmıştır. Kirişlerde boyuna donatının merkezinin beton dış yüzüne olan mesafesi (*concrete cover to longitudinal rebar center*) 40 mm, kiriş üst ve alt ucunda bulunan donatılar 2Ø16 olup alanı 402 mm² olarak tanımlanmıştır. Etriye ve boyuna donatılar için S220 donatısı tanımlanmıştır. (Şekil 7.14)

(a) 30x50 ebatındaki kolon donatı oranları

Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: + S220

Confinement Bars (Ties): + S220

Design Type

☒ Column (P-M2-M3 Design)

☐ Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

☒ Rectangular

☐ Circular

Confinement Bars

☒ Ties

☐ Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars: 25,

Number of Long Bars Along 3-dir Face: 4

Number of Long Bars Along 2-dir Face: 3

Longitudinal Bar Size: + 16d

Confinement Bars

Confinement Bar Size: + 8d

Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 200,

Number of Confinement Bars in 3-dir: 2

Number of Confinement Bars in 2-dir: 2

(b) 50x30 ebatındaki kolon donatı oranları

Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: + S220

Confinement Bars (Ties): + S220

Design Type

☒ Column (P-M2-M3 Design)

☐ Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

☒ Rectangular

☐ Circular

Confinement Bars

☒ Ties

☐ Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars: 25,

Number of Long Bars Along 3-dir Face: 3

Number of Long Bars Along 2-dir Face: 4

Longitudinal Bar Size: + 16d

Confinement Bars

Confinement Bar Size: + 8d

Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 200,

Number of Confinement Bars in 3-dir: 2

Number of Confinement Bars in 2-dir: 2

Şekil 7.15. (a) 30x50 ebatındaki kolon donatı oranları (b) 50x30 ebatındaki kolon donatı oranları.

Kolonlar çerçeve (çubuk) sonlu eleman olarak tanımlanmıştır. Kolonlar için P-M2-M3 mafsalı tanımlanmıştır. Kolonlarda etriyenin merkezine olan paspayı 25 mm, 50x30 ebatındaki kolonlar için; x yönünde Ø16'lık 3 adet boyuna donatı, y yönünde Ø16'lık 4 adet boyuna donatı, 30x50 ebatındaki kolonlar için; x yönünde Ø16'lık 4 adet boyuna donatı, y yönünde Ø16'lık 3 adet boyuna donatı tanımlanmıştır. Kolonların

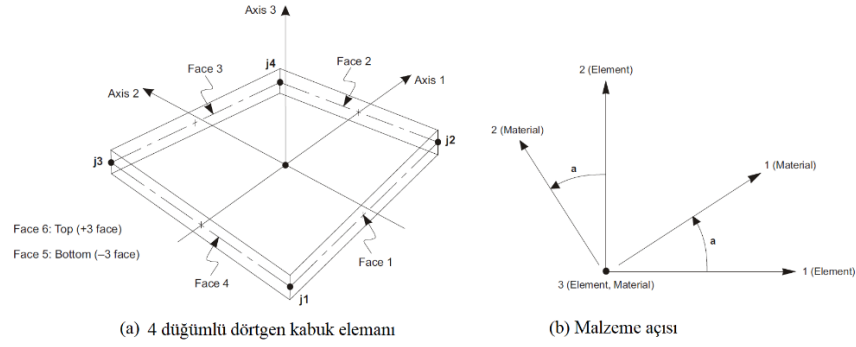
etrierleri Ø8'lidir. Etriye aralıkları 20 cm'dir. Kolon etrierleri uygun şekilde tanımlanmıştır (Şekil 7.15).

7.2.3. Katmanlı kabuk elemanın modellenmesi

Her kabuk elemanı malzeme özelliklerini, yükleri ve sonuçları tanımlamak için kullanılan kendi eleman lokal koordinat sistemine sahiptir. Bu lokal sistemin eksenleri 1, 2 ve 3 olarak Şekil 7.16'da gösterilmiştir. 1 ve 2 eksenleri ayarlanabilir bir yönelimle dörtgen elemanın düzleminde bulunur; üçüncü eksen elemana normal doğrultudadır. Dörtgen elemanlar için eleman düzlemi, iki karşıt kenar çiftinin orta noktalarını birleştiren vektörler tarafından tanımlanır. Lokal 1-2-3 koordinat sisteminin tanımını ve küresel X-Y-Z koordinat sistemiyle ilişkisinin açıkça anlaşılması önemlidir. Her iki sistem de sağ el koordinat sistemleridir.

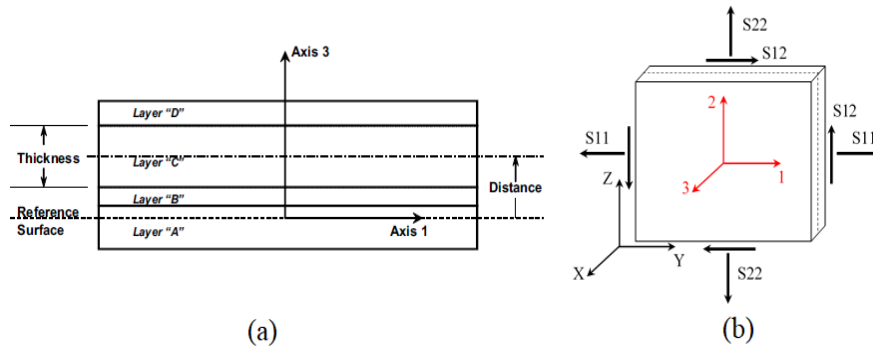
Lokal 3 eksen, j1-j2-j3 düğümlerinin oluşturulma sırası saat yönünün tersine ise size doğru yönlendirilir. Lokal 1 ve 2 eksenlerinin varsayılan oryantasyonu, lokal 3 eksen ve global Z eksen arasındaki ilişki tarafından belirlenir:

- Lokal 3-2 düzlemi dikey, yani Z eksenine paralel olarak alınır.
- Eleman yatay olmadığı sürece lokal 2 eksen yukarı (+Z) yönde alınır, eleman yatay ise lokal 2 eksen global +Y yönü boyunca alınır.
- Lokal 1 eksen yataydır, yani X-Y düzleminde yer alır.
- Lokal 3 eksen ile Z eksen arasındaki açının sinüsü 10^{-3} 'ten küçükse eleman yatay olarak kabul edilir.
- Lokal 2 eksen, düşey eksen ile lokal 3 ekseninin yatay düzlemle yaptığı açının aynısını yapar. Bu, lokal 2 ekseninin düşey elemanlar için dikey olarak yukarıyı gösterdiği anlamına gelir.



Şekil 7.16. Kabuk elemanı lokal koordinat sistemi ve malzeme açısı tanımı

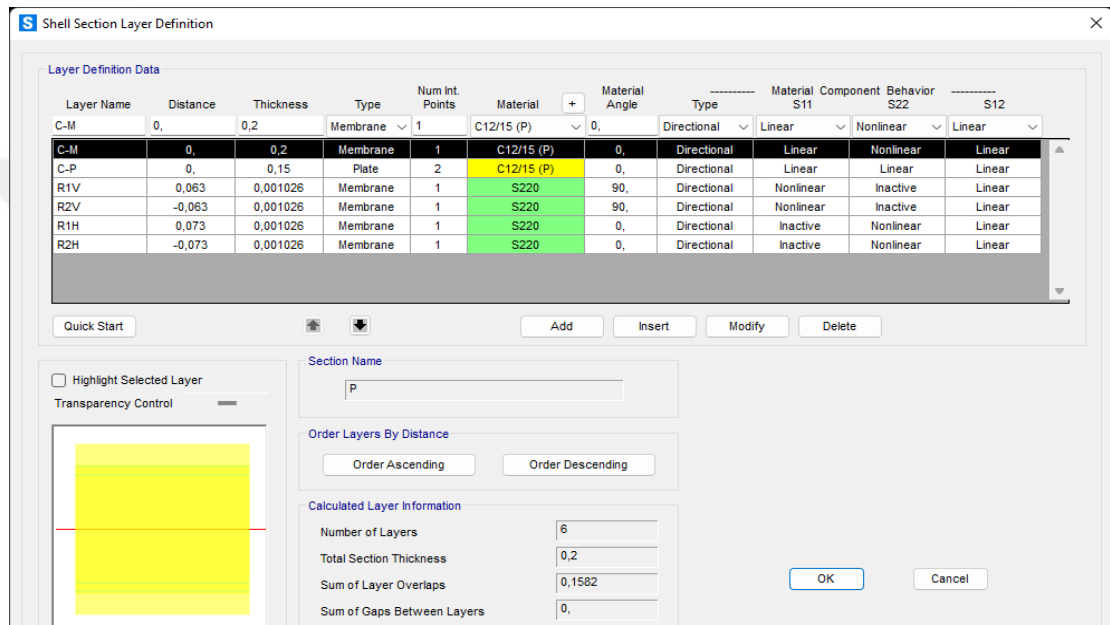
Malzeme lokal koordinat sistemi ve eleman yerel koordinat sistemi aynı olmak zorunda değildir. Lokal 3 yönü her zaman iki sistem için çakışır, ancak malzeme 1 eksen ve eleman 1 eksen Şekil 7.16'da gösterildiği gibi α açısı ile farklılık gösterebilir. Yönlendirmeden bağımsız oldukları için bu açının izotropik malzeme özellikleri üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Şekil 7.17'de gösterildiği gibi, belirli bir katmanın malzeme yönelimi, lokal koordinat sistemine göre tanımlanır. Malzeme açısı, yerel eleman oryantasyonundan saat yönünün tersine ölçülür. S11 boyunca doğrusal olmayan bir 90° malzeme açısının kullanılması, S22 boyunca doğrusal olmayan bir 0° malzeme açısının kullanılmasıyla aynı etkiye sahiptir. Davranışın yalnızca malzeme 1 yönünde tanımlandığı donatı gibi tek eksenli malzemeler için, S11 boyunca doğrusal olmayan bir 90° malzeme açısı belirtilmelidir. Malzeme özellikleri malzeme koordinatlarında belirtilirken, yükleme ve kesit kuvvetleri ve gerilimlerin her zaman eleman lokal eksenleri cinsinden girilir ve raporlanır.



Şekil 7.17. (a) Referans yüzeyini, katmanların adlarını ve "C" katmanının uzaklığını ve kalınlığını gösteren dört katmanlı kabuk, (b) Düşey eleman için lokal ve global koordinatlar.

7.2.3.1. Perdelerde nonlinear layer shell ile modelleme

Perdelerin katmanlı kabuk eleman (Nonlinear Layered Shell) ile modellenmesi için “*Define-Section Properties/Area Sections/Add New Section*” komutları sırasıyla takip edilerek “*Type:Shell-layered/Nonlinear*” seçilir. Nonlinear Layer Shell’in tanımlanması için gelen komut penceresinden “*Modify/Show Layer Definition*” komutu ile perdeler için donatı ve beton tanımlaması Şekil 7.18’de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 7.18. Mevcut yapıda perde için nonlinear layer shell’de beton ve donatının tanımlanması.

Layer	Type	Material	th	d	ang	n	σ_{11}	σ_{22}	σ_{12}
1	Shell	Conc	18.00	0.	0°	5	N	N	N
2	Shell	Rebar	0.09	+6.	0°	1	N	-	N
3	Shell	Rebar	0.09	-6.	0°	1	N	-	N
4	Shell	Rebar	0.18	+6.	90°	1	N	-	N
5	Shell	Rebar	0.18	-6.	90°	1	N	-	N

Layer	Type	Material	th	d	ang	n	σ_{11}	σ_{22}	σ_{12}
1	Membr	Conc	18.00	0.	0°	1	L	N	L
2	Membr	Rebar	0.18	+6.	90°	1	N	-	-
3	Membr	Rebar	0.18	-6.	90°	1	N	-	-
4	Plate	Conc	16.00	0.	0°	2	L	L	L

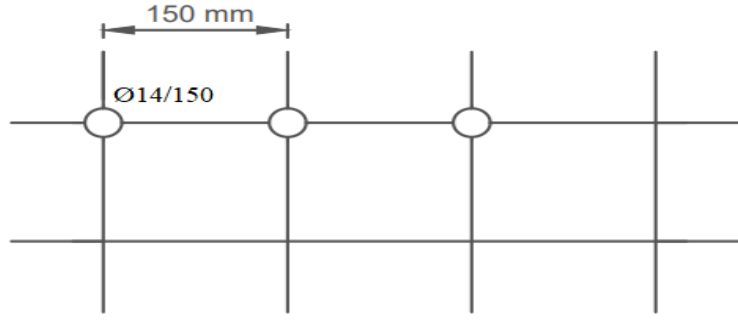
Şekil 7.19. Perde için nonlinear layer shell’de beton ve donatı için tanımlanması gereken özellikler.

Eğilme etkisindeki (perde yükseklik/boy oranı $H_w/L_w > 3$ veya etkin kesme boyunun perde boyuna oranı $L_v/L_w > 2$) olan perdelerde analizlerin daha hızlı ve sonuçların daha kolay değerlendirilebilir olması için perdede sadece düşey membran ve donatı gerilmelerinin doğrusal olmadığı “pratik modelleme” yöntemi tercih edilmiştir. Yatay gerilmeler ve kayma gerilmeleri doğrusal olarak kabul edilmiştir.

Perde betonunun farklı davranış modlarını modellemek için katman tipi olarak *shell*, *membrane* veya *plate* seçeneklerinden bazıları aktive edilmiştir. Düzlem içi eğilme davranışı için “*membrane*” kullanılmıştır (C-M katmanı). Bu katmanda düşey S22 gerilmesi doğrusal olmayan, S11 ve S22 doğrusal şekilde alınır (doğrusal olmayabilir de). Kalınlık t_w olarak alınır. Perde betonunun düzlem dışı davranışının doğrusal olduğu varsayılır ve tek beton katmanı “*plate*” olarak kullanılır (C-P katmanı) (Şekil 7.19). Plate düzlem dışı eğilme ve kesme etkilerini dikkate alır. Doğrusal olmayan modelleme yapılmadan çatlamanın düzlem dışı eğilme rijitliğine etkisini hesaba katmak için katman kalınlığı azaltılmıştır. Bu katmanda kalınlık $(0,5-0,75)t_w$ alınır. Plaka eğilme rijitliği, kalınlığın küpü ile orantılıdır.

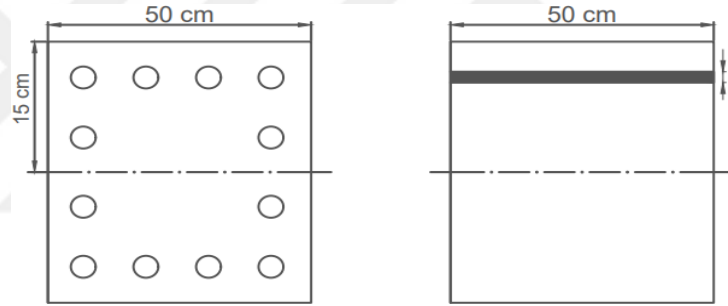
Donatılar kendi konumlarında boyu L_w ve kalınlığı t_d olan bir katmanda $t_d=A_s/L_w$ olacak şekilde tanımlanır (A_s , o katmanda bir yöndeki toplam donatı alanı). Donatı için S11 gerilmesi her zaman doğrusal olmayan şeklindedir. Düşey donatı (R1V ve R2V iki katman donatıyı temsil eder) için S11 gerilmesi malzeme açısı 90 derece alınarak doğrusal olmayan şekilde modellenmiştir. Bu düzenlemeyle donatı yönü kabuk lokal 2 eksenli ile aynı yönelimde olmuştur. Dolayısıyla düşey donatı S11 gerilmesi kabuk S22 gerilmesine karşılık gelir. Yatay gövde donatısı (R1H ve R2H) malzeme açısı 0 derece olacak şekilde S11 ile tanımlanmıştır. S22 aktive edilmez. S12 doğrusal, doğrusal olmayan veya etkisiz (inactive) alınabilir. S12 doğrusal olmayan şekilde alınırsa, çatlak oluşumundan sonra donatının kesme taşıması modellenebilir. S12 gerilmesinin inactive edilmesi en emniyetli çözümü verecektir.

Tüm bunlar doğrultusunda perde gövde donatıları için $t_d=A_s/L_w$ katman kalınlığı $t_d = 153,94/150=1,026$ mm olarak bulunmuştur (Şekil 7.20). Perde gövde düşey donatısının beton dış yüzüne olan mesafesi, perde kalınlığının yarısından (100 mm) beton pas payı (20 mm) ve boyuna donatı yarıçapı çıkartılarak $100-20-7=73$ mm = 0,073 m şeklinde hesaplanmıştır.



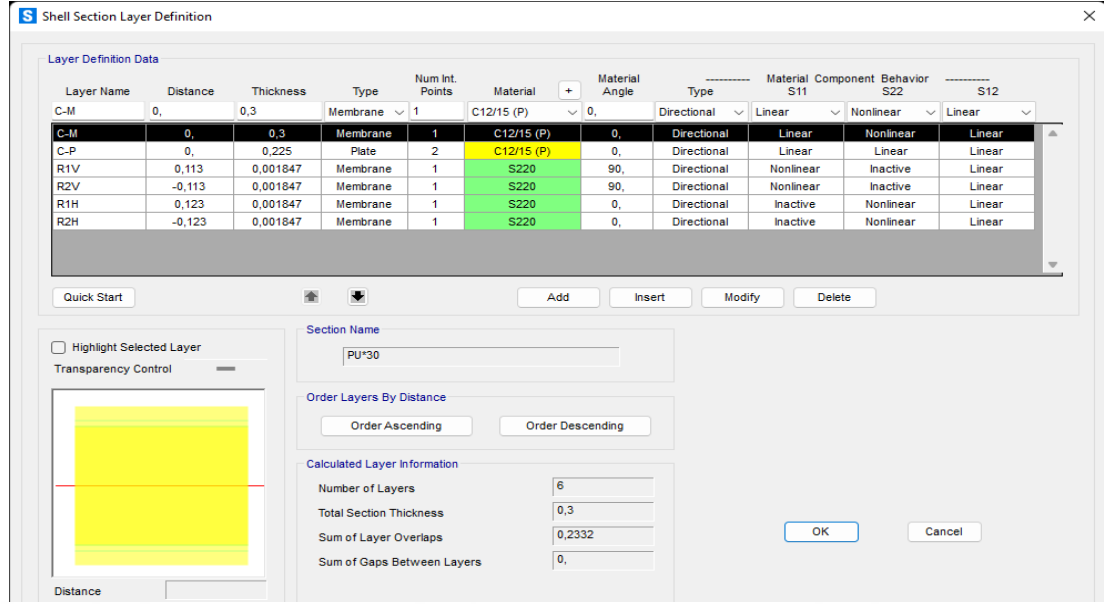
Şekil 7.20. Mevcut perde gövde boyuna donatı yerleşimi

Perde gövde donatıları için uygulanan aşamalar perde uç bölgesindeki Shell elemanı olarak tanımlanan kolonlar için de uygulanmıştır. Perde uç bölgesindeki kolonların kalınlığı 30 cm veya 20 cm olarak değişiklik göstermektedir (Şekil 7.21-7.23). Hesaplar kolon kalınlıklarına uygun şekilde yapıp programa tanımlanmıştır. Kolon uç bölgelerinde de Ø14 donatı kullanılmıştır.

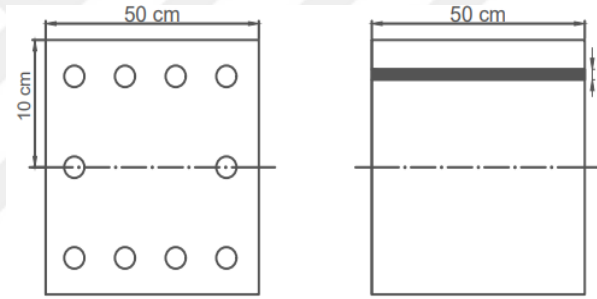


Şekil 7.21. Mevcut perde uç bölgesi donatıları (30 cm kalınlığındaki uç bölgesi için)

Perde uç bölge donatıları için t katman kalınlığı $t=923,63/500=1,847$ mm olarak bulunmuştur. 30 cm kalınlığındaki perde uç bölgesinde boyuna donatının beton dış yüzüne olan mesafesini hesaplamak için perde uç bölgesinin kalınlığının yarısından (150 mm) beton pas payı (20 mm) ve boyuna donatı yarıçapını çıkartılarak hesaplanmıştır. $150-20-7=123$ mm= 0,123 m şeklinde hesaplanmıştır (Şekil 7.22).

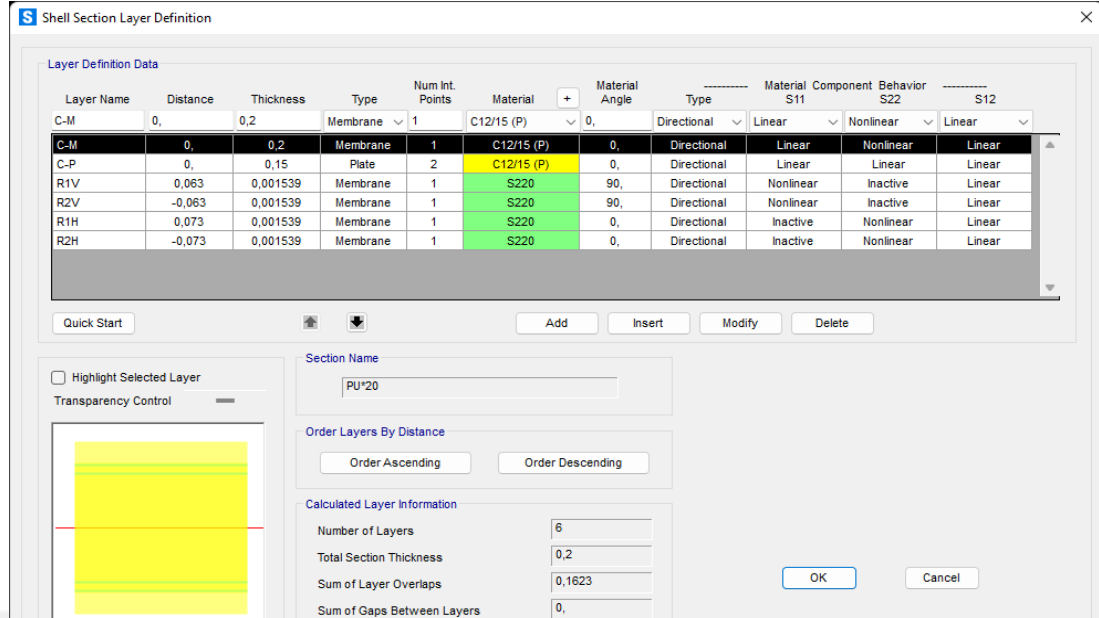


Şekil 7.22. Nonlinear layer shell’de mevcut perde uç bölgesi tanımlanması (30 cm kalınlığındaki uç bölge için).



Şekil 7.23. Mevcut perde uç bölgesi donatıları (20 cm kalınlığındaki uç bölgesi için)

Perde uç bölge donatıları için t_d katman kalınlığı $t_d = 769,69/500 = 1,539$ mm olarak bulunmuştur. 20 cm kalınlığındaki perde uç bölgesinde boyuna donatının beton dış yüzüne olan mesafesini hesaplamak için perde uç bölgesinin kalınlığının yarısından (100 mm) beton pas payı (20 mm) ve boyuna donatı yarıçapını çıkartılarak hesaplanmıştır. $100 - 20 - 7 = 73$ mm = 0,073 m şeklinde hesaplanmıştır (Şekil 7.24).



Şekil 7.24. Nonlinear layer shell’de mevcut perde uç bölgesi tanımlanması (20 cm kalınlığındaki uç bölge için).

Nonlinear Layer Shell ile perdelerin modellenmesi tamamlandıktan sonra, perdelerin katmanlı kabuk elemanı ile modellenmesi sırasında davranışa en çok etki eden modelleme parametresi olan sonlu eleman ağ yoğunluğunun belirlenmesi için parametrik bir çalışma yapılmıştır.

Perdelerin kabuk (shell) elemanlar ile modellenmesi durumunda perde davranışının doğru bir şekilde elde edilmesi, malzeme tanımı, sonlu eleman ağ yoğunluğu ve eleman özellikleri gibi değişkenlere bağlı olup bu konuda yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu tez kapsamında, 3 katlı tipik betonarme perdenin yatay yük etkisinde davranışı sonlu eleman ağ yoğunluğu temel alınarak, farklı beton dayanımları ve eksenel yük oranları için SAP2000 ve ANSYS yazılımlarıyla hesaplanmıştır. Referans doğru olarak kabul edilecek ANSYS modellerinde 3B katı elemanlar kullanılmıştır. SAP2000 sonuçları ANSYS’den elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak modelleme için en uygun sonlu eleman ağ yoğunluğuna karar verilmiştir. Böylece, kabuk elemanlarla modellenen perdelerin hangi sonlu eleman ağ yoğunluğunda gerçeğe daha yakın davranış sergilediği belirlenmiştir. Çıkan sonuçlara göre en uygun sonlu eleman ağ yoğunluğunda perdeler modellenmiştir.

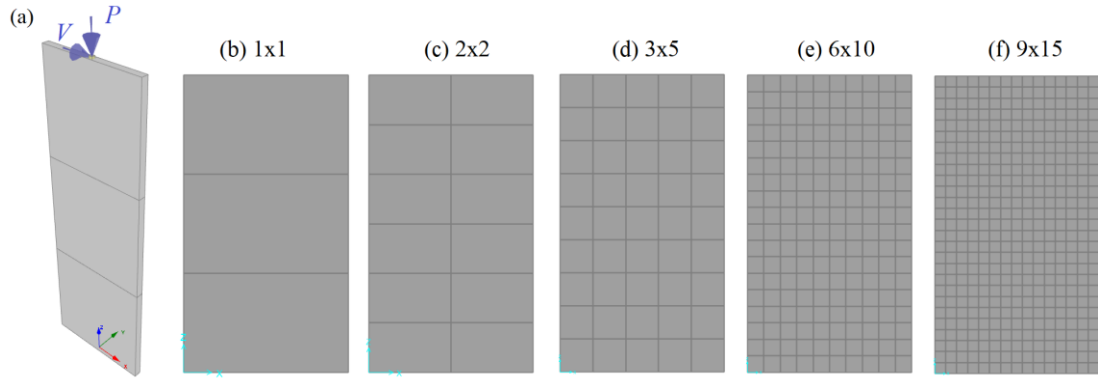
7.2.3.2. Kabuk (Shell) elemanların ağ yoğunluğunun belirlenmesi

Çerçeve (çubuk) sonlu elemanları olarak modellenebilen kolon, kiriş ve betonarme perdelerde, doğrusal olmayan davranış modeli olarak kullanılan yığılı (plastik mafsallı) veya yayılı plastik davranış modelleri üzerine çok sayıda araştırma yapılmış olup kapsamlı bir bilgi düzeyi gelişmiştir. Yığılı plastik davranış modelinde iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılır ve genellikle iki doğrulu moment-plastik dönme açısı şeklinde ifade edilir. Yayılı plastik davranış modelleri, sonlu uzunluktaki uç bölgeleri (plastik şekil değiştirme bölgeleri) veya elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri sürekli (yayılı) biçimde göz önüne almak üzere kullanılabilir. Kesit hücresi (lif) modelinde kesit içinde beton yeteri kadar küçük hücrelerle ve çelik donatı çubuklarının ise tekil olarak modellenir, her bir hücrede doğrusal olmayan eksenel gerilme-birim şekil değiştirme bağıntılarının çevrimsel olarak göz önüne alınarak, uygulamada özellikle betonarme perdelerin doğrusal olmayan modellemesi için kullanılabilir. Bu modelle, karmaşık kesitli (T, L, U veya C şeklinde) betonarme perdelerde planda enkesit çeşitli bölgelere ayrılabilir (orta-kolon veya geniş kolon analojisi), düşey doğrultuda da perde boyunca sonlu uzunlukta parçalar gözünün alınarak her bir perde kolunda iki boyutlu bir sonlu eleman ağı oluşturulabilir.

Öte yandan kabuk (Shell) eleman, perde duvarlı yapılarının analizi için etkin bir şekilde kullanılabilir. Tasarım amaçlı birçok yazılımda dikkate alınan kabuk elemanı, her düğümde altı serbestlik derecesine ve düzlem içi dönme serbestlik derecesine sahiptir, bu da onu üç boyutlu çerçeve tipi sonlu elemanlarla uyumlu hale getirir. Kabuk elemanları kullanmanın avantajı, üç boyutlu model içerisinde çok uzun, etkileşimli ve karmaşık perde duvarlarının modellenebilmesidir. Dörtgen elemanların yer değiştirme alanını tanımlamak için ikinci derece şekil fonksiyonlarının kullanılır. Bu nedenle, perde duvar modellemesinde gerçekçi davranış elde etmek için bir ağ ayrıklaştırması gerekir. SAP2000 yazılımında kabuk elemanların doğrusal olmayan malzemesi, yönlü malzeme modeli ile katmanlı kabuk (layered shell) eleman kullanılarak modellenebilir (SAP2000). Bu modelde, malzemenin çevrimsel davranışının düzgün bir şekilde simüle edilebilmesi için, perde elemanlarının içindeki beton ve donatı perde kalınlığı yönünde sırasıyla farklı katmanlarda modellenir.

Bu çalışmada SAP2000 yazılımında mevcut kabuk elemanının doğrusal olmayan perde davranışını modellemek için kullanılması durumunda dikkat edilmesi gereken hususlar araştırılmıştır. Parametrik bir çalışmayla sonlu eleman ağının perde davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. SAP2000 kabuk elemanı ile elde edilen sonuçlar daha önce birçok çalışmada doğrusal olmayan perde davranışını modellemekte güvenilir değerler veren ANSYS yazılımının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın ana hedefi betonarme perdelerin SAP2000 katmanlı kabuk elemanı ile modellenmesi sırasında davranışa en çok etki eden modelleme parametresi olan sonlu eleman ağ yoğunluğunun belirlenmesidir. Şekil 7.25’de gösterilen perde modeli 3 katlı bir yapıyı temsil eder. Modelin kat yüksekliği 3 m olup, toplam perde yüksekliği $H_w=9$ m’dir. Perde uzunluğu $L_w=5$ m, kalınlığı $t_w=20$ cm alınmıştır. Perdede yatay ve düşey donatı düzgün yayılı olarak kabul edilmiş olup, iki sıra halinde $\varnothing 14/150$ mm’dir (Şekil 7.20).



Şekil 7.25. (a) Model ve yükleme; her katta (b) 1x1, (c) 2x2, (d) 3x5, (e) 6x10 ve (f) 9x15 (düşey x yatay) bölümlü sonlu eleman ağları.

Modellemede bir kat için bölümsüz perde (tek kabuk elemanı), 2x2 bölümlü perde, 3x5 bölümlü perde, 6x10 bölümlü perde ve 9x15 bölümlü perde olacak şekilde farklı ağ yoğunlukları için ayırıştırma yapılmıştır. Perde modellerinde ayrıca iki farklı beton ve donatı dayanımı ve üç farklı eksenel yük seviyesi ($P/f_c A_c$) de parametre olarak alınmıştır. Eski yapıları temsilen C12/15 beton ve S220 donatı sınıfı kullanılmış olup, günümüz inşaat pratiğini yansıtmak için C30/37 beton ve S420 donatı sınıfı birlikte kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu sayede perdelerdeki ağ yoğunluğunun (bölüm sayısına göre artan eleman sayısı), malzeme özelliklerinin ve farklı eksenel yük oranının perdenin performansını nasıl etkilediği incelenmiştir. Perde eksenel kuvveti (P) itme

analizinden önce uygulanarak analiz süresince sabit tutulmuştur. $P/f_c A_c$ oranları için 0,05 0,1 ve 0,2 değerleri alınmıştır. İtme analizleri perde tepe noktasından uygulanan tek yönlü yer değiştirme ile gerçekleştirilmiştir.

7.2.3.2.1. C12/15 beton ve S220 donatı ile farklı ağ yoğunluklarında modelleme yapılması

Modelleme yapabilmek için öncelikle C12/15 beton ve S220 donatı malzemeleri programa tanımlanmıştır. Beton düşük dayanımlı olduğu için Bölüm 7.1.1’de anlatıldığı üzere Eurocode’a göre elastisite modülü hesabı yapılmış ve bu elastisite modülü beton için programa tanımlanmıştır. Elastisite modülü hesabı Denklem (7.3)’deki gibi yapılmıştır.

$$E = 22.000 (f_{cm} / 10)^{0,3} = 22.000 (12/10)^{0,3}$$

$$E = 23.000 \text{ MPa}$$

Beton düşük dayanımlı olduğu için Eurocode’a göre elastisite modülü hesabı yapılmış ve bu elastisite modülü beton için programa tanımlanmıştır.

Betonun özellikleri programa tanımlandıktan sonra donatı tanımlanmıştır. Donatı tanımlanırken ‘rebar’ şeklinde tanımlanmalıdır. S220 nervürlü donatı için;

$$\text{Akma dayanımı (} f_y \text{)} = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Çekme Dayanımı (} f_u \text{)} = 290 \text{ N/mm}^2$$

olacak şekilde programa tanımlanmıştır.

Malzeme tanımlaması yapıldıktan sonra tüm bölüm oranlarında hesap yapılacak olan 0,05 eksenel yük oranına göre perdeye gelecek olan toplam G düşey yükü hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda en uygun bölüm oranının 3x5 bölüm oranı olduğu sonucuna varılmıştır. Sadece bu bölüm oranı için farklı eksenel yük oranları ($P/P_o=0,01$ ve $P/P_o=0,02$) altında perdenin davranışı incelenmiştir. Farklı eksenel yükler

altında perdeye etkiyecek olan G düşey yükünün hesabı Denklem (7.1)'deki gibi yapılmıştır.

$$\frac{P}{P_o} = \frac{P}{A_w f_c} \quad (7.1)$$

P = Düşey Yük

A_w = Perdenin Alanı

f_c = Betonun Karakteristik Basınç Dayanımı

C12/15 Beton için 0,05 eksenel yük oranındaki düşey yük hesabı;

$$\frac{P}{A_w f_c} = \frac{P}{5000 \times 200 \times 12} = 0,05$$

$$P = 600 \text{ KN}$$

C12/15 Beton için 0,1 eksenel yük oranındaki düşey yük hesabı;

$$\frac{P}{A_w f_c} = \frac{P}{5000 \times 200 \times 12} = 0,1$$

$$P = 1.200 \text{ KN}$$

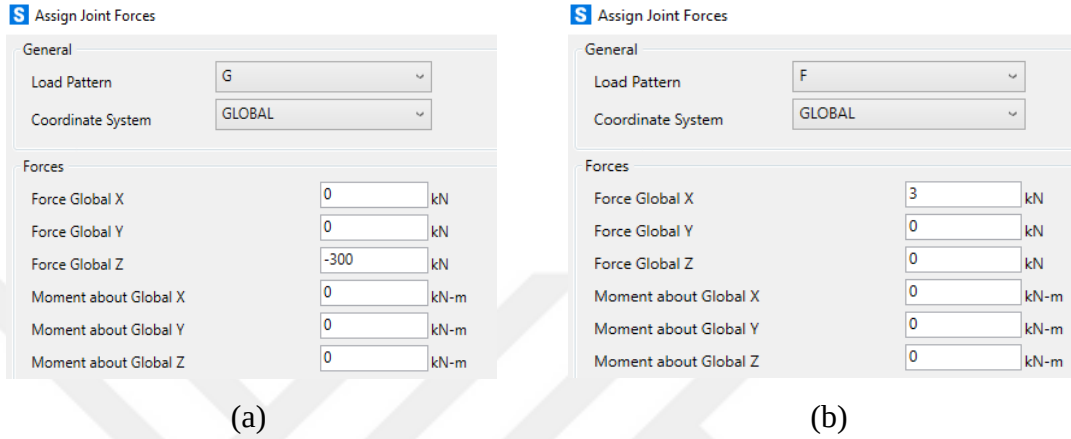
C12/15 Beton için 0,2 eksenel yük oranındaki düşey yük hesabı;

$$\frac{P}{A_w f_c} = \frac{P}{5000 \times 200 \times 12} = 0,2$$

$$P = 2.400 \text{ KN}$$

şeklinde farklı eksenel yük oranları için düşey yük hesabı yapılmıştır. Bu düşey yükler betonarme perdenin bölüm sayısına bağlı olarak değişen düğüm noktası sayısına göre eşit şekilde bölünmüş ve perdelere tanımlanmıştır.

Hesaplanan düşey yüklerin programa tanımlanabilmesi için öncelikle düğüm noktaları seçilmiştir. Düğüm noktaları seçildikten sonra 'Assign - Joint Loads- Forces' komutları sırasıyla takip edilerek gelen komut penceresinden F (yatay yük) ve G (düşey yük) değerleri tepedeki düğüm noktalarına tanımlanmıştır. Tanımlanan F ve G yükleri Şekil 7.26'da gösterilmiştir.



Şekil 7.26. (a) G (düşey yük) (b) F (yatay yük) tanımlanması

Farklı eksenel yük oranları için düşey yük hesabı yapıldıktan sonra programa belirlenen donatı çapı ve aralıklarına göre donatılar tanımlanmıştır. Tüm bölüm sayılarında ve her iki farklı analizde de aynı donatı çapı aynı aralıklarla yerleştirilip analizler bu şekilde yapılmıştır. Ø14/150 mm olacak şekilde donatıların beton dış yüzünden mesafelerini ve donatı plak kalınlığı t_d hesaplanmıştır. Perde gövde donatıları için t_d katman kalınlığı $t_d = 153,94/150 = 1,026$ mm olarak bulunmuştur. Perde gövde boyuna donatısının beton dış yüzüne olan mesafesini hesaplamak için perdenin kalınlığının yarısından (100 mm) beton pas payı (20 mm) ve boyuna donatı yarıçapını çıkartılarak hesaplanmıştır. $100 - 20 - 7 = 73$ mm = 0,073 m şeklinde hesaplanmıştır. Boyuna donatı ve etriyeler için hesaplanan kalınlık ve mesafe değerleri programa tanımlanmıştır. Şekil 7.27'de programa perdeler için tanımlanan donatı ve beton detayına ait tüm veriler gösterilmiştir.

Layer Definition Data

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Type	Material Component S11	Behavior S22	S12
C-M	0,	0,2	Membrane	1	C12/15	0,	Directional	Linear	Nonlinear	Linear
C-P	0,	0,15	Plate	2	C12/15	0,	Directional	Linear	Linear	Linear
R1V	0,063	0,001026	Membrane	1	Rebar	90,	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
R2V	-0,063	0,001026	Membrane	1	Rebar	90,	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
R1H	0,073	0,001026	Membrane	1	Rebar	0,	Directional	Inactive	Nonlinear	Linear
R2H	-0,073	0,001026	Membrane	1	Rebar	0,	Directional	Inactive	Nonlinear	Linear

Quick Start

☐ Highlight Selected Layer

Transparency Control

Section Name

P

Order Layers By Distance

Order Ascending Order Descending

Calculated Layer Information

Number of Layers 6

Total Section Thickness 0,2

Sum of Layer Overlaps 0,1582

Sum of Gaps Between Layers 0,

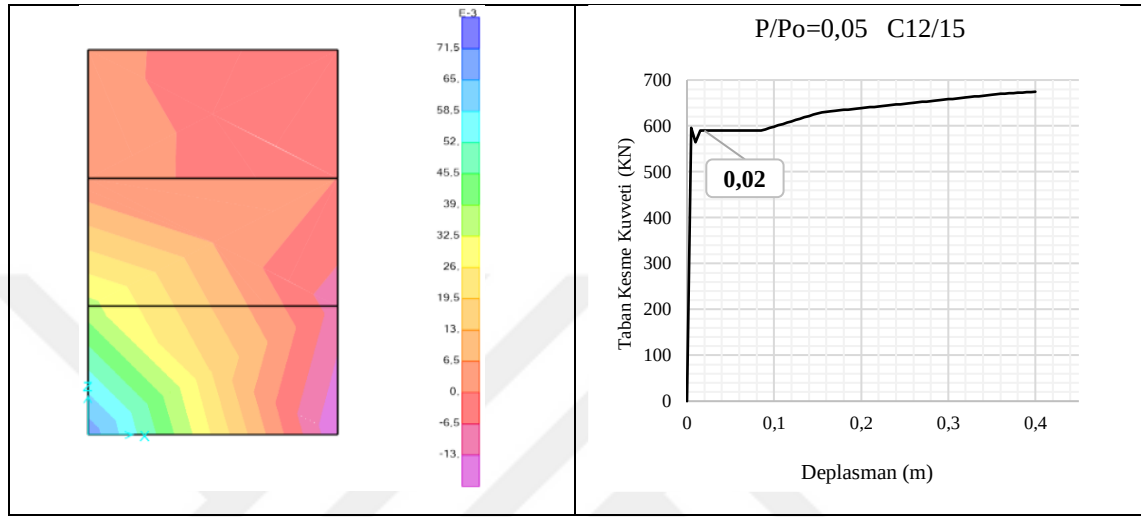
OK Cancel

Şekil 7.27. Perde için nonlinear layer shell'de C12/15 beton ve S220 donatının tanımlanması.

Perdelerde nonlinear analizlerin yapılabilmesi için tüm veri girişleri tanımlandıktan sonra; Shell elemanlarıyla modellenen perdelerde analizlerin modelin gerçek davranışına yakın sonuçlar verebilmesi için eleman sayıları artırılarak bölümler yapılmıştır. Programda perdeler 'edit-edit area-divide area' komutları sırasıyla takip edilerek bölünüp eleman sayıları artırılmıştır. Yapılan bölüm sayılarına göre her katta elde edilen düğüm sayılarına göre eksenel yük oranı 0,05 için hesaplanan düşey yük değeri 600 KN sisteme her düğüm noktası için eşit olacak şekilde tanımlanmıştır. Düşey yük tanımlandıktan sonra perde için yanal yük değeri tanımlanmıştır. Bu analizlerde düşey ve yanal yükler sadece tepedeki düğüm noktalarına tanımlanmış ve analizler bu yönde yapılmıştır.

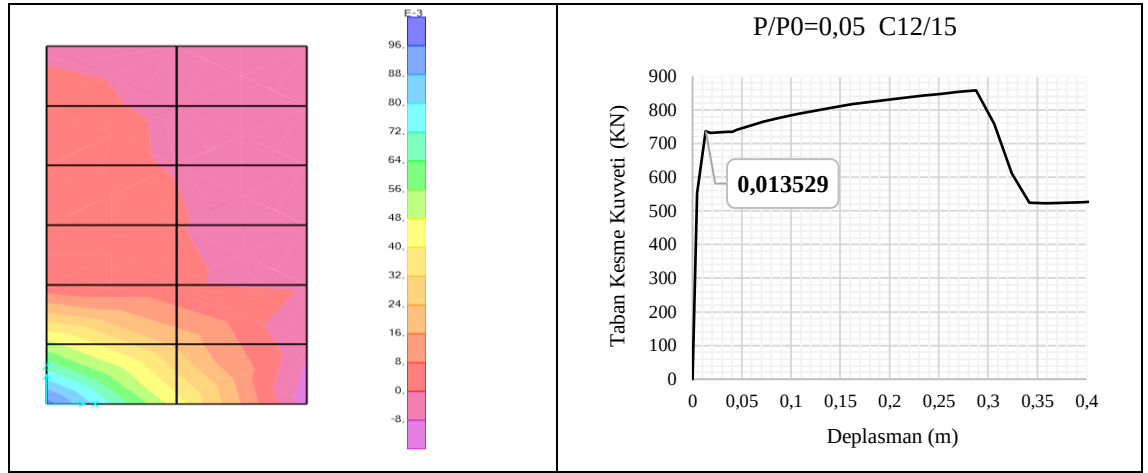
Bölümsüz perdede toplam iki adet düğüm noktası bulunmaktadır ve 600 KN'luk düşey yük değeri G bu iki düğüme 300 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Yanal yük değeri F ise tepedeki her düğüme 3 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 6.28'de $P/P_o=0,05$, C12/15 beton ve S220 donatı ile modellenen bölümsüz perdede itme eğrisi ve perdenin beton ve donatı için birim şekil değiştirmesi verilmiştir. Şekil 7.28 (a)'da nihai birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığında; 0,0185 m birim şekil değiştirme değerine ulaşıldığı gözlemlenir. Birim şekil değiştirme diyagramında beton ezilmiş olmasına rağmen (ileri seviyelerde ezilme değerine ulaşmış durumda) itme eğrisinde perdede,

betonun ezilmeye başladığı birim şekil değiştirme değerinde kapasitede düşüş olmamıştır. Sonuç olarak da bölümsüz olarak modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermesine rağmen, sistem davranışına bu durumun bu mesh oranı (eleman ağ yoğunluğu) için yansımadığı gözlenmiştir. Donatının ise nihai birim şekil değiştirme değerinin 0,0685 m olduğu görülmüştür.



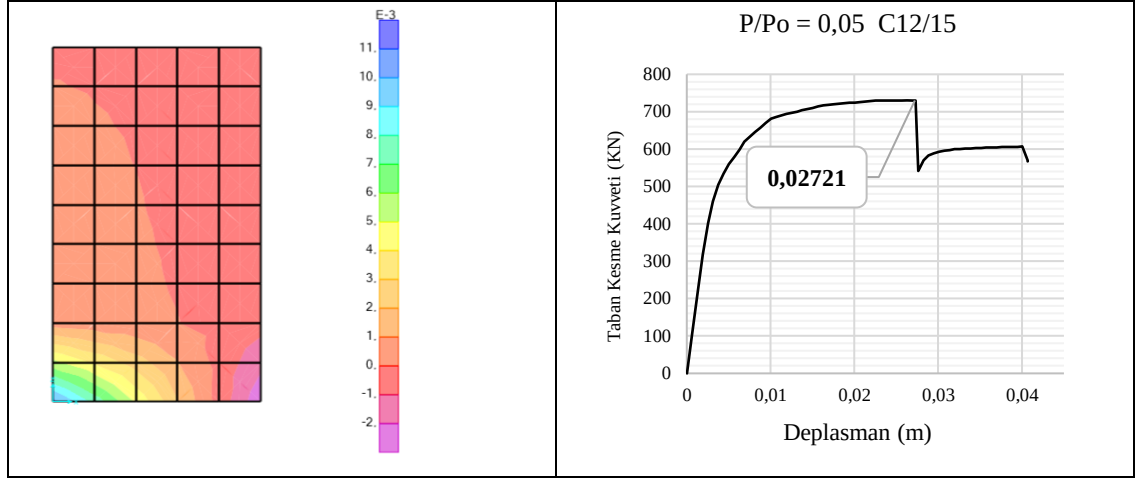
Şekil 7.28. Bölümsüz perdede $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.

2x2 bölümlü perdede toplam 3 adet düğüm noktası bulunmaktadır ve 600 KN'luk düşey yük değeri G bu 3 düğümün her birine 200 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Yanal yük değeri F ise tepedeki her düğüme 3 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 7.29'da $P/P_o=0,05$, C12/15 beton ve S220 donatı ile modellenen 2x2 bölümlü perdede itme eğrisi ve perdenin beton ve donatı için birim şekil değiştirmesi verilmiştir. Şekil 7.29 (a)'da nihai birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığında; 0,0128 m birim şekil değiştirme değerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Birim şekil değiştirme diyagramında beton ezilmiş olmasına rağmen, itme eğrisinde perde betonun ezilmeye başladığı birim şekil değiştirme değerinde (0,0128 m), yapının kapasitesinde yeterli bir düşüş meydana gelmemiştir. Sonuç olarak da 2x2 bölümlü olarak modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermesine rağmen, sistem davranışına bu durumun bu mesh oranı (eleman ağ yoğunluğu) için doğru şekilde yansımadığı gözlenmiştir. Donatının ise nihai birim şekil değiştirme değerinin 0,1 m olduğu görülmüştür.



(a) (b)
Şekil 7.29. 2x2 bölümlü perdede $P/P_0=0,05$ ve C12/15 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.

3x5 bölümlü perdede toplam 6 adet düğüm noktası bulunmaktadır ve 600 KN'luk düşey yük değeri G bu 6 düğümün her birine 100 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Yanal yük değeri F ise tepedeki her düğüme 3 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 7.30'da $P/P_0=0,05$, C12/15 beton ve S220 donatı ile modellenen 3x5 bölümlü perdede itme eğrisi ve perdenin beton ve donatıdaki birim şekil değiştirmesi verilmiştir. Şekil 7.30 (a)'da nihai şekil değiştirme değerlerine bakıldığında; 0,025 m birim şekil değiştirme değerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Betonun ezildiği birim şekil değiştirme değerinde (0,025 m), itme eğrisinde perdenin kapasitesinde düşüşün yaklaşık olarak başladığı gözlenmiştir. Sonuç olarak 3x5 bölümlü olarak modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermiş, sistem davranışına da bu durumun bu mesh oranı (eleman ağ yoğunluğu) için doğru şekilde yansıdığı gözlenmiştir. Donatının ise nihai birim şekil değiştirme değerinin 0,0101 m olduğu görülmüştür.

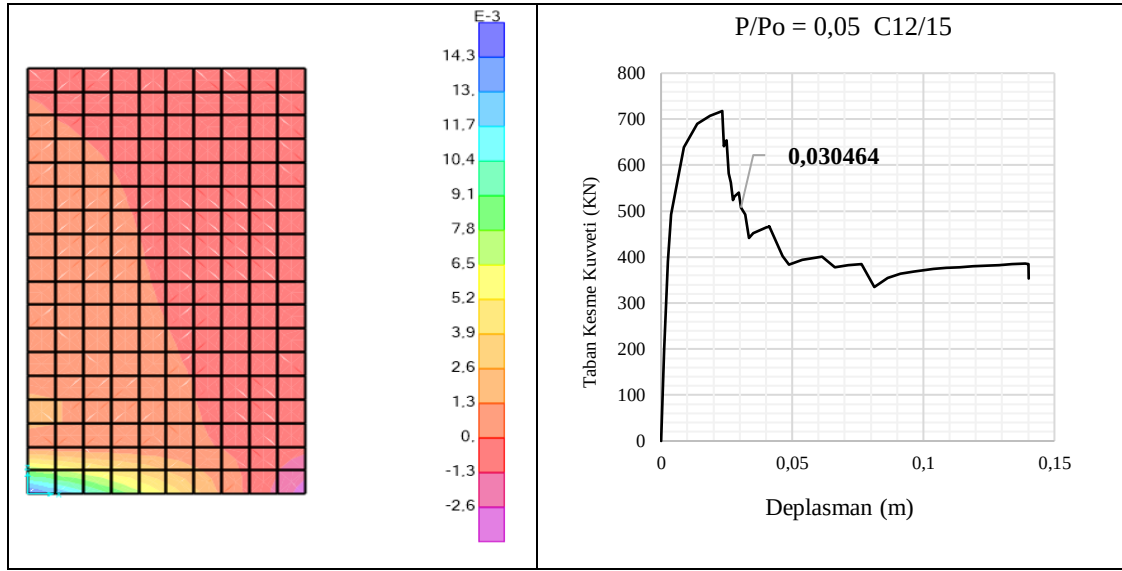


(a)

(b)

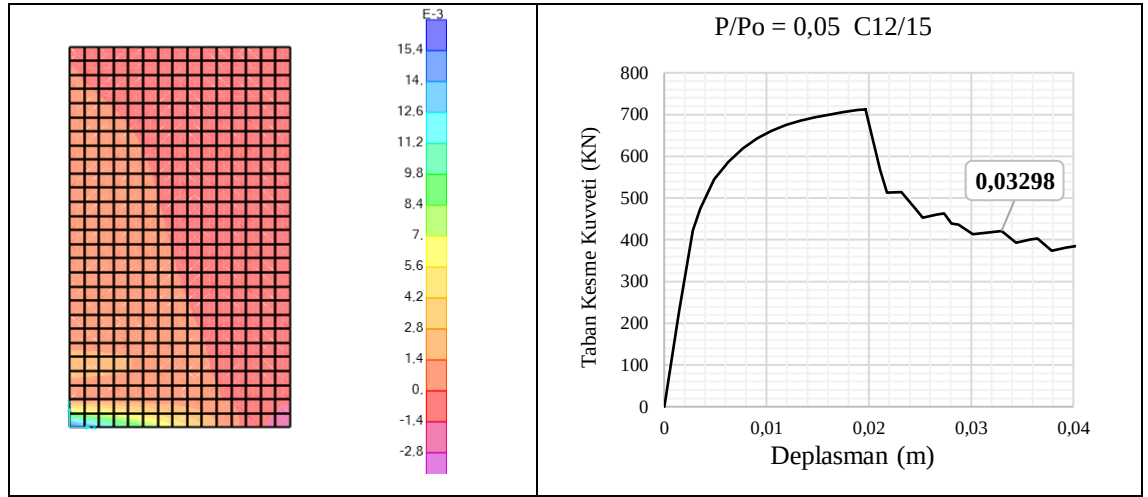
Şekil 7.30. 3x5 bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.

6x10 bölümlü perdede toplam 11 adet düğüm noktası bulunmaktadır ve 600 KN'luk düşey yük değeri G bu 11 düğümün her birine 54,54 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Yanal yük değeri F ise tepedeki her düğüme 3 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 7.31'de $P/P_o=0,05$, C12/15 beton ve S220 donatı ile modellenen 6x10 bölümlü perdede itme eğrisi ve perdenin donatı ve betondaki birim şekil değiştirmesi verilmiştir. Şekil 7.31 (a)'da nihai şekil değiştirme değerlerine bakıldığında; 0,032 m birim şekil değiştirme değerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Betonun ezildiği birim şekil değiştirme değerinde (0,032 m), itme eğrisinde perdenin kapasitesinin daha düşük deplasman değerinde düşüğe geçtiği gözlenmiştir (0,023 m). Sonuç olarak 6x10 bölümlü olarak modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermiş, sistem davranışına da bu durumun bu mesh oranı (eleman ağ yoğunluğu) için doğru şekilde yansımadığı gözlenmiştir. Donatının ise nihai birim şekil değiştirme değerinin 0,014 m olduğu görülmüştür.



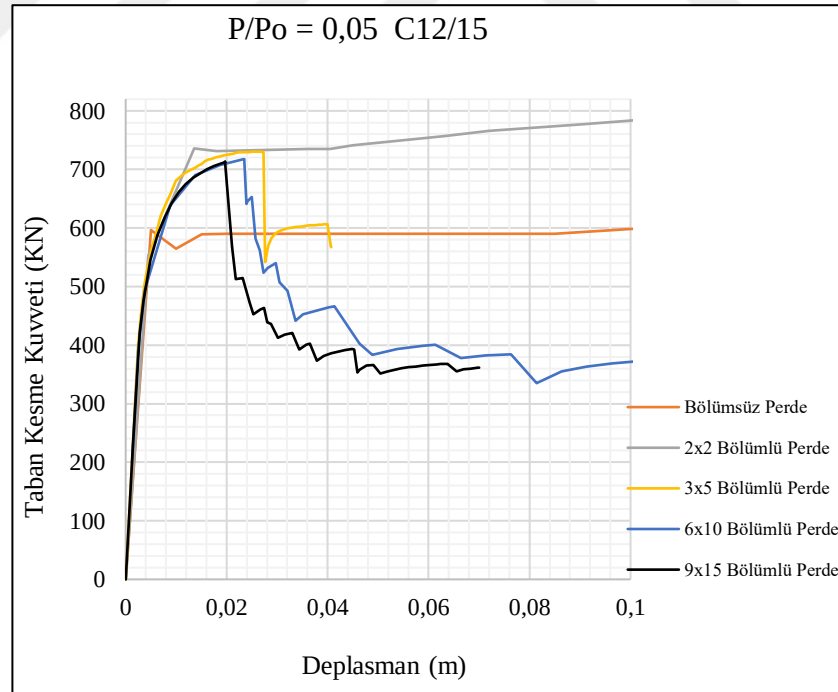
(a) (b)
Şekil 7.31. 6x10 bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.

9x15 bölümlü perdede toplam 16 adet düğüm noktası bulunmaktadır ve 600 KN'luk düşey yük değeri G bu 16 düğümün her birine 37,5 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Yanal yük değeri F ise tepedeki her düğüme 3 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 7.32'de $P/P_o=0,05$, C12/15 beton ve S220 donatı ile modellenen 9x15 bölümlü perdede itme eğrisi ve perdenin beton ve donatısı için birim şekil değiştirmesi verilmiştir. Şekil 7.32 (a)'da birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığında; 0,033 m birim şekil değiştirme değerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Betonun ezildiği birim şekil değiştirme değerinde (0,033 m), itme eğrisinde perdenin kapasitesinin daha düşük deplasman değerinde düşüşe geçtiği gözlenmiştir. Sonuç olarak 9x15 bölümlü olarak modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermiş, sistem davranışına da bu durumun bu mesh oranı için doğru şekilde yansımadığı gözlenmiştir. Donatının ise nihai birim şekil değiştirme değerinin 0,0165 olduğu görülmektedir.

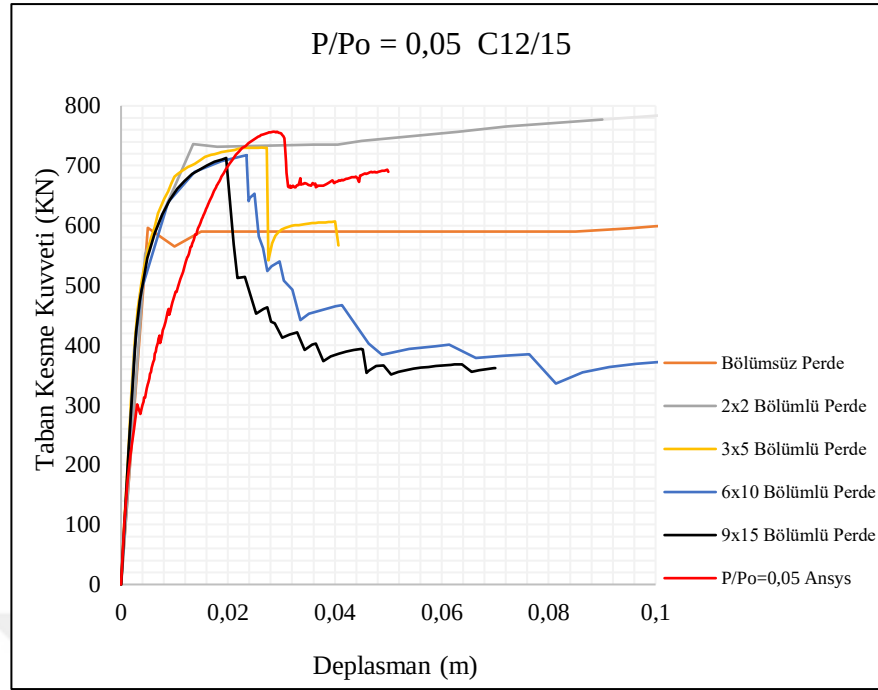


(a) (b)
Şekil 7.32. 9x15 bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.

Her bölüm oranında itme eğrileri incelenmiş ve yorumlanmıştır. Tüm durumlar için itme eğrileri Şekil 7.33’de verilmiş ve C12/15 beton, S220 donatı ve eksenel yük oranı 0,05 için çıkan sonuçlara göre analizler yorumlanmıştır.



Şekil 7.33. Tüm perdelerde $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için itme eğrileri



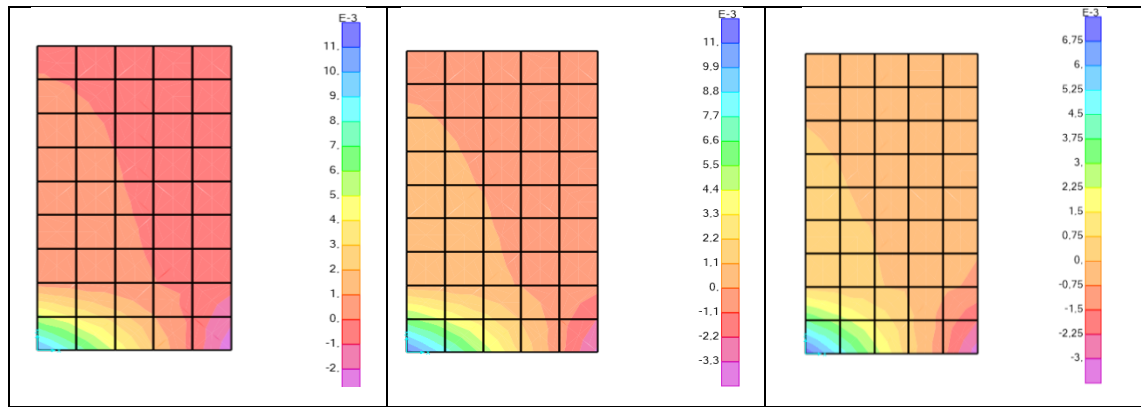
Şekil 7.34. Tüm perdelerde $P/P_o=0,05$ ve C12/15 için SAP2000 ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri.

Şekil 7.34'de C12/15 betonunda $P/P_o=0,05$ için farklı bölüm oranlarında elde edilen itme eğrileri ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri aynı diyagram üzerinde gösterilmiştir.

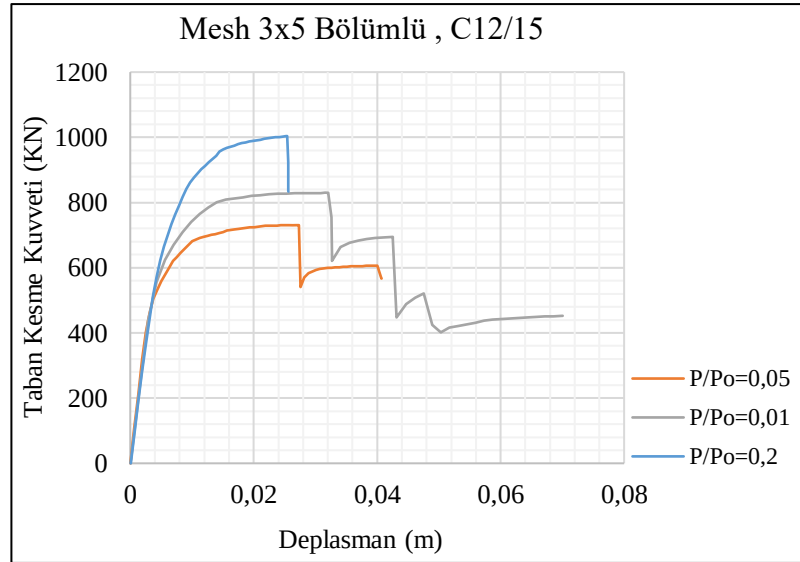
Tüm perdeler için itme eğrilerine göre yapılan yorumlar ve gözlemlere dayanarak yapı için en uygun Mesh yoğunluğundaki bölüm oranına (eleman ağ yoğunluğu) sahip perde modelinin 3x5 bölümlü perde olduğu sonucuna varılmıştır. 3x5 bölüm oranında modellenen yapı hem sayısal hem de davranışsal olarak gerçek davranışına uygun sonuçlar vermiştir. Betonun ezildiği birim şekil değiştirme değerinde kapasitede düşüş yaşanmış ve bu modellemeyle hem sayısal hem davranışsal olarak doğru sonuçlar elde edilmiştir. Bölümsüz ve 2x2 bölümlü modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermesine rağmen, sistem davranışına bu durumun bu mesh oranları için doğru şekilde yansımadığı gözlenmiştir. Bu iki perde modelinde Mesh'ler çok büyük olduğu için bölüm sayıları (eleman ağ yoğunluğu) az ve buna oranla Shell ile modellenen perdelerde eleman sayısı az olduğu için betonun ezildiği birim şekil değiştirme değerine karşılık gelen kapasite değerlerinde düşüş yaşanmamaktadır. Yapı davranışı bu iki modelleme ile gerçek davranışından daha iyi kapasite değerleri ortaya çıkarmaktadır. Bu yüzden bu iki modellemede yapı gerçek davranışından uzak davranış

sergilemektedir. 6x10 bölümlü ve 9x15 bölümlü perdelerde ise Mesh'ler çok küçük olduğu için (eleman ağ yoğunluğu fazla) betonun ezildiği birim şekil değiştirme değerine karşılık gelen kapasitelerde, yapının gerçek davranış kapasite değerinden daha fazla düşüş yaşanmıştır. Yapı davranışı bu iki modelleme ile gerçek davranışından daha kötü kapasite değerleri ortaya çıkarmaktadır. Bu yüzden bu iki modellemede yapı gerçek davranışından uzak davranış sergilemektedir. Analiz için farklı bölüm sayılarında modellenen 5 perde modelinde Mesh (eleman ağ yoğunluğu) yani bölüm sayısı artırıldıkça yapının kapasitesinin azaldığı, bölüm sayısının azaldıkça yapı kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Modelleme yapılırken Mesh yoğunluğunun bu iki değer arasında 'Optimum Mesh Size' yoğunluğunda olması gerekir. Şekil 7.34'de görüldüğü üzere hem ANSYS hem de SAP2000 programları üzerinden elde edilen itme eğrilerindeki birim şekil değiştirme değerleri benzerdir. Her iki program üzerinde yapılan analizler sonucunda bölüm sayısına oranla elde edilen eleman sayısına bağlı olarak deplasman kapasitesinin yapı davranışı ve kapasitesine göre en gerçekçi davranışı 3x5 bölümlü perde modelinde elde edildiği gözlemlenmiştir.

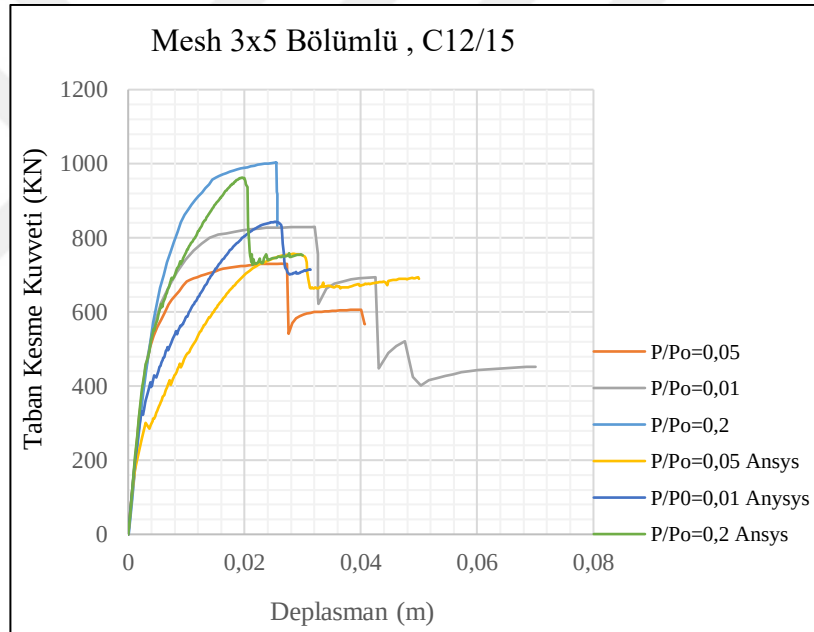
Mevcut yapıdaki perdeleri modellemek için kullanılan 3x5 bölümlü perde modelinin farklı eksenel yük oranlarında da nasıl davrandığı incelenmiştir. P/Po eksenel yük oranı için P/Po=0,1 ve P/Po=0,2 eksenel yük oranları için de 3x5 bölümlü perdenin davranışı incelenmiştir. P/Po=0,1 için P=1.200 KN olarak, P/Po=0, için P=2.400 KN olarak hesaplanmıştır. Bu düşey yük değerlerine göre modeldeki düğüm sayılarına göre yükler perdeye tanımlanmıştır.



Şekil 7.35. (a) P/Po=0,05 (b) P/Po=0,1 (c) P/Po=0,2 eksenel yük oranlarında kabuk (shell) elemanlarında birim şekil değiştirmeler.



Şekil 7.36. 3x5 bölümlü perde modeli için farklı P/Po oranları için itme eğrileri



Şekil 7.37. 3x5 bölümlü perde modeli için farklı P/Po oranları için SAP2000 ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri.

Şekil 7.37'de 3x5 bölümlü perde modeli için C12/15 betonunda farklı eksenel yük oranlarında SAP2000 ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri aynı diyagram üzerinde gösterilmiştir.

Şekil 7.36 ve Şekil 7.37'de görüldüğü üzere hem ANSYS hem de SAP2000 programı ile yapılan modellemelerde, perdedeki eksenel yük oranı arttıkça her bir düğüme gelen düşey kuvvet değeri artmakta buna bağlı olarak da taban kesme kuvveti

değeri ve yapının kapasitesi artmaktadır. Şekil 7.35 incelendiğinde $P/P_o=0,05$ için beton nihai birim şekil değiştirme değeri 0,0025 m donatı nihai birim şekil değiştirme değeri 0,0101 m, $P/P_o=0,01$ için beton birim şekil değiştirme değeri 0,0036 m donatı nihai birim şekil değiştirme değeri 0,0118 m, $P/P_o=0,02$ için beton birim şekil değiştirme değeri 0,00348 m donatı akma birim şekil değiştirme değeri 0,007 olarak gözlenmiştir.

C12/15 beton ve S220 donatısı kullanılarak farklı Mesh'lerde modellenen perdeler için analizler tamamlanmıştır. Bir sonraki bölümde C30/37 beton ve S420 donatı kullanılıp farklı Mesh'lerde modelleme yapılmış ve analizler yorumlanmıştır.

7.2.3.2.2. C30/37 beton ve S420 donatı malzemeleri kullanılarak farklı bölüm sayılarında modelleme yapılması

Modelleme yapabilmek için öncelikle C30/37 beton ve S420 donatı malzemeleri programa tanımlanmıştır. Donatı tanımlanırken 'rebar' şeklinde tanımlanmalıdır. S420 donatı için;

Akma dayanımı (f_y) = 420 N/mm²

Çekme Dayanımı (f_u) = 530 N/mm²

olacak şekilde programa tanımlanmıştır.

Malzeme tanımlaması yapıldıktan sonra tüm bölüm oranlarında hesap yapılacak olan 0,05 eksenel yük oranına göre perdeye gelecek olan toplam G düşey yükü hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda en uygun bölüm oranının 3x5 bölüm oranı olduğu sonucuna varılmıştır. Sadece bu bölüm oranı için farklı eksenel yük oranları ($P/P_o=0,01$ ve $P/P_o=0,02$) altında perdenin davranışı incelenmiştir. Farklı eksenel yükler altında perdeye etkiyecek olan G düşey yükünün hesabı Denklem (7.1)'deki gibi yapılmıştır.

C30/37 Beton için 0,05 eksenel yük oranındaki düşey yük hesabı;

$$\frac{P}{A_w f_c} = \frac{P}{5000 \times 200 \times 30} = 0,05$$

$$P = 1.500 \text{ KN}$$

C30/37 Beton için 0,1 eksenel yük oranındaki düşey yük hesabı;

$$\frac{P}{A_w f_c} = \frac{P}{5000 \times 200 \times 30} = 0,1$$

$$P = 3.000 \text{ KN}$$

C30/37 Beton için 0,2 eksenel yük oranındaki düşey yük hesabı;

$$\frac{P}{A_w f_c} = \frac{P}{5000 \times 200 \times 30} = 0,2$$

$$P = 6.000 \text{ KN}$$

şeklinde farklı eksenel yük oranları için düşey yük hesabı yapılmıştır. Bu düşey yükler betonarme perdenin bölüm sayısına göre değişen düğüm noktası sayısına göre eşit şekilde bölünmüş ve perdeler tanımlanmıştır.

Farklı eksenel yük oranları için düşey yük hesabı yapıldıktan sonra programa belirlenen donatı çapı ve aralıklarına göre donatılar Şekil 7.38’de görüldüğü şekilde ve bir önceki bölümde detaylıca anlatıldığı gibi tanımlanmıştır.

Layer Definition Data

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Type	Material Component S11	Behavior S22	S12
C-M	0,	0,2	Membrane	1	C30/37	0,	Directional	Linear	Nonlinear	Linear
C-P	0,	0,15	Plate	2	C30/37	0,	Directional	Linear	Linear	Linear
R1V	0,065	0,001026	Membrane	1	S420	90,	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
R2V	-0,065	0,001026	Membrane	1	S420	90,	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
R1H	0,075	0,001026	Membrane	1	S420	0,	Directional	Inactive	Nonlinear	Linear
R2H	-0,075	0,001026	Membrane	1	S420	0,	Directional	Inactive	Nonlinear	Linear

Quick Start

☐ Highlight Selected Layer

Transparency Control

Section Name

P

Order Layers By Distance

Order Ascending Order Descending

Calculated Layer Information

Number of Layers 6

Total Section Thickness 0,2

Sum of Layer Overlaps 0,1572

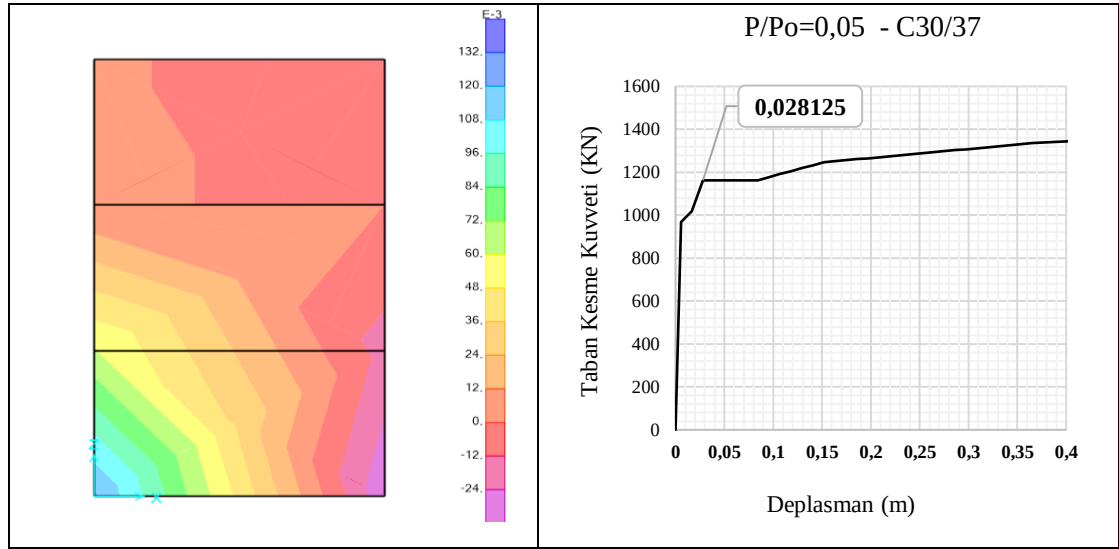
Sum of Gaps Between Layers 0,

OK Cancel

Şekil 7.38. Perde için nonlinear layer shell'de C30/37 beton ve S420 donatının tanımlanması.

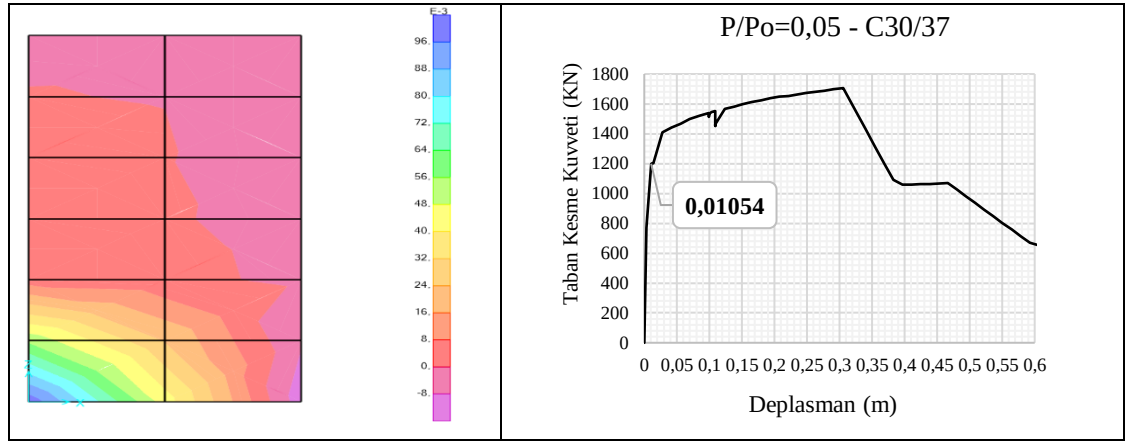
Perdelerde nonlinear analizlerin yapılabilmesi için tüm veriler tanımlandıktan sonra; Shell elemanlarıyla modellenen perdelerde analizlerin daha hassas sonuçlar verebilmesi için eleman sayıları artırılarak bölümler yapılmıştır. Yapılan bölüm sayılarına göre her katta elde edilen düğüm sayılarına göre eksenel yük oranı 0,05 için hesaplanan düşey yük değeri 1.500 KN sisteme her düğüm noktası için eşit olacak şekilde tanımlanmıştır. Düşey yük tanımlandıktan sonra perde için yanal yük değeri tanımlanmıştır. Bu analizlerde düşey ve yanal yükler sadece tepedeki düğüm noktalarına tanımlanmış ve analizler bu yönde yapılmıştır.

Bölümsüz perdede toplam iki adet düğüm noktası bulunmaktadır ve 1.500 KN'luk düşey yük değeri G bu iki düğüme 750 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Yanal yük değeri F ise tepedeki her düğüme 3 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 7.39 (a)'da nihai birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığında; 0,033 m birim şekil değiştirme değerine betonun ulaştığı gözlenmiştir. Birim şekil değiştirme diyagramında beton ezilmiş olmasına rağmen, itme eğrisinde perde beton ezilmeye başladığı birim şekil değiştirme değerinde kapasitesinde düşüş olmamaktadır. Sonuç olarak bölümsüz olarak modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermesine rağmen, sistem davranışına bu durumun bu mesh oranı için yansımadağı gözlenmiştir. Donatının ise nihai birim şekil değiştirme değerinin 0,122 m olduğu görülmektedir.



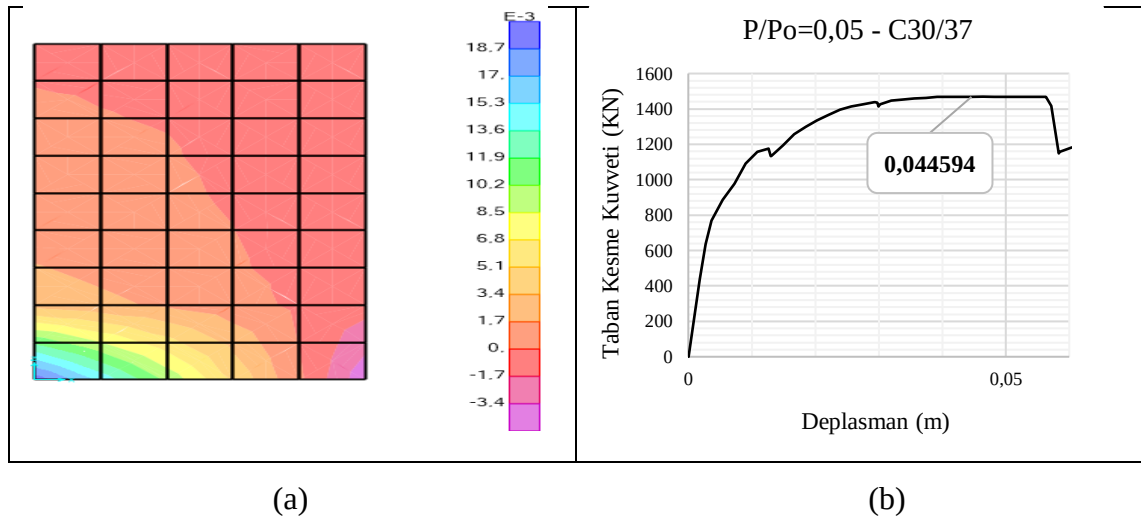
(a) (b)
Şekil 7.39. Bölümsüz perdede $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için (a) Birim şekil değiştirme
 (b) İtme eğrisi.

2x2 bölümlü perdede toplam üç adet düğüm noktası bulunmaktadır ve 1.500 KN'luk düşey yük değeri G bu üç düğüme 500 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Yanal yük değeri F ise tepedeki her düğüme 3 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 7.40 (a)'da nihai birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığında; 0,0129 m birim şekil değiştirme değerine betonun ulaştığı gözlenmiştir. Birim şekil değiştirme diyagramında beton ezilmiş olmasına rağmen, itme eğrisinde perde betonun ezilmeye başladığı birim şekil değiştirme değerinde (0,0129 m), yapının kapasitesi artmaya devam etmektedir. Sonuç olarak da 2x2 bölümlü olarak modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermesine rağmen, sistem davranışına bu durumun bu mesh oranı için de doğru şekilde yansımadığı gözlenmiştir. Donatının ise nihai birim şekil değiştirme değerinin 0,102 m olduğu görülmektedir.



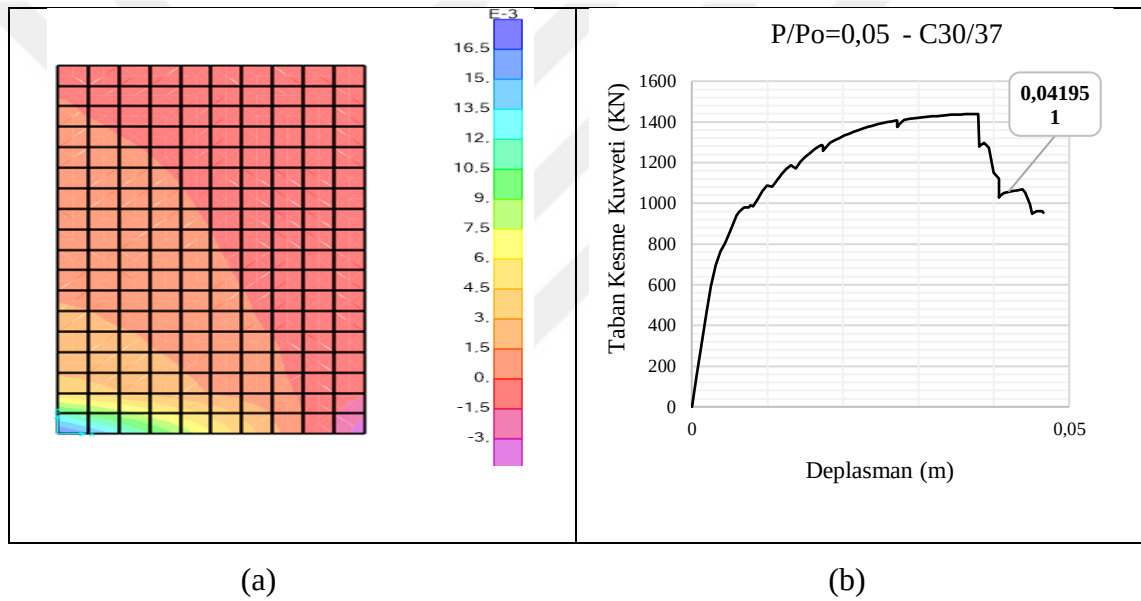
(a) (b)
Şekil 7.40. 2x2 bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.

3x5 bölümlü perdede toplam 6 adet düğüm noktası bulunmaktadır ve 1.500 KN'luk düşey yük değeri G bu 6 düğüme 250 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Yanal yük değeri F ise tepedeki her düğüme 3 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 7.41 (a)'da nihai birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığında; 0,0447 m birim şekil değiştirme değerine betonun ulaştığı gözlenmiştir. Betonun ezildiği birim şekil değiştirme değerinde (0,0447 m), itme eğrisinde perdenin kapasitesinin yaklaşık olarak bu değerde düşüşe geçtiği gözlenmiştir. Sonuç olarak 3x5 bölümlü olarak modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermiş, sistem davranışına da bu durumun bu mesh oranı için doğru şekilde yansıdığı gözlenmiştir. Donatının ise nihai birim şekil değiştirme değerinin 0,0101 m olduğu görülmektedir.



(a) (b)
Şekil 7.41. 3x5 Bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.

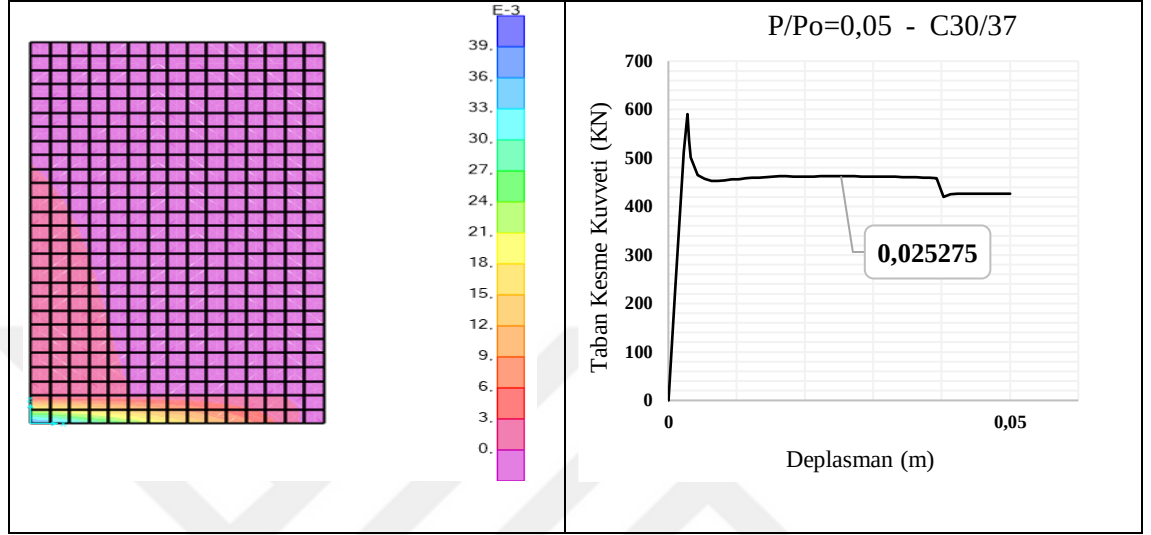
6x10 bölümlü perdede toplam 11 adet düğüm noktası bulunmaktadır ve 1.500 KN'luk düşey yük değeri G bu 11 düğüme 136,36 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Yanal yük değeri F ise tepedeki her düğüme 3 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 7.42 (a)'da birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığında; 0,0413 birim şekil değiştirme değerinde betonun ezildiği gözlenmiştir. Betonun ezildiği birim şekil değiştirme değerinde (0,0413), itme eğrisinde perdenin kapasitesinin daha düşük deplasman değerinde düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak 3x5 bölümlü olarak modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermiş, sistem davranışına da bu durumun bu mesh oranı için doğru şekilde yansımadığı gözlenmiştir. Donatının ise akma birim şekil değiştirme değerinin 0,0173 olduğu görülmektedir.



(a) (b)
Şekil 7.42. 6x10 bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.

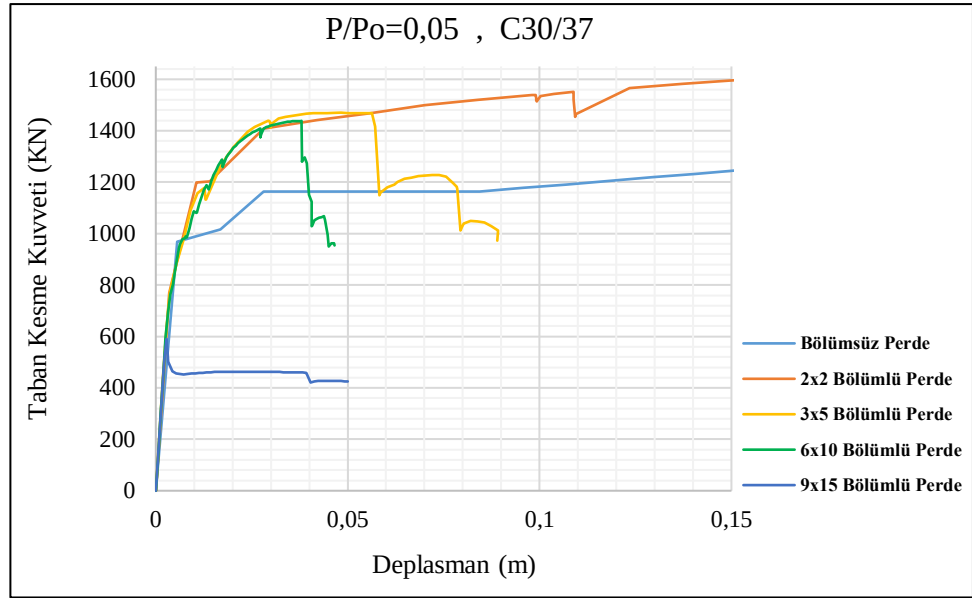
9x15 bölümlü perdede toplam 16 adet düğüm noktası bulunmaktadır ve 1.500 KN'luk düşey yük değeri G bu 16 düğüme 93,75 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Yanal yük değeri F ise tepedeki her düğüme 3 KN olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 7.43 (a)'da nihai birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığında; 0,027 m birim şekil değiştirme değerine betonun ulaştığı gözlenmiştir. Betonun ezildiği birim şekil değiştirme değerinde (0,027 m), itme eğrisinde perdenin kapasitesinin daha düşük deplasman değerinde düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak 9x15 bölümlü olarak modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermiş, sistem davranışına da bu durumun bu mesh oranı için doğru şekilde yansımadığı gözlenmiştir. S420 donatı

ve C30/37 beton kullanılarak 9x15 bölümlü modellenmesi yapılan perdenin kapasitesi C12/15 ve S220 donatı kullanılarak modellenen yapının kapasitesindeki düşüşe oranla çok daha fazla düşüş meydana geliyor. Donatının ise nihai birim şekil değiştirme değerinin 0,039 m olduğu görülmektedir.

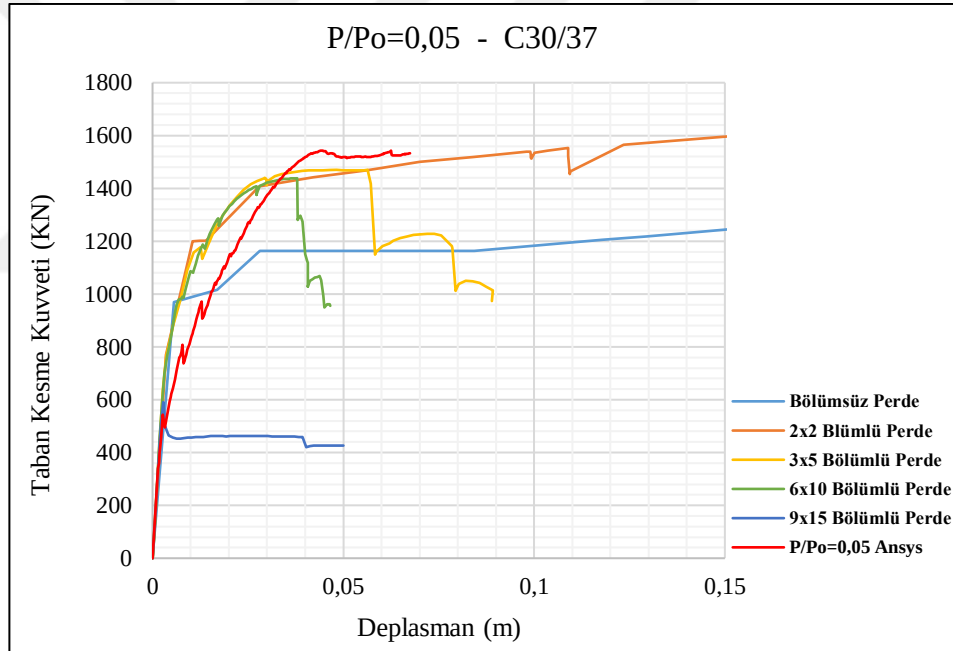


(a) (b)
Şekil 7.43. 9x15 Bölümlü perdede $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için (a) Birim şekil değiştirme (b) İtme eğrisi.

Farklı bölüm sayılarında modellenen perdenin her bölüm oranı için analiz sonuçlarına göre donatı ve betonun birim şekil değiştirme değerleri ve itme eğrilerine göre yorumlama yapılmıştır. Tüm durumlar için itme eğrileri Şekil 7.44’de verilmiş ve C30/37 beton, S420 donatı ve eksenel yük oranı 0,05 için çıkan sonuçlara göre analizler yorumlanmıştır.



Şekil 7.44. Tüm perdelerde $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için itme eğrileri



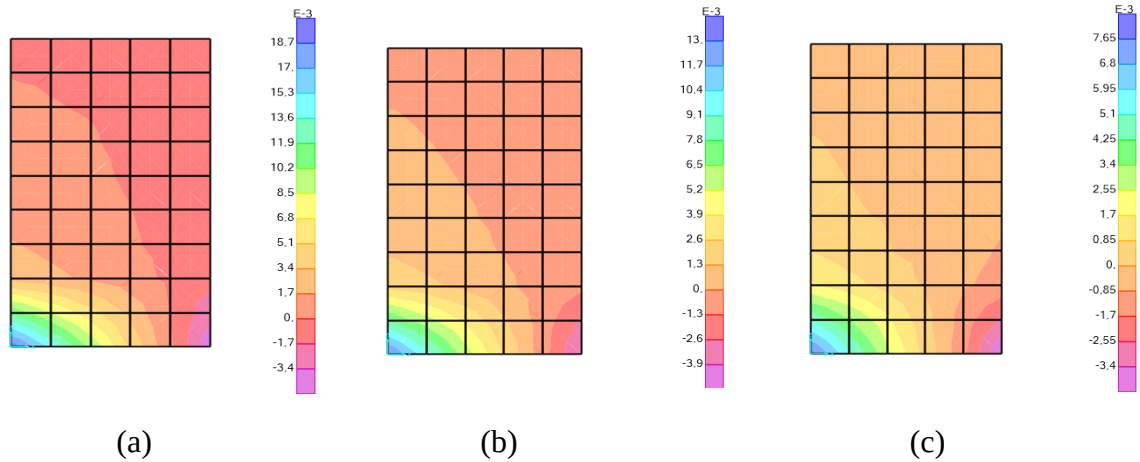
Şekil 7.45. Tüm perdelerde $P/P_o=0,05$ ve C30/37 için SAP2000 ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri.

Şekil 7.45'de C30/37 betonunda $P/P_o=0,05$ için farklı bölüm oranlarında elde edilen itme eğrileri ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri aynı diyagram üzerinde gösterilmiştir.

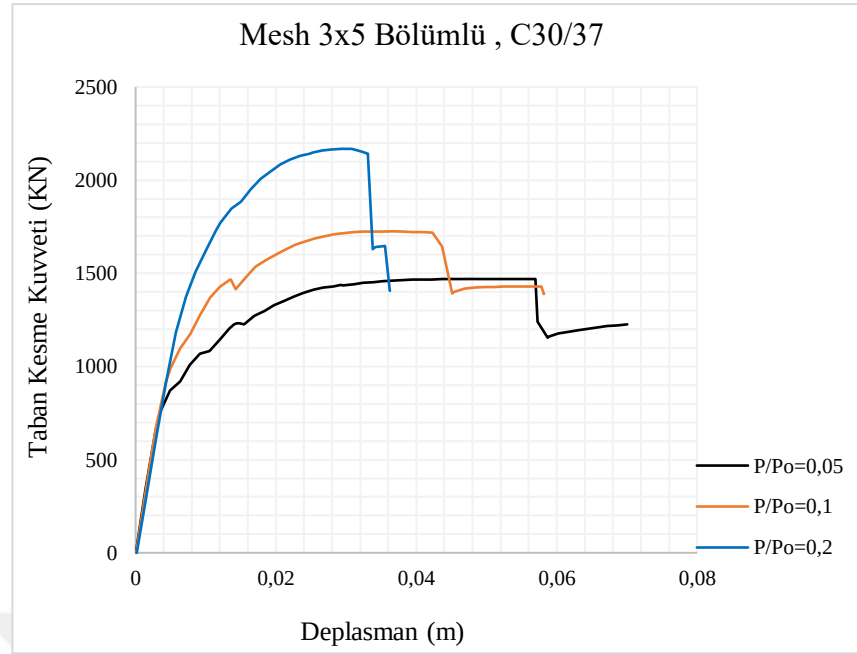
Tüm perdeler için itme eğrileri incelendiğinde C12/15 beton ve S220 donatı kullanılarak farklı Mesh'lerde modellenen perdelerdeki davranışların C30/37 beton ve

S420 donatı malzemeleri kullanılarak modellenen perdelerde de benzer olduğu gözlemlenmiştir. Yani diğer analizde de olduğu gibi eleman sayılarının artmasıyla, perdelerdeki taban kesme kuvvetine karşılık gelen deplasmanların model 5x3 bölümlü perde modelinden sonra değişiklik gösterdiği görülmektedir. Analiz için farklı bölüm sayılarında modellenen 5 perde modelinde Mesh yani bölüm sayısı artırıldıkça yapı kapasitesinin arttığı, bölüm sayısının azaldıkça yapı kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Analizler sonucunda bölüm sayısına oranla elde edilen eleman sayısına bağlı olarak deplasman kapasitesinin yapı davranışı ve kapasitesine göre en gerçekçi davranışı 3x5 bölümlü perde modelinde elde edildiği gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre betonarme perdelerle modellenen binaların hangi Mesh oranlarında bölüm yapılarak modellenmesi gerektiğine açıklık getirilmiştir.

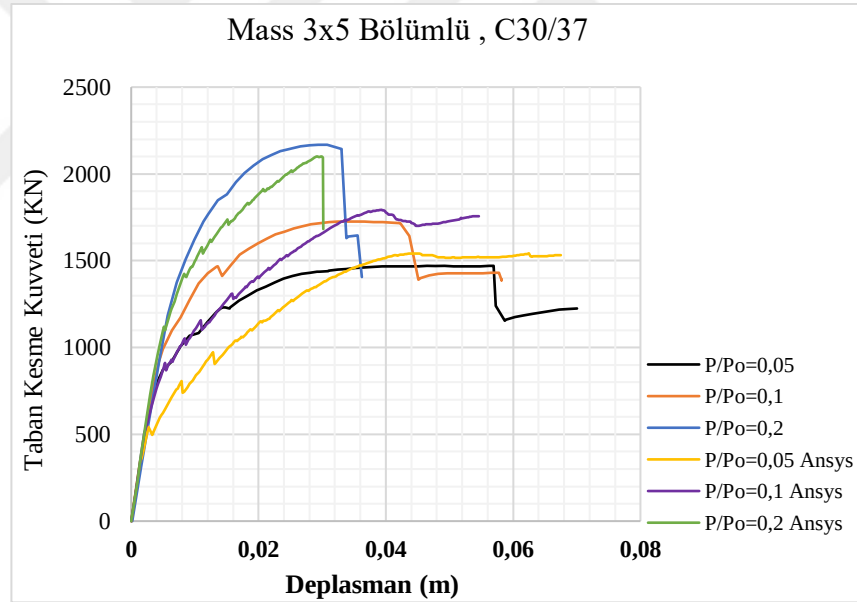
Mevcut yapıdaki perdeleri modellemek için kullanılan 3x5 bölümlü perde modelinin farklı eksenel yük oranlarında da nasıl davrandığı incelenmiştir. P/Po eksenel yük oranı için P/Po=0,1 ve P/Po=0,2 eksenel yük oranları için de 3x5 bölümlü perdenin davranışı incelenmiştir. P/Po=0,1 için P=3.000 KN olarak, P/Po=0,2 için P=6.000 KN olarak hesaplanmıştır. Bu düşey yük değerlerine göre modeldeki düğüm sayılarına göre yükler perdeye tanımlanmıştır.



Şekil 7.46. (a) P/Po=0,05 (b) P/Po=0,1 (c) P/Po=0,2 eksenel yük oranlarında shell elemanlarında birim şekil değiştirmeler.



Şekil 7.47. 3x5 bölümlü perde modeli için farklı P/Po oranları için itme eğrileri



Şekil 7.48. 3x5 bölümlü perde modeli için farklı P/Po oranları için SAP2000 ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri.

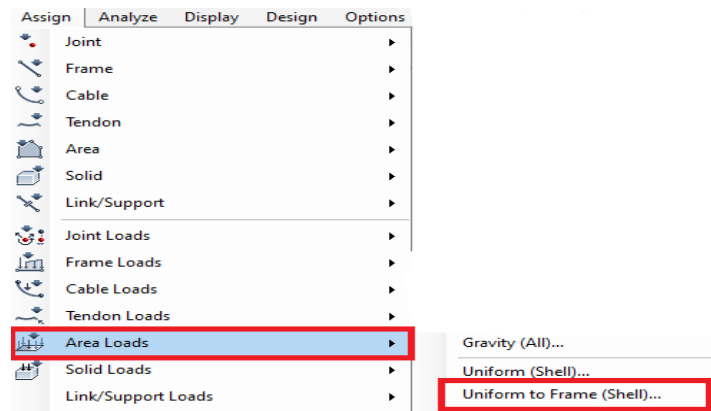
Şekil 7.48'de 3x5 bölümlü perde modeli için C30/37 betonunda farklı eksenel yük oranlarında SAP2000 ve ANSYS'den elde edilen itme eğrileri aynı diyagram üzerinde gösterilmiştir.

Şekil 7.47 ve Şekil 7.48’de görüldüğü üzere perdedeki eksenel yük oranı arttıkça her bir düğüme gelen düşey kuvvet değeri artmakta buna bağlı olarak da taban kesme kuvveti değeri ve yapının kapasitesi artmaktadır. Şekil 7.43 incelendiğinde $P/P_o=0,05$ için beton birim şekil değiştirme değeri 0,0447 m, donatı akma birim şekil değiştirme değeri 0,0198 m; $P/P_o=0,01$ için beton birim şekil değiştirme değeri 0,04 m , donatı akma birim şekil değiştirme değeri 0,013 m ; $P/P_o=0,02$ için beton birim şekil değiştirme değeri 0,042, donatı nihai birim şekil değiştirme değeri 0,008 m olarak gözlenmiştir.

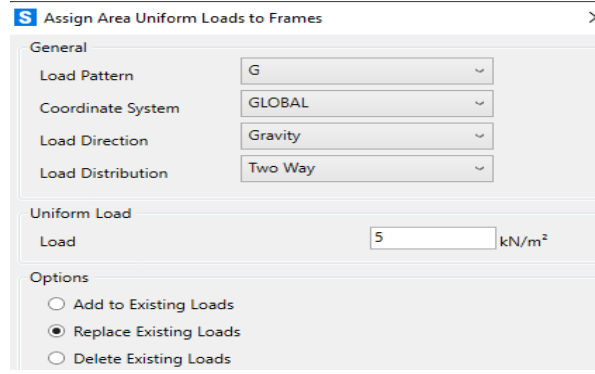
7.2.4. Döşemelerin modellenmesi

Perde modellemesiyle ilgili analizin ardından perdelerde uygun eleman ağ yoğunluğunda bölümler yapılarak modelleme yapılmış ve daha sonra döşemeler modellenmiştir. Modellemede döşemeler ‘none’ elemanı ile modellenmiştir. Mevcut yapı döşemelerin rijit diyafram şeklinde çalıştığı kabulü yapılarak modellenmiştir.

None elemanı döşeme yükünü döşeme etrafındaki kirişlere veya diğer taşıyıcı elemanlara aktarmak için kullanılan bir modelleme aracıdır. Döşeme yüklerini tanımlamak için öncelikle her hattaki döşemeler seçilmiştir. Daha sonra ‘assign-area loads-uniform to frame (shell)’ komutlarını kullanarak daha önce tanımlanan G ve Q yüklerini döşemelere tanımlıyoruz (Şekil 7.49).



Şekil 7.49. Döşeme yüklerinin tanımlanması



S Assign Area Uniform Loads to Frames

General

Load Pattern: G

Coordinate System: GLOBAL

Load Direction: Gravity

Load Distribution: Two Way

Uniform Load

Load: 5 kN/m²

Options

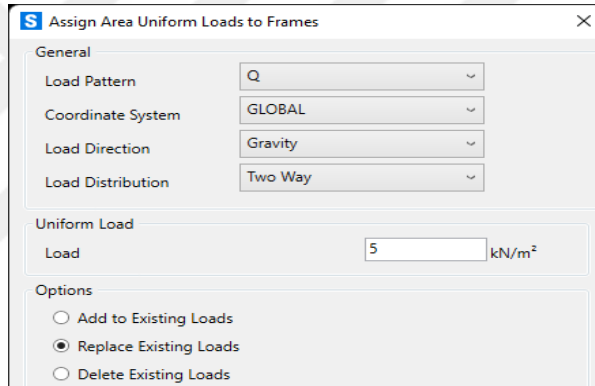
☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Şekil 7.50. G (sabit yük) tanımlanması

G (sabit yük) hesaplamasında döşemde kullanılan betonun ağırlığı, döşeme üzerindeki kaplama ağırlığı toplanılarak hesap yapılmış ve döşemeden gelen sabit yük değeri hesaplanmıştır (Şekil 7.50).



S Assign Area Uniform Loads to Frames

General

Load Pattern: Q

Coordinate System: GLOBAL

Load Direction: Gravity

Load Distribution: Two Way

Uniform Load

Load: 5 kN/m²

Options

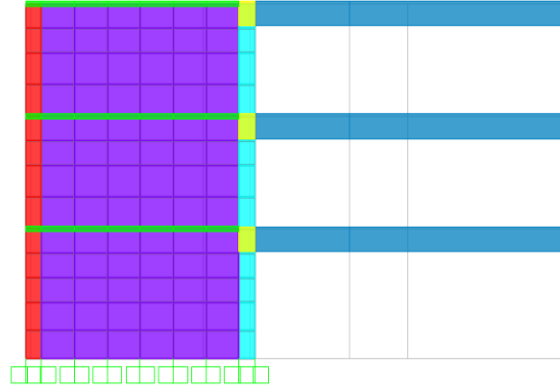
☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

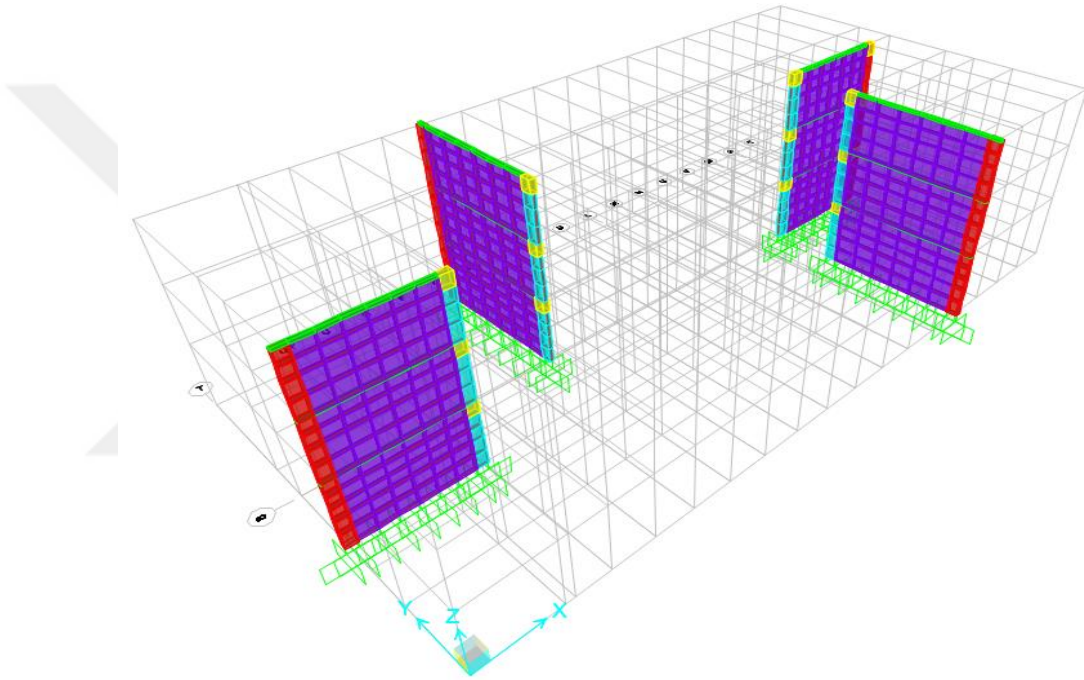
☐ Delete Existing Loads

Şekil 7.51. Q (hareketli yük) tanımlanması

Q (Hareketli Yük) değeri TS498'den hareketli yük (Q) hesap değeri tablosundan (Çizelge 7.2), okul yapıları için 5 KN/m² olarak alınmıştır (Şekil 7.51).



Şekil 7.53. Perdeler ve uç bölgelerin modellenmesi



Şekil 7.54. Mevcut yapıdaki tüm perdeler

Döşemelerdeki yükler tanımlandıktan sonra altında duvar bulunan kirişler seçilir ve bu kirişlere çatı katı hariç her katta olacak şekilde duvar yükü tanımlanmıştır. Kirişler seçildikten sonra '*assign-frame loads-distributed*' komutları takip edilerek gelen komut penceresinden kirişlere duvar yükü tanımlanmıştır. Kirişlere tanımlanan duvar yükünde gelen komut penceresi Şekil 7.55'de gösterilmiştir.

Şekil 7.55. Kirişlere duvar yükünün tanımlanması

Tüm taşıyıcı elemanlara ait özellikler tanımlanmış ve taşıyıcı elemanların modellenmesi tamamlanmıştır. Taşıyıcı elemanlar modellendikten sonra yapı için E_x ve E_y (deprem yükleri), gerekli kombinasyon yükleri tanımlanmıştır.

6.5. Yapıdaki Deprem Yüklerinin Tanımlanması Esasları

Yapının mevcut kullanım durumu, konumu ve zemin özelliklerine göre deprem yükleri tanımlanmıştır. *Bölüm 7.2.3*’te yapının mevcut durumu hakkında verilen bilgiler doğrultusunda deprem yüklerinin özellikleri tanımlanmıştır. Mevcut yapı için DD1 ve DD2 deprem yer hareketleri durumu için analizler yapılmıştır. Bu doğrultuda yapıdaki deprem yükleri tanımlanmıştır (Şekil 7.56-7.57-7.58-7.59).

DD1 deprem yer hareketi düzeyi için veriler:

Zemin Grubu	: ZD
S_s	: 2,684
S_1	: 0,797
SD_s	: 2,684
SD_1	: 1,355

7. MEVCUT YAPININ MODELLENMESİ

The screenshot shows the 'TSC-2018 Seismic Load Pattern' dialog box. The 'Load Direction and Diaphragm Eccentricity' section has 'Global X Direction' selected. The 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0,05. The 'Time Period' section has 'Program Calc' selected with 'Ct (m), x =' set to 0,10; 0,75. The 'Lateral Load Elevation Range' section has 'Program Calculated' selected. The 'Seismic Coefficients' section shows '0,2 Sec Spectral Accel, Ss' as 2,684, '1 Sec Spectral Accel, S1' as 0,797, and 'Long-Period Transition Period' as 8,. The 'Site Class' is 'ZD'. The 'Calculated Coefficients' section shows 'SDS = Fs * Ss' as 2,684 and 'SDS = F1 * S1' as 1,3549. The 'Factors' section shows 'Response Modification, R' as 4,, 'System Overstrength, D' as 2,5, and 'Occupancy Importance, I' as 1,5.

Şekil 7.56. DD1 deprem yer hareketi düzeyi için Ex deprem yüklerinin tanımlanması

The screenshot shows the 'TSC-2018 Seismic Load Pattern' dialog box. The 'Load Direction and Diaphragm Eccentricity' section has 'Global Y Direction' selected. The 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0,05. The 'Time Period' section has 'Program Calc' selected with 'Ct (m), x =' set to 0,10; 0,75. The 'Lateral Load Elevation Range' section has 'Program Calculated' selected. The 'Seismic Coefficients' section shows '0,2 Sec Spectral Accel, Ss' as 2,684, '1 Sec Spectral Accel, S1' as 0,797, and 'Long-Period Transition Period' as 8,. The 'Site Class' is 'ZD'. The 'Calculated Coefficients' section shows 'SDS = Fs * Ss' as 2,684 and 'SDS = F1 * S1' as 1,3549. The 'Factors' section shows 'Response Modification, R' as 4,, 'System Overstrength, D' as 2,5, and 'Occupancy Importance, I' as 1,5.

Şekil 7.57. DD1 deprem yer hareketi düzeyi için Ey deprem yüklerinin tanımlanması

DD2 deprem yer hareketi düzeyi için veriler:

Zemin Grubu	: ZD
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	: DD2
S_s	: 1,498
S_1	: 0,422
SD_s	: 1,498
SD_1	: 0,793

7. MEVCUT YAPININ MODELLENMESİ

The dialog box is titled "TSC-2018 Seismic Load Pattern". It contains several sections:

- Load Direction and Diaphragm Eccentricity:**
 - ☒ Global X Direction
 - ☐ Global Y Direction
 - Ecc. Ratio (All Diaph.): 0,05
 - Override Diaph. Eccen. [Override...]
- Time Period:**
 - ☐ Approx. Period
 - ☒ Program Calc
 - ☐ User Defined
 - Ct (m), x = 0.10; 0.75
 - T =
- Lateral Load Elevation Range:**
 - ☒ Program Calculated
 - ☐ User Specified
 - Reset Defaults
 - Max Z
 - Min Z
- Seismic Coefficients:**
 - 0.2 Sec Spectral Accel, Ss: 1,498
 - 1 Sec Spectral Accel, S1: 0,422
 - Long-Period Transition Period: 8,
 - Site Class: ZD
 - Site Coefficient, Fs: 1,
 - Site Coefficient, F1: 1,878
 - Calculated Coefficients:
 - SDS = Fs * Ss: 1,498
 - SDS = F1 * S1: 0,7925
- Factors:**
 - Response Modification, R: 4,
 - System Overstrength, D: 2,5
 - Occupancy Importance, I: 1,5

Buttons: OK, Cancel

Şekil 7.58. DD2 deprem yer hareketi düzeyi için Ex deprem yüklerinin tanımlanması

The dialog box is titled "TSC-2018 Seismic Load Pattern". It contains several sections:

- Load Direction and Diaphragm Eccentricity:**
 - ☐ Global X Direction
 - ☒ Global Y Direction
 - Ecc. Ratio (All Diaph.): 0,05
 - Override Diaph. Eccen. [Override...]
- Time Period:**
 - ☐ Approx. Period
 - ☒ Program Calc
 - ☐ User Defined
 - Ct (m), x = 0.10; 0.75
 - T =
- Lateral Load Elevation Range:**
 - ☒ Program Calculated
 - ☐ User Specified
 - Reset Defaults
 - Max Z
 - Min Z
- Seismic Coefficients:**
 - 0.2 Sec Spectral Accel, Ss: 1,498
 - 1 Sec Spectral Accel, S1: 0,422
 - Long-Period Transition Period: 8,
 - Site Class: ZD
 - Site Coefficient, Fs: 1,
 - Site Coefficient, F1: 1,878
 - Calculated Coefficients:
 - SDS = Fs * Ss: 1,498
 - SDS = F1 * S1: 0,7925
- Factors:**
 - Response Modification, R: 4,
 - System Overstrength, D: 2,5
 - Occupancy Importance, I: 1,5

Buttons: OK, Cancel

Şekil 7.59. DD2 deprem yer hareketi düzeyi için Ey deprem yüklerinin tanımlanması

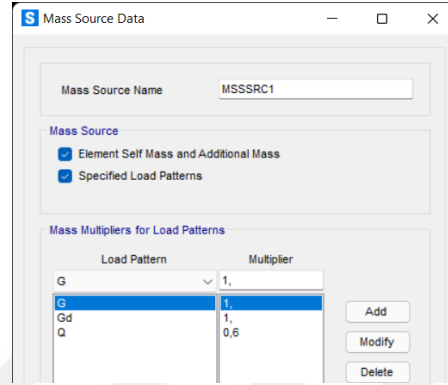
Deprem yükleri tanımlandıktan belirli şekillerde kombinasyon yükleri tanımlanmıştır (Şekil 7.60).

The screenshot shows a list of load combinations in a text box:

- 1.4G+1.6Q
- G+Q+Ex+0,3Ey
- G+Q+EX-0,3EY
- G+Q-EX+0,3EY
- G+Q-EX-0,3EY
- G+Q+Ex+0,3EY
- G+Q+Ex-0,3EY
- G+Q-Ey+0,3Ex
- G+Q-Ey-0,3Ex
- COMBOENVELOPE
- W

Şekil 7.60. Kombinasyon yükleri

Deprem yükleri için deprem katılım yükü olan mass source'da tanımlanmıştır. Mass source'un binanın dinamik özelliklerinin yani modal analizinin doğru bir şekilde yapılması için modele tanımlanması gerekir. Deprem katılım yükünün tanımlanması için 'define-mass source' komutlarıyla açılan pencereden bu yükün tanımlanması yapılmıştır (Şekil 7.61).



Şekil 7.61. Deprem katılım yükünün tanımlanması

Deprem katılım yükleri tanımlanırken Q hareketli yükü okul binaları için TBDY-2018'e göre 0,6 alınır (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3. TBDY 2018'e göre hareketli yük kütle katılım katsayısı

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

Yapı için gerekli yükler tanımlandıktan sonra, mevcut binaya rijit diyafram ataması yapılmıştır.

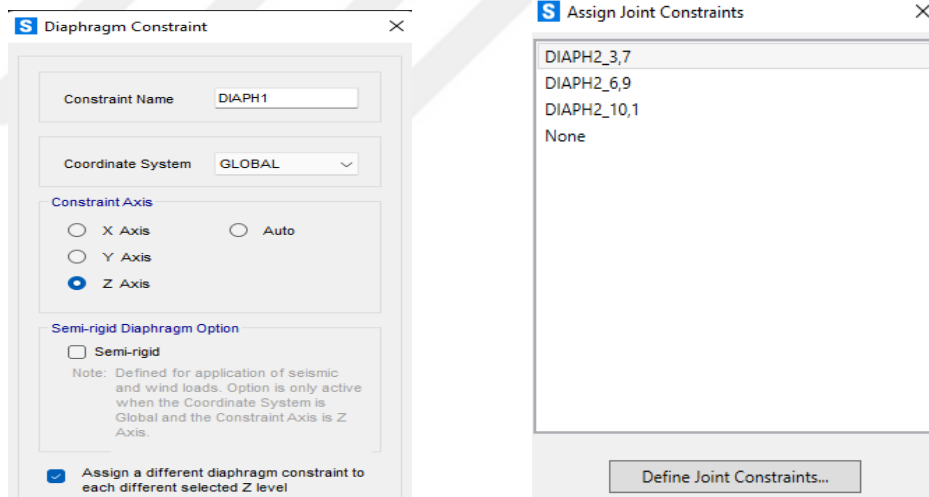
6.6. Mevcut Binaya Rijit Diyafram Atanması

Yapıların analiz ve tasarımı sırasında yapılan basitleştirmelerden birisi rijit diyafram kabulüdür. Bu kabule göre döşemelerin yatay yükler altında sonsuz rijit davrandığı ve döşemenin yatay yük etkisi altında deformasyon yapmadan rijit bir kütle

gibi ötelendiği varsayılmaktadır. Bu kabul sayesinde hesaplanması gereken bilinmeyen sayısı ve işlem süresi önemli ölçüde azalmaktadır (Özpınar 2006).

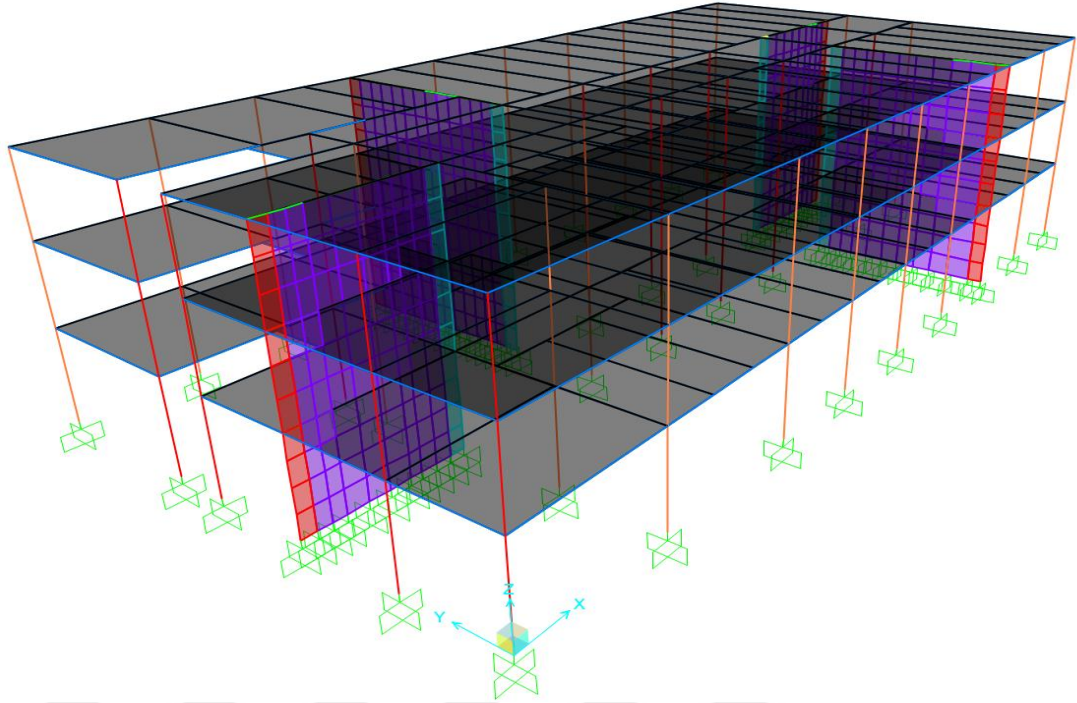
Bina türü yapıların hesabı yapılırken, döşemeler öncelikle ele alınmaktadır. Buna göre düşey yük etkileri altında daha kritik sonuçlar verdiği kabul edilen döşemelerin analiz ve tasarımı yapılmakta, elden edilen sonuçlar kullanılarak döşemelerden kat seviyelerinde rijit ötelenmeler yapan çerçevelere yük aktarımı yapılarak çerçeve sistemin yatay ve düşey yükler altında hesabı gerçekleştirilmektedir. Günümüzde piyasada yaygın olarak kullanılan pek çok paket program, yapıya kat düzeyinde etkidiği kabul edilen yatay deprem yüklerini döşeme düzleminde bulunan ağırlık merkezine etkitererek hesap yapmakta, döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığını kabul etmektedir (Özpınar 2006).

Tüm bu durumlar dikkate alınarak yapı için her kata ‘assign-joint-constraints’ komutlarıyla rijit diyafram atanmıştır (Şekil 7.62).



Şekil 7.62. Her kata rijit diyafram tanımlanması

Her kata rijit diyafram atandıktan sonra yapının kolonlarının zemine ankastre bağlandığı kabul edilerek mesnetler bu şekilde tanımlanmıştır. Mevcut yapının modellenmesi bu aşamalardan sonra tamamlanmıştır.



Şekil 7.63. Mevcut yapı 3 boyutlu model

Mevcut yapının modeli Şekil 7.63’de görülmektedir. Mevcut yapının modellenmesi tamamlandıktan sonra nonlinear analizler için kolon ve kirişlere plastik mafsalların tanımlaması yapılmıştır.

6.7. Mevcut Yapıya Plastik Mafsal Tanımlanması

Plastik mafsallar, taşıyıcı elemanın doğrusal elastik sınırını aştıktan sonra göstereceği doğrusal olmayan davranışının karakteristiklerini içerirler. Plastik mafsalların, kolon ve kirişlerin mesnetlerinde veya mesnetlerine yakın bir bölgede, perdelerin ise kat tabanı hizalarında olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle plastik mafsal özellikleri hesaplanırken, olası plastik mafsal bölgelerindeki kesit özelliklerine dikkat edilmelidir (Karabulut 2011).

Genel olarak plastik mafsal, ‘Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklilik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin toplandığı kesitler’ olarak tanımlanmaktadır (Özer 2008). Bu kesitlerin dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal elastik davrandığı kabul edilir

(plastik mafsal hipotezi). Bununla birlikte plastik mafsal hipotezi dahilinde; artan dış yükler altında plastik mafsal dönmesi giderek artar ve dönme kapasitesine ulaşır. (Müderrişoğlu 2009).

Yapı sistemlerinde tanımlanan plastik mafsalların boyu (l_p):

$$l_p = 0.5d \quad (7.2)$$

d : çalışan enkesit yüksekliği, olarak hesaplanmaktadır.

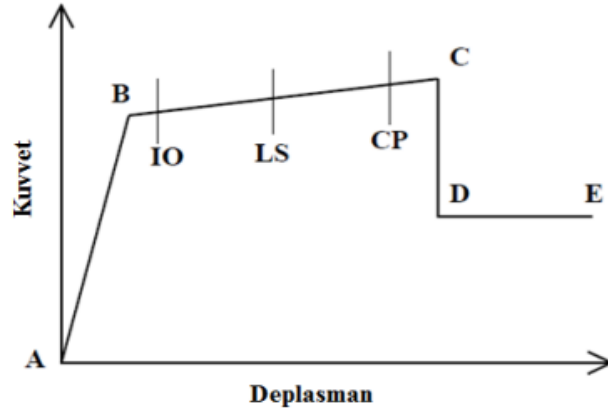
Bununla birlikte dönme kapasitesi tek bir değer olmamakla birlikte, yapının hasar durumuna göre değişmektedir. Dönme kapasitesi değeri:

- Sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzenine,
- Sargılı beton ve çelik maksimum basınç birim şekil değiştirmesine,
- En kesit boyutları,
- Eğilme momenti diyagramının şekline bağlıdır.

Sonuç olarak plastik mafsal hipotezi:

- Plastik mafsallar arasında sistem davranışı doğrusal elastiktir.
- Kesite ait eğilme momenti artarak belirli bir M_p değerinde plastik mafsal oluşur. Daha sonra bu değer $M=M_p$ sabit olarak kalır ve serbestçe döner. Fakat bu değer giderek artarak maksimum dönme kapasitesine ulaşınca kesit kullanılamaz hale gelir.
- Kesitte eğilme momenti ile normal kuvvet birlikte etki ederse, M_p plastik momenti yerine indirgenmiş plastik moment göz önüne alınır (M_p) (Müderrişoğlu 2009).

SAP 2000 programında plastik mafsal özelliklerinin tanımlandığı parametrelere ilişkin Şekil 7.64 verilmiştir. Bu parametreler detaylıca açıklanmıştır.



Şekil 7.64. Plastik mafsall özelliklerinin tanımlandığı parametreler (Yapıcı 2016)

A noktası her zaman başlangıç noktasını temsil eder. B noktası ise akmaya karşılık gelir ve plastik mafsalda B noktasına erişinceye kadar hiçbir deformasyon meydana gelmez, plastik mafsall sadece B noktasının ötesinde çalışmaya başlar. C noktası mafsallın ulaşabileceği maksimum kapasiteyi gösterirken D noktası mafsallın ani dayanım kaybından sonra ulaştığı noktadır. E noktası ise plastik mafsall için göçme noktasını belirtir. Bunun yanında C'den D'ye geçiş sırasında ya da D'den E'ye geçişlerde bir eğim de verilebilmektedir. Plastik mafsallarda ani yük kayıplarına izin verilmektedir. Yük kaybı yaşandığında sistemdeki yük akışı aniden diğer elemanlara kaymakta ve ilerlemeli göçme durumu ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle ani yük kaybını dikkate alan negatif eğimli yük deplasman ilişkisi tanımlanan modellerin analizlerinde çözüm algoritması büyük önem kazanmakta ve yakınsama problemleri ortaya çıkabilmektedir. Bu durum alınan sonuçların sorgulanmasını gerektirmektedir (Yapıcı 2016).

Doğrusal olmayan bina analizinin yapılabilmesi için, doğrusal olmayan davranışın gerçekleşeceği plastik mafsallların tanımlanması, özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla da mevcut yapının modellenmesi tamamlandıktan sonra kolon ve kirişlere plastik mafsallar tanımlanmıştır.

Plastik mafsall için hinge tanımlaması yapılırken önce '*select-properties-frame sections*' komutlarıyla kirişler seçilmiştir. Daha sonra '*assign-frame-hinges*' komutlarıyla gelen sayfadan kirişler için plastik mafsallar tanımlanmıştır (Şekil 7.65).

7. MEVCUT YAPININ MODELLENMESİ

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables in ASCE 41-13

Select a Hinge Table
Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Degree of Freedom
☐ M2
☒ M3

Transverse Reinforcing
☐ Transverse Reinforcing is Conforming

V Value From
☒ Case/Combo
☐ User Value

Reinforcing Ratio ($p - p'$) / $p_{balanced}$
☒ From Current Design
☐ User Value (for positive bending)

S Assign Frame Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Auto	Relative To Clear Length	0,85	
Auto M3	Relative To Clear Length	0,15	
Auto M3	Relative To Clear Length	0,85	

Şekil 7.65. Kirişlere plastik mafsalların tanımlanması

Kirişlerin plastik mafsal tanımlanması yapılırken W bina yükü kullanılmıştır. Kirişlerin I ve J ucundan mesafeleri sırasıyla 0,15 ve 0,85 olacak şekilde tanımlanmıştır. Kirişlere plastik mafsal tanımlanırken M3 mafsalı tanımlanmıştır.

Kirişlere plastik mafsal tanımlandıktan sonra kolonlara da plastik mafsal tanımlanmıştır. Kolonlara plastik mafsal tanımlanırken P-M2-M3 mafsalı tanımlanmıştır (Şekil 7.66).

S Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables in ASCE 41-13

Select a Hinge Table
Table 10-8 (Concrete Columns)

Degree of Freedom
☐ M2
☐ M3
☐ M2-M3
☒ P-M2-M3

Concrete Column Failure Condition
☐ Condition i - Flexure
☐ Condition iv - Development
☒ Condition ii - Flexure/Shear
☐ Condition iii - Shear

P and V Values From
☒ Case/Combo
☐ User Value

Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w * s)$
☒ From Current Design
☐ User Value

S Assign Frame Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Auto	Distance From J End Offset		0,25
Auto P-M2-M3	Relative To Clear Length	0,0833	
Auto P-M2-M3	Distance From J End Offset		0,25

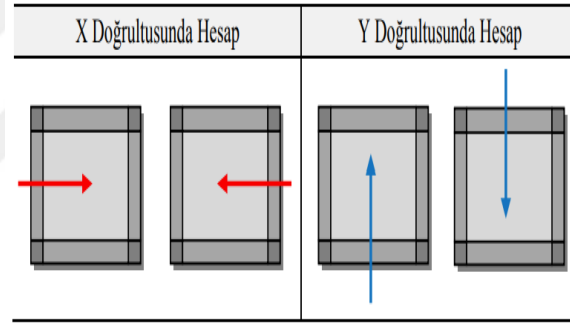
Şekil 7.66. Kolonlara plastik mafsalların tanımlanması

Kolon ve kirişlere plastik mafsallar atandıktan sonra mevcut yapı için statik itme analizi yapılmıştır.

6.8. Statik İtme Analizi (Pushover Analizi)

Statik itme analizi karmaşık bazı durumlarda yapı sistemlerinin yük- deformasyon taleplerini belirleyebilmek veya tahmin edebilmek için geliştirilmiş deplasman tabanlı bir analiz yöntemidir. Adından da anlaşılacağı üzere esas itibari ile yatay yüklerin veya deplasmanların artımsal olarak sisteme uygulanması ile elde edilen statik çözümler zinciridir. Dolayısıyla statik itme analizi elde edilen statik çözümleri değerlendiren, bir araya getiren bir analiz yöntemidir (Özpınar 2006).

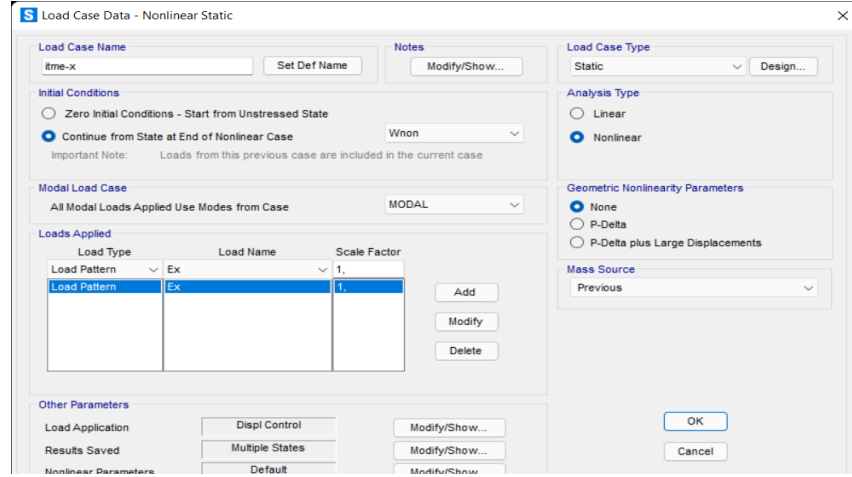
Performans değerlendirmesinin yapılabilmesi için deprem yükleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilir. Bu nedenle, performans değerlendirmesinin yapılabilmesi için toplamda 4 doğrultuda analiz yapılması gerekmektedir. Bu durum Şekil 7.67’de gösterilmiştir (Karabulut 2011).



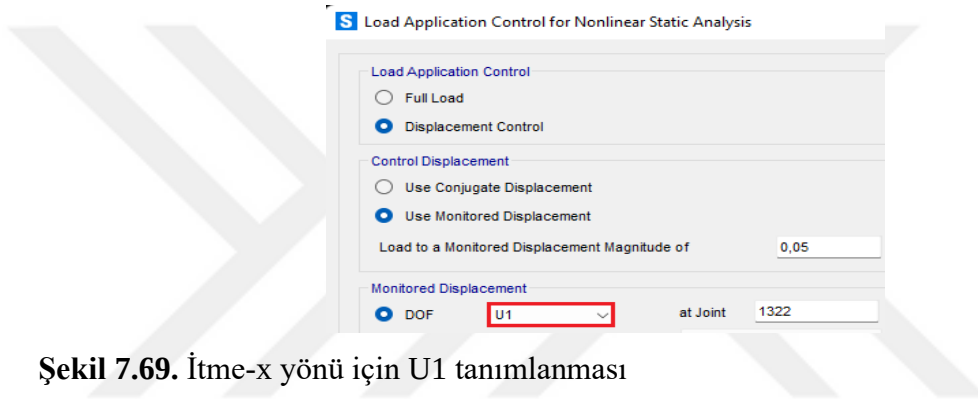
Şekil 7.67. Hesap doğrultuları (Karabulut 2011)

İtme analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle E_x ve E_y deprem kuvvetlerine göre itme-x ve itme-y itme kuvvetleri tanımlanmıştır (Şekil 7.68- 7.70).

7. MEVCUT YAPININ MODELLENMESİ

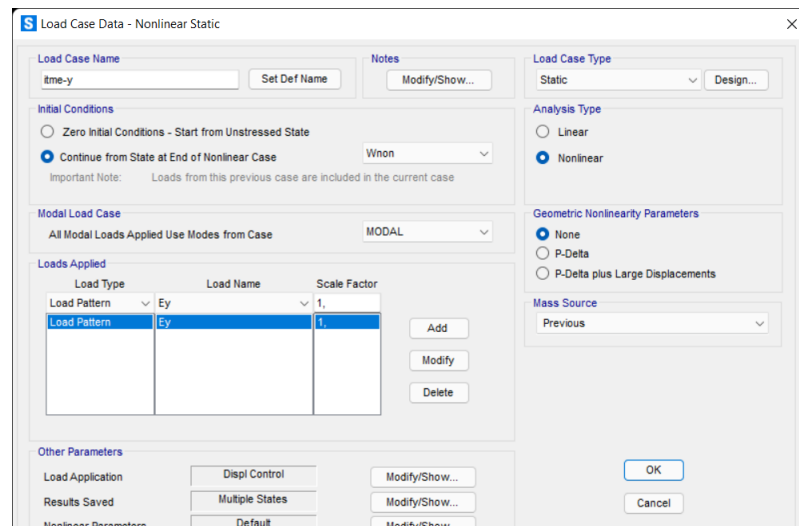


Şekil 7.68. İtme-x kuvvetinin tanımlanması

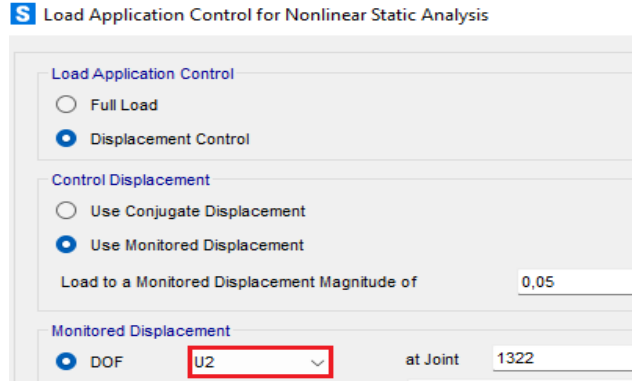


Şekil 7.69. İtme-x yönü için U1 tanımlanması

X yönündeki itme analizi için U1 yönü tanımlanarak analizler yaptırılır (Şekil 7.69).



Şekil 7.70. İtme-y kuvvetinin tanımlanması



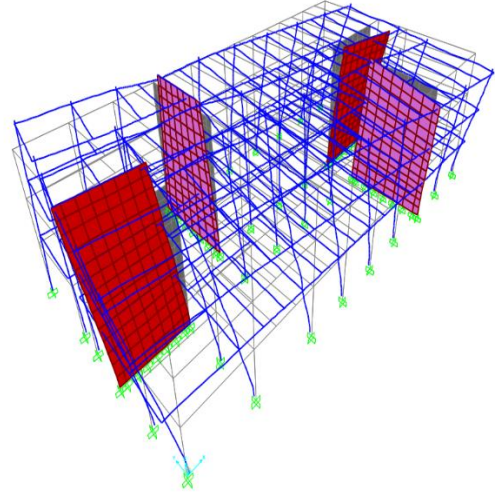
Şekil 7.71. İtme-y yönü için U2 tanımlanması

Y yönündeki itme analizi için U2 yönü tanımlanarak analizler yaptırılır (Şekil 7.71).

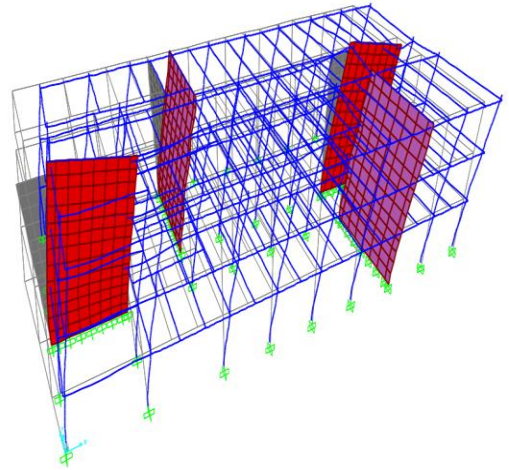
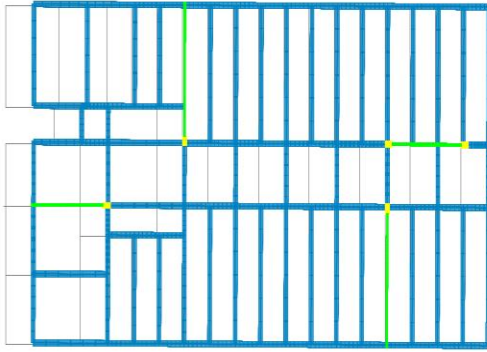
Mevcut yapının itme analizi için kuvvetler tanımlandıktan sonra analiz yapılmış ve sonuçları incelenmiştir.

6.9. İtme Analiz Sonuçları ve Mevcut Yapının Mod Şekilleri

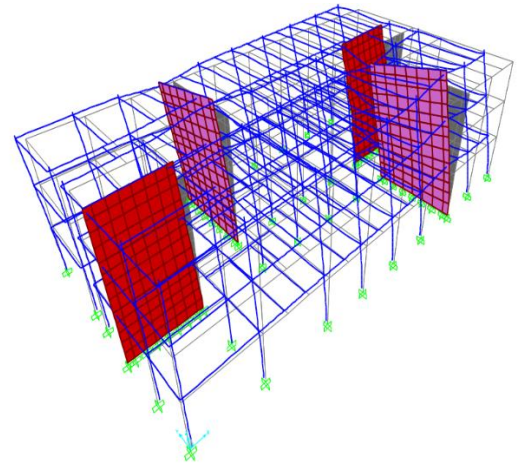
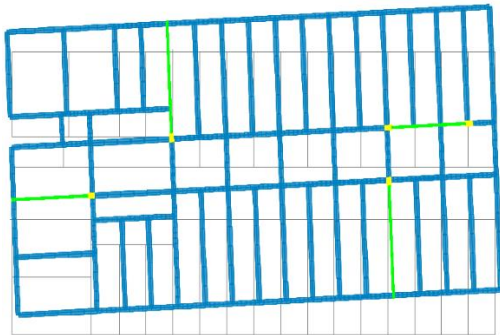
Mevcut yapının dinamik davranışını en iyi şekilde yansıtan parametreler olan frekans ve mod şekilleri programda yapılan itme analizleri sonucunda elde edilmiştir. Burada analizler sonucu elde edilen Mod şekli her bir doğal frekans değerinde yapının almış olduğu şekil olarak tanımlanır (Boru 2015). Mevcut yapının burulma periyodu, x yönündeki periyodu ve y yönündeki periyotlarındaki mod şekilleri sırasıyla Şekil 7.72-7.73-7.74’de verilmiştir.



Şekil 7.72. Mevcut yapı burulma mod şekli



Şekil 7.73. Mevcut yapı X periyodunda mod şekli



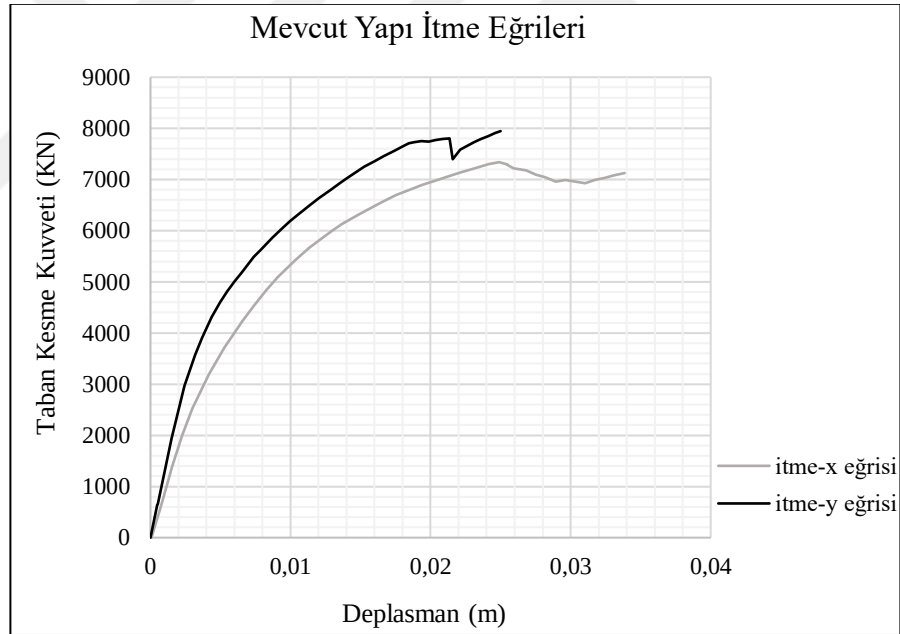
Şekil 7.74. Mevcut yapı Y periyodunda mod şekli

Çizelge 7.4. Mevcut yapı için titreşim periyodu değerleri

Mevcut Yapı İçin Titreşim Periyodu Değerleri	
T_B	0,296 sn
T_X	0,251 sn
T_Y	0,211 sn

Yapılan itme analizi sonucunda mevcut yapı için burulma periyodu $T_B=0,296$ sn, X yönündeki titreşim periyodu $T_X=0,251$ sn ve Y yönündeki titreşim periyodu $T_Y=0,211$ sn olarak sonuçlanmıştır (Çizelge 7.4).

İtme analizi sonucunda programdan elde edilen x ve y yönündeki itme eğrileri Şekil 7.75’de verilmiştir.

**Şekil 7.75.** Mevcut yapı için x ve y yönünde itme eğrileri

Bölüm 8’de öncelikle yatay elastik tasarım spektrum grafiği daha sonra yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi çizdirilmiştir. Bu iki grafik değerleri kullanılarak yatay elastik tasarım eğrisi spektrumuna (S_{ae}) karşılık, yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi (S_{de}) grafiği çizdirilmiştir. Mevcut yapı için elde edilen itme-x ve itme-y eğrileri kullanılarak modal kapasite diyagramı çizdirilmiştir. Daha sonra çizdirilen bu iki grafik aynı grafik üzerinde S_{ae} (g)’nin S_{de} (m)’ye karşı değişim grafiği

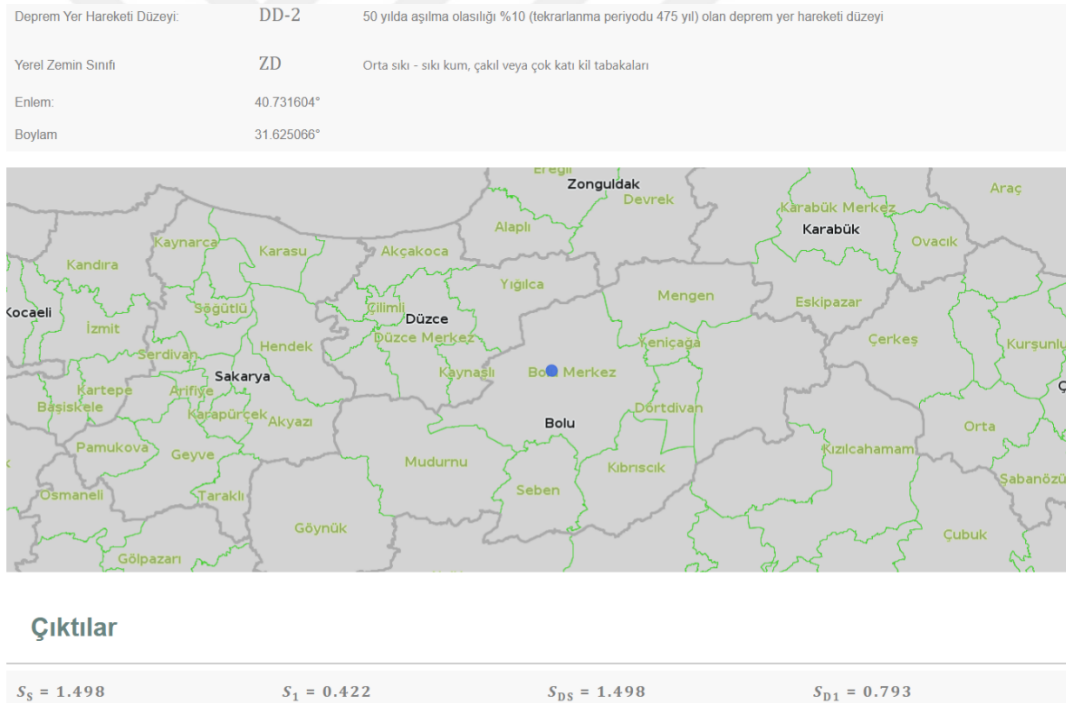
ile modal kapasite diyagramları çizdirilmiştir. Çizdirilen bu grafiklerin kesiştirilmesi yapılmıştır. Bu iki eğrinin kesiştirilmesi ile depremin talebine sistemin verdiği cevap yani karşı gelen denge konumu bulunmuştur. Sonuç olarak mevcut yapının güçlendirmeye ihtiyacı olup olmadığıyla ilgili sonuca varılmıştır.



8. YATAY ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMUNUN OLUŞTURULMASI

8.1. DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde

Yapının mevcut konumuna göre AFAD'ın Türkiye Deprem Haritaları uygulaması üzerinden DD2 deprem yer hareketine göre yapının harita spektral ivme katsayı ve tasarım spektral ivme katsayı değerleri Şekil 8.1'de gösterilmiştir. AFAD'ın internet sitesi üzerinden elde edilen veriler yapının mevcut konumunun enlem ve boylam değerleri, deprem yer hareketi düzeyi ve yerel zemin sınıfıyla ilgili bilgiler girilerek elde edilmiştir. Ayrıca TBDY 2018'e göre harita spektral ivme katsayı değerleri kullanılarak tasarım ivme spektral katsayı değerleri hesaplanmış ve yatay elastik tasarım ivme spektrumları oluşturulmuştur.



Şekil 8.1. Mevcut yapının DD-2 deprem yer hareketine göre harita spektral ivme ve spektral ivme katsayıları.

8.1.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Deprem yer hareketi düzeyi için Deprem Tehlike Haritaları, iki spektral ivme değerini tanımlayan Spektral İvme Haritaları olarak düzenlenmiştir. Boyutsuz olarak tanımlanan harita spektral ivme katsayıları aşağıda belirtilmiştir:

8. YATAY ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI

- Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_S
- 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1

Bu değerler yerel zemin etkilerini de içerecek şekilde yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_1 ile çarpılarak tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülür (Çizelge 8.1-8.2).

Harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_1 , aşağıdaki şekilde tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} 'e dönüştürülür:

$$S_{DS} = S_S \times F_S = 1,498 \times 1 = 1,498 \quad (8.1)$$

Çizelge 8.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 = 0,422 \times 1,878 = 0,793 \quad (8.2)$$

Çizelge 8.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

S_1 : 0,422 değerini elde etmek için S_1 : 0,40 için F_1 : 1,9 ve S_1 : 0,5 için F_1 : 1,8 değerleri arasında enterpolasyon yapıp F_1 :1,878 değeri bulunup S_{D1} değeri hesaplanmıştır.

8. YATAY ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI

Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları ve 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayılarında değerlerin elde edilmesi için kullanılan ZD yerel zemin sınıfının özelliklerine ait bilgilerin bulunduğu çizelge TBDY 2018'den alınmış ve Çizelge 8.3'de verilmiştir.

Çizelge 8.3. Yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu'nun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem (8.3)'de tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \tag{8.3}$$

Burada S_{DS} ve S_{D1} Denklem (8.1 ve 8.2)'de tanımlanan tasarım spektral ivme katsayılarını, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir.

8. YATAY ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI

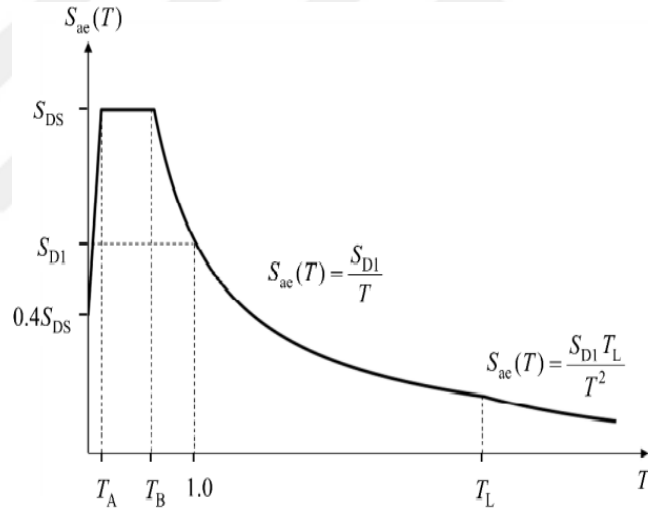
Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B Denklem (8.4) ile S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanır:

$$T_A = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (8.4)$$

$$T_A = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,793}{1,498} = 0,1059 \text{ sn}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,793}{1,498} = 0,5294 \text{ sn}$$

Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6 \text{ s}$ alınacaktır (TBDY 2018'e göre).



Şekil 8.2. TBDY 2018'e Göre Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Eğrisi

Yatay elastik tasarım spektrum grafiğini çizdirmek için TBDY 2018' e göre hesaplanan Çizelge 8.4'deki veriler kullanılmıştır (Şekil 8.2).

Çizelge 8.4. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu değerleri.

T_A	T_B	S_{DS}	S_{D1}
0,105 sn	0,529 sn	1,498	0,793

8. YATAY ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI

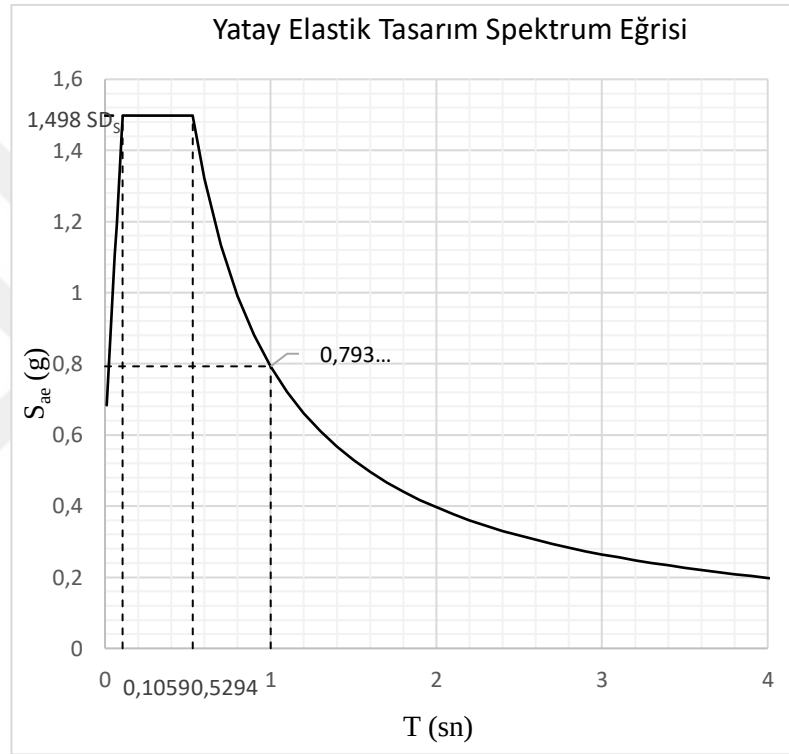
Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Eğrisini oluşturmak için $T=0$ saniyeden başlayarak uygun aralıklar ile zaman arttırılmış ve $T_L=6$ s’de durdurulmuştur. Bu bina için $T=0$ s’den başlanarak çizelgede görülen aralıklar ile $T=6$ s’ye kadar yatay elastik tasarım spektrum Excel yardımı ile hesaplanmıştır. Yatay elastik tasarım spektrumunun çizdirildiği veriler Çizelge 8.5’de ve bu verilere göre çizdirilmiş diyagram Şekil 8.3’de verilmiştir.

Çizelge 8.5. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım spektrumu için elde edilen veriler.

T	Sae (g)		T	Sae (g)		T	Sae (g)
0,01	0,6841		0,51	1,4980		4,6	0,1724
0,02	0,7690		0,5294	1,4980		4,7	0,1687
0,03	0,8539		0,6	1,3217		4,8	0,1652
0,04	0,9388		0,7	1,1329		4,9	0,1618
0,05	1,0237		0,8	0,9913		5	0,1586
0,06	1,1086		0,9	0,8811		5,1	0,1555
0,07	1,1935		1	0,7930		5,2	0,1525
0,08	1,2783		1,1	0,7209		5,3	0,1496
0,09	1,3632		1,2	0,6608		5,4	0,1469
0,1	1,4481		1,3	0,6100		5,5	0,1442
0,1059	1,4982		1,4	0,5664		5,6	0,1416
0,2	1,4980		1,5	0,5287		5,7	0,1391
0,21	1,4980		1,6	0,4956		5,8	0,1367
0,22	1,4980		1,7	0,4665		5,9	0,1344
0,23	1,4980		1,8	0,4406		6	0,1322
0,24	1,4980		1,9	0,4174			
0,25	1,4980		2	0,3965			
0,26	1,4980		2,1	0,3776			
0,27	1,4980		2,2	0,3605			
0,28	1,4980		2,3	0,3448			
0,29	1,4980		2,4	0,3304			
0,3	1,4980		2,5	0,3172			
0,31	1,4980		2,6	0,3050			
0,32	1,4980		2,7	0,2937			
0,33	1,4980		2,8	0,2832			
0,34	1,4980		2,9	0,2734			
0,35	1,4980		3	0,2643			
0,36	1,4980		3,1	0,2558			
0,37	1,4980		3,2	0,2478			
0,38	1,4980		3,3	0,2403			
0,39	1,4980		3,4	0,2332			
0,4	1,4980		3,5	0,2266			
0,41	1,4980		3,6	0,2203			

Çizelge 8.5. (Devam)

0,42	1,4980		3,7	0,2143			
0,43	1,4980		3,8	0,2087			
0,44	1,4980		3,9	0,2033			
0,45	1,4980		4	0,1983			
0,46	1,4980		4,1	0,1934			
0,47	1,4980		4,2	0,1888			
0,48	1,4980		4,3	0,1844			
0,49	1,4980		4,4	0,1802			
0,5	1,4980		4,5	0,1762			

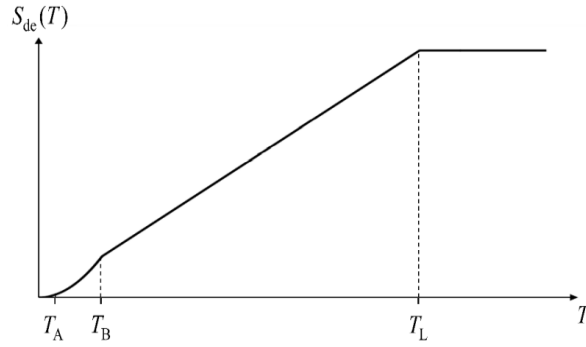


Şekil 8.3. Mevcut yapı için oluşturulmuş yatay elastik tasarım spektrumu eğrisi

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım yer değiştirme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri de $S_{de}(T)$ (Şekil 8.4), doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre [m] cinsinden *Denklem (8.5)* ile tanımlanır.

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (8.5)$$

8. YATAY ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI



Şekil 8.4. TBDY 2018'e göre yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi

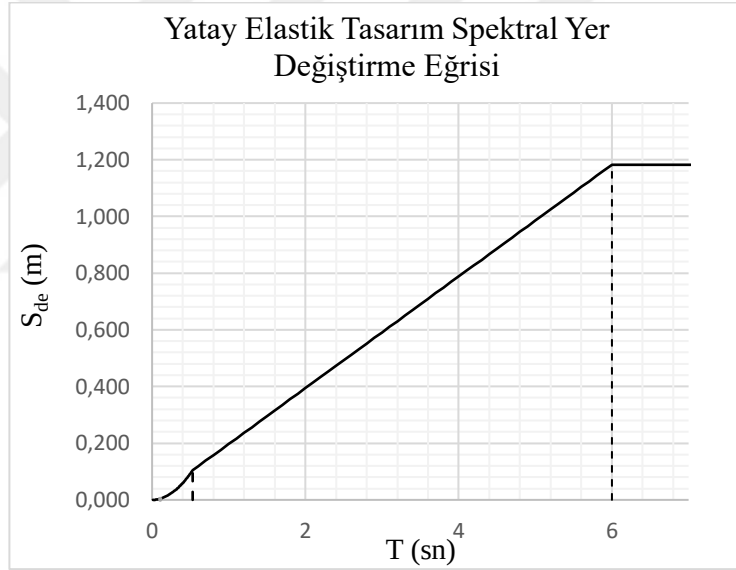
Elde edilen $S_{ae}(g)$ değerlerinden faydalanılarak yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisinin verileri elde edilmiş ve bu verilere göre Excel yardımıyla $S_{de}(m)$ grafiği çizdirilmiştir (Çizelge 8.6) (Şekil 8.5).

Çizelge 8.6. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi için veriler.

T (sn)	S _{de} (m)		T (sn)	S _{de} (m)		T (sn)	S _{de} (m)
0,01	0,000		0,51	0,097		4,6	0,906
0,02	0,000		0,5294	0,104		4,7	0,926
0,03	0,000		0,6	0,118		4,8	0,946
0,04	0,000		0,7	0,138		4,9	0,966
0,05	0,001		0,8	0,158		5	0,985
0,06	0,001		0,9	0,177		5,1	1,005
0,07	0,001		1	0,197		5,2	1,025
0,08	0,002		1,1	0,217		5,3	1,044
0,09	0,003		1,2	0,236		5,4	1,064
0,1	0,004		1,3	0,256		5,5	1,084
0,1059	0,004		1,4	0,276		5,6	1,103
0,2	0,015		1,5	0,296		5,7	1,123
0,21	0,016		1,6	0,315		5,8	1,143
0,22	0,018		1,7	0,335		5,9	1,163
0,23	0,020		1,8	0,355		6	1,182
0,24	0,021		1,9	0,374		7	1,182
0,25	0,023		2	0,394			
0,26	0,025		2,1	0,414			
0,27	0,027		2,2	0,434			
0,28	0,029		2,3	0,453			
0,29	0,031		2,4	0,473			
0,3	0,034		2,5	0,493			
0,31	0,036		2,6	0,512			
0,32	0,038		2,7	0,532			
0,33	0,041		2,8	0,552			
0,34	0,043		2,9	0,571			

Çizelge 8.6. (Devam)

0,36	0,048		3,1	0,611			
0,37	0,051		3,2	0,631			
0,38	0,054		3,3	0,650			
0,39	0,057		3,4	0,670			
0,4	0,060		3,5	0,690			
0,41	0,063		3,6	0,709			
0,42	0,066		3,7	0,729			
0,43	0,069		3,8	0,749			
0,44	0,072		3,9	0,769			
0,45	0,075		4	0,788			
0,46	0,079		4,1	0,808			
0,47	0,082		4,2	0,828			
0,48	0,086		4,3	0,847			
0,49	0,089		4,4	0,867			
0,5	0,093		4,5	0,887			



Şekil 8.5. Mevcut yapı için oluşturulmuş yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi.

8.1.2. Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri

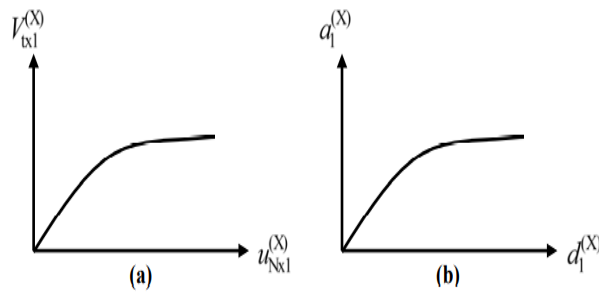
Bu tez kapsamında sabit tek modlu itme yöntemi ile analiz yapılmıştır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için yönetmelikte tanımlı şartların sağlanması gerekmektedir.

Bunlar;

- Binanın kat adedi bodrum kat hariç en fazla 8 olabilir.
- Herhangi bir katta ek dış merkezlik olmadan elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1,4$ koşulunu sağlamalıdır.
- Hesap yapılacak deprem doğrultusunda, elastik davranışa esas hakim titreşim moduna ait kütle katılım oranının en az %70 olması zorunludur (Uçar 2019).

Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi'nde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir itme adımında katlara etkiyen deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak tanımlanırlar. (TBDY 2018) Hesap başlangıç yüklemesi düşey yük olarak uygulanır ve bu yüklemeyi izleyen her bir adımda taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu değerlere ait birikimli değerler ve son adımda deprem talebine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır (Uçar 2019).

Bir sonraki bölümde TBDY 2018'den faydalanılarak sabit tek modlu itme yöntemiyle modal kapasite diyagramı elde edilmiş ve mevcut yapının performansı hakkında çıkarımlarda bulunulmuştur (Şekil 8.6).



Şekil 8.6. TBDY 2018'e göre sabit tek modlu itme yöntemiyle modal kapasite diyagramı

8.1.2.1. Sabit tek modlu itme yöntemiyle modal kapasite diyagramının elde edilmesi

SAP 2000 programıyla mevcut yapı için elde edilen taban kesme kuvvetine karşılık gelen deplasman eğrileri (itme eğrisi) birikimli modal sözde ivmeye (a_1) karşılık

birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesi (d_1) grafiğine belirli işlemler sonucunda dönüşüm yapılmıştır.

SAP2000 programında yapılan itme analizi sonucu çizdirilen itme-x ve itme-y grafikleri Şekil 7.75’de gösterilmiştir.

İtme eğrisi grafiğindeki taban kesme kuvveti değeri kullanılarak ‘Modal Kapasite Diyagramı’ için $a_1^{(X,k)}$ (birikimli modal sözde ivme) değeri Denklen (8.6)’da verilen formüle göre dönüşümü yapılmıştır.

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,1)}} \quad (8.6)$$

$a_1^{(X,k)}$ ’nın hesaplanması için itme eğrisinde verilen taban kesme kuvveti değerinin, binanın toplam ağırlığı ve SAP2000 programında yapılan itme analizi sonucu elde edilen alpha değerinin çarpımına bölümüyle elde edilir.

İtme eğrisindeki deplasman değeri kullanılarak ‘modal kapasite diyagramı’ için $d_1^{(X,k)}$ (birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesi) değeri Denk.(8.7)’de verilen formüle göre dönüşümü yapılmıştır.

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_{tx1}^{(X,1)}} \quad (8.7)$$

$d_1^{(X,k)}$ ’nın hesaplanması için itme eğrisinde elde edilen deplasman değerinin binanın SAP2000 programında yapılan itme analizi sonucu elde edilen x ve y yönündeki periyotlarının ve yapılan itme analizi sonucu elde edilen $\Gamma_1^{(X,1)}$ değerlerinin çarpımına bölümüyle elde edilmiştir.

$\Gamma_1^{(X,1)}$: Göz önüne alınan (X) deprem doğrultusu ve birinci titreşim modu için birinci itme adımında TBDY 2018 Denklem (4B.1)’den hesaplanan modal katkı çarpanıdır. Modal katkı çarpanının hesabı *TBDY 2018 Denklem (4B.1)*’de bulunmaktadır.

Fakat bu tez kapsamında yapılan itme analizlerinde Sap2000 programında modal katkı çarpanları sonuç çıktısında hesaplanmış şekilde verilmektedir. Hesaplar bu veriler kullanılarak yapılmıştır.

$\Phi_{Nx1}^{(1)}$: Yapının birinci moddaki periyot değeridir.

İtme eğrilerinin gerekli işlemler tamamlandıktan sonra ‘modal kapasite diyagramı’ grafiğine dönüşümü yapılmıştır. İtme-x eğrisi ve itme-y eğrisindeki veriler ve bu veriler kullanılarak dönüşümü yapılan modal kapasite eğrisinin verileri Çizelge 8.7-8.8’de verilmiştir. Bu verilere göre diyagramlar çizdirilmiştir. İtme-x ve İtme-y için çizdirilmiş modal kapasite diyagramları Şekil 8.7 (b) ve Şekil 8.8 (b)’de verilmiştir.

Çizelge 8.7. İtme-x eğrisi ve modal kapasite diyagramı veriler

$u_{Nx1}^{(X,k)}$ (m)	$V_{tx1}^{(X,k)}$ (KN)	$d_1^{(X,k)}$ (m)	$a_1^{(X,k)}$
0,00007	0	0,00053	0
0,00078	652,31	0,00057	0,030
0,00085	728,65	0,00063	0,0340
0,00155	1.387,83	0,00115	0,0649
0,00225	2.005,50	0,00167	0,0938
0,00299	2.532,28	0,00223	0,1184
0,00417	3.193,12	0,00311	0,1494
0,00529	3.717,6	0,00394	0,1739
0,00656	4.233,4	0,00489	0,1980
0,00737	4.528,7	0,00549	0,2119
0,0082	4.828,3	0,00615	0,2259
0,00907	5.087,9	0,00676	0,2380
0,01034	5.425,7	0,00770	0,2538
0,01134	5.667,1	0,00845	0,2651
0,01224	5.858,2	0,00912	0,2741
0,01298	6.000,1	0,00967	0,2807
0,01370	6.130,3	0,01021	0,2868
0,01492	6.327,5	0,01112r	0,2960
0,01589	6.471,3	0,01184	0,3027
0,01663	6.574,5	0,01239	0,3076
0,01755	6.694,4	0,01308	0,3132
0,01853	6.806,4	0,01381	0,3184
0,01940	6.893,1	0,01445	0,3225
0,02035	6.981,0	0,01516	0,3266
0,02116	7.054,9	0,01577	0,3301
0,02221	7.146,4	0,01655	0,3343

Çizelge 8.7. (Devam)

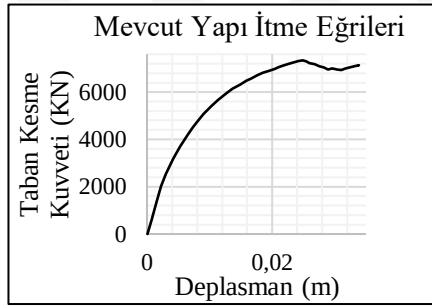
0,02304	7.213,9	0,01717	0,3375
0,02418	7.302,6	0,01802	0,3416
0,02488	7.339,1	0,01854	0,3434
0,2555	7.288,8	0,019	0,3410
0,0255	7.287,6	0,019	0,3409
0,0255	7.284	0,019	0,3408
0,0259	7.218,3	0,01933	0,3377
0,0268	7.181,5	0,01999	0,3360
0,0275	7.097,6	0,02051	0,3320
0,0282	7.037,9	0,02103	0,3293
0,0289	6.954,7	0,02155	0,3254
0,0296	6.987,7	0,02207	0,3269
0,0303	6.961,2	0,02259	0,3257
0,0310	6.926,2	0,02311	0,3240
0,0317	6.987,5	0,02364	0,3269
0,0324	7.036,0	0,02416	0,3292
0,0331	7.082,1	0,02468	0,3313
0,0338	7.126,4	0,02520	0,3334
0,0338	7127,0	0,02522	0,3334
0,0338	7126,6	0,02522	0,3334
0,0338	7126,6	0,02522	0,334

Çizelge 8.8. İtme-y eğrisi ve modal kapasite diyagramı verileri

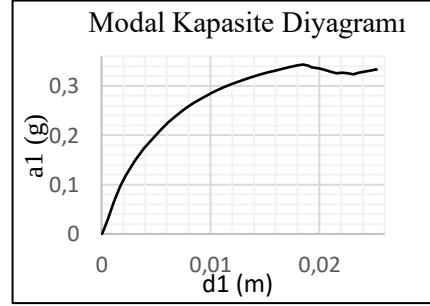
$u_{Nxl}^{(X,k)}$ (m)	$V_{txl}^{(X,k)}$ (KN)	$d_l^{(X,k)}$ (m)	$a_l^{(X,k)}$
0	0	0	0
0,0005	641,67	0,00037	0,0304
0,00050	650,28	0,00038	0,0308
0,00100	1.293,33	0,00075	0,0614
0,00150	1.939,37	0,00113	0,0920
0,00243	2.965,40	0,00183	0,1408
0,00317	3.571,48	0,00239	0,1695
0,00367	3.909,13	0,00277	0,1856
0,00436	4.306,71	0,00329	0,2044
0,00498	4.606,66	0,00376	0,2187
0,00548	4.815,03	0,00414	0,2286
0,00598	5.006,58	0,00451	0,2377
0,00648	5.179,83	0,00489	0,2459
0,00738	5.485,1	0,00557	0,2604
0,00788	5.629,16	0,00595	0,2672
0,00869	5.859,45	0,00656	0,2782
0,00946	6.063,05	0,00714	0,2878
0,00996	6.185,11	0,00752	0,2936
0,01059	6.326,93	0,00799	0,3004
0,01134	6.485,48	0,00856	0,3079
0,01203	6.630,98	0,00908	0,3148

Çizelge 8.8. (Devam)

0,01279	6.786,48	0,00965	0,3222
0,01361	6.944,06	0,01027	0,32972
0,01413	7.038,19	0,01066	0,3341
0,01470	7.141,48	0,01109	0,3391
0,01526	7.245,93	0,01152	0,3440
0,01599	7.354,79	0,01206	0,3492
0,01668	7.460,14	0,01259	0,3542
0,01741	7.565,08	0,01314	0,3592
0,01807	7.659,30	0,01364	0,3636
0,01844	7.707,87	0,01392	0,3659
0,01885	7.733,8	0,0142	0,3672
0,01935	7.750,1	0,01460	0,3680
0,01985	7.737,5	0,01498	0,3674
0,02035	7.773,48	0,01535	0,36911
0,02085	7.791,05	0,01573	0,3699
0,02135	7.798,55	0,01611	0,3703
0,02160	7.395,48	0,01630	0,35116
0,02210	7.580,45	0,01668	0,35994
0,02260	7.661,59	0,01705	0,36379
0,02310	7.731,3	0,01743	0,3671
0,02360	7.791,25	0,01781	0,3699
0,02410	7.848,09	0,01818	0,3726

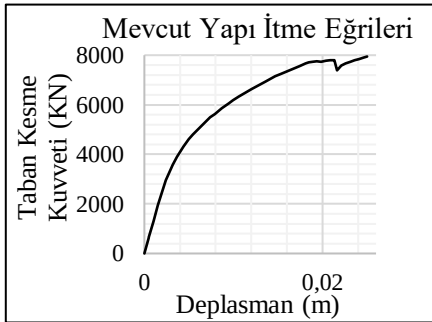


(a)

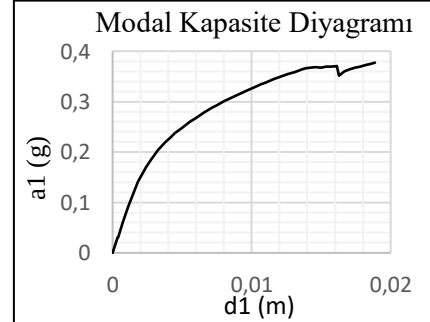


(b)

Şekil 8.7. (a) İtme-x eğrisi (b) Modal kapasite diyagramı



(a)



(b)

Şekil 8.8. (a) İtme-y eğrisi (b) Modal kapasite diyagramı

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

Depremin modal yer değiştirme 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.

Modal tek serbestlik dereceli sistemde en büyük yer değiştirme, doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak tanımlanır:

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \quad (8.8)$$

Burada $d_{1,max}^{(X)}$ modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesini, $S_{di}(T_1)$ ise taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen ve Denklem (8.9) ile tanımlanan doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeyi göstermektedir.

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (8.9)$$

$S_{di}(T_1)$ ile tanımlanan elastik tasarım spektral yer değiştirmesini, C_R ise spektral yer değiştirme oranını göstermektedir. Spektral yer değiştirme oranı C_R Denklem (8.10)'da tanımlanmıştır.

$$C_R = 1 \quad T_1 > T_B \quad (8.10a)$$

$$C_R = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad T_1 \leq T_B \quad (8.10b)$$

Bu tez kapsamında mevcut yapı için $T_1 \leq T_B$ olduğu için spektral yer değiştirme oranı (C_R) hesabı Denklem (8.10b)'ye göre hesaplanmıştır. T_1 yapının x ve y yönündeki itme analizlerine göre elde edilen titreşim periyodu olup x yönü için $T_x = 0,251$ sn $T_y = 0,212$ sn'dir. $T_B = 0,296$ sn değerinde hesaplanmıştır. Spektral yer değiştirme oranı

(C_R) hesabı için Denklem (8.10b)'deki akma dayanımı azaltma katsayısı (R_y) değerinin de hesabı Denklem (8.11)'de verilmiş bu doğrultuda hesaplar yapılmıştır.

Akma dayanımı azaltma katsayısını gösteren R_y , öngörülen süneklik kapasitesine bağlı olarak tanımlanan bir büyüklüğü değil, itme hesabından doğrudan elde edilen akma dayanımına bağlı bir büyüklüğü ifade etmektedir:

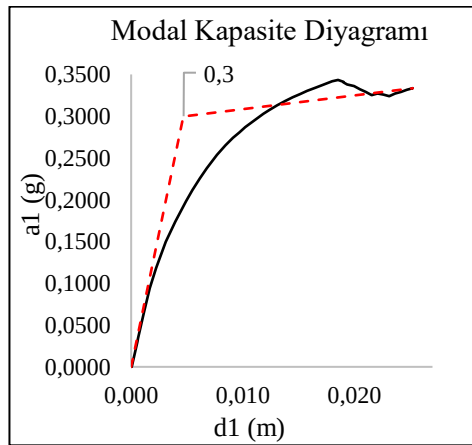
$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (8.11)$$

Mevcut yapı için akma dayanımı katsayısı (R_y) itme-x ve itme-y için değeri;

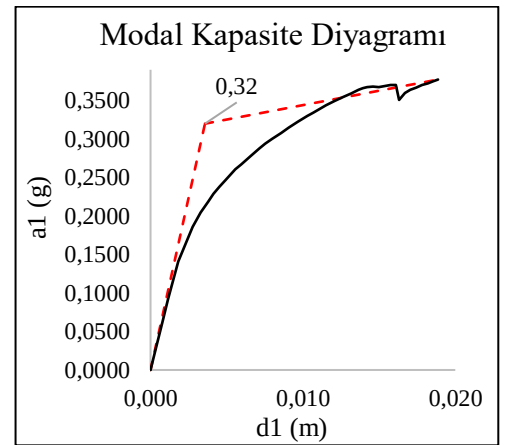
$$R_y = \frac{1,498}{0,30} = 4,993 \quad (\text{itme-x için akma dayanımı azaltma katsayısı değeri})$$

$$R_y = \frac{1,498}{0,32} = 4,681 \quad (\text{itme-y için akma dayanımı azaltma katsayısı değeri})$$

şeklinde hesaplanır. 1,498 değeri S_{ae} grafiğinde T_A periyoduna karşılık gelen değerdir. a_{y1} değeri ise modal kapasite diyagramındaki birikimli modal sözde ivmenin iki doğrulu hale getirilmiş grafiğinde elde edilen değerdir (Şekil 8.9).



(a)



(b)

Şekil 8.9. (a) İtme-x eğsisi için modal kapasite eğrisinin iki doğrulu diyagramı (b) İtme-y eğsisi için modal kapasite eğrisinin iki doğrulu diyagramı.

8. YATAY ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI

İtme-x ve itme-y eğrisi için akma dayanımı azaltma katsayısı hesaplandıktan sonra bu değerler doğrultusunda Denklem (8.10b)'ye göre spektral yer değiştirme oranı (C_R) hesaplanmıştır.

$$C_R = \frac{1 + (4,9933 - 1) \frac{0,5294}{0,25113}}{4,9933} = 1,886 \quad (\text{itme-x eğrisi için})$$

$$C_R = \frac{1 + (4,681 - 1) \frac{0,5294}{0,21195}}{4,681} = 2,178 \quad (\text{itme-y eğrisi için})$$

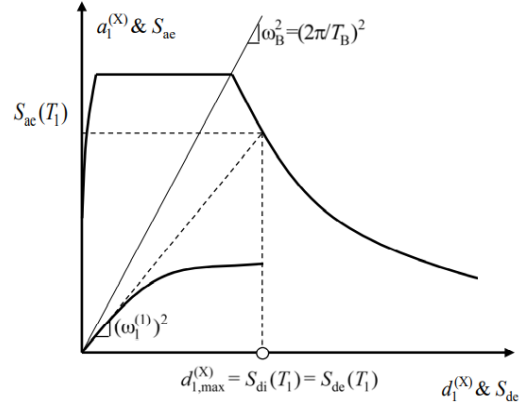
Tüm değerler elde edildikten sonra yatay elastik tasarım eğrisi spektrumuna (S_{ae}) karşılık, yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi (S_{de}) grafiği çizdirilmiştir. Bu grafiğin çizdirilmesi kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesinde iki eğri türünün de aynı olmasını sağlamak için yapılır. Daha sonra aynı grafik üzerinde $S_{ae}(g)$ 'nin $S_{de}(m)$ 'ye karşı değişim grafiği ile modal kapasite diyagramları çizdirilmiştir. Çizdirilen bu grafiklerin kesiştirilmesi yapılmıştır. Bu iki eğrinin kesiştirilmesi ile depremin talebine sistemin verdiği cevap yani karşı gelen denge konumu bulunmuş olur.

Kapasite ve talep eğrisinin kesiştirilmesi işlemleri Denklem (8.12)'de verilmiştir.

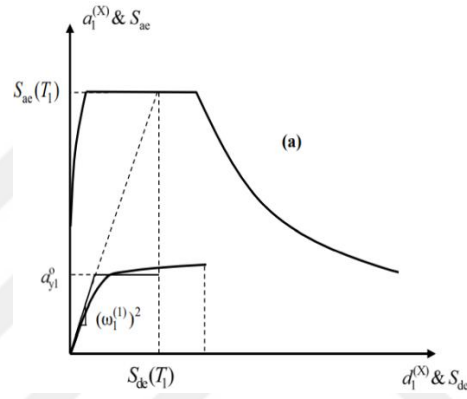
$$S_d = \frac{S_a}{w^2} = \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 S_a \quad (8.12)$$

Denklem (8.12)'e göre hesap yapıp kapasite ve talep eğrisinin kesiştirilmesi işlemi yapılmıştır.

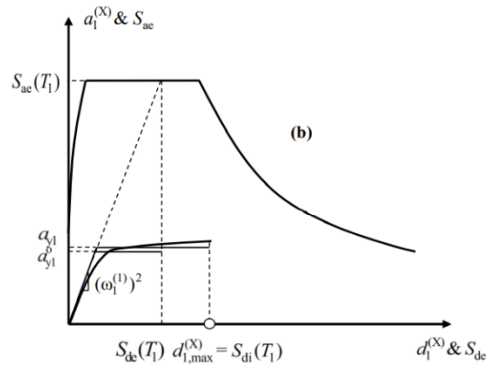
TBDY 2018'e göre modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu 3 durum altında çizdirilir. Bu durumlar Şekil 8.10-8.11-8.12'de verilmiştir.



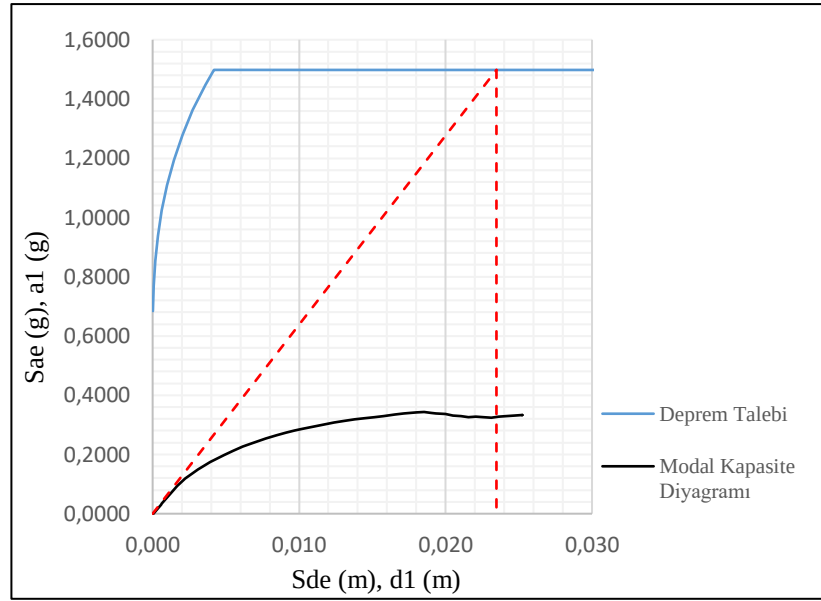
Şekil 8.10. $T_1 \geq T_B$ durumu için elastik spektrum eğrisi ile kapasite eğrisinin kesiştirilmesi (Durum 1).



Şekil 8.11. Modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu grafikleri (Durum 2).

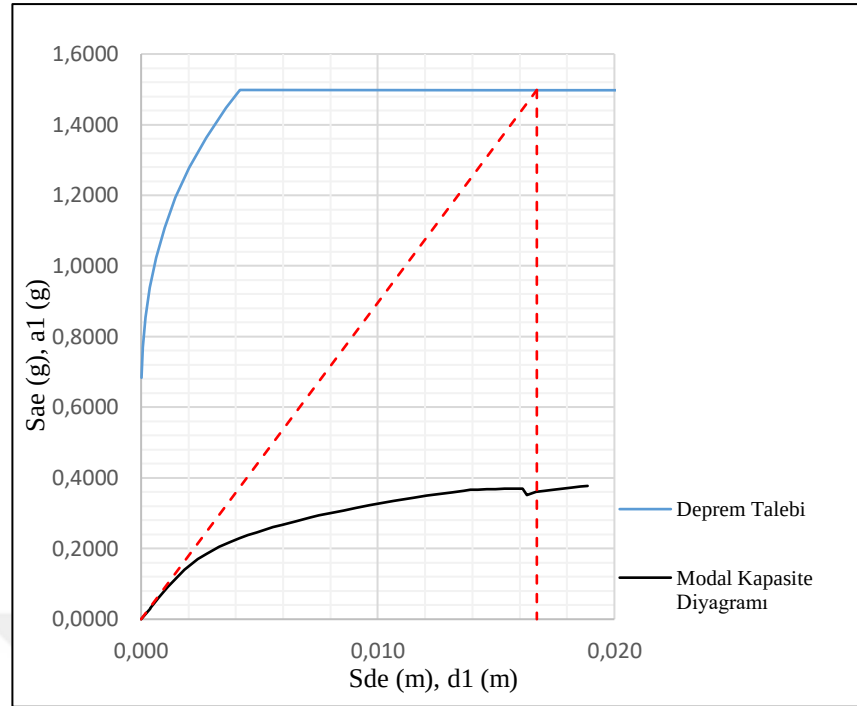


Şekil 8.12. $T_1 \leq T_B$ durumu için elastik spektrum eğrisi ile kapasite eğrisinin kesiştirilmesi (Durum 3).



Şekil 8.13. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için itme-x eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.

Şekil 8.13’de deprem talebi ile yapının x yönündeki kapasite diyagramı aynı çizelge üzerinde çizdirilmiştir. İki diyagram kesiştirilerek mevcut yapının deprem talebini karşılayıp karşılamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 8.13’de iki diyagramın kesiştirildiği deplasman değeri ile itme-x eğrisi için hesaplanan C_R değerinin çarpılması durumunda yapının performans noktası (yapının gerçek nonlinear deplasman değeri) elde edilir. Yapı için x yönündeki performans noktası değeri $1,8861 \times 0,0235 = 0,0443$ m değerindedir. Yapının modal kapasite diyagramına baktığımızda yapının deplasman kapasitesinin 0,0252 m değerinde olduğu görülmektedir. Yapının performans noktası değeri (0,0443 m), yapının deplasman kapasite değerinden (0,0252 m) büyük olduğu için yapı x yönünde yeterli performansı sağlayamamıştır. Performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aştığı için yapı x yönünde yeterli değildir ve göçme durumundadır.



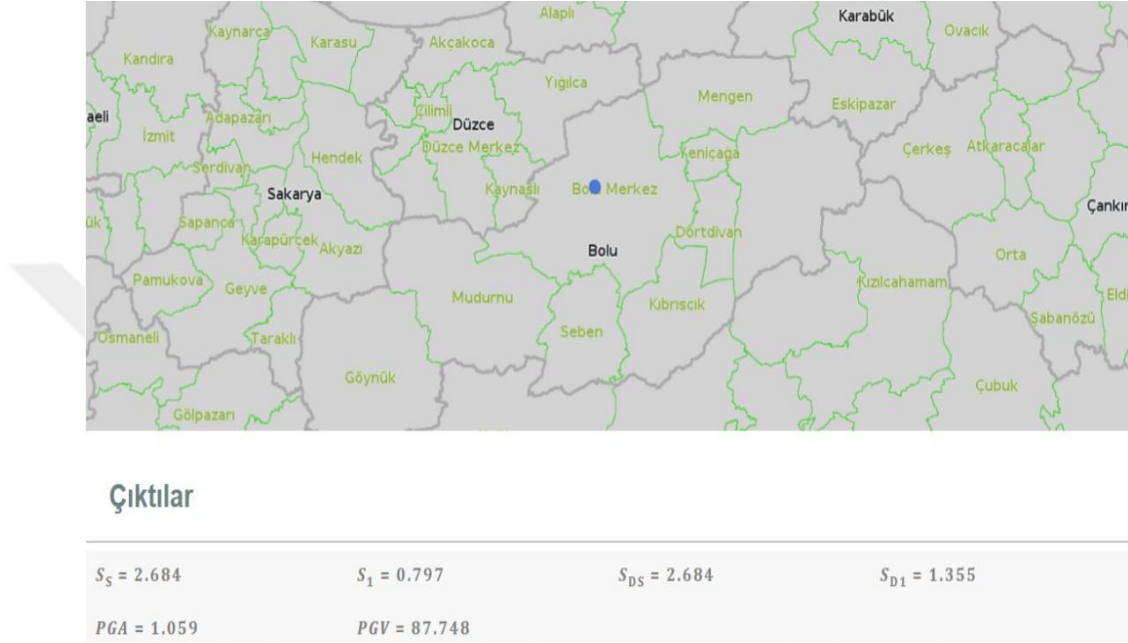
Şekil 8.14. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için itme-y eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.

Şekil 8.14’de de deprem talebi ile yapının y yönünde kapasite diyagramı aynı çizelge üzerinde çizdirilmiştir. İki diyagram kesiştirilerek mevcut yapının deprem talebini karşılayıp karşılamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapı için y yönündeki performans noktası değeri $2,178 \times 0,0167 = 0,0364$ m değerindedir. Yapının modal kapasite diyagramına baktığımızda yapının deplasman kapasitesinin 0,0189 m değerinde olduğu görülmektedir. Yapının performans noktası değeri (0,0364 m), yapının deplasman kapasite değerinden (0,0189 m) büyük olduğu için yapı y yönünde de yeterli performansı sağlayamıyor. Performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aştığı için yapı y yönünde yeterli değildir ve göçme durumdadır. Tüm bu analizler neticesinde hem x hem de y yönünde kapasiteleri yeterli olmayan yapı için güçlendirmeye ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

DD-2 deprem yer hareketi için bütün analizler sonucunda yapının güçlendirilmeye ihtiyacı olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı işlemler DD-1 deprem yer hareketi için de yapılmış ve yapının DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde de ne oranda kapasiteyi sağlamadığı da irdelenmiştir.

8.2. DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde

Yapının mevcut konumuna göre AFAD’ın Türkiye Deprem Haritaları uygulaması üzerinden DD1 deprem yer hareketine göre yapının harita spektral ivme katsayı ve tasarım spektral ivme katsayı değerleri Şekil 8.15’de gösterilmiştir.



Şekil 8.15. Mevcut yapının DD-1 deprem yer hareketine göre harita spektral ivme ve spektral ivme katsayıları.

8.2.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Harita spektral ivme katsayıları S_s ve S_1 , aşağıdaki şekilde tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} 'e dönüştürülmüştür.

$$S_{DS} = S_s \times F_s = 2,684 \times 1 = 2,684$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 = 0,797 \times 1,7 = 1,355$$

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu'nun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem

8. YATAY ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI

(8.3)'de tanımlanmıştır. Bu denklem doğrultusunda DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım spektrumu oluşturulmuştur.

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B ; S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanır.

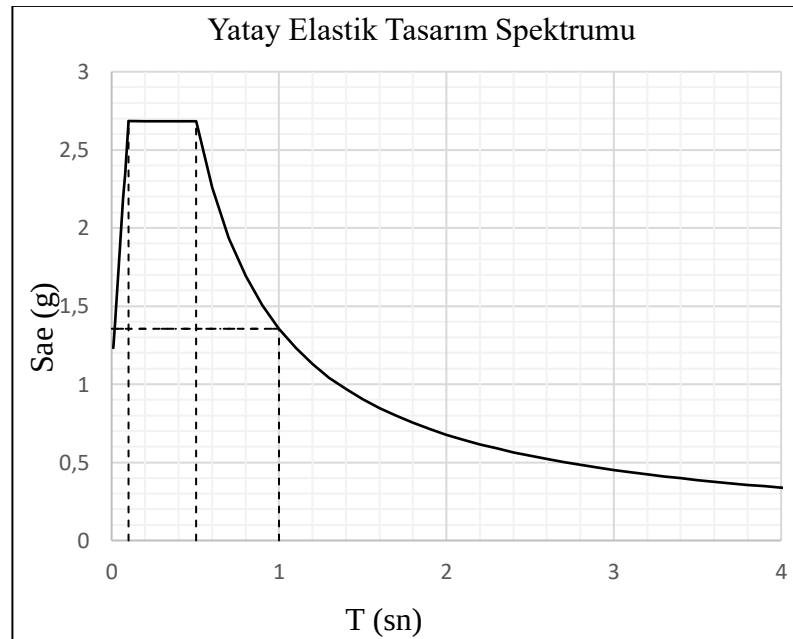
$$T_A = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{1,355}{2,684} = 0,101 \text{ sn}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{1,355}{2,684} = 0,5045 \text{ sn}$$

Yatay elastik tasarım spektrum grafiğini çizdirmek için TBDY 2018' e göre hesaplanan Çizelge 8.9'daki veriler kullanılmıştır (Şekil 8.16).

Çizelge 8.9. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu değerleri.

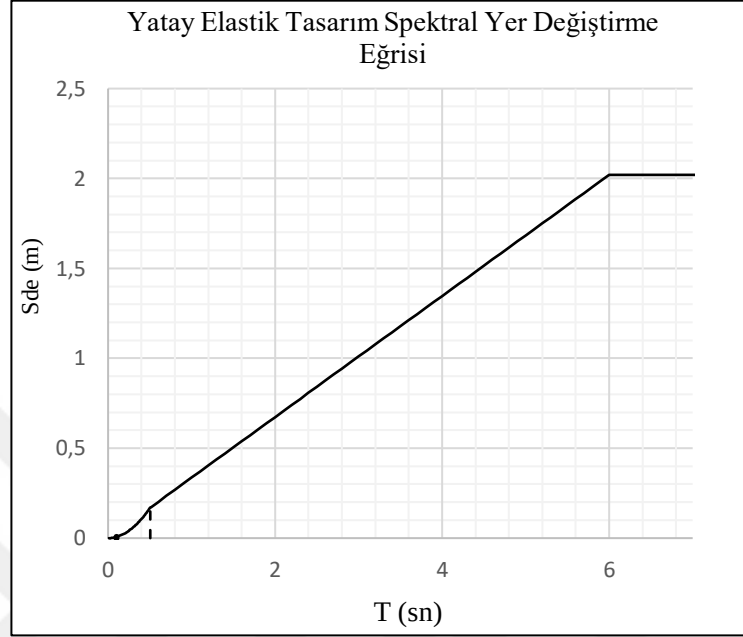
T_A	T_B	S_{DS}	S_{D1}
0,1010 sn	0,5045 sn	2,684	1,355



Şekil 8.16. DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre mevcut yapı için oluşturulmuş yatay elastik tasarım spektrumu eğrisi.

8. YATAY ELASTİK TASARIM İVME SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI

Elde edilen S_{ae} (g) değerlerinden faydalanılarak yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisinin verileri elde edilmiş ve bu verilere göre Excel yardımıyla S_{de} (m) grafiği çizdirilmiştir (Şekil 8.17).



Şekil 8.17. DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre mevcut yapı için oluşturulmuş yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi.

Bölüm 8.1.2.1.'de sabit tek modlu itme yöntemiyle oluşturulan modal kapasite diyagramları kullanılarak talep-kapasite diyagramları kesiştirilmiştir.

8.2.2. Deprem modal yer değiştirme talebinin doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak elde edilmesi

DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için spektral yer değiştirme oranı (C_R) hesabı için Denklem (8.10b)'deki akma dayanımı azaltma katsayısı (R_y) değerinin de hesabı Denklem (8.11)'de verilmiş bu doğrultuda hesaplar yapılmıştır.

Mevcut yapı için akma dayanımı katsayısı (R_y) itme-x ve itme-y için değeri;

$$R_y = \frac{2,684}{0,30} = 8,945 \quad (\text{itme-x için akma dayanımı azaltma katsayısı değeri})$$

$$R_y = \frac{2,684}{0,32} = 8,388 \quad (\text{itme-y için akma dayanımı azaltma katsayısı değeri})$$

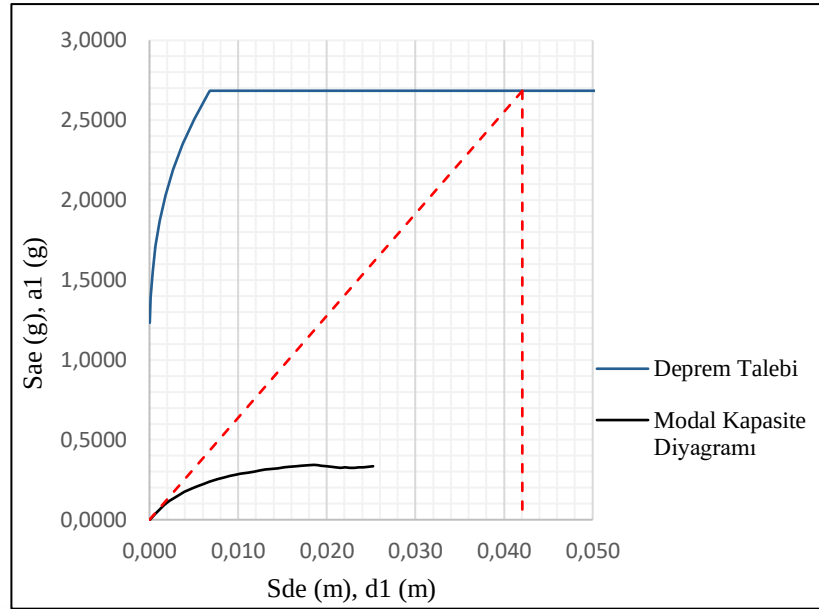
şeklinde hesaplanır. 2,684 değeri Sae grafiğinde T_A periyoduna karşılık gelen değerdir. a_{y1} değeri ise modal kapasite diyagramındaki birikimli modal sözde ivmenin iki doğrulu hale getirilmiş grafiğinde elde edilen değerdir.

İtme-x ve itme-y eğrisi için akma dayanımı azaltma katsayısı hesaplandıktan sonra bu değerler doğrultusunda Denklem (8.10b)'ye göre spektral yer değiştirme oranı (C_R) hesaplanmıştır.

$$C_R = \frac{1+(8,945-1)\frac{0,5048}{0,25113}}{8,945} = 1,897 \quad (\text{itme-x eğrisi için})$$

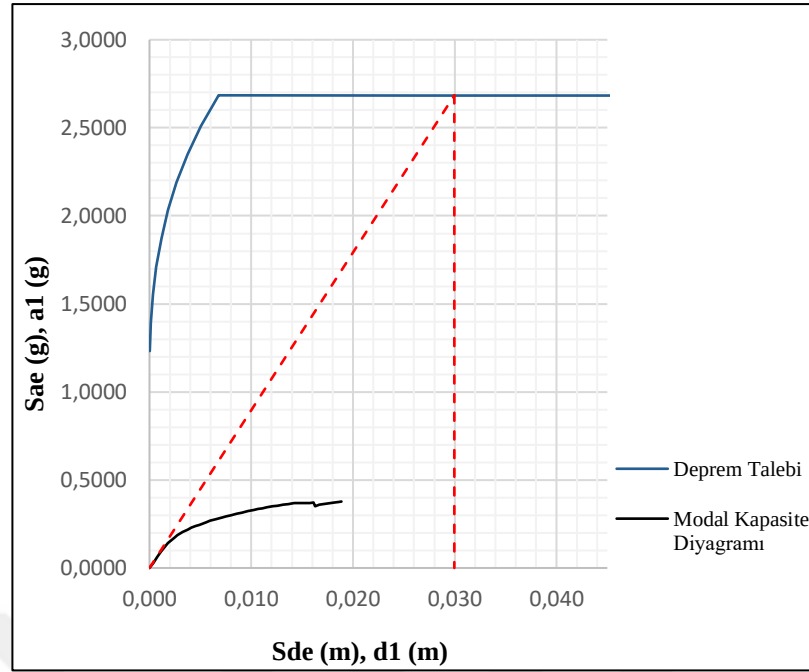
$$C_R = \frac{1+(8,388-1)\frac{0,5048}{0,21195}}{8,388} = 2,217 \quad (\text{itme-y eğrisi için})$$

DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre tüm değerler elde edildikten sonra yatay elastik tasarım eğrisi spektrumuna (S_{ae}) karşılık, yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi (S_{de}) grafiği çizdirilmiştir. Bu grafiğin çizdirilmesi kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesinde iki eğri türünün de aynı olmasını sağlamak için yapılır. Daha sonra aynı grafik üzerinde S_{ae} (g)'nin S_{de} (m)'ye karşı değişim grafiği ile modal kapasite diyagramları çizdirilmiştir. Çizdirilen bu grafiklerin kesiştirilmesi yapılmıştır. Bu iki eğrinin kesiştirilmesi ile depremin talebine sistemin verdiği cevap yani karşı gelen denge konumu bulunmuş olur.



Şekil 8.18. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için itme-x eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.

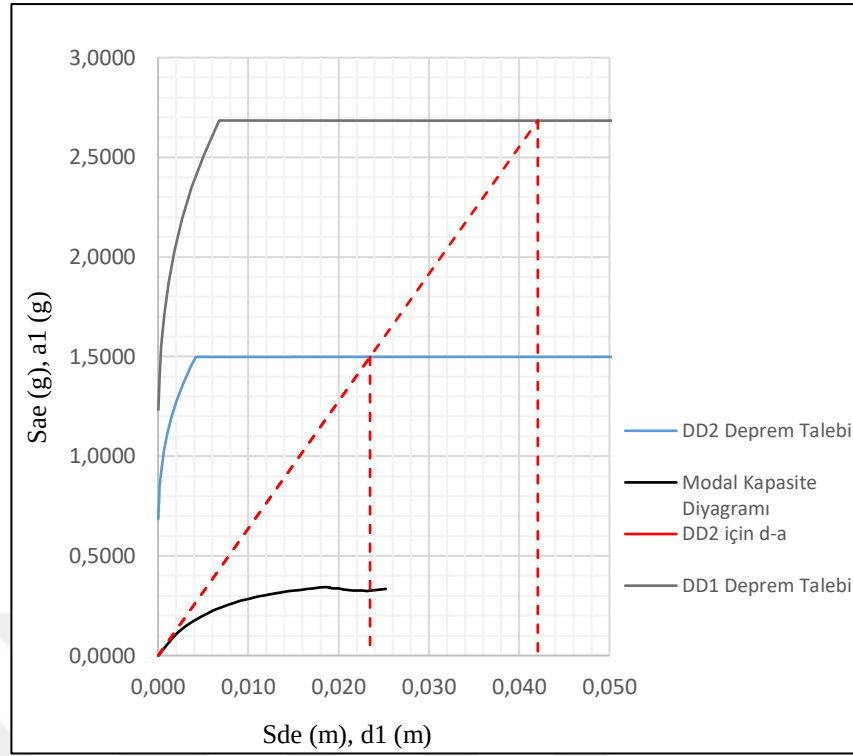
Şekil 8.18’de deprem talebi ile yapının kapasite diyagramı aynı çizelge üzerinde çizdirilmiştir. İki diyagram kesiştirilerek mevcut yapının deprem talebini karşılayıp karşılamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 8.18’de iki diyagramın kesiştirildiği deplasman değeri ile itme-x eğrisi için hesaplanan C_R değerinin çarpılması durumunda yapının performans noktası (yapının gerçek nonlinear deplasman değeri) elde edilir. Yapı için x yönündeki performans noktası değeri $1,897 \times 0,042 = 0,0798$ m değerindedir. Yapının modal kapasite diyagramına baktığımızda yapının deplasman kapasitesinin 0,025 m değerinde olduğu görülmektedir. Yapının performans noktası değeri (0,0798 m), yapının deplasman kapasite değerinden (0,025 m) büyük olduğu için yapı x yönünde yeterli performansı sağlayamıyor. Yani performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aştığı için yapı x yönünde yeterli değildir ve göçme durumdadır. DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre yapılan analizlere göre, DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yapılan analizlerde yapı kapasitesi daha düşük çıkmıştır.



Şekil 8.19. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için itme-y eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.

Şekil 8.19’da deprem talebi ile yapının kapasite diyagramı aynı çizelge üzerinde çizdirilmiştir. İki diyagram kesiştirilerek mevcut yapının deprem talebini karşılayıp karşılamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 8.19’da iki diyagramın kesiştirildiği deplasman değeri ile itme-y eğrisi için hesaplanan C_R değerinin çarpılması durumunda yapının performans noktası (yapının gerçek nonlinear deplasman değeri) elde edilir. Yapı için y yönündeki performans noktası değeri $2,217 \times 0,03 = 0,0664$ m değerindedir. Yapının modal kapasite diyagramına baktığımızda yapının deplasman kapasitesinin 0,0188 m değerinde olduğu görülmektedir. Yapının performans noktası değeri (0,0664 m), yapının deplasman kapasite değerinden (0,0188 m) büyük olduğu için yapı y yönünde yeterli performansı sağlayamamıştır. Yani performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aştığı için yapı y yönünde yeterli değildir ve göçme durumdadır. DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre yapılan analizlere göre DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre yapılan analizlerde y yönünde de yapı kapasitesi daha düşük çıkmıştır.

Mevcut yapı için DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine göre itme-x eğrisinde yapı performans durumlarının gösterildiği eğri şekil 8.20’de gösterilmiştir.



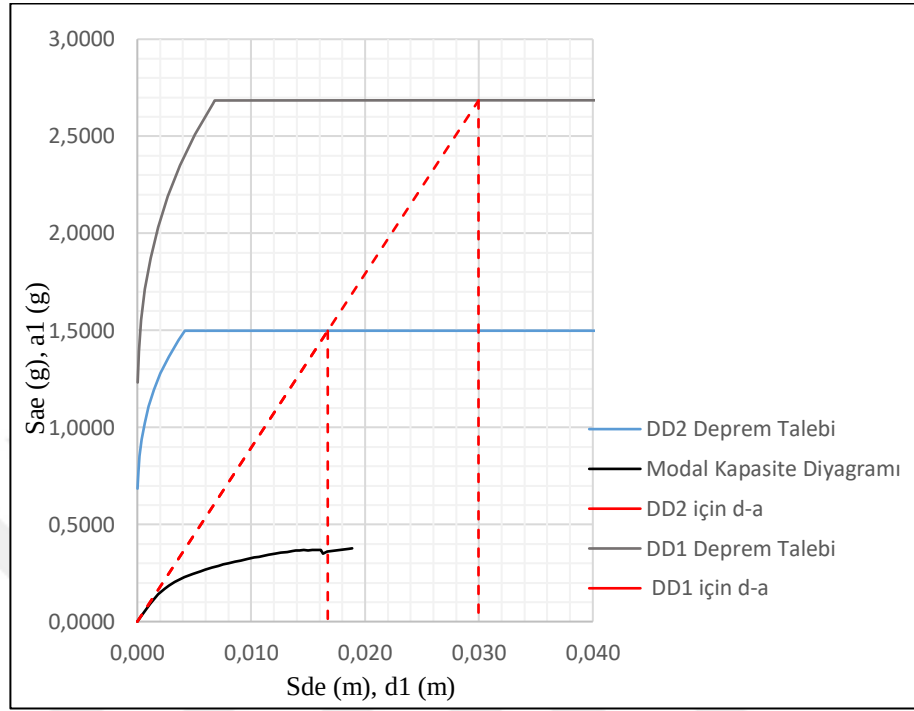
Şekil 8.20. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve dd-2 deprem yer hareketi düzeylerinde itme-x eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.

Şekil 8.20’de de görüldüğü üzere x yönünde DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yapının performans durumu DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre daha fazla yetersiz kalmaktadır.

Yapı için DD2 deprem yer hareketi düzeyinde x yönündeki performans noktası değeri 0,0443 m’dir. Yapının modal kapasite diyagramına baktığımızda yapının deplasman kapasitesinin 0,0252 m değerinde olduğu görülmektedir. Yapının performans noktası değeri (0,0443 m), yapının deplasman kapasite değerinden (0,0252 m) büyük olduğu için yapı x yönünde yeterli performansı sağlayamamıştır.

Yapı DD1 deprem yer hareketi düzeyinde x yönündeki performans noktası değeri 0,0798 m değerindedir. Yapının modal kapasite diyagramına baktığımızda yapının deplasman kapasitesinin 0,0252 m değerinde olduğu görülmektedir. Yapının performans noktası değeri (0,0798 m), yapının deplasman kapasite değerinden (0,025 m) büyük olduğu için yapı DD1 deprem yer hareket düzeyinde de x yönünde yeterli performansı sağlayamamıştır.

Mevcut yapı için DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine göre itme-y eğrisinde yapı performans durumlarının gösterildiği eğri şekil 8.21’de gösterilmiştir.



Şekil 8.21. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve dd-2 deprem yer hareketi düzeylerinde itme-y eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.

Şekil 8.21’de de görüldüğü üzere y yönünde DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yapının performans durumu DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre daha fazla yetersiz kalmaktadır.

Yapı için DD2 deprem yer hareketi düzeyinde y yönündeki performans noktası değeri 0,0364 m’dir. Yapının modal kapasite diyagramına baktığımızda yapının deplasman kapasitesinin 0,0189 m değerinde olduğu görülmektedir. Yapının performans noktası değeri (0,0364 m), yapının deplasman kapasite değerinden (0,0189 m) büyük olduğu için yapı y yönünde yeterli performansı sağlayamamıştır.

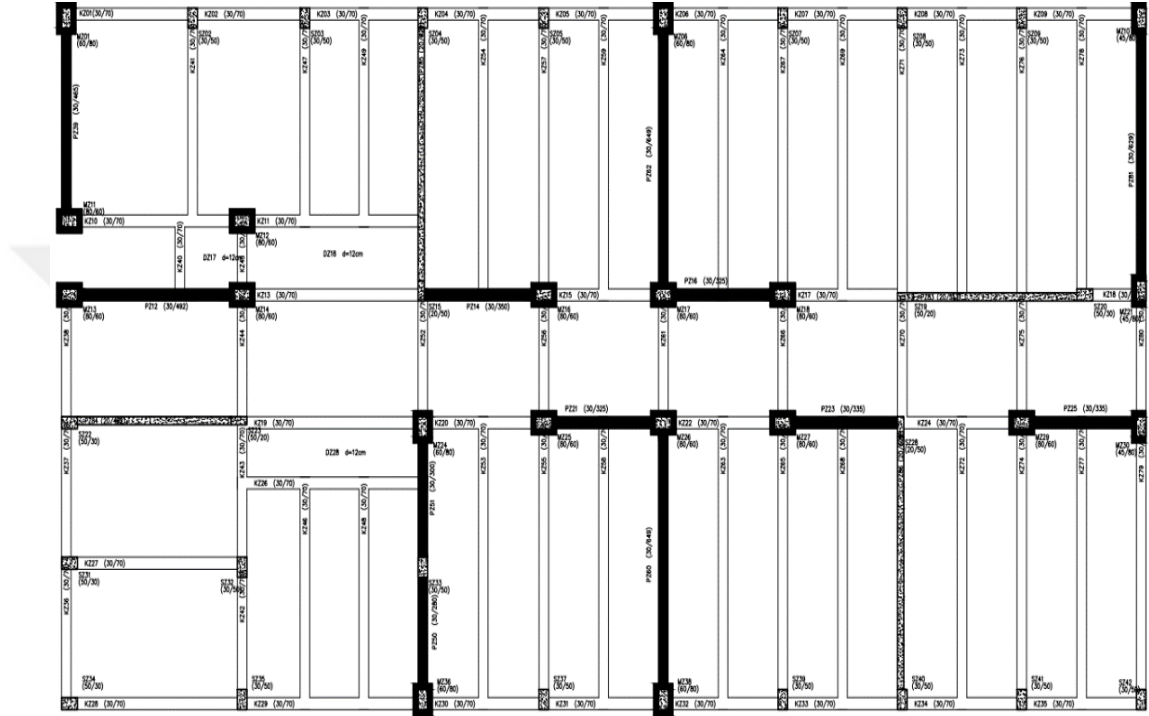
Yapı DD1 deprem yer hareketi düzeyinde y yönündeki performans noktası değeri 0,0798 m değerindedir. Yapının modal kapasite diyagramına baktığımızda yapının deplasman kapasitesinin 0,025 m değerinde olduğu görülmektedir. Yapının performans noktası değeri (0,0798 m), yapının deplasman kapasite değerinden (0,025 m) büyük olduğu için yapı y yönünde yeterli performansı sağlayamamıştır.

Yapı için her iki yönde (x ve y yönü), her iki deprem yer hareketi düzeyinde elde edilen bina deplasman değerleri incelendiğinde yapıda DD1 deprem yer hareket düzeyinde daha fazla deplasman meydana geldiği görülmektedir. Deprem yönetmeliğine göre DD1 deprem yer hareket düzeyinde yapının maruz kaldığı ivme değerleri daha büyüktür. Bu sebeple yapıda DD1 deprem yer hareketi düzeyinde daha fazla deplasman meydana gelmektedir. Yapının mevcut durumu için her iki deprem yer hareket düzeyinde de gerekli performansı sağlayamadığı gözlenmiştir. Yapının gerekli performansa ulaşabilmesi için güçlendirilmesi gerektiği kanısına varılmıştır. Bölüm 9’da mevcut yapıya betonarme perde ilavesi ve kolon mantolama güçlendirmeleri yapılarak yapı modellenmiş ve yapının güçlendirilmiş durumu için performansındaki değişim irdelenmiştir.



9.BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ MODELLENMESİ

Betonarme perdelerle güçlendirilmiş yapının kalıp planına göre SAP2000 ile modellemesi yapılmıştır (Şekil 9.1). Mevcut binadaki modellenmiş elemanlara ilaveten güçlendirme perdeleri ve mantolanmış kolonların modellenmesi yapılmıştır.



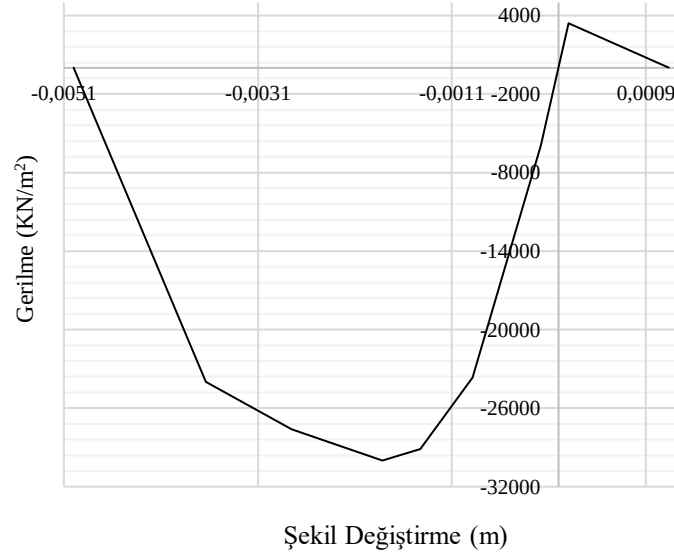
Şekil 9.1. Güçlendirilmiş yapı kalıp planı

9.1. Güçlendirilmiş yapı malzemelerinin tanımlanması

Güçlendirilmiş yapının modellemesi yapılırken öncelikle güçlendirme perdelerinde ve kolonların mantolanmasında kullanılan beton dayanım sınıfına göre C30/37 betonu tanımlanmıştır. Daha sonra da boyuna donatı ve etriyeler için 420 nervürlü donatı tanımlanmıştır.

Tanımlanan C30/37 beton malzemesi için SAP2000 programındaki gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 9.2’de verilmiştir.

Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi



Şekil 9.2. C30/37 beton için gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Tanımlanan S420 donatı malzemesi için SAP2000 programındaki gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 9.2’de verilmiştir. Donatı tanımlanırken ‘rebar’ şeklinde tanımlanmalıdır. S420 nervürlü donatı için;

Akma dayanımı (f_y) = 420 N/mm²

Çekme Dayanımı (f_u) = 550 N/mm²

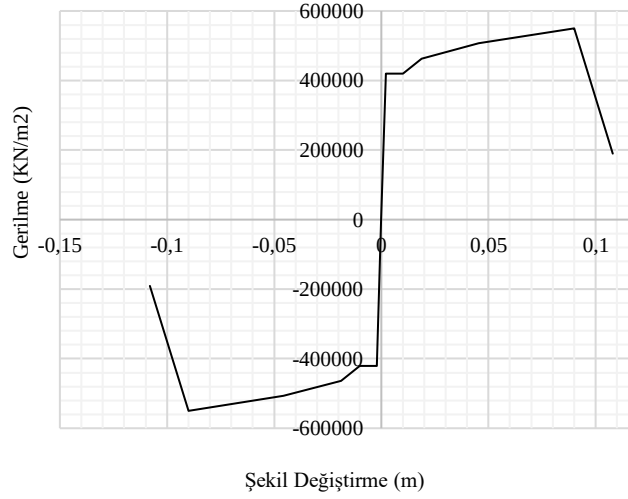
olacak şekilde programa tanımlanmıştır (Şekil 9.3). Tanımlanan S420 nervürlü donatı için elde edilen gerilme şekil değiştirme eğrisi Şekil 9.4’de verilmiştir.

S Material Property Data

Material Name S420	Material Type Rebar	Symmetry Type Uniaxial
Modulus of Elasticity E1 199947,98	Weight and Mass Weight per Unit Volume 7,697E-05 Mass per Unit Volume 7,849E-09	Units N, mm, C
Poisson U12 0,	Other Properties For Rebar Materials Minimum Yield Stress, Fy 420, Minimum Tensile Stress, Fu 550, Expected Yield Stress, Fye 420, Expected Tensile Stress, Fue 550,	

Şekil 9.3. S420 donatısı için karakteristik özelliklerin tanımlanması

Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği



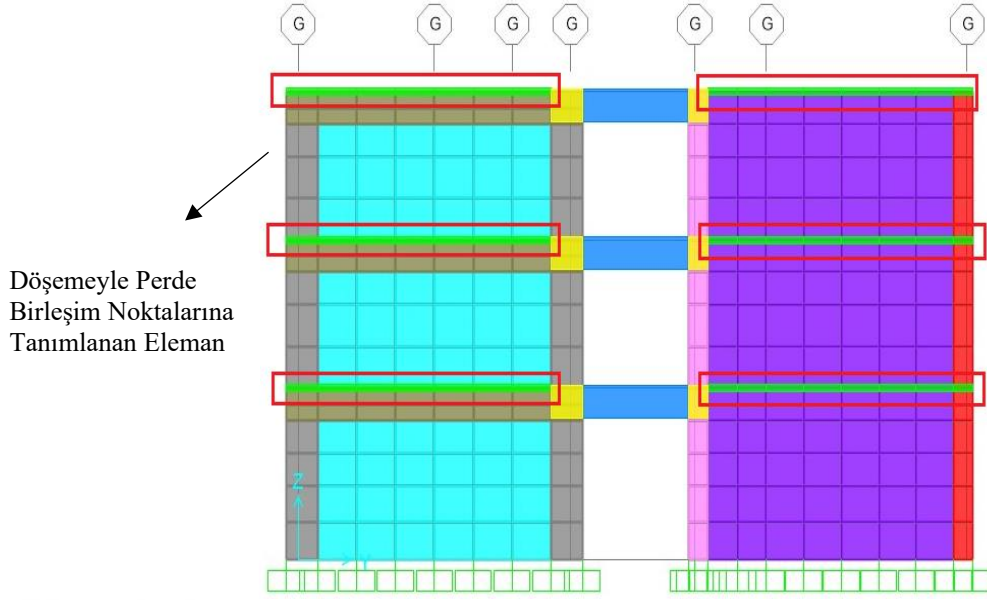
Şekil 9.4. S420 donatısı için gerilme-şekil değişirme eğrisi

9.2. Güçlendirilmiş Yapı İçin Taşıyıcı Elemanların Modellenmesi

Güçlendirme perdeleri ve mantolanmış uç bölge kolonları kabuk (Shell) elemanlarıyla modellenmiştir. Güçlendirme perdelerindeki uç bölge kolonlarında mantolama yapılmış ve mantolanmış kolonlar modellenirken kolon kesitleri büyütülerek modelleme yapılmıştır. Mantolanmış kolon ve güçlendirilmiş perdelerde C30/37 betonu kullanılmış ve bu malzeme model için programa tanımlanmıştır. Güçlendirilmiş elemanlar için boyuna donatılar ve etriyelerde S420 donatısı kullanılmıştır.

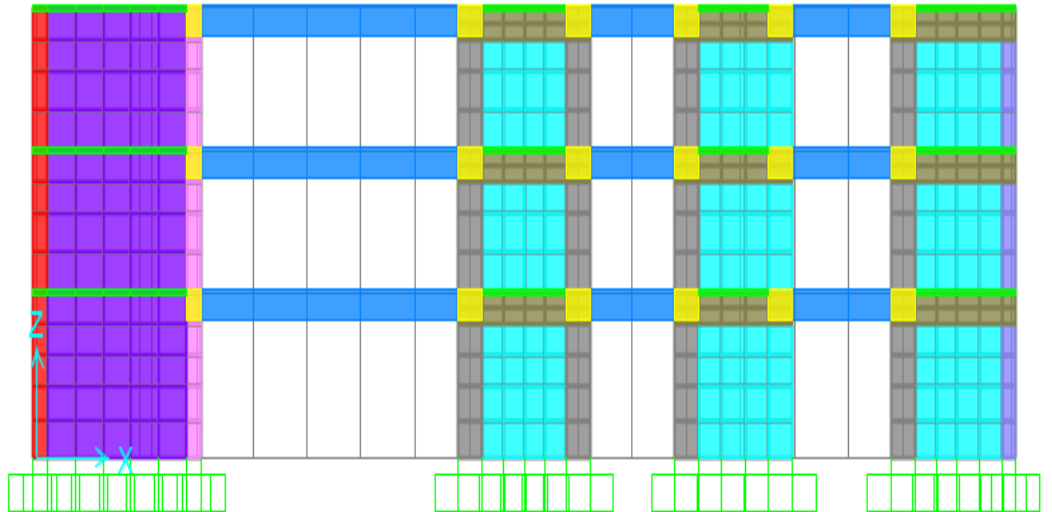
Taşıyıcı elemanlar tanımlanırken TBDY2018'e göre etkin kesit rijitlik çarpanları kolon ve perdeler için tanımlanmıştır (Bölüm 7.2.1 Çizelge 7.1).

Modellenen güçlendirilmiş perdelerde de mevcut perdelerde olduğu gibi, perdeyle birleşen none döşeme elemanında döşemeye aktarılan yükün aktarımı sağlanamıyor. Bu nedenle döşemelerde perdelerin bulunduğu yerlere sahte bir eleman tanımlanarak döşemelerden perdeler yük aktarımının yapılması sağlanmıştır. None ile modellenen döşemelerde mevcut modellenmiş perde elemanlarında olduğu gibi, güçlendirilmiş perdelerin döşemeyle kesişim kısmına da '*uniform to frame (Shell)*' komutuyla döşeme yüklerinin aktarımını sağlamak için elemanı tanımlıyoruz. Şekil 9.5'de döşemeyle perdelerin birleşim noktalarına tanımlanan eleman gösterilmiştir.



Şekil 9.5. Her katta döşemeyle perdenin birleşim noktalarına tanımlanan eleman

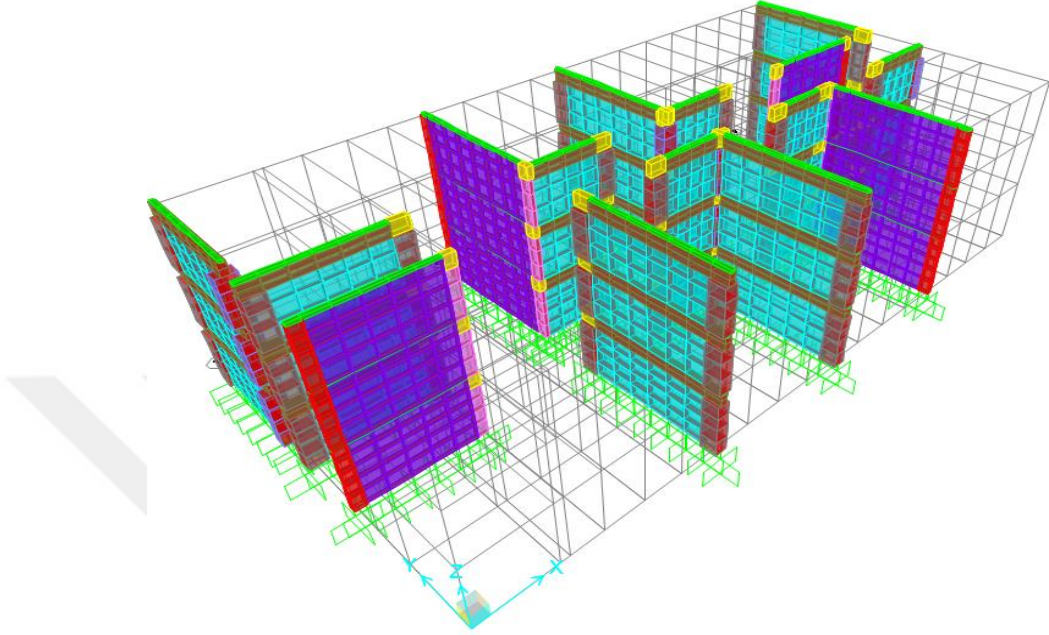
Güçlendirme perdeleri ve uç bölgedeki mantolanmış kolonlar modellenirken, mevcut bina perde modelinde olduğu gibi perdelerde bölüm yapılarak (eleman ağ yoğunluğu artırılarak) eleman sayısının artırılması işlemi yapılmıştır. Perdelerde bölüm yapılarak modelleme yapılmasının amacı analiz sırasında perdelerin gerçek davranışına yakın analiz sonuçları elde etmektir. Şekil 9.6'da güçlendirilmiş perde ve uç bölgelerinde bölüm yapılarak modellenen elemanlar gösterilmiştir.



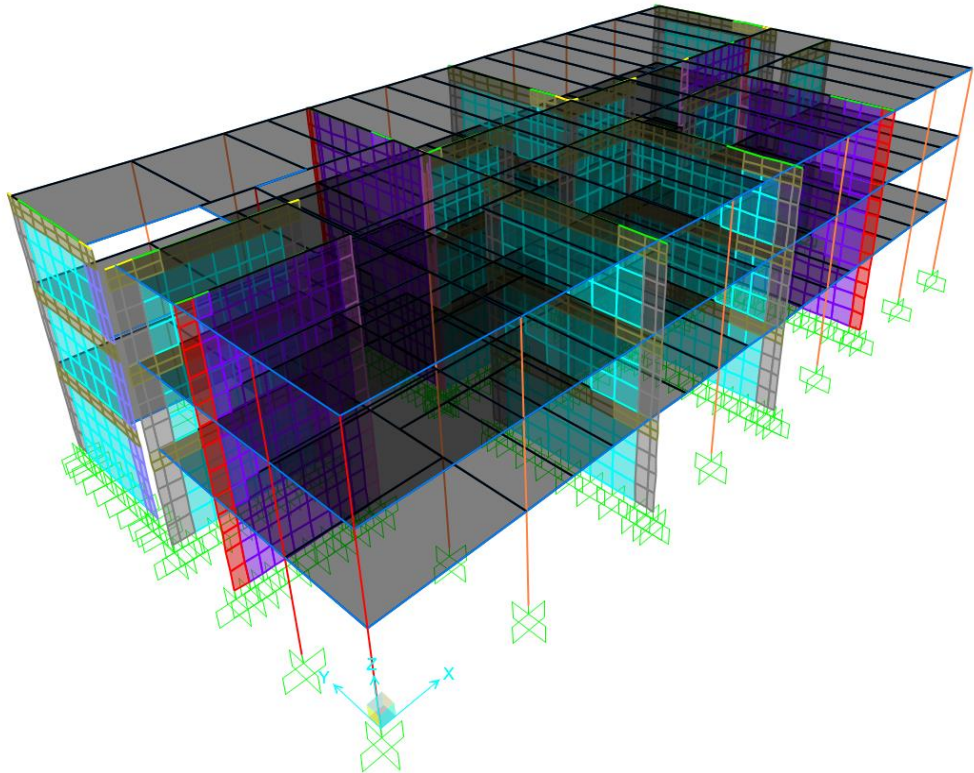
Şekil 9.6. Güçlendirilmiş perde ve uç bölgelerinin modellenmesi

9. BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ MODELLENMESİ

Şekil 9.7’de mevcut yapıya ilave edilen betonarme perde ve kolon mantolama modelleri gösterilmektedir. Şekil 9.8’de Güçlendirilmiş yapının 3 boyutlu modeli gösterilmiştir.



Şekil 9.7. Mevcut yapıya ilave edilen betonarme perdeler ve mantolanmış kolonlar



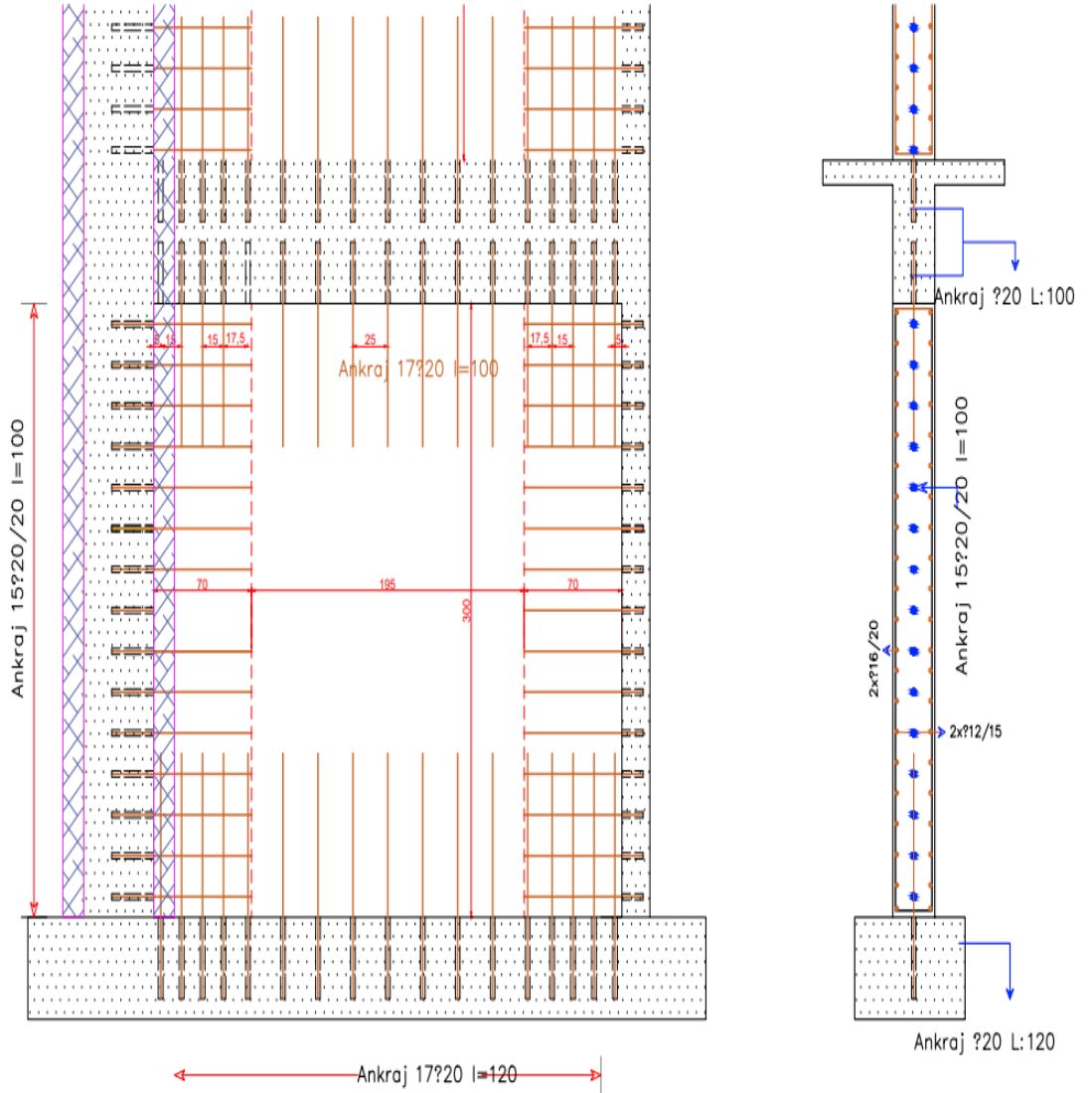
Şekil 9.8. Güçlendirilmiş bina 3 boyutlu model

9. BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ MODELLENMESİ

Mevcut yapıya ilave edilen betonarme perde ve mantolanan kolonların modellenmesi tamamlandıktan sonra bu elemanların donatıları tanımlanmıştır.

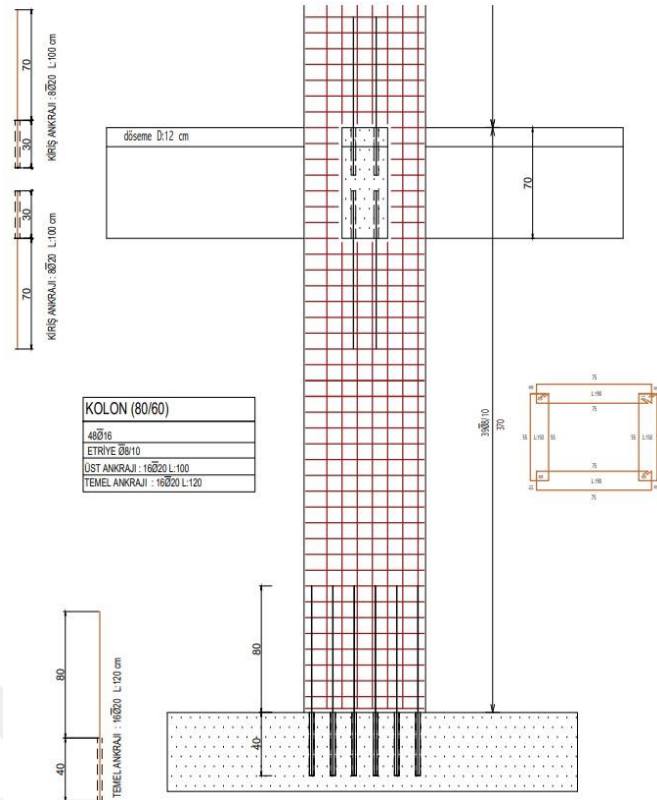
9.2.1. Güçlendirilmiş Kolon ve Perdelerin Mevcut Proje Donatı Düzenine Göre Modellenmesi

Güçlendirme yapılan okul binasının mantolanmış kolon ve ilave edilmiş betonarme perdelerin donatılarının tanımlanması yapılmıştır. Güçlendirme yapılmış okul binasında kullanılan donatıların yeterlilikleri programla yapılan analizlerle kontrol edilmiştir.

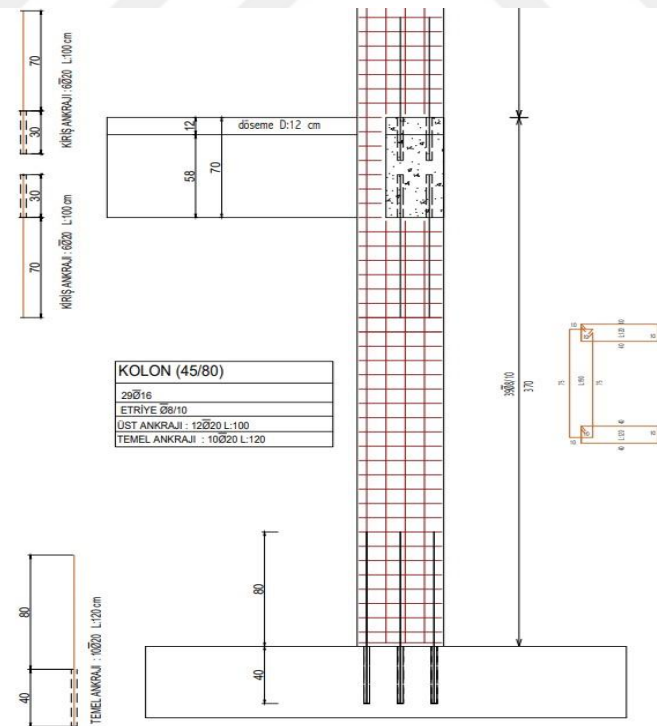


Şekil 9.9. İlave edilen betonarme perdeler için donatı detayı

9. BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ MODELLENMESİ



Şekil 9.10. Mantolanmış 80x60 kolonları için donatı detayı



Şekil 9.11. Mantolanmış 45x80 kolonları için donatı detayı

9. BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ MODELLENMESİ

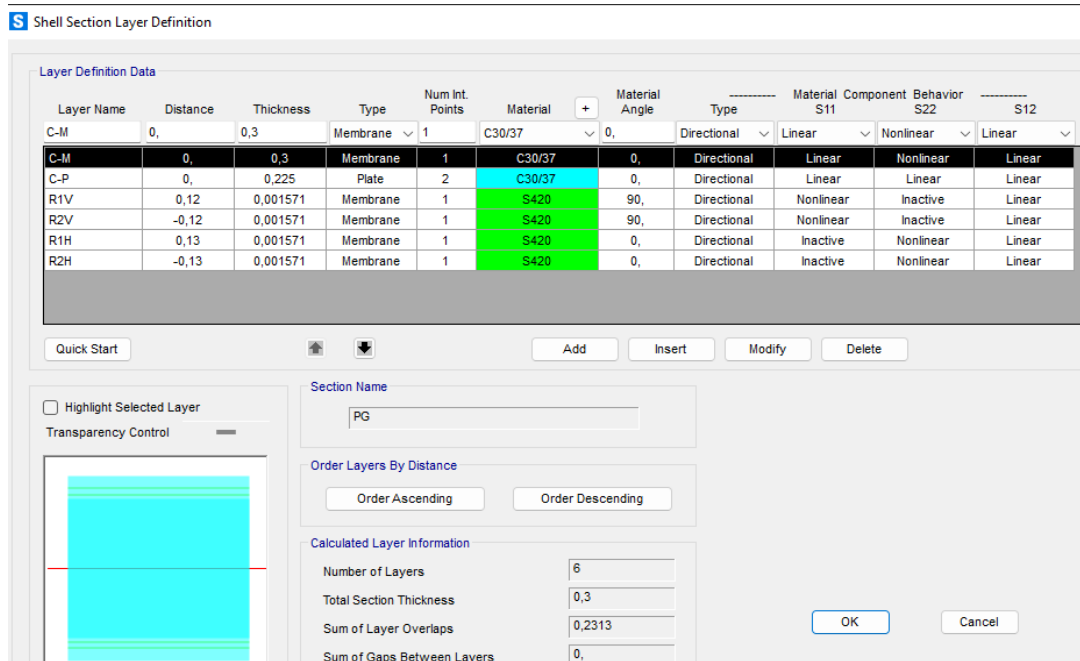
Şekil 9.9, Şekil 9.10 ve Şekil 9.11’de sırasıyla ilave edilen betonarme perde ve mantolanmış kolonların boyuna donatı ve ankraj donatı detayları verilmiştir. Verilen kolon ve perde donatı detaylarına göre programa donatılar tanımlanmıştır. Katmanlı kabuk eleman olarak modellenen perdelerin donatılarının programa tanımlanması, güçlendirilmiş elemanlarda da mevcut elemanlarda tanımlandığı şekilde gerçekleştirilmiştir (Bölüm 7.2.3.1).

Perde gövde donatıları için t_d plak kalınlığının hesaplanması;

$$t_d = A_s / L_w$$

$$t_d = \frac{\text{Donatı Alanı}}{\text{Donatı Aralığı}} = \frac{314,159 \text{ mm}^2}{200 \text{ mm}} = 1,571 \text{ mm} = 0,001571 \text{ m}$$

Perde gövde boyuna donatısının beton dış yüzüne olan mesafesini hesaplamak için perdenin kalınlığının yarısından (150 mm) beton pas payı (20 mm) ve boyuna donatı yarıçapını çıkartılarak hesaplanmıştır. $150 - 20 - 10 = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$ şeklinde hesaplanmıştır. Bölüm 7.2.3.1. Perdelerde Nonlinear Layer Shell ile Modelleme başlığı altında anlatılanlara uygun şekilde tüm veri girişi programa yapılmıştır. İlave edilen betonarme perdelerin gövde donatılarına ait veriler Şekil 9.12’de verilmiştir.



Şekil 9.12. İlave edilen betonarme perde gövde donatısı tanımlanması

9. BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ MODELLENMESİ

Perde gövde donatıları için uygulanan aşamalar perde uç bölgesindeki Shell elemanı olarak tanımlanan mantolanmış kolonlar için de uygulanmıştır. Perde uç bölgesindeki mantolanmış kolonların kalınlığı 80 cm, 60 cm ve 45 cm olarak değişiklik göstermektedir. Hesaplar kolon kalınlıklarına uygun şekilde yapıp programa tanımlanmıştır.

60 cm kalınlığındaki uç bölge için t_d plak kalınlığı hesabı:

$$t_d = \frac{\text{Toplam Donatı Alanı}}{\text{Uç Bölgesi Genişliği}} = \frac{4823,04 \text{ mm}^2}{800 \text{ mm}} = 6,0288 \text{ mm} = 0,00603 \text{ m}$$

60 cm kalınlığındaki perde uç bölgesinde boyuna donatının beton dış yüzüne olan mesafesini hesaplamak için mantolanmış uç bölgedeki kolon kalınlığının yarısından (300 mm) beton pas payı (20 mm) ve boyuna donatı yarıçapını çıkartılarak hesaplanmıştır. $300-20-8=272 \text{ mm} = 0,272 \text{ m}$ şeklinde hesaplanmıştır. Yapılan hesaplara uygun şekilde 60 cm kalınlığındaki mantolanmış kolon için verilerin girişi programa yapılmış ve Şekil 9.13’de gösterilmiştir.

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Type	Material Component S11	Material Component S22	Material Component S12
C-M	0,	0,6	Membrane	1	C30/37	0,	Directional	Linear	Nonlinear	Linear
C-P	0,	0,45	Plate	2	C30/37	0,	Directional	Linear	Linear	Linear
R1V	0,272	0,006029	Membrane	1	S420	90,	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
R2V	-0,272	0,006029	Membrane	1	S420	90,	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
R1H	0,282	0,006029	Membrane	1	S420	0,	Directional	Inactive	Nonlinear	Linear
R2H	-0,282	0,006029	Membrane	1	S420	0,	Directional	Inactive	Nonlinear	Linear

Section Name: PGU*60

Order Layers By Distance: Order Ascending, Order Descending

Calculated Layer Information:

- Number of Layers: 6
- Total Section Thickness: 0,6
- Sum of Layer Overlaps: 0,4741
- Sum of Gaps Between Layers: 0,

Şekil 9.13. Perde uç bölgesindeki mantolanmış kolon için donatı tanımlanması (60 cm kalınlığındaki uç bölge için).

9. BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ MODELLENMESİ

80 cm kalınlığındaki uç bölge için t plak kalınlığı hesabı:

$$t_d = \frac{\text{Toplam Donatı Alanı}}{\text{Uç Bölgesi Genişliği}} = \frac{4823,04 \text{ mm}^2}{600 \text{ mm}} = 8,0384 \text{ mm} = 0,00804 \text{ m}$$

80 cm kalınlığındaki perde uç bölgesinde boyuna donatının beton dış yüzüne olan mesafesini hesaplamak için mantolanmış uç bölgedeki kolon kalınlığının yarısından (400 mm) beton pas payı (20 mm) ve boyuna donatı yarıçapını çıkartılarak hesaplanmıştır. $400-20-8=372 \text{ mm} = 0,372 \text{ m}$ şeklinde hesaplanmıştır. Yapılan hesaplara uygun şekilde 80 cm kalınlığındaki mantolanmış kolon için verilerin girişi programa yapılmış ve Şekil 9.14’de gösterilmiştir.

Layer Name	Distance	Thickness	Type	Num Int. Points	Material	Material Angle	Type	Material Component S11	Material Component Behavior S22	Material Component S12
C-M	0,	0,8	Membrane	1	C30/37	0,	Directional	Linear	Nonlinear	Linear
C-P	0,	0,6	Plate	2	C30/37	0,	Directional	Linear	Linear	Linear
R1V	0,372	0,008038	Membrane	1	S420	90,	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
R2V	-0,372	0,008038	Membrane	1	S420	90,	Directional	Nonlinear	Inactive	Linear
R1H	0,382	0,008038	Membrane	1	S420	0,	Directional	Inactive	Nonlinear	Linear
R2H	-0,382	0,008038	Membrane	1	S420	0,	Directional	Inactive	Nonlinear	Linear

Şekil 9.14. Perde uç bölgesindeki mantolanmış kolon için donatı tanımlanması (80 cm kalınlığındaki uç bölge için).

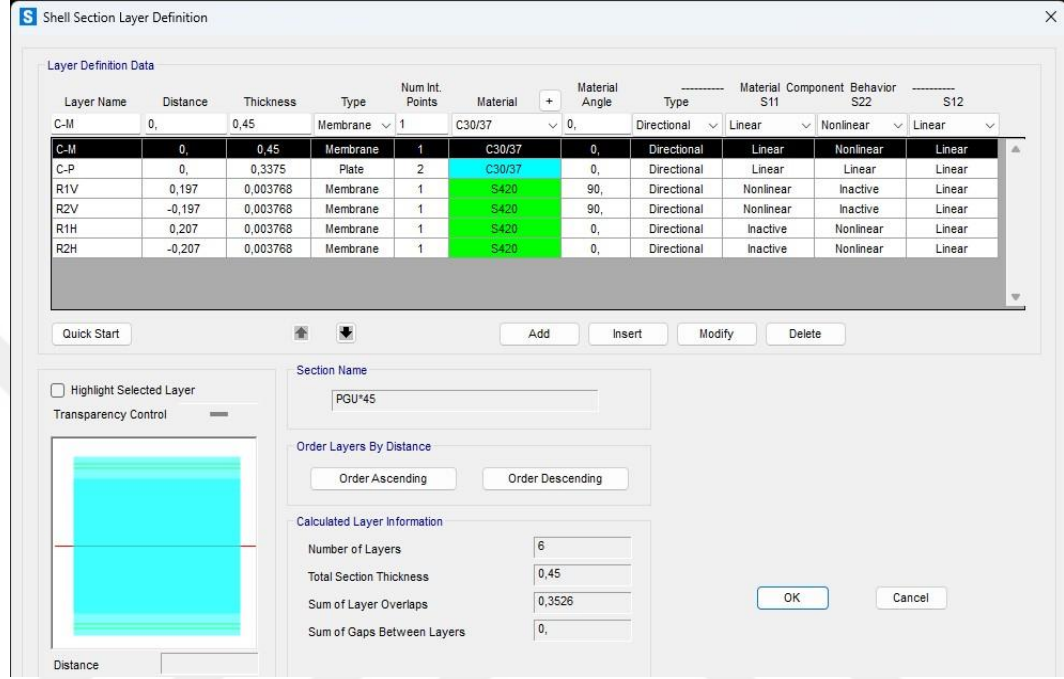
45 cm kalınlığındaki uç bölge için t plak kalınlığı hesabı:

$$t = \frac{\text{Toplam Donatı Alanı}}{\text{Uç Bölgesi Genişliği}} = \frac{3014,4 \text{ mm}^2}{800 \text{ mm}} = 3,768 \text{ mm} = 0,00377 \text{ m}$$

45 cm kalınlığındaki perde uç bölgesinde boyuna donatının beton dış yüzüne olan mesafesini hesaplamak için mantolanmış uç bölgedeki kolon kalınlığının yarısından

9. BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ MODELLENMESİ

(225 mm) beton pas payı (20 mm) ve boyuna donatı yarıçapını çıkartılarak hesaplanmıştır. $225-20-8=197 \text{ mm} = 0,197 \text{ m}$ şeklinde hesaplanmıştır. Yapılan hesaplara uygun şekilde 45 cm kalınlığındaki mantolanmış kolon için verilerin girişi programa yapılmış ve Şekil 9.15’de gösterilmiştir.



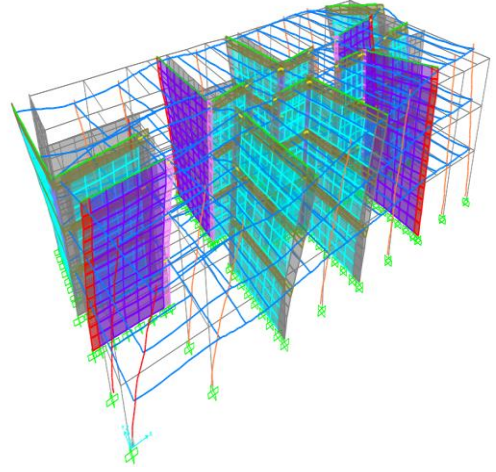
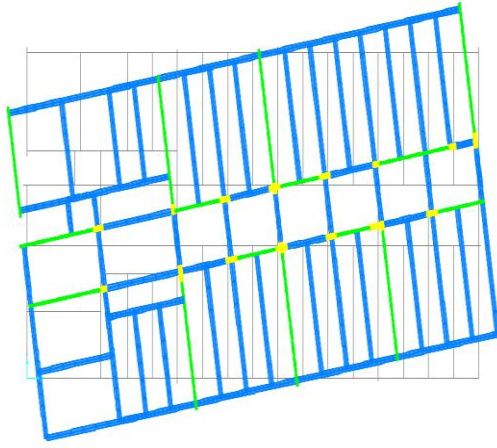
Şekil 9.15. Perde uç bölgesindeki mantolanmış kolon için donatı tanımlanması (45 cm kalınlığındaki uç bölge için).

İlave edilen betonarme perde ve mantolanmış kolonlar için tüm donatılar uygun şekilde programa tanımlanmış ve analizler yapılmıştır.

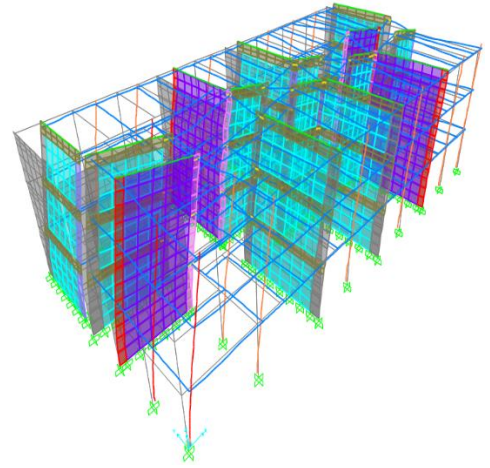
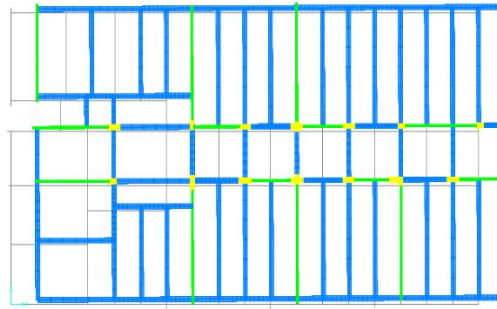
9.3. İtme Analiz Sonuçları ve Mevcut Yapının Titreşim Periyotları

Güçlendirilmiş yapı için Bölüm 7.6’da detaylıca anlatılan statik itme analizi yapılmıştır. Bu analiz doğrultusunda elde edilen veriler yorumlanmış ve mevcut yapı ile güçlendirilmiş yapının deplasman değerleri ve performans noktaları hakkında çıkarımlarda bulunulmuştur.

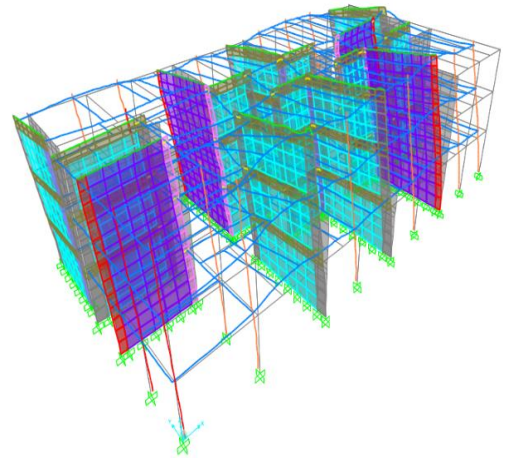
Mevcut yapının burulma periyodu, x yönündeki periyodu ve y yönündeki periyotlarındaki mod şekilleri sırasıyla Şekil 9.16-9.17-9.18’de verilmiştir.



Şekil 9.16. Güçlendirilmiş yapı burulma mod şekli



Şekil 9.17. Güçlendirilmiş yapı x periyodunda mod şekli



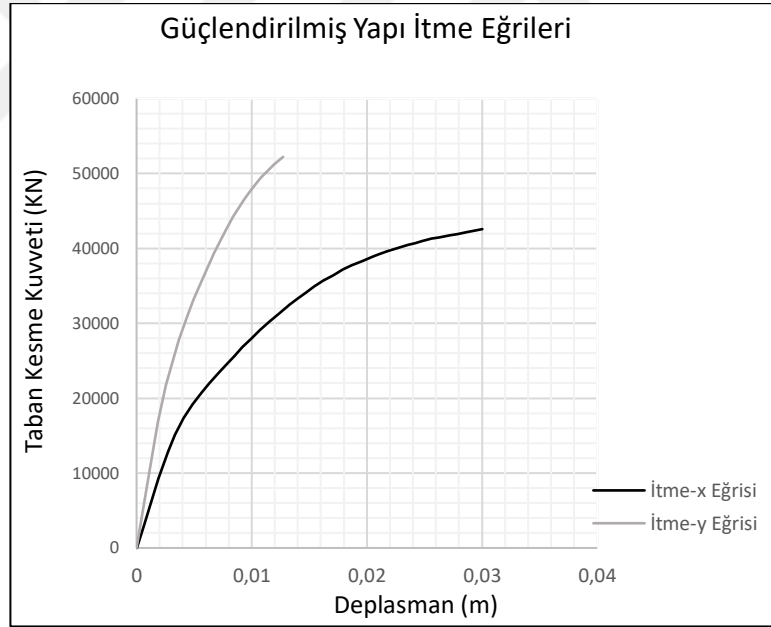
Şekil 9.18. Güçlendirilmiş yapı y periyodunda mod şekli

Çizelge 9.1. Güçlendirilmiş yapı için titreşim periyodu değerleri

Güçlendirilmiş Yapı İçin Titreşim Periyodu Değerleri	
T_B	0,121 sn
T_X	0,111 sn
T_Y	0,088 sn

Yapılan itme analizi sonucunda güçlendirilmiş yapı için burulma periyodu $T_B=0,121$, X yönündeki titreşim periyodu $T_X=0,111$ ve Y yönündeki titreşim periyodu $T_Y=0,088$ olarak elde edilmiştir.

Güçlendirilmiş yapı için yapılan itme analizi sonucunda programdan elde edilen x ve y yönündeki itme eğrileri Şekil 9.19'da verilmiştir.

**Şekil 9.19.** Güçlendirilmiş yapı itme eğrileri

Güçlendirilmiş yapı için yapılan analizler sonucunda elde edilen itme eğrilerine göre yapının performans analizleri yapılmış ve yapının kapasitesi ile ilgili çıkarımlarda bulunulmuştur. Yapının talep-kapasite eğrilerinin elde edilip yorumlanması için önceki bölümlerde DD-1 deprem yer hareketine göre elde edilen yatay elastik tasarım spektrum grafiği ve yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi kullanılmıştır. Bu iki grafik

değerleri kullanılarak çizdirilen yatay elastik tasarım eğrisi spektrumuna (S_{ae}) karşılık, yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi (S_{de}) grafiği de kullanılmıştır. Güçlendirilmiş yapı için elde edilen itme-x ve itme-y eğrileri kullanılarak modal kapasite diyagramları çizdirilmiştir. Daha sonra çizdirilen bu iki grafik aynı grafik üzerinde S_{ae} (g)'nin S_{de} (m)'ye karşı değişim grafiği ile modal kapasite diyagramları çizdirilmiştir. Çizdirilen bu grafiklerin kesiştirilmesi yapılmıştır. Bu iki eğrinin kesiştirilmesi ile depremin talebine sistemin verdiği cevap, yani karşı gelen denge konumu bulunmuştur. Sonuç olarak mevcut yapının güçlendirmesi durumundaki performans artışıyla ilgili çıkarımlarda bulunulmuştur.

9.4. Sabit Tek Modlu İtme Yöntemiyle Modal Kapasite Diyagramının Elde Edilmesi

SAP 2000 programıyla güçlendirilmiş yapı için elde edilen taban kesme kuvvetine karşılık gelen deplasman eğrileri (itme eğrisi) birikimli modal sözde ivmeye (a_1) karşılık birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesi (d_1) grafiğine belirli işlemler sonucunda dönüşüm yapılmıştır. Bölüm 8'de TBDY 2018'den faydalanılarak bu dönüşümün hesap detaylarına yer verilmiştir. Çizelge 9.2 ve Çizelge 9.3'de sırasıyla itme-x ve itme-y eğrileri için değerler ve bu değerlerin modal kapasite diyagramlarına dönüştürülmüş eğri değerleri yer almaktadır. Şekil 9.20-9.21'de de bu eğri değerlerine göre çizdirilmiş diyagramlar yer almaktadır.

Çizelge 9.2. Güçlendirilmiş yapı itme-x eğrisi ve modal kapasite diyagramı verileri

$u_{Nx1}^{(X,k)}$ (m)	$V_{tx1}^{(X,k)}$ (KN)	$d_1^{(X,k)}$ (m)	$a_1^{(X,k)}$
0,00002	0	1,97E-05	0
0,00062	2.995,04	0,0004	0,1309
0,00114	5.573,31	0,0008	0,2435
0,00190	9.295,28	0,0013	0,4062
0,00272	12.868,02	0,0019	0,5624
0,00334	15.134,24	0,0023	0,6614
0,00409	17.320,15	0,0028	0,757
0,00486	19.175,21	0,0034	0,8380
0,00563	20.740,93	0,0039	0,9065
0,00628	21.940,05	0,0044	0,9589
0,00709	23.332,26	0,0049	1,0197
0,00771	24.343,97	0,0054	1,0639
0,008508	25.673,92	0,0059	1,1221
0,009195	26.775,11	0,0064	1,1702
0,009946	27.937,31	0,0070	1,2210

Çizelge 9.2. (Devam)

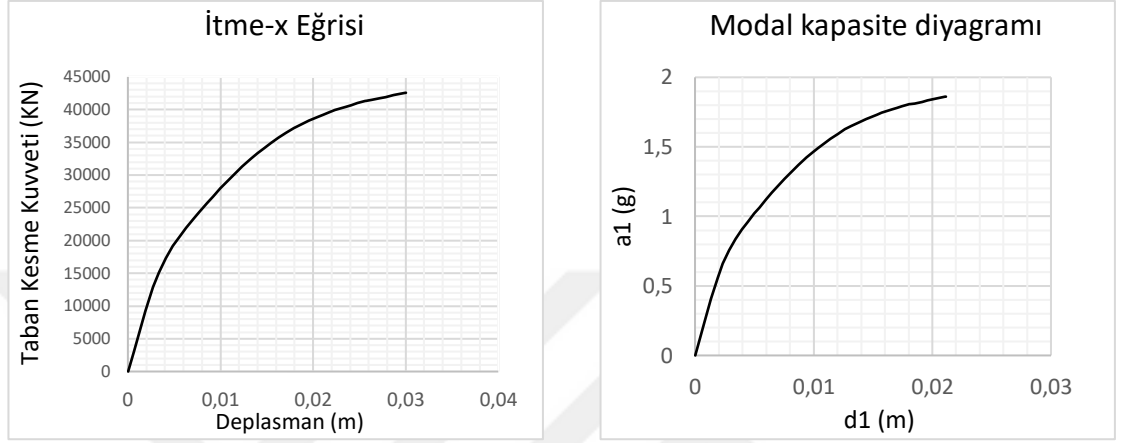
0,01071	29.063,72	0,0075	1,2702
0,01152	30.188,31	0,0081	1,3194
0,012351	31.311,67	0,0086	1,3685
0,013314	32.536,53	0,0093	1,4220
0,014016	33.344,21	0,0098	1,4573
0,014675	34.086,94	0,0103	1,4898
0,015424	34.896,33	0,0108	1,5251
0,016223	35.681,36	0,0114	1,5595
0,017072	36.452,65	0,0120	1,5932
0,017947	37.189,79	0,0126	1,6254
0,018711	37.758,1	0,0131	1,6502
0,018711	37.756,59	0,0131	1,6502
0,018711	37.756,65	0,0131	1,6502
0,019547	38.298,81	0,0137	1,6738
0,020512	38.895,49	0,0144	1,6999
0,021112	39.242,32	0,0148	1,7151
0,021752	39.600,29	0,0153	1,7307
0,022362	39.916,74	0,0157	1,7446
0,023562	40.459,4	0,0165	1,7683
0,024162	40.717,07	0,0170	1,7795
0,024762	40.983,64	0,0174	1,7912
0,025661	41.306,95	0,0180	1,8053
0,025699	41.318,86	0,0180	1,8058
0,025718	41.321,35	0,0181	1,8060
0,026318	41.478,57	0,0185	1,8128
0,027218	41.739,63	0,0191	1,8242
0,027818	41.921,69	0,0195	1,8322
0,028717	42.186,47	0,0202	1,8438
0,029917	42.538,72	0,0210	1,85921
0,030028	42.572,62	0,0211	1,8606

Çizelge 9.3. Güçlendirilmiş yapı itme-y eğrisi ve modal kapasite diyagramı verileri

$u_{Nx1}^{(X,k)}$ (m)	$V_{tx1}^{(X,k)}$ (KN)	$d_1^{(X,k)}$ (m)	$a_1^{(X,k)}$
5,36E-07	0	3,97E-07	0
0,00060	5.479,36	0,00044	0,2150
0,0012	10.963,8	0,00088	0,4302
0,00187	16.806,17	0,00138	0,65958
0,00256	21.753,23	0,00190	0,85373
0,00366	27.708,84	0,00271	1,08747
0,00437	30.901,94	0,00324	1,21279
0,00497	33.192,09	0,00368	1,30267
0,00577	36.123,6	0,00428	1,41772
0,00672	39.372	0,00498	1,54521
0,00775	42.412,95	0,00574	1,66455
0,00840	44.248,3	0,0062	1,7365

Çizelge 9.3. (Devam)

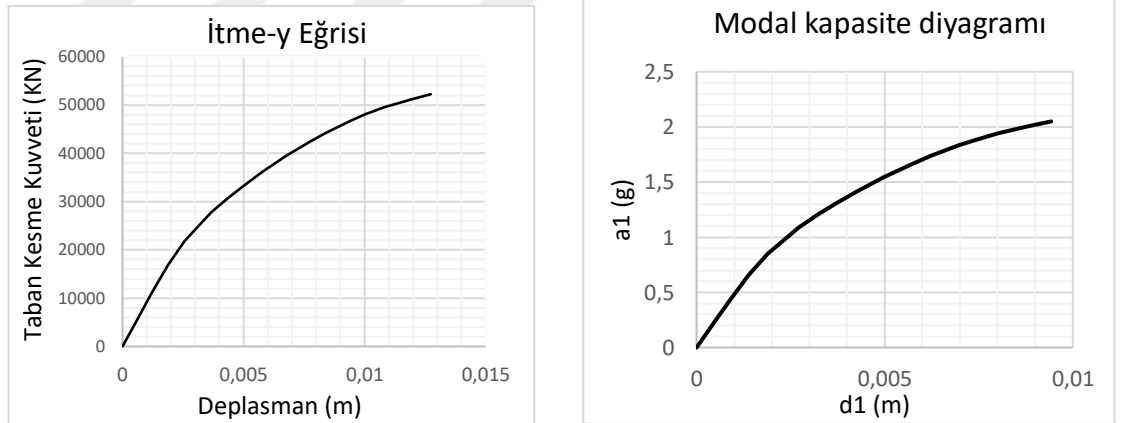
0,00942	46.707,72	0,0069	1,8331
0,01003	48.028,05	0,0074	1,88493
0,01079	49.476,77	0,0079	1,94178
0,01193	51.205,45	0,0088	2,00963
0,01272	52.221,45	0,0096	2,04950



(b)

(b)

Şekil 9.20. Güçlendirilmiş yapı için (a) İtme-x eğrisi (b) Modal kapasite diyagramı



(b)

(b)

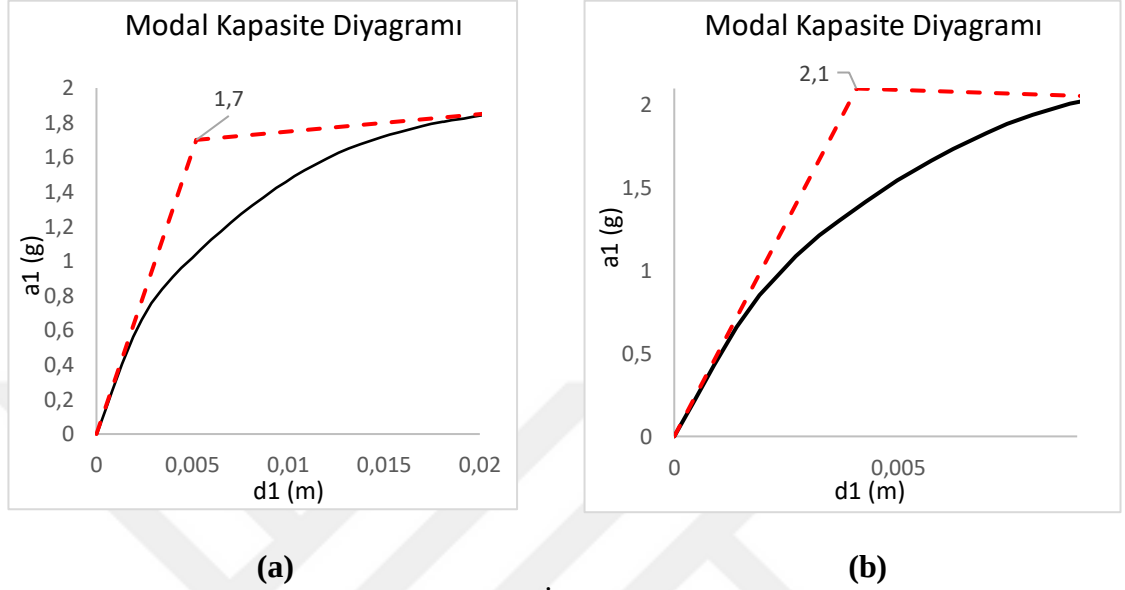
Şekil 9.21. Güçlendirilmiş yapı için (a) İtme-y eğrisi (b) Modal kapasite diyagramı

9.2.2. Deprem modal yer değiştirme talebinin doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak elde edilmesi (DD1 deprem yer hareket düzeyi için)

DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için spektral yer değiştirme oranı (C_R) hesabı için Denklem (8.10b)'deki akma dayanımı azaltma katsayısı (R_y) değerinin de hesabı Denklem (8.11)'de verilmiş bu doğrultuda hesaplar yapılmıştır. Akma dayanımı azaltma

9. BETONARME PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YAPININ MODELLENMESİ

katsayısının (R_y) hesabı için a_{y1} değeri elde edilmelidir. a_{y1} modal kapasite diyagramındaki birikimli modal sözde ivmenin iki doğrulu hale getirilmiş grafiğinde elde edilen değerdir (Şekil 9.22).



Şekil 9.22. Güçlendirilmiş yapı için; (a) İtme-x eğrisi için modal kapasite eğrisinin iki doğrulu diyagramı (b) İtme-y eğrisi için modal kapasite eğrisinin iki doğrulu diyagramı.

a_{y1} modal kapasite diyagramındaki birikimli modal sözde ivmenin iki doğrulu hale getirilmiş grafiğinde elde edilen değerler Şekil 9.22 (a)(b) 'de gösterilmiştir. İtme-x eğrisi için $a_{y1}:1,7$; itme-y eğrisi için $a_{y1}:2,1$ olarak elde edilmiş ve daha sonra bu değerler doğrultusunda Denklem (8.10b)'ye göre spektral yer değiştirme oranı (C_R) hesaplanmıştır.

Güçlendirilmiş yapı için akma dayanımı katsayısı (R_y) itme-x ve itme-y için değeri;

$$R_y = \frac{2,684}{1,7} = 1,57 \quad (\text{itme-x için akma dayanımı azaltma katsayısı değeri})$$

$$R_y = \frac{2,684}{2,1} = 1,278 \quad (\text{itme-y için akma dayanımı azaltma katsayısı değeri})$$

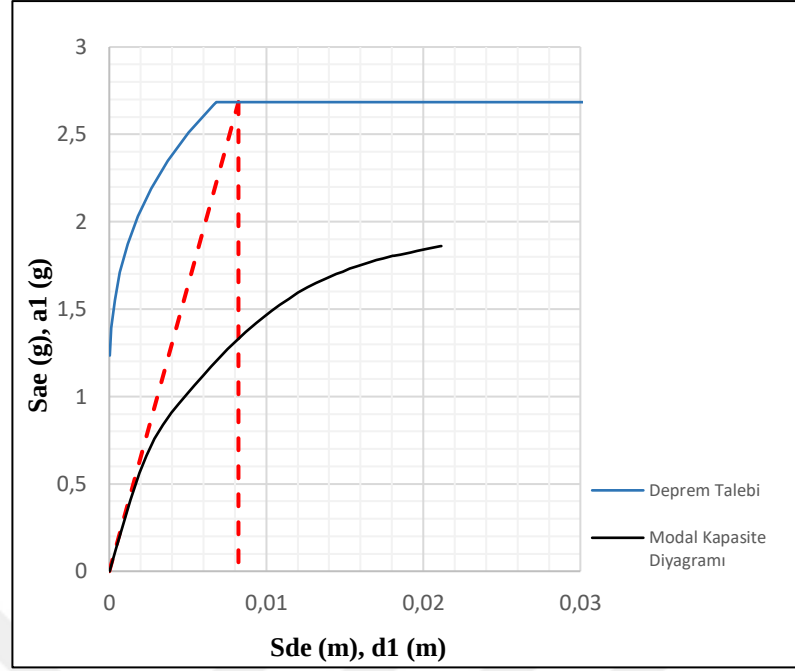
şeklinde hesaplanır. 2,684 değeri Sae grafiğinde T_A periyoduna karşılık gelen değerdir. a_{y1} değeri ise modal kapasite diyagramındaki birikimli modal sözde ivmenin iki doğrulu hale getirilmiş grafiğinde elde edilen değerdir.

İtme-x ve itme-y eğrisi için akma dayanımı azaltma katsayısı hesaplandıktan sonra bu değerler doğrultusunda Denklem (7.12b)'ye göre spektral yer değiştirme oranı (C_R) hesaplanmıştır.

$$C_R = \frac{1 + (1,57 - 1) \frac{0,5048}{0,11105}}{1,57} = 2,30 \quad (\text{itme-x eğrisi için})$$

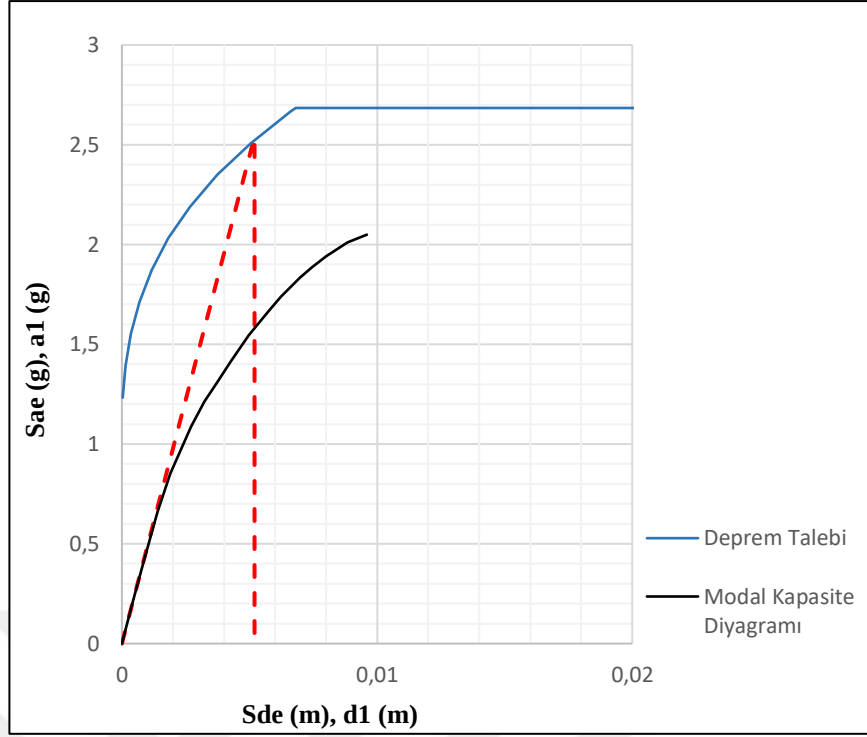
$$C_R = \frac{1 + (1,278 - 1) \frac{0,5048}{0,08828}}{1,278} = 2,026 \quad (\text{itme-y eğrisi için})$$

DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre tüm değerler elde edildikten sonra yatay elastik tasarım eğrisi spektrumuna (S_{ae}) karşılık, yatay elastik tasarım spektral yer değiştirme eğrisi (S_{de}) grafiği çizdirilmiştir. Bu grafiğin çizdirilmesi kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesinde iki eğri türünün de aynı olmasını sağlamak için yapılır. Daha sonra aynı grafik üzerinde S_{ae} (g)'nin S_{de} (m)'ye karşı değişim grafiği ile modal kapasite diyagramları çizdirilmiştir. Çizdirilen bu grafiklerin kesiştirilmesi yapılmıştır. Bu iki eğrinin kesiştirilmesi ile depremin talebine sistemin verdiği cevap yani karşı gelen denge konumu bulunmuş olur.



Şekil 9.23. Güçlendirilmiş yapıda DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde itme-x eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.

Şekil 9.23’de deprem talebi ile yapının kapasite diyagramı aynı çizelge üzerinde çizdirilmiştir. İki diyagram kesiştirilerek mevcut yapının deprem talebini karşılayıp karşılamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 9.23’de iki diyagramın kesiştirildiği deplasman değeri ile itme-x eğrisi için hesaplanan C_R değerinin çarpılması durumunda yapının performans noktası (yapının gerçek nonlinear deplasman değeri) elde edilir. Yapı için x yönündeki performans noktası değeri $2,30 \times 0,0082 = 0,0189$ m değerindedir. Yapının modal kapasite diyagramına baktığımızda yapının deplasman kapasitesinin 0,0211 m değerinde olduğu görülmektedir. Yapının performans noktası değeri (0,0189), yapının deplasman kapasite değerinden (0,0211 m) küçük olduğu için yapı x yönünde yeterli performansı sağlamaktadır. Yani performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aşmadığı için yapı x yönünde yeterli performansı sağlamıştır ve kontrollü hasar durumdadır.



Şekil 9.24. Güçlendirilmiş yapıda DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde itme-y eğrisi için modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu.

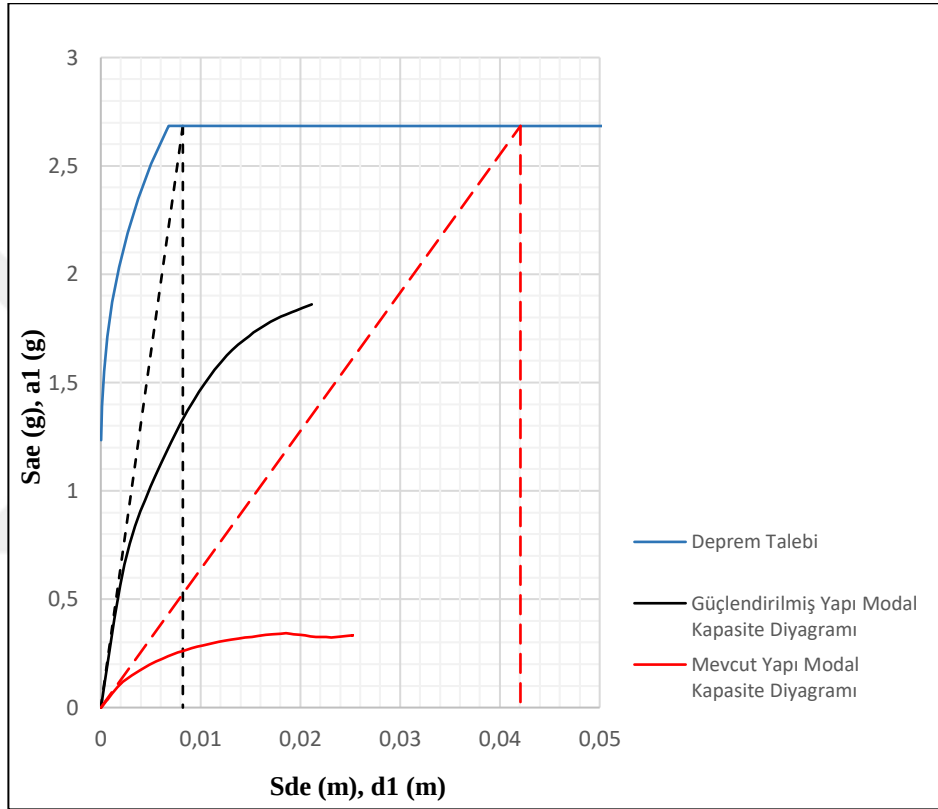
Şekil 9.24’de deprem talebi ile yapının kapasite diyagramı aynı çizelge üzerinde çizdirilmiştir. İki diyagram kesiştirilerek mevcut yapının deprem talebini karşılayıp karşılamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 9.24’de iki diyagramın kesiştirildiği deplasman değeri ile itme-y eğrisi için hesaplanan C_R değerinin çarpılması durumunda yapının performans noktası (yapının gerçek nonlinear deplasman değeri) elde edilir. Yapı için y yönündeki performans noktası değeri $2,02 \times 0,0051 = 0,01$ m değerindedir. Yapının modal kapasite diyagramına baktığımızda yapının deplasman kapasitesinin 0,0096 m değerinde olduğu görülmektedir. Yapının performans noktası değeri (0,01 m), yapının deplasman kapasite değerine (0,096 m) yaklaşık olarak eşit olduğu için güçlendirilmiş yapı y yönünde yeterli performansı sağlamaktadır. Yani performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aşmadığı için güçlendirilmiş yapı y yönünde yeterlidir ve kontrollü hasar durumundadır.

DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre yapılan analizlere göre; güçlendirilmiş yapı x ve y yönünde yeterli performansı sağlamaktadır. Yapının mevcut durumundaki performans yetersizliği yapının güçlendirilmesiyle azalmaktadır.

10. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

10.1. Güçlendirilmiş ve Mevcut Yapının Performans Durumlarının Karşılaştırılması

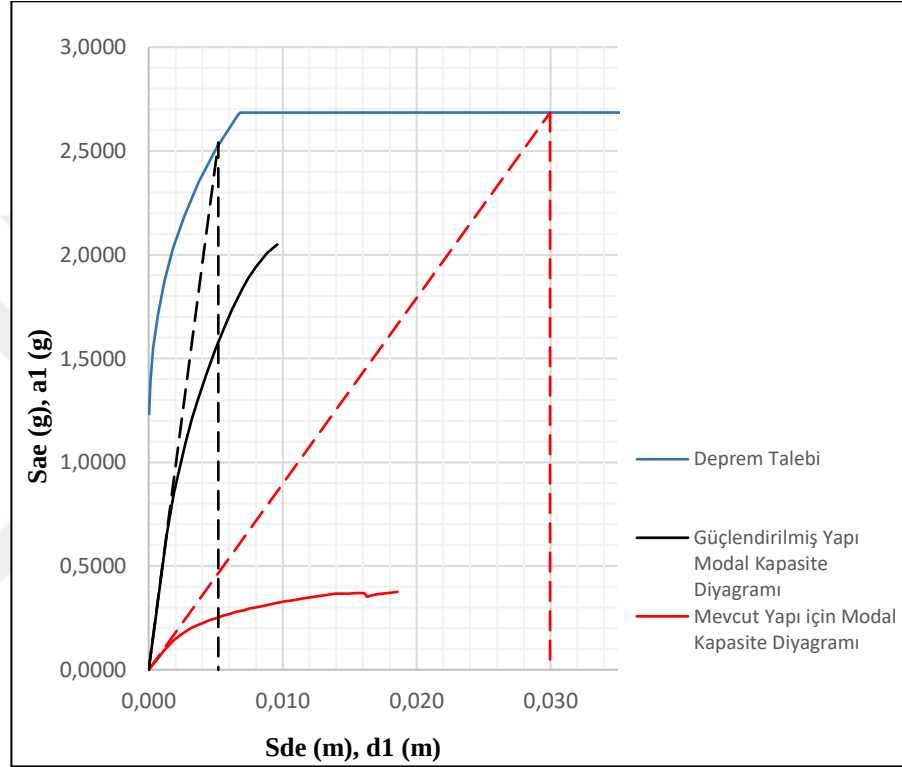
Güçlendirilmiş ve mevcut yapıya ait itme-x ve itme-y eğrilerine göre elde edilmiş modal kapasite diyagramlarındaki değişim Şekil 10.1 ve Şekil 10.2’de gösterilmektedir.



Şekil 10.1. Güçlendirilmiş ve mevcut yapının x yönünde modal kapasite diyagramları

Şekil 10.1’de görüldüğü üzere mevcut yapının modal kapasite diyagramı güçlendirilmiş yapının modal kapasite diyagramına göre yaklaşık 3,5 kat daha fazladır. Mevcut yapının x yönünde DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre elde edilen performans noktası değeri 0,0798 m iken yapının deplasman kapasite değeri 0,0252 m’dir. Bu değerlere göre mevcut yapının deplasman kapasite değeri performans noktası değerinden küçük olup, performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aşmaktadır. Bu sebeple yapı göçme durumundadır.

Güçlendirilmiş yapının x yönünde DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre performans noktası değeri 0,0189 m iken yapının deplasman kapasite değeri 0,0211 m'dir. Bu değerlere göre mevcut yapının deplasman kapasite değeri performans noktası değerinden büyük olup, performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aşmamaktadır. Bu sebeple yapı kontrollü hasar durumundadır.



Şekil 10.2. Güçlendirilmiş ve mevcut yapının y yönünde modal kapasite diyagramları

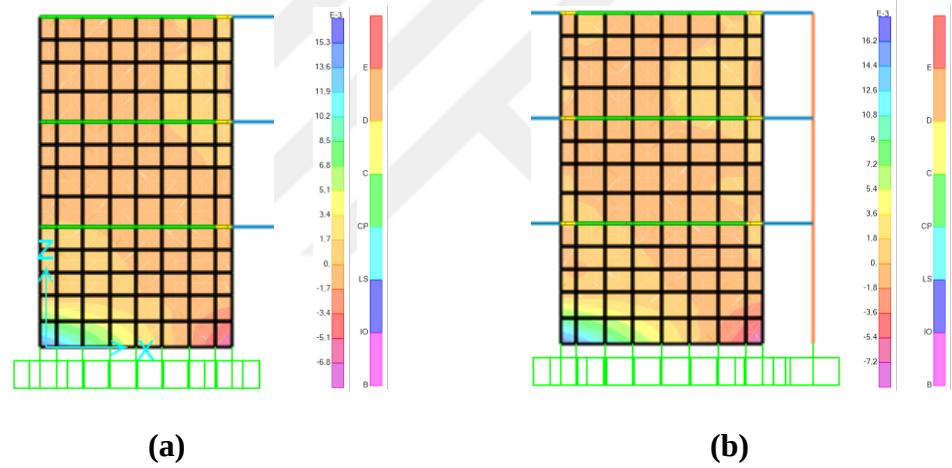
Şekil 10.2'de görüldüğü üzere mevcut yapının modal kapasite diyagramı güçlendirilmiş yapının modal kapasite diyagramına göre yaklaşık 4 kat daha fazladır.

Mevcut yapının y yönünde DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre elde edilen performans noktası değeri 0,0664 m iken yapının deplasman kapasite değeri 0,0189 m'dir. Bu değerlere göre mevcut yapının deplasman kapasite değeri performans noktası değerinden küçük olup, yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesi performans noktası değerine ulaşamamaktadır. Bu sebeple yapı göçme öncesi durumdadır.

Güçlendirilmiş yapının y yönünde DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre performans noktası değeri 0,01 m iken yapının deplasman kapasite değeri 0,0096 m'dir. Bu değerlere göre mevcut yapının deplasman kapasite değeri performans noktası değerine yaklaşık olarak eşit olup, performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aşmamaktadır. Bu sebeple yapı kontrollü hasar durumundadır.

10.2. Güçlendirilmiş ve Mevcut Yapı için Betonarme Perdelerde Birim Şekil Değişiklikleri

Mevcut yapıdaki perdeler ve güçlendirilmiş yapıda bulunan tüm perdelerdeki, x ve y yönündeki birim şekil değişikliklerine ait şekiller verilmiştir.

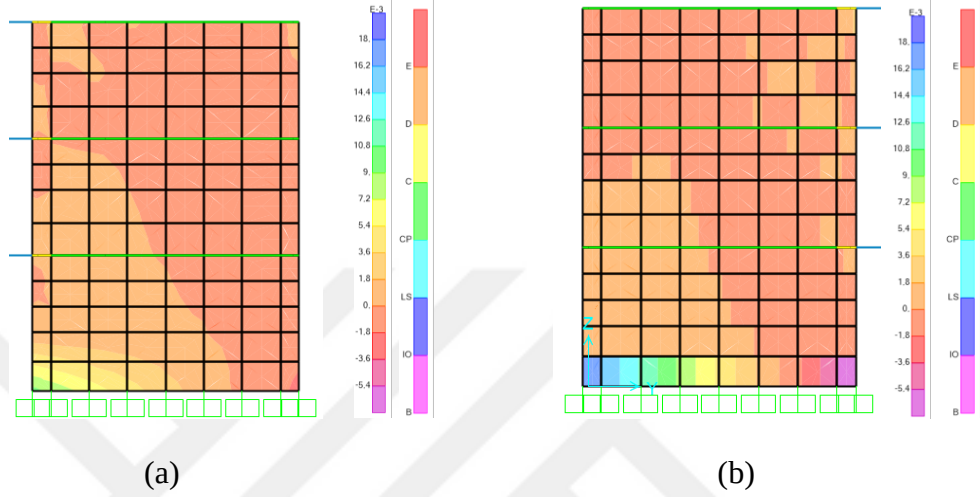


Şekil 10.3. Mevcut yapıdaki x yönündeki betonarme perdelerde birim şekil değişikliği

Şekil 10.3(a)'da bulunan betonarme perdede beton birim şekil değişikliği değeri 0,007'dir. Beton binde 3 ile binde dört arasında birim şekil değişikliğinde ezilmeye başlar. Şekil 10.3(a)'da yapıda x yönünde bulunan perdenin birim şekil değişikliği değeri binde 7 olup betonarme perde betonun ezilmesinden dolayı göçmüştür. Şekil 10.3(a)'da bulunan betonarme perdenin donatı nihai birim şekil değişikliği değeri 0,015 olup donatının aktığı yüzde 9 değerine ulaşmamıştır. Bu sebeple betonarme perde duvar donatısının akmasından değil betonun ezilmesinden dolayı göçmüştür.

Şekil 10.3(b)'de bulunan betonarme perdede beton birim şekil değişikliği değeri 0,0081'dir. Beton binde 3 ile binde 4 arasındaki birim şekil değişikliğinde ezilmeye başlar.

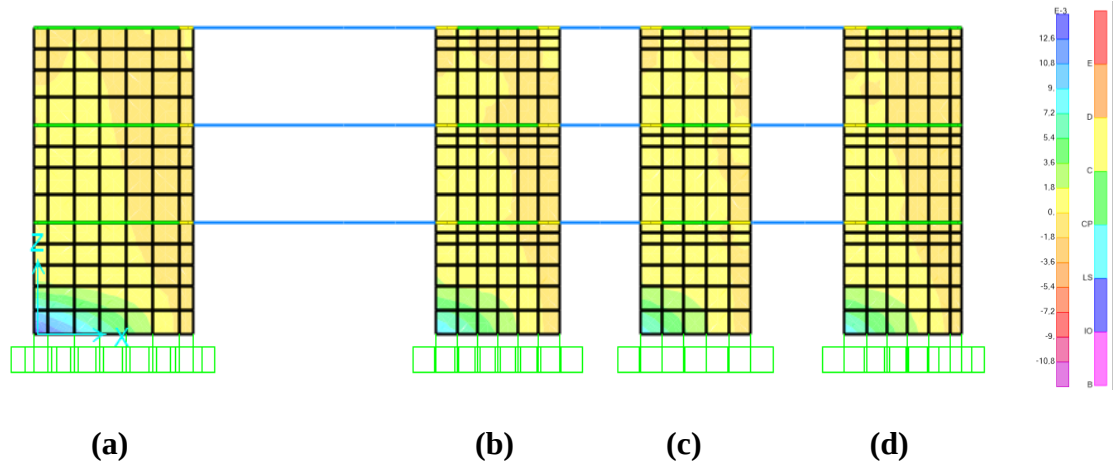
Şekil 10.3(b)'de yapıda x yönünde bulunan perdenin birim şekil değiştirme değeri binde 8 olup betonarme perde betonun ezilmesinden dolayı göçmüştür. Şekil 10.3(b)'de bulunan betonarme perdenin donatı nihai birim şekil değiştirme değeri 0,0171 olup donatının aktığı kabul edilen yüzde 9 değerine ulaşmamıştır. Bu sebeple betonarme perde duvar donatının akmasından değil betonun ezilmesinden dolayı göçmüştür.



Şekil 10.4. Mevcut yapıdaki y yönündeki betonarme perdelerde birim şekil değiştirme

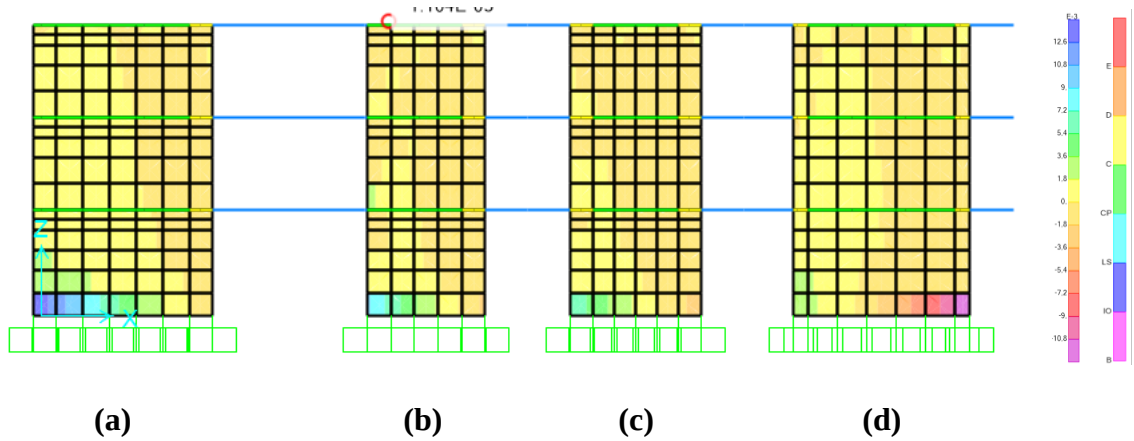
Şekil 10.4(a)'da bulunan betonarme perdede beton birim şekil değiştirme değeri 0,0023'dir. Beton binde 3 ile binde dört arasında birim şekil değiştirmede ezilmeye başlar. Şekil 10.4(a)'da yapıda x yönünde bulunan perdenin birim şekil değiştirme değeri binde 2 olup betonarme perdede ezilme meydana gelmemiştir. Şekil 10.4(a)'da bulunan betonarme perdenin donatı nihai birim şekil değiştirme değeri 0,0096 olup donatının aktığı yüzde 9 değerine ulaşmamıştır.

Şekil 10.4(b)'de bulunan betonarme perdede beton birim şekil değiştirme değeri 0,0071'dir. Beton binde 3 ile binde 4 arasındaki birim şekil değiştirmede ezilmeye başlar. Şekil 10.4(b)'de yapıda x yönünde bulunan perdenin birim şekil değiştirme değeri binde 7 olup betonarme perde betonun ezilmesinden dolayı göçmüştür. Şekil 10.4(b)'de bulunan betonarme perdenin donatı nihai birim şekil değiştirme değeri 0,018 olup donatının aktığı kabul edilen yüzde 9 değerine ulaşmamıştır. Bu sebeple betonarme perde duvar donatının akmasından değil betonun ezilmesinden dolayı göçmüştür. Yapı için y yönünde yeterli performansı sağlayamamasının sebebi Şekil 10.4(b)'deki perdenin betonunun ezilmesiyle göçmesidir.



Şekil 10.5. Güçlendirilmiş yapıdaki 1. aksda x yönündeki betonarme perdelerde birim şekil değiştirme.

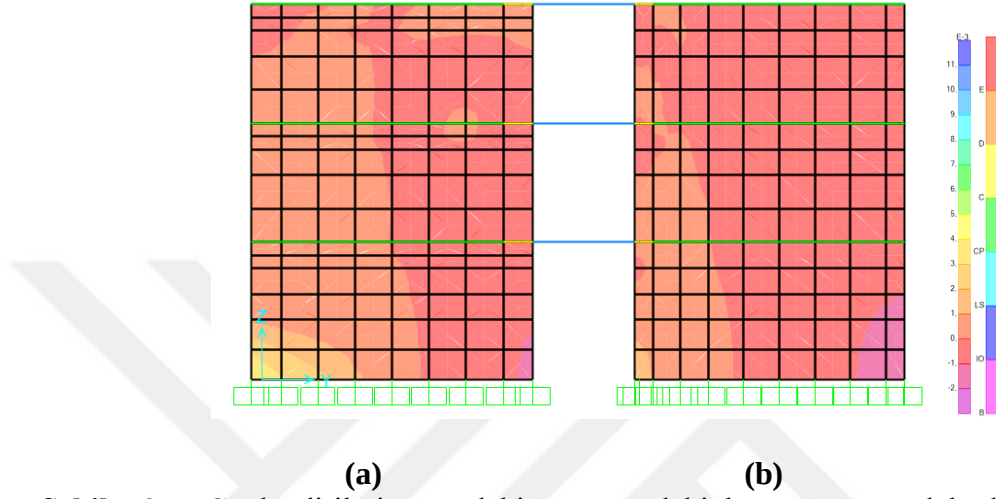
Şekil 10.5.(a)'da bulunan betonarme perde mevcut yapıda bulunan perdedir. Bu perdenin mevcut yapı analizinde betonda ezilmeden dolayı göçtüğü gözlenmiştir. (Şekil 10.3 (a)) Yapıya betonarme perde ilavesi sonrasında yapıdaki mevcut perdede beton birim şekil değiştirme değeri 0,0016 olmuş ve betonda ezilme gözlenmemiştir. Bu perde için donatı nihai şekil değiştirme değeri ise 0,014 olup donatıda akma olmamıştır. Yapıya ilave edilen betonarme perdelerde ise beton birim şekil değiştirme değerleri 0,001 ; donatı nihai birim şekil değiştirme değerleri ise 0,008'dir.



Şekil 10.6. Güçlendirilmiş yapıdaki 2. aksda x yönündeki betonarme perdelerde birim şekil değiştirme.

Şekil 10.6.(d)'de bulunan betonarme perde mevcut yapıda bulunan perdedir. Bu perdenin mevcut yapı analizinde betonda ezilmeden dolayı göçtüğü gözlenmiştir. (Şekil 10.3. (b)) Yapıya betonarme perde ilavesi sonrasında yapıdaki mevcut perdede beton birim şekil değiştirme değeri 0,0125 olmuş ve betonda ezilme gözlenmiştir. Bu perde için

donatı nihai şekil değiştirme değeri ise 0,0034 olup donatıda akma olmamıştır. Yapıya ilave edilen betonarme perdelerde ise beton birim şekil değiştirme değerleri 0,002-0,0025 arasında değişmekte olup; donatı nihai birim şekil değiştirme değerleri ise 0,014-0,009-0,007 şeklindedir. Güçlendirme amacıyla yapıya ilave edilen betonarme perdelerde donatıda akma veya betonda ezilme gözlenmemiştir.



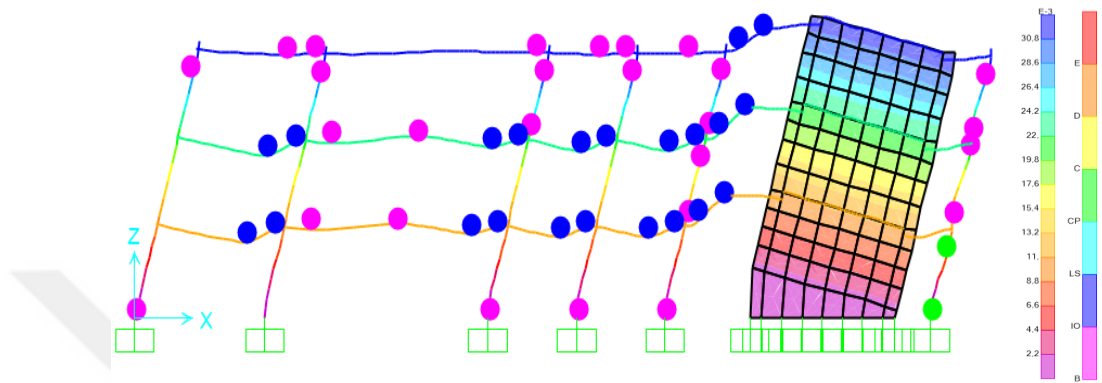
Şekil 10.7. Güçlendirilmiş yapıdaki y yönündeki betonarme perdelerde birim şekil değiştirme.

Şekil 10.7(b)'de bulunan betonarme perde mevcut yapıda bulunan perdedir. Bu perdenin mevcut yapı analizinde betonda ezilmeden dolayı göçtüğü gözlenmiştir. (Şekil 10.4 (a)) Yapıya betonarme perde ilavesi sonrasında yapıdaki mevcut perdede beton birim şekil değiştirme değeri 0,0007 olmuş ve betonda ezilme gözlenmemiştir. Bu perde için donatı nihai şekil değiştirme değeri ise 0,0006 olup donatıda akma olmamıştır. Yapıya ilave edilen betonarme perdelerde ise beton birim şekil değiştirme değerleri 0,0005; donatı nihai birim şekil değiştirme değerleri ise 0,0014'dir.

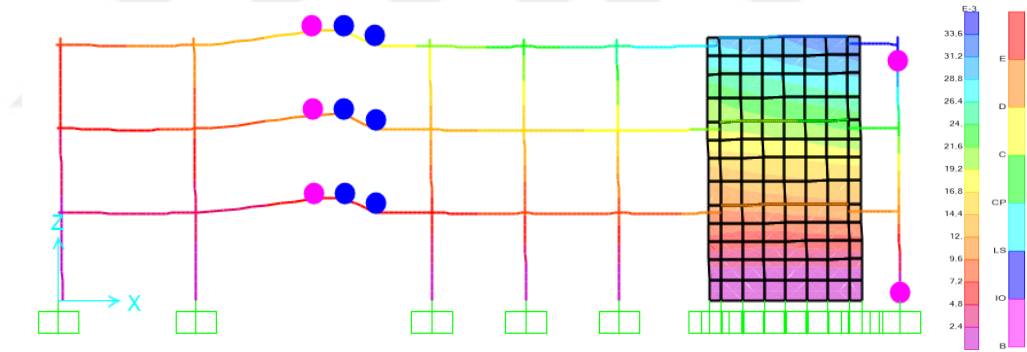
Mevcut yapı ve güçlendirilmiş yapıdaki betonarme perdelerdeki birim şekil değiştirmeler incelenmiş ve bu yapı elemanlarında betonda ezilme donatıda akma olup olmadığı irdelenmiştir. Mevcut yapıdaki betonarme perdelerde donatıda akma olmayıp yapı elemanları betonda ezilmeden dolayı göçmüştür. Yapıya güçlendirme perde ilavesi sonrasında mevcut yapıdaki betonarme perdelerde betonda ezilme durumunun oluşmadığı gözlenmiştir.

10.3. Güçlendirilmiş ve Mevcut Yapılarda Plastik Mafsall Durumları

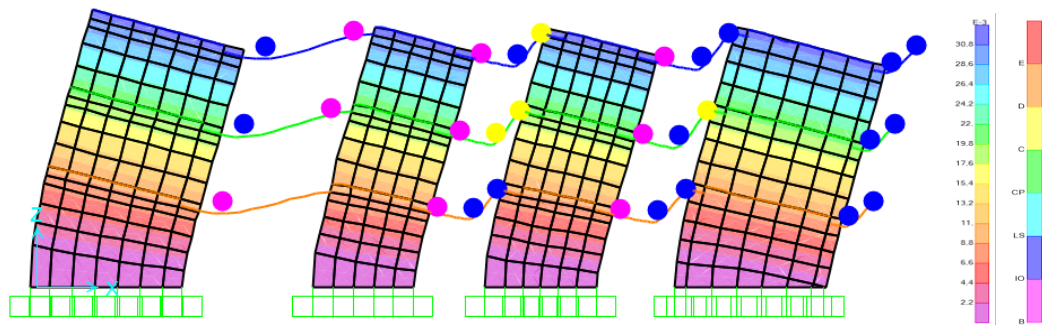
Mevcut ve güçlendirilmiş yapıda kolon ve kirişlere tanımlanan plastik mafsallara göre, iki farklı yapıda (güçlendirilmiş ve mevcut) x ve y yönünde meydana gelen plastik mafsallara ait Shell diyagramları Şekil 10.8-10.9-10.10-10.11’de verilmiştir.



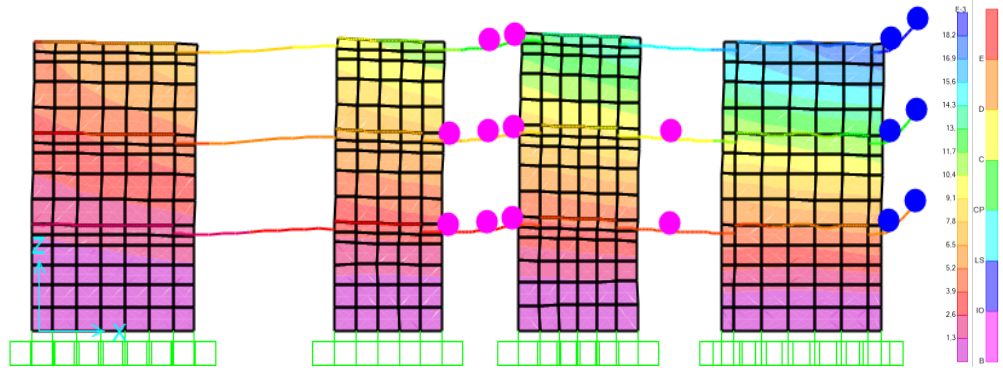
Şekil 10.8. Mevcut yapıdaki betonarme perdelerde x yönündeki plastik mafsalların oluşumu.



Şekil 10.9. Mevcut yapıdaki betonarme perdelerde y yönündeki plastik mafsalların oluşumu.



Şekil 10.10 Güçlendirilmiş yapıdaki betonarme perdelerde x plastik mafsalların oluşumu

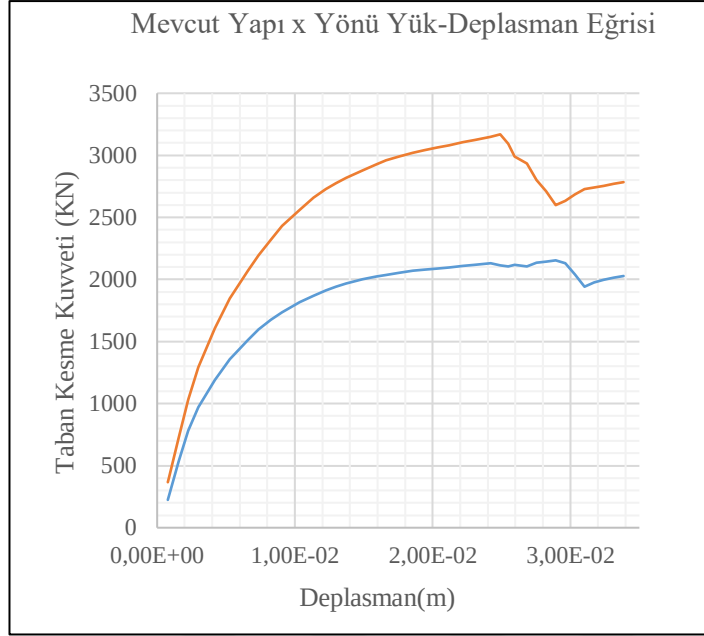


Şekil 10.11. Güçlendirilmiş yapıdaki betonarme perdelerde y plastik mafsalların oluşumu

Plastik mafsallaşmanın oluşumunun yer verildiği şekillerde kiriş ve kolon uçlarına tanımlanan mafsallarda göçmeye neden olacak bir mafsallaşma oluşumu gözlenmemiştir. Şekil 10.8-10.9-10.10-10.11’de bulunan lejantlara göre D-E arasında (göçme durumunda olan yapıların lejant aralığı) kalan bir göçme durumu meydana gelmediği gözlenmiştir. Bu sebeple de mevcut yapıda itme eğrilerine göre performans durumunu sağlamayan yapılarda göçme durumunun meydana gelmesinin sebebi mafsallaşma oluşumu değil, yapıda bulunan betonarme perde elemanlarında beton birim şekil değiştirme değerlerinden dolayı ezilmenin meydana gelmesi ve yapı elemanının göçmesinden kaynaklanmaktadır.

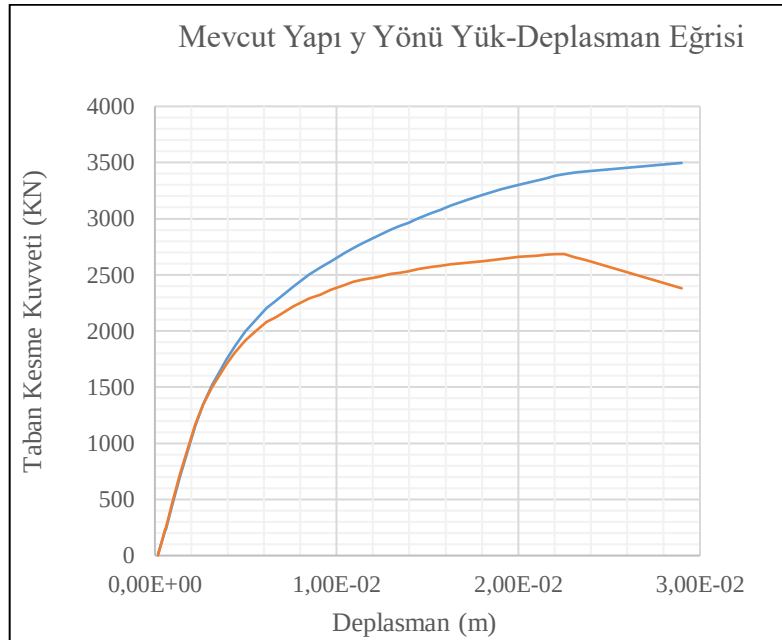
10.4. Mevcut Yapı ve Güçlendirilmiş Yapıdaki Betonarme Perdelerde Deplasmanlar

Mevcut yapıda farklı akslarda bulunan x ve y yönündeki betonarme perdelerdeki yük deplasman eğrileri Şekil 10.12-10.13’de verilmiştir.



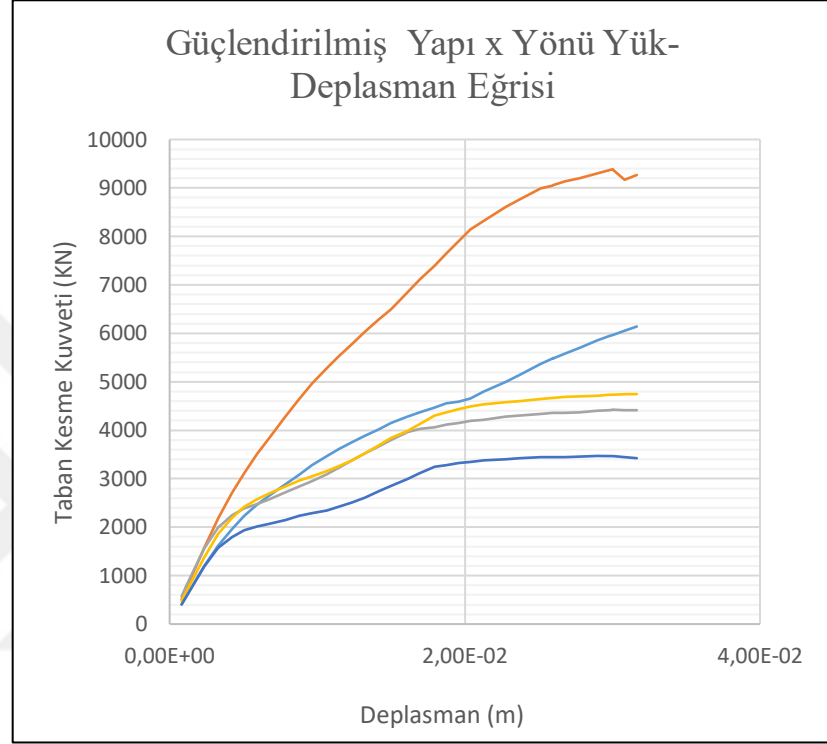
Şekil 10.12. Mevcut yapıda x yönündeki betonarme perdelerde yük deplasman ilişkisi

Şekil 10.12'de x yönündeki perdelerde 0,0025 m deplasman değerinde yapının yük kapasitesinde düşüş olduğu gözlenmiştir. Mevcut yapıdaki x yönündeki perdeler için Bölüm 10.2'deki Şekil 10.3'e bakıldığında 0,0025 m deplasman değerinde perdedeki birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığında betonda ezilme meydana geldiği gözlenmiştir.



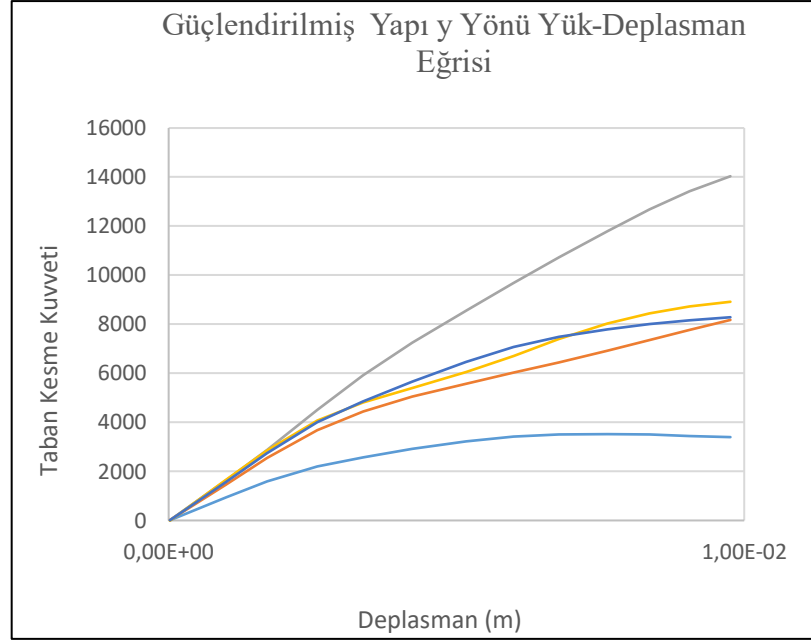
Şekil 10.13. Mevcut yapıda y yönündeki betonarme perdelerde yük deplasman ilişkisi

Şekil 10.13’de y yönündeki perdelerde 0,0022 m deplasman değerinde yapının yük kapasitesinde düşüş olduğu gözlenmiştir. Mevcut yapıdaki x yönündeki perdeler için Bölüm 10.2’deki Şekil 10.3’e bakıldığında 0,0022 m deplasman değerinde perdedeki birim şekil değiştirme değerlerine bakıldığında betonda ezilme meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 10.14. Güçlendirilmiş yapıda x yönündeki betonarme perdelerde yük deplasman ilişkisi.

Şekil 10.14’de x yönündeki güçlendirilmiş perdelerde 0,003 m deplasman değerinde yapının yük kapasitesinde düşüş olduğu gözlenmiştir.



Şekil 10.15. Güçlendirilmiş yapıda y yönündeki betonarme perdelerde yük deplasman ilişkisi.

Şekil 10.15’de y yönündeki güçlendirilmiş perdelerde 0,001 m deplasman değerinde yapının kapasitesine ulaştığı gözlenmiştir.

Şekil 10.12-10.13-10.14-10.15’de mevcut ve güçlendirilmiş yapıda bulunan betonarme perdelerle ait yük deplasman eğrileri verilmiştir. Mevcut yapıya betonarme perde ilavesiyle birlikte yapıda bulunan perdelerin kapasitelerinde artış olduğu gözlenmiştir.

11. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemler, yerinde dökme betonarme perdeler ve kolon mantolamasıyla güçlendirilebilir. Betonarme sisteme eklenecek perdeler çerçeve ekseninin içinde düzenlenecek, temelden başlayarak perde üst seviyesine kadar sürekli olmalıdır. Bu amaçla, perde uç bölgesindeki boyuna donatıların ve gereği durumunda perde gövdesindeki boyuna donatıların perde yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanmalıdır. Mantolanacak kolonlarda da kolon boyutlarında büyütme yapılarak yapının performansında iyileştirme yapılması hedeflenir.

Bu tez kapsamında betonarme okul binasının, mevcut ve güçlendirilmiş hali için modelleme yapılmış bu modellemeler sonucunda yapılan analiz sonuçları hakkında çıkarımlarda bulunulmuştur.

SAP2000 yazılımı mevcut binaların doğrusal olmayan performans değerlendirmesinde sıklıkla kullanılır. Çerçeve (frame) elemanları ile modellenen kolon, perde ve kirişlerin uçlarında doğrusal olmayan davranışı karakterize eden yığılı plastik mafsalların tanımı ve özelliklerinin belirlenmesiyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Ancak, perdelerin kabuk (shell) elemanlar ile modellenmesi durumunda perde davranışının doğru bir şekilde elde edilmesi, malzeme tanımı, sonlu eleman ağ yoğunluğu ve eleman özellikleri gibi değişkenlere bağlı olup bu konuda yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamı içerisinde 3 katlı tipik betonarme perdenin yatay yük etkisinde davranışı sonlu eleman ağ yoğunluğu temel alınarak, farklı beton dayanımları ve eksenel yük oranları için SAP2000 ve ANSYS yazılımlarıyla hesaplanmıştır.

Tez içerisinde yapılan parametrik çalışma kapsamında; tüm perdeler için itme eğrilerine göre yapılan yorumlar ve gözlemlere dayanarak yapı için en uygun Mesh yoğunluğundaki bölüm oranına sahip perde modelinin 3x5 bölümlü perde olduğu sonucuna varılmıştır. 3x5 bölüm oranında modellenen yapı hem sayısal hem de davranışsal olarak gerçek davranışına uygun sonuçlar vermiştir. Betonun ezildiği birim şekil değiştirme değerinde kapasitede düşüş yaşanmış ve bu modellemeyle hem sayısal hem davranışsal olarak doğru sonuçlar elde edilmiştir. Bölümsüz ve 2x2 bölümlü

modellenen perdenin ucunda betonda ezilme olduğunu sayısal olarak göstermesine rağmen, sistem davranışına bu durumun bu mesh oranları için doğru şekilde yansımadağı gözlenmiştir. Bu iki perde modelinde Mesh'ler çok büyük (sonlu eleman ağ yoğunluğu az) olduğu için bölüm sayıları az ve buna oranla Shell ile modellenen perdelerde eleman sayısı az olduğu için betonun ezildiğı birim şekil değıştirme değeri karşılık gelen kapasite değeri düşüş yaşanmamaktadır. Yapı davranışı bu iki modelleme ile gerçek davranışından daha yüksek kapasite değeri ortaya çıkarmaktadır. Bu yüzden bu iki modellemede yapı gerçek davranışından uzak davranış sergilemektedir. 6x10 bölümlü ve 9x15 bölümlü perdelerde ise Mesh'ler çok küçük olduğu için betonun ezildiğı birim şekil değıştirme değeri karşılık gelen kapasitelerde, yapının gerçek davranış kapasite değeri daha fazla düşüş yaşanmıştır. Yapı davranışı bu iki modelleme ile gerçek davranışından daha düşük kapasite değeri ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle bu iki modellemede yapı gerçek davranışından uzak davranış sergilemektedir. Analiz için farklı bölüm sayılarında modellenen 5 perde modelinde Mesh (sonlu eleman ağ yoğunluğu) arttırıldıkça yapının kapasitesinin azaldığı, bölüm sayısının azaldıkça yapı kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Modelleme yapılırken Mesh yoğunluğunun bu iki değer arasında 'Optimum Mesh Size' yoğunluğunda olması gerekir. Analizler sonucunda bölüm sayısına oranla elde edilen eleman sayısına bağı olarak deplasman kapasitesinin yapı davranışı ve kapasitesine göre en uygun davranışın 3x5 bölümlü perde modelinde elde edildiğı gözlenmiştir.

Yapı için uygun sonlu eleman ağ yoğunluğu belirlenip modellemeler bu doğrultuda yapılmıştır.

Yapılan modellemeler doğrultusunda mevcut yapının x yönünde DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre elde edilen performans noktası değeri 0,0798 m iken yapının deplasman kapasite değeri 0,0252 m'dir. Bu değerlere göre mevcut yapının deplasman kapasite değeri performans noktası değeri küçük olup, performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aşmaktadır. Bu sebeple yapı göçme durumundadır.

Güçlendirilmiş yapının x yönünde DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre performans noktası değeri 0,0189 m iken yapının deplasman kapasite değeri 0,0211

m'dir. Bu değerlere göre mevcut yapının deplasman kapasite değeri performans noktası değerinden büyük olup, performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aşmamaktadır. Bu sebeple yapı kontrollü hasar durumundadır.

Mevcut yapının y yönünde DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre elde edilen performans noktası değeri 0,066 m iken yapının deplasman kapasite değeri 0,0188 m'dir. Bu değerlere göre mevcut yapının deplasman kapasite değeri performans noktası değerinden küçük olup, yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesi performans noktası değerine ulaşmamaktadır. Bu sebeple yapı göçme durumundadır.

Güçlendirilmiş yapının y yönünde DD-1 deprem yer hareket düzeyine göre performans noktası değeri 0,01 m iken yapının deplasman kapasite değeri 0,0096 m'dir. Bu değerlere göre mevcut yapının deplasman kapasite değeri performans noktası değerine yaklaşık olarak eşit olup, performans noktası değeri yapının modal kapasite diyagramındaki deplasman kapasitesini aşmamaktadır. Bu sebeple yapı kontrollü hasar durumundadır.

Mevcut yapıdaki betonarme perde elemanları, beton birim şekil değiştirme değeri binde 3'ü aşarak betonun ezilmesinden dolayı göçmüştür. Yapıya betonarme perde ilavesi yapıldıktan sonra betonarme perde elemanlarında betonda ezilme ve donatıda akma gözlenmemiştir.

Mevcut yapıda meydana gelen göçme, kolon ve kirişlere tanımlanan plastik mafsallarda meydana gelen mafsallaşmadan dolayı değil betonarme perde elemanlarında betonun ezilerek göçmeye sebep olmasından dolayı meydana gelmiştir.

Mevcut yapıda yapılan betonarme perde ilavesi ve kolon mantolanması güçlendirme uygulamalarıyla yapının performansının önemli oranda arttığı gözlenmiştir. Yapıda güçlendirme uygulamalarında betonarme perde ilavelerinde süreklilik olması gerekmektedir. Yapıya eklenen betonarme perdelerin, yapıda temelden en üst kata kadar sürekli olacak şekilde yapılması gerekmekte ve katlarda perde ilavesinde kesinti olmamalıdır. Ayrıca yapıya ilave edilen betonarme perdelerin yapının eksantritesini

bozmadan ve yapının rijitliğini çok arttırmadan gerekli oranlarda olacak şekilde projelendirilmesi gerekmektedir.

Tez kapsamında yapılan tüm çalışmalar sonucunda;

- Çevresel faktörlerde sürdürülebilirlik açısından
- Güçlendirmenin daha az maliyetli olması
- Yapı performansını önemli oranda arttırması

gibi olumlu etkilerinden dolayı yapılarda yeterli performansın sağlanması durumunda güçlendirme yapılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- ACI318, 2008. Building code requirements for reinforced concrete, American Concrete Institute. Detroit, USA.
- Afzali, M.F. 2018. Mevcut bir betonarme okul binasının betonarme perdelerle güçlendirme alternatiflerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği Programı, 96, İstanbul.
- Ahıskalı, H. 2021. Betonarme yapılarda güçlendirme yöntemlerinin Tbdy'ye göre irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yapı-Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı, 114, İstanbul.
- Altın, S. 1990. Betonarme çerçevelerin betonarme dolgularla güçlendirilmesi. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 387, Ankara.
- Altun, F., Kara, H.B., Haktanır, T., Özcan, D.M., Karahan, O. ve Kaya, Z. 2002. Düşey yükler altında hasar görmüş betonarme bir yapıda güçlendirme projesi örneği. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(1-2), 63-76.
- Altun, F., Kara, H.B., Uncuoğlu, E. ve Karahan, O. 2003. Betonarme yapılarda deprem hasarları ve 6 katlı bir yapının güçlendirme çalışmaları. G.Ü Fen Bilimleri Dergisi, 16(2), 309-318.
- Alyamaç, K.E. ve Ulucan, Z.Ç. 2005. 2003 Bingöl Depreminden Sonra Güçlendirme İşlemlerinde Görülen Yanlışlıklar ve Öneriler, Deprem sempozyumu, 23-25 Mart, 1-7, Kocaeli.
- Anonymous, 2019. Web Sitesi: <https://www.insaport.com/makale/yuksel-kaya/bina-tasariminda-hangi-performans-duzeyi-secilmeli/>. Erişim Tarihi: 14.06.2022.
- Anonymous, 2020. Web Sitesi: <https://support.e-construct.in/portal/en/kb/articles/what-is-stiffness-modifiers>. Erişim Tarihi: 16.05.2022.
- Anonymous, 2020. Web Sitesi: [https:// eski.imo.org.tr](https://eski.imo.org.tr). Erişim Tarihi: 11.07.2022.
- Anonymous, 2022. Web Sitesi: [https:// eski.imo.org.tr](https://eski.imo.org.tr). Erişim Tarihi: 16.05.2022.
- Asfuroğlu, S. 2018. Çok katlı çelik binaların itme analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı, 142, İstanbul.
- Atay, H. 2010. Depremde hasar görmüş yapıların güçlendirme yöntemleri ve güçlendirmede kullanılan malzemeler. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı, 115, Sakarya.

- Atmaca, M. 2013. Betonarme yapılarda performans analizi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı, 139, Eskişehir.
- Aydoğan, İ. 2015. Kimyasal ankrajlarda çap, gömme derinliği ve kenar mesafesinin çekme kuvvetine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 101, Bilecik.
- Balık, F.S., Bahadır, F., Kamanlı, M., Korkmaz, H.H., Ünal, A. ve Kaltakçı, M.Y. 2018. Pencere boşluklu perde duvarla güçlendirilmiş 1/3 ölçekli betonarme çerçevelerin davranışı. Selçuk Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(2), 279-295.
- Batmacı, H. 2011. Depremde hasar gören bir binanın mantolama, perde ilavesi ve kat azaltılması yöntemiyle güçlendirilmelerinin karşılaştırılmaları. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı, 193, Sakarya.
- Bayülke, N. 2006. Betonarme yapılarda güçlendirme sorunları, Türkiye Mühendislik Haberleri, 2(4-5), 444-445.
- Beyli, E. 2002. Betonarme binalara uygulanan güçlendirme yöntemleri ve perde yüksekliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Mühendisliği, 78, İstanbul.
- Boru, E. 2015. Yapı tanı teknikleri ile sonlu eleman modelleri güncellenmiş binaların deprem performans analizi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı, 190, Sakarya.
- Büyüktuncer, A. 2005. Betonarme yüksek bir yapının güçlendirme projesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 108, İstanbul.
- Çağatay, E.B. 2021. Yeni betonarme yapıların tasarımında ve mevcut betonarme yapıların değerlendirilmesinde kullanılan etkin kesit rijitliklerinin irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, 169, Bursa.
- Çalışkan, Ö. 2010. Mevcut betonarme binaların dış perde duvar ile güçlendirilmesinde ankraj uygulamalarının deneysel olarak araştırılması. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bilim Dalı, 152, Eskişehir.
- Çalışkan, Ö. 2020. Kimyasal ankrajlarda kenar mesafesi ve gömme derinliğinin etkisi. Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(2), 303-315.
- Çelik, F. 2018. Mevcut yığma binalarda depremsel güçlendirme ankrajlarının çap ve ankraj derinliğine bağlı çekme ve kesme performanslarının deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, 113, Kırıkkale.

- Çırak, İ.F. 2011. Güçlendirme perdeleri ile mevcut yapı elemanları arasındaki kayma davranışının modellenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 149, Isparta.
- Değertekin, Ö., Şik, H. 2015. Deprem güvenliği yetersiz betonarme bir bina için farklı güçlendirme önerilerinin karşılaştırılması. Mühendislik Dergisi, 6(2), 121-130.
- Demirkan, D. 2014. Betonarme yapılarda onarım ve güçlendirme yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 146, Aksaray.
- Duran, B. Tunaboyu, O ve Avşar, Ö. 2017. Düşük dayanımlı betonun elastisite modülünün belirlenmesi ve RYTEİE ile yapılan risk değerlendirmesine etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi, 32 (1), 253-264.
- Ergün, A., Kürklü, G. ve Başaran, V. 2012. Mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin incelenmesi ve güçlendirilmesi çalışmaları için Afyonkarahisar'dan bir hastane örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 12 (1), 1-11.
- Gala, D. Shah, S. Bhamare, M. Kadam, M. Barad, M. Satpute, S. 2013-2014. Seismic performance study of R.C. buildings with shear wall. For the Partial Fulfillment of the Requirements for the Award of Degree of Bachelor of Engineering in Civil Engineering, Shivaji Üniversitesi, 96, Kolhapur.
- Gürbüz, T. 2007. Yapıların güçlendirilmesinde kullanılan kimyasal ankrajların eksenel çekme etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı, 226, İstanbul.
- Gürbüz, T., Seyhan. E., İlki, A. ve Kumbasar, N. 2007. Güçlendirme Çalışmalarında Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altında Davranışları. 6. Ulusal deprem mühendisliği konferansı, 16-20 Ekim, 2-9, İstanbul.
- Gürol, K.B. 2007. Deprem dayanımı yetersiz betonarme binaları güçlendirme yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı, 143, İzmir.
- Karabulut, A. 2011. Tdy2007 yönetmeliği ve Fema 440 raporunda tanımlanan doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin mevcut betonarme binalar için karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği Programı, 331, İstanbul.
- Kavşut, N. 2012. Depremde hasar gören yapıların güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 160, Tekirdağ.

- Kaya, Y. 2007. Yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında kullanılabilecek kısmi bağlı ankraj detayı ve yüzey temizliği koşulları altında ankrajların eksenel çekme davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı, 185, İstanbul.
- Kaya, Y. 2007. Yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında kullanılabilecek kısmi bağlı ankraj detayı ve yüzey temizliği koşulları altında ankrajların eksenel çekme davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği, 185, İstanbul.
- Mazılıgüney, L. 2007. Tensile behavior of chemically bonded post-installed anchors in low-strength reinforced concretes. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 113, Ankara.
- Müderrişoğlu, Z. 2009. Adana-Ceyhan depremüne maruz kalan orta hasarlı binaların güçlendirilmesine yönelik performans değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Deprem Mühendisliği Programı, 249, İstanbul.
- Ören, P. 2010. Öngermeli veya ardçekmeli prefabrik betonarme binaların güçlendirilmesi: bir durum çalışması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programı, 154, İstanbul.
- Özdemir, S. 2013. Betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların kesme etkileri altında mekanik özelliklerin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, 71, Afyon.
- Özdöner, N. 2011. Betonarme binaların deprem güvenliğinin, bina dışından uygulanan betonarme prefabrik paneller ile arttırılması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 210, Konya.
- Özpınar, Ö. 2006. Doğrusal olmayan taşıyıcı sistemlerde rijit diyafram kabulünün araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 100, Denizli.
- Sancak, M.F. 2019. Ankraj çubuklarının çekme davranışlarının deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 87. Şanlıurfa.
- SAP2000, Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Sargın, H. 2020. Mevcut betonarme bir binanın sistem iyileştirmesi ve taşıyıcı eleman güçlendirme yöntemlerine göre karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 113, Kütahya.

- Seyhan, E.C. 2006. Kimyasal ankrajların davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı, 191, İstanbul.
- Sivri, M., Kuyucular, A., Çelik, İ. 2013. Perde duvar ile güçlendirilen betonarme çerçevenin ANSYS ve STA4- CAD analiz sonuçlarının karşılaştırılması. SDU Teknik Bilimler Dergisi, 3(2), 26-34.
- Soydan, S. 2019. Doğrusal analiz yöntemi ile mevcut bir betonarme yapının performans değerlendirilmesi ve güçlendirme tahkiklerinin yapılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı, 238, Sakarya.
- Şik, H. 2014. Deprem güvenliği yetersiz betonarme bir bina için farklı güçlendirme önerilerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 160, Diyarbakır.
- Şirin, C. 2006. Yapılarda oluşan hasar biçimleri ve nedenleri ve yapıların onarım ve güçlendirilmesi teknikleri ile bir yapının güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı, 227, İstanbul.
- TBDY. 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T. ve Güler, M. 2015. Kimyasal Ankrajın Çekme Dayanımına Delik Çapı ve Derinliğinin Etkisi. 2. Uluslararası Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu, 28-30 Mayıs, 151-155, Kocaeli.
- Türk Standartları, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS500), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- Uçar, B. 2019. Betonarme bir hastane binasının Dbybhy 2007 ve Tbdy 2018 kapsamında deprem performansının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı, 163, İstanbul.
- Uçar, T. Toumatrari, S.G. ve Ertutar, Y. 2014. Çerçeve düzlemi içinde eklenen perdelerin betonarme binaların yapısal özelliklerine etkilerinin incelenmesi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 3(1), 56-68.
- Ünal, A., Korkmaz, H.H., Kaltakçı, M.Y., Kamanlı, M. Bahadır, F., ve Balık, F.S. 2013. Deprem Dayanımı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Düzlem Dışı Perde Duvar ile Güçlendirilmesi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-26 Eylül, Mustafa Kemal Üniversitesi, 1-7, Hatay.
- Yapıcı, O. 2016. Çelik çerçeve sistemlerde doğrusal olmayan davranışın analitik ve deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı, 173, İstanbul.

- Yıldırım, C. 2008. 2007 deprem yönetmeliğine göre mevcut bir yapının performansının belirlenmesi ve bir güçlendirme önerisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı, 175, İstanbul.
- Yıldızlar, B. 2004. Binalarda güçlendirme teknikleri ve detaylandırmanın önemi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programı, 108, İstanbul.
- Yılmaz, S. 2007. Betonarme binaların yapı dışarısından perde duvarlarla güçlendirilmesi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 166, Denizli.
- Yılmaz, Ü., Arslan, H., Kaltakçı, Y. 2010. Betonarme dış perde duvarla güçlendirilmiş çerçevelerin dayanım parametrelerinin deneysel ve analitik yöntemlerle irdelenmesi. TUBAV Bilim Dergisi, 3(1), 11-12.
- Yüzbaşı, J. ve Yerli, H.R. 2018. Betonarme yapıların deprem etkisi altında performans analizlerinin yapılması ve güçlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(2), 273-286.
- Zolmaz, Y. 2019. Mevcut betonarme bir binanın perdelerle güçlendirilmesi ve yapısal performansının Tbdy-2018'e göre değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı, 149, İstanbul.