

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**BETONARME SİSTEMLERDE MİNİMUM DONATI
ORANLARININ GÜNCELLENMESİNE YÖNELİK BİR
ARAŞTIRMA**

Yüksek Lisans Tezi

Abdul Latif ZAMANI

Danışman

Doç. Dr. Varol KOÇ

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdul Latif ZAMANI tarafından, Doç. Dr. Varol KOÇ danışmanlığında hazırlanan “Betonarme Sistemlerde Minimum Donatı Oranlarının Güncellenmesine Yönelik Bir Araştırma” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 25.6.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Zeki KARACA Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye (Danışman)	Doç.Dr. Varol KOÇ Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI İstanbul Gelişim Üniversitesi İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü yönetim ve kurulunca belirlenen ve yukarda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Onay

...../...../.....

Prof. Dr. Ali BOLAT

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

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

30/07/2021

ABDUL LATIF ZAMANI

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI **BETONARME SİSTEMLERDE MİNİMUM DONATI ORANLARININ** **GÜNCELLENMESİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA**

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 27.05.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 16

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

İmza
27 / 05 / 2021
Doç. Dr. Varol KOÇ

ÖZET

BETONARME SİSTEMLERDE MİNİMUM DONATI ORANLARININ GÜNCELLENMESİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA

Abdul Latif ZAMANI
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Haziran/2021
Danışman: Doç.Dr.Varol KOÇ

Bu çalışmada, ele alınan betonarme bir sistemin taşıyıcı elemanlarının donatı oranlarının değiştirilmesiyle elde edilen modellerin analizleri yapılmıştır. Donatı oranları farklı ancak geometrileri aynı olan modellerin üzerinde, deprem yükleri (yatay kuvvetleri) eşdeğer statik deprem yükü olarak etkilmiştir. Düşey ve yatay yükler altında sistemin performansı değerlendirilmiştir.

Bu çalışma için seçilmiş olan betonarme taşıyıcı sistem birer perde, kolon ve kirişten oluşmaktadır. İki doğrultuda da tek açıklıklı ve sekiz katlı betonarme sistemde deprem kuvvetleri doğrultusundaki akslar sonlu elemanlar programı (ANSYS) yardımı ile geometrik modellemeye ve analize tabi tutulmuştur. Birinci model minimum donatı oranlarına sahip olacak şekilde oluşturulmuştur. Minimum donatı oranları için ilgili TS ve DBYBHY verileri kullanılmıştır. Birinci model analizinden sonra bu donatı oranları kalan 12 farklı model için farklı düzeylerde artırılıp analizler yapılmıştır. Doğrusal olmayan sonlu eleman analizlerinden ortaya çıkan sonuçlar göz önünde bulundurarak modellerin deprem yük (yatay kuvvet) taşıma kapasiteleri, kolon-perde süneklikleri, kiriş süneklikleri ve toplam sistem süneklikleri hesaplanarak minimum donatı oranlarının güncellenmesiyle ilgili yorumlamalar ve öneriler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: ANSYS; Deprem, Betonarme, Minimum Donatı Oranı, Sonlu Elemanlar Metodu, Donatı Oranlarının Güncellenmesi.

ABSTRACT

A RESEARCH ON UPDATING MINIMUM REINFORCEMENT RATES IN REINFORCED CONCRETE SYSTEMS

Abdul Latif ZAMANI
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering
Master, July/2021
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Varol KOÇ

In this study, the carrier elements of model was analyzed by changing the reinforcement of elements of the concrete system. The reinforcement rates are different in the same geometry due to horizontal forces of equivalent static earthquake load of earthquake methods. System performance was evaluated under vertical and horizontal loads.

The selected reinforced concrete carrier system for this study consists of a shear wall, column and beam. The model is located in both directions, the axes in a single span in eight storey reinforced concrete system, The modeling and analysis of the system was done by finite elements program (ANSYS) in the direction of the earthquake forces. The first model is formed to have minimum reinforcement ratio. For minimum reinforcement ratio used the data of TS and DBYBHY relevant codes.

After the first model analysis, the remind 12 different models were performed and analyzed by changing different values of reinforcement ratio.

After the considering of the non-linear finite element analyze, calculated the model earthquake loading carrying capacity, column and shear wall ductility, beam ductility and complete system ductility and performed recommendations for updating the minimum ratio of reinforcement.

Keywords: Ansys; Earthquake; Reinforced concrete; Minimum Reinforcement Ratio; Finite Element Method; updating of reinforcement ratios.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca beni yönlendirip, yardımlarını esirgemeyen, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren ve kendisinden çok şey öğrendiğim değerli hocam ve danışmanım sayın Doç. Dr. Varol KOÇ 'e, en zor günlerde bile pozitif düşünebilme yüreklilikleri ile yanımda olan aileme, beni eğitim süresince cesaretlendiren ve sürekli destek veren Babam Abdul Wahid ZAMANI ve abim Abdul Basir ZAMANI 'ye teşekkürlerimi sunarım.

Abdul Latif ZAMANI

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1.GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Literatür araştırması	3
2. MALZEME DAVRANIŞLARININ MATEMATİKSEL MODELLERİ	6
2.1.Basınç kuvvetleri altındaki beton için geliştirilmiş matematiksel modeller	6
2.1.1. Hognestad modeli	7
2.1.2. Kent Park Modeli	8
2.1.3. Thompson ve park modeli.....	10
2.1.4. Sheikh- Üzümeri Modeli.....	11
2.1.5. Saatçioğlu Ravzi Modeli	13
2.2. Betonun Çekme Kuvvetleri Altındaki Davranışı	15
2.3. Betonarme Çeliğinin İşlevi Ve Davranışı	15
2.4. Pekleşme Şekilleri.....	16
2.5.Betonda Göçme Davranışı	18
2.6. ANSYS programında Beton ve Betonarme Davranışı Tanımlamaları	20
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	22
3.1 İncelenen Sistem ve Alt Durumları.....	22
3.2. Malzeme Özellikleri ve Modelleri	27
3.3. ANSYS Sonlu Eleman Model Geometrisinin Oluşturulması	32
3.4. Donatıların Oluşturulması ve İlgili Bölgelere Atanması	34
3.5 Modele Etki Eden Düşey ve Yatay Kuvvetler	41
3.6. Analiz Sonuçları.....	49
4. SONUÇLAR	58
KAYNAKLAR	61
EKLER	65
ÖZGEÇMİŞ	99

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Willam – Warnke modeline ait bazı değişkenler	19
Tablo 2.2. Betonda yenileme durumları	20
Tablo 3.1. Durumlara göre donatı oranları	24
Tablo 3.2. Durumların birbirleriyle karşılaştırmalı donatı oranları değişim tablosu(%)	25
Tablo 3.3. Eksenlere göre donatı açıları	35
Tablo 3.4. Tüm durumlarda kullanılacak olan dağıtılmış donatı numara ve oranları	36
Tablo 3.5. Eşdeğer statik deprem yüklerinin hesaplanması	44
Tablo 3.6. Deprem bölgelerine göre etkin yer ivmesi katsayıları	45
Tablo 3.7. Yerel zemin sınıflarına göre Spektrum karakteristik periyotları	45
Tablo 3.8. Taşınabilen maksimum yükte katların kolon-perde yatay deplasmanları	50
Tablo 3.9. Taşınabilen maksimum yatay yükte katların kiriş sehimleri	52
Tablo 3.10. Taşınabilen maksimum yükler ve hesaplanan süneklikleri	53
Tablo 3.11. Tüm durumlar için karşılaştırılmalı süneklik ve yük yüzdellik değişim yüzdeleri	54
Tablo 3.12. Tüm durumlar için karşılaştırmalı süneklik ve yük değişimlerinin harfil ifadeleri	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Hognestad Modeli	7
Şekil 2.2. Geliştirilmiş Kent Park Modeli	8
Şekil 2.3. Thompson ve Park beton modeli.....	10
Şekil 2.4. Sheikh ve Üzümeri σ - ϵ eğrisi.....	11
Şekil 2.5. Saatçioğlu ve Ravzi Modelli	13
Şekil 2.6. Beton için çekme σ - ϵ modeli	15
Şekil 2.7. Beton donatı çeliği σ - ϵ eğrisi.....	16
Şekil 2.8. Betonarme donatı çeliği için idalize edilmiş σ - ϵ eğrisi	16
Şekil 2.9. İzotropik pekleşme	17
Şekil 2.10. Kinematik pekleşme.....	18
Şekil2.11. Solid 65 sonlu elemanı	21
Şekil 3.1. Ele alınan sistemin Kalıp planı	23
Şekil 3.2. Ele alınan sistemin tek aks tek kat geometrik ölçüleri	23
Şekil 3.3 Sistemin tek kat tek aks donatı detayları (mm)	24
Şekil 3.4. ANSYS programında beton için malzeme modelinin tanımlaması.....	27
Şekil 3.5. Beton özgül ağırlığının tanımlanması	27
Şekil 3.6. Beton için elastisite modülünün ve poisson oranının tanımlanması.....	28
Şekil 3.7. Beton için gerilme-şekil değiştirme davranışının tanımlanması	28
Şekil 3.8. Beton için kullanılan gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	29
Şekil 3.9. Beton göçme mekanizmasının girdileri.....	29
Şekil 3.10. Donatı çeliği için malzeme modeli özellikleri	30
Şekil 3.11. Donatı çeliği için elastisite modülünün ve poisson oranının tanımlanması.....	30
Şekil 3.12. Donatı çeliği için akma girilmesi ve tanjant modülünün girilmesi.....	31
Şekil 3.13. Girilen değerlere göre ANSYS tarafından oluşturulan donatı çeliği gerilme ve şekil değiştirme eğrisi.....	31
Şekil 3.14. ANSYS modeli	32
Şekil 3.15. Sistemin ilk kat mesnetlerin görünüşü	33
Şekil 3.16. ANSYS modeli ve mesnetlenme şartları ile ilgili son kat arkasından bir görünüm.	33

Şekil 3.17. Oluşturulan eleman sabiti (Real Constant) numaraları	34
Şekil 3.18. Eleman sabiti 1 içeriğindeki donatı oran ve doğrultuları	35
Şekil 3.19. Kirişlere atanan eleman sabitleri.....	40
Şekil 3.20. Kolon-kiriş birleşim bölgelerine atanan eleman sabitleri.....	40
Şekil 3.21. Perde-kiriş birleşim bölgelerine atanan eleman sabitleri.....	41
Şekil 3.22. Döşemeden kirişe gelen üçgen yayılı yükün eşdeğer üniform yayılı yüke çevrilişini temsil eden bir görünüm	42
Şekil 3.23. Çatı katı ve diğer kat aksları üzerine gelen üniform yayılı yüklerin temsili gösterimi.....	42
Şekil 3.24. Düşey yüklerin sonlu eleman modeline etki ettirilmesi	43
Şekil 3.25. Elastik ivme spektrumu.....	45
Şekil 3.26. SAP2000 Modeli.....	46
Şekil 3.27. modele etkileyen yatay kuvvetlerinin akslara dağılımı	47
Şekil 3.28. ANSYS programı sonlu eleman analizinde kullanılacak olan yata ve düşey yüklerin gösterimi.....	47
Şekil 3.29. 8. katta perde ve kiriş kesişim bölgesine etkileyen yatay ve düşey yüklerin bir görünümü..	48
Şekil 3.30. 8. katta kolon ve kiriş kesişim bölgesine etkileyen yatay ve düşey yüklerin bir görünümü .	48
Şekil 3.31. Analize hazır sistem modeli	49
Şekil A.1. Durum 1 için yatay kuvvet-perde ve Kolon deplasman eğrileri.....	66
Şekil A.2. Durum 2, 3, 4, 5 için yatay kuvvet-perde ve Kolon deplasman eğrileri.....	66
Şekil A.3. Durum 6, 7, 8, 9 için yatay kuvvet-perde ve Kolon deplasman eğrileri.....	66
Şekil A.4. Durum 10, 11, 12, 13 için yatay kuvvet-perde ve Kolon deplasman eğrileri.....	66
Şekil A.5. Durum 1 için katlara göre perde ve kolon deplasman eğrileri.....	70
Şekil A.6. Durum 2, 3, 4, 5 için katlara göre perde ve kolon deplasman eğrileri.....	73
Şekil A.7. Durum 6, 7, 8, 9 için katlara göre perde ve kolon deplasman eğrileri.....	73
Şekil A.8. Durum 10, 11, 12, 13 için katlara göre perde ve kolon deplasman eğrileri.....	73
Şekil A.9. Tüm durumların katlara göre ortalama (perde-kolon) yatay deplasmalarının karşılaştırılması	74
Şekil A.10. Tüm durumların yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması	75
Şekil A.11. Durum 1 için kiriş yük-maksimum sehim eğrileri.....	76
Şekil A.12. Durum 2, 3, 4, 5 için kiriş yük-maksimum sehim eğrileri.	79

Şekil A.13. Durum 6, 7, 8, 9 için kiriş yük-maksimum sehım eğrileri.....	76
Şekil A.14. Durum 10, 11, 12, 13 için kiriş yük-maksimum sehım eğrileri.	79
Şekil A.15. Durum 1 Katlara göre Kiriş sehımleri	80
Şekil A.16. Durum 2, 3, 4, Katlara göre Kiriş sehımleri	84
Şekil A.17. Durum 5, 6, 7 Katlara göre Kiriş sehımleri	84
Şekil A.18. Durum 8, 9, 10 Katlara göre Kiriş sehımleri.....	84
Şekil A.19. Durum 11, 12, 13 Katlara göre Kiriş sehımleri	84
Şekil A.20. Tüm durumların kat seviyelerindeki maksimum kiriş sehımleri karşılaştırılması.....	85
Şekil B.1. Analiz Sonrası Durum 1'in ANSYS Çıktıları	86
Şekil B.2. Analiz Sonrası Durum 2'nin ANSYS Çıktıları	87
Şekil B.3. Analiz Sonrası Durum 3'ün ANSYS Çıktıları.....	88
Şekil B.4. Analiz Sonrası Durum 4'ün ANSYS Çıktıları.....	89
Şekil B.5. Analiz Sonrası Durum 5'in ANSYS Çıktıları	90
Şekil B.6. Analiz Sonrası Durum 6'nın ANSYS Çıktıları	91
Şekil B.7. Analiz Sonrası Durum 7'nin ANSYS Çıktıları	92
Şekil B.8. Analiz Sonrası Durum 8'in ANSYS Çıktıları	93
Şekil B.9. Analiz Sonrası Durum 9'un ANSYS Çıktıları.....	94
Şekil B.10. Analiz Sonrası Durum 10'un ANSYS Çıktıları.....	95
Şekil B.11. Analiz Sonrası Durum 11'un ANSYS Çıktıları.....	96
Şekil B.12. Analiz Sonrası Durum 12'nin ANSYS Çıktıları.....	97
Şekil B.13. Analiz Sonrası Durum 13'ün ANSYS Çıktıları.....	98

SİMGELER VE KISALTMALAR

- ASCE** : American Society of Civil Engineers (Amerika İnşaat Mühendisleri Topluluğu)
- DBYBHY** : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
- SEI** : Structural Engineering Institute (Yapı Mühendisliği Enstitüsü)
- TS** : Türk Standardı
- ϵ** : Birim şekil değiştirme
- ϵ_{co}** : Betonda maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma
- ϵ_{cu}** : Hognestad eğrisinde beton maksimum birim kısalması
- ϵ_{co}** : Hognestad modelinde maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma
- ϵ_c** : Beton birim kısalması
- A_s** : Sheikh ve Üzümeri modelinde boyuna donatı enkesit alanı
- C** : Sheikh ve Üzümeri modelinde enine donatılar tarafından düzlem dışı hareketi önlenmiş boyuna donatılar arası mesafe
- ρ_{sh}** : Sheikh ve Üzümeri modelinde sargı donatısının sarılmış kesitte hacimsel oranı
- f_{sh}** : Sheikh ve Üzümeri modelinde enine donatı gerilmesi
- b_k** : Geliştirilmiş Kent ve Park modelinde etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının küçük boyutu (mm)
- $A(T1)$** : Birinci doğal titreşim periyodu $T1$ 'e karşılık gelen spektral ivme katsayısı
- A_o** : Etkin yer ivmesi katsayısı
- b_{cx}, b_{cy}** : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde dikdörtgen kesitte çekirdek alanı boyutları (Etriye merkezinden etriye merkezine)
- b_c** : Sarılmış kesit genişliği
- b_x** : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde enine donatının x doğrultusundaki kol

- uzunluğu
- b_y : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde enine donatının y doğrultusundaki kol uzunluğu
- α : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde etriye kolunun bc kenarı ile yaptığı açđ
- E** : Elastisite modülü
- ϵ_{coc} : Geliştirilmiş Kent ve Park modelinde maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma
- ϵ_{85u} : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde sarılmamış betonda düşen kol üzerinde dayanımın %85' ine karşı gelen birim şekil değiştirme
- F** : William-Warnke metodunda asal gerilme durumunun bir fonksiyonu
- f_1 : William-Warnke metodunda hidrostatik gerilme durumuna eklenecek olan iki eksenli basınç
- f_2 : William-Warnke metodunda hidrostatik hidrostatik gerilme durumuna eklenecek olan tek eksenli basınç
- S** : Kırılma yüzeyi
- f_c : Betonun tek eksenli basınç dayanımı
- f_t : Betonun tek eksenli çekme dayanımı
- f_{cb} : Betonun iki eksenli basınç dayanımı
- f_{ck} : Beton karakteristik basınç dayanımı
- f_{cc} : Geliştirilmiş Kent ve Park modelinde maksimum gerilme ywk
- f** : Geliştirilmiş Kent ve Park modelinde sargı donatısının minimum akma dayanımı (MPa)
- f_{co} : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde sarılmamış beton basınç dayanımı
- f'_{1} : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde etkili yanal basınç
- f'_{1x} : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde bcx kenarına dik olarak etki eden yanal basınç

- k_2** : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde kullanılan bir katsayı
- f'_{1y}** : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde bcy kenarına dik olarak etki eden yanal Basınç
- f_1** : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde yanal basınç
- s_1** : Saatçioğlu ve Ravzi modelinde boyuna donatılar arasındaki uzaklık
- l_s** : Geliştirilmiş Kent ve Park modelinde kesitteki sargı donatısı ve çirozların toplam uzunluğu
- z_c** : Geliştirilmiş Kent ve Park modelinde sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi
- z_u** : Geliştirilmiş Kent ve Park modelinde sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi
- ρ_s** : Geliştirilmiş Kent ve Park modelinde sargı donatısının hacimsel oranı
- hk** : Geliştirilmiş Kent ve Park modelinde etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının büyük boyutu (mm)
- ΔF_N** : Bina tepesine etkileyen ek eşdeğer deprem yükü
- G** : Ölü yük
- Q** : Hareketli yük
- P_d** : Hesap yükü
- Φ** : Donatı çeliği çapı simgesi
- I** : Bina önem katsayısı
- R_a** : Deprem yükü azaltma katsayısı
- $S(T)$** : Spektrum katsayısı
- s** : Enine donatı aralığı (mm)
- σ** : Eksenel gerilme
- F_i** : Katlara etkileyen eşdeğer deprem kuvveti
- P** : Modellerde kat seviyelerine etkileyen yayılı yük

- T** : Bina doğal periyodu
- T_A, T_B** : Spektrum karakteristik periyotları
- V_t** : Toplam eşdeğer deprem yükü
- W** : Toplam yapı ağırlığı
- W_i** : Kat ağırlığı
- θ** : Solid 65 sonlu elemanı içinde smeared donatının x eksenine ile yaptığı açı
- Ø** : Solid 65 sonlu elemanı içinde smeared donatının x-y düzlemi ile yaptığı açı
- ρ** : Donatı hacimsel oranı
- σ_h^a** : Ortamdaki hidrostatik gerilme durumu

1. GİRİŞ

Ulusal standartlarda belirtilmiş olan minimum donatı oranları, tüm sistemler için geçerli olan ve bu sistemlerin taşıyıcı elemanlarında minimum miktarda kullanılması gereken donatı oranları olarak belirtilmektedir. Fakat bu donatı oranları sistem fiziksel özeliği ve üzerine etki edecek yükler değıştikçe, çoğu durumda anlamsız alt sınırlar olarak kalmaktadır. O sistemdeki bir elemanın sahip olması gereken en az donatı miktarından çok daha düşük bir oranı gösterebilmektedir.

Bilindiği gibi deprem doğal bir afettir, yer kabuğunun ani bir hareketiyle ortaya çıkar. Yapıyı tabanından etkiler ve yapıda atalet kuvvetlerinin oluşmasına sebep olur. Deprem oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Deprem karmaşıklığı nedeniyle, aynı özelliklere sahip betonarme bir yapı veya eleman için her zaman aynı davranışı beklemek çok mantıklı değildir. Birincisi, tamamen aynı özellikleri barındıran betonarme bir eleman, planda farklı yerleştirilmesiyle farklı davranışlar sergileyebilir. İkinci olarak da, betonarme yapı sisteminde bir elemanın davranışındaki değışim, tüm sistemi etkileyebilir. Bu iki durumun da nedeni, monolitik yapı olan betonarme yapılarda, adaptasyonun, yani sistem elemanlarının birbiriyle birlikte çalışma, yardımlaşma ve etkileşiminin yüksek olmasıdır. Aşırı zorlanan elemanlara az zorlanan elemanlar yardım eder. Dolayısıyla tekil betonarme eleman deneysel davranışları ile pratikteki davranışlar birbirleriyle uyuşmayabilir. Benzer donatı oranlarına sahip ama farklı geometrili elemanlardan aynı davranış beklenemeyeceği gibi, birebir aynı elemanlardan da aynı davranış beklenemeyebilir.

Türk standartlarda belirtilmiş olan minimum donatı oranları, tüm sistemler için geçerli ve bu sistemlerin taşıyıcı elemanlarında minimum miktarda kullanılması gereken donatı oranları olarak belirtilmektedir. Fakat bu donatı oranları sistem fiziksel özeliği ve üzerine etki edecek yükler dikkate alındığında, olması gerekenden çok düşük olabilmektedir. Bu ve buna benzer durumlarda minimum donatı oranları herhangi bir anlam ifade etmemektedir. Bu yüzden, ön tasarıma yönelik olarak, minimum donatı oranlarını belirli katsayılarla bağı olarak yeniden düzenlemekte fayda vardır.

Bu çalışmada betonarme elemanların sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi ve ölü yük, hareketli yük ve deprem yük altında doğrusal olamayan analizleri yapılmıştır. Betonarme, iki farklı özelliğe sahip olan iki malzemedен oluşmaktadır.

Donatı çeliği her zaman elastik davranış gösterir ve beton ise inelastik bir davranış gösterir. Dolayısıyla iki farklı malzeme kompozit olarak birlikte çalışmaktadır. Donatısız betonun modellenmesi ile ilgili birçok araştırmacılar tarafından geliştirilmiş doğrusal olmayan malzeme modelleri mevcuttur. Betonun tüm doğrusal olmayan davranışlarının modellenmesi için çok detaylı bir şekilde plastisite ve sonlu elemanlar analizi bilgisi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında sonlu eleman analizi bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Betonarmenin sonlu elemanlar modelinin oluşturulması için çok sayıda farklı bilgisayar programları kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılanları ABAQUS ve ANSYS paket programlarıdır. Bu programlar birçok bilim insanı tarafından bilimsel çalışmalarda kullanılmıştır. Laboratuvar deneyleri sonuçları ABAQUS ve ANSYS sonuçları ile karşılaştırılmıştır ve sonuç olarak gerçeğe çok yakın değerler elde edilebildiği ispatlanmıştır (Anıl ve Belgin, 2007; Yavuzer, 2005; Özgür, 2005; Fanning, 2001).

Bu çalışma kapsamında sonlu eleman analizi için ANSYS paket programı tercih edilmiştir. Fakat her program gibi ANSYS'de avantaj ve dezavantajlara sahiptir. ANSYS ile modelleme ve kullanımı kolay ancak parametrelerinin anlaşılması ve belirlenmesi zordur. Bu yüzden çok sayıda hazır eleman modelleri mevcuttur ve kullanıcıları tarafında kullanılır. Sonlu eleman analiz programlarının kullanımı kullanıcılara zaman ve maliyet yönünden büyük avantajlar sağlanmaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada, bir betonarme sistem çerçevesi, deprem yükleri altında farklı donatı oranları ile modellenmiştir. Türk standartlarında gösterilen minimum oranların ne oranda artırılması ile tüm sistem davranışında ne oranda değişimler olduğu görülmeye çalışılmıştır. Bu amaçla aynı geometri ve farklı donatı oranlarındaki alt sistemler, kolon-perde rijitlik ve süneklikleri, kiriş süneklikleri, sistem enerji yutulması ve sistem yatay yük taşıma kapasiteleri açısından kıyaslanmıştır. Depreme dayanaklı yapı tasarımı projelendirmelerinde bir betonarme sistemin minimum donatı oranlarını güncelleştirerek yaklaşık değerler belirlenmesi hedeflenmiştir.

1.2. Literatür araştırması

Betonarme yapıların sonlu elemanlar çözüm metodunun ilk pratik kullanımında, betonarme elemanlardan kirişleri inceleyerek, beton ve donatı iki boyutlu olacak şekilde üçgen biçimde mesh'ler kullanarak doğrusal elastik bir malzeme modeli oluşturmuştur. Donatı ve beton aderans ilişkisi modellenmesinin yanı sıra, yük altında kalan betonlarda çatlak oluşumuyla ilgili tahminlerde bulunmuşlardır (Ngo ve Scordelis, 1967). Sonraki bilimsel çalışmalarda perde duvarlı sistemlerin üzerindeki deneysel çalışma sonuçlarıyla, sonlu eleman metodu ile yapılmış analiz sonuçları birbiri ile karşılaştırılmış ve birbirine oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir (Vallenas vd, 1979; Kotsovas vd, 1992). Bilimsel çalışmalarında, betonda çatlak meydana gelmesi ve ilerlemesini, kırılma mekaniği ve deneysel çalışmaların bilgilerini dikkate alarak açıklamıştır. Bunları, sonlu elemanlar metoduna göre kullanabilecek şekilde modellemiş ve kullanılmışlardır. Daha sonra beton ve donatı çeliği arasındaki etkileşim için yeni bağlantı elemanları belirlenerek modellenmiştir. Çalışmada, numunelerinin üzerinde yapılan deney sonuçları ile yöntem karşılaştırılmıştır ve modelin doğruluğu kanıtlanmıştır (Ashour ve Morley, 1993). Perde duvarlı bir sistem deney numunesinin deneysel sonuç verilerini, sayısal biçimde modellenen deney numunesiyle karşılaştırmışlardır. Aynı sistemin modelini sonlu elemanlar yöntemiyle doğrusal olmayan analizle yapmışlardır. Bu yöntemin betonarme sistemlerin taşıma gücü hakkında tahmini bilgi alabilmek için güvenle kullanabileceğini gösterilmişlerdir (Chan vd,1994). Betonarme çerçeve sistemlerdeki kolon- kiriş düğüm bölgelerini temsil edebilmesi için bir doğrusal olmayan sonlu eleman modeli oluşturmuşlardır. Modelin birebir oluşturulan sayısal analiz sonuçlarının doğruluğu, yaklaşık 16 adet numunenin deneysel sonuç verileri ile

karşılaştırılarak gösterilmiştir. Modelleme, geliştirilmiş bilgisayar teknolojisine bağlı olarak sonlu eleman analiz paket programları ile oluşturulmuş ve analizler yapılmıştır. Bu çalışmada perde duvarlı betonarme bir sistem modellenmiştir (Hamil vd, 2000). Üç boyutlu katı ve kabuk sonlu elemanlarla mikro modelleme, beton ve betonarme elemanlarının modellenmesi için sayısal modellerin geliştirilmesi ile çok gerçekçi ve inandırıcı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Beton ve donatı çeliğinin malzemesinin doğrusal olmayan davranışının deneysel sonuçlara daha yakın sayısal analiz sonuçlarına ulaşılabilmektedir (Kwak ve Kim, 2004; Palermo ve Vecchio, 2007; Nicolas vd 2008). ANSYS vb sonlu eleman analiz programında, bu tip modellemeler için lazım olan eleman ve malzeme özellikleri tanımlanır ve çeşitli analizler sağlanır (Ansys, 2013). Fakat bu tür çalışmalarda genel olarak ölçek bakımından küçük elemanlar (kolon- perde- giriş vb.) yapılmaktadır. Bu durumun bir sebebi modelleme ve doğrusal olmayan analizin uzun zaman almasıdır. Diğer bir sebep ise laboratuvarında üzerine test yapılan deney numune sonuç verileri ile karşılaştırılabilir biçimde sonuç verilerin uyumu ve denetiminin yapılması gereğidir. Bu sebeplerden hariç yapılan bilimsel çalışmalarda ve literatür araştırmalarında, tüm bir yapısal sistemin bu tip analizine çok az sayıda rastlanmıştır (Greesma vd, 2011; Musmar, 2013; Hidalgo vd, 2002). Betonarme sistemlerindeki donatı oranlarının etkisi, bazı sonlu elemanlarla modelleme ve analiz çalışmalarında incelemiştir. Betonarme perde duvarların taşıma gücü kapasitesi ve deprem davranışlarını araştırmak için perde sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan perde sonlu eleman modellerinde deney ile elde edilen sonuç verileri kullanılmıştır. Aynı geometri özelliklerine ve farklı donatı biçimlerine sahip betonarme perde duvarların yük- deformasyon eğrilerini elde etmek için ANSYS sonlu eleman paket programı tercih etmiştir. ANSYS sonlu eleman analizleri ve deneylerin sonuçları birbirine oldukça yakın tespit etmiştir (Bessason ve Sigfusson, 2001). Betonarme kolonların şekil değiştirme eğrilerinin ilerlemesini incelemişlerdir. ANSYS sonlu eleman programından faydalanarak betonarme kolonlarda deformasyona sebep olan etkilere ait parametreleri detaylı bilimsel bir çalışmada araştırmışlardır. Nümerik yük-deformasyon eğrileri ‘pushover’ analiz ile elde edilmiştir. Çalışmada beton için geliştirilmiş Kent ve Park modeli kullanılmıştır. Kolonlar, 8 düğüm noktalı brick elemanlar yardımıyla modellenmiştir ve bunların kırılmaya ve ezilmeye yatkın olduğu kabulü yapılmıştır. Beton mukavemetinin, kolon enine ve boyuna donatı oranlarının, kolon narinliğinin, kolon aksenal yük miktarının ve kolon boyuna donatı

akma mukavemetinin kolonun toplamdaki deformasyon kabiliyetine olan etkisini belirlemek için doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Kolon elemanların deformasyon kapasitelerini etkileyen parametreleri; enine donatı, kolonun narinliği, donatı oranı ve boyuna donatıların mukavemet değerleri ortaya çıkmıştır. Kolon boyuna donatı oranının, kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerine oldukça fayda sağladığı, ancak kolonun deformasyon özelliğine herhangi bir faydası olmadığı görülmüştür (Erduran ve Yakut, 2003). Aynı geometriye sahip olan 3 perde duvarlı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller statik yatay kuvvet altında 3 farklı standarda (ASCE/SEI41, Eurocode 8, Türk deprem yönetmeliği) göre donatılandırılmıştır. Modeller sonlu eleman analiz programı ANSYS ile çözülmüştür. Çözüm sonuç verileri standartlar ile karşılaştırılmıştır (Kazaz vd, 2012). Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde bulunan iki ila sekiz katlı konut ve ticari tipi betonarme yapılar hakkında ön tasarım, boyut ve donatı dizaynı ile ilgili önerileri yapmıştır (Ersoy, 2013). Çalışma kapsamında betonarme bir model oluşturmuş, oluşturulan sayısal sonlu eleman modeli üzerinde, sistemdeki donatı oranlarının değişiminin, sistem deprem yatay yükleri altında sisteme verdiği davranışları incelenmiştir. Ön tasarım ile ilgili minimum donatı oranlarıyla için tavsiyelerde bulunmuştur (Emiroğlu, 2015). Bilimsel bir makale çalışmasında oluşturdukları perde duvarlı betonarme sistemi ANSYS programı yardımıyla analiz etmiş, analiz sonuçlarını dikkate alınarak modellenin deprem yükleri altında davranışını incelemişlerdir (Koç ve Emiroğlu, 2017). ANSYS ile modellenmiş betonarme sistemdeki tüm taşıyıcı elemanların donatı oranları değiştirilerek aynı geometri ve farklı donatı oranlarına sahip modeller üzerinde deprem kuvvetleri altında sistem davranışının donatı oranlarına göre değerlendirilmesini yapmıştır (Susam, 2019). Bilimsel makalede ele alınan referans betonarme sistemlerin bünyesindeki elemanların donatı oranlarının değiştirilmesiyle elde edilen farklı modeller üzerinde varyasyonel değerlendirmeler yapmışlardır (Koç ve Emiroğlu, 2015).

Bu çalışmada tipik betonarme çerçeve sisteminde örnek yapılarda geçerli olabilecek, ön tasarıma yönelik bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmada betonarme sistemlerin optimum dizaynı için, önceden belirlenmiş betonarme kolon ve kiriş kesit veri tabanları yapılandırıp kullanılmıştır. Veri tabanındaki kesitler tüm yönetmelik gereklerine ve pratik kısıtlamalara cevap verecek şekilde yapılandırılmıştır (Kwak ve Kim, 2008).

2. MALZEME DAVRANIŞLARININ MATEMATİKSEL MODELLERİ

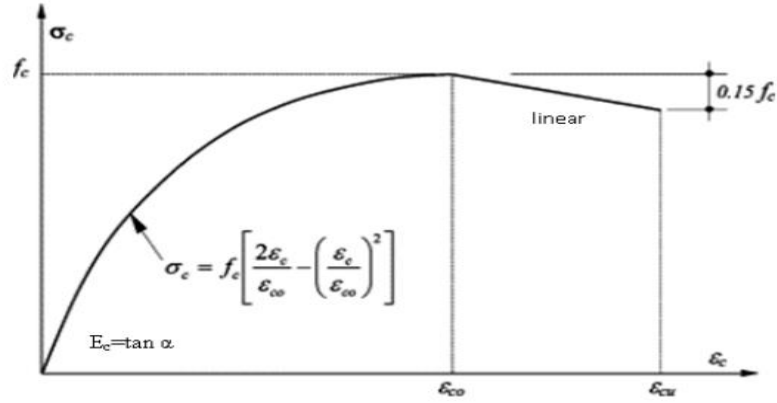
Betonarme; beton bünyesine çelik donatıların yerleştirilmesi ile elde edilen bir kompozit malzemesidir. Betonarme, beton ile çeliğin beraber çalışmasıyla birbirinin zayıf yönlerini tamamlaması prensibine dayanır. Gerçekte beton, basınç dayanımı yüksek ve çekme dayanımı düşük özelliklere sahip bir malzemedir. Bu nedenle betona çelik donatıları yerleştirilerek betonda oluşan çekme gerilmeleri karşılanır. Beton, çelik malzemeyi sararak; donatı çeliklerini korozyon ve yangın gibi dış etkilerden korumaktadır. Kompozit malzemeler için en önemli hususlardan biri de malzemelerin beraber çalışmasıdır. Bu konuda beton ile çelik uyum içerisinde (aderans). Betonun çekme dayanımı düşük ve gevrek bir malzeme olması nedeniyle depreme dayanıklı yapılarda kullanabilmesi için sünekliğinin artırılması şarttır. Sünekliğin artırılması için farklı yöntemler ve uygulamalar (Lifli polimer sargılama, çelik tüp, çelik fiber vb.) mevcuttur. Dünyada mevcut yapılarda en yaygın kullanılan yöntem, beton çekirdeğin sargı (enine) donatılarıyla sarılmasıdır. Betonun basınç ve birim şekil değiştirme eğrilerinin (σ - ϵ) incelenmesi ile ilgili oldukça fazla çalışma mevcuttur.

2.1. Basınç kuvvetleri altındaki beton için geliştirilmiş matematiksel modeller

Betonarme elemana betonun katkısı, çoğu kez betonun sadece basınç altında maruz kaldığı durumda dikkate alınır. Betonun gerilme-şekil değiştirme özellikleri genellikle; taban çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm olan, uygun koşullarda hazırlanmış silindir numunelerin tek eksenli yüklemeye maruz bırakılması sonucunda elde edilir. Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisine etki edecek çok farklı değişken olduğu bilinmektedir; betonun dayanımı, uygulanan yükün tipi, yükün uygulama hızı, yük geçmişi, kesit geometrisi, sargı etkisi bu değişkenlerden en önemlileridir. Bu nedenle tek bir gerilme-şekil değiştirme eğrisinden bahsetmek doğru değildir. Bu yüzden araştırmacılar beton için birçok gerilme şekil değiştirme modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada, en yaygın olan modellemelerden olan Hognestad, geliştirilmiş Kent ve Park, Sheikh ve Üzümeri, Saatçioğlu ve Ravzi Modelleri ele alınmıştır (Dede, 2006).

2.1.1. Hognestad modeli

Hognestad tarafından sargısız betonlar için önerilmiştir. Normal dayanımın davranışını temsil etmek amacıyla gerilme-şekil değiştirme (uzama) eğrisi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Hognestad,1951). Şekil 2.1.' de gösterildiği gibi, sargısız beton için tatmin edici bir model sağlanmaktadır. Modelde, tepe kısmına kadar σ - ϵ eğrisi ikinci dereceden bir parabol varsayılmış ve düşüş kısmının doğrusal olduğu varsayılmıştır. Genellikle betonun silindirik mukavemetinin %85'i ($f_c = 0.85 f_{ck}$) olarak alınan maksimum gerilme ve şekil değiştirme' ye karşılık gelen maksimum basınç gerilmesi (ϵ_{co}) 0.002 olarak alınmıştır (Ersoy, 2012). Denklem (2.1)'le ifade edilmiştir.



Şekil 2.1. Hognestad Modeli

$$\epsilon_{co} = 2f_c/E_c \quad (2.1)$$

Elastisite modülü E_c için modelin denklem (2.2) gibi olması önerilmektedir. Denklemde E_c ve f_c Mpa cinsinden ifade edilmelidir.

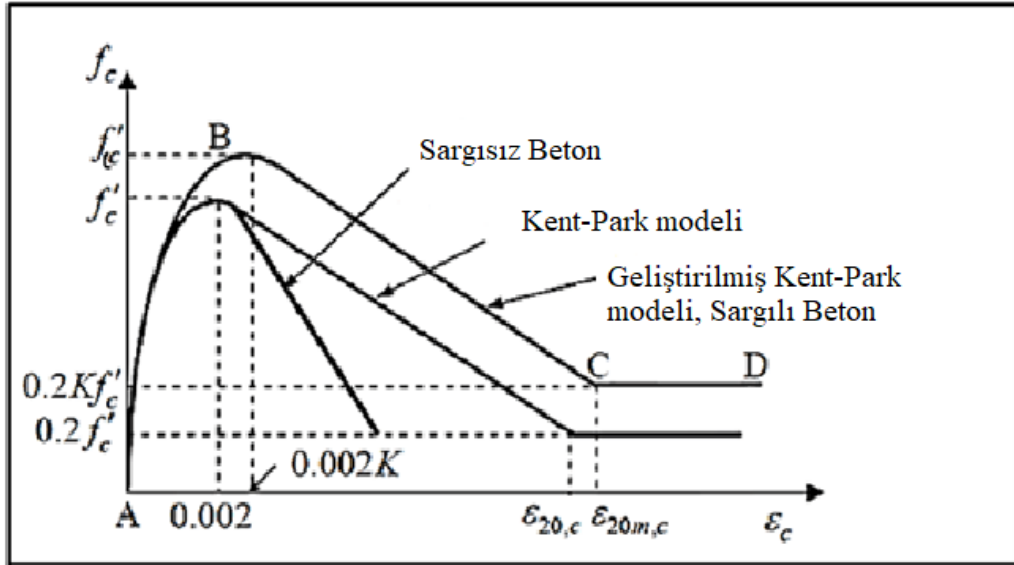
$$E_c = \tan \alpha = 126800 + 460 f_c \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (2.2)$$

Eğrinin tepesine kadar olan kısım (ikinci derece parabol) denklem (2.3) ile ifade edilmektedir.

$$\sigma = f_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{co}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

2.1.2. Kent Park Modeli

Kent ve Park tarafından (1971)'de sargısız ve sargılı betonlar için, σ - ϵ ile ilgili bir model önerilmiştir ve Şekil 2.2 de gösterilmektedir. Bu modellemede Hognestad'ın modeli geliştirilmiştir ve maksimum gerilme kısmında σ - ϵ davranışı daha iyi bir şekilde tanımlanmıştır. Kent ve Park bu modelde sargısız beton gerilmesinin f_c 'den f_{cc} 'ye değişimi ile maksimum gerilmeye denk gelen birim şekil değiştirmenin ϵ_{co} 'dan ϵ_{coc} ' yükseldiği kabul edilmektedir (Kent, 1971; Roy, 1964). Sargılı ve sargısız betonlar için geliştirilmiş olan bu modelin, maksimum basınç gerilmesine kadar olan kısmı Hognestad modeline benzer ikinci dereceden bir parabol, maksimum gerilmeden sonraki kısmı doğrusal azalan bir doğru olarak gösterilir. Doğrusal eğimli olan kısmı öncelikle beton mukavemetinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Düşen kısımlar için, sargısız betonunun eğimi, sargılıdan daha büyüktür. Bunun nedeni, elastik donatı çeliğinin betonu sararak daha fazla şekil değiştirmesini sağlamasıdır. Sargısız betonda maksimum birim şekil değiştirme ϵ_{cu} iken, sargılı betonda böyle bir sınırlama yoktur. Sargısız beton için $\epsilon_{cu} = \epsilon_{50U}$ veya 0,004 alınabilir (Ersoy, 2012).



Şekil 2.2. Geliştirilmiş Kent Park Modeli

Geliştirilmiş Kent ve Park modelinde gerilme-şekil değiştirme eğrisini tanımlayan denklemler aşağıdaki gibidir (Ersoy, 2012).

Parabolik eğri bölgesi için;

- Sargısız betonda:

$$\sigma = f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$

ε_{co} : normal dayanımlı betonlar için yaklaşık 0.002 alınabilir.

- Sargılı betonda:

$$\sigma = f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_{co} = K \varepsilon_{co} \quad (2.6)$$

Gerilmenin azaldığı doğrusal kısım için;

- Sargısız betonda:

$$\sigma = f_c [1 - Z_u, (\varepsilon_c - \varepsilon_{co})] \quad (2.7)$$

$$Z_u = \frac{0,5}{\varepsilon_{50u} - \varepsilon_{co}} \quad (2.8)$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0.285 f_c}{142 f_c - 1000} \geq \varepsilon_{co} \quad (2.9)$$

- Sargılı betonda:

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yk}}{f_c} \quad (2.10)$$

$$\sigma_c = f_{cc} [1 - Z_u, (\varepsilon_c - \varepsilon_{co})] \geq 0.2 f_{cc} \quad (2.11)$$

$$Z_c = \frac{0,5}{\varepsilon_{50u} - \varepsilon_{50h} - \varepsilon_{coc}} \quad (2.12)$$

$$\varepsilon_{50h} = 0.75 \rho_s \left(\frac{b_k}{s} \right)^{1/2} \quad (2.13)$$

f_c : sargısız betonun dayanımı (genel olarak $f_c = f_{ck}$ alınır)

f_{cc} : sargılı beton dayanımı $f_{cc} = f_{c1} = K f_c$

ε_{coc} : sargılı beton maksimum gerilme durumunda birim şekil değiştirme

ε_{co} : sargısız beton maksimum gerilme durumunda birim şekil değiştirme

Z_u : sargısız beton σ - ε eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi

Z_c : sargılı beton σ - ε eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi

b_k : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının küçük boyutu (mm)

h_k : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının büyük

boyutu (mm)

ρ_s : sargı donatısının beton içindeki hacimsel oranı

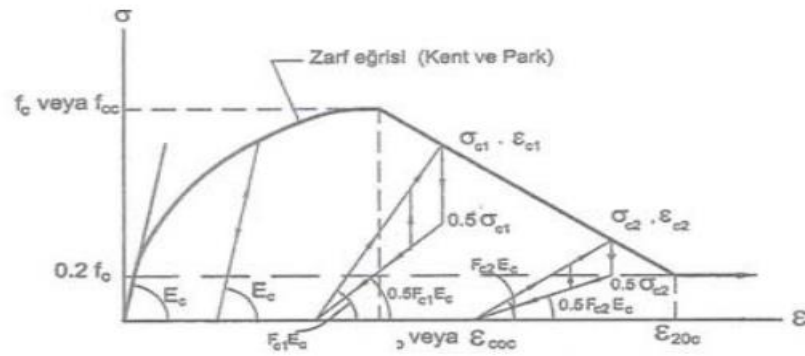
I_s : Kesitteki etriye donatısı ve çirozların toplam uzunluğu

$f_{y,w,k}$: sargı donatısının minimum akma dayanımı (Mpa)

S : Sargı donatısı aralığı (mm)

2.1.3. Thompson ve Park modeli

Bu modelde bazı dinamik etkiler altında (deprem vs) tersinir tekrarlı yükleme durumları söz konusudur. Bu tip yüklemelerden dolayı betondaki gerilmelerde sırayla azalma ve artmalar gibi etkileri ortaya çıkabilir. Deneysel çalışmalar için σ - ϵ eğrisinin tersinir tekrarlanır yükleme altında ortaya çıkan gerilmelerine yönelik olarak zarf eğrisi oluşturulmuştur. Bu durumda tersinir tekrarlanır yükler altındaki beton σ - ϵ eğrisini elde edebilmek için, betondaki gerilme azalma ve artma ilişkilerinin (boşalma-yükleme) tanımlanması yeterli olmaktadır. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi $\epsilon_c < \epsilon_{co}$ olması durumunda ($\epsilon_{co}=0.002$) yükün boşalma eğrisi, gerilme-şekil değiştirme eğrisinin orijinle yaptığı teğete paralel olmaktadır. Eleman tekrar yüklendiğinde de, σ - ϵ aynı şekilde değişim göstermektedir. $\epsilon_c > \epsilon_{co}$ olduğu durumlarda ise yükün boşalma eğrisi doğru ile gösterilmektedir (Ersoy, 2007).



Şekil 2.3. Thompson ve Park beton modeli

$$E_c = 12680 + 460f_c \text{ (Mpa)} \quad (2.14)$$

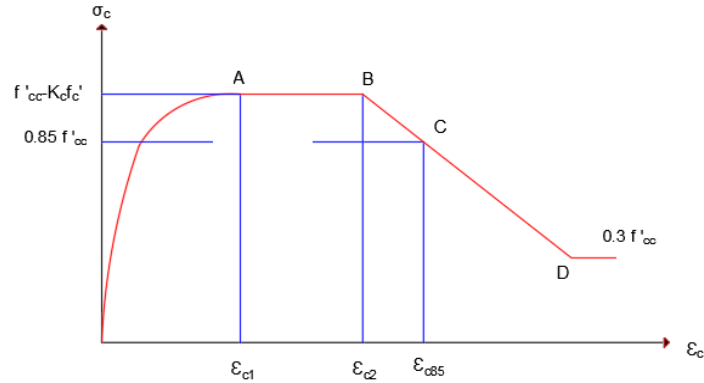
$$f_{ci} = 0.8 \cdot \frac{0.7(\epsilon_{ci} - 0.002)}{\epsilon_{20c} - 0.002} \quad (2.15)$$

$$\varepsilon_{20c} = 1.6(\varepsilon_{50u} - \varepsilon_{50h}) - 0.6\varepsilon_{c0c} \quad (2.16)$$

Burada; f_{ci} beton elastisite faktörüdür. Beton elastisite faktörü, her yükleme aşamasında kullanılan elastisite modülünü vermektedir.

2.1.4. Sheikh- Üzümeri Modeli

Sheikh ve Üzümeri tarafından (1982) geliştirilmiş olan model Şekil 2.4'te verilmiştir. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi maksimum gerilmeye kadar parabol olarak artmaktadır. Eğri, maksimum gerilmeye (ε_{c1}) ulaştıktan sonra yatay paralel olarak birim şekil değiştirme değeri ε_{c2} 'ye ulaşınca kadar devam etmektedir. Diğer bir deyişle beton sabit gerilme altında şekil değiştirmeye devam etmektedir. ε_{c2} Değerinden sonra eğri, doğrusal olarak inişe geçmekte, bu sırada beton moment kapasitesi azalırken şekil değiştirmeler devam etmektedir. Ayrıca çekirdek betonu sargı donatılarının eksenleri arasında kalan bölgedir (İlki, 1999; İlki ve Kumbasar 2001).



Şekil 2.4. Sheikh ve Üzümeri σ - ε eğrisi

$$K_c = 1 + \frac{b_c^2}{140P_{occ}} \left[\left(1 + \frac{nC^2}{5.5b_c^2} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_c} \right)^2 \right] \sqrt{\rho_{sh} f_{sh}} \quad (2.17)$$

$$P_{occ} = 0.85f'_c (b_c^2 - A_s) \quad (2.18)$$

$$f_{cc} = K_c f'_c \quad (2.19)$$

Burada;

b_c : Sarılmış kesit genişliği

S : Donatı merkezinden, donatı merkezine etriye donatısı aralığı (mm)

- ρ_{sh} : Etriye donatısının ilgili kesitte hacimsel oranı
- A_s : Boyuna donatı kesit alanı
- f'_c : Sargısız beton karakteristik silindirik basınç dayanımı
- f'_{cc} : Sargılı beton karakteristik silindirik basınç dayanımı
- f_{sh} : Enine donatı gerilmesi
- n : Kesitteki boyuna donatı sayısı
- C : Enine donatılar tarafından düzlem dışı hareketi engellenmiş boyuna donatılar arası mesafe
- σ_c : Birim alana düşen beton basınç gerilmesi
- ϵ_c : Beton birim şekil değiştirmesi
- ϵ_{c1} : A noktadaki birim şekil değiştirme
- ϵ_{c2} : B noktadaki birim şekil değiştirme
- ϵ_{c85} : C noktadaki birim şekil değiştirme

Denklem (2.50), f_{sh} ve ρ_{occ} ' nin sırası ile Mpa ve KN birimleri ile kullanılması durumunda geçerlidir. Bu modelde kullanılan şekil değiştirmeler de aşağıdaki bağlantılarla ifade edilmiştir.

Hesaplardan bulunan “ K_c ” katsayısı yardımıyla eğrinin

Birinci kısmı;

$$\epsilon_{c1} = 80K_c f'_c \cdot 10^6 \quad (2.20)$$

İkinci kısmı;

$$\epsilon_{c2} = \epsilon_{co} \left[1 + \frac{248}{c} \left(1 - 5 \left(\frac{s}{b_c} \right)^2 \right) \frac{\rho_{sh} f_{sh}}{\sqrt{f'_c}} \right] \quad (2.21)$$

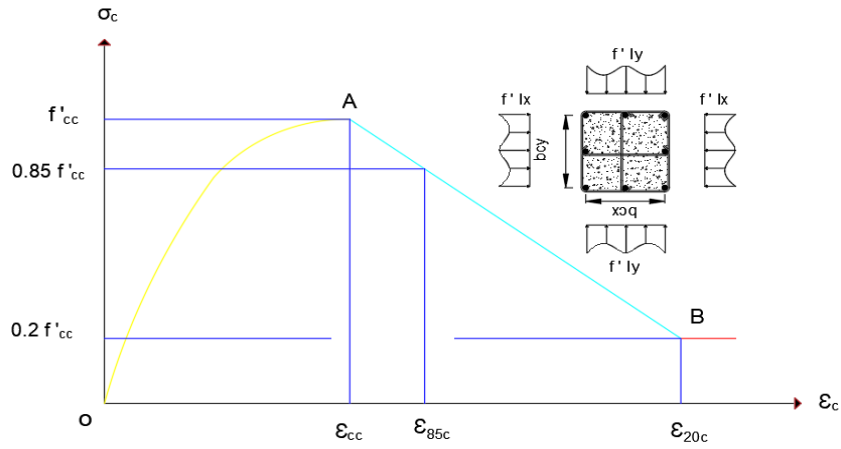
Üçüncü kısmı ;

$$\epsilon_{c85} = 0.225 \rho_{sh} \sqrt{\frac{b_c}{s}} + \epsilon_{c2} \quad (2.22)$$

Bağlantılarıyla ifade edilir.

2.1.5. Saatçioğlu Ravzi Modeli

Çok sayıda deneysel çalışma neticesinde, gerilme ve şekil değiştirme arasında ilişki kurmak için çözümsel bir model önermiştir. Bunu, dikdörtgen ve dairesel sargı donatısı durumlarında kullanılabilen modeller için önerilmişlerdir (Saatçioğlu ve Ravzi, 1992). Bu model ikinci derece parabolik azalan şeklinde yükselen bir dal, sonrasında en yüksek dayanımın %20' sine kadar doğrusal azalan bir dal ve dayanımın %20'sinden sonra yatay bir şekilde devam eden daldan oluşmaktadır. Bu model toplam üç farklı daldan oluşmaktadır (şekil 2.5).



şekil 2.5. Saatçioğlu ve Ravzi Modelli

$$f'_{cc} = f_{co} + k_1 f_1' \quad (2.23)$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} (1 + 5K) \quad (2.24)$$

genelde $\epsilon_{co} = 0.002$ alınabilir.

$$K = \frac{k_1 f_1'}{f_{co}} \quad (2.25)$$

$$K_1 = (6.7)^{-0.17} \quad (\text{Gerilme Mpa olarak kullanılmalıdır.}) \quad (2.26)$$

$$f_1' = k_2 f_1 \quad (2.27)$$

$$f_1 = \frac{2A_{sh} f_{yh}}{d_c s} \quad (\text{dairesel çekirdek}) \quad (2.28)$$

$$f_1 = \frac{\Sigma A_{sh} f_{yh} \sin \alpha}{s b_c} \quad (\text{kare çekirdek}) \quad (2.29)$$

$$f_1 = \frac{f'_{1x} b_{cx} + f'_{1y} b_{cy}}{b_{cx} + b_{cy}} \quad (\text{dikdörtgen çekirdek}) \quad (2.30)$$

Bu ifadelerde;

f_{co} : Sarılmış beton karakteristik basınç dayanımı

f'_1 : Etkili yanıl basınç

α : Etriye kolunun bc kenarı ile yaptığı açı

K_2 : Dairesel ve küçük aralıklı sargı donatılı karesel kesitlerde 1 değerini alırken, diğler durumlar için aşağıda verilen bağlantı yardımı ile belirlenmelidir.

σ_c : Beton basınç gerilmesi

ϵ_c : Beton birim şekil değıştirmesi

f'_{1x} : b_{cx} kenarına dik olarak etki eden yanıl basınç

f'_{1y} : b_{cy} kenarına dik olarak etki eden etkili yanıl basınç

b_{cx}, b_{cy} : Dikdörtgen kesitte çekirdek alanı boyutları (Etriye merkezinden etriye merkezine).

$$k_2 = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_c}{s}\right) \left(\frac{b_c}{s_1}\right) \left(\frac{1}{s_1}\right)} \leq 1,0 \quad (2.31)$$

Burada;

s_1 : Boyuna donatılar arasındaki uzaklık

b_c : Sarılmış kesit genişliği (Etriye merkezinden etriye merkezine)

f_1 : Yanıl basınç

Grafikte yükselen kol için önerilen parabolik ifade denklem (3.32)'da gösterildiği gibidir.

$$f_c = f_{cc} \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{(1+2k)}} \quad (2.32)$$

Düşen doğrusal kol için ise, bu kol üzerinde dayanımın %85'ine karşı gelen birim şekil değıştirme denklem (2.33) ile tanımlanmıştır.

$$\epsilon_{85} = 260 \rho_{sh} \epsilon_{cc} + \epsilon_{85u} \quad (2.33)$$

$$\rho_{sh} = \frac{\Sigma A_{sh}}{s(b_{cx} + b_{cy})} \quad (2.34)$$

Bu ifadeler,

ϵ_{85u} : sarılmamış betonda düşen kol üzerinde dayanımın %85'ine karşı gelen birim şekil değiştirme (Deneysel veri olmaması durumunda Saatçioğlu ve Ravzi ϵ_{85u} için 0.0038 değerini önermektedir).

ϵ_{85c} : 0.85 f'_{cc} 'ye karşılık gelen birim şekil değiştirme (sargılı)

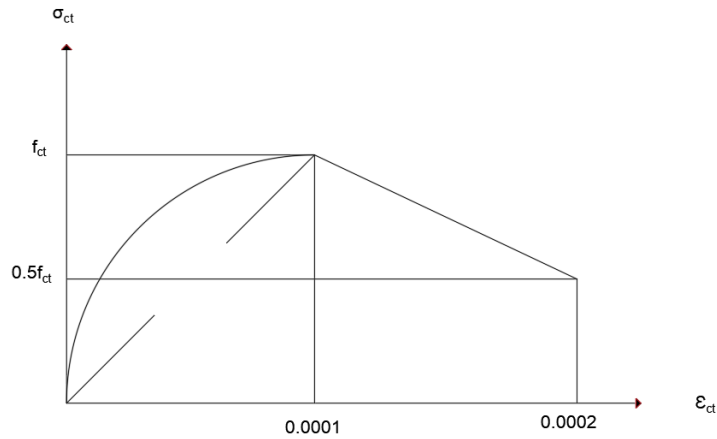
ρ_{sh} : Enine donatının y doğrultusundaki kol uzunluğu

S : Enine donatı aralığı

A_{sh} : Enine donatı enkesit alanı

2.2. Betonun Çekme Kuvvetleri Altındaki Davranışı

Çekme için önerilen σ - ϵ modeli şekil 2.6'da gösterilmiştir. Basınç modeline benzer bir biçimde eğrinin ilk bölümü ikinci derece bir parabol, ikinci bölümü ise bir doğru ile tanımlanmıştır. Betonda çekme basınç kadar önemli olmadığından, bazı problemler için şekilde kesik çizgilerle gösterildiği gibi, parabol bir doğru ile de değiştirilebilir (Ersoy, 2012).



Şekil 2.6. Beton için çekme σ - ϵ modeli

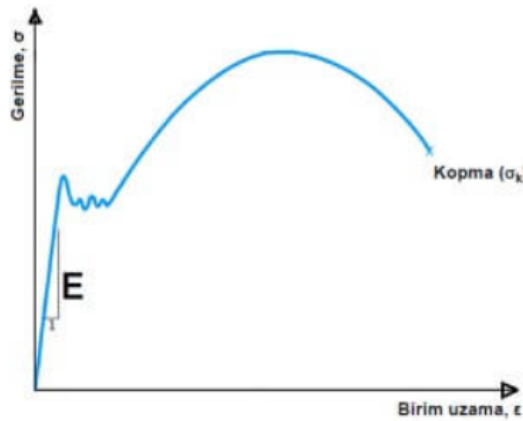
2.3. Betonarme Çeliğinin İşlevi ve Davranışı

Betonun çekme bölgelerinde oluşabilecek çatlakları ve aşırı yüklenme halinde oluşabilecek çekme gerilmeleri ile ani göçmeleri önlemek amacıyla, çekme bölgelerine donatı çeliği yerleştirilerek betonarme elemanlar oluşturulur. Ayrıca basınç kuvvetini almak için, sargı donatısı olarak da kullanılır. Çekme gerilmesi altında maruz kalan donatı çeliği orantılılık sınır gerilmesine kadar elastik lineer

davranış göstermektedir; bu bölgede Hook kanunu geçerlidir. Kuvvet artıkça malzeme kendi elastik özelliklerini kaybedip akmaya başlar ve akmada sonra plastik şekil değiştirme aşamasına geçer. Bu aşamada Hook kanununun geçerliliği yok olur. Kuvvet daha fazla artıkça malzeme pekleşmeye başlar ve arkasında kopma meydana gelir (Ersoy, 2012). (Şekil 2.7)

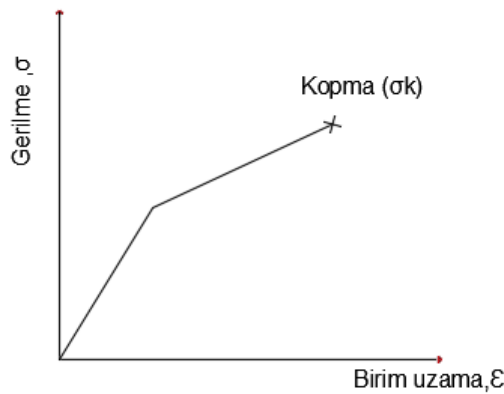
$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (2.35)$$

Denklem (2.35)' te E elastisite modülünü, ϵ birim şekil değiştirmeleri, ise gerilmeyi ifade etmektedir.



Şekil 2.7. Beton donatı çeliği σ - ϵ eğrisi

Araştırmacılar tarafından Donatı çeliği σ - ϵ grafiği, hesap kolaylığı bakımından yenilenmiş σ - ϵ grafiği olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. (Şekil 2.8).



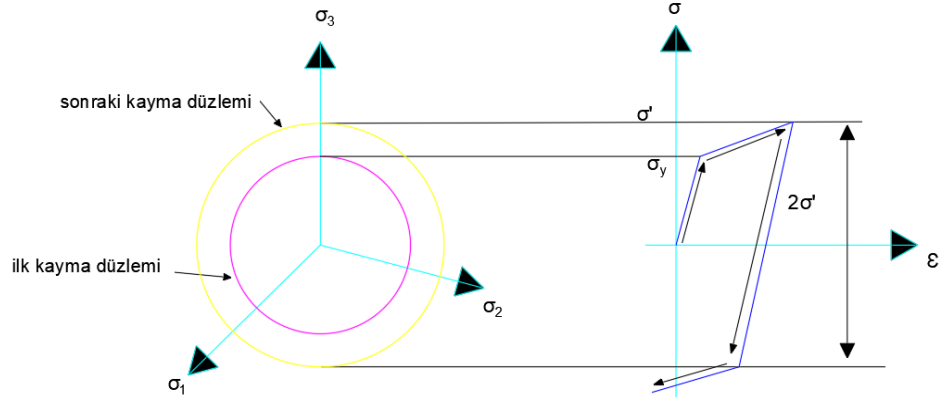
Şekil 2.8. Betonarme donatı çeliği için idealize edilmiş σ - ϵ eğrisi

2.4. Pekleşme Şekilleri

Malzemelerin üzerinde uygulanan yükler altında elastik bölgeyi geçerek kalıcı deformasyona uğramasına ve buna bağlı olarak mukavemet ve rijitlik değerlerinin

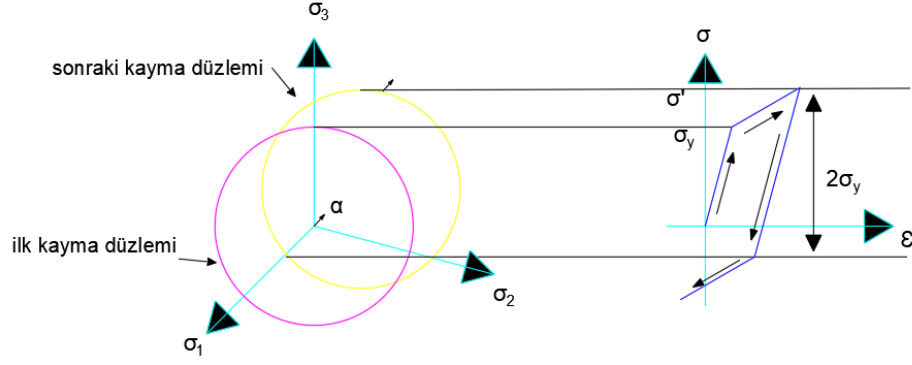
artmasına pekleşme denilmektedir. Diğer bir ifade ile açıklamaya gerek olursa, pekleşmenin anlamı, akma yüzeyinin şeklinin ve boyutunun plastik deformasyon (yükleme) süresince değişmesidir. Araştırmacılar, tersinir tekrarlı kuvvetlerin malzemeye olan etkisini araştıran çalışmalarda malzemelerin gerilme-şekil değiştirme grafiklerinin birçok modelini oluşturulmuştur. Bunlardan en yaygın kullanılan olanlar ise; İzotropik ve Kinematik pekleşmedir.

İzotropik Pekleşme: Plastik akma boyunca kayma planı, yüklemenden önceki plana göre düzenli bir artış göstermektedir. Şekil 2.9’da görüldüğü gibi, tersinir basınç akma gerilmesi, tersinir yüklemenden önceki akma gerilmesine eşittir (ANSYS, 2010). Genelde büyük şekil değiştirmelerin olduğu ve yükün orantılı olarak uygulandığı modellemelerde kullanılmaktadır.



Şekil 2.9. İzotropik pekleşme

Kinematik Pekleşme: Akma yüzeyleri önceki formunu korumakta, sadece konum değiştirmektedir. Tersinir yüklemelerde şekil 2.10’da görüldüğü gibi $2\sigma_y$ mesafesi daima korunmaktadır (ANSYS, 2010). Bu, Bouschinger etkisi olarak bilinmektedir. Bouschinger etkisinden dolayı büyük şekil değiştirmeli simülasyonlarda bu model pek uygun olmamaktadır. Genelde küçük şekil değiştirmeli, tersinir tekrarlanır yüklemeli modellemelerde kullanılmaktadır.



Şekil 2.10. Kinematik pekleşme

2.5. Betonda Göçme Davranışı

ANSYS programı, betonun çok eksenli gerilme durumu altındaki davranışını belirlemek için Willam ve Warnke beton kırılma modelini kullanılmaktadır (Willam VE Warnke, 1975). Modelleme (2.36) denklemi ile ifade edilmektedir.

$$\frac{F}{f_c} - S \geq 0 \quad (2.36)$$

F : Asal gerilme durumunun fonksiyonu ($\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$)

S : Tablo 2.1 gösterilen beş parametre ($f_t, f_c, f_{cb}, f_1, f_2$) ve asal gerilme terimleriyle ifade edilen kırılma yüzeyi

f_c : Beton tek eksenli basınç mukavemeti

$\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$: Asal gerilmeler

Malzemelerin davranış durumunu belirlemede kullanacak bu denklem (2.36) üç farklı şekilde değerlendirilebilir

1. Mevcut eşitsizlik durumu sağlanırsa malzeme çatlamaya veya kırılmaya uğrar.
2. Tüm gerilmelerden basınç kuvveti gelirse, malzeme ezilmeye uğrar.
3. En az bir tane gerilmenin çekme olması durumunda malzeme çatlayacaktır.

Malzemenin üç boyutlu gerilme durumunda ortaya çıkan kayma yüzeylerini belirlemek için ek dayanım parametrelerine ihtiyaç vardır. Bu parametreler ($f_t, f_c, f_{cb}, f_1, f_2$) beş adet olup, sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedirler.

Tablo 2.1. Willam – Warnke modeline ait bazı değişkenler

Sembol	Açıklamalar
f_t	Tek eksenli çekme dayanımı
f_c	Tek eksenli basınç dayanımı
f_{cb}	İki eksenli basınç dayanımı
σ_h^a	Ortamdaki hidrostatik (üç eksenli basınç) gerilme durumu
f_1	Hidrostatik gerilme durumuna (σ_h^a) eklenecek olan iki eksenli
f_2	Hidrostatik gerilme durumuna (σ_h^a) eklenecek olan tek eksenli

Kırılma yüzeyini bulmak için en az iki parametre (f_c ve f_t) gereklidir. Programla yüzeyinin tam belirlenebilmesi için başka parametreler bu iki esas parametrelerin fonksiyonu olarak program tarafından otomatik olarak atanır.

$$f_{cb} = 1.2f_c \quad (2.37)$$

$$f_1 = 1.45f_c \quad (2.38)$$

$$f_2 = 1.725f_c \quad (2.39)$$

Bu değerlerin, hidrostatik gerilmenin (σ_h) denklem (2.40)'ı sağlamadığı durumlarda, kullanıcı tarafında programa manuel olarak girilmesi gerekmektedir.

$$\sigma_h \leq \sqrt{3}f_c \quad (2.40)$$

$$\sigma_h = \frac{1}{3}(\sigma_{xp} + \sigma_{yp} + \sigma_{zp}) \quad (2.41)$$

Asal gerilmeler şöyledir:

$$\sigma_1 = \max(\sigma_{xp} + \sigma_{yp} + \sigma_{zp}) \quad (2.42)$$

$$\sigma_1 = \min(\sigma_{xp} + \sigma_{yp} + \sigma_{zp}) \quad (2.43)$$

ve $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ tür.

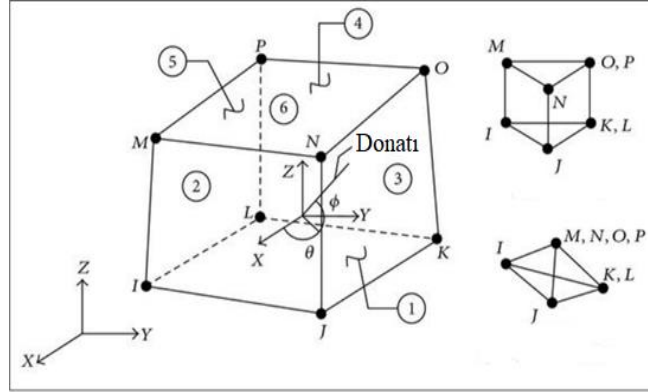
Tablo 2.2. betonda yenileme durumları

$0 \geq \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$	Ezilme
$\sigma_1 \geq 0 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$	Çatlama
$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq 0 \geq \sigma_3$	Çatlama
$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \geq 0$	Çatlama

2.6. ANSYS programında Beton ve Betonarme Davranışı Tanımlamaları

Beton ve betonarme elemanları ANSYS programında tanımlanması için program içeriğinde oluşturulmuş Solid 65 isimli sonlu eleman kullanılmaktadır. Solid 65 elemanı 3 boyutlu uzayda her biri 3 serbestlikli 8 düğüm noktasına sahiptir. Beton ve Betonarmenin plastik deformasyon yapma, ezilme, sünme, çatlama vb. karakteristik özelliklerini bünyesinde barındırır. Solid 65 elemanı mesh işleminden sonra oluşan sonlu eleman parçalarında donatı çelikleri hacimsel oran (smeared) olarak dağıtılabilmektedir. Hacimsel dağıntık donatı durumu, donatıların X, Y, Z düzlemleriyle yaptığı açılardan faydalanarak tanımlanmaktadır. Hacimsel dağıntık modellemede temel olarak kullanılan Solid 65 elemanı Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi θ açısı donatı çeliğinin X eksenine ile yaptığı açıyı, ϕ açısı ise X-Y düzlemi ile yaptığı açıyı temsil etmektedir. ANSYS programında donatı çelikleri farklı sonlu elemanlarla da tanımlanabilir. Bu yöntem ayrık (discrete) yöntem denir ve donatıları tanımlamak için LINK8 elemanları kullanılır. Ayrık modellemede, donatıların sonlu elemanları ile Solid 65 elemanlarının düğüm noktaları, birbirine bağlanarak kullanılabilir. Tüm sistem analizlerinde kullanılabilir. Eğer sistem büyüklüğü, hesaplama süresi ve yakınsama hataları tamamen dikkate alınırsa, ayrık (discrete) yöntem çok elverişli olmayabilir. Yakınsama hatalarını en aza indirmek ve daha hassas çözümler yapabilmek için dağıntık (smeared) yönteminin kullanılması avantaj sağlanmaktadır. Zira büyük ve karmaşık sistemlerde, donatıları ayrık modelleme yöntemiyle oluşturulmak için betonla ve diğer donatılarla temasta olan yüzeylerde karşılıklı olarak düğüm noktalarını birbiri ile bağlamak gerekir. Sonlu elemana ayırma (mesh) işlemi yapılması ile, düğüm noktaları arttıkça eleman ihtiyacı da artmaktadır, böylece analiz süresi uzayacaktır (Anıl ve Belgin, 2007). Çok dikkatli modelleme yapılmazsa sistemde donatı ihtiyacı olmayan bölgelerde donatı oluşturulması veya beton donatı

birleşimlerinde yakınsama hatalarının oluşması söz konusu olabilir. Bu nedenlerle ayırık yöntem daha çok tek elemanlarda ya da tek katlı basit çerçevelerde tercih edilir.



Şekil 2.11. Solid 65 sonlu elemanı

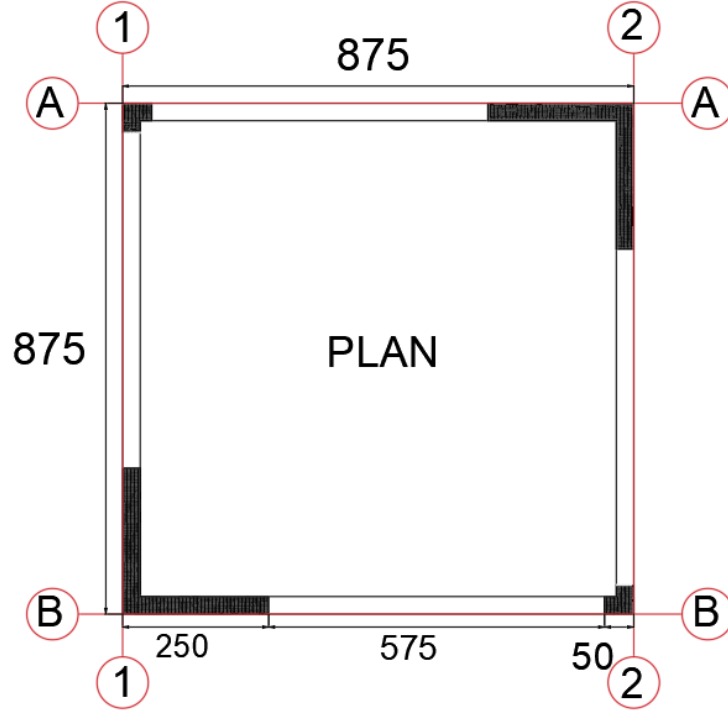
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1 İncelenen Sistem ve Alt Durumları

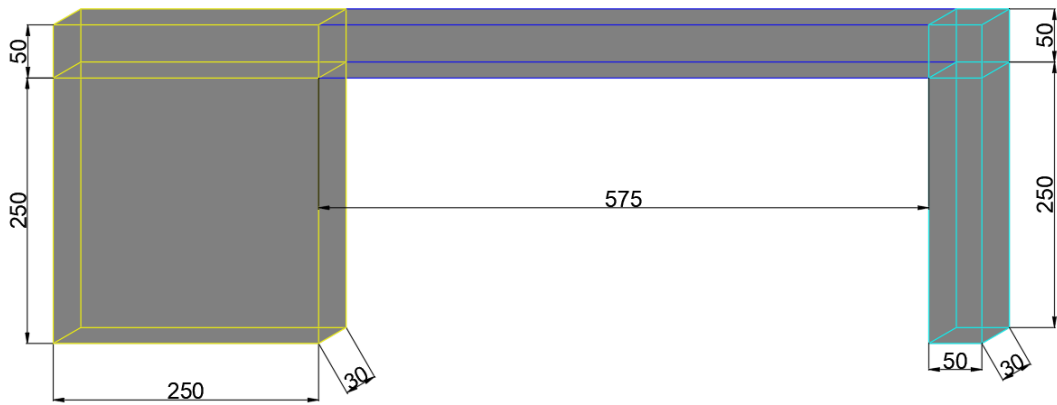
Bu çalışmada, taşıyıcı betonarme sistemi perde, kiriş ve kolondan oluşan, her yönde tek açıklıklı ve sekiz katlı model bir Betonarme yapı düşünülmüştür. Ele alınan modelde perde kesit ebatları 250x30 cm'dir. Kolon kesit ebatları her iki yönde L tipi 50x30 cm ve etriye çapı 8 mm'dir. Kiriş kesit ebatları 575x50x30 cm, etriye çapı 8 mm'dir. Model dört akstan oluşmaktadır (Şekil 3.1 ve şekil 3.2). Modellerin dört aksını simgeleyen perde, kolon ve kiriş elemanlarından oluşan birbirinin eşdeğeri tek aksları, kendi bünyelerindeki donatı yüzdesi değiştirilerek 13 alt durumda incelenmiştir. Durumlar ve minimum donatı oranlarının kıyası ile her durumun donatı oranları, Tablo 3.1 de verilmiştir. Durumların birbirine olan karşılaştırmalı donatı oranları da Tablo 3.2 de sunulmuştur.

Model üzerinde, yapıya etkiyecek yatay ve düşey yükler, ilgili yönetmelikler ve Eşdeğer deprem yükü yöntemi yardımıyla belirlendikten sonra, ANSYS programı yardımıyla 13 farklı durumun doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Minimum donatı yüzdeleri olarak konuyla ilgili Türk standart ve yönetmeliklerden belirlenmiş değerler alınmıştır. TS 500 ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik hükümlerinde geçen minimum donatı yüzdeleri göz önüne alınarak donatı oranları seçilmiş ve Durum-1 Modeli için kullanılmıştır (TS500, 2000; DBYBHY, 2007). Türk standartlarda bu oranlar, perde donatıları için x ve y yönünde $\min\rho_{w,x,y}=0,0025$ ve z yönünde $\min\rho_{w,z}= 0,001$ olarak belirlenmiştir. Kiriş üst (basınç) donatıları için $\min\rho_c= 0,00181$, kiriş alt (çekme) donatıları için $\min\rho_t= 0,002712$ olarak belirlenmiştir. Kiriş etriyeleri gövdede $\min s_b = \varnothing 8/25$ ve her iki uçta kiriş uzunluğunun 1/6 mesafelerinde $\varnothing 8/12,5$ olarak belirlenmiştir. Kolon boyuna donatıları $\min\rho_1= 0.0133$ olarak belirlenmiştir. Kolon etriyeleri gövdede $\min s_s= \varnothing 8/12,5$ ve her iki uçta kolon kiriş altı yüksekliğinin 1/5 mesafelerinde $\varnothing 8/8.3$ olarak alınmış ve kirişle kesiştiği bölgelerde aynı kolon sıklaştırma bölgesi gibi devam ettirilmiştir. (Şekil 3.3)'de Durum-1 Modellemesi için, genel minimum donatı oranları alınarak yapılan donatı çizimleri detaylı olarak gösterilmiştir.

İlk modelden sonraki durumlarda donatı yüzdeleri, belirlenmiş düzeylerde arttırılmıştır. Diğer durumlarda hangi taşıyıcı elemanda ilk modele göre (minimum donatı oranları) artışın ne düzeyde olduğu, Tablo 3.1’de sunulmuştur. Durumların donatı oranlarının, birbirlerine göre değişim yüzdeleri, Tablo 3.2’de sunulmuştur.



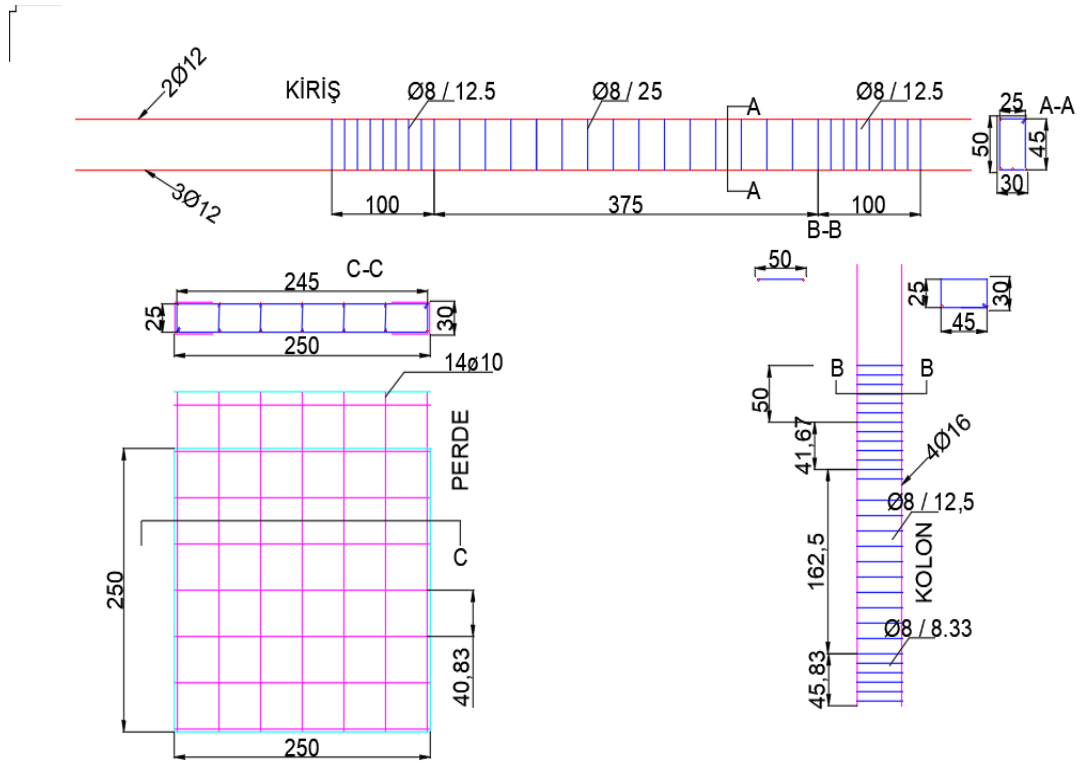
Şekil 3.1. Ele alınan sistemin Kalıp planı



Şekil 3.2. Ele alınan sistemin tek aks tek kat geometrik ölçüleri

Tablo 3.1. Durumlara göre donatı oranları

Durum No	Perde		Kolon		Kiriş		
	Düzlem Donatıları	Düzleme Dik	Boyuna Donatı	Enine Donatı	Alt Donatı	Üst Donatı	Enine Donatı
1	$\min\rho_{w,x,v}$	$\min\rho_{w,z}$	$\min\rho_l$	$\min S_s$	$\min\rho_t$	$\min\rho_c$	$\min S_b$
2	$1.5\min\rho_{w,x}$	$1.5\min\rho_w$	$\min\rho_l$	$\min S_s$	$\min\rho_t$	$\min\rho_c$	$\min S_b$
3	$\min\rho_{w,x,v}$	$\min\rho_{w,z}$	$1.5\min\rho$	$1.5\min S$	$\min\rho_t$	$\min\rho_c$	$\min S_b$
4	$\min\rho_{w,x,v}$	$\min\rho_{w,z}$	$\min\rho_l$	$\min S_s$	$1.5\min\rho$	$1.5\min\rho_c$	$1.5\min S$
5	$1.5\min\rho_{w,x}$	$1.5\min\rho_w$	$1.5\min\rho$	$1.5\min S$	$\min\rho_t$	$\min\rho_c$	$\min S_b$
6	$1.5\min\rho_{w,x}$	$1.5\min\rho_w$	$1.5\min\rho$	$1.5\min S$	$1.5\min\rho$	$1.5\min\rho_c$	$1.5\min S$
7	$1.5\min\rho_{w,x}$	$1.5\min\rho_w$	$1.5\min\rho$	$1.5\min S$	$1.5\min\rho$	$2.22\min\rho$	$1.5\min S$
8	$2\min\rho_{w,x,v}$	$2\min\rho_{w,z}$	$1.5\min\rho$	$1.5\min S$	$2\min\rho_t$	$2.96\min\rho$	$2\min S_b$
9	$2\min\rho_{w,x,v}$	$2\min\rho_{w,z}$	$2\min\rho_l$	$2\min S_s$	$2\min\rho_t$	$2.96\min\rho$	$2\min S_b$
10	$\min\rho_{w,x,v}$	$\min\rho_{w,z}$	$\min\rho_l$	$\min S_s$	$2\min\rho_t$	$2.96\min\rho$	$2\min S_b$
11	$1.5\min\rho_{w,x}$	$1.5\min\rho_w$	$1.5\min\rho$	$1.5\min S$	$2\min\rho_t$	$2.96\min\rho$	$2\min S_b$
12	$2\min\rho_{w,x,v}$	$2\min\rho_{w,z}$	$1.5\min\rho$	$1.5\min S$	$2\min\rho_t$	$2.96\min\rho$	$3\min S_b$
13	$1.5\min\rho_{w,x}$	$1.5\min\rho_w$	$3\min\rho_l$	$3\min S_s$	$3\min\rho_t$	$4.44\min\rho$	$3\min S_b$



Şekil 3.3. Sistemin tek kat tek aks donatı detayları (mm)

Tablo 3.2. Durumların birbirleriyle karşılaştırmalı donatı oranları değişim tablosu (%)

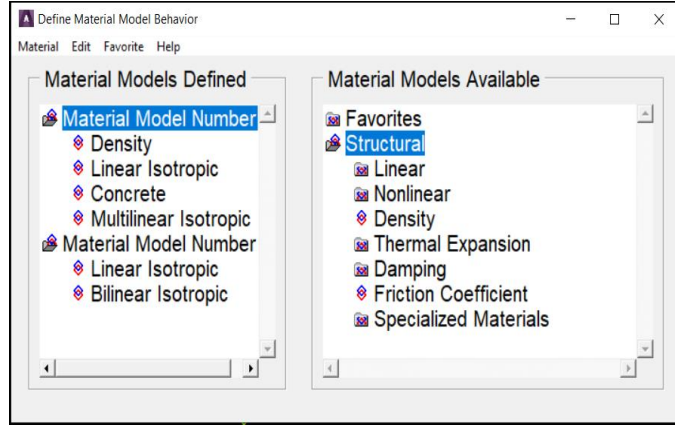
durumlar	KİRTER	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	perde donatısı	+50	x	x	+50	+50	+50	+100	+100	x	+50	+100	+50
1	kolon donatısı	x	+50	x	+50	+50	+50	+50	+100	x	+50	+50	+200
1	kiriş donatısı	x	x	+50	x	+50	+50	+100	+100	+100	+100	+100etr,+200	+200
1	kiriş basınç donatısı	x	x	+50	x	+50	+122	+196	+196	+196	+196	+196	+344
2	perde donatısı		-33,3	-33,3	x	x	x	+33,3	+33,3	-33,3	x	+33,3	x
2	kolon donatısı		+50	x	+50	+50	+50	+50	+100	x	+50	+50	+200
2	kiriş donatısı		x	+50	x	+50	+50	+100	+100	+100	+100	+100etr,+200	+200
2	kiriş basınç donatısı		x	+50	x	+50	+122	+196	+196	+196	+196	+196	+344
3	perde donatısı	+50		x	+50	+50	+50	+100	+100	x	+50	+100	+50
3	kolon donatısı	-33,		-33,3	x	x	x	x	+33,3	-33,3	x	x	+100
3	kiriş donatısı	x		+50	x	+50	+50	+100	+100	+100	+100	+100etr,+200	+200
3	kiriş basınç donatısı	x		+50	x	+50	+122	+196	+196	+196	+196	+196	+344
4	perde donatısı	+50	x		+50	+50	+50	+100	+100	x	+50	+100	+50
4	kolon donatısı	x	+50		+50	+50	+50	+50	+100	x	+50	+50	+200
4	kiriş donatısı	-33,3	-33,3		-33,3	x	x	+33,3	+33,3	+33,3	+33,3	+33,3etr,+100	+100
4	kiriş basınç donatısı	-33,3	-33,3		-33,3	x	48	+196	+196	+97	+97	+196	+196
5	perde donatısı	x	-33,3	-33,3		x	x	+33,3	+33,3	-33,3	x	+33,3	x
5	kolon donatısı	-33,3	x	-33,3		x	x	x	+33,3	-33,3	x	x	+100
5	kiriş donatısı	x	x	+50		+50	+50	+100	+100	+100	+100	+100etr,200	+200
5	kiriş basınç donatısı	x	x	+50		+50	+122	+196	+196	+196	+196	+196	+344
6	perde donatısı	x	-33,3	-33,3	x		x	+33,3	+33,3	-33,3	x	+33,3	x
6	kolon donatısı	-33,3	x	-33,3	x		x	x	+33,3	-33,3	x	x	+100
6	kiriş donatısı	-33,3	-33,3	x	-33,3		x	+33,3	+33,3	+33,3	+33,3	+33,3etr,+100	+100
6	kiriş basınç donatısı	-33,3	-33,3	x	-33,3		+48	+97	+97	+97	+97	+97	+196
7	perde donatısı	x	-33,3	-33,3	x	x		+33,3	+33,3	-33,3	x	+33,3	x
7	kolon donatısı	-33,3	x	x	x	x		x	+33,3	-33,3	x	x	+100
7	kiriş donatısı	-33,3	-33,3	33,3	-33,3	x		+33,3	+33,3	+33,3	+33,3	+33,3etr,+100	+100
7	kiriş basınç donatısı	-122	-122	-48	-122	-48		+33,3	+33,3	-33,3	+33,3	+33,3	+100

Tablo 3.2. devamı

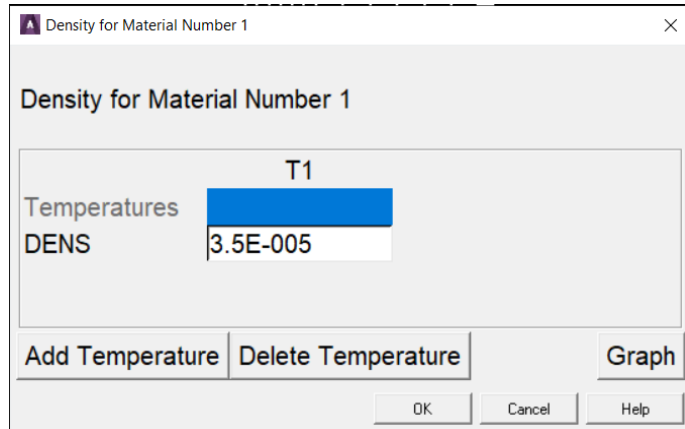
durumlar	KİRTER	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8	perde donatısı	-25	-50	-50	-25	-25	-25		x	-50	-25	x	-25
8	kolon donatısı	-33,3	x	-33,3	x	x	x		+33,3	-33,3	x	x	+100
8	kiriş donatısı	-50	-50	-50	-5	-25	-25		x	x	x	etr,+50	+50
8	kiriş basınç donatısı	-196	-196	-97	-196	-97	-33,3		x	x	x	x	+50
9	perde donatısı	-25	-50	-50	-25	-25	-25	x		-50	-25	x	-25
9	kolon donatısı	-50	-25	-50	-25	-25	-25	-25		-50	-25	-25	+50
9	kiriş donatısı	-50	-50	-25	-50	-25	-25	x		x	x	etr,+50	+50
9	kiriş basınç donatısı	-196	-196	-97	-196	-97	-33,3	x		x	x	x	+50
10	perde donatısı	+50	x	x	+50	+50	+50	+100	+100		+50	+50	+50
10	kolon donatısı	x	+50	x	+50	+50	+50	+50	+100		+50	+100	+200
10	kiriş donatısı	-50	-50	-25	-50	-25	-25	x	x		x	etr,+50	+50
10	kiriş basınç donatısı	-196	-196	-97	-196	-97	-33,3	x	x		x	x	+50
11	perde donatısı	x	-33,3	-33,3	x	x	x	+33,3	+33,3	-33,3		+33,3	x
11	kolon donatısı	-33,3	x	-33,3	x	x	x	x	+33,3	-33,3		x	+100
11	kiriş donatısı	-50	-50	-25	-50	-25	-25	x	x	x		etr,+50	+50
11	kiriş basınç donatısı	-196	-196	-97	-196	-97	-33,3	x	x	x		x	+50
12	perde donatısı	-25	-50	-50	-25	-25	-25	x	x	-50	-25		-25
12	kolon donatısı	-33,3	x	-33,3	x	x	x	x	+33,3	-33,3	x		+100
12	kiriş donatısı	-66,67,- 50etr	-50etr,- 66,67	-50etr,- 66,67	-50etr,- 66,67	-25etr,- 66,67	-25etr,- 66,67	etr,-66,7	etr,-66,67	etr,-66,67	etr,-66,67		+50
12	kiriş basınç donatısı	-196	-196	-97	-196	-97	-33,3	x	x	x	x		+50
13	perde donatısı	x	-33,3	-33,3	x	x	x	+33,3	+33,3	-33,3	x	+33,3	
13	kolon donatısı	-66,67	-50	-66,67	-50	-50	-50	-50	-33,3	-66,67	-50	-50	
13	kiriş donatısı	-66,67	-66,67	-50	-66,67	-50	-50	-33,3	-33,3	-50	-33,3	-33,3	
13	kiriş basınç donatısı	-344	-344	-196	-344	-196	-100	-50	-50	-50	-50	-50	

3.2. Malzeme Özellikleri ve Modelleri

Betonarme elemanlar, ANSYS bünyesinde bulunan eleman kütüphanesinden Solid 65 elemanı ile oluşturulmuştur. Solid65, çekmede çatlama, basınçta ezilme, plastik deformasyon ve sünme özelliklerini barındıran 8 düğüm noktalı katı kabuk elemandır. Her düğüm noktasında x, y ve z yönlerinde 3 ötelenme serbestlik derecesine sahiptir. Beton malzemenin özellikleri ANSYS programına (Şekil 3.4)'de de görüldüğü gibi, öz ağırlık, doğrusal izotropik (linear isotropic), multilineer İzotropik ve beton sekmelerinden tanımlanmıştır. Öz ağırlık sekmesinden betonarme eleman öz ağırlığını tanımlarken, öz ağırlığın genel bir değer olarak 25 KN/m³ olduğu kabul edilmiş ve daha güvenli tarafta kalmak için modellemede TS500 yönetmeliğinde belirtilen temel yük kombinasyon uygulaması gereğince, bu değer 1,4 katsayısı ile çarpılarak programa tanımlanmıştır. Modellemede Newton ve mm birimleri kullanıldığından, öz ağırlık değeri de N/mm³ cinsinden programa tanımlanmıştır.



Şekil 3.4. ANSYS programında beton için malzeme modelinin tanımlaması



Şekil 3.5. Beton özgül ağırlığının tanımlaması

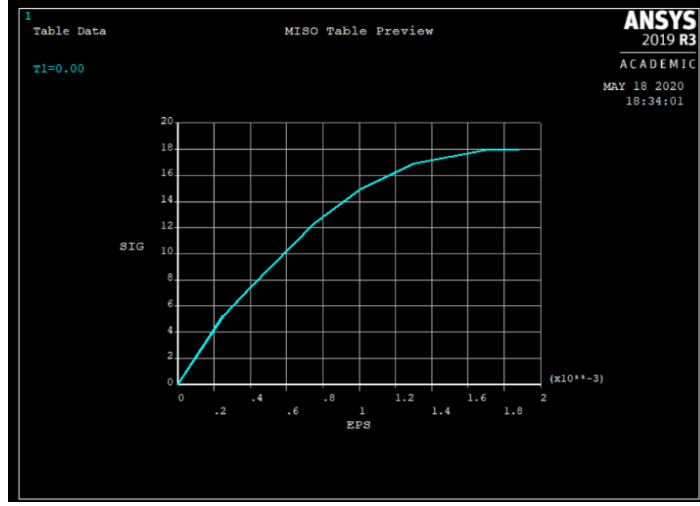
Programa Linear İzotropik sekmesinden betonun elastik modülü ve poisson oranı tanımlanmıştır. Hognestad eğrisindeki maksimum basınç gerilmesi $f_{ck}=18$ MPa olarak alınmıştır ve Hognestad'ın elastisite modülü için önerdiği formül de referans alınarak, elastisite modülü yaklaşık tam sayı bir değer olarak programa 21000 MPa olarak girilmiştir. Beton ve donatı arasında tam aderans olduğu varsayılmıştır ve buna istinaden hem beton hem de donatı için poisson oranı 0,3 olarak programa tanımlanmıştır. Literatürde ve standartlarda poisson oranının beton ve donatı çeliği için eşit ve 0,2 veya 0,3 olacak şekilde kullanan birçok çalışma mevcuttur (Anıl ve Belgin, 2007). Çalışmada betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi Multilineer izotropik Pekleşmeli Plastisite (Von Mises) modelinde tanımlanmıştır (Von Mises, 1913). Hognestad modeli gereği olan betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi için altı noktada ve maksimum basınç dayanımına kadar tanımlama yapılmıştır (Şekil 3.7).

Temperatures	EX	PRXY
0	21000	0.3

Şekil 3.6. Beton için elastisite modülünün ve poisson oranının tanımlaması

T1	STRAIN	STRESS
0		
	0.00025	5.25
	0.0004	7.44
	0.00075	12.3
	0.001	14.9
	0.0013	16.9
	0.00171	18

Şekil 3.7. beton için gerilme-şekil değiştirme davranışının tanımlaması



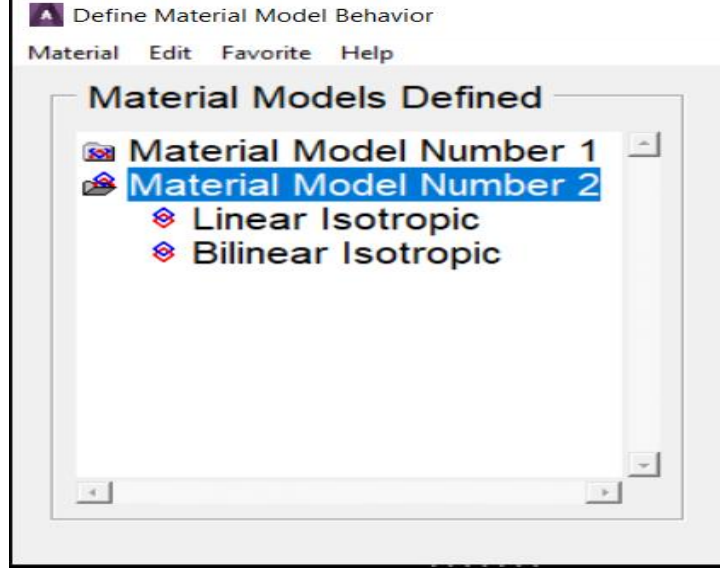
Şekil 3.8. Beton için kullanılan gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Betonun üç eksenli gerilme altındaki göçme yüzeyini tarif etmek için ANSYS programı Willam ve Warnke'nin geliştirdiği modelinden faydalanmaktadır. Bu bağlamda, “concrete” listesi içinden, betonda oluşan açık ve kapalı çatlaklardaki kesme transfer katsayıları, yakınsama problemleri ile karşılaşmamak için 1 olarak programa tanımlanmış, yani çatlaklarda kayma gerilmelerinin tamamının aktarıldığı farz edilmiştir. Betonun çekme dayanımı, maksimum basınç dayanımının onda biri olarak 1.8 MPa programa tanımlanmıştır. Literatür 'de ANSYS ezilme çatlaklı modeli ile ilgili problemler olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle ilgili kısma -1 değeri tanımlanıp bu özellik devre dışı bırakılmıştır (Dede, 2006). İlgili liste Şekil 3.9'de gösterilmektedir. Bu listede ilk dört parametrenin programa tanımlanması yeterli olmaktadır. Fakat diğer parametrelerden herhangi birisinin tanımlanması durumunda diğer bütün parametreler de tanımlanmak gerekmektedir.

Concrete for Material Number 1	
T1	
Temperature	0
Open Shear Transfer Coef	1
Closed Shear Transfer Coef	1
Uniaxial Cracking Stress	1.8
Uniaxial Crushing Stress	-1
Biaxial Crushing Stress	0
Hydrostatic Pressure	0
Hydro Biax Crush Stress	0
Hydro Uniax Crush Stress	0
Tensile Crack Factor	0

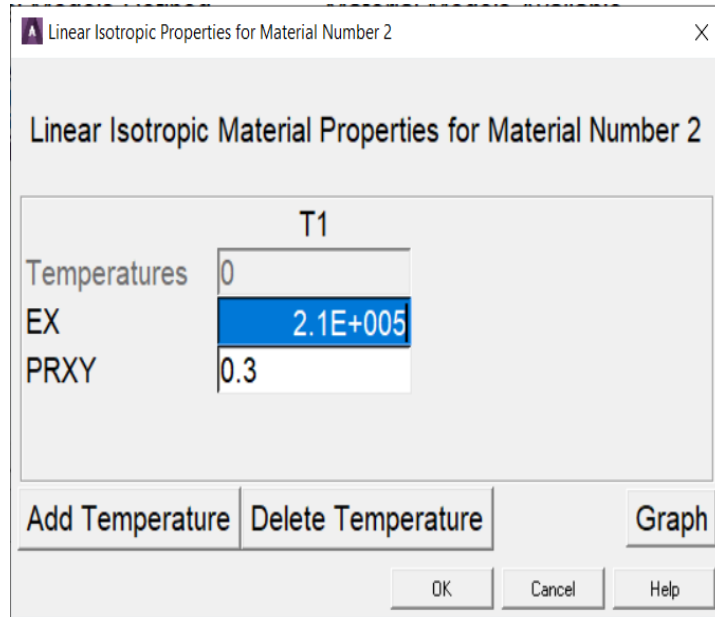
Şekil 3.9. Beton göçme mekanizması girdileri

Donatı çeliği için malzeme özellikleri Şekil 3.10’da da görüldüğü üzere “lineer İzotropik” ve “bilineer izotropik” sekmelerinden programa tanımlanmıştır.



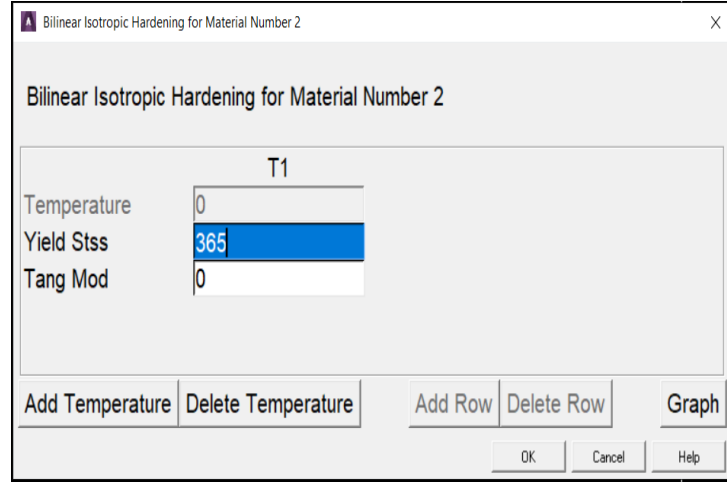
Şekil 3.10. donatı çeliği için malzeme modeli özellikleri

Lineer izotropik sekmesinden donatı çeliğinin elastisite modülü ve poisson oranı tanımlanmıştır. Donatı çeliği elastisite modülünün genel bir yaklaşımla beton elastik modülünün on katı olduğu kabul edilmiş ve 210000 MPa olarak tanımlanmıştır. Poisson oranı daha önce de belirtildiği gibi 0.3 olarak tanımlanmıştır.



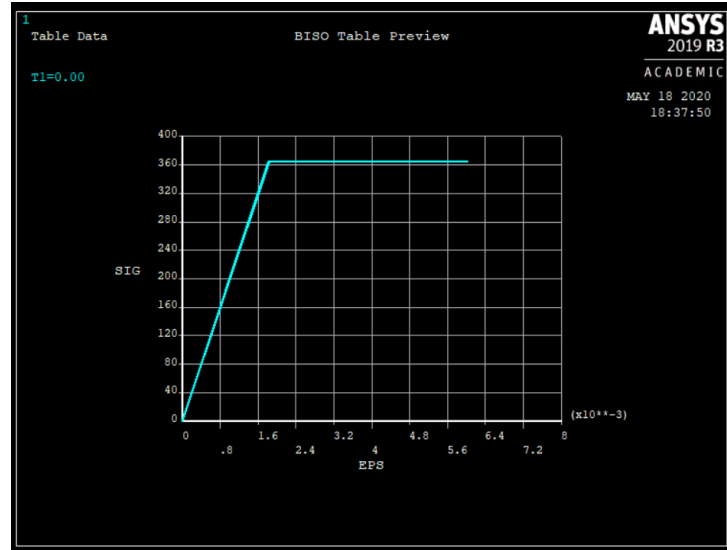
Şekil 3.11. Donatı çeliği için elastisite modülünü ve poisson oranının tanımlaması

Programa Bilinear izotropik sekmesinden donatı çeliği için gerilme şekil değiştirme eğrisi Von Mises akma kriterini esas alan lineer elastik-tam plastik (Bilinear izotropik pekleşmeli plastisite) olarak tanımlanmıştır. Akma dayanımı olarak 365 MPa değeri tanımlanmış, akmadan sonraki dayanım artışı ihmal edilerek eğri idealize edilmiştir (Şekil 3.12).



T1	
Temperature	0
Yield Stss	365
Tang Mod	0

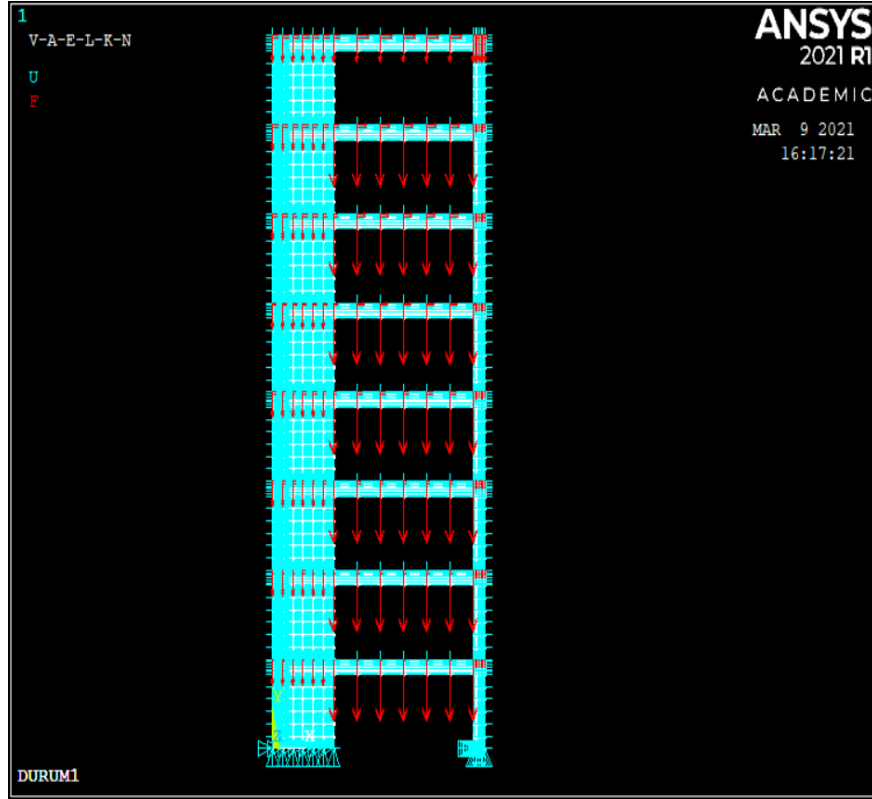
Şekil 3.12. Donatı çeliği için akma girilmesi ve tanjant modülünün girilmesi



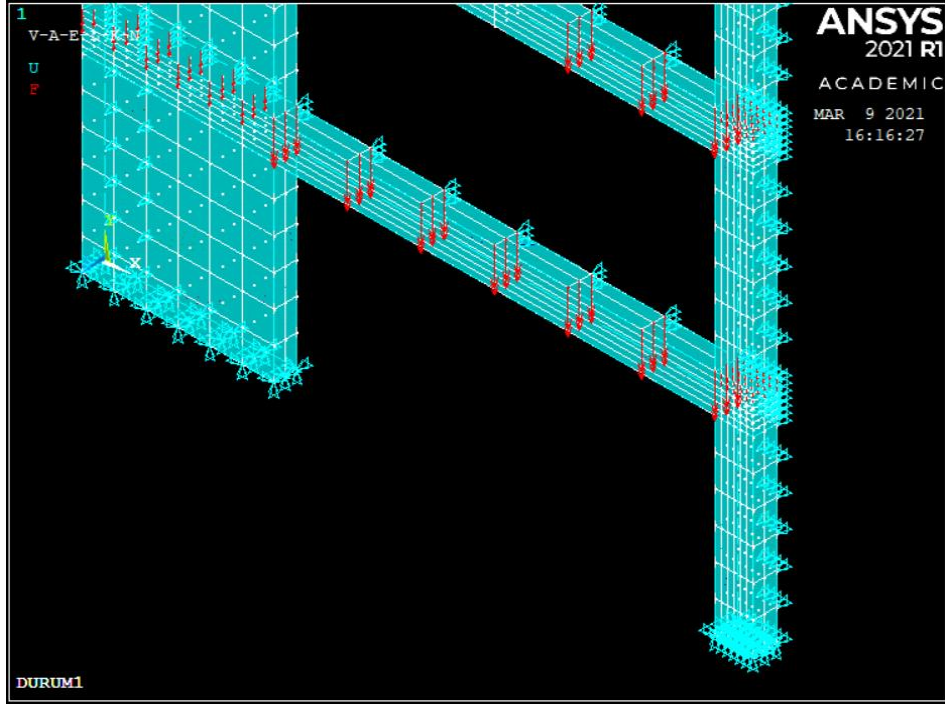
Şekil 3.13. Girilen değerlere göre ANSYS tarafından oluşturulan donatı çeliği için gerilme ve şekil değiştirme eğrisi

3.3. ANSYS Sonlu Eleman Model Geometrisinin Oluşturulması

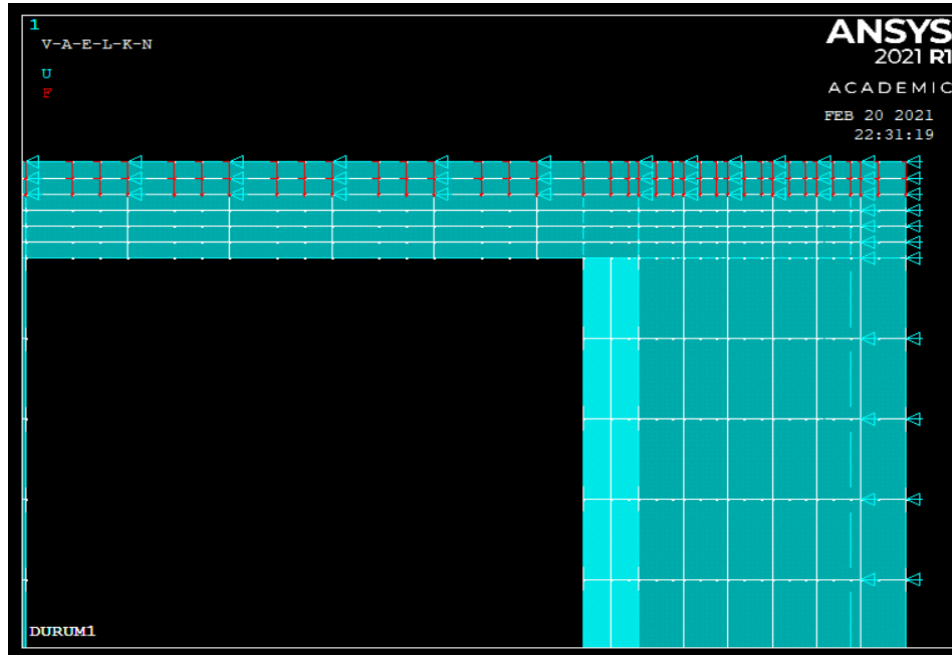
Malzeme özellikleri programa tanımlandıktan sonra model geometrileri oluşturulup sonlu elemanlara ayırma (Mesh) işlemi gerçekleştirilmiştir. ANSYS programında koordinatlar X yatay, Y dikey ve Z düzleme dik doğru olarak seçilmiştir. Model tüm katlar, x ve y doğrularında 6, z doğruğusunda ise 2 parçaya bölünerek sonlu elemanlara ayrılmıştır. 8 katlı modeller, tabandan ankastre olarak mesnetlenmişlerdir, arka taraflarından ise perde, kiriş ve döşemelerin karşıladığı kısımlardan z doğruğusundaki ötelenmelerinin önleneceğı şekilde mesnetlenmişlerdir.



Şekil 3.14. ANSYS model geometrisi ve mesnetlenmeler



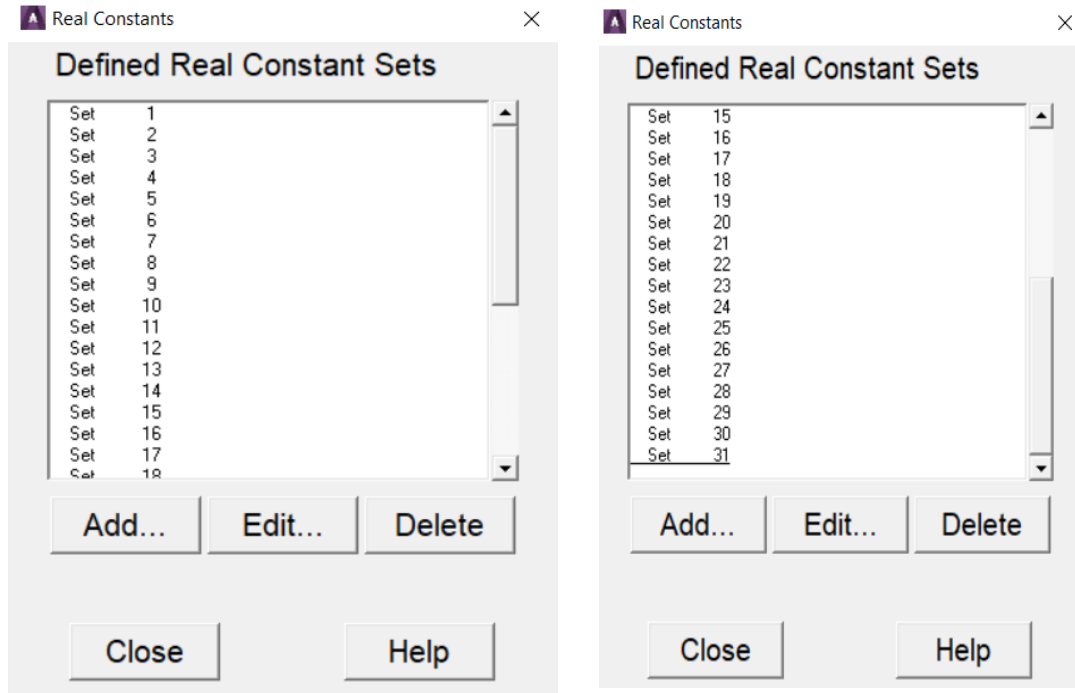
Şekil 3.15. Sistemin ilk kat mesnetlerin görüntüsü



Şekil 3.16. ANSYS modeli ve mesnetlendirme şartları ile ilgili son kat arkasından bir görünüş

3.4. Donatıların Oluşturulması ve İlgili Bölgelere Atanması

Donatılandırma işlemi için ANSYS' te farklı yöntemler varken, bu çalışma için dağınık (Smeared) yöntem seçilmiştir. Bu yöntemde, donatılar sonlu elemanlar bünyesinde hacimsel oran olarak oluşturulmaktadır. Haliyle bu oranların belirlenebilmesi için sonlu elemanlar boyutlarının önceden belirlenmiş olması gerekmektedir. Bu sebeple, ilk önce model geometrisi oluşturulmuş ve sonlu elemanlara ayırma (mesh) işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra donatı hacimsel oranları eleman sabiti (real constant) sekmesinden oluşturulmuş ve ilgili bölgelere atanmıştır. Kolon, kiriş, perde ve bunların kesişim bölgelerinin farklı yerlerinde, farklı doğrultularda ve/veya oranlarda donatılar olduğundan toplamda 31 adet eleman sabiti (Real constant) oluşturmak gerekmektedir.



Şekil 3.17. oluşturulan eleman sabiti (Real Constant) numaraları

Şekil 3.18. Eleman sabiti 1 içeriğindeki donatı oran ve doğrultuları

Şekil 3.17’de eleman sabitleri toplu halde (31 Real Constant) programa tanımlanmış olarak görülmektedir. Şekil 3.18’de ise örnek olarak 1 nolu eleman sabitinin içeriğindeki donatı yüzdesi ve yönleri gösterilmektedir. Şekil 3.18’de 2 nolu malzeme numarası malzeme özelliklerini girerken belirtildiği üzere donatı çeliğini temsil etmektedir. Yine Şekil 3.18’e bakıldığında donatı yüzdeleri ve açıları görülmektedir. Buradaki θ (theta) açısı donatının x eksenine yaptığı açıyı göstermektedir. \emptyset (phi) açısı ise donatının x-y düzlemi ile yaptığı açıyı göstermektedir. Bu sistemle donatının yönü ve açıları girilebilmektedir. Tablo 3.3’te her i. donatı için ($i=1,2,3$), x eleman sabitli donatının yönünü gösteren açılar verilmiştir. Örnek olarak 1 nolu donatı için θ açısı ve \emptyset açısının sıfır derece olduğu görülebilir. Tablo 3.4’te ise Tablo 3.3’teki bilgilerden hareketle her durum için belirlenen sonlu elemanlarda kullanılacak olan dağınık donatı numaralarının içeriğinde bulunan donatı yüzdeleri verilmiştir. Tablo 3.4 okurken dağıtılmış donatı numaralarının bazılarında X, Y ve Z yönlerinde donatı olmayabileceği unutulmamalıdır.

Tablo 3.3. Eksenlere göre Donatı açıları

Eleman sabiti No	Eleman Tipi	1.donatı	2.donatı	3.donatı	
x	Solid65	Malzeme No	2	2	2
		Hacim Oranı	$V_{x,1}$	$V_{x,2}$	$V_{x,3}$
		θ	0	90	0
		\emptyset	0	0	90

Tablo 3.4. Tüm durumlarda kullanılacak olan dağıtılmış donatı numara ve oranları

DURUM V _{x,1,2,3}	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	1-12	1-13
V1,1	0,00252	0,00378	0,00252	0,00252	0,00378	0,00378	0,00378	0,00504	0,00504	0,00252	0,00378	0,00504	0,00378
V1,2	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V1,3	0,000452	0,000678	0,000452	0,000452	0,000678	0,000678	0,000678	0,000904	0,000904	0,000452	0,000678	0,000904	0,000678
V2,1	0,00314	0,00471	0,00314	0,00314	0,00471	0,00471	0,00471	0,00628	0,00628	0,00314	0,00471	0,00628	0,00471
V2,2	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V2,3	0,000452	0,000678	0,000452	0,000452	0,000678	0,000678	0,000678	0,000904	0,000904	0,000452	0,000678	0,000904	0,000678
V3,1	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V3,2	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V3,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V4,1	0,00189	0,002835	0,00189	0,00189	0,002835	0,002835	0,002835	0,00378	0,00378	0,00189	0,002835	0,00378	0,002835
V4,2	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V4,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V5,1	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V5,2	0,00189	0,002835	0,00189	0,00189	0,002835	0,002835	0,002835	0,00378	0,00378	0,00189	0,002835	0,00378	0,002835
V5,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V6,1	0,00189	0,002835	0,00189	0,00189	0,002835	0,002835	0,002835	0,00378	0,00378	0,00189	0,002835	0,00378	0,002835
V6,2	0,00189	0,002835	0,00189	0,00189	0,002835	0,002835	0,002835	0,00378	0,00378	0,00189	0,002835	0,00378	0,002835
V6,3	0,000452	0,00678	0,000452	0,000452	0,00678	0,000678	0,000678	0,000904	0,000904	0,000452	0,00678	0,000904	0,000678
V7,1	0,004021	0,004021	0,006032	0,004021	0,006032	0,006032	0,006032	0,006032	0,008042	0,004021	0,006032	0,006032	0,012063
V7,2	0,0161	0,0161	0,02415	0,0161	0,02415	0,02415	0,02415	0,02415	0,0322	0,0161	0,02415	0,02415	0,0483
V7,3	0,00724	0,00724	0,01086	0,00724	0,01086	0,01086	0,01086	0,01086	0,01448	0,00724	0,01086	0,01086	0,02172

Tablo 3.4. devamı

V8,1	0,004021	0,004021	0,006032	0,004021	0,006032	0,006032	0,006032	0,006032	0,008042	0,004021	0,006032	0,006032	0,012063
V8,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V8,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V9,1	0,002312	0,002312	0,003468	0,002312	0,003468	0,003468	0,003468	0,003468	0,004624	0,002312	0,003468	0,003468	0,006936
V9,2	0,0161	0,0161	0,02415	0,0161	0,02415	0,02415	0,02415	0,02415	0,0322	0,0161	0,02415	0,02415	0,0483
V9,3	0,004344	0,004344	0,006516	0,004344	0,006516	0,006516	0,006516	0,006516	0,008688	0,004344	0,006516	0,006516	0,013032
V10,1	0,002312	0,002312	0,003468	0,002312	0,003468	0,003468	0,003468	0,003468	0,004624	0,002312	0,003468	0,003468	0,006936
V10,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V10,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V11,1	0,017623	0,017623	0,01964	0,024423	0,01964	0,026435	0,026435	0,033235	0,035246	0,031223	0,033235	0,033235	0,052869
V11,2	0,0161	0,0161	0,02415	0,0161	0,02415	0,02415	0,02415	0,02415	0,0322	0,0161	0,02415	0,02415	0,0483
V11,3	0,007244	0,007244	0,01086	0,007244	0,01086	0,010866	0,010866	0,01086	0,01448	0,007244	0,01086	0,01086	0,02172
V12,1	0,017623	0,017623	0,01964	0,024423	0,01964	0,026435	0,026435	0,033235	0,035246	0,031223	0,033235	0,033235	0,052869
V12,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V12,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V13,1	0,013123	0,013123	0,01514	0,017673	0,01514	0,019685	0,024225	0,034982	0,034986	0,030959	0,032971	0,034982	0,052473
V13,2	0,0161	0,0161	0,02415	0,0161	0,02415	0,02415	0,02415	0,02415	0,0322	0,0161	0,02415	0,02415	0,0483
V13,3	0,007244	0,007244	0,01086	0,007244	0,01086	0,010866	0,010866	0,01086	0,01448	0,007244	0,01086	0,01086	0,02172
V14,1	0,013123	0,013123	0,01514	0,017673	0,01514	0,019685	0,024225	0,034982	0,034986	0,030959	0,032971	0,034982	0,052473
V14,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V14,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V15,1	0,004023	0,004023	0,006035	0,004023	0,006035	0,006035	0,006035	0,006035	0,008046	0,004023	0,006035	0,006035	0,012069
V15,2	0,0161	0,0161	0,02415	0,0161	0,02415	0,02415	0,02415	0,02415	0,00322	0,0161	0,02415	0,02415	0,0483
V15,3	0,007244	0,007244	0,01086	0,007244	0,01086	0,010866	0,010866	0,010866	0,01448	0,007244	0,01086	0,010866	0,02172

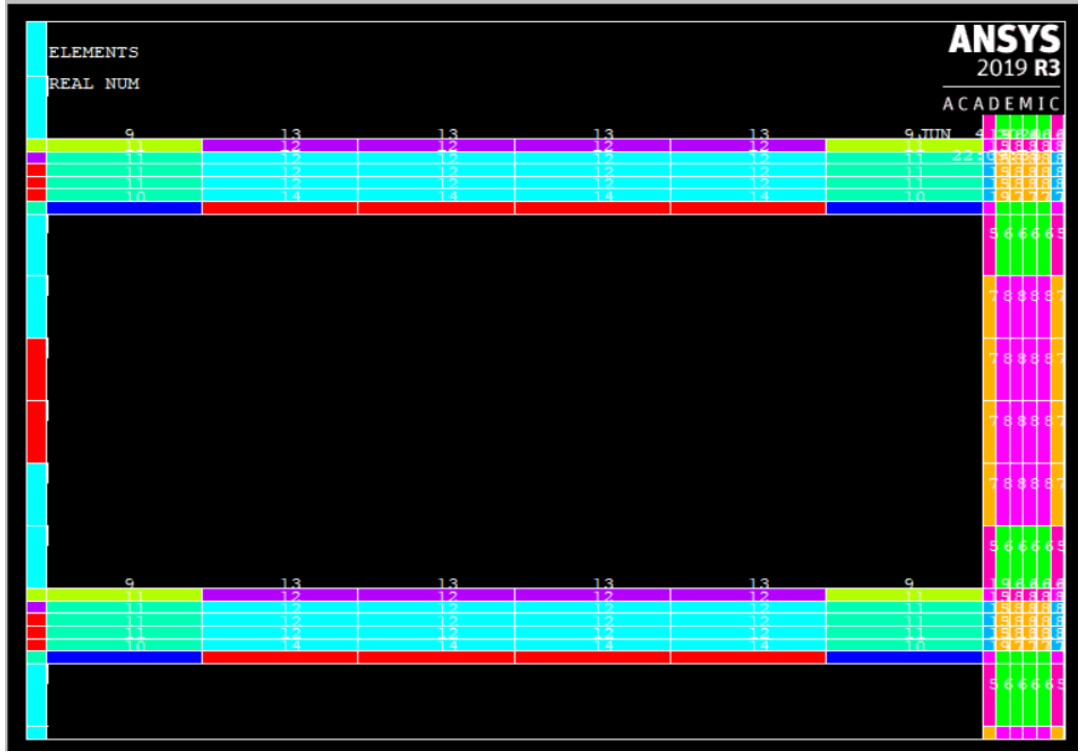
Tablo 3.4. devamı

V16,1	0,004023	0,004023	0,006035	0,004023	0,006035	0,006035	0,006035	0,006035	0,008046	0,004023	0,006035	0,006035	0,012069
V16,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V16,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V17,1	0,0136	0,0136	0,0136	0,0204	0,0136	0,0204	0,0204	0,0272	0,0272	0,0272	0,0272	0,0272	0,0408
V17,2	0,00273	0,00273	0,00273	0,004095	0,00273	0,004095	0,004095	0,00546	0,00546	0,00546	0,00546	0,00819	0,00819
V17,3	0,00491	0,00491	0,00491	0,007365	0,00491	0,007365	0,007365	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982	0,01473
V18,1	0,0091	0,0091	0,0091	0,01365	0,0091	0,01365	0,020202	0,026936	0,026936	0,026936	0,026936	0,026936	0,040404
V18,2	0,00273	0,00273	0,00273	0,004095	0,00273	0,004095	0,004095	0,00546	0,00546	0,00546	0,00546	0,00819	0,00819
V18,3	0,00491	0,00491	0,00491	0,007383	0,00491	0,007365	0,007365	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982	0,01473
V19,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V19,2	0,00273	0,00273	0,00273	0,004095	0,00273	0,004095	0,004095	0,00546	0,00546	0,00546	0,00546	0,00819	0,00819
V19,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V20,1	0,0136	0,0136	0,0136	0,0204	0,0136	0,0204	0,0204	0,0272	0,0272	0,0272	0,0272	0,0272	0,0408
V20,2	0,001363	0,001363	0,001363	0,002045	0,001363	0,002045	0,002045	0,002726	0,002726	0,002726	0,002726	0,004089	0,004089
V20,3	0,002455	0,002455	0,002455	0,003683	0,002455	0,003683	0,003683	0,00491	0,00491	0,00491	0,00491	0,00491	0,007365
V21,1	0,0091	0,0091	0,0091	0,01365	0,0091	0,01365	0,020202	0,026936	0,026936	0,026936	0,026936	0,026936	0,040404
V21,2	0,001363	0,001363	0,001363	0,002045	0,001363	0,002045	0,002045	0,002726	0,002726	0,002726	0,002726	0,004089	0,004089
V21,3	0,002455	0,002455	0,002455	0,003683	0,002455	0,003683	0,003683	0,00491	0,00491	0,00491	0,00491	0,00491	0,007365
V22,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V22,2	0,001363	0,001363	0,001363	0,002045	0,001363	0,002045	0,002045	0,002726	0,002726	0,002726	0,002726	0,004089	0,004089
V22,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V23,1	0,0136	0,0136	0,0136	0,0204	0,0136	0,0204	0,0204	0,0272	0,0272	0,0272	0,0272	0,0272	0,0408
V23,2	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V23,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

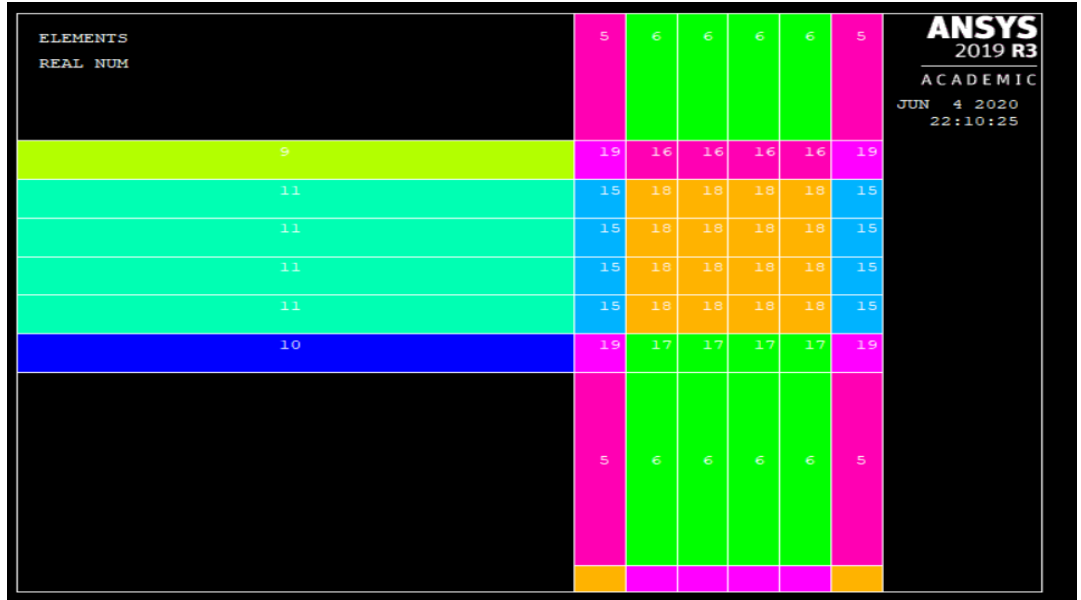
Tablo 3.4. devamı

V24,1	0,0091	0,0091	0,0091	0,01365	0,0091	0,01365	0,020202	0,026936	0,026936	0,026936	0,026936	0,026936	0,040404
V24,2	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V24,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V25,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V25,2	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V25,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V26,1	0,0063	0,00945	0,0063	0,0063	0,00945	0,00945	0,00945	0,0126	0,0126	0,0063	0,00945	0,0126	0,00945
V26,2	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V26,3	0,000452	0,000678	0,000452	0,000452	0,000678	0,000678	0,000678	0,000904	0,000904	0,000452	0,000678	0,000904	0,00678
V27,1	0,0063	0,00945	0,0063	0,0063	0,00945	0,00945	0,00945	0,0126	0,0126	0,0063	0,00945	0,0126	0,00945
V27,2	0,00126	0,00189	0,00126	0,00126	0,00189	0,00189	0,00189	0,00252	0,00252	0,00126	0,00189	0,00252	0,00189
V27,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V28,1	0,0136	0,0136	0,0136	0,0204	0,0136	0,0204	0,0204	0,0272	0,0272	0,0272	0,0272	0,0272	0,0408
V28,2	0,00189	0,00235	0,00189	0,00189	0,002835	0,002835	0,002835	0,00378	0,00378	0,00189	0,002835	0,00378	0,002835
V28,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V29,1	0,0091	0,0091	0,0091	0,01365	0,0091	0,01365	0,020202	0,026936	0,026936	0,026936	0,026936	0,026936	0,040404
V29,2	0,00189	0,002835	0,00189	0,00189	0,002835	0,002835	0,002835	0,00378	0,00378	0,00189	0,002835	0,00378	0,002835
V29,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V30,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V30,2	0,00189	0,002835	0,00189	0,00189	0,002835	0,002835	0,002835	0,00378	0,00378	0,00189	0,002835	0,00378	0,002835
V30,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V31,1	0,0063	0,00945	0,0063	0,0063	0,00945	0,00945	0,00945	0,0126	0,0126	0,0063	0,00945	0,0126	0,00945
V31,2	0,00189	0,002835	0,00189	0,00189	0,002835	0,002835	0,002835	0,00378	0,00378	0,00189	0,002835	0,00378	0,002835
V31,3	0,000013	0,00002	0,000013	0,00013	0,00002	0,00002	0,00002	0,000026	0,000026	0,000013	0,00002	0,000026	0,00002

Eleman sabitlerinin ilgili bölgelere atması ile donatlandırma işlemi bitmiştir. Şekil 3.19, 3.20, ve 3.21’de eleman sabitlerinin dağılımları görülmektedir.



Şekil 3.19. Kirişlere atanan eleman sabitleri



Şekil 3.20. Kolon-kiriş birleşim bölgelerine atanan eleman sabitleri

ELEMENTS REAL NUM	5	6	6	6	6	5
9	19	16	16	16	16	19
11	15	18	18	18	18	15
11	15	18	18	18	18	15
11	15	18	18	18	18	15
11	15	18	18	18	18	15
10	19	17	17	17	17	19
	5	6	6	6	6	5

ANSYS
2019 R3
 ACADEMIC
 JUN 4 2020
 22:10:25

Şekil 3.21. Perde-kiriş birleşim bölgelerine atanan eleman sabitleri

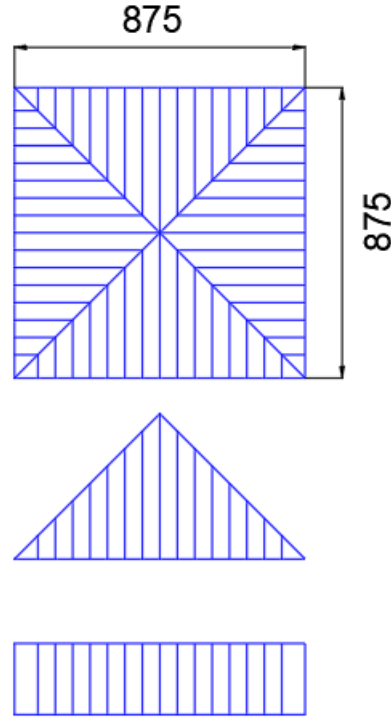
3.5 Modele Etki Eden Düşey ve Yatay Kuvvetler

Sistem döşeme kalınlıkları 12 cm seçilmiştir. Döşemeler üzerinde çatı katı için 1.5 KN/m^2 , diğer normal katlar için 2 KN/m^2 hareketli yük, tüm döşemeler için de 2 KN/m^2 kaplama ve sıva yükü belirlenmiştir (TS 498, 1997). Kirişlerin üzerinde ise çatı katı hariç 6 KN/m duvar yükü olduğu kabul edilmiştir. Betonarme özgül ağırlığı 25 KN/m^3 olarak alınmıştır (TS500, 2000). Döşeme hesap yükü denklem (3.1)'de, döşeme ve duvardan model aksa gelen yükler ise denklem (3.2)'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Kiriş üzerlerinde duvar olduğu bölgelerde duvar yükü 1.4 katsayısı ile çarpılarak P düzgün yayılı yüküne ilave edilmiştir.

$$P_d = 1.4G + 1.6Q \quad (3.1)$$

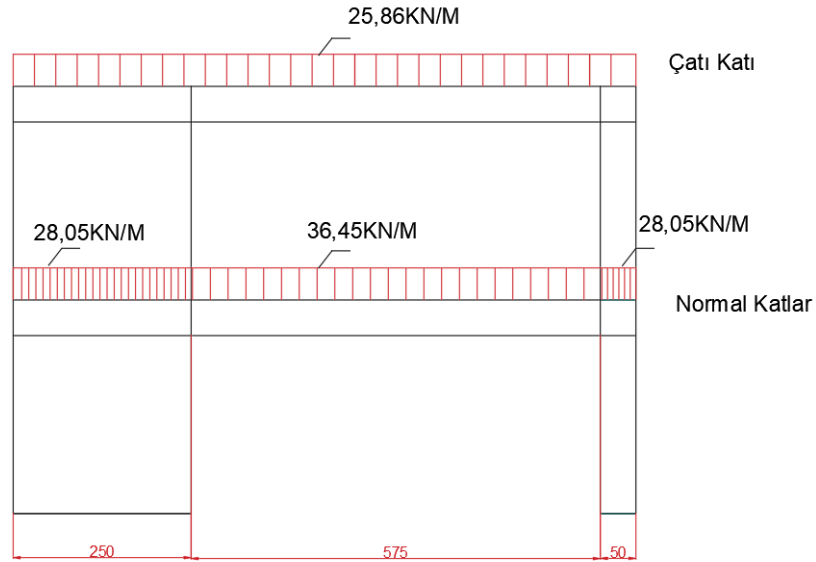
$$P = 1/3P_d l_{sn} \quad (3.2)$$

Denklem (3.1) ve (3.2)'de P_d döşeme hesap yükünü, G ölü yükü, Q hareketli yükü, P modellerde katlarda etki eden yayılı yükü, l_{sn} ise döşeme kısa kenar net açıklığını gösterilmektedir. Denklem (3.2), döşemeden model aksına gelen üçgensel yayılı yükün eşdeğer düzgün yayılı yüke çevrilmesi ile elde edilen ifadedir (Doğangün, 2018). Şekil 3.22'de üçgensel yükün eşdeğer düzgün yayılı yüke dönüştürülmesi şekil ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.22. Döşemeden kirişe gelen üçgen yayılı yükün eşdeğer üniform yayılı yüke çevrilmesini temsil eden bir görünüm

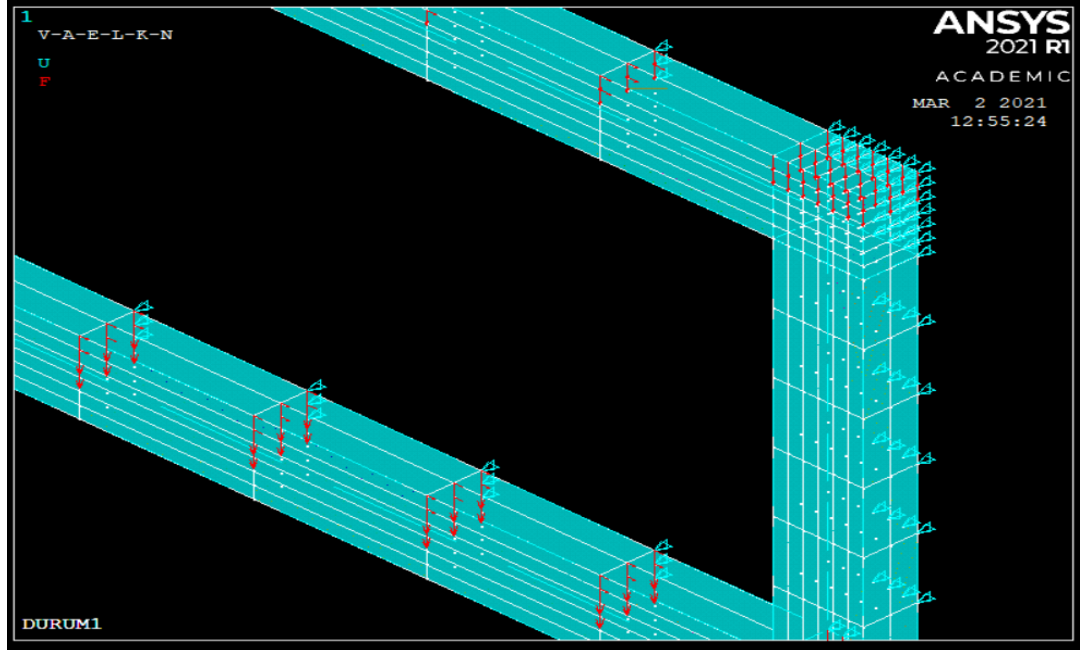
Kat seviyelerine etkileyen düzgün yayılı yükler Şekil 3.22'de gösterilmiştir. En üst kat (çatı kat) seviyesine 25,28 KN/m yük etki etmiştir. Diğer katlarda duvarın olduğu kiriş üstlerine 36,45 KN/m diğer bölgelere 28,05 KN/m yük etmektedir.



Şekil 3.23. Çatı katı ve diğer kat aksları üzerine gelen üniform yayılı yüklerin temsili gösterimi

Kat seviyelerine etki eden bu düzgün yayılı yükler tekil kuvvetlere dönüştürülerek, elde edilen toplam düşey kuvvetler kat seviyelerindeki ve hemen

altındaki sonlu eleman düğüm noktalarına y doğrultusunda çift sıra, z doğrultusunda üç sıra halinde Şekil 3.20’de gösterildiği gibi düzenli olarak dağıtılmıştır.



Şekil 3.24. Düşey yüklerin sonlu eleman modeline etki ettirilmesi

Modelin üzerindeki yatay kuvvetleri belirlemek için Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’de gösterilmiş olan eşdeğer deprem yükü metodu kullanılmış ve değerler Tablo 3.4’te gösterilmiştir (DBYBHY, 2007). ANSYS programında sonlu elemanlar analizinde kullanılacak olan deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen yatay “Toplam Eşdeğer Deprem yükü” V_t (yapının en alt seviyesine etkiyen toplam kesme kuvveti) denklem (3.3) ile hesaplanmıştır.

V_t : Toplam eşdeğer deprem yükü

w_i : Kat ağırlığı

W : Toplam yapı ağırlığı

$A(T_1)$: Birinci doğal titreşim periyodu

R_a : Deprem yükü azaltma katsayısı

I : Bina önem katsayısı

T : Bina doğal periyodu

A_0 : Etkin yer ivme katsayısı

T_A, T_B : Spektrum karakteristik periyotları

$$V_t = W \cdot A(T_1) / R_a \quad (3.3)$$

burada w yapının tüm ağırlığıdır ve “ w_i ” kat ağırlıklarının toplanması ile bulunur

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (3.4)$$

Tablo 3.5. Eşdeğer statik deprem yüklerinin hesaplanması

Kat	hi(m)	Hi(m)	Wi(KN)	Wi*Hi	$\frac{W_i \times H_i}{\sum W_i \times H_i}$	Fi (kN)	Fi+ΔFN (kN)
8	3	24	633.34	15202.6	0.187	105.89	142.03
7	3	21	787.65	16540.7	0.203	114.95	114.95
6	3	18	787.65	14177.7	0.174	98.530	98.530
5	3	15	787.65	11814.8	0.145	82.108	82.108
4	3	12	787.65	9451.8	0.116	65.686	65.686
3	3	9	787.65	7088.85	0.087	49.265	49.265
2	3	6	787.65	4725.9	0.058	32.843	32.843
1	3	3	787.65	2362.95	0.029	16.421	16.421
Top			6146.99	81365.2			

Kat ağırlıkları (W_i) her kattaki sabit (ölü) yüklere, hareketli yüklerin yapı tipine göre değişen belirli bir katsayı (n katsayısı) ile çarpılarak, ilave etmesi ile elde edilmiştir (Denklem (3.5)). Hareketli yükün azaltılma sebebi deprem sırasında bütün katlarda hareketli yüklerin tam olarak aynı zamanda bulunması olasılığının düşük olmasıdır. Elimizdeki model konut tipi bir yapıya ait olduğu düşünülerek n katsayı TDY’de belirttiği gibi 0.3 olarak seçilmiştir.

$$W_i = G + nQ_i \quad (3.5)$$

denklem (3.3)’de kullanılan $A(T_1)$, birinci doğal titreşim periyodu olan T_1 ’e denk gelen spektral ivme katsayısıdır ve denklem (3.6)’da verilen şekilde hesaplanır.

$$A(T_1) = A_0 \cdot I \cdot S(T_1) \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)’da kullanılan A_0 , etkin yer ivmesi katsayısıdır. Etkin yer ivme katsayısının T.C. deprem bölgelerine göre değerleri Tablo 3.6’da gösterilmiştir. I ise bina önem katsayısıdır. Bina önem katsayısı değeri için, deprem yönetmeliğinde konut tipi yapılar için belirtilmiş olan değer olan 1 kullanılmıştır. Spektrum katsayısı $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal titreşim periyodu T ’ye (sn) bağlı olarak (3.7), (3.8), (3.9) denklemleri ile hesaplanır.

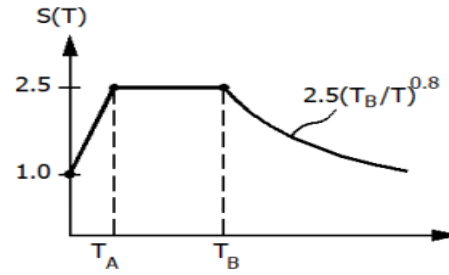
$$S(T) = 1 + 1.5T/T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.7)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (3.8)$$

$$S(T) = 2.5(T_B/T)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (3.9)$$

Tablo 3.6. deprem bölgelerine göre etkin yer ivmesi katsayıları

Deprem Bölgesi		A_0
1		0.40
2		0.30
3		0.20
4		0.10



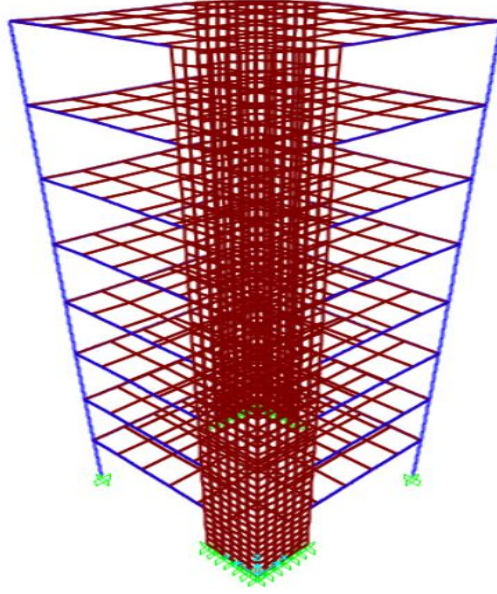
Şekil 3.25. Elastik ivme spektrumu

Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B yerel zemin sınıflarına göre değişim göstermektedir.

Tablo 3.7. Yerel zemin sınıflarına göre Spektrum karakteristik periyotları

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Elimizdeki olan yapının birinci doğal titreşim periyodu T_1 'in bulunmasında SAP2000 Yapısal Analiz Programından faydalanmıştır. Modelin X doğrultusundaki periyodu $T_1 = 1.42$ sn bulunmuştur.



Şekil 3.26. Deplase olmuş SAP2000 Modeli

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , deprem yönetmeliğinde deprem yüklerinin tamamının çerçeve ve boşluksuz perdeler ile karşılandığı süneklik düzeyi normal sistemler için belirtilen değer olarak 4 alınmıştır. Yerel zemin sınıfı olarak Z_2 seçilmiş ve yine deprem yönetmeliğinden hareketle $T > T_A$ olduğu için deprem yükü azaltma katsayısı $R_a = R$ olarak alınmıştır. Yapının 1. dereceden deprem bölgesinde olduğu kabul edilmiş ve etkin yer ivmesi katsayısı 0.4 olarak alınmıştır (DBYBHY, 2007).

Denklem (3.3) ile hesaplanan eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükünün toplamı olarak denklem (3.10) ile hesaplanmıştır.

$$\mathbf{V}_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N \mathbf{F}_i \quad (3.10)$$

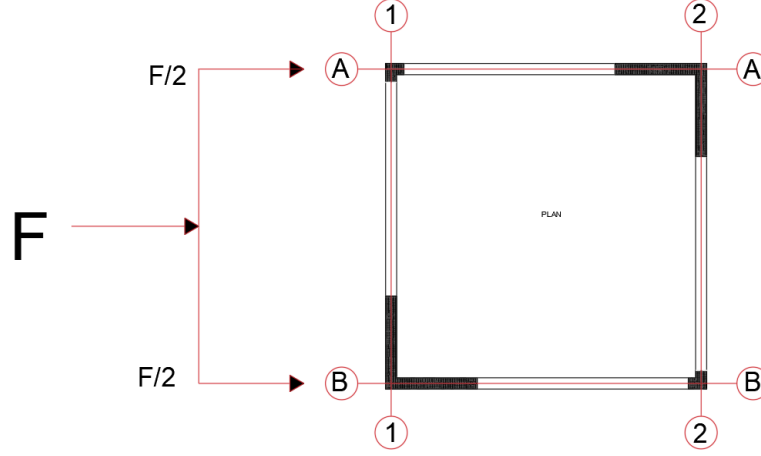
Binanın N 'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü (yatay yükü) ΔF_N değeri denklem (3.11) ile hesaplanmıştır.

$$\Delta F_N = 0.0075 N v_t \quad (3.11)$$

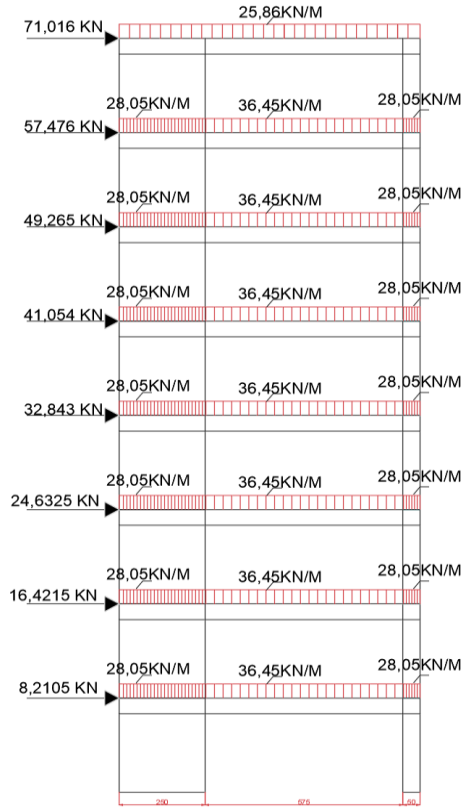
Denklem (3.12) ile toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N 'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına dağıtılmıştır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{W_i H_i}{\sum_{j=1}^N W_j H_j} \quad (3.12)$$

ANSYS programı sonlu eleman analizinde oluşturulan model sistemin, sadece tek akstan oluşması nedeniyle, hesaplanmış deprem kuvveti, akslara eşit olarak dağıtılmıştır. Dağılım aşağıdaki Şekil (3.27)'de gösterilmiştir.

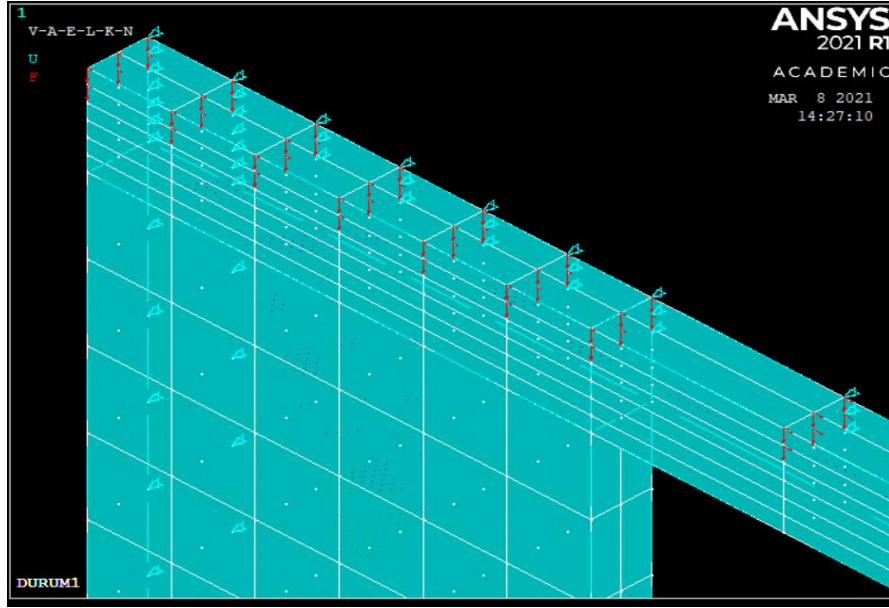


Şekil 3.27. modele etkiyen yatay kuvvetlerinin akslara dağılımı

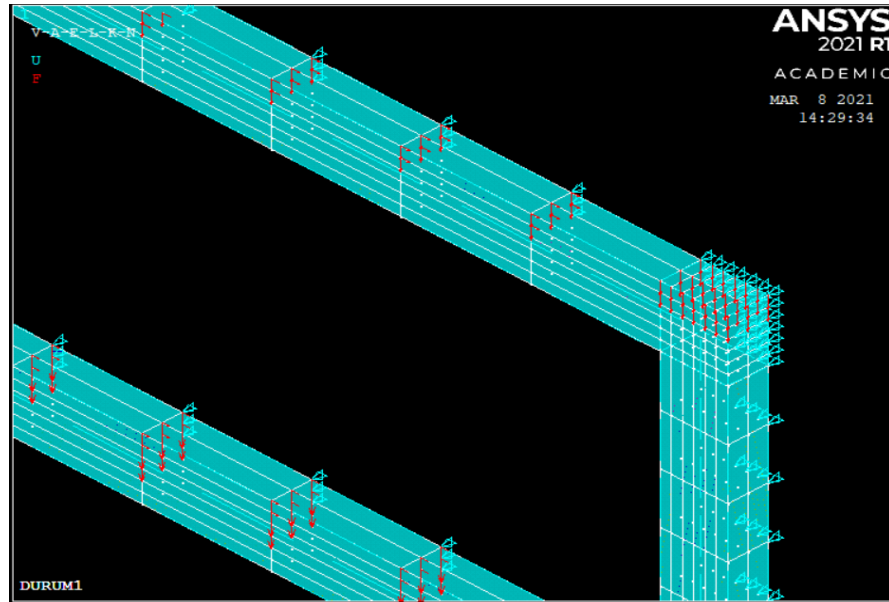


Şekil 3.28. ANSYS programı sonlu eleman analizinde kullanılacak olan yata ve düşey yüklerin gösterimi

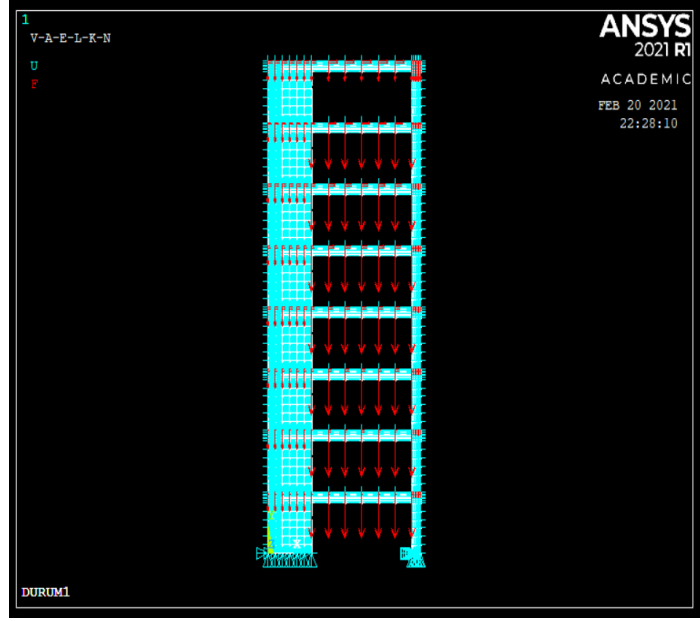
Model üzerini etkileyen deprem yükleri, kat seviyesindeki düğüm noktalarına, deprem yükleri yönündeki ilk sırada x, ondan sonraki düğüm noktalarında kolon-kiriş kesişim bölgesine kadar $2x$ ve kolon-kiriş kesişim bölgesindeki düğüm noktalarında ise $2x/7$ formatında dağıtılmıştır. Bir sırada 3 düğüm noktası vardır dolayısıyla bir katta etki eden toplam yatay kuvvet için $F/2 = 75x$ denilebilir. Yatay yüklerin de sisteme etki ettirilmesi ile yükleme işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 3.29. 8. katta perde ve kiriş kesişim bölgesine etkileyen yatay ve düşey yüklerin bir görünümü



Şekil 3.30. 8. katta kolon ve kiriş kesişim bölgesine etkileyen yatay ve düşey yüklerin bir görünümü



Şekil 3.31. Analize hazır sistem modeli

3.6. Analiz Sonuçları

ANSYS sonlu eleman analizi için oluşturulmuş olan 13 adet durumun ANSYS programında düşey kuvvetleri ilk durumda yüklenmiş ve diğer 12 durumda sabit bırakılmıştır. Her durumda yatay kuvvetleri belirli oranda değiştirilirken hacimsel donatı oranları (Real constants) gereken yerlerde değiştirip doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Düşey yük tüm modellerde aynı verildi, tüm modellerde düşey yük her katta 36,45 KN kirişler üzerinde ve kiriş olmadığı yerlerde 28,05 KN, çatı katında 28,86 KN Olarak etkilmiştir. Her durum için sistemin taşıyabileceği maksimum yatay yükü bulmak adına programla yeterli sayıda analiz yapılmıştır. ANSYS programı sistemin taşıyabileceği yükten fazla yük yüklendiğinde, çeşitli hatalar verip analizi durdurmaktadır. Bu yüzden analizler, bulunan yatay deprem kuvvetinin belirli bir oranından başlayarak artırılmasıyla tekrar tekrar yapılmıştır. Her durum için yükler, %35, %36, %38, %39, vb. artırılarak analiz yapılmıştır. Analizin sonuçlanabildiği nihai değer o durumun taşıyabildiği nihai deprem kuvveti olarak kabul edilmiştir. Tasarlanan modelin üzerinde doğrusal olmayan analizlerde yükler 2000 adımda (substep) yüklenmiştir. Analizlerin süresi tamamen bilgisayar özelliklerine bağlıdır. Analizlerden sonra kolon ve perdelerin yatay deplasmanları Tablo 3.8’de ve kirişlerin maksimum sehimleri Tablo 3.9’da sunulmuştur.

Tablo 3.8. Taşınabilen maksimum yükte katların kolon-perde yatay deplasmanları

	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)
	Durum 1-1	perde	kolon	Durum 1-2	perde	kolon	Durum 1-3	perde	kolon	Durum 1-4	perde	kolon
kat1	3363,02	6,9201	9,295	1714,118	1,9362	2,6367	2510,032	4,0826	5,56	4197,043	7,2362	9,5279
kat2	6726,25	22,969	26,208	3428,34	6,0227	6,9383	5020,217	13,237	15,087	8394,342	24,168	27,219
kat3	10089,47	41,899	45,261	5142,562	10,792	11,893	7530,402	23,913	25,897	12591,641	44,287	47,439
kat4	13452,49	61,194	64,662	6856,68	16,046	17,161	10040,434	35,08	37,096	16788,685	64,78	68,009
kat5	16815,72	80,785	84,244	8570,9	21,617	22,759	12550,618	46,527	48,555	20985,984	85,423	88,598
kat6	20178,944	100,45	103,84	10285,123	27,361	28,52	15060,803	58,103	60,137	25183,283	106,05	109,121
kat7	23542,17	120,08	123,46	11999,345	33,164	34,338	17570,989	69,694	71,697	29380,582	126,55	129,581
kat8	29088,154	139,63	141,2	14826,11	38,939	38,781	21710,3	81,243	82,187	36301,959	146,91	148,081
	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)
	Durum 1-5	perde	kolon	Durum 1-6	perde	kolon	Durum 1-7	perde	kolon	Durum 1-8	perde	kolon
kat1	1626,5	1,7301	2,3641	1982,89	2,4522	3,0017	3090,432	3,9693	5,0062	5254,72	6,2884	8,0078
kat2	3253,099	5,3125	6,1528	3956,91	6,3986	7,1659	6181,053	12,5541	13,964	10509,76	21,276	23,548
kat3	4879,698	9,5909	10,536	5948,92	10,987	11,797	9271,673	22,5171	24,045	15764,8	39,221	41,578
kat4	6506,198	14,368	15,401	7931,81	16,033	16,899	12362,105	32,9241	34,509	21019,52	57,576	59,967
kat5	8132,797	19,484	20,563	9914,82	21,366	22,251	15452,726	43,5661	45,162	26274,56	76,073	78,367
kat6	9759,397	24,794	25,906	11897,84	26,846	27,748	18543,346	54,2881	55,814	31529,6	94,504	96,746
kat7	11385,996	30,182	31,226	13880,85	32,366	33,227	21633,966	64,9811	66,525	36784,64	112,71	114,92
kat8	14068,27	35,566	35,858	17150,85	37,813	38,095	26730,422	75,6051	75,989	45450,24	130,66	131,21

Tablo 3.8. devamı

	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)
	Durum 1-9	perde	kolon	Durum 1-10	perde	kolon	Durum 1-11	perde	kolon	Durum 1-12	perde	kolon
kat1	5927,981	7,2336	9,1176	2421,03	2,9834	41,48	4066,004	5,7608	7,0435	5911,56	7,5215	9,5527
kat2	11856,323	23,951	26,572	4842,208	7,5311	36,239	8132,255	16,679	18,228	11823,48	25,13	27,724
kat3	17784,665	44,452	47,119	7263,385	12,655	30,462	12198,507	28,379	30,006	17735,4	45,54	48,225
kat4	23712,646	65,363	68,045	9684,415	18,17	24,628	16264,511	40,522	42,162	23646,96	66,419	69,083
kat5	29640,988	86,397	89,025	12105,593	23,914	18,891	20330,762	52,878	54,48	29558,88	87,415	89,975
kat6	35569,33	107,31	109,81	14265,771	29,758	13,35	24397,013	65,271	66,809	35470,8	108,3	110,79
kat7	41497,672	127,93	130,43	16947,948	35,609	8,1886	28463,265	77,587	79,085	41382,72	128,91	131,35
kat8	51273,55	148,22	149,11	20940,488	41,423	3,4529	35168,543	89,793	90,085	51131,52	149,21	149,9

Tablo 3.8. devamı

	kuvvet(N)	Dep.(mm)	Dep.(mm)
	Durum 1-13	perde	kolon
kat1	4459,895	5,3514	6,2522
kat2	8920,061	15,073	16,195
kat3	13380,23	25,405	26,609
kat4	17840,121	36,45	37,306
kat5	22300,287	46,949	48,103
kat6	26760,453	57,751	58,856
kat7	31220,6195	68,423	69,516
kat8	38575,467	78,818	79,128

Tablo 3.9. Taşınabilen maksimum yatay yükte katların kiriş sehimleri

	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)
	Durum 1-1	Kiriş	Durum 1-2	Kiriş	Durum 1-3	Kiriş	Durum 1-4	Kiriş	Durum 1-5	Kiriş
Kat1	14929,92	5,52878	14929,92	2,97656	14929,92	4,0897	14929,92	4,85919	14929,92	2,71041
Kat2	14929,92	8,00614	14929,92	3,94975	14929,92	5,83858	14929,92	7,58316	14929,92	3,70829
Kat3	14929,92	8,46204	14929,92	4,45799	14929,92	6,27284	14929,92	7,97114	14929,92	4,22677
Kat4	14929,92	8,88902	14929,92	4,83982	14929,92	6,65057	14929,92	8,34107	14929,92	4,62137
Kat5	14929,92	9,13598	14929,92	5,10537	14929,92	6,90079	14929,92	8,58574	14929,92	4,90134
Kat6	14929,92	9,30131	14929,92	5,25229	14929,92	7,02597	14929,92	8,74289	14929,92	5,0714
Kat7	14929,92	9,37493	14929,92	5,32821	14929,92	7,05137	14929,92	8,8375	14929,92	5,11649
Kat8	10592,256	8,28751	10592,256	3,03763	10592,256	5,15782	10592,256	8,1974	10592,256	2,96981
	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)
	Durum 1-6	Kiriş	Durum 1-7	Kiriş	Durum 1-8	Kiriş	Durum 1-9	Kiriş	Durum 1-9	Kiriş
Kat1	14929,92	2,6698	14929,92	3,58399	14929,92	4,11598	14929,92	4,42415	14929,92	4,42415
Kat2	14929,92	3,50134	14929,92	4,77975	14929,92	6,42029	14929,92	6,82965	14929,92	6,82965
Kat3	14929,92	3,99776	14929,92	5,17168	14929,92	6,61865	14929,92	7,30193	14929,92	7,30193
Kat4	14929,92	4,33438	14929,92	5,45941	14929,92	6,90212	14929,92	7,63596	14929,92	7,63596
Kat5	14929,92	4,57764	14929,92	5,72904	14929,92	7,09772	14929,92	7,67434	14929,92	7,67434
Kat6	14929,92	4,71189	14929,92	5,77001	14929,92	7,04155	14929,92	7,56362	14929,92	7,56362
Kat7	14929,92	4,7402	14929,92	5,89797	14929,92	7,07259	14929,92	7,45314	14929,92	7,45314
Kat8	10592,256	2,88986	10592,256	4,73603	10592,26	5,79866	10592,256	6,02618	10592,256	6,02618
	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)	Kuvvet(N)	Sehim (mm)
	Durum 1-10	Kiriş	Durum 1-11	Kiriş	Durum 1-12	Kiriş	Durum 1-13	Kiriş	Durum 1-13	Kiriş
Kat1	14929,92	2,60847	14929,92	3,94662	14929,92	4,63937	14929,92	3,33301	14929,92	3,33301
Kat2	14929,92	3,39693	14929,92	4,84845	14929,92	6,89655	14929,92	4,08406	14929,92	4,08406
Kat3	14929,92	3,85262	14929,92	5,37112	14929,92	7,27912	14929,92	4,53216	14929,92	4,53216
Kat4	14929,92	4,15189	14929,92	5,67401	14929,92	7,62758	14929,92	4,75316	14929,92	4,75316
Kat5	14929,92	4,35089	14929,92	5,84743	14929,92	7,68614	14929,92	4,92192	14929,92	4,92192
Kat6	14929,92	4,32102	14929,92	5,99338	14929,92	7,57859	14929,92	4,99901	14929,92	4,99901
Kat7	14929,92	4,50095	14929,92	6,06433	14929,92	7,60182	14929,92	5,01801	14929,92	5,01801
Kat8	10592,256	3,11954	10592,256	5,20961	10592,256	6,25182	10592,256	4,31803	10592,256	4,31803

Tablo 3.10. Taşınabilen maksimum yükler ve hesaplanan süneklikleri

Durumlar	Taşınabilen Deprem Yüğü%	Yatay Yük (KN)	Perde Kolon Sünekliğı (KNcm)	Kiriş Sünekliğı (KNcm)	Sistem Sünekliğı (KNcm)
durum -1	40,960	387,891	204,22	48,21	252,43
durum -2	20,877	197,706	28,81	254,29	283,10
durum -3	30,571	289,512	88,70	35,45	124,15
durum -4	51,118	484,086	267,72	45,34	313,06
durum -5	19,810	187,590	25,12	24,23	49,36
durum -6	24,151	228,707	32,55	22,83	55,38
durum -7	37,640	356,420	101,30	20,68	121,98
durum -8	64,000	606,080	297,55	36,86	334,42
durum -9	72,200	683,734	381,13	39,68	420,81
durum -10	29,487	279,238	23,49	21,94	45,44
durum -11	49,522	468,973	158,15	30,94	189,09
durum -12	72,000	681,840	382,35	40,12	422,47
durum -13	54,319	514,405	152,32	25,91	178,23

13 durum için bulunan taşınabilen deprem yüklerinin ve sünekliklerin yüzdeleri Tablo 3.10'da gösterilmiştir. Analiz sonuçlarından sonra oluşturulan Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'daki verilerden faydalanarak kirişler, kolonlar ve perdelerin kuvvet deplasman grafikleri eklerde sunulmuştur. Bu grafiklerin altında kalan alanlar ile ait olduğu elemanın süneklik değerleri elde edilmiş ve yük deplasman grafikleri yaklaşık olarak doğru kabul edilmiştir. Perde ve kolon sünekliklerin ortalaması bulunarak perde-kolon süneklikleri olarak yazılmıştır. Sistem sünekliğı ise perde-kolon sünekliğı değerleri ile kiriş sünekliğı değerler toplanıp elde edilmiş ve Tablo 3.10'da sunulmuştur. Tüm durumların birbirleriyle karşılaştırmalı değerlendirmelerini yapabilmek adına, yatay yük ve kiriş, perde-kolon, sistem süneklikleri Tablo 3.11'de sunulmuştur. Daha iyi ve net yorumlamayı yapabilmek için Tablo 3.11'deki veriler, harfli ifadelerle belirtilmiş ve bu ifadeler kullanılarak düzenlenmiş hali, Tablo 3.12'de sunulmuştur.

Yatay yük taşıma kapasitelerinin ve sünekliklerin artış veya azalış yüzdesine göre belirlenen harfler ve işaretler şu şekildedir:

- 1) Süneklik artım yüzdesi %0.1 ile %16.9 arasında ise AZ(A)
- 2) Süneklik artım yüzdesi %17 ile %33.9 arasında ise ORTA(O)
- 3) Süneklik artım yüzdesi %34 ile % 67.9 arasında ise YÜKSEK (Y)
- 4) Süneklik artım yüzdesi %68' den büyük ise ÇOK YÜKSEK (Ç)
- 5) Süneklikler azalmış ise yukarıdaki harfler eksi (-) etiketi ile yazılmıştır.
- 6) Sabit kalan değerler çarpı "x" etiketi olarak gösterilmiştir.

3.11 ve 3.12 numaralı Tablolarda, satırdan sütuna doğru okuma yapılmalıdır

Tablo 3.11. Tüm durumlar için karşılaştırılmalı süneklik ve yük yüzdelerik değişim yüzdeleri

İNCELENEN DURUMLAR

		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1) YATAY YÜK	-49,03	-25,36	24,8	-51,64	-41,04	-8,11	56,25	76,27	-28,01	20,9	27,78	32,62
1	2) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-85,89	-56,57	31,09	-87,7	-84,06	-50,39	45,7	86,63	-88,5	-22,56	87,22	-25,41
1	3) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	427,5	-26,46	-5,95	-49,73	-52,64	-57,11	-23,53	-17,68	-54,48	-35,83	-16,78	-46,26
1	4) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	12,15	-50,82	24,02	-80,45	-78,06	-51,68	32,48	66,7	-82	-25,09	67,36	-29,39
2	5) YATAY YÜK		46,44	144,85	-5,12	15,68	80,28	206,56	245,83	41,24	137,21	244,88	160,19
2	6) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ		207,92	829,38	-12,8	12,98	251,66	932,91	1223,04	-18,45	449	1227,28	428,76
2	7) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ		-86,06	-82,17	-90,47	-91,02	-91,87	-85,5	-84,4	-91,37	-87,83	-84,22	-89,81
2	8) SİSTEM SÜNEKLİĞİ		-56,15	10,58	-82,56	-80,44	-56,91	18,13	48,64	-83,95	-33,21	49,23	-37,04
3	9) YATAY YÜK	-31,71		67,21	-35,2	-21	23,11	109,35	136,17	-3,55	61,99	135,51	77,68
3	10) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-67,52		201,82	-71,68	-63,31	14,21	235,45	329,67	-73,51	78,29	331,04	71,72
3	11) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	617,33		27,9	-31,64	-35,6	-41,68	3,99	11,94	-38,1	-12,74	13,17	-26,92
3	12) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	128,03		152,16	-60,24	-55,39	-1,75	169,37	238,95	-63,4	52,31	240,29	43,56
4	13) YATAY YÜK	-59,16	-40,19		-61,25	-52,75	-26,37	25,2	41,24	-42,32	61,99	135,51	6,26
4	14) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-89,24	-66,87		-90,62	-87,84	-62,16	11,14	42,36	-91,22	-40,93	42,82	-43,1
4	15) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	460,87	-21,81		-46,55	-49,65	-54,4	18,69	-12,48	-51,6	-31,77	-11,51	-42,86
4	16) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	-9,57	-60,34		-84,23	-82,31	-61,04	6,82	34,42	-85,49	-39,6	34,95	-43,07
5	17) YATAY YÜK	5,39	54,33	158,06		21,92	90	223,09	264,48	48,86	150	263,47	174,22
5	18) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	14,67	253,1	965,72		29,56	303,26	1084,47	1417,17	-6,48	529,56	1422,03	506,35
5	19) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	949,33	46,28	87,09		55,38	121,98	334,42	420,81	45,44	189,09	422,47	178,23
5	20) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	473,6	151,55	534,3		12,2	147,15	577,57	752,62	-7,97	283,11	755,98	261,11
6	21) YATAY YÜK	-13,55	26,59	111,66	-17,98		55,84	165	198,96	22,09	105,05	198,13	124,92
6	22) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-11,49	172,54	722,56	-22,82		211,25	814,22	1071,01	-27,82	385,92	1074,76	368
6	23) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	1013,86	55,28	98,59	6,15		-9,44	61,47	73,82	-3,88	35,5	75,73	13,48
6	24) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	411,22	124,2	465,32	-10,87		120,27	503,89	659,9	-17,95	241,45	662,9	221,84
7	25) YATAY YÜK	-44,53	-18,77	35,82	-47,37	-35,83		70,05	91,83	-21,65	31,58	91,3	44,33
7	26) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-71,56	-12,44	164,27	-75,2	-67,87		193,72	276,22	-76,81	56,12	277,43	50,36

Tablo 3.11. devamı

7	27) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	1123,96	71,46	119,29	17,21	10,42		78,3	91,93	6,14	49,63	94,05	25,31
7	28) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	132,09	1,78	156,65	-59,54	-54,6		174,16	244,99	-62,75	55,02	246,35	46,11
8	29) YATAY YÜK	-67,38	-52,23	-20,13	-69,05	-62,26	-41,19		12,81	-53,93	-22,62	12,5	-15,13
8	30) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-90,32	-70,19	-10,03	-91,56	-89,06	-65,95		28,09	-92,1	-46,85	28,5	-48,81
8	31) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	589,82	-3,84	22,99	-34,26	-38,07	-43,92		7,64	-40,47	-16,08	8,83	-29,72
8	32) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	-15,34	-62,87	-6,39	-85,24	-83,44	-63,52		25,83	-86,41	-43,46	26,33	-46,7
9	33) YATAY YÜK	-71,08	-57,66	-29,2	-72,56	-66,55	-47,87	-11,36		-59,16	-31,41	-0,28	-24,77
9	34) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-92,44	-76,73	-29,76	-93,41	-91,46	-73,42	-21,93		-93,84	-58,5	0,32	-60,03
9	35) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	540,83	-10,66	14,26	-38,93	-42,47	-47,9	-7,1		-44,7	-22,04	1,1	-34,71
9	36) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	-32,72	-70,5	-25,61	-88,27	-86,84	-71,01	-20,53		-89,2	-55,07	0,39	-57,65
10	37) YATAY YÜK	-29,2	3,68	73,36	-32,82	-18,1	27,64	117,05	144,86		67,95	144,18	84,22
10	38) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	22,62	277,57	1039,57	6,93	38,54	331,21	1166,55	1522,31		573,18	1527,5	548,37
10	39) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	1058,83	61,55	106,61	10,44	4,04	-5,78	67,99	80,83		40,97	82,83	18,06
10	40) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	523,06	173,24	588,99	8,62	21,88	168,46	636	826,14		316,15	829,79	292,25
11	41) YATAY YÜK	-57,84	-38,27	3,22	-60	-51,23	-24	29,24	45,79	-40,46		45,39	9,69
11	42) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-81,79	-43,91	69,28	-84,12	-79,42	-35,94	88,14	140,99	-85,15		141,76	-3,69
11	43) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	722,03	14,6	46,56	-21,66	-26,2	-33,17	19,17	28,28	-29,06		29,69	-16,25
11	44) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	49,72	-34,34	65,56	-73,9	-70,71	-35,49	76,86	122,55	-75,97		123,43	-5,74
12	45) YATAY YÜK	-71	-57,54	-29	-72,49	-66,46	-47,73	-11,11	0,28	-59,05	-31,22		-24,56
12	46) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-92,47	-76,8	-29,98	-93,43	-91,49	-73,5	-22,18	-0,32	-93,86	-58,64		-60,16
12	47) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	533,83	-11,64	13,01	-39,6	-43,1	-48,47	-8,12	-1,09	-45,3	-22,89		-35,43
12	48) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	-32,99	-70,61	-25,9	-88,32	-86,89	-71,13	-20,84	-0,39	-89,24	-55,24		-57,81
13	49) YATAY YÜK	-61,57	-43,72	-5,89	-63,53	-55,54	-30,71	17,82	32,92	-45,72	-8,83	32,55	
13	50) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-81,09	-41,77	75,76	-83,51	-78,63	-33,49	95,34	150,21	-84,58	3,83	151,02	
13	51) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	881,56	36,84	75,01	-6,46	-11,88	-20,2	42,29	53,17	-15,3	19,41	54,86	
13	52) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	58,84	-30,34	75,65	-72,31	-68,93	-31,56	87,63	136,11	-74,51	6,09	137,04	

Tablo 3.12. Tüm durumlar için karşılaştırmalı süneklik ve yük değişimlerinin harfli ifadeleri

İNCELENEN DURUMLAR

		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1) YATAY YÜK	-Y	-O	O	-Y	-Y	-A	Y	Ç	-O	O	O	O
1	2) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-Ç	-Y	O	-Ç	-Ç	-Y	Y	Ç	-Ç	-O	Ç	-O
1	3) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	-O	-A	-Ç	-Y	-Y	-O	-O	-Y	-Y	-A	-Y
1	4) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	A	-Y	O	-Ç	-Ç	-Y	O	Y	-Ç	-O	Y	-O
2	5) YATAY YÜK		Y	Ç	-A	A	Ç	Ç	Ç	Y	Ç	Ç	Ç
2	6) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ		Ç	Ç	-A	A	Ç	Ç	Ç	-O	Ç	Ç	Ç
2	7) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ		-Ç	-Ç	-Ç	-Ç	-Ç	-Ç	-Ç	-Ç	-Ç	-Ç	-Ç
2	8) SİSTEM SÜNEKLİĞİ		-Y	A	-Ç	-Ç	-Y	O	Y	-Ç	-O	Y	-Y
3	9) YATAY YÜK	-O		Y	-A	-O	O	Ç	Ç	-A	Y	Ç	Ç
3	10) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-Y		Ç	-Ç	-Y	A	Ç	Ç	-Ç	Ç	Ç	Ç
3	11) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç		O	-O	-Y	-Y	A	A	-Y	-A	A	-O
3	12) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	Ç		Ç	-Y	-Y	-A	Ç	Ç	-Y	-Y	Ç	Y
4	13) YATAY YÜK	-Y	-Y		-Y	-Y	-O	O	Y	-Y	-Y	Ç	A
4	14) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-Ç	-Y		-Ç	-Ç	-Y	A	Y	-Ç	-Ç	Y	-Y
4	15) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	-O		-Y	-Y	-Y	O	-A	-Y	-Y	-A	-Y
4	16) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	-A	-Y		-Ç	-Ç	-Y	A	Y	-Ç	-Ç	Y	-Y
5	17) YATAY YÜK	A	Y	Ç		O	Ç	Ç	Ç	Y	Y	Ç	Ç
5	18) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	A	Ç	Ç		O	Ç	Ç	Ç	-A	-A	Ç	Ç
5	19) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	Y	Ç		Y	Ç	Ç	Ç	Y	Y	Ç	Ç
5	20) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	Ç	Ç	Ç		A	Ç	Ç	Ç	-A	-A	Ç	Ç
6	21) YATAY YÜK	-O	O	Ç	-O		Y	Ç	Ç	O	O	Ç	Ç
6	22) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-A	Ç	Ç	-O		Ç	Ç	Ç	-O	-O	Ç	Ç
6	23) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	Y	Ç	A		-A	Y	Ç	-A	-A	Ç	A
6	24) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	Ç	Ç	Ç	-A		Ç	Ç	Ç	-O	-O	Ç	Ç

Tablo 3.12. devamı

7	25) YATAY YÜK	-Y	-O	Y	-Y	-Y		Ç	Ç	-O	-O	Ç	Y
7	26) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-Ç	-A	Ç	-Ç	-Y		Ç	Ç	-Ç	-Ç	Ç	Y
7	27) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	Ç	Ç	O	A		Ç	Ç	A	A	Ç	O
7	28) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	Ç	A	Ç	-Y	-Y		Ç	Ç	-Y	-Y	Ç	Y
8	29) YATAY YÜK	-Y	-Y	-O	-Ç	-Y	-Y		A	-Y	-Y	A	-A
8	30) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-Ç	-Ç	-A	-Ç	-Ç	-Y		O	-Ç	-Ç	O	-Y
8	31) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	-A	O	-Y	-Y	-Y		A	-Y	-Y	A	-O
8	32) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	-A	-Y	-A	-Ç	-Ç	-Y		O	-Ç	-Ç	O	-Y
9	33) YATAY YÜK	-Ç	-Y	-O	-Ç	-Y	-Y	-A		-Y	-Y	-A	-O
9	34) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-Ç	-Ç	-O	-Ç	-Ç	-Ç	-O		-Ç	-Ç	A	-Y
9	35) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	-A	A	-Ç	-Y	-Y	-A		-Y	-Y	A	-Y
9	36) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	-O	-Ç	-O	-Ç	-Ç	-Ç	-O		-Ç	-Ç	A	-Y
10	37) YATAY YÜK	-O	A	Ç	-O	-O	O	Ç	Ç		Y	Ç	Y
10	38) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	O	Ç	Ç	A	-Y	Ç	Ç	Ç		Ç	Ç	Ç
10	39) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	Y	Ç	A	A	-A	Y	Ç		Y	Ç	O
10	40) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	Ç	Ç	Ç	A	O	Ç	Ç	Ç		Ç	Ç	Ç
11	41) YATAY YÜK	-Y	-Y	A	-Y	-Y	-O	O	Y	-Y		Y	A
11	42) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-Ç	-Y	Ç	-Ç	-Ç	-Y	Ç	Ç	-Ç		Ç	-A
11	43) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	A	Y	-O	-O	-O	O	O	-O		O	-A
11	44) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	Y	-Y	Y	-Ç	-Ç	-Y	Ç	Ç	-Ç		Ç	-A
12	45) YATAY YÜK	-Ç	-Y	-O	-Ç	-Y	-Y	-A	A	-Y	-O		-O
12	46) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-Ç	-Ç	-O	-Ç	-Ç	-Ç	-O	-A	-Ç	-Y		-Y
12	47) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	-A	A	-Y	-Y	-Y	-A	-A	-Y	-O		-Y
12	48) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	-O	-Ç	-O	-Ç	-Ç	-Ç	-O	-	-Ç	-Y		-Y
13	49) YATAY YÜK	-Y	-Y	-A	-Y	-Y	-O	O	O	-Y	-A	O	
13	50) KOLON PERDE SÜNEKLİĞİ	-Ç	-Y	Ç	-Ç	-Ç	-O	Ç	Ç	-Ç	A	Ç	
13	51) KİRİŞ SÜNEKLİĞİ	Ç	Y	Ç	-A	-A	-O	Y	Y	-A	O	Y	
13	52) SİSTEM SÜNEKLİĞİ	Y	-O	Ç	-Ç	-Ç	-O	Ç	Ç	-Ç	A	Ç	

4. SONUÇLAR

Durumlar arasındaki karşılaştırmalar için ilk veriler, Durum 1 ile toplanmıştır. Diğer karşılaştırmalar, özel olarak gösterilmiştir. Tablo 3.12 ve Şekil 3.31 baz alınarak aşağıdaki gibi açıklamalar yapılabilir:

1-) Durum 1’de standartlara göre minimum donatı oranları kullanarak düşey ve yatay yüklerin altında sistemin doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre sistem, minimum donatı oranları ile toplam yatay yükleri %40,960 yani 387,891 KN ve düşey yükleri %40,960 yani 813,056 KN olarak taşıyabilmektedir. Düşey yükler bu haliyle, diğer tüm durumlar için sabit (%40,960) bırakılmıştır. Durum 1 için toplam sistem sünekliği de 252.43KNcm olmuştur.

2-) Durum 2’de perde donatı oranlarının her iki yönde artırılması ile birlikte sistemin sünekliğinin (30,67 KNcm) arttığı ve taşıma kapasitesinin (190,185KN) azaldığı görülmüştür. Ancak perdeler, özellikle deprem kuvvetinin yatay etkisiyle, kolonlardan daha yüksek atalet momentine sahip olduğundan, daha yüksek yatay kuvvet taşımaktadır. Bu durumda kolon donatılarının minimum düzeyde kalmasından dolayı, deprem kuvvetlerini karşılamakta kolon yetersiz kalmakta ve dolayısıyla yatay yük taşıma kapasitesi durum birden daha düşük çıkmaktadır.

3-) Durum 3’te sadece kolon donatılarının (Enine, boyuna) artırılması, perde donatılarının artırılması ile ters bir şekilde sistem sünekliği üzerinde azalış ama taşıma kapasitesinde Durum 2’ye göre artış sağlamıştır. Bu durum, donatılandırma açısından güçlü perde ve kolon ile zayıf kiriş oluşumundan dolayı, kiriş sisteminde göçmeye yol açmaktadır. Durum 3’te yatay yük taşıma kapasitesi Durum 2’ye göre artış ve Durum 1’e azalış göstermektedir.

4-) Durum 4’te sistemin kolon ve perde donatıları minimum düzeyde tutulmuştur. Kirişin alt, üst ve enine donatı oranlarının %50 artırılması ile yatay yük taşıma kapasitesi Durum 3’e göre %20,547 yani 194,574 KN artmıştır. Aynı zamanda sistem sünekliği de 188,91 KNcm miktarında artmaktadır. Bu durumda sadece kiriş donatı oranı artırımı ile yatay yük taşıma kapasitesi ve sistem sünekliği artımı sağlanmıştır. Diğer tüm durumlara göre büyük iyileşmelerin bu durumda sağlanması ayrıca dikkat çekmektedir.

5-) Durum 5’te sistemin kolon ve perde tüm donatıları %50 artmakta, kiriş tüm donatıları minimum düzeyde tutulmaktadır. Bu durumda, sistemde çok büyük ölçüde

olumsuz etkiler görülmektedir. Halbuki Durum 4'te sadece kiriş donatı oranlarının artırılması ile büyük düzeyde iyileşmeler görülmüştür. Bu durumda yatay yük taşıma kapasitesi Durum 4'e göre %31,308 yani 296,496 KN miktarında azalmış ve sistem sünekliği de büyük ölçüde olumsuzlaşmıştır. Durum 4'te sistem sünekliği 313,06 KNcm iken Durum 5'te 49,36 KNcm 'ye düşmüştür. Bu durumda, açık bir şekilde, donatılardırma açısından zayıf kiriş ve güçlü kolon- perde oluşumundan dolayı, kiriş taşıma kapasitesi yetersizliği nedeniyle sistemde erken göçme görülmektedir.

6-) Durum 6'da kolon, kiriş ve perde yani tüm sistem donatı oranları %50 olarak artmaktadır. Ancak sistemde beklenen düzenlemeler sağlanamamakta ve olumsuz bir etki olduğu görülmektedir. Donatı artışı sonucunda yatay yük taşıma kapasitesi Durum 4'e göre %26.967 yani 255.379 KN miktarında düşmüş ve aynı şekilde sistem sünekliği de büyük kayıplar vermiştir. Daha önceki durumlarda görüldüğü gibi, sistemde yalnız kiriş donatılarının artırılması ile büyük ölçüde iyileşmeler görülmekte ve diğer durumlarda (2 ve 5), kolon veya kolon- perde donatı oranlarının artmasıyla oluşan, sistemde yatay yük taşıma kapasitesi ve sistem sünekliği düşüşleri göze çarpmaktadır.

7-) Yatay yük taşıma kapasitesi ve süneklik açısından, bu çalışmada, kolon ve perde donatılarının birlikte artırılması, sadece kolon donatı veya sadece perde donatı oranlarının artırılmasından daha kötü sonuçlar verilmektedir. Bu incelenen sistemde, kolon ve perde donatı oranlarının artırılması, bunlara göre nispeten düşük oranda kalan kiriş donatıları nedeniyle, sistem davranışında göze çarpan olumsuz bir etki yaratmaktadır.

8-) Durum 7'de, Durum 6 ile aynı donatı oranları kullanılmış, fakat kiriş üst yani basınç donatıları %50 yerinde %122 olarak artırılmıştır. Sistemdeki donatı oranının artışı dikkate alınırsa, sistemin yatay yük taşıma kapasitesinde ve sünekliğinde belirgin bir iyileşme görülmemektedir. Ancak Durum 6'ya göre hem yatay yük taşıma kapasitesi ve hem de sistem sünekliği belli bir seviyede artmaktadır. Sadece kiriş üst donatılarının artırılması ile Durum 7'de, Durum 6'ya göre sistem sünekliği nerdeyse 2 katından daha fazla artmıştır. Sadece kiriş üst donatılarının artışı ile sistemdeki bu değişimin nedeni ise, yatay yükler altında çekme bölgesi olacak olan kiriş üst bölgelerinin donatılar ile güçlendirilmiş olmasıdır. Bu değişimlere bakarak, kiriş basınç donatılarının betonarme sistemlerdeki önemi net olarak görülmektedir.

9-) Bu sistemde, kiriş donatılarının artırımı ile durumlarda oluşan iyileşmeler dikkat çekici ve yönlendiricidir. Bunun nedeni, kirişlerin nisbeten büyük açıklığa ve küçük yüksekliğe sahip olmaları, perde- kolon donatı artırımlarının, bir noktadan sonra bu elemanları rijitleştirmesi ve bu durumun ve onlara göre zayıf kalan kirişlerin sisteme olumsuz etki yapmasıdır.

10-) Bu çalışma kapsamında standartlarda betonarme yapı elemanları için verilen minimum donatı oranlarının en azından bu sistem için yetersiz kaldığı ve anlamsız alt sınırlar olduğu net olarak görülmektedir. Bu sistem özelinde özellikle kirişler için bu durum daha da geçerlidir. Betonarme yapıların ön tasarımına da yönelik olabilecek yeni minimum donatı oranlarının, deprem bölgesi, zemin sınıfı, yapı kullanım amacı ve benzer parametrelerin yanında kat adetine göre belirlenmesi de bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Ayrıca Ön tasarım için belirlenmiş asgari donatı oranları, eleman kesit boyutları ile düşey elemanlarda yüksekliği, yatay elemanlarda uzunluğu dikkate alınarak düzenlenebilir. Yük paylaşımından dolayı yapı elemanların rijitlik oranları da dikkate alınmalıdır.

11-) Betonarme yapı sistemlerinin yapı elemanlarının birlikte çalışmaları sonucu yük paylaşımında ve birbirleri ile etkileşimde bulunmaları nedeniyle, bir yapı elemanın donatı yetersizliği ve benzer sebeplerden dolayı göçmesi, özellikle düşey taşıyıcı elemanların göçmesi, tüm sistemin göçmesine neden olabilir. Elemanlar arasındaki etkileşimi de dikkate alınarak ön tasarıma yönelik minimum donatı oranları, belirli parametrelere bağlı bir şekilde düzenlenebilir. Bunun içinde, bu çalışma gibi birçok çalışma yapılması gerekmektedir.

12-) Bu çalışma boyunca betonarme yapı elemanları yani kolon, perde ve kiriş donatı oranları, beklenen sistem performansını elde etmek için büyük oranda artırılmasına rağmen, beklenen performans elde edilmemiştir. Analiz sonuçları dikkate alınarak denebilir ki, standartlarda verilen minimum donatı oranları, uygulama alanında gerektiğinden çok düşük kalmaktadır. Yapı elemanlarının donatı oranları eleman yüksekliği veya uzunluğu ile kat adetine, eleman ebatlarına ve yük paylaşımından dolayı, yapı elemanların rijitlik oranına göre dikkate alınarak düzenlenmelidir.

KAYNAKLAR

- Anıl, Ö., Belgin, M. Ç., 2007. Monotonik yükleme etkisi altındaki dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:22, No:1, 191-197.
- ANSYS Release 13.0, 2010. Customer Training Material Lecture 5 Rate Independent Plasticity.
- ANSYS Theory Reference: Release 5.6, P. C. Kohnke, Canonsburg, PA, ANSYS Inc, 1999.
- ANSYS, 2013, Swanson Analysis System., Canonsburg, PA: ANSYS, Inc.
- Ashour, A. F. and Morley, C. T. 1993. Three dimensional nonlinear finite element modelling of reinforced concrete structures, Finite Elements in Analysis and Design, 15:1, 43-55.
- Besson, B. and Sigfusson, T. 2001. Capacity and earthquake response analysis of RC-shear walls, (Report No. 27 – 2001/2). Nordic Concrete Research. Nordic Countries.
- Chan, H.C., Cheung Y.K. and Huang, Y.P. 1994. Nonlinear modelling of reinforced concrete structures. Computers & Structures, 53:5, 1099-1107.
- CSI. SAP2000 v16, 2013. Structural Analysis Program, Berkeley, California, USA.
- DBYBHY-07, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Dede, F. T. 2006. Tersinir-Tekrarlanır Yükleme Altındaki Betonarme Çerçevelerin ANSYS Programı ile Nonlinear Sonlu Eleman Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 180280.
- Doğangün, A. 2018. Betonarme yapıların hesap ve tasarımı, Birsen yayınevi, İstanbul.
- Emiroğlu, Y. 2015. Deprem Etkisi Altındaki Perde Duvarlı Betonarme Sistemlerde Donatı Oranları Değişiminin Sistem Davranışı Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, 19 Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 99, Samsun.
- Erduran, E. and Yakut, A. 2004. Drift based damage functions for reinforced concrete columns. Computers and Structures, 82:2-3,121-130.
- Ersoy, U. 2013. Depreme dayanıklı betonarme binaların öntasarımı için basit bir yöntem. İMO Teknik Dergi, 24:119, 6559-6574.
- Ersoy, U., 2007: Betonarme: Temel İlkeler, TS-500-2000 ve Türk Deprem

- Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Ersoy, U. ve Özcebe G., 2012 “Betonarme” Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Fanning, P. 2001. Nonlinear Models of Reinforced and Post-tensioned Concrete Beams, Department of Civil Engineering. Electronic Journal of Structural Engineering, 2:0, 111-119.
- Greeshma, S., Jaya K.P. and Annilet, S.L. 2011. Analysis of flanged shear wall using ANSYS concrete model. International Journal of Civil and Structural Engineering, 2:2, 454-465.
- Hamil, S.J., Baglin, P.S. and Scott, R.H. 2000. Finite element modelling of reinforced concrete beam- column connections, ACI Structural Journal, 97, 886-894.
- Hidalgo, P.A., Jordan, R.M. and Martinez, M.P. 2002. An analytical model to predict the inelastic seismic behavior of shear-wall, reinforced concrete structures. Engineering Structures, 24:1, 85-98.
- Hognestad, E. 1951. A study on combined bending and axial load in reinforced concrete members, University of Illinois Engineering Experiment Station, Urbana- Champaign, IL, 43- 46.
- İlki, A. 1999. Sargılı beton gerilme-şekil değiştirme modelleri üzerine bir derleme. Türkiye Deprem Vakfı, 22-36, İstanbul.
- İlki, A. ve Kumbasar, N. 2001. Sargılı beton için mevcut modellerin deneysel verilerle karşılaştırılması. İMO Teknik Dergi, 2419-2434, Ankara.
- Kazaz, İ., Gülkan, P. and Yakut, A. 2012. Performance limits for structural walls: an analytical perspective, Engineering Structures, 43:0, 105-119
- Kent, D. C. and Park, R. 1971. Flexural members with confined concrete, ASCE Journal of the Structural Division, 97:7, 1969-1990.
- Koç V. and Emiroğlu Y. 2017. Examining the Behaviour of a Reinforced Concrete System Under Horizontal Loads and Determination of Preliminary Design Reinforcement Ratios. International Journal of Civil Engineering, 15:7, 1035-1052.
- Koç, V., Emiroğlu, Y., study about determination of preliminary design & minimum reinforcement ratios, CrossMark, Research paper, 2015.
- Kotsovas, M.D. M.N. Pavlovic, and I.D. Lefas, 1992. Two- and threedimensional nonlinear finiteelement analysis of structural walls. Published in Nonlinear Seismic Analysis and Design of Reinforced Concrete Buildings, edited by Fajfar P. and Krawinkler H., Elsevier Applied Science, pp. 215-227.

- Kwak, H.G. and Kim, J. 2008. Optimum design of reinforced concrete plane frames based on predetermined section database. *Computer-Aided Design*, 40:3, 396-408.
- Kwak, H.-G. and Kim, D.-Y. 2004. FE analysis of RC shear walls subject to monotonic loading, *Magazine of Concrete Research*, 56, 387-403.
- Musmar, M. A. 2013. Analysis of shear wall with openings using solid65 element. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 7:2, 164-173.
- Ngo, D. and A. C. Scordelis, "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams," *ACI Journal*, Vol. 64, 1967, pp. 152-163.
- Nicolas, I., Nguyen, X.H., Kotronis, P., Mazars, J. and Reynouard, J.M. 2008. Shaking table tests of lightly RC walls: numerical simulations, *Journal of Earthquake Engineering*, 12:6, 849-878.
- ÖZGÜR, O.Ö. 2005. Çentikli Beton Kirişlerin Ansys Sonlu Elemanlar Programı İle Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 128, Ankara.
- Palermo, D. and Vecchio, F.J. 2007. Simulation of cyclically loaded concrete structures based on the finite-element method. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 133:5, 728-738.
- Roy, H. E. H. and Sözen, M. A. 1964. Flexural Mechanics of Reinforced Concrete: Proceedings of the International Symposium, ASCE-ACI, 213-235, Miami.
- Saatçioğlu, M. and Ravzi, S. R. 1992. Strength and ductility of confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, 118:6, 1590-1607.
- Susam, N., Betonarme Perde Duvarlı Sistemlerde Ön Tasarım Donatı Oranlarının Belirlenmesine Yönelik bir Çalışma, 19 Mayıs Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 2019.
- TS500, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS 498, 1997. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Vallenas. J. M., JE. P. Popov. August 1979. hysteretic behavior of reinforced concrete structural walls. ucb/eerc-79120 Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California Berkeley.
- Von Mises, R. 1913. Mechanik der festen Körper im plastisch deformablen Zustand,

Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen,
Mathematisch-Physikalische Klasse, 1, 582- 592.

Willam, K. J. and Warnke, E.D. (1975). Constitutive model for the triaxial behaviour
of concrete. Proceedings of the International Association for Bridge and
Structural Engineering.17-19/05, ISMES, 174-203, Italy.

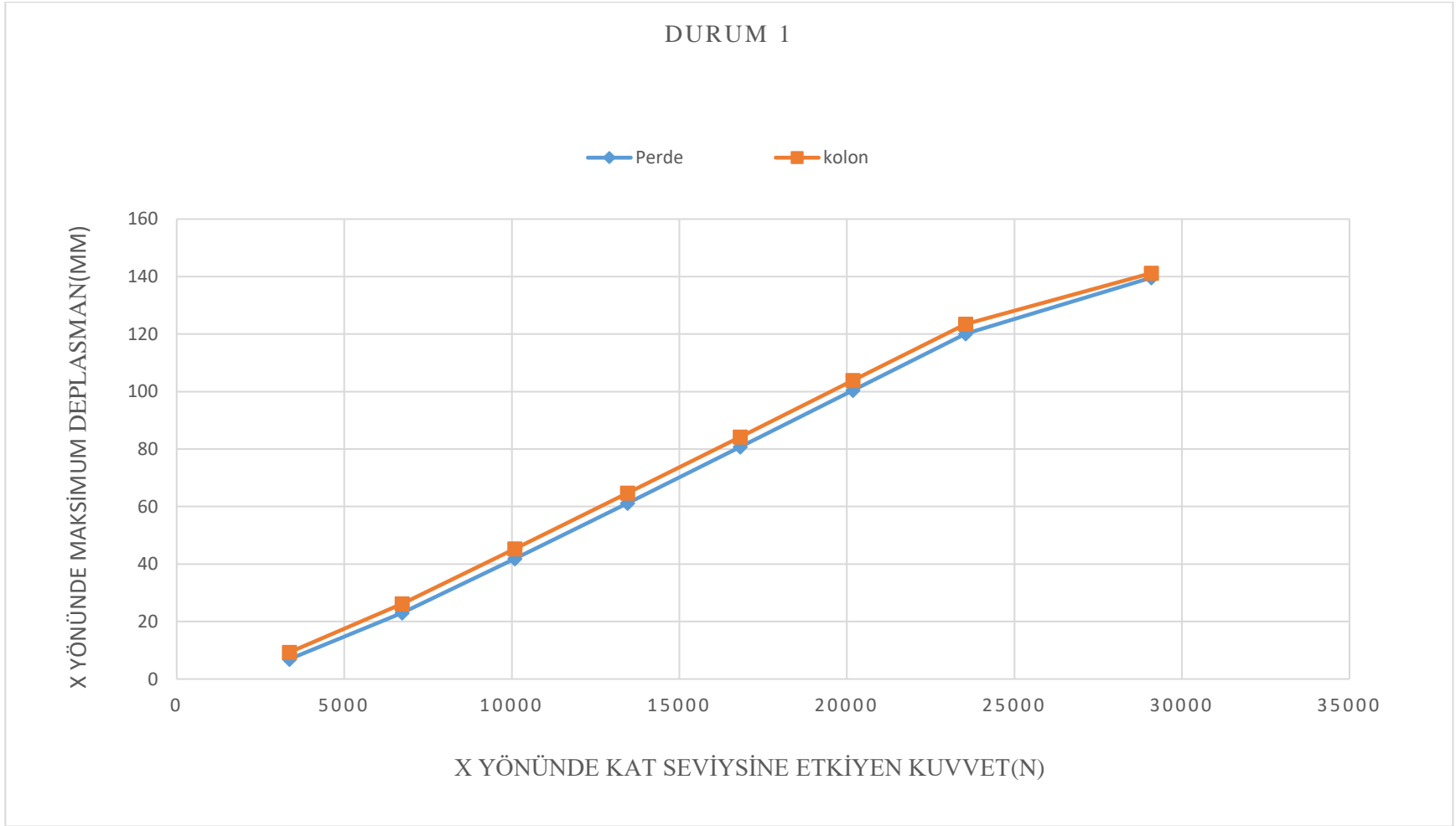
Yavuzer, M. 2005. Monotonik Yükleme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Kesitli
Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Nonlineer Analizi. Yüksek
Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği
Anabilim Dalı, 54, Ankara.

EKLER

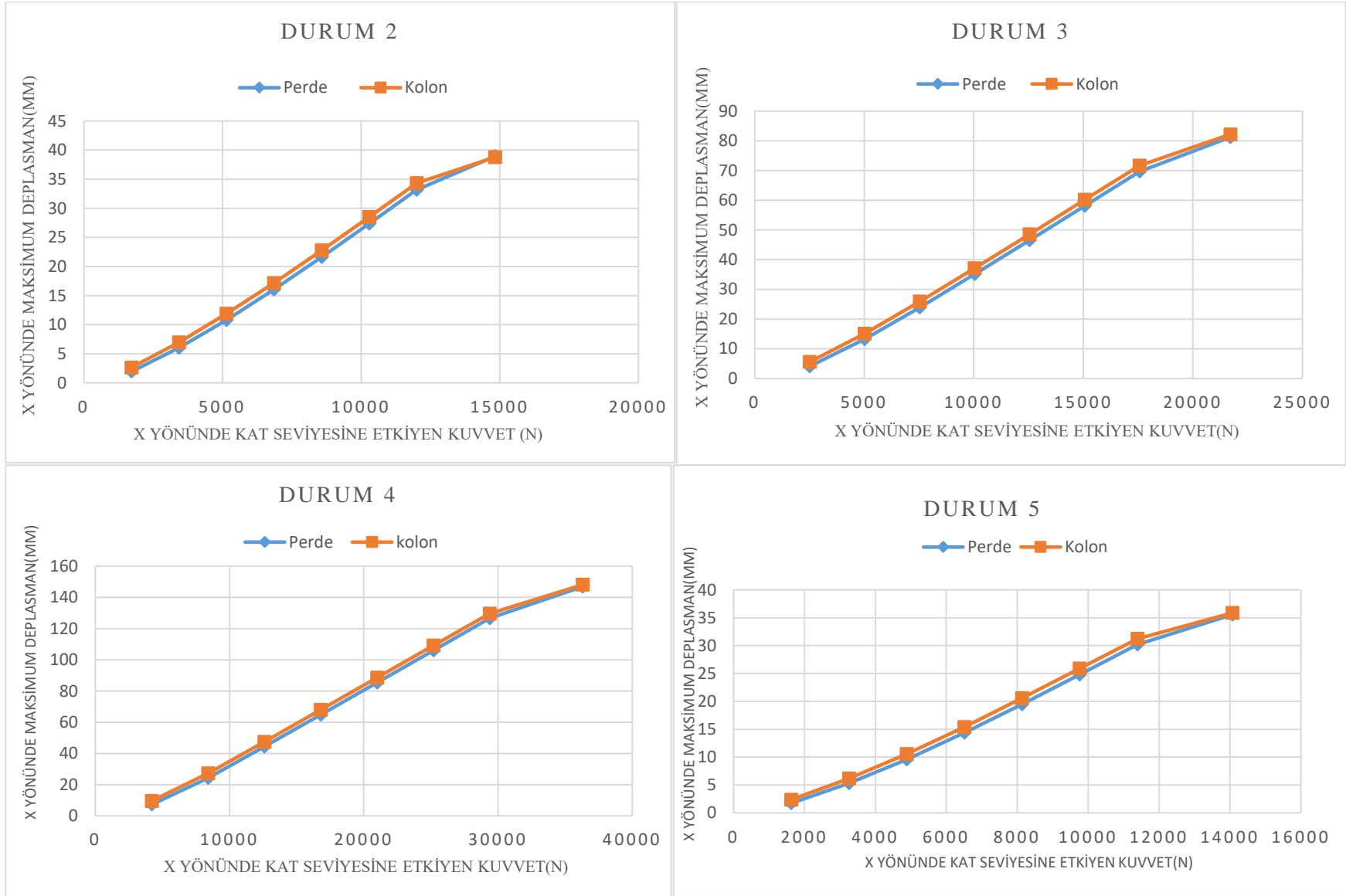
EK A: Kuvvet – yatay deplasman ve kuvvet kiriş sehim grafikleri

EK B: sonlu eleman analizler sonrası yatay – düşey deplasmanlar, gerilmeler ve çatlamlar

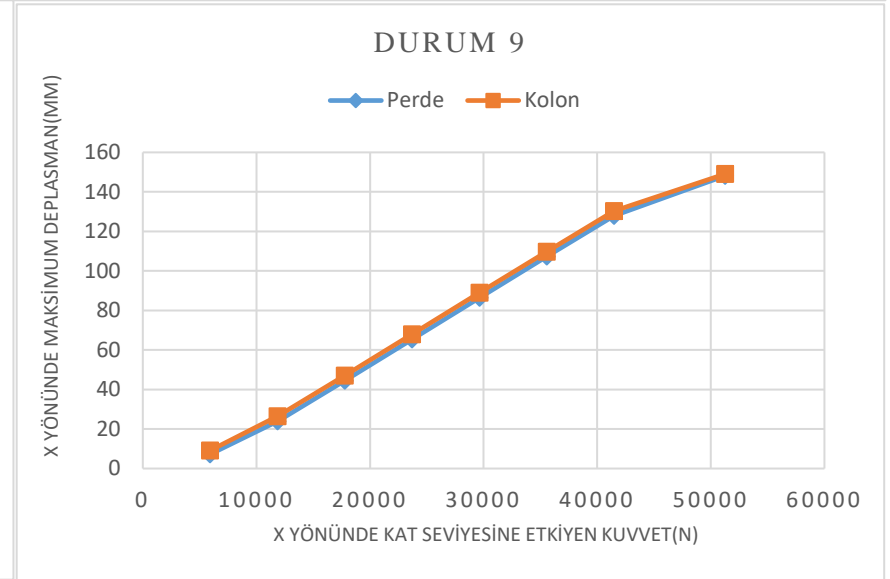
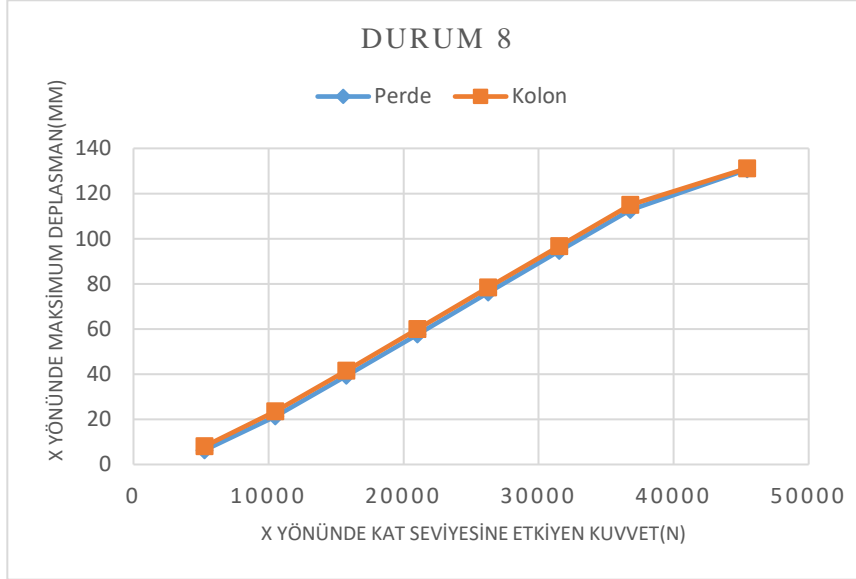
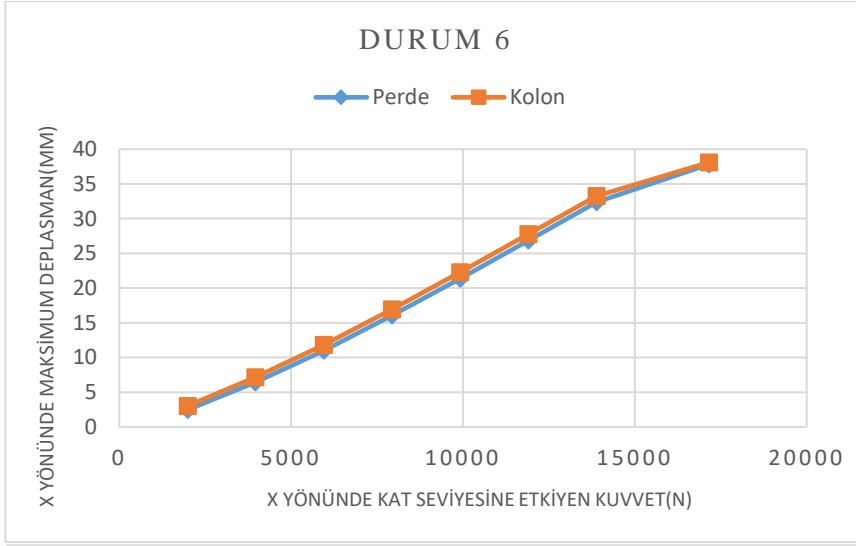
EK A:



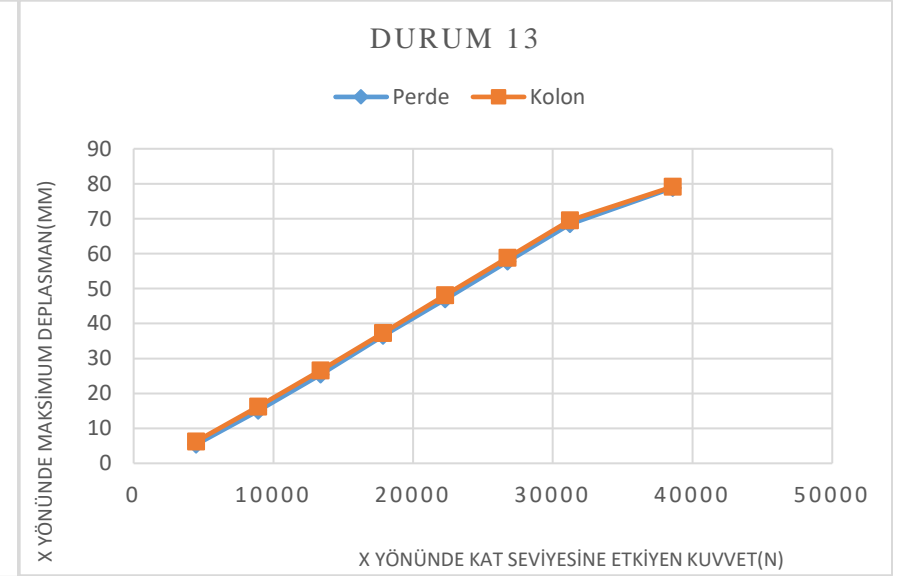
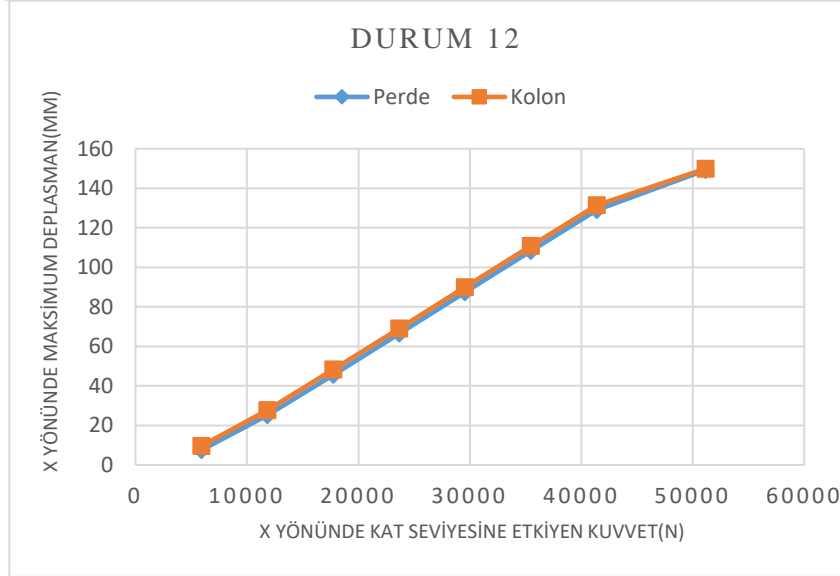
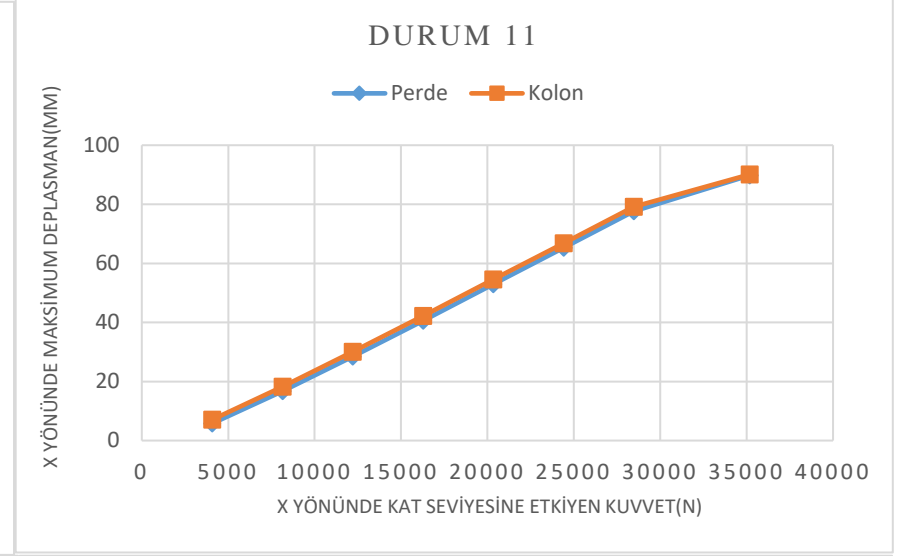
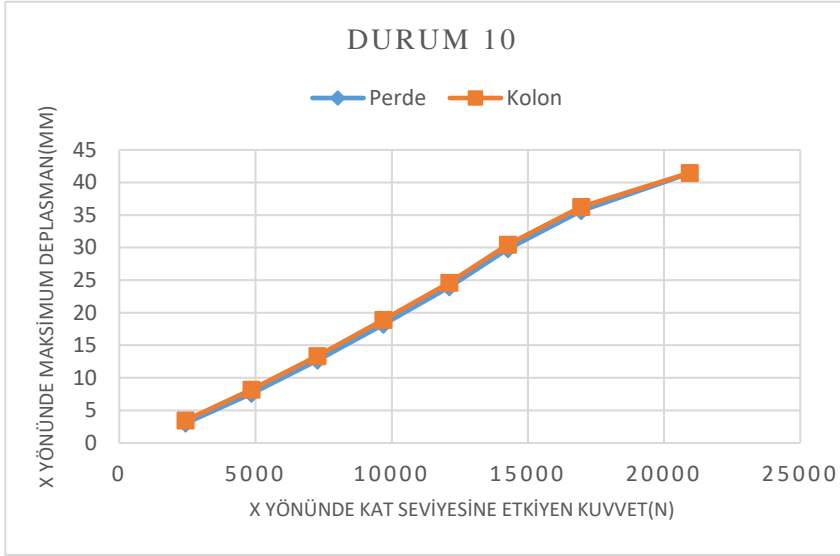
Şekil A.1. Durum 1 için yatay kuvvet-perde ve Kolon deplasman eğrileri



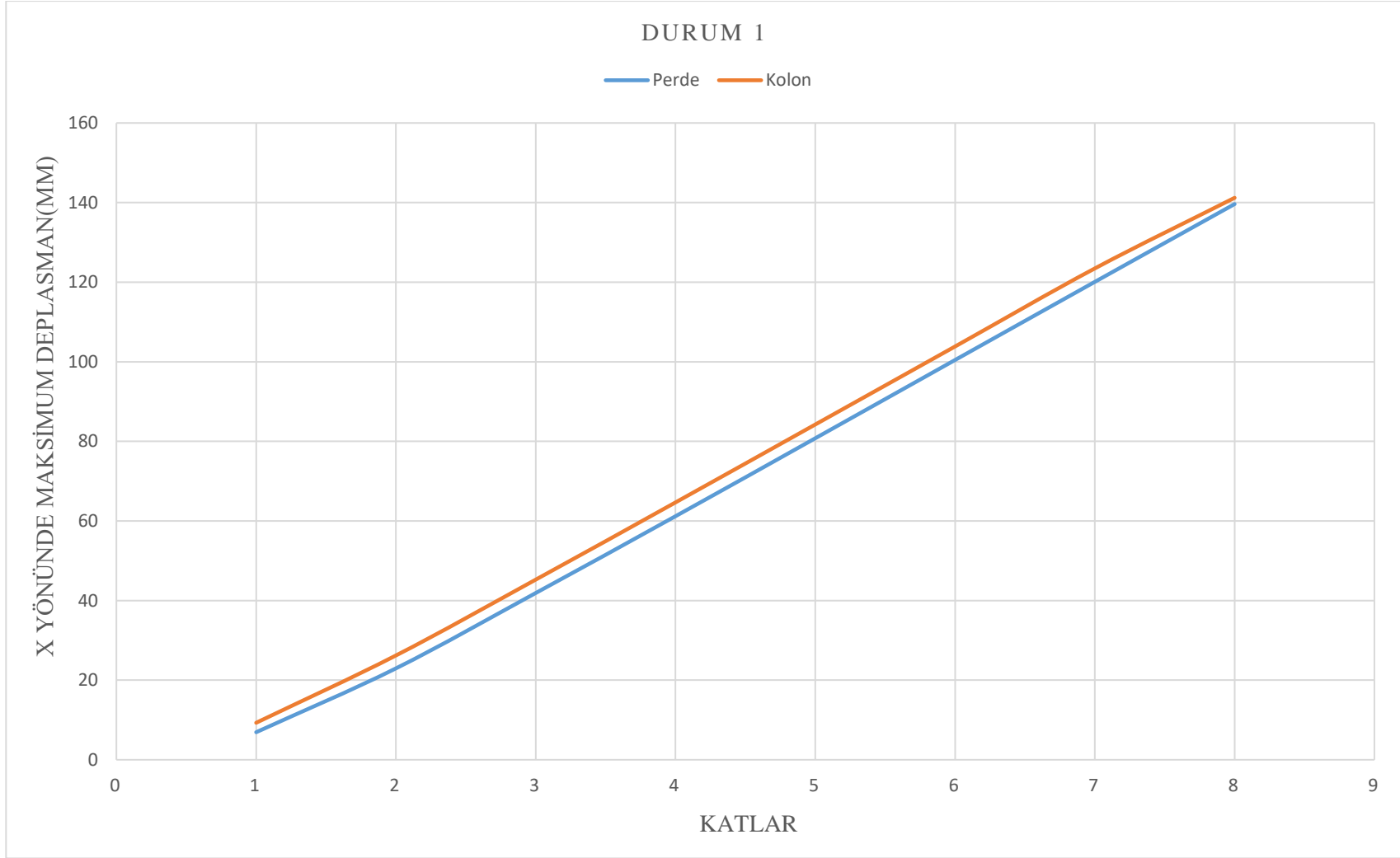
Şekil A.2. Durum 2, 3, 4, 5 için yatay kuvvet-perde ve Kolon deplasman eğrileri



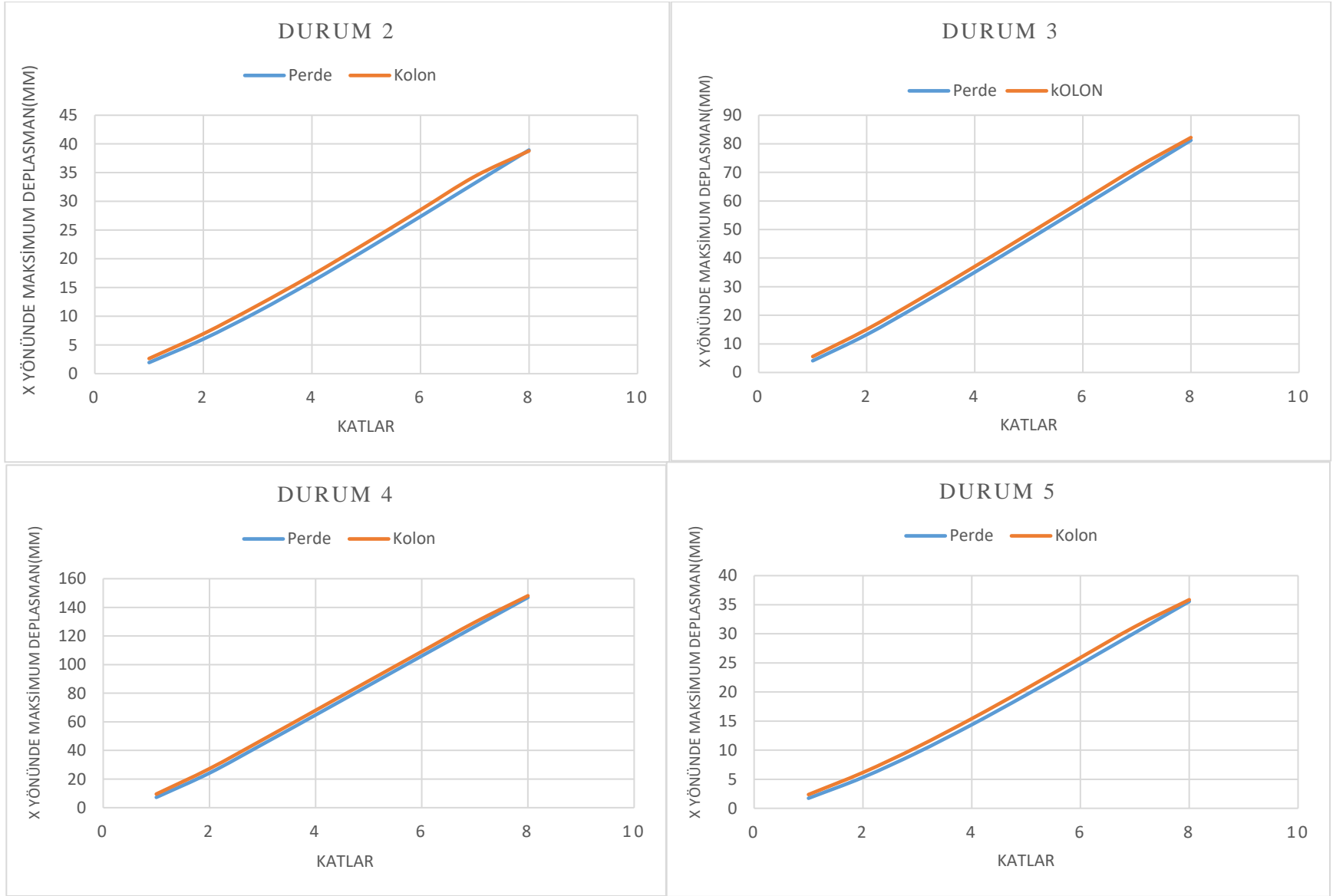
Şekil A.3. Durum 6, 7, 8, 9 için yatay kuvvet-perde ve Kolon deplasman eğrileri



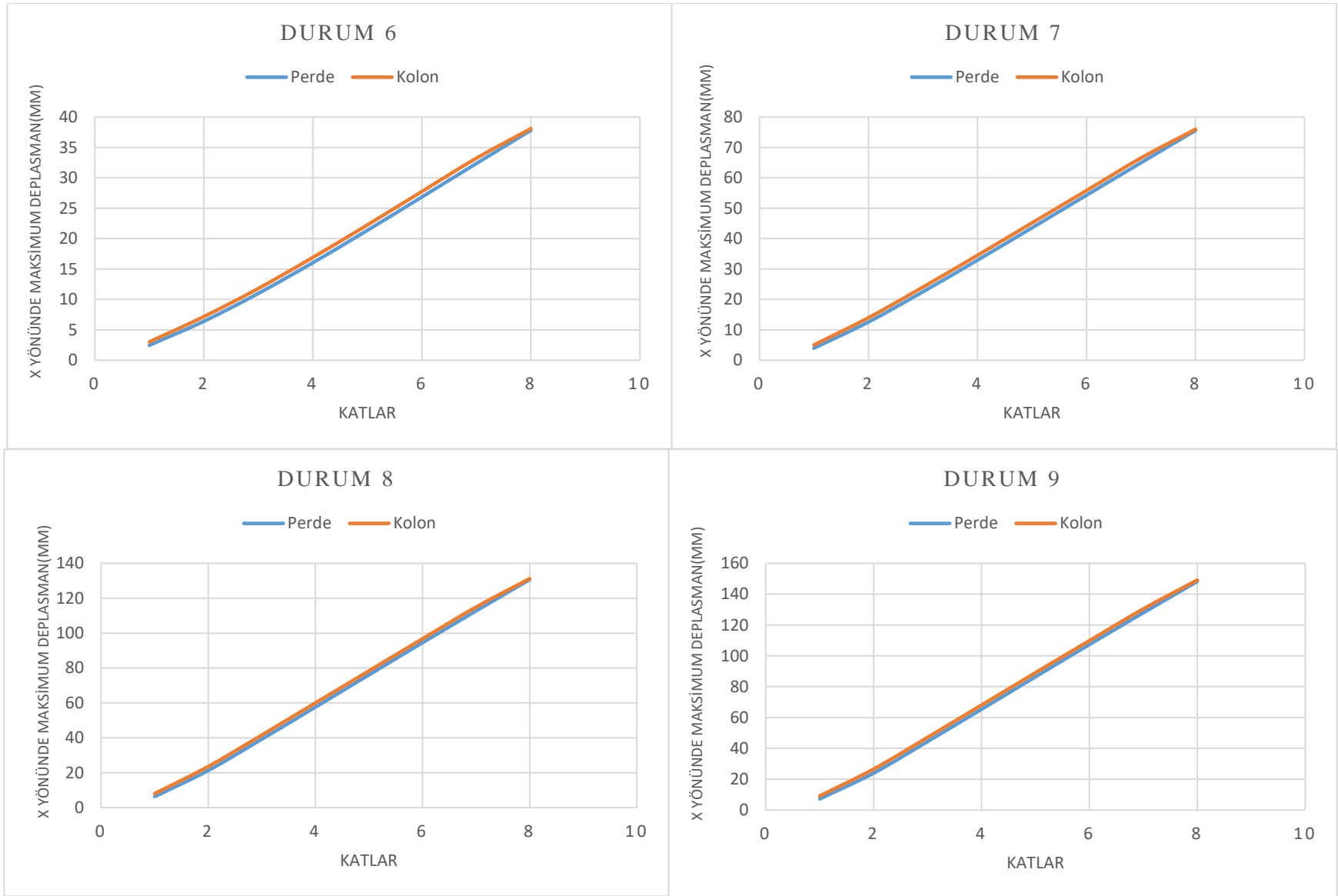
Şekil A.4. Durum 10,11, 12, 13 için yatay kuvvet-perde ve Kolon deplasman eğrileri



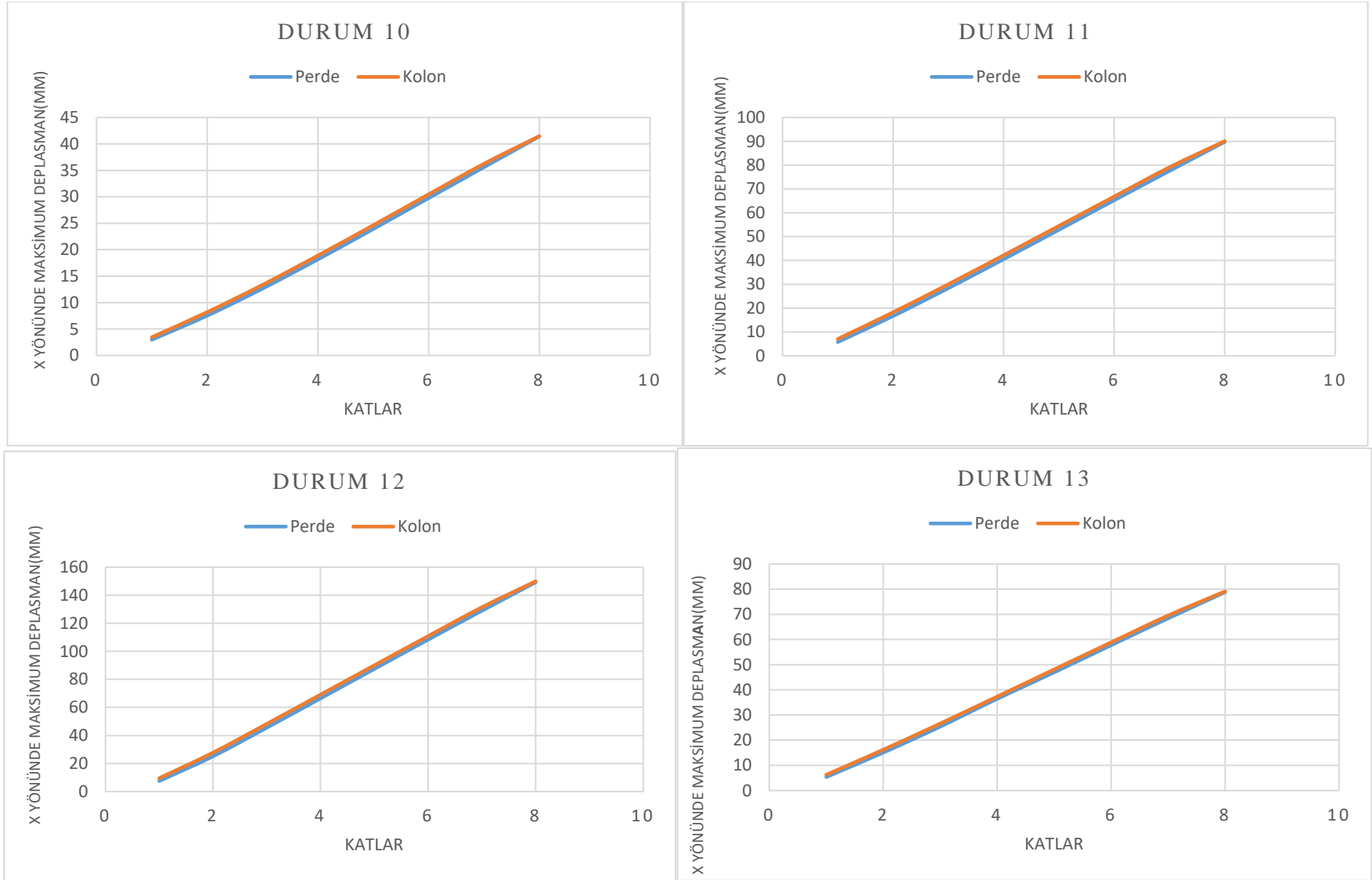
Şekil A.5. Durum 1 için katlara göre perde ve kolon deplasman eğrileri



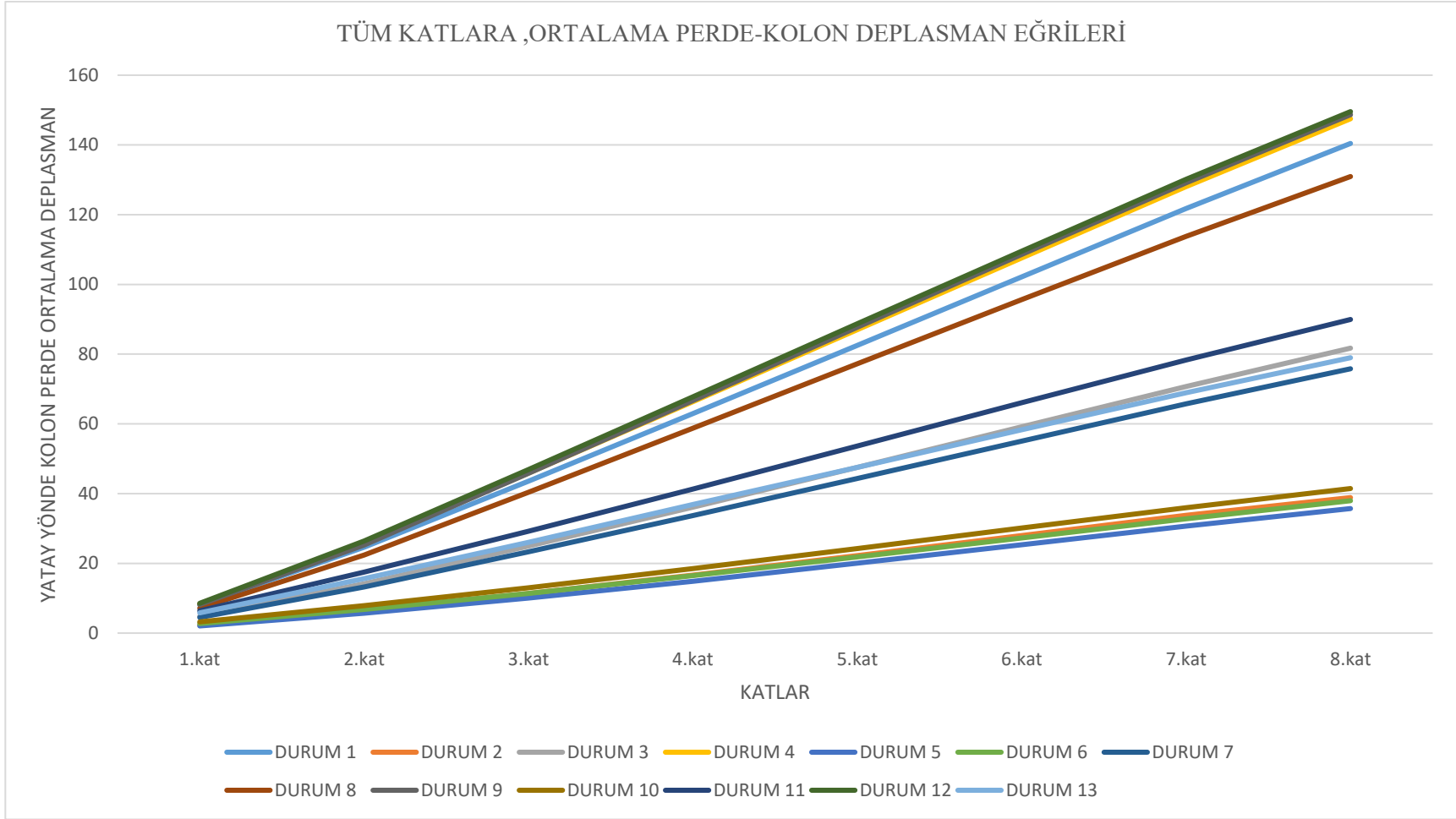
Şekil A.6. Durum 2, 3, 4, 5 için katlara göre perde ve Kolon deplasman eğrileri



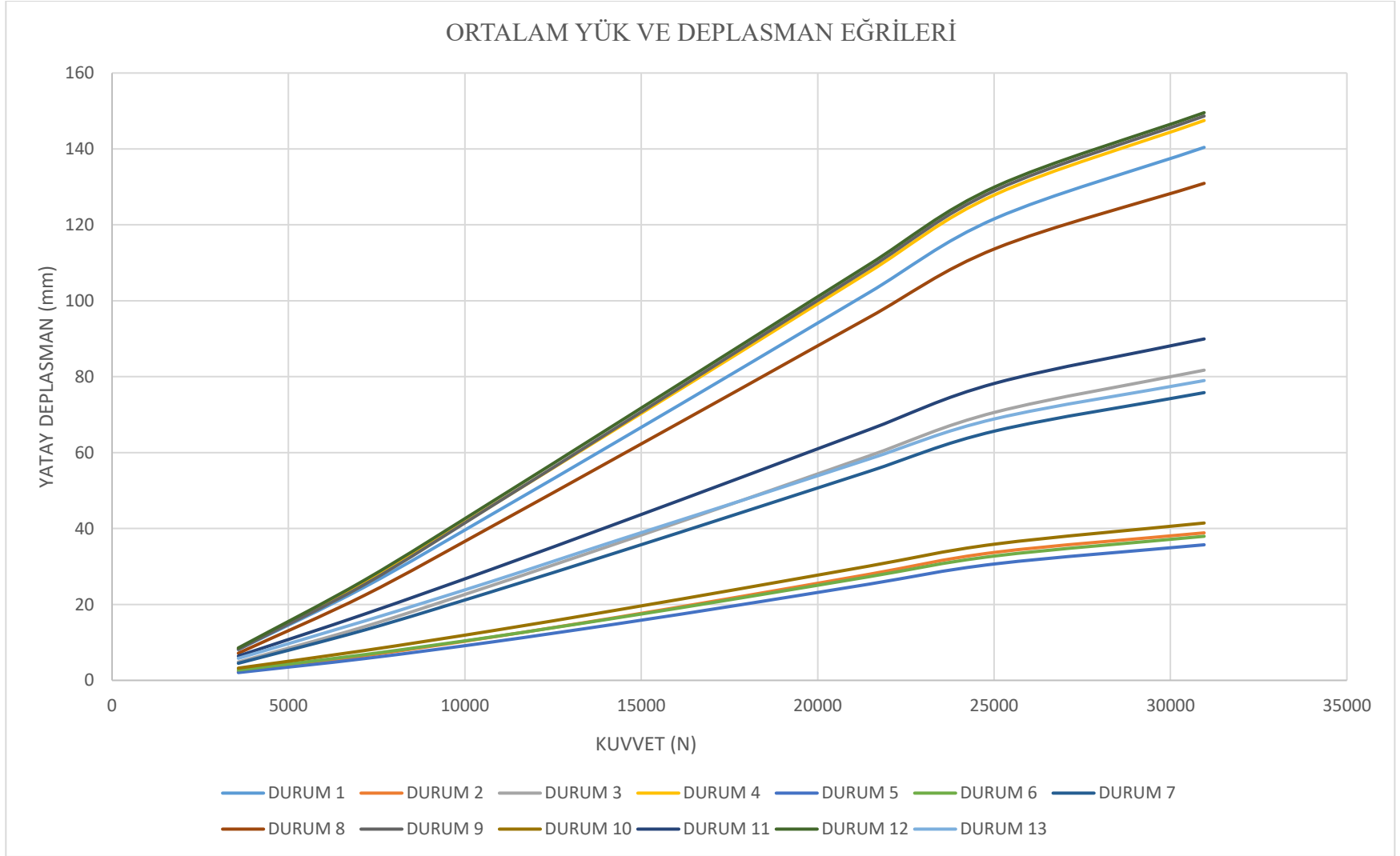
Şekil A.7. Durum 6, 7, 8, 9 için katlara göre perde ve Kolon deplasman eğrileri



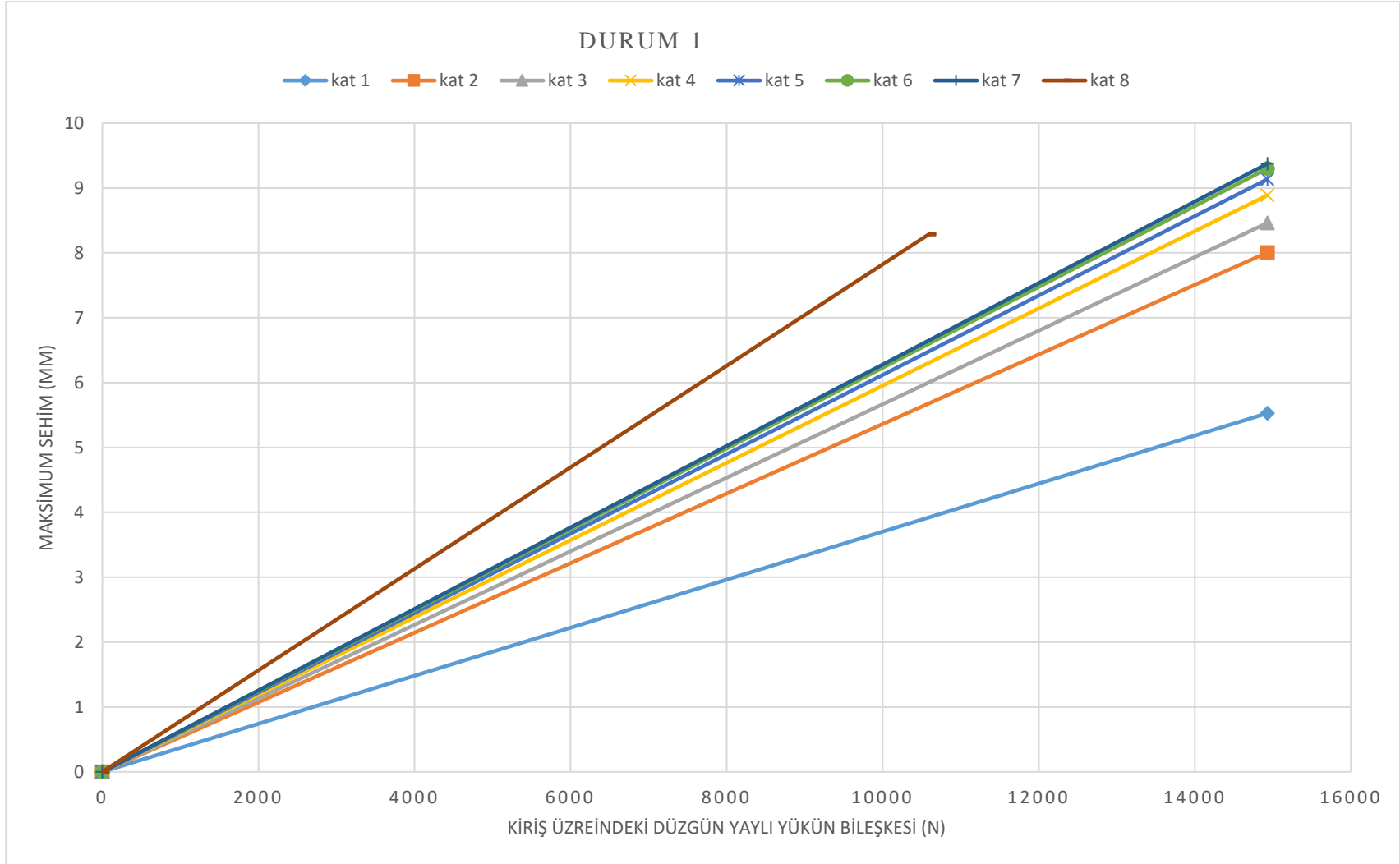
Şekil A.8. Durum 10, 11, 12, 13 için katlara göre perde ve kolon deplasman eğrileri



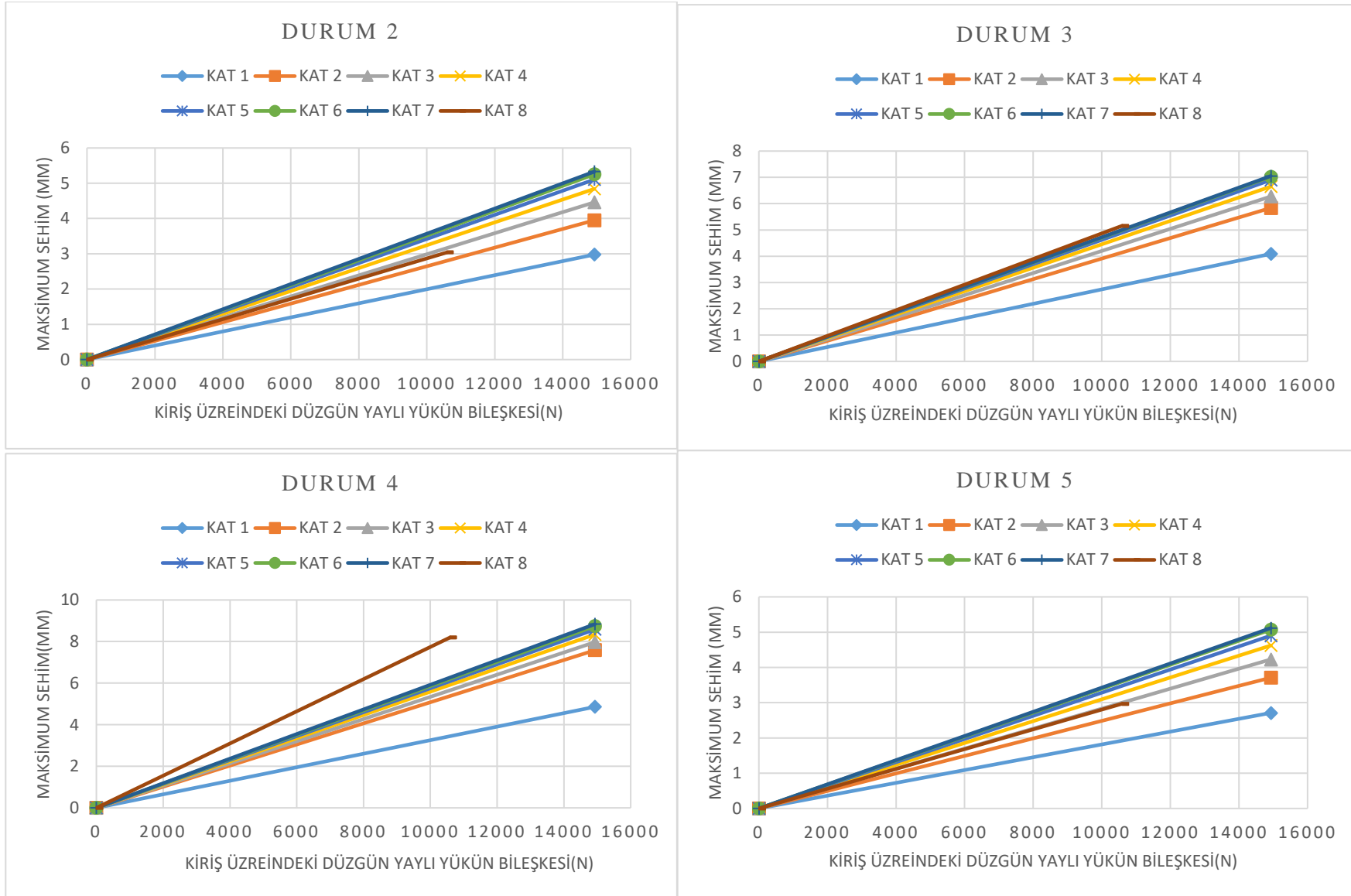
Şekil A.9. Tüm durumların katlara göre ortalama (perde-kolon) yatay deplasmanlarının karşılaştırılması



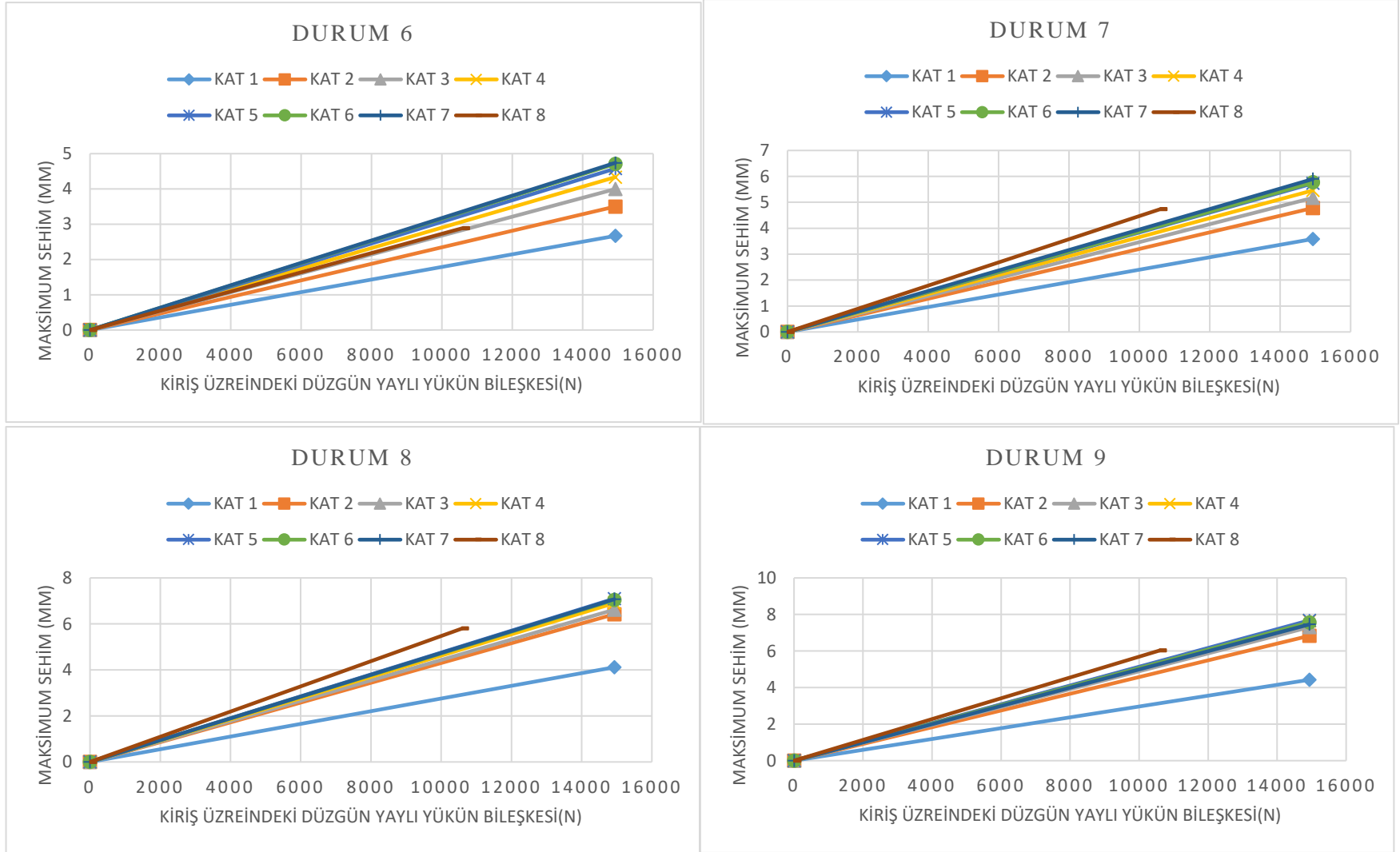
Şekil A.10. Tüm durumların yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması



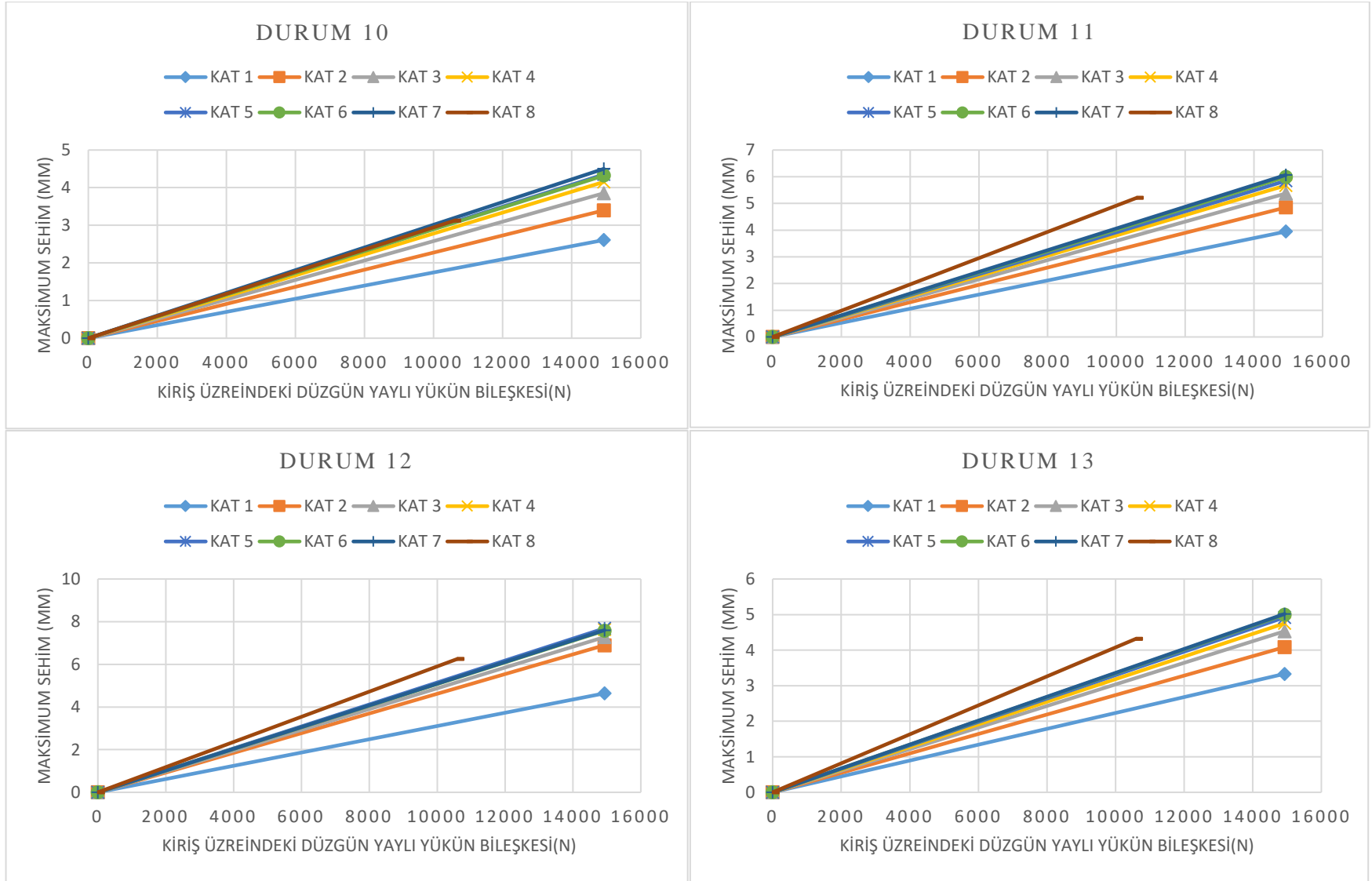
Şekil A.11. Durum 1 için kiriş yük-maksimum sehım eğrileri



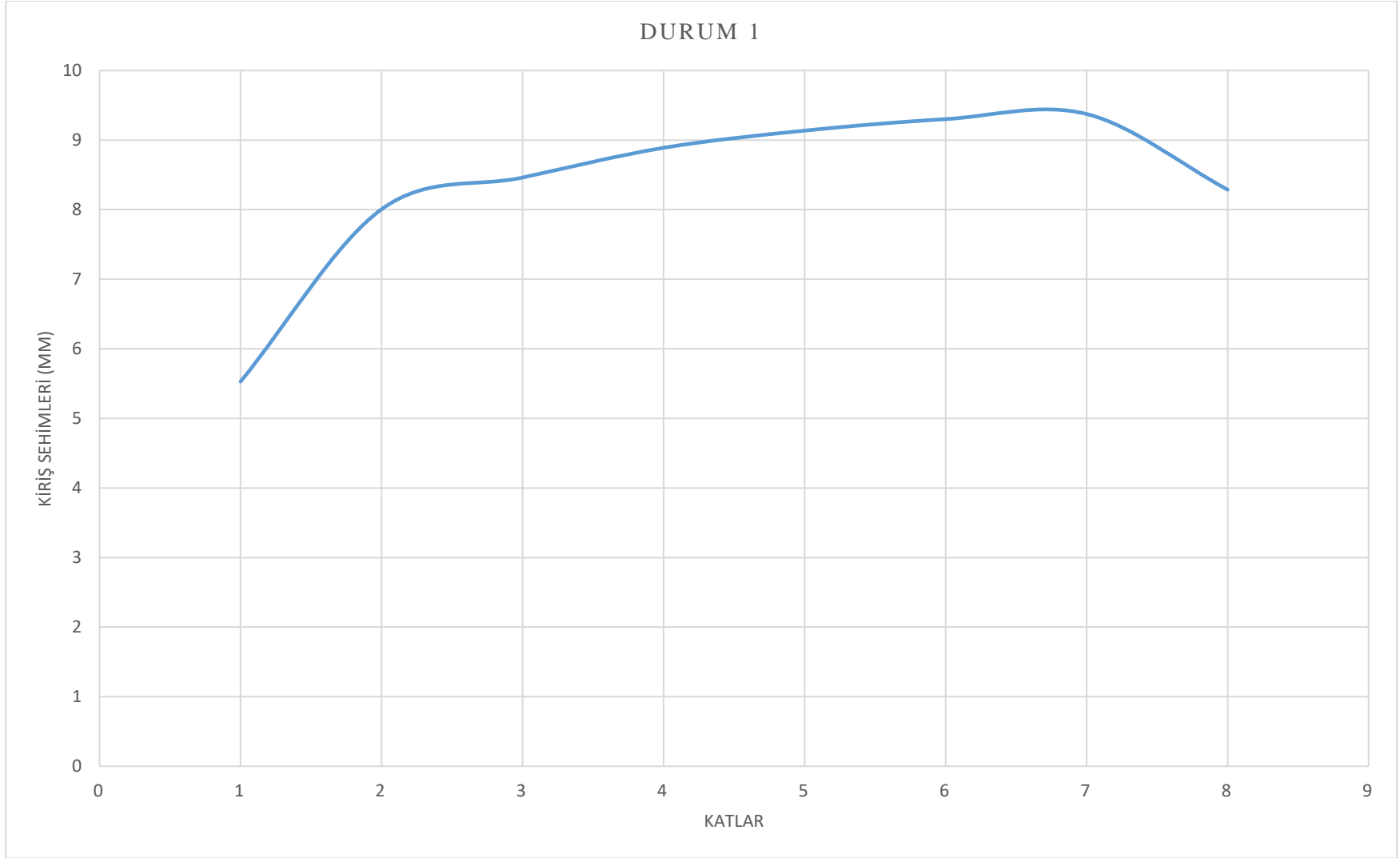
Şekil A.12. Durum 2, 3, 4, 5 için kiriş yük-maksimum sehım eğrileri



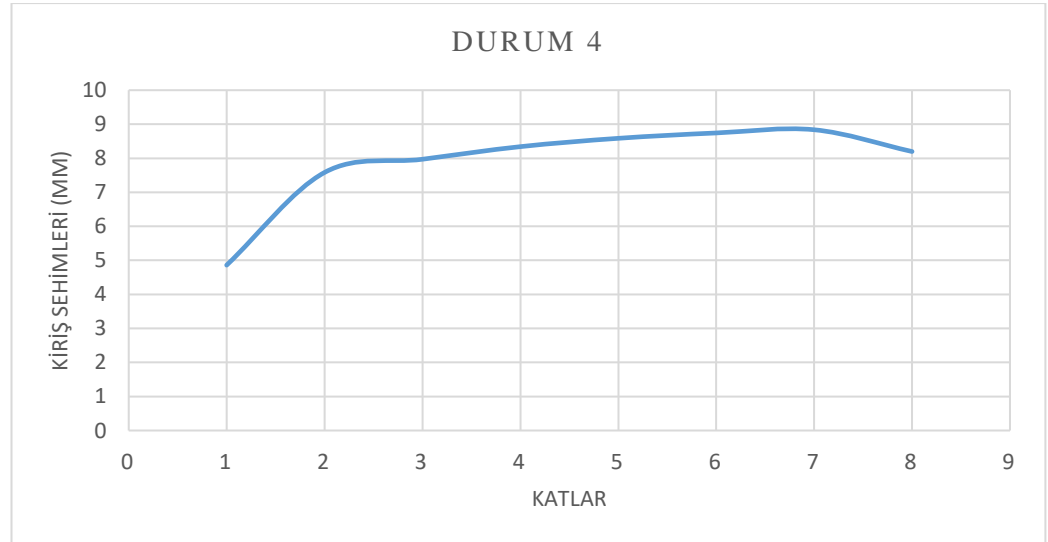
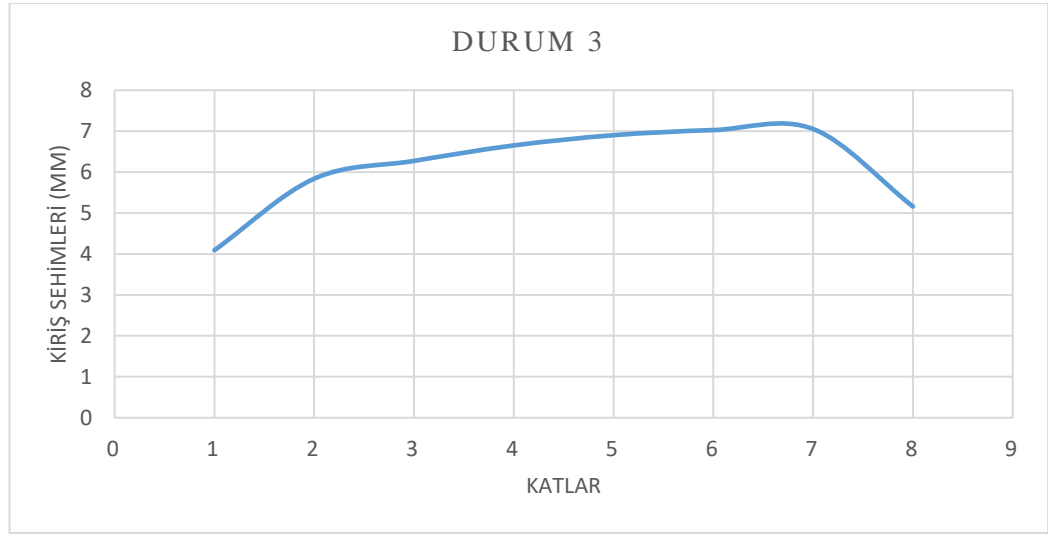
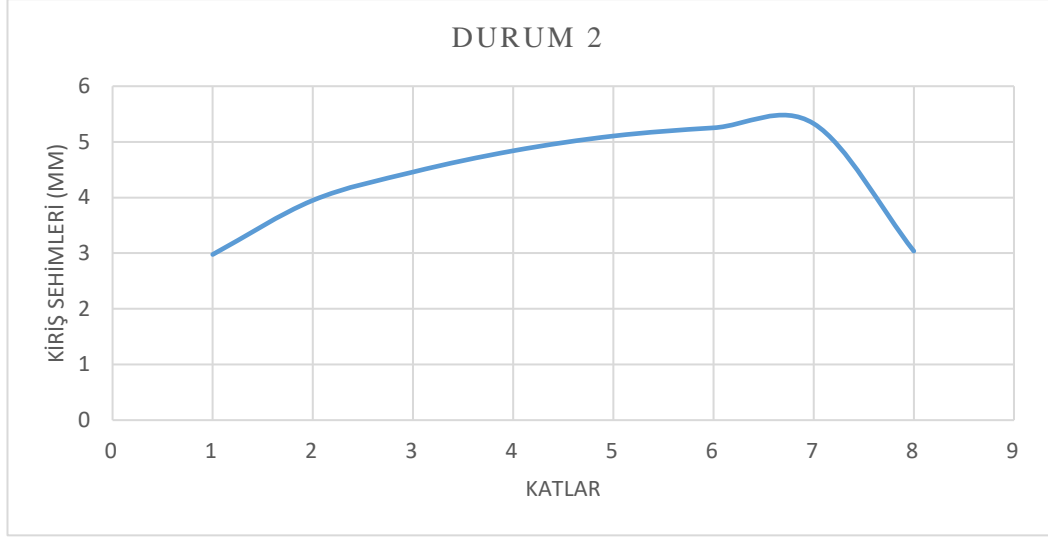
Şekil A.13. Durum 6, 7, 8, 9 için kiriş yük-maksimum sehım eğrileri.



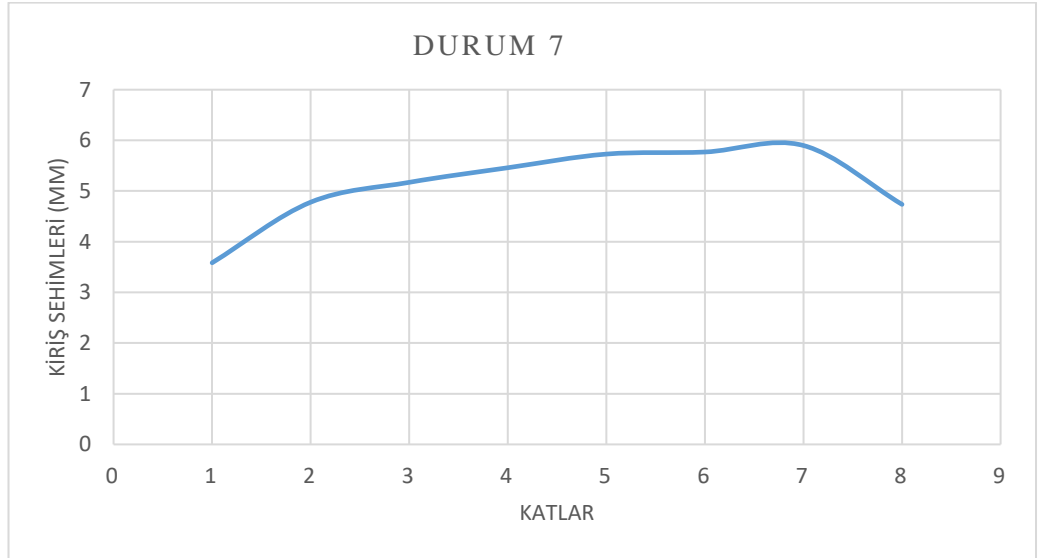
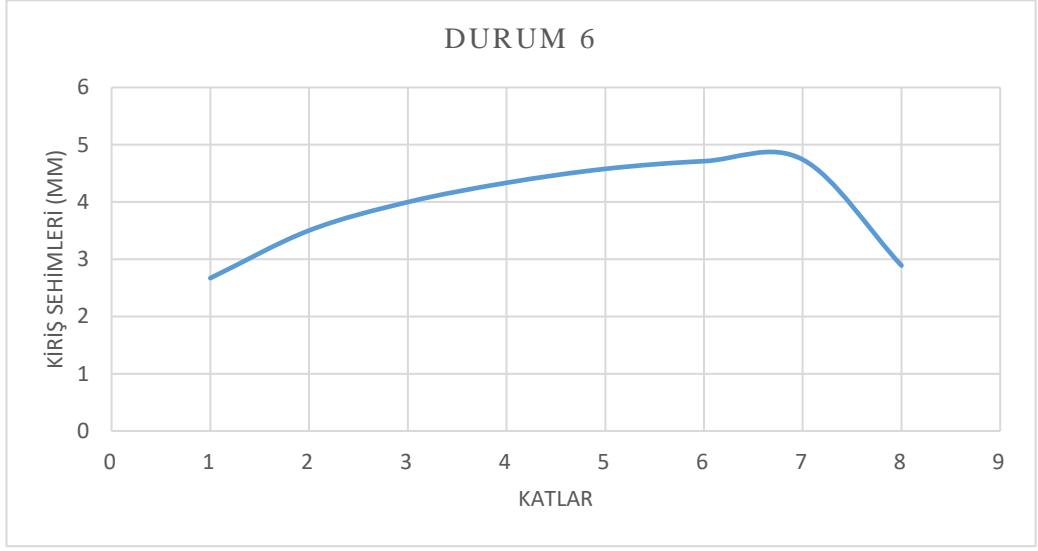
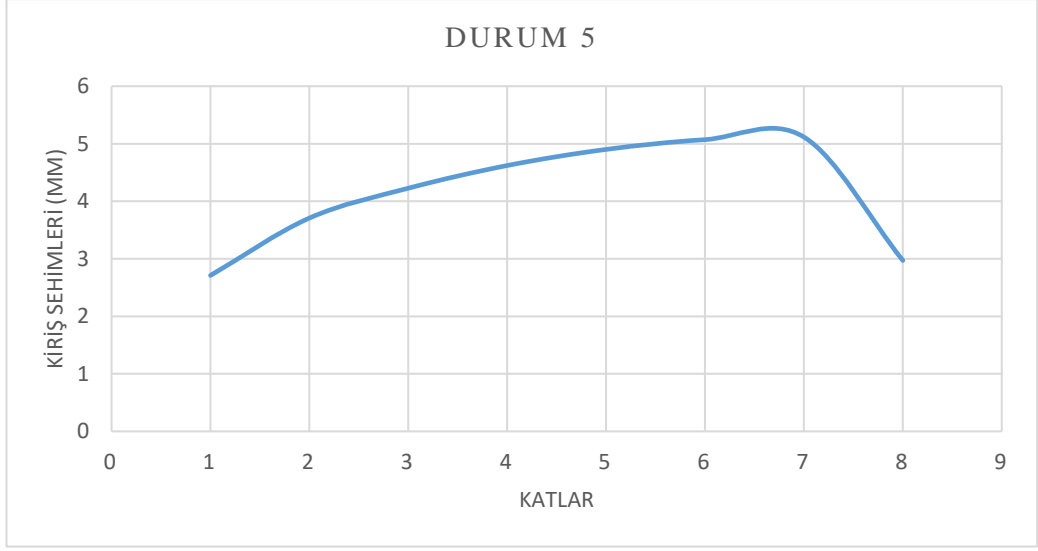
Şekil A.14. Durum10, 11, 12, 13 için kiriş yük-maksimum sehım eğrileri.



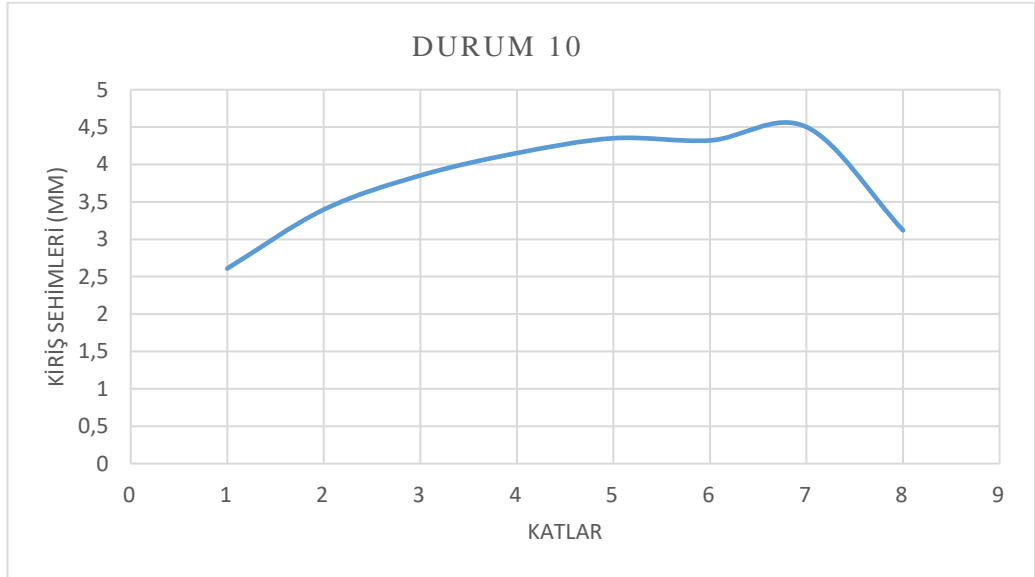
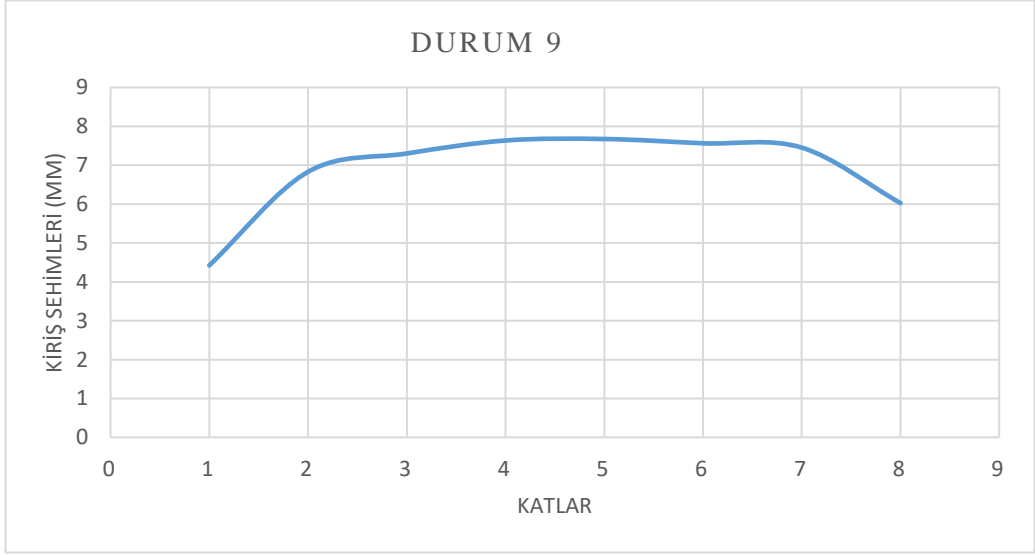
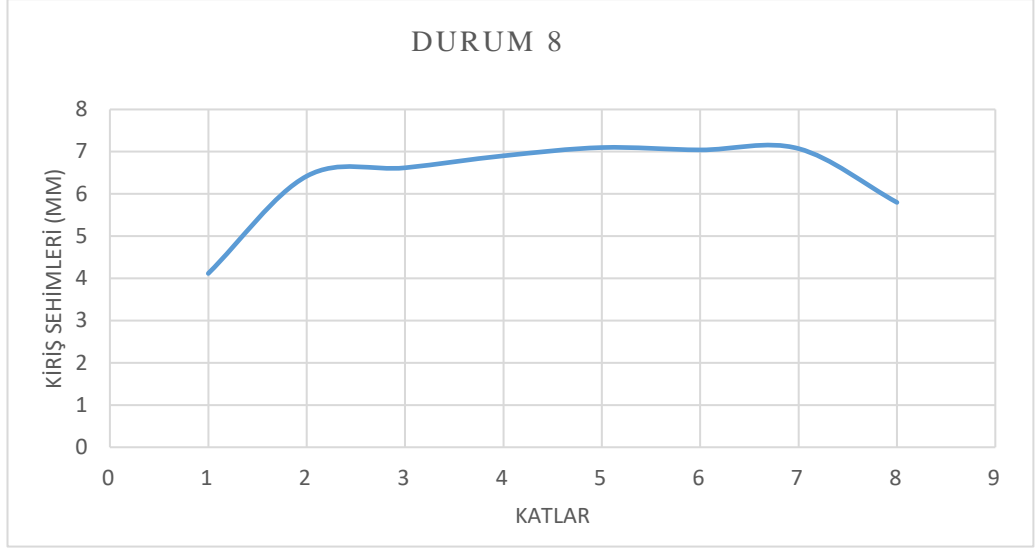
Şekil A.15. Durum 1 katlara göre kiriş sehimleri



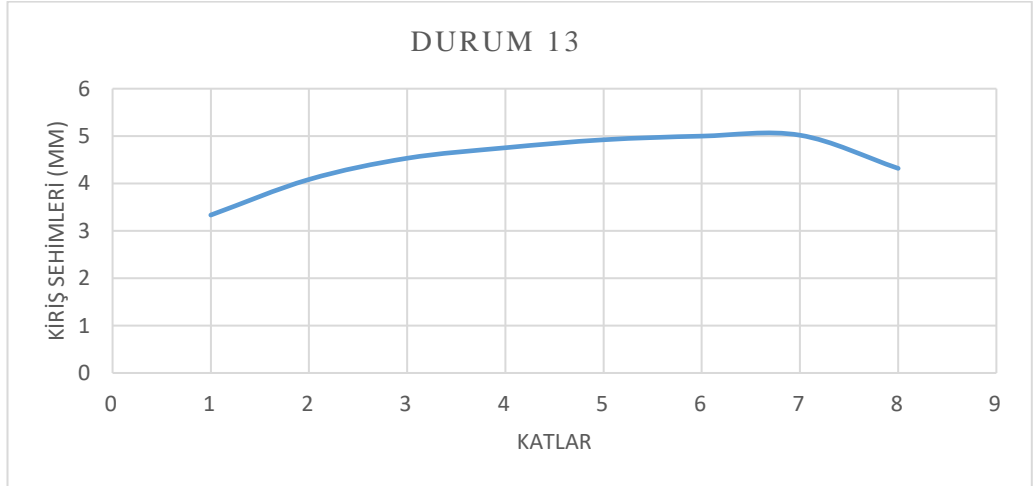
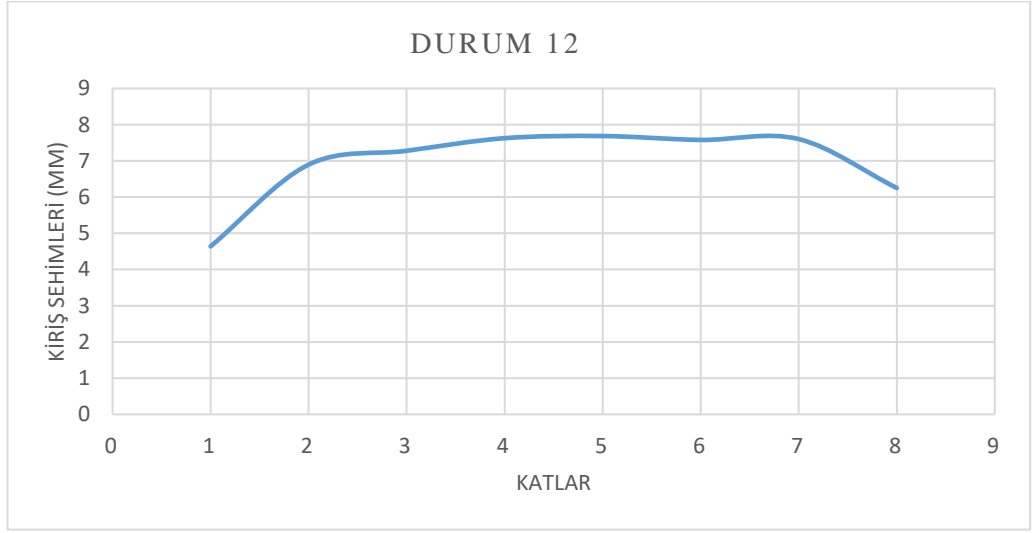
Şekil A.16. Durum 2, 3, 4 katlara göre kiriş sehimleri



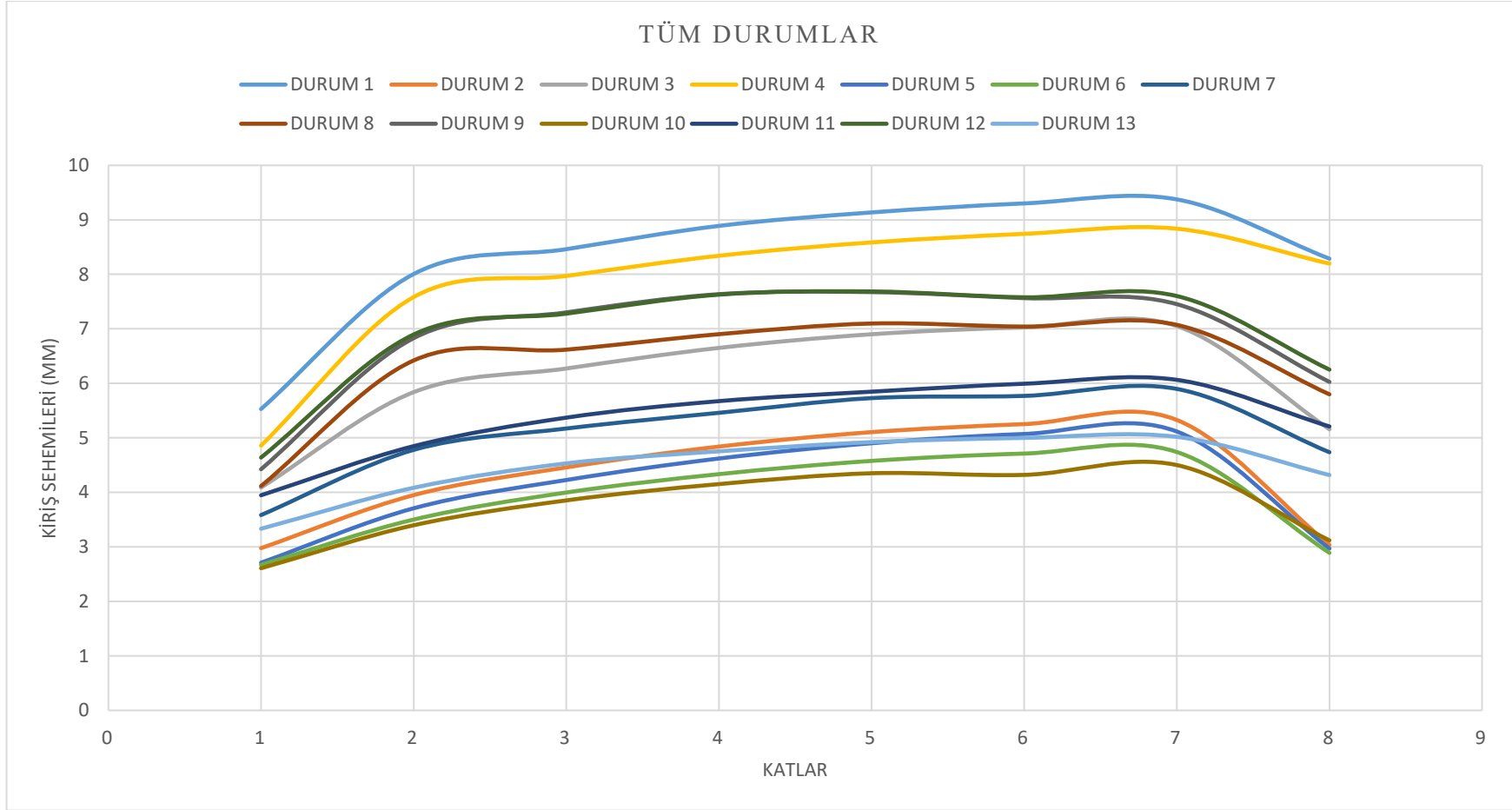
Şekil A.17. Durum 5, 6, 7 katlara göre kiriş sehimleri



Şekil A.18. Durum 8, 9, 10 katlara göre kiriş sehimleri

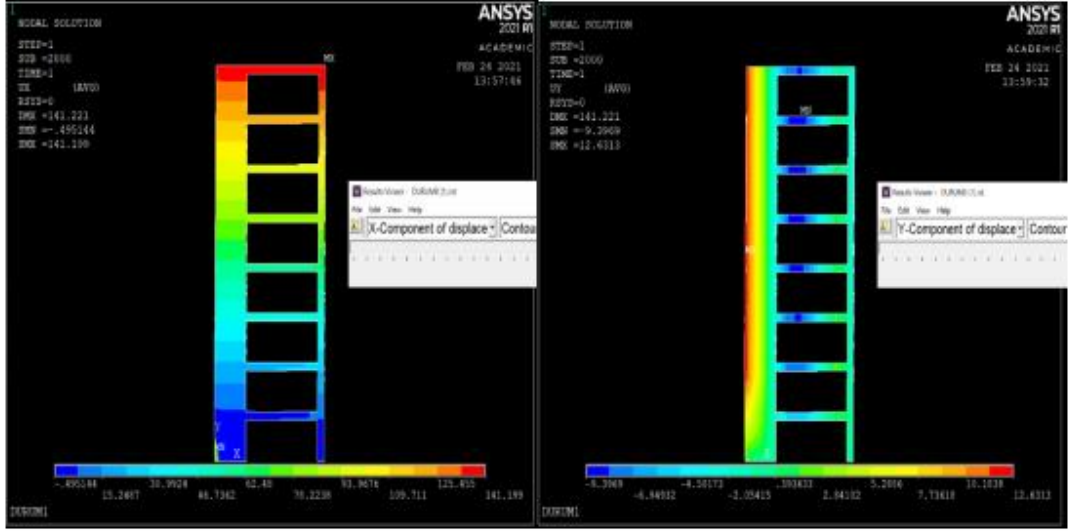


Şekil A.19. Durum 11, 12, 13 katlara göre kiriş sehimleri



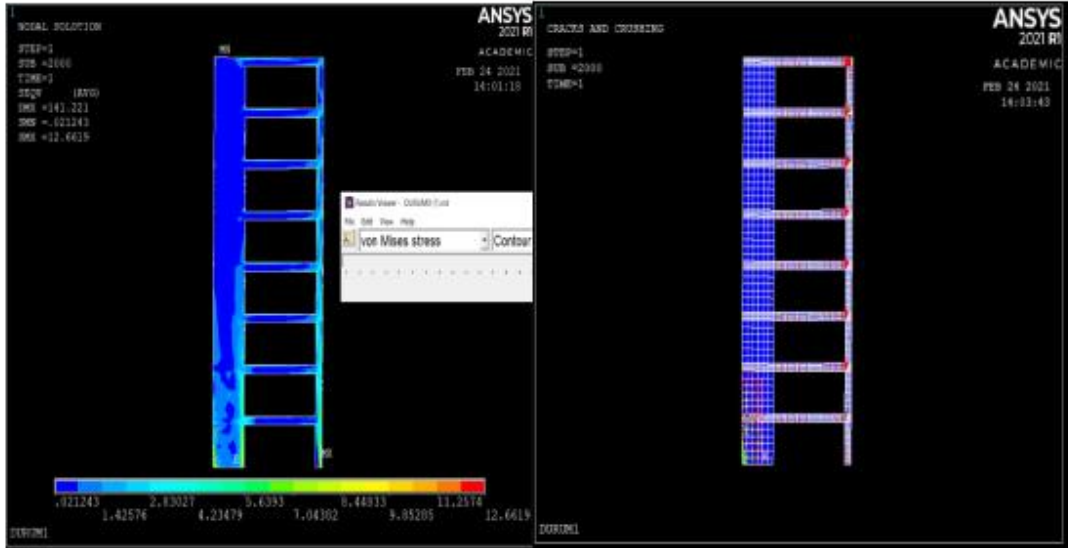
Şekil A.20. Tüm durumların kat seviyelerindeki maksimum kiriş sehimleri karşılaştırılması

Ek B:



(a) Yatay Deplasman

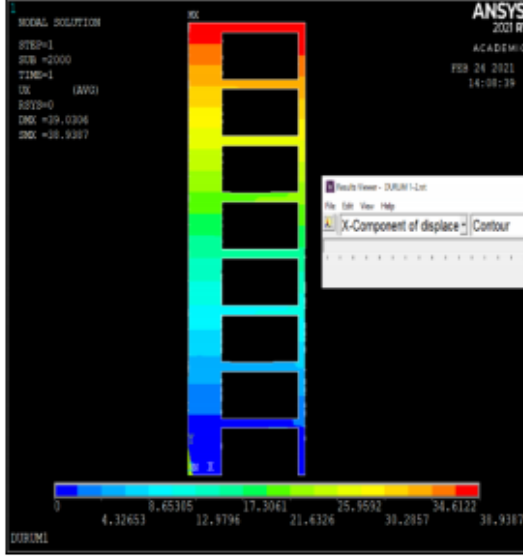
(b) Düşey Deplasman



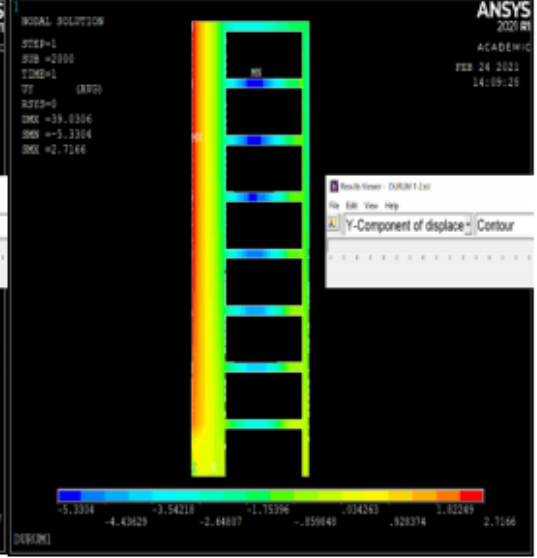
(c) Von Mises Gerilmeleri

(d) Çatlamlar

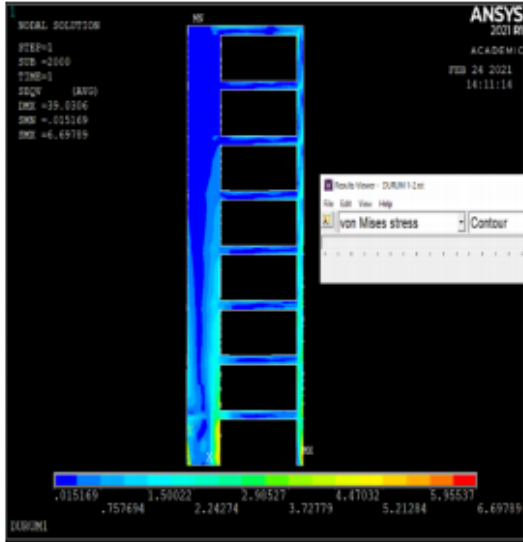
Şekil B.1. Analiz Sonrası Durum 1'in ANSYS Çıktıları



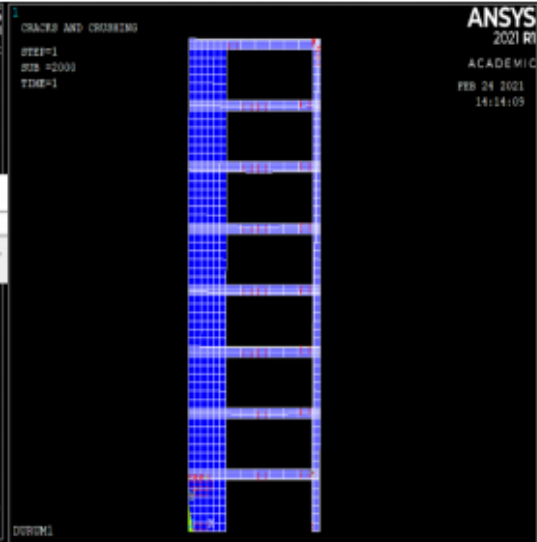
(a) Yatay Deplasman



(b) Düşey Deplasman

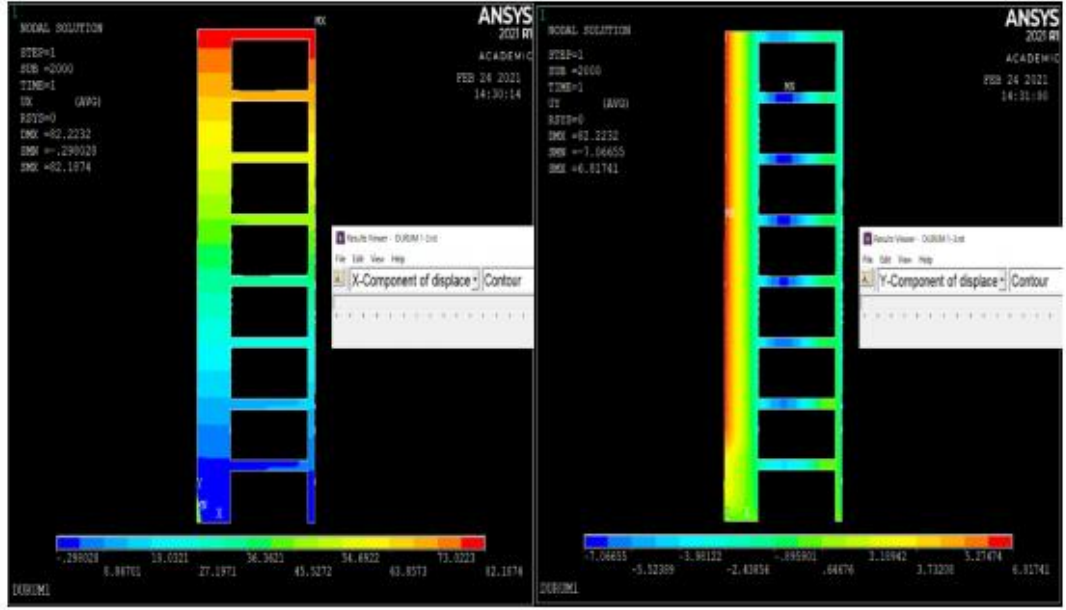


(c) Von Mises Gerilmeleri



(d) Çatlamlar

Şekil B.2. Analiz Sonrası Durum 2'nin ANSYS Çıktıları



(a) Yatay Deplasman

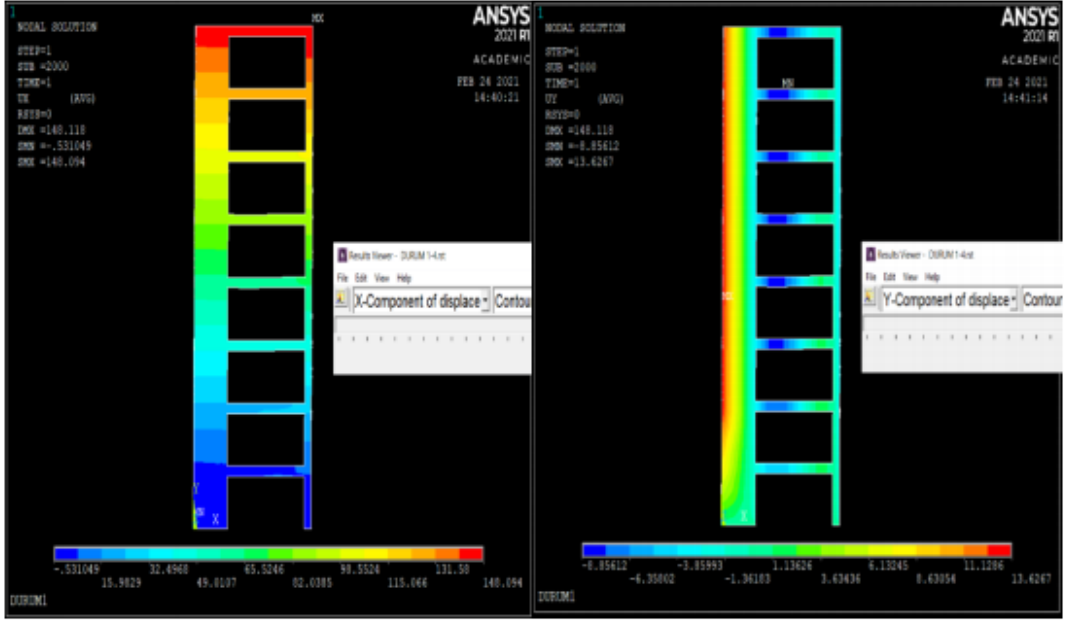
(b) Düşey Deplasman



(C) Von Mises Gerilmeleri

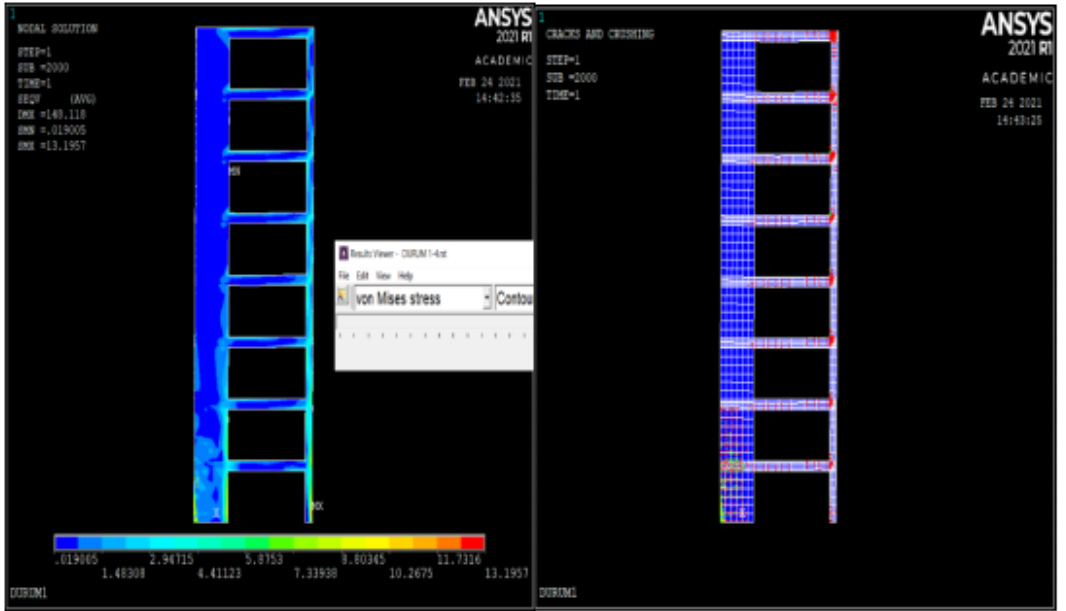
(d) Çatlamlar

Şekil B.3. Analiz Sonrası Durum 3'ün ANSYS Çıktıları



(a) Yatay Deplasman

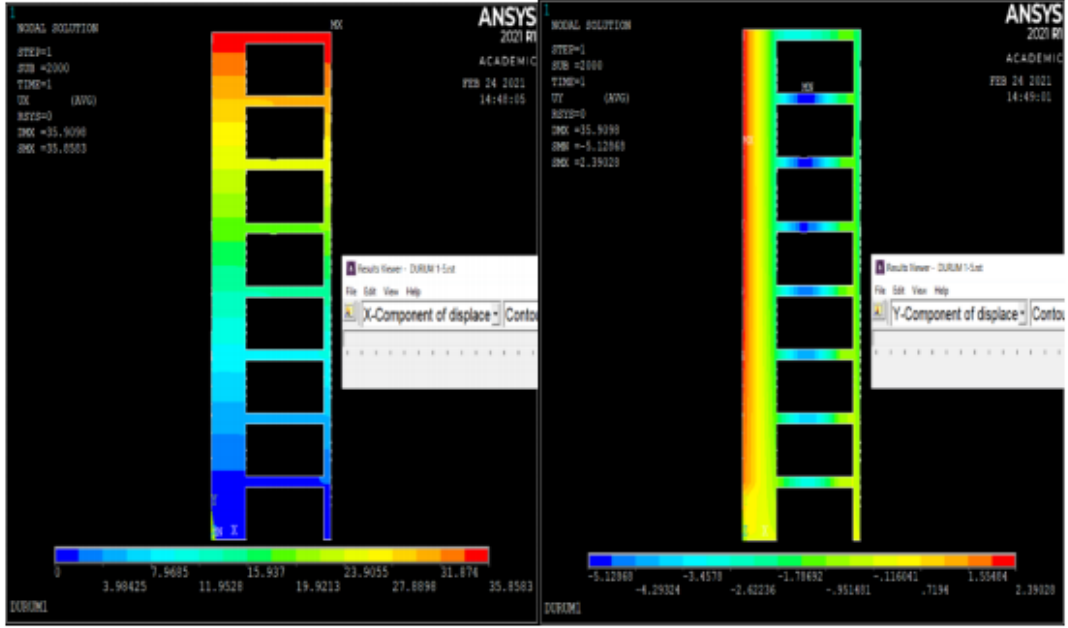
(b) Düşey Deplasman



(C) Von Mises Gerilmeleri

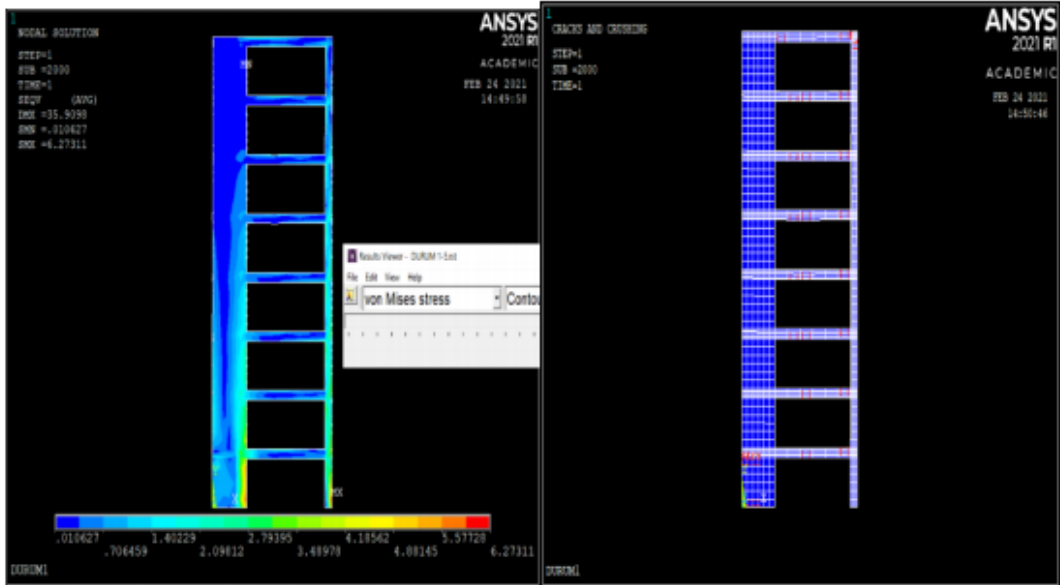
(d) Çatlamlar

Şekil B.4. Analiz Sonrası Durum 4'ün ANSYS Çıktıları



(a) Yatay Deplasman

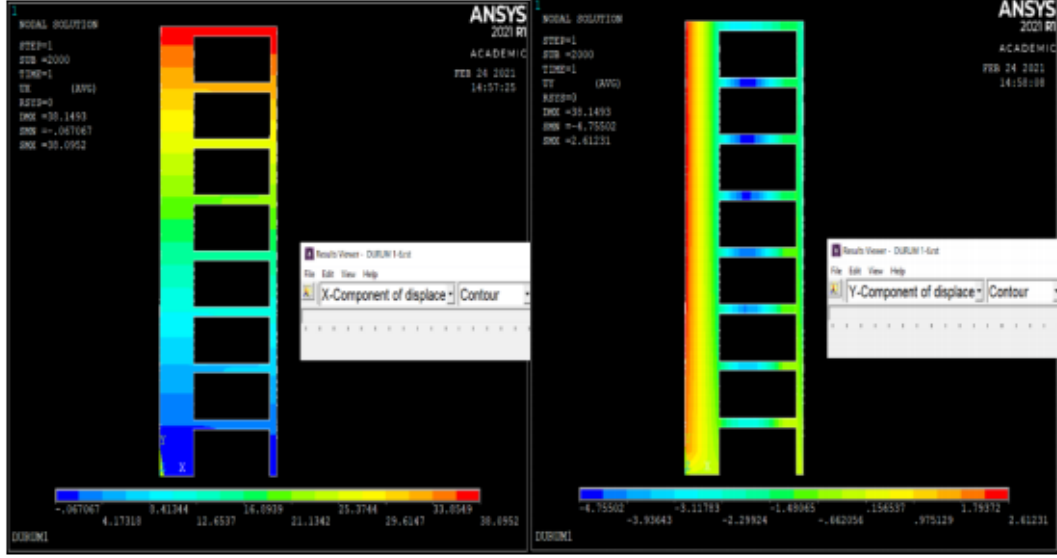
(b) Düşey Deplasman



(c) Von Mises Gerilmeleri

(d) Çatlamlar

Şekil B.5. Analiz Sonrası Durum 5'in ANSYS Çıktıları



(a) Yatay Deplasman

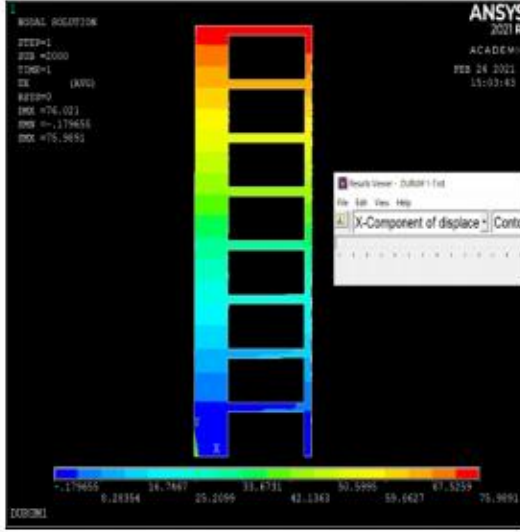
(b) Düşey Deplasman



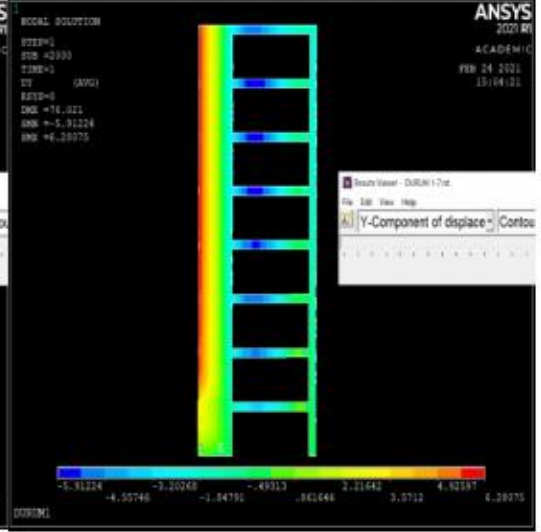
(c) Von Mises Gerilmeleri

(d) Çatlamlar

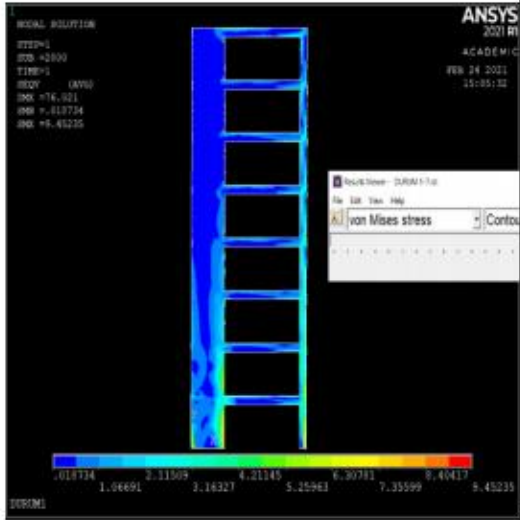
Şekil B.6. Analiz Sonrası Durum 6'nın ANSYS Çıktıları



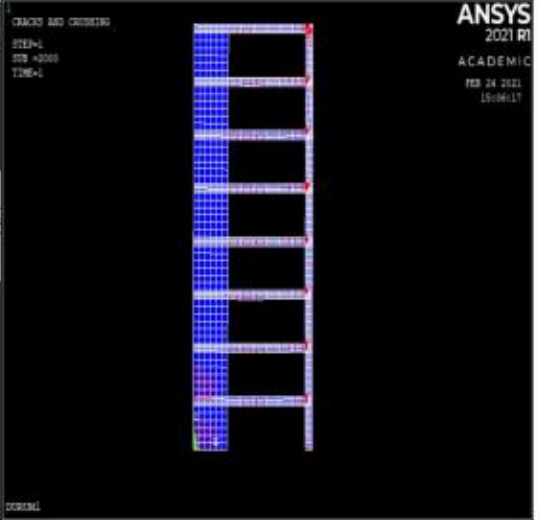
(a) Yatay Deplasman



(b) Düşey Deplasman

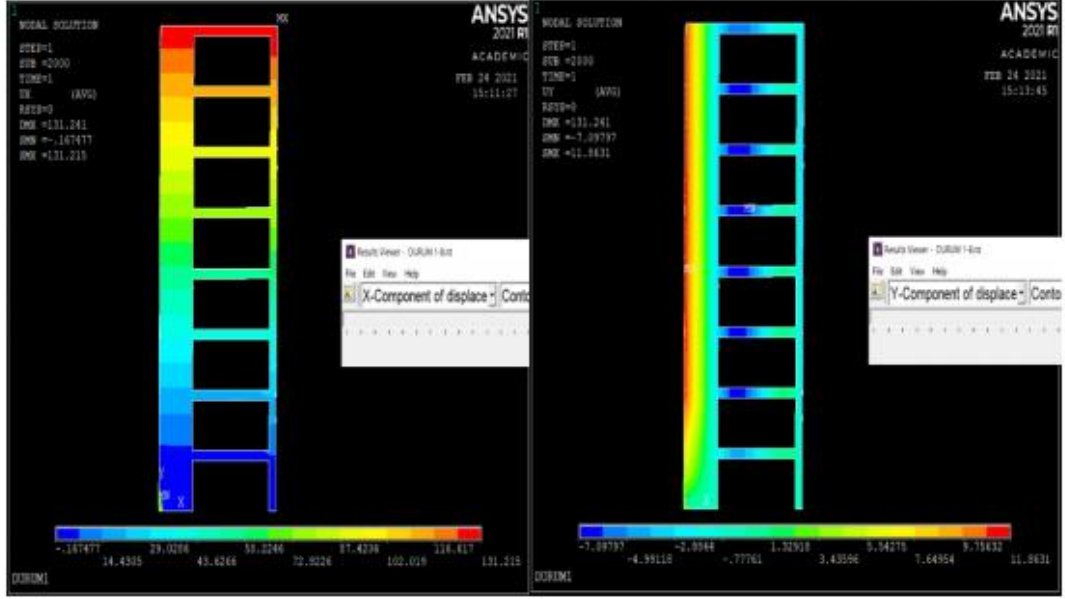


(C) Von Mises Gerilmeleri



(d) Çatlamlar

Şekil B.7. Analiz Sonrası Durum 7'nin ANSYS Çıktıları



(a) Yatay Deplasman

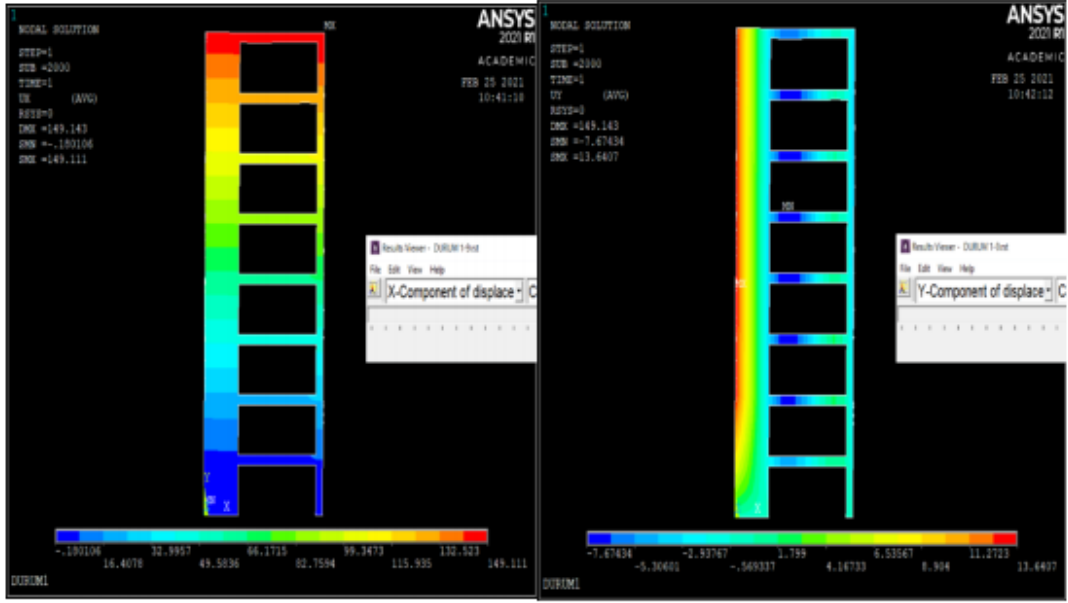
(b) Düşey Deplasman



(c) Von Mises Gerilmeleri

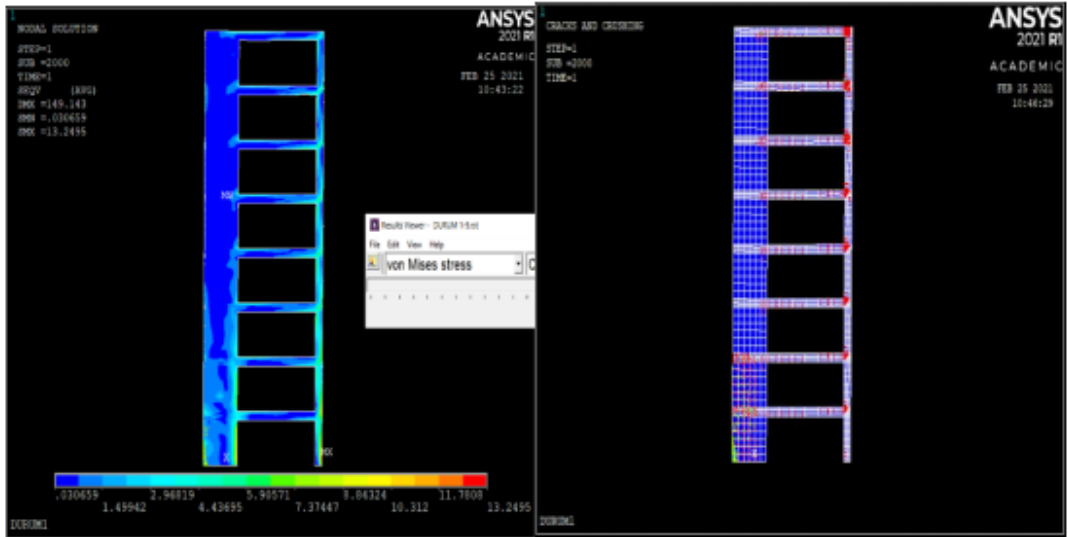
(d) Çatlamlar

Şekil B.8. Analiz Sonrası Durum 8'in ANSYS Çıktıları



(a) Yatay Deplasman

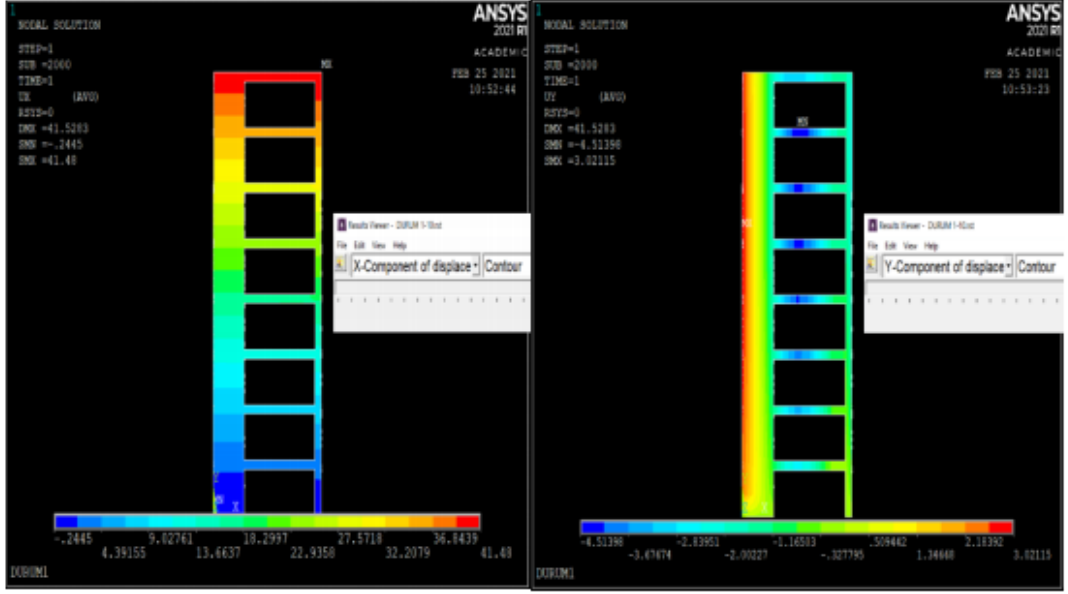
(b) Düşey Deplasman



(c) Von Mises Gerilmeleri

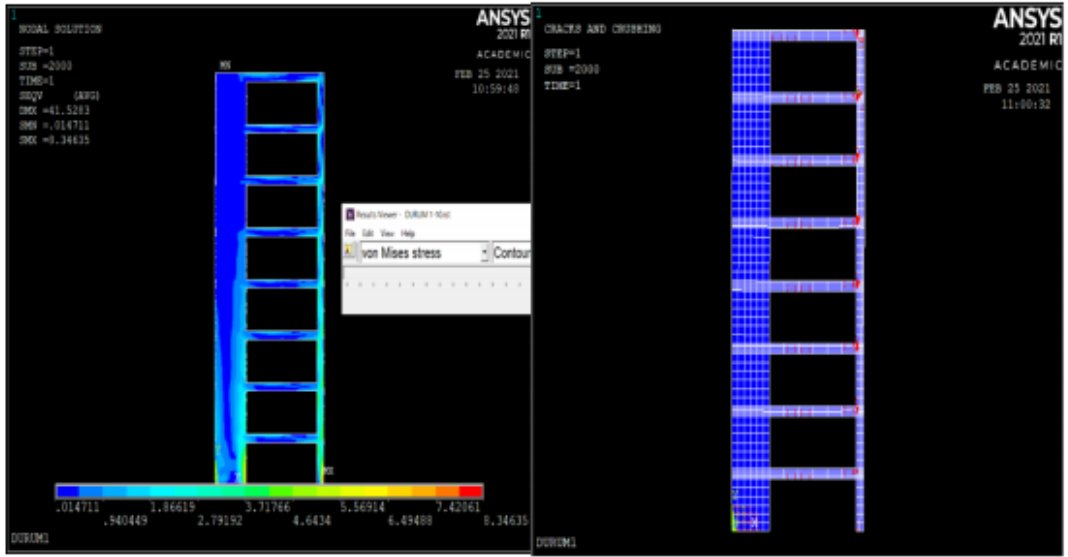
(d) Çatlaklar

Şekil B.9. Analiz Sonrası Durum 9'un ANSYS Çıktıları



(a) Yatay Deplasman

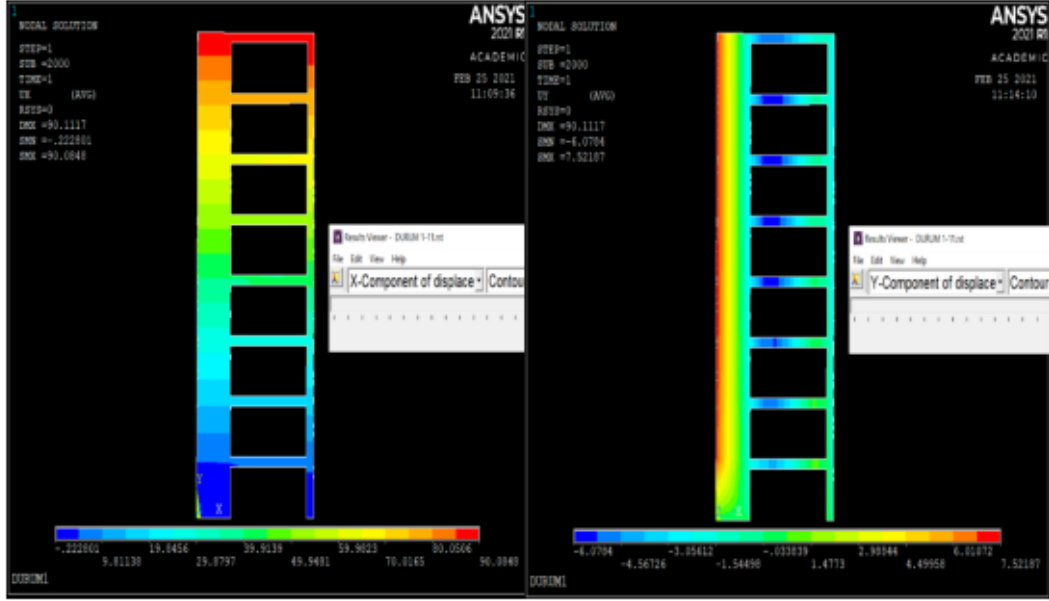
(b) Düşey Deplasman



(c) Von Mises Gerilmeleri

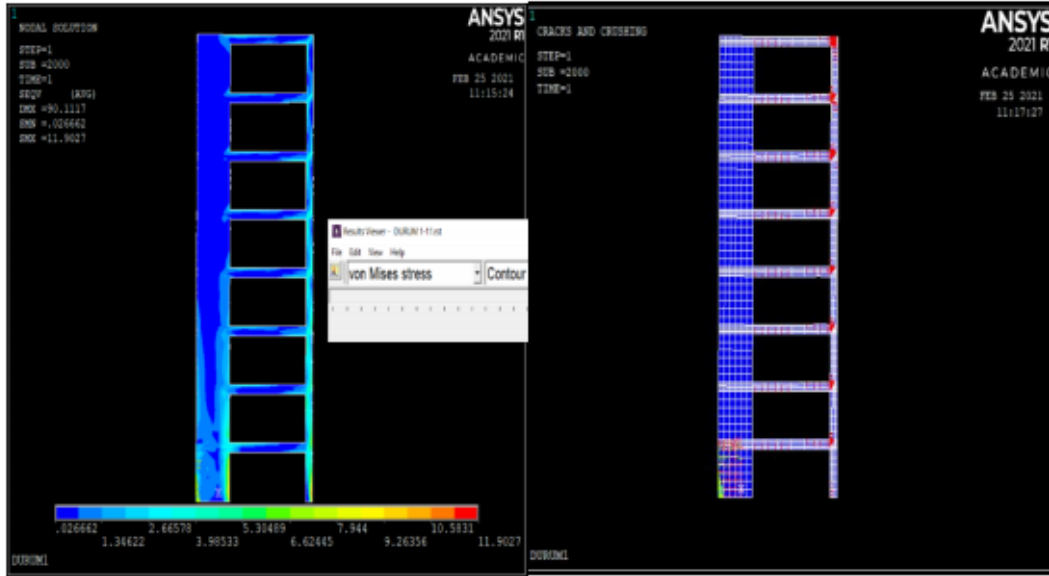
(d) Çatlamlar

Şekil B.10. Analiz Sonrası Durum 10'un ANSYS Çıktıları



(a) Yatay Deplasman

(b) Düşey Deplasman



(c) Von Mises Gerilmeleri

(d) Çatlamlar

Şekil B.11. Analiz Sonrası Durum 11'un ANSYS Çıktıları



(a) Yatay Deplasman

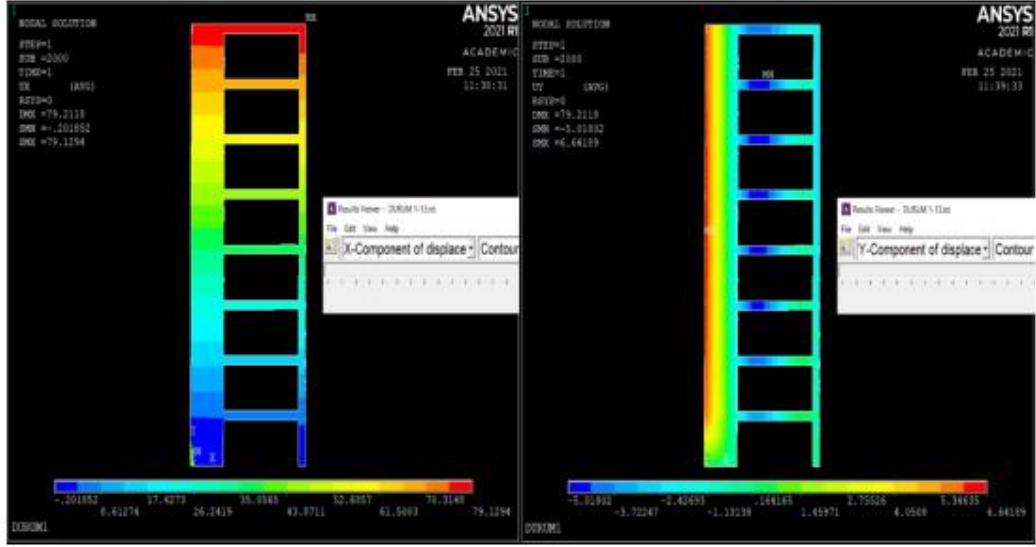
(b) Düşey Deplasman



(c) Von Mises Gerilmeleri

(d) Çatlamlar

Şekil B.12. Analiz Sonrası Durum 12'nin ANSYS Çıktıları



(a) Yatay Deplasman

(b) Düşey Deplasman



(C) Von Mises Gerilmeleri

(d) Çatlamlar

Şekil B.13. Analiz Sonrası Durum 13'ün ANSYS Çıktıları

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyadı : Abdul Latif ZAMANI

ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0002-6126-7388>

Lisans : Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Mesleki deneyim ve :

Yayın ve Patent Listesi :