

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BETONARME PERDELERİN PLASTİK MAFSAL BOYUNU ETKİLEYEN
DEĞİŞKENLERİN SONLU ELEMANLAR İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tolga ÇINAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BETONARME PERDELERİN PLASTİK MAFSAL BOYUNU ETKİLEYEN
DEĞİŞKENLERİN SONLU ELEMANLAR İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tolga ÇINAR
(501191061)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ

HAZİRAN 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501191061 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tolga ÇINAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BETONARME PERDELERİN PLASTİK MAFSAL BOYUNU ETKİLEYEN DEĞİŞKENLERİN SONLU ELEMANLAR İLE İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Ö.Tuğrul TURAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Güray ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 25 Mayıs 2022
Savunma Tarihi : 13 Haziran 2022





Aileme,



ÖNSÖZ

Lisans eğitimimden bu yana her konuda yardımcı olan, bilgi ve tecrübesini sabır ve anlayışla paylaşan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bilgi birikimini ve kaynaklarını benimle paylaşan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ö. Tuğrul TURAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Her daim yanımda olan ve desteklerini her zaman hissettiğim anneme ve babama şükranlarımı sunarım.

Haziran 2022

Tolga Çınar
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1 Plastik Mafsallık Hipotezi	4
2.2 Göçme Durumunun Belirlenmesi.....	6
2.3 Akma Eğriliğinin Belirlenmesi	6
2.4 Betonarme Perdelerde Plastik Mafsallık Boyu Üzerine Çalışmalar.....	9
3. MODELLEME	13
3.1 Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması	13
3.1.1 Perde elemanlarının geometrilerinin oluşturulması	13
3.1.2 Beton ve donatı malzemelerinin modellenmesi	14
3.1.2.1 Beton malzemenin modellenmesi	14
3.1.2.2 Donatı çeliği malzemesinin modeli.....	20
3.1.3 Kesit özelliklerinin tanımlanması	23
3.1.4 Betonarme perdenin oluşturulması	23
3.1.4.1 Donatıların konumlandırılması	23
3.1.4.2 Beton ve donatı arasındaki etkileşimin oluşturulması	24
3.1.5 Analiz adımlarının ve çıktıların tanımlanması.....	25
3.1.6 Yükleme ve mesnetlenme koşullarının oluşturulması	27
3.1.7 Sonlu eleman ağının oluşturulması	27
3.1.8 Analizin tanımlanması ve başlatılması	28
3.2 Süneklik Düzeyi Yüksek Perdeler için Tasarım Koşulları.....	29
3.3 Parametrik Çalışma	31
3.3.1 Perde yüksekliğinin/perde uzunluğuna oranı	31
3.3.2 Perde uzunluğu	31
3.3.3 Eksenel kuvvet oranı	31
3.3.4 Uç bölgesi boyuna donatı oranı	31
3.3.5 Uç bölgesi enine donatı oranı	32
3.3.6 Gövde bölgesi yatay donatı oranı	32
3.4 Modellemenin Deneyle Doğrulanması.....	33
4. ANALİZ SONUÇLARI	37
4.1 Plastik Mafsallık Boyunun Elde Edilmesi.....	37
4.2 Değişkenlerin Plastik Mafsallık Boyuna Etkisinin Değerlendirilmesi.....	47

4.2.1 Perde yüksekliği/perde uzunluğu oranının plastik mafsall boyuna etkisi ..	47
4.2.2 Perde uzunluğunun plastik mafsall boyuna etkisi	49
4.2.3 Eksenel kuvvet oranının plastik mafsall boyuna etkisi	51
4.2.4 Uç bölgesi boyuna donatı oranının plastik mafsall boyuna etkisi.....	54
4.2.5 Uç bölgesi enine donatı oranının plastik mafsall boyuna etkisi	55
4.2.6 Gövde bölgesi yatay donatı oranının plastik mafsall boyuna etkisi.....	57
4.3 Doğrusal Regresyon Analizi.....	59
4.4 Plastik Mafsall Eşitliği Elde Edilmesi	63
5. SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79



KISALTMALAR

TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
CDP	: Beton Hasar Plastisite Modeli (Concrete Damage Plasticity)
SEA	: Sonlu Eleman Analizi
ASCE	: American Society of Civil Engineers
DBYBHY	: Deprem Bölgesinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik





SEMBOLLER

Δ_y	: Akma yer değiştirmesi
Δ_p	: Plastik yer değiştirme
ϕ_y	: Akma eğriliği
ϕ_p	: Plastik eğrilik
ϕ_u	: Toplam Eğrilik
H, H_w, h_w	: Perde yüksekliği
θ_p	: Plastik dönme
L_p	: Plastik mafsalsal boyu
ϵ_y	: Donatının akma şekil değiştirmesi
L_w	: Perde uzunluğu
P	: Eksenel kuvvet
A_g, A_w	: Perde enkesit alanı
ρ_b, ρ_{bl}	: Uç bölgesi boyuna donatı oranı
f_c, f_c', f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_y, f_{yk}	: Donatının karakteristik akma dayanımı
q	: Eşdeğer Mises efektif gerilmesi
$\bar{p}$	: Hidrostatik basınç
$\bar{\sigma}_{max}$	: En büyük efektif gerilme
$\tilde{\epsilon}_c^{pl}$	: Betonun plastik şekil değiştirmesi
σ_{b0}	: İki eksenli basınç gerilmesi
σ_{c0}	: Tek eksenli basınç gerilmesi
E_c, E_0	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Donatının elastisite modülü
ψ	: Genleşme açısı
ϵ	: Eksantrisite
$\dot{\epsilon}_v^{pl}$	: Viskoplastik şekil değiştirme oranı tensörü
ν	: Poisson oranı
μ	: Viskoplastik sistemin gevşeme süresi

$\tilde{\epsilon}_c^{in}$	: Betonun elastik ötesi şekil değiştirmesi
ϵ_{0c}^{el}	: Betonun elastik şekil değiştirmesi
ϵ_c	: Betonun şekil değiştirmesi
σ_c	: Betonda oluşan gerilme
ϵ^{pl}	: Donatının plastik şekil değiştirmesi
H_{cr}	: Kritik perde yüksekliği
ρ_{bt}	: Uç bölgesi enine donatı oranı
ρ_{wh}	: Gövde bölgesi yatay donatı oranı
A_{wh}	: Gövde bölgesi yatay donatı alanı
ϵ_{cmp}	: Perdenin basınç bölgesi en dış elemanındaki şekil değiştirme
ϵ_{tens}	: Perdenin çekme bölgesi en dış elemandaki şekil değiştirme
A_{bt}	: Uç bölgesi enine donatı alanı
ϵ^t	: Donatının toplam şekil değiştirmesi
ϵ^{el}	: Donatının elastik şekil değiştirmesi
L_{pz}	: Plastik bölge uzunluğu
L_{sp}	: Akma penetrasyonu uzaması uzunluğu
A_{bt}	: Uç bölgesi enine donatı alanı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Betonarme perdeler için önerilmiş plastik mafsalsal boyu eşitlikleri özet tablosu.....	11
Çizelge 3.1 :Beton için plastisite değerleri.	15
Çizelge A.1 :Analizi yapılan modellere ait değişkenler ve elde edilen plastik mafsalsal boyları	76



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Akma yer değiştirmesi ve plastik yer değiştirme bileşenleri.....	4
Şekil 2.2 : Eleman yüksekliği boyunca idealize edilmiş akma eğriliği ve plastik eğrilik.	5
Şekil 2.3 : 2.8’de tanımlanan akma eğriliğinin elde edilmesi (Kazaz, 2013).	7
Şekil 2.4 : Denklem 2.9’da yer alan ifadenin belirlenmesi (Massone ve diğ. 2016)...	8
Şekil 3.1 : Beton elemanlar, boyuna donatı ve enine donatı geometrileri.	13
Şekil 3.2 : Beton basınç modeli (CDP) (ABAQUS Manual).....	16
Şekil 3.3 : Sargılı ve sargısız beton gerilme – şekil değiştirme ilişkisi (TBDY – 2018).	17
Şekil 3.4 : Beton basınç davranışı (Mühendislik ve Gerçek).....	18
Şekil 3.5 : Beton basınç davranışı (CDP).	18
Şekil 3.6 : Beton çekme davranışı (Mühendislik ve Gerçek).	19
Şekil 3.7 : Beton çekme davranışı (CDP).	20
Şekil 3.8 : Plastik gerilme – şekil değiştirme ilişkisinin elde edilmesi (ABAQUS Manual).....	21
Şekil 3.9 : Donatı çeliği davranışı (Mühendislik ve Gerçek).....	22
Şekil 3.10 : Donatı çeliği davranışı (Plastisite).....	22
Şekil 3.11 : Modelleme için tanımlanan eleman kesitleri.....	23
Şekil 3.12 : Donatıların yerleşimi.	24
Şekil 3.13 : Donatı ve beton etkileşiminin oluşturulması.	25
Şekil 3.14 : Adım süresinin ve stabilizasyon katsayısının tanımlanması.	26
Şekil 3.15 : Zaman artış aralığının ve maksimum artış adımı sayısının tanımlanması.	26
Şekil 3.16 : Analiz çıktılarının tanımlanması.	26
Şekil 3.17 : Perde üst yüzünden düşey ve yatay yükün etkilmesi.	27
Şekil 3.18 : Sonlu eleman ağı.	28
Şekil 3.19 : Analizin tanımlanması.	29
Şekil 3.20 : TBDY-2018’e göre perdelerin tasarımında uyulacak esaslar.....	30
Şekil 3.21 : Perde enkesiti.....	32
Şekil 3.22 : Perde boykesiti.	33
Şekil 3.23 : Deneyde kullanılan perdenin enkesiti ve boykesiti (Adebar ve diğ, 2007).	34
Şekil 3.24 : Deneyi yapılan perdenin sonlu eleman modeli.	35
Şekil 3.25 : Deney ve SEA sonucu elde edilen yük – deplasman eğrileri karşılaştırması.	36
Şekil 3.26 : Deney, SEA ve analitik model sonucu bulunan yük – deplasman eğrileri karşılaştırması.	36
Şekil 4.1 : Analiz sonucu oluşan şekil değiştirme (Model 16).	38
Şekil 4.2 : Analiz sonucu oluşan şekil değiştirme (Model 7).	39
Şekil 4.3 : Analiz sonucu oluşan şekil değiştirme (Model 13).	40
Şekil 4.4 : Perde yüksekliği boyunca eğrilik ve akma eğriliği.	41

Şekil 4.5 : Model-1 için taban kesitinde kesit boyunca şekil değiştirme diyagramı..	42
Şekil 4.6 : Model-1 için taban kesitinden 200 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.	43
Şekil 4.7 : Model-1 için taban kesitinden 400 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.	43
Şekil 4.8 : Model-7 için taban kesitinde şekil değiştirme diyagramı.....	44
Şekil 4.9 : Model-7 için taban kesitinden 400 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.	44
Şekil 4.10 : Model-7 için taban kesitinden 800 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.	45
Şekil 4.11 : Model-13 için taban kesitindeki şekil değiştirme diyagramı.....	45
Şekil 4.12 : Model 13 için taban kesitinden 200 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.	46
Şekil 4.13 : Model-13 için taban kesitinden 400 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.	46
Şekil 4.14 : Model-13 için taban kesitinden 800 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.	47
Şekil 4.15 : Model 1-5 için H_w/L_w oranı – plastik mafsalsal boyu (L_p/L_w) ilişkisi.	48
Şekil 4.16 : Model 6-10 için H_w/L_w oranı – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.....	48
Şekil 4.17 : Model 1-5 için perde uzunluğu (L_w) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	49
Şekil 4.18 : Model 6-10 için perde uzunluğu (L_w) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	50
Şekil 4.19 : Model-7 ve Model-10 için perde yüksekliği boyunca eğrilik.	51
Şekil 4.20 : Model 12-15 için eksenel kuvvet oranı – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	52
Şekil 4.21 : Model 16-20 için eksenel kuvvet oranı – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	52
Şekil 4.22 : Model 21-24 için eksenel kuvvet oranı – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	53
Şekil 4.23 : Model 16-19 için perde yüksekliği boyunca eğrilik.	53
Şekil 4.24 : Model 24-27 için uç bölgesi boyuna donatı oranı (ρ_{bl}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	54
Şekil 4.25 : Model 28-31 için uç bölgesi boyuna donatı oranı (ρ_{bl}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	54
Şekil 4.26 : Model 32-35 için uç bölgesi boyuna donatı (ρ_{bl}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.....	55
Şekil 4.27 : Model 36-39 için uç bölgesi enine donatı oranı (ρ_{bt}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	56
Şekil 4.28 : Model 40-43 için uç bölgesi enine donatı oranı (ρ_{bt}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	56
Şekil 4.29 : Model 44-47 için uç bölgesi enine donatı oranı (ρ_{bt}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	57
Şekil 4.30 : Model 48-51 için gövde bölgesi yatay donatı oranı (ρ_{wh}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	58
Şekil 4.31 : Model 52-55 için gövde bölgesi yatay donatı oranı (ρ_{wh}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.	58
Şekil 4.32 : Model 56-59 için gövde bölgesi yatay donatı oranı (ρ_{wh}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi	59
Şekil 4.33 : H_w/L_w oranına bağlı olarak L_p/L_w değişimi.	60
Şekil 4.34 : L_w 'ye bağlı olarak L_p/L_w değişimi.	60

Şekil 4.35 : P/A_{gf_c} oranına bağlı olarak L_p/L_w değişimi.	61
Şekil 4.36 : ρ_{bl} oranına bağlı olarak L_p/L_w değişimi.	61
Şekil 4.37 : ρ_{bt} oranına bağlı olarak L_p/L_w değişimi.	62
Şekil 4.38 : ρ_{wh} oranına bağlı olarak L_p/L_w değişimi.	62
Şekil 4.39 : SEA sonucu bulunan L_p ve 4.5'e göre hesaplanan L_p karşılaştırması. ...	63
Şekil 4.40 :SEA analizi sonucu bulunan L_p ve 4.6'ya göre hesaplanan L_p karşılaştırması.	64
Şekil 4.41 : Literatürde yer alan eşitliklerle sonlu eleman analizi sonucu bulunan plastik mafsallı boylarının karşılaştırılması.	65
Şekil 4.42 : SEA sonucu bulunan L_p ve 4.7'ye göre hesaplanan L_p karşılaştırması.	67





BETONARME PERDELERİN PLASTİK MAFSAL BOYUNU ETKİLEYEN DEĞİŞKENLERİN SONLU ELEMANLAR İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Betonarme perdeler deprem ve rüzgar gibi yatay yüklerin karşılanmasında etkili olarak kullanılırlar. Perdelerden beklenen performansın sağlanabilmesi için analiz ve tasarımlarının doğru yapılması gereklidir. Perdelerin elastik ötesi davranışını belirlemek amacıyla çok farklı analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında basitliği ve zaman tasarrufu sağlaması sebebiyle yığılı plastik davranış modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Yığılı plastik davranış modelinde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin belirli bir bölgede düzgün yayılı olarak oluştuğu kabul edilmektedir. Bu bölge plastik mafsalsal olarak nitelendirilmektedir. Bu model kullanılarak yapılan analiz sonucunda bulunan plastik yer değiştirme bileşenin doğruluğu plastik mafsalsal boyu ile doğrudan ilişkilidir. Tutarlı ve güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla farklı araştırmacılar tarafından farklı plastik mafsalsal boyu eşitlikleri sunulmuştur.

Bu çalışma kapsamında, plastik mafsalsal boyunu etkileyen değişkenleri belirlemek amacıyla 59 adet betonarme perde analiz edilmiştir. Bu işlem yapılırken sonlu eleman programı, ABAQUS, kullanılmıştır. Yapılan sonlu eleman analizi literatürde yer alan bir deneyle doğrulanmıştır.

Parametrik çalışma kapsamında, perde uzunluğu (L_w), perde yüksekliğinin/perde uzunluğuna oranı (H_w/L_w), eksenel kuvvet oranı ($P/A_g f_c$), uç bölgesi boyuna donatı oranı (ρ_{bl}), uç bölgesi enine donatı oranı (ρ_{bt}) ve gövde bölgesi yatay donatı oranı (ρ_{wh}) değişken olarak belirlenmiştir. Tüm modeller için beton basınç dayanımı 30 MPa, donatı çeliği akma dayanımı 420 MPa olarak alınmıştır.

Analizler sonucunda perde uzunluğu ve perde yüksekliğinin perde uzunluğuna oranındaki artışla beraber plastik mafsalsal boyunda da artış gözlenmiştir. Bu değişkenlerin aksine eksenel kuvvet oranındaki artışla birlikte plastik mafsalsal boyunda azalma olduğu saptanmıştır. Uç bölgesi enine donatı oranı ve gövde bölgesi yatay donatı oranındaki artışlar plastik mafsalsal boyunda azalmaya, uç bölgesindeki enine donatı oranındaki artış plastik mafsalsal boyunda artışa yol açsa da regresyon analizi sonucunda ilk 3 değişken kadar etkili olmadığı belirlenmiştir.

Analizler sonucu elde edilen plastik mafsalsal boyları ve regresyon analizi kullanılarak betonarme perdelerde plastik mafsalsal boyunu belirlemek için bir plastik mafsalsal boyu eşitliği sunulmuştur. Önerilen eşitlik ve literatürde yer alan eşitlikler, sonlu eleman analiziyle bulunan plastik mafsalsal boylarıyla karşılaştırılmıştır.



PLASTIC HINGE LENGTH DETERMINATION USING FINITE ELEMENTS ON REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS

SUMMARY

Reinforced concrete shear walls are commonly used as primary element in structural systems against lateral loads such as earthquake and wind loads, on account of their high lateral strength and stiffness that limit the lateral deflections. Shear walls have to provide sufficient flexural capacity against lateral loads and it is very important for the safety of whole structure. Although there are various analysis methods such as fiber analysis and finite element analysis to determine the response of walls, plastic hinge analysis is mostly used method to calculate the flexural displacement capacity of reinforced concrete shear walls, thanks to its simplicity.

In spite of the nonuniform spreads of plasticity curvature through the plastic zone, it is supposed that plastic curvatures lumped uniformly at a certain region near the wall base, as called *plastic hinge*, in the plastic hinge method. In the classical formulation of plastic hinge method, the total displacement of cantilever elements consists of two elements after yielding: the yield displacement and the inelastic displacement. The top displacement of cantilever walls or columns is calculated as the sum of yield displacement and plastic displacement by using plastic hinge method.

The certainty of plastic displacement component depends on the plastic hinge length. Various plastic hinge length expressions were proposed in order to find accurate and reliable calculations. Proposed expressions rely on experimental results or analytical studies. Design codes suggest different equations for estimation of plastic hinge length. Despite Turkish Building Seismic Code and ASCE/SEI use simple expression, Eurocode 8 recommend more complicated equation.

In this study, the parametric study was carried out to investigate the parameters that affect the plastic hinge length in reinforced concrete shear walls. Because of the there is not adequate experimental data in the literature to acquire plastic hinge length of reinforced concrete shear walls, parametric study was conducted by using finite element model which was verified by experimental results. Within the scope of this research, 59 walls having different parameters such as aspect ratio, wall length, axial load ratio, boundary longitudinal reinforcement ratio, boundary transverse reinforcement ratio, and web horizontal reinforcement ratio were analyzed.

Shear walls were modelled with the finite element program, ABAQUS/CAE 2019. Concrete parts of walls were created with the 3D solid element, and reinforcement parts were created by using 3D wire element. Concrete damage plasticity (CDP) model was selected in order to represent concrete compression and tension behavior. rebars were modelled with the plasticity model. Concrete damage plasticity model is paired with the unconfined Mander model for concrete behavior under compression. Belarbi and Hsu model were used to simulate the tension behavior of concrete. For whole

models, elasticity modulus (E_c), the Poisson's ratio (ν) and the compressive and tensile strengths were considered 27386 MPa, 0.2, 30 MPa and 2.19 MPa, respectively.

The dilation angle (ψ), the shape factor (K_c), the stress ratio (σ_{b0}/σ_{c0}) and the eccentricity were supposed 36°, 0.667, 1.16, and 0.001, respectively.

Rebars were modelled with the plasticity model. The uniaxial stress-strain relation of longitudinal and transverse reinforcements has an initial linear-elastic response, yield plateau and linear strain-hardening phase. The elastic modulus of reinforcements (E_s) and Poisson's ratio were taken as 200000 MPa and 0.3, respectively. Yield strength, strain hardening beginning strain and an ultimate strain are 420 MPa, 0.008, and 0.08, respectively.

8-noded hexahedral elements (C3D8R) were utilized for concrete and 2-noded linear truss elements were used with perfect bond between concrete and rebars. The two meter wide flanges that have high axial stiffnesses were added to wall at each story level in order to represent slabs which affects the shear flow along the shear walls. Slabs were modelled using continuum shells with a thickness of 20 cm, on the purpose of reducing computing time. In order to take into account of the strain penetration effect, the foundation with high rigidity compared to the shear wall were modelled with 3D solid elements at base of the shear wall. Concrete part of models was meshed with 10cmx10cmx10cm brick elements and reinforcements were meshed with 2.5 cm elements. A finer mesh size was used for the rebars in order to get rid of convergence problems. All the nodes were held at the bottom face of the foundation in the all directions. In spite of the high computation time, full scale walls were used for simulations. The static analyses of finite element models were fulfilled under a monotonically increasing lateral displacement. At first a constant axial load was applied at top of the walls and then lateral target displacement was applied to the model.

In order to determine the plastic zone length, curvature profiles method were adopted. In the curvature profiles method, strains were obtained at the wall ends – tension and compression side – along the wall height. Curvature distribution was calculated by using these edge strains. The yield curvature expression proposed by Priestley et al. was used in order to determine the range of yielding along the height of wall. It is assumed that plastic hinge length is equal the half of plastic region.

After the calculation of plastic hinge length, influence of parameters to plastic hinge length was investigated. The first parameter studied was the aspect ratio. Shear walls with higher aspect ratio have larger plastic hinge length than walls having lower aspect ratio. Another parameter studied was wall length. Longer walls have larger plastic hinge than shorter walls. Increase in axial load ratio causes decrease in plastic hinge length. While the boundary transverse reinforcement ratio increase the plastic hinge length for walls with 2 meter length, no apparent effect was observed for walls having 3 meter and 4 meter length. There is no important effect of boundary longitudinal reinforcement ratio and web horizontal ratio on the plastic hinge length. The regression analysis was maintained. As a result of regression analysis, aspect ratio, wall length and axial load ratio were determined as a primary parameters that affect the plastic hinge length.

The multiple regression analysis was conducted so as to propose plastic hinge expression by using the variables of parametric study. Firstly, more complicated

expressions that consist of all variables were suggested. Then, more simple equation that comprise primary variables was proposed.

Finally, proposed equation was compared with the code equations and prior proposed equations in the literature so as to prove the consistency of the equation.





1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Betonarme perdeler, sahip oldukları yüksek dayanım ve yanal rijitlikten ötürü rüzgar ve deprem gibi yanal yüklere karşı koymak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonarme perdelerin yanal yüklere maruz kalması durumunda yeterli performansı sağlayabilmesi için analiz ve tasarımlarının doğru bir şekilde yapılması önem arz etmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında veya mevcut bir yapının performans değerlendirmesinde perdelerden beklenen performans yanal yer değiştirme kapasitesinin yanal yer değiştirme talebini karşılayacak seviyede olmasıdır.

Betonarme perdeler, şiddetli deprem altında elastik ötesi davranış gösterecek biçimde tasarlandığından, doğrusal olmayan davranışın iyi anlaşılıp modellenmesinin olabildiğince gerçek davranışı yansıtacak şekilde yapılması gerekmektedir (Değer & Başdoğan, 2021). Betonarme yapıların yatay yükler altındaki davranışını saptamak için, gelişen bilgisayar teknolojisinin sağladığı imkanlar sonucu ortaya çıkmış gelişmiş analiz yöntemleri kullanılabilmektedir fakat karmaşıklığı ve hesaplama süresinin uzunluğu bu yöntemlerin tercih edilirliliğini azaltmaktadır. Gelişmiş analiz yöntemlerinin aksine basitliği sebebiyle plastik mafsallı analiz sıkça tercih edilmektedir. Plastik mafsallı analiz kullanılarak yapılan depreme dayanıklı yapı tasarımının veya yapının performans değerlendirmesinin doğruluğu plastik mafsallı boyu ile doğru orantılıdır. Plastik mafsallı boyunu saptamak amacıyla farklı araştırmacılar tarafından farklı modeller önerilmiştir. Bu çalışma kapsamında da perdelerde plastik mafsallı boyunu etkileyen değişkenler irdelenip yeni bir model önerilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, doğrusal olmayan sonlu eleman analizi kullanılarak betonarme perdelerin plastik mafsallı boyları (L_p) irdelenip, yeni bir plastik mafsallı boyu eşitliği sunulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Türkiye Bina

Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'nde yer alan süneklik düzeyi yüksek betonarme perdelerin tasarımında uyulması gereken kurallara göre farklı değişkenlere sahip 59 adet betonarme perdenin analizi yapılmıştır. Perde uzunluğu (L_w), perde yüksekliğinin perde boyuna oranı (H_w/L_w), eksenel kuvvet oranı ($\frac{P}{A_g f_c}$), uç bölgesi boyuna donatı oranı (ρ_{bl}), uç bölgesi enine donatı oranı (ρ_{bt}) ve gövde bölgesi yatay donatı oranı (ρ_{wh}) olmak üzere 6 farklı değişken göz önüne alınmıştır. Bu değişkenlerin plastik mafsallara etkileri incelenmiş ve plastik mafsallara boyunun belirlenmesinde kullanılabilecek bir eşitlik önerilmiştir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

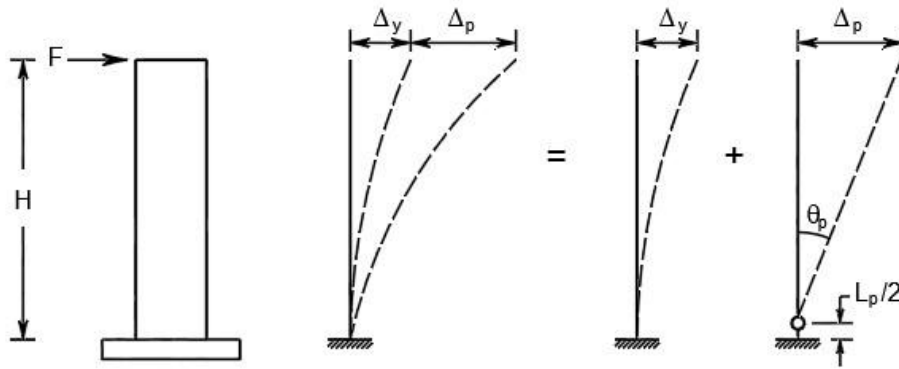
Gelişen bilgisayar teknolojisinin sağladığı imkanlarla birlikte yapıların doğrusal olmayan davranışlarını göz önüne alan analizler daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Gerek araştırma alanında gerekse tasarımda yapıların doğrusal olmayan analizi için farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Yığılı plastik davranış modeli, yayılı plastik davranış modeli ve sonlu elemanlar modeli en çok tercih edilen modelleme yöntemleridir. En ayrıntılı sonuçlar sonlu elemanlar modellemesiyle elde edilmesine rağmen analizlerin fazla zaman alması ve modelleme aşamasındaki detayların fazlalığı bu yöntemin tercih edilirliliğini azaltmaktadır. Deneylerle uyumlu sonuçlar vermesi sebebiyle araştırmacılar tarafından tercih edilen yayılı plastik davranış modelinin hesap süresi sonlu elemanlar modeline göre daha düşük olsa bile yığılı plastik davranış modeline göre bir hayli yüksektir. Yığılı plastik davranış modeli, yukarıda bahsedilen yöntemlere göre uygulanabilirliğinin kolay olması ve hesap süresinin kısa olması sebebiyle uygulamada çokça tercih edilmektedir.

Yığılı plastik davranış modeli, TBDY-2018’de *“iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır.”* şeklinde tanımlanmaktadır. Plastik şekil değiştirmelerin yığılı bir biçimde düzgün olarak oluştuğu sonlu uzunluktaki bölge “plastik mafsalsal” olarak adlandırılmaktadır. Yığılı plastik model kullanılarak yapılan analizlerin doğruluğu plastik mafsalsal boyu ile doğrudan ilişkilidir. Plastik mafsalsal boyunun saptanması amacıyla uzun yıllardır araştırmacılar tarafından farklı değişkenler incelenerek farklı modeller önerilmiştir

Bu çalışmada gelişmiş sonlu elemanlar programı (ABAQUS) kullanarak betonarme perdelerin doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Farklı değişkenler göz önüne alınarak perdelerine ait şekil değiştirme ve eğrilik değerleri elde edilerek plastik mafsalsal boyu eşitliği sunulmuştur.

2.1 Plastik Mafsal Hipotezi

Yapıların yer değiştirmeye dayalı tasarımında ve performans değerlendirmesinde elastik ötesi yer değiştirmenin elde edilmesi amacıyla plastik mafsal hipotezi yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastik mafsal analizinde, toplam yer değiştirmenin akma yer değiştirmesi ve plastik yer değiştirmenin toplamından oluştuğu kabul edilmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Akma yer değiştirmesi ve plastik yer değiştirme bileşenleri.

$$\Delta = \Delta_y + \Delta_p \quad (2.1)$$

Yer değiştirme bileşenlerinin doğruluğu kesit analizi sonucu bulunan eğrilik değerleri ve plastik mafsal boyuyla doğrudan ilişkilidir. Akma yer değiştirmesi, akma eğriliğinin kesit boyunca doğrusal bir dağılım gösterdiği varsayımı yapılarak integrasyonla bulunabilir.

$$\Delta_y = \frac{\phi_y H^2}{3} \quad (2.2)$$

Denklemdaki Φ_y , akma eğriliğini; H ise elemanın yüksekliğini ifade etmektedir.

Elemanda oluşan plastik dönme değeri ise plastik eğrilik değerlerinin integrasyonu ile hesaplanabilir. Plastik eğrilik değerleri, toplam eğrilikten akma eğriliğinin çıkarılması sonucu elde edilir.

$$\phi_p = \phi_u - \phi_y \quad (2.3)$$

$$\theta_p = \phi_p L_p \quad (2.4)$$

Denklem 2.3 ve denklem 2.4'te yer alan ϕ_u , toplam eğriliği; ϕ_p , plastik eğriliği; ϕ_y , akma eğriliğini; θ_p , plastik dönmeyi ve L_p , plastik mafsalsal boyunu ifade etmektedir.

Plastik dönmelerin, plastik mafsalsal bölgesinin ortasında oluştuğu düşünülerek plastik yer değiştirme bileşeni,

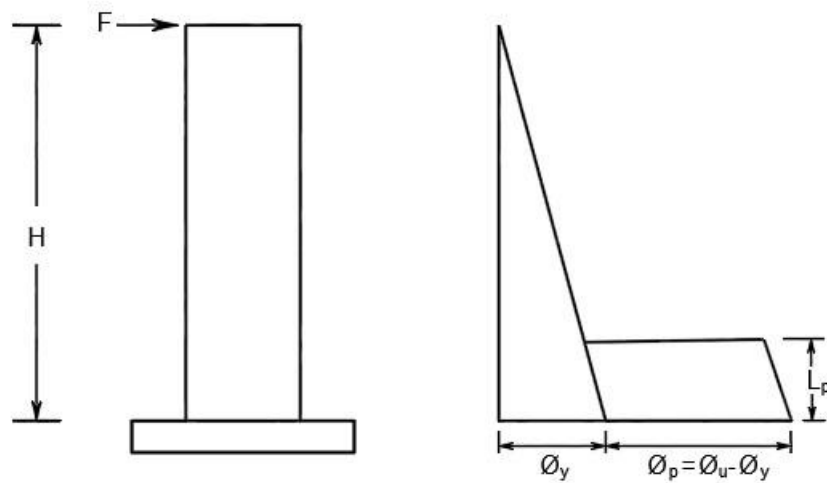
$$\Delta_p = \theta_p \left(L - \frac{L_p}{2} \right) = (\phi_u - \phi_y) L_p \left(L - \frac{L_p}{2} \right) \quad (2.5)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Elde edilen denklemlerden toplam yer değiştirme,

$$\Delta = \frac{\phi_y H^2}{3} + \theta_p \left(L - \frac{L_p}{2} \right) = (\phi_u - \phi_y) L_p \left(L - \frac{L_p}{2} \right) \quad (2.6)$$

olarak bulunur.



Şekil 2.2 : Eleman yüksekliği boyunca idealize edilmiş akma eğriliği ve plastik eğrilik.

Ayrıca tepe yer değiştirmesi bulunurken 2.7 denklemi kullanılabilir. Denklem tepe yer değiştirmesinin hesabında yükseklik boyunca teorik eğrilik dağılımının olduğunu kabul etmektedir. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile denklem 2.7 karşılaştırıldığında, denklemle bulunan tepe yer değiştirmesi değerinin gerçeğe göre daha az olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise denklemin akma uzaması penetrasyonu (*strain penetration*) ve kaymadan kaynaklanan deformasyonları göz ardı etmesidir (Paulay ve Priestley., 2007). Çekme donatısındaki şekil değiştirmeler perde tabanında

aniden sıfırlanmaz, şekil değiştirmelerin sıfırlanması için yeterli kenetlenme boyunun sağlanması gerekmektedir. Kenetlenme boyunca oluşan donatı sıyrılmaları ilave dönmeler oluşturmaktadır (Paulay ve Priestley., 2007). Bu durum akma uzaması penetrasyonu olarak adlandırılır.

$$\Delta = \int_0^H \phi(z) z dz \quad (2.7)$$

2.2 Göçme Durumunun Belirlenmesi

Göçme durumunun belirlenmesi yapılan analitik çalışma ve yapının gerçekteki davranışının mantıklı olarak karşılaştırılabilmesi için önemli etkenlerden birisidir. Göçme durumu belirlenirken kesit bazında göçme kabulü yapılabileceği gibi eleman bazında da yapılabilir. Kesit bazında yapılan kabuller betonun ezilme sınırına ulaşması, donatının kopma uzamasını yapması veya maksimum eğriliğe ulaşması gibi durumlar olabilir.

Elemanın genel davranışına dayanarak göçme kabulü ise genellikle kuvvet-yer değiştirme ilişkisini üzerinden yapılır. Kuvvet – yer değiştirme ilişkisinde en büyük kuvvet değeri aşıldıktan sonra, kuvvette %15-%20 azalma meydana gelen nokta göçme noktası olarak kabul edilebilir. Bir başka eleman bazlı yaklaşım ise elemanın yaptığı dönmeye bağlı olarak göçme durumunun belirlenmesidir.

Bohl ve Adebar (2011), betonarme perdelerde plastik mafsallık boyu üzerine yaptığı çalışmada ASCE 41-17’deki yaklaşıma göre elemanın %2 radyanlık dönme yaptığında göçme noktasına geldiği kabulünü yapmıştır. Bu tez kapsamında da bahsedilen çalışma referans alınarak %2 radyanlık dönme değeri göçme noktası kabul edilmiş, bu dönme değeri tepe yer değiştirmesi değerine çevrilerek hesaplanan yer değiştirme göçme noktası olarak alınmıştır.

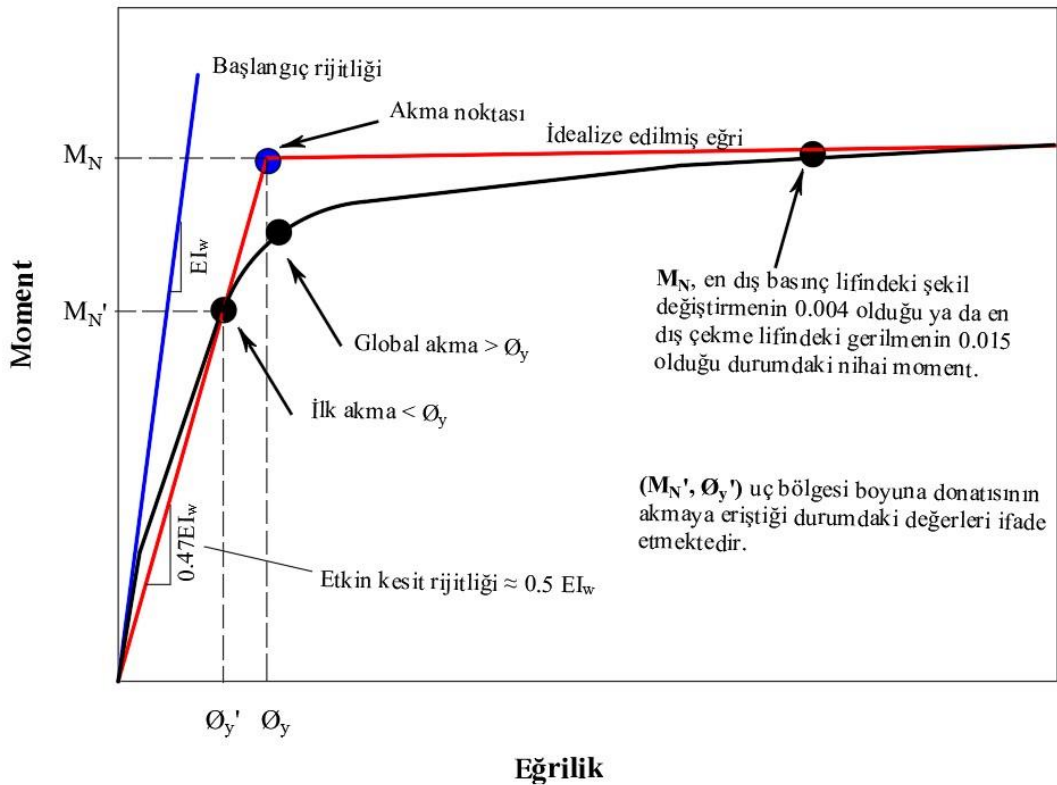
2.3 Akma Eğriliğinin Belirlenmesi

Akma noktası, elastik davranışın bittiği elastik olmayan davranışın başladığı nokta olarak tanımlanabilir. Plastik mafsallık boyunun elde edilebilmesi için plastik eğrilik değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Denklem 2.3’te verildiği üzere plastik eğrilik değerleri, toplam eğrilikten akma eğriliğinin çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Eşdeğer akma eğriliğinin belirlenmesi için farklı yöntemler önerilmiştir.

Paulay ve Priestley (1992) ve Priestley ve diğ. (2007)'nin yaptıkları çalışmalarda akma eğriliği, moment – eğrilik grafiğinin iki doğrulu olacak şekilde idealleştirilmesiyle elde edilmiştir. İdealleştirme yapılırken, ilk doğru sıfır noktasından ilk akmanın gerçekleştiği noktaya, ikinci doğru ise bu ilk doğrudan nominal akma momentine kadar uzatılmıştır. Nominal akma momenti, en dış basınç lifindeki şekil değiştirmenin 0.004 değerine erişmesi veya en büyük çekme şekil değiştirme değerinin 0.015'e ulaşması durumunda oluşan momenttir. İki durumdan hangisi önce oluşmuşsa o durum göz önüne alınacaktır. İki doğrunun kesiştiği nokta akma noktası olarak tanımlanmıştır. Bu noktaya karşı gelen eğrilik değeri denklem 2.8 ile ifade edilmiştir.

$$\phi_y = 2 \frac{\varepsilon_y}{L_w} \quad (2.8)$$

ε_y , donatının akma şekil değiştirmesi değerini, L_w ise elemanın uzunluğunu ifade etmektedir.

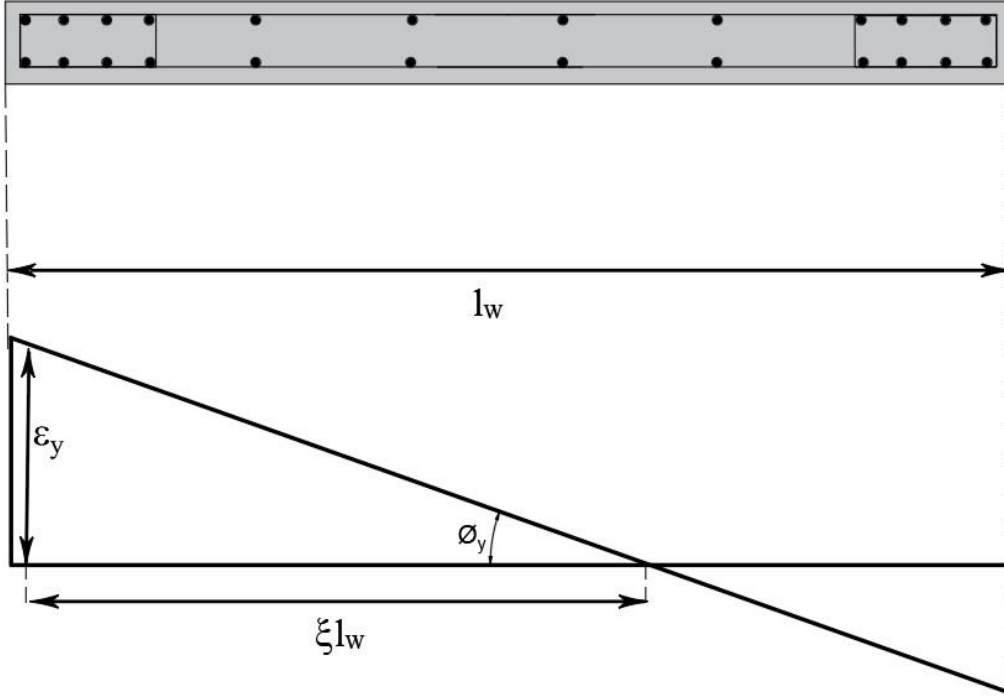


Şekil 2.3 : 2.8’de tanımlanan akma eğriliğinin elde edilmesi (Kazaz, 2013).

Massone ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada dikdörtgen ve T kesite sahip perdeler için analizler yapılmıştır. Çalışmalarda aksenal kuvvet ve uç bölgesi boyunca

donatısı ana değişkenler olarak belirlenmiştir. Şekil 2.4'te ifade edilen yaklaşımla Denk 2.9 önerilmiştir.

$$\phi_y = K \frac{\varepsilon_y}{l_w} \quad (2.9)$$



Şekil 2.4 : Denklem 2.9’da yer alan ifadenin belirlenmesi (Massone ve diğ. 2016).

K katsayısını en çok etkileyen iki değişkenin eksenel yük ve uç bölgesi boyuna donatısı olduğu Massone (2016)’nin çalışmasında belirtilmiştir. Buna dayanarak K katsayısı denklem 2.10 ile ifade edilmiştir.

$$K = 1.25 + 1.69 \frac{P}{f'_c A_g} + 0.65 \rho_b \quad (2.10)$$

Ayrıca aynı çalışmada daha güvenli tarafta kalacak şekilde K değerinin 1.4 olarak alınabileceği belirtilmiştir.

Kazaz ve diğ. (2012) farklı değişkenleri hesaba katarak yaptıkları sonlu eleman analizlerinde akma eğriliğini en çok etkileyen değişkenin perde uzunluğu (l_w) olduğu sonucuna varmıştır. Uç bölgesi boyuna donatı oranının (ρ_b) da perde uzunluğu kadar

etkisi olmasa bile akma eğriliğini etkilediği belirtilmiştir. Bu çıktılar ışığında 2.11 önerilmiştir.

$$\phi_y L_w = 0.00534(\rho_b^{0.07}) \quad (2.11)$$

2.4 Betonarme Perdelerde Plastik Mafsal Boyu Üzerine Çalışmalar

Paulay ve Priestley (1993), dikdörtgen betonarme perdelerde düzlem dışı burkulma davranışını incelemek amacıyla yaptıkları deneysel çalışmalarda gözlemlerine bağlı olarak denklem 2.12'deki plastik mafsal boyunu önermiştir.

$$L_p = (0.20 + 0.044A_r)l_w \quad (2.12)$$

l_w perde uzunluğunu, A_r ise perde yüksekliğinin perde boyuna oranını ifade etmektedir.

Sasani ve Der Kiureghian(2001), Corley (1966) ve Mattock (1967)'un kirişler üzerinde yaptıkları deneylerden faydalı yükseklik değerleri 0.5 metreden büyük olan 29 adet kirişi seçerek istatistiki bir yaklaşımla incelemiştir. Bu incelemenin sonucunda Corley (1966) ve Mattock (1967)'da kirişler için verilen plastik mafsal boyunu uygun katsayılarla değiştirerek perdeler uyarlamışlardır.

$$L_p = 0.43d + 0.077 \frac{\sqrt{Z}}{d} \quad (2.13)$$

Bohl ve Adebar (2011), gelişmiş sonlu elemanlar programı, VecTor2, kullanarak yaptıkları çalışmada yüksek yapılardaki betonarme perdelerin plastik mafsal boylarını elde etmeyi amaçlamıştır. Perde uzunluğu, moment-kesme kuvveti oranı, eksenel kuvvet oranı ve kayma gerilmesinin değişken olarak incelendiği çalışmada 22 farklı betonarme perde analiz edilmiştir. Analizler sonucunda perde yüksekliği boyunca eğrilik değerleri elde edilip buna bağlı Denklem 2.14 önerilmiştir.

$$L_p = (0.2l_w + 0.05h_w) \left(1 - 1.5 \frac{P}{A_g f'_c}\right) \quad (2.14)$$

l_w , perde uzunluğu, h_w , perde yüksekliği ve $\frac{P}{A_g f'_c}$, eksenel kuvvet oranı değişkenlerini ifade etmektedir.

Kazaz (2013), Bohl ve Adebar(2011)'ın yaptıkları çalışmada olduğu gibi perde yüksekliği boyunca eğrilik değerleri ve buna bağlı olarak plastik mafsal boylarını elde etmek için gelişmiş sonlu eleman programı, ANSYS, kullanarak parametrik bir

çalışma yürütmüştür. DBYHBY-2007'deki koşulları gözетerek tasarladığı betonarme perdelerde, perde uzunluğu, perde yüksekliği, perde yüksekliğinin perde uzunluğuna oranı, eksenel kuvvet oranı ve perde uç bölgesi boyuna donatı oranını değişken olarak seçmiştir. Konsol olarak modellenen perdelerle yapılan analizler sonucunda

$$L_p = 0.27L_w \left(1 - \frac{P}{A_g f'_c}\right) \left(1 - \frac{f_y \rho_{sh}}{f'_c}\right) \left(\frac{M/V}{L_w}\right)^{0.45} \quad (2.15)$$

eşitliği elde edilmiştir. L_w , perde uzunluğunu; $\frac{P}{A_g f'_c}$, eksenel kuvvet oranı; f_y donatı için karakteristik akma dayanımını; f'_c beton için karakteristik basınç dayanımını; ρ_{sh} , yatay gövde donatısı oranını; M/V ise momentin kesme kuvvetine oranını yani efektif yüksekliği ifade etmektedir.

Kazaz, yine aynı çalışmada plastik mafsallı boyu eşitliğini daha basit formda 2.16'daki gibi ifade etmiştir.

$$L_p = 0.143L_w + 0.072(M/V) \quad (2.16)$$

Massone ve Alfaro (2016), OpenSees kullanarak yaptıkları sonlu elemanlar analizinden elde ettikleri sonuçları regresyon analiziyle değerlendirerek Bohl ve Adebar (2011) tarafından önerilen Denklem 2.14'yı düzenlemişlerdir.

$$L_p = (0.2l_w + 0.05h_w) \left(1 - 1.5 \frac{P}{A_g f'_c}\right) (5.1 \Delta_p^3) \quad (2.17)$$

Hoult ve diğ. (2017), standart altı boyuna donatı oranına sahip betonarme perdelerin plastik mafsallı boylarını sonlu eleman programı, VecTor2, kullanarak hesaplamıştır. Çalışma kapsamında perde uzunluğu, perde genişliği, perde yüksekliği, eksenel kuvvet oranı ve boyuna donatı oranı gibi değişkenler kullanılarak 347 adet perde analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda Denklem 2.18 elde edilmiştir.

$$L_p = (0.10L_w + 0.075H_e) \left(1 - 6 \left(\frac{P}{A_g f_{cmi}}\right)\right) \leq 0.5L_w \quad (2.18)$$

Yönetmeliklerde plastik mafsallı boyu için farklı ifadeler yer almaktadır. Plastik mafsallı boyu, Eurocode 8'de (2005), Denklem 2.19 gibi ifade edilmiştir.

$$L_p = \frac{L_v}{30} + 0.2L_w + 0.11 \frac{d_{bL} f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad (2.19)$$

L_v = kesme açıklığı (moment/kesme kuvveti oranı), d_{bL} =çekme donatısının çapı (ortalama), f_y ve f'_c ise sırasıyla boyuna donatının akma dayanımı (MPa) ve betonun basınç dayanımını (MPa) ifade etmektedir.

TBDY-2018 ve ASCE/SEI 41’de (ASCE, 2007) perdeler için plastik mafsal boyu aşağıda yer alan ifadede olduğu gibi sadece eğilme doğrultusundaki perde uzunluğuna bağlı 2.20’deki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$L_p = 0.5L_w \quad (2.20)$$

Çizelge 2.1 : Betonarme perdeler için önerilmiş plastik mafsal boyu eşitlikleri özet tablosu.

Plastik Mafsal Boyu Eşitliği	Araştırmacı
$L_p = (0.20 + 0.044A_r)l_w$	(Paulay ve Priestley, 1993)
$L_p = 0.43d + 0.077\frac{\sqrt{Z}}{d}$	(Sasani ve Der Kiureghian, 2001)
$L_p = (0.2l_w + 0.05h_w)(1 - 1.5\frac{P}{A_g f'_c})$	(Bohl ve Adebar, 2011)
$L_p = 0.27L_w(1 - \frac{P}{A_g f'_c})(1 - \frac{f_y \rho_{sh}}{f'_c})(\frac{M/V}{L_w})^{0.45}$	(Kazaz, 2013)
$L_p = 0.143L_w + 0.072(M/V)$	(Kazaz, 2013)
$L_p = (0.2l_w + 0.05h_w)(1 - 1.5\frac{P}{A_g f'_c})(5.1\Delta_p^3)$	(Massone ve Alfaro, 2016)
$L_p = (0.10L_w + 0.075H_e)\left(1 - 6(\frac{P}{A_g f_{cmi}})\right) \leq 0.5L_w$	(Hoult ve diğ., 2017)
$L_p = \frac{L_v}{30} + 0.2L_w + 0.11\frac{d_b L f_y}{\sqrt{f'_c}}$	(Eurocode 8, 2005)
$L_p = 0.5L_w$	(TBDY-2018 ve ASCE/SEI 41)

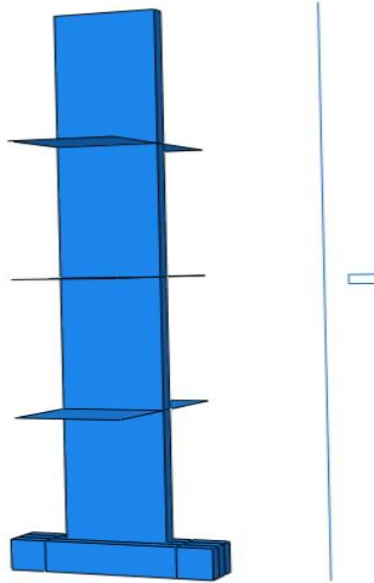


3. MODELLEME

3.1 Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması

3.1.1 Perde elemanlarının geometrilerinin oluşturulması

ABAQUS'te modelleme yapılırken ilk olarak perde modelinde kullanılacak beton gövde, temel, döşeme, uç bölgesi enine ve boyuna donatıları, gövde bölgesi enine ve boyuna donatıları gibi elemanların geometrileri oluşturulmuştur. Perdelerin yapı içerisindeki gerçek davranışına benzeştirmek amacıyla kat yüksekliği 3 metre kabul edilerek kat hizalarında 2 metre genişliğinde 20 cm kalınlığında aksenal rijitliği yüksek döşemeler tanımlanmıştır (Vallenas,1979; Paulay ve Taylor,1981). Donatıdaki akma uzaması penetrasyonlarını modelleyebilmek için perde altında rijit temel oluşturulmuştur (Kazaz,2013). Beton gövde ve temel plağı 3 boyutlu geometri (solid) kullanılarak oluşturulurken, döşeme için ise 2 boyutlu kabuk (shell) kullanılarak geometri oluşturulmuştur. Gövde ve uç bölgesi enine ve boyuna donatılarının tamamı 3 boyutlu çubuk (wire) kullanılarak elde edildi.



şekil 3.1 : Beton elemanlar, boyuna donatı ve enine donatı geometrileri.

3.1.2 Beton ve donatı malzemelerinin modellenmesi

3.1.2.1 Beton malzemenin modellenmesi

Beton modellenirken programın içeriğinde yer alan “beton hasar plastisite modeli” (Concrete Damage Plasticity (CDP)) yaklaşımı kullanılmıştır. CDP, Lubliner ve diğ. (1989) tarafından önerilen akma fonksiyonu (yield function) ve Lee ve Fenves (1998)’in bu fonksiyona getirdikleri farklı yorumun kullanılmasına dayanmaktadır. Lee ve Fenves’in yaptığı değişikliklerle akma fonksiyonu,

$$F = \frac{1}{1-\alpha}(\bar{q} - 3\alpha\bar{p} + \beta(\bar{\epsilon}^{pl})(\bar{\sigma}_{max}) - \gamma(-\bar{\sigma}_{max})) - \bar{\sigma}_c(\bar{\epsilon}_c^{pl}) - \bar{\sigma}_c(\bar{\epsilon}_t^{pl}) = 0 \quad (3.1)$$

şeklini almıştır.

$\bar{q}$ eşdeğer Mises efektif gerilmesini, $\bar{p}$ hidrostatik basıncı, $\bar{\sigma}_{max}$ en büyük efektif gerilmeyi, $\bar{\sigma}_c(\bar{\epsilon}_c^{pl})$ efektif basınç kohezyon gerilmesini ifade etmektedir. α, β ve γ ifadeleri 3.2- 3.4 yer alan eşitliklere göre hesaplanmaktadır.

$$\alpha = \frac{(\sigma_{b0}/\sigma_{c0})-1}{2(\sigma_{b0}/\sigma_{c0})-1}; \quad 0 \leq \alpha \leq 0.5 \quad (3.2)$$

σ_{b0} iki eksenli basınç dayanımını, σ_{c0} ise tek eksenli basınç dayanımını ifade etmektedir. σ_{b0}/σ_{c0} oranı programda varsayılan haliyle 1.16 olarak kullanılmıştır.

$$\beta = \frac{\bar{\sigma}_c(\bar{\epsilon}_c^{pl})}{\bar{\sigma}_t(\bar{\epsilon}_t^{pl})}(1 - \alpha) - (1 + \alpha) \quad (3.3)$$

$\bar{\sigma}_t(\bar{\epsilon}_t^{pl})$ terimi efektif çekme kohezyon gerilmesini temsil etmektedir.

$$\gamma = \frac{3(1-K_c)}{2K_c-1} \quad (3.4)$$

K_c , deviatorik enine kesitte, hidrostatik aks ile basınç meridyeni arasındaki uzaklığın, hidrostatik aks ile çekme meridyeni arasındaki uzaklığa olan oranıdır.

CDP modeli 3.5’te yer alan Drucker-Prager hiperbolik fonksiyonuna dayanan akış fonksiyonu (flow potential function) kullanılmaktadır.

$$G(\sigma) = \sqrt{(\epsilon\sigma_{t0} \tan \psi)^2 + \bar{q}^2} - \bar{p} \tan \psi \quad (3.5)$$

Denklemden ϵ fonksiyonun asimptotuna yaklaşma oranı diye tabir edilen eksantrisiteyi, σ_{t0} göçme anındaki tek eksenli çekme gerilmesini, ψ genişleme açısını temsil

etmektedir. Programda varsayılan ϵ değeri 0.1'dir, modellerde bu değer değiştirilmeden kullanılmıştır.

ABAQUS gibi programlarda, malzeme modelinin yumuşama davranışı göstermesi ve elastisite modülünde azalma meydana gelmesi yakınsama problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Bu tarz problemlerin çözümü için eşitliklerde viskoplastik düzeltme yapılabilir (ABAQUS Kullanıcı Rehberi, 2014). Modelde kullanılan Duvaut-Lions (1972) yaklaşımı 3.6'da verilmiştir.

$$\dot{\epsilon}_v^{pl} = \frac{1}{\mu} (\epsilon^{pl} - \epsilon_v^{pl}) \quad (3.6)$$

$\dot{\epsilon}_v^{pl}$ viskoplastik şekil değiştirme oranı tensörünü, μ viskoplastik sistemin gevşeme süresini ve ϵ^{pl} plastik şekil değiştirmeyi ifade etmektedir.

Viskoplastik modelin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi şöyledir:

$$\sigma = (1 - d_v) D_0^{el} : (\epsilon - \epsilon_v^{pl}) \quad (3.7)$$

Yapılan analizlerde betonun elastisite modülü (E_0), Poisson oranı (ν), genişleme açısı(ψ), K_c , gerilme oranı σ_{b0}/σ_{c0} ve viskozite katsayıları çizelge 3.1'de verilmiştir.

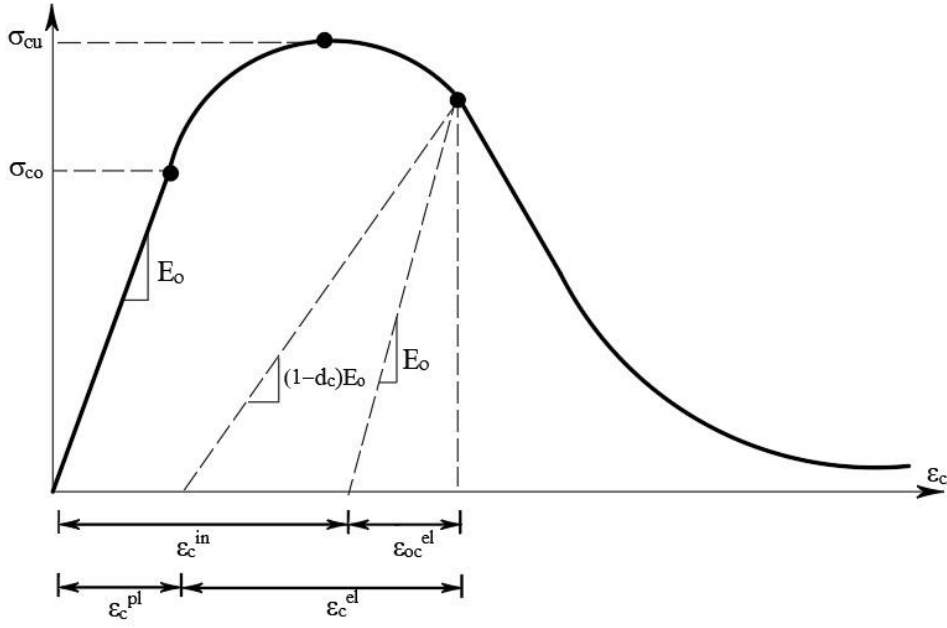
Çizelge 3.1 : Beton için plastisite değerleri.

E_0 (MPa)	ν	ψ	ϵ	σ_{co}/σ_{b0}	K_c	Viskozite
27386	0.2	36°	0.1	1.16	0.667	0.001

CDP modelinde, betonun elastik ötesi şekil değiştirme ve gerilme ilişkisi girilerek basınç davranışı tanımlanabilir. Elastik ötesi şekil değiştirme değeri, toplam şekil değiştirme değerinden elastik şekil değiştirme değeri çıkarılarak elde edilir.

$$\tilde{\epsilon}_c^{in} = \epsilon_c - \epsilon_{0c}^{el} \quad (3.8)$$

$$\epsilon_{0c}^{el} = \sigma_c / E_0 \quad (3.9)$$



Şekil 3.2 : Beton basınç modeli (CDP) (ABAQUS Manual).

Beton basınç davranışını tanımlamak için Mander modeli (Mander ve diğ, 1988) kullanılmıştır. Mander modelindeki sargı etkisi sıfır kabul edilerek sargısız beton davranışı elde edilmiştir. Sargı etkisi, perde modellerine enine donatılar yerleştirilerek sağlanmıştır. Sargısız mander modeline ait eşitlikler aşağıda sunulmuştur. Sargılı ve sargısız beton davranışını gösteren gerilme – şekil değiştirme diyagramı gösterilmiştir (Şekil 3.3). Tüm modellerde betonun silindirik basınç dayanımı (f_c) 30 MPa olarak alınmıştır.

$$\sigma_c = \frac{f_{co} x r}{r - 1 + x r} ; \quad \varepsilon_c \leq 2\varepsilon_{co} \quad (3.10)$$

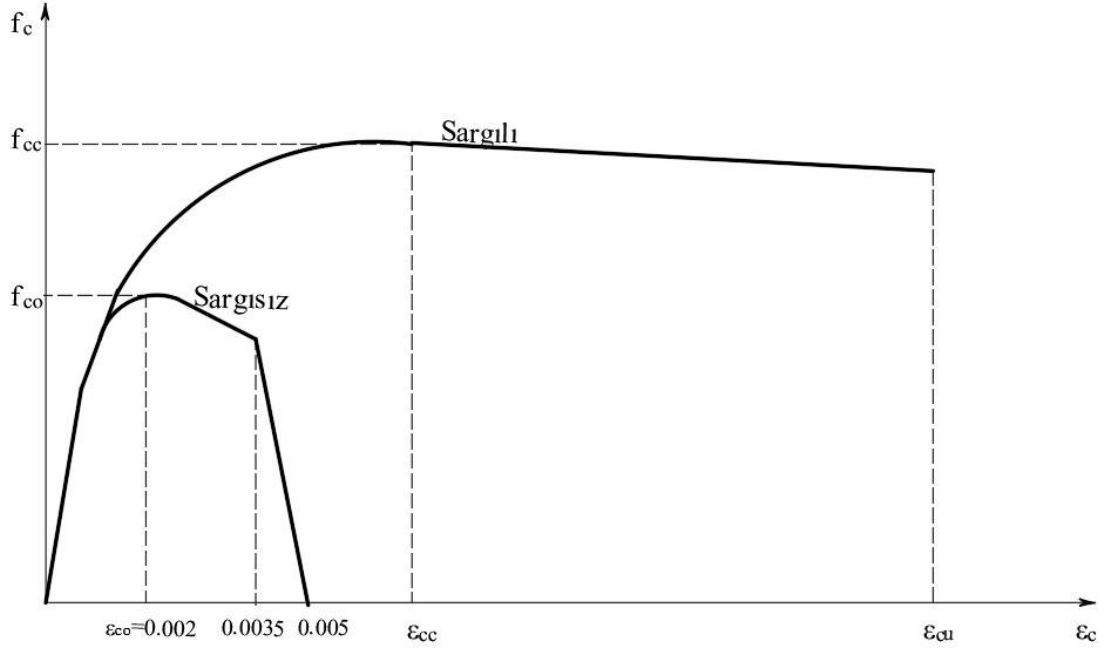
$$\sigma_c = f_{co} \left(\frac{2r}{r-1+2r} \right) \left(1 - \frac{\varepsilon_c - 2\varepsilon_{co}}{\varepsilon_{cu} - 2\varepsilon_{co}} \right) ; \quad 2\varepsilon_{co} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \quad (3.11)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \quad (3.12)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3.13)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.14)$$

$$E_c = 5000\sqrt{f_c} \text{ (MPa)} \quad (3.15)$$

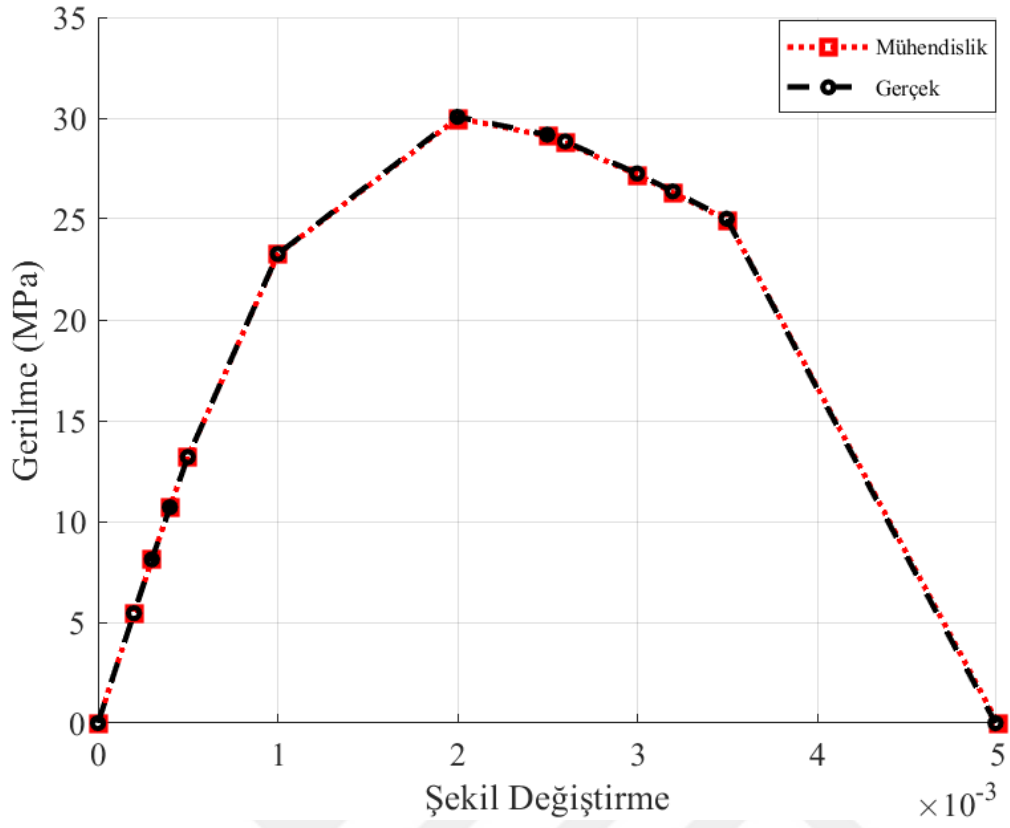


Şekil 3.3 : Sargılı ve sargısız beton gerilme – şekil değiştirme ilişkisi (TBDY – 2018).

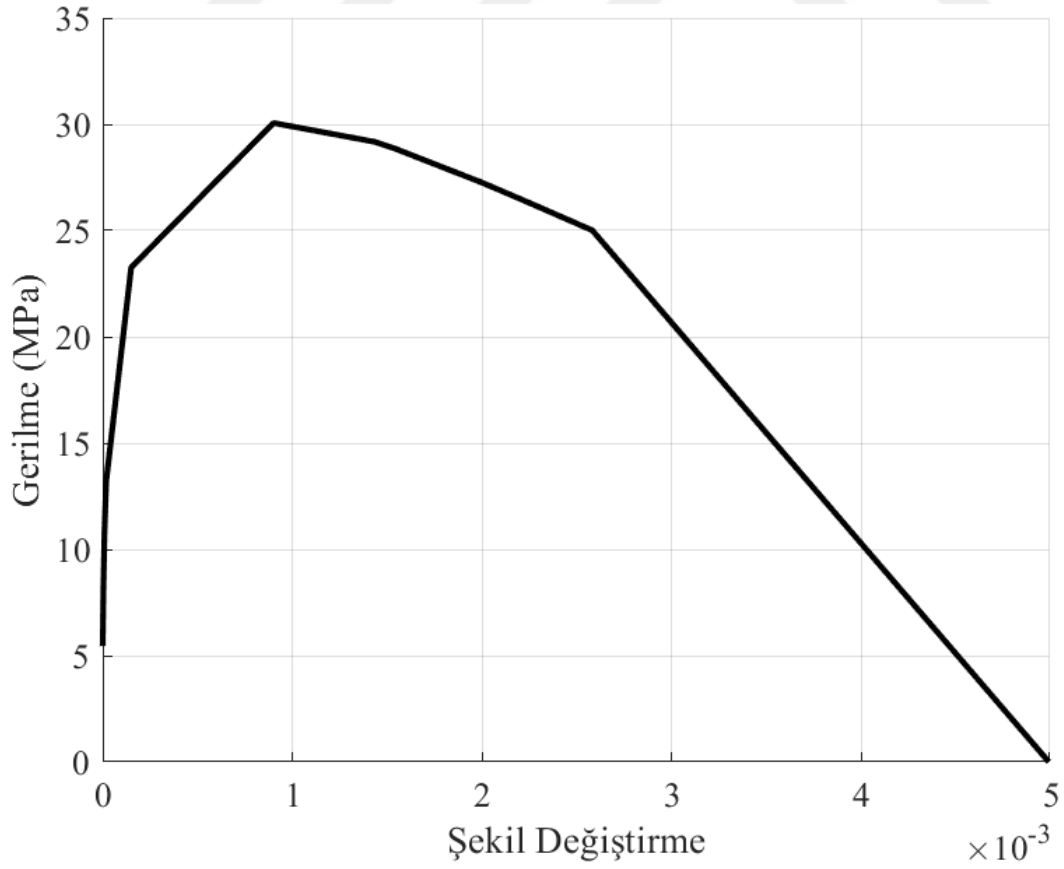
Mühendislik gerilme - şekil değiştirme ilişkisinde yükleme boyunca malzemenin kesit alanının değişmediği kabul edilir. Ancak gerçekte yükleme esnasında kesit alanında azalma meydana gelmektedir. Beton basınç davranışı için seçilen model, aşağıda verilen analitik ifadeler kullanılarak mühendislik gerilme - şekil değiştirme ilişkisinden, gerçek gerilme - şekil değiştirme ilişkisine dönüştürülmüştür. Gerçek gerilme - şekil değiştirme davranışı da yukarıda anlatıldığı üzere CDP modeline uyarlanmıştır. Elde edilen gerilme - elastik ötesi şekil değiştirme ilişkisi modele tanımlanmıştır.

$$\sigma_{gerçek} = \sigma_{mühendislik} \times (1 + \varepsilon_{mühendislik}) \quad (3.16)$$

$$\varepsilon_{gerçek} = \ln(1 + \varepsilon_{mühendislik}) \quad (3.17)$$



Şekil 3.4 : Beton basınç davranışı (Mühendislik ve Gerçek).



Şekil 3.5 : Beton basınç davranışı (CDP).

Betonun çekme modeli tanımlanırken Belarbi ve Hsu'nun (1994) betonarme paneller için önerdiği çekme modeli kullanılmıştır. Beton basınç modelinde olduğu gibi gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisinde dönüşümler yapılarak çekme davranışı için gerilme – elastik ötesi şekil değiştirme ilişkisi elde edilip programa tanımlanmıştır.

$$\varepsilon_c \leq \varepsilon_{cr} \quad \sigma_c = E_c \varepsilon_c \quad (3.18)$$

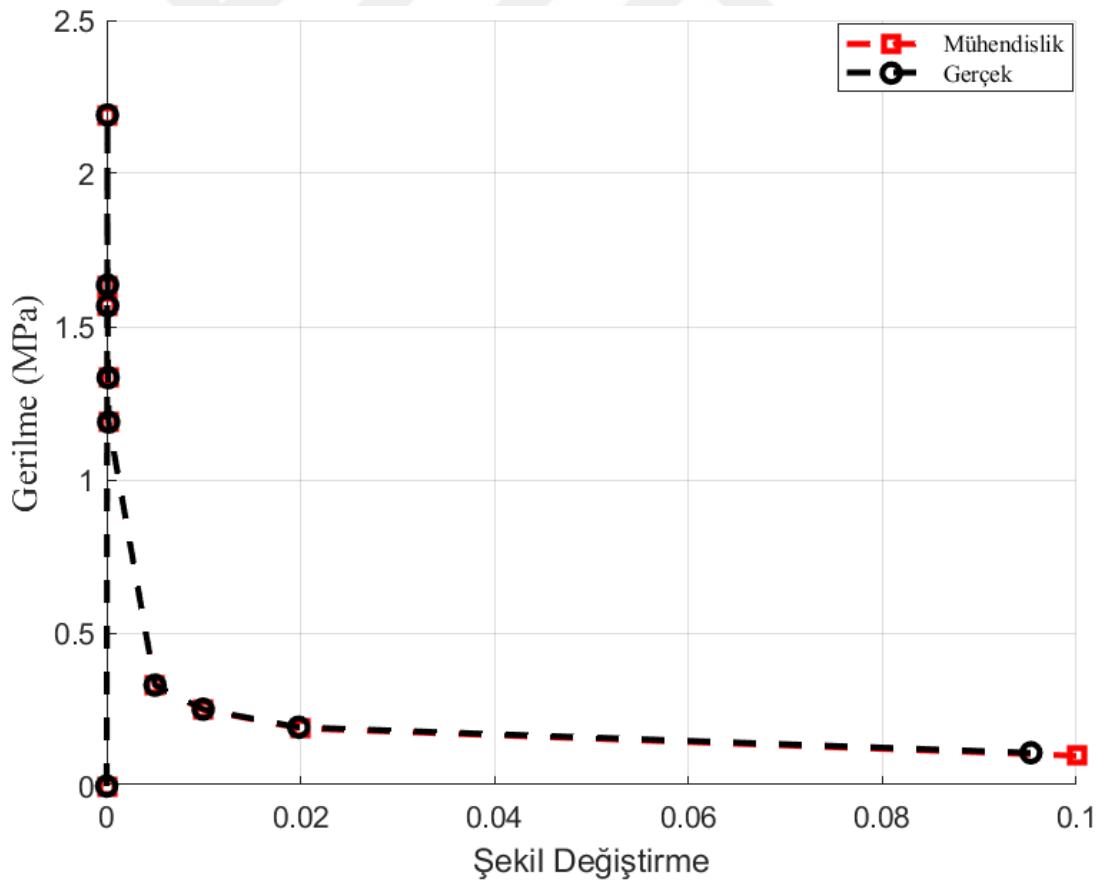
$$\varepsilon_c > \varepsilon_{cr} \quad \sigma_c = f_{cr} \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_c} \right)^{0.4} \quad (3.19)$$

$$\varepsilon_{cr} = 0.00008 \quad (3.20)$$

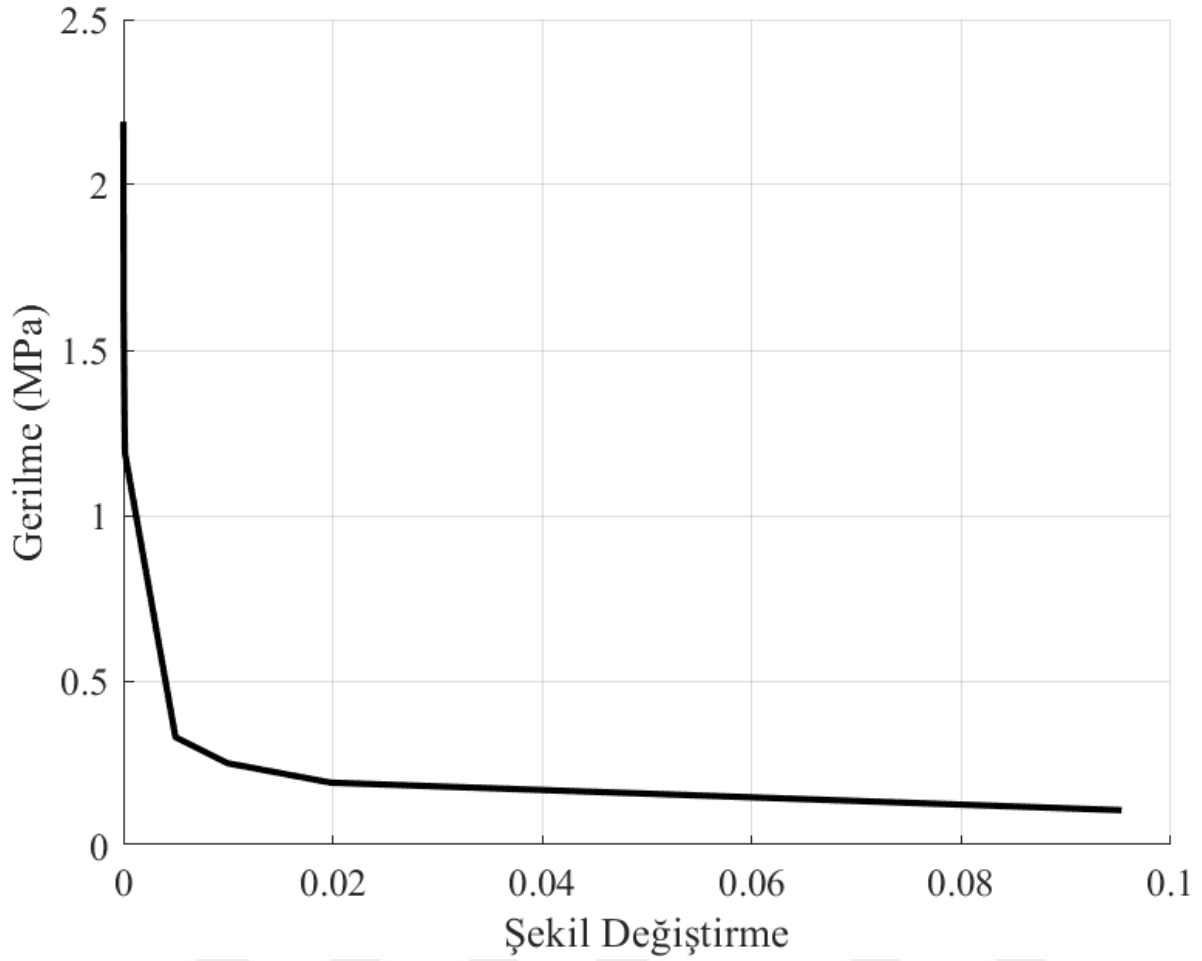
$$f_{cr} = 0.313 \sqrt{f'_c (MPa)} \quad (3.21)$$

$$E_c = 3917 \sqrt{f'_c (MPa)} \quad (3.22)$$

Betonun çekme davranışını tanımlamak için yapılan dönüşümler ve programa tanımlanan gerilme- şekil değiştirme grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.6 : Beton çekme davranışı (Mühendislik ve Gerçek).

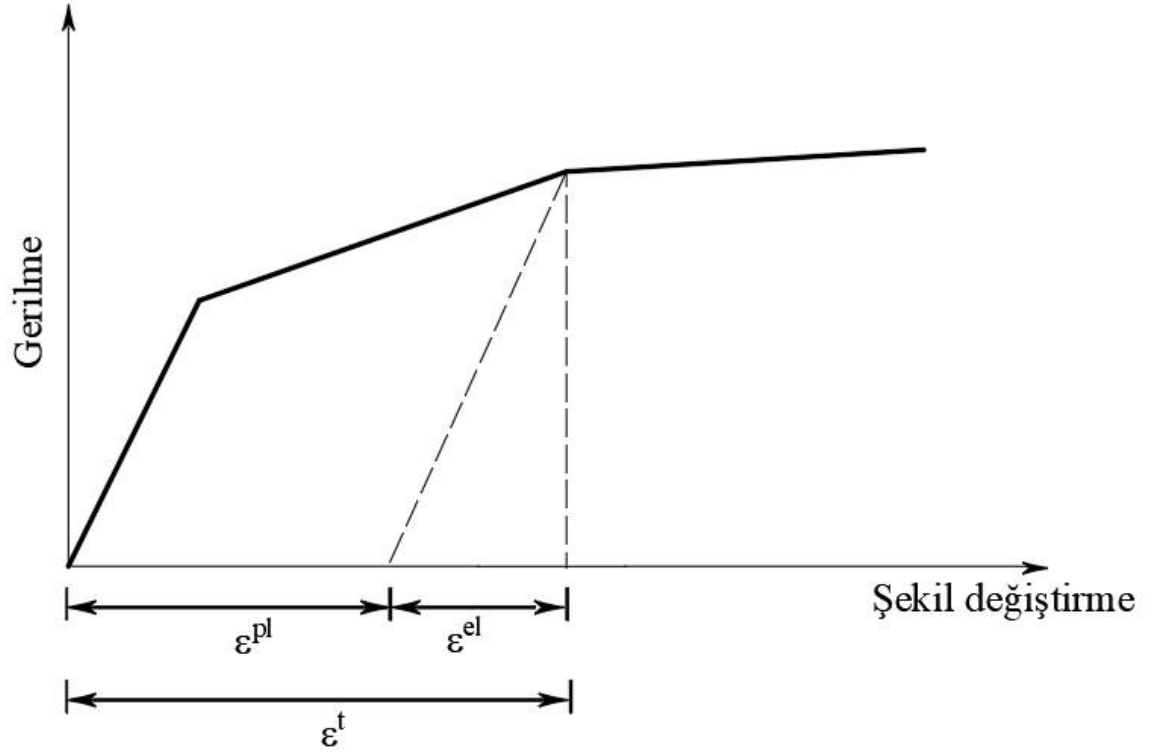


Şekil 3.7 : Beton çekme davranışı (CDP).

3.1.2.2 Donatı çeliği malzemesinin modeli

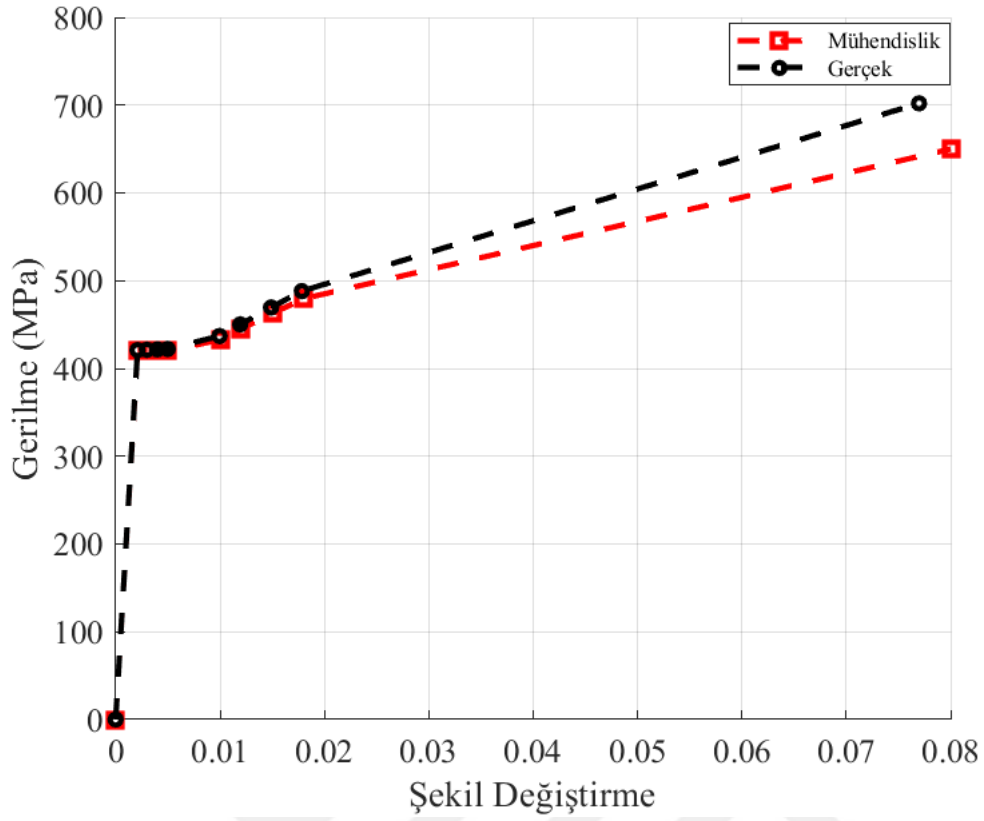
Donatı çeliği modellenirken programın varsayılan modelleri arasında yer alan plastisite yaklaşımı kullanılmıştır. Plastisite modelinde metallerin akma sonrası davranışı tanımlanmaktadır. Plastisite modelinde CDP modelinde olduğu gibi malzemenin gerçek gerilme – plastik şekil değiştirme ilişkisi tanımlanmaktadır. Değerler programa tanımlanırken gerilme için ilk değer donatının akma dayanımı ve akma dayanımına karşı gelen plastik şekil değiştirme sıfır olacak şekilde girilmiştir. Gerilme – şekil değiştirme ilişkisini tanımlayan diğer değerler girilirken toplam plastik şekil değiştirme değerinden elastik şekil değiştirme değeri çıkarılarak plastik şekil değiştirme değeri elde edilmiştir.

$$\varepsilon^{pl} = \varepsilon^t - \varepsilon^{el} = \varepsilon^t - \frac{\sigma}{E_s} \quad (3.23)$$

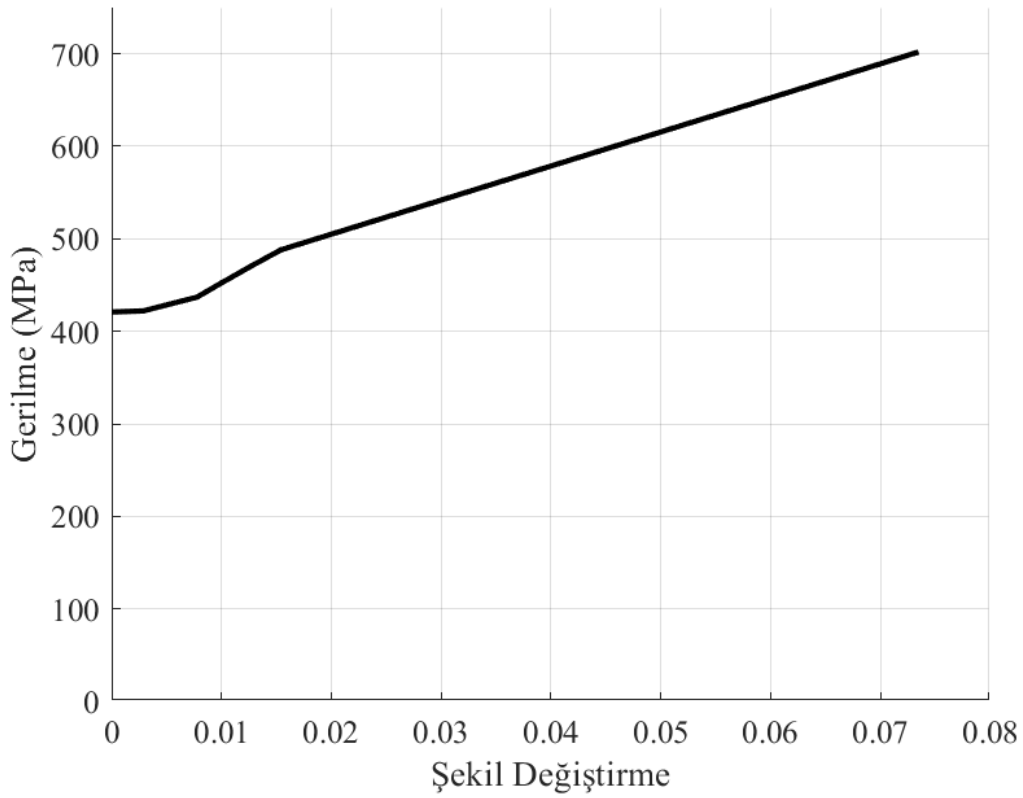


Şekil 3.8 : Plastik gerilme – şekil değiştirme ilişkisinin elde edilmesi (ABAQUS Manual).

Boyuna ve enine donatıların gerilme – şekil değiştirme ilişkisi modellenirken üç eğrilikli donatı modeli kullanılmıştır. Tek eksenli gerilme –şekil değiştirme ilişkisi başlangıçta doğrusal-elastik, sonrasında akma platosu ve doğrusal pekleşme kısımlarını içermektedir. Boyuna ve enine donatılar için elastisite modülü (E_s) ve Poisson oranı sırasıyla 200000 MPa ve 0.3 olarak göz önüne alınmıştır. Akma dayanımı tüm donatılar için 420 MPa olacak şekilde tanımlanmıştır. Pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirme değeri 0.008, kopma uzaması 0.08 olmak üzere gerilme – şekil değiştirme ilişkisi oluşturulmuştur. Beton modellenirken yapılan dönüşümler aynı şekilde donatı çeliği için de yapılmıştır.



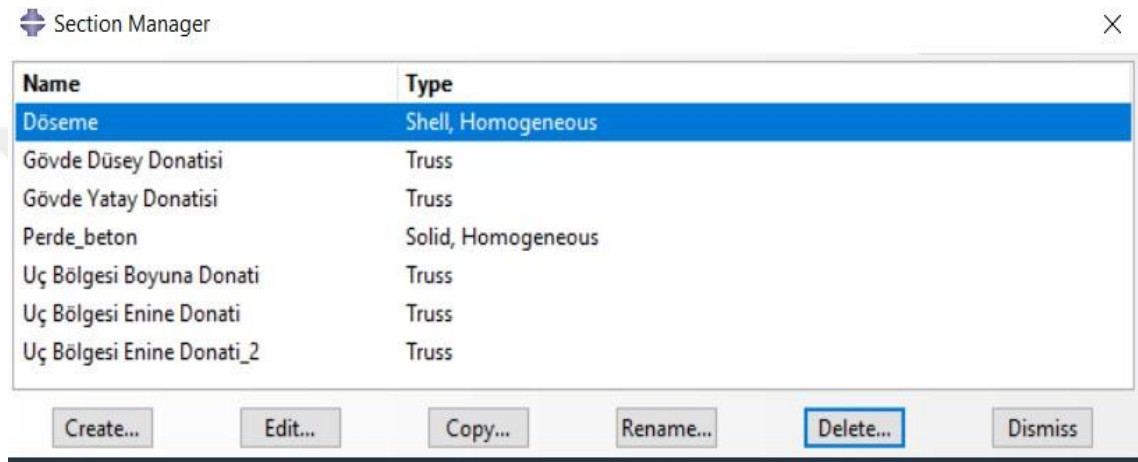
Şekil 3.9 : Donatı çeliği davranışı (Mühendislik ve Gerçek).



Şekil 3.10 : Donatı çeliği davranışı (Plastisite).

3.1.3 Kesit özelliklerinin tanımlanması

Daha önce geometrileri oluşturulan beton ve donatılara ilgili kesit özellikleri ve malzemeler atanmıştır. Perde gövdesini oluşturan eleman “ homojen katı” olarak tanımlanmış ve malzeme özellikleri yukarıda anlatılan beton malzeme olarak atanmıştır. Döşemeler için homojen “kabuk eleman” tanımlanmıştır, ilgili döşeme kalınlığı kabuk elemana atanmıştır. Enine ve boyuna donatılar için “beam-truss” eleman seçilmiştir ve her donatıya ait alanlar tanımlanmıştır. Donatılar için malzeme olarak önceki bölümde anlatılan donatı çeliği ilgili kesitlere atanmıştır.

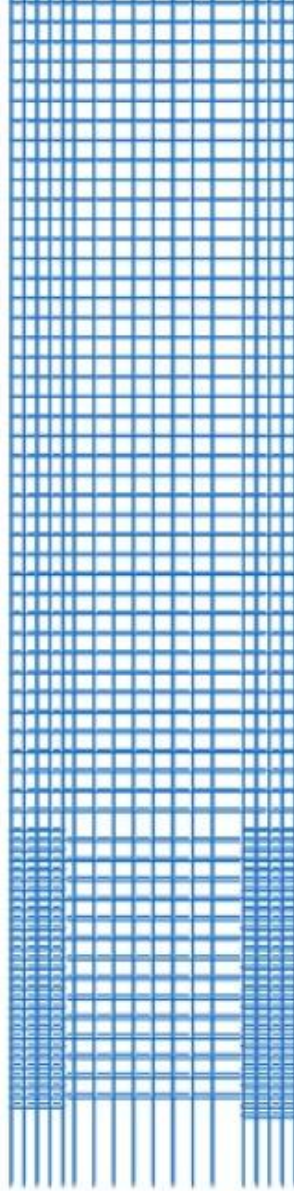


Şekil 3.11 : Modelleme için tanımlanan eleman kesitleri.

3.1.4 Betonarme perdenin oluşturulması

3.1.4.1 Donatıların konumlandırılması

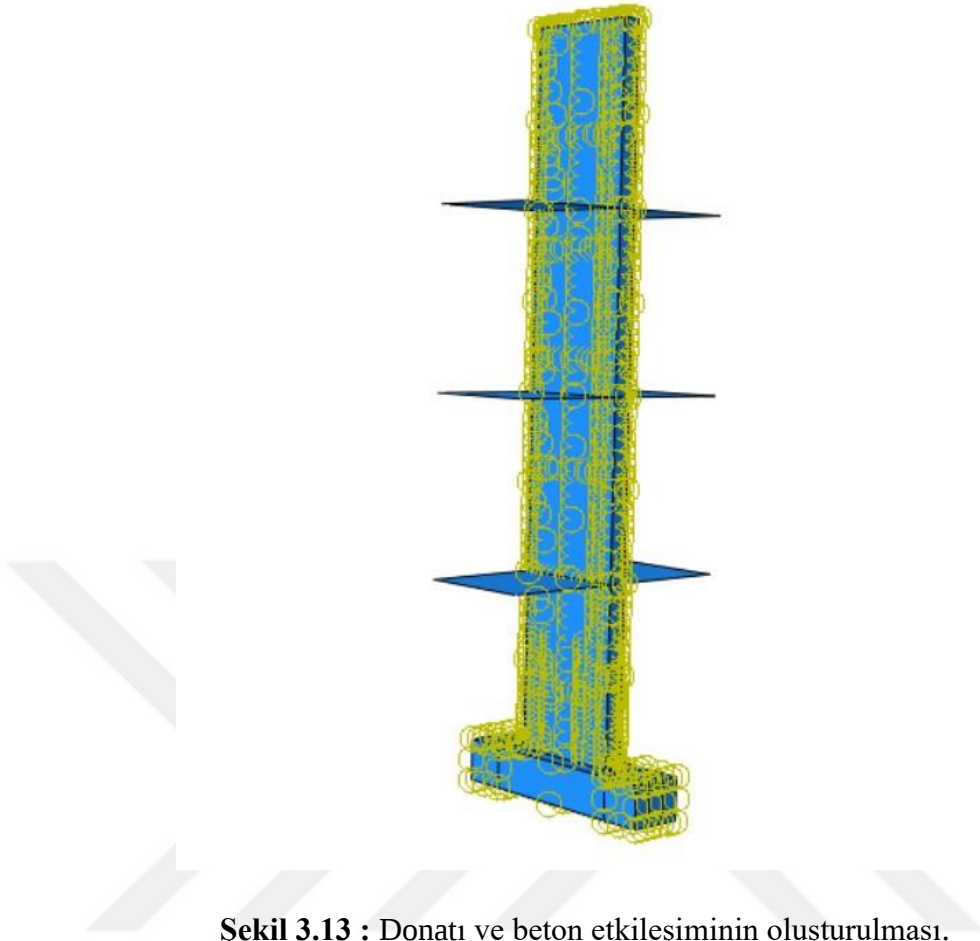
Analizi yapılan betonarme perdeler Bölüm 3.2’de anlatılan tasarım koşulları gözetilerek donatılandırılmıştır. Daha önceki aşamalarda malzeme ve kesit özellikleri tanımlanan enine ve boyuna donatılar TBDY-2018’de verilen kritik perde yüksekliği, perde uç bölgesi ve perde gövde bölgesindeki konstrüktif kuralları sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Beton örtüsü 50 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 3.12 : Donatıların yerleşimi.

3.1.4.2 Beton ve donatı arasındaki etkileşimin oluşturulması

Betonarme davranışın ortaya çıkması için beton ve donatı arasında aderans sağlanmalıdır. Oluşturulan perde modellerinde beton ve donatı arasında tam aderans olduğu kabul edilmiştir. Beton ve donatı arasında tam aderans olduğu kabulünü sağlamak amacıyla programın sağladığı elemanların ana elamana gömülmesi (embedded region) özelliğinden faydalanılmıştır. Bir başka ifadeyle daha önce üç boyutlu katı eleman olarak tanımlanan betonun içine üç boyutlu çubuk eleman olarak tanımlanan donatılar gömülmüştür.



Şekil 3.13 : Donatı ve beton etkileşiminin oluşturulması.

3.1.5 Analiz adımlarının ve çıktıların tanımlanması

Çalışmada yapılan analizlerin iki aşamada gerçekleşmesi planlanmıştır. Bu sebeple programa Adım-1 ve Adım-2 olmak üzere iki aşama tanımlanmıştır. Adımlar tanımlanırken statik gerilme analizi tercih edilmiştir. Statik gerilme analizi, eylemsizlik etkilerinin ihmal edildiği doğrusal ya da doğrusal olmayan tüm çözümlemelerde kullanılabilir (ABAQUS Kullanıcı Rehberi). Her iki adımda da doğrusal olmayan geometri hesaba katılmıştır. Her iki adım için de otomatik stabilizasyon kullanılmış ve enerji sönümleme katsayısı programda varsayılan değer 0.002 olarak alınmıştır. Zaman periyodu her iki adım için 1 olarak alınmıştır. Çözüm esnasında zaman artış aralığı başlangıç değeri 0.01 olacak şekilde tanımlanmıştır. En küçük zaman artış aralığı 1^{-50} ve en büyük zaman artış aralığı 1 olacak şekilde değerler girilmiştir. Bir çözüm adımı süresince en fazla 100000 zaman artış aralığı olacak şekilde üst sınır koyulmuştur. Ayrıca modellemenin bu aşamasında gerilme, şekil değiştirme, mesnet tepkisi ve yer değiştirme gibi analiz sonucunda elde edilmek istenen çıktılar ilgili menüden ayarlanmıştır.

Edit Step [X]

Name: Adim-1

Type: Static, General

Basic Incrementation Other

Description: []

Time period: 1 []

NIgeom: On []

Automatic stabilization: Specify dissipated energy fraction [] : 0.0002

☒ Use adaptive stabilization with max. ratio of stabilization to strain energy: 0.05 []

☐ Include adiabatic heating effects

Şekil 3.14 : Adım süresinin ve stabilizasyon katsayısının tanımlanması.

Edit Step [X]

Name: Adim-1

Type: Static, General

Basic Incrementation Other

Type: ☒ Automatic ☐ Fixed

Maximum number of increments: 100000 []

	Initial	Minimum	Maximum
Increment size:	0.01 []	1E-50 []	1 []

Şekil 3.15 : Zaman artış aralığının ve maksimum artış adımı sayısının tanımlanması.

Edit Field Output Request [X]

Name: F-Output-2

Step: Adim-2

Procedure: Static, General

Domain: Whole model [] ☐ Exterior only []

Frequency: Every n increments [] n: 1 []

Timing: Output at exact times []

Output Variables

☒ Select from list below ☐ Preselected defaults ☐ All ☐ Edit variables

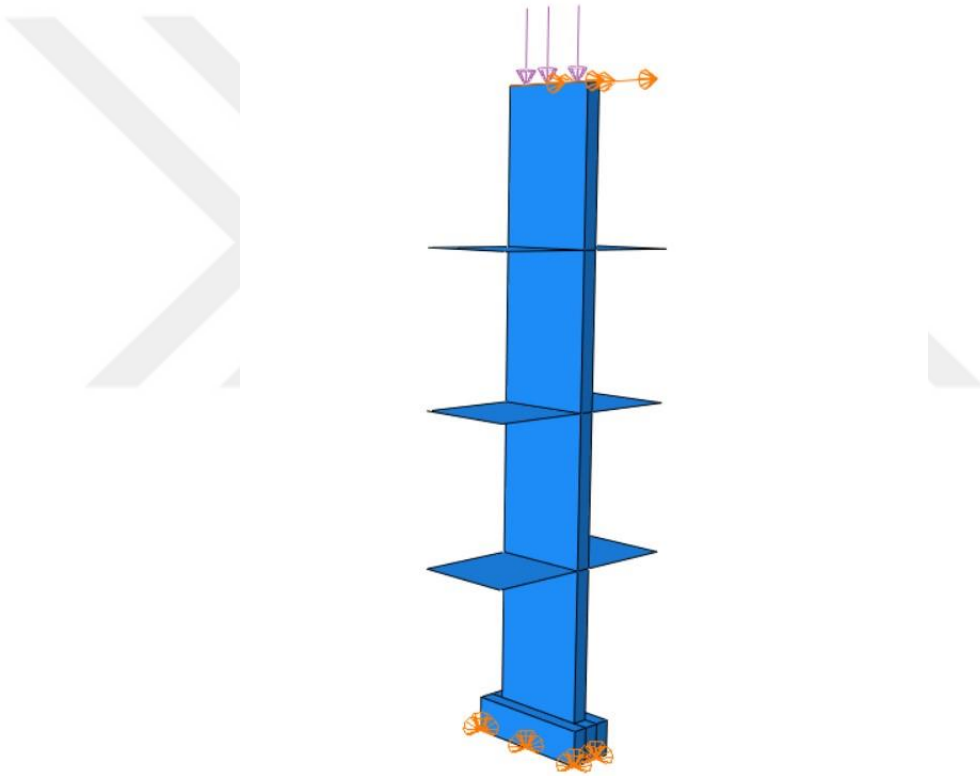
E,EE,IE,LE,MISES,PE,PEEQ,RF,S,U,

- ☒ Stresses
- ☒ Strains
- ☒ Displacement/Velocity/Acceleration
- ☒ Forces/Reactions
- ☐ Contact
- ☐ Energy
- ☐ Failure/Fracture
- ☐ Thermal

Şekil 3.16 : Analiz çıktılarının tanımlanması.

3.1.6 Yükleme ve mesnetlenme koşullarının oluşturulması

Betonarme perde modelinin oluşturulması ve analiz adımlarının tanımlanmasından sonra yükleme ve mesnetlenme koşulları oluşturulmuştur. Perde modeli, temel plağının alt yüzünde oluşturulan sınır koşullarıyla yer değiştirmelere (U1, U2, U3) ve dönmelere (UR1, UR2, UR3) karşı tutulu duruma getirilmiştir. Yükleme iki aşamalı ve monotonik olarak gerçekleştirilmiştir. Daha önce tanımlanan birinci analiz adımından başlamak üzere modele üst yüzünden düzgün yayılı eksenel kuvvet etkiltilmiştir. İkinci analiz adımdan başlayacak şekilde, birinci yükleme durumunda olduğu gibi perde üst yüzünden yatay yer değiştirme etkiltilmiştir. İlk adımda etkitilen eksenel yükün etkisi analiz boyunca sürdürülmüştür.

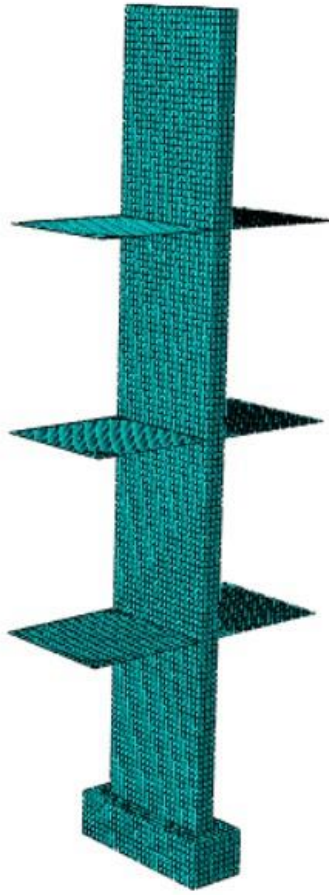


Şekil 3.17 : Perde üst yüzünden düşey ve yatay yükün etkitilmesi.

3.1.7 Sonlu eleman ağının oluşturulması

Sonlu eleman ağlarının oluşturulması adından anlaşılacağı üzere modelin daha küçük parçalara ayrılması işlemidir. Sonlu eleman ağı oluşturulurken çok büyük elemanların kullanılması sonuçları doğruluktan uzaklaştıracağı gibi çok küçük elemanların kullanılması da analiz süresini bir hayli uzatacaktır. Uygun sonlu eleman boyutunu belirlemek sonlu eleman analizinin kritik hususlarından biridir.

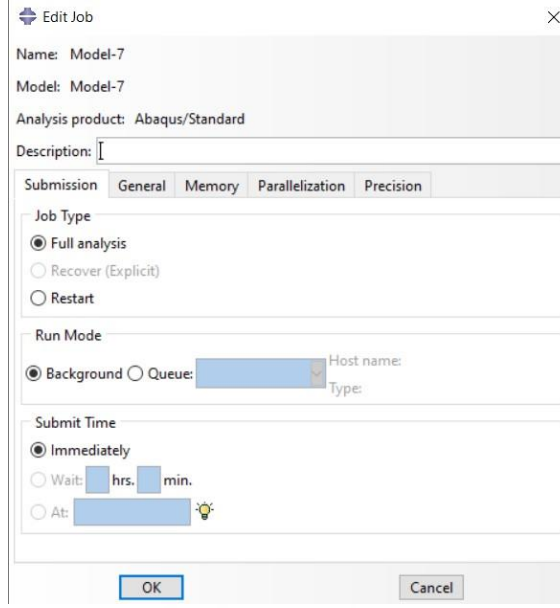
Bu çalışmada sonlu eleman ağı oluşturulurken bağımsız her eleman kendi içinde sonlu eleman ağlarına ayrılmıştır. Beton perde gövdesi ve temel plağı için 0.1 m boyutlarında 8 noktalı 3 boyutlu (C3D8R) eleman kullanmıştır. Kabuk eleman olarak geometrisi oluşturulan döşemeler 0.1 m boyutlarında 4 noktalı sonlu eleman (S4R) ile modellenmiştir. Enine ve boyuna donatılar için 0.025 metre uzunluğunda 2 noktalı 3 boyutlu doğrusal eleman (T3D2) kullanılarak sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Donatılar için daha küçük sonlu eleman boyutu seçilerek yakınsama problemlerini azaltmak amaçlanmıştır.



Şekil 3.18 : Sonlu eleman ağı.

3.1.8 Analizin tanımlanması ve başlatılması

Perde modeli tanımlanıp sonlu eleman modeli oluşturulduktan sonra analizin başlatılması gerekmektedir. Bu aşamada, analizde hangi model kullanılacağı, bilgisayar işlemcisinin ne kadar kullanılacağı gibi detaylar tanımlanmıştır. Ayrıca analiz başlatıldıktan sonra analiz adımları da aynı menüden gözlenebilmektedir.



Şekil 3.19 : Analizin tanımlanması.

3.2 Süneklik Düzeyi Yüksek Perdeler için Tasarım Koşulları

Bu tez çalışmasındaki perdeler tasarlanırken TBDY-2018’de yer alan “süneklik düzeyi yüksek perdeler” için tasarım koşulları göz önüne alınmıştır. Bu başlık altında TBDY-2018’de yer alan koşullar genel hatlarıyla anlatılmıştır.

TBDY-2018’e göre bir elemanın perde olarak nitelendirilebilmesi için planda perde uzun kenarının kalınlığına oranı en az 6 olmalıdır. Gövde bölgesindeki perde kalınlığı en az 250 mm olmalıdır. Bu çalışmada modellenen tüm perdeler için perde kalınlığı 300 mm olacak şekilde seçilmiştir.

TBDY-2018 7.6.2.1’e göre “ $H_w/L_w > 2$ olan perdelerin her iki ucunda uç bölgesi oluşturulacaktır”. Modellenen tüm perdeler için H_w/L_w oranı 2’den büyük olduğundan tüm modellerde uç bölgeleri oluşturulmuştur ve ona göre detaylandırılmıştır.

TBDY-2018 7.6.2.2’de yer alan ifadeye göre “temel üstünden ve perdenin plandaki uzunluğunun %20’den fazla küçüldüğü seviyeden itibaren kritik perde yüksekliği $2l_w$ değerinin aşmamak üzere, denklem (7.15)’de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak biçimde belirlenecektir.”

$$2l_w \geq H_{cr} \geq \max[l_w; H_w/6] \quad (3.24)$$

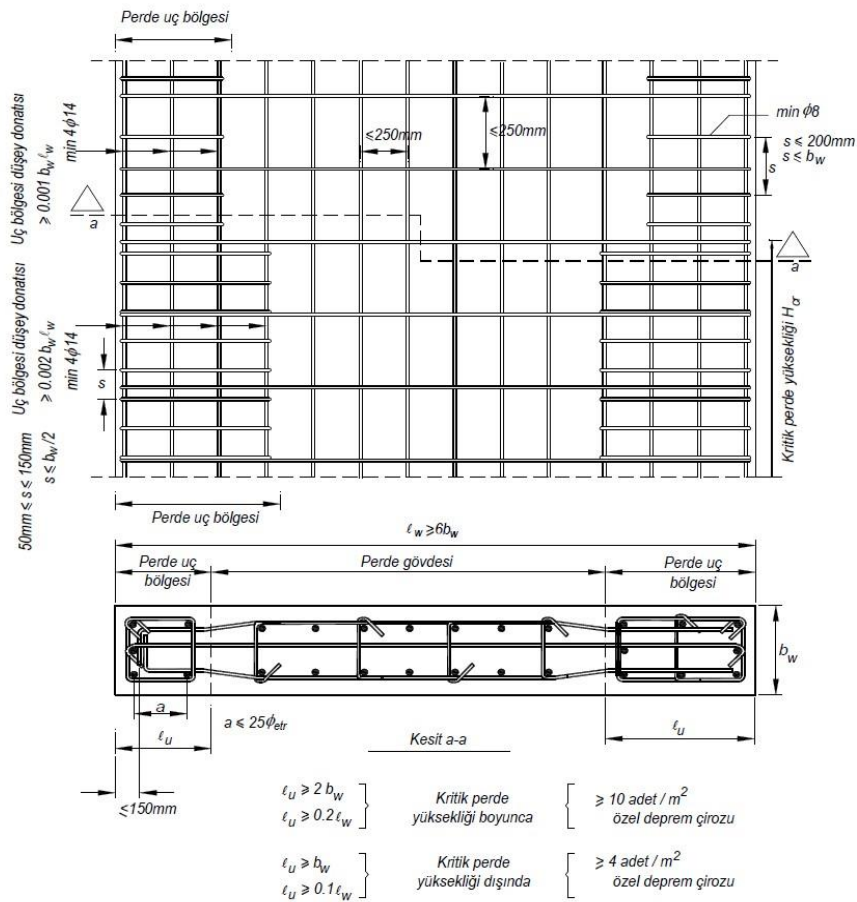
$H_w/L_w > 2$ olan perdelerde, perdenin iki yüzündeki gövde donatılarının toplam alanının perde uç bölgeleri arasında kalan alana oranı, hem enine donatılar hem boyuna

donatılar için 0.0025’den az olmayacaktır. Enine ve boyuna gövde donatılarının her ikisi için de donatılar arası mesafe 250 mm’den fazla olmayacaktır.

TBDY-2018 7.6.2.2’de tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca uç bölgelerinin her birinde toplam düşey donatı alanının perde brüt kesitine olan oranı en az 0.002 olmalıdır.

TBDY-2018’de yer alan ifadeye göre perde uç bölgeleri de kolonlar gibi etriye ve çirozlardan oluşan enine donatılarla sarılacaktır. Bu bölgede kullanılacak enine donatıların çapı 8 mm’den küçük olmayacaktır. Etriye kolları arasında kalan yatay mesafe kullanılan etriye çapının 25 katından fazla olmamalıdır. Kritik perde yüksekliği boyunca düşey doğrultuda enine donatılar arası mesafe en fazla 150 mm, en az 50 mm olacak şekilde seçilmelidir. Kritik perde yüksekliği dışında kalan perde uç bölgesinde, enine donatı aralığı perde kalınlığından ve 200 mm büyük alınmayacaktır.

Süneklik düzeyi yüksek perdeler için TBDY-2018’de yer alan koşulların gösterimi şekil-3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20 : TBDY-2018’e göre perdelerin tasarımında uyulacak esaslar.

3.3 Parametrik Çalışma

Betonarme perdelerde plastik mafsallı boyunu etkileyen değişkenleri belirlemek üzere bu çalışmada 6 farklı değişken ele alınmıştır. Bunlar perde uzunluğu, perde yüksekliğinin/perde uzunluğuna oranı, eksenel kuvvet oranı, uç bölgesi boyuna donatı oranı, uç bölgesi enine donatı oranı ve gövde yatay donatısı oranıdır.

3.3.1 Perde yüksekliğinin/perde uzunluğuna (H_w/L_w) oranı

Bu çalışmada 12 m, 18 m ve 24 m olmak üzere 3 farklı yükseklik değişkeni ve 2 m, 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m olmak üzere 5 farklı perde uzunluğu değişkeni kullanılmıştır. Yükseklik ve uzunluk değişkenlerinin kombinasyonlarıyla perde yüksekliğinin/perde boyuna oranı değişken olarak hesaba katılmıştır. Perde yüksekliğinin / perde yüksekliğine oranının değişken olmadığı durumlarda bu oran 6 olacak şekilde sabit tutulmuştur.

3.3.2 Perde uzunluğu (L_w)

Bir önceki başlıkta bahsedildiği üzere çalışma kapsamında 2 m, 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m olmak üzere 5 farklı perde uzunluğu değişken olarak hesaba katılmıştır. Perde uzunluğunun değişken olmadığı modellerde perde yüksekliği/perde uzunluğu oranı sabit kalacak şekilde perde uzunluğu belirlenmiştir. 12 metre yüksekliğindeki perdelerde 2 metre, 18 metre uzunluğundaki perdelerde 3 metre ve 24 metre uzunluğundaki perdelerde 4 metre olacak şekilde belirlenmiştir.

3.3.3 Eksenel kuvvet oranı ($\frac{P}{A_g f_c}$)

Eksenel kuvvet oranı, kesite etkiyen eksenel yükün, kesit alanı ile beton basınç dayanımının çarpımına olan oranı ($\frac{P}{A_g f_c}$) olarak tanımlanmıştır. 5 farklı eksenel kuvvet oranı değişken olarak kullanılmıştır. Bu değerler 0, 0.05, 0.1, 0.15 ve 0.2 olacak şekilde seçilmiştir. Eksenel kuvvetin tüm durumlarda basınç kuvveti olarak etki ettiği varsayılmıştır. Eksenel kuvvet oranının değişken olmadığı analizlerde bu oran 0.1 olarak hesaba katılmıştır.

3.3.4 Uç bölgesi boyuna donatı oranı (ρ_{bl})

Uç bölgesi boyuna donatı oranı, uç bölgesinde yer alan toplam boyuna donatı alanının (A_{sl}) uç bölgesi alanına oranı (A_{wb}) olacak şekilde tanımlanmıştır. 0.002, 0.005, 0.01,

0.15 ve 0.02 olmak üzere 5 farklı uç bölgesi boyuna donatı oranı değişken olarak kullanılmıştır. Uç bölgesi boyuna donatısının değişken olmadığı modellerde bu oran 0.01 olarak alınmıştır.

3.3.5 Uç bölgesi enine donatı oranı (ρ_{bt})

Uç bölgesi boyuna enine oranı, kesitteki enine donatı alanının (A_{bt}) (enine donatı kol sayısı (n) x bir enine donatının alanı (A_{00})) perde genişliği (b_w) ve etriye aralığı (s_t) çarpımına oranı olarak tanımlanmıştır.

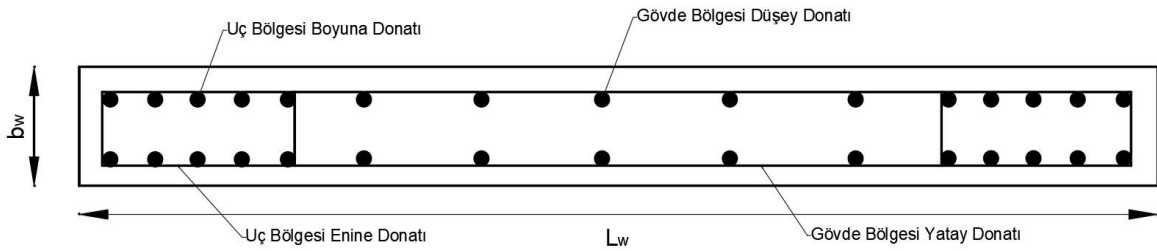
$$\rho_{bt} = \frac{nA_0}{sb_w} \quad (3.25)$$

Uç bölgesi boyuna enine donatı oranı etkisi 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01 ve 0.02 olmak üzere 5 farklı değer kullanılarak irdelenmiştir. Diğer değişkenlerin etkisinin incelendiği modellerde uç bölgesi enine donatı oranı 0.005 olarak hesaba katılmıştır.

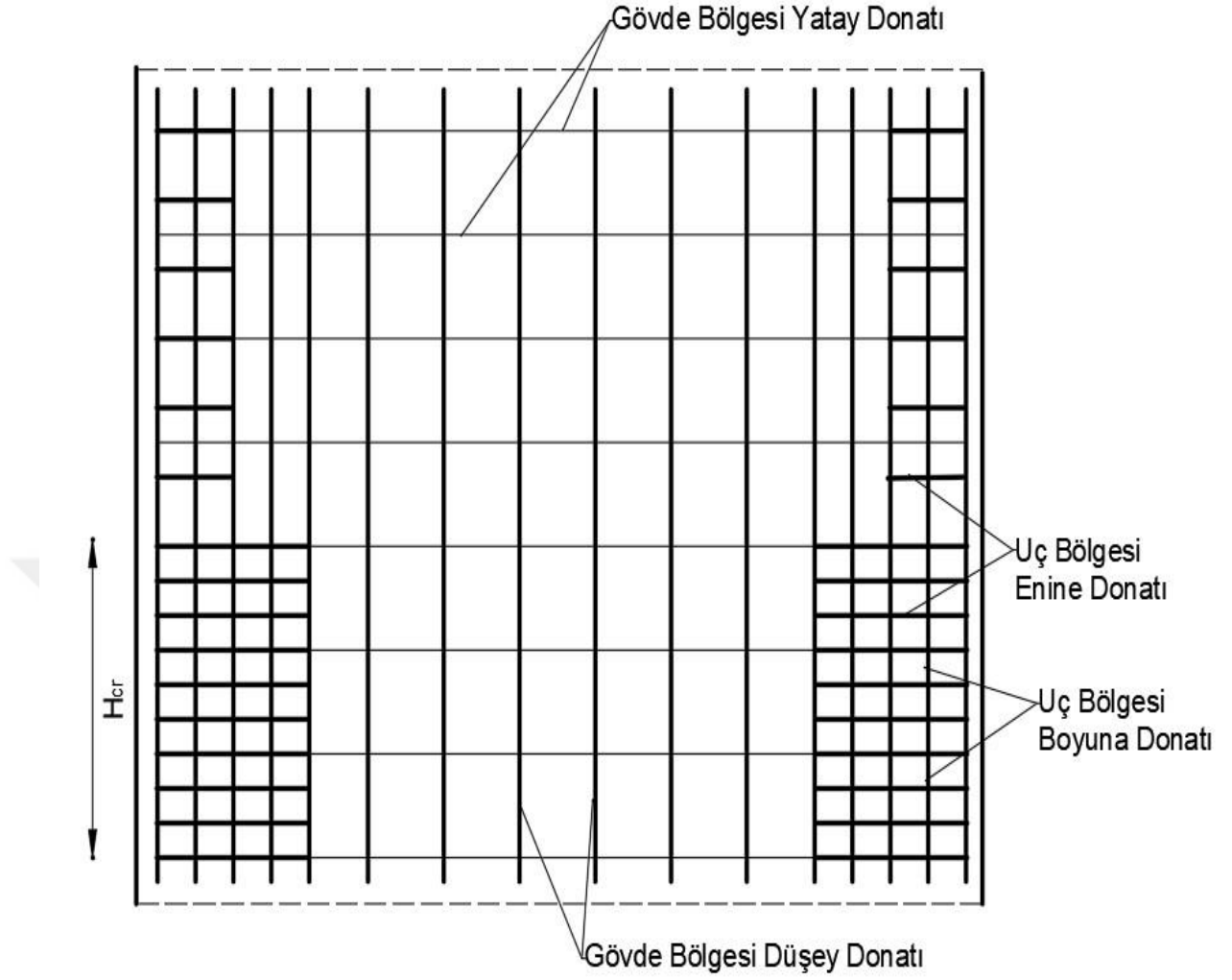
3.3.6 Gövde bölgesi yatay donatı oranı (ρ_{wh})

Gövde bölgesi yatay donatı oranı, gövdenin her iki yüzündeki toplam yatay donatının (A_{wh}) uç bölgeleri arasında kalan perde alanına bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu çalışmada, 0.003, 0.004, 0.005, 0.006 ve 0.008 olacak şekilde 5 farklı gövde bölgesi yatay donatı oranı kullanılmıştır. Gövde yatay donatısının sabit olduğu modellerde yatay donatı oranı 0.005 olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Perde enkesiti ve boykesiti Şekil 3.21 ve 3.22’de gösterilmiştir. Yukarıda ifade edilen değişkenler ve değerler çizelge A.1’de verilmiştir.



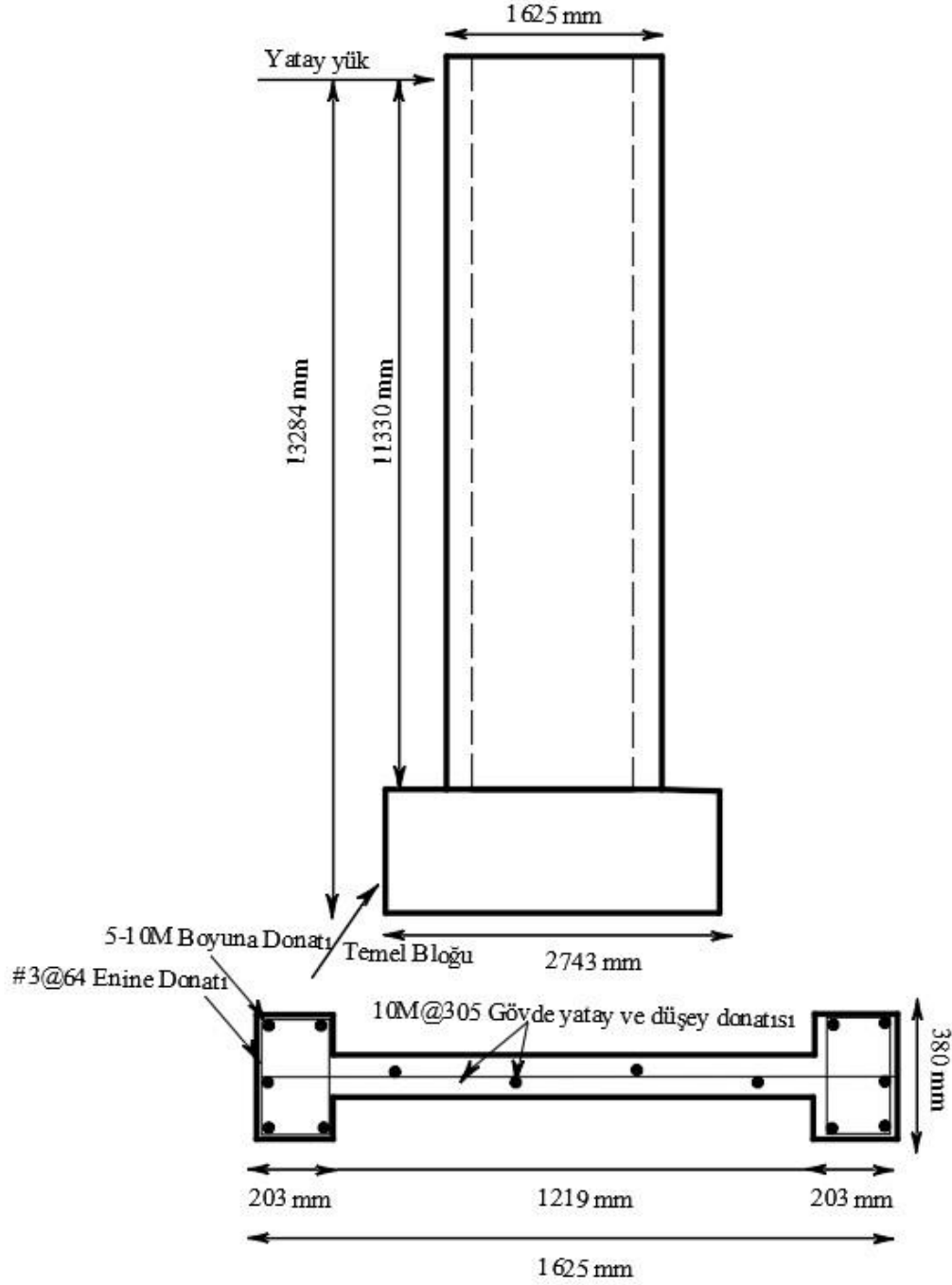
Şekil 3.21 : Perde enkesiti.



Şekil 3.22 : Perde boykesiti.

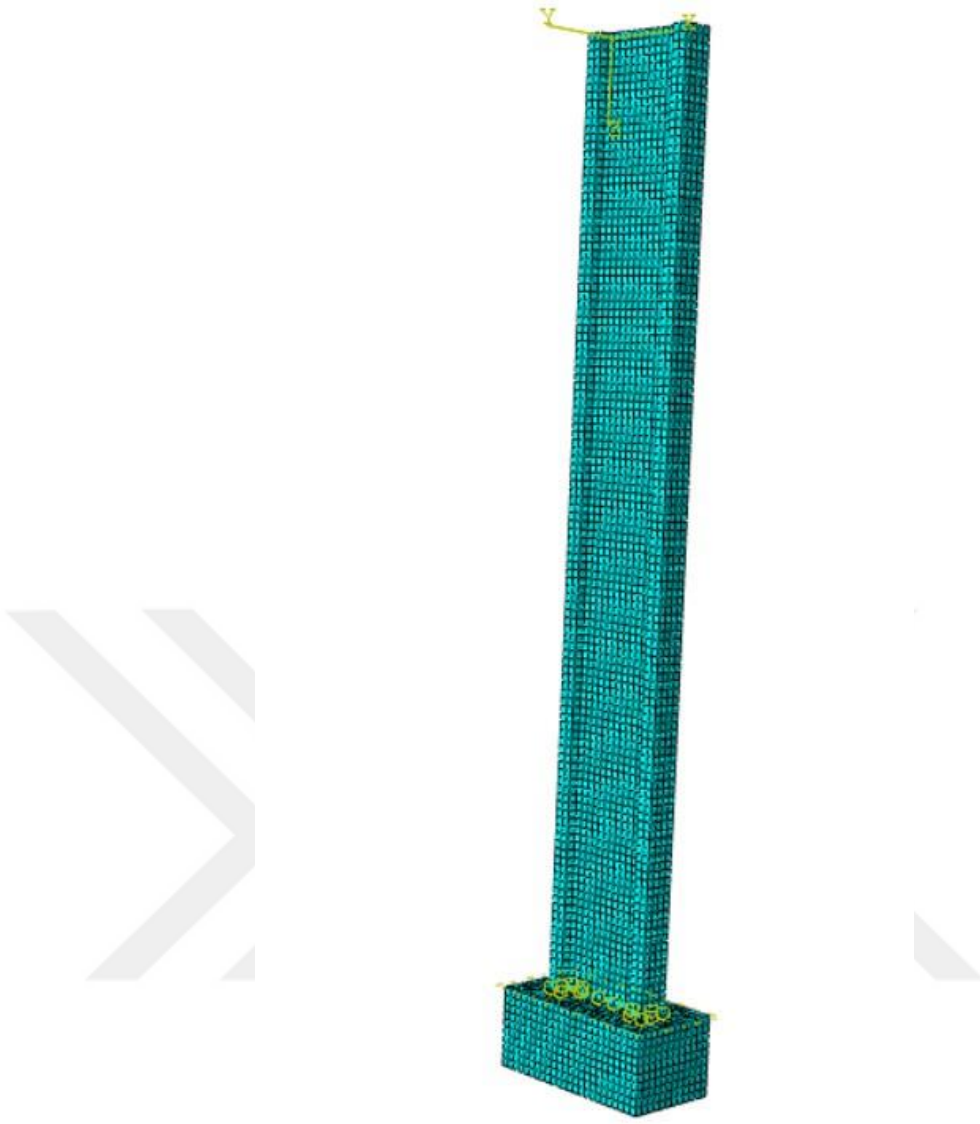
3.4 Modellemenin Deneyle Doğrulanması

Yapılan modellemenin doğruluğunu saptamak amacıyla, genel özellikleri bu çalışma kapsamında analizi yapılan modellerle benzerlik gösteren Adebar ve diğ. (2007) tarafından yapılan perde deneyiyle karşılaştırma yapılmıştır. Deneyde kullanılan perde için perde yüksekliğinin / perde uzunluğuna oranı 7.2, eksenel kuvvet oranı 0.1 olarak belirtilmiştir. Uç bölgesi boyuna donatı oranı 0.0045 olan perde nispeten düşük boyuna oranına sahiptir. Bu tez kapsamındaki modellerden farklı olarak deneyde kullanılan perdede dikdörtgen geometri yerine başlıklı geometri kullanılmıştır. Perde enkesiti ve boykesiti aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.23 : Deneyde kullanılan perdenin enkesiti ve boykesiti (Adebar ve diğ, 2007).

Bölüm 3.1’de anlatılan modelleme adımları test edilen perde için de birebir uygulanmıştır. Deneyde yatay yük çevrimsel olarak uygulanmasına rağmen sonlu eleman analizinde monotonik olarak etkitilmiştir. Oluşturulan perde modeli şekil- 3.24 gösterilmiştir.

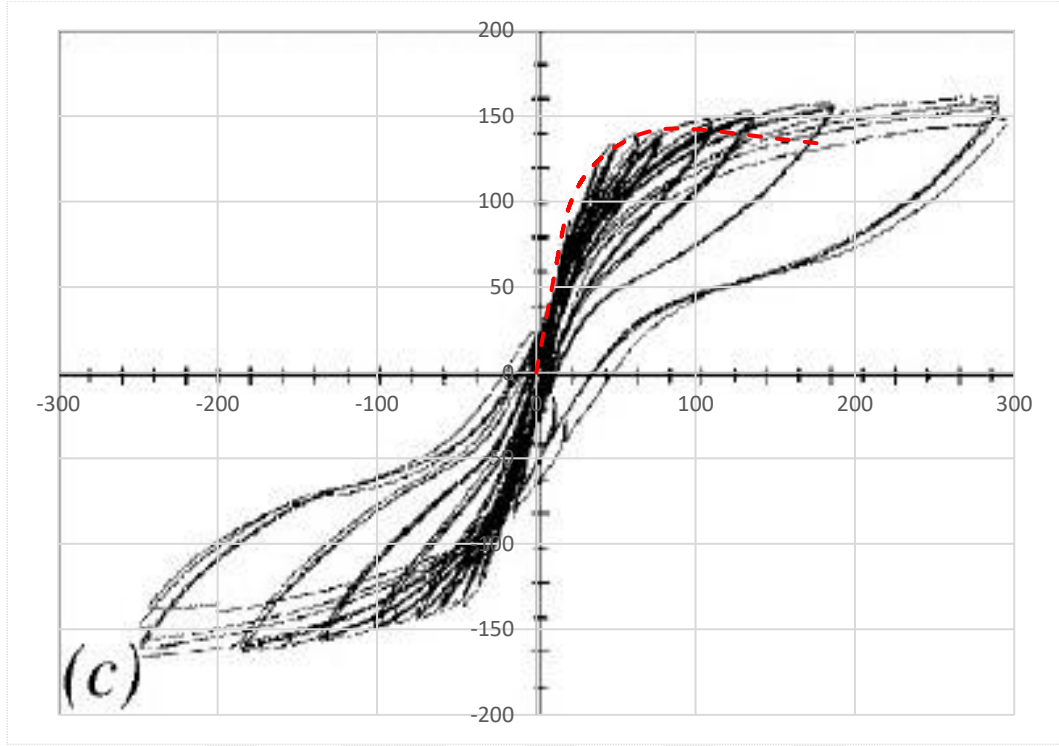


Şekil 3.24 : Deneyi yapılan perdenin sonlu eleman modeli.

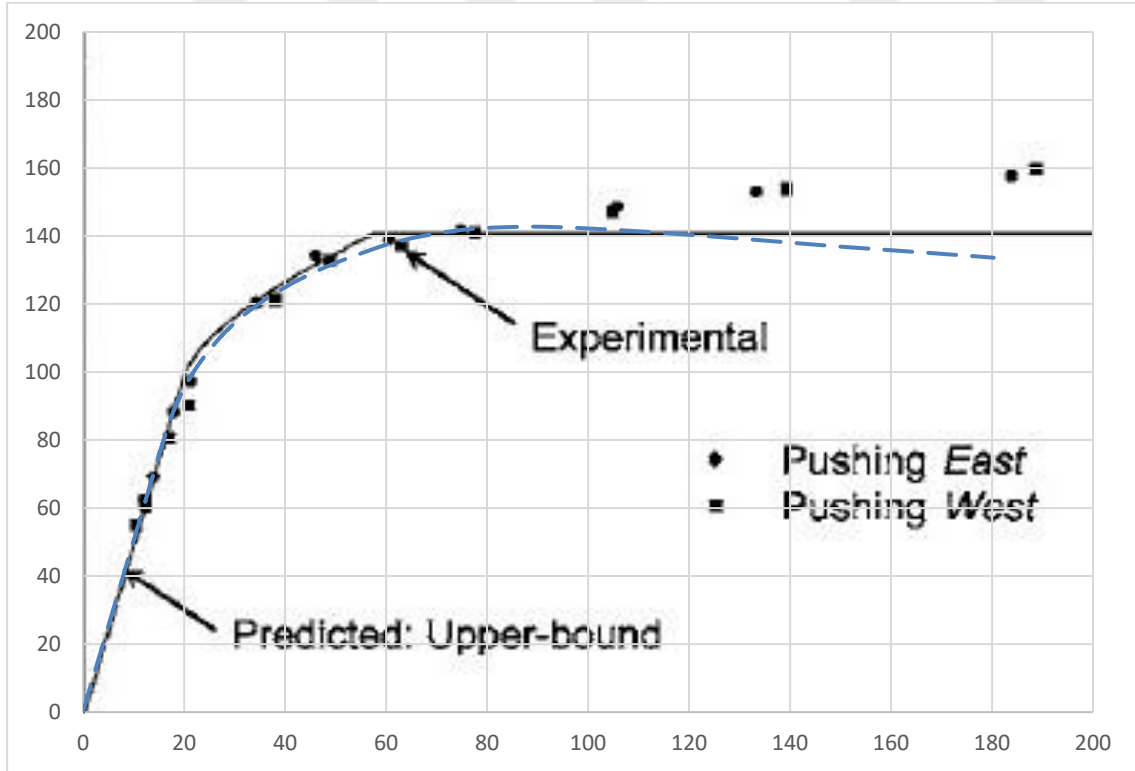
Sonlu eleman analizi sonucunda bulunan yük – deplasman eğrisi deney sonucunda bulunan yük – deplasman eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca Adebar ve diğ. (2007) test sonucu önerilen nonlinear eğilme modeli ile de sonlu eleman analizi analitik olarak karşılaştırılmıştır.

Şekil- 3.25 incelendiğinde sonlu eleman analiziyle deney arasında büyük oranda uyum gözlenmektedir.

Adebar ve diğ. (2007) tarafından önerilen analitik modelle sonlu eleman analizi karşılaştırıldığında neredeyse tam örtüşme sağlanmıştır. Deney ve sonlu eleman analizi arasında oluşan fark, analitik model ve deney arasında da gözlenmektedir.



Şekil 3.25 : Deney ve SEA sonucu elde edilen yük – deplasman eğrileri karşılaştırması.



Şekil 3.26 : Deney, SEA ve analitik model sonucu bulunan yük – deplasman eğrileri karşılaştırması.

4. ANALİZ SONUÇLARI

Bu bölümde, Bölüm 3'te modelleme ve tasarım aşamaları detaylıca anlatılan modellerin analiz sonuçları değerlendirilmiştir. İncelenen değişkenlerin plastik mafsallara boyuna etkisi incelenmiş bunun sonucunda betonarme perdeler için plastik mafsallara boyu eşitliği sunulmuştur.

4.1 Plastik Mafsallara Boyunun Elde Edilmesi

Plastikleşen kesitlerin daha geniş bir alana yayılması ve uniform olarak yayılmamasına rağmen plastik bölgenin düzgün yayılı olarak bir bölgede yığılı olduğu kabul edilmektedir. Bu durum da plastik mafsallara kavramını ortaya çıkarmaktadır. Bu sebepten plastik mafsallara boyları (L_p) elde edilirken önce plastik bölge (L_{pz}) elde edilmiş, daha sonra 4.1'deki eşitlik kullanılarak plastik mafsallara boylarına geçilmiştir.

$$L_p = 0.5L_{pz} \quad (4.1)$$

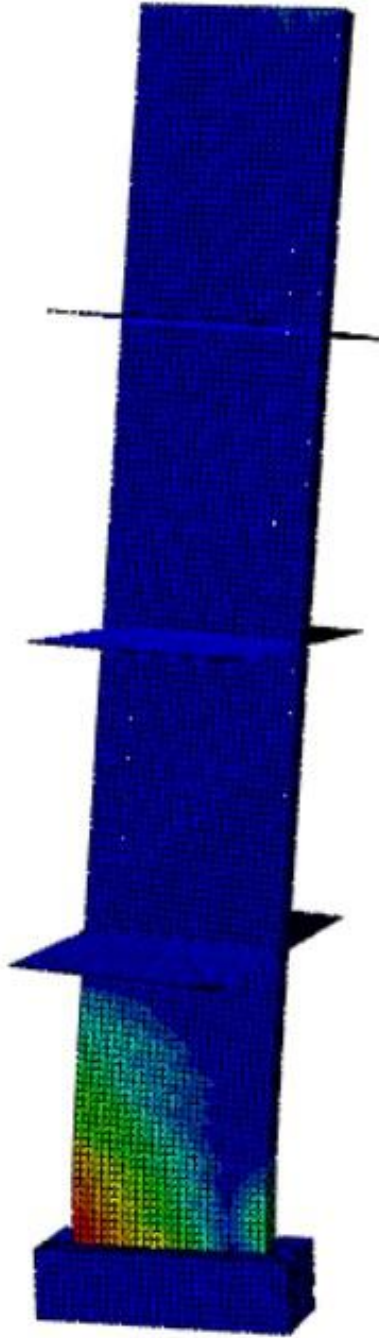
Kazaz (2013)'in yaptığı çalışmada belirtildiği üzere plastik bölgenin elde edilmesi için iki yöntem vardır. Bunlardan ilki en dıştaki boyuna donatının çekme şekil değiştirmesi kullanılarak plastik bölgenin belirlenmesidir. Bu yöntemle göre, yükseklik boyunca donatıdaki çekme şekil değiştirmesi elde edilerek akma bölgesine karar verilir.

İkinci yöntemde ise eleman yüksekliği boyunca eğrilikler elde edilerek, elemanın eğrilik profili elde edilir. Bu işlem yapılırken aynı yükseklikte ve perde uçlarında bulunan elemanların şekil değiştirmeleri kullanılır. Bir uçta çekme şekil değiştirmesi, diğer uçta basınç şekil değiştirmesi oluşacağından bunların farkı alınıp perde boyuna bölünerek eğrilik elde edilir (Denklem 4.2). Tüm perde boyunca bu işlem yapılarak elemanın eğrilik profili çıkarılır. Bölüm 2'de anlatıldığı üzere toplam eğrilik değerinden akma eğriliği çıkarılarak plastik eğrilikler elde edilir. Akma eğriliği Bölüm 2'de yer alan denklem 2.8 kullanılarak belirlenmiştir.

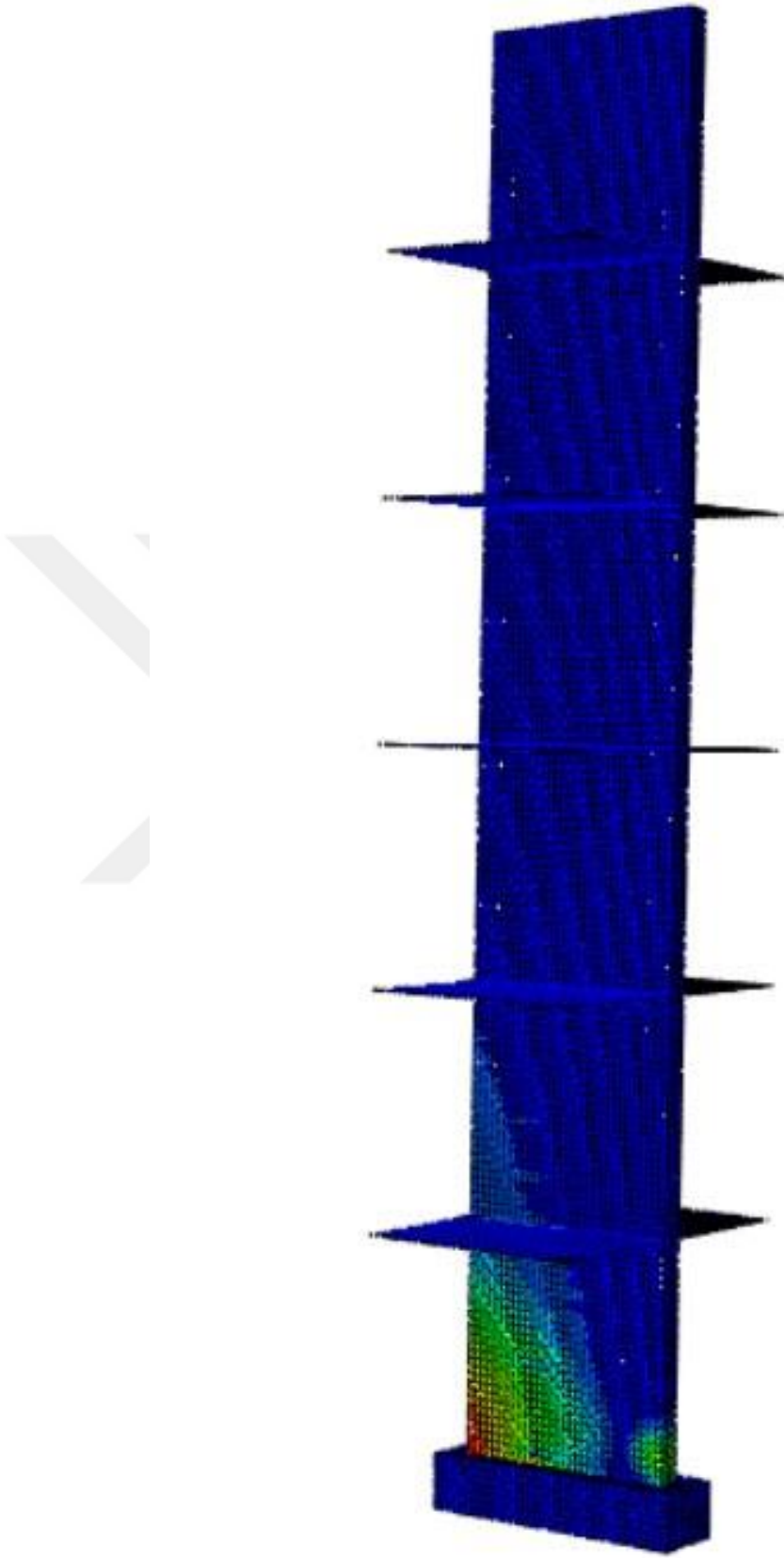
$$\phi = \frac{\epsilon_{cmp} - \epsilon_{tens}}{L_w} \quad (4.2)$$

ε_{cmp} , perdenin basınç bölgesindeki en dış elemanın şekil değiştirmesini, ε_{tens} , perdenin çekme bölgesindeki en dış elemandaki şekil değiştirmeyi, L_w ise perde uzunluğunu tanımlamaktadır.

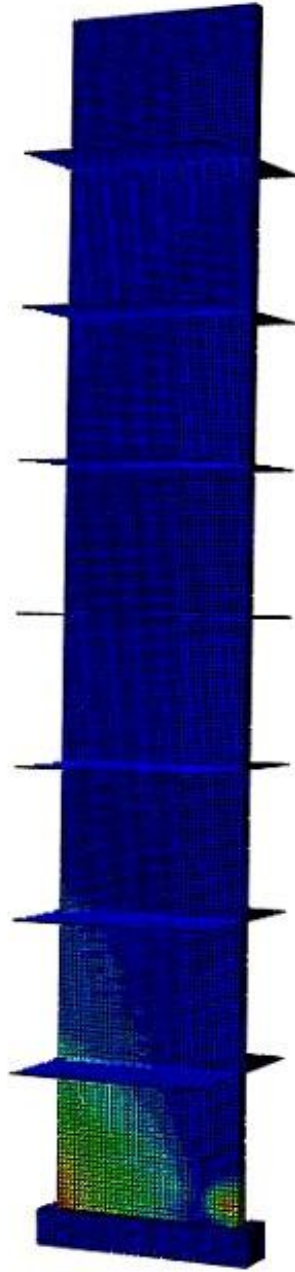
Aşağıda verilen şekillerde bazı modellere ait şekil değiştirme dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Analiz sonucu oluşan şekil değiştirme (Model 16).



Şekil 4.2 : Analiz sonucu oluşan şekil değıştirme (Model 7).



Şekil 4.3 : Analiz sonucu oluşan şekil değiştirme (Model 13).

Kazaz (2013) ve Dazio ve diğ. (2009)'nin yaptığı değerlendirmeler sonucunda yukarıda bahsedilen birinci yöntem kullanılarak bulunan plastik bölge uzunluğu ikinci yöntem kullanılan duruma göre yaklaşık %20 oranında daha büyük çıkmaktadır. Bohl ve Adebar (2011) ve Kazaz (2013)'in betonarme perdelerde plastik mafsalları üzerine yaptıkları çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da ikinci yöntem olarak anlatılan yükseklik boyunca eğriliklerin elde edildiği yöntem kullanılmıştır.

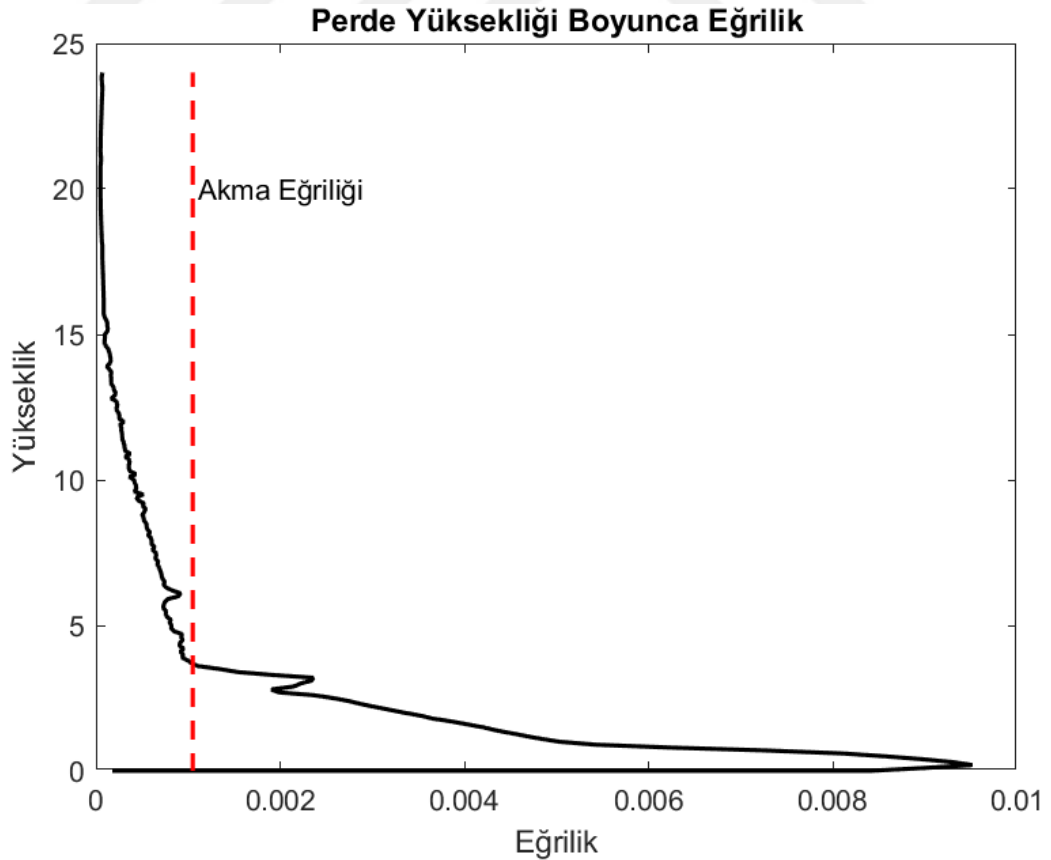
Plastik mafsalları elde edilirken Bölüm 2.2'de belirtildiği üzere elamanın %2 radyanlık tepe yer değiştirmesi yaptığı durum göçme durumu kabul edilmiştir.

ABAQUS şekil değıştirme değęlerini logaritmik olarak vermektedir. Bu sebeple ABAQUS'ten alınan şekil değıştirmelerin mühendislik şekil değıştirmesine dönüştürölmesi gerekmektedir. Bunun için denklem 4.3'te verilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$LE = \ln(1 + \varepsilon_{eng}) \quad (4.3)$$

LE sonlu eleman programından okunan logaritmik şekil değıştirmeyi, ε_{eng} mühendislik şekil değıştirmesini ifade etmektedir.

Bu dönüşüm yapıldığında, şekil değıştirme değęlerinin küçük olması sebebiyle en fazla yüzde 1'lik bir fark oluşmaktadır. Bundan dolayı doğrudan programdan alınan şekil değıştirme değęleri kullanılmıştır. Çekme ve basınç bölgesinde yükseklik boyunca şekil değıştirmeleri elde etmek için doğrular tanımlanmıştır. Yükseklik boyunca tanımlanan doğru üzerindeki integrasyon noktalarındaki şekil değıştirmeler işaretleri (çekme-pozitif, basınç-negatif) gözetilerek okunmuştur. Denklem 4.2'de belirtilen eşitlik kullanılarak eğrilikler hesaplanıp, plastik bölge uzunluğu belirlenmiştir. Denklem 4.1'deki kabul yapılarak plastik mafsallara geçilmiştir.



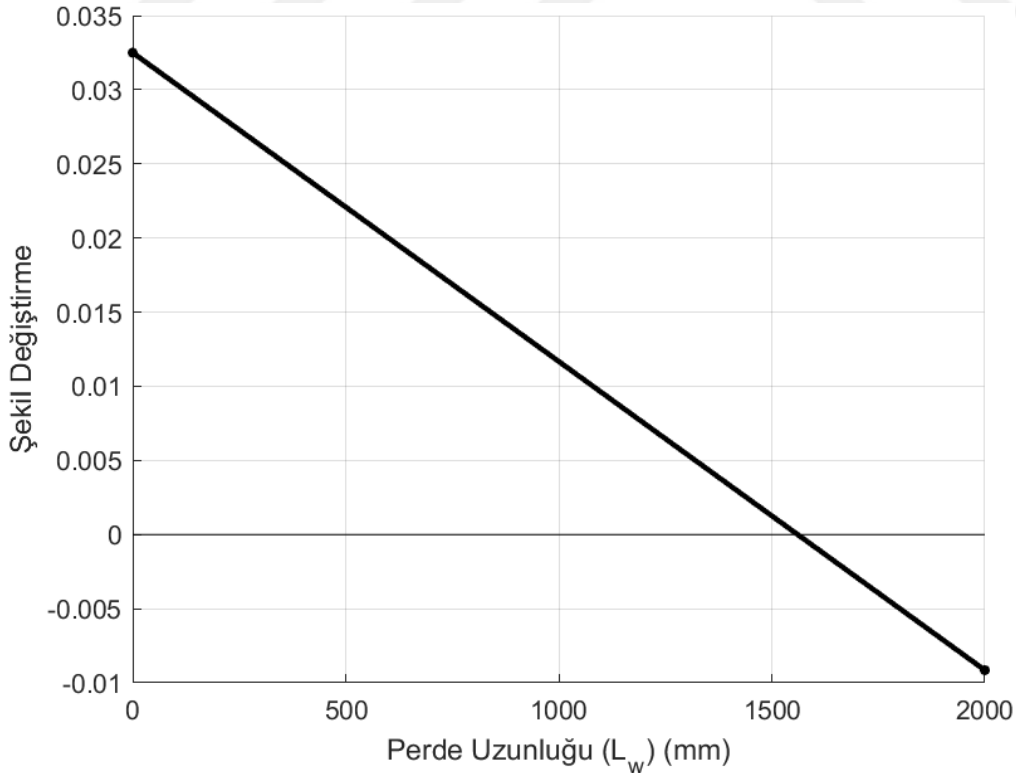
Şekil 4.4 : Perde yüksekliği boyunca eğrilik ve akma eğriligi.

Hines ve diğ. (2004) ve Dazio ve diğ. (2009) plastik bölge uzunluğundan, plastik mafsalları boyuna geçerken akma uzaması penetrasyonunu da hesaba katan denklem 4.4'ü önermektedir.

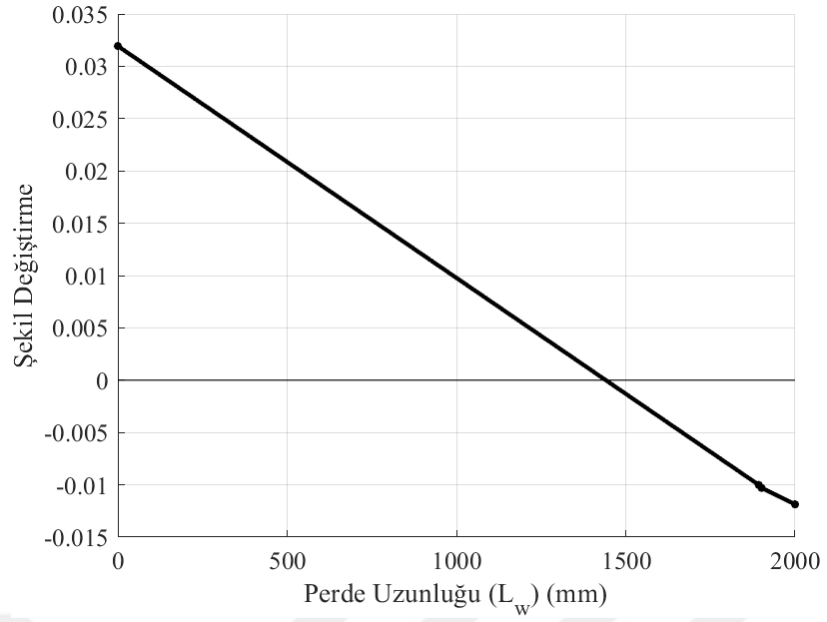
$$L_p = 0.5L_{pz} + L_{sp} \quad (4.4)$$

L_{sp} , akma uzaması penetrasyonun tepe yer değiştirmesine katkısını ifade etmektedir. Bu tez kapsamında yapılan analizlerde perde altında tanımlanan rijit temele uzatılmış donatılarda akma gözlenmemiştir. Akma uzaması penetrasyonun etkisinin olmadığı Bohl ve Adebar (2011) ve Kazaz (2013)'ün çalışmalarında da görülmektedir. Bu sebepten denklem 4.1'in kullanılması uygundur.

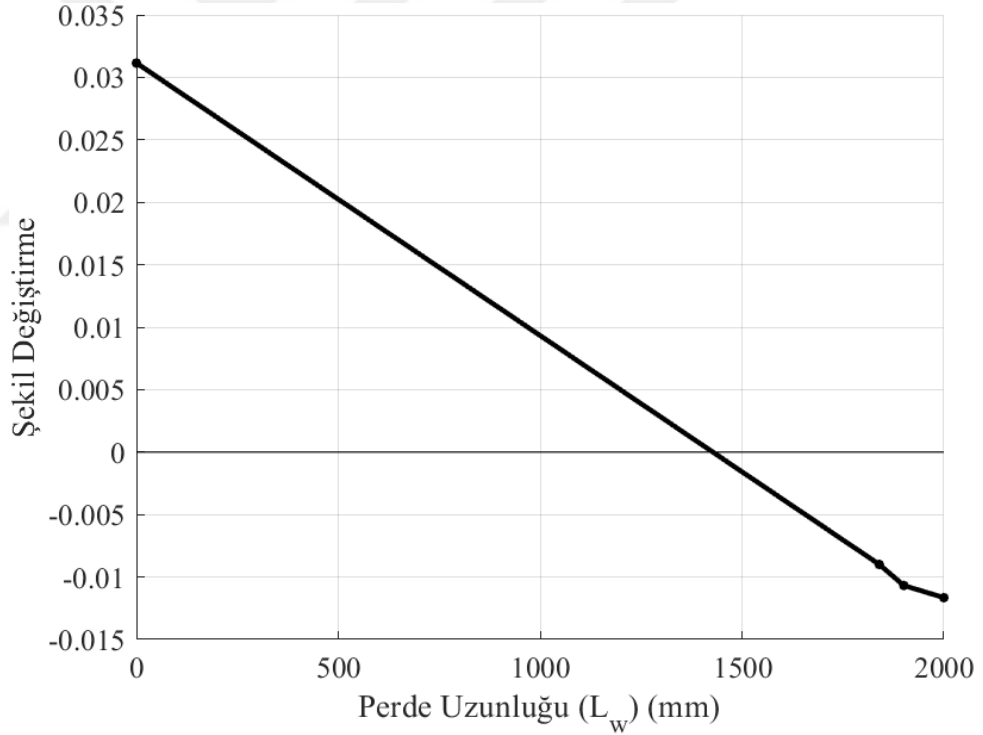
Denklem 4.2'de yapılan kabul, eğilme öncesinde düzlem olan kesitlerin eğilme sonrasında da düzlem olacağı kabulüne dayanmaktadır. Analizi yapılan perdelerin büyük çoğunluğunda eğilme davranışının baskın olduğu düşünüldüğünde kabulün geçerli olacağı düşünülmektedir. Bu amaçla perdelerin taban kesiti ve tabana yakın kesitlerinde perde uzunluğu boyunca şekil değiştirme profili elde edilmiştir. Model-1, Model-7 ve Model-13 için elde edilen diyagramlar aşağıda yer alan grafiklerde sunulmuştur.



Şekil 4.5 : Model-1 için taban kesitinde kesit boyunca şekil değiştirme diyagramı.

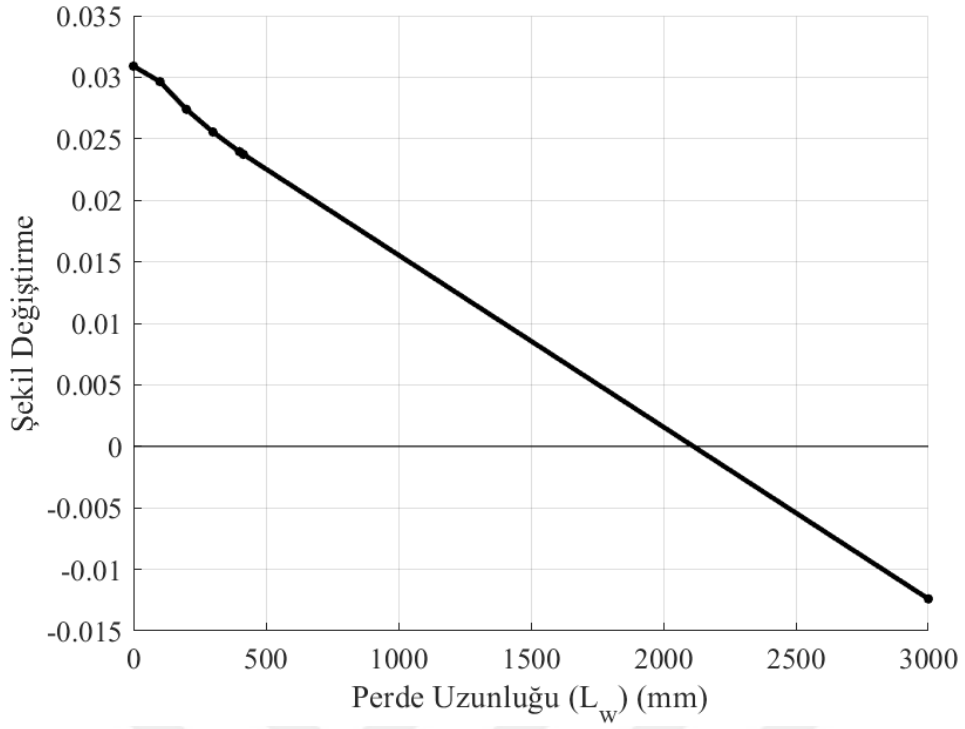


Şekil 4.6 : Model-1 için taban kesitinden 200 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.

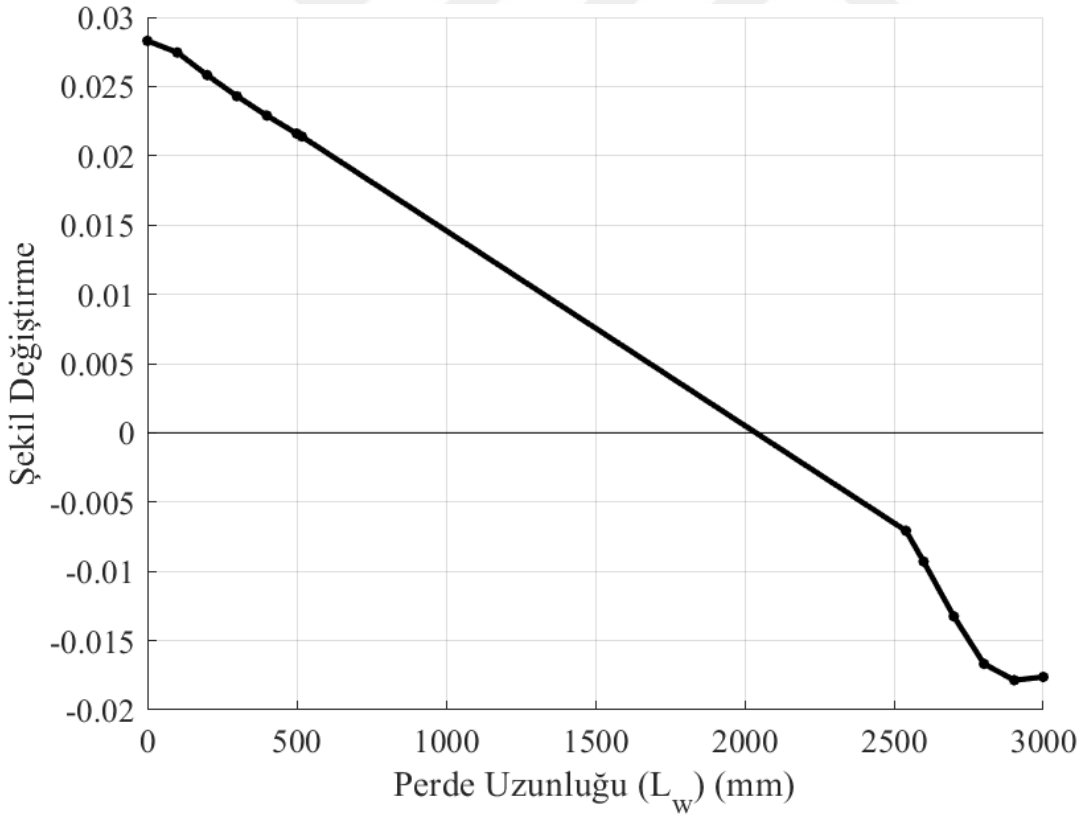


Şekil 4.7 : Model-1 için taban kesitinden 400 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.

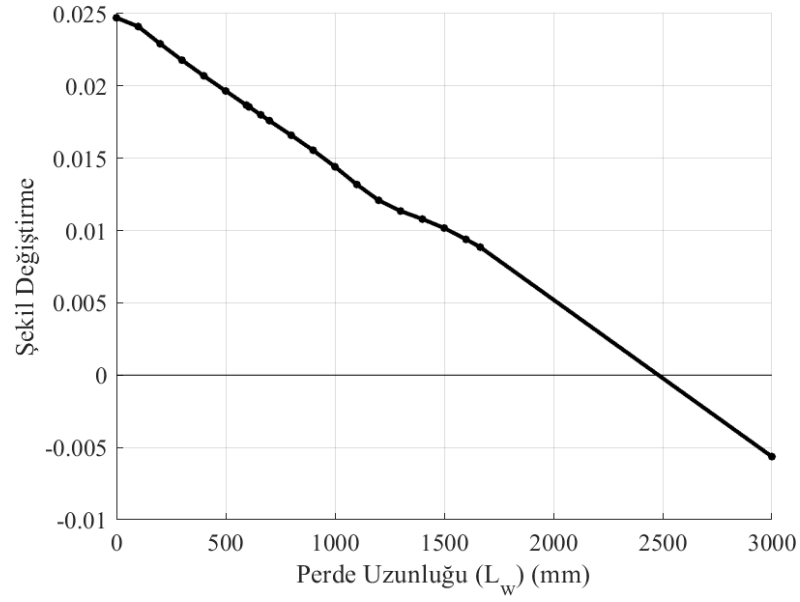
Model-1 için oluşturulan şekil değiştirme diyagramları incelendiğinde taban kesitinde doğrusal bir değişim gözlenmektedir. Taban kesitinden 20 cm ve 40 cm yükseklikteki kesitlerde ise perde uç bölgesinde donatı yoğunluğunun değişmesinden dolayı az da olsa doğrusallıktan sapma mevcuttur.



Şekil 4.8 : Model-7 için taban kesitinde şekil değiştirme diyagramı.

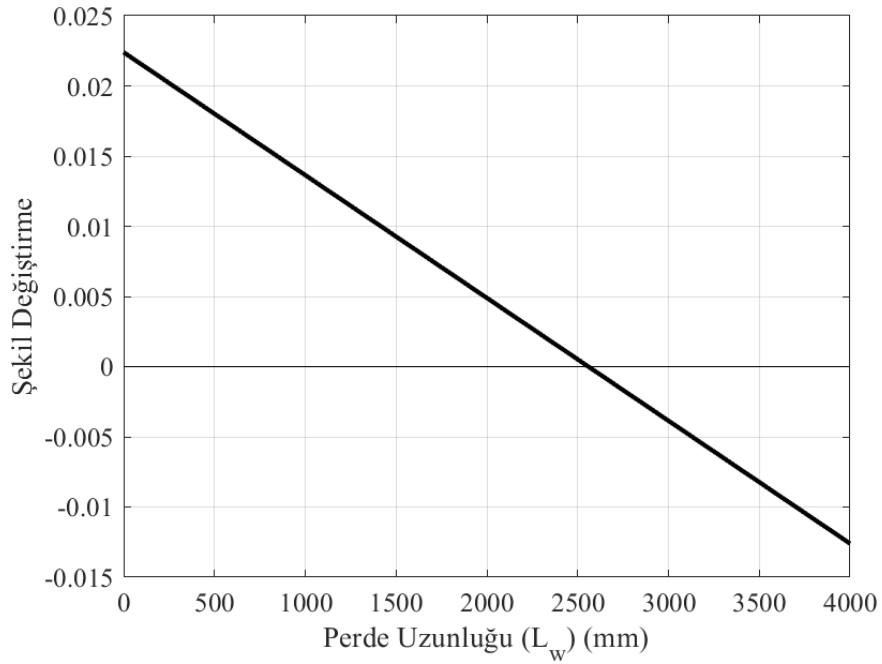


Şekil 4.9 : Model-7 için taban kesitinden 400 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.

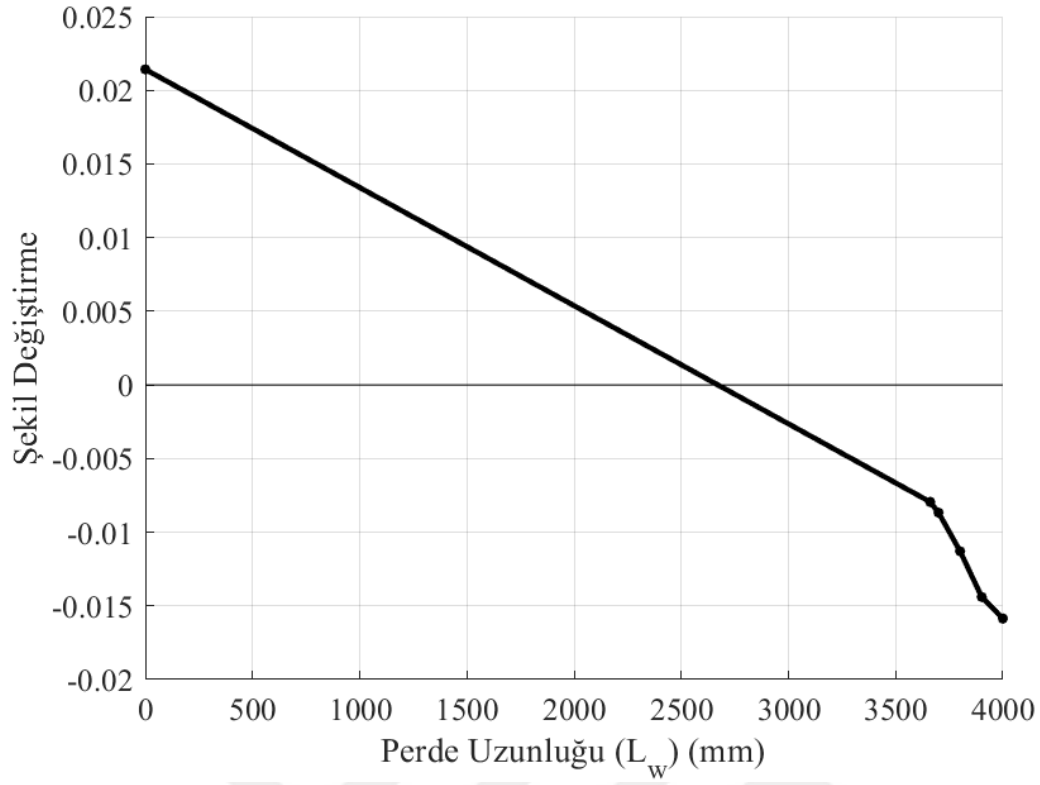


Şekil 4.10 : Model-7 için taban kesitinden 800 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.

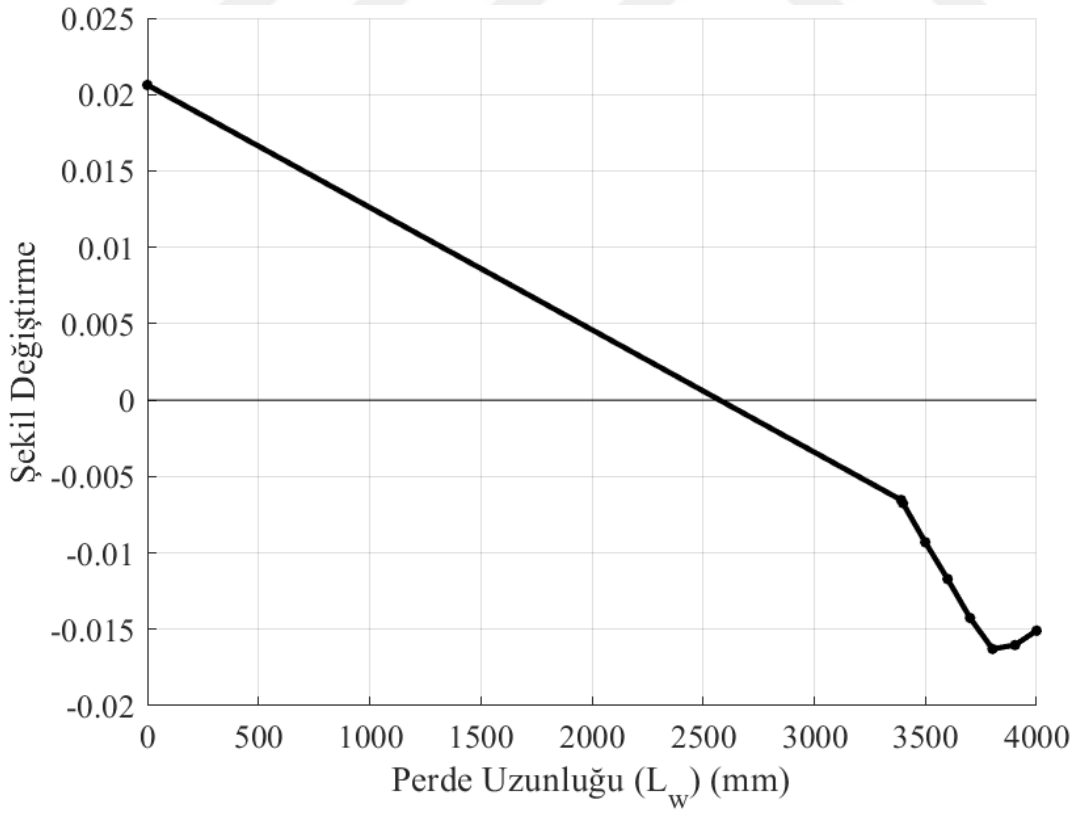
Model-7 için elde edilen şekil değiştirme diyagramlarına bakıldığında taban kesitinde ve tabandan 80 cm uzaklıktaki kesitte neredeyse doğrusal bir şekil değiştirme ilişkisi görülmektedir. Basınç bölgesindeki şekil değiştirmelerin neredeyse en büyük değerini aldığını tabandan 40 cm uzaklıktaki kesitte diyagram doğrusallıktan sapmaktadır. Doğrusallıktan saptığı bölge, Model-1’de olduğu gibi perde uç bölgesine denk gelen kısımdır.



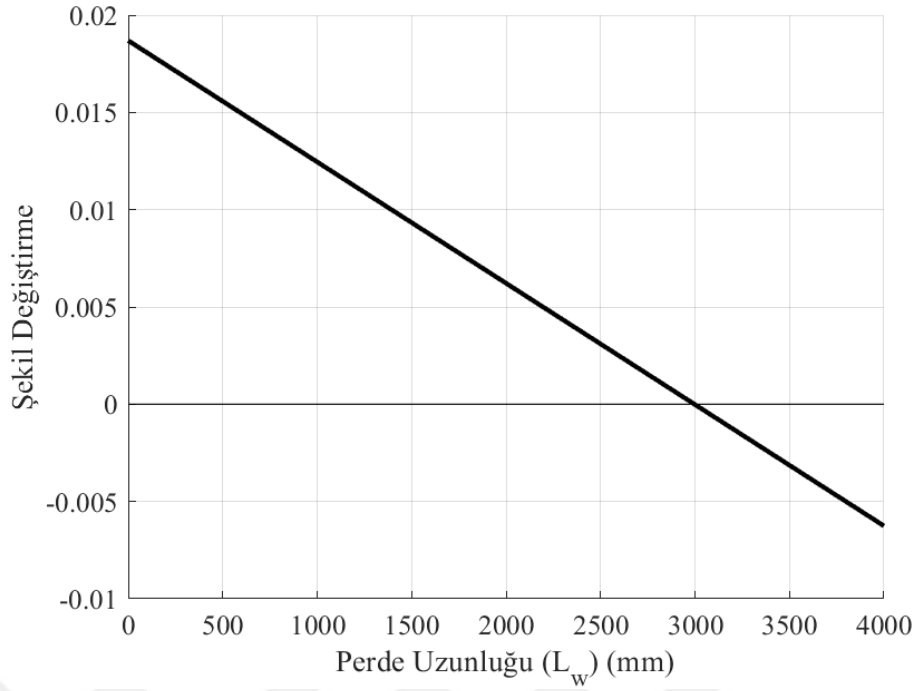
Şekil 4.11 : Model-13 için taban kesitindeki şekil değiştirme diyagramı



Şekil 4.12 : Model 13 için taban kesitinden 200 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.



Şekil 4.13 : Model-13 için taban kesitinden 400 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.



Şekil 4.14 : Model-13 için taban kesitinden 800 mm yükseklikteki kesitte şekil değiştirme diyagramı.

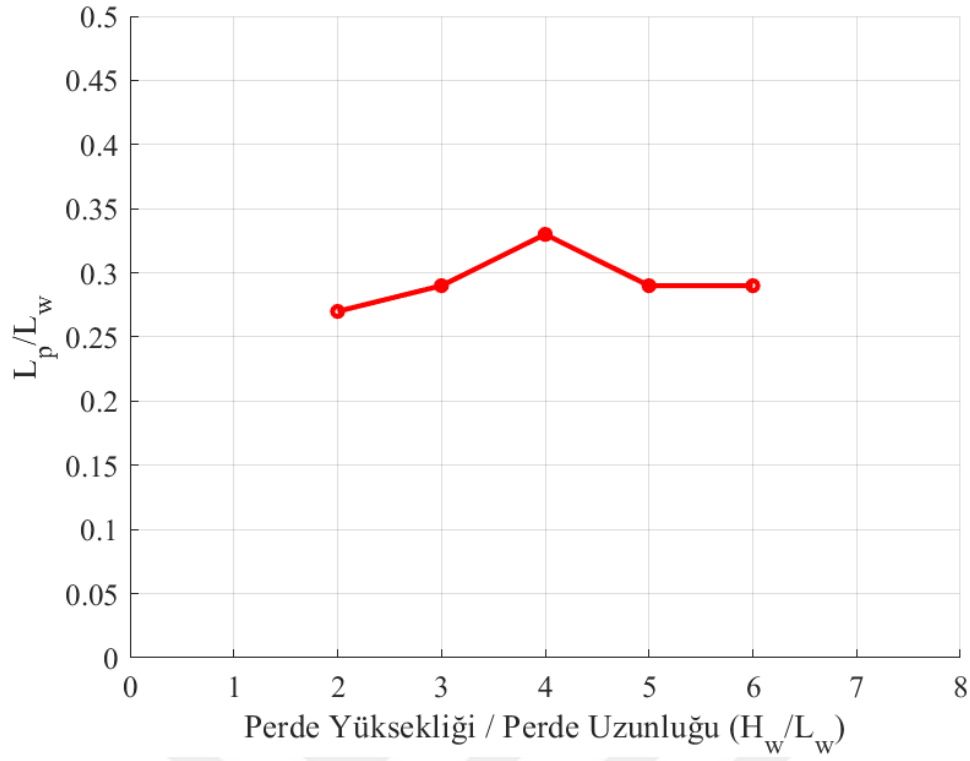
Model-1 ve Model-7’de olduğu gibi Model-13’te de taban kesitinde doğrusal bir şekil değiştirme ilişkisi vardır. Tabandan 20 cm ve 40 cm uzaklıktaki kesitlerde doğrusallık bozulmaktadır. Tabandan 80 cm uzaklıktaki kesitte ise doğrusal davranış gözlenmektedir.

Şekil değiştirme diyagramları değerlendirildiğinde, basınç şekil değiştirmesinin değerinin nispeten büyük değerlere ulaştığı kesitlerin perde uç bölgelerinde diyagramlar doğrusallıktan çıkmaktadır. Uç bölgesindeki donatı yoğunluğundan kaynaklanan bu duruma rağmen kesitlerin büyük kısmında doğrusal ilişki gözlenmektedir. Buna dayanarak 4.2’de yer alan ifadenin kullanılması uygundur.

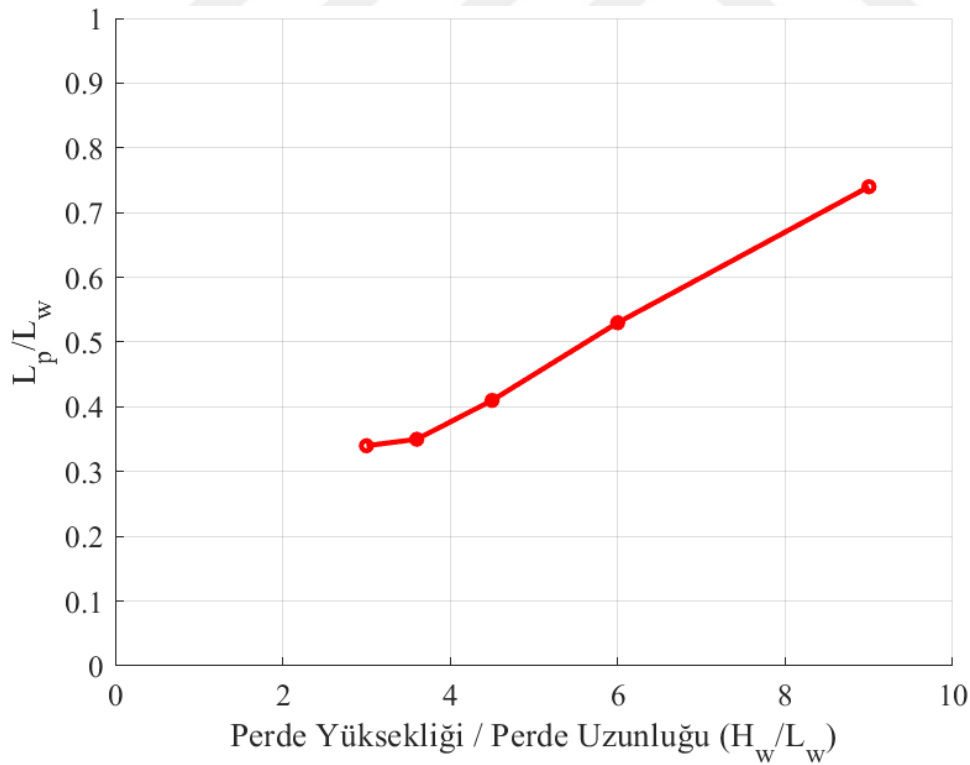
4.2 Değişkenlerin Plastik Mafsal Boyuna Etkisinin Değerlendirilmesi

4.2.1 Perde yüksekliği/perde uzunluğu oranının plastik mafsal boyuna etkisi

Perde yüksekliğinin sabit tutulup perde uzunluğunun değişken alındığı modellerde perde yüksekliği/perde uzunluğu oranı (H_w/L_w) da değişken durumuna gelmiştir. Perde yüksekliğinin/perde uzunluğuna oranının perde davranışını etkileyen esas değişkenlerden biri olduğu düşünülerek bu oranın plastik mafsal boyuyla ilişkisi irdelenmiştir. Sunulan grafiklerde perde uzunluğundaki değişimin etkisini göz ardı etmek için plastik mafsal boyları perde uzunluğuna oranlanarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.15 : Model 1-5 için H_w/L_w oranı – plastik mafsalsal boyu (L_p/L_w) ilişkisi.

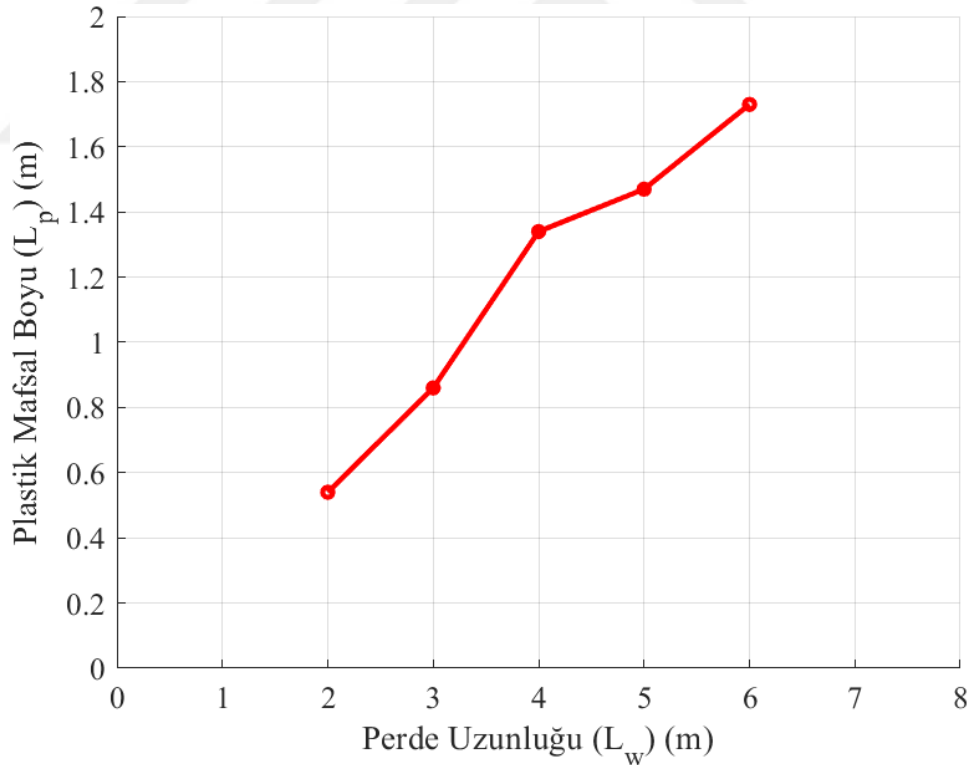


Şekil 4.16 : Model 6-10 için H_w/L_w oranı – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.

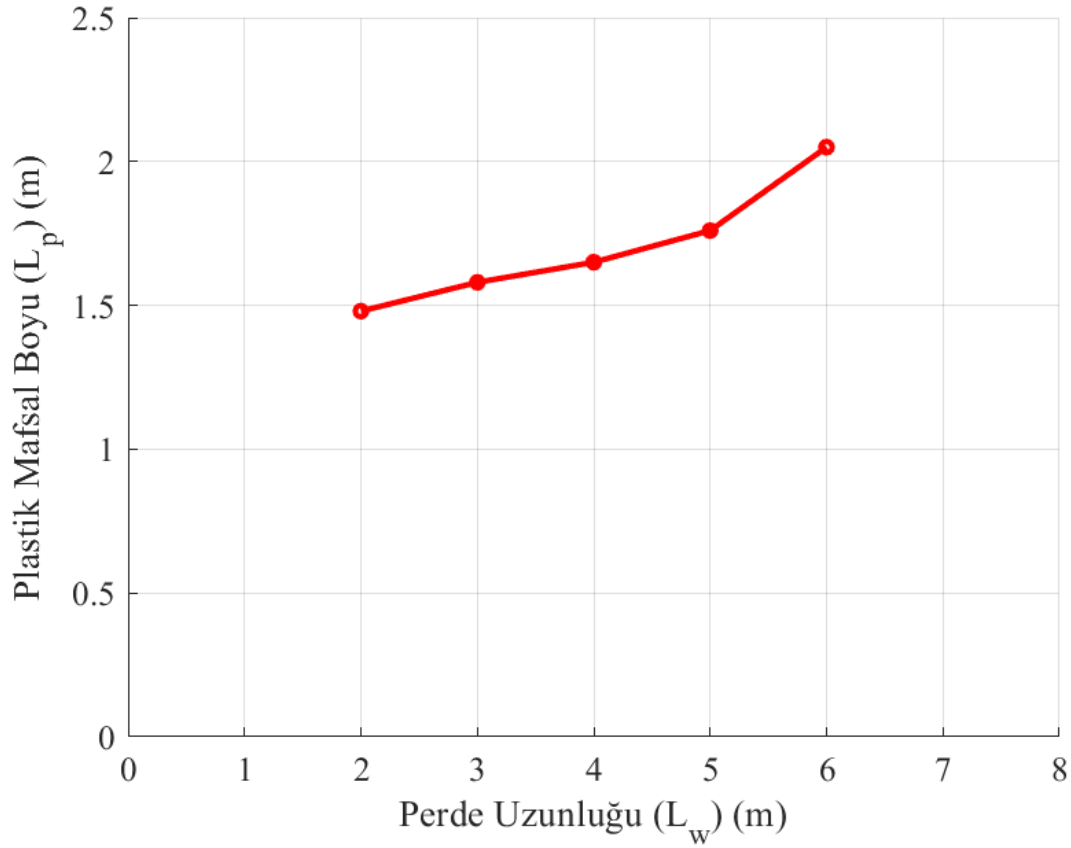
Yüksekliğin 12 metre olarak sabit tutulup perde yüksekliğinin perde uzunluğuna oranının değişken olduğu Model 1-5'e ait grafik incelendiğinde, H_w/L_w oranının 2'den 4'e kadar bir artış gösterdiği daha sonra azalma göstermesine rağmen genel trendin artış yönünde olduğu söylenebilir. Perde yüksekliğinin 18 metre olduğu Model 6-10 için verilen grafik incelendiğinde H_w/L_w oranına paralel olarak plastik mafsalsal boyunda da artış gözlenmektedir. Bu durum göz önüne alınarak perdeler eğilme baskın davranış gösterdikçe plastik mafsalsal boyu artmaktadır yorumu yapılabilir.

4.2.2 Perde uzunluğunun plastik mafsalsal boyuna etkisi

Bu başlık altında, çalışma kapsamında incelenen 5 farklı uzunluğa – 2 m, 3 m, 4 m, 5 m ve 6 m – sahip perdelerin plastik mafsalsal boyları saptanmış ve perde uzunluğuna etkisi belirlenmiştir. Perde uzunluğunun, bölüm 2.4'te yer alan çalışmalara da bakıldığında plastik mafsalsal boyunu etkileyen en önemli değişken olduğu söylenebilir. Modellerin özetinin yer aldığı çizelge A.1'deki modellerden Model 1-10 için yapılan değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.



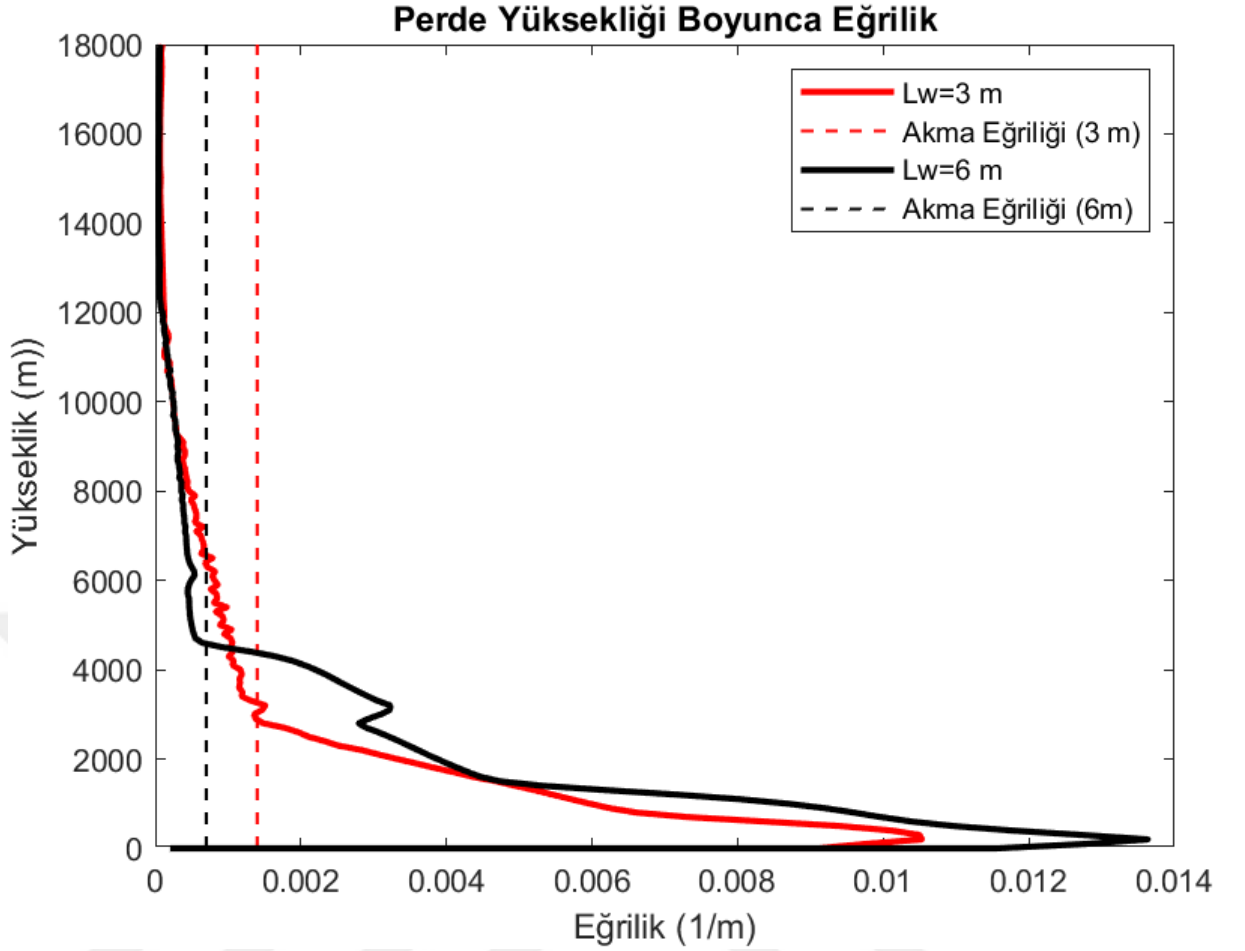
Şekil 4.17 : Model 1-5 için perde uzunluğu (L_w) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.



Şekil 4.18 : Model 6-10 için perde uzunluğu (L_w) – plastik mafsal boyu (L_p) ilişkisi.

Grafikler incelendiğinde, perde uzunluğundaki artışla birlikte plastik mafsal boyunda da artış gözlenmektedir. Model 1-5 ve Model 6-10 için oluşturulan grafiklerin birbirine benzer ilişki gösterdikleri görülmüştür. Denklem 2.8’de yer alan akma eğriliği ifadesine bakıldığında perde uzunluğu arttıkça akma eğriliği değeri azalmaktadır. Bu durum toplam eğrilikle ve akma eğriliği arasındaki farkı artırmaktadır. Bunun neticesinde daha büyük bir plastik bölge ve plastik mafsal oluşmaktadır. 3 metre perde uzunluğuna sahip Model-7 ve 6 metre perde uzunluğuna sahip Model-10 için elde edilen perde yüksekliği boyunca eğrilik ve akma eğriliği değerleri gösterilmiştir (Şekil 4.19).

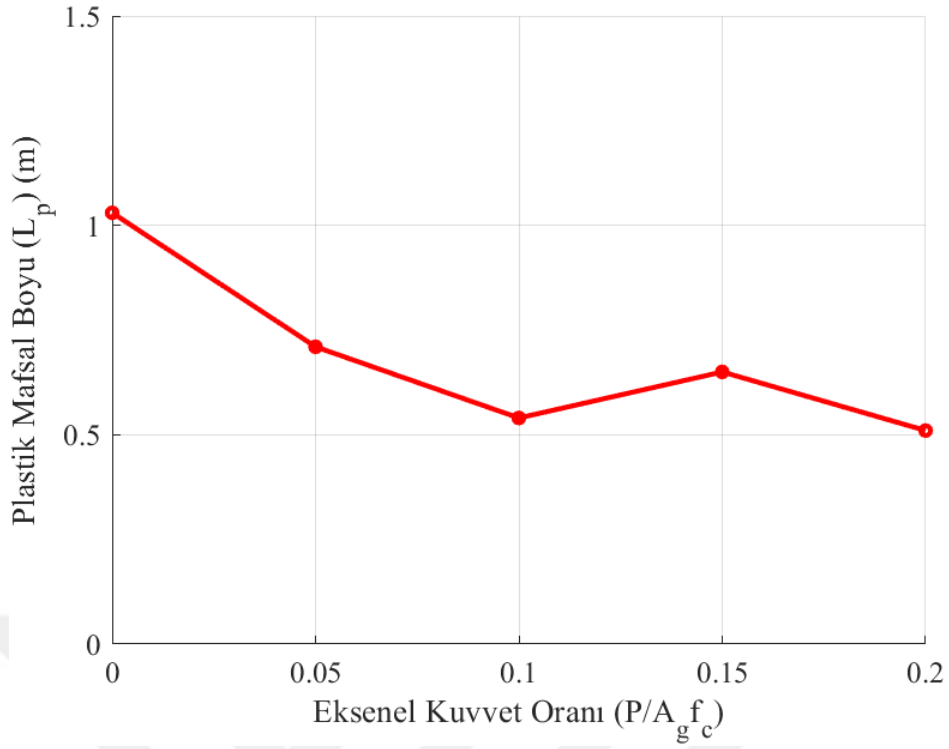
Şekil 4.15’te görüldüğü gibi 6 m uzunluğundaki perdenin (Model-10) akma eğriliği 3 m uzunluğundaki perdenin (Model-7) akma eğriliği değerinin yarısıdır. Plastik bölgeler karşılaştırıldığında plastikleşmenin 6 m yüksekliğindeki perdede 3 m yüksekliğindeki perdeye göre daha yüksekte başladığı görülmektedir.



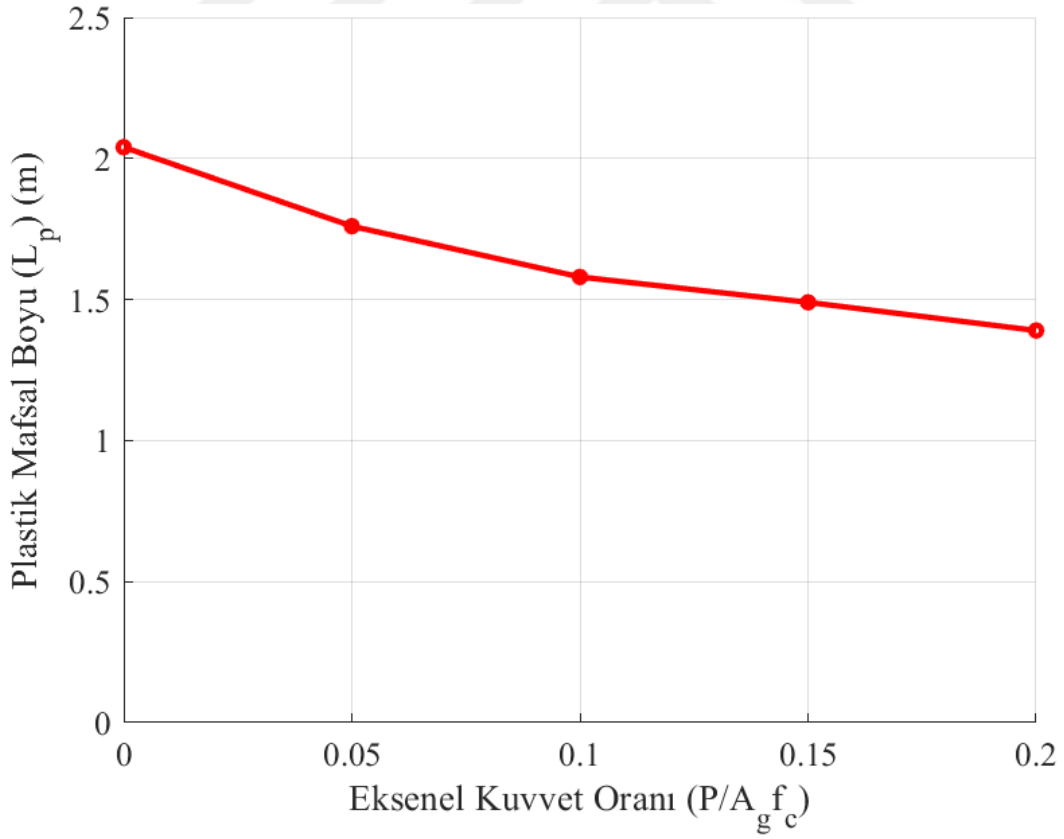
Şekil 4.19 : Model-7 ve Model-10 için perde yüksekliği boyunca eğrilik.

4.2.3 Eksenel kuvvet oranının plastik mafsalsal boyuna etkisi

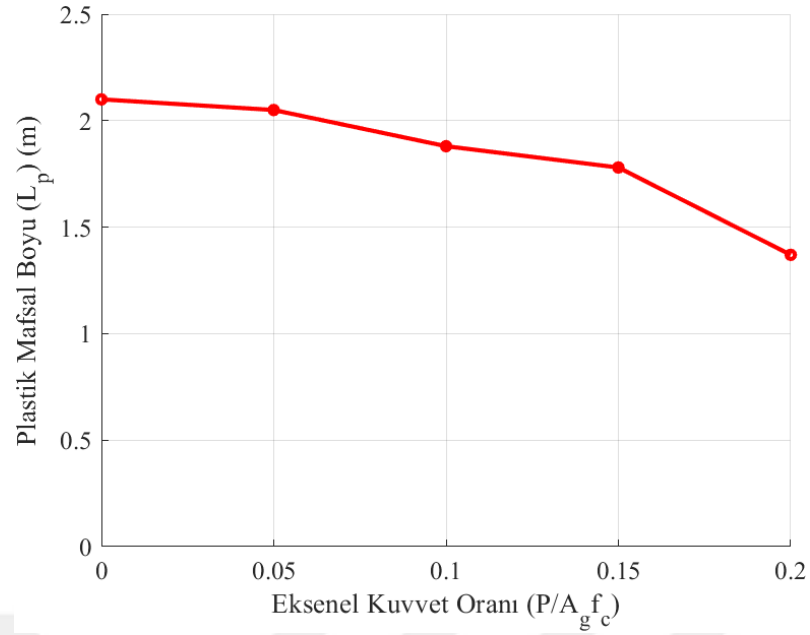
Bölüm 3.9’da belirtilen bir diğer değişken olan eksenel kuvvet oranı değiştirilerek plastik mafsalsal boyları elde edilmiş, eksenel kuvvet oranına bağlı olarak plastik mafsalsal boyu değişimi irdelenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında bazı çalışmalarda eksenel kuvvet oranının etkisinin olmadığı, bazılarında ise bu görüşün aksine eksenel kuvvetin plastik mafsalsal boyunu etkilediği belirtilmiştir. Bu kısımda modellere etkitilen 5 farklı eksenel kuvvet oranı - 0, 0.05, 0.10, 0.15 ve 0.20 – için plastik mafsalsal boyu değişimi sunulmuştur. Çizelge A.1’de yer alan Model-12 ve Model-24 arasındaki modeller için plastik mafsalsal boyu değişimleri aşağıda yer alan grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 4.20 : Model 12-15 için eksenel kuvvet oranı – plastik mafsal boyu (L_p) ilişkisi.

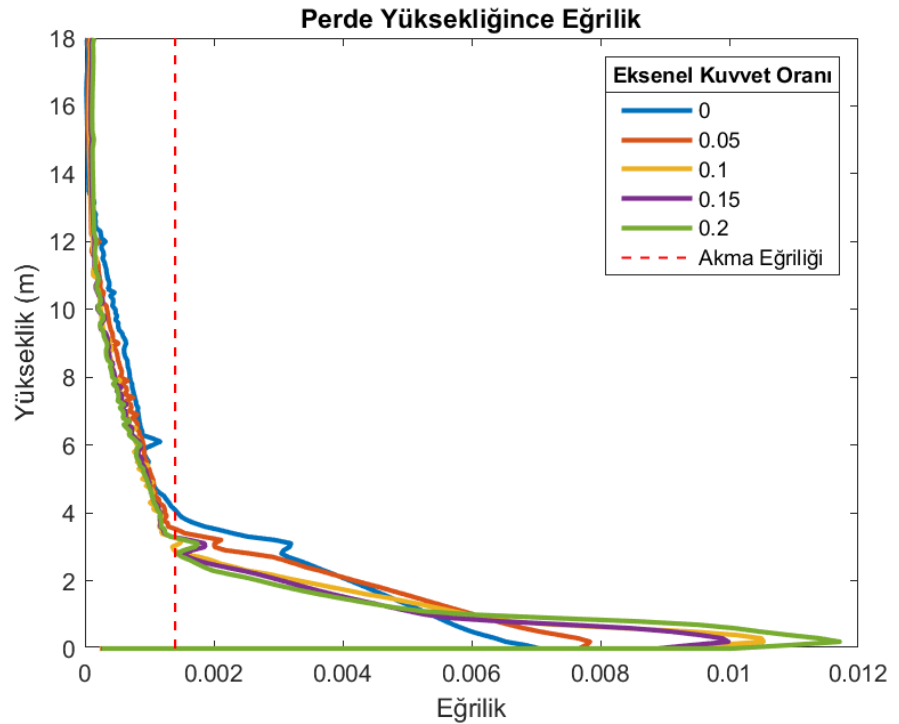


Şekil 4.21 : Model 16-20 için eksenel kuvvet oranı – plastik mafsal boyu (L_p) ilişkisi.



Şekil 4.22 : Model 21-24 için eksenel kuvvet oranı – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.

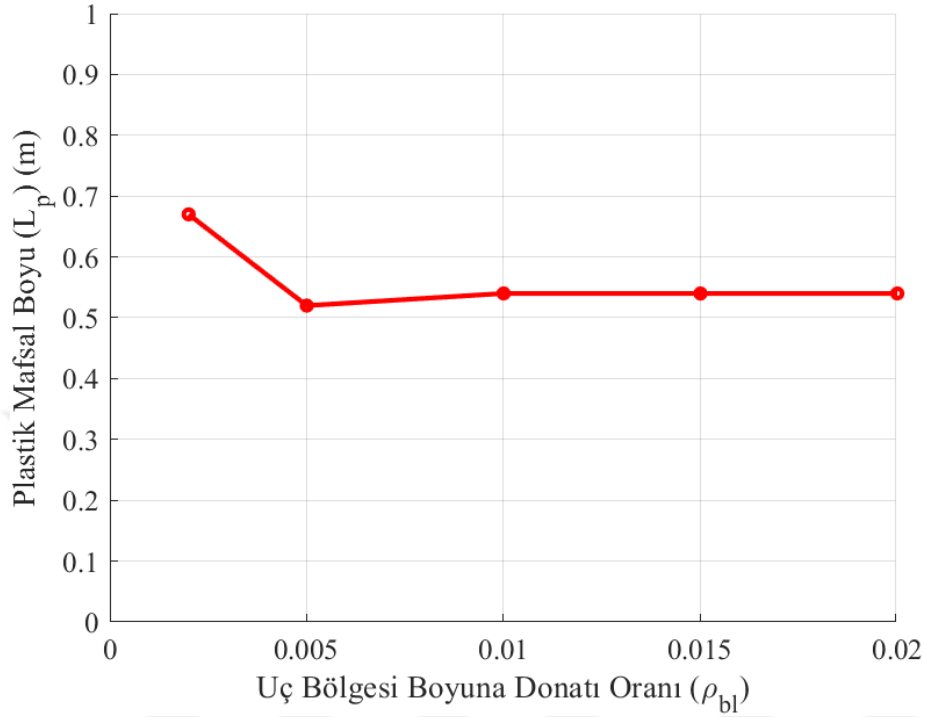
Grafikler göstermektedir ki perdelere uygulanan eksenel basınç kuvveti değeri arttıkça plastik mafsalsal boyu azalmaktadır. Aşağıda yer alan grafikte Model 16-19 için perde yüksekliğince eğrilik grafiği sunulmuştur. Grafikte de görüldüğü üzere eksenel kuvvet oranı arttıkça plastik eğriliklerin başladığı yükseklik azalmakta haliyle plastik bölge azalmaktadır. Plastik mafsalsal boyundaki azalma da bu durumdan kaynaklanmaktadır.



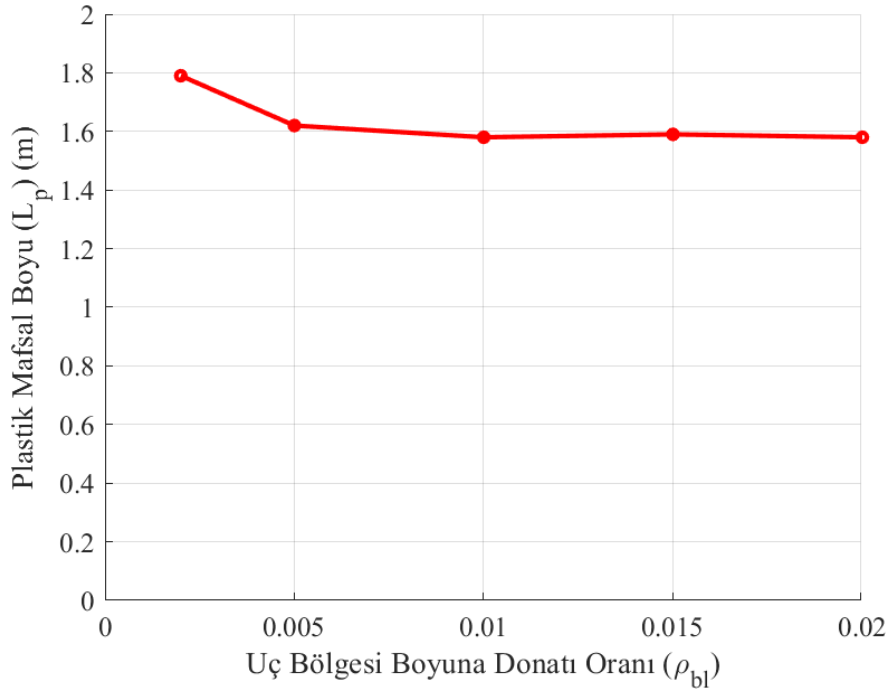
Şekil 4.23 : Model 16-19 için perde yüksekliği boyunca eğrilik.

4.2.4 Uç bölgesi boyuna donatı oranının plastik mafsalsal boyuna etkisi

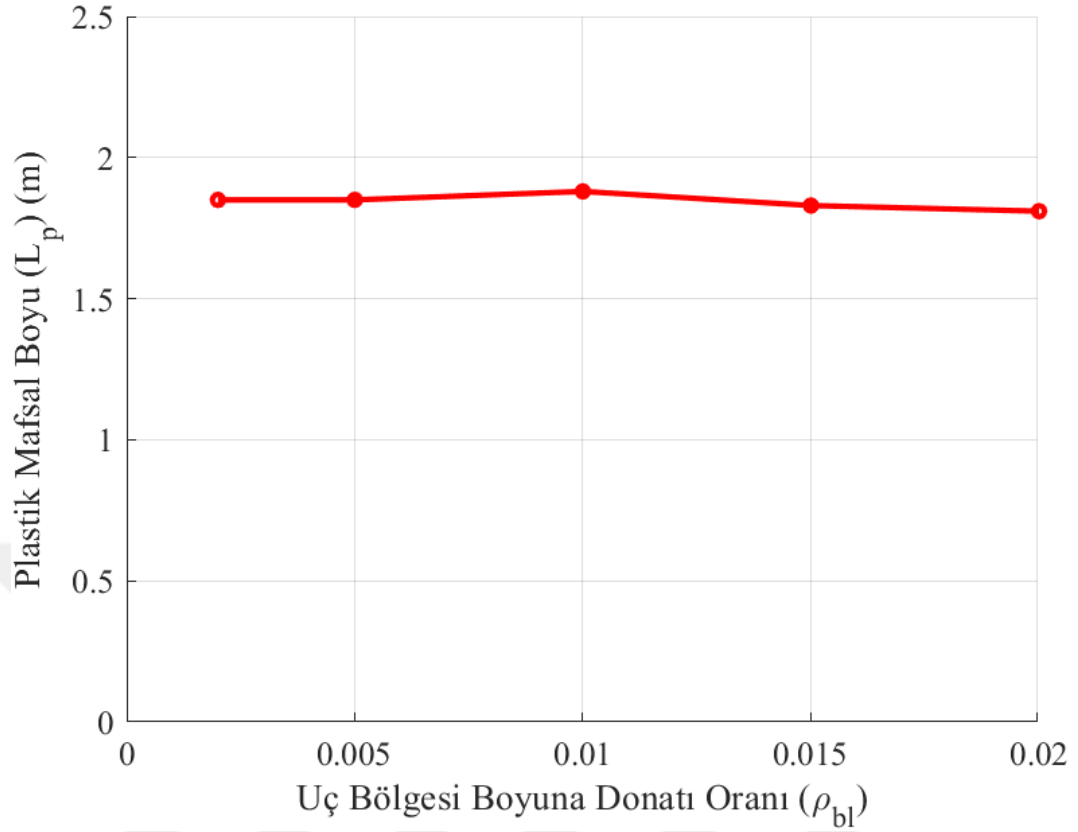
İncelenen değişkenlerden dördüncüsü olan uç bölgesi boyuna donatı oranı ile plastik mafsalsal boyunun değişimi aşağıda yer alan grafiklerle değerlendirilmiştir.



Şekil 4.24 : Model 24-27 için uç bölgesi boyuna donatı oranı (ρ_{bl}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.



Şekil 4.25 : Model 28-31 için uç bölgesi boyuna donatı oranı (ρ_{bl}) – plastik mafsalsal boyu (L_p) ilişkisi.



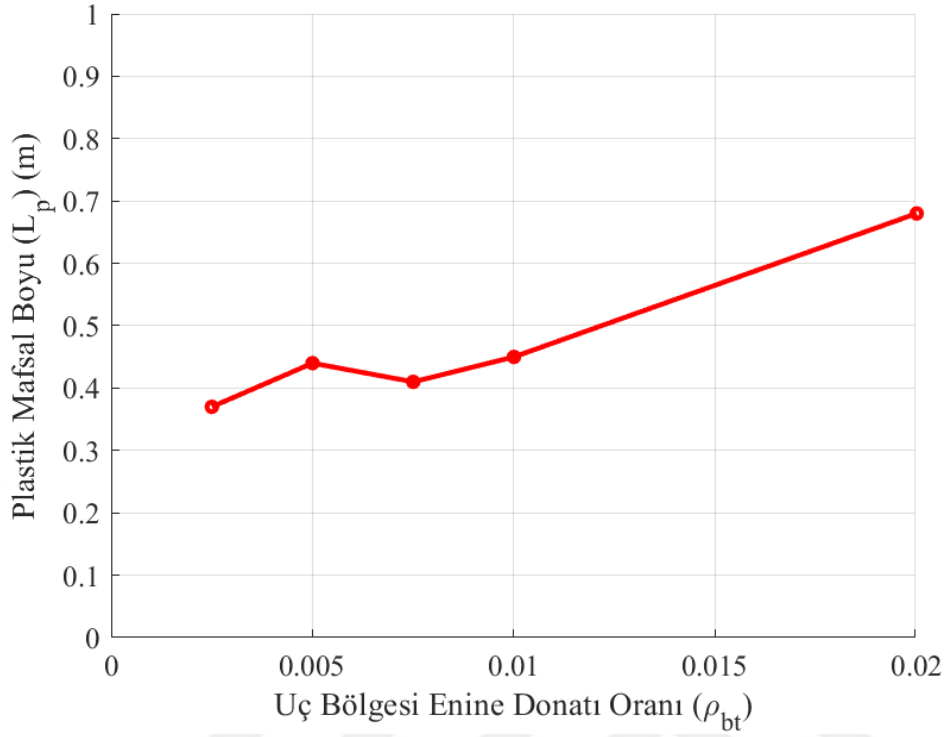
Şekil 4.26 : Model 32-35 için uç bölgesi boyuna donatı (ρ_{bl}) – plastik mafsal boyu (L_p) ilişkisi.

Grafikler incelendiğinde Model 24-27 ve Model 28-31 için uç bölgesi boyuna donatı oranı plastik mafsal boyu arasındaki ilişki benzerlik göstermektedir. 0.002 boyuna donatı oranından 0.005 oranındaki boyuna donatı oranına kadar plastik mafsal boyu azalmakta, sonrasında ise neredeyse sabit kalmaktadır. Model 32-35 için yer alan grafik incelediğinde düşük boyuna donatı oranlarında neredeyse sabit devam eden grafik, donatı oranındaki artışla birlikte az da olsa düşüş göstermektedir. Genel olarak yorumlandığında uç bölgesi boyuna donatı oranındaki artışla plastik mafsal boyunda azalma meydana geldiği söylenebilse de azalma oranı bir hayli düşüktür. Kazaz (2013)’e bakıldığında da uç bölgesi boyuna donatı oranı için benzer bir sonuç görülmektedir.

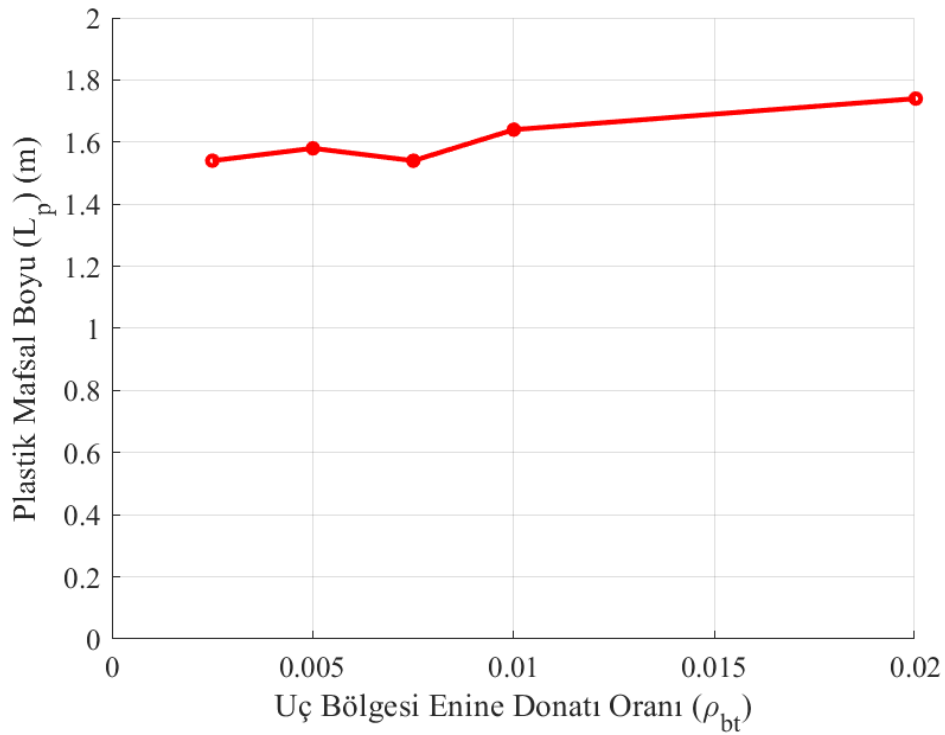
4.2.5 Uç bölgesi enine donatı oranının plastik mafsal boyuna etkisi

Perdelerin plastik mafsal boyları üzerine yapılan diğer çalışmaların aksine bu çalışmada uç bölgesi enine donatı oranının etkisi de incelenmiştir. Model 36-47 için 5 farklı enine donatı oranı değişken olarak alınmış, analizler sonucunda elde edilen

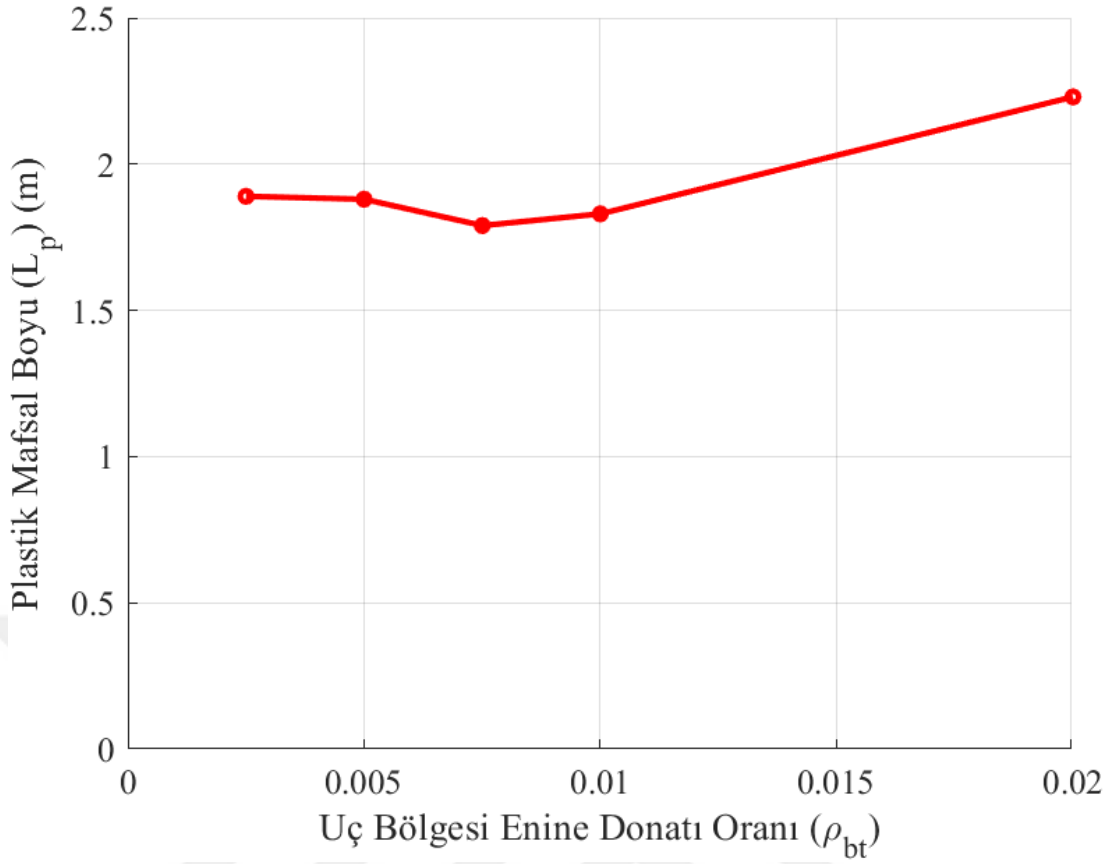
plastik mafsal boyu – enine donatı oranı ilişkisi aşağıda yer alan grafiklerde sunulmuştur.



Şekil 4.27 : Model 36-39 için uç bölgesi enine donatı oranı (ρ_{bt}) – plastik mafsal boyu (L_p) ilişkisi.



Şekil 4.28 : Model 40-43 için uç bölgesi enine donatı oranı (ρ_{bt}) – plastik mafsal boyu (L_p) ilişkisi.



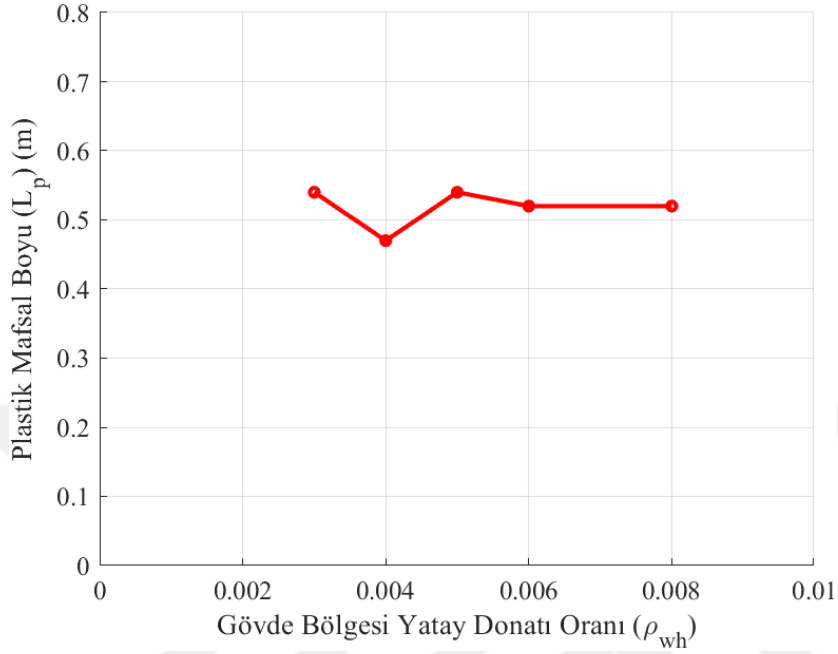
Şekil 4.29 : Model 44-47 için uç bölgesi enine donatı oranı (ρ_{bt}) – plastik mafsal boyu (L_p) ilişkisi.

Grafiklere bakıldığında, Model 40-43 ve Model 44-47 için 0.01’lik uç bölgesi enine donatı oranına kadar çok küçük değişiklikler olsa da plastik mafsal boyunun büyük ölçüde etkilenmediği görülmüştür. Bahsedilen modellerde enine donatı oranının 0.02’ye çıkarılmasıyla beraber plastik mafsal boyunda da artış gözlenmiştir. Bu modellerin aksine Model 36-39 için verilen grafiğe bakıldığında 0.005 değerinden itibaren enine donatı oranındaki artışa paralel olarak plastik mafsal boyunda da artış gözlenmiştir. Bu durumun, perde uç bölgesinin tüm perde uzunluğuna oranına bağlı olduğu düşünülmektedir. 2 metre perde uzunluğuna sahip Model 36-39’da enine donatı ile sarılmış uç bölgelerin tüm kesit uzunluğuna oranının diğer modellere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda kesitte sargı etkisinin daha fazla ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

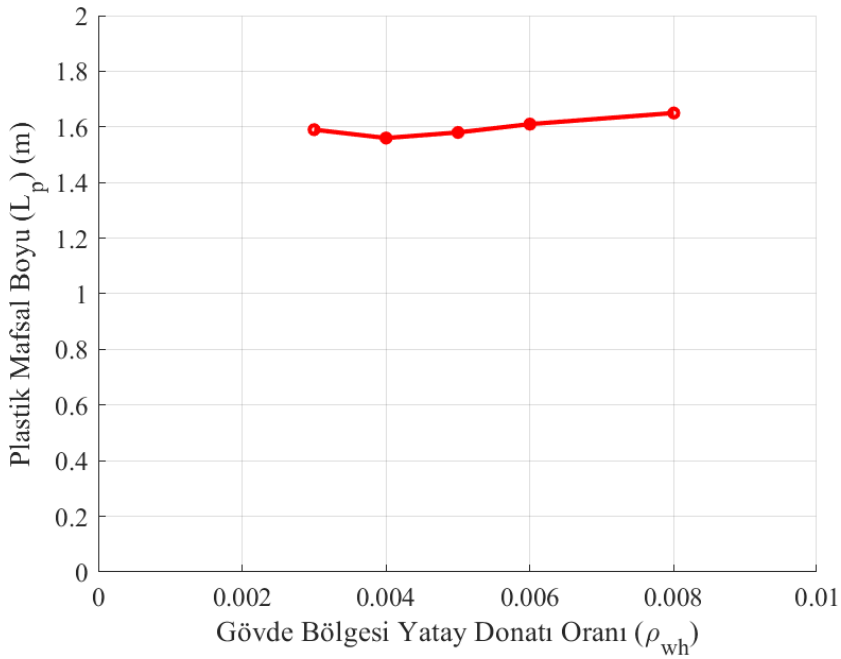
4.2.6 Gövde bölgesi yatay donatı oranının plastik mafsal boyuna etkisi

Bu kısımda, çalışmada incelenen bir başka değişken olan gövde bölgesi yatay oranı plastik mafsal boyu ilişkisinden bahsedilmiştir. Model 48-59 için yapılan analizler

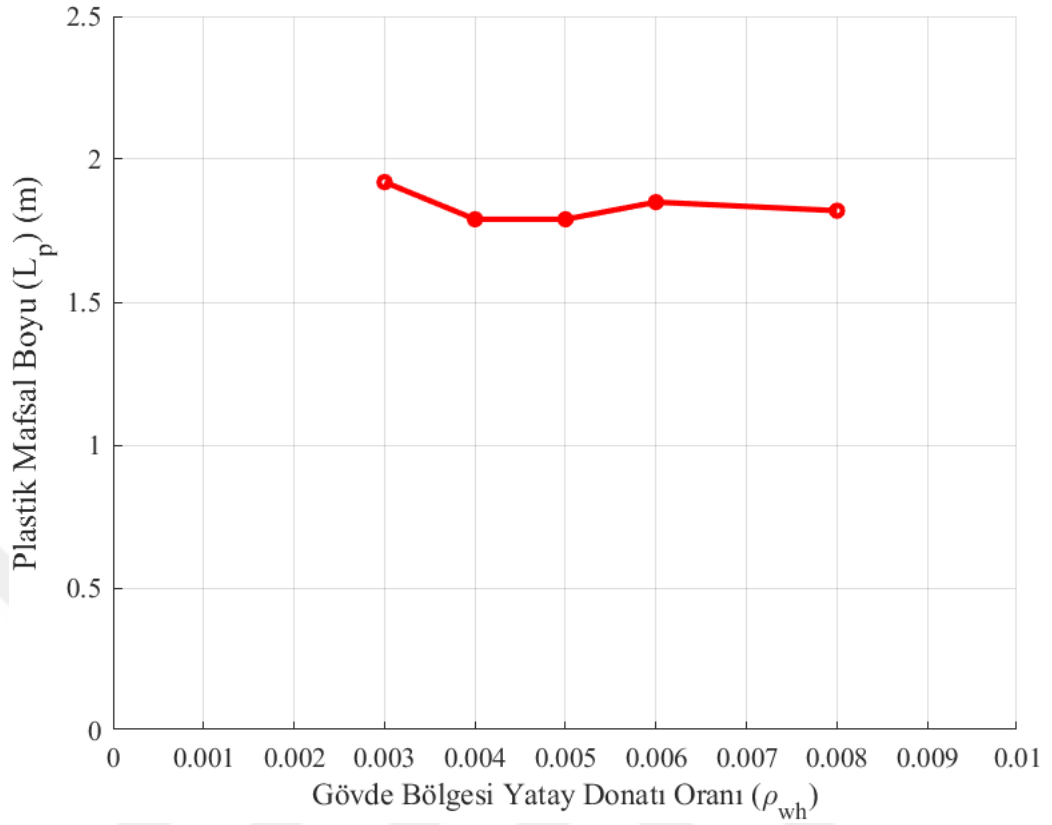
sonucunda elde edilen plastik mafsal boyu değışimleri aşağıda yer alan grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 4.30 : Model 48-51 için gövde bölgesi yatay donatı oranı (ρ_{wh}) – plastik mafsal boyu (L_p) ilişkisi.



Şekil 4.31 : Model 52-55 için gövde bölgesi yatay donatı oranı (ρ_{wh}) – plastik mafsal boyu (L_p) ilişkisi.



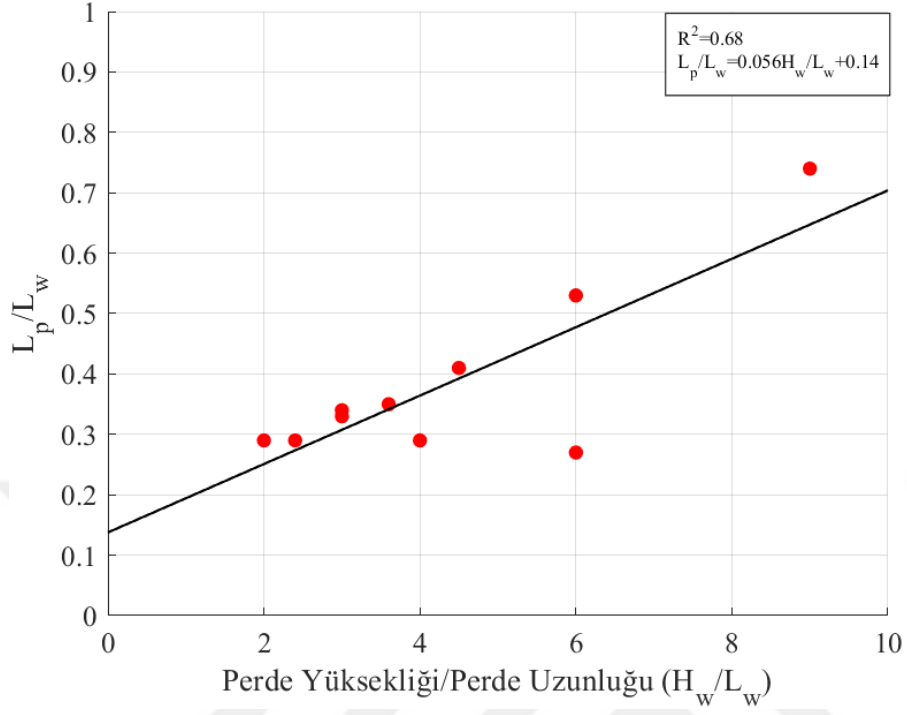
Şekil 4.32 : Model 56-59 için gövde bölgesi yatay donatı oranı (ρ_{wh}) – plastik mafsal boyu (L_p) ilişkisi .

Grafikler incelendiğinde, gövde bölgesi yatay donatı oranı 0.003 değerinden 0.005'e çıkarıldığında modellerde az da olsa bir azalma gözlenmiştir. Artan diğer oranlarla birlikte çok küçük değişiklikler olsa dahi grafiğin yatay bir seyir gösterdiği görülmüştür. Analizlerde kullanılan uygulamada kullanılan yatay donatı oranı gözetilerek seçildiğinden değişkenler arası artış sınırlı kalmıştır. Genel olarak yorumlanırsa yatay gövde oranındaki artış önemsenmeyecek derecede dahi olsa bir azalma meydana getirmektedir denilebilir.

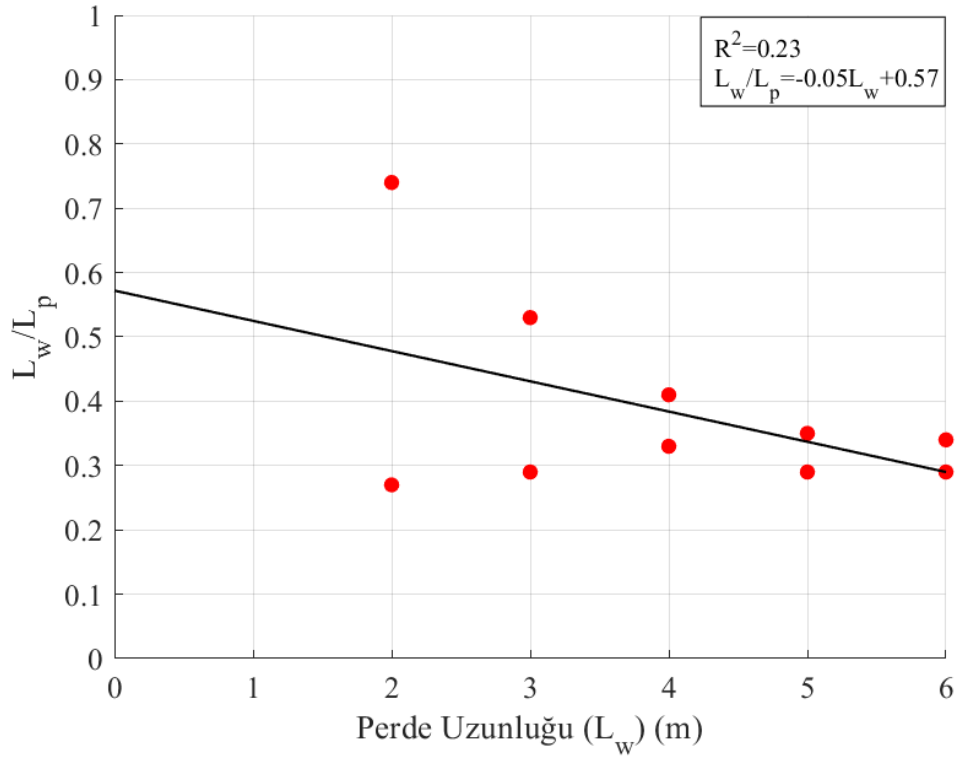
4.3 Doğrusal Regresyon Analizi

Hesaplanan plastik mafsal boyları perde uzunluğuna bölünerek normalize edilmiştir. Daha sonra doğrusal regresyon analizi yapılarak değişken ve plastik mafsal boyundaki değişimin uyumu incelenmiştir. Analiz sonucunda bulunan veriler MATLAB programında işlenmiş ve regresyon eğrileri elde edilmiştir. Her değişken için

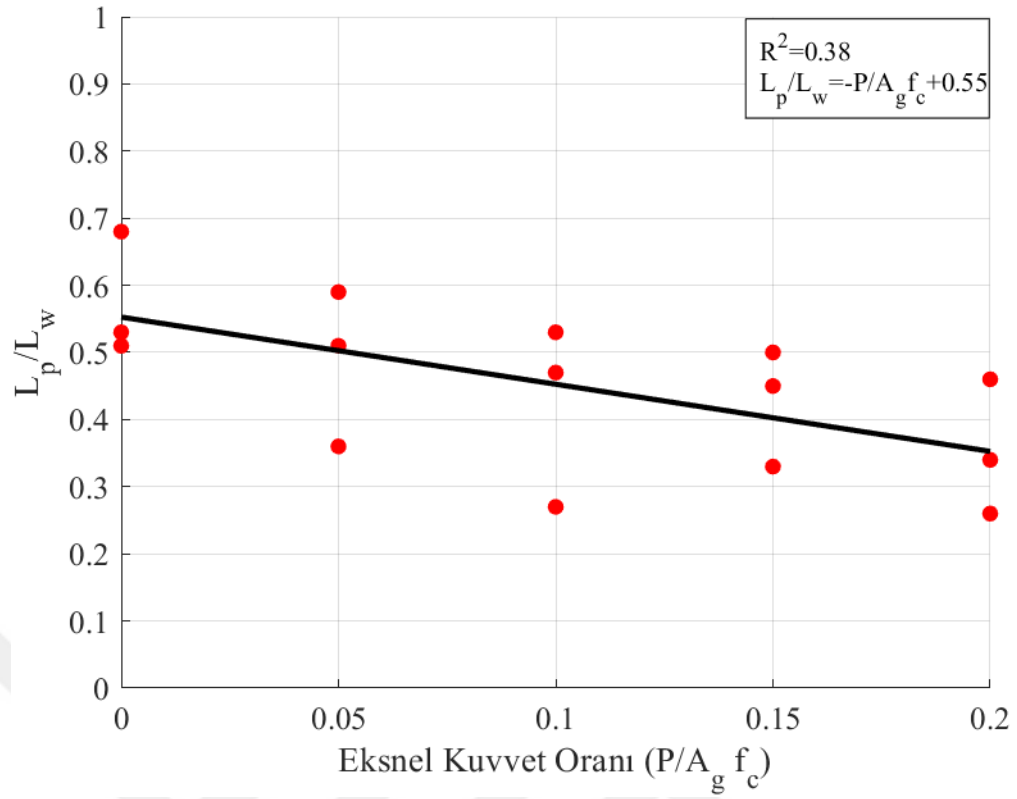
hesaplanan belirleme katsayısı (R^2) ve regresyon eğrisinin denklemi aşağıda yer alan grafiklerde sunulmuştur.



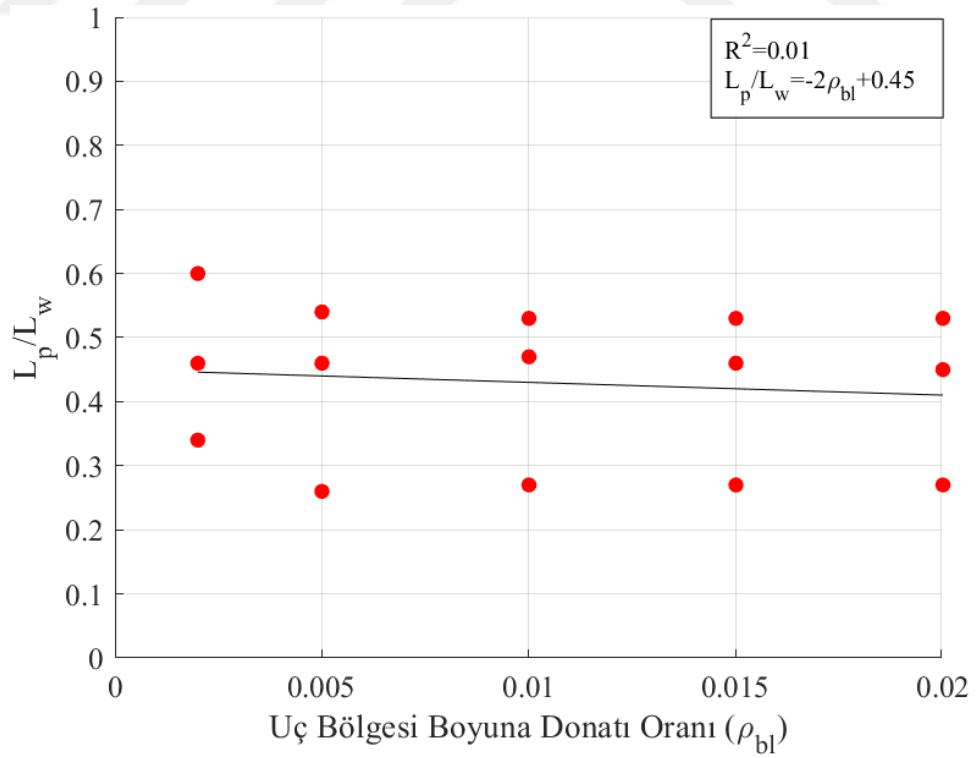
Şekil 4.33 : H_w/L_w oranına bağlı olarak L_p/L_w değişimi.



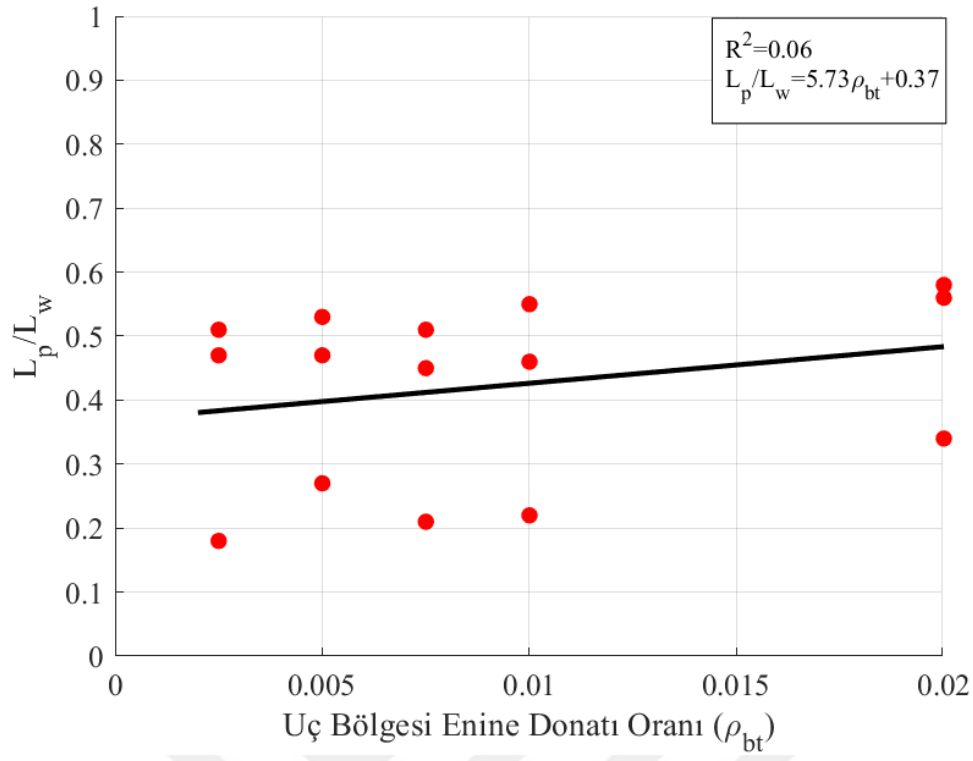
Şekil 4.34 : L_w 'ye bağlı olarak L_p/L_w değişimi.



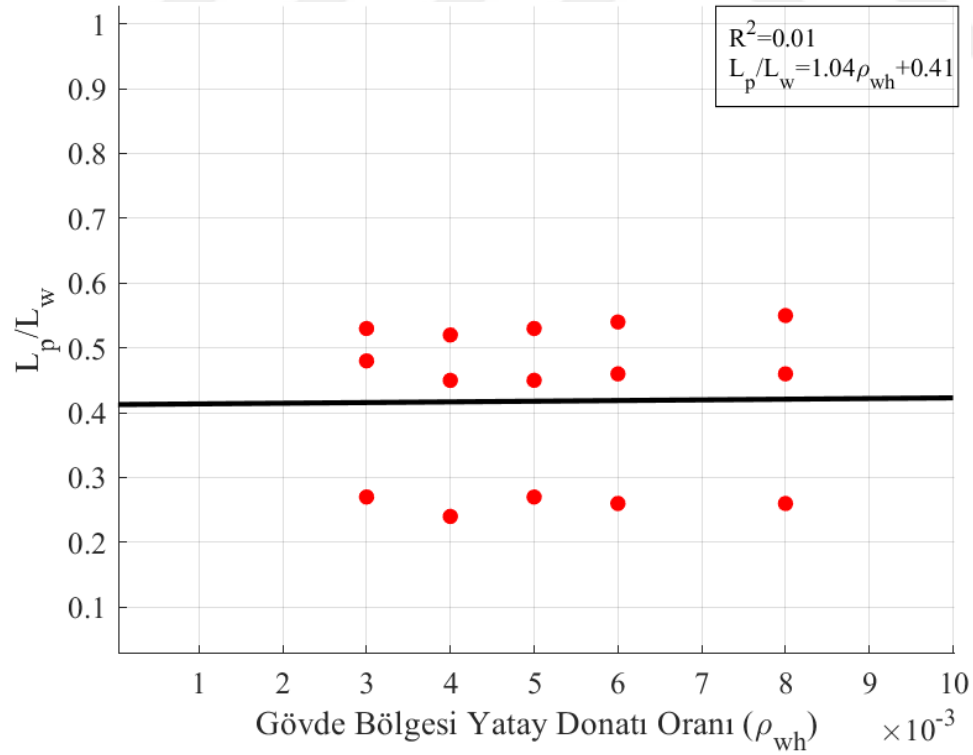
Şekil 4.35 : $P/A_g f_c$ oranına bağlı olarak L_p/L_w değişimi.



Şekil 4.36 : ρ_{bl} oranına bağlı olarak L_p/L_w değişimi.



Şekil 4.37 : ρ_{bt} oranına bağlı olarak L_p/L_w değişimi.



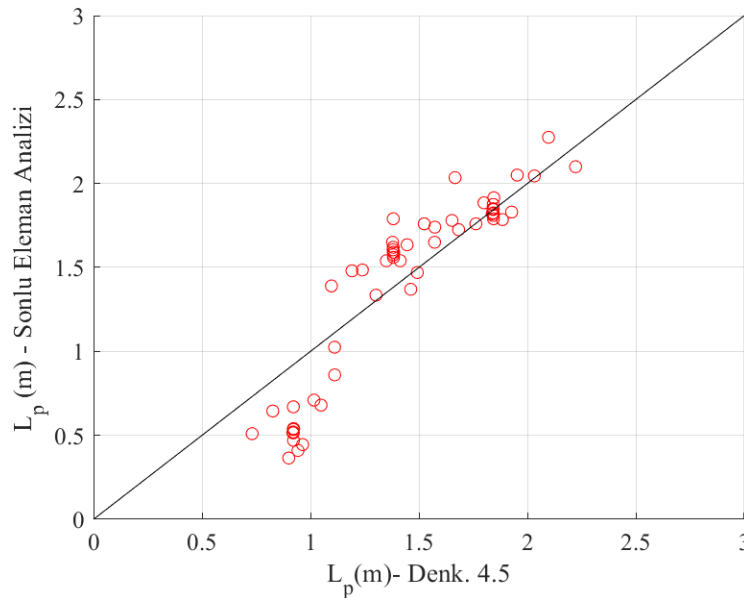
Şekil 4.38 : ρ_{wh} oranına bağlı olarak L_p/L_w değişimi.

Belirleme katsayıları göz önünde bulundurularak, perde yüksekliğinin/perde uzunluğuna oranını, perde uzunluğu ve eksenel kuvvet oranının plastik mafsalları boyunu etkileyen birincil değişkenler olduğu söylenebilir. Çalışmada incelenen uç bölgesi boyuna donatı oranının, uç bölgesi enine donatı oranının ve gövde bölgesi yatay donatı oranının etkisi ise göz ardı edilebilir.

4.4 Plastik Mafsalları Eşitliği Elde Edilmesi

Yapılan analizler sonucu elde edilen plastik mafsalları boyları ve plastik mafsalları boylarını etkileyen değişkenler arasındaki ilişki önceki başlıklarda detaylıca sunulmuştur. Bu kısımda ise değişkenlerin etkileri hesaba katılarak bir plastik mafsalları boyu eşitliği önerilmiştir. Bu işlem için birden fazla değişkenin hesaba katıldığı doğrusal olmayan çoklu regresyon modeli kullanılmıştır. İlk aşamada önerilen denklem tüm değişkenleri içerecek şekilde oluşturulmuştur. Eşitlik elde edilirken denklem 2.14 ve denklem 2.15'te önerilen eşitliklerdeki form korunarak değişkenler ve katsayılar değiştirilmiştir. Daha sonra bir önceki kısımda yapılan doğrusal regresyon analizi sonucunda baskın olarak etki gösteren değişkenleri içeren denklem önerilerek daha basit bir form elde edilmiştir. Denklem 2.14'teki forma göre elde edilen eşitlik 4.5'te sunulmuştur.

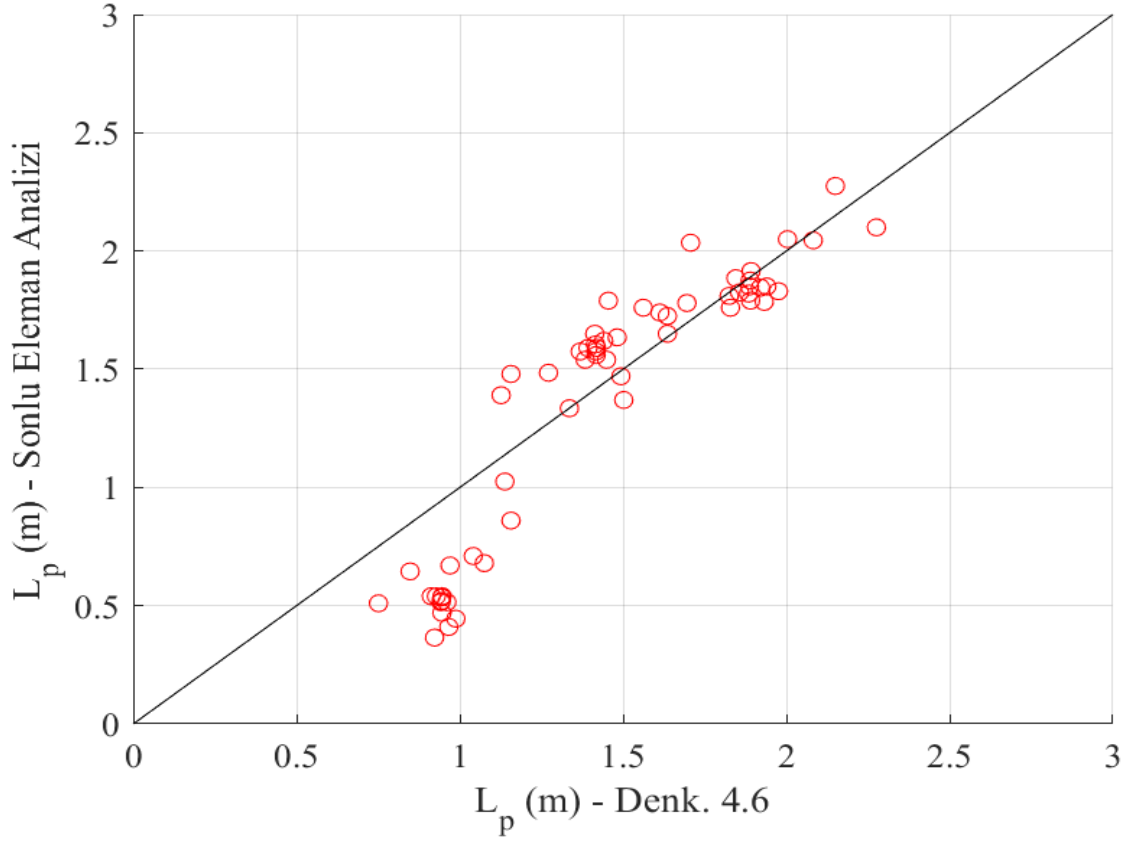
$$L_p = (0.055H_w + 0.23l_w)(1 - 1.7 \frac{P}{A_g f_c})(1 - 3.3\rho_{bl})(1 + 9.65\rho_{bt})(1 - 0.8\rho_{wh}) \quad (4.5)$$



Şekil 4.39 : SEA sonucu bulunan L_p ve 4.5'e göre hesaplanan L_p karşılaştırması.

Denk 2.15'teki yapı baz alınarak hesaplanan eşitlik de denklem 4.6'da sunulmuştur.

$$L_p = 0.23l_w \left(\frac{H_w}{L_w}\right)^{0.5} \left(1 - 1.7 \frac{P}{A_g f_c}\right) (1 - 3.3\rho_{bl}) (1 + 9.66\rho_{bt}) (1 - 0.8\rho_{wh}) \quad (4.6)$$

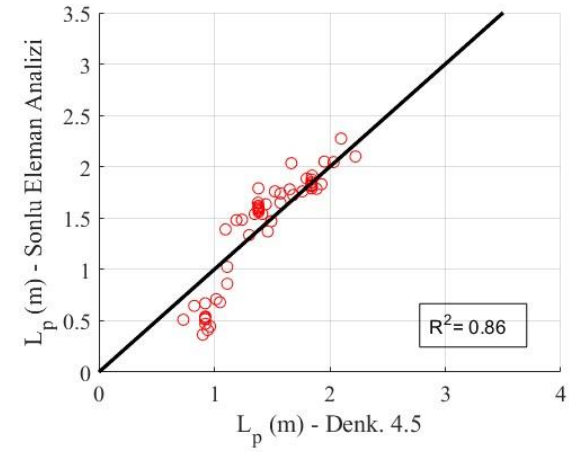
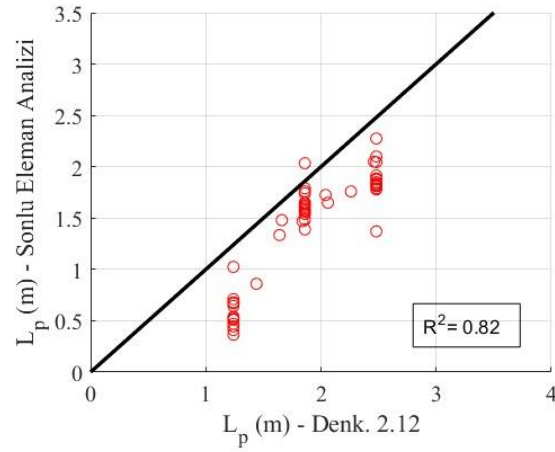
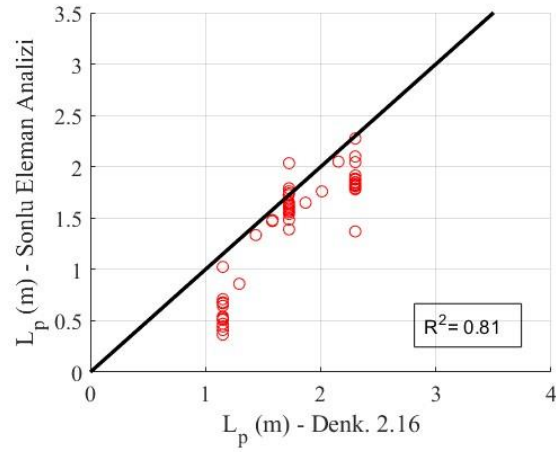
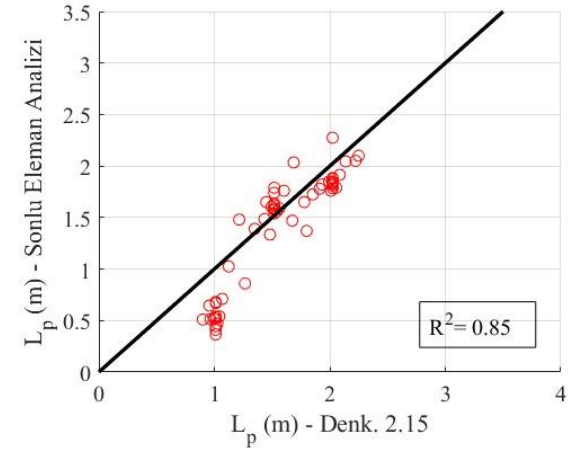
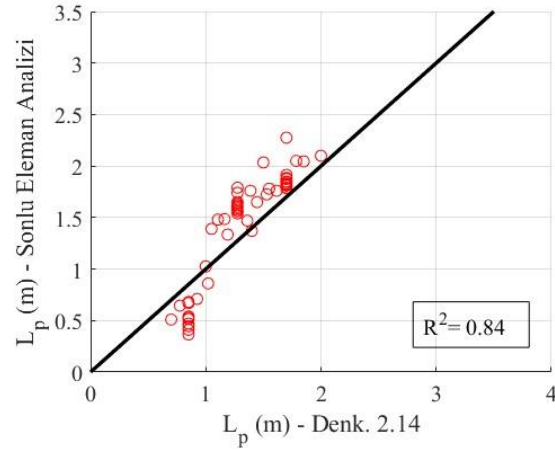
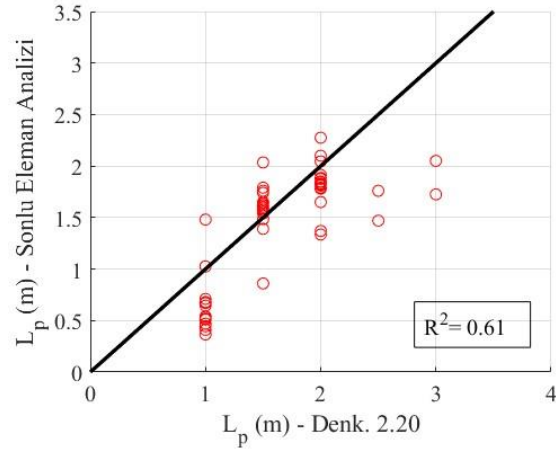


Şekil 4.40 : SEA analizi sonucu bulunan L_p ve 4.6'ya göre hesaplanan L_p karşılaştırması.

Daha önce belirtildiği üzere doğrusal regresyon analizi sonucunda perde uzunluğu, perde yüksekliği/perde uzunluğu oranı ve eksenel kuvvet oranının plastik mafsalları boyunu en çok etkileyen değişkenler olduğu kanısına varılmıştır. Bu bilgiye dayanarak aşağıda yer alan plastik mafsalları boyu eşitliği sunulmuştur.

$$L_p = (0.06H_w + 0.22L_w) \left(1 - 1.7 \frac{P}{A_g f_c}\right) \quad (4.7)$$

Farklı araştırmacılar tarafından önerilen plastik mafsalları boyu eşitliklerinin ve bu çalışmada önerilen plastik mafsalları boyu eşitliğinin sonlu eleman analizi sonucunda bulunan plastik mafsalları boyları ile ilişkisi şekil 4.41'de sunulmuştur. Denklem 4.7 kullanılarak hesaplanan plastik mafsalları boyları ile sonlu eleman analizi sonucu bulunan plastik mafsalları boylarının karşılaştırıldığı grafik şekil 4.42'de gösterilmiştir.



Şekil 4.41 : Literatürde yer alan eşitliklerle sonlu eleman analizi sonucu bulunan plastik mafsallı boylarının karşılaştırılması.

Grafikler incelendiğinde, bu çalışmadaki verilerin esas alınarak türetildiği denklem 4.5 beklenildiği üzere en tutarlı sonucu vermiştir. Perde yüksekliğinin 18 m ve 24 m olduğu yüksek kabul edilebilecek perdelerde çok daha tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Perde yüksekliğinin 12 m ve uzunluğunun 2 m olduğu perdelerde önerilen denklem, analiz sonucu bulunan plastik mafsallık boyundan daha büyük değerler vermektedir. Genel olarak bakıldığında 0.86 belirleme katsayısı (R^2) denklem ile analiz sonucu bulunan uzunluklar arasında iyi bir uyumun olduğunu göstermektedir.

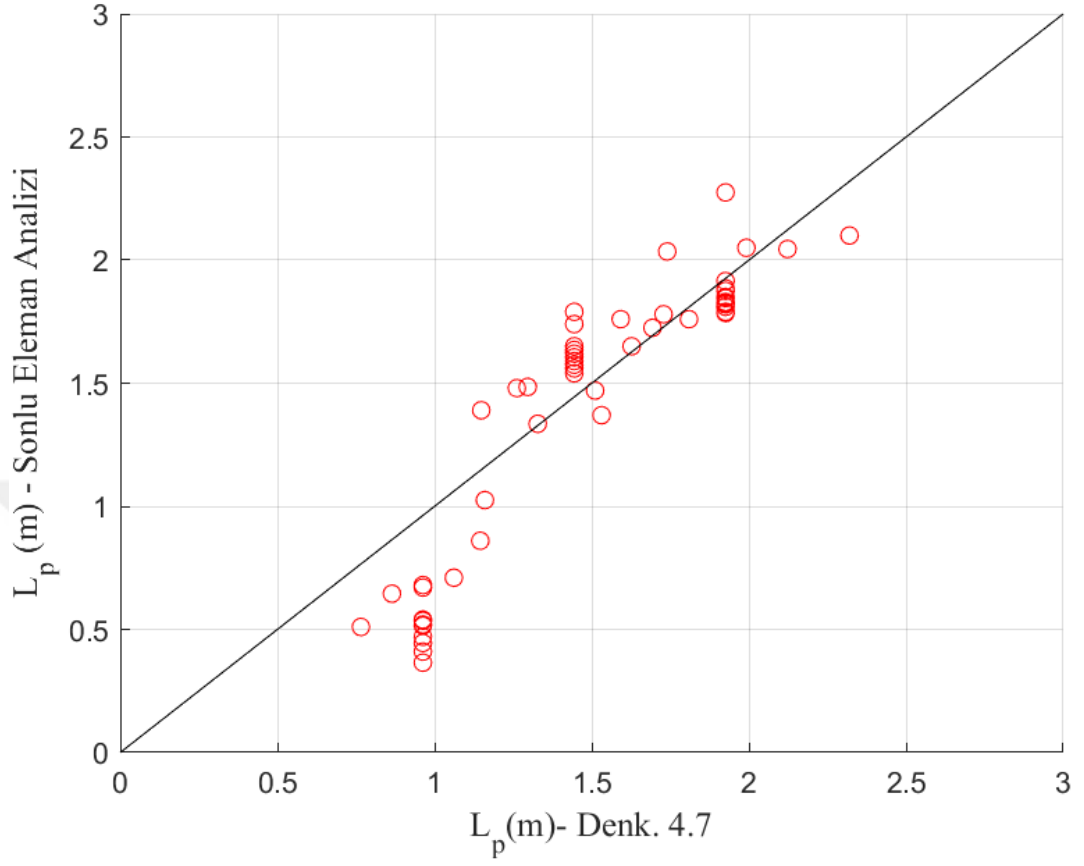
Ayrıca Bohl (2011) ve Kazaz'ın (2013) önerdiği denklemler de bu çalışmada elde edilen plastik mafsallık boylarıyla tutarlı sonuç vermiştir. Bohl tarafından önerilmiş olan 2.14 ve Kazaz tarafından önerilmiş olan 2.15 ile 2.16'da bu çalışmada önerilen denkleme benzer olarak 12 m uzunluğundaki perdelerde daha büyük değerler vermiştir. Daha yüksek perdelerde 12 m uzunluğundaki perdelerle göre daha uyumlu sonuçlar gözlenmiştir. Kazaz'ın önerdiği 2.15 ile bu çalışmada kullanılan değişkenlerin benzerlik göstermesi 2.15'in tutarlı olma sebebi olarak düşünülebilir. Bu sebepten daha az değişken içeren 2.16'nın tutarlılığı 2.15'e göre daha düşüktür. 2.14, 2.15 ve 2.16 için belirleme katsayıları sırasıyla 0.84, 0.85 ve 0.81 olarak bulunmuştur.

Paulay ve Priestley (1992) tarafından önerilen 2.12 kullanılarak hesaplanan plastik mafsallık boyları SEA sonucu bulunan değerlerle karşılaştırıldığında 2.12 ile bulunan değerlerin daha büyük olduğu görülmektedir. Belirleme katsayısı nispeten büyük olsa dahi standart sapmanın büyük olduğu görülmektedir.

ASCE/SEI-41 ve TBDY-2018'de kullanılması önerilen 2.20 kullanıldığında bulunan plastik mafsallık boyu değerlerinin SEA ile bulunan değerlere göre genellikle daha büyük olduğu görülmektedir. Belirleme katsayısının 0.61 olarak bulunması denklemde tek değişken olarak perde uzunluğu kullanılmasının plastik mafsallık boyu hesabında yetersiz kaldığı söylenilebilir.

Şekil 4.42'de bu çalışmada daha basit formda önerilen denklem 4.7 ile SEA analizi sonucu bulunan plastik mafsallık boylarının ilişkisini gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde 4.5'in basitleştirilmiş formu olan 4.7 ile hesap yapıldığında 4.5 kullanılarak yapılan hesaplara benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Bu durumun sebebi ise Bölüm 4.3'te bahsedildiği üzere bazı değişkenlerin plastik mafsallık boyu üzerindeki etkisinin az olduğu olarak açıklanabilir. Daha az etkili değişkenlerin

denklemden çıkarılması sonucu elde edilen denklemde neredeyse tüm değişkenleri içeren denklem kadar tutarlı sonuç vermektedir.



Şekil 4.42 : SEA sonucu bulunan L_p ve 4.7'ye göre hesaplanan L_p karşılaştırması.



5. SONUÇLAR

Mevcut yapıların performansının değerlendirilmesi ve yer değiştirmeye bağlı tasarımın doğru bir şekilde yapılabilmesi için betonarme perdelerin doğrusal olmayan davranışının analitik olarak gerçekçi modellenmesi önemlidir. Bu çalışma kapsamında doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden yığılı plastisite modelinin esas değişkenlerinden plastik mafsal boyunu etkileyen değişkenler irdelenmiştir. Bu amaçla yapılan sonlu eleman modellemesi sonucunda bulunan sonuçlar şu şekildedir:

1) Plastik mafsal boyları elde edilirken Bohl ve Adebar (2011) ve Kazaz (2013)'da olduğu şekilde perde yüksekliği boyunca eğrilikler elde edilmiştir. Eğrilikler hesaplanırken perde yüksekliği boyunca eğilme öncesinde düzlem kalan kesitlerin eğilme sonrasında da düzlem kaldığı kabulü yapılmıştır. Model-1, Model-7 ve Model-13 için kesit boyunca hesaplanan şekil değiştirme değerleri, uç bölgesindeki sapmalara rağmen genel olarak kesitin kabule uygun davrandığını göstermiştir. Bu durum literatürdeki çalışmaları doğrulamaktadır.

2) Akma uzaması penetrasyonunu göz önüne almak amacıyla perdelerin tabanında rijit temeller tanımlanmış, perde boyuna donatılarının uzatılarak temel içinde kenetlenmesi sağlanmıştır. Temele uzatılan düşey donatılarda akma gözlenmemiştir. Bir önceki maddede yer alan çalışmalarda da aynı sonuca varıldığı görülmektedir.

3) Plastik mafsal boyunu etkileyen değişkenlerden perde yüksekliğinin / perde uzunluğuna oranı arttıkça plastik mafsal boyunun da arttığı sonucuna varılmıştır. Bu durum perdelerin göçme davranışıyla açıklanabilir. Perdelerin h_w/l_w oranı arttıkça göçme davranışı eğilme baskın duruma geçmektedir. Eğilme baskın duruma doğru gidildikçe plastik mafsal boyu artmaktadır.

4) Literatürdeki ifadelere bakıldığında en etkin değişken olarak düşünülebilecek perde uzunluğu plastik mafsal boyu ilişkisi incelendiğinde perde uzunluğundaki artışın plastik mafsal boyunda artışa sebep olduğu söylenebilir. Bu durum literatürde yer alan diğer çalışmalarla da uyushmaktadır.

5) Çalışma sonucunda eksenel kuvvet oranının da plastik mafsalsal boyuna önemli ölçüde etkisi olduğu kanısına varılmıştır. Eksenel kuvvet oranı arttıkça bu durumun aksine plastik mafsalsal boyunda azalma meydana gelmektedir. Eksenel kuvvet oranı değişken olarak kabul edilip plastik mafsalsal boyundaki değişimi inceleyen Bohl ve Adebar (2011) ve Kazaz (2013)'in çalışmasında da değişim oranı farklı olsa bile eksenel kuvvet oranının plastik mafsalsal boyunu azalttığı belirtilmiştir.

6) Çalışma kapsamında incelenen bir diğer değişken ise uç bölgesi boyuna donatı oranıdır. 12 metre ve 18 metre yüksekliğindeki 0.002'lik boyuna donatı oranından 0.005'lik boyuna donatı oranına geçişte bir miktar düşüş olsa dahi sonrasında belirgin bir değişim gözlenmemiştir. 24 m yüksekliğindeki perdelerde donatı oranındaki artışla birlikte hatırı sayılır bir değişiklik olmamıştır. Regresyon analizi sonucunda da uç bölgesi boyuna donatı oranındaki değişimin plastik mafsalsal boyuna etkisinin neredeyse hiç olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu durum Kazaz (2013)'in yaptığı çalışmayla örtüşmektedir.

7) Uç bölgesi enine donatı oranı literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak bu çalışma kapsamında değişken olarak alınmıştır. Perde uzunluğunun 2 metre olduğu modellerde düşük enine donatı oranlarından itibaren enine donatı oranı artışına paralel olarak artış gözlenmiştir. Perde uzunluğunun 3 metre ve 4 metre olduğu nispeten daha uzun modellerde ancak enine donatı oranının yüksek olduğu durumlarda plastik mafsalsal boyunda artış gözlenmiştir. Regresyon analiziyle genel tabloya bakıldığında uç bölgesi enine donatı oranındaki artışın plastik mafsalsal boyunda büyük oranda değişim yaratmadığı kanısına varılmıştır.

8) İncelenen son değişken ise gövde bölgesi yatay donatı oranı olmuştur. Artan gövde bölgesi yatay donatı oranıyla birlikte plastik mafsalsal boyunda önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu durum Kazaz (2013)'in çalışmasında bulunan sonuçla çelişmektedir. Kazaz (2013)'da yatay gövde donatısı oranı arttıkça plastik mafsalsal boyu azalmaktadır. Fakat bahsedilen çalışmadaki modellerde yatay donatı oranı 0 ile 0.2 arasında değişmektedir. Yatay donatı oranının sıfır olduğu durumlarda plastik bölge uzunluğu bir hayli yüksek bulunmuştur, artan yatay donatı oranıyla birlikte azalma görülse dahi sonrasında yataya yakın bir seyir gözlenmiştir. Bu tez kapsamında incelenen modellerde donatı oranı 0.003 ile 0.008 arasında değişmektedir. Referans çalışmada aynı aralıkta değişimin sabit bir seyir gösterdiği gözlenmiştir.

9) Yapılan analizler sonucunda tüm değişkenleri içerecek şekilde denklem 4.5 ve denklem 4.6 önerilmiştir. Analizler sonucu belirlenen plastik mafsalları boyaları ve denklemle elde edilen plastik mafsalları boyu değerleri kullanılarak regresyon analizi yapılmış, belirleme katsayısı 0.86 olarak bulunmuştur. Bu değer SEA sonucu bulunan değerler ile önerilen eşitliğin tutarlı olduğunu göstermektedir.

10) Denklem 4.5 ve 4.6'da önerilen eşitliklerin uzun ve karmaşık olması sebebiyle plastik mafsalları boyuna etkisi düşük olan değişkenler eşitlikten çıkarılarak denklem 4.7'de yer alan eşitlik önerilmiştir. SEA ve denklem 4.7'nin sağladığı sonuçlar için yapılan regresyon analizinde belirleme katsayısı 0.85 olarak hesaplanmıştır. Bu durum basitleştirilmiş eşitlik ile SEA analizinin sonuçlarının tutarlı olduğunu göstermektedir.

11) SEA sonucunda bulunan plastik mafsalları değerleri ile literatürde yer alan eşitlikler karşılaştırılmıştır. Bohl ve Adebar (2011) tarafından önerilen 2.14 ve Kazaz (2013) tarafından önerilen 2.15 bu çalışmada yapılan SEA ile bulunan sonuçlarla uyumlu değerler vermiştir. Paulay ve Priestley (1992) tarafından önerilen 2.12 ile bulunan sonuçlar genel olarak SEA sonucu bulunan değerlere göre daha büyük değerler vermektedir. TBDY-2018 ve ASCE/SEI 41'de önerilen denklem 2.20 SEA göre daha büyük sonuçlar vermektedir. Ayrıca tek bir değişkeni hesaba katması sebebiyle belirleme katsayısı düşük çıkmıştır.



KAYNAKLAR

- ABAQUS Analysis User's Manual 6.14** (2014)., Dassault Systems Simulia Corp., Providence, RI, ABD.
- ABAQUS/CAE 2019 [Bilgisayar Programı]**. Dassault Systems Simulia Corp., Providence, RI, ABD
- Adebar, P., Ibrahim, A. M. M., ve Bryson, M.** (2007). Test of a high-rise core wall: Effective stiffness for seismic analysis. *ACI Struct. J.*, 104(5), 549-559.
- ASCE/SEI** (2010). Minimum design loads for buildings and other structures. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Aydın, S.**, (2004). *Evaluation of plastic hinge length estimations and strain limits of reinforced concrete shear walls*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Bohl Arbulu, A.G.**, (2007). *Plastic Hinge Length in High-Rise Concrete Shear Walls*, Yüksek Lisans Tezi, British Columbia Üniversitesi, 2007.
- Bohl, A. ve Adebar, P.** (2011). Plastic hinge lengths in high-rise concrete shear walls. *ACI Struct. J.*, 108(2), 148-157.
- Cansız, S.**, (2020). *Betonarme kolonların yatay yükler altında davranışı*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Corley, W.G.**, (1966). Rotational capacity of reinforced concrete beams. *Journal of Structural Division*, ASCE, 92(5), 121-146.
- Dazio, A., Beyer, K., ve Bachmann, H.** (2009). Quasi-static cyclic tests and plastic hinge analysis of RC structural walls. *Eng. Struct.*, 31(7)., 1556-1571.
- Değer, Z. T., ve Başdoğan, Ç.** (2021). Nonlinear modeling of reinforced concrete walls with stacked plastic behavior and damage limits. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(2), 641–653. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.719923>
- Duvaut, G., ve Lions, J.L.**, (1972). *Les Inequations en Mecanique et en Physique*, Paris.
- European Committee for Standardization (CEN)**. (2005). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance: Part 3: Assesment and retrofitting buildings. *BS EN 1998-3*, Brüksel, Belçika.
- Hoult, R., Goldsworthy, H., ve Lumantarna, E.**, (2017). Plastic hinge length for lightly reinforced rectangular concrete walls. *Journal of Earhquake Engineering*, 22(8), 1447-1478.

- Kazaz, İ. (2013).** Analytical Study on Plastic Hinge Length of Structural Walls. *Journal of Structural Engineering*, 139(11), 1938–1950. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000770](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000770)
- Kazaz, İ. Gülkan, P., ve Yakut, A. (2012).** Deformation Limits for Structural Walls with Confined Boundaries. *Earthquake Spectra*, 28(3), 1019-1046.
- Lee, J. ve Fenves. G., (1998).** Plastic damage model for cyclic loading of concrete structures. *Journal of Engineering Mechanics*, 124(8), 892-900.
- Lubliner, J., Oliver, J., Oller, S., ve Onate, E., (1989).** A plastic damage model for concrete. *International Journal of Solid and Structures*, 25(3) 299-329.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., ve Park, R. (1988).** Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Division (ASCE)*, 114(8), 1804-1826.
- Massone, M.M., ve Alfaro, J.J., (2016).** Displacement and curvature estimation for the design of reinforced concrete slender walls. *Struct. Design Tall Spec. Build.*, 25, 823-841.
- Mattock, A. H., (1964).** Rotational capacity of hinging regions in reinforced concrete beams. *Proceedings of the International Symposium on Flexural Mechanics of Reinforced Concrete*, 143-181.
- Paulay, T., ve Taylor, R.G., (1981).** Slab coupling of earthquake-resisting shearwalls. *ACI Struct. J.*, 78(11), 130-140.
- Priestley, M.J.N., Calvi, G.M., ve Kowalsky, M.J. (2007).** *Displacement based seismic design of structures*, IUSS Press, Pavia, İtalya.
- Sasani. M., ve Der Kiureghian, A., (2001).** Seismic fragility of RC structural walls: displacement approach. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 127(2), 219-228.
- TBDY (2018).** Türkiye bina deprem yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Vallenas, M. V., Bertero, V.V., ve Popov, E.P. (1979).** Hysteretic behavior of reinforced concrete framed walls. *EERC Rep. 75/23*, Earthquake Engineering Research Centre, Univ. of California, Berkeley, CA.

EKLER

EK A: Analizi yapılan modellere ait değişkenler ve plastik mafsalsal boyları



Çizelge A.1 : Analizi yapılan modellere ait değişkenler ve elde edilen plastik mafsalları

Model	$H_w(m)$	$L_w(m)$	H_w/L_w	$P/F_c A_g$	ρ_{bl}	ρ_{bt}	ρ_{wh}	$L_{pz}(m)$	$L_p (m)$	L_p/L_w
1	12	2	6	0.1	0.01	0.005	0.005	1.07	0.54	0.27
2	12	3	4	0.1	0.01	0.005	0.005	1.72	0.86	0.29
3	12	4	3	0.1	0.01	0.005	0.005	2.67	1.34	0.33
4	12	5	2.4	0.1	0.01	0.005	0.005	2.94	1.47	0.29
5	12	6	2	0.1	0.01	0.005	0.005	3.45	1.73	0.29
6	18	2	9	0.1	0.01	0.005	0.005	2.96	1.48	0.74
7	18	3	6	0.1	0.01	0.005	0.005	3.15	1.58	0.53
8	18	4	4.5	0.1	0.01	0.005	0.005	3.30	1.65	0.41
9	18	5	3.6	0.1	0.01	0.005	0.005	3.52	1.76	0.35
10	18	6	3	0.1	0.01	0.005	0.005	4.10	2.05	0.34
11	24	4	6	0.1	0.01	0.005	0.005	3.75	1.88	0.47
12	12	2	6	0	0.01	0.005	0.005	2.05	1.03	0.51
13	12	2	6	0.05	0.01	0.005	0.005	1.42	0.71	0.36
14	12	2	6	0.15	0.01	0.005	0.005	1.29	0.65	0.32
15	12	2	6	0.2	0.01	0.005	0.005	1.02	0.51	0.26
16	18	3	6	0	0.01	0.005	0.005	4.07	2.04	0.68
17	18	3	6	0.05	0.01	0.005	0.005	3.52	1.76	0.59
18	18	3	6	0.15	0.01	0.005	0.005	2.97	1.49	0.50
19	18	3	6	0.2	0.01	0.005	0.005	2.78	1.39	0.46

H_w : perde yüksekliği, L_w :perde uzunluğu, H_w/L_w : perde yüksekliğinin perde uzunluğuna oranı, $P/F_c A_g$: Eksenel kuvvet oranı, ρ_{bl} :uç bölgesi boyuna donatı oranı, ρ_{bt} : uç bölgesi enine donatı oranı, ρ_{wh} : gövde bölgesi yatay donatı oranı, L_{pz} : plastik bölge boyu, L_p : plastik mafsalları boyu, L_p/L_w : plastik mafsalları boyunun / perde uzunluğuna oranı

Çizelge A.1 (devam) : Analizi yapılan modellere ait değişkenler ve elde edilen plastik mafsalları

Model	$H_w(m)$	$L_w(m)$	H_w/L_w	$P/F_c A_g$	ρ_{bl}	ρ_{bt}	ρ_{wh}	$L_{pz}(m)$	$L_p(m)$	L_{ph}/L_w
20	24	4	6	0	0.01	0.005	0.005	4.2	2.10	0.53
21	24	4	6	0.05	0.01	0.005	0.005	4.09	2.05	0.51
22	24	4	6	0.15	0.01	0.005	0.005	3.56	1.78	0.45
23	24	4	6	0.2	0.01	0.005	0.005	2.74	1.37	0.34
24	12	2	6	0.1	0.002	0.005	0.005	1.34	0.67	0.34
25	12	2	6	0.1	0.005	0.005	0.005	1.03	0.52	0.26
26	12	2	6	0.1	0.015	0.005	0.005	1.08	0.54	0.27
27	12	2	6	0.1	0.02	0.005	0.005	1.08	0.54	0.27
28	18	3	6	0.1	0.002	0.005	0.005	3.58	1.79	0.60
29	18	3	6	0.1	0.005	0.005	0.005	3.24	1.62	0.54
30	18	3	6	0.1	0.015	0.005	0.005	3.18	1.59	0.53
31	18	3	6	0.1	0.02	0.005	0.005	3.15	1.58	0.53
32	24	4	6	0.1	0.002	0.005	0.005	3.7	1.85	0.46
33	24	4	6	0.1	0.005	0.005	0.005	3.69	1.85	0.46
34	24	4	6	0.1	0.015	0.005	0.005	3.65	1.83	0.46
35	24	4	6	0.1	0.02	0.005	0.005	3.62	1.81	0.45
36	12	2	6	0.1	0.01	0.0025	0.005	0.73	0.37	0.18
37	12	2	6	0.1	0.01	0.01	0.005	0.89	0.45	0.22
38	12	2	6	0.1	0.01	0.02	0.005	1.36	0.68	0.34
39	12	2	6	0.1	0.01	0.0075	0.005	0.82	0.41	0.21
40	18	3	6	0.1	0.01	0.0025	0.005	3.08	1.54	0.51

H_w : perde yüksekliği, L_w :perde uzunluğu, H_w/L_w : perde yüksekliğinin perde uzunluğuna oranı, $P/F_c A_g$: Eksenel kuvvet oranı, ρ_{bl} :uç bölgesi boyuna donatı oranı, ρ_{bt} : uç bölgesi enine donatı oranı, ρ_{wh} : gövde bölgesi yatay donatı oranı, L_{pz} : plastik bölge boyu, L_p : plastik mafsalları boyu, L_p/L_w : plastik mafsalları boyunun / perde uzunluğuna oranı

Çizelge A.1 (devam) : Analizi yapılan modellere ait değişkenler ve elde edilen plastik mafsalları

<i>Model</i>	<i>H_w(m)</i>	<i>L_w(m)</i>	<i>H_w/L_w</i>	<i>P/F_cA_g</i>	<i>ρ_{bl}</i>	<i>ρ_{bt}</i>	<i>ρ_{wh}</i>	<i>L_{pz}(m)</i>	<i>L_p(m)</i>	<i>L_{ph}/L_w</i>
41	18	3	6	0.1	0.01	0.01	0.005	3.27	1.64	0.55
42	18	3	6	0.1	0.01	0.02	0.005	3.48	1.74	0.58
43	18	3	6	0.1	0.01	0.0075	0.005	3.08	1.54	0.51
44	24	4	6	0.1	0.01	0.0025	0.005	3.77	1.89	0.47
45	24	4	6	0.1	0.01	0.01	0.005	3.66	1.83	0.46
46	24	4	6	0.1	0.01	0.02	0.005	4.55	2.28	0.57
47	24	4	6	0.1	0.01	0.0075	0.005	3.57	1.79	0.45
48	12	2	6	0.1	0.01	0.005	0.003	1.08	0.54	0.27
49	12	2	6	0.1	0.01	0.005	0.004	0.94	0.47	0.24
50	12	2	6	0.1	0.01	0.005	0.006	1.04	0.52	0.26
51	12	2	6	0.1	0.01	0.005	0.008	1.03	0.52	0.26
52	18	3	6	0.1	0.01	0.005	0.003	3.18	1.59	0.53
53	18	3	6	0.1	0.01	0.005	0.004	3.12	1.56	0.52
54	18	3	6	0.1	0.01	0.005	0.006	3.21	1.61	0.54
55	18	3	6	0.1	0.01	0.005	0.008	3.3	1.65	0.55
56	24	4	6	0.1	0.01	0.005	0.003	3.83	1.92	0.48
57	24	4	6	0.1	0.01	0.005	0.004	3.58	1.79	0.45
58	24	4	6	0.1	0.01	0.005	0.006	3.7	1.85	0.46
59	24	4	6	0.1	0.01	0.005	0.008	3.64	1.82	0.46

H_w: perde yüksekliği, *L_w*:perde uzunluğu, *H_w/L_w*: perde yüksekliğinin perde uzunluğuna oranı, *P/F_cA_g*: Eksenel kuvvet oranı, *ρ_{bl}*:uç bölgesi boyuna donatı oranı, *ρ_{bt}*: uç bölgesi enine donatı oranı, *ρ_{wh}*: gövde bölgesi yatay donatı oranı, *L_{pz}*: plastik bölge boyu, *L_p*: plastik mafsalları boyu, *L_p/L_w*: plastik mafsalları boyunun / perde uzunluğuna oran

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Tolga Çınar

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2022 , İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ocak 2020’den itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü betonarme yapılar kürsüsünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.